

การวิเคราะห์พฤติกรรมลิฟต์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

AN ANALYSIS OF LIFT BEHAVIOUR FOR ENERGY  
CONSERVATION

ศุภประดิษฐ์ มาสงค์

ดุษฎีนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

# การวิเคราะห์พฤติกรรมลิฟต์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน



ศุภประดิษฐ์ มาสงค์

ดุชนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์พฤติกรรมลิฟต์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

An Analysis of Lift Behaviour for Energy Conservation

ชื่อ - นามสกุล

นายศุภประดิษฐ์ มาสงค์

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา

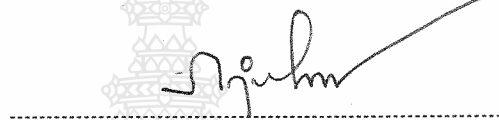
รองศาสตราจารย์บุญยัง ปลั่งกลาง, Dr.-Ing.


ปีการศึกษา

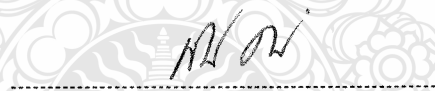
2565


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์เวทิน ปิยรัตน์, วศ.ด.)

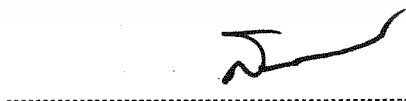
  
กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, D.Eng.)

  
กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐภัทร พันธุ์คง, Ph.D.)

  
กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรินทร์ แห่งมงาม, Ph.D.)

  
กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์บุญยัง ปลั่งกลาง, Dr.-Ing.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีบัณฑิต

  
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาสุปรีย์, Ph.D.)  
วันที่ 22 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2566

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การวิเคราะห์พฤติกรรมลิฟต์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน  
ชื่อ - นามสกุล          นายศุภประดิษฐ์ มาสงค์  
สาขาวิชา                วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ที่ปรึกษา        รองศาสตราจารย์บุญยัง ปลั่งกลาง, Dr.-Ing.  
ปีการศึกษา                2565

## บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้งานของระบบลิฟต์สำหรับอาคารควบคุม 5 ประเภท โดยการใช้ข้อมูลการเคลื่อนที่ น้ำหนักบรรทุก ทิศทางการเคลื่อนที่ ด้วยการใช้ระบบตรวจการณ์ของระบบลิฟต์ และเทคนิคการวัดพลังงานจากระบบลิฟต์ เป็นการบันทึกข้อมูลการใช้งานลิฟต์แบบต่อเนื่อง เพื่อนำมาวิเคราะห์และสร้างรูปแบบของการจราจรและโหนดโปรไฟล์ของลิฟต์ในอาคารควบคุม 5 ประเภท เพื่อนำไปกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารควบคุม

การวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานของระบบลิฟต์ ดำเนินการด้วยเทคนิคการวัดพลังงานและบันทึกข้อมูลการจราจรจากระบบควบคุมของลิฟต์ในอาคารควบคุม 5 ประเภท นำมาใช้กำหนดเป็นประเภทพฤติกรรมการจราจรของลิฟต์ ที่มีผลต่อการใช้พลังงาน ประกอบด้วย การเข้า การออก และการโดยสารภายในอาคาร ค่าพลังงานจากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือวิเคราะห์พลังงานถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ และการเปรียบเทียบรูปแบบของโหนดโปรไฟล์ ความหนาแน่นของประชากรและการใช้พลังงานของระบบลิฟต์ สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ถูกนำมาใช้หาความสัมพันธ์ของรูปแบบการใช้พลังงานของอาคารควบคุมทั้ง 5 ประเภท

จากผลการวิเคราะห์รูปแบบความสัมพันธ์การใช้พลังงานของลิฟต์ ด้วยรูปแบบตัวแทนสมการทางคณิตศาสตร์ในอาคารควบคุมทั้ง 5 ประเภท ได้แก่ อาคารควบคุมประเภท ที่พักอาศัย โรงพยาบาล สำนักงาน มหาวิทยาลัย และโรงแรม แล้วนำสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ไปทดสอบกับข้อมูลวัดจริง เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ของแต่ละประเภทอาคาร มีค่าเป็น 2.87, 3.40, 3.51, 3.66 และ 3.73% ตามลำดับ จะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อน (MAPE) มีค่าน้อยกว่า 4% จึงสามารถนำสมการที่สร้างขึ้นไปใช้เป็นตัวแทน รูปแบบของการเคลื่อนที่และโหนดของลิฟต์ได้

**คำสำคัญ:** การขนส่งในแนวตั้ง รูปแบบการจราจร ลิฟต์ พลังงาน อาคารควบคุม



<b>Dissertation Title</b>	An Analysis of Lift Behaviour for Energy Conservation
<b>Name – Surname</b>	Mr. Supapradit Marsong
<b>Program</b>	Electrical Engineering
<b>Dissertation Advisor</b>	Associate Professor Boonyang Plangklang, Dr.-Ing.
<b>Academic Year</b>	2022

## ABSTRACT

This dissertation aimed to analyze the usage behaviour of lift systems in 5 types of regulated buildings. A lift surveillance system was used to collect the data of lift motion, passenger weight, and traveling direction. An energy measuring technique was used to record the energy consumption of the lifts continuously. The collected data from the lift systems were analyzed to create traffic patterns and load profiles for the lifts in regulated buildings. The ultimate aim of the study was to establish energy conservation measures for regulated buildings.

The analysis of lift energy consumption behaviour was conducted using the recorded traffic data from the lift control system in 5 types of regulated buildings. The traffic data were used to categorize the type of lift traffic patterns that affected energy consumption, including incoming, outgoing, and inter-floor traffic within the buildings. The measured energy values from the energy analyzing tools were used to analyze and compare load profile patterns, passenger density, and energy consumption of the lift system. The mathematical equations obtained from the analysis were used to determine the energy consumption patterns of all 5 types of regulated buildings.

From the results of the analyses of energy consumption behaviour and traffic patterns of the lifts, mathematical models were obtained for all 5 types of regulated buildings, including residential buildings, hospitals, office buildings, universities, and hotels. It was found that the mean absolute errors (MAPE) between the obtained mathematical model and the actual measured data were 2.87, 3.40, 3.51, 3.66, and 3.73%, respectively. This revealed that the overall error of MAPE was less than 4%. Therefore, the obtained mathematical models can be used as representative models for the lift traffic patterns and load profiles.

**Keywords:** vertical transportation, traffic pattern, lift, energy, regulated building

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง ที่ให้คำแนะนำการวิเคราะห์ พฤติกรรมของลิฟต์ เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน จัดหาอุปกรณ์ประกอบในการทำวิจัย ตลอดจนคำแนะนำ และการช่วยเหลือในการเผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสารระดับชาติและนานาชาติ ขอขอบคุณคณาจารย์ และเพื่อนปริญญาเอกทุกท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา คงจิ้น และ ดร.รุ่งเพชร ก่องนอก ที่ให้ คำแนะนำตลอดจนช่วยเหลือและผลักดัน ซึ่งทำให้การจัดทำทำดุษฎีนิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดี

ขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี ทุกคนที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือตลอดจน คำแนะนำทุกด้าน รวมถึงให้การสนับสนุนช่วยเหลือให้ดุษฎีนิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณบริษัทเจ้าของผลิตภัณฑ์ชั้นนำระดับโลก ได้แก่ มิตซูบิชิ โอทิส ฮิตาชิ ซินเลอร์ และ โคนเน ที่ ให้การสนับสนุนข้อมูลประกอบการวิจัยรวมถึงสถานที่และอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัย ในครั้งนี้สำเร็จ ลุล่วงได้เนื่องจากกำลังใจจากทุกคนในครอบครัว คุณพ่อเชี่ยม และคุณแม่สมพิศ มาสงค์ ผู้คอยให้ กำลังใจและให้การสนับสนุนด้วยดีตลอดมา เพื่อนร่วมงานทุกท่าน ตลอดจนบุคคลท่านอื่นที่ไม่ได้เอ่ย นาม ณ ที่นี้

ศุภประดิษฐ์ มาสงค์

## สารบัญ

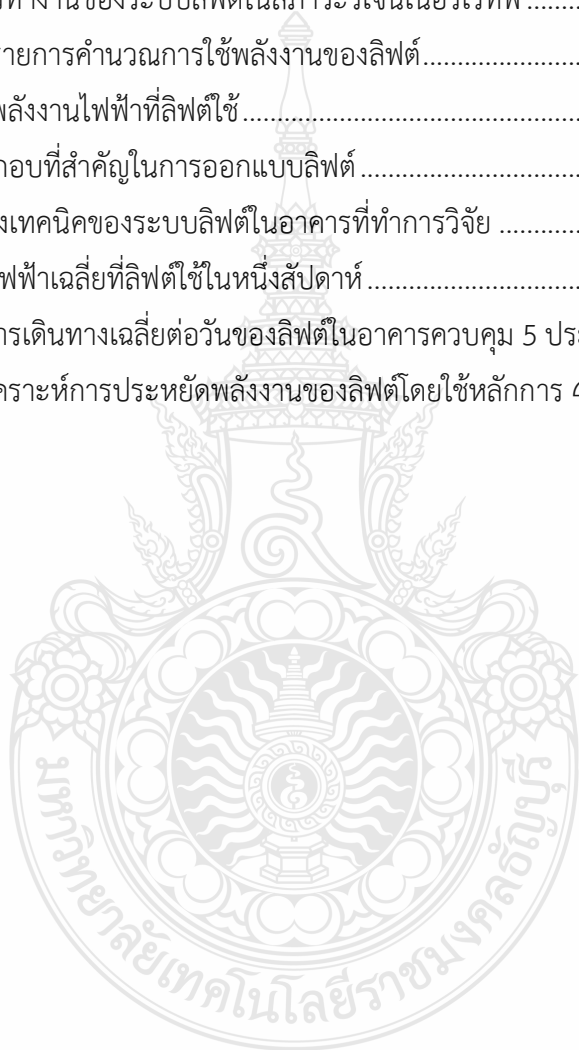
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(4)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(5)
กิตติกรรมประกาศ.....	(6)
สารบัญ .....	(7)
สารบัญตาราง .....	(9)
สารบัญรูป .....	(10)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ .....	(12)
บทที่ 1 บทนำ.....	13
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	13
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	18
1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย.....	18
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	18
1.5 ขั้นตอนของการวิจัย.....	18
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	19
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	20
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	20
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	29
2.3 ประวัติและที่มาของลิฟต์ .....	33
2.4 การออกแบบระบบลิฟต์ในอาคาร.....	44
2.5 ขั้นตอนการออกแบบระบบลิฟต์ .....	45
2.6 รูปแบบการจราจรของลิฟต์.....	48
2.7 การอนุรักษ์พลังงานในระบบลิฟต์.....	49
2.8 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ .....	51

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย.....	53
3.1 ขั้นตอนการวิจัย .....	53
3.2 การคัดเลือกอาคารตัวอย่าง .....	55
3.3 การนำข้อมูลการจราจรออกจากระบบลิฟต์.....	56
3.4 การวัดพลังงานในลิฟต์.....	60
3.5 สรุปท้ายบท .....	65
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	66
4.1 การวิเคราะห์รูปแบบพฤติกรรมจราจรของลิฟต์ในอาคารควบคุม.....	66
4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพลังงาน ระยะทาง และภาระของลิฟต์.....	72
4.3 ทดสอบสมการตัวแทนการใช้พลังงานของลิฟต์โดยใช้เทคนิค MAPE.....	82
4.4 การวิเคราะห์พลังงานของลิฟต์ ตามหลักการของ 4 Quadrant.....	84
4.5 ตัวอย่างเปรียบเทียบลิฟต์แบบที่ใช้ระบบคืนพลังงานกับค่าพลังงาน .....	87
4.6 สรุปท้ายบท .....	88
บทที่ 5 บทสรุป .....	89
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ พฤติกรรมลิฟต์ในอาคารควบคุม .....	89
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	90
บรรณานุกรม.....	89
ภาคผนวก ก งานตีพิมพ์เผยแพร่ .....	98
ภาคผนวก ข เครื่องมือวิเคราะห์พลังงาน.....	215
ภาคผนวก ค กราฟความสัมพันธ์ของพลังงาน ระยะทาง และภาระของอาคารควบคุม ทั้ง 5 ประเภท .....	220
ประวัติผู้เขียน .....	226

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มการใช้พลังงานในอาคาร.....	26
ตารางที่ 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของลิฟต์.....	27
ตารางที่ 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มการประหยัดพลังงานในอาคารและระบบลิฟต์.....	28
ตารางที่ 2.4 โหมดการทำงานของระบบลิฟต์ในสภาวะรีเจนเนอเรทีฟ.....	37
ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างรายการคำนวณการใช้พลังงานของลิฟต์.....	43
ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างพลังงานไฟฟ้าที่ลิฟต์ใช้.....	44
ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบลิฟต์.....	45
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลทางเทคนิคของระบบลิฟต์ในอาคารที่ทำการวิจัย.....	56
ตารางที่ 3.2 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ลิฟต์ใช้ในหนึ่งสัปดาห์.....	64
ตารางที่ 4.1 จำนวนการเดินทางเฉลี่ยต่อวันของลิฟต์ในอาคารควบคุม 5 ประเภท.....	71
ตารางที่ 4.2 ตารางวิเคราะห์การประหยัดพลังงานของลิฟต์โดยใช้หลักการ 4 QUADRANT.....	85



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 อาคารโรงพยาบาลบำรุงราษฎร์.....	14
รูปที่ 1.2 อาคารโรงแรมพลาซ่าแอทธินี.....	15
รูปที่ 1.3 อาคารเซ็นทรัลเวิลด์.....	16
รูปที่ 1.4 เฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยสยาม.....	16
รูปที่ 1.5 อาคารที่พักอาศัย.....	17
รูปที่ 2.1 พลังงานไฟฟ้ารวมของระบบขับเคลื่อนของลิฟต์ประเภทต่างๆ.....	21
รูปที่ 2.2 การใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องลิฟต์ที่ใช้แรงจุดจากความฝืดขับเคลื่อนด้วยเฟือง(GEARED MACHINE)และขับเคลื่อนโดยตรง(GEARLESS MACHINE).....	42
รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของระบบลิฟต์.....	33
รูปที่ 2.4 ลิฟต์ประเภทใช้เฟืองทด.....	35
รูปที่ 2.5 ลิฟต์ประเภทไม่ใช้เฟืองทด.....	36
รูปที่ 2.6 การทำงานของมอเตอร์ในสภาวะต่างๆ โดยเปรียบเทียบระหว่างความเร็วและแรงบิด.....	38
รูปที่ 2.7 การทำงานของมอเตอร์ระหว่างความเร็วและแรงบิดในแต่ละช่วงเวลา.....	39
รูปที่ 2.8 การทำงานของมอเตอร์ระหว่างความเร็วและแรงบิดในแต่ละช่วงเวลา.....	39
รูปที่ 2.9 มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร.....	40
รูปที่ 2.10 โครงสร้างของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร 3 เฟสมีขั้วแม่เหล็ก 4 ขั้ว (2 คู่ขั้ว).....	41
รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงาน.....	54
รูปที่ 3.2 ข้อมูลการอนุญาตก่อสร้างอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน.....	55
รูปที่ 3.3 หน้าจอแสดงผลของระบบควบคุมและสังเกตการณ์ของระบบลิฟต์.....	57
รูปที่ 3.4 แผนผังโครงข่ายของระบบลิฟต์.....	58
รูปที่ 3.5 ข้อมูลการเรียกลิฟต์ทิศทางขึ้นและลงของอาคารประเภทที่พักอาศัย.....	59
รูปที่ 3.6 การติดตั้งเครื่องมือวัดพลังงานกับระบบลิฟต์ในอาคารควบคุม.....	60
รูปที่ 3.7 จุดติดตั้งเครื่องมือวัดพลังงานสำหรับลิฟต์.....	60
รูปที่ 3.8 ชุดเกียร์และมอเตอร์ (ก) และ ชุดตัวต้านทานสำหรับเบรก (ข).....	61
รูปที่ 3.9 จุดติดตั้งเครื่องมือวัดพลังงานในตัวจ่ายไฟ.....	62
รูปที่ 3.10 การติดตั้งเครื่องมือวิเคราะห์พลังงานในห้องเครื่องลิฟต์.....	63
รูปที่ 3.11 การติดตั้งชุดวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของลิฟต์ในตัวควบคุม.....	63
รูปที่ 3.12 ตัวอย่างผลการตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ลิฟต์ใช้ในหนึ่งวัน.....	64

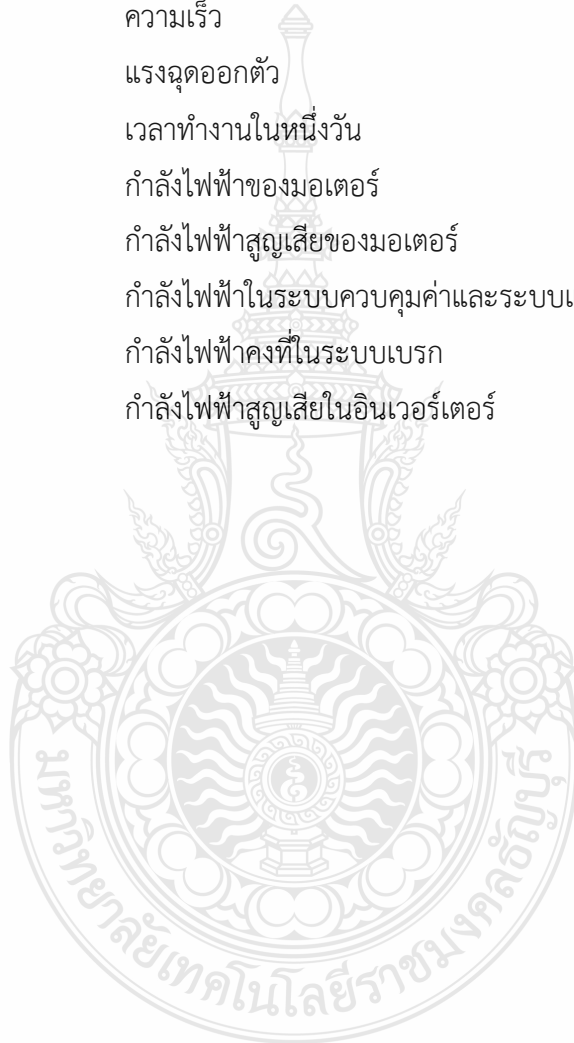
## สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.1	พฤติกรรมการจราจรของลิฟต์สำหรับอาคารควบคุมประเภทที่พักอาศัยรวม.....	66
รูปที่ 4.2	พฤติกรรมการจราจรของอาคารควบคุมประเภทโรงพยาบาล.....	67
รูปที่ 4.3	พฤติกรรมการจราจรของอาคารควบคุมประเภทสำนักงาน .....	68
รูปที่ 4.4	พฤติกรรมการจราจรของอาคารควบคุมประเภทมหาวิทยาลัย .....	69
รูปที่ 4.5	การจราจรของอาคารควบคุมประเภทโรงแรม .....	70
รูปที่ 4.6	ค่าพลังงานและภาระของลิฟต์ประเภทที่พักอาศัยรวม.....	72
รูปที่ 4.7	ค่าพลังงานไฟฟ้าของลิฟต์ระยะทางและภาระ อาคารควบคุมประเภทที่พักอาศัยรวม.....	73
รูปที่ 4.8	ค่าพลังงานและภาระของลิฟต์ประเภทโรงพยาบาล.....	74
รูปที่ 4.9	ความสัมพันธ์ของพลังงาน ระยะทาง และภาระของลิฟต์ประเภทโรงพยาบาล .....	75
รูปที่ 4.10	ค่าพลังงานและภาระของลิฟต์ประเภทสำนักงาน .....	76
รูปที่ 4.11	กราฟความสัมพันธ์ของพลังงาน ระยะทาง และภาระของลิฟต์ประเภทสำนักงาน.....	77
รูปที่ 4.12	กราฟความสัมพันธ์ของพลังงานและภาระของลิฟต์ประเภทมหาวิทยาลัย.....	78
รูปที่ 4.13	กราฟความสัมพันธ์ของพลังงาน ระยะทาง และภาระของลิฟต์ประเภทมหาวิทยาลัย .....	79
รูปที่ 4.14	ค่าพลังงานและภาระของลิฟต์ประเภทโรงแรม.....	80
รูปที่ 4.15	ความสัมพันธ์ของพลังงาน ระยะทาง และภาระของลิฟต์ประเภทโรงแรม .....	81
รูปที่ 4.16	เปรียบเทียบค่าจากการทำนายกับค่าที่วัดได้ของอาคารประเภทที่พักอาศัยรวม.....	82
รูปที่ 4.17	เปรียบเทียบค่าจากการทำนายกับค่าที่วัดได้ของอาคารประเภทโรงพยาบาล .....	82
รูปที่ 4.18	เปรียบเทียบค่าจากการทำนายกับค่าที่วัดได้ของอาคารประเภทสำนักงาน .....	83
รูปที่ 4.19	เปรียบเทียบค่าจากการทำนายกับค่าที่วัดได้ของอาคารประเภทมหาวิทยาลัย .....	83
รูปที่ 4.20	เปรียบเทียบค่าจากการทำนายกับค่าที่วัดได้ของอาคารประเภทโรงแรม .....	84
รูปที่ 4.21	กราฟพลังงานที่ลิฟต์ใช้ไปสำหรับอาคารประเภท ที่พักอาศัย แบบ NON REGENERATIVE.....	87

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$t_{av}$	เวลาในการขนส่งที่นับรวมเวลาประตูทำงาน
$S_{av}$	ระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ย
$v$	ความเร็ว
$j$	แรงฉุดออกตัว
$t_d$	เวลาทำงานในหนึ่งวัน
$P_m$	กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์
$P_l$	กำลังไฟฟ้าสูญเสียของมอเตอร์
$P_c$	กำลังไฟฟ้าในระบบควบคุมค่าและระบบแสงสว่างพิจารณาเป็นคงที่
$P_b$	กำลังไฟฟ้าคงที่ในระบบเบรก
$P_i$	กำลังไฟฟ้าสูญเสียในอินเวอร์เตอร์





# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แนวความคิดเกี่ยวกับการนำพลังงานที่มีอยู่จากการใช้งานลิฟต์ มาใช้งานโดยทำให้ลิฟต์ที่ทำงานในสถานะที่สามารถทำงานเป็นเครื่องกำเนิดสามารถผลิตไฟฟ้าคืนกลับมายังระบบที่มีอยู่ได้ ในปัจจุบันอาคารที่ใช้งานส่วนใหญ่ มีแนวโน้มที่จะมีการก่อสร้างอาคารสูงเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากพื้นที่ซึ่งมีอยู่จำกัด ดังนั้นในการสัญจร หรือเดินทางขึ้นลงระหว่างชั้น จึงจำเป็นต้องใช้ลิฟต์ในการสัญจรเดินทาง ของผู้คน แม้กระทั่งการขนส่งสิ่งของเครื่องใช้ที่จำเป็น ดังนั้นการใช้ลิฟต์จึงมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วยตามลำดับ ซึ่งลิฟต์ที่ที่ใช้งานอยู่เกือบทั้งหมดทำงานด้วยระบบมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการทำงานของลิฟต์นั้นจะอยู่ในปริมาณที่สูง ส่งผลทำให้เกิดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าสูงตามมาเป็นลำดับ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีต่างๆมาประยุกต์ใช้เพื่อให้การใช้พลังงานในระบบลิฟต์ลดลง เช่น การใช้อินเวอร์เตอร์ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า โดยการปรับแรงดันไฟฟ้า และความถี่ (Variable Voltage Variable Frequency) ทำให้มอเตอร์ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ การขับเคลื่อนสายพานแบบไม่ใช้ชุดเฟืองโดยต่อตรงกับเพลามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง หรือมอเตอร์ไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวร ทำให้ไม่เกิดพลังงานสูญเสียในชุดเฟือง การปรับปรุงสายพานให้มีความเสียดทานลดลง และสามารถดัดโค้งได้มากขึ้น ซึ่งจะช่วยลดขนาดและน้ำหนักของล้อสายพานได้ การควบคุมการทำงานของลิฟต์หลายๆตัวให้เกิดผลประหยัดสูงสุด ซึ่งใช้วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ ในดัชนีพนธ์นี้จะทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการผลิตไฟฟ้าจากระบบลิฟต์ซึ่งอาศัยหลักการทำงานบางช่วงของมอเตอร์ในระบบลิฟต์ ที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อจ่ายคืนไฟฟ้าที่ผลิตได้ให้กับระบบไฟฟ้า ซึ่งผลของการทำงานในลักษณะนี้ จะช่วยให้การใช้พลังงานโดยรวมของระบบลิฟต์ลดลงได้ ดุษฎีนิพนธ์นี้ได้ทำการวิเคราะห์พฤติกรรมของอาคารควบคุมที่จะดำเนินการติดตั้งระบบดังกล่าว โดยมุ่งประเด็นการศึกษาวิจัยเพื่อให้ครอบคลุมกลุ่มของอาคาร ดังนั้น จึงมุ่งเป้าหมายของการศึกษา ไปยังอาคารควบคุม โดยจัดแบ่งตามระเบียบว่าด้วย อาคารควบคุมกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานซึ่งประกอบด้วย 5 อาคาร ได้แก่ อาคารที่พักอาศัยรวม อาคารโรงพยาบาล อาคารสำนักงาน อาคารโรงแรม และ อาคารสถานศึกษา

จากอาคารที่สนใจศึกษา ทั้ง 5 อาคารนี้ โดยแต่ละอาคารนั้นจะมีลิฟต์ที่ติดตั้งอยู่ ซึ่งขนาดและจำนวนของลิฟต์ นั้นจะขึ้นอยู่กับ พื้นที่ใช้สอยของอาคารที่แตกต่างกัน เริ่มต้นจาก โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์ อินเตอร์เนชั่นแนล เปิดให้บริการในปี พ.ศ. 2540 เป็นโรงพยาบาลเอกชนซึ่งมีขนาดใหญ่ที่สุดในเอเชียอาคเนย์ มีพื้นที่ทั้งหมด 70,262 ตารางเมตร อาคารสูง 12 ชั้น คิดเป็นความสูงโดยเฉลี่ยประมาณ 36 เมตร ซึ่งเป็นอาคารที่น่าสนใจในการติดตั้งระบบคั้นพลังงานจากลิฟต์เนื่องจากเป็นอาคารที่มีอายุมากกว่า 25 ปีและเป็นเทคโนโลยีของระบบลิฟต์ โดยบริษัท โอทิส เอลเลเวเตอร์ ประเทศไทย จำกัด รวมถึงจอดรถขึ้นใต้ดิน ลานจอดเฮลิคอปเตอร์ เป็นโรงพยาบาลแห่งแรกในเอเชียที่ได้รับการรับรองคุณภาพระดับสากล ในการให้บริการโรงพยาบาลเอกชนขนาด 580 เตียง โดยทีมงานบริหารจากนานาประเทศ พร้อมแพทย์ผู้เชี่ยวชาญกว่า 1,200 ท่าน โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์ อินเตอร์เนชั่นแนล ตั้งอยู่ในย่านธุรกิจของกรุงเทพมหานคร มีผู้ใช้บริการจำนวน 1.1 ล้านคนต่อปี เป็นผู้ใช้บริการชาวต่างประเทศกว่า 520,000 คนต่อปี สามารถรองรับผู้ป่วยนอกได้ 5,500 รายต่อวันจาก 190 ประเทศทั่วโลก และแน่นอนว่าปริมาณการจราจรโดยเฉพาะลิฟต์โดยสารภายในอาคารนั้น ย่อมมีความหนาแน่นสำหรับการตอบสนองต่อผู้ใช้บริการอย่างสูงสุด



รูปที่ 1.1 อาคารโรงพยาบาลบำรุงราษฎร์

ที่มา : <https://www.bumrungrad.com/th/about-us/bumrungrad-factsheet>

โรงแรมพลาซ่าแอทธินี เป็นโรงแรมหรูที่ตั้งอยู่ในใจกลางกรุงเทพฯ ประเทศไทย อาคารสูง 31 ชั้น มีพื้นที่ให้เช่าสุทธิประมาณ 59,000 ตารางเมตร โรงแรมให้บริการห้องพักและห้องสวีทที่ตกแต่งอย่างหรูหรา รวมถึงห้องอาหารที่หลากหลาย สิ่งอำนวยความสะดวกเช่น ระบบลิฟต์ เพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ และบริการทางธุรกิจ ทำเลที่ตั้งอันยอดเยี่ยมของโรงแรมผสมผสานกับสิ่งอำนวยความสะดวกชั้นเยี่ยมทำให้เป็นตัวเลือกที่เหมาะสมสำหรับทั้งนักท่องเที่ยวและนักธุรกิจ



รูปที่ 1.2 อาคารโรงแรมพลาซ่าแอทธินี

ที่มา : <https://www.assetworldcorp-th.com/en>

อาคารสำนักงาน เป็นอีกกลุ่มอาคารที่ถูกออกแบบและสร้างเพื่อรองรับการเจริญเติบโตที่ขยายตัวที่สูงขึ้นของเมือง ดังนั้นเพื่อให้สะดวกในการติดต่อธุรกิจ หรือการทำกิจกรรมทางด้านการค้าที่สะดวกรวดเร็วการสร้างอาคารสำนักงานเพื่อให้เช่าพื้นที่ดำเนินการดังกล่าว The Office Bangkok by Central Group เป็นอาคารสำนักงานที่ทันสมัยตั้งอยู่ใจกลางกรุงเทพฯ ประเทศไทย อาคารมีพื้นที่สำนักงานคุณภาพสูงพร้อมเทคโนโลยีและสิ่งอำนวยความสะดวกที่ทันสมัย อาคารสูง 29 ชั้นให้ทัศนียภาพอันงดงามของเมือง อาคารมีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 47,000 ตารางเมตรและเชื่อมต่อกับระบบขนส่งสาธารณะได้ดี ผู้เช่าสามารถใช้ประโยชน์จากสิ่งอำนวยความสะดวกมากมายรวมถึงร้านอาหารห้องประชุมและที่จอดรถในสถานที่จึงเป็นเรื่องจำเป็น และหลีกเลี่ยงได้ยาก ดังนั้นจึงมีการสร้างอาคารดังกล่าวขึ้น กรณีที่เป็นอาคารสูง ความจำเป็นที่จะต้องใช้ลิฟต์ ในการสัญจรไป มาระหว่างชั้น จึงมีความจำเป็นมาก





รูปที่ 1.3 อาคารเซ็นทรัลเวิลด์

ที่มา : <http://th.wikipedia.org/wiki/เซ็นทรัลเวิลด์>

อาคารประเภท สถานศึกษา ในปัจจุบัน เพื่อรองรับการพัฒนา การเรียนการสอน และรองรับจำนวนนักศึกษาให้เพียงพอ อีกทั้งยังรองรับเทคโนโลยีที่สูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของราคาที่ดิน ดังนั้นสถานศึกษาต่างๆ จึงต้องสร้างอาคารในพื้นที่จำกัด ตัวอย่างเช่น มหาวิทยาลัยสยาม มีการใช้งานอาคารสูง เพื่อใช้สำหรับการเรียนการสอน และการศึกษาวิจัยค้นคว้า เช่น อาคารเฉลิมพระเกียรติ อาคารสูง 19 ชั้น ตั้งอยู่ เลขที่ 38 ถนนเพชรเกษม แขวงบางหว้า เขตภาษีเจริญ กรุงเทพมหานคร 10160 ระยะเวลาสูงประมาณ 76 เมตร ซึ่งการสัญจรในอาคาร จำเป็นต้องใช้ลิฟต์โดยสารในการสัญจรเดินทาง มีพื้นที่รวมประมาณ 25,000 ตารางเมตร และเชื่อมโยงกับสายรถโดยสารโดยสะดวก



รูปที่ 1.4 เฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยสยาม

ที่มา : <https://blog.eduzones.com/magazine/156149>



รูปที่ 1.5 อาคารที่พักอาศัย

ที่มา : <https://www.raimonland.com/th/projects/residential/49/>

The River (เดอะ ริเวอร์) เป็นคอนโดมิเนียมที่ถูกพัฒนาโดย รามอน แลนด์ ตั้งอยู่บน ซอย เจริญนคร 13 ถนนเจริญนคร แขวงคลองตันไทร เขตคลองสาน กรุงเทพมหานคร 10600 แขวงคลองตันไทร เขตคลองสาน กรุงเทพมหานคร 10600 รามอน แลนด์ คือเจ้าของโครงการ เดอะ ลีเจนด์ ศาลาแดง ยูนิกซ์ เซาท์ พัทยา และ ดี เอสเทลล์ พร้อมพงษ์ โครงสร้างของ เดอะ ริเวอร์ แล้วเสร็จในปี 2010 คอนโดนี้ มีจำนวน 2 อาคาร สูง 74 ชั้น รวมทั้งหมด 838 ยูนิต

จากสภาพอาคารใช้งานที่กล่าวมานั้น งานวิจัยนี้จึงสนใจพฤติกรรมการใช้งานลิฟต์โดยสาร หรือเรียกว่าระบบขนส่งแนวตั้ง เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมการจราจรของระบบขนส่งแนวตั้ง ของอาคาร 5 ชนิดอาคารดังกล่าว จากการสืบค้นเบื้องต้น พบว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ระบบลิฟต์จะผลิตได้นั้นขึ้นอยู่กับน้ำหนักผู้โดยสารที่ลิฟต์บรรทุก และทิศทางการเคลื่อนที่ของลิฟต์ ซึ่งในที่นี้จะกล่าว โดยรวมว่า สภาพการจราจรในระบบลิฟต์ (Traffic pattern) ดังนั้น ระบบลิฟต์ที่มีสภาพการจราจร ต่างกันจึงมีศักยภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ต่างกัน และเพื่อปรับปรุงระบบลิฟต์ให้สามารถผลิต กระแสไฟฟ้าได้จะต้องลงทุนด้วยเงินจำนวนมาก ดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงาน ของระบบลิฟต์ สำหรับอาคารควบคุม เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงจะทำการรวบรวม ข้อมูลสภาพการจราจรของอาคาร และประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารควบคุม เพื่อเป็นข้อมูล เบื้องต้นให้ผู้ที่สนใจสถาปนิก ผู้ออกแบบในการออกแบบและเลือกใช้ระบบลิฟต์ในอาคารอนุรักษ์ พลังงานที่ยั่งยืน สืบต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อสำรวจและเก็บข้อมูลการจราจรของระบบลิฟต์ในอาคารควบคุม 5 ประเภท
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการจราจรของลิฟต์ที่ใช้ในอาคารควบคุม 5 ประเภท
- 1.2.3 เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของลิฟต์ น้ำหนักบรรทุก และทิศทางการเคลื่อนที่ที่มีผลกับค่าพลังงานที่ใช้ ในอาคารควบคุม 5 ประเภท

## 1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

- 1.3.1 พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของลิฟต์รวมถึงน้ำหนักบรรทุกและทิศทางการเคลื่อนที่ จะมีผลกระทบต่อการใช้พลังงานในอาคารควบคุม 5 ประเภท
- 1.3.2 รูปแบบการจราจรของระบบลิฟต์ในอาคารควบคุม 5 ประเภท จะแตกต่างกัน
- 1.3.3 สามารถวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ลิฟต์ใช้จากพฤติกรรมการเคลื่อนที่ ในอาคารควบคุมอาคารควบคุม 5 ประเภท ในรูปแบบของโพลดิโพรไฟล์

## 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.4.1 ทำการสำรวจและเก็บข้อมูลการจราจรจากระบบลิฟต์จากอาคารควบคุมทั้ง 5 ประเภทโดยพิจารณาการเลือกจากอาคารควบคุมขนาดใหญ่ ตามกฎกระทรวงได้แก่อาคารประเภทที่พักอาศัย โรงพยาบาล อาคารสำนักงาน มหาวิทยาลัย และโรงแรม
- 1.4.2 วิเคราะห์รูปแบบพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของลิฟต์ที่ใช้ในอาคารควบคุมทั้ง 5 ประเภทในรูปแบบของ Lift traffic pattern profiles ( เข้า ออก และ ภายในอาคาร)
- 1.4.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกจากระบบลิฟต์และค่าพลังงานที่ลิฟต์ใช้ในอาคารควบคุมแต่ละประเภท สำหรับการใช้งานตลอดช่วงเวลาใน เดือนมีนาคม ในเวลาทำการ ตั้งแต่เวลา 06.00 น.-20.00 น. เป็นเวลาทั้งสิ้น 30 วัน
- 1.4.4 ตัวอย่างอาคารเป็นอาคารควบคุมที่ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานครเท่านั้น

## 1.5 ขั้นตอนของการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การสำรวจและบันทึกข้อมูลการใช้งานของลิฟต์จากระบบควบคุมของลิฟต์จากอาคารควบคุมทั้ง 5 ประเภท และติดตั้งเครื่องมือวัดพลังงานที่ระบบลิฟต์เพื่อนำค่าที่วัดได้มาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลที่ได้จากลิฟต์

- 1.5.1 ศึกษารวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลของระบบลิฟต์ และข้อมูลอาคาร
- 1.5.2 คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบจำเพาะเจาะจงสำหรับอาคารควบคุม
- 1.5.3 รวบรวมข้อมูล การใช้งานของระบบลิฟต์ จากอาคารควบคุม
- 1.5.4 ติดตั้งเครื่องมือวัดวิเคราะห์พลังงานที่ระบบลิฟต์ ที่อาคารควบคุม
- 1.5.5 คัดกรองข้อมูลที่ได้จากระบบลิฟต์ และจากเครื่องวัด พลังงาน เพื่อนำไปวิเคราะห์
- 1.5.6 วิเคราะห์พฤติกรรม ของลิฟต์ ที่ได้จาก ระบบควบคุม และจากการวัด
- 1.5.7 หาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error :MAPE) เพื่อการวัดความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์
- 1.5.8 สรุปผล

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถอธิบายพฤติกรรม การใช้พลังงานอย่างประหยัด ของระบบลิฟต์ในอาคารควบคุมได้ ตลอดจนทำให้เห็นแนวโน้มความต้องการต่อใช้งาน สามารถกำหนดนโยบายการใช้พลังงานกับระบบลิฟต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อใช้เป็นกลยุทธ์ที่ช่วยในการออกแบบระบบลิฟต์ที่มีประสิทธิภาพทดแทนระบบเดิม ช่วยให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และลดการใช้พลังงานที่สิ้นเปลือง ตลอดจนการวางแผนปรับปรุงหรือวางแผนการซ่อมบำรุงระบบลิฟต์ในอาคารควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การใช้พลังงานเพื่อตอบสนองการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศได้เพิ่มขึ้นในอัตราที่สูง อันเป็นภาระแก่ประเทศในการลงทุนเพื่อจัดหาพลังงานทั้งในและนอกประเทศไว้ใช้ตามความต้องการที่เพิ่มขึ้นดังกล่าว และปัจจุบันการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานเพื่อให้มีการผลิตและการใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพตลอดจนทำให้ การผลิตเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงและวัสดุที่ใช้ในการอนุรักษ์พลังงานขึ้นภายในประเทศนั้น ยังไม่สามารถเร่งรัดดำเนินงานให้บรรลุเป้าหมายได้

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบขนส่งแนวตั้ง ในอาคารควบคุม 5 ประเภท โดยตรวจวัดที่จุดรับกำลังไฟฟ้าหลักด้วยเครื่องมือวิเคราะห์พลังงานนำมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลที่ได้จากระบบควบคุมลิฟต์ เป็นข้อมูลแบบต่อเนื่องเพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการกำหนดกลยุทธ์สำหรับการอนุรักษ์พลังงานในอาคารควบคุม

#### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

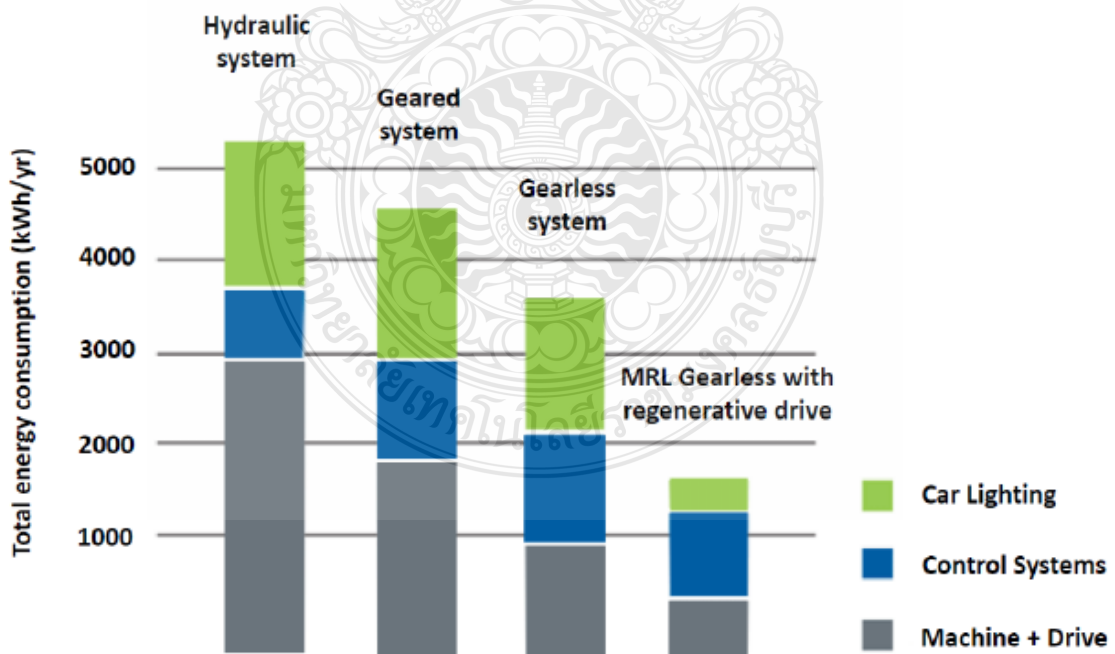
งานวิจัยเรื่องการศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากระบบลิฟต์ที่ใช้มอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ [1] บทความนี้นำเสนอการผลิตไฟฟ้าจากระบบลิฟต์สำหรับมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟจากการศึกษาพบว่ามอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรในลิฟต์สามารถทำงานโดยเปลี่ยนสถานะทางกลเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ทันทีเมื่อมอเตอร์เกิดการหมุนโดยไม่ต้องจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ซึ่งมอเตอร์ก็สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมาจ่ายกลับเข้าระบบเรียกวิธีดังกล่าวมาข้างต้นว่ารีเจนเนอเรทีฟ (Energy Regenerative Unit : ERU) การศึกษานี้จะจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยกล่าวถึงการทำงานในวงจร ERU ซึ่งจะทำงานร่วมกับระบบ Inverter ที่มีอยู่เดิมในระบบลิฟต์โดยจะนำ DC Input Converter นำมาผ่านวงจร ERU เพื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้มาเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบต่อไป

งานวิจัยเรื่องการออกแบบและจำลองอินเวอร์เตอร์แบบสามเฟสสำหรับการเชื่อมต่อกับแผงพลังงานแสงอาทิตย์ [2] บทความนี้นำเสนอ การเชื่อมต่อบริการจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยป้อนพลังงานไฟฟ้ากลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายโดยตรง ซึ่งในบทความนี้จะทำการออกแบบและจำลองระบบอินเวอร์เตอร์แบบสามเฟสโดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink โดยคอนเวอร์เตอร์จะใช้แบบแหล่งจ่ายแรงดันซึ่งสามารถควบคุมการเชื่อมต่อดำเนินการใช้ d-q ในการควบคุมการฉีดกระแสเข้าสู่ระบบ เฟสล็อก



ลูปเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการปรับจูนความถี่และเฟสให้ตรงกับระบบจำหน่าย การออกแบบยังต้องใช้ตัวกรองความถี่ต่ำเพื่อทำการตัดสัญญาณที่มีความเพี้ยนในช่วงความถี่สูงด้วย

งานวิจัยเรื่องการประยุกต์การควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์รีซิสสำหรับยูนิโพลาร์ พีดับเบิลยูเอ็มสำหรับการกรองแบบแอคทีฟ [3] บทความนี้นำเสนอการประยุกต์การควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์รีซิสสำหรับยูนิโพลาร์พีดับเบิลยูเอ็มสำหรับการกรองแบบแอคทีฟที่มีผลต่อค่าผิดพลาดของขนาดและคาบเวลา การปรับเปลี่ยนความถี่จะมีผลต่อการสร้างสัญญาณแบบฮิสเตอร์รีซิส ซึ่งจะรู้กันคือเป็นการป้อนกลับที่ใช้กันในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งจะมีผลต่อค่าฮาร์มอนิกและมีผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้า การประยุกต์นี้เป็นการควบคุมความกว้างของการปรับเปลี่ยนค่าความถี่ของสัญญาณฮิสเตอร์รีซิส ปัญหาที่เกิดเนื่องจากการปรับเปลี่ยนความถี่เมื่อค่ากระแสวิ่งเข้าใกล้ศูนย์ ขนาดของสัญญาณและคาบเวลาที่ควบคุมโหลดกระแสและค่าระดับแรงดันเปลี่ยน การจำลองการทำงานนั้นได้ทำการปรับเปลี่ยนและควบคุมขนาดของสัญญาณให้มีความผิดพลาดน้อยที่สุด ช่วงเวลาจำนวนน้อยของการควบคุมกำลังไฟฟ้าเหล่านี้ในแต่ละวันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในการประหยัดพลังงาน โดยทั่วไปไดรฟ์แบบคืนพลังงาน สามารถลดการใช้พลังงานระหว่าง 20% ถึง 40% [4] การประหยัดพลังงานขึ้นอยู่กับตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ระยะเวลาระหว่างการเดินทาง ความถี่ รูปแบบการใช้และอายุของอุปกรณ์ โดยรวมแล้วระยะทางที่ยาวนานและ ยิ่งมากขึ้นเท่านั้นจำนวนครั้งต่อการเดินทางทำให้เกิดพลังงานที่สร้างขึ้นมากขึ้น(รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 พลังงานไฟฟ้ารวมของระบบขับเคลื่อนของลิฟต์ประเภทต่างๆ

ที่มา: <https://www.kone.com>

บทความเรื่องการทบทวนการใช้พลังงานลิฟต์ [3] บทความนี้นำเสนอการทบทวนการใช้พลังงานลิฟต์ภาพรวมโดยทั่วไปของวิธีการเหล่านี้และการนำไปใช้งานจาก ตัวอย่างและวิธีการหลายๆ งาน จากนั้นจะวางไว้ในกรอบทั่วไปและกล่าวถึงข้อดีและข้อเสียของงานแต่ละประเภท สิ่งที่น่าสนใจ การทำงานในด้านการใช้พลังงานนั้น มีสาเหตุมาจากปัจจัยหลักสี่ประการคือ การหาค่าการใช้พลังงานของการติดตั้งในแบบเฉพาะ การเปรียบเทียบประเภทของโครง หรือส่วนประกอบ การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบลิฟต์เพื่อลดการใช้พลังงาน การประมาณการณ์การใช้พลังงานของการออกแบบระบบลิฟต์แบบใหม่ ส่วนวิธีที่จะใช้ในการประเมินการใช้พลังงานของระบบลิฟต์ มี 5 แบบ คือ การคำนวณตามหลักการแรก การคำนวณโดยใช้สูตรและตารางที่ได้มาจากประสบการณ์ การวัดเท่านั้น การรวมกันของการวัดและการคำนวณ การสร้างแบบจำลองและการจำลอง

ข้อเสียเปรียบหลักๆของวิธีการวัดและการคำนวณจาก หลักการข้อแรกก็คือ สามารถได้มาจากกฎทั่วไปเท่านั้น แต่ไม่สามารถขยายเพื่อคำนวณหาพลังงานที่แน่นอนสำหรับระบบอื่นได้โดยทั่วไป มักใช้เพื่อเปรียบเทียบโครงประเภทต่างๆ มีการใช้การวัดและการคำนวณร่วมกันภายในโครงของลิฟต์แบบต่างๆเพื่อหารูปแบบความเร็ว ที่แตกต่างกันเพื่อลดการใช้พลังงานในการเดินทาง การคำนวณโดยใช้ตารางที่ได้มาจากประสบการณ์มีข้อได้เปรียบหลักที่กำหนดวิธีการทั่วไปในการคำนวณพลังงานสำหรับลิฟต์อื่น ๆ แต่ก็ไม่ได้ถูกต้องหรือยืดหยุ่นเท่ากับเทคนิคการสร้างแบบจำลอง การสร้างแบบจำลองนั้นสามารถหาค่าการใช้พลังงานได้ตามเวลาและยังสามารถกำหนดส่วนประกอบและการกำหนดค่าต่างๆได้

บทความเรื่องการใช้พลังงานของลิฟต์ [5] บทความนี้นำเสนอการใช้พลังงานของลิฟต์ได้รับการประเมินว่าแตกต่างกันระหว่าง 5-15% ของต้นทุนพลังงานทั้งหมดของอาคารทั่วไป การเลือกชนิดของระบบขับเคลื่อนและความเร็วที่กำหนดส่งผล ต่อการใช้พลังงานโดยที่ระบบไฮดรอลิกมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดและระบบ VVVF มีประสิทธิภาพมากที่สุด มีการนำเสนอสมการทั่วไปซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของโครงจำนวนชั้นจำนวนครั้งที่เริ่มต้นต่อวันและการจัดอันดับของมอเตอร์เพื่อคำนวณการใช้พลังงานรายวัน จากนั้นจะสามารถใช้ในการคำนวณการใช้พลังงานต่อปีของพื้นที่ต่อหน่วย ลิฟต์สามารถและบางครั้งทำพลังงานใหม่กลับเข้าไปในแหล่งจ่ายไฟหลัก ตัวอย่างเชิงปฏิบัติถูกนำมาใช้เพื่ออธิบายแนวคิดทั่วไปที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่องโมเดลจำลองการใช้พลังงานลิฟต์ [6] บทความนี้เป็นการสร้างแบบจำลองด้านพลังงานเป็นเรื่องที่ซับซ้อนและวิธีการก่อนหน้านี้มีให้เฉพาะกฎพื้นฐานเท่านั้นของนิวทิวแม่มีอแบบจำลองการจำลองพลังงานใหม่เป็นก้าวสำคัญในการดำเนินการก่อนหน้านี้ การสร้างแบบจำลองด้านพลังงานจะนำเสนอความไม่แน่นอนบางอย่างเนื่องจากไม่สามารถคาดการณ์การใช้งานได้ความแม่นยำรวม แต่ตอนนี้มีรูปแบบการจำลองพลังงานที่เป็นพื้นฐานเสียงแบบจำลองการจำลองพลังงานเป็นเครื่องมือในการประเมินการใช้พลังงานของใหม่การติดตั้งลิฟต์และวิธีการประเมินผลประโยชน์ด้าน

พลังงานที่เกี่ยวข้องสร้างสรรค์สิ่งใหม่ ๆ นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณระยะเวลาคืนทุนสำหรับตัวเลือกต่างๆ เช่น การเลือกลิฟต์ไฟฟ้า ไฮดรอลิกหรือ ไดรฟ์ที่สร้างขึ้นใหม่แบบคืนกลับพลังงาน ปัจจุบันมีการใช้แบบจำลองพลังงานเพื่อประเมินการใช้พลังงานสำหรับลิฟต์ใหม่ระบบและโครงการความทันสมัย นอกจากนี้ยังใช้ในการวิจัยเพื่อพัฒนาใหม่เทคโนโลยีการประหยัดพลังงาน

งานวิจัยเรื่องการวิเคราะห์ของพลังงานการบริโภคและพฤติกรรมของโทรทัศน์ในถิ่นที่อยู่บ้านในประเทศไทย [7] บทความนี้เสนอข้อมูลการใช้พลังงานทีวีทั่วประเทศ กลุ่มตัวอย่าง 335 ครัวเรือนที่ติดตั้งและใช้งานโทรทัศน์ กลุ่มตัวอย่างได้มาจากการสุ่มตัวอย่างแบบสุ่มสำหรับภูมิภาคต่างๆในประเทศไทยและจัดแบ่งตามประเภทของโทรทัศน์และขนาดหน้าจอ ปัจจุบันโทรทัศน์เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไปที่ใช้ในครัวเรือนส่วนใหญ่พฤติกรรมการใช้พลังงานของโทรทัศน์มีความสำคัญต้องได้รับการตรวจสอบเพื่อให้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจสามารถเป็นแนวทางที่เป็นประโยชน์ในการอนุรักษ์พลังงานในอนาคต ข้อมูลที่ได้รับได้รับการรวบรวมเป็นโพลดิโพรไฟล์ ผลการวิเคราะห์พบว่าพฤติกรรมการรับชมรายการโทรทัศน์ในแต่ละวันมีความแตกต่างกันในแต่ละวัน ค่าปัจจัยแสดงให้เห็นว่าโทรทัศน์สามารถเป็นตัวประกอบกำลังที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานโดยรวม ข้อมูลนี้เป็นแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานในอนาคต

งานวิจัยเรื่องการประเมินเปรียบเทียบ ไดรฟ์แบบคืนกลับพลังงาน และ แบบควบคุมเวกเตอร์ [8] ในบทความนี้เสนอข้อมูล การประเมินเปรียบเทียบ ไดรฟ์แบบคืนพลังงานและ แบบควบคุมเวกเตอร์สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบไม่ใช้เฟืองทด การศึกษาเปรียบเทียบครอบคลุมรวมถึงการใช้พลังงาน แรงดันไฟฟ้าและกระแสฮาร์โมนิก ตัวประกอบกำลัง ความต้องการสูงสุด เครื่องทำความร้อนในห้องและค่าใช้จ่าย แสดงให้เห็นว่า ไดรฟ์แบบคืนกลับพลังงาน ดีกว่า แบบควบคุมเวกเตอร์แบบไม่คืนพลังงานในทุกด้าน

งานวิจัยเรื่อง Genetic network programming (GNP) มาใช้เพื่อแก้ปัญหาการประหยัดพลังงานปัญหาของ Elevator group supervisory control system (EGSCS) ในบทความนี้ ได้นำเอา GNP มาใช้เพื่อแก้ปัญหาการประหยัดพลังงานปัญหาของ EGSCS [9] จากการจำลองพบว่าระบบลิฟต์ใช้พลังงานมากขึ้นในการจราจรที่เบามากกว่าหนัก เนื่องจากลิฟต์ที่ว่างเปล่าต้องการพลังงานที่จะนำตัวลิฟต์ลงมา นอกจากนี้ยังพบว่าลิฟต์ที่ไม่จำเป็นอาจหยุดนิ่งสำหรับการประหยัดพลังงาน ในขณะที่ความหนาแน่นของการจราจรนั้นต่ำกว่า วิธีการที่นำเสนอจะ สามารถปรับความสมดุลระหว่างการประหยัดพลังงานและความต้องการเวลาในการรอของผู้โดยสารได้

งานวิจัยเรื่องในระบบจัดเก็บพลังงาน ซูเปอร์คาปาซิเตอร์ สำหรับลิฟต์ที่มีการเชื่อมต่อแบบควบคุมการเปลี่ยนสถานะของสวิตช์ [10] บทความนี้พิจารณาเรื่องพลังงาน เพื่อการออกแบบถังเก็บพลังงานเพื่อใช้ สำหรับเป็นภาระตัวปรับระดับของไดรฟ์ลิฟต์ การปรับปรุงที่สำคัญสามารถทำได้เกี่ยวกับความต้องการพลังงานของระบบดังกล่าวจากหลัก เครือข่ายการจัดจำหน่ายได้เสนอโครงสร้าง

โทโพโลยีแปลงพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง สำหรับวงจรแปลงที่จำเป็นเพื่อชดเชยแรงดันไฟฟ้าของ ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ ระหว่างการชาร์จและ การดิสชาร์จ จะช่วยให้การไหลของพลังงานแบบสองทิศทาง ภายใต้วินัยการเปลี่ยนสถานะของสวิตช์ วิธีการดังกล่าวมีความยืดหยุ่น สำหรับการปรับขนาดที่ เหมาะสมของระดับแรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ จะลดลงจำนวนของ ส่วนประกอบในวงจรไฟฟ้าของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์เชื่อมต่อนับวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ที่ทำงานใน โหมดควบคุมกระแส จึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพ ที่ยอมรับได้ในระหว่างการชาร์จไฟและการ การดิสชาร์จของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์

งานวิจัยเรื่องวิธีการวิเคราะห์พลังงานของบันไดเลื่อน [11] ในบทความนี้พิจารณาวิธีการ วิเคราะห์พลังงานของบันไดเลื่อน วิธีการที่นำเสนอมีลักษณะเป็นรายละเอียดของการจราจรในบันได เลื่อนนี้จะช่วยให้ได้ข้อมูลมาดังต่อไปนี้ การเดินทางของผู้โดยสารต่อชั่วโมง การกระจายช่วงเวลาการ ทำงานที่บันไดเลื่อนขณะมีโหลดหรือไม่มีโหลด ข้อมูลเกี่ยวกับพลังงานที่ใช้โดยบันไดเลื่อนและ ความสัมพันธ์กับการจราจรที่สามารถรับได้ ตัวอย่างเช่นพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลาที่ไม่มีโหลดและมีโหลด ตลอดจนพลังงานเกี่ยวข้องกับการทำนายการจราจร ซึ่งเป็นประโยชน์มากสำหรับการคาดการณ์ ผลกระทบของกลยุทธ์การประหยัดพลังงาน ที่นำมาใช้กับข้อมูลที่วัดได้ ในบันไดเลื่อน 3 ชุดของร้านขาย เสื้อผ้าผลที่ได้คือ สามารถทราบถึงการจราจรแบบเรียลไทม์ และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจราจรสามารถ ที่คำนวณได้ เช่นการจราจรในบันไดเลื่อนหนาแน่นที่สุดคือ 347 เที่ยวต่อวัน ปัจจัยเดินช่วงระหว่าง 0.79 และ 0.91 และค่าเฉลี่ยเวลาที่ไม่มีการโดยสาร 42 วินาที ในช่วงที่บันไดเลื่อนมีการจราจรหนาแน่นที่สุด ประมาณ 140 วินาที

งานวิจัยเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดตารางการประหยัดพลังงานภายใต้ระบบการ ยกระดับลิฟต์ของอาคารที่สูงขึ้นในอาคาร เจียงหลง [12] บทความนี้กล่าวถึงบริการผู้โดยสารในระบบ ลิฟต์ในช่วงการจราจรหนาแน่นสูงสุด มีอยู่ตัวชี้วัดต่างๆที่สามารถอธิบายถึงลิฟต์และผู้โดยสาร เช่นเวลา ไปกลับและช่วงเวลาของผู้โดยสาร เวลาภายในลิฟต์ และเวลาเดินทาง สมการที่รู้จักกันดีสำหรับลิฟต์ เวลาเดินทางไปกลับและหมายถึงเวลาที่ผู้โดยสารรอคอย เวลาบริการลิฟต์ที่ขึ้นทางเข้า เป็นช่วงเวลา ระหว่างการออกจากลิฟต์ตามลำดับสำหรับชั้นบน เวลาผู้โดยสารใช้เวลาในลิฟต์ ที่เดินทางไปถึงชั้น ปลายทาง แตกต่างจากลิฟต์เวลาให้บริการ ขึ้นอยู่กับชั้นปลายทาง จำนวนครั้งที่หยุดกลางทาง และ เวลาในการขนถ่ายผู้โดยสาร สมการใหม่สำหรับเวลาใช้โดยสารภายในลิฟต์ และเวลาโดยรวมที่ผู้โดยสาร ใช้เวลาในระบบลิฟต์ โดยใช้ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงระหว่างชั้น เปรียบเทียบผลทางทฤษฎี กับผลการจำลองและความถูกต้องของทฤษฎีที่จะกล่าวถึง

งานวิจัยเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดตารางการประหยัดพลังงานแบบ การจราจรขาเข้า ช่วงเร่งด่วน (up-peak traffic) ของระบบลิฟต์ในอาคาร [13] บทความนี้กล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับ

คุณภาพการให้บริการและการใช้พลังงานของอาคารโดยใช้พารามิเตอร์ป้อนข้อมูลจำนวนน้อยเกี่ยวกับ ลิฟต์ของอาคาร ในการศึกษานี้การจราจรลิฟต์การวิเคราะห์อาคารที่มีอยู่จะดำเนินการและเวลาทำงาน การใช้พลังงานของลิฟต์จะคำนวณโดยใช้ตัวจำลองพัฒนา การจำลองจะทำซ้ำสำหรับสถานการณ์ที่ แตกต่างกันและจะเห็นได้ว่าระดับการใช้พลังงานจะลดลงและคุณภาพการบริการสามารถเพิ่มขึ้นโดย การปรับเปลี่ยนบางอย่างที่จะทำในอาคาร พบว่าการเพิ่มจำนวนลิฟต์เพื่อลดการจราจรหนาแน่นใน อาคารบางแห่งไม่ทำให้การใช้พลังงานเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามการใช้พลังงานลดลง เป็นเพราะความ จริงที่ว่าลิฟต์เคลื่อนที่ลงในขณะที่ไม่มีโหลด ในช่วง up peak ซึ่งเป็นช่วงที่แย่มากที่สุดของการจราจรของ ลิฟต์ในช่วง up-peak และต้องใช้พลังงานในการดึงเอาตัวถ่วงน้ำหนักขึ้นไป ในการใช้พลังงานผล การศึกษาแบบจำลองนี้แสดงให้เห็นว่า เป็นการทดสอบกำหนดค่าต่างๆของลิฟต์ด้วยการระยะทางที่ ต่างกัน ความเร็ว จำนวนลิฟต์ และความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก สำหรับอาคารนั้น ๆ ก่อนที่ ระบบลิฟต์จริงจะถูกสร้างขึ้น

การจำลองสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการกำหนดค่าลิฟต์ที่เหมาะสม โดยด้วยวิธีนี้การ กำหนดค่าที่สรุปแล้วคาดว่าจะมีความสมดุลหนึ่งในแง่ของการใช้พลังงานการส่งผู้โดยสาร และการ ระยะเวลาที่รอคอย [14] ในบทความนี้เป็นเรื่องปกติที่จะคำนวณพลังงานรายปี การบริโภคโดยการใช้ พลังงานที่คำนวณเฉพาะสำหรับรอบการเดินทางและอัตราการใช้ อย่างไรก็ตามถือเป็นการผลิตผลลัพธ์ที่ ดีกว่าในการคำนวณการใช้พลังงานต่อปี โดยใช้การใช้พลังงานรายวันซึ่งคำนวณจากการจำลองของ การจราจรลิฟต์ในแต่ละวันผลลัพธ์และการเปรียบเทียบสองสถานการณ์โดยพิจารณาจากข้อมูลที่มีอยู่ ข้อมูลของศูนย์การค้าที่แท้จริง สถานการณ์แรกก็เหมือนกันเป็นการกำหนดค่าจริง กำลังรอและถ่ายโอน พลังงานและพลังงานการบริโภคที่ได้จากตัวจำลองอยู่ใกล้เคียงกับที่ได้รับการวัด แม้ว่าการจำลอง การจราจรแบบลิฟต์จำนวนมาก เพื่อปรับปรุงรายปีที่คาดหวังไว้ความถูกต้องของการใช้พลังงานและ พิสูจน์ผลของการจำลอง จำเป็นต้องเก็บข้อมูลอาคารที่แท้จริงมากขึ้น ต้องใช้ ข้อมูลระยะยาวในอาคาร ทั่วไปเช่น โรงแรม โรงพยาบาล โรงเรียน ซึ่งเป็นปัญหาที่สร้างแรงกระตุ้นให้กับอนาคต

งานวิจัยเรื่องการวิเคราะห์พลังงานศักยภาพด้านประสิทธิภาพและมาตรการด้านนโยบาย [15] ลิฟต์และบันไดเลื่อนได้รับความสนใจน้อยจากมุมมองด้านการประหยัดพลังงานในอดีต บทความนี้ ได้วิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานและแนะนำนโยบายสำหรับตลาดลิฟต์และบันไดเลื่อนในยุโรป เงื่อนไขเบื้องต้นความต้องการพลังงานไฟฟ้าของลิฟต์และบันไดเลื่อน ในตลาดยุโรปมีการวิเคราะห์จาก การประเมินของผู้เชี่ยวชาญและผลของการตรวจสอบและประมาณการความต้องการในปัจจุบัน เปรียบเทียบกับสถานการณ์ที่ใช้งานเทคโนโลยีที่ดีที่สุด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ามีศักยภาพด้าน ประสิทธิภาพทางเทคนิคสำหรับลิฟต์ มากกว่า 60% และบันไดเลื่อน ประมาณ 30% นำไปสู่ชุด คำแนะนำในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในตลาดลิฟต์และบันไดเลื่อน

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของกลุ่มการใช้พลังงานในอาคาร

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
2010	Xu Chao, Wu et al. [16]	การคาดการณ์พลังงานดำเนินการตามวิธีการที่กำหนดไว้ล่วงหน้าและข้อมูลที่ทันสมัยเพื่อเปิดเผยความคืบหน้าที่สำคัญในภาคการผลิตไฟฟ้า
2011	Chung, William et al. [17]	สัดส่วนการใช้พลังงานของภาคที่อยู่อาศัยในทุกภาคส่วน (เช่น เชิงพาณิชย์ ที่อยู่อาศัย การขนส่ง และอุตสาหกรรม) เพิ่มขึ้นจาก 14.2% ในปี 1990 ถึง 18.1% ในปี 2550
2011	Jiang, Ping et al. [18]	การใช้พลังงานต่อตารางเมตรของอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยในประเทศจีนคิดเป็นเป็นสามเท่าของอาคารที่อยู่อาศัย
2012	Xiao, He et al. [19]	ค่าสัมประสิทธิ์ Gini ถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในเมืองต่างๆในประเทศจีน
2015	Ang, B. W. et al. [20]	การวิเคราะห์พลังงานเชิงลึกสำหรับอาคารสามารถทำได้โดยใช้วิธีการต่างๆ เช่น วิธีการสลายตัวของดัชนี Divisia เฉลี่ยลอการิทึม (LMDI) และ Hybrid LMDI สำหรับการใช้พลังงานและความเข้ม
2018	Lu, Yujie et al. [21]	อัลกอริทึมพฤติกรรมผู้โดยสารถูกนำมาใช้สำหรับแบบจำลองความร้อน
2013	Aghemo, C. et al. [22]	กฎควบคุมการประหยัดพลังงานจากระบบส่องสว่างและระบบระบายอากาศและความร้อน HVAC ในอาคาร
2016	Hong, Tianzhen et al. [23]	การทำความเข้าใจพฤติกรรมของผู้อยู่อาศัยสร้างโอกาสใหม่ ๆ ที่มีอิทธิพลต่อวิวัฒนาการของเทคโนโลยีอาคารซึ่งนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและความสะดวกสบายของผู้อยู่อาศัย
2011	Zografakis, Nikolaos et al. [24]	เปรียบเทียบอาคารสาธารณะสามประเภท พบว่าซูเปอร์สโตร์ใช้พลังงานมากที่สุด—มากกว่าโรงแรมถึงสองเท่าและประมาณห้าเท่าของอาคารสำนักงานรัฐบาล

ตารางที่ 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของกลุ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของลิฟต์

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
2011	Amer, Muhammad. [25]	มีการเสนอการใช้กระบวนการลำดับชั้นการวิเคราะห์และแนวทางหลายมุมมองสำหรับการประเมินและประเมินพลังงานหมุนเวียนที่เกิดขึ้นใหม่
2016	Zhao, Jing. [26]	การใช้พลังงานสูงและรูปแบบประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำเป็นที่แพร่หลายในอาคารสาธารณะซึ่งหมายความว่าอาคารสาธารณะมีศักยภาพในการประหยัดพลังงานอย่างมีนัยสำคัญ
2012	Ma, Hongting et al. [27]	ฟังก์ชันของประเภทอาคารส่งผลโดยตรงต่อการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่
2012	Liu, Guiwen et al. [28]	งานที่คล้ายกันได้รับการอธิบายไว้ใน หน้าห้องอาคาร
2010	Yao, Zhuxian et al [29]	ในกรณีของโรงแรมรูปแบบการใช้พลังงานของอาคารมักจะแตกต่างจากอาคารประเภทอื่น ๆ
2017	Ma, Hongting et al. [30]	มีการกำหนดค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนต่อหน่วยพื้นที่สำหรับอาคารประเภทต่างๆเช่น สำนักงานโรงพยาบาลและโรงเรียน
2014	Hao, Wu et al. [31]	ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของลิฟต์ซึ่งสามารถให้คำแนะนำในการปรับปรุงการใช้พลังงานของอาคาร
2022	Niu, Dapeng et al. [32]	วิธีการประเมินการดำเนินงานที่ครอบคลุมของลิฟต์ได้รับการรายงานใน
2010	Carlos Patrão et al. [33]	พลังงานของบันไดเลื่อนขณะ สแตนด์บายสามารถลดลงได้ 80% หากใช้เทคโนโลยีขับเคลื่อน
2017	Delzende, et al. Elham. [34]	การศึกษาเพื่อลดช่องว่างระหว่างการที่ใช้พลังงานที่คาดการณ์ไว้และจริงในอาคาร
2015	Hong, Tianzhen et al.[35]	ให้ข้อเสนอแนะแก่นักออกแบบและผู้ประกอบการอาคารเพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร
2022	Ang, Jia Hui et al. [36]	การวัดและการคำนวณการใช้พลังงานของลิฟต์ตามแนวทางไฮบริดได้รับการนำเสนอสำหรับอาคารต่ำและสูง

ตารางที่ 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของกลุ่มการประหยัดพลังงานในอาคารและระบบลิฟต์

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
2022	Markos, Panagiotis A. et al. [37]	วิธีการประเมินการดำเนินงานที่ครอบคลุมของลิฟต์ได้รับการรายงาน
2016	Supapradit et al. [38]	การใช้พลังงานของลิฟต์ทั่วไปในลิฟต์ได้รับการเปรียบเทียบกับลิฟต์แบบใหม่
2019	Murshed, Syed Monjur et al. [39]	ความแตกต่างระหว่างประเภทอาคารและการประเมินประสิทธิภาพของลิฟต์นำไปสู่ระดับประสิทธิภาพที่แตกต่างกันซึ่งเกี่ยวข้องกับตัวแปรการวัดและการประเมินผลการปฏิบัติงาน
2018	Zhang, Yongming et al. [40]	การประเมินประสิทธิภาพของลิฟต์นำไปสู่ระดับประสิทธิภาพที่ต่างกันซึ่งเกี่ยวข้องกับตัวแปรการวัดและการประเมินผลการปฏิบัติงาน
2017	Tukia, Toni et al. [41]	มีการเสนอการประหยัดพลังงานอาคารผ่านลิฟต์โดยการปรับขนาดถ่วงน้ำหนักแบบปรับได้
2017	Rotimi, Abdulazeez et al. [42]	เนื่องจากปัญหาของล้อดูดลากและการสิ้นเปลืองของลวดสลิงทำให้เกิดการสึกหรอมากเกินไปจึงมีการปรับเทคนิคการประมวลผลภาพ
2018	Krakowski, Tomasz et al. [43]	ต้องวัดประสิทธิภาพพลังงานและพารามิเตอร์การทำงานภายใต้สภาวะการทำงานปกติ
2018	Zhang, Yan et al. [44]	พฤติกรรมการเข้าพักมีความซับซ้อนและเป็นแบบสุ่มทำให้ยากที่จะอธิบายหรือคาดการณ์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารได้อย่างแม่นยำ
1995	Hakala, H. et al. [45]	การใช้งานมอเตอร์เชิงเส้นในลิฟต์
2003	Gina Barney. [46]	คู่มือการจราจรลิฟต์: ทฤษฎีและการปฏิบัติ. ในอังกฤษ
1982	Strakosch. [47]	คู่มือการขนส่งแนวตั้งในประเทศสหรัฐอเมริกา

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งหมดที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านั้น ทำให้เห็นว่า ความสำคัญ ของการวิเคราะห์ศึกษาการใช้พลังงานของการเคลื่อนที่ลิฟต์แนวตั้งนั้นมีความสำคัญอย่างมาก ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีการจัดเก็บและดาด้าเรคอร์ด มีการนำเสนอ และนำมาวิเคราะห์ อย่างมากมาย เพื่อให้



เหมาะสมสอดคล้องกับบริบทของกลุ่มอาคารในประเทศ ดุษฎีนิพนธ์นี้จึงมีความสนใจในกลุ่มของการวิเคราะห์ตัวแทน ของอาคารควบคุม แนะนำมาสร้าง เป็นรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ง่าย และสามารถนำไปวิเคราะห์ ได้อย่างง่ายวิจัยที่ผ่านมาไม่ได้มีการกล่าวถึงและนำเสนอในหลักการดังกล่าว ดุษฎีนิพนธ์นี้จึงมีความสนใจในการศึกษา เพื่อจะได้นำประโยชน์ที่ได้ไปใช้ในอนาคต

## 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ภายใต้บริบทของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน โรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม พ.ศ. 2535 เป็นโรงงานที่ได้รับมอบหมายให้มีหน้าที่ดำเนินการตามมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ต้องมีคุณสมบัติการใช้พลังงานอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้ เป็นโรงงานหรืออาคารที่ได้รับอนุมัติจากผู้จำหน่ายพลังงานให้ใช้เครื่องวัดไฟฟ้าหรือให้ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าชุดเดียวหรือหลายชุดรวมกันมีขนาดตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ หรือ 1,175 กิโลวัตต์แอมแปร์ขึ้นไปหรือ เป็นโรงงานหรืออาคารที่ใช้ไฟฟ้าจากระบบของผู้จำหน่ายพลังงาน ความร้อนจากไอน้ำจากผู้จำหน่ายพลังงาน หรือพลังงานสิ้นเปลืองอื่นจากผู้จำหน่ายพลังงานหรือของตนเอง อย่างใดอย่างหนึ่งหรือรวมกันตั้งแต่ วันที่ 1 มกราคมถึงวันที่ 31 ธันวาคมของปีที่ผ่านมา มีปริมาณพลังงานทั้งหมดเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 20 ล้านจูลขึ้นไป

ลักษณะของโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมตามที่กำหนดในพระราชกฤษฎีกากำหนด โรงงานควบคุม พ.ศ. 2540 เกี่ยวข้องกับสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้พลังงานในปริมาณมากและสามารถปฏิบัติตามมาตรการอนุรักษ์พลังงานได้ทันที โรงงานและอาคารควบคุมเหล่านี้อยู่ภายใต้การควบคุมอย่างเข้มงวดตามพระราชบัญญัติ [48] และพระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ.2538 [49] ผู้ที่มีหน้าที่ต้องดำเนินการอนุรักษ์พลังงานตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม) [50] นั้นจะถูกรเรียกว่า “โรงงานควบคุม” หรือ “อาคารควบคุม” แล้วแต่กรณี โดยจะเน้นไปที่โรงงานและอาคารที่มีการใช้พลังงานในปริมาณมากและมีศักยภาพพร้อมที่จะดำเนินการอนุรักษ์พลังงานได้ทันที ทั้งนี้ ลักษณะของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมย่อมเป็นไปตามที่พระราชกฤษฎีกากำหนดโรงงานควบคุม พ.ศ.2540 และพระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ.2538 ได้กำหนดไว้ ดังนี้

สำหรับการอนุรักษ์พลังงานในเครื่องจักรหรืออุปกรณ์และการส่งเสริมการใช้วัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานนั้น พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานฯ ไม่ได้กำหนดการดำเนินการเพื่อการอนุรักษ์พลังงานไว้ แต่เพื่อประโยชน์ในการอนุรักษ์พลังงานในเครื่องจักรหรืออุปกรณ์รวมทั้งให้มีการส่งเสริมการใช้วัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน มาตรา 23 วรรคหนึ่ง กำหนดให้รัฐมนตรีโดยคำแนะนำของคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติมีอำนาจออกกฎกระทรวงในเรื่องดังต่อไปนี้

กำหนดมาตรฐานด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักร หรืออุปกรณ์กำหนดเครื่องจักร หรืออุปกรณ์ตามประเภท ขนาด ปริมาณการใช้พลังงาน อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงาน และประสิทธิภาพใช้พลังงานอย่างใด เป็นเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง

กำหนดวัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามประเภท คุณภาพและมาตรฐานอย่างใด เป็นวัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กำหนดให้ผู้ผลิตและผู้จำหน่ายเครื่องจักร หรืออุปกรณ์ต้องแสดงค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

มาตรา 23 วรรคสอง กำหนดว่าผู้ผลิตและผู้จำหน่ายเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ หรือ วัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง ตามที่กำหนด ย่อมมีสิทธิขอรับการส่งเสริมและช่วยเหลือตามมาตรา 40 แห่งพระราชบัญญัตินี้ได้

### 2.2.1 ระบบควบคุมการจราจรของลิฟต์

ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของลิฟต์แบบเป็นกลุ่ม เพื่อให้การขนส่งมีประสิทธิภาพมากขึ้นและช่วยประหยัดพลังงานระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของลิฟต์กลุ่มช่วยจัดระบบการรับส่งโดยคำนวณจากระยะทางของลิฟต์แต่ละตัวเทียบจากจุดที่ต้องการลิฟต์(ชั้นที่กดลิฟต์)และจำนวนผู้โดยสารที่มีในลิฟต์แต่ละตัว จากนั้นระบบจัดสรรให้ลิฟต์ตัวที่เหมาะสมที่สุดในการรับส่งผู้โดยสารไปยังจุดที่ต้องการ เพื่อความสะดวกรวดเร็วและประหยัดพลังงาน

### 2.2.2 การใช้พลังงานของลิฟต์

การใช้พลังงานส่วนใหญ่ในลิฟต์ มอเตอร์ซึ่งเป็นตัวขับเคลื่อนตัวลิฟต์ ซึ่งมีอยู่หลายประเภทดัง ที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น นอกจากประเภทของเครื่องลิฟต์แล้วระบบควบคุมการขับเคลื่อน(drive control) ยังเป็นอุปกรณ์อีกตัวหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการใช้พลังงานของลิฟต์ ลิฟต์ที่มีน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดมาก (Rated load) และความเร็วสูง (rated speed) ย่อมต้องใช้พลังงานมากตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ลิฟต์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ออกแบบไว้ให้มีความได้เปรียบเชิงกลและใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด สำหรับลิฟต์ที่มีมวลบรรทุก 900 กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2.5 เมตรต่อวินาที จะใช้พลังงานไม่ถึง 1 หน่วย (kWh) ต่อครั้ง โดยบางช่วงของการเคลื่อนที่มอเตอร์ขับเคลื่อนลิฟต์ทำหน้าที่เป็นทั้งไดนาโมและมอเตอร์ในคราวเดียวกัน ดังนั้นลิฟต์จะใช้พลังงานไฟฟ้ากับระบบเบรกเพื่อชะลอความเร็วให้ลิฟต์จอดชั้นที่ต้องการอย่างปลอดภัย รูปที่ 2.3 แสดงค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าของเครื่องลิฟต์แรงฉุดจากความถี่ขับเคลื่อนด้วยเฟือง (geared machine) และขับเคลื่อนโดยตรง (gearless machine)

อธิบายแบบจำลองการคำนวณการใช้พลังงานทั้งหมดซึ่งใช้ได้กับการคำนวณโดยตรง การจำลองการใช้พลังงานทั้งหมดคือผลรวมของพลังงานที่ลิฟต์ใช้ขณะเคลื่อนที่  $E_R$  และพลังงานที่ลิฟต์ใช้ขณะจอดรอการใช้งาน  $E_S$

$$E_{sd} = E_R + E_S \quad (2.1)$$

เมื่อ  $E_{sd}$  คือการใช้พลังงานรวม และรายละเอียดเพิ่มเติมที่กำหนดในสมการที่ 2 เมื่อพิจารณาค่ากำลังไฟฟ้าทันทีที่ทันใดที่สายป้อน  $P_{line}$  ที่กำหนดให้การบริโภคพลังงานในคาบเวลาใดๆ (t) เป็นวินาทีสามารถแสดงได้ดังนี้

$$W = \int_0^T P_{line}(P_m + P_l + P_C + P_b + P_i)dt \quad (2.2)$$

เมื่อ  $P_m$  คือ กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์

$P_l$  คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียของมอเตอร์

$P_C$  คือ กำลังไฟฟ้าในระบบควบคุมและระบบแสงสว่างพิจารณาเป็นค่าคงที่

$P_b$  คือ กำลังไฟฟ้าคงที่ในระบบเบรก

$P_i$  คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในอินเวอร์เตอร์

โดยทั่วไปองค์ประกอบของการสูญเสียเป็นบวก [45] นอกจากนี้กำลังมอเตอร์อาจเป็นบวกหรือลบขึ้นอยู่กับทิศทางของการไหลของพลังงาน ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าของสายอาจเป็นอันตรายเช่นกันเผยให้เห็นว่าระบบกำลังผลิต

$$E_{sd} = \left(24 - \left(\frac{n_d}{3600}\right) + T_{av}\right) \times (P_{id}R_{id} + P_{st}R_{st}) \quad (2.3)$$

เมื่อ  $E_{sd}$  คือการใช้พลังงานในโหนดเตรียมพร้อมต่อวัน ซึ่งจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลักสองส่วนคือพลังงานในส่วนที่ลิฟต์ไม่มีการใช้งาน ในอัตราส่วนเวลาวาง  $R_{id}$  (เมื่อการใช้พลังงานมีค่า  $P_{id} < 1$ ) พลังงานรอการทำงาน  $R_{st}$  (เมื่อการใช้พลังงานมีค่า  $P_{st} < 1$ ) และพลังงานที่ใช้ในการขนส่งที่คิดเวลาการทำงานของประตู  $T_{av}$  ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามประเภทของอาคาร โดยเวลาที่ลิฟต์ในขณะที่ไม่มีการเคลื่อนที่สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.4)

$$T_{av} = \frac{S_{av}}{v} + \frac{v}{a} + \frac{a}{j} + T_d \quad (2.4)$$

เมื่อ  $T_{av}$  คือ เวลาในการขนส่งที่นับรวมเวลาประตูทำงาน (Sec)

$S_{av}$  คือระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ย(m)

$v$  คือความเร็ว (m/s)

$j$  คือแรงฉุดออกตัว (m/s<sup>2</sup>)

$T_d$  คือเวลาทำงานในหนึ่งวัน (hrs.)

เมื่อมอเตอร์ทำงานจะใช้พลังงานที่สายป้อนมากกว่ากำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.5

$$P_{line} = \frac{P_{out}}{\eta} \quad (2.5)$$

ในขณะที่เมื่อมอเตอร์ทำงานในโหมดคืนพลังงานสามารถคำนวณพลังงานจ่ายย้อนได้ดังนี้

$$P_{line} = P_{regen} \times \eta \quad (2.6)$$

ประสิทธิภาพรวมของระบบ  $\eta$  สามารถแสดงด้วยสมการที่ 2.7 ดังนี้

เมื่อ  $\eta_{shaft}$  คือ ประสิทธิภาพที่เพลาชับ

$\eta_{motor}$  คือ ประสิทธิภาพของมอเตอร์

$$\eta = \eta_{shaft} \times \eta_{motor} \quad (2.7)$$

$P_{norm}$  คือ เส้นโค้งกำลังโดยทั่วไปของชุดขับ เป็นฟังก์ชันของโหลดเต็มพิกัดและอัตราเร่งเต็ม

กำลัง  $P_{norm}$  สามารถแสดง ได้โดยสมการที่ 2.8

เมื่อ  $P_{norm}$  คือ พิกัดโหลด (kg)

$V$  คือ ความเร็วที่กำหนด (m/s) และ

$G_n$  คือ แรงโน้มถ่วงของโลก เท่ากับ  $(9.81\text{m/s}^2)$

$$P_{norm} = \frac{Q \times V \times G_n}{2 \times \eta \times \eta_{motor} \times 1000} \quad (2.8)$$

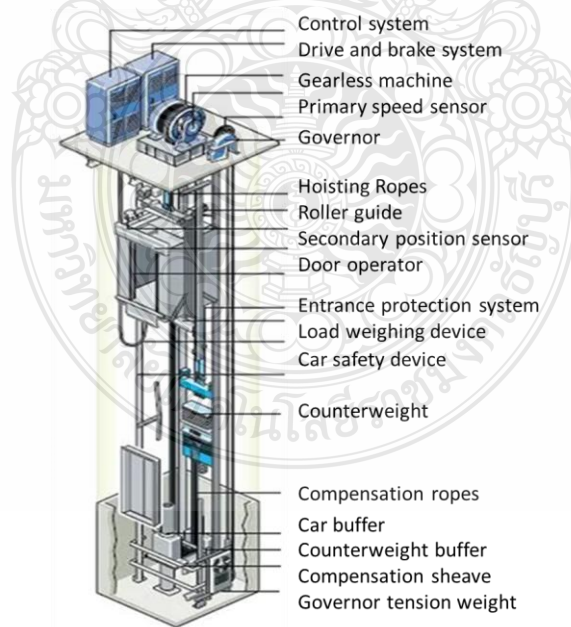
ในช่วงที่มีการจราจรหนาแน่น ปริมาณและจำนวนลิฟต์เริ่มเพิ่มขึ้นในขณะที่ระยะการเดินทางจะมีค่าลดลงสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.9

$$P_{Flow} = \begin{cases} Carload \leq CWT; Motor \in Generator \wedge Upward Direction \\ Carload \geq CWT; Motor \in Generator \wedge Upward Direction \\ Carload \geq CWT; Motor \in Generator \wedge Upward Direction \\ Carload \leq CWT; Motor \in Generator \wedge Upward Direction \end{cases} \quad (2.9)$$

## 2.3 ประวัติและที่มาของลิฟต์

2.3.1 ประวัติและที่มาของลิฟต์ในช่วงทศวรรษที่ 1800 ได้มีการนำเสนอสิ่งประดิษฐ์ที่สำคัญยิ่งในสหรัฐอเมริกา นั่นคือลิฟต์ตัวแรกที่มีระบบไฟฟ้า ซึ่งเดิมทีมีจุดประสงค์เพื่อเป็นกระเช้าลอยฟ้าระหว่าง 2 ชั้นในอาคารในนิวยอร์ก นามสกุลของผู้ออกแบบยังคงแพร่หลายในลิฟต์จนถึงทุกวันนี้ การออกแบบลิฟต์สมัยใหม่ให้ความสำคัญกับความปลอดภัย โดยมีการปิดการทำงานของฟังก์ชันทั้งหมดโดยอัตโนมัติก่อนที่จะถึงฐานของเพลาในกรณีที่เกิดความผิดปกติ ในปี 1867 ลิฟต์ Otis ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังไอน้ำตัวแรกได้รับการติดตั้งในห้างสรรพสินค้าในนิวยอร์กในราคาเพียง 300 ดอลลาร์ ลิฟต์ไฮดรอลิกถูกประดิษฐ์ขึ้นในภายหลังโดย Leon Edoux และลูกชายของ Otis ได้ก่อตั้ง Otis Brothers Company ใน นิวยอร์กเชียร์ รัฐนิวยอร์กในทศวรรษต่อมา บริษัทผลิตลิฟต์จำนวนมากและมีชื่อเสียงในอุตสาหกรรมในปี พ.ศ. 2416 ปัจจุบัน ลิฟต์ Otis กว่าสองพันตัวถูกใช้ในอาคารพาณิชย์ทั่วมหานคร ในประเทศไทยได้เริ่มมีการนำลิฟต์มาติดตั้งเป็นครั้งแรกในสมัยรัชกาลที่ 6 โดยการนำเข้าลิฟต์ที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องจักรจาก อิตาลีมาติดตั้ง ณ พระที่นั่งอนันตสมาคมและติดตั้งลิฟต์ที่ขับเคลื่อนโดยแรงคนที่ พระที่นั่งวโรภาสพิมาน พระราชวังบางปะอิน เมื่อมีไฟฟ้าใช้จึงได้เริ่มนำเข้าลิฟต์จากต่างประเทศเพื่อติดตั้งตามหน่วยงานราชการ พร้อมให้การดูแลบำรุงรักษาอันเป็นที่มาเริ่มแรกของการใช้ลิฟต์ในประเทศไทยก่อนที่จะพัฒนาโดยลำดับจวบจนปัจจุบัน

### 2.3.2 ส่วนประกอบของลิฟต์



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของระบบลิฟต์

ที่มา: <https://www.otis.com>

ส่วนประกอบของลิฟต์ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1. เครื่องจักรขับเคลื่อนลิฟต์ (Traction Machine) เป็นอุปกรณ์หลักของระบบลิฟต์ทำหน้าที่ขับเคลื่อนลิฟต์ขึ้นลง
2. ชุดลูกถ่วง (Counterweight) ประกอบด้วยโครงเหล็กซึ่งบรรจุก้อนน้ำหนักที่ทำด้วยเหล็กหล่อทำหน้าที่ถ่วงดุลกับน้ำหนักของลิฟต์และจำนวนผู้โดยสารเพื่อให้มอเตอร์ลิฟต์ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ
3. รางลิฟต์ (Guide Rail) เป็นเหล็กรูปตัว T ทำหน้าที่นำร่องให้ลิฟต์วิ่งขึ้นลงในแนวที่กำหนด และรักษาตำแหน่งตัวลิฟต์ให้ตรงตัวและได้ศูนย์ตลอดเวลา รางลิฟต์มีหลายขนาดขึ้นอยู่กับขนาดของตัวลิฟต์น้ำหนักบรรทุกและความเร็วลิฟต์ เป็นต้นโดยทั่วไประบบลิฟต์จะมีรางขนาดใหญ่สำหรับนำร่องตัวลิฟต์และรางขนาดเล็กกว่าสำหรับนำร่องชุดลูกถ่วง
4. ตู้โดยสาร (Lift Car) ประกอบไปด้วยห้องโดยสารที่ยึดกับโครงเหล็กกล้าที่แข็งแรงพร้อมอุปกรณ์นิรภัย (Safety Gear) ป้องกันไม่ให้ลิฟต์ตกเมื่อสลิงขาด ตู้โดยสารมีขนาดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทและน้ำหนักบรรทุกของลิฟต์
5. บัฟเฟอร์ (Buffer) เป็นอุปกรณ์ป้องกันไม่ให้ตัวลิฟต์กระแทกกับพื้นบ่อลิฟต์กรณีลิฟต์วิ่งเลยชั้นล่างสุดเนื่องจากความผิดพลาดของระบบควบคุมบัฟเฟอร์จะผ่อนแรงกระแทกเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อผู้โดยสาร
6. ตู้คอนโทรล (Controller) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของลิฟต์ทั้งระบบ เช่น ควบคุมความเร็วควบคุมการเปิดปิดประตูจัดคิวการวิ่งรับส่งผู้โดยสาร เป็นต้นและชนิดของคอนโทรลดังกล่าวยังแตกต่างกันไปตามประเภทระบบขับเคลื่อนด้วย เช่น VVVF, DC Drive เป็นต้น
7. ประตูหน้าชั้น (Landing Door) ระบบลิฟต์โดยทั่วไปจะมีประตู 2 ส่วน คือส่วนประตูในลิฟต์ (Car Door) และส่วนประตูหน้าชั้นต่างๆ ตามจำนวนชั้นจอดของลิฟต์ปกติประตูหน้าชั้นจะเปิดปิดได้ก็ต่อเมื่อตัวลิฟต์จะต้องจอดอยู่ที่ชั้นนั้นและประตูที่ชั้นอื่นจะเปิดไม่ได้ทั้งนี้เพื่อให้การใช้งานมีความปลอดภัยสูงสุดประตูลิฟต์มีหลายแบบที่พบเห็นกันโดยทั่วไปจะมี แบบเปิดจากกึ่งกลาง (Center Opening) เปิดจากด้านข้าง (Slide Opening)
8. สลิงลิฟต์ (Wire Rope) ใช้สำหรับแขวนตัวลิฟต์และชุดลูกถ่วง และฉุดให้ลิฟต์ขึ้นลงด้วยแรงเสียดทานของลวดสลิงกับร่องของมุลเลย์
9. ปุ่มกด (Button) ใช้สำหรับเรียกลิฟต์รับส่งไปยังชั้นต่างๆ ที่ต้องการ แผงปุ่มกดมีอยู่ 2 ส่วน แผงปุ่มกดในลิฟต์ (Car Operating Panel) ประกอบด้วยปุ่มเรียกไปตามชั้นต่างๆ ปุ่มปิดเปิดประตู ปุ่มแจ้งเหตุและอินเตอร์คอม แผงปุ่มกดหน้าชั้น (Hall Button) ประกอบด้วยปุ่มเรียกลิฟต์มารับขาขึ้นและขาลงอย่างละปุ่ม

10. สายเคเบิล (Travelling Cable) เป็นสายไฟที่วิ่งขึ้นลงพร้อมกับตัวลิฟต์ทำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณ เช่น ปุ่มกดและสวิทช์ต่างๆ ที่ตู้ลิฟต์กับตู้คอนโทรลในห้องเครื่อง

### 2.3.3 ประเภทและชนิดเทคโนโลยีลิฟต์

ปัจจุบันลิฟต์ส่วนใหญ่เป็นลิฟต์ที่ใช้มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ต้นกำลังที่สำคัญ (Prime-mover) ในการส่งกำลัง (Power transmission) ซึ่งมีทั้งที่ส่งกำลังผ่านระบบไฮดรอลิก (Hydraulic system) การส่งกำลังผ่านระบบเฟืองทด (Gear system) และการส่งกำลังโดยตรงโดยไม่มีระบบเฟืองทด (Gearless system)

ลิฟต์ระบบไฮดรอลิกมีอุปกรณ์ต้นกำลังและอุปกรณ์ส่งกำลังดังต่อไปนี้ มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Machine) ใช้ในการส่งน้ำมันไฮดรอลิกไปอุปกรณ์ไฮดรอลิก ระบบไฮดรอลิก (Hydraulic) ซึ่งประกอบไปด้วยชุดวาล์วและมอเตอร์ไฮดรอลิก (Hydraulic Gear Motor) โดยเหตุที่ระบบไฮดรอลิกมีการส่งผ่านกำลังที่ไม่มีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับ การส่งผ่านกำลังไปยังเฟืองทดโดยตรงทำให้ลิฟต์ที่ใช้ระบบไฮดรอลิกแทบไม่มีการใช้งานอีกแล้ว

ลิฟต์ระบบ Traction

ลิฟต์ที่ใช้เฟืองทด (Geared Machine) ปัจจุบันจัดเป็นประเภทที่มีการใช้งานเป็นส่วนใหญ่ในประเทศไทยซึ่งจะมีอุปกรณ์ต้นกำลังและอุปกรณ์ส่งกำลังดังต่อไปนี้ มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Machine) ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่มีแรงบิดขณะเริ่มเดินเครื่องสูง (High starting torque) ชุดเฟืองทด (Gear box) ซึ่งนิยมใช้เป็นชนิด Worm gear เพื่อลดความเร็วรอบความเร็วรอบของมอเตอร์ลง สามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.3 ลิฟต์ประเภทใช้เฟืองทด

ที่มา: <https://www.thyssenkrupp-elevator.com>



ลิฟต์ที่ไม่ใช้เฟืองทด (Gearless Machine) ซึ่งเป็นลิฟต์ที่มีการใช้งานมากเป็นส่วนใหญ่ในต่างประเทศและกำลังได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นในประเทศไทย มีอุปกรณ์ต้นกำลังและอุปกรณ์ส่งกำลังดังต่อไปนี้ มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) หรืออาจเป็นมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดที่ใช้แม่เหล็กถาวรในชุดของโรเตอร์ (Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM)

โดยเหตุที่ลิฟต์ชนิดนี้ไม่มีเฟืองทดความเร็วรอบของมอเตอร์ระบบจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์จะต้องเป็นระบบที่สามารถปรับแรงดันและความถี่ไฟฟ้า ให้เหมาะสมกับจุดทำงานของมอเตอร์ โดยทั่วไปจะเรียกระบบจ่ายไฟฟ้ากำลังชนิดนี้ว่า Variable voltage variable frequency (VVVF) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.4 ลิฟต์ประเภทไม่ใช้เฟืองทด

ที่มา: <https://www.thyssenkrupp-elevator.com>

สำหรับลิฟต์ที่ไม่ใช้เฟืองทดที่ใช้มอเตอร์ Permanent magnet synchronous motor (PMSM) จะต้องมีความต้านทานที่ใช้ในการเบรก (Dynamic brake resistor) เนื่องจากพลังงานกลในโรเตอร์ของมอเตอร์ซิงโครนัสจะถูกแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าซึ่งเมื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับชุดความต้านทานจะทำให้พลังงานไฟฟ้าถูกแปลงไปเป็นพลังงานความร้อน ทำให้พลังงานกลที่สะสมอยู่ในโรเตอร์หมดไป และหยุดหมุนในตำแหน่งที่ลิฟต์จอดได้พอดี โดยทั่วไปลิฟต์ที่ไม่ใช้เฟืองทดจะไม่มีการสูญเสียพลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านเฟืองทด ส่วนมอเตอร์ของลิฟต์ที่ไม่ใช้เฟืองทด ต้องหมุนด้วยความเร็วรอบที่สูงจะเกิดการ



สูญเสียพลังงานอันเนื่องมาจากความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของ (Friction loss) และความเสียดทานลม ระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์ (Windage loss)

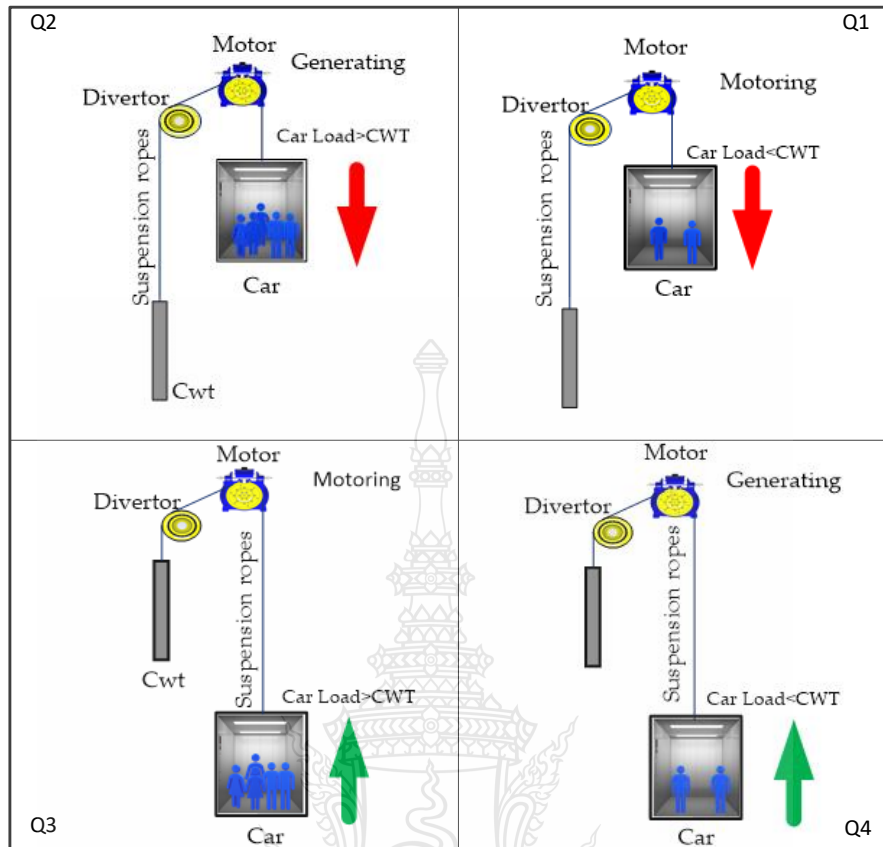
#### 2.2.4 เทคโนโลยีขับเคลื่อนแบบรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative drive technology)

แบบรีเจนเนอเรทีฟ เป็นระบบลิฟต์ที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้จากการทำงานในบางช่วงของลิฟต์ ซึ่งกระแสไฟฟ้านี้ จะสามารถจ่ายคืนให้กับระบบของการไฟฟ้าได้ และเก็บไว้ในแบตเตอรี่หรือ ซูเปอร์คาปาซิเตอร์ ก็ได้ซึ่งการทำงานของที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้นั้น สามารถอธิบายได้ดังนี้ [51]

การทำงานของระบบรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative Drive) ในลิฟต์ มีการทำงานในบางช่วงที่ไม่ได้จ่ายไฟฟ้าให้มอเตอร์แต่มอเตอร์มีการหมุนเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งมอเตอร์สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมาได้ ซึ่งเรียกการทำงานในสภาวะนี้ว่า “รีเจนเนอเรทีฟ” โดยที่กระแสไฟฟ้างกล่าวสามารถจ่ายคืนให้ระบบไฟฟ้าได้ ดังนั้น หากเราแบ่ง โหมดการทำงานของลิฟต์ออกเป็น 4 แบบ ดังตารางที่ 2.4 ซึ่ง อธิบายได้ดังนี้ เช่น โหมด 1 น้ำหนักบรรทุกมากกว่าน้ำหนักตุ้มถ่วงเมื่อลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น ต้องยกน้ำหนักบรรทุกมากกว่าขึ้นไปจึงต้องใช้พลังงานไฟฟ้า แต่ในโหมดที่ 3 น้ำหนักบรรทุกมากกว่าน้ำหนักตุ้มถ่วง ในขณะที่ลิฟต์เคลื่อนที่ลงมาด้วยน้ำหนักที่มากกว่าของตุ้มน้ำหนัก จึงไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าและในโหมดที่ 2 และ 4 ก็พิจารณาเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 2.4 โหมดการทำงานของระบบลิฟต์ในสภาวะรีเจนเนอเรทีฟ

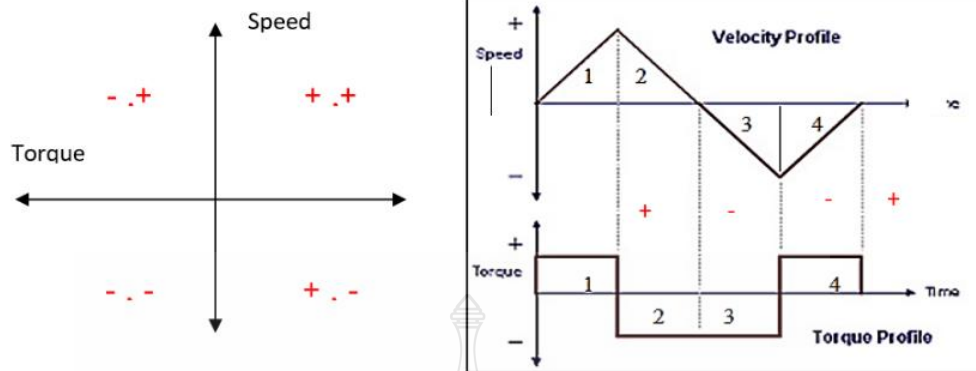
ทิศทางการเคลื่อนที่	น้ำหนักบรรทุก > ตุ้มถ่วง	น้ำหนักบรรทุก < ตุ้มถ่วง
ลิฟต์ขึ้น	ใช้พลังงานไฟฟ้า Mode 1	ใช้แรงโน้มถ่วง (ผลิตไฟฟ้าได้) Mode 2
ลิฟต์ลง	ใช้แรงโน้มถ่วง (ผลิตไฟฟ้าได้) Mode 3	ใช้พลังงานไฟฟ้า Mode 4



รูปที่ 2.5 การทำงานของมอเตอร์ในสถานะต่างๆ โดยเปรียบเทียบระหว่างความเร็วและแรงบิด  
ที่มา: <https://doi.org/10.3390/su142013267>

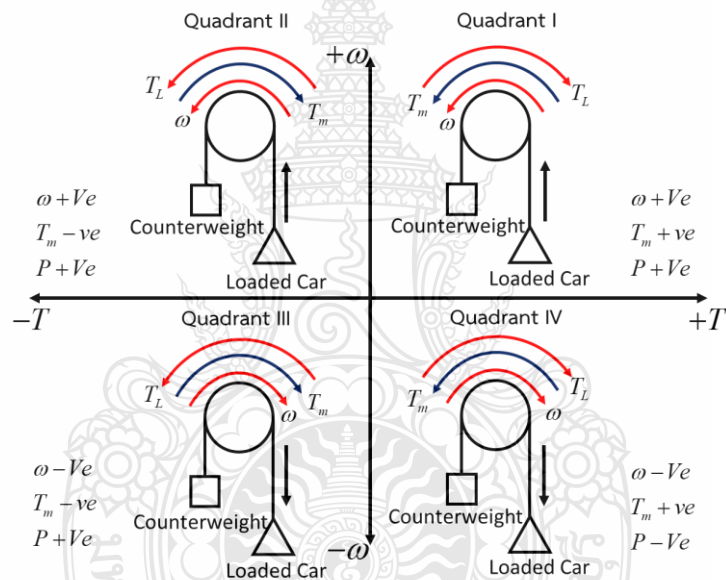
### 2.2.5 การทำงานในโหมดต่างๆของมอเตอร์ซิงโครนัสแบบแม่เหล็กถาวร

จากรูปที่ 2.7 และ 2.8 สามารถนำมาอธิบายการทำงานในโหมดต่างๆของมอเตอร์ซิงโครนัสแบบแม่เหล็กถาวร การทำงานในควอดแดรนต์ที่ 1และ3 จะถูกกำหนดให้เป็นมอเตอร์โหมด ซึ่งจะหมายความว่าความเร็วและแรงบิดเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และส่วนการทำงานในควอดแดรนต์ที่ 2 และ 4 จะถูกกำหนดให้เป็นเครื่องกำเนิด หรือบางครั้งเรียกว่า รีเจนเนอเรทีฟโหมด ซึ่งหมายความว่าความเร็วและแรงบิดอยู่ในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือ แรงบิดของมอเตอร์มีทิศทางสวนกลับกับทิศทางของการหมุนหรือความเร็วรอบของมอเตอร์ ซึ่งจะทำให้มอเตอร์สร้างพลังงานออกมา พลังงานนี้สามารถจ่ายกลับเข้าระบบไฟฟ้าได้ต่อไปหรือสามารถนำพลังงานนี้มาใช้ประโยชน์อีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 2.6 การทำงานของมอเตอร์ระหว่างความเร็วและแรงบิดในแต่ละช่วงเวลา

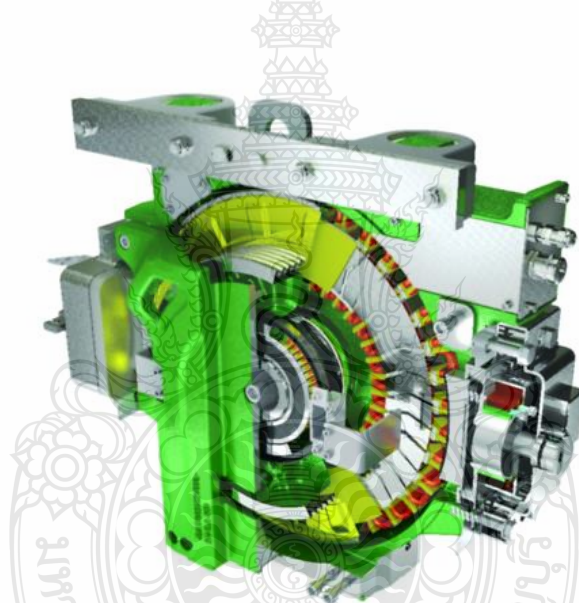
ที่มา: <https://www.kollmorgen.com/en-us/developer-network/four-quadrant-operation/>



รูปที่ 2.7 การทำงานของมอเตอร์ระหว่างความเร็วและแรงบิดในแต่ละช่วงเวลา

จากรูปที่ 2.8 การทำงานในช่วงที่ 1 แสดงให้เห็นถึงการทำงานของมอเตอร์ซึ่งจะถูกเร่งด้วยความเร็วและแรงบิดไปในทิศทางบวก ส่วนการทำงานในช่วงที่ 2 ความเร็วยังคงมีค่าเป็นบวกและแรงบิดเป็นลบซึ่งจะทำให้การทำงานของมอเตอร์หยุดลงแต่จะกลับกลายเป็นเครื่องกำเนิดแทน และส่วนการทำงานในช่วงที่ 3 จะมีการทำงานคล้ายกับช่วงที่ 1 แต่ทิศทางจะตรงกันข้ามกันคือเป็นลบซึ่งจะยังคงเป็นการทำงานของมอเตอร์ ช่วงที่ 4 จะคล้ายกับ ช่วงที่ 2 แต่มีทิศทางตรงกันข้ามกัน [51]

2.2.6 มอเตอร์ซิงโครนัสแบบชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Synchronous Motor) มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรเป็นที่นิยมใช้กันมากในงานอุตสาหกรรมเนื่องจากเป็นมอเตอร์ที่มีสัดส่วนแรงบิดต่อน้ำหนักสูงทำให้มีผลตอบสนองในการควบคุมที่รวดเร็วมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยต่ำสนามแม่เหล็กที่ตัวโรเตอร์จะเปลี่ยนจากการใช้ขดลวดพันรอบโรเตอร์เป็นการใช้แม่เหล็กถาวร โดยที่แม่เหล็กถาวรดังกล่าวจะทำมาจากเฟอร์ไรต์แบบ Hard Materials แต่เนื่องจากเฟอร์ไรต์แบบ Hard Materials จะมีค่า Reminisce และ Coercive Force ต่ำทำให้แม่เหล็กถาวรจะมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากปัญหาของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรคือการไม่สามารถปรับค่ากระแสสนามได้ซึ่งทำให้ไม่สามารถปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังแรงบิดขณะเริ่มเดินเครื่องต่ำและแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับภายในมีค่าแปรตามความเร็วข้อดีของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรคือไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและขดลวดสร้างสนามที่ตัวโรเตอร์ทำให้ลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด

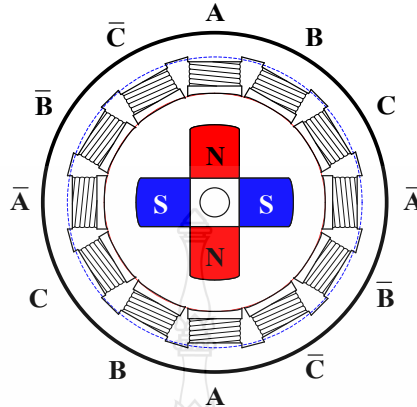


รูปที่ 2.8 มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร

ที่มา: <https://www.kone.com>

โครงสร้างของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรแสดงดังรูปที่ 2.10 เป็นมอเตอร์ 3 เฟสมีขั้วแม่เหล็ก 4 ขั้ว (2 คู่ขั้ว) ประกอบด้วยขดลวดที่อยู่กับที่เรียกว่าขดลวดสเตเตอร์ (Stator Winding) และส่วนที่เคลื่อนที่เรียกว่าโรเตอร์ (Rotor) ซึ่งเป็นแม่เหล็กถาวรโดยมีช่องอากาศ (Air Gap) คั่นกลางระหว่างทั้งสองส่วนซึ่งโครงสร้างสเตเตอร์ของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรเหมือนกับมอเตอร์ซิงโครนัส 3 เฟสทั่วไปที่จ่ายไฟให้ขดลวดที่โรเตอร์คือมีขดลวดสเตเตอร์ 3 เฟสพันอยู่ในร่องสลอต (Slot) โดยที่ขดลวดมีการวางให้มีการกระจายเป็นไซน์ (Sinusoidal Distribution) เพื่อสร้างแรงเคลื่อน

แม่เหล็กไฟฟ้าให้หมุนเป็นวงกลมขณะที่ขดลวดบนโรเตอร์ถูกแทนด้วยแม่เหล็กถาวรทำให้ไม่มีค่าสูญเสียจากขดลวดถ้าเปรียบเทียบกับมอเตอร์ที่มีขดลวดที่กำลังเท่ากัน [51]



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร 3 เฟสมีขั้วแม่เหล็ก 4 ขั้ว (2 คู่ขั้ว)  
ที่มา: <https://911electronic.com/synchronous-motor-working-principle/>

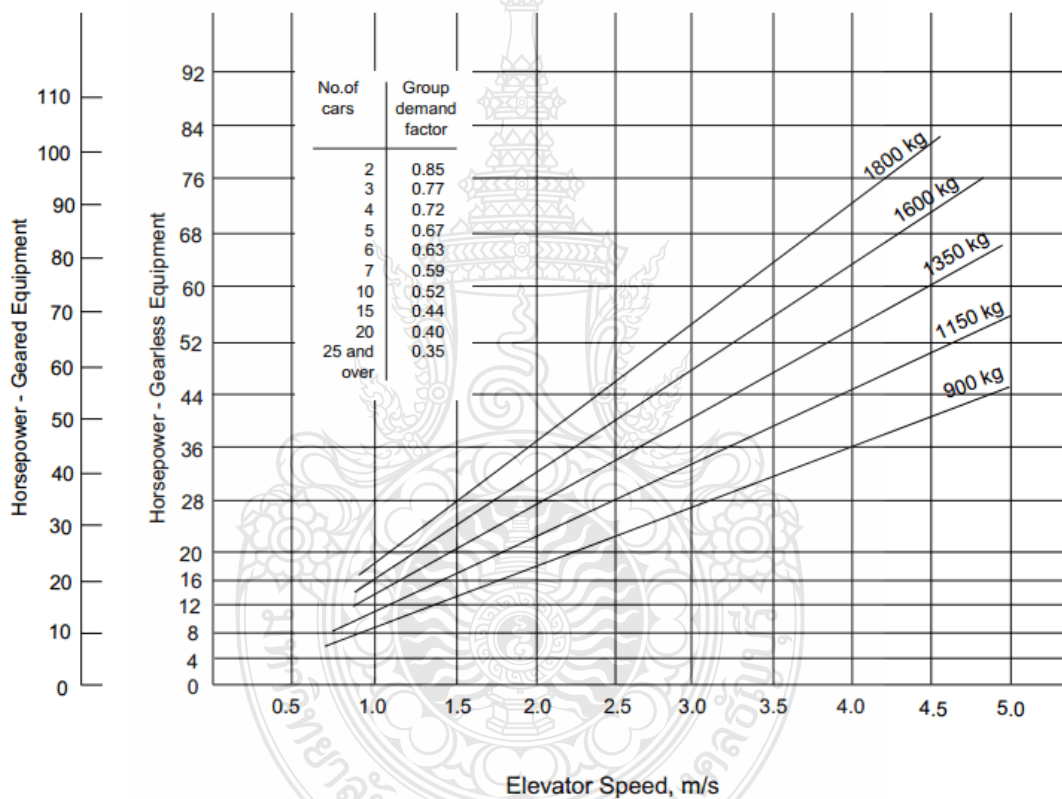
มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรจะมีตัวโรเตอร์แบบขั้วยื่น (Salient Pole Rotor) ซึ่งมีช่องว่างอากาศไม่สม่ำเสมอ ฟลักซ์แม่เหล็กในช่องอากาศ ที่ตำแหน่งต่างๆจะมีการกระจายตัวไม่เท่ากัน เนื่องจากต้องเดินทางผ่านความไม่สมมาตรของช่องอากาศทั้ง 2 แกนหลักคือ แกนแม่เหล็กของโรเตอร์ (Direct Axis) และแกนที่ตั้งฉากกัน (Quadrature Axis) ดังนั้นแรงดันที่ขั้วจึงถูกเหนี่ยวนำขึ้นใน 2 แกนหลักคือ  $V_d$  และ  $V_q$  [51]

มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Synchronous Motor; PMSM) มีข้อดีกว่ามอเตอร์ชนิดอื่น คือในมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสเตเตอร์จะประกอบด้วยกระแสสนามแม่เหล็กในแกนซึ่งเป็นองค์ประกอบ ในการสร้างสนามแม่เหล็กแต่ในมอเตอร์ซิงโครนัส เมื่อโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวรจึงไม่จำเป็นต้องมีกระแสสนามแม่เหล็กในแกนให้กับสเตเตอร์จากลักษณะดังกล่าวที่ กำลังงานของมอเตอร์เท่าๆ กันมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรจะทำงานที่ตัวประกอบกำลังสูงกว่า ทำให้ประสิทธิภาพสูงกว่าด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ซิงโครนัสทั่ว ๆ ไปที่จะต้องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับโรเตอร์เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กให้กับโรเตอร์ดังนั้นในมอเตอร์ซิงโครนัสธรรมดาจึงต้องมีแปลงถ่านกับสลีปริ่งซึ่งนั่นทำให้มีการสูญเสียที่โรเตอร์และต้องการการบำรุงรักษาแปลงถ่านจากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้มีการพัฒนามาเป็นแบบมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรที่ไม่ต้องมีขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก (Field Coil) แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและวงแหวนสลีปริ่งเพราะถูกแทนที่ด้วยแม่เหล็กถาวรมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรมีแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้านกลับ (Back EMF) ที่เป็นไซน์ (Sinusoidal) ดังนั้นจึงต้องการกระแสเตเตอร์เป็นรูปคลื่นไซน์เพื่อสร้างแรงบิดให้คงที่เช่นเดียวกับ

มอเตอร์ซิงโครนัสนอกจากนั้นมอเตอร์ซิงโครนัสนิตแม่เหล็กถาวรยังมีน้ำหนักเบาขนาดเล็กและแรงเฉื่อยต่ำกว่าเมื่อเทียบกับมอเตอร์ที่ค่าพิกัดเดียวกันแต่ข้อด้อยคือมีราคาแพงเนื่องจากราคาของแม่เหล็กถาวรที่มีราคาแพงและคุณสมบัติของแม่เหล็กแปรผันตามอุณหภูมิและเปลี่ยนแปลงตามเวลา [51]

### 2.3.4 พลังงานไฟฟ้าที่ลิฟต์ใช้

พลังงานที่ใช้ในระบบลิฟต์คือ พลังงานที่เอาชนะความเสียดทาน ความร้อนสูญเสียที่ระบบเบรคความร้อนสูญเสียที่มอเตอร์ และความร้อนสูญเสียในอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ส่วนพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนลิฟต์ จะถูกเก็บไว้ในรูปพลังงานศักย์ และจะได้กลับคืนมาเมื่อลิฟต์เคลื่อนที่ลง ดังรายการคำนวณที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.5



รูปที่ 2.10 การใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องลิฟต์ที่ใช้แรงฉุดจากความฝืดขับเคลื่อนด้วยเฟือง (Geared machine) และขับเคลื่อนโดยตรง (Gearless machine)

ที่มา : Stein /Reynolds/McGuinness, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings 7th Edition.

จากรูปที่ 2.2 การใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องลิฟต์ทั้ง สองประเภท ได้แก่แบบขับเคลื่อนและแบบมีเฟืองทดหรือระบบเกียร์จะพบว่าขนาดพิกัดกำลังจะแปรผันตรงกับน้ำหนักบรรทุกและความเร็วที่กำหนดของลิฟต์ที่เริ่มตั้งแต่ 0.5 เมตรต่อวินาที จนถึง 5.0 เมตรต่อวินาทีเป็นต้น



ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างรายการคำนวณการใช้พลังงานของลิฟต์

รายการคำนวณ	ค่าที่ได้
ขนาดมอเตอร์ขับเคลื่อนลิฟต์ ( $p_m$ )	5.5 kW
กระแสไฟฟ้าในช่วงเร่งความเร็วและภาระเต็มพิกัด ( $i_a$ )	27.3 A
กระแสไฟฟ้าที่ความเร็วเต็มพิกัด ( $i_c$ )	14.4 A
ขนาดแรงดันไฟฟ้า	400 V
ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ภาระเต็มพิกัด (PF)	0.85
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่ภาระเต็มพิกัด $p_a = (\sqrt{3} \times V \times i_a \times PF)/1000$	16.1 kW
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่ความเร็วเต็มพิกัด $p_c = (\sqrt{3} \times V \times i_c \times PF)/1000$	8.5 kW
ระยะห่างระหว่างชั้น ( $s_c$ )	4 m
ความเร็วพิกัดของลิฟต์ ( $v$ )	45 m/min
ระยะที่ลิฟต์เคลื่อนที่จากจุดหยุดนิ่งถึงความเร็วสูงสุด ( $s_a$ )	2 m
ระยะที่ลิฟต์เคลื่อนที่เปลี่ยนจากความเร็วสูงสุดถึงจุดหยุดนิ่ง ( $s_b$ )	506.25 m
ความเร่งของลิฟต์จากจุดหยุดนิ่งถึงความเร็วสูงสุด $a = \frac{v^2}{2} \times s_b$	0.56 min <sup>-2</sup>
เวลาที่ลิฟต์ใช้ในการเร่งจากหยุดนิ่งถึงความเร็วสูงสุด $t_a = v/a$	0.089 min
เวลาที่ ลิฟต์ ใช้ในการเคลื่อนที่จากชั้นถึงชั้นโดยไม่จอด $t_c = s_c/v$	0.089 min
พลังงานที่ลิฟต์ใช้เมื่อต้องการหยุดรับผู้โดยสาร 1 ครั้งระหว่างชั้น G จนถึงชั้น 7 ทั้งหมดมี 6 ชั้นได้แก่ชั้น G 2 3 4 5 6 และชั้น 7	0.087 kWh
พลังงานที่ใช้เมื่อต้องการหยุดรับผู้โดยสาร 6 ครั้งระหว่างชั้น G ถึงชั้น 7 จอดทุกชั้น (จอดทุกชั้น) $E = (2 * p_a * 6 * (t_a/a/60))$	0.143 kWh

เมื่อพิจารณา น้ำหนักขนาดบรรทุกทุกความเร็วลิฟต์ ขนาดพิกัดมอเตอร์ตลอดจนความร้อนสูญเสีย จะพบว่า ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับลิฟต์นั้นเป็นไปตามตัวอย่างที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างพลังงานไฟฟ้าที่ลิฟต์ใช้

น้ำหนักบรรทุก (กิโลกรัม)	น้ำหนักบรรทุก (คน)	ความเร็วลิฟต์ (เมตรต่อนาที)	ขนาดมอเตอร์ (กิโลวัตต์)	ความร้อนสูญเสีย (กิโลวัตต์)	ความร้อนสูญเสีย (กิโลแคลอรี ต่อชั่วโมง)
900	12/13	23	14.1	2.13	1,832
		3.0	17.1	2.57	2206
		33	19.9	2.99	2367
		4.0	22.8	3.42	2,941
1,150	16/17	23	182	2.73	2,348
		3.0	21.8	327	2,812
		33	25.4	3.81	3277
		4.0	29.1	4.37	3,754
1350	18/20	23	213	32	2,748
		3.0	25.6	3.84	3,302
		33	29.9	4.49	3,857
		4.0	34.1	5.12	4,399

## 2.4 การออกแบบระบบลิฟต์ในอาคาร

เนื่องด้วยลิฟต์สำหรับใช้ในอาคารควบคุม นั้นเป็นปัจจัยที่สำคัญและเป็นระบบพื้นฐานของการขนส่งภายในอาคารหรือเรียกว่าระบบขนส่งทางดิ่ง โดยเริ่มตั้งแต่ ระหว่างการก่อสร้างอาคาร ตลอดจนถึงสิ้นสุดอายุการใช้งานของอาคาร ในการออกแบบลิฟต์นั้นโดยทั่วไปแล้วจะสามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อที่สำคัญได้สองประการได้แก่

### 2.4.1 องค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบลิฟต์

สำหรับองค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบลิฟต์ เบื้องต้น ได้ระบุไว้ ซึ่งรายละเอียดที่สำคัญดังแสดงในตารางที่ 2.7 รวมถึงมาตรฐาน และเกณฑ์ในการประกอบพิจารณา



## ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบลิฟต์

องค์ประกอบที่สำคัญ	เกณฑ์ประกอบการพิจารณา
ประเภทของลิฟต์	มาตรฐานระบบลิฟต์ วสท. EN-81-20:2017
การจัดวางของลิฟต์	มาตรฐานระบบลิฟต์ วสท. EN-81-20:2017
พิกัดบรรทุก	มาตรฐานระบบลิฟต์ วสท. EN-81-20:2017
ความเร็วพิกัด	มาตรฐานระบบลิฟต์ วสท. EN-81-20:2017 ความสูงของอาคาร
จำนวนของลิฟต์	ขนาดพื้นที่และประเภทของอาคาร ความหนาแน่นพื้นที่ของต่อคน
ขนาดปล่องลิฟต์/ห้องเครื่อง	มาตรฐานระบบลิฟต์ วสท. EN-81-20:2017

### 2.4.2 การวิเคราะห์การจราจรของลิฟต์

การวิเคราะห์การจราจรลิฟต์เป็นกระบวนการที่สำคัญในการออกแบบลิฟต์ ที่สามารถทราบถึงประสิทธิภาพการบริการของลิฟต์เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานอาคารโดยการวิเคราะห์การจราจรลิฟต์เป็นพื้นฐานในการวางแผนและออกแบบระบบลิฟต์ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ การวิเคราะห์การจราจรลิฟต์ด้วยวิธีการคำนวณ และการวิเคราะห์การจราจรลิฟต์ด้วยวิธีการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

## 2.5 ขั้นตอนการออกแบบระบบลิฟต์

ในปัจจุบัน ลิฟต์ได้กลายเป็นส่วนสำคัญของชีวิตประจำวัน เป็นพิเศษในโครงการขนาดใหญ่ เช่น อาคารสูง ห้างสรรพสินค้า และสนามบิน การออกแบบระบบลิฟต์สำหรับโครงการเหล่านี้ต้องการการวางแผน วิเคราะห์ และดำเนินการอย่างรอบคอบเพื่อให้เป็นไปตามความต้องการและปลอดภัย กระบวนการนี้ประกอบด้วยขั้นตอนหลายขั้นตอน เช่น การวิเคราะห์ความต้องการของระบบลิฟต์ การเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสม การออกแบบและวางแผนเครื่องจักรและระบบควบคุม และการทดสอบและปรับแต่งระบบ ในบทความนี้ เราจะพูดถึงขั้นตอนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการออกแบบระบบลิฟต์สำหรับโครงการขนาดใหญ่

### 2.5.1 การกำหนดรายละเอียดโครงการ

การกำหนดรายละเอียดโครงการต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการออกแบบและการทำงานของระบบลิฟต์ เช่น ปริมาณและน้ำหนักของวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างระบบลิฟต์ พื้นที่และรูปแบบของห้องลิฟต์ น้ำหนักที่รองรับของลิฟต์ และอื่นๆ โดยการตั้งโครงการลิฟต์ต้องคำนึงถึงการประมาณค่าการใช้งานระยะยาวและความต้องการการบำรุงรักษาของระบบลิฟต์เพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการลิฟต์ นอกจากนี้ การศึกษาโครงการลิฟต์ยังต้องคำนึงถึงมาตรฐานและข้อกำหนดของการออกแบบระบบลิฟต์ ทั้งนี้เพื่อให้ระบบลิฟต์มีความปลอดภัยสูงสุดและเป็นไปตามมาตรฐานที่

กำหนดไว้ การออกแบบระบบลิฟต์นั้นไม่ได้เพียงแค่เลือกวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ แต่ยังต้องมีการคำนึงถึงวิธีการติดตั้ง การทดสอบ และการบำรุงรักษาเพื่อให้ระบบลิฟต์สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และปลอดภัยตลอดเวลา

#### 2.5.2 แนวความคิดในการออกแบบระบบลิฟต์

ในการออกแบบระบบลิฟต์ที่เหมาะสมควรพิจารณาแนวคิดหลักต่างๆ เช่น วางแผนตำแหน่งของลิฟต์ให้เหมาะสมกับการใช้งานและการเคลื่อนย้ายของผู้ใช้งาน นอกจากนี้ยังควรเลือกวัสดุที่มีคุณภาพและความปลอดภัยสูงเพื่อให้มีความทนทานและมั่นคงต่อการใช้งาน ในการออกแบบระบบลิฟต์นั้นควรมีการให้ความสำคัญกับเรื่องความปลอดภัย ไม่ว่าจะเป็นในด้านการติดตั้งหรือการใช้งานประจำวันของลิฟต์ อีกทั้งยังควรออกแบบระบบควบคุมลิฟต์ให้มีประสิทธิภาพและทันสมัยในการใช้งาน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้สะดวกและรวดเร็วตามที่ต้องการ นอกจากนี้ยังควรพิจารณาเรื่องความสะดวกสบายของผู้ใช้งานและประสบการณ์ที่ดีในการใช้งาน และการออกแบบให้เข้ากับสถาปัตยกรรมของอาคาร เพื่อให้ได้รับความเป็นมาตรฐานที่ดีที่สุด ทั้งนี้ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ เช่น การเป็นเอกซน การประหยัดพลังงาน ความสามารถในการบำรุงรักษาและการซ่อมแซม และเรื่องสวยงามของการออกแบบระบบลิฟต์ด้วย

#### 2.5.3 การออกแบบร่าง หรือ แบบผังระบบลิฟต์

การออกแบบแบบผังระบบลิฟต์ (Lift Schematic Design) เป็นกระบวนการที่สำคัญในการกำหนดโครงสร้างและรายละเอียดของระบบลิฟต์ โดยผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่น การวางแนวทางของและจำนวนชั้นของอาคาร รูปแบบและขนาดของห้องลิฟต์ ความต้องการของผู้ใช้งาน และปริมาณน้ำหนักที่ลิฟต์ต้องรับได้ ผู้ออกแบบจะต้องสร้างแบบผังระบบลิฟต์ ที่มีการแสดงรายละเอียดของการทำงาน หรือแผนผังของเครื่องจักร รวมถึงระบบไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ ระบบปรับความเร็ว ระบบควบคุมและจัดการต่างๆ ซึ่งต้องเป็นไปตามมาตรฐานและข้อกำหนดที่กำหนดไว้ การออกแบบแบบผังระบบลิฟต์จะช่วยให้ผู้ใช้งานที่จะใช้งานระบบลิฟต์เข้าใจได้ง่ายขึ้น และช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถประเมินค่าใช้จ่ายและเวลาในการสร้างระบบลิฟต์ได้ด้วยดี นอกจากนี้ การออกแบบแบบผังระบบลิฟต์ยังช่วยให้ผู้รับเหมาสามารถติดตั้งระบบลิฟต์ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพในการทำงาน โดยสามารถป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต

#### 2.5.4 งานออกแบบรายละเอียด

การออกแบบรายละเอียดของระบบลิฟต์ (Lift Detail Design) เป็นการจัดทำแผนภูมิและรายละเอียดที่ละเอียดของระบบลิฟต์ เพื่อให้เห็นภาพรวมของการทำงานและส่วนประกอบต่างๆ ของระบบ การออกแบบรายละเอียดต้องพิจารณาด้านการออกแบบโครงสร้าง การออกแบบระบบเครื่องจักร การออกแบบระบบไฟฟ้า การออกแบบระบบปรับอากาศ การออกแบบระบบควบคุม และการออกแบบ

ระบบป้องกันอุบัติเหตุ ในการออกแบบรายละเอียดของระบบลิฟต์ ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่น สิ่งแวดล้อมในการใช้งาน ขนาดและน้ำหนักของวัตถุหรือ บุคคลที่จะเข้าไปในลิฟต์ ปริมาณการใช้งาน ประเภทของการใช้งาน การออกแบบรายละเอียดของระบบลิฟต์จะเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและต้องการความรอบคอบ เนื่องจากลิฟต์ มีการใช้งานตลอดเวลาและเป็นส่วนสำคัญของอาคาร ดังนั้น การออกแบบรายละเอียดของระบบลิฟต์จะต้องคำนึงถึงการทำงานทุกกระบวนการเพื่อให้ผู้ใช้งานมีความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการใช้งานโดยสมบูรณ์ นอกจากนี้ ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงความคุ้มค่าของต้นทุนและเทคโนโลยีในการออกแบบระบบลิฟต์ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้โดยเหมาะสมและเป็นประโยชน์ในทุกๆ ด้าน

#### 2.5.5 การพัฒนาแบบก่อสร้าง

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบรายละเอียดของระบบลิฟต์เสร็จสิ้นแล้ว ขั้นตอนถัดไปในกระบวนการออกแบบลิฟต์คือการพัฒนาการออกแบบเพื่อให้ได้ระบบลิฟต์ที่สมบูรณ์แบบและสามารถผลิตและติดตั้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ การพัฒนาการออกแบบระบบลิฟต์ จะเริ่มต้นด้วยการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ซึ่งจะใช้ในการวิเคราะห์และจำลองการทำงานของระบบลิฟต์ ต่อมาจะมีการทดสอบการทำงานของระบบลิฟต์ด้วยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะช่วยตรวจสอบและปรับปรุงการทำงานของระบบลิฟต์ก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนการผลิตและติดตั้งจริงในอาคาร

ในขั้นตอนการพัฒนาการออกแบบระบบลิฟต์ ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงการใช้งานวัสดุและอุปกรณ์ที่มีคุณภาพและความทนทาน เพื่อให้ระบบลิฟต์สามารถทำงานได้โดยต่อเนื่องและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน นอกจากนี้การพัฒนาการออกแบบระบบลิฟต์ยังคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้งาน โดยการใช้เทคโนโลยีที่มีความปลอดภัยสูง เช่น ระบบควบคุมอัตโนมัติ เนื่องจากลิฟต์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานในอาคารหลายชั้น และมีการเคลื่อนย้ายผู้ใช้งานระหว่างชั้นไปยังอาคารอื่นๆ จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบการตรวจจับและป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นในกรณีฉุกเฉิน และระบบการควบคุมการเคลื่อนที่ของลิฟต์เพื่อให้มีความสะดวกสบายและปลอดภัยสูงสุดสำหรับผู้ใช้งาน

นอกจากการพัฒนาการออกแบบระบบลิฟต์ ในขั้นตอนการพัฒนานี้ยังมีการวิเคราะห์เชิงเทคนิคเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ในการผลิตและติดตั้งระบบลิฟต์ในสถานที่จริง โดยคำนึงถึงความเหมาะสมของวัสดุและวิธีการผลิตที่เหมาะสมกับการใช้งาน นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์และประเมินการติดตั้งระบบลิฟต์ในอาคารเพื่อความเหมาะสมกับการใช้งานและความปลอดภัยสูงสุด ดังนั้น การพัฒนาการออกแบบระบบลิฟต์เป็นขั้นตอนที่สำคัญและจำเป็นในกระบวนการออกแบบลิฟต์ เพื่อให้ได้ระบบลิฟต์ที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพในการทำงาน และมีความปลอดภัยสูงสุดสำหรับผู้ใช้งาน นอกจากการพัฒนาการออกแบบระบบลิฟต์แล้ว การใช้คำแนะนำจากทีมที่เชี่ยวชาญด้านลิฟต์ช่วยให้การออกแบบระบบลิฟต์มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยทีมนี้จะทำการรวบรวม

ข้อมูลและสร้างข้อกำหนดลิฟต์ ที่ตรงตามความต้องการของโครงการ และเตรียมพร้อมสำหรับทีม QS ใช้เป็นข้อมูลสำหรับการเสนอราคาหรือเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการจัดทำรายละเอียดงานของโครงการ (term of reference) เพื่อใช้ในการประมูลงานโครงการต่อไป นอกจากนี้ยังช่วยทำให้โครงการมีการประเมินตัวเลือกที่เหมาะสมสำหรับโครงการนั้นๆ โดยสามารถปรับปรุงและประหยัดค่าใช้จ่ายได้หากมีความจำเป็น

## 2.6 รูปแบบการจราจรของลิฟต์

### 2.6.1 อาคารที่พักอาศัย

อาคารที่อยู่อาศัยมีปริมาณการจราจรค่อนข้างต่ำในช่วงเวลาระหว่างวันโดยมีการจราจรที่สูงขึ้นในช่วงเย็นอีกครั้ง เมื่อผู้อยู่อาศัยกลับจากที่ทำงาน ลิฟต์ในอาคารที่พักอาศัยมักจะให้บริการเพียงไม่กี่ชั้นและผู้อยู่อาศัยใช้เพื่อเข้าถึงบ้านของพวกเขา ด้วยเหตุนี้ขนาดของลิฟต์ จึงไม่จำเป็นต้องมีขนาดใหญ่เท่ากับลิฟต์โรงพยาบาลหรือโรงแรม แต่ก็ต้องรองรับผู้อยู่อาศัยที่มีความพิการด้วยเช่นกัน

### 2.6.2 โรงพยาบาล

โรงพยาบาลมีปริมาณการจราจรสูงตลอดเวลาโดยมีช่วงเวลาเร่งด่วนในตอนเช้าและตอนเย็น เมื่อผู้ป่วยเข้ารับการรักษาหรือออกจากโรงพยาบาลและญาติผู้ป่วยที่กำลังเข้ามาและออกไป ลิฟต์ต้องสามารถรองรับผู้ป่วยได้หลากหลาย รวมถึงผู้ป่วยติดเตียงหรือใช้เก้าอี้รถเข็น ดังนั้นลิฟต์จึงต้องกว้างขวางและมีที่พักสำหรับผู้ป่วยที่มีความต้องการพิเศษ

### 2.6.3 สำนักงาน

อาคารสำนักงานมีปริมาณการจราจรสูงในช่วงเวลาทำงานโดยมีการจราจรที่เบากว่าในช่วงวันหยุดสุดสัปดาห์และวันหยุด ลิฟต์ในอาคารสำนักงานมักใช้เพื่อเข้าถึงชั้นต่างๆ ดังนั้นจึงต้องมีขนาดที่เหมาะสมและสามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกได้ นอกจากนี้ยังต้องสามารถรองรับพนักงานที่มีความทุพพลภาพได้

### 2.6.4 มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยมีปริมาณการจราจรสูงในช่วงเวลาเปลี่ยนชั้นเรียน โดยมีการจราจรที่เบากว่าในช่วงวันหยุดสุดสัปดาห์และวันหยุด ลิฟต์ในมหาวิทยาลัยจำเป็นต้องสามารถรองรับนักเรียนจำนวนมากได้ดังนั้นจึงต้องกว้างขวางและสามารถรองรับภาระหนักได้ นอกจากนี้ยังต้องสามารถรองรับนักเรียนที่มีความทุพพลภาพได้

## 2.6.5 โรงแรม

โรงแรมมีการจราจรหนาแน่นในช่วงเวลาเช็คอินและเช็คเอาท์ โดยมีการจราจรที่เบากว่าในระหว่างวัน ลิฟต์ในโรงแรมจำเป็นต้องสามารถรองรับกระเป๋าดูแลเดินทางจำนวนมากได้ ดังนั้นจึงต้องมีพื้นที่กว้างขวางและมีที่ว่างสำหรับรถเข็นสัมภาระ นอกจากนี้ยังต้องสามารถรองรับผู้ทุพพลภาพได้ด้วย

จากรูปแบบการจราจรของลิฟต์ที่มีลักษณะเฉพาะ ในแต่ละประเภทของอาคาร นั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆเช่นที่ตั้งขนาดและวัตถุประสงค์ของอาคาร ในบทต่อไปเราจะวิเคราะห์ลึกเข้าไปในการตรวจสอบและวิเคราะห์รูปแบบการจราจรลิฟต์ในอาคารประเภทต่างๆ ด้วยการทำความเข้าใจรูปแบบเฉพาะของการใช้ลิฟต์ในอาคารควบคุม ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของลิฟต์และปรับปรุงประสบการณ์การใช้งาน โดยรวมสำหรับผู้อยู่อาศัยและผู้ใช้งานในอาคารควบคุมทั้ง 5 ประเภท ข้อมูลที่ได้รวบรวมถูกตรวจสอบ และวิเคราะห์นั้น จะให้ข้อมูลเชิงลึกที่มีคุณประโยชน์ เกี่ยวกับการใช้ลิฟต์อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงาน ช่วยให้เราสามารถกำหนดพื้นที่สำหรับการปรับปรุงอาคาร ประกอบการตัดสินใจอย่างชาญฉลาด และ วางแผนการบำรุงรักษาระบบลิฟต์ จากการตรวจสอบและวิเคราะห์อย่างต่อเนื่องจะทำให้ มั่นใจได้ว่าลิฟต์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถเดินทางไปยังชั้นที่หมายที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วและมีความปลอดภัยสูงสุด

## 2.7 การอนุรักษ์พลังงานในระบบลิฟต์

การอนุรักษ์พลังงานในระบบลิฟต์จะช่วยลดค่าใช้จ่ายและเป็นการช่วยลดสิ่งแวดล้อม และสร้างความสะดวกสบายให้กับผู้ใช้บริการด้วยวัสดุที่ใช้มีคุณภาพสูงจะช่วยให้ลิฟต์มีอายุการใช้งานนานขึ้นและลดการซ่อมแซมและการบำรุงรักษา ซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานและลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา นอกจากนี้ยังสามารถใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น วัสดุรีไซเคิล (recycled) หรือวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ เพื่อลดการใช้วัสดุใหม่และการสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม การอนุรักษ์พลังงานในระบบลิฟต์เป็นเรื่องสำคัญในการสร้างสังคมที่มีความยั่งยืนและสิ่งแวดล้อมที่เป็นมิตร โดยการใช้แนวคิดและเทคโนโลยีในการอนุรักษ์พลังงานในระบบลิฟต์จะช่วยลดค่าใช้จ่ายและการใช้พลังงานในการดำเนินงาน ทำให้การใช้งานลิฟต์มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และสามารถช่วยลดออกก๊าซเรือนกระจกและก๊าซเรือนเขียวที่เกิดจากการใช้งานลิฟต์ได้นอกจากนี้การอนุรักษ์พลังงานในระบบลิฟต์ยังสามารถช่วยลดการใช้วัสดุและลดการสร้างขยะ โดยการใช้วัสดุที่มีคุณภาพสูงและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม รวมถึงการใช้แหล่งพลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น แสงอาทิตย์หรือพลังงานจากการเผาไหม้เศษไม้หรือผลไม้ ที่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ จะช่วยลดการใช้วัสดุใหม่และการสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมโดยมีวิธีการหลายวิธีเช่นกันที่สามารถนำมาใช้เพื่อลดการใช้พลังงานในระบบลิฟต์ เช่น

### 2.7.1 การปรับเปลี่ยนส่วนประกอบของระบบลิฟต์ให้เป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัย

การอัพเกรดหรือปรับเปลี่ยนส่วนประกอบของระบบลิฟต์ให้เป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัย เช่น การใช้ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์หรือการใช้ระบบเครื่องยนต์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

### 2.7.2 การใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ

การใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติจะช่วยลดการใช้พลังงานโดยปรับแต่งการทำงานของลิฟต์ให้เหมาะสมกับปริมาณคนและสิ่งของที่เข้าใช้บริการ

### 2.7.3 การใช้ระบบจ่ายคืนพลังงาน

การใช้ระบบตัวจ่ายพลังงานจะช่วยให้การเคลื่อนไหวของลิฟต์สามารถกำหนดค่าความเร็วและความสูงได้ให้เหมาะสม โดยเมื่อลิฟต์เคลื่อนที่ลงมาและส่งพลังงานกลับไปยังระบบ ทำให้ลดการใช้พลังงานในระบบลิฟต์

### 2.7.4 การใช้วัสดุที่มีคุณภาพ

การใช้วัสดุที่มีคุณภาพสูงและเหมื่องานที่มีความชำนาญในการติดตั้งและบำรุงรักษาระบบลิฟต์อย่างสม่ำเสมอ จะช่วยลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับระบบลิฟต์ และทำให้ระบบทำงานได้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น การออกแบบระบบลิฟต์ที่มีการอนุรักษ์พลังงานจะต้องใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยและเหมาะสมกับการใช้งาน รวมถึงการศึกษาและประยุกต์ใช้เทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดการอบรมและประสานงาน : การสอนและประสานงานให้กับพนักงานผู้ใช้งานลิฟต์ จะช่วยสร้างความตระหนักรู้และเข้าใจถึงการใช้งพลังงานในการใช้งานลิฟต์ และทำให้ผู้ใช้งานลิฟต์มีส่วนร่วมในการอนุรักษ์พลังงานอย่างมากขึ้น การอนุรักษ์พลังงานในระบบลิฟต์ยังสามารถทำได้โดยการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการใช้งานลิฟต์ เช่น การใช้ระบบไฟฟ้าอัตโนมัติที่ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานของลิฟต์ได้ รวมถึงการใช้ระบบอากาศยานพาณิชย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการปรับอากาศและลดการสูญเสียพลังงาน นอกจากนี้ การติดตั้งเซ็นเซอร์ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลิฟต์และการปรับสัญญาณไฟสัญญาณจะช่วยลดการใช้งงานและการสูญเสียพลังงานของระบบลิฟต์ในทางปฏิบัติ การอนุรักษ์พลังงานในระบบลิฟต์สามารถทำได้โดยการใช้โหมดประหยัดพลังงานที่มีอยู่ในระบบลิฟต์ การเปิด-ปิดไฟเฉพาะบางเวลา การปรับอุณหภูมิที่ต้องการในห้องควบคุมของลิฟต์ และการเลือกใช้เครื่องลิฟต์ที่มีพลังงานสูงสุด เช่น การใช้มอเตอร์ที่มีความสามารถในการกักเก็บพลังงานได้และระบบเบรกเกอร์ที่ช่วยในการลดการใช้พลังงาน นอกจากนี้ยังสามารถใช้ระบบควบคุมแบบกึ่งอัตโนมัติเพื่อปรับใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการกำหนดเวลาเปิด-ปิดประตูลิฟต์ให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง เช่น การปิดประตูลิฟต์เมื่อไม่มีผู้ให้บริการ หรือการปรับความเร็วของลิฟต์ให้เหมาะสมกับจำนวนผู้ให้บริการในแต่ละช่วงเวลา

นอกจากนี้ยังมีการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น การใช้หลอดไฟ LED แทนหลอดไฟฟ้าเพื่อประหยัดพลังงาน การใช้ระบบการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติเพื่อลดการสูญเสียพลังงานในการเผาไฟฟ้า เป็นต้นตลอดจนการพัฒนาาระบบเพื่ออนุรักษ์พลังงานในระบบลิฟต์โดยการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัย เช่น การใช้ระบบการบีบอัดอากาศ (Air-Compression System) เพื่อใช้กำลังไฟฟ้าในการขับเคลื่อนลิฟต์ แทนการใช้พลังงานจากเครื่องยนต์ (Motor-Generator Set) ที่ใช้งานแบบพลังงานสูง นอกจากนี้ยังมีการปรับแต่งระบบไฟฟ้าและไฟส่องสว่างในลิฟต์เพื่อให้ใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม เช่น การใช้หลอดไฟ LED ที่ใช้พลังงานน้อยกว่าหลอดไฟฟ้าปกติ รวมถึงการใช้ระบบเซ็นเซอร์เพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหวของคนหรือสิ่งของภายในลิฟต์ เพื่อให้เครื่องจอดทำงานอย่างตรงไปตามขั้นตอนการทำงาน ทั้งนี้การอนุรักษ์พลังงานในระบบลิฟต์เป็นส่วนสำคัญในการลดการใช้พลังงานทั้งในด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม โดยการเพิ่มความสะดวกสบายและความปลอดภัยในการใช้งานลิฟต์ให้เป็นอย่างดีเหมาะสมและยั่งยืนต่อไปด้วย

## 2.8 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ข้อผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) เป็นเมตริกที่กำหนดความแม่นยำของวิธีการคาดการณ์ . ซึ่งแสดงถึงค่าเฉลี่ยของข้อผิดพลาดเป็นเปอร์เซ็นต์สัมบูรณ์ของแต่ละรายการในชุดข้อมูล เพื่อคำนวณความแม่นยำของปริมาณที่คาดการณ์เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณจริง MAPE มักจะมีประสิทธิภาพสำหรับการวิเคราะห์ชุดข้อมูลขนาดใหญ่ และจำเป็นต้องใช้ค่าชุดข้อมูลอื่นที่ไม่ใช่ศูนย์ MAPE เป็นเมตริกที่ตรงไปตรงมา โดย MAPE 10% แสดงถึงค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยระหว่างค่าที่คาดการณ์และค่าจริงคือ 10% โดยไม่คำนึงว่าค่าเบี่ยงเบนนั้นเป็นบวกหรือลบ สิ่งที่พิจารณาว่าเป็นค่า MAPE ที่ต้องการจะแตกต่างกันไปในแต่ละอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรกลที่มีการเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนบ่อยครั้งหรือต้องปรับแก้บ่อยครั้ง อาจมี MAPE สูงกว่าเครื่องจักรกลที่มีการกำหนดตารางซ่อมบำรุงอย่างสม่ำเสมอ การเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนบ่อยครั้งอาจทำให้ไม่สามารถวางแผนคาดการณ์ผลผลิตได้อย่างแม่นยำ

คุณลักษณะนี้นำเสนอการวิเคราะห์ ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ โดยสร้างสมการแบบพหุนาม (polynomial) และ การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression analysis) โดยหาจุดตัดของข้อมูลกับเส้นอ้างอิง นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่าง โหลดและพลังงานที่ลิฟต์ใช้ไป เพื่ออธิบายว่าข้อมูลเหล่านี้มาอย่างไร จากข้อมูลที่ได้จากสำรวจแล้วนำไปตรวจสอบความแม่นยำ โดยนำสมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นตัวแทนของอาคารควบคุมแต่ละประเภทนำมาป้อนด้วยค่าจริง แทนค่ากลับเข้าไปในสมการแล้วใช้วิธีการทางสถิติแบบ ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) เป็นการตรวจสอบความแม่นยำในการทำนาย ของสมการที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยแสดงค่าความ

ถูกต้องเป็นเปอร์เซ็นต์ ตามที่กำหนดโดยสมการ ที่ 2.10: เมื่อค่า MAPE มีค่าน้อย หมายถึงการพยากรณ์ที่แม่นยำ [52, 53]

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \times 100\% \quad (2.10)$$

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) คือ ผลรวมสำหรับข้อมูลของแต่ละจุดวัดที่ทำการคาดการณ์ไว้ในแต่ละช่วงเวลาและนำมาหารด้วยจำนวนจุดของข้อมูล  $n$  โดยที่  $A_t$  คือค่าจริง  $A_t - F_t$  คือผลต่างของค่าจริงและค่าจำลองนำมาหารด้วยค่าจริงจากการวัด  $A_t$  นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่าง โหลดและพลังงานที่ลิฟต์ใช้ไป

## 2.9 สรุป

ลิฟต์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ สำหรับขึ้นลงในแนวดิ่ง ประกอบกับการก่อสร้างอาคารในปัจจุบัน มีแนวโน้มที่จะสร้างขึ้น ไปในแนวสูงเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการใช้สอยอาคาร เนื่องจากที่ดิน มีจำกัด และราคาแพง ลิฟต์ในปัจจุบันทำงานด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าปริมาณมาก ส่งผลทำให้เกิดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าสูง จึงได้มีการศึกษาและพัฒนาาระบบลิฟต์ ใช้งานพลังงานไฟฟ้า โดยรวมน้อยลง โดยใช้หลักการที่ลิฟต์นั้น มีการทำงานบางช่วงที่ไม่ต้องให้พลังงานไฟฟ้าแก่มอเตอร์ โดยมอเตอร์นั้น จะหมุนไปได้เองตามแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งช่วง ซึ่งมอเตอร์นี้ สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ซึ่งเราเรียกว่า การคืนกลับพลังงานหรือรีเจนเนอเรทีฟโมท โดยพลังงานที่ได้นั้น สามารถจ่ายคืนให้กับระบบไฟฟ้าโดยตรงหรือเก็บไว้ในแบตเตอรี่หรือตัวเก็บประจุก็ได้

โรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมหมายถึงโรงงานหรืออาคารที่มีหน้าที่ดำเนินการอนุรักษ์พลังงานตามพรบการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ซึ่งโรงงานหรืออาคารควบคุมนั้นจะต้องมีลักษณะการใช้พลังงาน ดังต่อไปนี้จาก ผู้จำหน่ายพลังงานให้ใช้เครื่องวัดไฟฟ้าหรือติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าชุดเดียวหรือหลายชุดรวมกันมีขนาดตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์หรือ 1,175 กิโลวัตต์แอมป์แปรขึ้นไป หรือมีพลังงานทั้งหมดเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 20 ล้าน เมกกะจูลขึ้นไป



## บทที่ 3

### การดำเนินการวิจัย

การวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบลิฟต์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้กับภาระบรรทุกของลิฟต์ในกรณีที่ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นและเคลื่อนที่ลง ในอาคารควบคุมทั้ง 5 ประเภท (Traffic pattern) ของลิฟต์ จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำไปพิจารณา การประมาณการผลประหยัดพลังงานจะได้ ซึ่งข้อมูลที่ได้มา จะถูกนำมาใช้พิจารณา สำหรับการออกแบบระบบลิฟต์ให้ประหยัดพลังงานโดยมีความสอดคล้องกับรูปแบบการจราจรของอาคารควบคุม

#### 3.1 ขั้นตอนการวิจัย

การดำเนินงาน มีขั้นตอนการวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบลิฟต์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามที่แสดง ดังรูปที่ 3.1 ดังนี้

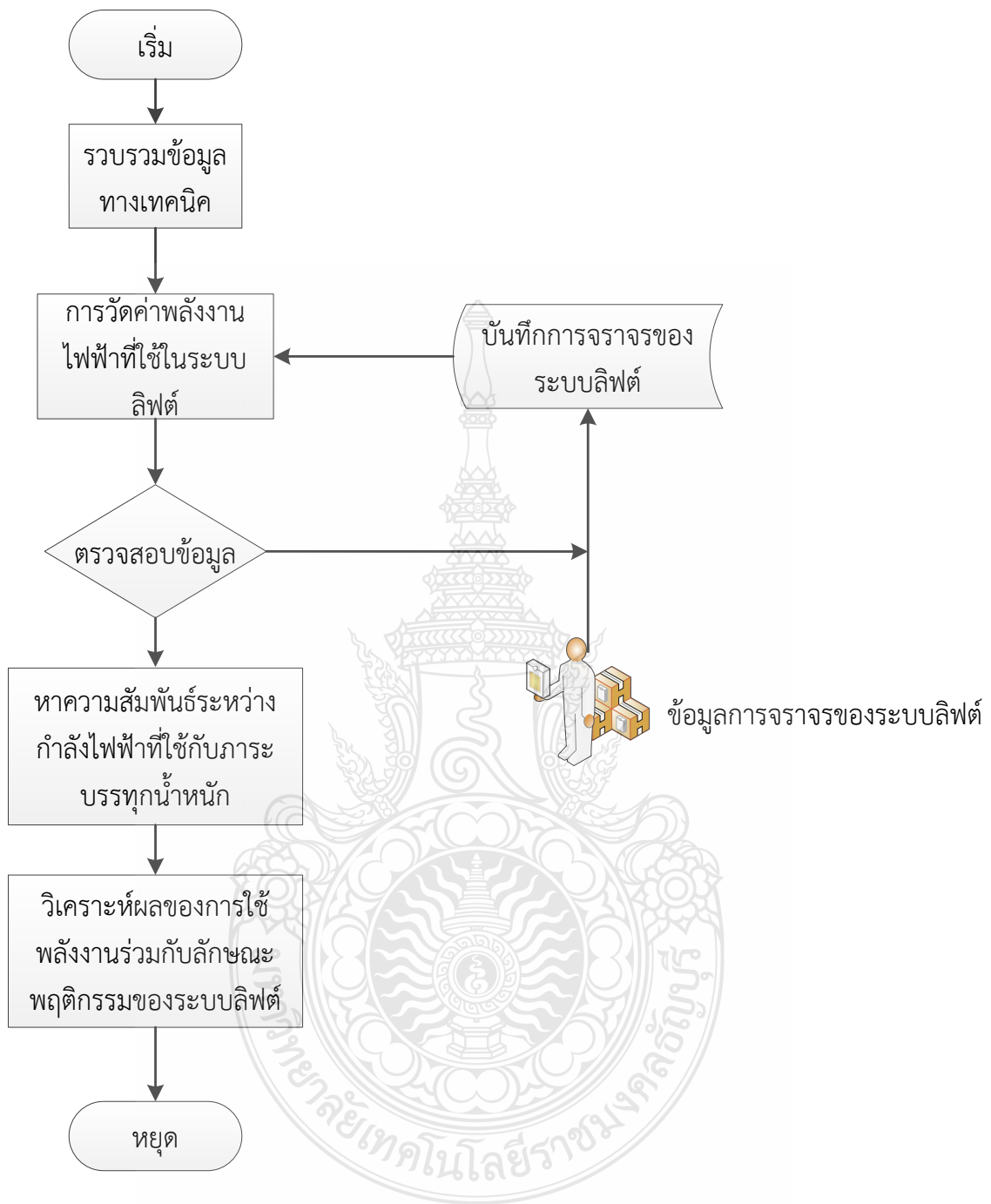
ขั้นตอนที่ 1 รวบรวมข้อมูลทางเทคนิคของระบบลิฟต์ที่ทำการศึกษาของอาคารควบคุมทั้ง 5 ประเภท

ขั้นตอนที่ 2 บันทึกการจราจรของระบบลิฟต์ในอาคารควบคุมแต่ละประเภท เมื่อลิฟต์บรรทุกภาระน้ำหนักต่างกัน ทิศทางที่ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นและเคลื่อนที่ขึ้นลงโดยใช้ระบบ ลิฟต์มอเตอร์

ขั้นตอนที่ 3 หาความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้าที่ใช้กับภาระบรรทุกน้ำหนักของลิฟต์ในขณะลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น และเคลื่อนที่ลง

ขั้นตอนที่ 4 ทำการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบลิฟต์จากกลุ่มตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการบันทึกโดยระบบ E-link เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า กับภาระน้ำหนักที่บรรทุกในระบบลิฟต์

ขั้นตอนที่ 5 ศึกษาผลของการใช้พลังงานร่วมกับลักษณะพฤติกรรมของระบบลิฟต์ในอาคารควบคุมทั้ง 5 ประเภทสรุปผลการดำเนินการ

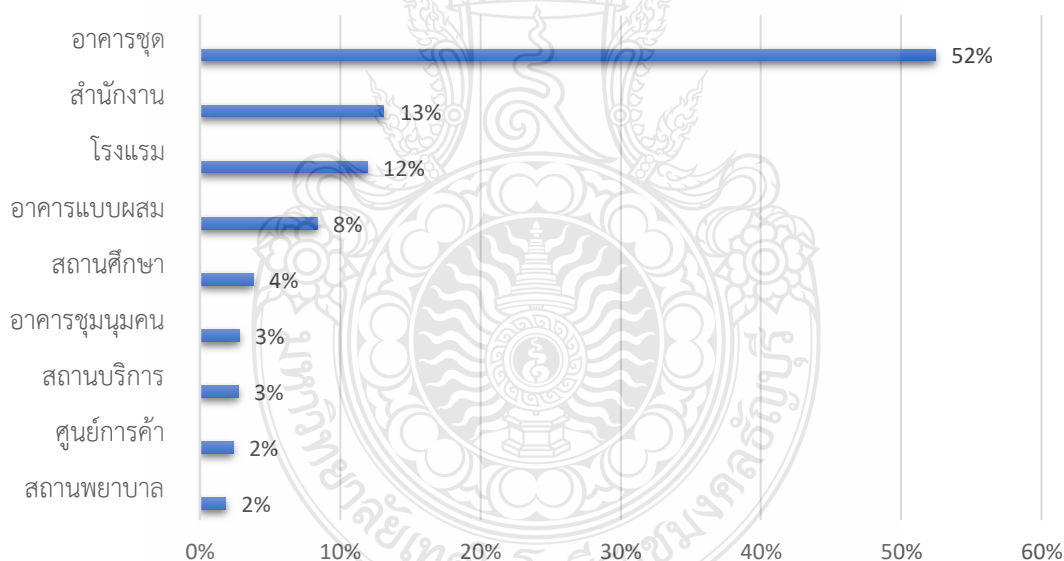


รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงาน

## 3.2 การคัดเลือกอาคารตัวอย่าง

3.2.1 การกำหนดกลุ่มตัวอย่างมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้เนื่องจากการเก็บข้อมูลกับประชากรทุกอาคารต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายที่สูงมาก ตัดสินใจภายในเวลาจำกัด การเลือกศึกษาเฉพาะบางส่วนของประชากรจึงเป็นเรื่องที่มีความจำเป็น เพื่อให้มีความกระชับในคุณสมบัตินี้ จึงพิจารณาเลือกตัวอย่างแบบจำเพาะเจาะจงโดยเลือกใช้อาคารที่สามารถเข้าถึงข้อมูลเชิงลึกในระบบลิฟต์และเป็นอาคารคู่สัญญาการให้บริการกับบริษัทเอลเลเวตติ้งสตูดิโอ จำกัดและอยู่ในรายชื่อข้อมูลการอนุญาตก่อสร้างอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน

การเลือกอาคารตัวอย่างเป็นแบบจำเพาะเจาะจง ( Purposive sampling ) นี้เป็นการเลือกอาคารตัวอย่างโดยพิจารณาจาก ลักษณะของอาคารที่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย และเป็นอาคารที่มีขนาดใหญ่ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า Judgement sampling จากรูปที่ 3.2 ได้คัดเลือกอาคารจากข้อมูลการอนุญาตก่อสร้างอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน ได้แก่ อาคารชุด สำนักงาน โรงแรม อาคารแบบผสม สถานศึกษา อาคารชุมนุมคน สถานบริการ ศูนย์การค้า สถานพยาบาล



รูปที่ 3.2 ข้อมูลการอนุญาตก่อสร้างอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน

ที่มา <https://bec.dede.go.th/bec/>

### 3.2.2 ข้อมูลทางเทคนิคของระบบลิฟต์ในอาคารที่ทำการวิจัย

ลิฟต์ที่นำมาใช้ในอาคารแต่ละประเภทในการออกแบบนั้นมีปัจจัยหลายอย่างที่ต้องนำมาพิจารณา เช่น พื้นที่ ประเภท ความสูง ของอาคารดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลทางเทคนิคของระบบลิฟต์ในอาคารที่ทำการวิจัย

ประเภทอาคาร	ที่พักรวม	โรงพยาบาล	สำนักงาน	มหาวิทยาลัย	โรงแรม
พิกัดบรรทุก (kg)	1350	1800	2000	1600	1150
ความสูง (m)	201.4	52.5	87.4	87.4	106.4
จำนวนชั้น (FL)	54	12	24	24	29
ความเร็วที่กำหนด (m/s)	6.0	2.0	3.0	2.5	3.5
ความเร่ง ( $m/s^2$ )	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Jerk ( $m/s^3$ )	0.8	0.8	1.2	0.8	0.8
อัตราทด	1.1	2.1	2.1	1.1	1.1
เที่ยวต่อวัน	1964	10612	6580	2265	3711
น้ำหนักบรรทุกเฉลี่ย (%)	20-30	70	40-70	40-70	40-65

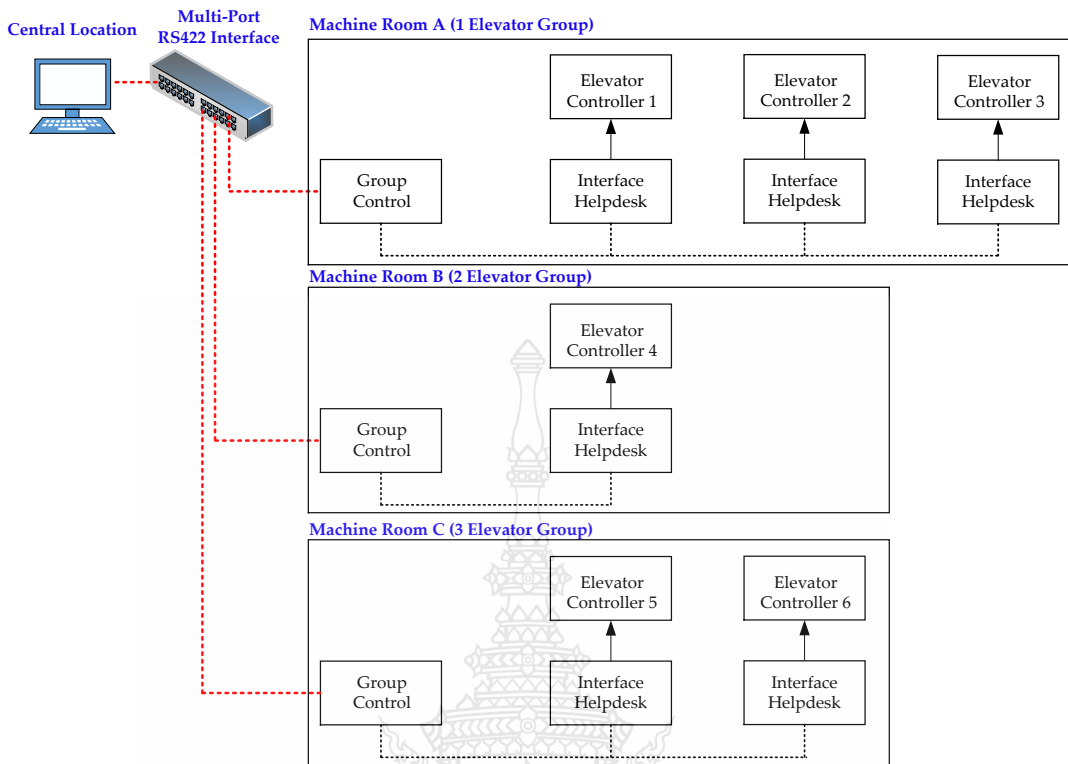
### 3.3 การนำข้อมูลการจราจรออกจากระบบลิฟต์

การนำข้อมูลออกจากระบบควบคุมและสังเกตการณ์ของระบบลิฟต์ ซึ่งทำหน้าที่ในการติดตามการทำงานในด้านการบำรุงรักษา และความปลอดภัยของลิฟต์ในอาคาร ระบบติดตามการทำงานลิฟต์นี้ สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลแบบเวลาจริงจากลิฟต์ เช่น ข้อมูล ความถี่ในการใช้งาน ระยะเวลาในการเดินทาง เวลารอคอย และจำนวนผู้โดยสาร จำนวนการใช้งานลิฟต์ในอาคารสามารถช่วยตรวจสอบ และวินิจฉัยข้อบกพร่องต่างๆในระบบความปลอดภัย เช่น การติดขัดของประตู ปัญหาของชุดขับเคลื่อน ระบบเบรกไม่ทำงาน ตลอดจนการสั้นสะพานที่ผิดปกติ ทั้งนี้เพื่อให้ผู้จัดการอาคาร และทีมซ่อมบำรุงนั้น สามารถติดตามการทำงานและบริหารจัดการ ลิฟต์ได้อย่างรวดเร็ว และทันเวลา แต่อย่างไรก็ตาม ระบบยังคงไม่สามารถบอกถึงปริมาณการใช้พลังงานของลิฟต์ จากข้อมูลที่เก็บไว้ในระบบดังกล่าวโดยนำออกเป็นไฟล์\*.CSV เพื่อนำไปรวมข้อมูลร่วมกับไฟล์ที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์พลังงานในลำดับถัดไป



รูปที่ 3.3 หน้าจอแสดงผลของระบบควบคุมและสังเกตการณ์ของระบบลิฟต์

ในอาคารขนาดใหญ่โดยเฉพาะอาคารสำนักงาน โรงพยาบาล ส่วนที่ทำการเชื่อมต่อและระบบสื่อสาร ควบคุมการทำงานของลิฟต์ นี้จะส่งผ่านข้อมูลโดยการเชื่อมต่อกับ ระบบโครงข่ายของระบบลิฟต์ เป็นการเชื่อมต่อสัญญาณ ระหว่างแผงควบคุมของลิฟต์ แต่ละชุด เข้าด้วยกัน โดยใช้ระบบ Can bus สำหรับ ระยะทางไม่เกิน 1000 เมตร วัดระยะจากห้องเครื่องลิฟต์ถึงห้องควบคุม ของอาคาร กรณีที่ความสูงปล่องลิฟต์มากกว่า 150 เมตร บริษัทผู้ผลิต อาจใช้นำสายไฟเบอร์ออฟติกเคเบิล Fibre Optic cable ซึ่งเชื่อมต่อระหว่าง ห้องโดยสารลิฟต์ ไปยังห้องเครื่องลิฟต์ หรือส่งผ่าน ระบบ RS-422 ที่เชื่อมต่อโดยตรงกับ ชุดควบคุมแบบกลุ่มของระบบลิฟต์ ดังรูปที่ 3.4

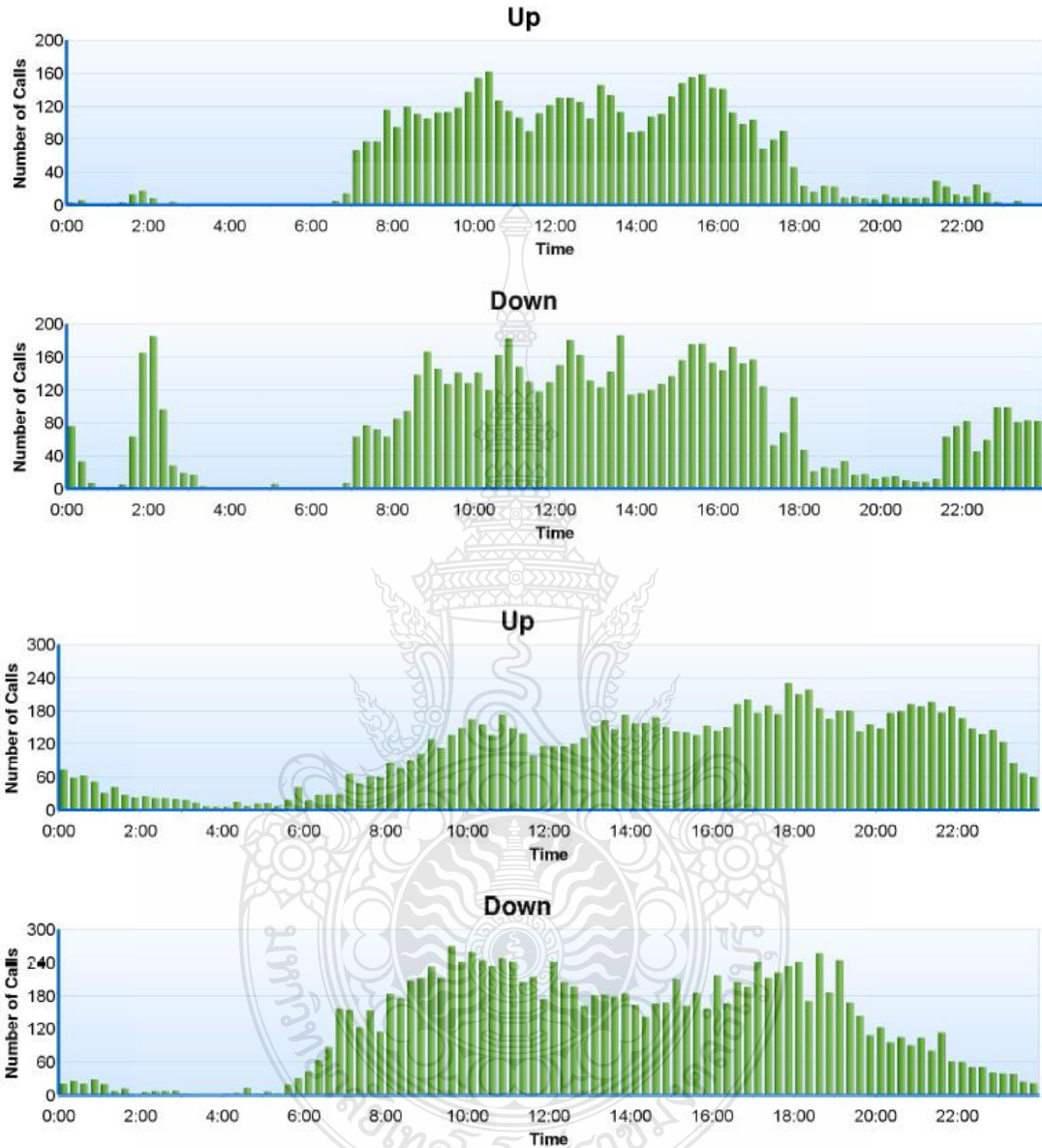


รูปที่ 3.4 แผนผังโครงข่ายของระบบลิฟต์

จากแผนผังโครงข่ายลิฟต์ ดังรูปที่ 3.4 นี้จะเชื่อมต่อไปยังคอมพิวเตอร์ที่เรียกว่าระบบมอนิเตอร์ริง หรือระบบที่ใช้สำหรับตรวจสอบและติดตามการทำงานของลิฟต์ ระบบนี้สามารถนำไปใช้ในอาคารที่เป็นที่อยู่อาศัย อาคารพาณิชย์ หรืออุตสาหกรรม ระบบถูกออกแบบมาเพื่อใช้ตรวจสอบการทำงานของลิฟต์โดยเฉพาะ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าลิฟต์ได้ทำงานอย่างถูกต้อง ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ ระบบตรวจสอบลิฟต์โดยทั่วไปจะประกอบด้วยเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ที่ติดตั้ง ไว้ในห้องโดยสารและปล่องลิฟต์ เซ็นเซอร์เหล่านี้จะทำหน้าที่เก็บข้อมูลเกี่ยวกับพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ความเร็ว ความเร่ง และทิศทางเคลื่อนที่ การกดเรียกจากแผงปุ่มกดที่โถงลิฟต์ การกดเรียกจากภายในห้องโดยสาร น้ำหนักที่บรรทุก ข้อมูลการทำงานที่ผิดปกติ เช่น ไดรฟ์ทำงานผิดปกติ การแจ้งเตือน กรณีฉุกเฉินต่างๆ เช่น สัญญาณแจ้งเตือนจากระบบดับเพลิงเพื่อให้ลิฟต์ลงจอดที่ชั้นล่างสุด สัญญาณจากระบบไฟฟ้าสำรอง เป็นต้น เมื่อมีการสะสมข้อมูลเพียงพอ ข้อมูลนี้จะถูกส่งไปยังระบบคอมพิวเตอร์กลางเพื่อเก็บสำรองข้อมูล เพื่อตรวจสอบว่าลิฟต์ทำงานอย่างถูกต้องหรือไม่ หากพบปัญหาจะแจ้งเตือนให้ผู้ดูแลตรวจสอบและแก้ไข ช่วยลดความเสี่ยงของอุบัติเหตุและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน ตลอดจนให้ข้อมูลที่มีประโยชน์ในการวางแผนกำหนดการซ่อมบำรุง หรือวิเคราะห์การทำงานของลิฟต์ที่ใช้งานอยู่ การวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้



### 3.3.1 ข้อมูลที่ได้จากระบบควบคุมและสังเกตการณ์ของระบบลิฟต์

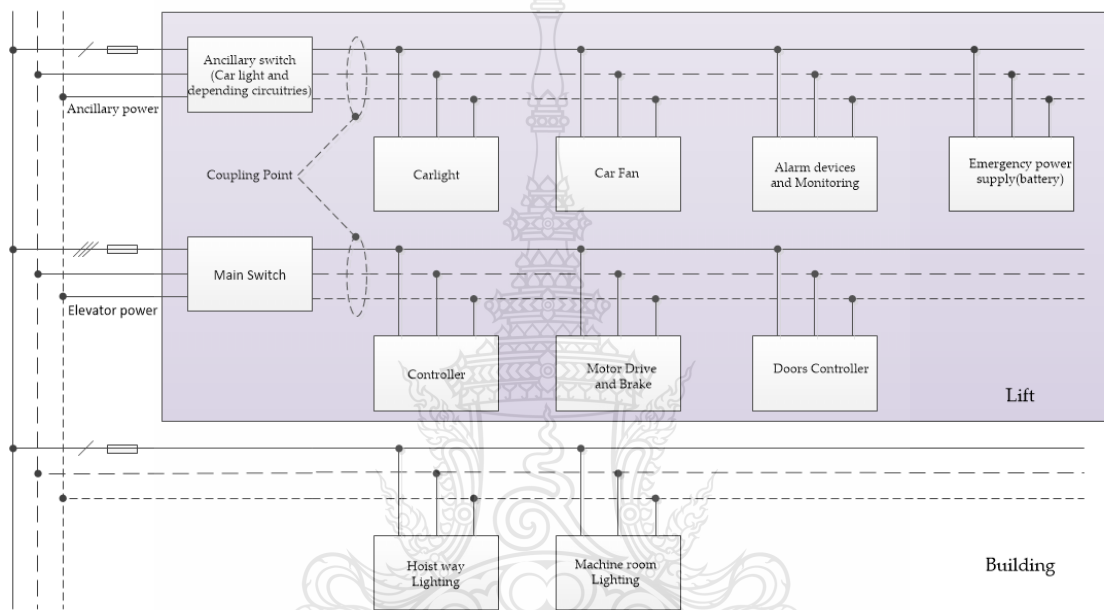


รูปที่ 3.5 ข้อมูลการเรียกลิฟต์ที่ทิศทางขึ้นและลงของอาคารประเภทที่พักอาศัย

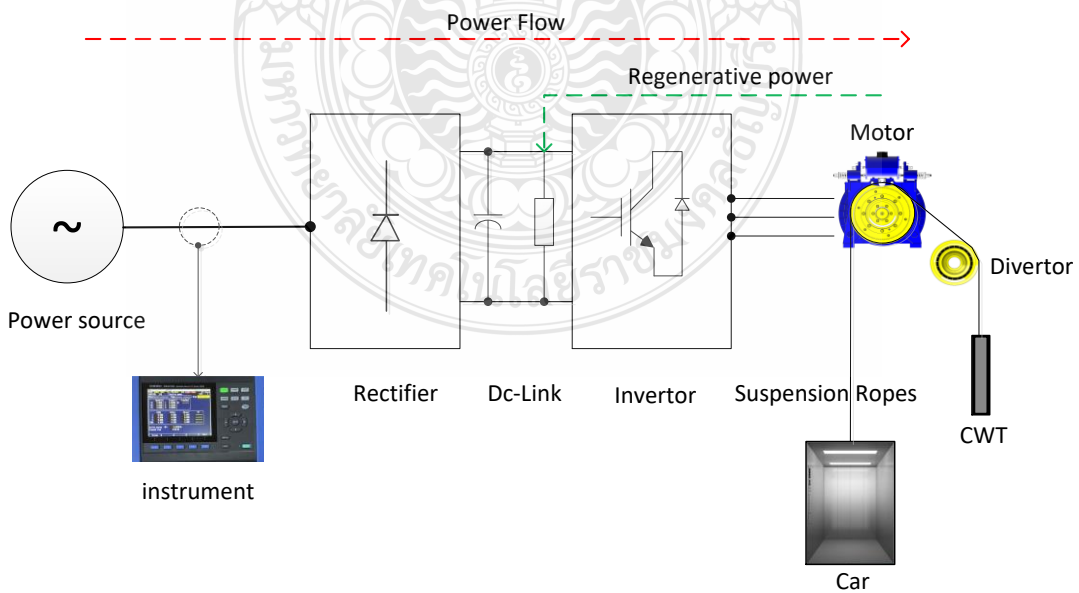
จากรูปที่ 3.5 แสดงข้อมูลการเรียกลิฟต์จากอาคารประเภทที่พักอาศัยความยาวข้อมูล ทั้งสิ้น 30 วัน เริ่มจากวันที่ 1/3/2017 เวลา 12:00 น ถึงวันที่ 31/3/2017 เวลา 12:00 น

### 3.4 การวัดพลังงานในลิฟต์

การวัดพลังงานลิฟต์ในอาคารควบคุมใช้วิธีการวัดตามผังวงจรจุดวัดดังรูปที่ 3.6 ซึ่งอ้างอิงได้จาก มาตรฐาน EN ISO 25745-1:2012 [32] และแสดงจุดติดตั้งเครื่องวัดพลังงานในวงจรตามรูปที่ 3.7 ซึ่งจะเน้นการวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้า การใช้ลิฟต์ซึ่งถูกจัดหมวดหมู่ตามไว้มาตรฐาน VDI 4707 ซึ่งได้จัดแบ่งหมวดหมู่การใช้งานของลิฟต์ออกเป็น ประเภทตามรูปแบบการใช้งานของลิฟต์ การเดินทางเฉลี่ย เวลาจอด และ ตำแหน่งปัจจุบันของลิฟต์



รูปที่ 3.6 การติดตั้งเครื่องมือวัดพลังงานกับระบบลิฟต์ในอาคารควบคุม



รูปที่ 3.7 จุดติดตั้งเครื่องวัดพลังงานสำหรับลิฟต์



ขั้นตอนการวัดพลังงานจากระบบลิฟต์

จากรูปที่ 3.6 เพื่อติดตั้งเครื่องมือวัดพลังงานเข้ากับแหล่งจ่ายของระบบลิฟต์จะมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ตัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายไปยังมอเตอร์

ขั้นตอนที่ 2 เชื่อมต่อแคลมป์กระแสไฟฟ้าเข้ากับสายไฟที่นำไปสู่มอเตอร์

ขั้นตอนที่ 3 เชื่อมต่อเครื่องวิเคราะห์พลังงานเข้ากับแคลมป์

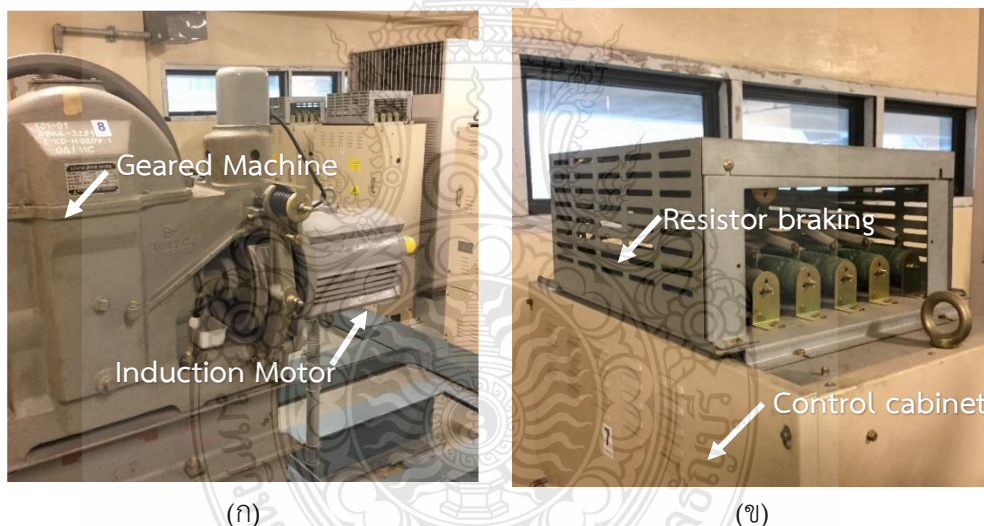
ขั้นตอนที่ 4 ติดตั้งเครื่องวิเคราะห์พลังงานในตำแหน่งที่ปลอดภัยใกล้กับมอเตอร์หรือแผง

ควบคุม

ขั้นตอนที่ 5 จ่ายไฟเข้าระบบ

ขั้นตอนที่ 6 ปรับตั้งเครื่องวิเคราะห์พลังงานตามคำแนะนำของผู้ผลิต

ขั้นตอนที่ 7 เริ่มบันทึกการใช้พลังงานและประสิทธิภาพของมอเตอร์



รูปที่ 3.8 ชุดเกียร์และมอเตอร์ (ก) และ ชุดตัวต้านทานสำหรับเบรก (ข)

ที่ห้องเครื่องลิฟต์ ชุดขับเคลื่อนลิฟต์แบบใช้เฟืองทดขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำและใช้อัตราทด 1: 1 ซึ่งติดตั้งในอาคารโรงพยาบาล รูปที่ 3.7 (ก) และ รูปที่ 3.7 (ข) คือตัวต้านทานที่ใช้สำหรับการเบรก เมื่อลิฟต์ทำงานในโหมดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานส่วนเกินย้อนกลับจะถูกกำจัดโดยตัวต้านทานนี้ในรูปของความร้อนทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน ส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องเครื่องลิฟต์มีค่าสูงขึ้น ส่วนมากมักเป็นกรณีของอาคารเก่า ที่มีอายุอย่างน้อย 25 ปี



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.9 จุดติดตั้งเครื่องวัดพลังงานในตู้จ่ายไฟ

จากรูปที่ 3.9 (ก) แสดงจุดเชื่อมต่อในตู้จ่ายไฟที่ตั้งอยู่ในห้องเครื่องลิฟต์ การเชื่อมต่อนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการวัดพลังงานของลิฟต์ ในกรณีพื้นที่ภายในแผงไฟฟ้ามีพื้นที่จำกัด เครื่องวิเคราะห์พลังงานดังแสดงใน รูปที่ 3.9 (ข) ต้องติดตั้งอยู่นอกตู้จ่ายไฟขั้นตอนต่อไปให้ตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้า ตรวจสอบความปลอดภัย และสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล เช่น ถุงมือยางและแว่นตาป้องกันอันตรายหลังจากนั้น กำหนดจุดต่อสายวัดแรงดัน กระแส และสายกราวด์ในตู้จ่ายไฟ ไฟฟ้าที่ต้องการเชื่อมต่อกับเครื่องวิเคราะห์พลังงาน โดยสังเกตจากสายไฟที่ต่ออยู่กับเซอร์กิตเบรกเกอร์ ของวงจรที่ต้องการวิเคราะห์ว่า ถูกต้องหรือไม่ จากนั้นต่อสายวัดแรงดัน และ แคลมป์วัดกระแสจากเครื่องวิเคราะห์พลังงานกับสายไฟและสายกราวด์ ที่ต้องการวิเคราะห์โดยตรวจสอบให้แน่ใจว่าขั้วถูกต้องในทิศทางที่ถูกต้องจากนั้นต่อสาย เข้ากับเครื่องวิเคราะห์พลังงานเข้ากับพอร์ตที่ถูกต้อง จากแผงไฟฟ้า เพื่ออ่านและวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานจากนั้นให้จ่ายไฟฟ้าเข้าวงจรและตรวจสอบ แรงดัน และ กระแสที่แสดงบนเครื่องวิเคราะห์พลังงานหากมีการกลับเฟสให้สลับสายให้ถูกต้อง



รูปที่ 3.10 การติดตั้งเครื่องมือวิเคราะห์พลังงานในห้องเครื่องลิฟต์

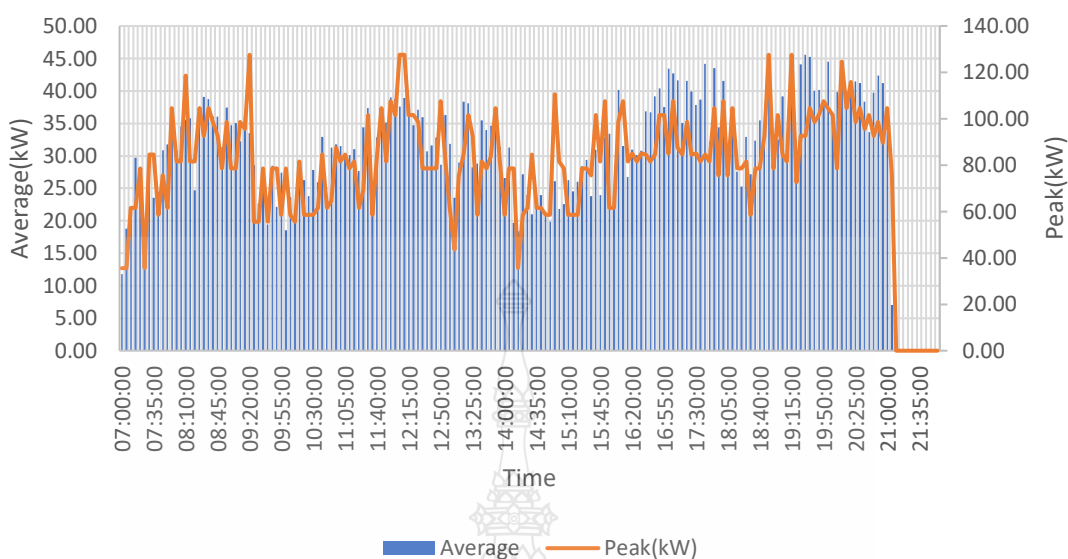


รูปที่ 3.11 การติดตั้งชุดวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของลิฟต์ในตู้ควบคุม

จากรูปที่ 3.10 และ 3.11 แสดงการการติดตั้งชุดวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของลิฟต์  
ในตู้ควบคุม สำหรับวัดค่าพลังงานจากลิฟต์โดยตรงเพียงหนึ่งชุด



### 3.4.1 ข้อมูลที่ได้จากการวัดกำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างผลการตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ลิฟต์ใช้ในวัน

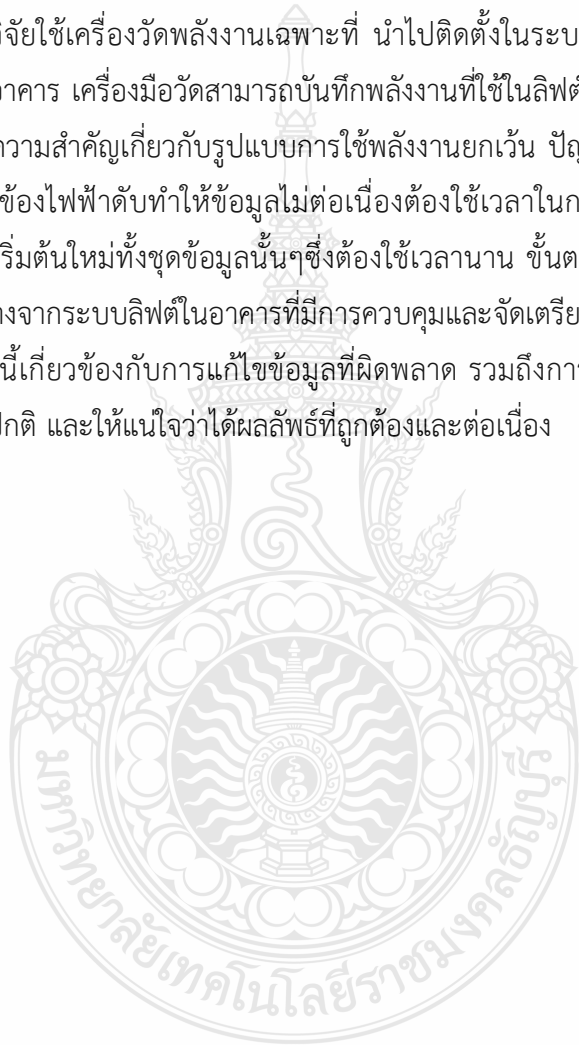
จากรูป 3.12 ที่แสดงผลการตรวจวัดในแต่ละช่วงเวลาของลิฟต์ในวันซึ่งจะพบว่าค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าและค่าความต้องการพลังงานสูงสุดมีความแปรปรวนเกิดขึ้น จากพฤติกรรมการใช้ลิฟต์ของอาคารประเภทนั้นๆ

ตารางที่ 3.2 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ลิฟต์ใช้ในวันสัปดาห์

เวลา-วัน	จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	เสาร์	อาทิตย์
07:00:00	11.81	35.60	11.15	35.60	11.88	46.80	13.40
07:05:00	18.80	35.60	21.25	35.60	24.63	81.00	17.16
07:10:00	22.06	61.60	22.77	81.60	30.45	81.00	21.97
07:15:00	29.69	61.60	22.91	62.03	27.39	81.00	31.55
07:20:00	25.30	78.60	29.40	61.60	32.96	84.00	21.55
...	...	...	...	...	...	...	...
20:25:00	41.49	98.60	35.70	101.60	63.45	115.20	40.75
20:30:00	41.25	104.60	37.94	104.60	52.38	137.40	37.93
20:35:00	38.33	95.60	38.83	75.60	55.28	149.40	41.12
20:40:00	33.69	101.60	41.03	81.60	56.17	143.40	37.54
21:00:00	33.68	104.60	33.47	75.60	51.21	137.40	43.70

### 3.5 สรุป

การตรวจสอบและวัดการใช้พลังงานของลิฟต์ในอาคารควบคุม เป็นขั้นตอนการเก็บข้อมูลและใช้เทคนิคการวัดพลังงานของลิฟต์ ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลการเดินทางจากระบบลิฟต์ในอาคารควบคุม ทั้ง 5 ประเภท ในช่วงเวลา 30 วันในเดือนมีนาคม ปี พ.ศ. 2560 ข้อมูลนี้ครอบคลุมตัวแปรที่ เกี่ยวข้องกับการทำงานของลิฟต์ การเคลื่อนที่ จำนวนเที่ยวในการเดินทาง ระยะทางการเดินทาง ความเร็ว ระยะเวลาในการเปิดประตู และพลังงานที่ใช้ในการเดินทางแต่ละเที่ยว ในการวัดการใช้พลังงานของลิฟต์ อย่างแม่นยำ ผู้วิจัยใช้เครื่องวัดพลังงานเฉพาะที่ นำไปติดตั้งในระบบลิฟต์ตามขั้นตอนต่างๆใน หัวข้อที่ผ่านมา แต่ละอาคาร เครื่องมือวัดสามารถบันทึกพลังงานที่ใช้ในลิฟต์ ตลอดการทำงาน ซึ่งจะให้ ข้อมูลที่ละเอียดและมีความสำคัญเกี่ยวกับรูปแบบการใช้พลังงานยกเว้น ปัญหาที่พบระหว่างการบันทึก ผลได้แก่กรณีมีเหตุขัดข้องไฟฟ้าดับทำให้ข้อมูลไม่ต่อเนื่องต้องใช้เวลาในการเรียบเรียงข้อมูลใหม่ ใน บางส่วนหรืออาจต้องเริ่มต้นใหม่ทั้งชุดข้อมูลนั้นๆซึ่งต้องใช้เวลาชานาน ขั้นตอนการประมวลผล ข้อมูลที่ เกี่ยวข้องกับการเดินทางจากระบบลิฟต์ในอาคารที่มีการควบคุมและจัดเตรียมข้อมูลที่รวบรวมไว้สำหรับ การวิเคราะห์ ขั้นตอนนี้เกี่ยวข้องกับการแก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาด รวมถึงการเพิ่มข้อมูลที่บกพร่อง เพื่อ ปรับแก้ตัวแปรให้เป็นปกติ และให้แน่ใจว่าได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและต่อเนื่อง



## บทที่ 4

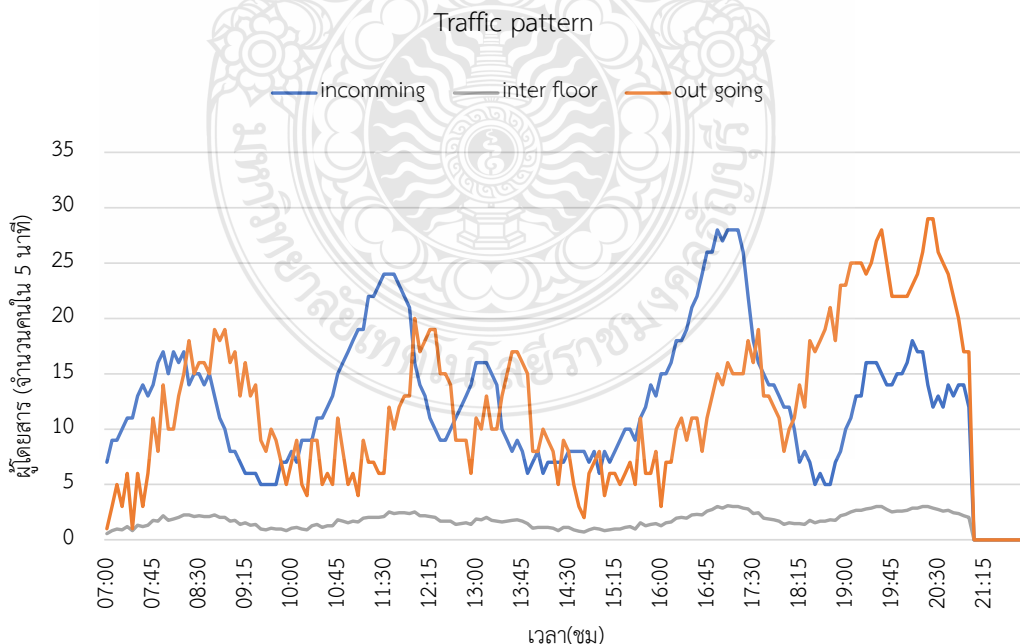
### ผลการวิจัย

ผู้เชี่ยวชาญนี้ได้ทำการวิเคราะห์รูปแบบพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของลิฟต์ที่ใช้ในอาคารควบคุม ทั้ง 5 ประเภท ที่ได้จากการบันทึก การจราจรของลิฟต์ในอาคารแต่ละประเภท และผลการวัดค่าพลังงานที่ลิฟต์ใช้ไปตลอดช่วงเวลาในช่วงเวลาทำงาน 12 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ซึ่งการบันทึกการจราจรของลิฟต์นั้นเป็นไปตามรูปที่ 3.5 และการติดตั้งเครื่องมือวัดเป็นไปตามรูปที่ 3.6 สามารถนำเสนอผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานของลิฟต์ของอาคารควบคุมได้ดังต่อไปนี้

#### 4.1 การวิเคราะห์รูปแบบพฤติกรรมการจราจรของลิฟต์ในอาคารควบคุม

การสำรวจและรวบรวมข้อมูลการจราจรจากระบบลิฟต์จากอาคารควบคุมทั้ง 5 ประเภทโดยพิจารณาการเลือกจากอาคารควบคุมขนาดใหญ่ที่มีคุณสมบัติตามกฎกระทรวง นำข้อมูลการจราจรของลิฟต์มาแสดงในรูปแบบกราฟ จะได้รูปแบบการเคลื่อนที่ของลิฟต์ ซึ่งได้จัดแบ่งตามขอบเขตในการวิจัยนี้ออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ การเข้า (Incomming) ภายใน (Interfloor) และการออก (Outgoing) โดยอาคารแต่ละประเภทจะมีรูปแบบแตกต่างกัน ดังนี้

##### 4.1.1 อาคารควบคุมประเภทที่พักอาศัย

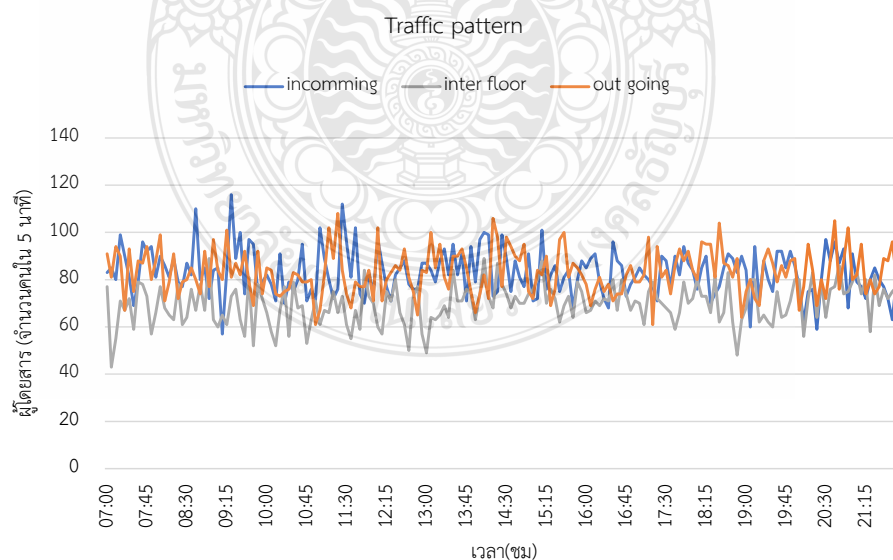


รูปที่ 4.1 พฤติกรรมการจราจรของลิฟต์สำหรับอาคารควบคุมประเภทที่พักอาศัยรวม

จากรูปที่ 4.1 ข้อมูลของระบบควบคุม นำมาพล็อตเป็นกราฟเส้นแทนรูปแบบพฤติกรรม การจราจรของอาคารควบคุมประเภทที่พักอาศัยรวม มีข้อสังเกตดังต่อไปนี้ ข้อมูลสำหรับการเดินทางเข้าด้วยเส้นสีน้ำเงิน สีส้ม สำหรับการโดยสารภายในอาคาร และสีเทาแทนการเดินทางออกจากอาคาร แกน Y แทนจำนวนผู้โดยสาร คิดเป็นจำนวนคนใน 5 นาที และแกน X เป็นช่วงเวลา อาคารควบคุมประเภทที่พักอาศัย ลิฟต์สามารถรับน้ำหนักได้ตั้งแต่ 630 ถึง 1,000 กก. ด้วยเวลาเดินทางปกติ 30 วินาทีความเร็วที่กำหนดอาจต่ำกว่าในโรงแรม การประเมินประชากรที่อยู่อาศัยขึ้นอยู่กับจำนวนห้องนอน และได้รับอิทธิพลอย่างมากจากวัฒนธรรม สำหรับห้องนอนแรก Barney แนะนำ 1.5-2 คน และสำหรับห้องนอนที่ตามมา 0-5 คน [43] เมื่อไม่ทราบการกำหนดค่าและการใช้พื้นที่อยู่อาศัย Strakosch ได้แนะนำ 1.5 ถึง 2 คนต่อหนึ่งห้องหรือพื้นที่สุทธิ 20 ตารางเมตรต่อคน [45].

ประเภทอาคารที่อยู่อาศัยและโรงแรมส่วนใหญ่มีลักษณะการจราจรสองทาง แต่การจราจรของโรงแรมมีความรุนแรงมากขึ้น ยอดการจราจรสูงสุดสำหรับอาคารที่พักอาศัยคือ 5.7% ใน 5 นาที ในอาคารที่อยู่อาศัยมีอาคารที่พักอาศัยมีการจราจรปกติในช่วงเช้าและเย็น แต่การจราจรระหว่างชั้นในตอนกลางวันมีน้อย การประเมินการจราจรสำหรับแต่ละอาคารถูกสร้างขึ้นเพื่อแสดงถึงสถานการณ์ทั่วไปและสถานการณ์ที่รุนแรง อัตราการมาถึงโดยเฉลี่ยถูกกำหนดให้เป็นเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการวางแผน โดยพิจารณาจากอัตราที่ใช้งานอยู่ทั้งหมด นอกจากนี้ยังมีความเชื่อมโยงระหว่างปริมาณน้ำหนักที่บรรทุกและพลังงานที่ใช้

#### 4.1.2 อาคารควบคุมประเภทโรงพยาบาล

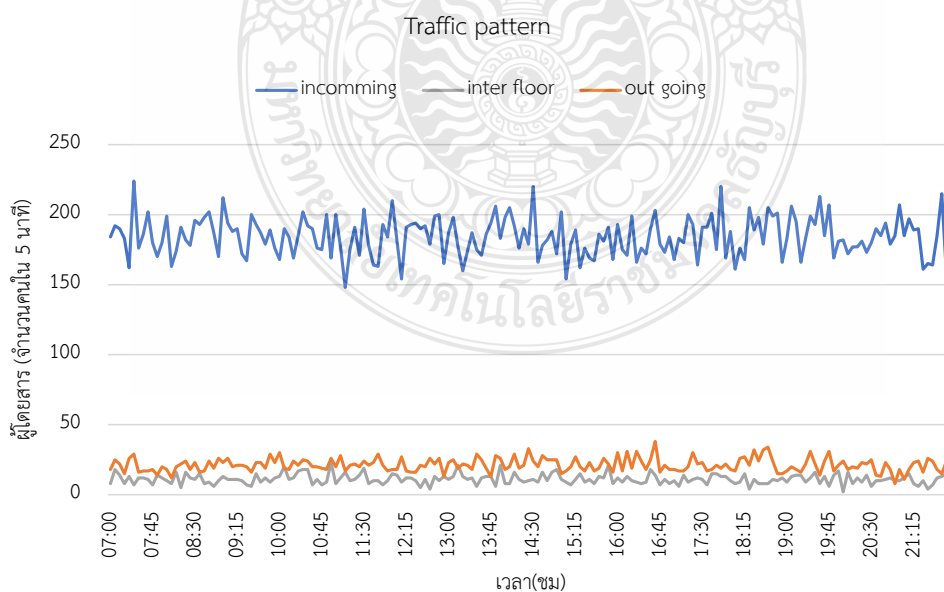


รูปที่ 4.2 พฤติกรรมการจราจรของอาคารควบคุมประเภทโรงพยาบาล

จากรูปที่ 4.2 ข้อมูลของระบบควบคุม นำมาพล็อตเป็นกราฟเส้นแทนรูปแบบพฤติกรรม การจราจรของอาคารควบคุมประเภทโรงพยาบาล มีข้อสังเกตดังต่อไปนี้ ข้อมูลสำหรับการเดินทางเข้า ด้วยเส้นสีน้ำเงิน สีส้ม สำหรับการโดยสารภายในอาคาร และสีเทาแทนการเดินทางออกจากอาคาร แกน Y แทนจำนวนผู้โดยสาร คิดเป็นจำนวนคนใน 5 นาที และแกน X เป็นช่วงเวลา รูปแบบพฤติกรรม การจราจรของโรงพยาบาล ปัจจัยต่อไปนี้มีมีความสำคัญ จำนวนพนักงานและรูปแบบการเปลี่ยนแปลง ของการจราจร จำนวนผู้เข้ารับรักษาและช่วงเวลาการเข้าเยี่ยมผู้ป่วย ที่ตั้งของแผนกเอ็กซเรย์และสิ่งอำนวยความสะดวกอื่น ๆ การแจกจ่ายและจัดส่งอาหาร เครื่องดื่มและอุปกรณ์ทำความสะอาด การกำจัดของ เสีย การอพยพฉุกเฉินของผู้ป่วย ตลอดจนพนักงานรถเข็นผู้ป่วย เพื่อเป็นการควบคุมการติดเชื้อ อาจ จำเป็นต้องแยกลิฟต์เตียงผู้ป่วยออกจากลิฟต์ของบุคคลภายนอกและพนักงาน ความต้องการการใช้ลิฟต์ สามารถประมาณได้โดยการคูณจำนวนเตียงด้วยอัตรา 1:3 เพียง

ในกรณีของอาคารประเภทโรงพยาบาลนี้ จะพบว่าเดินทางระหว่างชั้นได้ในปริมาณน้อยและ มีความแปรปรวนสูง แต่จะมีจำนวนน้อยกว่าประชากรที่ออกจากอาคาร เนื่องจากการขนส่งผู้คนระหว่าง ชั้นและการติดต่อกันระหว่างแผนกคล้ายกับกรณีของอาคารสำนักงานผู้เช่ารายเดียว ผู้โดยสารขาเข้าคือ ผู้ป่วย ผู้มาเยี่ยม และพยาบาลที่เดินทางระหว่างแผนก เราสามารถสังเกตความแปรปรวนที่เกิดขึ้นได้ ตลอดระยะเวลาตั้งแต่เริ่มให้บริการประมาณ 08:00 น. ถึง 14:00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่การเยี่ยมผู้ป่วยสิ้นสุด ลง อัตราการมาถึงที่เหมาะสมคือ 8-10% โดยมีช่วงเวลาที่ผู้โดยสารรอคอยหน้าโถงลิฟต์ชั้นทางเข้ามีค่า มากกว่า 30-50 วินาที ตัวเลขเหล่านี้สามารถนำมาใช้เพื่อคาดการณ์ความต้องการในอนาคตได้.

#### 4.1.3 อาคารควบคุมประเภทสำนักงาน

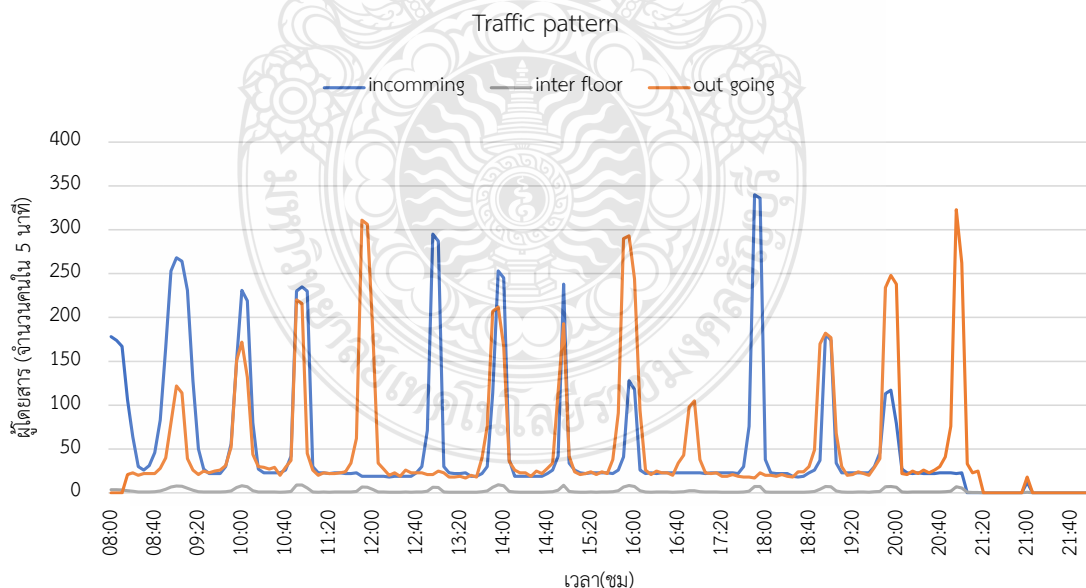


รูปที่ 4.3 พฤติกรรมการจราจรของอาคารควบคุมประเภทสำนักงาน



จากรูปที่ 4.3 ข้อมูลของระบบควบคุม นำมาพล็อตเป็นกราฟเส้นแทนรูปแบบการจราจรของอาคารควบคุมประเภทสำนักงาน มีข้อสังเกตดังต่อไปนี้ ข้อมูลสำหรับการเดินทางเข้าด้วยเส้นสีน้ำเงิน สีส้ม สำหรับการโดยสารภายใน และสีเทาแทนการเดินทางออกจากอาคาร แกน Y แทนจำนวนผู้โดยสาร คิดเป็นจำนวนคนใน 5 นาที และแกน X การเกิดของยอดกราฟที่สูงสุด สองจุดในกราฟ จะสอดคล้องกับพฤติกรรมของผู้โดยสารในสำนักงานทั่วไป: จุดสูงสุดแรก (เวลาประมาณ 08:00 น.) หมายถึงผู้โดยสารที่เข้ามาในขณะที่จุดสูงสุดถัดมาจะสอดคล้องกับช่วงเวลาอาหารกลางวัน (เวลาประมาณ 12:00 น. และ 13:00 น.) และตอนเย็น (เวลาประมาณ 17:00 น.) โดยทั่วไปอาคารสำนักงานสามารถ กำหนดเป็นผู้เช่ารายเดียวหรือหลายผู้เช่าซึ่งจะมีผลกระทบต่อจราจรภายในอาคาร ปริมาณผู้โดยสารในอาคารเรากำหนดการไหลของการจราจรดังนี้: ระหว่างชั้น (inter floor) และขาเข้า (in coming) การจราจรขาเข้ามักจะประกอบด้วย 75-80% ของประชากรทั้งหมดในขณะที่การจราจรขาออก (Outgoing) ประกอบด้วยประมาณ 20% ส่วนที่เหลือจะเป็นการจราจรระหว่างชั้น ในกรณีของสำนักงานเนื่องจากอาคารผู้เช่ารายเดียวจะมีการจราจรระหว่างชั้นมากขึ้นเนื่องจากการประสานงานระหว่างแผนกหรือการเดินทางระหว่างชั้น ในช่วงอาหารกลางวันจำนวนผู้โดยสารเพิ่มขึ้นเมื่อพวกเขาออกไปทานอาหารกลางวันในทิศทางเดียวกันและในตอนเย็นผู้โดยสารเริ่มใช้ลิฟต์เพื่อออกจากอาคารจึงเพิ่มความถี่ในช่วงเวลา 17:00 น. เป็น 18:00 น. ซึ่งเป็นพฤติกรรมทั่วไปของอาคารสำนักงาน

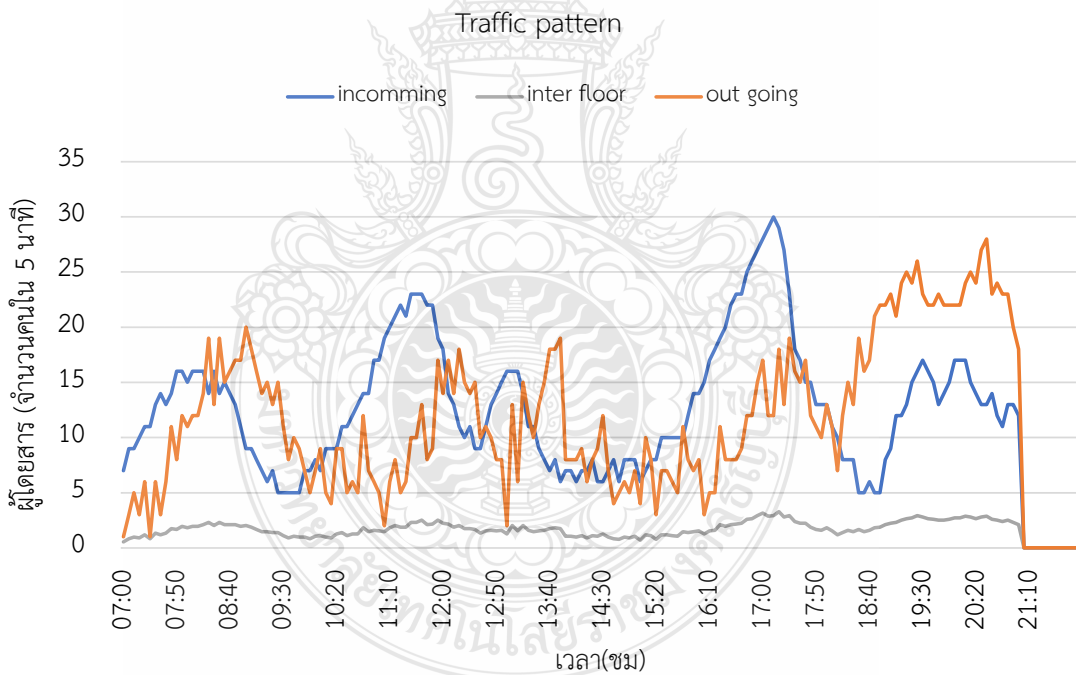
#### 4.1.4 อาคารควบคุมประเภทมหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 พฤติกรรมการจราจรของอาคารควบคุมประเภทมหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.4 ข้อมูลของระบบควบคุม นำมาพล็อตเป็นกราฟเส้นแทนรูปแบบพฤติกรรม การจราจรของอาคารควบคุมประเภทมหาวิทยาลัย มีข้อสังเกตดังต่อไปนี้ ข้อมูลสำหรับการเดินทางเข้า ด้วยเส้นสีน้ำเงิน สีส้ม สำหรับการโดยสารภายในอาคาร และสีเทาแทนการเดินทางออกจากอาคาร แกน Y แทนจำนวนผู้โดยสาร คิดเป็นจำนวนคนใน 5 นาที และแกน X เป็นช่วงเวลา จะพบว่ามี การเดินทางเข้าอาคาร เป็นช่วงๆ ดังเส้นสีน้ำเงิน ส่วนการเดินทางภายในอาคารก็จะมีเช่นเดียวกัน อาคารของ มหาวิทยาลัยจัดเป็นอาคารสถาบัน ตัวอย่างเช่นวิทยาเขตของมหาวิทยาลัยอาจประกอบด้วยอาคาร สำนักงานหอพัก สิ่งอำนวยความสะดวกด้านอาหารและหน่วยปฏิบัติการเรียนการสอน ตลอดจน อุปกรณ์การวิจัย นอกจากนี้อาคารบางแห่งยังทำหน้าที่หลายอย่างรวมถึงห้องบรรยายห้องปฏิบัติการ และสำนักงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมหาวิทยาลัยตั้งอยู่ในใจกลางเมืองหลายแห่งมีอาคารสูง (10-20 ชั้น) ก่อนและหลังการบรรยายการสอนหรือการสัมมนาแต่ละครั้ง 50 นาทีอาจมี รอบความต้องการราย ชั่วโมง 10 นาที จุดสูงสุดเหล่านี้สามารถช่วงประมาณ 15% ถึง 25% ในช่วงเวลา 30-50 วินาที

#### 4.1.5 อาคารควบคุมประเภทโรงแรม



#### รูปที่ 4.5 การจราจรของอาคารควบคุมประเภทโรงแรม

จากรูปที่ 4.5 ข้อมูลของระบบควบคุม นำมาพล็อตเป็นกราฟเส้นแทนรูปแบบพฤติกรรม การจราจรของอาคารควบคุมประเภทโรงแรม มีข้อสังเกตดังต่อไปนี้ ข้อมูลสำหรับการเดินทางเข้า ด้วยเส้นสีน้ำเงิน สีส้ม สำหรับการโดยสารภายในอาคาร และสีเทาแทนการเดินทางออกจากอาคาร แกน Y แทนจำนวนผู้โดยสาร คิดเป็นจำนวนคนใน 5 นาที และแกน X เป็นช่วงเวลา อัตราการเข้าพักเฉลี่ยของ

โรงแรมจะแตกต่างกันไปตามประเภทของโรงแรม ตัวอย่างเช่นอาจมีเหตุผลที่จะสมมติว่าอัตราส่วน 1 คนในโรงแรมธุรกิจ 1.5 คนในโรงแรมขนส่งและ 2 คนในโรงแรมวันหยุด รูปแบบการจราจรของโรงแรมมีความซับซ้อนเมื่อเทียบกับช่วงเช้าและช่วงบ่ายในอาคารสำนักงานซึ่งการเช็คเอาท์ (08:00-11:00 น.) และการเช็คอิน (15:00-19:00 น.) เป็นช่วงเวลาที่น่าวุ่นวาย ปริมาณการจราจรสองทางจำนวนมากอธิบายโดยผู้เข้าพักที่เดินทางไปและกลับจากห้องพักและร้านอาหารรวมถึงสถานที่อื่น ๆ ไม่ว่าจะภายในหรือภายนอกโรงแรม อัตราการเดินทางมาถึงขึ้นอยู่กับระดับดาวของโรงแรม เราถือว่าอัตราการมาถึง 10% (1 ดาว) ถึง 15% (5 ดาว) และช่วงเวลา 30 ถึง 50 วินาที (5 และ 1 ดาวตามลำดับ) การคำนวณทำขึ้นบนสมมติฐานว่ามีจำนวนจุดหยุดขึ้นและลงเท่ากันในกรณีเหล่านี้ ส่วนใหญ่ไม่น่าเป็นไปได้ที่รถลิฟต์จะถูกโหลตมากกว่า 50% ของความจุ อย่างไรก็ตามลิฟต์ของโรงแรมควรมีความจุอย่างน้อย 1,600 กก เพื่อรองรับสัมภาระและให้ประสบการณ์การเดินทางที่ไม่พลุกพล่านและสะดวกสบายแก่ผู้เข้าพัก กฎนี้ควรใช้อย่างระมัดระวังเนื่องจากอาจไม่ใช้กับโรงแรมแนวราบที่มี 30% ของ ห้องพักชั้นล่าง.

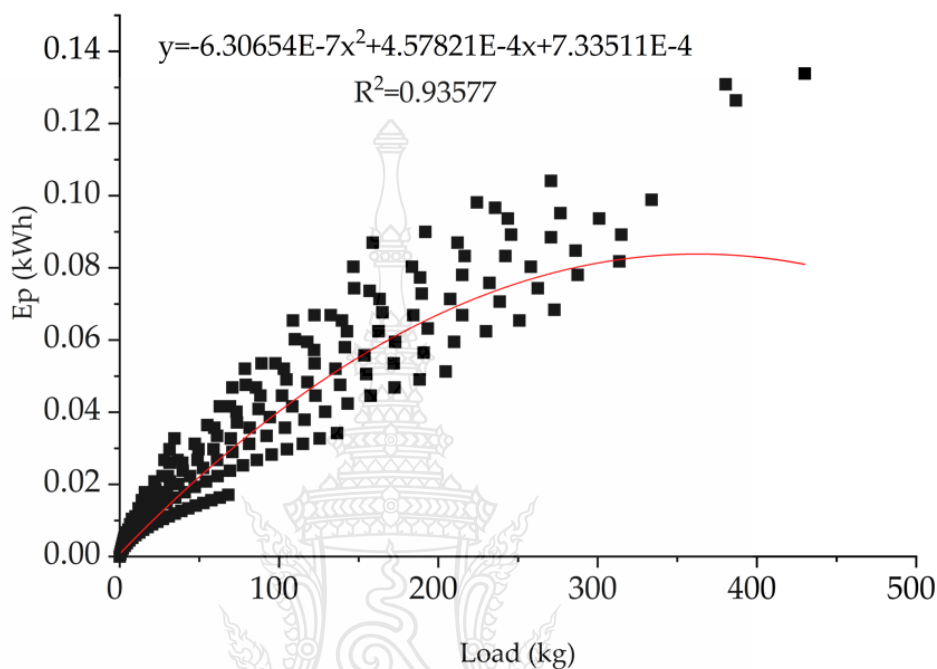
ในตารางที่ 4.1 ได้สรุปจำนวนการเดินทางเฉลี่ยต่อวันของลิฟต์ในอาคารควบคุม 5 ประเภท ตลอดช่วง เวลาที่รวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานและข้อมูลการใช้ลิฟต์ สำหรับคอลัมน์การใช้พลังงาน หมายถึงพลังงานที่ใช้โดยอาคารเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) ในแต่ละช่วงเวลา คอลัมน์การใช้ลิฟต์แสดงถึงเวลาทั้งหมดที่ลิฟต์ถูกใช้ในแต่ละช่วงเวลา คอลัมน์โหลตแสดงถึงน้ำหนักเฉลี่ยของผู้โดยสารในลิฟต์ของแต่ละช่วงเวลา

ตารางที่ 4.1 จำนวนการเดินทางเฉลี่ยต่อวันของลิฟต์ในอาคารควบคุม 5 ประเภท

รายละเอียด/ประเภทอาคาร	ที่พักอาศัย	โรงพยาบาล	สำนักงาน	มหาวิทยาลัย	โรงแรม
No. of trips/day (trip)	1964	10612	6580	2265	3711
Up Motor Starts	531	1360	3437	1494	621
Down Motor Starts	581	1053	932	1078	597
Total Motor Starts	1112	2413	4369	2572	1218
Total Distance Travelled (m)	94836.6	13393	48947.8	27660.2	49023
Total up running time (s)	12441.3	8978.5	23078.9	11468.3	9878
Total down running time (s)	12748.7	7694.4	12429.1	9876	9752
Daily Energy Consumption (kWh)	578.22	460.77	1200	288	446

## 4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพลังงาน ระยะทาง และภาระของลิฟต์

### 4.2.1 อาคารควบคุมประเภทที่พักอาศัย

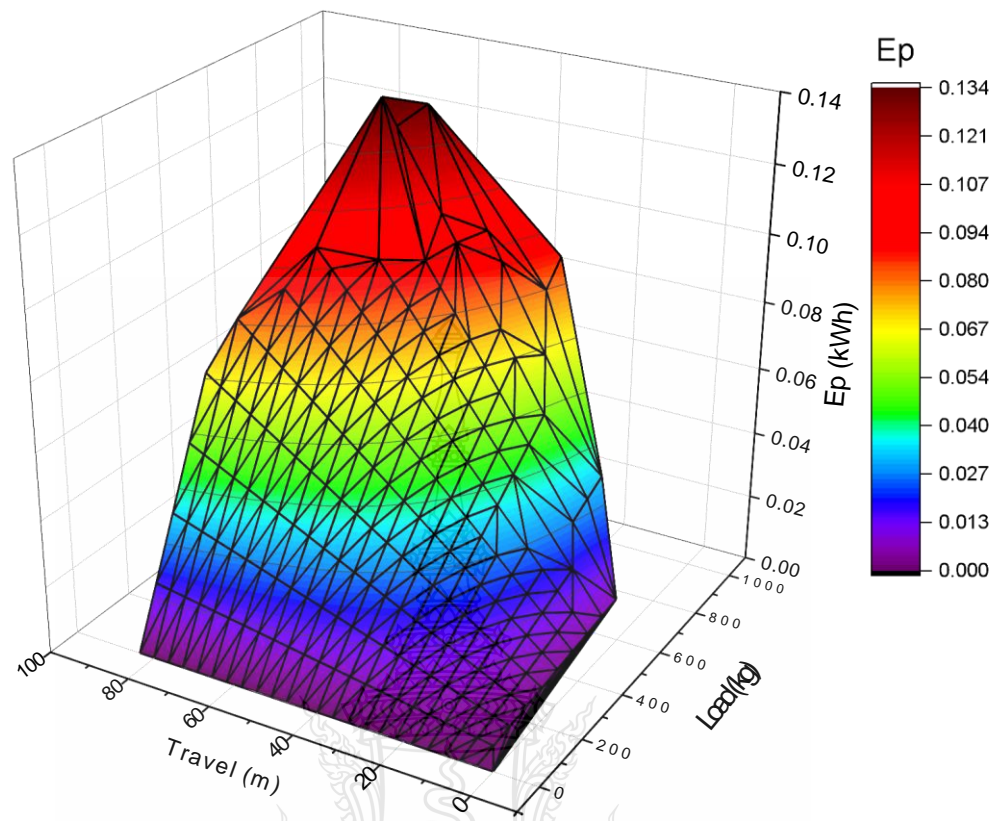


รูปที่ 4.6 ค่าพลังงานและภาระของลิฟต์ประเภทที่พักอาศัยรวม

รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โหลด และการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น ซึ่งระบุรูปแบบการใช้พลังงานต่อคาร์โหลตเป็นสมการพหุนามที่มีความแปรปรวนเท่ากับ 0.93577 ดังที่แสดงในสมการ (4.1) และ (4.2) เมื่อลิฟต์อยู่ในโหมดสแตนด์บายและไม่มีขึ้นส่วนที่เคลื่อนไหวพลังงานที่ใช้สำหรับระบบควบคุมจะมีค่า 0.000733.

$$E_p = -6.30654 \times 10^{-7}x^2 + 4.57821 \times 10^{-4}x + 0.000733 \quad (4.1)$$

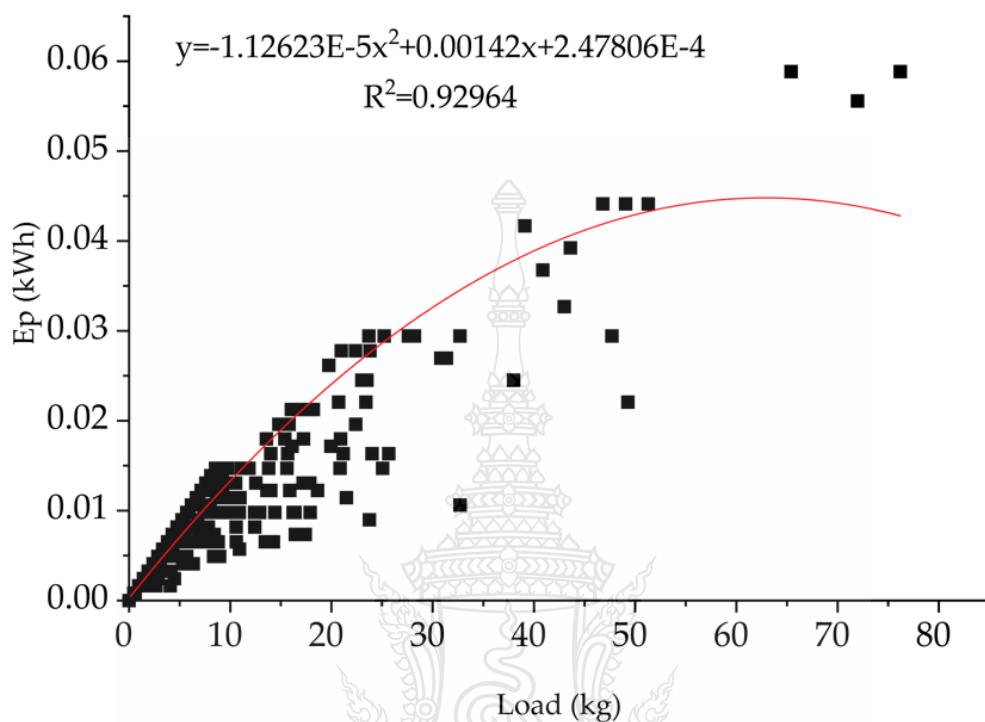
$$R^2 = 0.93577 \quad (4.2)$$



รูปที่ 4.7 ค่าพลังงานไฟฟ้าของลิฟต์ระยะทางและภาระ อาคารควบคุมประเภทที่พักอาศัยรวม

จากรูปที่ 4.7 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้า ระหว่างระยะทางที่ลิฟต์เคลื่อนที่ (Travel) กับภาระที่ลิฟต์เดินทางขึ้นลง (Load) น้ำหนักบรรทุกและการใช้พลังงานในอาคารที่พักอาศัยรวม โดยแกน X แทนภาระของลิฟต์ในหน่วยกิโลกรัม (Load) แกน Y แทนระยะทางที่ลิฟต์เคลื่อนที่ในหน่วยเมตร (Travel) และแกน Z แทนพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนลิฟต์  $E_p$  ในหน่วยกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) ซึ่งหมายถึงการใช้พลังงานแปรผันตาม กับปริมาณโหลดที่เพิ่มขึ้นและระยะทางในการเดินทางสูงสุด ในอาคารที่พักอาศัยรวม จะพบว่าบริเวณฐานของกราฟ กว้างเนื่องจากกลุ่มของข้อมูลการเดินทางและระยะทางส่วนมากเกาะกลุ่มกันอยู่ในบริเวณนี้ หมายถึงตัวลิฟต์ที่มีขนาดบรรทุก 1000 กิโลกรัม จะมีน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ย 40-70% ของพิกัดบรรทุก และเดินทางในช่วงสั้นๆ ตั้งแต่ 20 เมตร ถึง 80 เมตรซึ่งเกิดจากผู้โดยสาร ทั้งขาเข้าและออกมีปริมาณใกล้เคียงกัน และมี การเดินทางระหว่างชั้นเป็นช่วงๆ คิดเป็น 33% สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอนุรักษ์พลังงานได้ แก่ช่วงเวลา ที่การจราจรหนาแน่นช่วงประมาณ 11.00-12.00 เป็นการโดยสารขาออก และจะเริ่มหนาแน่นอีกครั้งช่วงเวลา 13.00-15.00 น. ซึ่งเป็นเวลาเยี่ยมและผู้โดยสารขาเข้าจะเกิดความหนาแน่นขึ้นอีกทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงเวลา

#### 4.2.2 อาคารควบคุมประเภทโรงพยาบาล



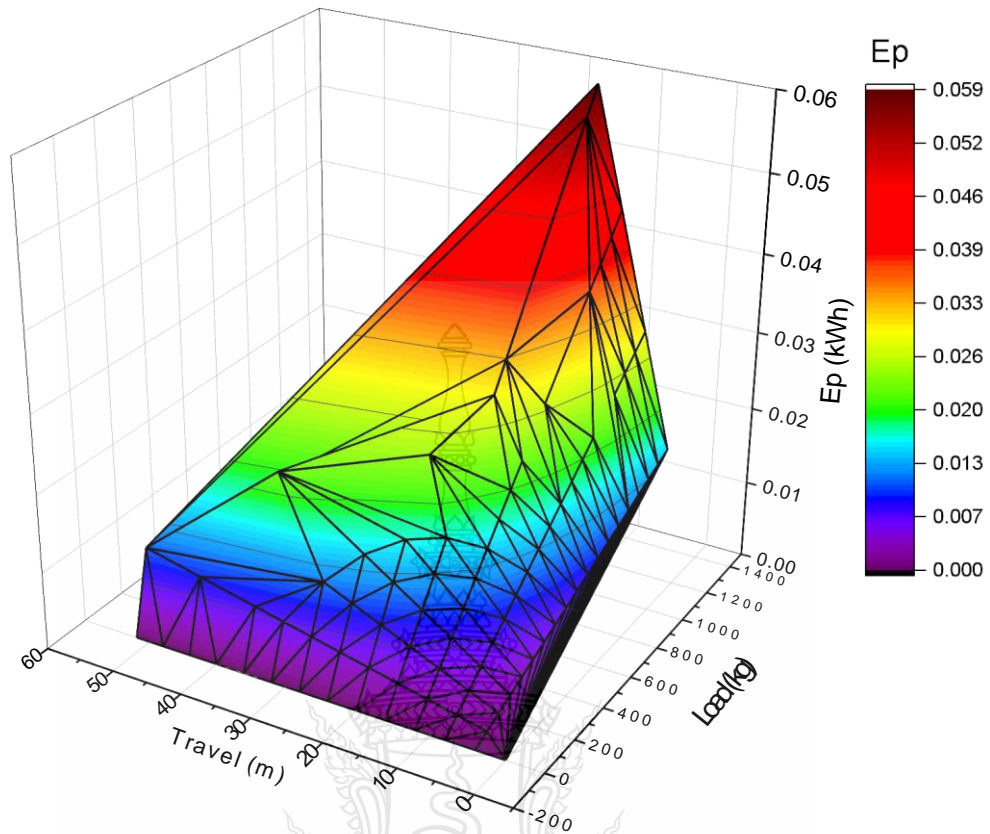
รูปที่ 4.8 ค่าพลังงานและภาระของลิฟต์ประเภทโรงพยาบาล

รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ของพลังงานและภาระของลิฟต์ประเภทโรงพยาบาลซึ่งระบุรูปแบบการใช้พลังงานต่อคาร์โหลตเป็นสมการพหุนามที่มีความแปรปรวนเท่ากับ 0.92964 ดังที่แสดงในสมการ (4.3) และ (4.4) เมื่อลิฟต์อยู่ในโหมดสแตนด์บายและไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวพลังงานที่ใช้สำหรับระบบควบคุมจะมีค่า 0.00247

$$E_p = -1.12623 \times 10^{-5}x^2 + 0.00142x + 0.00247 \quad (4.3)$$

$$R^2 = 0.92964 \quad (4.4)$$

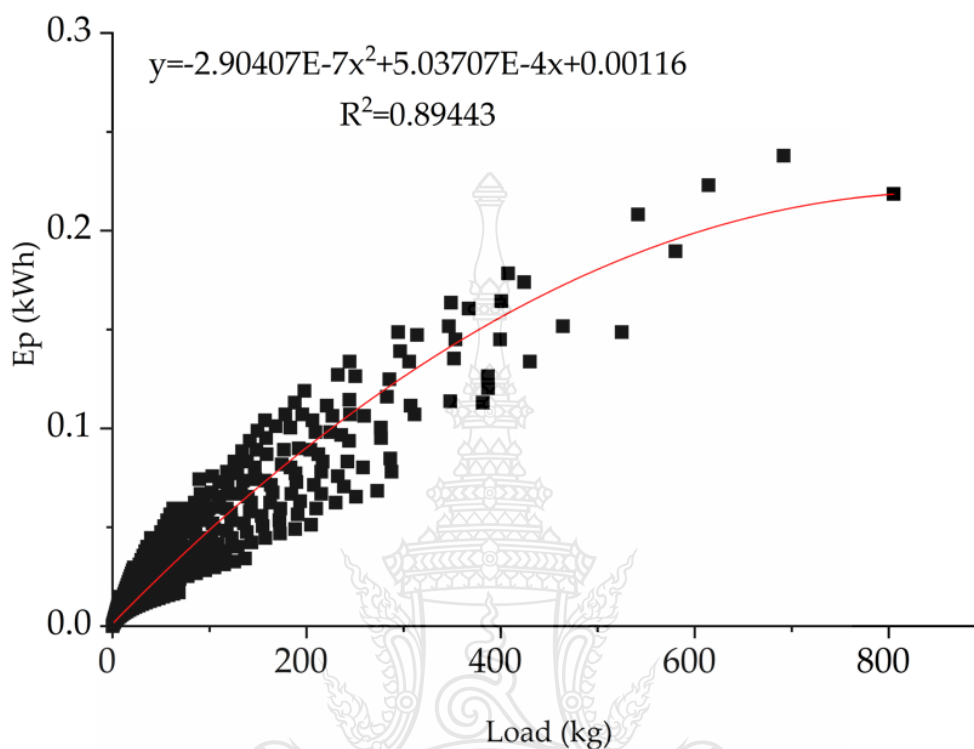




รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของพลังงาน ระยะทาง และภาระของลิฟต์ประเภทโรงพยาบาล

จากรูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่ลิฟต์เคลื่อนที่ (Travel) กับภาระที่ลิฟต์เดินทางขึ้นลง (Load) น้ำหนักบรรทุกและการใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาล โดยแกน X แทนภาระของลิฟต์ในหน่วยกิโลกรัม (Load) แกน Y แทนระยะทางที่ลิฟต์เคลื่อนที่ในหน่วยเมตร (Travel) และแกน Z แทนพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนลิฟต์  $E_p$  ในหน่วยกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) ซึ่งหมายถึงการใช้พลังงานแปรผันตาม กับปริมาณโหลดที่เพิ่มขึ้นและระยะทางในการเดินทางสูงสุด ในอาคารโรงพยาบาล จะพบว่าบริเวณฐานของกราฟ กว้างเนื่องจากกลุ่มของข้อมูลการเดินทางและระยะทางส่วนมากเกาะกลุ่มกันอยู่ในบริเวณนี้ หมายถึงตัวลิฟต์ที่มีขนาดบรรทุกทุก 1000 กิโลกรัม จะมีน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ย 40-70% ของพิกัดบรรทุก และเดินทางในช่วงสั้นๆ ตั้งแต่ 20 เมตร ถึง 80 เมตรซึ่งเกิดจาก ผู้โดยสาร ทั้งขาเข้าและออกมีปริมาณใกล้เคียงกัน และมี การเดินทางระหว่างชั้นเป็นช่วงๆ คิดเป็น 33% สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอนุรักษ์พลังงานได้ แก่ช่วงเวลา ที่การจราจรหนาแน่นช่วงประมาณ 11.00-12.00 เป็นการโดยสารขาออก และจะเริ่มหนาแน่นอีกครั้งช่วงเวลา 13.00-15.00น ซึ่งเป็นเวลาเยี่ยมและ ผู้โดยสารขาเข้าจะเกิดความหนาแน่นขึ้นอีกทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงเวลา

#### 4.2.3 อาคารควบคุมประเภทสำนักงาน



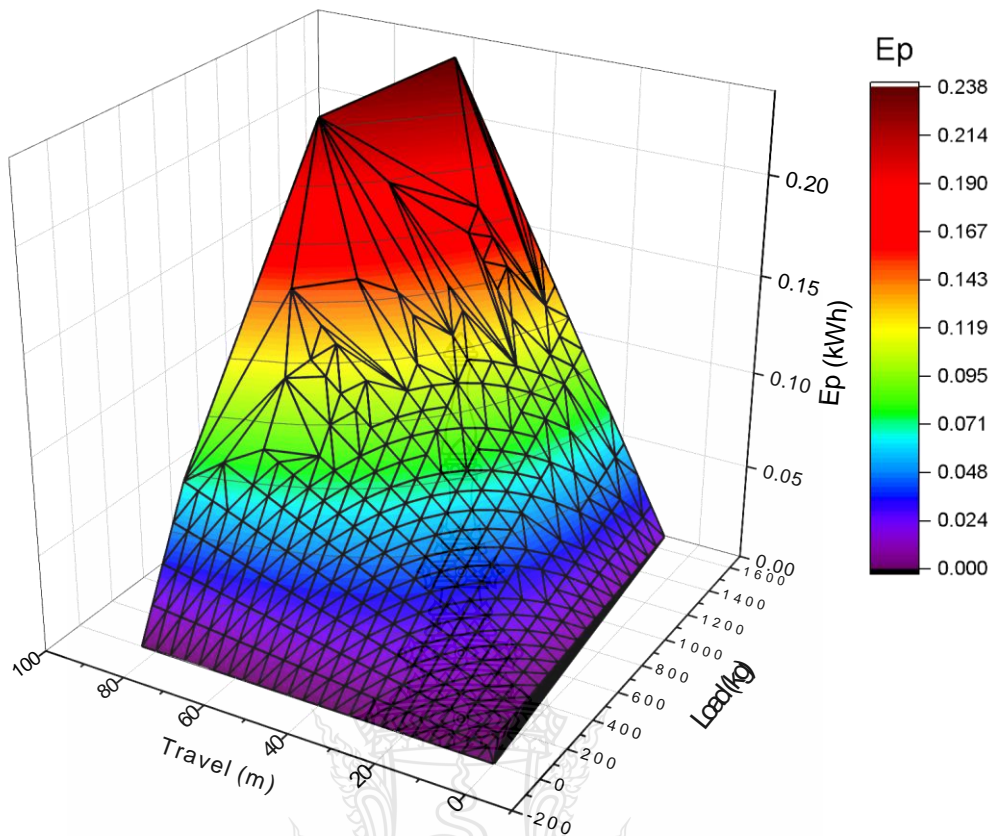
รูปที่ 4.10 ค่าพลังงานและภาระของลิฟต์ประเภทสำนักงาน

รูปที่ 4.10 แสดงถึงความสัมพันธ์ของโหลดกับการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น ซึ่งบ่งชี้รูปแบบการใช้พลังงานต่อโหลดเป็นสมการพหุนามที่มีความแปรปรวน 0.89443 ดังที่แสดงในสมการ (4.5) และ (4.6) จากสมการ (4.6) สามารถระบุได้ว่าในขณะที่ลิฟต์อยู่ในโหมดสแตนด์บายและไม่มีขึ้นส่วนที่เคลื่อนไหวพลังงานที่ใช้สำหรับระบบควบคุมมีค่า 0.00116

$$E_p = -2.90407 \times 10^{-7}x^2 + 5.03707 \times 10^{-4}x + 0.00116 \quad (4.5)$$

$$R^2 = 0.89443 \quad (4.6)$$

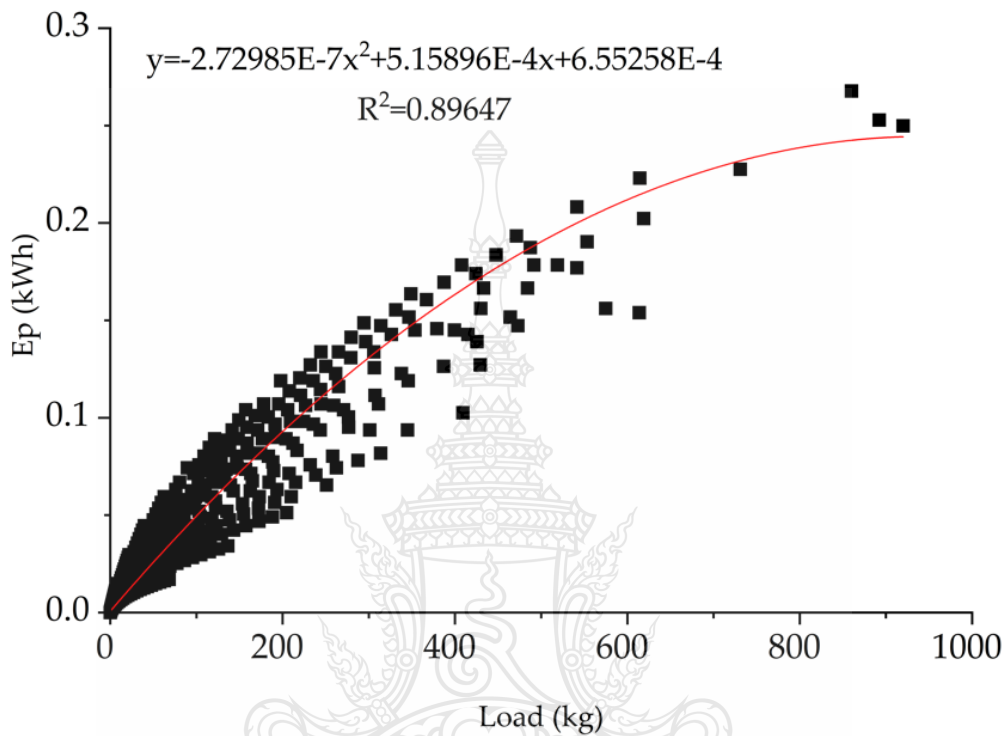




รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ของพลังงาน ระยะทาง และภาระของลิฟต์ประเภทสำนักงาน

จากรูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่ลิฟต์เคลื่อนที่ (Travel) กับภาระที่ลิฟต์เดินทางขึ้นลง (Load) น้ำหนักบรรทุกทุกและการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน โดยแกน X แทนภาระของลิฟต์ในหน่วยกิโลกรัม (Load) แกน Y แทนระยะทางที่ลิฟต์เคลื่อนที่ในหน่วยเมตร (Travel) และแกน Z แทนพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนลิฟต์ในหน่วยกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) ซึ่งหมายถึงการใช้พลังงานแปรผันตาม กับปริมาณโหลดที่เพิ่มขึ้นและระยะทางในการเดินทางสูงสุด กราฟนี้จะช่วยให้เราเห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างภาระของลิฟต์สำนักงาน ระยะทางที่ลิฟต์เคลื่อนที่ และพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนลิฟต์ ในการดูกราฟ เราจะสังเกตเห็นที่กำหนดโดยจุดข้อมูล (Load, Travel, Ep) จากกราฟ เราจะพบความสัมพันธ์ที่มีลักษณะเชิงเส้น ซึ่งหมายความว่าเมื่อภาระลิฟต์เพิ่มขึ้น (แกน X) ระยะทางที่ลิฟต์เคลื่อนที่ (แกน Y) จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน ในขณะเดียวกัน พลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนลิฟต์ (แกน Z) มีค่าเพิ่มขึ้น

#### 4.2.4 อาคารควบคุมประเภทมหาวิทยาลัย

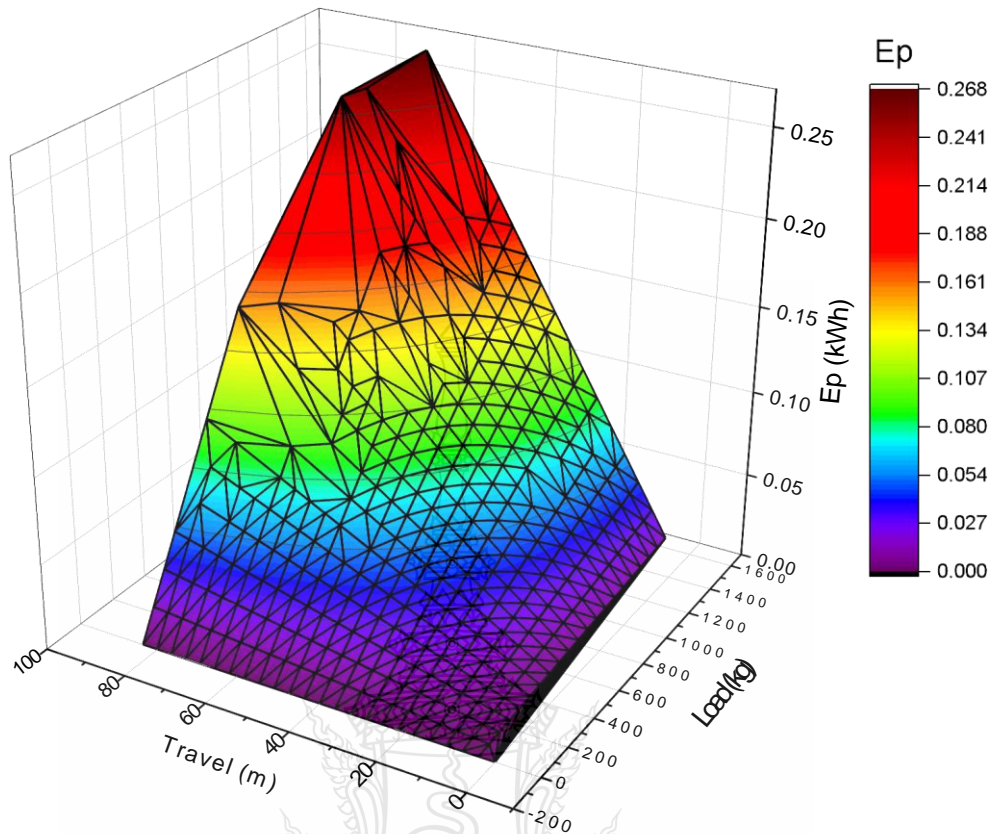


รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ของพลังงานและภาระของลิฟต์ประเภทมหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.12 แสดงถึงความสัมพันธ์ของโหลดกับการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น ซึ่งบ่งชี้รูปแบบการใช้พลังงานต่อโหลดเป็นสมการพหุนามที่มีความแปรปรวน 0.89647 ดังที่แสดงในสมการ (4.7) และ (4.8) จากสมการ (4.8) เมื่อ  $E_p$  แทนการใช้พลังงานในหน่วยกิโลวัตต์-ชั่วโมง ( $kWh$ ) และ  $x$  แทนภาระในหน่วยกิโลกรัม ( $kg$ ) สามารถระบุได้ว่าในขณะที่ลิฟต์อยู่ในโหมดสแตนด์บายและไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวพลังงานที่ใช้สำหรับระบบควบคุมมีค่า 0.000655

$$E_p = -2.72985 \times 10^{-7}x^2 + 5.15896 \times 10^{-4}x + 0.000655 \quad (4.7)$$

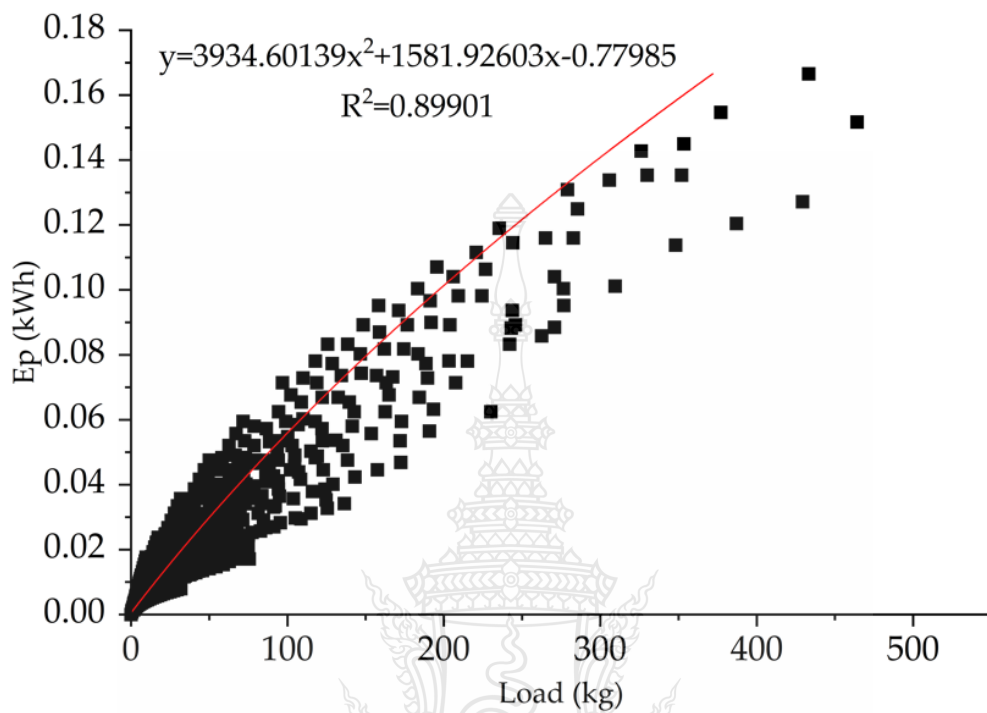
$$R^2 = 0.89647 \quad (4.8)$$



รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ของพลังงาน ระยะทาง และภาระของลิฟต์ประเภทมหาวิทยาลัย

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่ลิฟต์เคลื่อนที่ (Travel) กับภาระที่ลิฟต์เดินทางขึ้นลง (Load) น้ำหนักบรรทุกและการใช้พลังงานในอาคารมหาวิทยาลัย โดยแกน X แทนภาระของลิฟต์ในหน่วยกิโลกรัม (Load) แกน Y แทนระยะทางที่ลิฟต์เคลื่อนที่ในหน่วยเมตร (Travel) และแกน Z แทนพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนลิฟต์ในหน่วยกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) ซึ่งหมายถึงการใช้พลังงานแปรผันตาม กับปริมาณโหลดที่เพิ่มขึ้นและระยะทางในการเดินทางสูงสุด กราฟนี้จะช่วยให้เราเห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างภาระของลิฟต์ในอาคารมหาวิทยาลัย ระยะทางที่ลิฟต์เคลื่อนที่ และพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนลิฟต์ ในการดูกราฟ เราจะสังเกตเห็นที่กำหนดโดยจุดข้อมูล (Load, Travel, Ep) จากกราฟ เราจะพบความสัมพันธ์ที่มีลักษณะเชิงเส้น ซึ่งหมายความว่าเมื่อภาระลิฟต์เพิ่มขึ้น (แกน X) ระยะทางที่ลิฟต์เคลื่อนที่ (แกน Y) จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน ในขณะเดียวกัน พลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนลิฟต์ (แกน Z) มีค่าเพิ่มขึ้น

#### 4.2.5 อาคารควบคุมประเภทโรงแรม



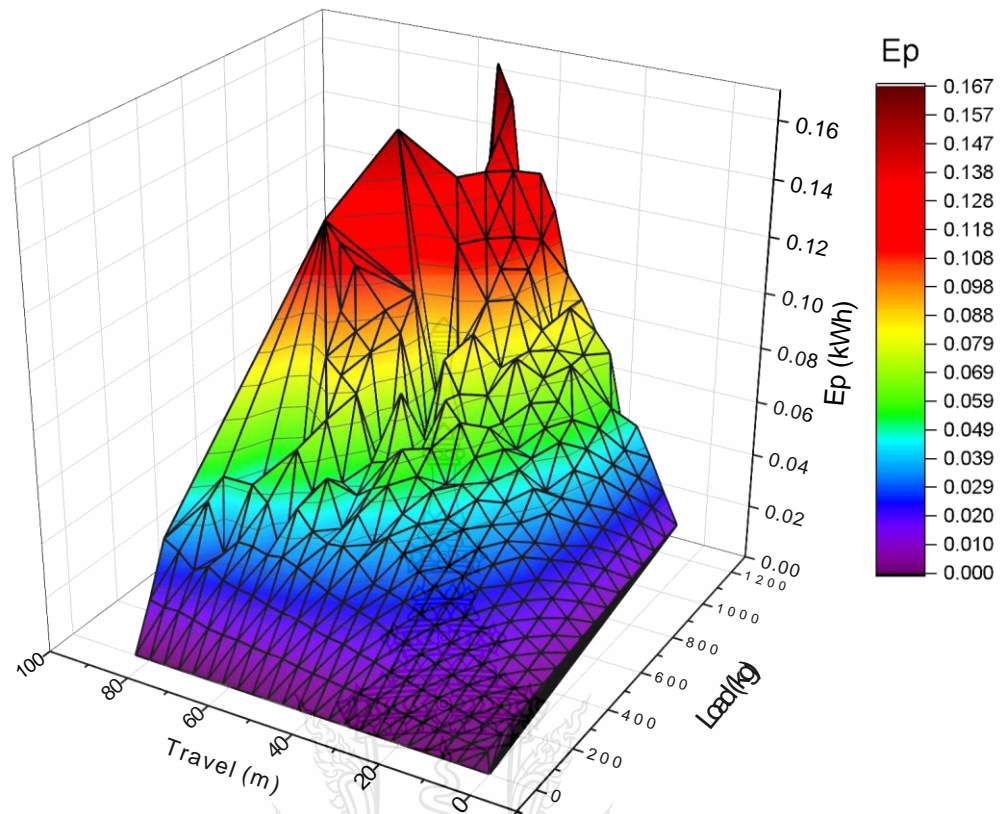
รูปที่ 4.14 ค่าพลังงานและภาระของลิฟต์ประเภทโรงแรม

รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดและการใช้พลังงาน ซึ่งระบุรูปแบบการใช้พลังงานต่อน้ำหนักบรรทุกทุกเป็นสมการพหุนามที่มีความแปรปรวน 0.89901 ดังแสดงในสมการ (4.9) และ (4.10) เมื่อลิฟต์อยู่ในโหมดสแตนด์บายและไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหว พลังงานที่ใช้สำหรับระบบควบคุมจะมีค่า 0.77985.

$$E_p = -3938.60139 \times 10^{-7}x^2 + 0.00142x + 0.77985 \quad (4.9)$$

$$R^2 = 0.89901 \quad (4.10)$$



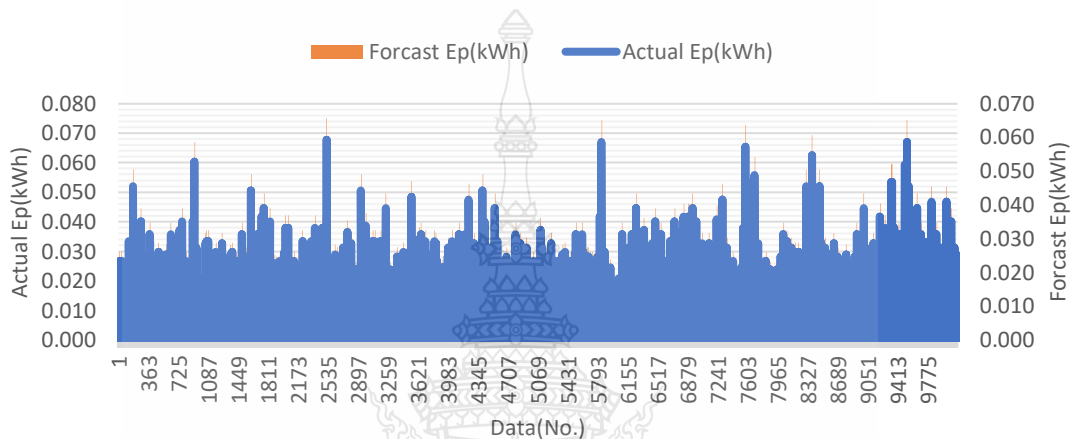


รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ของพลังงาน ระยะทาง และภาระของลิฟต์ประเภทโรงแรม

จากรูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเดินทางของลิฟต์กับโหลดและการใช้พลังงานในอาคารโรงแรมซึ่งบ่งบอกถึงการใช้พลังงานจำนวนมาก ด้วยปริมาณรถที่เพิ่มขึ้นและระยะทางการเดินทางสามารถสังเกตจุดสูงสุดที่รุนแรงสองจุดในกราฟซึ่งสอดคล้องกับการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นโดยยอดแหลมของรูปที่ 4.15 หมายถึงการใช้ลิฟต์ที่น้ำหนักพิกัดที่ชั้นสูงสุดของอาคาร ซึ่งเป็นโหลดส่วนน้อยที่จะเกิดขึ้นกับอาคารประเภทนี้กรณีโรงแรมเกิดจากภัตตาคารที่ตั้งอยู่ที่ชั้นดาดฟ้าของโรงแรมเมื่อมีผู้ใช้บริการหนาแน่นจึงเกิดยอดแหลมดังกล่าว

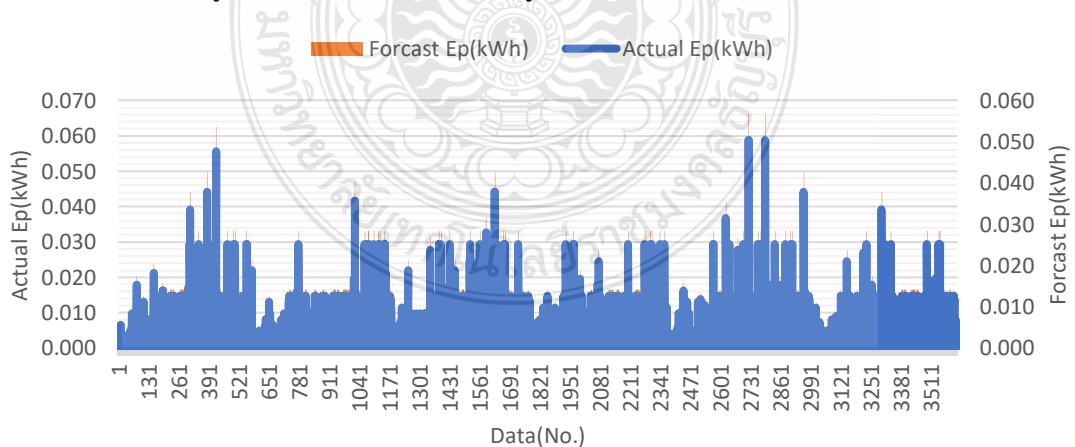
### 4.3 ทดสอบสมการตัวแทนการใช้พลังงานของลิฟต์โดยใช้เทคนิค MAPE

จากข้อมูลที่ได้จากสำรวจแล้วนำไปตรวจสอบความแม่นยำ โดย นำสมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นตัวแทนของอาคารควบคุมแต่ละประเภทนำมาบ่อนด้วยค่าจริง แทนค่ากลับเข้าไปในสมการแล้วใช้วิธีการทางสถิติแบบ ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) เป็นการตรวจสอบความแม่นยำในการทำนาย ของสมการที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยแสดงค่าความถูกต้องเป็นเปอร์เซ็นต์ ตามที่กำหนดโดยสมการ ที่ 2.10:



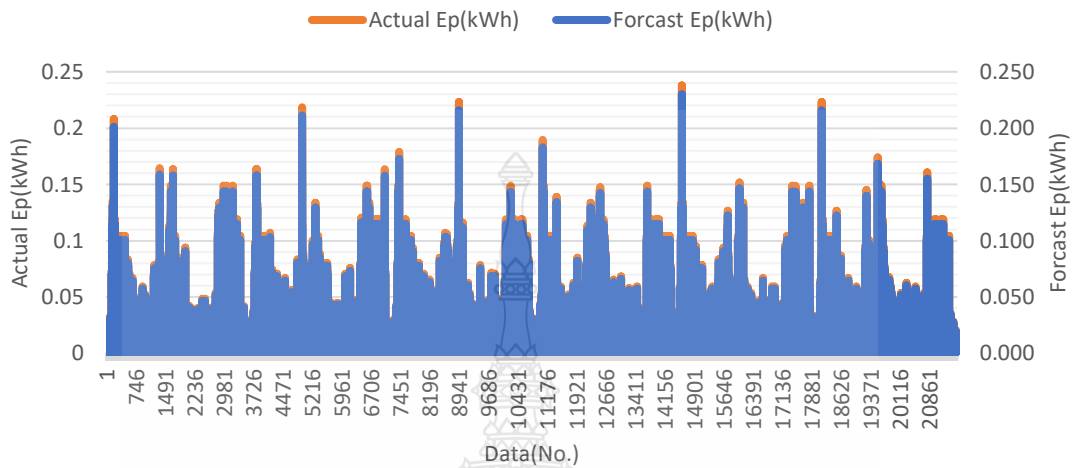
รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบค่าจากการทำนายกับค่าที่วัดได้ของอาคารประเภทที่พักอาศัยรวม

จากการจำลองเมื่อนำสมการ ที่ได้จากการวิเคราะห์ (สมการที่ ของอาคารประเภทที่พักอาศัยรวม กับค่าจริง ของภาระโหลด ของลิฟต์ คือทำการเปรียบเทียบโดยใช้ค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ พบว่าลิฟต์ ในอาคารประเภทที่พักอาศัยรวม มีค่า 2.87% จากการวิเคราะห์ข้อมูล ที่มีค่า เข้าใกล้หนึ่ง การพยากรณ์นั้น จะมีความแม่นยำสูง เมื่อทำการ ใช้ค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ ในการวิเคราะห์



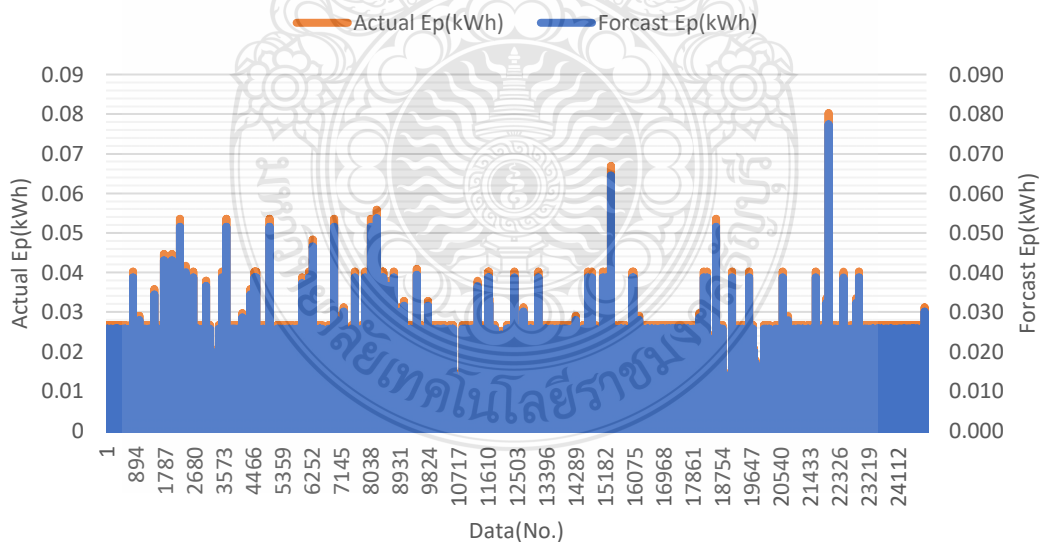
รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบค่าจากการทำนายกับค่าที่วัดได้ของอาคารประเภทโรงพยาบาล

จากการจำลองเมื่อนำสมการ ที่ได้จากการวิเคราะห์ ของอาคารประเภทโรงพยาบาลกับค่าจริง ของภาระโหลด ของลิฟต์ ทำการเปรียบเทียบโดยใช้ค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ พบว่าลิฟต์ ในประเภทโรงพยาบาลมีค่า มีค่า 3.41 %



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบค่าจากการทำนายกับค่าที่วัดได้ของอาคารประเภทสำนักงาน

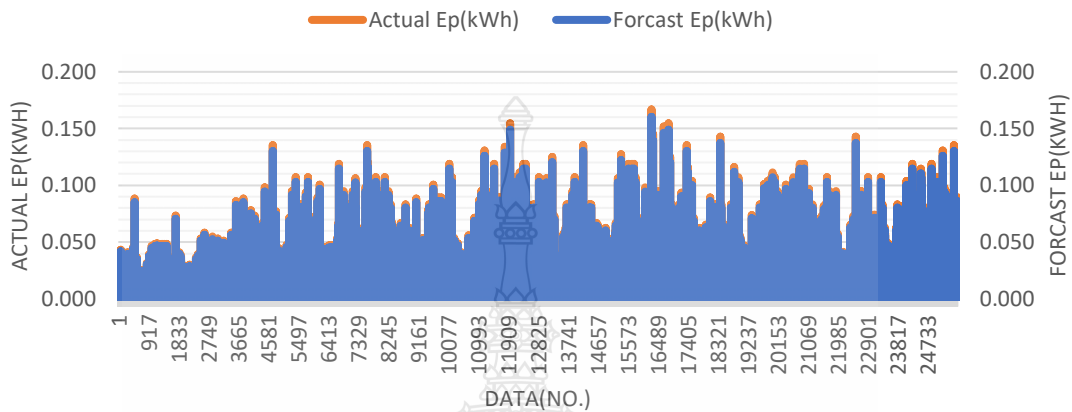
จากการจำลองเมื่อนำสมการ ที่ได้จากการวิเคราะห์ ของอาคารประเภทสำนักงาน กับค่าจริง ของภาระโหลด ของลิฟต์ คือทำการเปรียบเทียบโดยใช้ค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ พบว่าลิฟต์ ในอาคารประเภทสำนักงาน มีค่า MAPE 3.51%



รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบค่าจากการทำนายกับค่าที่วัดได้ของอาคารประเภทมหาวิทยาลัย



จากการจำลองเมื่อนำสมการ ที่ได้จากการวิเคราะห์ ของอาคารประเภทมหาวิทยาลัยกับค่าจริง ของภาระโหลด ของลิฟต์ ทำการเปรียบเทียบโดยใช้ค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ พบว่าลิฟต์ ในอาคารประเภทมหาวิทยาลัยมีค่า MAPE 3.66 %



รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบค่าจากการทำนายกับค่าที่วัดได้ของอาคารประเภทโรงแรม

จากการจำลองเมื่อนำสมการ ที่ได้จากการวิเคราะห์ ของอาคารประเภทโรงแรม กับค่าจริง ของภาระโหลด ของลิฟต์ ทำการเปรียบเทียบโดยใช้ค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ พบว่าลิฟต์ ในอาคารประเภทโรงแรมมีค่า MAPE 3.73%

#### 4.4 การวิเคราะห์พลังงานของลิฟต์ ตามหลักการของ 4 จตุภาค

การวิเคราะห์พลังงานของลิฟต์ตามหลักการของ 4 จตุภาค เป็นการแบ่งการเคลื่อนที่ของลิฟต์ ออกเป็น 4 สถานะหลัก ๆ ซึ่งสามารถใช้ในการวิเคราะห์การใช้พลังงานของลิฟต์ได้ง่ายและเป็น

1 เมื่อลิฟต์บรรทุกน้ำหนักมากกว่า 50% ของพิกัดวิ่งขึ้นมอเตอร์จะใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบจ่ายไฟฟ้า เนื่องจากน้ำหนักห้องโดยสารที่ต้องใช้ตั้งขึ้นมากกว่าตึมน้ำหนักถ่วง

2 เมื่อลิฟต์บรรทุกน้ำหนักมากกว่า 50% ของพิกัดวิ่งลงมอเตอร์จะป้อนพลังงานไฟฟ้ากลับสู่ระบบไฟฟ้า เนื่องจากน้ำหนักห้องโดยสารที่ต้องปล่อยลงมากกว่าตึมน้ำหนักถ่วง

3 เมื่อลิฟต์บรรทุกน้ำหนักน้อยกว่า 50% ของพิกัดวิ่งขึ้นมอเตอร์จะพลังงานไฟฟ้ากลับสู่ระบบไฟฟ้า เนื่องจากน้ำหนักห้องโดยสารที่ต้องเคลื่อนที่ขึ้นมีค่าน้อยกว่าตึมน้ำหนักถ่วง

4 เมื่อลิฟต์บรรทุกน้ำหนักน้อยกว่า 50% ของพิกัดวิ่งลง มอเตอร์จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบจ่ายไฟฟ้า จากน้ำหนักห้องโดยสารที่ต้องเคลื่อนที่ลงมีค่าน้อยกว่าตึมน้ำหนักถ่วง

5 เมื่อลิฟท์บรรทุกน้ำหนักประมาณ 50% ของพิกัด เคลื่อนที่ขึ้นหรือลงมอเตอร์จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบจ่ายไฟฟ้าน้อยมากเนื่องจากน้ำหนักห้องโดยสารและห้องโดยสารเท่ากับน้ำหนักตู้มถ่วงหรือสภาวะสมดุล

สภาพการจราจรของลิฟท์ เพื่อประเมินศักยภาพในการประหยัดพลังงานโดยมีข้อสังเกตว่าถ้าการใช้ลิฟท์ส่วนมากบรรทุกน้ำหนักประมาณ 50% ของน้ำหนัก พิกัดของลิฟท์ จะใช้พลังงานน้อย ระบบคืนพลังงานกลับจะไม่สามารถช่วยในการใช้พลังงานโดยรวมลดลงได้มากนัก

ตารางที่ 4.2 ตารางวิเคราะห์การประหยัดพลังงานของลิฟท์โดยใช้หลักการ 4 จตุภาค

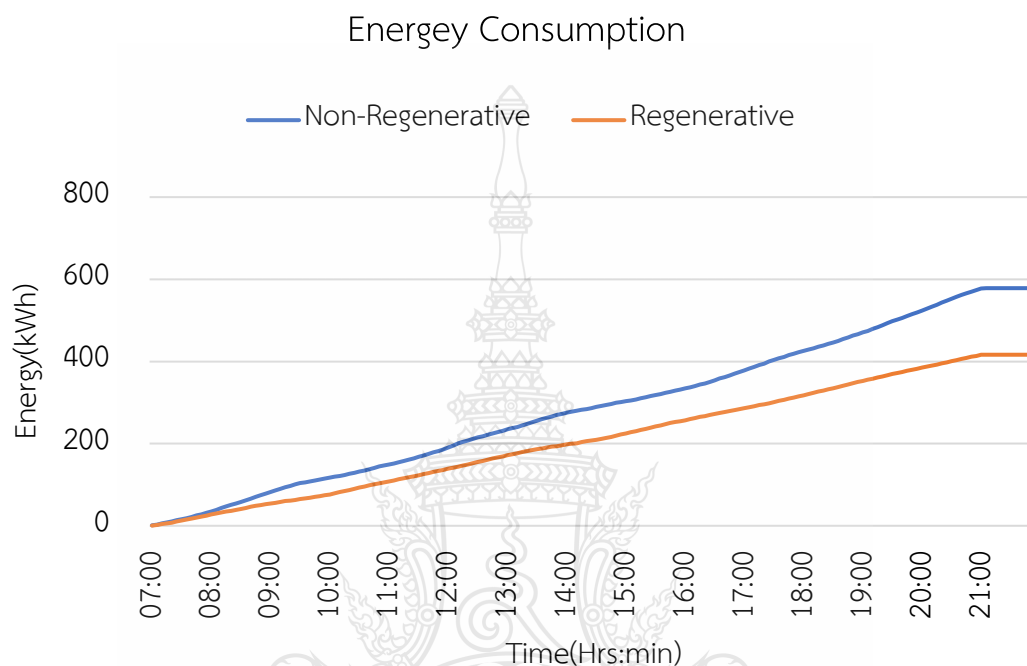
ประเภทอาคาร	จตุภาค	รายละเอียด	ศักยภาพในการประหยัดพลังงาน
ที่พักอาศัย	จตุภาค 1	การบริโภคสูงศักยภาพสูง หน่วยที่อยู่อาศัยที่มีการใช้พลังงานสูงและศักยภาพในการปรับปรุงที่สำคัญ	สูง
ที่พักอาศัย	จตุภาค 3	การบริโภคต่ำศักยภาพสูง หน่วยที่อยู่อาศัยที่ใช้พลังงานต่ำ แต่มีศักยภาพในการปรับปรุง	ปานกลาง ถึงสูง
โรงพยาบาล	จตุภาค 1	การบริโภคสูงศักยภาพสูง ในโรงพยาบาลที่มีการใช้พลังงานสูงและศักยภาพในการปรับปรุงที่สำคัญ	สูง
โรงพยาบาล	จตุภาค 2	การบริโภคสูงศักยภาพต่ำ ภายในโรงพยาบาลที่มีการใช้พลังงานสูง แต่มีศักยภาพจำกัดในการปรับปรุง	ต่ำ
มหาวิทยาลัย	จตุภาค 1	การบริโภคสูงศักยภาพสูง ใช้พลังงานมากภายในมหาวิทยาลัยที่มีการบริโภคสูงและศักยภาพในการปรับปรุงที่สำคัญ	สูง
มหาวิทยาลัย	จตุภาค 3	การบริโภคต่ำศักยภาพสูง พื้นที่ประหยัดพลังงานภายในมหาวิทยาลัยที่มีการบริโภคต่ำ แต่มีศักยภาพในการปรับปรุงเพิ่มเติม	ปานกลาง ถึงสูง

ตารางที่ 4.2 ตารางวิเคราะห์การประหยัดพลังงานของลิฟต์โดยใช้หลักการ 4 จตุภาค (ต่อ)

ประเภทอาคาร	จตุภาค	รายละเอียด	ศักยภาพในการประหยัดพลังงาน
โรงแรม	จตุภาค 1	การบริโภคสูงศักยภาพสูง ใช้พลังงานมากภายในโรงแรมที่มีการบริโภคสูงและศักยภาพในการปรับปรุงที่สำคัญ	สูง
โรงแรม	จตุภาค 3	การบริโภคต่ำศักยภาพสูง พื้นที่ประหยัดพลังงานภายในโรงแรมที่มีการบริโภคต่ำ แต่มีศักยภาพในการปรับปรุงเพิ่มเติม	ปานกลาง ถึงสูง
สำนักงาน	จตุภาค 1	การบริโภคสูงศักยภาพสูง พื้นที่ที่ใช้พลังงานมากภายในอาคารสำนักงานที่มีการบริโภคสูงและมีศักยภาพในการปรับปรุงที่สำคัญ	สูง
สำนักงาน	จตุภาค 3	การบริโภคต่ำศักยภาพสูง พื้นที่ประหยัดพลังงานภายในอาคารสำนักงานที่มีการบริโภคต่ำ แต่มีศักยภาพในการปรับปรุงเพิ่มเติม	ปานกลาง ถึงสูง

#### 4.5 ตัวอย่างเปรียบเทียบลิฟต์แบบที่ใช้ระบบคืนพลังงานกับค่าพลังงาน

สำหรับตัวอย่างจะเป็นอาคารประเภทที่พักอาศัย ซึ่งมีความสูงของอาคาร มากกว่า 190 เมตร และเป็นที่ใช้ระบบคืนพลังงาน และเทียบกับ ลิฟต์แบบที่ไม่มีระบบคืนพลังงาน โดยใช้ลิฟต์ ที่มีพิกัดน้ำหนักบรรทุกทุกขนาดและความเร็ว เท่ากัน สำหรับลิฟต์ทั้ง 3ชุด เวลาที่ใช้งาน 7.00น ถึง 22.00น



รูปที่ 4.21 กราฟพลังงานที่ลิฟต์ใช้ไปสำหรับอาคารประเภท ที่พักอาศัย แบบ Non Regenerative

จากรูปที่ 4.21 เป็นอาคารประเภทที่พักอาศัย ซึ่งมีความสูงของอาคาร มากกว่า 190 เมตร เป็นแบบระบบคืนพลังงาน โดยใช้ลิฟต์ ที่มีพิกัดน้ำหนักบรรทุกทุกขนาด 1350 kg ความเร็ว 6 เมตรต่อวินาที ใช้มอเตอร์ขนาด 35kW PMSM สำหรับลิฟต์ทั้ง 3ชุด ใช้พลังงานไปทั้งสิ้น 578.413 kWh ช่วงเวลาใช้งาน 7.00น ถึง 22.00น เปรียบเทียบกับ แบบระบบคืนพลังงาน โดยใช้ลิฟต์ ที่มีพิกัดน้ำหนักบรรทุกทุกขนาด 1350 kg ความเร็ว 6 เมตรต่อวินาที ใช้มอเตอร์ขนาด 35kW PMSM สำหรับลิฟต์ทั้ง 3ชุด ที่มีพิกัดบรรทุกเท่ากัน ใช้พลังงานไปทั้งสิ้น 416.381 kWh ช่วงเวลาใช้งาน 7.00น ถึง 22.00น จะพบว่าขนาดพิกัดบรรทุก ความเร็วของลิฟต์ และระยะทางที่ใช้ในการเดินทาง ที่เท่ากันแตกต่างกันที่ชนิดของระบบคืนพลังงาน นั้นมีการใช้พลังงานแตกต่างกัน ประหยัดกว่าแบบไม่คืนพลังงานถึง 28%

#### 4.6 สรุป

การวิเคราะห์รูปแบบพฤติกรรมการจราจรของลิฟต์ในอาคารควบคุมและ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพลังงาน ระยะทาง และภาระของลิฟต์ ซึ่งโดยรวมแล้วอาคารสำนักงานมีการใช้พลังงานรายวันสูงสุดเนื่องจากผลรวมของการสตาร์ทมอเตอร์ที่มากขึ้นและระยะการเดินทางรวมเป็นจำนวนมาก อาคารที่พักอาศัย มีการใช้พลังงานค่อนข้างสูง โรงพยาบาลมีจำนวนการเดินทางและการสตาร์ทมอเตอร์สูงสุด แต่ระยะทางทั้งหมดที่เดินทางนั้นค่อนข้างต่ำส่งผลให้ใช้พลังงานในระดับปานกลาง มหาวิทยาลัยมีการใช้พลังงานน้อยกว่าเนื่องจากการเดินทางและการสตาร์ทมอเตอร์น้อยลง โรงแรมจัดอยู่ในช่วงการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกับมหาวิทยาลัย แต่มีการใช้งานที่สูงขึ้นเล็กน้อย ข้อเสนอแนะโดยสรุปเหล่านี้สามารถช่วยกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานสำหรับใช้ในอาคารแต่ละประเภท



## บทที่ 5

### บทสรุป

ดัชนีชี้วัดนี้ได้ ทำการรวบรวมข้อมูล สํารวจพฤติกรรมและการจําจจของระบบลิฟต์ การวิเคราะห์พฤติกรรมเคลื่อนที่ของลิฟต์ที่ใช้ในอาคารควบคุม ตลอดจนวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ลิฟต์ใช้ในอาคารควบคุม โดยการ ติดตั้งเครื่องวิเคราะห์พลังงาน และนำค่าที่ได้ไป วิเคราะห์ หารูปแบบการใช้พลังงาน ในอาคารแต่ละประเภท สามารถนำเสนอ บทสรุปการศึกษา ได้ดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ พฤติกรรมลิฟต์ในอาคารควบคุม

ผลการวิเคราะห์ในดัชนีชี้วัดนี้ได้พิจารณา ข้อมูลการสำรวจการจําจจของระบบลิฟต์ ในอาคาร 5 ประเภท ประกอบด้วย ที่อยู่อาศัยรวม โรงพยาบาล สํานักงาน สถานศึกษา สํานักงาน และโรงแรม ซึ่งผลจากการสำรวจและเก็บข้อมูล สามารถนำมาประยุกต์ใช้ ใช้เพื่อทำการวิเคราะห์พฤติกรรมเคลื่อนที่ของลิฟต์ที่ใช้ในอาคารควบคุม และนำผลที่ได้ มาวิเคราะห์ หารูปแบบ การใช้พลังงาน ต่อการเคลื่อนที่ ของโหลดในอาคาร ด้วยรูปแบบตัวแทน สมการทางคณิตศาสตร์ ที่นำเสนอ สำหรับอาคารแต่ละประเภท ซึ่งสมการเหล่านี้สามารถนำไปใช้เป็นตัวแทน รูปแบบของการเคลื่อนที่และการใช้พลังงานของลิฟต์ได้

ศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานในอาคารควบคุมทั้ง 5 ประเภทนั้นจะขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการใช้งานของอาคารประเภทนั้นๆ ลิฟต์จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ หากเข้าเงื่อนไข ดังนี้ เมื่อน้ำหนักลิฟต์น้อยกว่าตํมน้ำหนักชดเชย ในทิศทางขึ้น และในทางตรงกันข้าม เมื่อน้ำหนักบรรทุกในลิฟต์หนักกว่าตํมน้ำหนักชดเชย หากระบบลิฟต์ในอาคารควบคุมได้รับการปรับปรุงชุดมอเตอร์และไดร์ฟให้เป็นระบบคืนพลังงาน

จากผลการวิเคราะห์รูปแบบความสัมพันธ์การใช้พลังงานของลิฟต์ ด้วยรูปแบบตัวแทนสมการทางคณิตศาสตร์ ในอาคารควบคุมทั้ง 5 ประเภท ได้แก่ อาคารควบคุมประเภท ที่พักอาศัย โรงพยาบาล สํานักงาน มหาวิทยาลัย และโรงแรม แล้วนำสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ไปทดสอบกับข้อมูลวัดจริง เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ของแต่ละประเภทอาคาร มีค่าเป็น 2.87% 3.40% 3.51% 3.66% และ 3.73% ตามลำดับ จะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อน (MAPE) มีค่าน้อยกว่า 4% จึงสามารถนำสมการที่สร้างขึ้นไปใช้เป็นตัวแทน รูปแบบของการเคลื่อนที่และโหลดของลิฟต์ได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในระบบการเก็บค่าพลังงานควร มีการติดตั้งระบบการวัดค่ากำลังไฟฟ้าแบบ ทันเวลา ซึ่งทำงานสัมพันธ์ กับภาวะของ โหลดในตัวลิฟต์ รวมถึงระบบ ตรวจสอบทิศทางการเคลื่อนที่ของลิฟต์ ซึ่งสามารถ ทำงานร่วมกับ อุปกรณ์ภายนอก ทำงานร่วมกับ อุปกรณ์สองตรวจวัดพลังงานและสังเกตการณ์ สำหรับลิฟต์ที่ไม่มีการติดตั้งระบบคืนพลังงาน ควรมีการปรับปรุง ให้มีการติดตั้งระบบ คืนพลังงาน เพื่อใช้ประโยชน์จาก พลังงานส่วนนี้ และทำให้ ลิฟต์มีการใช้ พลังงานอย่างประหยัด มากขึ้น

ข้อมูลพลังงานที่ได้จาก การตรวจวัด เมื่อมีการจัดเก็บ ในปริมาณที่มากพอ เช่นระยะเวลาหนึ่งปี ควร ควรนำข้อมูลนี้ ไปปรับใช้ กับการวิเคราะห์ สมัยใหม่ เช่น ระบบ Machine learning Big data analysis เป็นต้น ซึ่งจะเป็ประโยชน์และมีความแม่นยำ อย่างมาก สำหรับ การ วิเคราะห์หาตัวแทน การใช้พลังงานอนุรักษ์พลังงาน ของกลุ่มลิฟต์ในอาคารควบคุมทั้งห้าประเภทที่ได้นำเสนอ





## บรรณานุกรม

- [1] B. Plangklang, S. Kantawong, and A. Noppakant, "Study of generator mode on permanent magnet synchronous motor (PMSM) for application on elevator energy regenerative unit (EERU)," *Energy Procedia*, vol. 34, pp. 382-389, 2013.
- [2] A. Noppakant, B. Plangklang, and Y. Paraken, "Study of power grid connection with an unstable source from Elevator Energy Regenerative Unit (EERU)," *Energy Procedia*, vol. 56, pp. 584-590, 2014.
- [3] L. Al-Sharif, "Lift energy consumption: general overview (1974-2001)," *Elevator World*, vol. 52, pp. 61-67, 2004.
- [4] J. De Jong, "Advances in elevator technology: sustainable and energy implications," in *Proceedings of the CTBUH 8th World Congress*, 2008, pp. 212-217.
- [5] L. Al-Sharif, "The ETP Method: Deriving Passenger Numbers from Escalator Energy Consumption," in *Elevator Technology 7 Proceedings of Elevcon 1996*, 1996, vol. 7, no. 1, pp. 19-28.
- [6] L. Al-Sharif, R. Peters, and R. Smith, "Elevator energy simulation model," *Power (kW)*, vol. 21, p. 22, 2004.
- [7] B. Plangklang, R. Skunpong, K. Phumkittphich, and S. Hiranvarodom, "Analysis of Energy Consumption and Behavior of Television in Resident Houses in Thailand," *Procedia Engineering*, vol. 8, pp. 115-119, 2011.
- [8] A. B. Kulkarni, H. Nguyen, and E. Gaudet, "A comparative evaluation of fine regenerative and nonregenerative vector controlled drives for AC gearless elevators," in *Conference Record of the 2000 IEEE Industry Applications Conference. Thirty-Fifth IAS Annual Meeting and World Conference on Industrial Applications of Electrical Energy (Cat. No. 00CH37129)*, 2000, vol. 3: IEEE, pp. 1431-1437.

## บรรณานุกรม(ต่อ)

- [9] L. Yu, S. Mabu, T. Zhang, K. Hirasawa, and T. Ueno, "A study on energy consumption of elevator group supervisory control systems using genetic network programming," in *2009 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 2009: IEEE, pp. 583-588.
- [10] A. Rufer and P. Barrade, "A supercapacitor-based energy-storage system for elevators with soft commutated interface," *IEEE Transactions on industry applications*, vol. 38, no. 5, pp. 1151-1159, 2002.
- [11] L. Al-Sharif, "Modelling of escalator energy consumption," *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 6, pp. 1382-1391, 2011.
- [12] M.-L. Siikonen, "Customer service in an elevator system during up-peak," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 31, no. 2, pp. 127-139, 1997.
- [13] M. F. Adak, N. Duru, and H. T. Duru, "Elevator simulator design and estimating energy consumption of an elevator system," *Energy and Buildings*, vol. 65, pp. 272-280, 2013.
- [14] A. Binder, "Potentials for energy saving with modern drive technology—a survey," in *2008 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, 2008: IEEE, pp. 90-95.
- [15] A. De Almeida, S. Hirzel, C. Patrão, J. Fong, and E. Dütschke, "Energy-efficient elevators and escalators in Europe: An analysis of energy efficiency potentials and policy measures," *Energy and buildings*, vol. 47, pp. 151-158, 2012.
- [16] W. Xuchao, R. Priyadarsini, and L. Siew Eang, "Benchmarking energy use and greenhouse gas emissions in Singapore's hotel industry," *Energy Policy*, vol. 38, no. 8, pp. 4520-4527, 2010, doi: 10.1016/j.enpol.2010.04.006.
- [17] W. Chung, M. S. Kam, and C. Y. Ip, "A study of residential energy use in Hong Kong by decomposition analysis, 1990–2007," *Applied Energy*, vol. 88, no. 12, pp. 5180-5187, 2011, doi: 10.1016/j.apenergy.2011.07.030.

## บรรณานุกรม(ต่อ)

- [18] P. Jiang, "Analysis of national and local energy-efficiency design standards in the public building sector in China," *Energy for Sustainable Development*, vol. 15, no. 4, pp. 443-450, 2011, doi: 10.1016/j.esd.2011.08.001.
- [19] H. Xiao, Q. Wei, and Y. Jiang, "The reality and statistical distribution of energy consumption in office buildings in China," *Energy and Buildings*, vol. 50, pp. 259-265, 2012, doi: 10.1016/j.enbuild.2012.03.048.
- [20] B. W. Ang, "LMDI decomposition approach: A guide for implementation," *Energy Policy*, vol. 86, pp. 233-238, 2015, doi: 10.1016/j.enpol.2015.07.007.
- [21] Y. Lu, P. Cui, and D. Li, "Which activities contribute most to building energy consumption in China? A hybrid LMDI decomposition analysis from year 2007 to 2015," *Energy and Buildings*, vol. 165, pp. 259-269, 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.12.046.
- [22] C. Aghemo *et al.*, "Management and monitoring of public buildings through ICT based systems: Control rules for energy saving with lighting and HVAC services," *Frontiers of Architectural Research*, vol. 2, no. 2, pp. 147-161, 2013, doi: 10.1016/j.foar.2012.11.001.
- [23] T. Hong, S. C. Taylor-Lange, S. D'Oca, D. Yan, and S. P. Corngati, "Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings," *Energy and Buildings*, vol. 116, pp. 694-702, 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.11.052.
- [24] N. Zografakis, K. Gillas, A. Pollaki, M. Profylienou, F. Bounialetou, and K. P. Tsagarakis, "Assessment of practices and technologies of energy saving and renewable energy sources in hotels in Crete," *Renewable Energy*, vol. 36, no. 5, pp. 1323-1328, 2011, doi: 10.1016/j.renene.2010.10.015.
- [25] M. Amer and T. U. Daim, "Selection of renewable energy technologies for a developing county: A case of Pakistan," *Energy for Sustainable Development*, vol. 15, no. 4, pp. 420-435, 2011, doi: 10.1016/j.esd.2011.09.001.

## บรรณานุกรม(ต่อ)

- [26] H. Ma, W. Lu, L. Yin, and X. Shen, "Public Building Energy Consumption Level and Influencing Factors in Tianjin," *Energy Procedia*, vol. 88, pp. 146-152, 2016, doi: 10.1016/j.egypro.2016.06.039.
- [27] J. Zhao, Y. Xin, and D. Tong, "Energy consumption quota of public buildings based on statistical analysis," *Energy Policy*, vol. 43, pp. 362-370, 2012, doi: 10.1016/j.enpol.2012.01.015.
- [28] G. Liu, Z. Wu, and M. Hu, "Energy Consumption and Management in Public Buildings in China: An Investigation of Chongqing," *Energy Procedia*, vol. 14, pp. 1925-1930, 2012, doi: 10.1016/j.egypro.2011.12.1189.
- [29] Z. Yao, Z. Zhuang, and W. Gu, "Study on Energy Use Characteristics of Hotel Buildings in Shanghai," *Procedia Engineering*, vol. 121, pp. 1977-1982, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.09.195.
- [30] H. Ma *et al.*, "Analysis of typical public building energy consumption in northern China," *Energy and Buildings*, vol. 136, pp. 139-150, 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.11.037.
- [31] W. Hao, C. Xiaoqing, and X. Jiai, "Measurement and Analysis on Energy Efficiency of Elevators in Shanghai," in *ASME 2014 12th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis*, 2014, vol. Volume 2: Dynamics, Vibration and Control; Energy; Fluids Engineering; Micro and Nano Manufacturing, V002T09A014, doi: 10.1115/esda2014-20342. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1115/ESDA2014-20342>  
<https://asmedigitalcollection.asme.org/ESDA/proceedings-abstract/ESDA2014/45844/V002T09A014/232420>
- [32] D. Niu, L. Guo, W. Zhao, and H. Li, "Operation performance evaluation of elevators based on condition monitoring and combination weighting method," *Measurement*, vol. 194, 2022, doi: 10.1016/j.measurement.2022.111091.
- [33] A. D. A. Carlos Patrão, "Elevators and Escalators Energy Performance Analysis," *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, 2010.

## บรรณานุกรม(ต่อ)

- [34] E. Delzendeh, S. Wu, A. Lee, and Y. Zhou, "The impact of occupants' behaviours on building energy analysis: A research review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 80, pp. 1061-1071, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.05.264.
- [35] T. Hong, C. Li, and D. Yan, "Updates to the China Design Standard for Energy Efficiency in public buildings," *Energy Policy*, vol. 87, pp. 187-198, 2015, doi: 10.1016/j.enpol.2015.09.013.
- [36] J. H. Ang, Y. Yusup, S. A. Zaki, A. Salehabadi, and M. I. Ahmad, "Comprehensive Energy Consumption of Elevator Systems Based on Hybrid Approach of Measurement and Calculation in Low- and High-Rise Buildings of Tropical Climate towards Energy Efficiency," *Sustainability*, vol. 14, no. 8, 2022, doi: 10.3390/su14084779.
- [37] P. A. Markos and A. J. Dentsoras, "An integrated mathematical method for traffic analysis of elevator systems," *Applied Mathematical Modelling*, vol. 105, pp. 50-80, 2022, doi: 10.1016/j.apm.2021.12.021.
- [38] B. P. Supapradit marsong, "Implementation analysis of an elevator energy regenerative unit -EERU- for energy saving in a building," presented at the IEEE Xplore, Changmai, Thailand, 2016.
- [39] S. M. Murshed, A. Duval, A. Koch, and P. Rode, "Impact of Urban Morphology on Energy Consumption of Vertical Mobility in Asian Cities—A Comparative Analysis with 3D City Models," *Urban Science*, vol. 3, no. 1, p. 4, 2019. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2413-8851/3/1/4>.
- [40] Y. Zhang, Z. Yan, F. Yuan, J. Yao, and B. Ding, "A Novel Reconstruction Approach to Elevator Energy Conservation Based on a DC Micro-Grid in High-Rise Buildings," *Energies*, vol. 12, no. 1, 2018, doi: 10.3390/en12010033.
- [41] T. Tukia, S. Uimonen, M.-L. Siikonen, H. Hakala, and M. Lehtonen, "A study for improving the energy efficiency of lifts with adjustable counterweighting," *Building Services Engineering Research and Technology*, vol. 38, no. 4, pp. 421-435, 2017, doi: 10.1177/0143624417697773.

## บรรณานุกรม(ต่อ)

- [42] A. Rotimi, A. Bahadori-Jahromi, A. Mylona, P. Godfrey, and D. Cook, "Estimation and Validation of Energy Consumption in UK Existing Hotel Building Using Dynamic Simulation Software," *Sustainability*, vol. 9, no. 8, 2017, doi: 10.3390/su9081391.
- [43] T. Krakowski and H. Ruta, "Analysis and Assessment of Energy Efficiency of Passenger Lifts," *Advances in Science and Technology Research Journal*, vol. 12, no. 3, pp. 257-265, 2018, doi: 10.12913/22998624/95165.
- [44] Y. Zhang, X. Bai, F. P. Mills, and J. C. V. Pezzey, "Rethinking the role of occupant behavior in building energy performance: A review," *Energy and Buildings*, vol. 172, pp. 279-294, 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.05.017.
- [45] H. Hakala, "Applications of linear motors in elevator hoisting machines " Doctoral thesis, Institute of Electricity and Magnetism, Tampere University of Technology, Publications 157, 1995.
- [46] G. Barney, *Elevator Traffic Handbook: Theory and Practice*. London: Routledge, 2003, p. 476.
- [47] G. R. Strakosch, *The Vertical Transportation Handbook*. New York: John Wiley & Sons, 1982, p. 512.
- [48] สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา. "พระราชกฤษฎีกา กำหนดโรงงานควบคุม พ.ศ. 2540." สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา. <https://www.krisdika.go.th> (accessed 05, 2023).
- [49] สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา. "พระราชกฤษฎีกา กำหนดอาคารควบคุม พ.ศ.2538." krisdika. <https://www.krisdika.go.th> (accessed 05, 2566).
- [50] "พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535." กระทรวงพลังงาน. <https://law.energy.go.th> (accessed 05, 2566).
- [51] "Energy efficient elevators and escalators."
- [52] S. Kim and H. Kim, "A new metric of absolute percentage error for intermittent demand forecasts," *International Journal of Forecasting*, vol. 32, no. 3, pp. 669-679, 2016/07/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2015.12.003>.
- [53] B. L. Bowerman, R. T. O'Connell, and A. B. Koehler, *Forecasting, time series, and regression: an applied approach*. South-Western Pub, 2005.



ภาคผนวก ก  
งานตีพิมพ์เผยแพร่



## งานตีพิมพ์เผยแพร่


S. Marsong, Y. Kongjeen, and B. Plangklang, "Vertical Transportation System Power Usage: Behavioural Case Study of Regulated Buildings in Bangkok," *Sustainability*, vol. 14, no. 20, p. 13267, Oct. 2022, doi: 10.3390/su142013267.

S. Marsong and B. Plangklang, "Analysis of energy consumption and behavior of Elevator in a residential building," 2017 International Electrical Engineering Congress (iEECON), Pattaya, Thailand, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/IEECON.2017.8075789.

S. Marsong and B. Plangklang, "Implementation analysis of an elevator energy regenerative unit (EERU) for energy saving in a building," 2016 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Chiang Mai, Thailand, 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/ECTICon.2016.7561421.



# 2021 Journal Performance Data for: Sustainability

 Open Access since 2009

ISSN	EISSN
N/A	2071-1050
JCR ABBREVIATION	ISO ABBREVIATION
SUSTAINABILITY-BASEL	Sustainability

## Journal Information

EDITION	CATEGORY
Social Sciences Citation Index (SSCI) Science Citation Index Expanded (SCIE)	GREEN & SUSTAINABLE SCIENCE & TECHNOLOGY - SCIE ENVIRONMENTAL STUDIES - SSCI ENVIRONMENTAL SCIENCES - SCIE GREEN & SUSTAINABLE SCIENCE & TECHNOLOGY - SSCI

LANGUAGES	REGION	1ST ELECTRONIC JCR YEAR
English	SWITZERLAND	2013

## Publisher Information

PUBLISHER	ADDRESS	PUBLICATION FREQUENCY
MDPI	ST ALBAN-ANLAGE 66, CH-4052 BASEL, SWITZERLAND	24 issues/year

# Journal's Performance

## Journal Impact Factor

The Journal Impact Factor (JIF) is a journal-level metric calculated from data indexed in the Web of Science Core Collection. It should be used with careful attention to the many factors that influence citation rates, such as the volume of publication and citations characteristics of the subject area and type of journal. The Journal Impact Factor can complement expert opinion and informed peer review. In the case of academic evaluation for tenure, it is inappropriate to use a journal-level metric as a proxy measure for individual researchers, institutions, or articles.

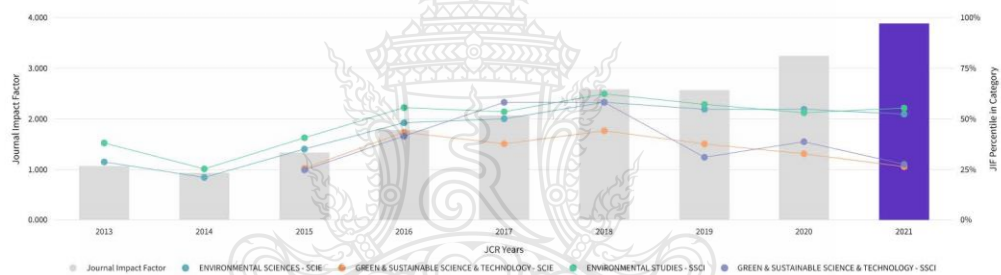
2021 JOURNAL IMPACT FACTOR

**3.889**

2021 JOURNAL IMPACT FACTOR WITHOUT SELF CITATIONS

**3.008**

### Journal Impact Factor Trend 2021



Journal Impact Factor is calculated using the following metrics

Citations in 2021 to items published in 2019 (29,388) - 2020 (39,380)	=	$\frac{68,768}{17,684}$	=	3.889
Number of citable items in 2019 (7,183) + 2020 (10,501)		17,684		






Journal Impact Factor without self cites is calculated using the following metrics

Citations in 2021 to items published in 2019 (29,388) + 2020 (39,380) - Self Citations in 2021 to items published in 2019 (5,616) + 2020 (9,958)	=	$\frac{68,768 - 15,574}{17,684}$	=	3.008
Number of citable items in 2019 (7,183) + 2020 (10,501)		17,684		



## Journal Impact Factor Contributing Items

Citable Items (17,684)

TITLE	CITATION COUNT
<p>Impacts of the COVID-19 Pandemic on Life of Higher Education Students: A Global Perspective                      Authors: Aristovnik, Aleksander;Kerzic, Damijana;Ravselj, Dejan;Tomazevic, Nina;Umek, Lan                      Volume: 12                      Accession number: WOS:000583135500001                      Document Type: Article</p>	<p>170  </p>
<p>Effects of the COVID-19 Lockdown on Urban Mobility: Empirical Evidence from the City of Santander (Spain)                      Authors: Aloj, Alfredo;Mazzei, Vittorio;Perrucci, Lucia;Prieto-Quintana, Dario;Rodriguez, Andres;Sanudo, Roberto;Alonso, Borja;Benavente, Juan;Cordera, Ruben;Echaniz, Eneko; et al.                      Volume: 12                      Accession number: WOS:000537476200368                      Document Type: Article</p>	<p>99  </p>
<p>Social Stigma during COVID-19 and its Impact on HCWs Outcomes                      Authors: Ramaci, Tiziana;Barattucci, Massimiliano;Ledda, Caterina;Rapisarda, Venerando                      Volume: 12                      Accession number: WOS:000537476200332                      Document Type: Article</p>	<p>79  </p>
<p>Teleworking in the Context of the Covid-19 Crisis                      Authors: Belzunegui-Eraso, Angel;Erro-Garces, Amaya                      Volume: 12                      Accession number: WOS:000537476200160                      Document Type: Article</p>	<p>78  </p>
<p>Policy Response, Social Media and Science Journalism for the Sustainability of the Public Health System Amid the COVID-19 Outbreak: The Vietnam Lessons                      Authors: Viet-Phuong La;Manh-Tung Ho;Quan-Hoang Vuong;Thanh-Hang Pham;Manh-Toan Ho;Minh-Hoang Nguyen;Nguyen, Khanh-Linh P.;Thu-Trang Vuong;Nguyen, Hong-Kong T.;Trung Tran; et al.                      Volume: 12                      Accession number: WOS:000531558100356                      Document Type: Article</p>	<p>73  </p>

Showing 1-5 rows of 17,684 total (use export in the relevant section to download the full table)

## Journal Impact Factor Contributing Items

### Citing Sources (5,608)

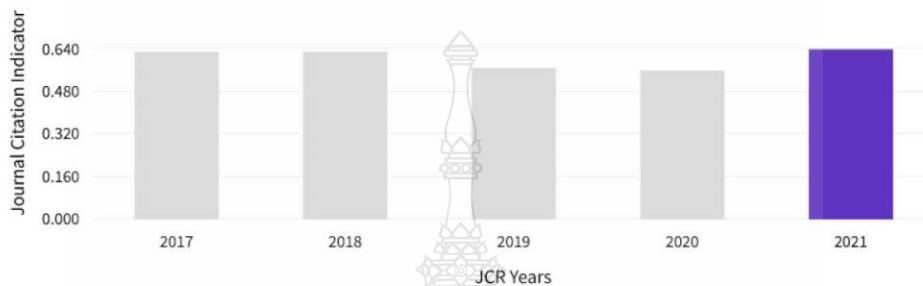
SOURCE NAME	COUNT
SUSTAINABILITY	15,574
ENERGIES	1,927
JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION	1,605
INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH	1,562
ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH	933
APPLIED SCIENCES-BASEL	891
LAND	846
SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT	645
WATER	557
FRONTIERS IN PSYCHOLOGY	534
PLOS ONE	475
JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT	471
IEEE ACCESS	419
SUSTAINABLE CITIES AND SOCIETY	414
REMOTE SENSING	382
SUSTAINABLE PRODUCTION AND CONSUMPTION	374
AGRONOMY-BASEL	371
AGRICULTURE-BASEL	359
ENVIRONMENT DEVELOPMENT AND SUSTAINABILITY	331
SENSORS	288

Showing 1-20 rows of 5,608 total (use export in the relevant section to download the full table)

## Journal Citation Indicator (JCI)

0.64

The Journal Citation Indicator (JCI) is the average Category Normalized Citation Impact (CNCI) of citable items (articles & reviews) published by a journal over a recent three year period. The average JCI in a category is 1. Journals with a JCI of 1.5 have 50% more citation impact than the average in that category. It may be used alongside other metrics to help you evaluate journals.



## Total Citations

130,265

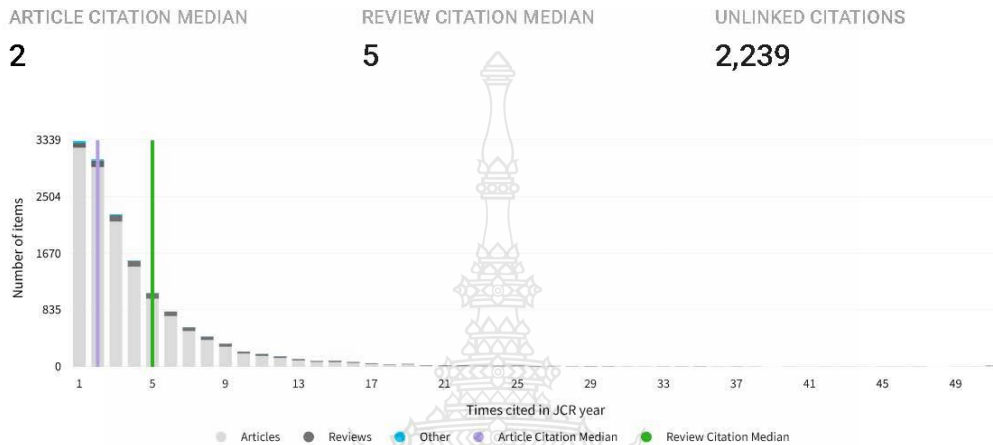
The total number of times that a journal has been cited by all journals included in the database in the JCR year. Citations to journals listed in JCR are compiled annually from the JCR years combined database, regardless of which JCR edition lists the journal.





## Citation Distribution

The Citation Distribution shows the frequency with which items published in the year or two years prior were cited in the JCR data year (i.e., the component of the calculation of the JIF). The graph has similar functionality as the JIF Trend graph, including hover-over data descriptions for each data point, and an interactive legend where each data element's legend can be used as a toggle. You can view Articles, Reviews, or Non-Citable (other) items to the JIF numerator.



### 0 times cited

ARTICLES  
2,869

REVIEWS  
50

OTHER  
82



## Open Access (OA)

The data included in this tile summarizes the items published in the journal in the JCR data year and in the previous two years. For example, in the 2020 JCR data, released in June 2021, the Open Access (OA) data show the publication model (Gold OA or subscription) of materials published in 2018, 2019 and 2020, and citations in 2020 to these items. This three-year set of published items is used to provide descriptive analysis of the content and community of the journal.

### Items

TOTAL CITABLE

**31,453**

% OF CITABLE OA

**94.73%**

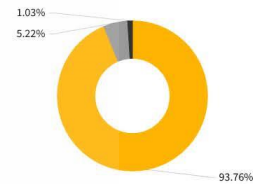
CITABLE

● GOLD OPEN ACCESS  
29,795 / 93.76%

● SUBSCRIPTION OR BRONZE  
1,658 / 5.22%

NON-CITABLE

● OTHER (NON-CITABLE ITEMS)  
326 / 1.03%



### Citations\*

TOTAL CITABLE

**80,024**

% OF CITABLE OA

**96.87%**

CITABLE

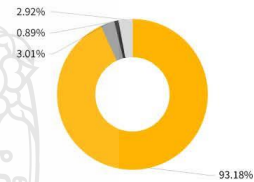
● GOLD OPEN ACCESS  
77,521 / 93.18%

● SUBSCRIPTION OR BRONZE  
2,503 / 3.01%

NON-CITABLE

● OTHER (NON-CITABLE ITEMS)  
737 / 0.89%

● UNLINKED CITATIONS  
2,432 / 2.92%



\* Citations in 2021 to items published in (2019-2021)

## Rank by Journal Impact factor

Journals within a category are sorted in descending order by Journal Impact Factor (JIF) resulting in the Category Ranking below. A separate rank is shown for each category in which the journal is listed in JCR. Data for the most recent year is presented at the top of the list, with other years shown in reverse chronological order.

### EDITION

Science Citation Index Expanded (SCIE)

### CATEGORY

ENVIRONMENTAL SCIENCES

**133/279**

### EDITION

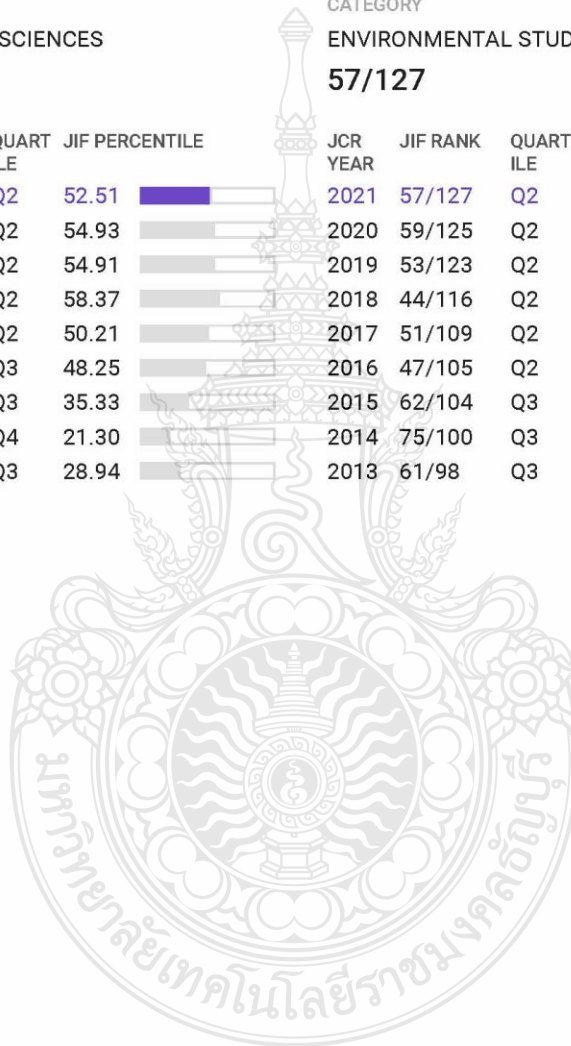
Social Sciences Citation Index (SSCI)

### CATEGORY

ENVIRONMENTAL STUDIES

**57/127**

JCR YEAR	JIF RANK	QUART ILE	JIF PERCENTILE	JCR YEAR	JIF RANK	QUART ILE	JIF PERCENTILE
2021	133/279	Q2	52.51	2021	57/127	Q2	55.51
2020	124/274	Q2	54.93	2020	59/125	Q2	53.20
2019	120/265	Q2	54.91	2019	53/123	Q2	57.32
2018	105/251	Q2	58.37	2018	44/116	Q2	62.50
2017	121/242	Q2	50.21	2017	51/109	Q2	53.67
2016	119/229	Q3	48.25	2016	47/105	Q2	55.71
2015	146/225	Q3	35.33	2015	62/104	Q3	40.87
2014	176/223	Q4	21.30	2014	75/100	Q3	25.50
2013	154/216	Q3	28.94	2013	61/98	Q3	38.27



EDITION  
Social Sciences Citation Index (SSCI)

CATEGORY  
GREEN & SUSTAINABLE SCIENCE &  
TECHNOLOGY

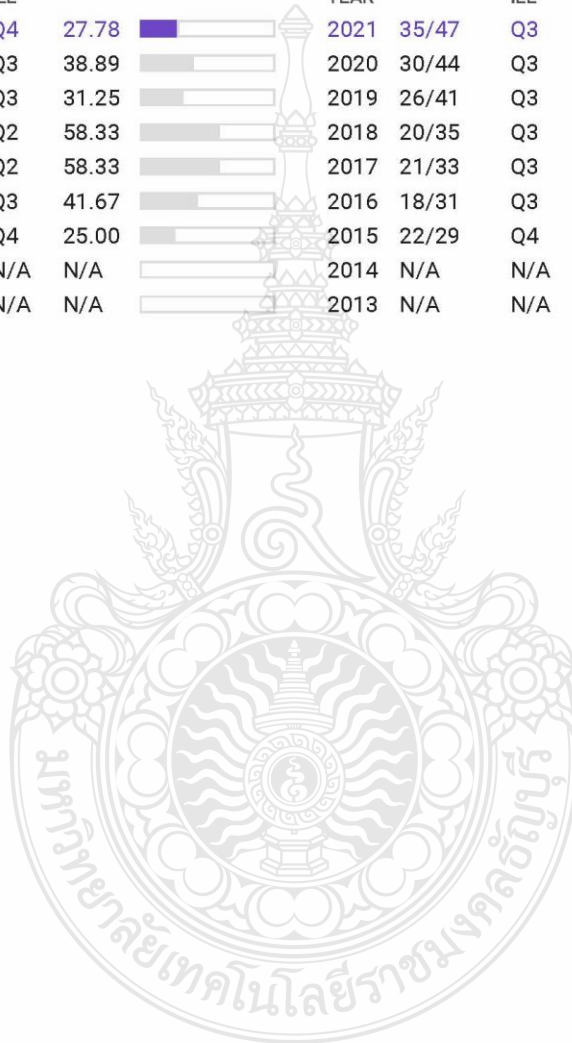
**7/9**

EDITION  
Science Citation Index Expanded (SCIE)

CATEGORY  
GREEN & SUSTAINABLE SCIENCE &  
TECHNOLOGY

**35/47**

JCR YEAR	JIF RANK	QUART ILE	JIF PERCENTILE	JCR YEAR	JIF RANK	QUART ILE	JIF PERCENTILE
2021	7/9	Q4	27.78	2021	35/47	Q3	26.60
2020	6/9	Q3	38.89	2020	30/44	Q3	32.95
2019	6/8	Q3	31.25	2019	26/41	Q3	37.80
2018	3/6	Q2	58.33	2018	20/35	Q3	44.29
2017	3/6	Q2	58.33	2017	21/33	Q3	37.88
2016	4/6	Q3	41.67	2016	18/31	Q3	43.55
2015	5/6	Q4	25.00	2015	22/29	Q4	25.86
2014	N/A	N/A	N/A	2014	N/A	N/A	N/A
2013	N/A	N/A	N/A	2013	N/A	N/A	N/A



## Rank by Journal Citation Indicator (JCI)

Journals within a category are sorted in descending order by Journal Citation Indicator (JCI) resulting in the Category Ranking below. A separate rank is shown for each category in which the journal is listed in JCR. Data for the most recent year is presented at the top of the list, with other years shown in reverse chronological order.

Only journals which have a calculated JCI value are included in the JCI ranking. The total number of journals displayed in this ranking may be less than the category overall.

### CATEGORY

#### ENVIRONMENTAL SCIENCES

**157/324**

JCR YEAR	JCI RANK	QUART ILE	JCI PERCENTILE
2021	157/324	Q2	51.70
2020	163/306	Q3	46.90
2019	156/302	Q3	48.51
2018	135/297	Q2	54.71
2017	135/286	Q2	52.97

### CATEGORY

#### ENVIRONMENTAL STUDIES

**97/169**

JCR YEAR	JCI RANK	QUART ILE	JCI PERCENTILE
2021	97/169	Q3	42.90
2020	111/156	Q3	29.17
2019	103/156	Q3	34.29
2018	94/153	Q3	38.89
2017	86/149	Q3	42.62

### CATEGORY

#### GREEN & SUSTAINABLE SCIENCE & TECHNOLOGY

**40/74**

JCR YEAR	JCI RANK	QUART ILE	JCI PERCENTILE
2021	40/74	Q3	46.62
2020	38/66	Q3	43.18
2019	37/65	Q3	43.85
2018	27/63	Q2	57.94
2017	29/60	Q2	52.50

# Citation network

## Cited Half-life

2.4 years

The Cited Half-Life is the median age of the items in this journal that were cited in the JCR year. Half of a journal's cited items were published more recently than the cited half-life.

TOTAL NUMBER OF CITES

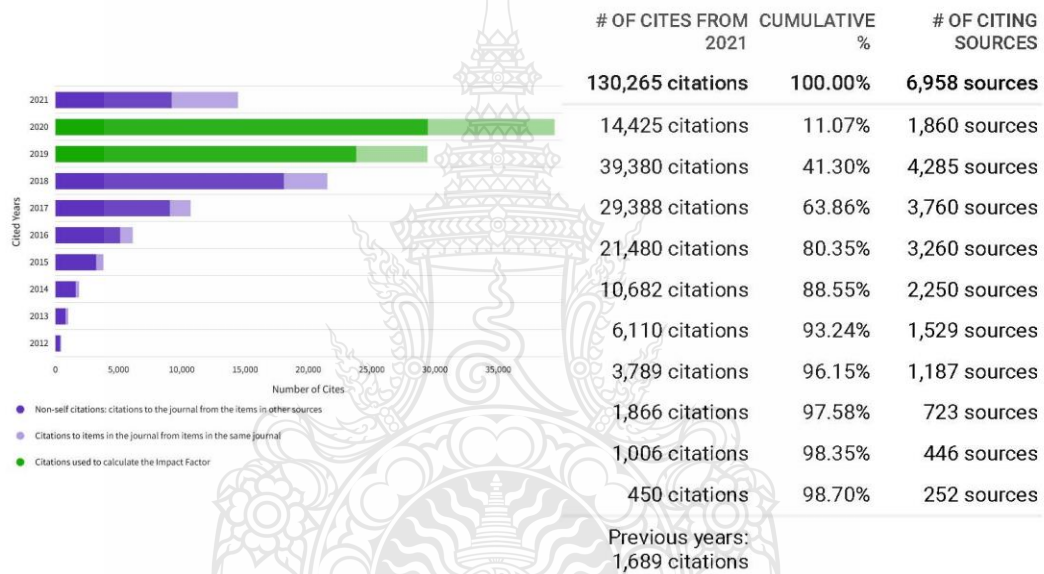
130,265

NON-SELF CITATIONS

102,116

SELF CITATIONS

28,149





## Citing titles in all years

### Sustainability

	SOURCE NAME	COUNT
	All Others	2,353
1	Sustainability	28,149
2	Energies	3,523
3	Journal of Cleaner Production	3,498
4	International Journal of Environmental Research and Public Health	2,697
5	ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH	1,821
6	Land	1,661
7	Applied Sciences-Basel	1,622
8	SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT	1,212
9	Water	1,024
10	Frontiers in Psychology	908
11	JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT	886
12	Sustainable Production and Consumption	838
13	PLoS One	803
14	Sustainable Cities and Society	791
15	ENVIRONMENT DEVELOPMENT AND SUSTAINABILITY	767
16	Agronomy-Basel	752
17	Remote Sensing	730
18	IEEE Access	715
19	Agriculture-Basel	641
20	Mathematics	567

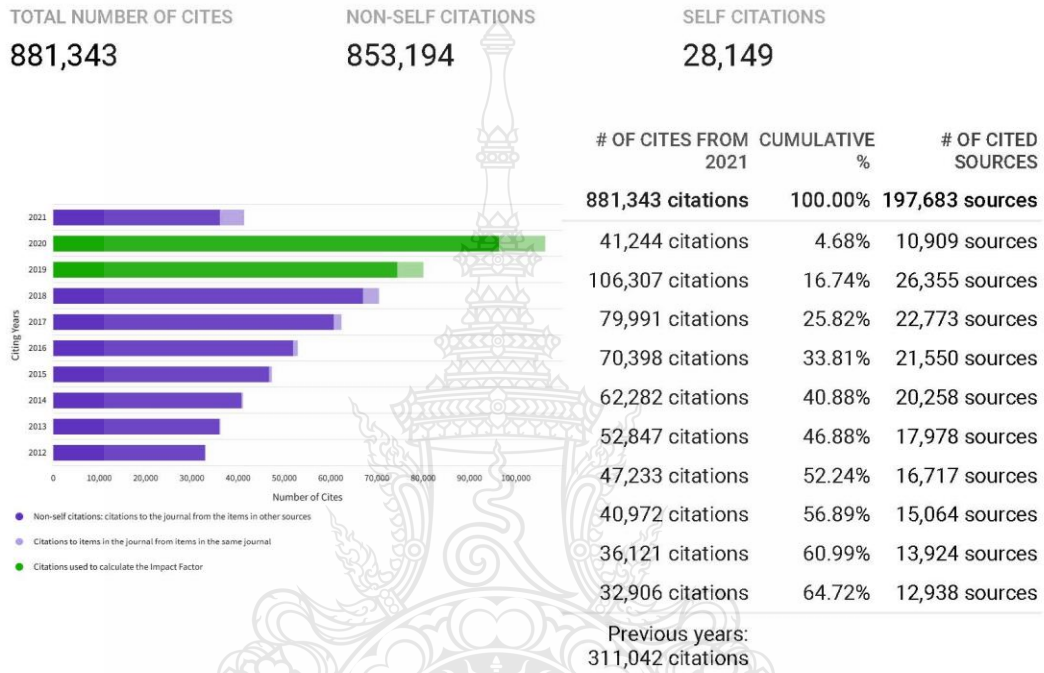
Showing 1 - 20 rows of 4605 total (use export in the relevant section to download the full table)



# Citing Half-life

## 6.6 years

The Citing Half-Life is the median age of items in other publications cited by this journal in the JCR year.



## Cited titles in all years

### Sustainability

	SOURCE NAME	COUNT
	All Others	154,699
1	Sustainability	28,149
2	Journal of Cleaner Production	15,672
3	SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT	5,314
4	RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS	4,538
5	ENERGY POLICY	3,347
6	JOURNAL OF BUSINESS ETHICS	3,261
7	TOURISM MANAGEMENT	3,210
8	International Journal of Environmental Research and Public Health	2,997
9	JOURNAL OF BUSINESS RESEARCH	2,910
10	RESOURCES CONSERVATION AND RECYCLING	2,748
11	PLoS One	2,733
12	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS	2,701
13	ENERGY AND BUILDINGS	2,694
14	Energies	2,684
15	ECOLOGICAL ECONOMICS	2,656
16	APPLIED ENERGY	2,637
17	JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT	2,628
18	ENERGY	2,427
19	BUILDING AND ENVIRONMENT	2,247
20	SCIENCE	2,111

Showing 1 - 20 rows of 42984 total (use export in the relevant section to download the full table)

# Content metrics

## Source data

This tile shows the breakdown of document types published by the journal. Citable Items are Articles and Reviews. For the purposes of calculating JIF, a JCR year considers the publications of that journal in the two prior years.

### 13,769 total citable items

	ARTICLES	REVIEWS	COMBINED (C)	OTHER DOCUMENT TYPES (O)	PERCENTAGE
NUMBER IN JCR YEAR 2021 (A)	12,714	1,055	13,769	137	99%
NUMBER OF REFERENCES (B)	768,268	110,654	878,922	2,421	100%
RATIO (B/A)	60.4	104.9	63.8	17.7	

## Average JIF Percentile

The Average Journal Impact Factor Percentile takes the sum of the JIF Percentile rank for each category under consideration, then calculates the average of those values.

<b>ALL CATEGORIES AVERAGE</b> <b>40.60</b>	EDITION	EDITION
	Science Citation Index Expanded	Social Sciences Citation Index
	ENVIRONMENTAL SCIENCES	GREEN & SUSTAINABLE SCIENCE & TECHNOLOGY
	<b>52.51</b>	<b>27.78</b>
GREEN & SUSTAINABLE SCIENCE & TECHNOLOGY	ENVIRONMENTAL STUDIES	
<b>26.60</b>	<b>55.51</b>	

## Contributions by Organizations

Organizations that have contributed the most papers to the journal in the most recent three-year period.

RANK	ORGANIZATION	COUNT
1	CHINESE ACADEMY OF SCIENCES	803
2	LEAGUE OF EUROPEAN RESEARCH UNIVERSITIES - LERU	763
3	EGYPTIAN KNOWLEDGE BANK (EKB)	359
4	UNIVERSITY OF GRANADA	224
5	TONGJI UNIVERSITY	218
6	UNIVERSITY OF SEVILLA	209
7	KING SAUD UNIVERSITY	203
-	SEJONG UNIVERSITY	203

Showing 1 - 8 rows of 13372 total (use export in the relevant section to download the full table)

## Contributions by country/region

Countries or Regions that have contributed the most papers to the journal in the most recent three-year period.

RANK	COUNTRY/REGION	COUNT
1	CHINA MAINLAND	7639
2	Spain	3553
3	USA	2804
4	South Korea	2725
5	Italy	2551
6	GERMANY (FED REP GER)	1505
7	Poland	1487
8	England	1448

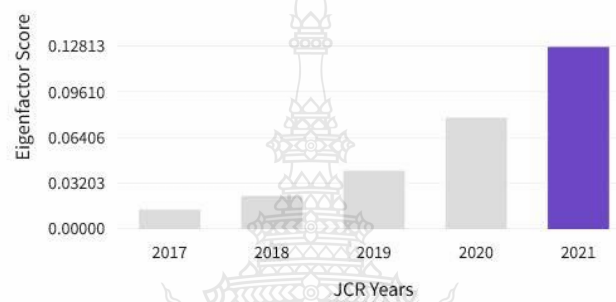
Showing 1 - 8 rows of 177 total (use export in the relevant section to download the full table)

# Additional metrics

## Eigenfactor score

**0.12813**

The Eigenfactor Score is a reflection of the density of the network of citations around the journal using 5 years of cited content as cited by the Current Year. It considers both the number of citations and the source of those citations, so that highly cited sources will influence the network more than less cited sources. The Eigenfactor calculation does not include journal self-citations.



## Normalized Eigenfactor

**27.38214**

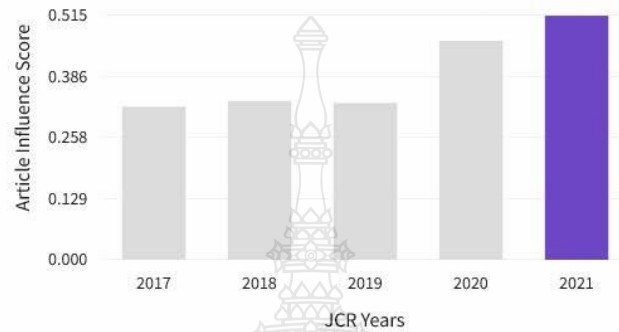
The Normalized Eigenfactor Score is the Eigenfactor score normalized, by rescaling the total number of journals in the JCR each year, so that the average journal has a score of 1. Journals can then be compared and influence measured by their score relative to 1.



## Article influence score

**0.515**

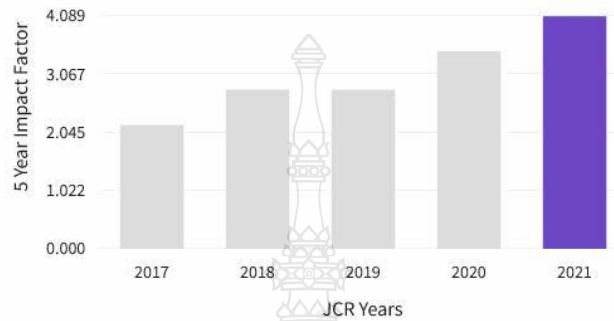
The Article Influence Score normalizes the Eigenfactor Score according to the cumulative size of the cited journal across the prior five years. The mean Article Influence Score for each article is 1.00. A score greater than 1.00 indicates that each article in the journal has above-average influence.



## 5 year Impact Factor

**4.089**

The 5-year Impact Factor is the average number of times articles from the journal published in the past five years have been cited in the JCR year. It is calculated by dividing the number of citations in the JCR year by the total number of articles published in the five previous years.



5 year Impact Factor calculation

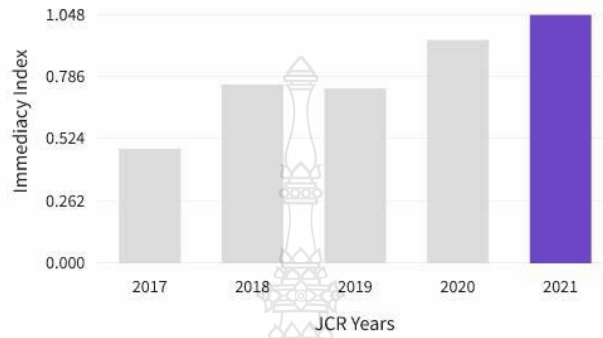
Citations in 2021 to items published in [2016-2020] (107,040)	=	107,040	=	4.089
Number of citable items in [2016-2020] (26,176)		26,176		



## Immediacy Index

**1.048**

The Immediacy Index is the count of citations in the current year to the journal that reference content in this same year. Journals that have a consistently high Immediacy Index attract citations rapidly.



Immediacy Index calculation

Cites in 2021 to items published in 2021	14,425	$14,425 / 13,769 = 1.048$
Number of items published in 2021	13,769	

Author Search - Web of Science | Web of Science Master Journal L | Vertical Transportation System P | +

mjl.clarivate.com/search-results

Welcome, Boonyang Plangklang

Master Journal List Search Journals Match Manuscript Downloads Help Center

Settings Log Out

Already have a manuscript? Use our Manuscript Matcher to find the best relevant journals. Find a Match

Refine Your Search Results

Sustainability Search Sort By: Relevancy

Search Results Found 156 results (Page 1) Share These Results

Filters Clear All

Web of Science Coverage Open Access Category Country / Region

Exact Match Found

SUSTAINABILITY

Publisher: MDPI, ST ALBAN-ANLAGE 66, BASEL, SWITZERLAND, CH-4052  
 ISSN / eISSN: 2071-1050  
 Web of Science Core Collection: Science Citation Index Expanded | Social Sciences Citation Index  
 Additional Web of Science Indexes: Current Contents Agriculture, Biology & Environmental Sciences | Current Contents Sciences | Essential Science Indicators

webofscience.com/wos/author/record/304618

Web of Science Core Collection metrics

7 H-index	38 Publications in Web of Science
167 Sum of Times Cited	0 Citing Articles

View citation report

Author Position

This is a premium feature. Learn more about how to access all of Web of Science.

Co-authors

Vertical Transportation System Power Usage: Behavioural Case Study of Regulated Buildings in Bangkok  
 Marsong, Supapradit; Kongjeon, Vittana; Plangklang, Boonyang  
 Published Oct 2022 | Sustainability

0 Times Cited

An Alternative Low-Cost Embedded NILM System for Household Energy Conservation with a Low Sampling Rate  
 Biansoongnem, Somchai and Plangklang, Boonyang  
 Published Nov 2022 | Sustainability

1 Times Cited

Improving Energy Management through Demand Response Programs for Low-Rise University Buildings  
 Noppakant, Akeratana and Plangklang, Boonyang  
 Published Nov 2022 | Sustainability

0 Times Cited

webofscience.com/wos/author/record/304618

MEMU

Include publications not indexed in Core Collection (0)

Date: newest first

Improving Energy Management through Demand Response Programs for Low-Rise University Buildings  
Noppakant, Akeratana and Plangklang, Boonyang  
Published Nov 2022 | Sustainability

Vertical Transportation System Power Usage: Behavioural Case Study of Regulated Buildings in Bangkok  
Marsong, Supapradit; Kongjeen, Nutana; Plangklang, Boonyang  
Published Oct 2022 | Sustainability

An Alternative Low-Cost Embedded NILM System for Household Energy Conservation with a Low Sampling Rate  
Biansonghem, Somchai and Plangklang, Boonyang

**SUSTAINABILITY**

JCR Category	Category Quartile
ENVIRONMENTAL SCIENCES <i>in SCIE edition</i>	Q2
ENVIRONMENTAL STUDIES <i>in SSCI edition</i>	Q2
GREEN & SUSTAINABLE SCIENCE & TECHNOLOGY <i>in SCIE edition</i>	Q3
GREEN & SUSTAINABLE SCIENCE & TECHNOLOGY <i>in SSCI edition</i>	Q4

Source: Journal Citation Reports Learn more

If you have access to Journal Citation Reports™ through your institution's subscription, you can view the latest Journal Impact Factor™ and additional metrics to better understand a journal's content and audience.

Journal Citation Indicator™

14:12 14/2/2566

Clarivate Web of Science®

Author Profile: Vertical Transportation System Power Usage: Behavioural Case Study of Regulated Buildings in Bangkok

Vertical Transportation System Power Usage: Behavioural Case Study of Regulated Buildings in Bangkok  
By: Marsong, Supapradit; Marsong, Supapradit; Kongjeen, Nutana; Plangklang, Boonyang; Plangklang, Boonyang  
View Web of Science ResearcherID and ORCID

**SUSTAINABILITY**

Volume: 14 Issue: 20  
Article Number: 11287  
DOI: 10.3390/su142011287  
Published: OCT 2022  
Indexed: 2022-11-09  
Document Type: Article

**Abstract**  
Sustainable urban development requires a significant portion of being green buildings and infrastructure which leads to the possibility of increased energy consumption. The focus of the energy consumption of transportation systems is needed to study and analyze the power usage of lift. Sustainability of a building is defined as the ability of the building to provide a good environment for its occupants and to conserve the energy resources of the building. Therefore, this study aims to investigate the potential of the green building design to reduce the energy consumption of the building. The study conducted a case study of regulated buildings in Bangkok. The vertical transportation system power usage was investigated by the comparison of power consumption of different building types. The results showed that the power usage of the building is significantly different between energy conservation and non-energy conservation buildings. The results also showed that the power usage of the building is significantly different between energy conservation and non-energy conservation buildings. The results also showed that the power usage of the building is significantly different between energy conservation and non-energy conservation buildings.

**Keywords**  
Author Keywords: Building energy consumption; Power building; Vertical transportation  
Keywords Plus: Energy consumption; Power building; Vertical transportation; Power building; Vertical transportation; Power building; Vertical transportation

**Categories/Classification**  
Research Areas: Science & Technology - Other Topics: Transportation Systems & Safety  
Citation Topics: Electrical Engineering, Electronics & Computer Science; Energy Systems & Energy Conversion; Transportation Systems & Safety

**Document Information**  
Language: English  
Accession Number: WOS:000939350000001

**SUSTAINABILITY**

PublisherName: MDPI

JCR Category	Category Quartile
ENVIRONMENTAL SCIENCES <i>in SCIE edition</i>	Q2
ENVIRONMENTAL STUDIES <i>in SSCI edition</i>	Q2
GREEN & SUSTAINABLE SCIENCE & TECHNOLOGY <i>in SCIE edition</i>	Q3
GREEN & SUSTAINABLE SCIENCE & TECHNOLOGY <i>in SSCI edition</i>	Q4

Source: Journal Citation Reports Learn more

If you have access to Journal Citation Reports™ through your institution's subscription, you can view the latest Journal Impact Factor™ and additional metrics to better understand a journal's content and audience.

**Journal Citation Indicator™**

2021	2020
0.65	0.56

**JCI Category**      **Category Rank**      **Category Quartile**

The Journal Citation Indicator is a measure of the average Category Normalized Citation Impact (CNCI) of citation news articles received published by a journal over a recent three year period. It is used to help you evaluate journals based on other metrics besides the Journal Impact Factor (JIF). Learn more

You would like to improve the quality of the data of this record, please suggest a correction

Author Search - Web of Science | Web of Science Master Journal L | Vertical Transportation System P | +

mjl.clarivate.com/search-results

Welcome, Boonyang Plangkang

Master Journal List Search Journals Match Manuscript Downloads Help Center

Settings Log Out

Already have a manuscript? Use our Manuscript Matcher to find the best relevant journals! Find a Match

Refine Your Search Results

Sustainability Search Sort By: Relevancy

Search Results

Found 196 results (Page 1) Share These Results

Filters Clear All

Web of Science Coverage Open Access Category Country / Region

Exact Match Found

SUSTAINABILITY

Publisher: MDPI, ST ALBAN-ANLAGE 66, BASEL, SWITZERLAND, CH-4052  
 ISSN / eISSN: 2071-1050  
 Web of Science Core Collection: Science Citation Index Expanded | Social Sciences Citation Index  
 Additional Web of Science Indexes: Current Contents Agriculture, Biology & Environmental Sciences | Current Contents Social And Behavioral Sciences | Essential Science Indicators

webofscience.com/wos/author/record/304618

Web of Science Core Collection metrics

7 H-index	38 Publications in Web of Science
167 Sum of Times Cited	0 Citing Articles

View citation report

Author Position

This is a premium feature. Learn more about how to access all of Web of Science.

Co-authors

Include publications not indexed in Core Collection (0)

Date: newest first

All Publications

1 of 1

Improving Energy Management through Demand Response Programs for Low-Rise University Buildings  
 Noppakant, Akeratana and Plangkang, Boonyang  
 Published Nov 2022 | Sustainability  
 0 Times Cited

Vertical Transportation System Power Usage: Behavioural Case Study of Regulated Buildings in Bangkok  
 Marsong, Supapradit ; Kongjeen, Yuttana ; Plangkang, Boonyang  
 Published Oct 2022 | Sustainability  
 0 Times Cited

An Alternative Low-Cost Embedded NILM System for Household Energy Conservation with a Low Sampling Rate  
 Biansoongnern, Somchai and Plangkang, Boonyang  
 1 Times Cited

Author Search - Web of Science | Web of Science Master Journal L | Vertical Transportation System Power Usage: Behavioural Case Study of Regulated Buildings in Bangkok | Boonyang Plangklang - Web of Science

webofscience.com/wos/author/record/304618

Include publications not indexed in Core Collection (0)

Date: newest first

Improving Energy Management through Demand Response Programs for Low-Rise University Buildings  
Noppakant, Akeratana and Plangklang, Boonyang  
Published Nov 2022 | [Sustainability](#)

Vertical Transportation System Power Usage: Behavioural Case Study of Regulated Buildings in Bangkok  
Marsong, Supapradit ; Kongjeen, Yuttana ; Plangklang, Boonyang  
Published Oct 2022 | [Sustainability](#)

An Alternative Low-Cost Embedded NILM System for Household Energy Conservation with a Low Sampling Rate  
Biansoongnern, Somchai and Plangklang, Boonyang

**SUSTAINABILITY**  
PublisherName: MDPI

JCR Category	Category Quartile
ENVIRONMENTAL SCIENCES <i>in SCIE edition</i>	Q2
ENVIRONMENTAL STUDIES <i>in SSCI edition</i>	Q2
GREEN & SUSTAINABLE SCIENCE & TECHNOLOGY <i>in SCIE edition</i>	Q3
GREEN & SUSTAINABLE SCIENCE & TECHNOLOGY <i>in SSCI edition</i>	Q4

Source: Journal Citation Reports [Learn more](#)

If you have access to Journal Citation Reports™ through your institution's subscription, you can view the latest Journal Impact Factor™ and additional metrics to better understand a journal's content and audience.

Journal Citation Indicator™

-4°C  
14:02  
14/2/2566



an Open Access Journal by MDPI




# CERTIFICATE OF PUBLICATION

Certificate of publication for the article titled:  
Vertical Transportation System Power Usage: Behavioural Case Study of Regulated Buildings in Bangkok

Authored by:  
Supapradit Marsong; Yuttana Kongjeen; Boonyang Plangklang

Published in:  
*Sustainability* 2022, Volume 14, Issue 20, 13267



Academic Open Access Publishing  
since 1996

Basel, November 2022



Article

---

# Vertical Transportation System Power Usage: Behavioural Case Study of Regulated Buildings in Bangkok

---




Supapradit Marsong, Yuttana Kongjeen and Boonyang Plangklang



<https://doi.org/10.3390/su142013267>

Article

# Vertical Transportation System Power Usage: Behavioural Case Study of Regulated Buildings in Bangkok

Supapradit Marsong <sup>1</sup>, Yuttana Kongjeen <sup>2</sup> and Boonyang Plangklang <sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12110, Thailand

<sup>2</sup> Intelligent Power System and Energy Research (IAPER), Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

\* Correspondence: boonyang.p@en.rmutt.ac.th; Tel.: +66-86-899-2996

**Abstract:** Sustainable urban development worldwide is crucial for the development of living spaces in high-rise buildings and infrastructures, which leads to the inevitability of increased energy consumption and demand of vertical transportation systems. The evaluation of the energy consumption of transportation systems is needed to verify and analyse the power usage related to traffic demands and patterns. In addition, efficient vertical transportation systems are central to the formulation of more sustainable cities. Therefore, this trend represents a substantial portion of the overall energy consumption of the building types. The benchmarking of the energy needs of the vertical transportation systems in five different building types via the comparison of granular load profile patterns (in conjunction with population densities) to the energy consumed was conducted, and it will be used to infer some impactful design strategies for the future. This study demonstrated a systematic approach to determine the power usage patterns in vertical transportation systems by actual measurement and traffic data collection from elevator monitoring. This may be used to develop a prediction for other cases in different types of installed vertical transportation systems. Therefore, the power usage of the vertical transportation systems can be used to determine the correlation between energy consumption and load pattern based on building characteristics and the overall energy consumption of each presented system.

**Keywords:** building type; elevator; energy consumption; traffic pattern; vertical transportation



**Citation:** Marsong, S.; Kongjeen, Y.; Plangklang, B. Vertical Transportation System Power Usage: Behavioural Case Study of Regulated Buildings in Bangkok. *Sustainability* **2022**, *14*, 13267. <https://doi.org/10.3390/su142013267>

**Academic Editors:** Antonio Messineo and Chi-Ming Lai

Received: 7 September 2022  
Accepted: 9 October 2022  
Published: 15 October 2022

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

The electric elevator is an essential piece of equipment for transporting or moving people and goods to specific destinations in most of the world's tall buildings. Not only are elevators utilized in skyscrapers to service the building, but they are also used in buildings with a small number of floors. Therefore, it is necessary to make use of the advantages of elevators; for example, as a necessity to assist people with disabilities. The energy use of public buildings accounts for a large proportion of the total building energy consumption. Building energy conservation is critical for Thailand's energy conservation and reduction efforts. Therefore, considering energy conservation efforts in the construction sector, it is essential to perform energy audits of public buildings, evaluate their energy usage, and determine the key influencing elements. In the literature, several approaches using linear regression have recently been applied to hotel buildings for energy data benchmarking. However, the energy prediction was conducted based on a pre-defined methodology and up-to-date data, in order to reveal significant progress in the power generation sector [1]. Meanwhile, the residential sector's energy consumption proportion across all sectors (i.e., commercial, residential, transportation, and industrial) increased from 14.2% in 1990 to 18.1% in 2007, as described in [2]. This indicates that apartment buildings, as a section of the private housing market, were becoming less energy efficient while the economy grew



and the living standards improved; namely, people have come to prefer to consume more energy to have a more comfortable existence. However, behaviour changes in residents may not be an effective strategy for reducing energy consumption. Research work on the building sector in China found that it consumed 25% of the country's total energy; in particular, public buildings consume more power than other types of buildings. For example, the energy consumption per square meter of non-residential buildings in China was three times that of residential buildings [3]. Other alternative methodologies, using the Lorenz curve and the Gini coefficient, have been implemented to investigate the energy consumption of office buildings in various cities in China [4]. This method serves as an alternative to the traditional procedure for differentiating human behaviour and building performance patterns. However, building energy efficiency has long been seen as a critical part of energy conservation. In-depth energy analysis for buildings can be conducted using various methods, such as the logarithmic mean Divisia index (LMDI) decomposition approach and the Hybrid LMDI for energy consumption and intensity. The additive decomposition approach is suitable when considering a quantity indicator [5,6]. Meanwhile, the passenger behaviour algorithm has been utilized for thermal simulation, the results of which were interesting and helped to justify the occupancy profile. However, there is still no relevant information regarding elevator systems [7]. The relationship between occupancy rate and energy usage intensity is difficult to identify. Understanding occupant behaviour creates new opportunities to influence the evolution of building technology, leading to increased energy efficiency and occupant comfort [8]. The high energy consumption and low energy efficiency pattern is prevalent in public buildings, implying that public buildings have significant energy-saving potential [9]. The function of a building type directly impacts the energy consumption per unit area [10]. Similar work has also been described in [11], comparing three types of public buildings. It was found that superstores consumed the most energy—more than double that of hotels and approximately five times that of government office buildings. Energy management and energy awareness programs promoting energy efficiency are expected to help increase hotel profits [12]. The use of the analytic hierarchy process and multi-perspective approach have been proposed for the evaluation and assessment of emerging renewable energy [13]. In the case of hotels, the energy consumption patterns of the building tend to differ from those of other building types [14]. The energy usage characteristics of hotel buildings have been studied, revealing that the electricity accounted for 75% of the total energy consumption. In the case of hospitals and schools, the average values of energy consumption and carbon emissions per unit area for different building types, such as offices, hospitals, and schools, have been determined [15]. Therefore, a vast number of studies have been conducted in order to reduce the gap between the predicted and actual energy consumption in buildings; however, there remains some doubt [16]. From the literature, it is apparent that the energy consumption of hospitals is significantly higher than that of government offices and schools. However, these impact assessments often do not consider vertical transportation and the associated apparatus. Measuring and monitoring energy consumption in buildings becomes essential to understanding the actual energy consumption, thus providing designers and building operators feedback to promote building energy efficiency [17]. This technique, however, requires significant time for data collection. Through measurement and calculation, the energy consumption of elevators based on the hybrid approach has been presented for low- and high-rise buildings [18,19]. This method collects information from the management office based on daily energy use, from which the elevator's energy efficiency classification can be established. The results indicate that the low-rise building had better energy efficiency than the high-rise building. Nevertheless, the classification method was modified to VDI4707 in order to measure the elevator's energy efficiency, which can provide a suggestion to improve the energy consumption of the building, as described in [20]. Several methods for evaluating the comprehensive operations of elevators have been reported in the literature [21,22]. These evaluations are related to data collection through measurement and data analysis. The energy consumption of a conventional drive in an elevator has been

compared to that of a regenerative drive, as described in [23]. Differences between building types and elevator performance assessments lead to distinct performance levels, related to many variables, measurements, and performance evaluations [24,25]. This can possibly be thought of as an alternative route to achieve a potential reduction of the standby energy consumption. In general, standby mode represents 5–95% of the energy consumption. The standby energy can be reduced by 80% if drive technology is implemented [26]. Building energy saving through elevators by adaptive counterweight sizing has been proposed, involving the measurement of daily elevator traffic and load behaviour, through which significant savings can be achieved [27]. Due to the problems of the traction wheel and the wire rope slippage causing excessive wear and tear, the image processing technique has been adapted to detect wire rope slippage, which can enhance safety usage and reduce energy consumption [28]. To establish the energy efficiency rating of an elevator installation with sufficient confidence, the energy performance and operating parameters must be measured under normal service conditions [29]. Interestingly, the occupancy behaviour is inherently complex and stochastic, making it difficult to accurately describe or predict building energy performance [30]. Therefore, this paper's main aim is to analyse traffic behaviour and evaluate the energy consumption of five regulated building types in Thailand: namely office, university, hospital, hotel, and residential.

In summary, the key contributions of this paper are as follows:

This study analyses the elevator load pattern and population density for different types of buildings and determines the correlation between energy consumption and load pattern, based on building characteristics.

The remainder of this paper is organized as follows: Section 2 provides the principle of vertical transport power usage behaviour. The methodology for behavioural analysis of the vertical transport power usage is presented in Section 3. The results and discussion of the aforementioned behavioural analysis are presented in Section 4. Finally, Section 5 presents the conclusions.

## 2. Principle of Vertical Transport Power Usage Behaviour

In a vertical transportation system, symmetry refers to the reflection of a pattern at an angle across a centreline, called an axis. Commercial buildings are used for commercial purposes, and are comprised of various business types, office buildings, stores, industrial buildings, and self-parking garages. Apartments and hotels are considered residential buildings, while schools and hospitals are considered institutional buildings. Commercial buildings have definite transportation requirements, as the arrival and departure of their populations are normally focused within certain periods of the working day. Depending on the operating direction and several other conditions, an elevator can operate in four quadrants, as shown in Figure 1. When the combined weight of the car and its load is less than the counterweight, the load is considered to be light condition. The operating mode of an elevator is based on the load conditions and direction, which has defined by individual quadrant Q1, Q2, Q3 and Q4 represented in Figure 1, (Q4) travelling upward with a heavy load and downward with a light load (Q1) results in the motoring mode; that is, instances in which the motor consumes energy from the power source.

On the other hand, travelling downward with a heavy load (Q3) and ascending with a light load (Q2) results in the motor entering generating mode, thus generating power. In a conventional elevator, the generated power is dissipated as heat by the breaking resistor, resulting in energy loss. It is considered undesirable to conserve this portion of energy and reuse it in subsequent operating cycles, even though this would result in significant energy savings [23]. As represented in Figure 2, the power meter is directly connected to the power supply, which directly connects to the rectifier unit, connecting the DC-link circuit through to the inverter unit and supplying power to the motor. The motor's shaft is directly connected to the driving sheave and the diverter sheave. The driving sheave has a steel wire rope suspended on it, with one end attached to the car and the other end connected to the counterbalance.

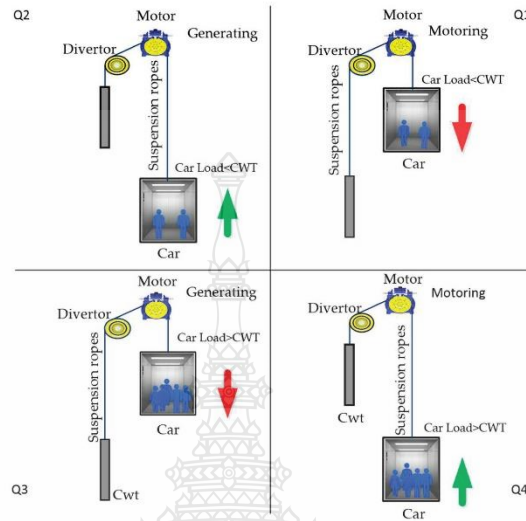


Figure 1. The operating mode of an elevator is based on the load conditions and direction.

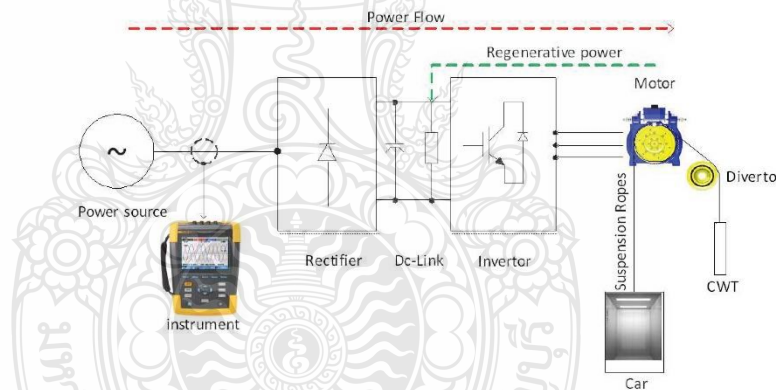


Figure 2. The connection point of the power analysis instrument to the power source.

This section describes our model of calculating the total energy consumption, which is applicable to direct calculation, simulation, or a monitoring system. The total energy consumption is the sum of the running energy,  $E_R$ , and the standby energy,  $E_S$ :

$$E_{tot} = E_R + E_S \tag{1}$$

where  $E$  is the total energy consumption. More detail is provided in Equation (2). The integration of the instantaneous line power,  $P_{line}$ , provides the energy consumed within  $t$ , seconds:

$$w = \int_0^t P_{line} (P_m + P_l + P_c + P_b + P_i) dt \tag{2}$$



where  $P_m$  represents the motor power;  $P_i$  denotes the power losses of the motor;  $P_c$  represents the control system and lighting which consume constant power;  $P_b$  is the constant power of the brake; and  $P_f$  denotes the inverter losses [31]. Generally, the components of losses are positive. Furthermore, the motor power can be positive or negative, depending on the direction of the energy flow. As a result, the line power may be harmful as well, revealing that the system is regenerating.

$$E_{sd} = \left( 24 - \left( \frac{n_d}{3600} \right) + t_{av} \right) (P_{id} R_{id} + P_{st} R_{st}) \quad (3)$$

where  $E_{sd}$  is the daily standby energy consumption, consisting of the two main components representing when energy is consumed and when the elevator is not in use;  $R_{id}$  is the idle time ratio (when consuming,  $P_{id} < 1$ );  $R_{st}$  is the standby time ratio (when consuming,  $R_{st} < 1$ ); and  $t_{av}$  represents time to travel, including door time, for each of the building types. An elevator that is not running can be expressed by Equation (4):

$$t_{av} = \frac{S_{av}}{v} + \frac{v}{a} + \frac{a}{j} + t_d \quad (4)$$

where  $t_{av}$  is the time to travel, including door time, for each of the building types.  $S_{av}$  is the average distance.  $v$  is the rated speed (m/s) and  $j$  is the rated jerk ( $\text{m/s}^2$ ) while  $t_d$  is the running time per day (hours). When operating the motor, the input power needs to be slightly more than the output, due to motor losses:

$$P_{line} = \frac{P_{out}}{\eta} \quad (5)$$

Equation (6) represents that regenerating the motor will return slightly less energy than that generated, due to the motor loss:

$$P_{line} = P_{regen} \times \eta \quad (6)$$

The total efficiency is presented in Equation (7), where  $\eta$  represents the efficiency of the shaft,  $\eta_{shaft}$ , multiplied by the efficiency of the motor,  $\eta_{motor}$ :

$$\eta = \eta_{shaft} \times \eta_{motor} \quad (7)$$

The typical power curve of the hoisting machine, as a function of the full load/full speed up power  $P_{norm}$ , can be presented as Equation (8), where  $Q$  is the rated load (kg),  $V$  is the rated speed (m/s), and  $G_n$  is the acceleration due to gravity (equal to  $9.81 \text{ m/s}^2$ ):

$$P_{norm} = \frac{Q \times V \times G_n}{2 \times \eta \times \eta_{motor} \times 1000} \quad (8)$$

During heavy traffic, the carload and the number of elevators starts are increased, while the travel distances decrease:

$$P_{Flow} = \begin{cases} \text{Carload} \leq \text{CWT}; \text{ Elevator} \in \text{Generator} \wedge \text{Upcontrol} \\ \text{Carload} \geq \text{CWT}; \text{ Elevator} \in \text{Generator} \wedge \text{Downcontrol} \\ \text{Carload} \geq \text{CWT}; \text{ Elevator} \in \text{Motor} \wedge \text{Upcontrol} \\ \text{Carload} \leq \text{CWT}; \text{ Elevator} \in \text{Motor} \wedge \text{Downcontrol} \end{cases} \quad (9)$$

Figure 3 represents the motor's operation from the initial state until constant speed of the elevator is achieved, travelling upward to the destination position that a passenger has assigned. In this initial state, the frequency is increasing. Until the slowdown to stop at the landing, the power consumption in each running period varies with the travelling distance. However, in this process, different motoring values occur, denoted by W1, W2, and W4

in the figure. W5 is not displayed in the diagram, as it describes a condition in which the motor is not active and does not consume power (or only consumes a minimal amount).

At the same time, the motor consumes electrical power. This working condition is called monitoring. The travelling time is shown in the  $t1$  to  $t4$  periods, respectively.  $t_c$  represents the time from which the elevator starts running until it stops at the destination.

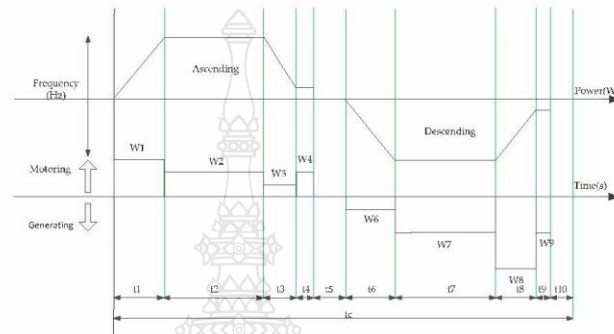


Figure 3. Regenerative power operation.

On the other hand, suppose the carload is greater than the counterbalanced weight when the elevator is travelling downward. In this state, the car moves downward, and the elevator does not use power from the electrical system. The motor is now operating in generator mode, with different values (as indicated by W6–W9). These vary by distance and appear over the period from  $t6$  to  $t9$ , until the elevator stops. This condition is called generating mode.

### 3. Methodology for Behavioural Analysis of the Vertical Transport Power Usage

Onsite measurement methods can be adapted from the standard EN ISO 25745-1:2012 [21], which focuses on electricity consumption measurement procedures. The elevator usage is categorized according to the VDI 4707 standard which has provided five usage categories according to the usage pattern of an investigated elevator, the average travel and idle times, and the investigated object's actual location.

Figure 4 shows the main distribution panel found in a typical setup, as seen in Figure 4a, and the power meter inside the elevator controller cabinet when some space is available for place power analyser, as seen in Figure 4b.

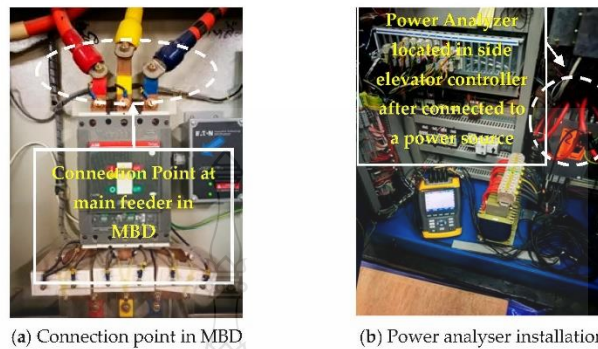


Figure 4. Instrument installation on the common coupling point in control cabinet.

Figure 5a shows a photographic image of a connection point in a distribution panel located in an elevator machine room. This connection is mainly intended for the single-lift unit measurement for the proposed comparison. Inside the distribution panel, the space is limited; therefore, the power analyser as shown in Figure 5b needs to be located outside the distribution cabinet.

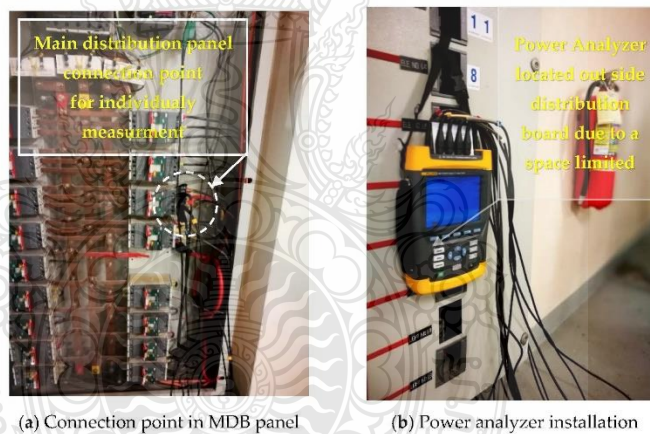


Figure 5. Instrument installation outside the MDB for individual elevator measurement.

Figure 6a shows a photographic image of a geared traction elevator system, powered by induction motors and using a 1:1 roping ratio, installed in one of our sample hospital buildings. Figure 6b represents the hospital resistor used for braking. When the elevator operates in generator mode, the reverse excess energy is eliminated by the braking resistor in the form of heat, resulting in energy loss. In effect, this causes the temperature inside the elevator machine room to have a higher value, which is commonly the case for old buildings (e.g., aged at least twenty years).

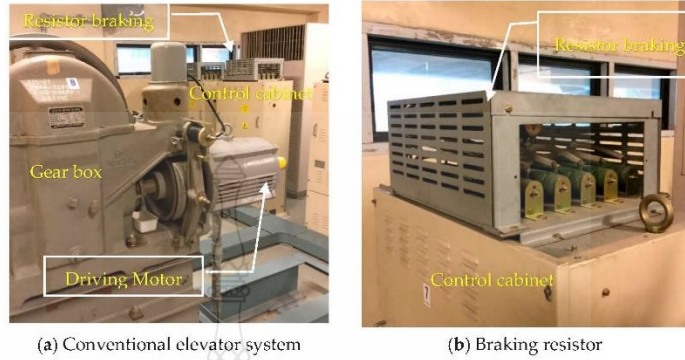


Figure 6. Geared traction elevator system and its braking resistor.

Figure 7 shows the elevator network diagram and the monitoring system. Traffic data and elevator trips information can be extracted from the elevator monitoring system in a spreadsheet format.

Figure 8 represents the workflow diagram of the study process. After a conceptual study, the sampler site needs to be selected to conform with the building type. This system incorporates two important techniques: first, the electrical instrumental measuring technique and second, the curve fitting technique, which will provide most intriguing findings and equations for further analysis.

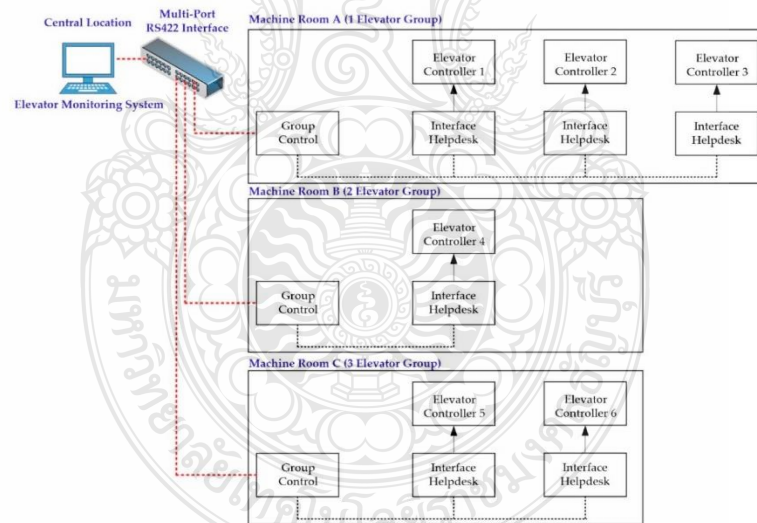


Figure 7. Elevator network diagram and monitoring system.



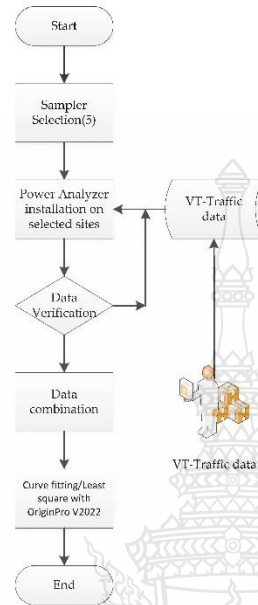


Figure 8. Study workflow diagram.

#### 4. Results and Discussion

This section aims to outline the actual measurement results and the elevator information data. The resources of measurement data were taken for each building type from the elevator monitoring system and the traffic monitoring tool, as shown in Figure 7. The building database was extracted to numbers formatted and categorized to the following types: incoming, outgoing, and inter-floor. Traveling trip information, including directional and passenger loads, were arranged for curve fitting and further analysis. In this study, the occupancy rates were assumed based on the basic building design. The energy consumption is relatively proportional to the number of people using the elevators in each type of building. In accordance with ISO 25745-2:2015, the elevator usage was categorized based on the number of elevator trips. Therefore, the main achievements, including the contributions, are summarized as shown in Table 1.

Table 1. Population density and building characteristics.

Type	Office	University	Hotel	Hospital	Residential
Usage category	6	5	5	6	4
No. of trips per day (trip)	2000	1500	1000	2500	900
GFA (m <sup>2</sup> )	80,000	50,000	28,000	70,262	40,050
Population Density	10 m <sup>2</sup> /person	18 m <sup>2</sup> /person	23 m <sup>2</sup> /person	21 m <sup>2</sup> /person	45 m <sup>2</sup> /room
Occupancy Rate	85%	95%	64%	83%	75%

Table 1 shows the number of trips per day for each type of building as a building characteristic. Meanwhile, for the buildings where elevator monitoring is not available,

the elevator usage reports need to be download by the proprietary tool from each elevator company. Important components of the study are data collection and analysis together with the data integration technique. However, the impact of population density and building characteristics are related to data variation in the actual measurement system.

Figure 9 shows an office traffic pattern based on the results, and we make the following observations. Data for the office are denoted by solid yellow, purple, and green areas in the figure. The presence of two intense peaks in the plots corresponds to typical office passenger behaviour: the first peak (at approximately 08:00) represents incoming passengers, while the following peaks in the plot correspond to the lunch (at approximately 12:00 and 13:00) and evening (at approximately 17:00) peaks. Typically, an office building can be defined as single-tenant or multi-tenant, which will have an impact on the internal traffic of the building. Regarding passenger traffic in the building, we defined traffic flows as follows: outgoing, inter-floor, and incoming. Incoming traffic usually comprises 75–80% of the total population, while outgoing traffic comprises approximately 20%; the remaining proportion will be inter-floor traffic. In the case of offices, as single-tenant building will have more inter-floor traffic, due to the co-ordination between departments or the travelling between floors. During the lunch peak, the number of passengers increases, as they go out for lunch in the same direction, and in the evening, passengers begin to use elevators to exit the building, thus increasing the frequency from 17:00 to 18:00, which is typical behaviour for an office building.

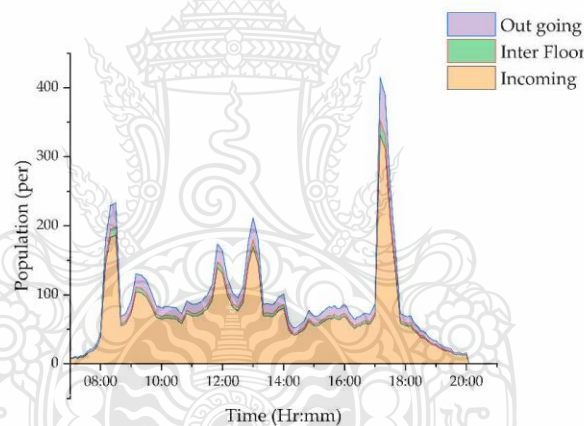


Figure 9. Office traffic pattern throughout the day.

Figure 10 shows that the university buildings are classified as institutional buildings. For example, a university campus may consist of office buildings, residence halls, catering facilities, and factory-like units for housing, teaching, and research equipment. In addition, certain buildings serve multiple functions, including lecture halls, laboratories, and offices. In particular, when universities are located in city centres, many have tall buildings (10–20 stories). Before and after each 50-min lecture, tutorial, or seminar session, there may be hourly cycles of 10 min of demand. These peaks can range between 15% and 25% with a 30–50 s interval. It is improbable that an economically feasible solution may be found to meet such high peak requirements, although extensive stair use is probable. The activity levels are low between the peaks. Office-type structures can be treated the same way as described above. In addition, low-rise research buildings may be required to comply with special movement requirements associated with the system components. Elevators are critical for guest and service staff circulation within a hotel. Escalators should be used for short-distance transfers, such as connecting function levels to the lobby. The average occupancy rate of a hotel varies according to its type. For example, it may

be reasonable to assume a ratio of 1 person in business hotels, 1.5 people in transit hotels, and 2 people in vacation hotels. Hotel traffic patterns are complicated, compared to the morning and afternoon peaks in an office building, wherein check-out (08:00–11:00) and check-in (15:00–19:00) are busy periods. The high volume of two-way traffic is explained by guests travelling to and from their rooms and restaurants, among other places, either inside or outside the hotel. The arrival rate is dependent on the hotel's star rating. We assume a 10% (1-star) to 15% (5-star) arrival rate and a 30 to 50 s interval (5- and 1-star, respectively). Calculations are made based on the assumption that there are an equal number of upward and downward stops in these cases. At most times, it is unlikely that the elevator car will be loaded at more than 50% of its capacity. However, hotel elevators should have a capacity of at least 1600 kg, in order to accommodate luggage and provide guests with an uncrowded and comfortable travel experience. This rule should be applied cautiously, as it may not apply to a low-rise hotel with 30% of its rooms on the ground level.

Figure 11 shows the relative arrival rates for hotels. There are two traffic peaks in the evening, when people check in and have dinner. The widths and the heights of the peaks and the proportions of incoming, inter-floor, and outgoing components may vary according to the building layout and the culture. The inter-floor traffic is between typical floors, including gyms, restaurants, and business centres. In the measured hotels, the maximum arrival rate was 9.5% of the population in five minutes; however, this may be inappropriate for a small-footprint high-rise hotel. Additionally, there are distinct operational requirements between transit hotels near airports or other locations where guests tend to stay for a single night as well as hotels used by longer-term and vacation guests. The structure's layout is crucial; for example, whether it has a small footprint but is tall, or a vast footprint but is low. The vertical transportation system uses elevators as the main element for transportation in the building. Their effective operation is even more critical when dealing with hospitality situations. Although many city hospitals feature high-rise aspects, most hospitals in the provinces are developed on a low-rise premise, being less than 21 m in height. In addition, elevators in low-rise hospitals are primarily supplied to assist staff and visitors in moving bed-bound patients and performing service activities from floor to floor.

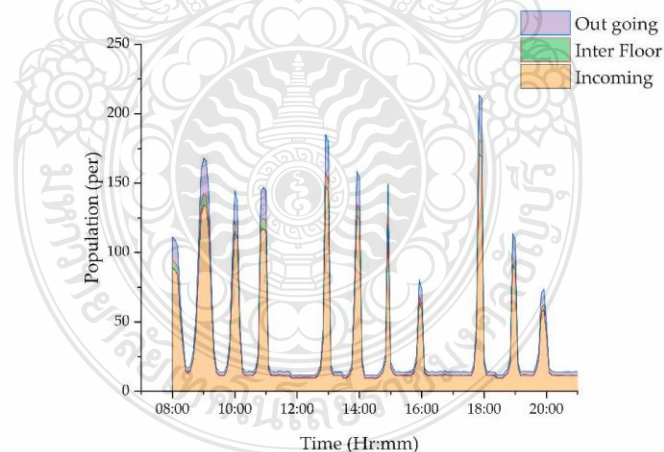


Figure 10. University traffic pattern throughout the day.

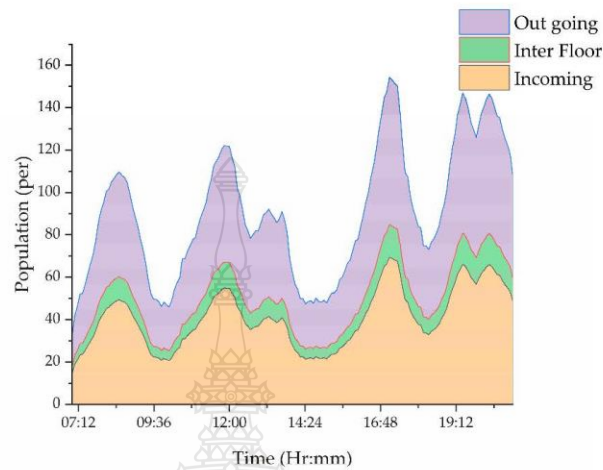


Figure 11. Hotel traffic pattern throughout the day.

Figure 12 shows the hospital traffic pattern. When considering hospitals, the following factors are important: the number of staff and their shift patterns; the number of visitors and their hours of visitation; the location of theatres, X-ray departments, and other facilities; the distribution and delivery of food, beverages, and housekeeping supplies; waste disposal; patient emergency evacuation; and porters. To enhance infection control, it may be required to segregate patient bed elevators from visitor and staff elevators. The demand can be estimated by multiplying the number of beds by three, in order to account for staff, guests, and other factors. For example, in the case of hospital-type buildings, a reasonably large volume of travel between floors can be observed (as represented by the purple area), which is greater than the population leaving the building due to the transport of people between the floors and the contact between departments, similar to the case of a single-tenant office building. The incoming passengers are patients, visitors, and nurses travelling between departments. We can observe considerable variability throughout the period from the start of the service around 08:00 until 2:00 p.m., which is the time at which patient visits cease. A reasonable arrival rate is 8–10% with a 30–50 s delay; these numbers can be used to forecast future demand.



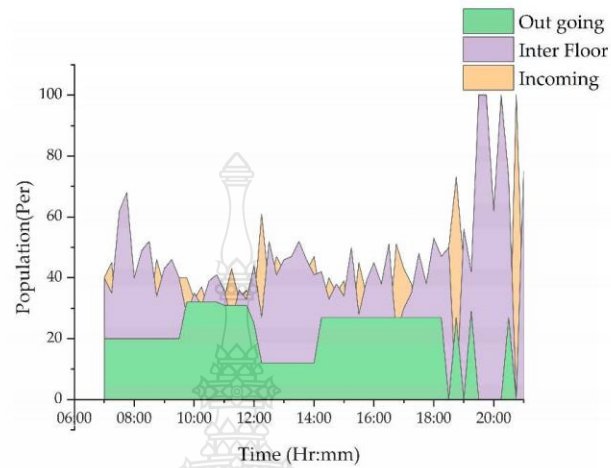


Figure 12. Hospital traffic pattern throughout the day.

Figure 13 shows the residential pattern. The elevators can have rated loads ranging from 630 to 1000 kg. With a normal journey time of 30 s, the rated speed may be lower than that in hotels. The assessment of the residential population is based on the number of bedrooms and is heavily influenced by culture. For the first bedroom, Barney has recommended 1.5–2 people and, for subsequent bedrooms, 0–5 people [32]. When the configuration and use of the residential floor are unknown, Strakosch has recommended either 1.5–2 persons per bedroom or 20 m<sup>2</sup> net area per person [33]. Both residential and hotel building types are mostly characterized by two-way traffic, but hotel traffic is more intense. The highest traffic peak for the residential building was 5.7% in five minutes. In residential buildings, there is a morning downtime, and night-time incoming traffic is slightly more common, while daytime inter-floor traffic is negligible. The individual building measurements were combined into average and worst-case profiles for planning purposes. The average of all arrival rates was determined for the average profile and, for the worst-case profile, the highest arrival rate among the four measurements for each period was chosen.

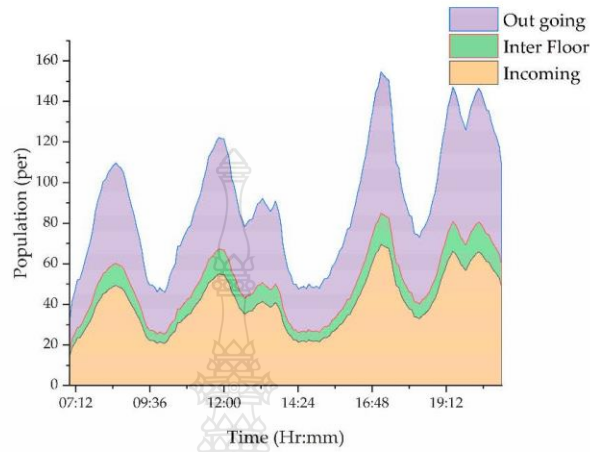
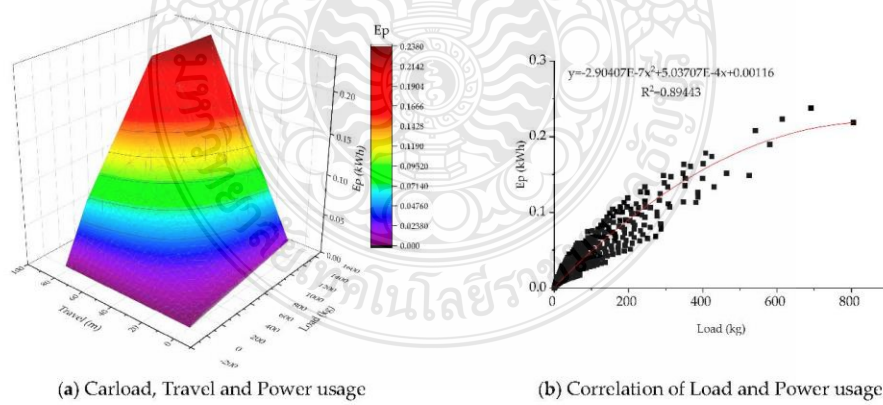


Figure 13. Residential Traffic pattern.

Figure 14a shows the relationship between the elevator’s travel distance versus the carload and energy consumption in the office building, indicating a significant amount of energy consumption. With increasing carloads and travel distances, two intense peaks appear in the plots, corresponding to higher power consumption. Figure 14b represents the relationship of carload versus increasing energy consumption, which indicates the energy consumption pattern per carload as a polynomial equation with a variance of 0.89443, as presented in Equations (10) and (11). From Equation (10), it can be determined that, while the elevator is in standby mode and there are no moving parts, the energy used for the control system has a value of 0.00116.

$$E_p = -2.90407 \times 10^{-7} L^2 + 5.03707 \times 10^{-4} L + 0.00116 \quad (10)$$

$$R^2 = 0.89443 \quad (11)$$



(a) Carload, Travel and Power usage

(b) Correlation of Load and Power usage

Figure 14. Elevator energy consumption of an office building during a weekday.

The demand for elevators to access parking lots is primarily determined by the maximum rate of vehicle entry and exit and the average occupancy of each vehicle. These values can be determined through a traffic study.

Figure 15a shows the relationship between the elevator travel distance versus the carload and the energy consumption in a university building, presenting a significant amount of energy consumption. As mentioned above, additional carloads and increasing travel distances led to two intense peaks in the plots, indicating higher power consumption. Figure 15b represents the relationship between carload and energy consumption, which indicates the energy consumption pattern per carload as a polynomial equation, with a variance equal to 0.89674, as presented in Equations (12) and (13). When the elevator is in standby mode and there are no moving parts, the energy used for the control system has a value of 0.00655.

$$E_p = -2.72985 \times 10^{-7}L^2 + 5.15896 \times 10^{-4}L + 6.55258 \times 10^{-4} \quad (12)$$

$$R^2 = 0.89674 \quad (13)$$

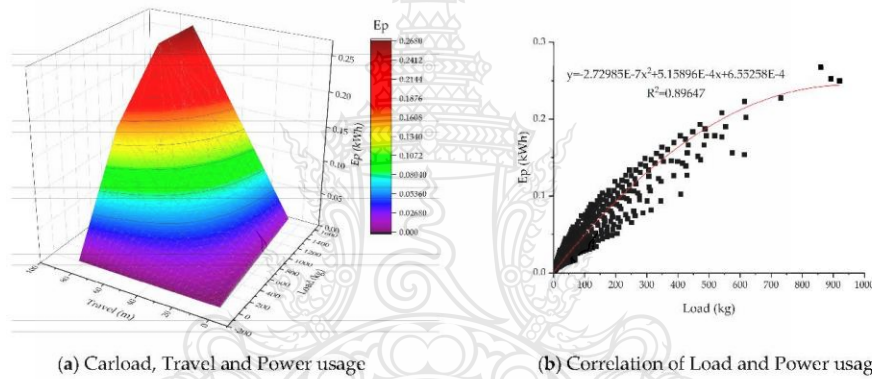


Figure 15. Elevator energy consumption of a university building during a weekday.

Figure 16a presents the relationship between the elevator’s travel distance versus the carload and energy consumption in the hospital building, indicating a significant amount of energy consumption with higher carloads and travel distances. Figure 16b represents the relationship between carload and energy consumption, which indicates the energy consumption pattern per carload as a polynomial equation with a variance equal to 0.92964, as presented in Equations (14) and (15). When the elevator is in standby mode and there are no moving parts, the energy used for the control system has a value of 0.00247.

$$E_p = -1.12623 \times 10^{-5}L^2 + 0.00142L + 2.4780 \times 10^{-4} \quad (14)$$

$$R^2 = 0.92964 \quad (15)$$



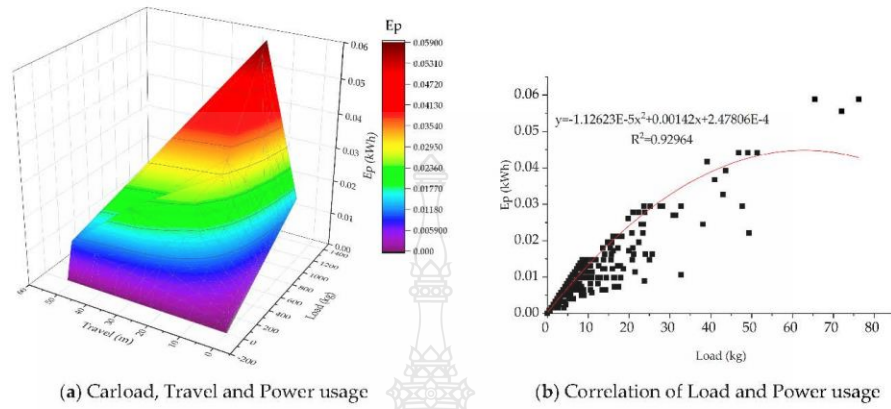


Figure 16. Elevator energy consumption of a hospital building during a weekday.

Figure 17a presents the relationship between the elevator’s travel distance, carload, and the energy consumption in the hotel building, indicating a significant amount of energy consumption. With increasing carloads and travel distances, two intense peaks can be observed in the plot, corresponding to high power consumption. Figure 17b represents the relationship between carload and energy consumption, which indicates the energy consumption pattern per carload as a polynomial equation with a variance of 0.89901, as presented in Equations (16) and (17). When the elevator is in standby mode and there are no moving parts, the energy used for the control system has a value of 0.77985.

$$E_p = 3934.360139L^2 + 1581.92603L - 0.77985 \tag{16}$$

$$R^2 = 0.89901 \tag{17}$$

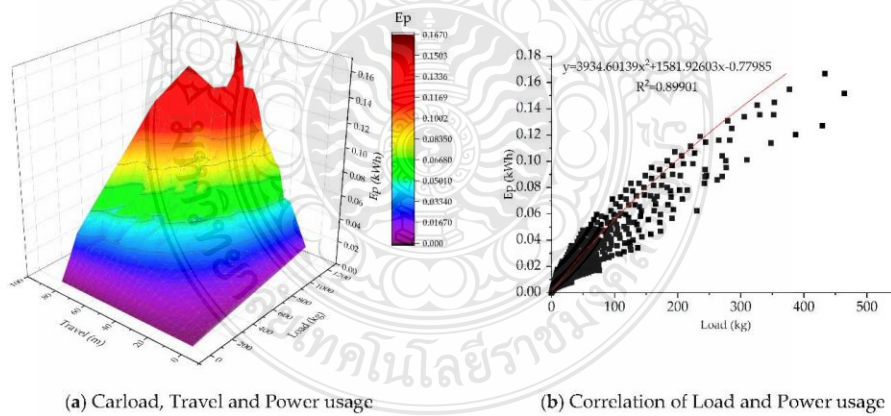


Figure 17. Elevator energy consumption of a hotel building during a weekday.

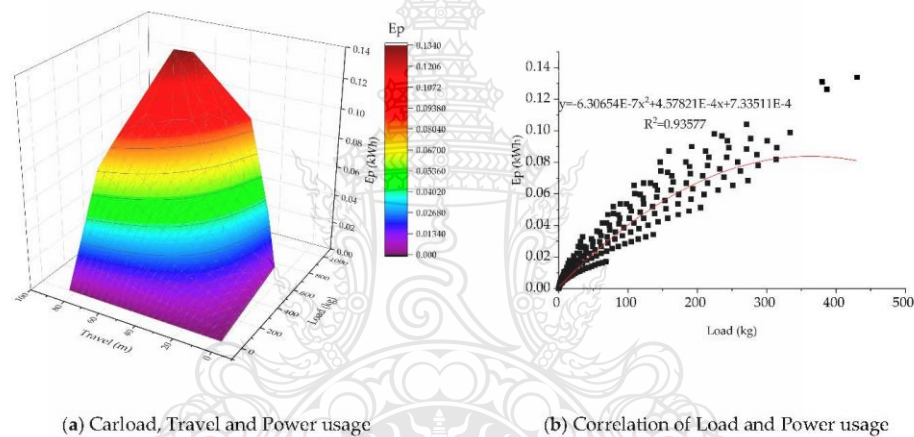
At present, Bangkok has limited space for residential project development. Therefore, most residential project development in Bangkok is high-rise development; namely, condo-

minium projects. Condominiums can respond to the daily living habits of the people in Bangkok very well in terms of convenience of traveling. Moreover, the number of facilities in these projects, such as vertical transport systems, has correspondingly increased.

Figure 18a shows the relationship between an elevator's moving distance, carload, and energy consumption in a residential building, indicating again a significant amount of energy consumption. With increasing carloads and travel distances, two intense peaks in the plots appear, corresponding to high power consumption. Figure 18b represents the relationship between carload and increasing energy consumption, which indicates the energy consumption pattern per carload as a polynomial equation with a variance equal to 0.93577, as presented in Equations (18) and (19). When the elevator is in standby mode and there are no moving parts, the energy used for the control system has a value of 0.000733.

$$E_p = -6.30654 \times 10^{-7}L^2 + 4.57821 \times 10^{-4}L + 7.33511 \times 10^{-4} \quad (18)$$

$$R^2 = 0.93577 \quad (19)$$



(a) Carload, Travel and Power usage

(b) Correlation of Load and Power usage

Figure 18. Elevator energy consumption of a residential building during a weekday.

Table 2 provides the specifications for each of the elevators considered in this study. These data reveal the variation in energy consumption between each different building type. The activity of the elevators has an impact on the trip pattern and directly affects the energy consumption behaviour. Therefore, the combined actual measurement data and elevator traffic information analysis is useful for estimating the energy consumption based on elevator weight loads; however, the data correction and analysis did not cover stair usage, due to the unpredictable behaviours of users and the limitations of the measurement tools. In the morning, an office building elevator will carry almost all passengers up and empty the car, and then come down to collect the passengers who are travelling in both upward and downward directions. In this period, the elevator will use power from the power supply to operate. At noon, the elevator will carry almost all passengers down, then run an empty car to pick up more passengers. As the passengers travel primarily in a downward direction, the elevator will return power to the electrical system. The elevator is fully loaded to pick up passengers in the afternoon, running the empty car to pick up more passengers in both the upward and downward directions. In this period, the elevator must be powered by the electrical system to operate. The elevator loads are almost full of passengers in the evening, which are run down while an empty car returns upwards. Therefore, in both directions, the elevator returns electricity to the supply. Analyses of

elevator load patterns and the population densities related to different types of buildings are represented in Equations (10), (12), (14), (16) and (18), while the associated relationships between energy consumption and load pattern by building type are presented in Equations (11), (13), (15), (17) and (19). Moreover, at any time, the elevator is used between floors. The electrical power consumption of the elevator in this case depends on the payload and the distance travelled over time, which determines the energy cost associated with electricity consumption. Alternatively, elevator systems with a smaller capacity may start up less frequently, while typically handling a higher relative load (i.e., of passengers). This means that the savings obtained through [14] counterweight resizing and utilizing a regenerating effect may differ slightly from those determined in this study. In the case of heavy traffic, carloads increase, which in turn increases the number of elevators starts and decreases the travel distances, as represented by Equation (9). Therefore, the polynomial equation derived for each of the building types can be used to predict, in terms of various loads, the energy consumption of each elevator from each building type. Interestingly, the polynomial equation from the curve fitting of the collected data can be further implemented to identify the weights of the passengers and to help identify the energy usage of the elevator.

**Table 2.** Elevator characteristics with respect to various building types.

Type	Office	University	Hotel	Hospital	Residential
Rated load (kg)	2000	1600	1800	1800	1800
Rise (m)	75	68	87	65	200
Number of floors	24	19	24	12	50
Nominal speed (m/s)	2.5	2.0	2.5	2.0	6.0
Acceleration (m/s <sup>2</sup> )	1.0	1.0	1.0	0.8	1.0
Jerk (m/s <sup>3</sup> )	1.2	1.2	1.2	0.8	1.2
Roping	2:1	2:1	1:1	1:1	1:1
Daily trips	2000	1500	1000	2500	900
Average carload (%)	40%	50%	30%	50%	25%
Counterbalancing (%)	50.00%	50.00%	50.00%	50.00%	50.00%

## 5. Conclusions

In conclusion, this study highlights the challenge of the vertical transportation power usage assessed by actual measurement and data collection from the monitoring system. This work adapted the curve fitting technique to analyse the energy consumption of the vertical transportation system from each building. The building characteristics consist of the elevator load pattern and the population density for different types of buildings for which the energy consumption was revealed in this study. Moreover, the energy usage of the vertical transportation system differs on the account of various structures having differing numbers of stories and travel distances. Finally, this study demonstrated a systematic approach for determining the power usage patterns in vertical transportation systems by measurement data. The measurement data analysis can represent the power consumption by using the curve fitting technique. The polynomial equation from the curve fitting of each building type may be used as a predictor for the power consumption in another building type. Future research in conjunction with non-intrusive load monitoring (NILM) in the elevator system will be implemented in the near future.

**Author Contributions:** S.M.: conceptualization, methodology, software, writing—original draft preparation, formal analysis, investigation, and validation; Y.K.: data analysis and editing, B.P.: conceptualization, writing—review and editing, visualization, validation, and supervision. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research received no external funding.

**Institutional Review Board Statement:** Not applicable.

**Informed Consent Statement:** Not applicable.



**Data Availability Statement:** Not applicable.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References

- Xuchao, W.; Priyadarsini, R.; Stew Eang, L. Benchmarking energy use and greenhouse gas emissions in Singapore's hotel industry. *Energy Policy* **2010**, *38*, 4520–4527. [CrossRef]
- Chung, W.; Kam, M.S.; Ip, C.Y. A study of residential energy use in Hong Kong by decomposition analysis, 1990–2007. *Appl. Energy* **2011**, *88*, 5180–5187. [CrossRef]
- Jiang, P. Analysis of national and local energy-efficiency design standards in the public building sector in China. *Energy Sustain. Dev.* **2011**, *15*, 443–450. [CrossRef]
- Xiao, H.; Wei, Q.; Jiang, Y. The reality and statistical distribution of energy consumption in office buildings in China. *Energy Build.* **2012**, *50*, 259–265. [CrossRef]
- Ang, B.W. LMDI decomposition approach: A guide for implementation. *Energy Policy* **2015**, *86*, 233–238. [CrossRef]
- Lu, Y.; Cui, P.; Li, D. Which activities contribute most to building energy consumption in China? A hybrid LMDI decomposition analysis from year 2007 to 2015. *Energy Build.* **2018**, *165*, 259–269. [CrossRef]
- Aghemo, C.; Virgone, J.; Fracastoro, G.V.; Pellegrino, A.; Blaso, L.; Savoyat, J.; Johannes, K. Management and monitoring of public buildings through ICT based systems: Control rules for energy saving with lighting and HVAC services. *Front. Archit. Res.* **2013**, *2*, 147–161. [CrossRef]
- Hong, T.; Taylor-Lange, S.C.; D'Oca, S.; Yan, D.; Corngati, S.P. Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings. *Energy Build.* **2016**, *116*, 694–702. [CrossRef]
- Zhao, J.; Xin, Y.; Tong, D. Energy consumption quota of public buildings based on statistical analysis. *Energy Policy* **2012**, *43*, 362–370. [CrossRef]
- Ma, H.; Lu, W.; Yin, L.; Shen, X. Public Building Energy Consumption Level and Influencing Factors in Tianjin. *Energy Procedia* **2016**, *88*, 146–152. [CrossRef]
- Liu, G.; Wu, Z.; Hu, M. Energy Consumption and Management in Public Buildings in China: An Investigation of Chongqing. *Energy Procedia* **2012**, *14*, 1925–1930. [CrossRef]
- Zografakis, N.; Gillas, K.; Pollaki, A.; Profylienou, M.; Bounialetou, F.; Tsagarakis, K.P. Assessment of practices and technologies of energy saving and renewable energy sources in hotels in Crete. *Renew. Energy* **2011**, *36*, 1323–1328. [CrossRef]
- Amer, M.; Daim, T.U. Selection of renewable energy technologies for a developing county: A case of Pakistan. *Energy Sustain. Dev.* **2011**, *15*, 420–435. [CrossRef]
- Yao, Z.; Zhuang, Z.; Gu, W. Study on Energy Use Characteristics of Hotel Buildings in Shanghai. *Procedia Eng.* **2015**, *121*, 1977–1982. [CrossRef]
- Ma, H.; Du, N.; Yu, S.; Lu, W.; Zhang, Z.; Deng, N.; Li, C. Analysis of typical public building energy consumption in northern China. *Energy Build.* **2017**, *136*, 139–150. [CrossRef]
- Delzendeh, E.; Wu, S.; Lee, A.; Zhou, Y. The impact of occupants' behaviours on building energy analysis: A research review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2017**, *80*, 1061–1071. [CrossRef]
- Hong, T.; Li, C.; Yan, D. Updates to the China Design Standard for Energy Efficiency in public buildings. *Energy Policy* **2015**, *87*, 187–198. [CrossRef]
- Ang, J.H.; Yusup, Y.; Zaki, S.A.; Salehabadi, A.; Ahmad, M.I. Comprehensive Energy Consumption of Elevator Systems Based on Hybrid Approach of Measurement and Calculation in Low- and High-Rise Buildings of Tropical Climate towards Energy Efficiency. *Sustainability* **2022**, *14*, 4779. [CrossRef]
- Tukia, T.; Uimonen, S.; Siikonen, M.-L.; Hakala, H.; Donghi, C.; Lehtonen, M. Explicit method to predict annual elevator energy consumption in recurring passenger traffic conditions. *J. Build. Eng.* **2016**, *8*, 179–188. [CrossRef]
- Hao, W.; Xiaoqing, C.; Jiai, X. Measurement and Analysis on Energy Efficiency of Elevators in Shanghai. In Proceedings of the ASME 2014 12th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis, Copenhagen, Denmark, 25–27 July 2014.
- Niu, D.; Guo, L.; Zhao, W.; Li, H. Operation performance evaluation of elevators based on condition monitoring and combination weighting method. *Measurement* **2022**, *194*, 111091. [CrossRef]
- Markos, P.A.; Dentsoras, A.J. An integrated mathematical method for traffic analysis of elevator systems. *Appl. Math. Model.* **2022**, *105*, 50–80. [CrossRef]
- Supapradit Marsong, B.P. Implementation analysis of an elevator energy regenerative unit -EERU- for energy saving in a building. In Proceedings of the 2016 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Chang Mai, Thailand, 28 June–1 July 2016.
- Murshed, S.M.; Duval, A.; Koch, A.; Rode, P. Impact of Urban Morphology on Energy Consumption of Vertical Mobility in Asian Cities—A Comparative Analysis with 3D City Models. *Urban Sci.* **2019**, *3*, 4. [CrossRef]
- Zhang, Y.; Yan, Z.; Yuan, F.; Yao, J.; Ding, B. A Novel Reconstruction Approach to Elevator Energy Conservation Based on a DC Micro-Grid in High-Rise Buildings. *Energies* **2018**, *12*, 33. [CrossRef]
- Carlos Patrão, A.D. A Energy Efficient Elevators and Escalators. Available online: [https://www.eceee.org/library/conference\\_proceedings/eceee\\_Summer\\_Studies/2009/Panel\\_4/4.037/](https://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2009/Panel_4/4.037/) (accessed on 8 October 2022).

27. Tukka, T.; Uimonen, S.; Siikonen, M.-L.; Hakala, H.; Lehtonen, M. A study for improving the energy efficiency of lifts with adjustable counterweighting. *Build. Serv. Eng. Res. Technol.* **2017**, *38*, 421–435. [[CrossRef](#)]
28. Rotimi, A.; Bahadori-Jahromi, A.; Mylona, A.; Godfrey, P.; Cook, D. Estimation and Validation of Energy Consumption in UK Existing Hotel Building Using Dynamic Simulation Software. *Sustainability* **2017**, *9*, 1391. [[CrossRef](#)]
29. Krakowski, T.; Ruta, H. Analysis and Assessment of Energy Efficiency of Passenger Lifts. *Adv. Sci. Technol. Res. J.* **2018**, *12*, 257–265. [[CrossRef](#)]
30. Zhang, Y.; Bai, X.; Mills, F.P.; Pezzey, J.C.V. Rethinking the role of occupant behavior in building energy performance: A review. *Energy Build.* **2018**, *172*, 279–294. [[CrossRef](#)]
31. Hakala, H. Applications of Linear Motors in Elevator Hoisting Machines. Ph.D. Thesis, Tampere University of Technology, Tampere, Finland, 1995.
32. Barney, G. *Elevator Traffic Handbook: Theory and Practice*, 2nd ed.; Routledge: London, UK, 2003; p. 476.
33. Strakosch, G.R. *The Vertical Transportation Handbook*, 4th ed.; John Wiley & Sons: New York, NY, USA, 1982; p. 512.





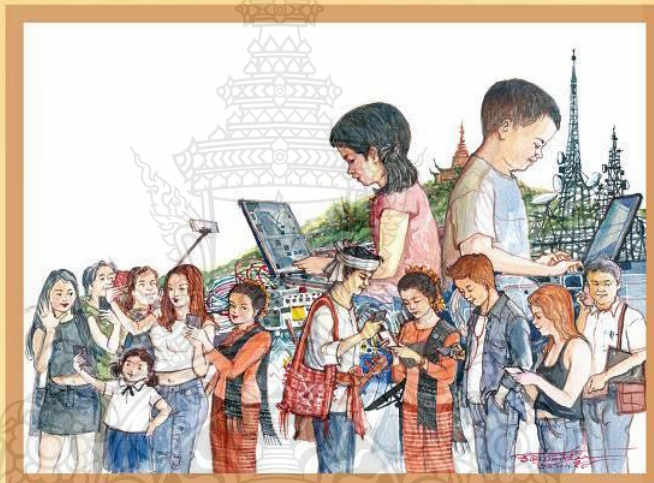
Final Program

# ECTI-CON 2016

ChiangMai Thailand, June 28 - 1 July , 2016

13<sup>th</sup> International Conference on Electrical Engineering/Electronics  
Computer, Telecommunications and Information Technology

ECTI-CON 2016 ChiangMai, Thailand



Illustrated by Assoc.Prof. Wichit Chomtaveewiroot

Rajamangala University of Technology Lanna  
ChiangMai, Thailand

**Final Program**

# **ECTI-CON 2016**

---

**2016 13<sup>th</sup> International Conference on  
Electrical Engineering/Electronics, Computer,  
Telecommunications and Information Technology**

<http://www.ecticon2016.org>

**June 28<sup>th</sup> - July 1<sup>st</sup>, 2016  
at Chiang Mai, Thailand.**



June 28<sup>th</sup> - July 1<sup>st</sup>, 2016 – RMUTL, Chiang Mai, Thailand

A-1



Copyright © 2016 by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

All right reserved

2016 13<sup>th</sup> International Conference on Electrical Engineering/Electronics,  
Computer, Telecommunications and Information Technology

Copyright and Reprint Permission: Abstracting is permitted with credit to the source. Libraries are permitted to photocopy beyond the limit of U.S. copyright law for private use of patrons those articles in this volume that carry a code at the bottom of the first page, provided the per-copy fee indicated in the code is paid through Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923. For reprint or republication permission, email to IEEE Copyrights Manager at [pubs-permissions@ieee.org](mailto:pubs-permissions@ieee.org). All right reserved. Copyright ©2016 by IEEE.

**Conference Record Number 37695**

## Table of Contents

Message from President of RMUTL.....	A-4
Message from the General Chair .....	A-5
Organizers and Organization Committee.....	A-6
Technical Program Committee.....	A-8 – A-10
Technical Program Contents.....	B-1 – B-60
Keynote Speakers.....	C-1 – C-5
ECTI Woarkshop.....	C-6 – C-8
Communication Systems .....	D-1 – D-74
Power Electronics .....	E-1 – E-28
Information Technology .....	F-1 – F-13
Computers.....	G-1 – G-27
Electrical Power Systems.....	H-1 – H-21
Devices, Circuits and Systems.....	I-1 – I-27
Signal Processing.....	J-1 – J-28
Controls, Instrumentation and Measurements.....	K-1 – K-27
Other Related Topic: Energy Saving.....	L-1 – L-6
Special Session: Modulation Strategies for Power Converters.....	M-1 – M-5
Special Session: Signal Processing and Embedded System for Industrial ...	N-1 – N-8
Special Session: Smart Innovations for Smart Power Grids.....	O-1 – O-20
Special Session: ECTI-SICE Organized Session on Advances of Control Engineering and Applications .....	P-1 – P-7
Special Session: Biomedical Electronics and Sensors.....	Q-1 – Q-7
Special Session: Earth Observation Systems for Sustainable Development	R-1 – R-11
Special Session: Recent Electromagnetic Research in Thailand by iEMAT	S-1 – S-7
Poster Session.....	T-1 – T-18
Author Index.....	U-1 – U-8

## Message from President of Rajamangala University of Technology Lanna



On behalf of Rajamangala University of Technology Lanna and the ECTI Association, we are honored and delighted to welcome all delegates and all the distinguished guests to the 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2016) in the wonderful, bustling city of Chiang Mai, Thailand. We truly hope that this event will provide a unique platform for all participants to exchange ideas, discover novel opportunities, reacquaint with colleagues, meet new friends and broaden their knowledge.

The technical program of ECTI-CON 2016 will be four days long, starting from June 28th to July 1st, 2016. Regarding the focus of the program, there are primarily 8 areas of interest: (1) devices, circuits and systems, (2) computer, (3) information technology, (4) communication systems, (5) controls, instrumentation and measurements, (6) electrical power systems, (7) power electronics, and (8) signal processing. Also other related areas and a special workshop are included. In addition, we are pleased to have Prof. Dr. Satoshi Honda (The Society of Instrument and Control Engineering, SICE, Japan), Prof. Dr. Cheng-Hsin Chuang (Southern Taiwan University of Science and Technology, STUST, Taiwan), Prof. Dr. Issarachai Ngamroo (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, KMITL, Thailand) and Mr. Ekachai Phakdurong (ThaiCom) as the keynote speakers. Again, we are hoping that the technical demonstrations will facilitate the exchange of useful information and experiences as well as stimulate future research in this area.

The success of this conference required significant effort and dedication on the part of many people who have worked with us in planning and organizing. We would like to express special thanks to the organizing committee, the ECTI committee, keynote speakers, reviewers, authors and sponsors for supporting the conference.

As a final note concerning our venue location, Chiang Mai is a fast growing city that has recently attracted an influx of creative minds, entrepreneurs from all parts of Thailand and abroad. At the same time, the city itself is still overflowing with charismatic sensation of Lanna culture. We would like to encourage all participants to spend some time off the main event exploring the city in order to experience the culture, the people, and most important of all, have fun.

Assoc. Prof. Dr. Numyoot Songthanapitak  
Honorary Chair  
President of RMUTL

June 28<sup>th</sup> - July 1<sup>st</sup>, 2016 – RMUTL, Chiang Mai, Thailand

A-4

## Message from the General Chair



Ever since its founding in 2002, the Electrical Engineering/Electronics, Computer, Tele-communication, and Information Technology Association of Thailand, or ECTI Association, Thailand has come a long way. The ECTI Association has continued to flourish in forming various series of national and international conferences, as well as issuing high-impact periodicals of two transactions and a magazine. This year the ECTI-CON 2016 is organized by Rajamangala University of Technology Lanna (RMUTL) to be held in Chiang Mai, the largest and most culturally significant city in northern Thailand, during June 28-July 1, 2016. The ECTI-CON is the major international conference, featuring a rich technical program on the topics related to all fields of electrical engineering. Each year the conference attracts several hundreds of papers, but a fraction of these papers are accepted for presentation. Especially, this year there are more contribution papers to be presented from Asian as well as other countries. The interesting workshops and special sessions are also included. In addition, this year conference acquaints you four keynote speakers to give information on the most recent and advanced technologies in various areas of electrical engineering. Therefore, ECTI-CON 2016 promises to be the important forum for re-searchers to discuss the state of the art and future trends of electrical technology and exchange experiences. I encourage delegates to participate actively in the sessions and discussions during the conference days.

I would like to sincerely thank the steering and organizing committees for working very hard and making this conference very successful. Special thanks also go to all authors and reviewers who contributed for submission and reviewing processes. Nevertheless, I really appreciate all supports from RMUTL, organization team, and companies. Finally, I wish all participants a successful and fruitful conference. I hope you enjoy your stay in Chiang Mai and spend more times to visit other places in the northern parts of Thailand.

Prof. Dr. Prayoot Akkaraekthalin, KMUTNB  
The General Chair  
Advisory Board



## Organized by



## Organizing Committee

### Advisory Committee

Monai Krairiksh (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand)

Prabhas Chongsatitwattana (Chulalongkorn University, Thailand)

Nipon Theeraumpon (Chiang Mai University, Thailand)

### Steering Committee

Tomoaki Sato (Hirosaki University, Japan)

Yoshihiro Matsui (Tokyo National College of Technology, Japan)

Kou Yamada (Gunma University, Japan)

Prayoot Akkaraekthalin (King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand)

Naruemon Wattanapongsakorn (King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand)

Tuptim Angkaew (Chulalongkorn University, Thailand)

Kosin Chamnongthai (King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand)

Supattana Nirukkanaporn (Rungsit University, Thailand)

David Banjerdpongchai (Chulalongkorn University, Thailand)

Chutima Prommak (Suranaree University of Technology, Thailand)

June 28<sup>th</sup> - July 1<sup>st</sup>, 2016 – RMUTL, Chiang Mai, Thailand

A-6

### **Honorary Chairs**

Numyoot Songthanapitak (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

Kiyoshi Yoshikawa (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

Ryuichi Nakata (Toshiba Corporation, Japan)

### **General Chair**

Prayoot Akkaraekthalin (King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand)

### **General Co-Chairs**

Udom Sutakom (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

Kitchar Chaitanu (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

Sanit Pipithasombut (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

Passawat Wacharadumrongsak (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

### **Vice General Chairs**

Uthen Kamnarn (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

Krisda Yingkayun (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

Kosol Oranpiroj (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

### **Technical Program Chair**

Chuwong Phongcharoenpanich (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand)



## **Technical Program Committee**

### **Area 1: Devices, Circuits and Systems**

Karel L Sterckx (Bangkok University, Thailand)

### **Area 2: Computers**

Aphirak Jansang (Kasetsart University, Thailand)

Komate Amphawan (Burapha University, Thailand)

### **Area 3: Information Technology**

Thatsanee Charoenporn (Burapha University, Thailand)

### **Area 4: Communication Systems**

Danai Torrungrueng (Asian University, Thailand)

Titipong Lertwiryaprapa (King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand)

### **Area 5: Controls, Instrumentation and Measurements**

David Banjerdpongchai (Chulalongkorn University, Thailand)

Kasemsak Uthaichana (Chiang Mai University, Thailand)

### **Area 6: Electrical Power Systems**

Natthaphob Nimpitiwan (Bangkok University, Thailand)

### **Area 7: Power Electronics**

Uthen Kamnarn (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

### **Area 8: Signal Processing**

Vorapoj Patanavijit (Assumption University, Thailand)

Supatana Auethavekiat (Chulalongkorn University, Thailand)

### **Area 9: Other Related Topics**

Chuwong Phongcharoenpanich (King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand)

Pollakrit Toonkum (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

### **Special Session Chairs**

Byeungwoo Jeon (Sungkyunkwan University, Korea)

Kou Yamada (Gunma University, Japan)

David Banjerdpongchai (Chulalongkorn University, Thailand)

Yuttana Kumsuwan (Chiang Mai University, Thailand)

Uttipon Tarateeraseth (Srinakharinwirot University, Thailand)

Krischonme Bhumkittipich (Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand)

Boonyang Plangklang (Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand)

Jakkree Srinonchat (Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand)

Shih-Chung Chen (Southern Taiwan University of Science and Technology)

Cheng-Hsin Chuang (Southern Taiwan University of Science and Technology)

Pei-Jarn Chen (Southern Taiwan University of Science and Technology)

Narut Soontranon (Geo-Informatics and Space Technology Development Agency, Thailand)

Preesan Rakwatin (Geo-Informatics and Space Technology Development Agency, Thailand)

Titipong Lertwiriaprapa (King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand)

Kou Yamada (Gunma University, Japan)

Montri Phothisonothai (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand)

### **Publication Chairs**

Upady Hatthasin (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

Pollakrit Toonkum (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

Pratch Piyawongwisal (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

### **Sponsor & Exhibition Chairs**

Pracha Yeunyongkul (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

Manus Sanun (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

Yingrak Auttawaitkul (Maejo University, Thailand)

Sakorn Panta (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

### **Local Arrangement Chairs**

Surasak Yousawat (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

Nopadon Maneetien (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

### **Information System Chairs**

Anan Tubkerd (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

Natchasit Chukiatkhajorn (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

### **Public Relations**

Pornhathai Tanjitanont (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

Akksatcha Duangsuphasin (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

### **Finance Chairs**

Ketchat Nuandee (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

Juthathip Suwan (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)

Sarawuth Chaimool (Udon Thani Rajabhat University, Thailand)

Pairin Kaewkuay (ECTI, Thailand)

### **General Secretary**

Supakit Kawdungta (Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand)



# Reviewer List

A list of all reviewers and affiliations.

Full Name	Affiliation	Country
<input type="text" value="Search reviewer"/> <input type="submit" value="Q"/>		
<b>A</b>		
Ahmed Gomaa Radwan	Cairo University	Egypt
Akkarat Boonpoonga	King Mongkut's University Technology North Bangkok	Thailand
Alisa Kongthon	NECTEC	Thailand
Amnoi Ruengwaree	Rajamangala University of Technology Thanyaburi	Thailand
Anant Oonsivilai	Tokyo Institute of Technology	Japan
Anon Namin	Rajamangala University of Technology Lanna	Thailand
Apichai Bhatranand	King Mongkut University of Tecnology Thonburi	Thailand
Apichat Suratane	King Mongkut's University of Technology North Bangkok	Thailand
Apinya Innok	Rajamangala university of Technology Isan	Thailand
Arthit Sodeyome	EGAT	Thailand
Athitaya Nitchot	Prince of Songkla University	Thailand
Atthapol Ngaopitakkul	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	Thailand
<b>B</b>		
Boonchai Techaumnat	Chulalongkorn University	Thailand
Boonyang Plangklang	Rajamangala University of Technology Thanyaburi	Thailand

Bundit Limmeechokchai	Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University	Thailand
-----------------------	---------------------------------------------------------------------------	----------

## C

Chaiporn Jaikaeo	Kasetsart University	Thailand
------------------	----------------------	----------

Chaiyant Boonmee	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi	Thailand
------------------	---------------------------------------------------	----------

Chaiyod Pirak	King Mongkut's University of Technology North Bangkok	Thailand
---------------	-------------------------------------------------------	----------

Chakphed Madtharad	Provincial Electricity Authority (PEA)	Thailand
--------------------	----------------------------------------	----------

Chalempol Saiprasert	NECTEC	Thailand
----------------------	--------	----------

Chanchai Thongsopa	Suranaree University of Technology	Thailand
--------------------	------------------------------------	----------

Chatree Mahatthanajatuphat	King Mongkut's University of Technology North Bangkok	Thailand
----------------------------	-------------------------------------------------------	----------

Chavalit Srisathapornphat	Kasetsart University	Thailand
---------------------------	----------------------	----------

Chawasak Rakpenthai	University of Phayao	Thailand
---------------------	----------------------	----------

Cheng-Hsin Chuang	Southern Taiwan University of Science and Technology	Taiwan
-------------------	------------------------------------------------------	--------

Chokchai Sangdao	Faculty of Engineering, Mahanakorn University of Technology	Thailand
------------------	-------------------------------------------------------------	----------

Choopan Rattanapoka	King Mongkut's University of Technology North Bangkok	Thailand
---------------------	-------------------------------------------------------	----------

Chung-Min Wu	Kun Shan University	Taiwan
--------------	---------------------	--------

## D

Damar Widjaja	Universitas Sanata Dharma	Indonesia
---------------	---------------------------	-----------

Danai Torrungrueng	Asian University	Thailand
--------------------	------------------	----------

Darun Kesrarat	Assumption University of Thailand	Thailand
----------------	-----------------------------------	----------

Denchai Worasawate	Kasetsart University	Thailand
--------------------	----------------------	----------

Dulpichet Rerkpreedapong	Kasetsart University	Thailand
--------------------------	----------------------	----------

## E

Eakasit Pacharawongsakda	Dhurakij Pundit University	Thailand
--------------------------	----------------------------	----------

Ekasit Nugoolcharoenlap	Rajamangala University of Technology Rattanakosin	Thailand
<b>F</b>		
Felix Albu	Valahia University of Targoviste	Romania
<b>G</b>		
Ghazanfar Shahgholian	Najafabad Branch, Islamic Azad University	Iran
<b>H</b>		
Hsin-Chieh Chen	Hungkuang University	Taiwan
Hutchatai Chanlekha	Kasetsart University	Thailand
<b>I</b>		
Issarachai Ngamroo	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Thailand
<b>J</b>		
Jakkarin Suksawatchon	Burapha University	Thailand
Jednipat Moonrinta	Asian Institute of Technology	Thailand
Jiradej Ponsawat	Khon Kaen University	Thailand
Jirarat Sitthiworachart	Walailak University	Thailand
Jonglak Pahasa	University of Phayao	Thailand
Jukkrit Kluabwang	Rajamangala University of Technology Lanna	Thailand
<b>K</b>		
Kan Ouivirach	Pronto Tools	Thailand
Kanjana Thongglin	Prince of Songkla University Phuket Campus	Thailand
Kanuengnij Kubola	Burapha University	Thailand
Karanrat Thammarak	Walailak University	Thailand
Kingkam Sookhanaphibarn	Bangkok University	Thailand



Kitsanai Charoenjit	Burapha University	Thailand
Kittisak Phaebua	King Mongkut's University Technology North Bangkok	Thailand
Komson Daroj	Ubon Ratchathani University	Thailand
Kornkamol Thakulsukanant	Assumption University of Thailand	Thailand
Kosol Oranpiroj	Rajamangala University of Technology Lanna	Thailand
Krischonme Bhumkittipich	Rajamangala University of Technology Thanyaburi	Thailand
Krisda Yingkayun	Rajamangala University of Technology Lanna	Thailand
Krit Kosawat	NECTEC	Thailand
Kritsada Sriphaew	Rangsit	Thailand
Kunagorn Kunavut	Assumption University of Thailand	Thailand
<b>L</b>		
La-Or Kovavisaruch	NECTEC	Thailand
<b>M</b>		
Marut Buranarach	NECTEC	Thailand
Monai Krairiksh	King Mongkut Institute of Tech, Ladkrabang	Thailand
Mongkol Saejia	Prince of Songkla University	Thailand
Monthippa Uthansakul	Suranaree University of Technology	Thailand
Ms. Sakuna Prontri	NECTEC	Thailand
Muhammad Ibrahim Channa	QUEST Nawabshah, Pakistan	Pakistan
<b>N</b>		
Narut Soontranon	Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization)	Thailand
Nattakan Puttarak	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	Thailand
Nattapong Tongtep	Prince of Songkla University Phuket Campus	Thailand

Natthaphob Nimpitiwan	Bangkok University	Thailand
Nisai Fuengwarodsakul	King Mongkut's University of Technology North Bangkok	Thailand
Nithiphat Teerakawanich	Kasetsart University	Thailand
Nongnuch Ketui	Rajamangala University of Technology Lanna Nan	Thailand
Nopadon Maneetien	Rajamangala University of Technology Lanna	Thailand
Nopporn Patcharaprakiti	Rajamangala University of Technology Lanna	Thailand
Noraset Wichaipanich	Rajamangala University of Technology Thanyaburi	Thailand
Noriyuki Komine	Tokai University	Japan
Nuchanart Fhaphiem	Rajamangala university of Technology Isan	Thailand
Nunnapus Benjamas	Khon Kaen University	Thailand
Nuntiya Chaiyabut	Bangkok University	Thailand

## P

Pakornkiat Sawetmethikul	Rajamangala University of Technology Thanyaburi	Thailand
Paramate Horkaew	Suranaree University of Technology	Thailand
Paramet Wirasanti	Chiang Mai University	Thailand
Parinya Sanguansat	Panyapiwat Institute of Management	Thailand
Patiwet Wuttisarnwattana	Chiang Mai University	Thailand
Patrachart Komolkiti	Assumption University of Thailand	Thailand
Peerapong Uthansakul	Suranaree University of Technology	Thailand
Phairote Wounchum	Prince of Songkla University	Thailand
Phisan Kaewprapha	Thammasat University	Thailand
Phumin Kirawanich	Mahidol University	Thailand
Pichai Aree	Thammasart University	Thailand
Pichaya Chaipanya	Srinakharinwirot University	Thailand
Pinit Nuangpirom	Rajamangala University of Technology Lanna	Thailand

Pirawat Watanapongse	Kasetsart University	Thailand
Pisit Liutakakul	King Mongkut's University of Technology North Bangkok	Thailand
Piyaporn Mesawad	Suranaree University of Technology	Thailand
Pokpong Songmuang	Thammasat University	Thailand
Pollakrit Toonkum	Rajamangala University of Technology Lanna	Thailand
Pongnarin Sriploy	Rajaphat Nakhonratchasima	Thailand
Pongsatorn Chomtong	King Mongkut's University of Technology North Bangkok	Thailand
Poogyeon Park	Pohang University of Science and Technology	Thailand
Poompat Saengudomlert	Bangkok University	Thailand
Poonlap Lamsrichan	Kasetsart University	Thailand
Poonyasiri Boonpeng	Rajamangala University of Technology Lanna	Thailand
Pomanong Pongpaibool	National Electronics and Computer Technology Center	Thailand
Pramuk Unahalekhaka	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi	Thailand
Prapaporn Rattanamrong	Thammasat University	Thailand
Prawit Chumchu	Kasetsart University	Thailand
Prayoot Akkaraekthalin	King Mongkut's University of Technology North Bangkok	Thailand
Punpiti Piamsanga	Kasetsart University	Thailand
Punyawi Jamjareegulgarn	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMILT)	Thailand
<b>R</b>		
Rachu Punalard	Mahanakorn University of Technology	Thailand
Rangsan Wongsan	Suranaree University of Technology	Thailand
<b>S</b>		
Sakda Somkun	Naresuan University	Thailand
Sakorn Po-Ngam	King Mongkut University of Technology Thonburi	Thailand

Salitip Sintusontichart	Suranaree University of Technology	Thailand
Salwa K. Abd-El-Hafiz	Cairo University	Egypt
Saowaluck Kaewkamnerd	NECTEC	Thailand
Sarawan Wongsa	King Mongkut's University of Technology Thonburi	Thailand
Sarawuth Chaimool	Udon Thani Rajabhat University	Thailand
Sarayoot Thongkullaphat	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi	Thailand
Settawit Poochaya	Suranaree University of Technology	Thailand
Siam Lawawirajwong	Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization)	Thailand
Siraya Sitthisarn	Thaksin University	Thailand
Siroj Sirisukprasert	Kasetsart University	Thailand
Sitthidet Vachirasricirikul	University of Phayao	Thailand
Somboon Sangwongwanich	Chulalongkorn University	Thailand
Somsak Akatimagool	King Mongkut's University Technology North Bangkok	Thailand
Somying Thainimit	Kasetsart University	Thailand
Somyot Kaitwanidvilai	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMILT)	Thailand
Suchada Sitjongsataporn	Mahanakorn University of Technology	Thailand
Sudchai Boonto	King Mongkut's University of Technology Thonburi	Thailand
Supakit Kawdungta	Rajamangala University of Technology Lanna	Thailand
Supatana Auethavekiat	Chulalongkorn University	Thailand
Suppawong Tuarob	Mahidol University	Thailand
Surachai Chaitusaney	Chulalongkorn	Thailand
Suramate Chalermwisutkul	King Mongkut's University of Technology North Bangkok	Thailand
Suree Pumrin	Chulalongkorn University	Thailand

## T

Tanapong Khumyat	Rajamangala University of Technology Lanna Tak	Thailand
Tanit Malakorn	Naresuan University	Thailand
Teerasit Kasetkasem	Kasetsart University	Thailand
Thanapong Suwanasri	King Mongkut's University of Technology North Bangkok	Thailand
Thanaset Thosdeekoraphat	Suranaree University of Technology	Thailand
Thanawin Rakthanmanon	Kasetsart University	Thailand
Thara Angskun	Suranaree University of Technology	Thailand
Thepchai Supnithi	NECTEC	Thailand
Thimaporn Phetkaew	Walailak University	Thailand
Thorin Theeradejvanichkul	King Mongkut University of Tecnology Thonburi	Thailand
Thosaporn Janpuek	Rajaphat Nakhonratchasima	Thailand
Thunyawat Limpiti	Walailak University	Thailand
Titipong Lertwiriypapapa	King Mongkut's University Technlogy North Bangkok	Thailand
Toshiaki Kondo	Thammasat University	Thailand
<b>U</b>		
Upady Hatthasin	Rajamangala University of Technology Lanna	Thailand
Usa Sammapun	Kasetsart University	Thailand
Uthane Supatti	Kasetsart University	Thailand
Uthen Kamnarn	Rajamangala University of Technology Lanna	Thailand
<b>V</b>		
Varakorn Kasemsuwan	King Mongkut's Institute of Tech, Ladkrabang	Thailand
Viboon Chunkag	King Mongkut's University of Technology North Bangkok	Thailand
Virach Sornlertlamvanich	Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University	Thailand
Vorapoj Patanavijit	Assumption University of Thailand	Thailand

Vuttipon Tarateeraseth	Srinakharinwirot University	Thailand
<b>W</b>		
Wandee Petchmaneelumka	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	Thailand
Wanida Putthividhaya	Thammasart University	Thailand
Wanwisa Thaiwirot	King Mongkut's University of Technology North Bangkok	Thailand
Watthanasak Jeamwatthanachai	Electronics and Computer Science (ECS), University of Southampton	United Kingdom
Werapon Chiracharit	King Mongkut's University of Technology Thonburi	Thailand
Wilaiporn Lee	King Mongkut's University of Technology North Bangkok	Thailand
Witoon Prommee	Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Rai	Thailand
Wiwat Tipjhon	Rajamangala University of Technology Lanna	Thailand
Worawat Choensawat	Bangkok University	Thailand
Worawat Nakawiro	King Mongkut Institute of Tech. Ladkrabang	Thailand
<b>Y</b>		
Yan Zhao	Chulalongkorn University	Thailand
Yoshiyuki Kamakura	Osaka Institute of Technology	Japan
Yung-Fu Chen	Central Taiwan University of Science and Technology	Taiwan
Yuttana Kumsuwan	Chiang Mai University	Thailand
Yutthachai Sillapawicharn	Rajamangala University of Technology Thanyaburi	Thailand
Yutthana Kanthaphayao	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi	Thailand



## Technical Program Contents



June 28<sup>th</sup> - July 1<sup>st</sup>, 2016 – RMUTL, Chiang Mai, Thailand

B-1

## Total 277 Papers

## ECTI-CON 2016 Technical Program

<b>June 28<sup>th</sup>, 2016</b>	
Time	
09:00-10:30	<b>Room: Board room 2</b> Steering committee meeting of ECTI-CON 2016 and ECTI-CARD 2016
	<b>Room: Board room 4</b> Workshop 1: STMicroelectronics
10:45-12:00	<b>Room: Board room 2</b> ECTI Association committee meeting
	<b>Room: Board room 4</b> Workshop 1: STMicroelectronics
12.00-16.30	<b>Registration</b>
	<b>Room: Board room 2</b> Workshop 2: Assoc. Prof. Dr. Chiranut Sa-ngiamsak (Khon Kaen University), "How to write and revise scientific paper and get it Published"
13.30-14:30	<b>Room: Board room 3</b> Workshop 3: Ms. Wantana Worawattanachai (Yokogawa (Thailand) Ltd.), "PID Tuning of Base Layer Control Improvement on Distributed Control System"
	<b>Room: Board room 4</b> Workshop 4: Dr. Yi-Bo Zhao (Anhui Qasky Technology Co. Ltd.), "Quantum cryptography updating from China: USTC & Qasky's QKD live network"
14:30-14:45	Coffee Break
	<b>Room: Board room 2</b> Workshop 2: Assoc. Prof. Dr. Chiranut Sa-ngiamsak (Khon Kaen University), "How to write and revise scientific paper and get it Published"
14:45-16:30	<b>Room: Board room 3</b> Workshop 3: Asst. Prof. Dr. Itthisek Nilkhanhng (Thammasat University), "Automatic Tuning of PID Controllers using Fictitious Reference Iterative Tuning (FRIT)"
	<b>Room: Board room 4</b> Workshop 4: Dr. Yi-Bo Zhao (Anhui Qasky Technology Co. Ltd.), "Quantum cryptography updating from China: USTC & Qasky's QKD live network"
16.30-17.30	<b>Room: Board room 3</b> Special Talk: Prof. Masayuki Tanimoto (Nagoya University), "Technologies and Standards of FTV (Free viewpoint Television)"
17.30-18.00	Free discussion forums
18.00-22.00	Welcome Reception: Exhibition area at the 2 <sup>nd</sup> floor

June 29 <sup>th</sup> , 2016				
Area	Communication Systems	Communication Systems	Power Electronics	Information Technology
Session Title	Communication System I	Microwave Components and Applications	Power Electronics, Control & Drive	Knowledge Extractions & Applications
Room	BOARD ROOM 2	BOARD ROOM 3	BOARD ROOM 4	CHIANGMAI 1
Session Chair	Yuktiath Chawanonphuthak	Rangsan Wongsan	Vuttipon Tarateeraseth	Tian-Bo Deng
08:00-08:20	1118	1184	1028	1275
08:20-08:40	1116	1186	1222	1052
08:40-09:00	1165	1305	1152	1207
09:00-09:20	1353	1133	1297	1246
09:20-09:40	1022	1056	1320	1101
09:40-10:00	1099	1058	1005	1334
10:00-10:20	Break			

June 29 <sup>th</sup> , 2016				
Area	Computers	Electrical Power Systems	Devices, Circuits and Systems	Signal Processing
Session Title	Cloud and Algorithms	Electrical Power Systems I	Sensor Design and Applications	Image and Video Processing I
Room	CHIANGMAI 2	CHIANGMAI 3	CHIANGMAI 4	CHIANGMAI 5
Session Chair	Nopadon Maneetien	Thanaphong Thanasakstri	Jan Andrew Groot	Vorapoj Patanavijit
08:00-08:20	1180	1055	1158	1061
08:20-08:40	1198	1017	1317	1072
08:40-09:00	1078	1290	1091	1214
09:00-09:20	1326	1315	1179	1092
09:20-09:40	1252	1094	1196	1081
09:40-10:00	1216	1261	1344	1127
10:00-10:20	Break			

June 29 <sup>th</sup> , 2016	
Time	Poster Session Room: Exhibition area at the 2 <sup>nd</sup> floor
09:00-12:00	Session Chair Upady Hatthasin, Pollakrit Tonkum 1065, 1260, 1281, 1098, 1203, 1067, 1319, 1043, 1227, 1291, 1292, 1288, 1217, 1239, 1296, 1333, 1176.

June 29 <sup>th</sup> , 2016					
Area	Communication Systems	Communication Systems	Power Electronics	Information Technology	
Session Title	Communication System II	Networks Analysis and System	Switching Converter and Renewable Energy	IT for Health & Business	
Room	BOARD ROOM 2	BOARD ROOM 3	BOARD ROOM 4	CHIANGMAI 1	
Session Chair	Kititsak Phaebuga	Rattapong Suwajak	Ebrahim Babaei	Somsarouk Pathoumyvanh	
10.20-10.40	1029	1071	1253	1090	
10.40-11.00	1074	1104	1119	1144	
11.00-11.20	1284	1212	1177	1289	
11.20-11.40	1164	1012	1322	1238	
11.40-12.00	1355	1299	1330	1343	
12.00-13.00	Lunch: Convention center at the 1 <sup>st</sup> floor				
June 29 <sup>th</sup> , 2016					
Area	Computers	Electrical Power Systems	Devices, Circuits and Systems	Signal Processing	
Session Title	Tracking and Sensing I	Electrical Power Systems II	Semiconductor Devices and Nanostructures	Image and Video Processing II	
Room	CHIANGMAI 2	CHIANGMAI 3	CHIANGMAI 4	CHIANGMAI 5	
Session Chair	Petcharat Surtyachai	Issratchai Nengroo	Noraset Wichaiapanich	Jakkree Srinonchat	
10.20-10.40	1068	1008	1079	1303	
10.40-11.00	1027	1131	1181	1350	
11.00-11.20	1063	1188	1076	1040	
11.20-11.40	1219	1310	1146	1282	
11.40-12.00	1221	1093	1187	1190	
12.00-13.00	Lunch: Convention center at the 1 <sup>st</sup> floor				

<b>June 29<sup>th</sup>, 2016</b>	
	Room: Chiang Mai 3 – 5 at the 2 <sup>nd</sup> floor
	<b>Registration</b>
	Opening Ceremony
	Keynote Speaker 1: Prof. Dr. Satoshi Honda (Keio University), “Sensing Systems in Cyber-Physical Systems”
	Keynote Speaker 2: Prof. Dr. Cheng-Hsin Chuang (Southern Taiwan University of Science and Technology), “Impedance-based Immunosensor for Point-of-care Diagnostic Testing”
	Break
	Keynote Speaker 3: Prof. Dr. Issarachai Ngamroo (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang), “Toward Smarter Power Grid: New Stabilizing Control Concept”
	Keynote Speaker 3: Mr. Ekachai Phakdorong (THAI/COM), “Satellite Communication in The Changing Environment”
	Free discussion forums
	Banquet: Empress Grand Hall at the 3 <sup>rd</sup> floor
Time	
08.00-16.00	
13.30-14.00	
14.00-14.45	
14.45-15.30	
15.30-15.50	
15.50-16.35	
16.35-17.20	
17.20-18.00	
18.00-22.00	

<b>June 30<sup>th</sup>, 2016</b>					
Area	Communication Systems	Communication Systems	Power Electronics	Controls, Instrumentation and Measurements	
Session Title	Communication System III	Communication Theory and Information Theory	Inverter and Its Applications	Control Systems	
Room	BOARD ROOM 2	BOARD ROOM 3	BOARD ROOM 4	CHIANGMAI 1	
Session Chair	Chuwong Phongcharoenpanich	Thunyawat Limpiti	Saichol Chujujanjeen	Chaiwat Sakul	
08.00-08.20	1354	1136	1263	1025	
08.20-08.40	1126	1039	1211	1016	
08.40-09.00	1356	1148	1183	1245	
09.00-09.20	1266	1321	1096	1044	
09.20-09.40	1228	1009	1267	1159	
09.40-10.00		1059	1256	1307	
10.00-10.20			Break		
<b>June 30<sup>th</sup>, 2016</b>					
Area	Computers	Electrical Power Systems	Devices, Circuits and Systems	Signal Processing	
Session Title	Tracking and Sensing 2	Renewable and Alternative Energy	Circuits and Systems I	Signal Processing Theory and Its applications I	
Room	CHIANGMAI 2	CHIANGMAI 3	CHIANGMAI 4	CHIANGMAI 5	
Session Chair	Sovila Srun	Wijarn Wangdee	Tomoaki Sato	Narong Mettripun	
08.00-08.20	1143	1033	1048	1038	
08.20-08.40	1324	1031	1034	1175	
08.40-09.00	1167	1312	1060	1226	
09.00-09.20	1336	1015	1248	1088	
09.20-09.40	1238	1123	1199	1151	
09.40-10.00		1014	1251	1049	
10.00-10.20			Break		



**June 30<sup>th</sup>, 2016**

Area	Communication Systems	Communication Systems	Power Electronics	Controls, Instrumentation and Measurements
Session Title	Antenna Applications I	Modulation Techniques and Other Related to Communications	Power Converter and Its Applications	Optimization and Energy
Room	BOARD ROOM 2	BOARD ROOM 3	BOARD ROOM 4	CHIANGMAI 1
Session Chair	Sathaporn Promwong	Pongsatorn Sedtheetorn	Boonyang Piangklang	Salwa K. Abd-El-Hafiz
10.20-10.40	1086	1138	1121	1209
10.40-11.00	1095	1161	1178	1254
11.00-11.20	1107	1230	1011	1204
11.20-11.40	1112	1046	1124	1285
11.40-12.00	1142	1220	1264	1270
12.00-12.20	1218		1294	1030
12.20-13.20				
Lunch: Convention center at the 1 <sup>st</sup> floor				

**June 30<sup>th</sup>, 2016**

Area	Computers	Special Session	Devices, Circuits and Systems	Signal Processing
Session Title	Recognitions and Implementations	Special Session : Smart Innovations for Smart Power Grids I	Circuits and Systems II	Signal Processing Theory and Its applications II
Room	CHIANGMAI 2	CHIANGMAI 3	CHIANGMAI 4	CHIANGMAI 5
Session Chair	Krisda Yingkayun	Krischonne Bhumikitpipich	Achour Ouslimani	Santi Nuratch
10.20-10.40	1341	1213	1280	1189
10.40-11.00	1047	1041	1145	1345
11.00-11.20	1111	1070	1053	1077
11.20-11.40	1342	1258	1249	1271
11.40-12.00	1102	1132	1286	1083
12.00-12.20	1287	1160		1087
12.20-13.20				
Lunch: Convention center at the 1 <sup>st</sup> floor				

Marsong, Supapradit	1258 (pdf/1258.pdf)
Maturros, Thitima	1100 (pdf/1100.pdf)
Mayteevarunyoo, Thawatchai	1212 (pdf/1212.pdf)
Meananeatra, Panita	1221 (pdf/1221.pdf)
Mesawad, Piyaporn	1107 (pdf/1107.pdf)
Mettetal, Ronan	1079 (pdf/1079.pdf)
Mettripun, Narong	1303 (pdf/1303.pdf)
Mhoeikham, Pichet	1314 (pdf/1314.pdf)
Mithulanathan, N	1295 (pdf/1295.pdf)
Moazzami, Majid	1307 (pdf/1307.pdf)
Moeikham, Pichet	1095 (pdf/1095.pdf)
Mohagheghian, Ebrahim	1025 (pdf/1025.pdf)
Mohammadi, Leila	1013 (pdf/1013.pdf) 1025 (pdf/1025.pdf) 1028 (pdf/1028.pdf) 1032 (pdf/1032.pdf)
Mohammed, Wasleed S	1179 (pdf/1179.pdf)
Mon, Dr.Mi Sandar	1346 (pdf/1346.pdf)
Mon, Mi Sandar	1347 (pdf/1347.pdf)
Monta, Suppachai	1357 (pdf/1357.pdf)
Morawong, Thanyaluk	1068 (pdf/1068.pdf)
Mori, Kazuo	1039 (pdf/1039.pdf) 1059 (pdf/1059.pdf)
Moungnoul, Phichet	1251 (pdf/1251.pdf)
Muanghlua, Rangson	1146 (pdf/1146.pdf)
Mungkaruna, Preeyada	1238 (pdf/1238.pdf)
Munir, Achmad	1255 (pdf/1255.pdf) 1298 (pdf/1298.pdf)
Mutesi, Prossy	1093 (pdf/1093.pdf)

<b>30 June 2016      10.20-12.20: Special Session</b>		
<b>10:20 Topic: Smart Innovations for Smart Power Grids I</b>		
<b>Room : CHIANGMAI 3</b>		
<b>Session Chair:</b> Krischonme Bhumkittipich		
Time	Title / Author	Page
10.20-10.40 ID 1213	<b>Ferroresonance Phenomenon in PV System at LV side of Three phase Power Transformer Using of PSCAD Simulation</b> Nattapan Thanomsat, Boonyang Plangklang	O-2
10.40-11.00 ID 1041	<b>Opportunistic Hybrid Network Coding Data Gathering Scheme for Non-concurrent Applications in Smart Grid Neighborhood Area Network</b> Ngoc Thien Le, and Watit Benjapolakul	O-3
11.00-11.20 ID 1070	<b>A Three-Phase PV-Pump Inverter With Maximum Power Point Tracking (MPPT) Controller</b> Wachirapong Wareesri, and Sakorn Po-Ngam	O-4
11.20-11.40 ID 1258	<b>Implementation Analysis of an Elevator Energy Regenerative Unit (EERU) For Energy Saving in a Building</b> Supapradit marsong, and Boonyang Plangklang	O-5
11.40-12.00 ID 1132	<b>Dissolved Gas Analysis Methods for Distribution Transformers</b> Ekkarach Wannapring, Cattareeya Suwanasri, and Thanapong Suwanasri	O-6
12.00-12.20 ID 1160	<b>Practical Capacitor Placement for Power Loss Reduction and Voltage Improving by NSGA-II</b> Krittidet Buayai, Chatchai Lekdee, Prajuab Inrawong, and Kaan Kerdchuen	O-7
<b>12.20-13.20</b>	<b>Lunch:</b> Convention Center at the 1 <sup>st</sup> floor	

Paper ID 1258

## Implementation Analysis of an Elevator Energy Regenerative Unit (EERU) For Energy Saving in a Building

Supapradit marsong  
Department of Electrical Engineering, Faculty of  
Engineering,  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Thailand  
supapradit\_m@mail.rmutt.ac.th

Boonyang Plangklang  
Department of Electrical Engineering, Faculty of  
Engineering,  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi,  
Thailand  
boonyang.p@en.rmutt.ac.th

**Abstract**—In recent years, several processes have been taken to reserve power with a goal towards energy savings without deficiency in performance. In this, paper we improve and implement an existing inverter drive unit to achieve remarkable energy savings in elevator systems. Operation of an elevator can be classified into two modes, which are Motoring mode and generating mode. We design an energy-regenerative unit for an elevator system, which is able to feed electricity back into a power grid. A critical evaluation of regenerative energy stream has been done using MATLAB-SIMULINK although simulator been carried out in laboratory. The EERU is installed and tested on a normal service operation on 13th floor building Rajamangala University of Technology Thanyaburi. The final results are compared with experimental data in laboratory, which shows that EERU can be save up to 43%.

**Keywords**—Energy, Regenerative, EERU

# Implementation Analysis of an Elevator Energy Regenerative Unit (EERU) For Energy Saving in a Building

Supapradit marsong  
Department of Electrical Engineering, Faculty of  
Engineering,  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi,  
Thailand  
supapradit\_m@mail.rmutt.ac.th

Boonyang Plangklang  
Department of Electrical Engineering, Faculty of  
Engineering,  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi,  
Thailand  
boonyang.p@en.rmutt.ac.th

**Abstract** – In recent years, several processes have been taken to reserve power with a goal towards energy savings without deficiency in performance. In this, paper we improve and implement an existing inverter drive unit to achieve remarkable energy savings in elevator systems. Operation of an elevator can be classified into two modes, which are Motoring mode and generating mode. We design an energy-regenerative unit for an elevator system, which is able to feed electricity back into a power grid.

A critical evaluation of regenerative energy stream has been done using MATLAB-SIMULINK although simulator been carried out in laboratory.

The EERU is installed and tested on a normal service operation on 13th floor building Rajamangala University of Technology Thanyaburi. The final results are compared with experimental data in laboratory, which shows that EERU can be save up to 43%.

**Keywords**—Energy ,Regenerative ,EERU

## I. INTRODUCTION

An Elevator is important for vertical transport in buildings, towers, shopping malls, office buildings, and factories. Therefore, an elevator is a part of a building. The elevator is equipment that consumes massive of energy. If the elevator can generate power to the grid, this can reduce the energy consumption and therefore the elevator system can be use as an important device for energy conservation. [3]

Thus, this paper will study Grid connected Power Generation for Permanent Magnet Motor Elevator by Energy Regenerative Unit. It describes the functions and components of the elevator system. Principle of 4 Quadrant, Principle of DC boost converter, Equations of the permanent magnet motor, and the Principle of speed control in section II, the simulation of the system with MATLAB-SIMULINK in section III, the prototype results in section IV and conclusions in section V.

## II. THEORY AND IMPLEMENTATION

### A. System of elevator

Typically, the structure of the elevator system is composed of 5 main components as shown in Figure 1 [1].

1. Control System
2. Electric Motor
3. Counterweight
4. Guide Rails
5. Car

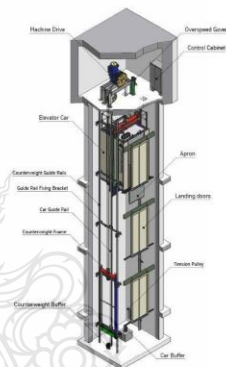


Fig 1. Main elevator components

### B. Operation of the elevator system mode

The regenerative mode to work on a permanent magnet motor in the elevator system is rotating without power or caused by braking the motor. This generative mode is able to produce electricity for the elevators. The situation of regenerative mode in elevator can be possible when the elevator load is less than the counter weight or the elevator load is greater than counter



weight. Both cases rely on the force of gravity pulling the motor rotation. Without using the electrical energy drive to the elevator. This can be divided according to the mode of operation of the elevator system as the following table 1.

Table 1. Operation of the elevator system mode

Elevator	Load > Counterweight	Load < Counterweight
Up	1. Using Energy	2. Using Gravity
Down	3. Using Gravity	4. Using Energy

### C. Principles of DC Boost Converter

A boost converter (step-up converter) is a DC-to-DC power converter with an output voltage greater than its input voltage. This device will be used to receive the DC voltage from DC-linked or DC-BUS of the elevator inverter. By typical circuit of a Boost Converter looks as shown in Figure 3.

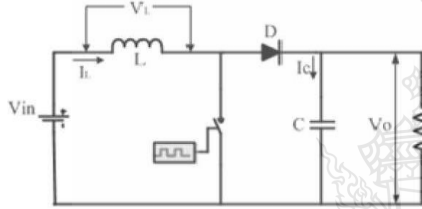


Fig 3, DC boost converter circuit

Equations (1) - (4) are the DC boost converter characteristic.

#### Switch on

$$v_L = v_m = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad [V] \quad (1)$$

$$i_L(DT_{sw}) = \frac{1}{L} \int_0^{DT_{sw}} v_m dt + I_{L,min} \quad [A] \quad (2)$$

#### Switch off

$$v_L(t) = (v_m - v_o) = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad [V] \quad (3)$$

$$i_L(T_{sw}) = \frac{1}{L} \int_0^{T_{sw}} (v_m - v_o) dt + I_{L,max} \quad [A] \quad (4)$$

$$v_o = \text{Output Voltage} \quad [V]$$

$$v_m = \text{Input Voltage} \quad [V]$$

$$v_L = \text{Inductor Voltage} \quad [V]$$

$$I_L = \text{Inductor Current} \quad [A]$$

$$D = \text{Duty Cycle}$$

$$T_{sw} = \text{Switching Time}$$

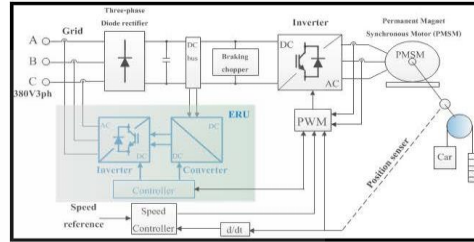


Fig 4, Operating power generated diagram for the permanent magnet motor elevator

### D. Permanent Magnet Synchronous Motor

According to equations (5) - (8), the characteristics of the permanent magnet motor which is applied to simulation program in Matlab/Simulink

$$\frac{di_d}{dt} = \frac{1}{L_d} v_d - \frac{R}{L_d} i_d + \frac{L_q}{L_d} p \omega_r i_q \quad (5)$$

$$\frac{di_q}{dt} = \frac{1}{L_q} v_q - \frac{R}{L_q} i_q - \frac{L_d}{L_q} p \omega_r i_d - \frac{\lambda p \omega_r}{L_q} \quad (6)$$

$$T_e = 1.5 p [\lambda i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \quad (7)$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J} (T_e - F \omega_r - T_m) \quad (8)$$

Where:

$L_d, L_q$  be Inductance of the d and q [H]

$R$  be Resistance of Stator [Ω]

$i_d, i_q$  be current of d and q [A]

$V_d, V_q$  be voltage of d and q [V]

$\omega_r$  be angular velocity of the rotor [rad/s]

$\lambda$  be magnetic flux of motor [Wb]

$p$  be number of pole pairs

$T_e$	Be electromagnetic torque	[Nm]
$T_m$	be shaft mechanical torque	[Nm]
$J$	be combined inertia of rotor and load	[kg/m <sup>2</sup> ]
$F$	be combined viscous friction of rotor and load	[N]

### E. Principles of Speed Control Using PI Controller

The system will measure the speed of the motor and compared with speed reference. the response of the system is controlled by PI controller. Therefore, the design of the PI controller system is a very important part. The PI controller is designed to find the parameters  $K_p$  and  $K_i$  for this simulation, both Software Tool GUI, a tool called SISO (single-input/single-output) TOOL in MATLAB-SIMULINK are used to assistance in the transfer function as follows. [1]

$$PI(s) = K_p + K_i \frac{1}{s} \quad (9)$$

### III. SIMULATION RESULTS

This section presents a simulation of power generation for Permanent Magnet Motor Elevator by Energy Regenerative Unit, which has done by Matlab/Simulink. Fig. 4 represents the diagram of the elevator system which is equipped with the EERU. The DC-BUS output of this experiment is 540 Vdc and the DC-bus voltage will feed to boost converter, to DC-AC converter then feed to the grid system when the motor works as a generator. [2]

When the motor is working in generative mode, the DC voltage is boosted up by a boost converter up to 600 Vdc and then passes to EERU will then converted to AC using IGBT controller and passed to the filter. [13]

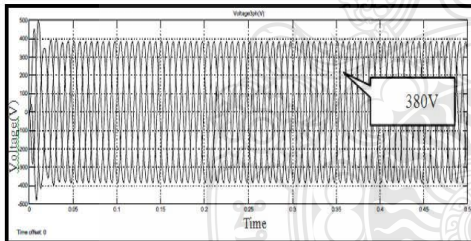


Fig 5, Output Voltage of EERU

Fig. 5 is the result of the simulation. The three-phase voltage output of the EERU is observed, the negative power represents

the power back to Grid and the output voltage is 3 phase sine wave. By using this simulation MATLAB-SIMULINK of power generation for permanent magnet motor it can be described in table 2.

Table 2, Output of simulation

Input of EERU (DC Bus)	Output of EERU Voltage 3Ø
530 - 540 Vdc	380 Vac

Table 2 shows input voltage of EERU from DC BUS as a result of regenerative on a permanent magnet synchronous motor by the change of torque at a constant speed without power supply to the motor. The DC voltage output from DC BUS increases because of DC Boost Converter and this DC voltage output is converted into DC-AC. The output voltage of the EERU is characterized by Square Wave through a series of filtering, therefore the final output voltage waveform is Sine Wave, which is connected to the grid system.

### IV. LABORATORY RESULT

After simulation, the first laboratory prototype is set up. The proposed system is constructed according to the diagram in Fig. 4. The selected permanent magnet motor (PMSM) [9-11] is three-phase with 7.4 kW and 380 V. The EERU is correspondingly connected to an inverter to the elevator system. The load of the elevator is an induction motor controlled by separated inverter. The implantation of the laboratory prototype is correspondingly and accordingly tested as the simulation. The laboratory prototype is shown as Fig. 6 and Fig. 7.



Fig 6, Energy Regenerative (EERU) Laboratory Prototype



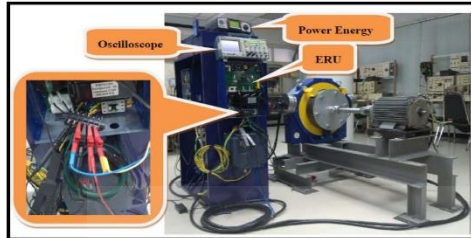


Fig 7, Energy Regenerative (EERU) Prototype with measurement devices

Fig. 8 shows the result from the laboratory implementation. The result elaborates that the DC voltage from the DC BUS is up to 680 Vdc. This result has carried out from the implementation that the load induction motor drives the PM motor a regenerative mode. It simulates that the elevator worked as a no-load condition and move up or move down as a full load condition. From this result, the DC voltage can be able to use for supply to the EERU.

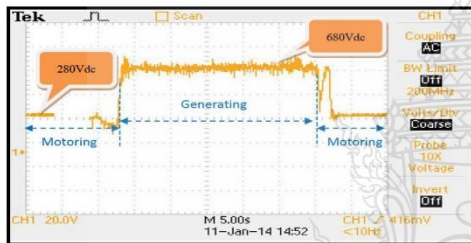


Fig 8, Result of DC-BUS in Generative Mode

Fig. 9 shows the output power which is fed to the grid system. It can be seen that the power output is carried out in the same way as the output from the simulation model. The load induction motor drives the PM motor to simulate as a generative model for a few seconds and the maximum output, 5.5 kW. From this result, the EERU can be used to feed power to the grid when the elevator works in a regenerative mode. However the energy power still depends on the elevator load and time of regenerative mode.

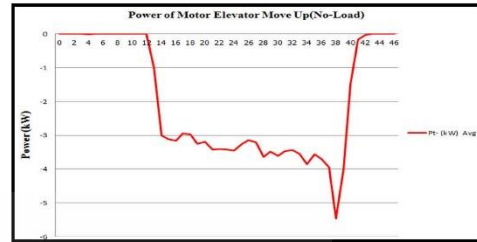


Fig 9, Output power to the grid from EERU

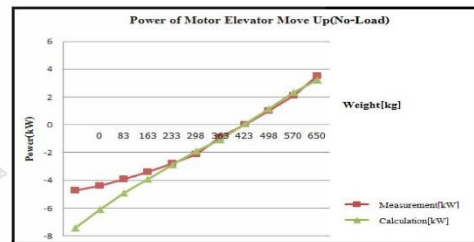


Fig 10, Comparison of Electrical power and elevator operative (no load).

Fig 10. shows compares calculate of an electrical power from calculation and actual power from measurements of elevator operation in no load running up. The graph displays the maximum of the energy from elevator when operates in generator mode by the force of gravity. Energy can be generated by the EERU regenerative system.



Fig. 11, building 13 Floors Control room of EERU and energy recorder are installed

From Fig.11 The EERU and elevator data logger have been installed at the 13-floor building with 55 meters height at

Rajamangala University of Technology Thanyaburi to measure regenerative power from EERU with fully operated up / down and monitoring of the regenerative power which is fed back to the grid system.

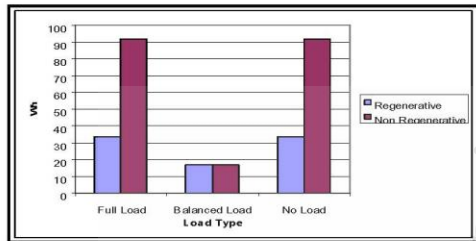


Fig 12, Compare regenerative and non-regenerative energy consumption

Fig 12 shows the results of energy consumption when EERU is operating in different cases ( full load, No load and balance load). The elevator is operated in normal operation, travelling up/down at 13 floors, 55 meters height.

The result of the EERU system under balance load status is unable to save energy neither regenerative non – regenerative. [1]

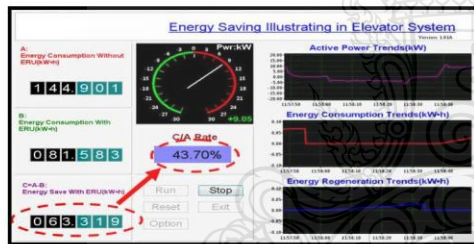


Fig 13, The data logger and monitoring system

From fig. 13, it shows the results of elevator energy consumption monitored with elevator data locker at a period of 30 days. From this result, EERU can help reduce energy consumption rate in regenerative mode up to 63 kWh of both full loads down and no load up which saves 43% of the energy. In regenerative mode, EERU can save more or less energy depending on the elevator traffic behavioral management and type of building.

## V. CONCLUSIONS

EERU is a concept that can be used to be connected with the existing and permanent magnet motor elevator systems. EERU will not work while the motor consumes power, but it will work when the motor acts as a generator in the regenerative mode. This concept can be used to feed energy back to the grid and save energy in the elevator system. From the simulation results and the implementation of laboratory prototype, it can conclude that the EERU concept can be used to generate the power feeding back to the grid as its proposed design. However, the capacity of power from EERU depends on the elevator load and the running time in regenerative mode. The EERU is developing efficiency technology of the elevator to reduce energy while operating. Energy from regenerative system is 63 kWh or 43% compared with non regenerative system.

## VI. REFERENCES

- [1] Thanit Punprayoong and Boonyong Plangklang, "energy saving elevators in the Building a case study: RMUTT", Conference on Energy Network of Thailand 8. 2-4 May 2555. Installed, 4, 2555.
- [2] H. Inaba, S. T. Nara, H. Takahashi M. Nakazato, "High speed elevators controlled by current source inverter system with sinusoidal input and output"
- [3] [http://www.danahermotion.com/education\\_training/motor/four-quadrant\\_operation](http://www.danahermotion.com/education_training/motor/four-quadrant_operation) (August, 2012).
- [4] "Rajamangala of Physics", Department of Physics, Faculty of Science Rajamangala, University of Technology.
- [5] Pirote Brnkapkul, "The design of the feedback controller in integral self-adjusting for permanent magnet synchronous motors, Master degree thesis, Electrical Engineering. KMITNB, Thailand, 2546.
- [6] Ashok B.Kulkarni , Hien Hguyen and E.W.Gaudet, "A Comparative Evaluation of line Regenerative and Non-Regenerative Vector Controlled Drives for AC Gearless Elevator", IEEE 1431 – 1437
- [7] Masaki Nomura, Hiroyu Ikejima , Shigetaka Morita and Eiki Watanabe "Regenerative Power Control For VVVF Motor Drive (Critical Braking Method Applied To The Elevator)", IEEE 97 – 105
- [8] GIE Elevator Frequency Converter, Shanghai GIE EM CO.,LTD
- [9] Dal Y. Ohm, "Dynamic Model of PM Synchronous Motor", Drivetech, Inc., Blacksburg, Virginia
- [10] Bose, Bimal K. Modern Power Electronics and AC Drives. India-Delhi: Pearson Education, 2002.
- [11] Boonyang Plangklang , Study of Generator Mode on Permanent Magnet synchronous Motor (PMSM) for Application on Elevator Energy Regenerative Unit (EERU), Elsevier & Science Direct, Energy Procedia 34(2013), 382-389
- [12] Thanit Phanprayoon and Boonyang Plangklang, "Study of Energy Saving from Elevator Energy Regenerative Unit(EERU)" 10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium pp.105-108 December 5-8,2012
- [13] Sittichai Kantawong, Akeratana Noppakant, Boonyang Plangklang, "Study of Generator Reaction on Permanent Magnet Synchronous Motor for Energy Regenerative Applications" 10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, December 5-8,2012
- [14] P.Barrade, A.Rufer, "Supercapacitors as energy buffers: a solution forelevators and for electric busses supply,"Proceedings of the Power Conversion Conference Osaka, vol.3, pp. 1160-1165, August 2002
- [15] P.Barrade, A.Rufer, "A supercapacitor-based energy-storage system for elevators with soft commutated interface," IEEE Transactions on Industry Applications, vol.38, Issue 5, pp. 1151-1159, September-October 2002

# iEECON 2017

The 2017 International Electrical Engineering Congress

8-10 MARCH 2017, PATTAYA THAILAND



“Smart Mobility for Smart Future”

## Proceedings

## VOLUME II

COMMUNICATIONS

ELECTRONICS & CONTROL

DIGITAL SIGNAL PROCESSING

COMPUTER & IT

Organized by



Technical Co-sponsored by



Sponsored by







### Message from President of Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Electrical Engineering Academic Association of Thailand (EEAAT) in collaboration with Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT), Thailand, is pleased to host the international Electrical Engineering Congress 2017 (iEECON2017). This conference is not only giving an opportunity for Thai and foreign researchers to present and discuss their research works and update their expertise but also to initially stimulate the development of research works on electrical engineering. The program consists of six research tasks; power and energy, communications, electronics & control, digital signal processing, computer and information technology.



I would like to take this opportunity to express my sincere gratitude to the plenary speakers for accepting our kind invitation. I deeply appreciate the very strong support given by Electrical Engineering Academic Association of Thailand. Thanks to the spirited works of the organizing committee, the technical program committee, the invited speakers, and paper contributors and excellent program have been assembled to cover a broad spectrum of interesting topics.

I warmly welcome you to the iEECON2017 on March 8-10, 2017, Pattaya, Thailand.

Associate Professor Prasert PINPATHOMRAT, Ph.D.  
President of Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT) and  
Honorary Advisory Chair of iEECON2017



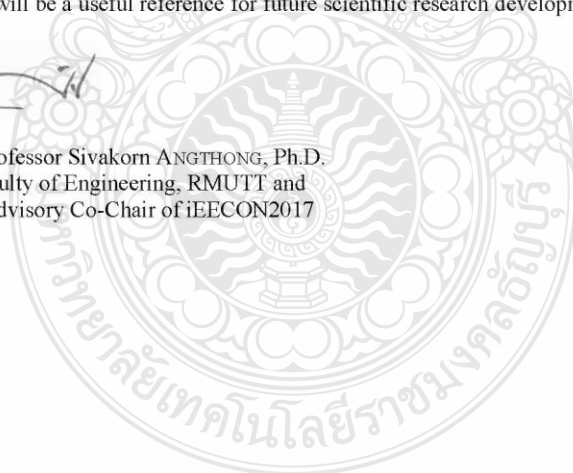
### Message from Dean of Faculty of Engineering, RMUTT

Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT) is pleased to host the international Electrical Engineering Congress 2017 (iEECON2017). Faculty of Engineering, RMUTT has a major mission on encouraging and supporting all areas of research. One of the key reasons is to assist in developing capability in science and technology in order to cope with recent rapid change in this field. We have jointly set up an academic symposium on the iEECON2017 with the perception on the significance of exchanging knowledge and research experiences between researcher in the field of electrical engineering. This symposium is not only giving an opportunity for Thai and foreign researcher to present and discussion their research works and update their expertise but also to initially stimulate



the development of research works on electrical engineering. Once the cooperation among researchers has been created, the closer future cooperation incorporate with joint-research works will be developed. Thus, to support the aforesaid role, the symposium working committee would like to express our sincere thanks to the organizing committee, participants and contributors for your kind corporation to this symposium. I wish this conference proceeding will be a useful reference for future scientific research development.

Assistant Professor Sivakorn ANGTONG, Ph.D.  
Dean of Faculty of Engineering, RMUTT and  
Honorary Advisory Co-Chair of iEECON2017





### **Message from President of Electrical Engineering Academic Association (Thailand)**

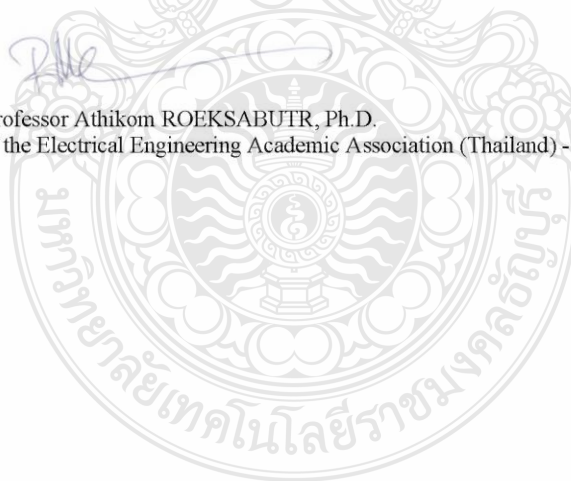
It is such a great honor to have Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT) to host the 2017 International Electrical Engineering Congress (iEECON2017) with the Electrical Engineering Academic Association (Thailand), EEAAT.

On behalf of EEAAT, we would like to express our warm welcome to all participants of the iEECON2017. So far the conference has been expanded in its scientific contents as well as the academic network. Currently, this congress is aiming at realization of smart mobility for smart future. We sincerely hope that the conference gives a good opportunity for participants to share their knowledge and widen their collaboration research. We also would like to extend sincere thanks to all participants as well as the iEECON2017 organizers who made the congress possibly successful.



The iEECON2017 is an ambitious symposium covering an unusually broad range of science related to electrical engineering, which promise lifestyle improvements. We assure you will find this time fruitful and gain new perspectives and inspiration for your research idea and network.

  
Associate Professor Athikom ROEKSABUTR, Ph.D.  
President of the Electrical Engineering Academic Association (Thailand) - EEAAT







### Message from General Chair of iEECON2017

It is our great pleasure to welcome all of the participants to the international Electrical Engineering Congress 2017 (iEECON2017) in Pattaya, on March 8-10, 2017 that is organized by Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT) and the Electrical Engineering Academic Association (Thailand)-EEAAT. The technical program of iEECON2017 covers topics of all electrical engineering areas under “*Smart Mobility for Smart Future*” theme including power and energy, communications, electronics & control, digital signal processing, computer and information technology field of research.



Over 270 submission papers were made mainly from 19 countries around the world, and the technical program committee selected 207 papers for oral presentation. Presentations for accepted papers are organized into 34 sessions in the three days conference presentation at holiday Inn Hotel. All submitted papers were reviewed by these members about 190 members. Based on the scores of the review reports, acceptance and rejection of the submitted papers, and the assignment of the accepted papers to oral sessions were determined. This number of papers is quite large enough to bring together researchers, engineers, students, and others to present and discuss their works on electrical engineering and related topics.

We are grateful to all of the authors, reviewers, and members of the technical program committee for their enthusiastic efforts and contributions. Handling of submission and review of papers could not be completed along a tight schedule without their help and cooperation. We also appreciate the great effort by session chairs who accept our request to manage sessions of the conference.

Finally, we would like to express our sincere gratitude to all participants of iEECON2017. Their contributions are indispensable for the success of the conference.

Enjoy your stay in Pattaya!

*K Bhumkittipich*

Associate Professor Krischonme BHUMKITTIPICH, D.Eng.  
General Chair of iEECON2017 and



### Message from Technical Program Chair of iEECON2017

The 2017 International Electrical Engineering Congress (iEECON2017) is the fifth year premier international conference organized by the Electrical Engineering Academic Association Thailand, (EEAAT). Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT) has a major mission on encouraging and supporting all areas of research, therefore, we are very pleased to host the iEECON2017. As the Technical Program Chair (TPC) of iEECON2017, I would like to report you that there are totally 270 submitted papers to the iEECON2017 from 19 countries around the world. With our strong 190 guest reviewers, only 206 papers are accepted to the iEECON2017, the percentage of acceptance is 76%.



From this key reason, it is the perception on the significance of exchanging knowledge and research experiences between researcher in the field of electrical engineering technologies and related fields. I believe that the iEECON2017 will not be only giving an opportunity for researchers to present and discuss their research works and update their expertise but also to initially stimulating the cooperation among them. Only the closer future cooperation with joint-research works will be able to cope with recent rapid change in the fields.

On behalf of TPC, I would like to express our sincere thanks to all authors for your kind effort preparing your valuable manuscript to this conference. I am sure that the iEECON2017 will be successfully managed and the proceeding will be also a useful reference for future research development.

Associate Professor Boonyang PLANGKLANG, Dr.-Ing.  
Technical Program Chair of iEECON2017

## Committees

### Honorary Advisory Chair

Prasert Pinpathomrat (President of RMUTT, Thailand)

### International Advisory Committees

Wanlop Surakampontorn (TAIST, Thailand)  
Vichate Ungvichian (Florida Atlantic University, USA)  
Sarah Thompson (University of York, UK)  
Mark Re (Seagate Technology, USA)  
Hiroshi Natsumo (University of Yamaguchi, Japan)  
Tim Mews (University of Alabama, USA)  
Athikom Rooksbutr (MUT, Thailand)

### Technical Advisory Committee

Somchai Hiranvarodom (RMUTT, Thailand)  
Wekin Piyarat (SWU, Thailand)  
Kosin Chamnongthai (KMUTT, Thailand)  
Prayoot Akkarackthalin (KMUTNB, Thailand)  
Apirat Siritaratiwat (KKU, Thailand)  
Decha Wilairat (MU, Thailand)  
Boonchouy Supmonchai (CU, Thailand)  
Pinit Thepsatorn (SWU, Thailand)  
Nathaphop Nimpitiwan (BU, Thailand)  
Suttichai Premrudeepreechacham (CMU, Thailand)  
Sivakorn Anghong (RMUTT, Thailand)  
Wanchai Subsingha (RMUTT, Thailand)

### General Chair

Krischonme Bhumkittipich (RMUTT, Thailand)

### General Co-Chair

Virote Pirajnanchai (RMUTT, Thailand)  
Patrapee Sunanthapoj (RMUTT, Thailand)  
Chatchai Suppitsaksaku (RMUTT, Thailand)

### Technical Program Chair

Boonyang Plangklang (RMUTT, Thailand)

### Technical Conference Committees

Paul Nutter (University of Manchester, UK)  
Hideaki Ohgaki (Kyoto University, Japan)  
Nadarajah Mithulananthan (UQ, Australia)  
Takeshi Yao (Kayawa College., Japan)  
Yuichi Anada (Hokkaido Info. Uni., Japan)  
K. Srinivas REDDY, (IIT-Madras, India)  
Young S. CHAI (Youngnam Uni., Korea)  
Ken Miyata (Yamagata University, Japan)  
Lui Ying (Beijing Jiaotong University, China)  
Ingo Stadler (TH Köln, Germany)  
Franz Dunkel (RWTH Aachen University)

Arkom Kaewrawang	(KKU, Thailand)
Kitipich Meesawas	(KKU, Thailand)
Singthong pattanasetthanon	(MSU, Thailand)
Pichipong Soontornpipit	(MUT, Thailand)
Chanon Warisan	(KMUTT, Thailand)
Wannaree Wongthirarat	(RMUTT, Thailand)
Surachai Ongkittikul	(MUT, Thailand)
Yuttana Kamsuwan	(CMU, Thailand)
Jukkrit Tugapanij	(MUT, Thailand)
Worawat Sa-ngiamwibool	(MSU, Thailand)
kitipong Tonmitr	(KKU, Thailand)
<b>Publicity Chair</b>	
Somchai Biansoongnern	(RMUTT, Thailand)
<b>Website Chair</b>	
Patrapee Sunanthapoj	(RMUTT, Thailand)
<b>Registration Chair</b>	
Cattareeya Suwannasri	(KMUTT, Thailand)
Sumonman Niamlang	(RMUTT, Thailand)
<b>Financial Chair</b>	
Wanchai Chankaipol	(SPU, Thailand)
Aphichata Thongrak	(RMUTT, Thailand)
Sommart Sang-ngern	(MUT, Thailand)
<b>Local Arrangement Chair</b>	
Amnoiy Reungwaree	(RMUTT, Thailand)
Phongsak Ampha	(RMUTT, Thailand)
Sorapong Pawasupree	(RMUTT, Thailand)
<b>General Secretariat</b>	
Nathabhat Phankong	(RMUTT, Thailand)



### List of 196 Reviewers

Title	Full Name	Email	Department	Organization
Dr.	Kidsanapong Puntsri	kidsanapong.pu@rmuti.ac.th	Electronics and telecommunications	Rajamangala University of Technology Isan, Khon-Kean Campus
Dr.	Charinsak Saetiaiw	charinsak.sa@rmuti.ac.th	Department of Electronics and Telecommunication Engineering	Rajamangala University of Technology Isan, Khon-Kean Campus
Asst. Prof. Dr.	Kunnthphong Srisathit	kunnthphong.sri@rmutr.ac.th	Research Group for Communication Innovations (ReG-CIs)/Telecommunication Engineering Department	Rajamangala University of Technology Rattakosin
Dr.	Umarin Sangpanich	umarin@eng.src.ku.ac.th	Faculty of Engineering at Sriracha / Department of Electrical Engineering	Kasetsart University Sriracha Campus
Asst. Prof. Dr.	Nattapong Phanthuna	nattapong.p@rmutp.ac.th	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon / Faculty of Engineering	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Assoc. Prof. Dr.	MONTREE SIRIPRUCHYANUN	mts@kmutnb.ac.th	Dept. of Teacher Training in Electrical Engineering	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Dr.	Warin Sootkaneung	warin.s@rmutp.ac.th	Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Asst. Prof.	Siraphop Tooprakai	paiboon73@gmail.com	Telecommunication Engineering	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Asst. Prof. Dr.	Apichan Kanjanavapastit	apichank@hotmail.com	Computer and Communication Engineering	Udonthani Rajabhat University
Assoc. Prof. Dr.	Krischonme Bhumkittipich	krischonme.b@rmutt.ac.th	Department of electrical engineering, Faculty of Engineering	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst. Prof. Dr.	Nattachote Rugthaicharoenchep	nattachote@ieee.org	Electrical Engineering	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Asst. Prof.	Wipaan Narksarpv	wipavan.nar@siam.edu	Electrical Engineering	Siam University
Asst. Prof. Dr.	Werapon Chiracharit	werapon.chi@kmutt.ac.th	Faculty of Engineering	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Asst. Prof. Dr.	Samroeng Hintamai	samroeng.hi@spu.ac.th	2410/2 Phaholyothin Road, Chatuchak, Bangkok.	Sripatum University
Assoc. Prof. Dr.	Deacha Puangdownreong	deachap@sau.ac.th	Electrical Engineering	South East Asia University
Assoc. Prof. Dr.	Sarawuth Chaimool	jaounarak@gmail.com	KMUTNB	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Dr.	Arkorn Palamanit	energy_man001@hotmail.com	Energy Systems Research Institute	Prince of Songkla University

Assoc. Prof. Dr.	chanchai thongsopa	chan@sut.ac.th	Electronic Engineering	Suranaree University of Technology
Asst. Prof. Dr.	supakit kawdungta	supakitting@hotmail.com	Electronic and telecommunication engineering, faculty of engineering	Rajamangala University of Technology Lanna (RMUTL)
Dr.	Tossapol Tippo	tossapol.tip@rmutr.ac.th	Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Dr.	Nitikorn Silsirivanich	nitikorn1977@gmail.com	Facility Management, Faculty of Architecture and design	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Dr.	Wuthiporn Loedwassana	wuthipor@mut.ac.th	Telecommunication Department	Mahanakorn University of Technology
Asst. Prof. Dr.	Chaiwat Sakul	chaiwatsakul@gmail.com	Faculty of Engineering	Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang Campus
Asst. Prof. Dr.	Ravee Phromlounsri	phravee@gmail.com	Computer and Communication Engineering	Udonthani Rajabhat University
Asst. Prof. Dr.	PISIT WISUTMETHEEKORN	pisit.w@cit.kmutnb.ac.th	Electronics Engineering Technology	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Asst. Prof. Dr.	Chanchai Dechthummarong	chanemth@gmail.com	Electrical Engineering	Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Mai
Assoc. Prof.	Panich Intra	panich_intra@yahoo.com	RUEB	Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Mai
Asst. Prof.	Sirichai Dangeam	d_sirichai@hotmail.com	Department of Electrical Engineering	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst. Prof. Dr.	Sakhon Woothipatanapan	sakhon.w@rmutp.ac.th	Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Asst. Prof.	Tanasanee Phienthrakul	tanasanee@gmail.com	Department of Computer Engineering	Mahidol University
Assoc. Prof.	Piya Kovintavewat	pkovintavewat@hotmail.com	Faculty of Science and Technology	Nakhon Pathom Rajabhat University
Assoc. Prof.	SAMPHAN PHROMPICHAI	samphan100@gmail.com	ELECTRONIC DEPARTMENT	Mahanakorn University of Technology
Dr.	Mongkol Meeloon	mongkolmee55@gmail.com	Bureau of Technology and Information Systems Center	Department of Special Investigation (DSI)
Asst. Prof. Dr.	Boonchai Boonchu	boonchai@mut.ac.th	Electronic Engineering Department	Mahanakorn University of Technology
Asst. Prof. Dr.	Sommaipivsa-Art	sommaip@en.rmutt.ac.th	Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Dr.	Sisuda Chaithongsuk	sisuda_ch@hotmail.com	Electrical Engineering	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Assoc. Prof.	preecha sakarung	preecha.sakarung@gmail.com	electrical engineering	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi



Dr.	Pimolpun Niamlang	Pimolpun.kam@rmutr.ac.th	Department of materials engineering	Rajamangala University of Technology Rattakosin
Dr.	Orapin Channumsin	orapin.ch@rmuti.ac.th	Electronic and Telecommunication Engineering	Rajamangala University of Technology Isan
Asst. Prof.	Montree Kumngern	kkmontre@gmail.com	Faculty of Engineering	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Dr.	Santi Nuratch	santi.inc.kmutt@gmail.com	Control System and Instrumentation Engineering, KMUTT	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Dr.	Nithiwatthn Choosakul	cnwatthn@rmutt.ac.th	Division of Physics, Faculty of Science and Technology	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
M.Eng	supawat Kamtip	supawatkamtip@gmail.com	Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assoc. Prof.	Napat Watjanatepin	watjanatepin.n@gmail.com	Electrical Engineering	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Asst. Prof. Dr.	Uthen KAMNARN	uthen@rmutl.ac.th	Electrical Engineering	Rajamangala University of Technology Lanna (RMUTL)
Asst. Prof. Dr.	Pichid Kittisuwan	pichidkit@yahoo.com	Telecommunication Engineering	Rajamangala University of Technology Rattakosin
Asst. Prof.	Winadda Wongwiriyan	winadda.wo@kmitl.ac.th	College of Nanotechnology	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Asst. Prof. Dr.	Suriya Kaewarsa	suriya_ka@hotmail.com	Electrical Engineering	Rajamangala University of Technology Isan
Asst. Prof. Dr.	Chuntip Sakulphaemaruehai	chuntip.s@en.rmutt.ac.th	Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst. Prof. Dr.	Yutthana Kanthaphayao	yutthana.k@rmutsb.ac.th	Electrical Engineering	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Asst. Prof.	Dr.-Ing. Supakij Suttiruengwong	suttiruengwong_s@su.ac.th	Materials Science and Engineering	Sipakorn University
Dr.	Jukkrit Tagapanij	jukkrit@hotmail.com	Communications Engineering	Mahanakorn University of Technology
Asst. Prof. Dr.	Wanchai Khamsen	wanchai.kh@hotmail.com	Electrical Engineering	Rajamangala University of Technology Lanna (RMUTL)
Assoc. Prof. Dr.	Napaporn Phuangpornpitak	napaporn.ph@ku.ac.th	Faculty of Science and Engineering	Kasetsart University
Dr.	Kittiwann Nimkerdphol	kittiwann.n@en.rmutt.ac.th	Computer Engineering	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assoc. Prof.	Worapong Tangsrirat	worapong.ta@kmitl.ac.th	Faculty of Engineering	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Asst. Prof. Dr.	Chokchai Sangdao	chokchai@mut.ac.th	Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering	Mahanakorn University of Technology
Dr.	Sumonman Niamlang	Sumonman.n@en.rmutt.ac.th	Mme	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Dr.	Supaphorn Thumsorn	nooh17@gmail.com	Future Applied Conventional Technology Centre	Kyoto Institute of Technology
Asst. Prof. Dr.	Nathabhat Phankong	nathabhat.p@en.rmutt.ac.th	Electrical Engineering	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Dr.	Pollakrit Toonkum	pollakrit_t@hotmail.com	College of Integrated Science and Technology	Rajamangala University of Technology Lanna (RMUTL)
Dr.	Wathanaphon Cheewawuttipong	c.wathanaphon@gmail.com	industrial Enginaaerin	Rajamangala University of Technology Srivijaya
Dr.	Paiwan Kerdtuad	paiwan.ke@rmuti.ac.th	Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering	Rajamangala University of Technology Isan, Khon-Kean Campus
Dr.	Ekasit Nugoolcharoenlap	ekasit.nug@rmutr.ac.th	Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Dr.	Sukritta Paripurana	sukritta.p@gmail.com	Department of Electrical and Computer Engineering	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Asst. Prof. Dr.	NOPPORN PATCHARAPRAKITI	pnopporn@rmutl.ac.th	Electrical Engineering	Rajamangala University of Technology Lanna (RMUTL)
Dr.	Warit Wichakool	warit.wi@psu.ac.th	Electrical Engineering Dept., Faculty of Engineering	Prince of Songkla University
Assoc. Prof.	Chemical Engineering	pongsri.s@en.rmutt.ac.th	Chemical Engineering	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assoc. Prof.	Boonyang Plangklang	pboonyang@gmail.com	Electrical Engineering	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Dr.	Kunjana Chaiamarit	kunjana_jane@hotmail.com	Department of Electrical Engineering	Rajamangala University of Technology Isan, Khon-Kean Campus
Dr.	Yutthapong Tuppadung	ytuppadung@gmail.com	Engineering an Training Business Unit	PEA ENCOM International Co., Ltd.
Dr.	Pasist	pasist.s@rmutp.ac.th	Suwanapingkarl	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Assoc. Prof. Dr.	Vittaya Tipsuwanporn	vittaya.ti@kmitl.ac.th	Instrumentation Control Engineering	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Asst. Prof. Dr.	Prajuab Pawarangkoon	juabjung@yahoo.com	Department of Electronic Engineering	Mahanakorn University of Technology
Dr.	Nuttee Thungsuk	nuttee.t@dru.ac.th	Department of Electrical Engineering	Dhonburi Rajabhat University, Samut Prakan Campus
Dr.	Teerin Kongpun	teerin.kon@rmutr.ac.th	Material Engineering, Faculty of Engineering	Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Asst. Prof. Dr.	Electrical Engineering	p_aarekul@yahoo.com	Engineering and Technology	Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang Campus
Asst. Prof. Dr.	Pramuk Unahalekhaka	sabuy8888@hotmail.com	Electrical Engineering	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Dr.	Phongthep Ruxpakawong	thep@psru.ac.th	Faculty of Science and Technology	Pibulsongkram Rajabhat University
Asst. Prof. Dr.	Watchara Wongpanyo	wwatchara@hotmail.com	Renewable Energy department, School of Energy and Environment	University of Phayao
Asst. Prof. Dr.	Siriwat Wasoontarajaroen	siriwat007@yahoo.com	Faculty of Engineering	Rajamangala University of Technology Isan
Dr.	Teeravisit Laohapensaeng	teeravisit.lao@mfa.ac.th	School of Information Technology	Mae Fah Luang University
Dr.	Maleeya Tangjitjatsada	maleeya72@gmail.com	Faculty of Engineering and Architecture	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Assoc. Prof. Dr.	Nattha Jindapetch	nathas@psu.ac.th	Prince of Songkla University / Department of Electrical Engineering	Prince of Songkla University
Dr.	suthasinee kuptabut	skuptabut@gmail.com	department of computer , faculty of science and technology	Sakon Nakhon Rajabhat University
Assoc. Prof. Dr.	Chawasak Rakpenthai	chawasak@hotmail.com	Electrical Engineering	University of Phayao
Asst. Prof. Dr.	WIROT PONGLANGKA	wirot.ci@gmail.com	Electronic Department, Faculty of Engineering, Rajamangala University Of Technology Lanna Chiangrai	Rajamangala University of Technology Lanna (RMUTL)
Asst. Prof. Dr.	Dr.Sithidet Vachirasricirikul	sithidetv@hotmail.com	University of Phayao	University of Phayao
Dr.	Apiwat Lek-uthai	apiwat.l@chula.ac.th	Department of Electrical Engineering	Chulalongkorn University
Asst. Prof. Dr.	Suparek Janjarasjitt	suparek.j@ubu.ac.th	Department of Electrical and Electronic Engineering	Ubon Ratchathani University
Assoc. Prof. Dr.	Benjamas Panomruttanarug	benjamas.pan@kmutt.ac.th	KMUTT, Department of Control and Instrumentation Engineering	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Dr.	Teerasak Somsak	dhirasak@gmail.com	CISAT	Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Mai
Asst. Prof. Dr.	Arthit Sode-Yome	ee487000@hotmail.com	Electrical Engineering	Siam University
Asst. Prof. Dr.	Supakit Kawdungta	supakitting@gmail.com	Faculty of Engineering, Electronic and telecommunication engineering	Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Mai
Dr.	Pichet Moeikham	moei76@hotmail.com	Faculty of Electrical engineering (Chiangrai)	Rajamangala University of Technology Lanna (RMUTL)

Assoc. Prof.	Wuttipong Kumwilaisak	wuttipong.kum@kmutt.ac.th	ENE	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Asst. Prof.	Somphop Rodamporn	somphop@g.swu.ac.th	Faculty of Engineering , Computer Department	Srinakharinwirot University
Assoc. Prof. Dr.	Kongpan Areerak	kongpan@sut.ac.th	School of Electrical Engineering, Institute of Engineering	Suranaree University of Technology
Assoc. Prof.	Panjai Tantatsanawong	panjai@gmail.com	Computing Department	Sipakorn University
Assoc. Prof. Dr.	Sermsak Uatrongjit	sermsak@eng.cmu.ac.th	Department of Electrical Engineering	Chiang Mai University
Asst. Prof.	Chanchana Tangwongsan	tchanchana@yahoo.com	Electrical Engineering	Chulalongkorn University
Assoc. Prof.	Somyot Kaitwanidvilai	drsomyot@gmail.com	Faculty of Engineering	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Asst. Prof. Dr.	PAITON RAKLUEA	paiton_r@rmutt.ac.th	Department of Electronic and Telecommunication Engineering	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst. Prof. Dr.	Niwat Angkawisittpan	niwat.a@msu.ac.th	Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering	Maharakham University
Asst. Prof.	Kiattisin Kanjanawanishkul	kiattisin.k@msu.ac.th	Engineering	Maharakham University
Assoc. Prof. Dr.	Nisai Fuengwarodsakul	nisai.f@tggs.kmutnb.ac.th	The Sirindhorn International Thai-German Graduate School of Engineering	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Assoc. Prof. Dr.	Vuttipon Tarateeraseth	vuttipon@g.swu.ac.th	Electrical Engineering	Srinakharinwirot University
Dr.	Kornchawal Chaipah	kornchawal@kku.ac.th	Faculty of Engineering	Khon Kaen University
Asst. Prof. Dr.	Supachate Innet	supachate_inn@utcc.ac.th	Computer Engineering and Multimedia	University of the Thai Chamber of Commerce
Asst. Prof.	Nachirat Rachburee	nachirat.r@en.rmutt.ac.th	Faculty of Engineering	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst. Prof. Dr.	CHAIYACHET SAIWICHIT	chaiyachet.s@chula.ac.th	Electrical Engineering Department	Chulalongkorn University
Assoc. Prof.	Toempong Phetchakul	toempong.ph@kmitl.ac.th	Faculty of Engineering, Electronic Department	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Dr.	Supattana Nirukkanaporn	supattana@rsu.ac.th	Electrical Engineering	Rangsit University
Asst. Prof.	Wipavan Narksarp	wipavann@gmail.com	Electrical Engineering	Siam University
Asst. Prof. Dr.	Vorapoj Patanavijit	patanavijit@yahoo.com	Engineering	Assumption University
Asst. Prof. Dr.	Suwat Pattaramalai	suwat_pat@kmutt.ac.th	Electronic and Telecommunication Engineering	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Asst. Prof.	Suparerk Manitpornsut	suparerk_man@utcc.ac.th	Computer Engineering	University of the Thai Chamber of Commerce

Assoc. Prof. Dr.	CHAIWUT CHAT-UTHAI	chaiwut.ch@kmitl.ac.th	Electrical Engineering	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Asst. Prof. Dr.	Rawid Banchuin	rawid_b@yahoo.com	Faculty of Engineering	Siam University
Asst. Prof. Dr.	Chaiyan Jettanasen	kjchaiya@staff.kmitl.ac.th	Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Assoc. Prof. Dr.	worawat sangiamvibool	wor_nui@yahoo.com	Faculty of Engineering Mahasarakham University	Mahasarakham University
Asst. Prof. Dr.	Supawud Nedphokaew	supawud.n@mutp.ac.th	Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Asst. Prof. Dr.	Boonsong Sutapun	boonsong@sut.ac.th	Institute of Engineering	Suranaree University of Technology
Assoc. Prof. Dr.	Werachet Khanngern	kkveerac@yahoo.com	Electrical Engineering Department	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Dr.	Ponlakit Jariyatantiwait	ponlakit.j@mutp.ac.th	Electronics and Telecommunication Engineering	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Asst. Prof. Dr.	Chivalai Temiyasathit	chivalai@gmail.com	International College	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Assoc. Prof. Dr.	Poompat Saengudomlert	poompat.s@bu.ac.th	School of Engineering	Bangkok University
Dr.	Channarong Bammongkol	channarong.b@chula.ac.th	Electrical Engineering	Chulalongkorn University
Asst. Prof. Dr.	Siriroj Sirisukprasert	siriroj.s@ku.th	Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering	Kasetsart University
Asst. Prof.	Mongkol Konghirun	konghirun.1@gmail.com	Electrical Engineering Department	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Asst. Prof.	Chaiyo Thammarat	chaiyot@sau.ac.th	South East Asia University / Electrical Engineering Department	South East Asia University
Asst. Prof.	Chutham Sawigun	csawigun@gmail.com	Mahanakorn Institute of Innovation	Mahanakorn University of Technology
Asst. Prof.	Dr. Komson Daroj	komsond@yahoo.com	Electrical Engineering	Ubon Ratchathani University
Dr.	Rungsimant Sitdhikorn	rungsimu@mut.ac.th	Instrumentation and Mechatronics	Mahanakorn University of Technology
Asst. Prof.	Jedsada Arunruerk	jedsada.a@en.rmutt.ac.th	Computer Engineering	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst. Prof.	APHIBAL PRUKSANUBAL	pruksanubal@yahoo.com	Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Dr.	Apichai Bhatranand	apichai.bha@mail.kmutt.ac.th	Department of Electronic and Telecommunication Engineering	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Asst. Prof.	Sakorn Po-Ngam	sakornpo@hotmail.com	KMUTT/Electrical Engineering	King Mongkut's University of Technology Thonburi

Asst. Prof.	Ong-art Sadmai	ong-art.s@en.rmutt.ac.th	Department of Electrical Engineering	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst. Prof.	Wanchak Lenwari	wanchak.len@kmutt.ac.th	Control System and Instrumentation Engineering	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Assoc. Prof. Dr.	Rachu Puchalard	rachu@mut.ac.th	Telecommunication Engineering	Mahanakorn University of Technology
Asst. Prof.	Nararat Ruangchajjatupon	nararat@kku.ac.th	Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering	Khon Kaen University
Prof.	Varakorn Kasemsuwan	varakornkasemsuwan@yahoo.com	Dept of Electronics, Faculty of Engineering	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Dr.	PROMSAK APIRATIKUL	promsaka@gmail.com	RMUTT	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Dr.	Wanayuth Sanngoen	wanayuth.sa@spu.ac.th	Electrical Engineering	Sripatum University
Asst. Prof. Dr.	Chirawat Kotchasarn	chirawat.k@en.rmutt.ac.th	Electronics and Telecommunications	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Prof. Dr.	David Banjerdpongchai	bdavid@chula.ac.th	Electrical Engineering	Chulalongkorn University
Dr.	Somboon Sooksatra	somboon.s@rsu.ac.th	Electrical Engineering	Rangsit University
Dr.	Upady Hatthasin	UHT@rmutl.ac.th	Computer Engineering Department, Engineering Faculty	Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Mai
Asst. Prof. Dr.	Wannaree Wongtrairat	wannaree_wr@yahoo.com	Electronic Engineering	Rajamangala University of Technology Isan
Dr.	Upady Hatthasin	uht.rmutl2014@gmail.com	Computer Engineering Department, Engineering Faculty	Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Mai
Asst. Prof. Dr.	Nalin Sidahao	sidahao@gmail.com	Electronic Engineering	Mahanakorn University of Technology
Assoc. Prof.	Bhichate Chiewthanakul	bhichi@kku.ac.th	Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering	Khon Kaen University
Assoc. Prof. Dr.	Songphol Kanjanachuchai	songphol.k@chula.ac.th	Chulalongkorn University / Electrical Engineering	Chulalongkorn University
Asst. Prof. Dr.	Chutimet Srinilta	chutimet.sr@kmitl.ac.th	Computer Engineering Department	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Asst. Prof. Dr.	Worakarn Wongsachua	worakarn_w@hotmail.com	Electrical and Electronic Engineering	Ubon Ratchathani University
Dr.	Panuwat Janpugdee	Panuwat.Ja@chula.ac.th	Electrical Engineering Department	Chulalongkorn University
Asst. Prof.	chuttchaval jeraputra	chuttchaval.jer@mahidol.ac.th	electrical engineering dept	Mahidol University
Assoc. Prof. Dr.	Nit Petcharaks	nit.pes@dpu.ac.th	College of Innovative Technology and Engineering	Dhurakij Pundit University



Dr.	Pinit Nuangpirom	hs5qab@hotmail.com	Electrical Engineering	Rajamangala University of Technology Lanna (RMUTL)
Dr.	Piampoom Sarikprueck	piampoom.sa@kmitl.ac.th	Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Prof.	Boonchai	boonchai.t@chula.ac.th	Techaumnat	Chulalongkorn University
Dr.	Pracha Khamphakdi	pracha.k@ubu.ac.th	Department of Electrical and Electronic Engineering, Faculty of Engineering	Ubon Ratchathani University
Dr.	Thanaset Thosdeekoraphat	thanaset@sut.ac.th	Electronics and Telecommunication Engineering	Suranaree University of Technology
Assoc. Prof. Dr.	Trasapong Thaipathump	trasapong@gmail.com	Department of Computer Engineering	Chiang Mai University
Asst. Prof.	Chonlatee Photong	chonlatee.p@msu.ac.th	Maharakham University	Maharakham University
Asst. Prof.	Somsak Walairacht	somsak.wa@kmitl.ac.th	KMITL / Computer Engineering	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Assoc. Prof. Dr.	Montri Karnjanadecha	montri.karn@gmail.com	Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering	Prince of Songkla University
Assoc. Prof. Dr.	Peerapol Yuvapoositanon	peerapol.y@gmail.com	Faculty of Engineering	Mahanakorn University of Technology
Asst. Prof. Dr.	Kitiphol CHITSAKUL	kitiphol.ch@kmitl.ac.th	Electronic Engineering	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Assoc. Prof. Dr.	Anuwat Jangwanitlert	jkjanuwat@gmail.com	Department of Electrical Engineering	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Dr.	Chanyut Karnjanapiboon	chanyut@rmutl.ac.th	Faculty of Engineering	Rajamangala University of Technology Lanna (RMUTL)
Dr.	Kritchai Withephanich	kritchai.withephanich@gmail.com	Cork Institute of Technology	Cork Institute of Technology
Asst. Prof.	Dr. Nirudh Jirasuwankul	nirudh.ji@kmitl.ac.th	Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Dr.	Wichian Ooppakaew	wichian.o@en.rmutt.ac.th	Electronic and Telecommunication Engineering Department Faculty of Engineering	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assoc. Prof.	APINAN AURASOPON	apinan.a@msu.ac.th	Faculty of Engineering	Maharakham University
Dr.	Settawit Poochaya	settawit@sut.ac.th	School of Telecommunication Engineering, Institute of Engineering	Suranaree University of Technology
Dr.	Yuttapong Jiraksopakun	yuttapong.jir@maail.kmutt.ac.th	Electronic and Telecommunication	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Dr.	Doldet Tantraviwat	doldet.tantraviwat@cmu.ac.th	Electrical Engineering Department	Chiang Mai University

Asst. Prof. Dr.	Worawat Nakawiro	nworawat@gmail.com	KMITL, EE	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Dr.	Sudarat Khwan-on	sudarat_kh@sut.ac.th	School of Electrical Engineering	Suranaree University of Technology
Dr.	Pakpum Somboon	pakpum.s@chula.ac.th	Biomedical Engineering Program	Chulalongkorn University
Asst. Prof.	Surapol Jantorn	surapol.ja@spu.ac.th	Department of Electrical Engineering	Sripatum University
Asst. Prof. Dr.	Kunthphong Srisathit	kunthph@gmail.com	Research Group for Communication Innovations (ReG-CIs)/Telecommunication Engineering Department	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Dr.	Chodchanok Attaphong	kachodchanok@gmail.com	Department of Civil Engineering	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Assoc. Prof.	BOONLERT SUECHOEY	tdlert@hotmail.com	Southeast Asia University / Electrical Engineering Dept.	Southeast Asia University
Assoc. Prof.	Preecha Kocharoen	preecha.ko@spu.ac.th	Electrical Engineering and Applied Electronics	Sripatum University
Assoc. Prof. Dr.	Yuttana Kumsuwan	yt@eng.cmu.ac.th	Department of Electrical Engineering	Chiang Mai University
Dr.	Teeraphon Phophongviwat	teeraphon.ph@kmitl.ac.th	Electrical Engineering Dept.	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Assoc. Prof. Dr.	Sanun Srisuk	srisuk.s@gmail.com	Faculty of Engineering	Nakhon Phanom University
Dr.	Danu Wireteurairuang	wadanu@hotmail.com	Faculty of Industrial Technology	Ubon Ratchathani Rajabhat University
Dr.	Tanunchai Boonnuk	boonnuk2002@hotmail.com	Faculty of Science and Technology	Loei Rajabhat University
Dr.	Prajuab Inrawong	prajuab@rmuti.ac.th	Electrical Engineering	Rajamangala University of Technology Isan
Asst. Prof. Dr.	Wuttiwat Kongrattanaprasert	wuttiwat@hotmail.com	Electrical Engineering	Rajamangala University of Technology Krungthep
Asst. Prof. Dr.	Sawat Bunnjaweht	paru4802@hotmail.com	Department of Telecommunication	Mahanakorn University of Technology
Dr.	Chatchai Suppitaksakul	chatchai.s@en.rmutt.ac.th	Faculty of Engineering	Rajamangala University of Technology Thanyaburi

### Country Report of the Submission to iEECON2017

Taiwan	1	India	27
Pakistan	2	Sri Lanka	1
Korea	1	Philippines	1
China	2	Indonesia	4
Egypt	2	Iran, Islamic Republic Of	16
United Kingdom	3	United States	1
South Africa	1	Thailand	190
France	2	Ireland	5
Germany	2	Japan	5
		Bangladesh	4
<b>Totals</b>			<b>270</b>

### Institution Report of the Submission to iEECON2017

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	46
King Mongkut's University of Technology Thonburi	19
Rajamangala University of Technology Thanyaburi	17
Kasetsart University	13
University of Tabriz	13
King Mongkut's University of Technology North Bangkok	12
Pathumwan Institute of Technology	9
Rajamangala University of Technology Isan	9
National Institute of Technology Durgapur	9
Suranaree University of Technology	8
Mahanakorn University of Technology	7
University of Limerick	5
Ahsanullah University of Science and Technology, Dhaka	4
Bangkok University	4
Chulalongkorn University	4
Syed ammal engineering college	4
Srinakharinwirot University	3
Mahidol University	3
National Institute of Technology	3
Rajamangala University of Technology Isan, Khon-Kean Campus	2
Anna University India	2
Assumption University	2
Dhurakij Pundit University	2
North Western Polytechnical University Xian	2
Prince of Songkla University	2
Grenoble Institute of Technology (Grenoble-INP)	2
Swansea University	2
Jawaharlal Nehru Technological University Kakinada, India	2
port said university	2
Kasetsart University Sriracha Campus	2
Rajamangala University of Technology Lanna (RMUTL)	2
Southeast Asia University	2
The University of Electro-Communications	2
Motilal Nehru National Institute of Technology Allahabad, Allahabad, UP, India	2
Naresuan University	2

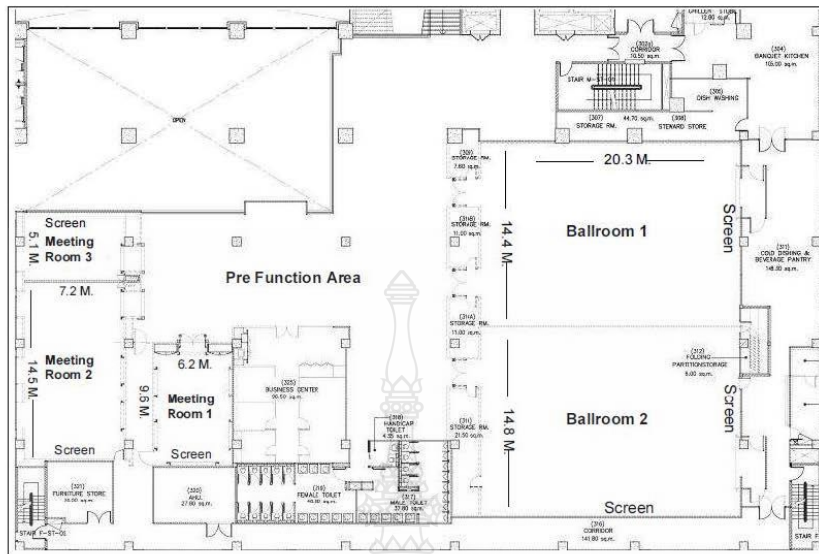
Thammasat University	1
Indian Institute of Technology (BHU) Varanasi	1
University of Santo Tomas	1
South East Asia University	1
Chulachomklao Royal Military Academy	1
Suranaree University of Technology	1
Seoul National University	1
COMSATS Institute of Information Technology	1
Walailak University	1
University of Johannesburg	1
East Bavarian Technical University of Applied Sciences	1
Florida International University	1
Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang Campus	1
Hirosaki University	1
Siemens Power Technologies International	1
Hosei University	1
Indian Institute Of Technology, Madras	1
Toho University	1
Institut Teknologi Bandung	1
Institut Teknologi Sepuluh Nopember	1
University of Zanjan	1
University of Nottingham	1
Iran university of science and technology	1
Rajamangala University of Technology Krungthep	1
Islamic Azad University	1
Jawaharlal Nehru Technological University, Hyderabad, INDIA	1
Rajamangala University of Technology Isan, KhonKhaen Campus	1
Pathumthani University	1
Khon Kaen University	1
Siam university	1
Songkhla Rajabhat University	1
Loei Rajabhat University	1
Madanpalle Institute of Technology and Science	1
State Polytechnic of Cilacap	1
Mahasarakham University	1
University of Indonesia	1
Nakhon Phanom University	1
University of Phayao	1
Naresuan University, Phitsanulok, Thailand	1
Valaya Alongkorn Rajabhat University	1
National Institute of Technology Uttarakhand	1
Nakhonphanom University	1
National Yunlin University of Science and Technology	1
Bahria University, Islamabad	1
North-chiang Mai University	1
NMAMIT, Nitte	1
<b>Totals</b>	<b>270</b>

**IEEECON2017 Conference Program**  
**8-10 March 2017, the Holiday Inn Pattaya, Thailand**

8 March 2017					
13:00-18:30	Registration				
18:30-22:00	IEEECON2017 Welcome Cocktail Reception at Café G Terrace + Poolside				
9 March 2017					
ROOM	Ballroom 1+2	Meeting 1	Meeting 2	Meeting 3	
08:00-10:00	Special Session	Power & Energy	Electronics & Control	Communications	
Paper ID	SS1001,SS1002,SS1004,SS1005,SS1006,SS1007	PE010,PE011,PE058,PE059,PE060,PE093	EC001,EC002,EC003,EC005,EC006,EC008	CM001,CM002,CM009,CM011,CM012,CM013	
Chair	Prof. Dr.Yuthana Khamsuwan (CMU)	Prof. Dr.Prayoot Akkarakthaihin (KMUTNB)	Prof. Dr.Decha Pungdownreong (SAU)	Prof. Dr.Adhikom Rujsabutr (MU)	
Co-Chair	Prof. Dr.Krischoon Bhimikittipich (RMUTT)	Prof. Dr.Somchai Hirarvarodom (RMUTT)	Virote Pirinjanchai, Head of ETC (RMUTT)	Pattarapee Sunantaporn, Head of CT (RMUTT)	
10:00-10:20	Coffee Break				
10:20-10:40	Opening Ceremony (Ballroom 1+2)				
10:40-11:20	Keynote Speaker (KS01): Green Mobility for Smart Future, presented by Professor Dr.T. Haraguchi, Nagoya University, Japan				
11:20-12:00	Keynote Speaker (KS02): Smart-city Research Project, presented by Professor Dr.Teruo Higashino, Osaka University, Japan				
12:10-13:00	Lunch				
ROOM	Ballroom 1	Ballroom 2	Meeting 1	Meeting 2	Meeting 3
13:00-15:00	Power & Energy	Electronics & Control	Communications	Digital Signal Processing	Computer & IT
Paper ID	PE012,PE013,PE014,PE015,PE016,PE017	EC009,EC010,EC017,EC018,EC026,EC028	CM017,CM019,CM021,CM022,CM023,CM026	DS003,DS006,DS007,DS008,DS009,DS010	CT002,CT003,CT005,CT006,CT007,CT010
Chair	Dr.Kolsak Sriprapha (NSTDA)	Prof. Dr.Kosin Jumnongthai (KMUTT)	Prof. Dr.Usama Tuntoolavest (KU)	Prof. Dr.Surachai Ongkittikul (SU)	Prof. Dr. Narong Yoothanom (SU)
Co-Chair	Prof. Dr.Sorapong Pavaapreec (RMUTT)	Prof. Sirichai Dangeam (RMUTT)	Prof.Dr.Jakkree Srinonchat (RMUTT)	Prof. Ong-Art Sadmai (RMUTT)	Nattapol Iia-Oupala, MS.c (RMUTT)
15:00-15:20	Coffee Break				
ROOM	Ballroom 1	Ballroom 2	Meeting 1	Meeting 2	Meeting 3
15:20-17:20	Special Session	Power & Energy	Electronics & Control	Communications	Digital Signal Processing
Paper ID	SS1008,SS1009,SS1010,SS1011,SS1012,SS2001	PE018,PE020,PE022,PE023,PE025,PE026	EC029,EC030,EC031,EC032,EC033,EC034	CM044,CM046,CM027,CM028,CM029,CM030	DS012,DS014,DS015,DS016,DS017,DS018
Chair	Prof. Dr.Surin Ngamngam (RMUTT)	Dr.Sanchai Dechanupaprittha (KU)	Prof. Dr.Kangsan Arcerak (SU)	Dr.Chairol Pakasiri (KMUTL)	Prof. Dr.Surachet Kanprachar (NU)
Co-Chair	Prof. Dr.Yuthana Khamsuwan (CMU)	Prof Prach Dabbang (RMUTT)	Dr.Narongchai O-Charoen (RMUTT)	Dr.Norasit Wichaipanich (RMUTT)	Dr.Suchada Sijongsatoporn (MU)
18:30-22:00	Banquet at Ballroom 1+2				

10 March 2017					
ROOM	Ballroom 1	Ballroom 2	Meeting 1	Meeting 2	Meeting 3
08:00-10:00	Power & Energy	Electronics & Control	Communications	Digital Signal Processing	Computer & IT
Paper ID	PE028,PE029,PE030,PE034,PE037,PE038	EC035,EC036,EC038,EC039,EC040,EC055	CM031,CM033,CM036,CM037,CM038,CM039	DS019,DS020,DS021,DS027,DS023,DS025	CT009,CT011,CT012,CT013,CT014,CT016
Chair	Dr.Chaiyong Somsaphol (RMUTL)	Prof. Dr.Masruce Sirinphinyanun (KMUTNB)	Dr.Poompat Saengudomlert (BU)	Prof. Dr.Peechai Trapaosathanon (MU)	Prof. Dr.Viboon Chumkag (RMUTNB)
Co-Chair	Prof. Pinit Jitjing (RMUTT)	Prof. Dr. Vorapong Patanasvijit (AU)	Dip.Ling Phongsak Ampha (RMUTT)	Dr. Kittirwan Nunkerdphol (RMUTT)	Prof. It-sarin Pitimon (RMUTT)
10:00-10:20	Coffee Break				
ROOM	Ballroom 1	Ballroom 2	Meeting 1	Meeting 2	Meeting 3
10:20-12:20	Power & Energy	Electronics & Control	Digital Signal Processing	Communications	Computer & IT
Paper ID	PE010,PE011,PE043,PE045,PE046,PE047	EC041,EC015,EC046,EC047,EC050,EC051	DS029,DS028,DS029,DS031,DS032,DS033	CM040,CM041,CM047,CM050,CM051,CM054	CT018,CT019,CT021,CT022,CT023,CT025
Chair	Prof. Dr.Thanapong Suwanari (TGGS)	Prof. Dr.Suwit Kravittaya (NU)	Prof.Dr.Supakorn Harnsornjeen (MSU)	Dr.Santi Nuritch (RMUTT)	Dr.Ang. Kideanapong Puntari (RMUTT)
Co-Chair	Dr.Sirichai Triamthlerd (RMUTT)	Prof. Nachirat Rachboree (RMUTT)	Dr.Prasitvor Sittanavongsa (RMUTT)	Prof. Dr. Pantoon Rokkrea (RMUTT)	Dr.Pauline Kongswan (RMUTT)
12:20-13:20	Lunch				
ROOM	Ballroom 1	Ballroom 2	Meeting 1	Meeting 2	Meeting 3
13:20-15:20	Power & Energy	Power & Energy	Communications	Communications	Communications
Paper ID	PE048,PE049,PE050,PE052,PE053,PE054	PE055,PE061,PE062,PE063,PE064,PE065	CM055,CM057,CM058,CM059,CM060,CM061	CM062,CM063,CM064,CM065,CM066,CM067	CT026,DS035,EC052,EC054,PE066,PE117
Chair	Prof.Nephada Wiwatcharagoses (KMUTNB)	Dr.Nattapong Pohi (UP)	Prof. Panyawi Jamjarunglam (RMUTL)	Dr.Pakorn Waramachaturaporn (RMUTL)	Suphaphorn Panichon, M.Eng (RMUTL)
Co-Chair	Promsak Apiratkul, M.Eng (RMUTT)	Nisit Pukronsa, M.Eng (RMUTT)	Prof. Dr.Narant Ruangchaijatanon (KKU)	Prof. Dr.Singthong Pattanasethanon (RMUTT)	Dr.Wichian Owpakaw (RMUTT)
15:20-15:40	Coffee Break				
ROOM	Ballroom 1	Ballroom 2	Meeting 1	Meeting 2	Meeting 3
15:40-17:00	Power & Energy	Power & Energy	Power & Energy	Power & Energy	Power & Energy
Paper ID	PE067,PE070,PE071,PE072,PE075,PE076	PE073,PE079,PE083,PE084,PE086,PE087	PE088,PE089,PE090,PE091,PE092,PE095	PE098,PE099,PE100,PE104,PE105,PE107	PE109,PE110,PE111,PE112,PE113,PE115,PE116
Chair	Prof.Dr.Ken Miyata (Yamagata-U)	Prof. Dr.Pramuk Unahatkhaka (RMUTSB)	Prof. Dr.Chanon Warisam (RMUTL)	Prof. Dr.Sakorn Po-Ngam (RMUTT)	Prof. Dr.Uthen Kammam (RMUTL)
Co-Chair	Prof.Jakkrit Oudhanji (RMUTT)	Prof. Sonchai Bhansoongneem (RMUTT)	Chutchar Chichakul, M.Eng (RMUTT)	Boonyut Chongsat, M.Eng (RMUTT)	Chamon Chongsat, M.Eng (RMUTT)
End of the IEEECON2017, see you in IEEECON2018 at Krabi Thailand					

# Each paper for 15 Mins, Q&A for 5 Mins, total 20 Mins.  
 # Paper Number neglecting the decimal point





CONTENTS

<b>KS02</b>	<b>Social CPS Research for Smart and Connected Communities</b>	<b>K-1</b>
	Teruo Higashino <i>Osaka University, Japan</i>	
<b>SS1001</b>	<b>Single-Phase Grid-Connected Voltage Source Converter for LCL Filter with Grid-Current Feedback</b>	<b>1</b>
	Ahmad Ali, Prabhuraj Shanmugham, Sakda Somkun <i>Naresuan University Phitsanulok, Thailand</i>	
<b>SS1002</b>	<b>Discontinuous Gate-Drive Signals for a Three-Phase Three-Switch Unidirectional Delta-Type Rectifier Based on 2L-SVM Analysis of a Vienna Rectifier</b>	<b>9</b>
	Ong-art Tubburee, Yuttana Kumsuwan <i>Valaya Alongkorn Rajabhat University, Thailand</i>	
<b>SS1004</b>	<b>Approximate 2-Degree-of-Freedom Digital Control of an Interleaved Low Voltage DC-DC Buck Converter</b>	<b>13</b>
	Kento Ogiwara, Kohji Higuchi, Tomoaki Sato, Suttichai Premrudeepreechacharn, Kamon Jirasereeamornkul <i>The University of Electro-Communications Tokyo, Japan</i>	
<b>SS1005</b>	<b>Robust Digital Control of a Class-D Amplifier with Low Switching Frequency for Vibration Generator</b>	<b>17</b>
	Kazuki Hanabusa, Kohji Higuchi, Tatsuyoshi Kajikawa, Suttichai Premrudeepreechacharn, Kamon Jirasereeamornkul <i>The University of Electro-Communications Tokyo, Japan</i>	
<b>SS1006</b>	<b>Large-Signal Model of DC Micro-grid Systems Feeding a Constant Power Load</b>	<b>21</b>
	Jakkrit Pakdeeto, Kongpan Areerak, Kongpol Areerak <i>Suranaree University of Technology, Thailand</i>	
<b>SS1007</b>	<b>Detection Mechanical Fault of Induction Motor Using Harmonic Current and Sound Acoustic</b>	<b>25</b>
	Supachai Prainetr, Santi Wangnippanto, Satean Tunyasirut <i>Pathumwan Institute of Technology, Thailand</i>	
<b>SS1008</b>	<b>Optimization PI Controller of Grid Connected for Wind Turbine Based on PMSG</b>	<b>29</b>
	W.Jaikhang, S.Tunyasirut, W.Permpoonsinsup <i>Pathumwan Institute of Technology, Thailand</i>	
<b>SS1009</b>	<b>Artificial Neural Network Model for Wind Energy on Urban Building in Bangkok</b>	<b>33</b>
	B.Chainok, S.Tunyasirut, S.Wangnippanto, W.Permpoonsinsup <i>Pathumwan Institute of Technology, Thailand</i>	
<b>SS1010</b>	<b>Embedded Control System with PID Controller for Comfortable Room</b>	<b>37</b>
	K. Janprom, S. Wangnippanto, W. Permpoonsinsup <i>Pathumwan Institute of Technology, Thailand</i>	
<b>SS1011</b>	<b>Hourly Load Forecasting of Power System over Northeastern Thailand Using Artificial Neural Network</b>	<b>41</b>
	H.Butwiengpun, S. Tunyasirut, S. Wangnippanto, W. Permpoonsinsup <i>Pathumwan Institute of Technology, Thailand</i>	
<b>SS1012</b>	<b>Mathematical Modelling and Simulation of Phase Advance Angle for Brushless DC Motor</b>	<b>45</b>
	M. Boonpramuk, S. Tunyasirut, W.Permpoonsinsup, D. Puangdownreong <i>Pathumwan Institute of Technology, Thailand</i>	
<b>SS2001</b>	<b>Toward Quantum State Manipulation in Twin InSb/GaAs Quantum Dots</b>	<b>49</b>
	Suwit Kiravittaya, Supachok Thainoi, Zen, Somchai Rafanathamaphan, Songphol Kanjanachuchai, and Somsak Panyakeow <i>Naresuan University, THAILAND</i>	

CONTENTS

<b>PE010</b>	<b>Optimal Placement Model of TCSC in Power System Network Considering the Budget available</b>	<b>53</b>
	Esrom Mahlatsi Malatji, Bhekisipho Twala, Nhlanhla Mbuli <i>University of Johannesburg, Johannesburg, South Africa</i>	
<b>PE011</b>	<b>Proportional plus Resonant Control for Active Power Filter in Unbalanced System</b>	<b>57</b>
	Phonsit Santiprapan, Kongpol Areerak and Kongpan Areerak <i>Suranaree University of Technology, Thailand</i>	
<b>PE012</b>	<b>The Dynamic Model of Electrical Aircraft System Feeding a Buck-Boost Converter</b>	<b>61</b>
	Wiphusana Chayinthu, Kongpan Areerak, Kongpol Areerak <i>Electrical Engineering Pathumthani University, Thailand</i>	
<b>PE013</b>	<b>Fuzzy Based Random Pulse Width Modulation Technique for Performance Improvement of Induction</b>	<b>65</b>
	Sadanandam Perumandla, P.Poonam Upadhyay, A.Jaya Laxmi <i>EEE,INTUH, Hyderabad Telangana State, India</i>	
<b>PE014</b>	<b>Improvement of Flux-weakening Control of Surface Mounted Permanent Magnet Synchronous Machine Considering Inverter Nonlinearity</b>	<b>69</b>
	N. Pothi <i>University of Phayao, Thailand</i>	
<b>PE015</b>	<b>Adaptive Power Flow Control for Reducing Peak Demand and Maximizing Renewable Energy Usage</b>	<b>73</b>
	Seksak Pholboon, Mark Sumner, Petros Kounnos <i>University of Nottingham, UK</i>	
<b>PE016</b>	<b>Analysis and Modeling of Wind Turbine Generators Considering Frequency Controls</b>	<b>77</b>
	Papob Lertapanon, Wijarn Wangdee <i>King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand</i>	
<b>PE017</b>	<b>Low-Voltage Distribution System Planning under Load Demand Uncertainty: Growth Rate with Connection of New Loads</b>	<b>81</b>
	V.Vai, E. Gladkikh, B. Raison, M.C. Alvarez-Herault and L. Bun <i>Grenoble Institute of Technology, France</i>	
<b>PE018</b>	<b>Optimized Energy Management of Plug-in Electric Vehicles in a Green Residential Building</b>	<b>85</b>
	Farkhondeh Jabari, Mohammad-Bagher Barnae-Sharifian, Behnam Mohammadi-ivatloo <i>University of Tabriz, Iran</i>	
<b>PE020</b>	<b>A Discussion on the Optimal Selection of Parameters for Determination of Engine Dimensions in a Diesel Electric (DE) Power Station</b>	<b>89</b>
	Fahd Ali Shifa <i>COMSATS Institute of Information Technology, Pakistan</i>	
<b>PE022</b>	<b>Polarimetric RCS Signature of Canonical Target in Dense Grass Area Using GB-SAR Environment</b>	<b>93</b>
	Sittichai Kaewthai, Sakorn Po-Ngam <i>King's Mongkut University of Technology Thonburi, Thailand</i>	
<b>PE023</b>	<b>SRF and Real Power Theory based Control of a Nine Switch Converter based UPQC</b>	<b>97</b>
	Sudheer Vinnakoti, Venkata Reddy Kota <i>Jawaharlal Nehru Technological University Kakinada, India</i>	
<b>PE025</b>	<b>The Hybrid Photovoltaic Energy System for Electric Vehicle Battery Charger</b>	<b>101</b>
	Jatuporn Changstisuk, Sakorn Po-Ngam <i>King's Mongkut University of Technology Thonburi, Thailand</i>	
<b>PE026</b>	<b>PFC based SEPIC Converter Fed BLDC Motor with Torque Ripple Minimization Approach</b>	<b>105</b>
	Bapayya Naidu Kommula, Venkata Reddy Kota <i>Jawaharlal Nehru Technological University Kakinada, India</i>	

CONTENTS

<b>PE028</b>	<b>A Controller Design of More Electric Aircraft Power Systems Using an Adaptive Tabu Search Algorithm</b>	<b>109</b>
	Apichai Suyapan, Kongpan Areerak and Kongpol Areerak <i>Suranaree University of Technology, Thailand</i>	
<b>PE029</b>	<b>The Maximum Power Point Tracking for Stand-Alone Photovoltaic System using Current Based Approach</b>	<b>113</b>
	Chavaree Thueanpangthaim, Patumporn Wongyai, Kongpan Areerak and Kongpol Areeeak <i>Suranaree University of Technology, Thailand</i>	
<b>PE030</b>	<b>Design of Zero Energy Consumption Home System in Bangkok for Energy Efficient Plan 2015</b>	<b>117</b>
	Nidchabendha Chandanachulaka, Werachet Khan-ngern <i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand</i>	
<b>PE034</b>	<b>Simulation of Ultrasonic Cleaning and Ways to Improve the Efficiency</b>	<b>121</b>
	Worapol Tangsopha, Jatuporn Thongsri, Wuthikrai Busayaporn <i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand</i>	
<b>PE037</b>	<b>Wide-Area Visualization Tool Development for Displaying Thailand Power Grid Dynamics</b>	<b>125</b>
	Bo Sriraphanth, Wijarn Wangdee, Phanuwat Phunkasem, Bundit Tanboonjit, Sompol Chummanvanichkul <i>KMUTNB, Thailand</i>	
<b>PE038</b>	<b>Study of Low-Voltage Distribution System with Decentralized PV-BES and Centralized BES for Rural Village in Developing Country</b>	<b>129</b>
	V.Vai, B. Raison, M.C. Alvarez-Herault, L. Bun <i>Grenoble Institute of Technology, France</i>	
<b>PE040</b>	<b>Modeling and Control of Dual Parallel BLDC Motor Drive System with Single Inverter</b>	<b>133</b>
	Mohsen Ebadpour, Mohammad-Bagher Bannae-Sharifian, Ebrahim Babaei <i>University of Tabriz, Iran</i>	
<b>PE041</b>	<b>Effect of Calcination Temperature on Structural of Nanosheets from Natural Magnetic Leucoxene Mineral Prepared by Hydrothermal Method</b>	<b>137</b>
	Wissanu Charerntanom, Narongchai O-Charoen, Variatha Chobpattana, Sorapong Pavasupree <i>Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand</i>	
<b>PE043</b>	<b>The Micro-Grid Connected Single-Phase Photovoltaic Inverter with Simple MPPT Controller</b>	<b>141</b>
	Supattra Sukatjasakul, Sakorn Po-Ngam <i>King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand</i>	
<b>PE045</b>	<b>Optimal Scheduling of Variable Speed Pumps in Mahasawat Water Distribution Pumping Station</b>	<b>145</b>
	Tomorn Soonthornnapha <i>Siam University, Thailand</i>	
<b>PE046</b>	<b>Simplify and Automate the Boost Converter Design regarding Mode of Controller and Feedforward Technique</b>	<b>149</b>
	Tad Chotiwantrakul, Pisit Liutanakul, Nophadon Wiwatcharagoses <i>King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand</i>	
<b>PE047</b>	<b>Polarity Effect of Pulsed Corona Discharge Plasma on Seed Surface Modification</b>	<b>153</b>
	Nathaporn Khamseen, Pawita Bunne, Varakorn Kasemsuwan, Kulsawasd Jitkajornwanich, Achara Pichetjamroen, Nithiphat Teerakawanich and Siwapon Srisonphan <i>Kasetsart University, Thailand</i>	
<b>PE048</b>	<b>Characteristic Analysis of Electrical Generator Using Nonlinear Resonance Phenomena</b>	<b>157</b>
	Tatsuhito Aihara <i>Hosei University Koganei-shi, Japan</i>	
<b>PE049</b>	<b>Analysis of a direct PV application for LED bulbs in daytime without DC to AC Converter and Battery</b>	<b>161</b>
	Anuchit aurairat, Boonyang Plangklang <i>Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand</i>	

CONTENTS

<b>PE050</b>	<b>A Simple Dead-Time Compensation Technique for Single-Phase Full-Bridge PWM Rectifier</b>	<b>165</b>
	Hatta Sawachan, Pisit Liutanakul and Nophadon Wiwatcharagoses <i>King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand</i>	
<b>PE052</b>	<b>Coordinate Operation of Fuzzy Logic Voltage Regulator and Bi-2212 SFCL for Enhancing Fault Ride Through Capability of DFIG Wind Turbines</b>	<b>169</b>
	Sillawat Romphochai, Achara Pichetjamroen, Nithiphat Teerakawanich and Komsan Hongesombut <i>Kasetsart University, Thailand</i>	
<b>PE053</b>	<b>Electricity Bill Forecasting Application by Home Energy Monitoring System</b>	<b>173</b>
	Chamon Chupong, Boonyang Plangklang <i>RMUTT, Thailand</i>	
<b>PE054</b>	<b>Analysis of Temperature in Solar Thermal By 3-D Finite Element Method</b>	<b>177</b>
	Issaraporn Amornsawatwattana, Padej Pao-la-or <i>Suranaree University of Technology, Thailand</i>	
<b>PE055</b>	<b>Grounding System Design of Substation Using Matlab Program</b>	<b>181</b>
	Prateep Kapijan, Siriwat Potivejkul and Peerawat Yutthagowith <i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand</i>	
<b>PE058</b>	<b>Electrical Characteristics of Natural Ester Based Nanofluid</b>	<b>185</b>
	S. Potivejkul, K. Jariyanurat, N. Pattanadech and W. Wattakapaiboon <i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand</i>	
<b>PE059</b>	<b>Electrical Characteristic Comparison of Mineral Oil and Natural Ester for Transformer applications</b>	<b>189</b>
	N. Pattanadech, K. Jariyanurat, S. Maneerot, P. Nimsanong <i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand</i>	
<b>PE060</b>	<b>Partial Discharge Characteristics of Mineral Oil Compared with Natural Ester</b>	<b>193</b>
	N. Pattanadech, K. Jariyanurat, S. Maneerot, P. Nimsanong <i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand</i>	
<b>PE061</b>	<b>Comparison of vector control of Two-Phase Induction motor using continuous and discontinuous SVPWM in terms of switching losses investigations</b>	<b>197</b>
	Rungwicha Chaiyot, Vijit Kinnaree and Supat Kittiratsatcha <i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand</i>	
<b>PE062</b>	<b>The Improvement of LVRT Criteria for Wind Generation in PEA Transmission Grid</b>	<b>201</b>
	Watchara Yodkaew, Weerawoot Kanokbannakom, Siriroj Sirisukprasert <i>Kasetsart University, Thailand</i>	
<b>PE063</b>	<b>Automate of Capacitor Placement in Microgrid System under EVs Load Penetration</b>	<b>205</b>
	Yuttana Kongjeen, Krischonme Bhumkittipich and Krittidet Buayai <i>Rajamangala University of Technology Thunyaburi, Thailand</i>	
<b>PE064</b>	<b>A Novel Power Output Model for Photovoltaic System</b>	<b>209</b>
	Songkiate Kittisontirak, Phasapon Manosukritkul, Promphak Dawan, Perawat Chinnavornrungeee, Aswin Hongsingthong, Narin Atiwongsangthong, Kobsak Sriprapha and Wisut Titiroongruang <i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand</i>	
<b>PE065</b>	<b>Comparison of PV Estimation Model with Measured PV Power Output</b>	<b>212</b>
	Songkiate Kittisontirak, Phasapon Manosukritkul, Amornrat Limmanee, Nopphadol Sitthiphol, Surasak Nierncharoen, Kobsak Sriprapha and Wisut Titiroongruang <i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand.</i>	
<b>PE066</b>	<b>Verification of new model by comparison with actual data</b>	<b>215</b>
	Phasapon Manosukritkul, Songkiate Kittisontirak, Kobsak Sriprapha, Wisan Tangwongcharoen and Wisut Titiroongruang <i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand.</i>	

CONTENTS

<b>PE067</b>	<b>The New Simulation Model for Estimating PV Power Output</b>	<b>218</b>
	Phasapon Manosukritkul, Songkiate Kittisontirak, Sasiwimon Songtrai, Kobsak Sriprapha, Wisut Titiroongruang <i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand</i>	
<b>PE070</b>	<b>A Low-Cost Flyback Converter with Primary Side Regulation for a TV Set Top Box</b>	<b>221</b>
	Bundit Khemmanee, Nontawat Chuladaycha, and Chanin Bunlaksananusom <i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand</i>	
<b>PE071</b>	<b>Feasibility of Reduced Order Modelling of Z-Source Impedance Network: Applications for Switching Power Converter Designs</b>	<b>225</b>
	Theeranon Chaikyakun, Pisit Liutanakul, and Nophadon Wiwatcharagoses <i>King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand</i>	
<b>PE072</b>	<b>Efficiency of thermal energy with Evacuated vacuum tubes</b>	<b>229</b>
	W.JAMRATNAW <i>Loei Rajabhat University, Thailand</i>	
<b>PE075</b>	<b>Modeling of Rate of Change of Under Frequency Relay for Microgrid Protection</b>	<b>233</b>
	Naowarat Tephiruk, Komsan Hongesombut, Yuthasak Urathamakul, Sirivat Poonvasin, Sanee Tangsatit <i>Kasetsart University, Bangkok, Thailand</i>	
<b>PE076</b>	<b>Load Shedding Scheme Based on Voltage Instability Index Using Synchrophasor Data</b>	<b>237</b>
	Chaowan Jamroen, Busara Piriyanont, Sanchai Dechanupaprittha <i>Kasetsart University, Bangkok, Thailand</i>	
<b>PE078</b>	<b>Single Phase AC Electronic Load with Energy Recovery</b>	<b>241</b>
	Kamolnut Benjanarasut, Jirawut Benjanarasut, Bunlung Neammanee <i>King Mongkut's University of Technology North Bangkok Bangkok, Thailand</i>	
<b>PE079</b>	<b>Battery and Accelerating-Catenary Hybrid System for Light Rail Vehicles and Trams</b>	<b>245</b>
	Joachim J. Mwambeleko, Thanatchai Kulworawanichpong <i>Suranaree University of Technology Nakhon Ratchasima, Thailand.</i>	
<b>PE083</b>	<b>Direct Fuzzy Logic Controller for Voltage Control of Standalone Three Phase Inverter</b>	<b>249</b>
	Xiancheng Zheng, Haider Zaman, Xiaohua Wu, Husan Ali, Shahbaz Khan <i>Northwestern Polytechnical University Xi'an, China</i>	
<b>PE084</b>	<b>Efficiency Improvement of Energy Management for LED Street Lightings</b>	<b>253</b>
	Somchai Biansoongnern, Boonyang Plangklang <i>Rajamangala University of Technology Thanyaburi Pathumtani, Thailand</i>	
<b>PE086</b>	<b>Stochastic Unit Commitment Model for Power System with Renewable Energy</b>	<b>257</b>
	Sukita Kaewpasuk, Boonyarit Intiyot, Chawalit Jeenanunta <i>Chulalongkorn University Bangkok, Thailand</i>	
<b>PE087</b>	<b>The Control of A Multi-Input Boost Converter for Renewable Energy System Applications</b>	<b>261</b>
	Sudarat Khwan-on, Kaugoon Kongkanjana <i>Suranaree University of Technolog Nakhon Ratchasima, Thailand</i>	
<b>PE088</b>	<b>Model Predictive Control of LLC Resonant Inverter for Induction Furnace</b>	<b>265</b>
	Piyasak Kranprakon, Anawach Sangswang, Sumate Naetiladdanon <i>KMUTT Bangkok, Thailand</i>	
<b>PE089</b>	<b>Potential of Hybrid Thermoelectric and Solar Power energy to decrease temperature inside passenger car cabin</b>	<b>269</b>
	Aris Sunawar, Iwa Garniwa, MK <i>Universitas Indonesia Depok, Indonesia</i>	
<b>PE090</b>	<b>A simplified model for the estimation of energy production of PV Module.</b>	<b>273</b>
	Aekkwat Bupi, Songkiate Kittisontirak, Kobsak Sriprapha, Wilailak Sriwongrungsan, Wisut Titiroongruang and Surasak Niemcharoen <i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.</i>	

CONTENTS

<b>PE091</b>	<b>Analysis of energy performance improvements and economic impacts for Discovery Learning Libraries of Bangkok Metropolitan Administration</b>	<b>277</b>
	Komsan Wisawato, Aumnad Phdungsilp <i>Dhurakij Pundit University, Bangkok, Thailand</i>	
<b>PE092</b>	<b>Comparison of PV Module Power Output Measurements.</b>	<b>281</b>
	Aekkawat Bupi, Songkiate Kittisontirak, Kobsak Sriprapha, Chabar Suriyaanmaranon, Wisut Titiroongruang and Surasak Niemcharoen <i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand</i>	
<b>PE093</b>	<b>The Classification of Regular and Defected Low Voltage XLPE Cable by Using Polarization and Depolarization Current Method</b>	<b>285</b>
	J. Singhasivanon, C. Manop, N. Pattanadech, N. Jirasuwankul <i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand</i>	
<b>PE095</b>	<b>Analysis of Energy Consumption and Behavior of Elevator in a Residential Building</b>	<b>289</b>
	Supapradit marsong, Boonyang Plangklang <i>Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand</i>	
<b>PE098</b>	<b>Synchrophasor-Based Adaptive Controller Design Considering Individual Charging for Interconnected Smart Grids Stabilization</b>	<b>295</b>
	Jatupat Chartpram, Achara Pichetjamroen, Sanchai Dechanupaprittha <i>Kasetsart University, Bangkok, Thailand</i>	
<b>PE099</b>	<b>An Evaluation of Voltage Variation and Flicker Severity in Micro Grid</b>	<b>299</b>
	Nuruddin Hama, Weerawoot Kanokbannakorn, Siriroj Sirisukprasert <i>Kasetsart University Bangkok, Thailand</i>	
<b>PE100</b>	<b>Maximum Torque per Ampere Control Method for Dual Mechanical Port Machine based on Vector Control for Hybrid Electric Vehicle</b>	<b>303</b>
	H. Afsharirad, M. B. B. Sharifian <i>University of Tabriz, Iran</i>	
<b>PE102</b>	<b>Optimal PMU Placement for Complete System Observability and Fault Observability Using Graph Theory</b>	<b>307</b>
	Pronob K. Ghosh, Anik Tahabilder <i>National Institute of Technology, Agartala West-Tripura</i>	
<b>PE104</b>	<b>Implementation of WiFi-Based Single Phase Smart Meter for Internet of Things (IoT)</b>	<b>311</b>
	Win Hlaing, Somchai Thepphaeng, Varunyou Nontaboot, Natthanantangsunantham, Tanayoot Sangsuwan, Chaiyod Pirak <i>King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand</i>	
<b>PE105</b>	<b>Overcurrent Relay Modeling Using Artificial Neural Network</b>	<b>315</b>
	Muy Thoeurn, Ardyono Priyadi, Mauridhi Hery Purnomo <i>Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Indonesia</i>	
<b>PE107</b>	<b>Enhancing the Stability of Vietnamese Power System - From Theory to Practical</b>	<b>319</b>
	Edwin Lerch, Dirk Audring, Cuong Nguyen Mau, Nguyen Duc Ninh, Nguyen The Cuong, Nguyen The Van <i>Siemens Power Technologies International Erlangen, Germany</i>	
<b>PE109</b>	<b>Performance Comparison between HERIC and Z-Source Single-Phase Transformerless Inverters</b>	<b>325</b>
	Chumpol Siriwattanasit, Anawach Sangswang, Sumate Naetiladdanon <i>KMUTT Bangkok, Thailand</i>	
<b>PE110</b>	<b>Understanding Energy Crisis in Nepal Assessment of the Country's Energy Demand and Supply in 2016</b>	<b>329</b>
	Ramhari Poudyal, Shree Krishna Khadka, Pavel Loskot <i>Swansea University Swansea, UK</i>	



**PE092 Comparison of PV Module Power Output Measurements.**

Aekkawat Bupi, Songkiate Kittisontirak, Kobsak Sriprapha,  
Chabar Suriyaammaranon, Wisut Titiroongruang and Surasak Niemcharoen  
*King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand*

This paper describes the objective of the model to produce electricity from solar program. MATLAB / SIMULINK Compared with actual production data from electricity plants. This information is taken from the program PVSYST (crawler's electricity from real factories). The models created from an analysis of the equivalent circuit model of a diode, solar cell, with 5 parameters are the main factors used in the calculations were called 1D5P. The comparison takes into account the impact on solar irradiance and module temperature. The result of the comparison. The model has high accuracy and is close to the actual data to generate electricity.

**PE095 Analysis of Energy Consumption and Behavior of Elevator in a Residential Building**

Supapradit marsong, Boonyang Plangklang  
*Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand*

Elevator is currently a common used electric appliance in most midrise and high rise building, Energy consumption behavior of Elevator is crucial to be investigated in order that the collected data can be a useful guideline for future energy conservation. In this paper, the author investigated a selected elevator in a building in Thailand. The sample is the residential building of elevators which were installed and operated. The sample was categorized based on elevator type and building type. The obtained data was compiled as load profile. The analysis result ranged by different sessions of day demonstrated the elevator using behaviors. The factor value indicated that elevator can be load factor impacting the overall energy consumption. This information as guideline is worthy for future energy conservation by using of EERU.

## Analysis of Energy Consumption and Behavior of Elevator in a Residential Building

Supapradit marsong  
Department of Electrical Engineering, Faculty of  
Engineering, Rajamangala University of  
Technology Thanyaburi,  
Thailand  
supapradit\_m@mail.mutt.ac.th

Boonyang Plangklang  
Department of Electrical Engineering, Faculty of  
Engineering, Rajamangala University of  
Technology Thanyaburi,  
Thailand  
boonyang.p@en.mutt.ac.th

**Abstract**— Elevator is currently a common used electric appliance in most midrise and high rise building, Energy consumption behavior of Elevator is crucial to be investigated in order that the collected data can be a useful guideline for future energy conservation. In this paper, the author investigated a selected elevator in a building in Thailand. The sample is the residential building of elevators which were installed and operated. The sample was categorized based on elevator type and building type. The obtained data was compiled as load profile. The analysis result ranged by different sessions of day demonstrated the elevator using behaviors. The factor value indicated that elevator can be load factor impacting the overall energy consumption. This information as guideline is worthy for future energy conservation by using of EERU.

**Keywords**—EERU; Energy; Traffic pattern

### I. INTRODUCTION

Research about the amount of energy consumed in the buildings demonstrates that the energy consumed by the elevators constitute between 5 and 25% of the total energy consumption of the building [1] [2]. In operation, lift control systems adapt to changing demands based on their designers' understanding of passenger traffic patterns.

Control strategies appropriate to the current traffic pattern (e.g. up peak, down peak algorithms) can improve performance significantly. Thus, it becomes highly important to accurately estimate the energy consumption highly important to accurately estimate the energy consumption of the elevators and to analyze, for the ones to be built or to be restored. In this study, elevator traffic analysis of an existing building is performed, and running time energy consumption of the elevator is monitored. The energy consumption varies depending on the building characteristics, level of density of people [3].

The first of samples residential building was selected. Overall energy consumption of this elevator system was summarized. Energy usage data was extracted from the elevator data communication system with elevator diagnostics tool for propose of monitoring elevators energy usage for a continuous limited period. For better understanding the elevators energy consumption, the recorded data was analyzed to identify the elevators energy quality to see how energy consumption varied

in 1-day and 1-week cycle. The analysis result for elevator energy consumption quality was instrumental in respect of the power generation management so that the energy users can maximize the effectiveness of elevator usage.



Fig. 1 Unix Pattaya illustrations

PROPERTY NAME: Unix South Pattaya  
DEVELOPER: Raimon Land Unix Co., Ltd.  
PROPERTY TYPE: Freehold Condominium  
TOWERS: Single tower with 2 wings, 45 and 45 stores  
TOTAL LAND AREA: 7-0-16 Rai (11,000 sq.m)  
TOTAL NUMBER OF UNITS: 1,207 units (approx.)  
TYPES OF UNITS: Studio / 1-bedroom / 2-bedroom

### II. THEORY AND IMPLEMENTATION

#### A. Traffic analysis

Applicable codes and Standards have taken in to account Passenger traffic have been define in several type such as [4] [5]

- 1) Incoming Traffic: Commercial Buildings (Offices)
  - 2) Two-Way Traffic: institutional buildings (School, Hospital)
  - 3) Outgoing Traffic: Residential Building (Apartment).
    - a) Waiting time definition Round Trip Time: – Time from the moment car starts up to the next time it starts up
    - b) Interval: (Time between elevators) – Up-Peak round trip time divided by number of lifts in the group
    - c) Performance Factors
- Quality Factor => Waiting Time  
Quantity Factor=> Handling Capacity

d) Estimated Travel Time (T1)

$$T1=2H/V \quad (1)$$

Where T1: Total Return Travel Time (s)  
H: Travel Height (m)  
V: Rated Speed (m/s)

e) Estimated Waste Time (T2)

$$T2=(AP+1)*V/Y \quad (2)$$

Where: T2 (s): Acceleration and Deceleration time  
AP: Probable stoppage of the car it is function of the population and rated load  
V (m/s): Rated Speed (m/s2):  
Acceleration = deceleration Jerk (m/s3) is excluded in the manual calculation

- f) Round Trip Time: Up Travel Cycle
- Worst Case: Arrival upon lift leaving
  - Starting/Acceleration
  - Running on rated speed
  - Deceleration/stopping
  - Door Opening
  - Exit of the Passengers
  - Door Closing
  - Starting/Acceleration
  - Similar Process
  - Exit of the last passenger

g) Estimated Door Time (T4)

$$T3 = K1 * (AP + 1) \quad (3)$$

Where – T3 (s): Total Door closing and opening time  
K1 (s): is the time of door opening and closing including waiting time. It is a function of the door type and size  
AP: Probable stoppage of the car it is a function of the population and rated load

- h) Estimated Passenger Time (T4)
- Hospital (Two-way)
- HC: 12%
  - Interval: 30 to 50 sec

- Inefficiency: 5%
- Classrooms:
- HC: 25 to 40%
- Interval: 40 to 50 sec
- Inefficiency: 0%

- i) Additional Considerations
- Highest Reversal Floor
  - Up-Peak with down traffic
  - Restaurants on the top floor (noon traffic)
  - Parking areas in Basements

j) Handling Capacity

Handling Capacity is: The percentage of population an elevator group can transport in five minutes [10].

$$HC = N * CLF * PC * 300 / RRT \quad (4)$$

Where– N: number of lifts in the same group  
CLF: Car Loading Factor  
PC (passengers): Rated Load  
RRT (s): Round Trip Time per lift 300 s (5 minutes)

**Table 1** Recommended Car Characteristic

Type of Building	Capacity (Kg)	Door width (cm)
Average Office Building	1600	120 (CO)
Large Prestigious Office Building	1800	120 (CO)
Hotel Building (5*)	1600	120
Prestigious Large Apartment Building	1150	110
Hospitals	2200	140
Schools/Universities	2750	150

k) Load Factor

Average to maximum wattage ratio for load in time session examined [6].

$$\text{Peak power of load} = \frac{\text{Average power of load}}{\text{Load Factor}} \quad (5)$$

l) Annual Usage Hour

Average to maximum wattage ratio for load in time session examined.

$$h/yr = \frac{\text{Used hours in consider time}}{\text{Total hours in consider time}} \times \text{Total hours in a year} \quad (6)$$

m) Annual Usage Unit

Annual usage hour is referred to as number of use hours for load or electric appliance in 1-year period (h/yr)

$$\frac{kWh}{yr} = \sum (\text{Average power [kW]} \times \text{Hours / day}) \times \text{Days / year} \quad (7)$$

## B. Building selection

Residential building 45 stories total number of units 1200 were selected for observation of their elevator energy consumption. The Elevators and building characteristic are shown on table 2.

Table 2 Elevator Data

Residential Building	units
No of Elevators (units)	4
Total Bldg Height (m)	136.5
Average Floor Height (m)	3.41
Total Population (per)	50
Number of floor (Floor)	45
Speed (m/sec)	3.5
Capacity (kg)	1350
Door Open Time(S)	1.8
Door Close Time(S)	2.9
Car area m <sup>2</sup>	3

III. DATA COLLECTION AND TOOLS

The elevator traffic data and the important of information such as running direction, passenger loads in percentage, trip measurements

A. Tool Connection

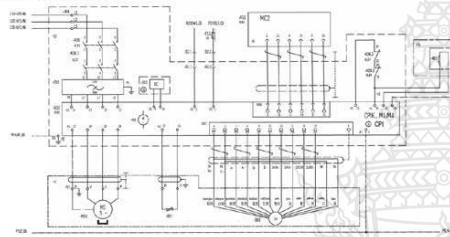


Fig. 2 Drive Module and communication bus

Fig.2 is show main block diagram of the elevator main in power drive and how it connected to communication system TCM-MC2 where elevator traffic data was collected from this modules.

B. CAN-Bus data connection

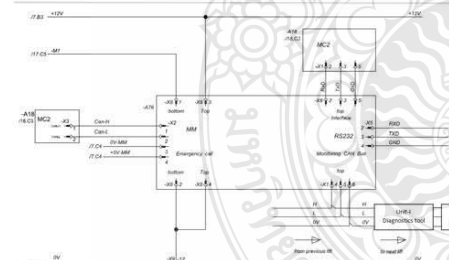


Fig. 3 CAN-Bus

Fig.3 is show can-bus diagram of the elevator which are connected to communication system although other elevator in the same group controller from can- bus data where we can connect the diagnose tools for data acquisitions.

C. Unit-I Diagnose tools

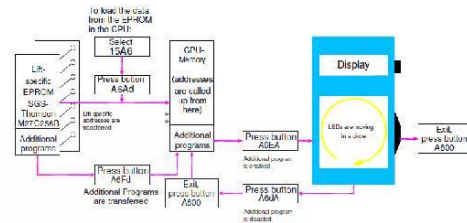


Fig. 4 Diagnose tools

Fig.4 is show connection diagram of diagnostics tool to an EPROM on the main controller which are maintain configuration and parameter of the elevator. Keys operating parameter are setting from unit-I tools.

D. Load-weighing device LMS1

Light emitting diodes LED +5V lights with proper voltage supply with +5V DC  
LED RST lights up approx. 1 s with a RESET.  
Measuring MIP1: indicates voltage applied to A/D converter  
GND: frame  
(The measuring points are loadable with a digital multimeter)

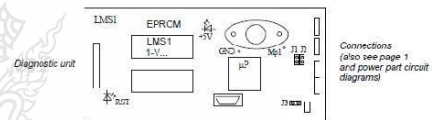


Fig. 5 LMS1 Layout

Fig. 5 is show the Plug in diagnostic unit and select with program selector and operate button address 1500 Plug CAN bus into plug X4. Activate matching resistor through jumper J3, if the load weighing Device LMS1 is the last data station in the bus system. Connecting the load-weighing device LMS1 to the voltage supply. Light-emitting diode RST will light up intermittently during switching on.



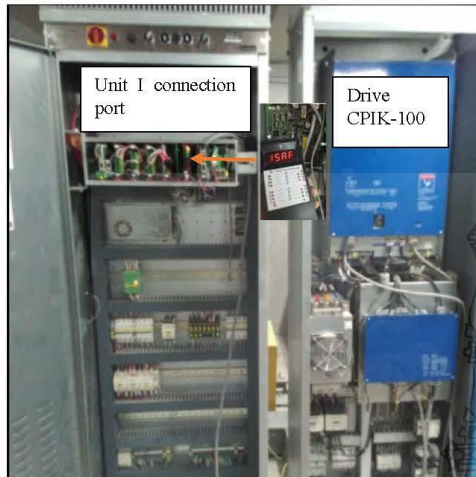


Fig. 6 Tools connection

Fig.6 is show connection of the unit-I to main controller and keep it inside the controller while recording the elevator traffic is in process 24hrs limited recording time is provided.

IV. ANALYSIS

Load profile represents in line graph showing the overall building power demand of elevator usage, which data was derived from the internal memories and its internal measurement devices that wattage was read every 5 minute for the duration of 24 Hrs. of the sample building (residential). Continuous period in daily load curve as shown in Fig. 7 to 11

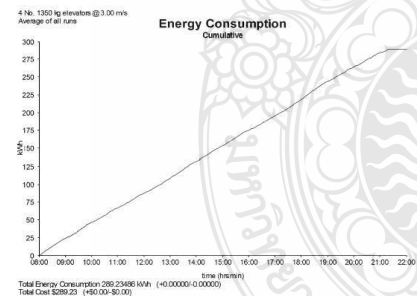


Fig. 7 Accumulative Energy Consumption

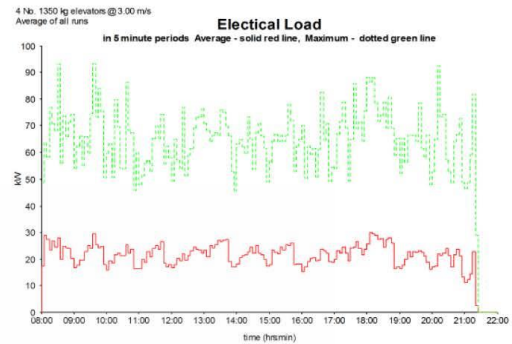


Fig. 8 Average 5 Mins Electrical Load

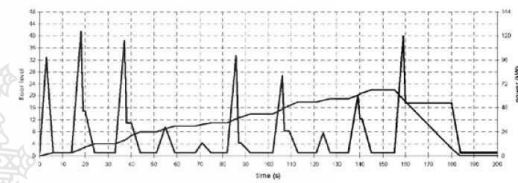


Fig. 9 Power profile for a typical up peak

Fig.9 is shows the spatial movements of the example lift during the morning up peak traffic demand. The lift leaves Floor 0 with 20 passengers and calls at nine floors with various number of Passengers alighting. Thus the load reduces until the last passengers exit at Floor 22. The lift then returns empty to Floor 0. Note the balance load is achieved as the lift leaves Floor 11. Where the lift only moves one floor, e.g: 0>1, 10>11, 18>19 the graph shows a reached peak Power only as rated speed is not reached. Where the lift moves two floor, e.g: 8>10 rated speed is just reached before the slow down sequence is initiated. In all other cases the lift reaches rated speed as indicated by the step in the profile, although it may only be for a short time, e.g: 1>4, 19>22. The energy consumed is the area under the profile.

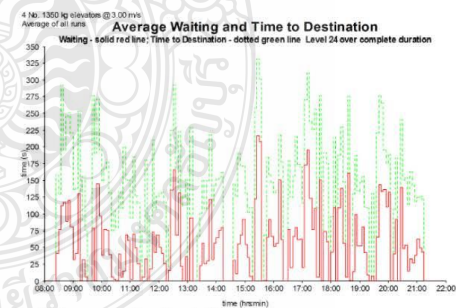


Fig. 10 Average waiting time to Destination

Car load (kg)	Car load (%)	Power running down	Power starting down	Power running up	Power starting up
0	0	53	120	43	50
75	5	49	118	40	55
150	10	45	116	37	60
225	15	41	114	34	65
300	20	37	112	31	70
375	25	33	110	28	75
450	30	29	108	25	80
525	35	25	106	22	85
600	40	21	104	19	90
675	45	17	102	16	95
750	50	13	100	13	100
825	55	16	97	17	103
900	60	19	94	21	106
975	65	22	91	25	109
1050	70	25	88	29	112
1125	75	28	85	33	115
1200	80	31	82	37	118
1275	85	34	79	41	121
1350	90	37	76	45	124
1425	95	40	73	49	127
1500	100	43	70	53	130

Table 3 power required for starting and running

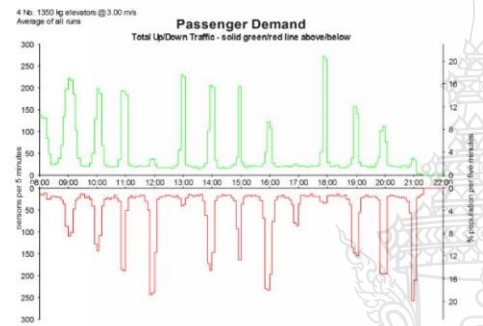


Fig. 11 Total Up & Down Traffic

V. CONCLUSION

The energy of the up-peak pattern is more important than other traffic patterns, because more energy is consumed during up-peak. Up-peak energy scheduling has a great significance for multi-elevator system efficient operation, and offers useful guidance to optimal scheduling under other traffic pattern in building. From the building sample is an outgoing traffic.

More energy is consumed under up-peak pattern than other traffic patterns because of the numerous upwards passengers.

This is due to the fact that the elevators go down empty during the up-peak traffic, the worst type of traffic, and that requires the counterweight to be pulled upwards resulting in energy consumption.

The components of the total energy consumed by an elevator during running and standby mode, energy consumed in the lighting of the car, shaft, the machine room and the energy consumed in the ventilation and air conditioning of the car and the machine room.

The most important component among those is the energy consumed during running, and passenger load, elevator speed and the energy loss caused by some components of the system.

REFERENCES

- [1] H.M. Sachs, Opportunities for Elevator Energy Efficiency Improvements, American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE), Washington, DC, 2005, April.
- [2] J. Liu, F. Qiao, L. Chang, The hybrid predictive model of elevator system for energy consumption Proceedings of the 2010 International Conference on Modeling, Identification and Control, Okayama, Japan, 2010, 17-19 Jul
- [3] A.D. Almeida, S. Hirzel, C. Patreo, J. Fong, E. Dutschke, Energy-efficient elevators and escalators in europe: An analysis of energy efficiency potentials and policy measures, Energy and Buildings 47 (2012) 151-158.
- [4] H. Hakala, M.L. Siikonen, T. Tyni, J. Ylinen Energy-Efficient Elevators for Tall Buildings 6th World Congress on Tall Buildings and Urban Habitat (2001, February/March)
- [5] C. Patrao, L. Rivet, J. Fong, A. Almedia Energy efficient elevators and escalators ECEEE (2009), pp. 803-813
- [6] Analysis of Energy Consumption and Behavior of Television in Resident Houses in Thailand, Boonyang Plangklanga \*, Rak Skumpong Procedia Engineering 8 (2011) 115-11920, December 2010
- [7] Performance analysis of an elevator system during up-peak
- [8] C.K. Chu, C.K.Y. Lin, S.S. Lam Hospital lift system simulator: a performance evaluator-predictor European Journal of Operational Research, 146 (2003), pp. 156-180
- [9] H.T. Duru, R. Demiroz Modern Energy Efficient Gearless Drive Elevator Systems Elevator Symposium, Izmir, Turkey (2009) 21-23 May
- [10] The Vertical Transport Handbook Edition 4<sup>th</sup>





ภาคผนวก ข  
เครื่องมือวิเคราะห์พลังงาน

# HIOKI

## POWER QUALITY ANALYZER PQ3198, PQ3100



IEC61000-4-30 Ed. 3 Class S



**Ver 2.00**  
Newly Added Functions

Now IEC61000-4-30 Ed. 3 Class A compliant!\*

### Investigate power characteristics and analyze the causes of problems

Exceptional ease of use and international standard-compliant reliability



\*The new software update to V 2.00 now makes the device compliant to the IEC61000-4-30 standard.



- Extensive statistical analysis
- EN50160
- IEEE519 TDD
- GB Power Quality Statistics Report

Mid-range model

Investigate power supply conditions and prevent problems

# PQ3100

## Features

- Simple setup with QUICK SET
- Record event waveforms of up to 11 sec. in duration
- 8 hours of battery operation
- 200 ms and 600 ms data save capability
- CAT III (1000 V)/CAT IV (600 V)
- Display event statistics
- Demand recording

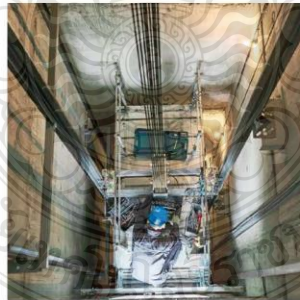


## Applications



Investigate power supply conditions

Measure voltage fluctuations, equipment capacity, and harmonics before installing new electrical equipment. You can also check whether newly installed equipment is affecting other equipment by repeating those measurements after installation and comparing the results.



Prevent power supply problems

Discover signs of impending problems by repeatedly measuring a component such as an elevator motor on a regular basis. Flexible current sensors make it possible to connect the instrument safely and easily, even in difficult settings involving double wiring, busbars, and crowded distribution boards.



Perform load rejection testing of solar power systems

In load rejection testing, it's necessary to record transient changes in current and voltage when the system is taken offline. The PQ3100 can record anomalous waveforms for up to 11 seconds (1 second before and 10 after each event). Cursor measurement lets you verify peak values and duration as well.

PQ ONE main screen Display a list of detailed information for an individual data set



- 1 **Select data to load**  
Load a new data set or choose the most recently used data set.
- 2 **Option settings**  
Configure options such as display parameters, language, and cache files.
- 3 **Verify settings at the time of measurement**  
Display the status screen with information such as the instrument settings that were in effect at the time of measurement.
- 4 **Report creation**  
Generate detailed reports with trend and event information.
- 5 **CSV file conversion**  
Output trends and event waveforms as a CSV-format file.
- 6 **Statistical values and standard values**  
Display statistical values and perform evaluations and analysis based on standards.
- 7 **User manual and version information**  
Review the PQ ONE user manual and software version.
- 8 **Measured value trend graph**  
Zoom in and out or use the cursor to display measured values.
- 9 **Trend graph display interval**  
Set the interval for which to display trend data on the screen.
- 10 **Event statistics and ITIC curve**  
Display bar graphs with data such as the number of events that occurred.
- 11 **Event list**  
Display information including the event type, time, duration, and channel.
- 12 **Detailed event data**  
Display detailed information about the event selected in the event list.

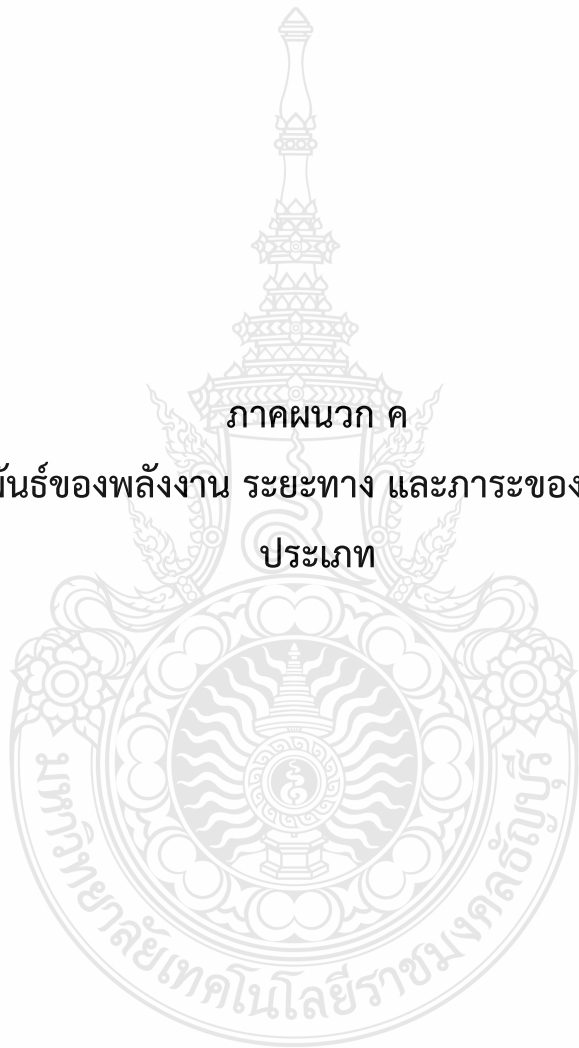


## Specifications

The following specifications apply when the PQ3198/PQ3100 is set to a measurement frequency of 50/60 Hz. For more detailed specifications, including for when the PQ3198 is set to 400 Hz, please download the user manual from the HIOKI website.

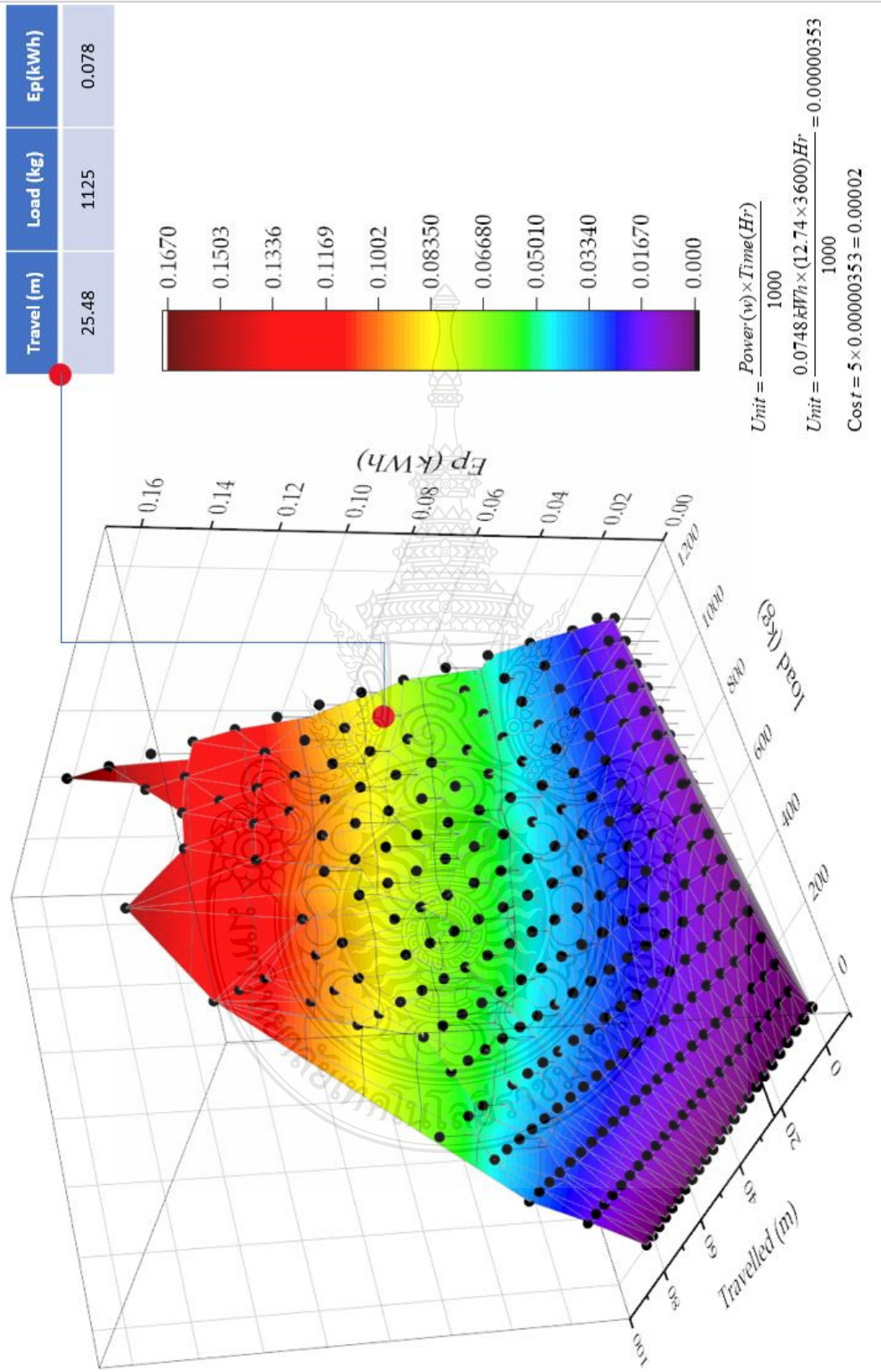
Basic specifications		PQ3198	PQ3100	
Number of channels	Voltage: 4 / Current: 4			
Input terminal type	Voltage: Plug-in terminals (safety terminals) / Current: Dedicated connectors (HIOKI PL 14)			
Connections	Any of the following + additional input to CH 4: 1-phase/2-wire 1-phase/3-wire 1-phase/3-wire/1 voltmeter *PQ3100 only 3-phase/3-wire/2 power meter 3-phase/3-wire/3 power meter 3-phase/4-wire/2.5 element 3-phase/4-wire			
Input resistance	Voltage inputs: 4 MΩ / Current inputs: 100 kΩ		Voltage inputs: 5 MΩ / Current inputs: 200 kΩ	
Maximum input voltage	Voltage inputs: 1000 V AC, ±600 V DC, 6000 Vpeak 600 V AC (CAT IV) with an expected transient overvoltage of 8000 V		Voltage inputs: 1000 V AC/DC, 2200 Vpeak 1000 V AC (CAT III) or 600 V AC (CAT IV) with an expected transient overvoltage of 8000 V	
Maximum rated terminal-to-ground voltage				
Sampling frequency	Parameters other than transient voltage: 200 kHz; transient voltage: 2 MHz		200 kHz for all parameters	
A/D converter resolution	Parameters other than transient voltage: 16 bits; transient voltage: 12 bits		16 bits	
Display range	Voltage: 0.48 V to 780 V / Current: 0.5% to 130% of range Power: 0.0% to 130% of range Parameters other than above: 0% to 130% of range		Voltage: 2 V to 1300 V / Current: 0.4% to 130% of range	
Effective measurement ranges	Voltage: 10 V to 780 V AC, peak of ±2200 V / 1 V to 600 V DC Current: 1% to 120% of range, peak of ±400% of range Power: 0.15% to 130% of range (When voltage and current both fall within the effective measurement range)		Voltage: 10 V to 1000 V AC, peak of ±2200 V / 5 V to 1000 V DC Current: 5% to 120% of range, peak of ±400% of range Power: 5% to 120% of range (When voltage and current both fall within the effective measurement range)	
<b>Accuracy specifications</b>				
Accuracy guarantee conditions	Accuracy guarantee duration: 1 year Accuracy guarantee temperature and humidity range: 23°C ±5°C, 80% RH or less / Warm-up time: 30 min. or greater			
Temperature coefficient	0.03% f.s./°C (DC measurement, add ±0.05% f.s./°C)		0.1% f.s./°C	
Common-mode voltage effects	Within 0.2% f.s. (600 Vrms AC, 50 Hz/60 Hz, between voltage input and enclosure)		Within 0.2% f.s. (1000 Vrms AC, 50 Hz/60 Hz, between voltage input and enclosure)	
External magnetic field effects	Voltage: Within ±3 V Current: Within 1.5% f.s. (400 Arms/m AC, in 50 Hz/60 Hz magnetic field)		Within 1.5% f.s. (400 Arms/m AC, in 50 Hz/60 Hz magnetic field)	
<b>Measurement parameters</b>				
Measurement parameters	Transient voltage	Current waveform peak	Reactive energy	Inter-harmonic voltage
	Voltage 1/2 RMS value	Current DC	Apparent power	Inter-harmonic current
	Current 1/2 RMS value	Current RMS value	Power factor/displacement power factor	Harmonic voltage phase angle
	Voltage waveform peak	Inrush current	Voltage reverse phase unbalance factor	Harmonic current phase angle
	Voltage DC	Frequency 1 wave	Voltage zero-phase unbalance factor	Harmonic voltage-current phase difference
	Voltage RMS value (phaseline)	Frequency 200 ms	Current reverse-phase unbalance factor	Voltage total harmonic distortion
	Swell	Frequency 10 sec	Current zero-phase unbalance factor	Current total harmonic distortion
	Dip	Active power	Harmonic voltage	K factor
	Interruption	Active energy	Harmonic current	IEC flicker
	Instantaneous flicker value	Reactive power	Harmonic power	ΔV10 flicker
	Efficiency	High-order harmonic (Supraharmonic) components	Voltage CF	Reactive power demand amount*
	Voltage waveform comparison		Rapid voltage change (RVC)	Apparent power demand amount*
	Mains signaling voltage		Current CF	Active power demand value
			Electricity cost	Reactive power demand value
			Apparent energy	Apparent power demand value
			Active power demand amount*	Power factor demand value
				*Data output to SD memory card only
<b>Measurement specifications</b>				
Transient voltage (Tran)	Detected based on waveform after the fundamental wave component has been eliminated from the sampled waveform.			
	Measurement range: ±6,000 kVpeak Measurement band: 5 kHz (-3 dB) to 700 kHz (-9 dB) Measurement accuracy: ±5.0% rdg. ±1.0% f.s.	Measurement range: ±2,200 kVpeak Measurement band: 5 kHz (-3 dB) to 40 kHz (-3 dB) Measurement accuracy: ±5.0% rdg. ±1.0% f.s.		
Voltage 1/2 RMS value (Urms1/2), current 1/2 RMS value (Irms1/2)	Voltage 1/2 RMS value: Calculated as the RMS value for 1 sampled waveform that has been overlapped every half-wave. Current 1/2 RMS value: Calculated as the RMS value every half-wave. Measurement accuracy Voltage: ±0.2% of the nominal voltage (for input of 10 V to 660 V) ±0.2% rdg. ±0.05% f.s. (for input other than above) Current: ±0.3% rdg. ±0.5% f.s. + current sensor accuracy		Calculated as the RMS value for 1 sampled waveform that has been overlapped every half-wave. Measurement accuracy Voltage: ±0.3% of the nominal voltage (for input of 10 V to 660 V) ±0.2% rdg. ±0.1% f.s. (for input other than above) Current: ±0.2% rdg. ±0.1% f.s. + current sensor accuracy	
Swell (Swell), dip (Dip), interruption (Intrpt)	Detected when the voltage 1/2 RMS value exceeds the threshold. Measurement accuracy: Same as voltage 1/2 RMS value Fluctuation data: Voltage and current 1/2 RMS value data is saved			
Rapid voltage change (RVC)	None		Detected when the 1-sec. average of voltage 1/2 RMS values exceeds the threshold, however, if the average is less than the dip threshold or greater than the swell threshold, the event is detected as a dip (or swell), rather than as an RVC. Measurement accuracy: Same as voltage 1/2 RMS value ΔUss: Absolute difference between the 1-sec. average of voltage 1/2 RMS values immediately before the event and the first 1-sec. average of voltage 1/2 RMS values after the event [V] ΔUmax: Absolute maximum difference between all voltage 1/2 RMS values during the event and the 1-sec. average of voltage 1/2 RMS values immediately before the event [V] Fluctuation data: Voltage and current 1/2 RMS value data is saved.	
Inrush current (Inrush)	Same as current 1/2 RMS value. Inrush current is detected when the setting is exceeded in the positive direction. Measurement accuracy: Same as current 1/2 RMS value Fluctuation data: Current 1/2 RMS value data		Calculated as the current RMS value for data obtained by sampling the current waveform every half-wave. Inrush current is detected when the setting is exceeded in the positive direction. Measurement accuracy: ±0.3% rdg. ±0.3% f.s. + current sensor accuracy Fluctuation data: Voltage 1/2 RMS value data and inrush current RMS value data are saved.	
Voltage RMS value (Urms), current RMS value (Irms)	Measured using a 200 ms aggregate. Measurement accuracy Voltage: ±0.1% of the nominal voltage (for input of 10 V to 660 V) ±0.2% rdg. ±0.08% f.s. (input other than above) Current: ±0.1% rdg. ±0.1% f.s. + current sensor accuracy		Measured using a 200 ms aggregate. Measurement accuracy Voltage: ±0.2% of the nominal voltage (for input of 10 V to 660 V) ±0.1% rdg. ±0.1% f.s. (for input other than above) Current: ±0.1% rdg. ±0.1% f.s. + current sensor accuracy	
Voltage DC value (Udc), current DC value (Idc)	Average of 200 ms aggregate values (calculated using CH 4 only) Measurement accuracy Voltage: ±0.3% rdg. ±0.08% f.s. Current: ±0.5% rdg. ±0.5% f.s. + current sensor accuracy		Average of 200 ms aggregate values Measurement accuracy Voltage: ±0.3% rdg. ±0.1% f.s. Current: ±0.5% rdg. ±0.5% f.s. + current sensor accuracy	

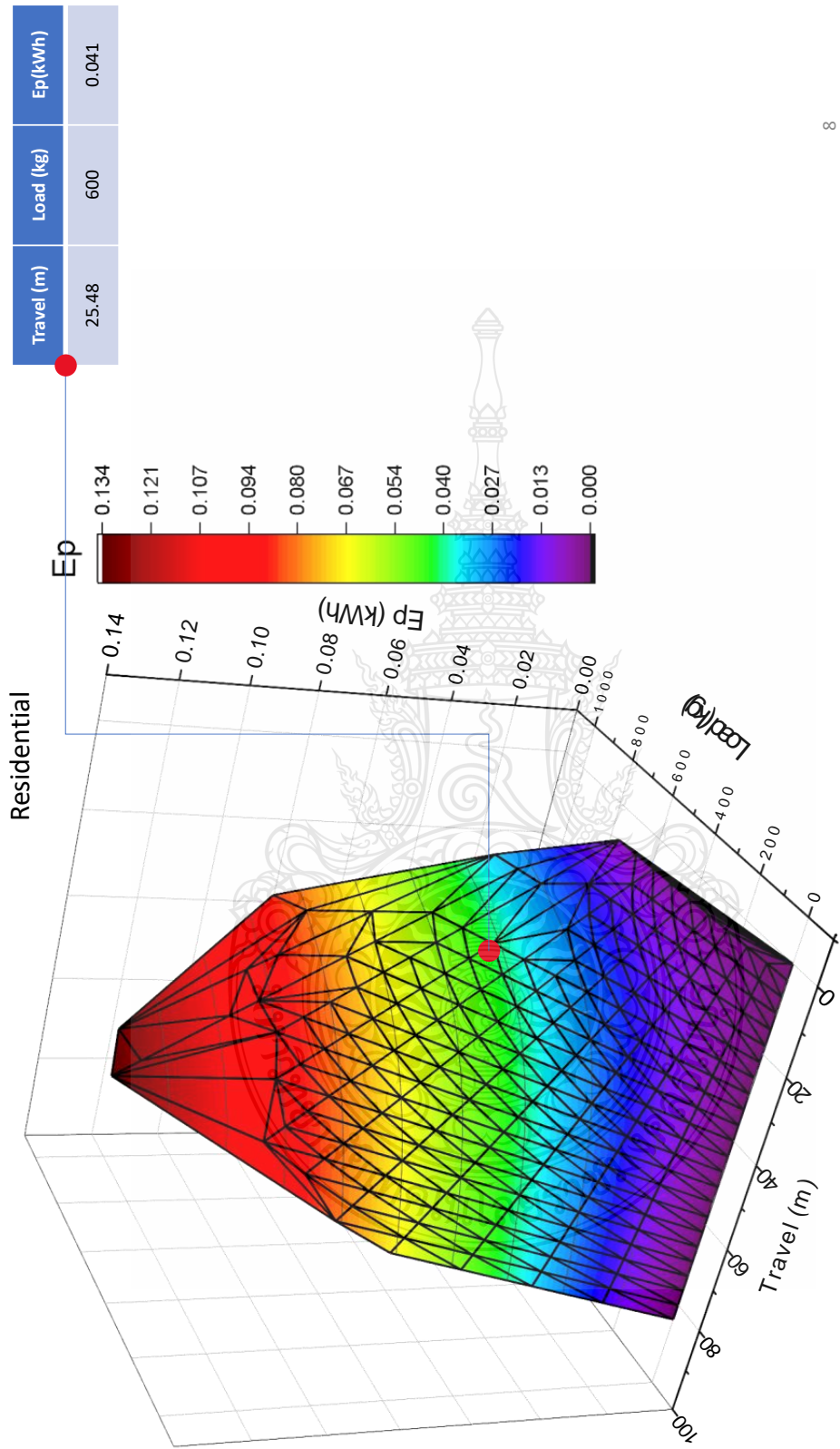
ภาคผนวก ค  
กราฟความสัมพันธ์ของพลังงาน ระยะทาง และภาระของอาคารควบคุมทั้ง 5  
ประเภท

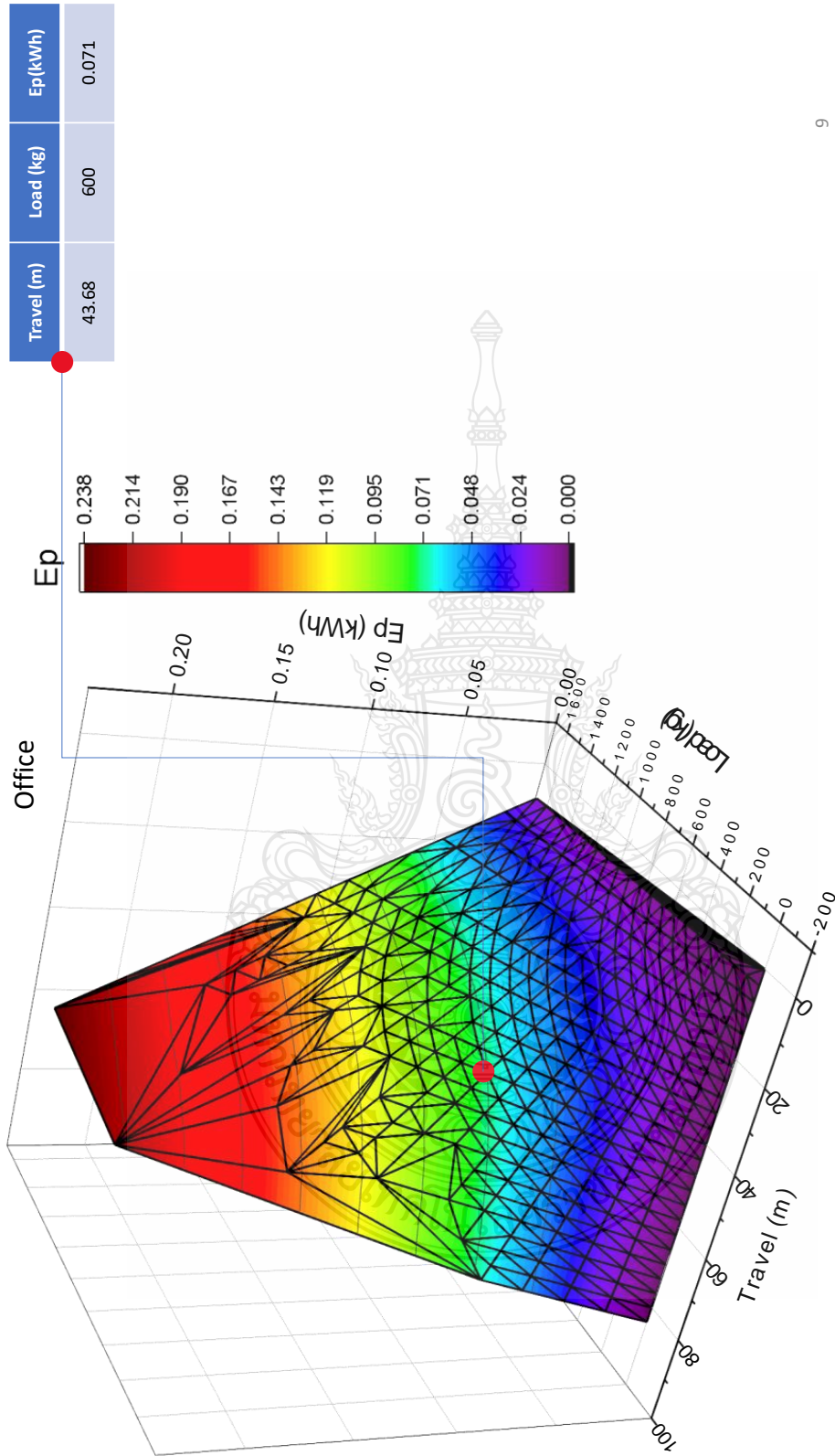


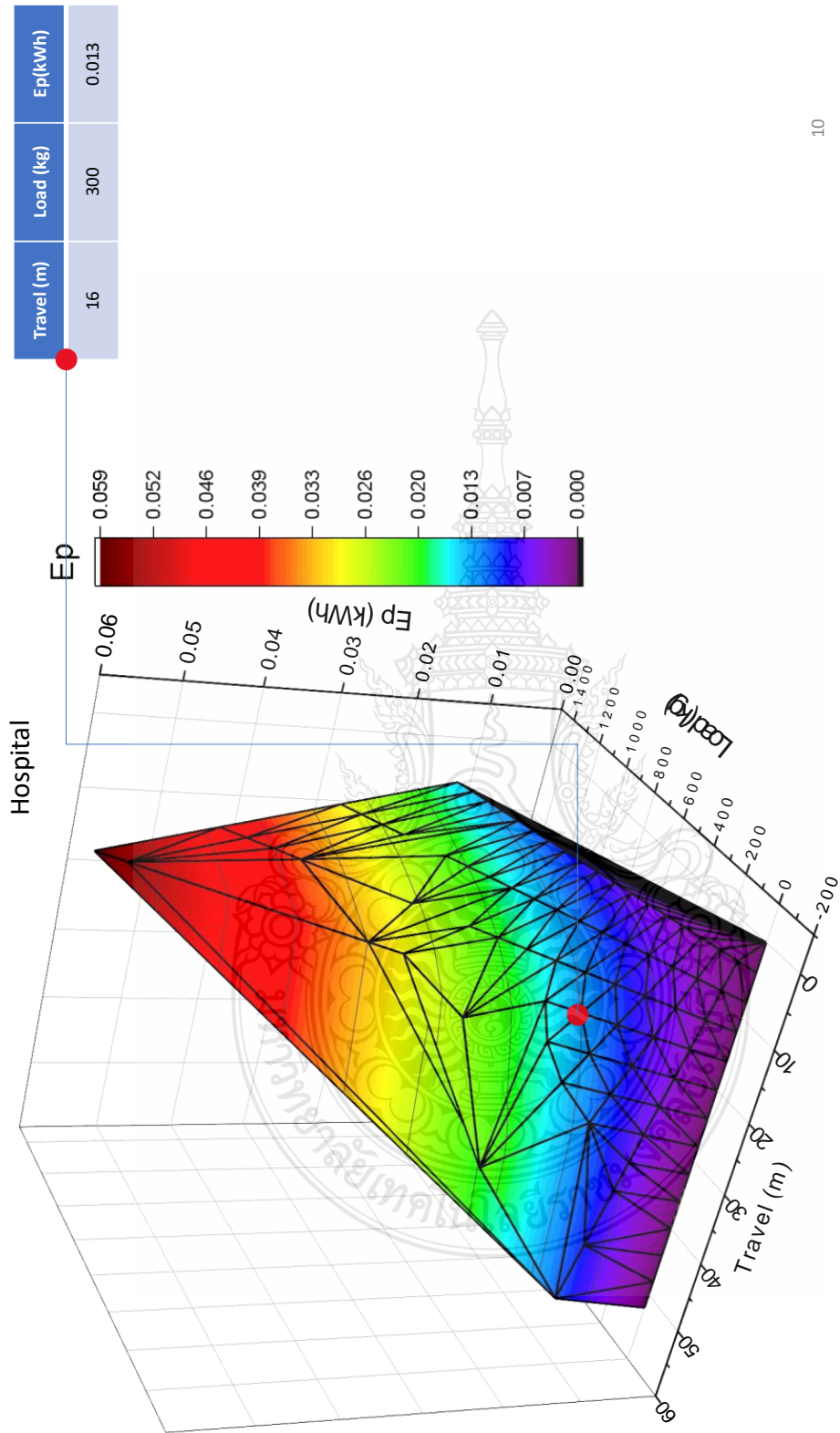


1

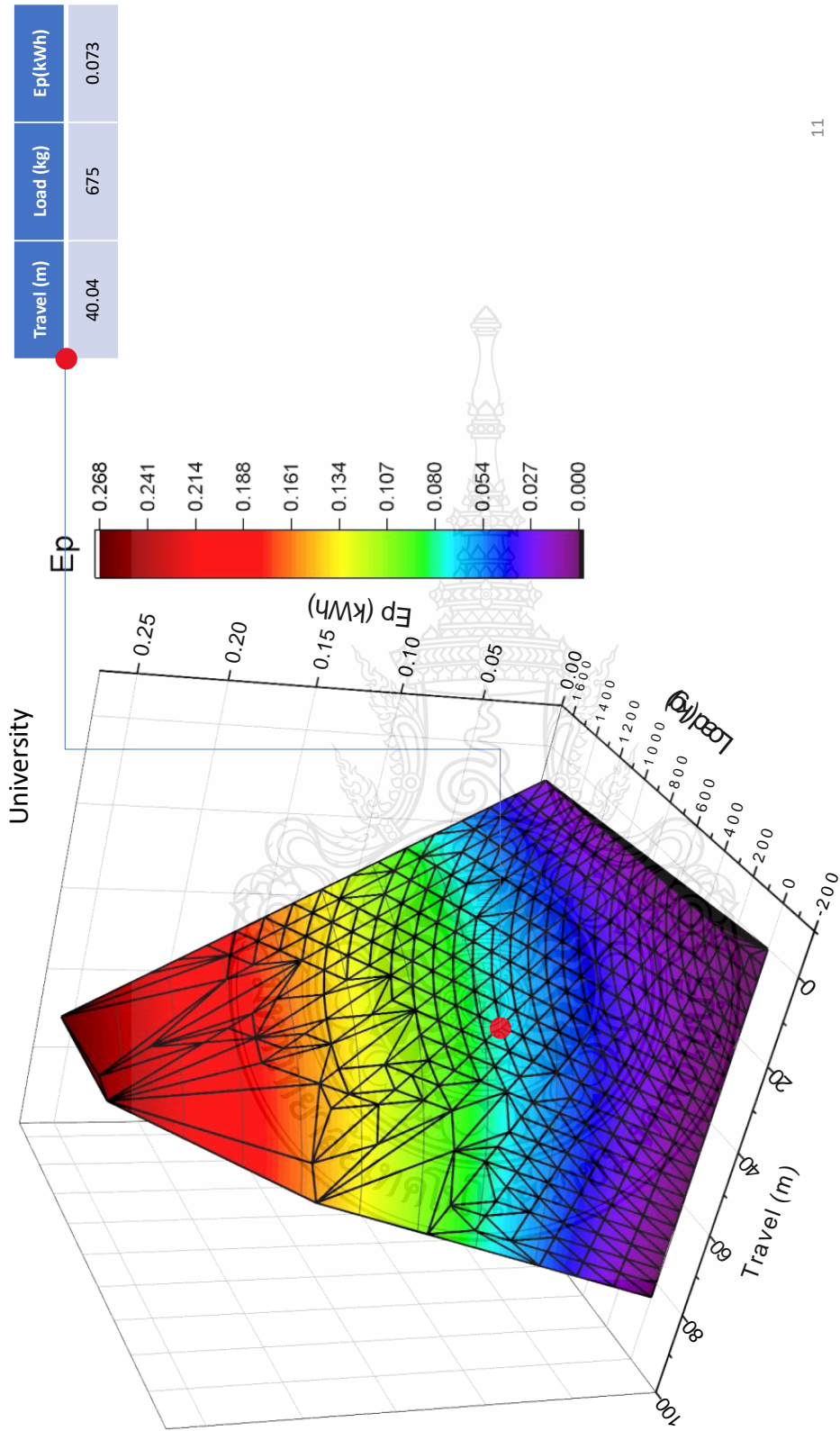












## ประวัติผู้เขียน

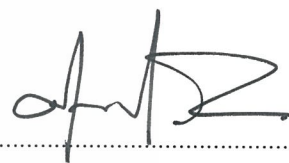
ชื่อ - นามสกุล	นายศุภประดิษฐ์ มาสงค์
วัน เดือน ปีเกิด	7 มีนาคม 2515
ที่อยู่ปัจจุบัน	เลขที่ 8 ติวานนท์ 24 แยก 2/11 ต.บางกระสอ อ.เมืองนนทบุรี จ. นนทบุรี 11000
ประวัติการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัย ธนบุรี เมื่อ พ.ศ. 2559 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อ พ.ศ. 2547
ประวัติการทำงาน	กรรมการผู้จัดการและผู้อำนวยการฝ่ายวิศวกรรม บริษัท เอลเลเวตติ้งสตูดิโอ (ประเทศไทย) จำกัด พ.ศ 2559 ถึงปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์	081-920-5515
อีเมล	supapradit_m@mail.rmutt.ac.th supapradit.m@elevatingstudio.com





ดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัย ขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็น  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และข้อความต่างๆในดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอ  
รับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

This dissertation consists of research materials conducted at the Faculty of  
Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi and hence the copyright  
owner. I hereby certify that the dissertation does not contain any forms of plagiarism.



(นายศุภประดิษฐ์ มาสงค์)

