

ระบบการตรวจจับวัตถุโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์สำหรับระบบขนส่งทางราง

OBJECT DETECTION SYSTEM USING ARTIFICIAL INTELLIGENT FOR  
RAILWAY SYSTEM



ทศพล แก้วรากมุก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

# ระบบการตรวจจับวัตถุโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์สำหรับระบบขนส่งทางราง

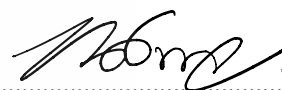


วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ปีการศึกษา 2563  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัย ขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และข้อความต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

This thesis 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 thesis does not contain any forms of plagiarism.



(นายทศพล แก้วรากมุข)



หัวข้อวิทยานิพนธ์

ระบบการตรวจจับวัตถุโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์สำหรับระบบขนส่งทางราง  
Object Detection System Using Artificial Intelligent for Railway  
System

ชื่อ - นามสกุล

นายทศพล แก้วรากมูข

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

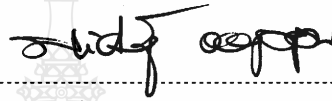
อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรี ศรีนนท์ฉัตร, Ph.D.

ปีการศึกษา

2563

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(อาจารย์วิเชียร อุปแก้ว, Ph.D.)

ประธานกรรมการ



(รองศาสตราจารย์สมชาติ โชคชัยธรรม, D.Eng.)

กรรมการ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อำนาจ เรืองวารี, Dr.-Ing.)

กรรมการ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรี ศรีนนท์ฉัตร, Ph.D.)

กรรมการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 30 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2563

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบการตรวจจับวัตถุโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์สำหรับระบบขนส่งทางราง
ชื่อ - นามสกุล	นายทศพล แก้วรากมข
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรี ศรีนนท์ฉัตร, Ph.D.
ปีการศึกษา	2563

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านปัญญาประดิษฐ์ได้ถูกประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ เช่น ทางการแพทย์ การทหาร การค้าและรวมถึงทางคมนาคมขนส่ง ข้อดีของปัญญาประดิษฐ์นั้นคือสามารถประมวลผลข้อมูลที่มีความซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอระบบการตรวจจับวัตถุโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์สำหรับระบบขนส่งทางรางโดยทำงานร่วมกับระบบกล้องสเตอริโอ วัตถุประสงค์คือเพื่อศึกษาการแยกแยะและจดจำวัตถุหรือมนุษย์ที่เข้ามาสู่เส้นทางรถไฟ

ในงานวิจัยระบบปัญญาประดิษฐ์ถูกออกแบบบนหลักการของเทคนิค Faster Region Convolution Neural Networks (Faster R-CNN) เพื่อทำการแยกแยะและจดจำวัตถุ ข้อมูลภาพจากกล้องดิจิทัล 2,000 ภาพถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลในการฝึกฝน และข้อมูลภาพจากกล้องสเตอริโอ 200 ภาพ ถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลในการทดสอบของระบบปัญญาประดิษฐ์ตามลำดับ ทั้งนี้ในการทดลองได้ดำเนินการ 1) ปรับค่าพารามิเตอร์ในการฝึกฝนของระบบปัญญาประดิษฐ์เพื่อการตรวจจับวัตถุ 2) ทดสอบการทำงานระหว่างการผลิตภาพสเตอริโอกับระบบปัญญาประดิษฐ์และ 3) ทดลองหาระยะของวัตถุที่ตรวจจับบนข้อมูลภาพสเตอริโอ

ผลการทดลองพบว่าระบบปัญญาประดิษฐ์ออกแบบบนหลักการของ Faster R-CNN ให้ค่าความถูกต้องในการแยกแยะและจดจำวัตถุหรือมนุษย์อยู่ที่ ร้อยละ 82.87 ทั้งนี้เนื่องจาก Faster R-CNN จะใช้หลักการแบ่งภาพออกเป็นพื้นที่และทำการวิเคราะห์ในพื้นที่ที่สนใจ ดังนั้นระบบปัญญาประดิษฐ์แบบ Faster R-CNN ที่มีการออกแบบจำนวน Anchor box มากจะให้ประสิทธิภาพการตรวจจับที่ดีกว่า แต่ใช้เวลาในการฝึกอบรมที่มากกว่า นอกจากนี้ในการหาระยะของวัตถุที่ตรวจจับบนข้อมูลภาพสเตอริโอ ระบบให้ค่าเฉลี่ยความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 95.17

**คำสำคัญ:** ระบบคมนาคมขนส่ง กล้องสเตอริโอ การตรวจจับวัตถุ ปัญญาประดิษฐ์

<b>Thesis Title</b>	Object Detection System Using Artificial Intelligence for Railway System
<b>Name - Surname</b>	Mr. Thossapon Kaewrakmuk
<b>Program</b>	Electrical Engineering
<b>Thesis Advisor</b>	Assistant Professor Jakkree Srinonchat, Ph.D.
<b>Academic Year</b>	2020

## ABSTRACT

At present, artificial intelligence technology has been applied in many areas such as medical, military, commerce, and transportation. The advantage of artificial intelligence is it can process complex data efficiently. This thesis proposed an object detection system using an artificial intelligence for railway system with a stereo camera system. The aim was to study the identification and recognition of objects or humans entering railway tracks.

The artificial intelligence system in this study was designed on the principles of Faster Region Convolution Neural Networks (Faster R-CNN) to identify and recognize objects. The data from 2,000 digital camera images were used as training data and the data from 200 stereo cameras were used for testing the designed artificial intelligence system, respectively. The experiment was performed to: 1) adjust parameters in training of the artificial intelligence system for object detection, 2) test the performance between stereo image processing and artificial intelligence system, and 3) detect the distance of the object on stereo image data.

The experiment results showed that the designed artificial intelligence system designed on the principles of Faster R-CNN provided the accuracy in classifying and recognizing objects or humans at 82.87%. Due to the principles of Faster R-CNN, the system divided images into areas and analyzed the areas of interest (AOI). Thus, the Faster R-CNN artificial intelligence system designed with the large anchor box provided better detection performance but it took more training time. In addition, the designed system could examine the distance of the detected objects on stereo image data at the average accuracy of 95.17 %.

**Keyword:** transportation system, stereo camera, object detection, artificial intelligence

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีภายใต้การให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่าง ๆ จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักรี ศรีนนท์ฉัตร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่มอบองค์ความรู้ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการทำวิทยานิพนธ์มาด้วยดีตลอด และให้คำปรึกษาในส่วนของการจัดพิมพ์ รูปเล่มอย่างถูกต้อง จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะมีความสมบูรณ์และถูกต้องไม่ได้ หากไม่ได้รับคำแนะนำและ ประสพการณ์ที่เป็นแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี จากคณะกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ ดร. วิเชียร อุปแก้ว ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อำนวย เรืองวารีและผู้ทรงคุณวุฒิ รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาติ โชคชัยธรรม ผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ รุ่งพี เพื่อนและรุ่นน้องนักศึกษาในห้องปฏิบัติการและวิจัยทางด้านการ ประมวลผลสัญญาณ ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลและคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการ ทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนทุนทรัพย์ในการเล่าเรียน และให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ทศพล แก้วรามุข

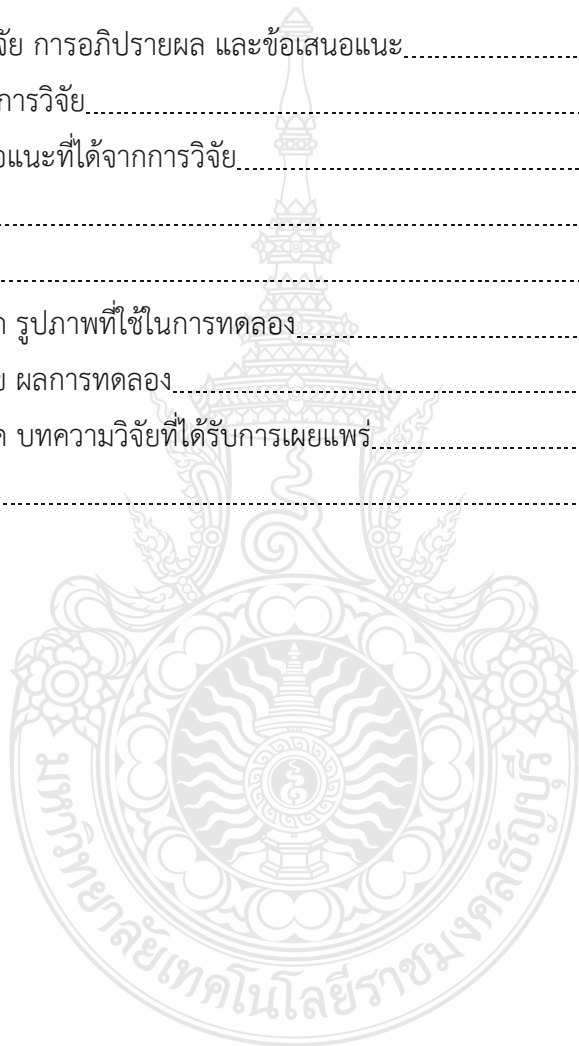


## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
บทที่ 1 บทนำ.....	11
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	11
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	14
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	14
1.4 ข้อยกเว้นของการศึกษา.....	14
1.5 วิธีการดำเนินการทางวิจัยและขั้นตอนการศึกษา.....	14
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	15
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.1 สเตอริโอวิชัน (Stereo Vision).....	16
2.2 การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning).....	18
2.3 การตรวจจับวัตถุ (Object Detection).....	23
2.4 การวัดประสิทธิภาพ (Performance Evaluation).....	26
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	30
3.1 การเตรียมชุดข้อมูล.....	31
3.2 การสอบเทียบกล้องสเตอริโอ.....	37
3.3 การฝึกอบรมระบบตรวจจับคนเดินเท้า.....	39

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	42
4.1 ผลการทดสอบวัฏระยะของกล้องสแตอริโอ.....	42
4.2 ผลการสอบระบบตรวจจับคนเดินเท้า.....	48
4.3 ผลการทดสอบการรวมระบบประมวลผลภาพสแตอริโอกับระบบตรวจจับมนุษย์.....	51
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	55
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	55
5.2 ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย.....	55
บรรณานุกรม.....	56
ภาคผนวก.....	58
ภาคผนวก ก รูปภาพที่ใช้ในการทดลอง.....	59
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง.....	72
ภาคผนวก ค บทความวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่.....	96
ประวัติผู้เขียน.....	129



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 การแบ่งข้อมูลภาพสำหรับการฝึกอบรมและทดสอบ.....	39
ตารางที่ 3.2 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันแบบ VGG-16.....	40
ตารางที่ 3.3 รายละเอียดการแก้ไขโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันแบบ VGG-16.....	41
ตารางที่ 3.4 รายละเอียดการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	41
ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของชุดข้อมูลภาพที่ใช้ทดสอบ.....	42
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบของการวัดระยะห่างของมนุษย์กับกล้องสเตอริโอ.....	47
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบของ Faster RCNN ในการตรวจจับมนุษย์.....	50
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบของการวัดระยะห่างร่วมกับการตรวจจับมนุษย์จากกล้องสเตอริโอ..	54





## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1	แผนงานพัฒนาโครงข่ายรถไฟระหว่างเมือง..... 11
ภาพที่ 1.2	การเกิดอุบัติเหตุทางราง..... 12
ภาพที่ 1.3	ระยะเบรกหยุดของขบวนรถไฟแปรผันตามความเร็ว..... 13
ภาพที่ 1.4	เปรียบเทียบมุมมองจากผู้บังคับรถไฟและมุมมองที่ได้จากกล้อง..... 13
ภาพที่ 2.1	การมองเห็นภาพของมนุษย์..... 16
ภาพที่ 2.2	แบบจำลองวัตถุที่สนใจบนระนาบของภาพจากกล้องแบบคู่..... 16
ภาพที่ 2.3	ลักษณะทางเรขาคณิตของกล้องแบบคู่..... 17
ภาพที่ 2.4	ปัญญาประดิษฐ์, การเรียนรู้ของเครื่อง และการเรียนรู้เชิงลึก..... 18
ภาพที่ 2.5	โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)..... 19
ภาพที่ 2.6	โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Neural Network)..... 19
ภาพที่ 2.7	บล็อกตัวอย่างการคอนโวลูชันของเครือข่าย VGG-16..... 20
ภาพที่ 2.8	กราฟแสดงสมการฟังก์ชันเรคติไฟด์เชิงเส้น..... 21
ภาพที่ 2.9	ตัวอย่างการทำแอฟเวอเรจพูลลิ่งและแมกซ์พูลลิ่ง..... 22
ภาพที่ 2.10	กระบวนการอาร์ซีเอ็นเอ็น..... 23
ภาพที่ 2.11	กระบวนการฟาส อาร์ซีเอ็นเอ็น..... 24
ภาพที่ 2.12	กระบวนการฟาสเตอร์ อาร์ซีเอ็นเอ็น..... 25
ภาพที่ 2.13	แสดงตัวอย่างของการวัดค่าไอโอยู..... 26
ภาพที่ 3.1	แผนผังขั้นตอนการทำงานของระบบตรวจจับวัตถุ..... 30
ภาพที่ 3.2	บอร์ดลายตารางหมากรุกที่ใช้ในการสอบเทียบ..... 31
ภาพที่ 3.3	ชุดข้อมูลภาพจาก ZED Stereo Camera สำหรับการสอบเทียบ..... 32
ภาพที่ 3.4	การแยกส่วนภาพของชุดข้อมูลการสอบเทียบ..... 32
ภาพที่ 3.5	ตัวอย่างภาพจากชุดข้อมูลคนเดินเท้าที่ยื่นตามระยะที่กำหนดไว้..... 33
ภาพที่ 3.6	การแยกส่วนภาพของชุดข้อมูลการตรวจวัดระยะ..... 34
ภาพที่ 3.7	การตีกรอบภาพและระบุคลาสของคนเดินเท้าในชุดข้อมูลภาพจากกล้องสเตอริโอ.. 35
ภาพที่ 3.8	ข้อมูลตารางที่ได้จาก Image Labeler Toolbox ของชุดข้อมูลจากกล้องสเตอริโอ 35
ภาพที่ 3.9	ชุดข้อมูลที่บันทึกภาพคนเดินเท้าบริเวณรางรถไฟจากกล้องดิจิทัล..... 36

## สารบัญภาพ (ต่อ)

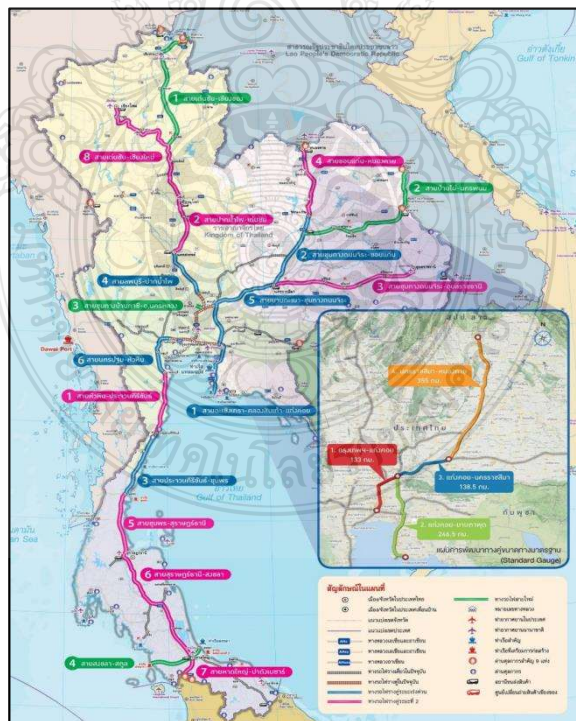
	หน้า
ภาพที่ 3.10 การตีกรอบภาพและระบุคลาสของคนเดินเท้าในชุดข้อมูลภาพจากกล้องดิจิทัล.....	36
ภาพที่ 3.11 ข้อมูลตารางที่ได้จาก Image Labeler Toolbox ของชุดข้อมูลจากกล้องดิจิทัล....	36
ภาพที่ 3.12 การใช้ Stereo Camera Calibrator Toolbox สำหรับการสอบเทียบกล้อง.....	37
ภาพที่ 3.13 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการสอบเทียบกล้อง.....	37
ภาพที่ 3.14 ผลการสอบเทียบกล้องที่ได้รับจาก Stereo Camera Calibrator Toolbox.....	38
ภาพที่ 3.15 ผลความผิดพลาดที่ได้รับจากการปรับปรุงประสิทธิภาพของการสอบเทียบกล้อง....	38
ภาพที่ 3.16 การปรับลดความละเอียดของภาพและการระบุตำแหน่งมนุษย์.....	39
ภาพที่ 4.1 ภาพการวัดระยะของกล้องสเตอริโอที่ระยะ 5 เมตร.....	43
ภาพที่ 4.2 ผลการทดสอบวัดระยะของกล้องสเตอริโอที่ระยะ 5 เมตร.....	43
ภาพที่ 4.3 ภาพการวัดระยะของกล้องสเตอริโอที่ระยะ 10 เมตร.....	44
ภาพที่ 4.4 ผลการทดสอบวัดระยะของกล้องสเตอริโอที่ระยะ 10 เมตร.....	44
ภาพที่ 4.5 ภาพการวัดระยะของกล้องสเตอริโอที่ระยะ 15 เมตร.....	45
ภาพที่ 4.6 ผลการทดสอบวัดระยะของกล้องสเตอริโอที่ระยะ 15 เมตร.....	45
ภาพที่ 4.7 ภาพการวัดระยะของกล้องสเตอริโอที่ระยะ 20 เมตร.....	46
ภาพที่ 4.8 ผลการทดสอบวัดระยะของกล้องสเตอริโอที่ระยะ 20 เมตร.....	46
ภาพที่ 4.9 ผลการทดสอบ Faster RCNN ที่กำหนดค่าพารามิเตอร์รูปแบบที่ 1.....	48
ภาพที่ 4.10 ผลการทดสอบ Faster RCNN ที่กำหนดค่าพารามิเตอร์รูปแบบที่ 2.....	49
ภาพที่ 4.11 ผลการทดสอบ Faster RCNN ที่กำหนดค่าพารามิเตอร์รูปแบบที่ 3.....	49
ภาพที่ 4.12 ผลการทดสอบในการตรวจจับมนุษย์จากกล้องสเตอริโอที่ระยะ 5 เมตร.....	51
ภาพที่ 4.13 ผลการทดสอบในการวัดระยะร่วมกับการตรวจจับมนุษย์ที่ระยะ 5 เมตร.....	51
ภาพที่ 4.14 ผลการทดสอบในการตรวจจับมนุษย์จากกล้องสเตอริโอที่ระยะ 10 เมตร.....	52
ภาพที่ 4.15 ผลการทดสอบในการวัดระยะร่วมกับการตรวจจับมนุษย์ที่ระยะ 10 เมตร.....	52
ภาพที่ 4.16 ผลการทดสอบในการตรวจจับมนุษย์จากกล้องสเตอริโอที่ระยะ 15 เมตร.....	53
ภาพที่ 4.17 ผลการทดสอบในการวัดระยะร่วมกับการตรวจจับมนุษย์ที่ระยะ 15 เมตร.....	53

# บทที่ 1

## บทนำ

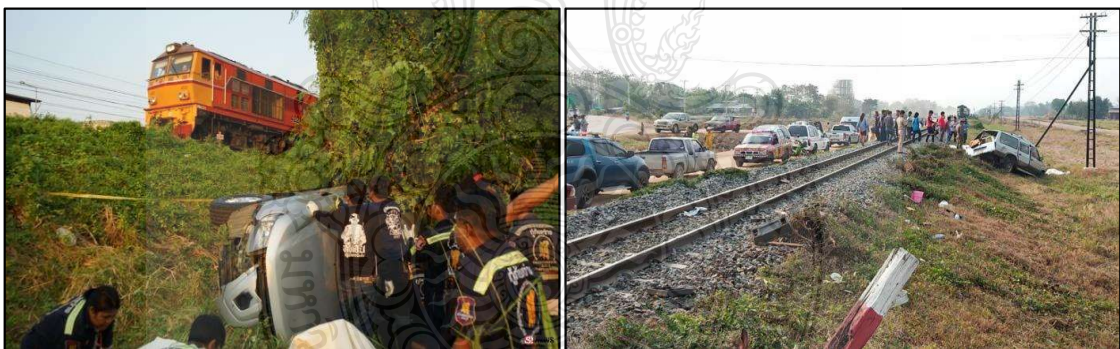
### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันประเทศไทยให้ความสำคัญในการพัฒนาประเทศเพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนในด้านการเดินทางและการขนส่งสินค้ารวมถึงการขับเคลื่อนระบบเศรษฐกิจเพื่อรองรับการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ โดยมุ่งเน้นในด้านระบบคมนาคมขนส่งที่เป็นปัจจัยพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาประเทศ จึงได้มีการกำหนดยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบคมนาคมขนส่งในหลายรูปแบบ [1-2] เนื่องจากการเดินทางและการขนส่งสินค้าส่วนใหญ่ในประเทศพึ่งพาโครงข่ายถนนมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 81.1 ของสัดส่วนปริมาณการเดินทางและการขนส่งสินค้าทางถนนในปี 2560 อีกทั้งยังมีต้นทุนการขนส่งที่สูง ดังนั้นเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเดินทางและการขนส่งสินค้าทางถนนไปสู่การขนส่งที่มีต้นทุนที่ต่ำกว่า โดยการขนส่งทางรางนั้นมีต้นทุนในการขนส่งต่อหน่วยที่ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับ การขนส่งทางถนน [3-4] ทำให้ได้รับความสนใจในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านระบบคมนาคมขนส่งทางรางดังภาพที่ 1.1 เพื่อผลประโยชน์ในการลดต้นทุนและเพิ่มการอำนวยความสะดวกให้เป็นทางเลือกสำหรับการเดินทางของประชาชนและการขนส่งสินค้า



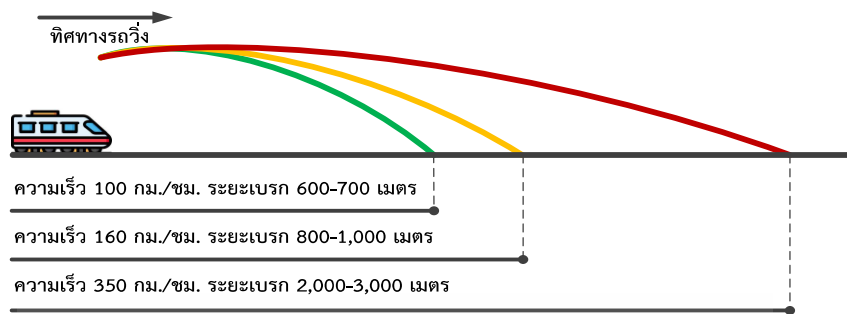
ภาพที่ 1.1 แผนงานพัฒนาโครงข่ายรถไฟระหว่างเมือง [1]

จากการรายงานโครงสร้างพื้นฐานคมนาคมในปี 2561 ที่ผ่านมาโครงข่ายรถไฟมีระยะทางรางทั้งหมด 4,507.884 กิโลเมตรแบ่งออกเป็น 5 เส้นทางสายหลักคือ สายเหนือ สายตะวันออกเฉียงเหนือ สายใต้ สายตะวันออกและสายมหาชัย-แม่กลอง ที่ครอบคลุมพื้นที่ 47 จังหวัดของประเทศ [5] ทั้งนี้มีแนวโน้มที่จะเกิดการขยายตัวของเส้นทางรถไฟเพิ่มขึ้นให้รองรับกับการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ เพื่อสนับสนุนให้มีการเชื่อมโยงโครงข่ายรถไฟไปสู่จุดยุทธศาสตร์ที่สำคัญและการเชื่อมโยงกับโครงข่ายรถไฟระหว่างประเทศอย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่การพัฒนาระบบขนส่งทางรางของประเทศนั้นยังคงต้องเผชิญกับปัจจัยความท้าทายในหลายด้าน ซึ่งปัจจัยด้านความปลอดภัยเป็นสิ่งสำคัญที่สุดที่จะช่วยยกระดับคุณภาพการให้บริการและลดความเสี่ยงจากมูลค่าความเสียหายในชีวิตและทรัพย์สิน [3] โดยในปี 2560 พบว่าสถิติการเกิดอุบัติเหตุทางรางมีการเกิดอุบัติเหตุ จำนวน 72 ครั้ง ผู้บาดเจ็บจำนวน 49 คน และผู้เสียชีวิตจำนวน 15 คน ซึ่งมีสาเหตุสำคัญที่เกิดจากความประมาทของผู้ใช้รถใช้ถนนบนเส้นทางตัดผ่านทางรถไฟหรือมีทัศนวิสัยและสภาพแวดล้อมไม่เอื้ออำนวยต่อการมองเห็น รวมทั้งอุปกรณ์ด้านความปลอดภัยมีความผิดปกติ จากข้อมูลในปัจจุบันบริเวณจุดตัดรถไฟกับถนนมีจำนวน 2,683 แห่ง และจุดที่มักจะมีอุบัติเหตุบ่อยครั้งคือบริเวณจุดตัดที่ไม่มีเครื่องกั้นและจุดที่ไม่ได้รับอนุญาตหรือเรียกว่าทางลักผ่านมีจำนวน 622 แห่ง [6-7]



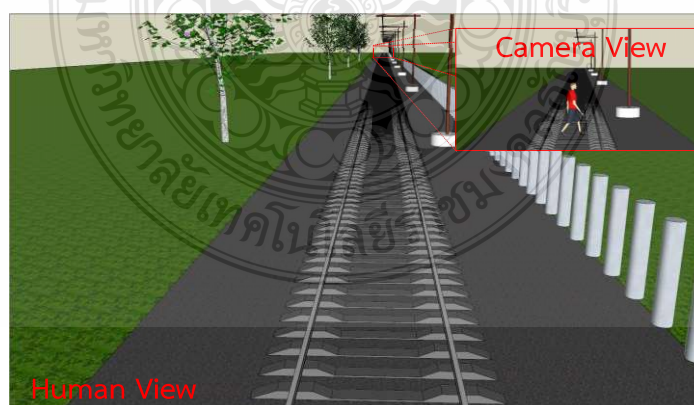
ภาพที่ 1.2 การเกิดอุบัติเหตุทางราง [8-9]

เมื่อก้าวถึงการมองเห็นของผู้บังคับรถไฟต่อสิ่งกีดขวางบนเส้นทางรางนั้นจะมีทัศนวิสัยดีที่สุดในระยะประมาณ 800 เมตรและจะมีระยะทางที่น้อยลงในกรณีที่มีสภาพทัศนวิสัยที่ไม่เอื้ออำนวย ทั้งนี้หากผู้บังคับรถไฟมีระยะการมองเห็นสิ่งกีดขวางที่น้อยกว่าระยะการหยุดของรถไฟจะทำให้เกิดอุบัติเหตุรถไฟวิ่งชนกับสิ่งกีดขวางและถ้ามีการบังคับหยุดรถไฟกะทันหันจะทำให้ขบวนรถไฟเกิดอันตรายส่งผลกระทบต่อผู้โดยสารและสร้างความเสียหายให้กับสินค้าที่กำลังขนส่ง ซึ่งระยะทางการหยุดของรถไฟนั้นจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถไฟ [10] ในขณะที่รถไฟมีการใช้ความเร็วในเคลื่อนที่มากขึ้นก็จะส่งผลให้ระยะทางการหยุดรถนั้นมากขึ้นแสดงดังภาพที่ 1.3



ภาพที่ 1.3 ระยะเบรกหยุดของขบวนรถไฟแปรผันตามความเร็ว [10]

ดังนั้นการแก้ไขปัญหาด้านทัศนวิสัยของผู้บังคับรถไฟทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำระบบประมวลผลภาพมาใช้กับขบวนรถไฟในการเข้ามาช่วยอำนวยความสะดวกและเพิ่มทัศนวิสัยให้กับผู้บังคับรถไฟที่มีทัศนวิสัยที่จำกัดดังภาพที่ 1.4 ระบบประมวลผลภาพที่นำมาใช้ในการศึกษานั้นเลือกกล้องแบบวิสัยทัศนสเตอริโอที่มีลักษณะของข้อมูลเป็นแบบ 3 มิติ ซึ่งให้รายละเอียดระยะทางของวัตถุที่สนใจได้ดีกว่ากล้อง 1 ตัวที่เป็นภาพแบบ 2 มิติ อีกทั้งมีการประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบปัญญาประดิษฐ์ถูกออกแบบบนหลักการของเทคนิค Faster Region Convolution Neural Networks (Faster R-CNN) โดยมุ่งเน้นการแยกแยะและจดจำวัตถุหรือมนุษย์ที่เข้ามาสู่เส้นทางขนส่งคมนาคม เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบแจ้งเตือนให้ผู้บังคับรถไฟทราบถึงวัตถุและระยะห่างที่ตรวจพบ ทั้งนี้ผู้วิจัยมีเป้าหมายที่จะสร้างนวัตกรรมต้นแบบระบบป้องกันอุบัติเหตุของตัวรถไฟ ซึ่งจะเป็นส่วนหนึ่งในระบบรถไฟเคลื่อนที่อัตโนมัติที่ประยุกต์ใช้อุปกรณ์เซ็นเซอร์ร่วมกับการประมวลผลภาพและปัญญาประดิษฐ์เข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเดินรถให้ความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน



ภาพที่ 1.4 เปรียบเทียบมุมมองจากผู้บังคับรถไฟและมุมมองที่ได้จากกล้อง



## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาหลักการของการประมวลผลภาพจากกล้องสเตอริโอ เพื่อใช้สำหรับการตรวจวัดระยะห่างของวัตถุที่สนใจ

1.2.2 ศึกษาหลักการของการเรียนรู้เชิงลึกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน เพื่อใช้สำหรับการตรวจจับวัตถุที่สนใจ

1.2.3 ประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพสเตอริโอร่วมกับการเรียนรู้เชิงลึก เพื่อสร้างต้นแบบระบบการตรวจจับวัตถุโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์สำหรับระบบขนส่งทางราง

## 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ออกแบบและสร้างต้นแบบระบบการตรวจจับวัตถุโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์สำหรับระบบขนส่งทางราง

1.3.2 สามารถตรวจจับมนุษย์หรือวัตถุคล้ายมนุษย์ได้ และระบบมีประสิทธิภาพโดยรวมของความถูกต้องในการตรวจจับไม่น้อยกว่าร้อยละ 80

1.3.3 สามารถระบุระยะห่างของมนุษย์ที่ตรวจจับได้ในระยะไม่เกิน 15 เมตร และระบบมีประสิทธิภาพความถูกต้องโดยรวมไม่น้อยกว่าร้อยละ 80

## 1.4 ข้อกำหนดของการศึกษา

1.4.1 ภาพถ่ายที่นำมาใช้ในการฝึกอบรมและทดสอบระบบตรวจจับมนุษย์เป็นภาพถ่ายที่ได้จากการกล้องดิจิทัลรุ่น Sony A6000

1.4.2 ภาพถ่ายที่นำมาใช้ในการทดสอบวัดระยะเป็นภาพถ่ายที่ได้จาก ZED Stereo Camera

1.4.4 ภาพถ่ายที่นำมาวิจัยทั้งหมดเป็นภาพถ่ายในเวลากลางวัน

1.4.5 ภาพถ่ายจะต้องมีมุมมองเดียวกันกับผู้บังคับรถไฟ

1.4.6 ภาพถ่ายที่ใช้ในการฝึกอบรมและทดสอบภายในจะมีมนุษย์ 1 คนต่อ 1 ภาพ

1.4.7 กล้องและตำแหน่งที่ทำการบันทึกจะอยู่กับที่

## 1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัยและขั้นตอนการศึกษา

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการประมวลผลภาพจากกล้องสเตอริโอ

1.5.2 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการเรียนรู้เชิงลึกแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน

1.5.3 ศึกษาหลักการของสถาปัตยกรรมเครือข่ายการตรวจจับวัตถุ

1.5.4 รวบรวมข้อมูลภาพถ่ายและสังเคราะห์ข้อมูลที่จำเป็นเพื่อออกแบบ

1.5.5 การสอบเทียบกล้องสเตอริโอและการฝึกอบรมระบบตรวจจับมนุษย์

1.5.6 ทดสอบวัดประสิทธิภาพการตรวจวัดระยะห่างของมนุษย์

1.5.7 ทดสอบวัดประสิทธิภาพการตรวจจับมนุษย์

1.5.8 ทดสอบวัดประสิทธิภาพการตรวจวัดระยะร่วมกับตรวจจับมนุษย์

1.5.9 สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้ต้นแบบระบบการตรวจจับวัตถุโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์สำหรับระบบขนส่งทางราง

1.6.2 สามารถนำไปเป็นแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพด้านความปลอดภัยให้กับระบบขนส่งทางราง เพื่อลดความสูญเสียในชีวิตและทรัพย์สิน

1.6.3 สามารถนำงานวิจัยนี้ไปพัฒนาต่อยอดให้สามารถใช้งานจริง โดยออกแบบเป็นระบบแจ้งเตือนสิ่งกีดขวางทางรางและระบบชะลอความเร็วอัตโนมัติสำหรับรถไฟ

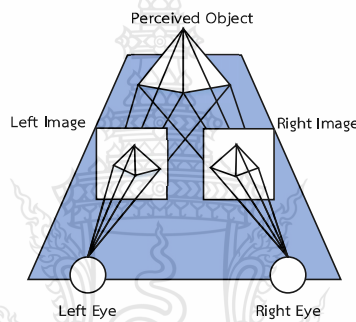


## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

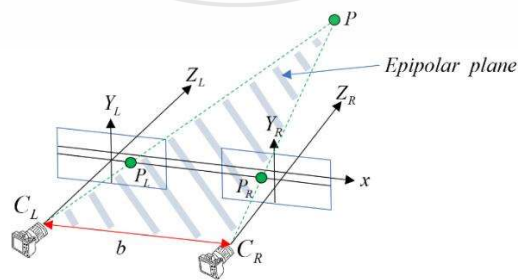
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอทฤษฎีด้านการประมวลผลภาพสเตอริโอที่นำมาใช้ร่วมกับการเรียนรู้เชิงลึกและหลักการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องรวมถึงรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาต้นแบบระบบการตรวจจับวัตถุสำหรับระบบคมนาคมขนส่ง โดยมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

#### 2.1 สเตอริโอวิชัน



ภาพที่ 2.1 การมองเห็นภาพของมนุษย์

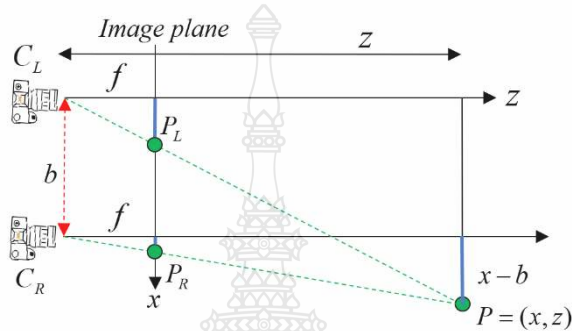
การมองเห็น (Vision) ของมนุษย์สามารถรับรู้ข้อมูลวัตถุในภาพได้แบบ 3 มิติจากอวัยวะที่สำคัญคือ ดวงตาทั้ง 2 ข้างที่ทำหน้าเป็นตัวรับข้อมูลภาพและส่งข้อมูลภาพผ่านเส้นประสาทตา (Optical Nerve) ไปประมวลผลที่สมองในส่วนของการมองเห็นที่อยู่ด้านหลังของสมองเรียกว่าสมองกลีบท้ายทอย (Occipital Lobe) ซึ่งกล้องแบบสเตอริโอวิชันหรือเรียกว่าระบบการมองเห็นแบบกล้องคู่ นั้นก็อาศัยหลักการเดียวกันกับการมองเห็นของมนุษย์ โดยนำภาพจากกล้องทั้ง 2 ตัวไปประมวลผลเพื่อสร้างข้อมูลแบบ 3 มิติดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.2 แบบจำลองวัตถุที่สนใจบนระนาบของภาพจากกล้องแบบคู่



จากภาพที่ 2.2 แสดงถึงการแยกออกจากกันของภาพจากกล้องคู่ในทิศทางของแกน X โดยถูกกำหนดระยะห่างเท่ากับระยะสัญญาณ (Base line : b) และมีระนาบของภาพ (Image plane) อยู่ในระนาบเดียวกัน ดังนั้นเมื่อมีวัตถุที่สนใจจะส่งผลให้วัตถุนั้นปรากฏขึ้นบนระนาบของภาพทั้งสองในตำแหน่งที่ไม่เท่ากัน ซึ่งจะมีระยะระหว่างตำแหน่งที่ปรากฏบนระนาบนั้นเรียกว่าความต่างกัน (Disparity) และระนาบที่ตัดผ่านจุดกึ่งกลางของกล้องทั้งสองไปยังวัตถุที่สนใจเรียกว่า Epipolar plane



ภาพที่ 2.3 ลักษณะทางเรขาคณิตของกล้องแบบคู่

จุด P จะแสดงบนระนาบของภาพด้านซ้ายเป็นจุด  $P_L$  และระนาบของภาพด้านขวาเป็นจุด  $P_R$  และกำหนดจุดกำเนิดให้อยู่ในตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งจุดกึ่งกลางเลนส์ของกล้อง ดังนั้นจึงสามารถคำนวณได้จากการเปรียบเทียบสามเหลี่ยมคล้ายจากภาพที่ 2.3 ดังนี้

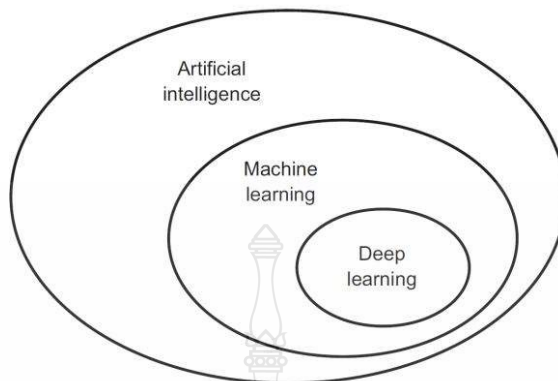
$$\frac{z}{f} = \frac{x}{x_L} \quad (1)$$

$$\frac{z}{f} = \frac{x-b}{x_R} \quad (2)$$

$$Z = \frac{f \times b}{(x_L - x_R)} \quad (3)$$

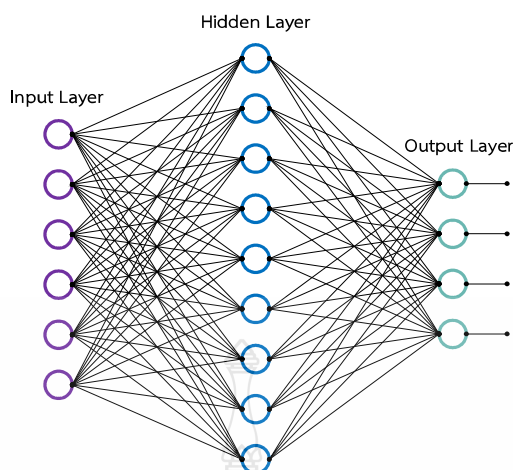
ดังนั้นการหาระยะห่างระหว่างวัตถุที่สนใจกับกล้องหาได้จากค่าความแตกต่างของภาพทั้งสอง ซึ่งเป็นการหาแผนที่ความไม่เท่ากัน (Disparity maps)

## 2.2 การเรียนรู้เชิงลึก

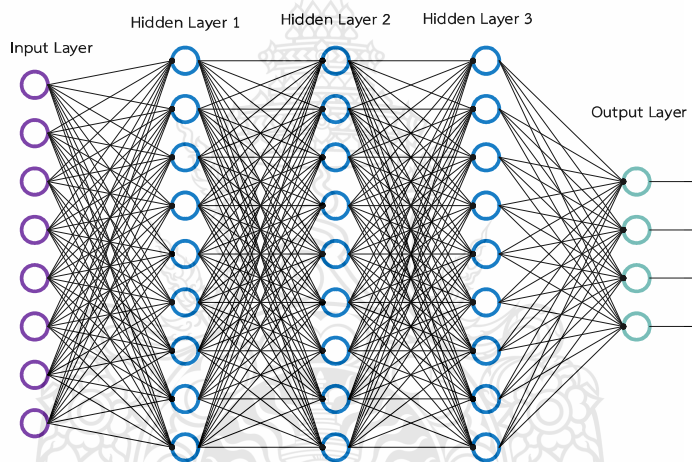


ภาพที่ 2.4 ปัญญาประดิษฐ์, การเรียนรู้ของเครื่อง และการเรียนรู้เชิงลึก [11]

การเรียนรู้เชิงลึกเป็นส่วนหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) และเป็นส่วนย่อยของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machining Learning: ML) ดังภาพที่ 2.4 โดยการเรียนรู้เชิงลึกนั้นเป็นซอฟต์แวร์ที่เลียนแบบกระบวนการทำงานของโครงข่ายเซลล์ประสาท (Neural Network) ในสมองมนุษย์ให้กับคอมพิวเตอร์เพื่อเรียนรู้และเข้าใจชุดข้อมูลที่ได้รับให้มีความแม่นยำเพิ่มมากขึ้น เนื่องด้วยการเรียนรู้ของเครื่องนั้นยังประสบปัญหาด้านของความแม่นยำในการประมวลผลข้อมูลที่มีความซับซ้อนส่งผลให้ทางนักวิจัยด้านการเรียนรู้ของเครื่องได้นำเสนอการพัฒนาอัลกอริทึมจากโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) แบบเดิมดังภาพที่ 2.5 ที่มีโครงสร้างพื้นฐาน 3 ส่วนคือ ชั้นขาเข้า (Input Layer) ชั้นที่ซ่อนอยู่ระหว่างกลาง (Hidden Layer) และชั้นขาออก (Output Layer) ซึ่งแบบใหม่จะทำการเพิ่มจำนวนของชั้นที่ซ่อนอยู่ระหว่างกลางมากขึ้นเพื่อทำให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถประมวลผลข้อมูลที่มีความซับซ้อนและมีความแม่นยำเพิ่มมากขึ้นดังภาพที่ 2.6 จึงเรียกอัลกอริทึมที่มีโครงข่ายประสาทเทียมหลายๆชั้นนี้ว่า โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Neural Network: DNN) [10] ทั้งนี้โครงข่ายประสาทเทียมแบบลึกนั้นมีหลายรูปแบบตัวอย่างเช่น โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolution Neural Network: CNN) โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนกลับ (Recurrent Neural Network: RNN) และโครงข่ายความหนาเชื่อถือ (Deep Belief Networks: DBN)

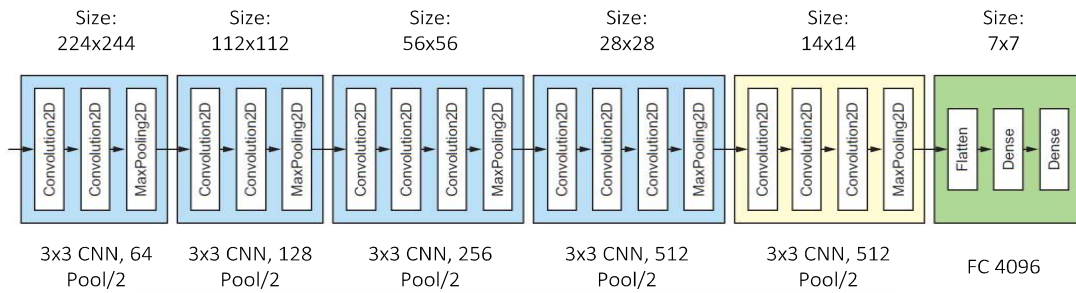


ภาพที่ 2.5 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)



ภาพที่ 2.6 โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Neural Network)

การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกในปัจจุบันมีอย่างแพร่หลายในด้านการรู้จำเสียงและเสียงพูด (Speech and Audio Recognition) การรู้จำภาพ (Image Recognition) และการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing) โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันดังภาพที่ 2.7 ซึ่งเป็นหนึ่งในประเภทของโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกที่เหมาะสมสำหรับการประมวลผลภาพแบบ 2 มิติและ 3 มิติ ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมประเภทนี้มีความสามารถในการสกัดคุณลักษณะเด่น (Feature Extraction) ของข้อมูลภาพที่มาจากการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์และเมื่อข้อมูลภาพนั้นผ่านกระบวนการแรกจนถึงกระบวนการสุดท้ายผลลัพธ์ที่ได้คือคุณลักษณะเด่นระดับสูง (High-Level Feature) เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการแยกแยะและจดจำข้อมูลภาพ

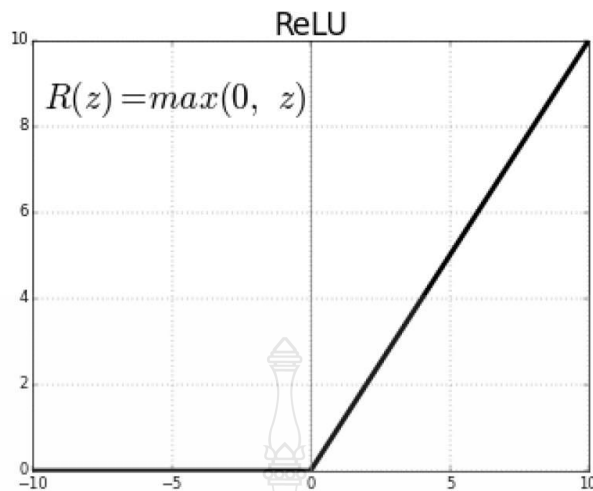


ภาพที่ 2.7 บล็อกตัวอย่างการคอนโวลูชันของเครือข่าย VGG-16

โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันนั้นประกอบด้วย 4 ขั้นตอนการทำงาน โดยเรียนรู้จากคุณลักษณะเด่นของข้อมูลภาพจากชั้นคอนโวลูชัน ชั้นพูลลิงและชั้นการเชื่อมโยงเต็มรูปแบบ ซึ่งเป็นขั้นที่แปลงผลลัพธ์จากการทำคอนโวลูชันและทำหน้าที่ในการสร้างผลลัพธ์สุดท้ายของโครงข่ายประสาทเทียม โดยแต่ละชั้นมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ชั้นคอนโวลูชัน (Convolutional Layer) ประกอบด้วยตัวกรองที่สามารถเรียนรู้ได้ โดยตัวกรองมีลักษณะเป็นเมทริกซ์ประกอบกัน ได้แก่ ความกว้าง ความยาว และความลึก จากนั้นตัวกรองจะเลื่อนผ่านเมทริกซ์ของภาพไปเรื่อย ๆ จนได้ภาพคอนโวลูชันที่เป็นภาพจากตัวกรองของภาพขาเข้า ในแบบจำลองสามารถมีตัวกรองได้มากกว่า 1 ตัวกรองเพื่อรองรับคุณลักษณะของภาพขาเข้าที่แตกต่างกัน โดยที่ค่าเมทริกซ์ของตัวกรองจะมีการเรียนรู้ในระหว่างขั้นตอนการสอนของแบบจำลองอีกด้วย

2) ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) เป็นฟังก์ชันที่กำหนดให้ข้อมูลขาเข้าส่งต่อไปยังโหนด และกำหนดผลลัพธ์ของโหนดนั้น ๆ เนื่องจากเป็นฟังก์ชันที่ตัดสินใจผลลัพธ์ที่แท้จริง จึงเรียกผลลัพธ์ของขั้นนี้ว่าการกระตุ้น (Activation) โดยฟังก์ชันการกระตุ้นที่เป็นที่นิยมใช้ในคอนโวลูชัน คือ ฟังก์ชันเรคตีไฟด์เชิงเส้น (Rectified Linear unit : ReLU) ที่ช่วยลดจำนวนตัวแปรในโครงข่ายซึ่งส่งผลทำให้ โครงข่ายเรียนรู้ได้เร็วและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นโดยการเปลี่ยนค่าลบจากผลลัพธ์ให้เป็น 0 และคงค่าที่เป็นบวกไว้ดังภาพที่ 2.8 และสมการที่ 4 และจะมีเพียงผลลัพธ์ของคุณลักษณะเท่านั้นที่ถูกส่งต่อไปยังขั้นถัดไป



ภาพที่ 2.8 กราฟแสดงสมการฟังก์ชันเรกติไฟต์เชิงเส้น

$$R(z) = \max(0, z) \quad (4)$$

โดยที่

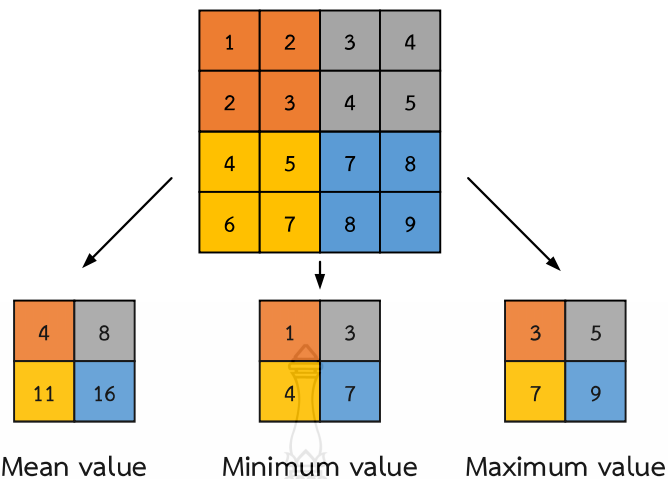
$$\text{ผลลัพธ์เป็นบวกก็ต่อเมื่อ } R(1) = \max(0, 1) = 1$$

$$\text{ผลลัพธ์เป็นลบก็ต่อเมื่อ } R(-1) = \max(0, -1) = 0$$

นอกจากนี้ฟังก์ชันค่าสูงสุดอย่างอ่อน (Softmax function) เป็นฟังก์ชันการถดถอยโลจิสติกที่ใช้สำหรับการจำแนกประเภทหลายชั้นดังสมการที่ 5 โดยฟังก์ชันค่าสูงสุดอย่างอ่อนถูกใช้ในชั้นสุดท้ายของโครงข่ายเพื่อใช้คาดการณ์และใช้ความน่าจะเป็นสูงสุดจากข้อมูลประเภท

$$f(z)_j = \frac{e^{z_j}}{\sum_{i=1}^K e^{z_i}} \quad (5)$$

3) ชั้นการพูลลิ่ง (Pooling หรือ Sub-sampling) เป็นชั้นที่ช่วยลดขนาดเฉพาะความกว้างและความสูงของภาพ แต่ความลึกยังคงค่าไว้เหมือนเดิม ส่วนใหญ่พูลลิ่งประกอบด้วย 3 ประเภท ได้แก่ แมกซ์พูลลิ่ง (Max pooling) มินพูลลิ่ง (Min pooling) และแอฟเวอเรจพูลลิ่ง (Average pooling) โดยชั้นพูลลิ่งดำเนินการกับแต่ละชั้นของความลึกได้อย่างอิสระและปรับขนาดของภาพดังตัวอย่างดังภาพที่ 2.9 โดยใช้การดำเนินการทางคณิตศาสตร์ในแต่ละประเภทของพูลลิ่งดังที่ได้ระบุไว้ก่อนหน้านี้ ชั้นพูลลิ่งมีประโยชน์ในการลดความยุ่งยากของผลลัพธ์โดยการสุ่มตัวอย่างแบบไม่เชิงเส้นและลดจำนวนของตัวแปรที่โครงข่ายต้องการเรียนรู้



ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างการทำพูลลิง 3 ประเภท

5) การเชื่อมโยงเต็มรูปแบบ (Fully Connected) เป็นขั้นที่ดำเนินการหลังจากที่คุณลักษณะในหลายชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันเปลี่ยนไปสู่การจำแนก เซลล์ประสาทในชั้นนี้มีการเชื่อมต่อการกระตุ้นทั้งหมดในชั้นก่อนหน้าและสามารถคำนวณการกระตุ้นเหล่านี้ด้วยการคูณเมทริกซ์ด้วยค่าไบแอส (Bias) ในชั้นนี้จะแสดงเวกเตอร์ผลลัพธ์ของ  $K$  มิติ โดยที่  $K$  เป็นจำนวนประเภทที่โครงข่ายต้องการที่จะคาดการณ์ผลลัพธ์ เวกเตอร์ที่กล่าวถึงนี้ประกอบไปด้วยแต่ละประเภทของภาพที่กำลังจะถูกจัดอยู่ในรูปแบบของกลุ่มประเภท

การดำเนินการของชั้นต่าง ๆ ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันจะเกิดขึ้นแบบวนซ้ำโดยแต่ละชั้นจะเรียนรู้คุณลักษณะต่าง ๆ ที่ต้องการค้นหาจากข้อมูลนำเข้า ข้อดีของการใช้โครงข่ายประเภทนี้ คือ การแบ่งปันและการเชื่อมโยงตัวแปรซึ่งการแบ่งปันตัวแปรสามารถช่วยลดจำนวนของตัวแปรค่าน้ำหนักให้เหลือเพียง 1 ชั้นโดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของผลลัพธ์ที่จะคาดการณ์ นอกจากนี้คอนโวลูชันยังแบ่งคุณลักษณะข้อมูลขาเข้าให้เป็นคุณลักษณะที่มีขนาดเล็กลง ทำให้แต่ละค่าผลลัพธ์ขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลขาเข้าขนาดเล็ก ส่งผลให้สามารถปรับค่าได้อย่างรวดเร็ว

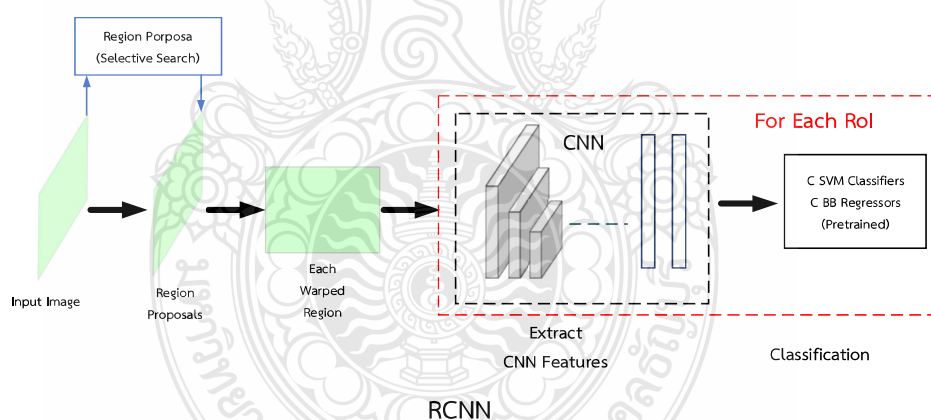


## 2.3 การตรวจจับวัตถุ

ในปัจจุบันการตรวจจับวัตถุ มีวิธีการที่เสนอบริเวณที่น่าจะมีวัตถุ (Object Proposal Algorithm) ทำให้ไม่ต้องทำการเลื่อนวินโดว์ (Sliding Windows) หาบริเวณที่มีวัตถุทั้งภาพ เช่น ซีเล็กทีฟเสิร์ช (Selective Search) วิธีการเสนอบริเวณที่น่าจะมีวัตถุเหล่านี้ถูกสร้างโดยใช้ความรู้ จากการมองเห็นของมนุษย์ เช่น สี เส้น คุณลักษณะต่าง ๆ เพื่อเสนอว่าบริเวณใดมีวัตถุ ทำให้สามารถ ลดบริเวณที่ต้องหาวัตถุได้มาก ซึ่งจากนั้นนำไปเข้ากระบวนการจำแนกต่อไป โดยวิธีการเสนอบริเวณที่น่าจะมีวัตถุ ถูกพัฒนาจนมีวิธีการอาร์ซีเอ็นเอ็น (R-CNN) และวิธีการ ฟาส อาร์ซีเอ็นเอ็น (Fast R-CNN) ซึ่งเป็นวิธีที่พัฒนามาก่อนหน้า ของวิธีฟาสเตอร์ อาร์ซีเอ็นเอ็น (Faster R-CNN)

### 2.4.1 อาร์ซีเอ็นเอ็น (R-CNN)

วิธีการอาร์ซีเอ็นเอ็น จะเริ่มจากใช้วิธีการเสนอบริเวณที่น่าจะมีวัตถุหาบริเวณที่น่าจะมีวัตถุ (เช่น ซีเล็กทีฟเสิร์ช) จากนั้นทำการตัด ย่อ ขยาย โดยไม่สนใจอัตราส่วนภาพ (Aspect Ratio) โดยย่อขนาดให้เท่ากับความต้องการของตัวจำแนก จากนั้นนำเข้าสู่กระบวนการคอนโวลูชันนอลนิรอลเน็ตเวิร์ค ซึ่งเป็นตัวสกัดคุณลักษณะเพื่อสร้างคุณลักษณะออกมา สุดท้ายนำไปเข้าตัวจำแนกเอสบีเอ็ม (SVM) เพื่อทำการจำแนกว่าบริเวณนั้นมีวัตถุหรือไม่ โดยวิธีการอาร์ซีเอ็นเอ็น แสดงดังภาพที่ 2.10

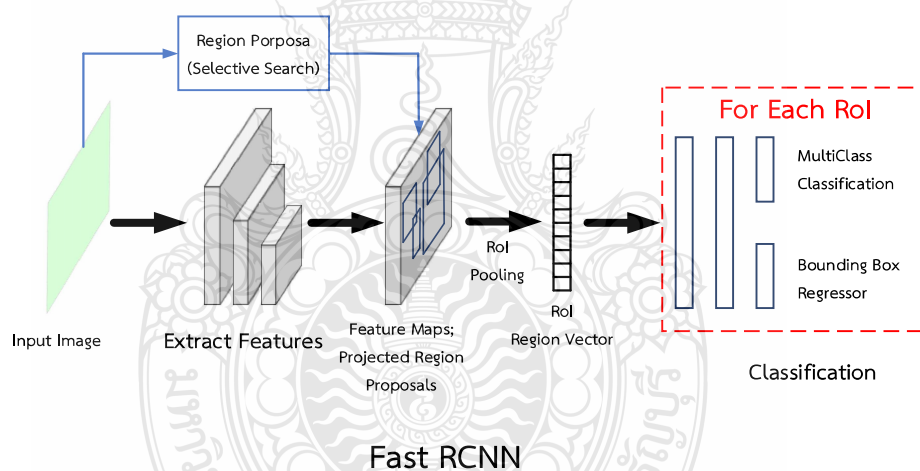


ภาพที่ 2.10 กระบวนการอาร์ซีเอ็นเอ็น

ข้อเสียของกระบวนการอาร์ซีเอ็นเอ็น คือ บริเวณที่น่าจะมีวัตถุ 1 บริเวณ จะต้องทำการเข้า กระบวนการคอนโวลูชันนอลนิรอลเน็ตเวิร์ค และจำแนกด้วยเอสบีเอ็ม ทีละ 1 บริเวณ และเนื่องจากบริเวณที่น่าจะมีวัตถุนั้นมีจำนวนมาก ทำให้ใช้เวลาและทรัพยากรในการประมวลผลมาก จึงได้มีการพัฒนาวิธีการฟาส อาร์ซีเอ็นเอ็น (Fast R-CNN) เข้ามาแก้ไข

## 2.4.2 ฟาส อาร์ซีเอ็นเอ็น (Fast R-CNN)

ฟาส อาร์ซีเอ็นเอ็น เป็นวิธีที่พัฒนามาจาก อาร์ซีเอ็นเอ็น โดยเริ่มต้นจากนำภาพนำเข้าไปหาบริเวณที่น่าจะมีวัตถุจากวิธีการเสนอบริเวณที่น่าจะมีวัตถุ (เช่น ซีล็คทีฟเสิช) จากนั้นนำภาพนำเข้าทั้งภาพเข้าสู่กระบวนการคอนโวลูชันนอลนิรอลเน็ตเวิร์คที่ถูกสอนจากตัวถ่ายโอนการเรียนรู้ จากนั้นจะใช้แผนภาพคุณลักษณะในขั้นสุดท้ายของการทำคอนโวลูชันมาเปรียบเทียบตำแหน่งที่น่าจะมีวัตถุ ซึ่งได้จากวิธีการเสนอบริเวณที่มีวัตถุในตอนแรก โดยหาว่าตำแหน่งที่น่าจะมีวัตถุอยู่บริเวณใดในแผนภาพคุณลักษณะขั้นสุดท้ายของการทำคอนโวลูชัน หลังจากนั้นเข้าสู่กระบวนการ อาร์โอไอพูลลิ่ง (ROI Pooling) เพื่อให้ได้ค่าคุณลักษณะที่ขนาดคงที่ (Fixed Size Feature Vector) จากนั้นเข้าสู่กระบวนการจำแนกที่เป็นกระบวนการเชื่อมโยงเต็มรูปแบบ (Fully Connected Layer) และค่า ซอฟต์แมกซ์ (Softmax) โดยสุดท้ายได้ผลลัพธ์ที่เป็นค่าของหมวดหมู่ของวัตถุ และจากตำแหน่งที่น่าจะมีวัตถุ นำมาเข้ากระบวนการเชื่อมโยงเต็มรูปแบบอีกครั้ง เพื่อแก้ไขพิกัดของวัตถุที่จะตอบออกมาโดยวิธีการของฟาสอาร์ซีเอ็นเอ็น แสดงดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 กรบวนการฟาส อาร์ซีเอ็นเอ็น (Fast R-CNN)

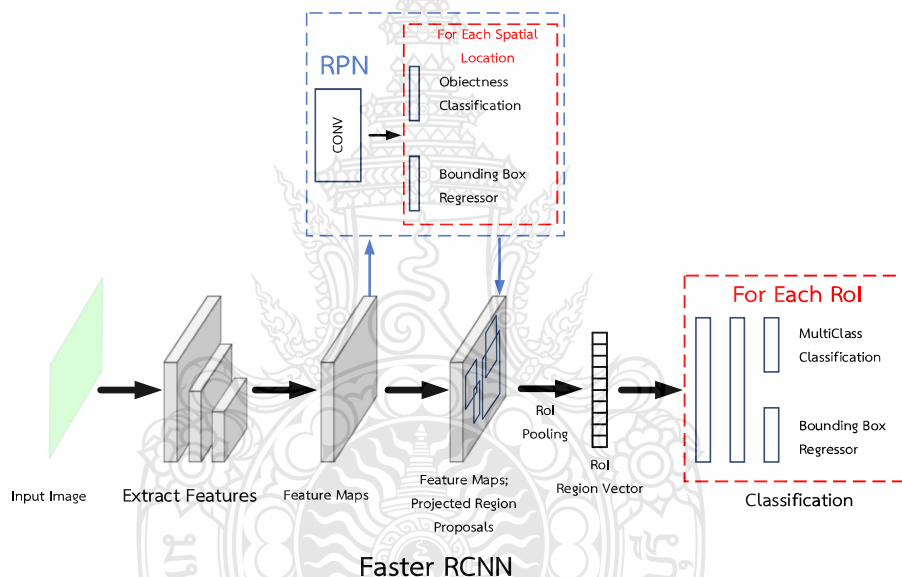
โดยแต่ละตำแหน่งจะมีค่าพิกัดที่น่าจะมีวัตถุ ค่าพิกัดจะถูกนำมาคำนวณหาตำแหน่งบนแผนภาพคุณลักษณะขั้นสุดท้ายของการทำคอนโวลูชัน และนำเข้าสู่กระบวนการ อาร์โอไอพูลลิ่ง ทำให้วิธี ฟาส อาร์ซีเอ็นเอ็น นำภาพนำเข้าผ่านกระบวนการคอนโวลูชันนอลนิรอลเน็ตเวิร์คเพียงครั้งเดียว ซึ่งสามารถลดระยะเวลาและการประมวลผลได้มาก เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอาร์ซีเอ็นเอ็น ที่นำตำแหน่งที่น่าจะมีวัตถุเข้าสู่กระบวนการคอนโวลูชันนอลนิรอลเน็ตเวิร์คทุกบริเวณ



อย่างไรก็ตามวิธีการฟาส อาร์ซีเอ็นเอ็น ยังมีข้อเสียในเรื่องของการใช้วิธีการเสนอ บริเวณที่น่าจะมีวัตถุที่ใช้เวลานานและเป็นส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับการคอนโวลูชันนอลนิวรอลเน็ตเวิร์ค ใดๆ วิธีการฟาสเตอร์ อาร์ซีเอ็นเอ็น (Faster R-CNN) จึงออกแบบมาเพื่อพัฒนาในส่วนของการเสนอ บริเวณที่สามารถทำการสอนด้วยวิธีคอนโวลูชันนอลนิวรอลเน็ตเวิร์ค

### 2.4.3 ฟาสเตอร์ อาร์ซีเอ็นเอ็น (Faster R-CNN)

ฟาสเตอร์อาร์ซีเอ็นเอ็น (Faster RCNN) เป็นวิธีการเรียนรู้ของเครื่องบนพื้นฐานของ คอนโวลูชันนอลนิวรอลเน็ตเวิร์ค ที่นิยมใช้ในการตรวจจับวัตถุ (Object Detection) เนื่องจากผลลัพธ์มีความแม่นยำที่สูง และพัฒนามาจากฟาส อาร์ซีเอ็นเอ็น โดยโครงสร้างของฟาสเตอร์อาร์ซีเอ็นเอ็น แสดง ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 กระบวนการฟาสเตอร์ อาร์ซีเอ็นเอ็น (Faster R-CNN)

กระบวนการฟาสเตอร์อาร์ซีเอ็นเอ็น เริ่มต้นจากภาพนำเข้าส่งต่อไปยังกระบวนการสกัดคุณลักษณะที่ถูกสอน ซึ่งมีโครงสร้างของการถ่ายโอนการเรียนรู้ (Transfer Learning) อยู่ภายใน การถ่ายโอนการเรียนรู้ คือ การนำองค์ความรู้ที่สามารถเรียนรู้การแก้ไขปัญหานี้ ไปแก้ไขอีกปัญหาหนึ่งที่ลักษณะใกล้เคียงกัน ตัวอย่างเช่น การนำความรู้ที่สามารถรู้จำรถยนต์ ไปใช้ในการรู้จำรถบรรทุก โดยองค์ความรู้ที่ถูกนำมาใช้เป็นองค์ความรู้ที่ถูกสอน (Pre-Train) จากฐานข้อมูล (Dataset) ที่ใหญ่และน่าเชื่อถือตัวอย่างเช่น ฐานข้อมูลของ อิมเมจเน็ต (ImageNet) หรือ โคโค (COCO) ที่มีหมวดหมู่ของภาพจำนวนมาก องค์ความรู้ที่ถูกสอน ถูกสอนบนโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันโดยมีโครงสร้างภายในที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละตัวแบบ (Model)

## 2.4 การวัดประสิทธิภาพ (Performance Evaluation)

การวัดประสิทธิภาพของระบบตรวจจับมนุษย์โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์สำหรับระบบขนส่งทางรางประกอบไปด้วยการวัดประสิทธิภาพ 2 รูปแบบ คือ การวัดค่าไอโอยู และการวัดประสิทธิภาพจำแนกโดยคลาส

### 2.4.1 การวัดค่าไอโอยู (Intersection Over Union: IoU)

ค่าไอโอยู เป็นค่าที่นิยมใช้ในการวัดค่าความแม่นยำ (Accuracy) ของการตรวจจับวัตถุ ซึ่งการวัดค่าไอโอยู สามารถวัดได้จากอัตราส่วนพื้นที่ที่ทับซ้อน (Area of Overlap) ระหว่างบริเวณที่ทำนาย (Prediction Area) กับ บริเวณค่าความจริง (Ground Truth Area) หารด้วยพื้นที่รวมทั้งหมด (Area of Union) ระหว่างบริเวณที่ทำนาย และบริเวณค่าความจริง โดยแสดงดังสมการที่ 6

$$IoU = \frac{\text{Area of Overlap}}{\text{Area of Union}} \quad (6)$$

การใช้ค่าไอโอยู ในการประเมินความถูกต้องของการตรวจจับวัตถุที่สนใจ หากค่าไอโอยูมีค่าเกินกว่า 0.5 ถือว่าตรวจจับเจอบริเวณที่มีวัตถุที่สนใจ โดยตัวอย่างของการวัดค่าไอโอยูสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 แสดงตัวอย่างของการวัดค่าไอโอยู

#### 2.4.2 การวัดประสิทธิภาพของการจำแนกประเภท

การวัดประสิทธิภาพการจำแนก สามารถคำนวณหาได้จากค่าความเที่ยง (Precision) และ ค่ารีคอล (Recall) โดยการจำแนกข้อมูลประเภทประกอบด้วย 2 คลาส คือ บริเวณที่ใช้วัตถุที่สนใจ กับ บริเวณที่ไม่ใช่วัตถุที่สนใจกำหนดให้มีค่าดังนี้

1) True Positive (TP) คือ ส่วนภาพที่อัลกอริทึมทำนายว่าเป็นบริเวณที่ใช้วัตถุที่สนใจ และส่วนภาพนั้นเป็นบริเวณที่ใช้วัตถุจริง (มีผลลัพธ์ของค่าไอโออยู่มากกว่า เท่ากับ 0.5)

2) False Positive (FP) คือ ส่วนภาพที่อัลกอริทึมทำนายว่าเป็นบริเวณที่ใช้วัตถุที่สนใจ แต่ส่วนภาพนั้นเป็นบริเวณที่ไม่ใช่วัตถุที่สนใจ (มีผลลัพธ์ของค่าไอโออยู่น้อยกว่า 0.5)

3) True Negative (TN) คือ ส่วนภาพที่อัลกอริทึมทำนายว่าเป็นบริเวณที่ไม่ใช่วัตถุที่สนใจ และส่วนภาพนั้นเป็นบริเวณที่ใช้วัตถุที่สนใจ

4) False Negative (FN) คือ ส่วนภาพที่อัลกอริทึมทำนายว่า เป็นบริเวณที่ไม่ใช่วัตถุที่สนใจ แต่ส่วนภาพนั้นเป็นบริเวณที่ใช้วัตถุจริง (มีผลลัพธ์ของค่าไอโออยู่น้อยกว่า 0.5)

ค่าความเที่ยงตรง (Precision) คือค่าที่ระบุว่าผลการทำนายเป็นบริเวณที่ใช้วัตถุที่สนใจนั้น ถูกต้องกับค่าจริงร้อยละเท่าไร สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของข้อมูลที่ทำนาย บริเวณใช้วัตถุที่สนใจได้ถูกต้อง (TP) กับข้อมูลที่ทำนายว่าเป็นบริเวณอัลกอริทึมทั้งหมด (TP+FP) ดังสมการที่ 7

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (7)$$

ค่าความแม่นยำ (Recall) คือค่าที่ระบุว่าจำนวนบริเวณใช้วัตถุที่สนใจจริง ทั้งหมดนั้น อัลกอริทึมทำนายถูกต้องร้อยละเท่าไร สามารถคำนวณจากอัตราส่วนของข้อมูลที่ทำนายบริเวณใช้วัตถุที่สนใจได้ถูกต้อง (TP) กับข้อมูลที่เป็นบริเวณใช้วัตถุที่สนใจทั้งหมด (TP+FN) ดังสมการที่ 8

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (8)$$

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่ [12] เรื่อง “Obstacle detection and classification using deep learning for tracking in high-speed autonomous driving” ในงานวิจัยนี้นำเสนอการตรวจจับและจำแนกสิ่งกีดขวางบนถนน โดยใช้ระบบการเรียนรู้เชิงลึกที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันที่ได้รับการฝึกอบรมด้วยชุดข้อมูลภาพ PASCAL VOC ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นสำหรับการตรวจจับและจำแนกสิ่งกีดขวางบนถนน เช่น ยานพาหนะมนุษย์และสัตว์ โดยระบบถูกออกแบบให้ใช้ Faster R-CNN และนำไปใช้กับ GPU ในการตรวจจับนี้มีประโยชน์สำหรับการประเมินเส้นทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะและวัตถุอื่น ๆ บนถนน ซึ่งประสิทธิภาพได้รับการประเมินในภาพชุดข้อมูลมาตรฐานและถนนในอินเดีย

งานวิจัยที่ [13] เรื่อง “Learning Framework for Robust Obstacle Detection, Recognition, and Tracking” ได้นำเสนอการวิจัยเกี่ยวกับระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่ด้วยการมองเห็น (Driver Assistance Systems) เพื่อระบุถึงสิ่งกีดขวางที่ปรากฏตามถนน ซึ่งน่าจะเป็นยานพาหนะและมนุษย์ สำหรับ ระบบที่มีอยู่ส่วนใหญ่สำหรับการตรวจจับและการรับรู้อุปสรรคได้รับการออกแบบเพื่อถ่ายภาพ 2D เป็นอินพุตและได้รับการฝึกฝนในชุดข้อมูลขนาดใหญ่ที่มีป้ายกำกับ พัฒนารูปแบบการเรียนรู้อย่างลึกกล้าบนพื้นฐานของรูปแบบท้องถิ่นและข้อมูลเชิงลึก (จากระบบมองเห็นภาพสเตอริโอ) เพื่อการตรวจจับการรับรู้และการติดตามของคนเดินถนนและยานพาหนะที่ต้องการ

งานวิจัยที่ [14] เรื่อง “Moving object detection and tracking using deep learning neural network and correlation filter” ได้นำเสนอการตรวจจับและติดตามวัตถุเคลื่อนไหวก่อนโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึกถ่ายโอนการเรียนรู้โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากมีความแม่นยำในการจดจำ เพื่อติดตามวัตถุอย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้ชุดข้อมูลที่เป็นที่นิยมและผลการวิเคราะห์โดยใช้วิธีความน่าจะเป็น ความแม่นยำของวิธีการที่เสนอคือ 88% ผลลัพธ์ที่ได้พิสูจน์ว่าวิธีที่เสนอนั้นมีประสิทธิภาพในการติดตามวัตถุที่เคลื่อนไหว

งานวิจัยที่ [15] เรื่อง “Enhanced Vulnerable Pedestrian Detection using Deep Learning” นำเสนอรูปแบบที่ใช้สำหรับการตรวจจับมนุษย์โดยใช้ MobileNet และ Single Shot Detector เหมาะสำหรับการใช้งานแบบเรียลไทม์ การปรับปรุงเพิ่มเติมสามารถค้นหาได้โดยการใช้แอปพลิเคชันข้ามเฟรมหรือใช้รูปแบบของ MobileNet เพื่อเพิ่มปริมาณงาน FPS

งานวิจัยที่ [16] เรื่อง “An obstacle detection system for automated trains” นำเสนอระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางของระบบรถไฟอัตโนมัติ ประกอบด้วยกล้องวิดีโอสามตัวและระบบเรดาร์อินฟราเรด เช่น เซอร์เชื่อมต่อกับพีซีสองเครื่องจากนั้นเรียกใช้อัลกอริทึมการตรวจจับสิ่งกีดขวางและติดตามการป้อนข้อมูล วัตถุที่ตรวจพบทั้งหมดจะถูกป้อนเข้าสู่ตัวกรองคาลมานสำหรับการฟิวชันข้อมูลและการติดตาม อัลกอริทึมการตัดสินใจกำหนดว่าวัตถุที่ถูกติดตามนั้นเป็นสิ่งกีดขวางที่เป็นอันตราย

หรือไม่ หากตรวจพบสิ่งกีดขวางข้อความจะถูกส่งไปยังคอมพิวเตอร์ควบคุมยานพาหนะอัตโนมัติซึ่งทำตามขั้นตอนที่เหมาะสมเพื่อลดอันตราย

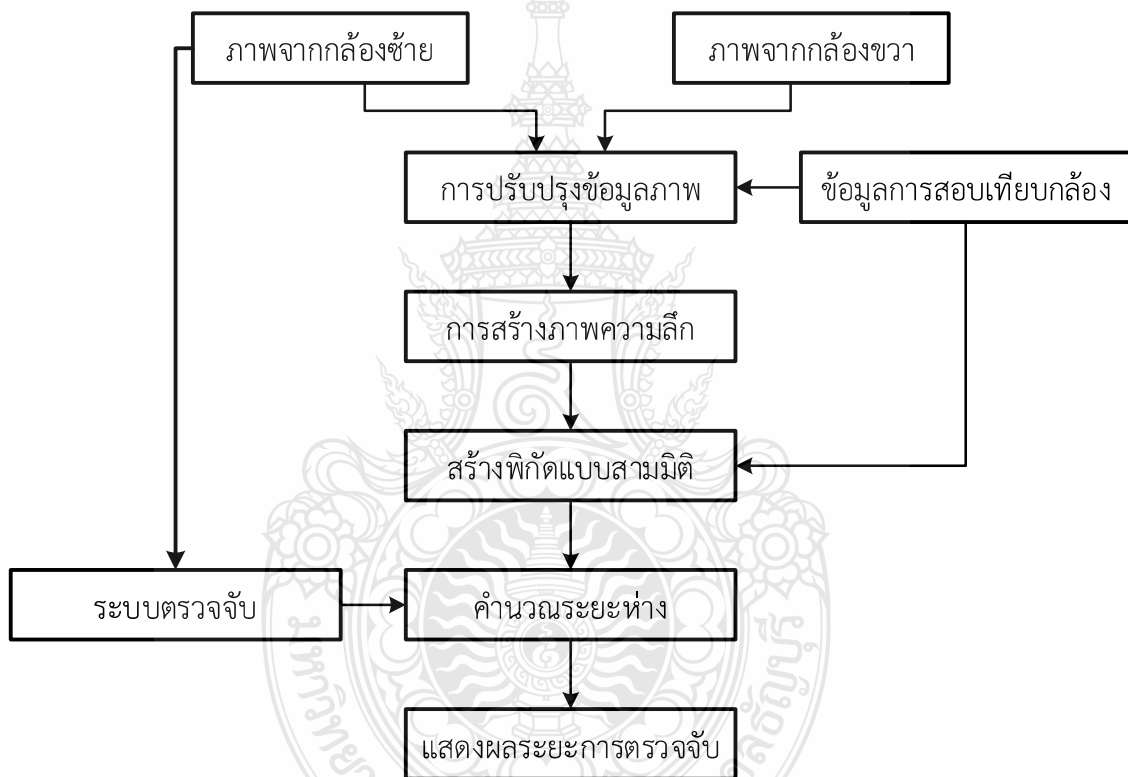
งานวิจัยที่ [17] เรื่อง “Image processing based obstacle detection with laser measurement in railways” นำเสนอการพัฒนาเกี่ยวกับการตรวจจับสิ่งกีดขวางบนทางรถไฟการแนะนำระบบฉุกเฉินและการส่งข้อมูลไปยังศูนย์ควบคุม โดยนำกล้องและเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์มาติดตั้งบนรถไฟใช้สำหรับสแกนภาพด้วยวิธีการประมวลผลภาพและตรวจสอบผลลัพธ์และตรวจพบสิ่งกีดขวาง มีการแทรกระบบเตือนเข้าไปในวงจรเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดขบวนหยุดทำงาน นอกจากนี้ข้อความสถานะคอมพิวเตอร์หลักจะถูกส่งไปยังศูนย์ควบคุมด้วยความช่วยเหลือของเครือข่ายที่สร้างขึ้นเป็นผลให้อัตราการเกิดอุบัติเหตุจะลดลงและระบบรถไฟอัจฉริยะจะได้รับการพัฒนาต่อไป

งานวิจัยที่ [18] เรื่อง “Design of railway obstacle detection prototype” ได้วิจัยออกแบบและพัฒนาแพลตฟอร์มต้นแบบการทดสอบอุปกรณ์ตรวจสอบรถไฟ (SID) เพื่อทำหน้าที่เป็นระบบเตือนภัยล่วงหน้าสำหรับตู้รถไฟ โดยสามารถตรวจจับพื้นที่จุดตัดทางรถไฟกับถนนและมนุษย์ที่อยู่บริเวณใกล้กับทางรถไฟ ทั้งนี้พื้นที่ในระหว่างการทดสอบที่ดำเนินการ แพลตฟอร์ม SID นั้นจะมีเครื่องสแกนเลเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่หรืออยู่กับที่ นอกจากนี้แพลตฟอร์มยังใช้เครื่องสแกนเลเซอร์แบบหลายลำแสงเพื่อทำแผนที่วัตถุและโครงสร้างในแบบ 3 มิติ และยังมีการนำกล้องภาพถ่ายความร้อนถูกนำมาใช้เพื่อช่วยในการตรวจจับรถยนต์มนุษย์สัตว์และวัตถุเคลื่อนที่หรือวัตถุเคลื่อนที่อื่น ๆ



### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้งานการประมวลผลภาพจากกล้องสเตอริโอร่วมกับ การเรียนรู้เชิงลึกในการออกแบบระบบตรวจจับมนุษย์ โดยมีกระบวนการและขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ ทั้งหมด 3 ขั้นตอนได้แก่ 1) การเตรียมชุดข้อมูลภาพ 2) การสอบเทียบกล้องสเตอริโอ 3) ฝึกอบรมระบบตรวจจับ ในส่วนหลักทำงานของระบบมีรายละเอียดแสดงดังภาพที่ 3.1



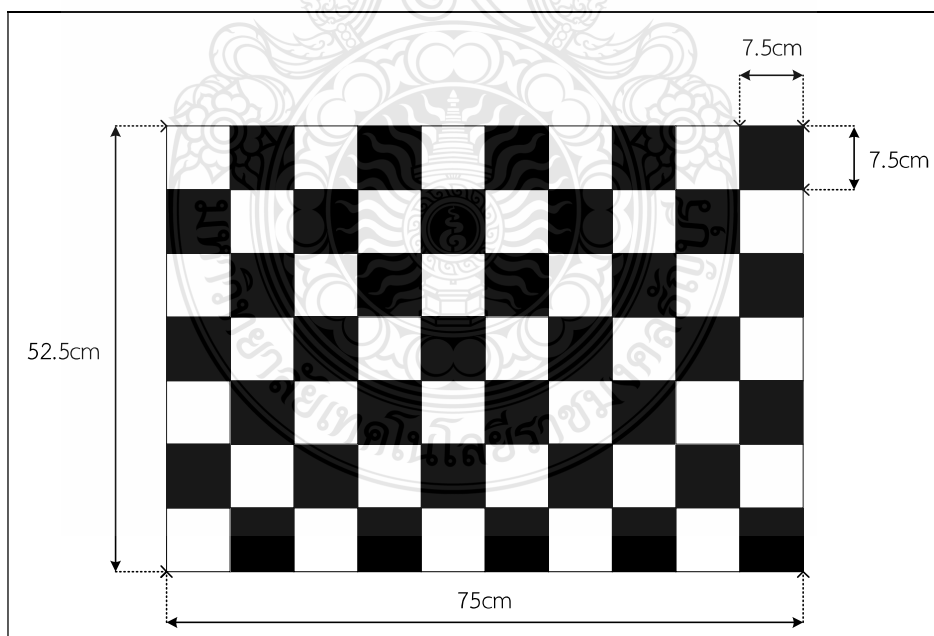
ภาพที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการทำงานของระบบตรวจจับมนุษย์

### 3.1 การเตรียมชุดข้อมูลภาพ

ขั้นตอนการเตรียมชุดข้อมูลภาพเป็นส่วนแรกที่ต้องดำเนินการของงานวิจัยนี้ เพื่อรวบรวมข้อมูลมาทำการวิเคราะห์และตรวจสอบก่อนการนำไปใช้สำหรับการทดสอบตรวจวัดระยะของกล้องสเตอริโอและการฝึกอบรมพร้อมกับการทดสอบของระบบตรวจจับมนุษย์ โดยผู้วิจัยได้ทำการบันทึกภาพสเตอริโอด้วยโปรแกรม ZED Explorer จาก ZED Stereo Camera เพื่อที่จะนำมาใช้สำหรับการสอบเทียบและการทดสอบวัดระยะของกล้องสเตอริโอ ในส่วนของการฝึกอบรมและทดสอบระบบตรวจจับมนุษย์นั้นจะถูกบันทึกภาพด้วยกล้องดิจิทัลรุ่น Sony A6000 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 3.1.1 ชุดข้อมูลภาพจากกล้องสเตอริโอสำหรับการสอบเทียบ

ชุดข้อมูลภาพจากกล้องสเตอริโอนี้ภายในภาพจะมีส่วนประกอบของบอร์ดตารางลายหมากรุกที่ได้กำหนดขนาด  $7 \times 10$  ช่อง และในแต่ละช่องมีขนาด  $7.5 \times 7.5$  เซนติเมตรแสดงตัวอย่างดังภาพที่ 3.2 ซึ่งในแต่ละภาพมีความแตกต่างกันของตำแหน่งและระยะห่างระหว่างบอร์ดตารางลายหมากรุกกับกล้องสเตอริโอแสดงตัวอย่างข้อมูลดังภาพที่ 3.3 โดยมีจำนวนทั้งหมด 15 ภาพ มีความละเอียดอยู่ที่  $1,080 \times 3,840$  พิกเซล และข้อมูลมีลักษณะของภาพเป็นภาพเดี่ยวที่มีการเชื่อมต่อกันของภาพจากกล้องด้านซ้ายและด้านขวา ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการแยกส่วนของภาพด้านซ้ายและด้านขวาออกจากกัน ส่งผลให้ภาพมีความละเอียดอยู่ที่  $1,080 \times 1,920$  พิกเซล แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.2 บอร์ดลายตารางหมากรุกที่ใช้ในการสอบเทียบ





(ก) ตำแหน่งจุดสอบเทียบที่ 1



(ข) ตำแหน่งจุดสอบเทียบที่ 15

ภาพที่ 3.3 ชุดข้อมูลภาพจาก ZED Stereo Camera สำหรับการสอบเทียบ



ภาพที่ 3.4 การแยกส่วนภาพของชุดข้อมูลการสอบเทียบ



### 3.1.2 ชุดข้อมูลภาพจากกล้องสเตอริโอสำหรับการตรวจวัดระยะ

ในส่วนของชุดข้อมูลนี้เป็นการบันทึกภาพมนุษย์ที่ยืนตามระยะห่างที่ได้กำหนดไว้ 4 ระยะ โดยมีระยะเริ่มต้นที่ 5 เมตรจากนั้นเพิ่มระยะตำแหน่งของการยืนที่ละ 5 เมตรจนถึงระยะ 20 เมตรแสดงตัวอย่างข้อมูลดังภาพที่ 3.5 ซึ่งในแต่ละระยะตำแหน่งของการยืนจะมีจำนวนภาพทั้งหมด 50 ภาพและมีความละเอียดอยู่ที่  $1,080 \times 3,840$  พิกเซล ทั้งนี้ลักษณะของภาพเป็นภาพเดี่ยวที่มีการเชื่อมต่อกันของภาพจากกล้องด้านซ้ายและด้านขวา ทำให้ต้องทำการแยกส่วนภาพออกจากกันสำหรับการที่จะนำไปใช้ในการประมวลผลภาพสเตอริโอ หลังจากทำการแยกส่วนภาพแล้วทำความละเอียดของภาพด้านซ้ายและด้านขวาเหลืออยู่ที่  $1,080 \times 1,920$  พิกเซล จากนั้นจึงได้มีการเลือกเฉพาะภาพจากกล้องด้านซ้ายมาทำการระบุตำแหน่งและกำหนดคลาสของมนุษย์ภายในภาพ โดยใช้ Image Labeler Toolbox บนโปรแกรม MATLAB แสดงตัวอย่างโปรแกรมดังภาพที่ 3.6 ซึ่งข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปแบบของตารางที่มี 2 คอลัมน์ และ 50 แถว โดยคอลัมน์ที่ 1 เป็นการเก็บข้อมูลตำแหน่งของไฟล์ข้อมูลภาพ ส่วนคอลัมน์ที่ 2 ข้อมูลคลาสของมนุษย์จะถูกต้องเป็นชื่อคอลัมน์และภายในจะเก็บพิกัดของมนุษย์ภายในภาพ ต่อมาแถวจะเป็นลำดับข้อมูลภาพในแต่ละระยะตำแหน่งของการยืน แสดงตัวอย่างรูปแบบข้อมูลในตารางดังภาพที่ 3.7



(ก) ตำแหน่งการยืนที่ระยะ 5 เมตร



(ข) ตำแหน่งการยืนที่ระยะ 10 เมตร

ภาพที่ 3.5 ตัวอย่างภาพจากชุดข้อมูลมนุษย์ที่ยืนตามระยะที่กำหนดไว้





(ค) ตำแหน่งการยืนที่ระยะ 15 เมตร

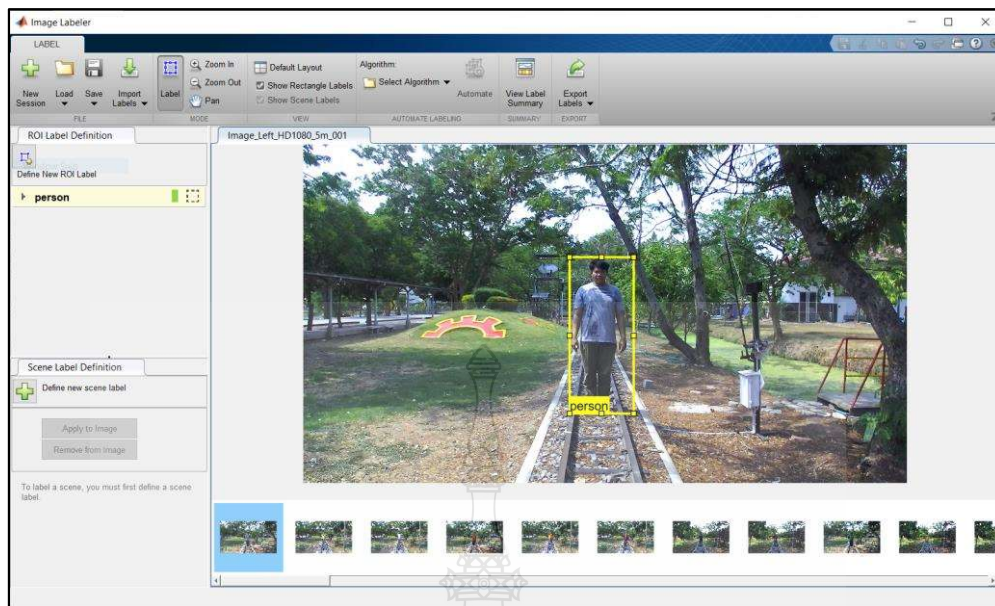


(ง) ตำแหน่งการยืนที่ระยะ 20 เมตร

ภาพที่ 3.5 ตัวอย่างภาพจากชุดข้อมูลมนุษย์ที่ยืนตามระยะที่กำหนดไว้ (ต่อ)



ภาพที่ 3.6 การแยกส่วนภาพของชุดข้อมูลการตรวจวัดระยะ



ภาพที่ 3.7 การตีกรอบภาพและระบุคลาสของมนุษย์ในชุดข้อมูลภาพจากกล้องสเตอริโอ

50x2 table		
	1	2
	imagefilename	person
1	'D:\ZED Camera\HD1080_...	[846,357,189,507]
2	'D:\ZED Camera\HD1080_...	[876,352,164,490]
3	'D:\ZED Camera\HD1080_...	[900,344,151,501]
4	'D:\ZED Camera\HD1080_...	[854,381,159,487]
5	'D:\ZED Camera\HD1080_...	[910,308,161,559]

ภาพที่ 3.8 ข้อมูลตารางที่ได้จาก Image Labeler Toolbox ของชุดข้อมูลจากกล้องสเตอริโอ

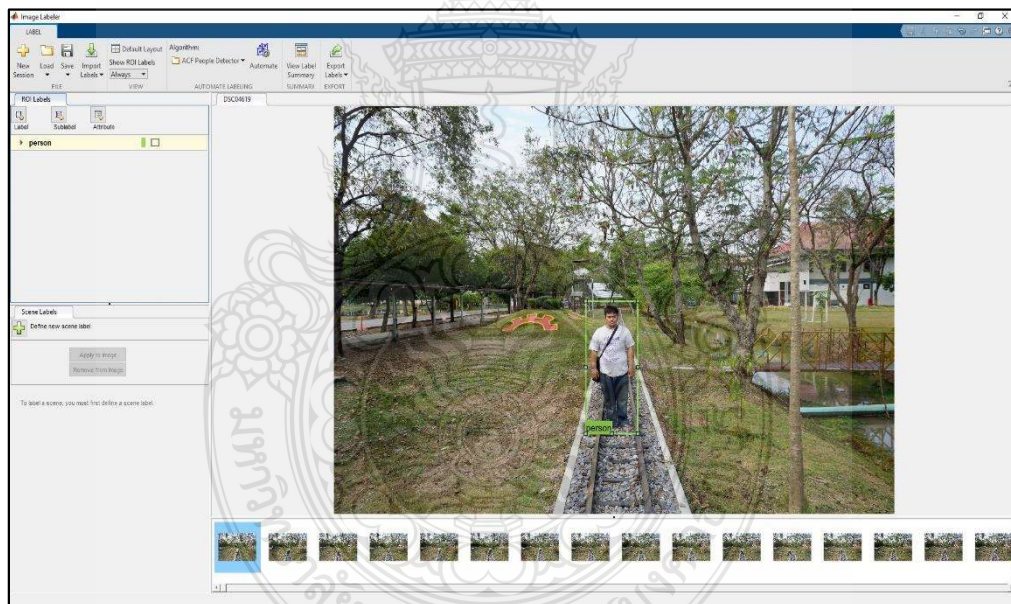
### 3.1.3 ชุดข้อมูลภาพจากกล้องดิจิทัลสำหรับระบบตรวจจับมนุษย์

การเตรียมชุดข้อมูลภาพในส่วนนี้จะมีการนำไปใช้สำหรับการฝึกอบรมและทดสอบระบบตรวจจับมนุษย์ โดยการบันทึกข้อมูลภาพได้นักกล้องดิจิทัลรุ่น Sony A6000 ที่ใช้เลนส์ระยะ 16-50 มิลลิเมตร พร้อมกับกำหนดความละเอียดของภาพอยู่ที่ 2,000 x 3,000 พิกเซล สำหรับการบันทึก ทั้งนี้ชุดข้อมูลภาพมีความหลากหลายของสภาพแสงและระยะห่างระหว่างมนุษย์กับกล้องที่ทำการบันทึก ซึ่งข้อมูลภาพที่ได้ทำการบันทึกมีจำนวนทั้งหมด 2,000 ภาพ แสดงตัวอย่างการบันทึกข้อมูลดังภาพที่ 3.9 จากนั้นนำข้อมูลภาพทั้งหมดมาทำการระบุตำแหน่งและกำหนดคลาสของมนุษย์ภายในภาพ โดยใช้ Image Labeler Toolbox บนโปรแกรม MATLAB แสดงตัวอย่างโปรแกรมดังภาพที่ 3.10 ซึ่งข้อมูลเก็บอยู่ในรูปแบบของตารางที่มีข้อมูลตำแหน่งของไฟล์ภาพ คลาส และพิกัดของมนุษย์ แสดงตัวอย่างรูปแบบข้อมูลภายในตารางดังภาพที่ 3.11





ภาพที่ 3.9 ชุดข้อมูลที่บันทึกภาพมนุษย์บริเวณรางรถไฟจากกล้องดิจิทัล



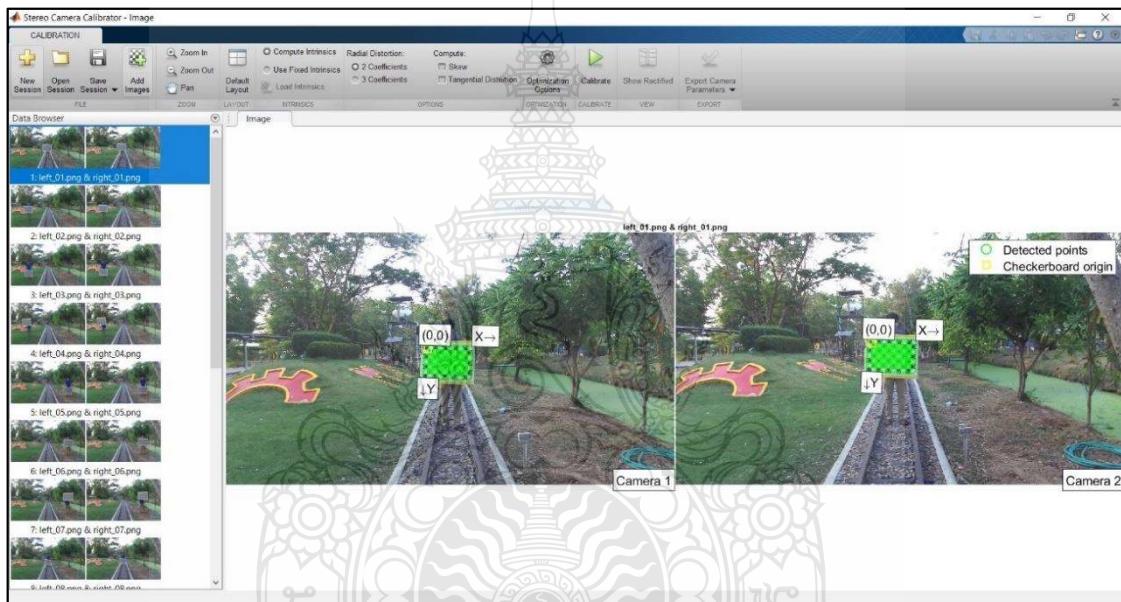
ภาพที่ 3.10 การตีกรอบภาพและระบุคลาสของมนุษย์ในชุดข้อมูลภาพจากกล้องดิจิทัล

2000x2 table		
	1	2
	imagefilename	person
1	'E:\Image-Person of Son...	[1358,966,271,644]
2	'E:\Image-Person of Son...	[1392,965,268,631]
3	'E:\Image-Person of Son...	[1407,964,174,646]
4	'E:\Image-Person of Son...	[1372,970,179,670]
5	'E:\Image-Person of Son...	[1374,974,252,547]

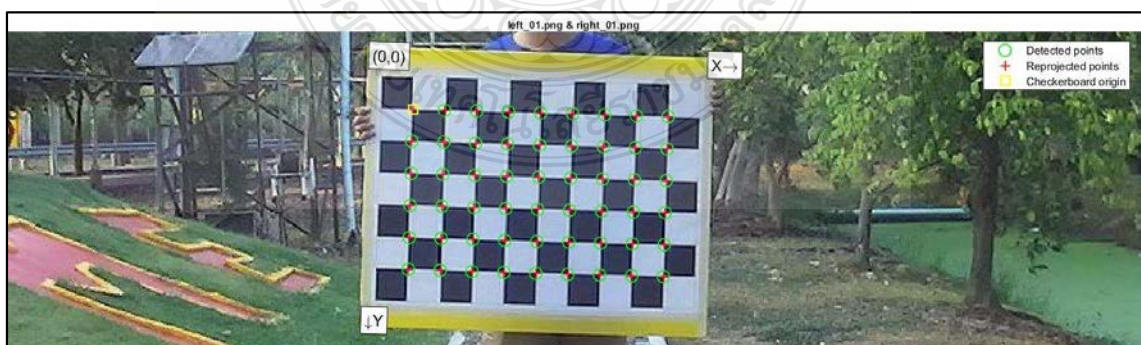
ภาพที่ 3.11 ข้อมูลตารางที่ได้จาก Image Labeler Toolbox ของชุดข้อมูลจากกล้องดิจิทัล

### 3.2 การสอบเทียบกล้อง

ในการสอบเทียบกล้องจะเป็นขั้นตอนแรกที่มีความสำคัญในการประมวลผลภาพสเตอริโอ เนื่องจากการสอบเทียบกล้องจะเป็นการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตัวกล้องสำหรับการนำมาใช้งาน โดยการสอบเทียบจะใช้อุปกรณ์รูปแบบ 2 มิติ เป็นบอร์ดตารางลายหมากรุกมาทำการสอบเทียบผ่าน Stereo Camera Calibrator Toolbox บนโปรแกรม MATLAB แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 3.12 ซึ่ง จะทำการตรวจจับบริเวณจุดที่ตัดกันระหว่างสีขาวและสีดำบนบอร์ดตารางลายหมากรุก จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณค่าพารามิเตอร์ของกล้องสเตอริโอและนำค่าไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ตรวจจับได้ก่อนหน้า แสดงดังภาพที่ 3.13 เพื่อทำการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการสอบเทียบกล้อง



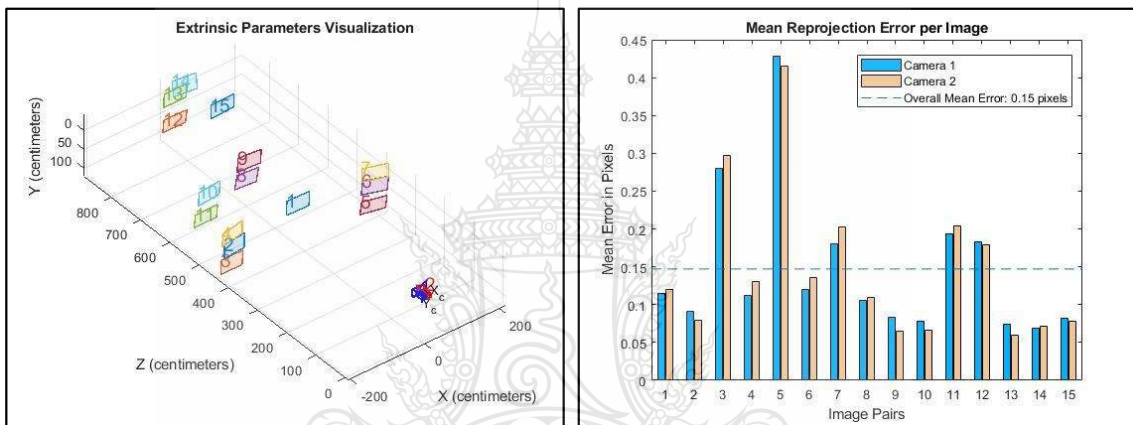
ภาพที่ 3.12 การใช้ Stereo Camera Calibrator Toolbox สำหรับการสอบเทียบกล้อง



ภาพที่ 3.13 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการสอบเทียบกล้อง

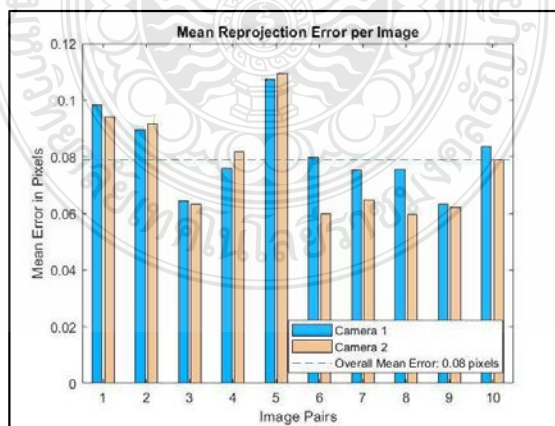


เมื่อโปรแกรมทำการเปรียบเทียบข้อมูลเสร็จสิ้นจะมีการพล็อตข้อมูลตำแหน่งของกล้อง สเตอริโอและบอร์ดตารางลายหมากรุกในรูปแบบ 3 มิติ ดังภาพที่ 3.14 (ก) และแสดงค่าความผิดพลาด ในแต่ละภาพที่นำมาใช้ในการสอบเทียบแบบกราฟแท่งแสดงดังภาพที่ 3.14 (ข) โดยการสอบเทียบได้ใช้ ข้อมูลภาพจำนวน 15 ภาพ ให้ผลค่าเฉลี่ยความผิดพลาดโดยรวมอยู่ที่ 0.15 พิกเซล ทั้งนี้เมื่อพิจารณา ผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีบางข้อมูลภาพที่ให้ความผิดพลาดมาก ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงประสิทธิภาพของ ค่าพารามิเตอร์ด้วยการลบภาพที่มีค่าความผิดพลาดมากออก ซึ่งเลือกภาพที่มีความผิดพลาดเกิน 0.15 พิกเซล ออกจากการสอบเทียบ จึงทำให้ข้อมูลภาพที่ใช้ในการสอบเทียบเหลืออยู่จำนวน 10 ภาพ ได้ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดโดยรวมที่ปรับปรุงแล้วอยู่ที่ 0.08 พิกเซล แสดงข้อมูลกราฟแท่งดังภาพที่ 3.15



(ก) ตำแหน่งกล้องและบอร์ดตารางลายหมากรุก (ข) กราฟแสดงความผิดพลาด

ภาพที่ 3.14 ผลการสอบเทียบกล้องที่ได้รับจาก Stereo Camera Calibrator Toolbox



ภาพที่ 3.15 ผลความผิดพลาดที่ได้รับจากการปรับปรุงประสิทธิภาพของการสอบเทียบกล้อง

### 3.3 การฝึกอบรมระบบตรวจจับมนุษย์

ขั้นตอนนี้เป็นการสอนให้ระบบตรวจจับได้เรียนรู้และเข้าใจลักษณะข้อมูลต่าง ๆ ของมนุษย์ โดยได้เลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันที่มีโครงสร้างแบบ VGG-16 สำหรับทำหน้าที่สกัดคุณลักษณะเด่นของภาพ ในส่วนของเทคนิคการตรวจจับได้มีการเลือก Faster RCNN มาทำการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการตรวจจับมนุษย์ โดยมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้มีความหลากหลาย สำหรับการศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการฝึกอบรม ซึ่งรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 3.3.1 ขั้นตอนการแบ่งชุดข้อมูลภาพ

ขั้นตอนแรกจะนำเอาชุดข้อมูลภาพจากกล้องดิจิทัลจำนวน 2,000 ภาพ มาใช้งานโดยนำชุดข้อมูลภาพมาทำการแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ชุดข้อมูลสำหรับการฝึกอบรมและชุดข้อมูลสำหรับทดสอบของระบบตรวจจับมนุษย์ ซึ่งมีรายละเอียดอัตราส่วนของการแบ่งและจำนวนภาพที่นำไปใช้งานแสดงดังตารางที่ 3.1 ทั้งนี้ในขั้นตอนการแบ่งชุดข้อมูลภาพจะมีการสุ่มข้อมูลภาพให้ได้ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ จากนั้นนำชุดข้อมูลภาพทั้งหมดมาทำการปรับลดความละเอียดของภาพให้เหลือ 320 x 320 พิกเซล เพื่อช่วยลดปริมาณหน่วยความจำที่ต้องใช้ในการฝึกอบรม อีกทั้งยังได้ทำการแก้ไขการระบุตำแหน่งมนุษย์ที่ได้รับจากขั้นตอนการเตรียมชุดข้อมูลภาพแสดงตัวอย่างดังภาพที่ 3.16

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดการแบ่งข้อมูลภาพสำหรับการฝึกอบรมและทดสอบ

ชุดข้อมูลภาพ	อัตราส่วน	จำนวน
การฝึกอบรม	80%	1,600 ภาพ
การทดสอบ	20%	400 ภาพ



(ก) ข้อมูลภาพต้นฉบับ



(ข) ข้อมูลภาพที่แก้ไข

ภาพที่ 3.16 การปรับลดความละเอียดของภาพและการระบุตำแหน่งมนุษย์

### 3.3.2 ขั้นตอนการแก้ไขโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันที่ทำหน้าที่ในการสกัดคุณลักษณะเด่นของภาพมาทำการแก้ไข เพื่อให้มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการฝึกอบรมของระบบตรวจจับมนุษย์ โดยได้เลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันที่มีโครงสร้างแบบ VGG-16 เนื่องจากโครงสร้างมีความไม่ซับซ้อนและใช้หน่วยประมวลผลที่ไม่สูงมาก จึงเหมาะสำหรับการนำมาใช้เพื่อศึกษา แสดงโครงสร้างดังตารางที่ 3.2 ซึ่งการแก้ไขนั้นได้มีการปรับขนาดของภาพนำเข้า โดยเปลี่ยนแปลงจากเดิมที่มีขนาด 224 x 224 พิกเซล เพิ่มขึ้นเป็น 320 x 320 พิกเซล ส่งผลให้มีคุณสมบัติการสกัดคุณลักษณะเด่นเพิ่มขึ้นจากเดิมที่มีขนาด 7 x 7 มาเป็น 10 x 10 ทั้งนี้ส่วนของโครงสร้างในชั้นการเชื่อมโยงแบบสมบรูณ์ของ VGG-16 ที่นำมาใช้นั้นถูกคิดค้นขึ้นสำหรับการแบ่งประเภทจำนวน 1,000 คลาส โดยที่การจะนำมาใช้กับระบบตรวจจับมนุษย์นั้นมีเพียง 1 คลาส ดังนั้นจึงต้องทำการแก้ไขในส่วนของชั้นการเชื่อมโยงแบบสมบรูณ์ให้เหลือเพียง 1 คลาส แสดงโครงสร้างที่ทำการแก้ไขดังตารางที่ 3.3

**ตารางที่ 3.2** โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันแบบ VGG-16

Layer	Feature Map	Size	Kernel Size	Stride	Activation
Input Image	1	224x224x3	-	-	-
2 x Conv	64	224x224x64	3x3	1	Relu
Max Pooling	64	112x112x64	2x2	2	-
2 x Conv	128	112x112x128	3x3	1	Relu
Max Pooling	128	56x56x128	2x2	2	-
2 x Conv	256	56x56x256	3x3	1	Relu
Max Pooling	256	28x28x256	2x2	2	-
2 x Conv	512	28x28x512	3x3	1	Relu
Max Pooling	512	14x14x512	2x2	2	-
2 x Conv	512	14x14x512	3x3	1	Relu
Max Pooling	512	7x7x512	2x2	2	-
FC 4096	-	4096	-	-	Relu
FC 4096	-	4096	-	-	Relu
FC 1000	-	1000	-	-	Softmax
Output	-	1000	-	-	Classification Output



**ตารางที่ 3.3** รายละเอียดการแก้ไขโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันแบบ VGG-16

Layer	Feature Map	Size	Kernel Size	Stride	Activation
Input Image	1	320x320x3	-	-	-
2 x Conv	64	320x320x64	3x3	1	Relu
Max Pooling	64	160x160x64	2x2	2	-
2 x Conv	128	160x160x128	3x3	1	Relu
Max Pooling	128	80x80x128	2x2	2	-
2 x Conv	256	80x80x256	3x3	1	Relu
Max Pooling	256	40x40x256	2x2	2	-
2 x Conv	512	40x40x512	3x3	1	Relu
Max Pooling	512	20x20x512	2x2	2	-
2 x Conv	512	20x20x512	3x3	1	Relu
Max Pooling	512	10x10x512	2x2	2	-
FC 4096	-	4096	-	-	Relu
FC 4096	-	4096	-	-	Relu
FC 1	-	1	-	-	Softmax
Output	-	1	-	-	Classification Output

### 3.3.3 ขั้นตอนการกำหนดค่าพารามิเตอร์และการฝึกอบรม

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการฝึกอบรมนั้นมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการเรียนรู้ของระบบตรวจจับมนุษย์ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาและทดสอบค่าพารามิเตอร์ เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมสำหรับการใช้ฝึกอบรมระบบตรวจจับ ซึ่งผู้วิจัยนี้ได้เลือกกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการเปรียบเทียบไว้ 3 รูปแบบ แสดงดังตารางที่ 3.4

**ตารางที่ 3.4** รายละเอียดการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

รูปแบบ	จำนวนกล่องยึด (Anchor Boxes)	จำนวนรอบ (Epochs)	อัตราการเรียนรู้ที่ (Learning rate)
1	5		
2	10	300	0.001
3	15		

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบประสิทธิภาพของกล้องสเตอริโอและเทคนิคการตรวจจับวัตถุแบบการเรียนรู้เชิงลึก โดยผลการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ 1) ผลการทดสอบตรวจวัดระยะของกล้องสเตอริโอ 2) ผลการทดสอบระบบตรวจจับมนุษย์ 3) ผลการทดสอบการรวมระบบประมวลผลภาพสเตอริโอกับระบบตรวจจับมนุษย์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.1 ผลการทดสอบวัดระยะของกล้องสเตอริโอ

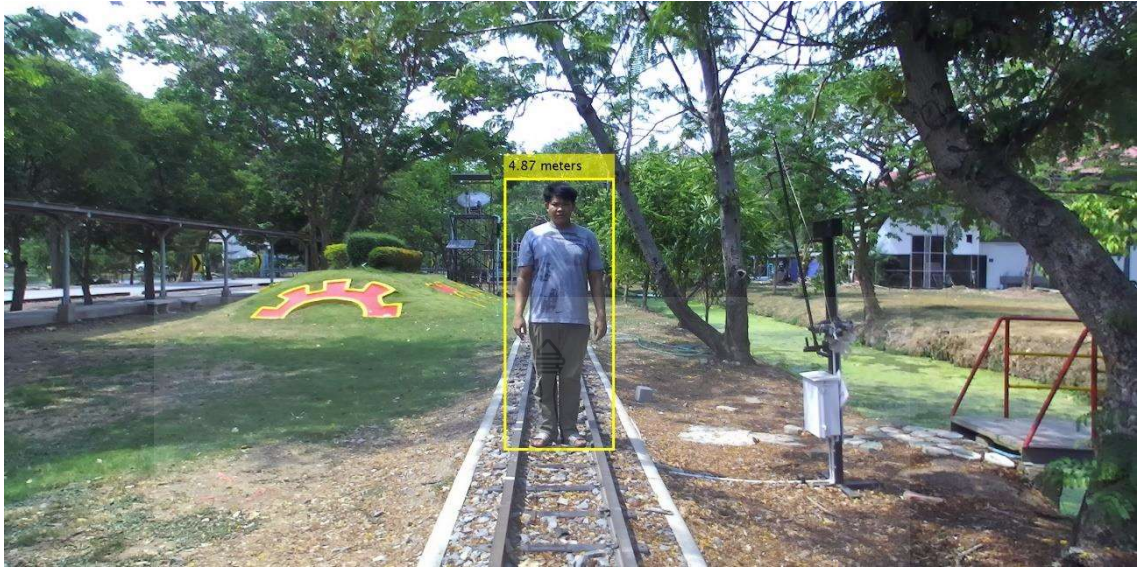
ในส่วนของการทดลองนี้จะเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของกล้อง ZED Stereo camera สำหรับการตรวจวัดระยะ โดยที่การประมวลผลนั้นจะนำเอาค่ากรอบสี่เหลี่ยมที่ปิดล้อม (Bounding boxes) มนุษย์ในแต่ละภาพจากการระบุตำแหน่งมนุษย์ในขั้นตอนการเตรียมชุดข้อมูลภาพมาทำการหาพิกัดจุดกึ่งกลางของกรอบสี่เหลี่ยม (Centroid) เพื่อนำข้อมูลพิกัดดังกล่าวไปใช้ในการคำนวณหาระยะของมนุษย์ภายในภาพ โดยการทดลองนี้ได้นำชุดข้อมูลภาพจากกล้องสเตอริโอจำนวน 200 ภาพ ที่มีมนุษย์ยืนตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ 4 ระยะ ซึ่งมีรายละเอียดของชุดข้อมูลภาพแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของชุดข้อมูลภาพที่ใช้ทดสอบ

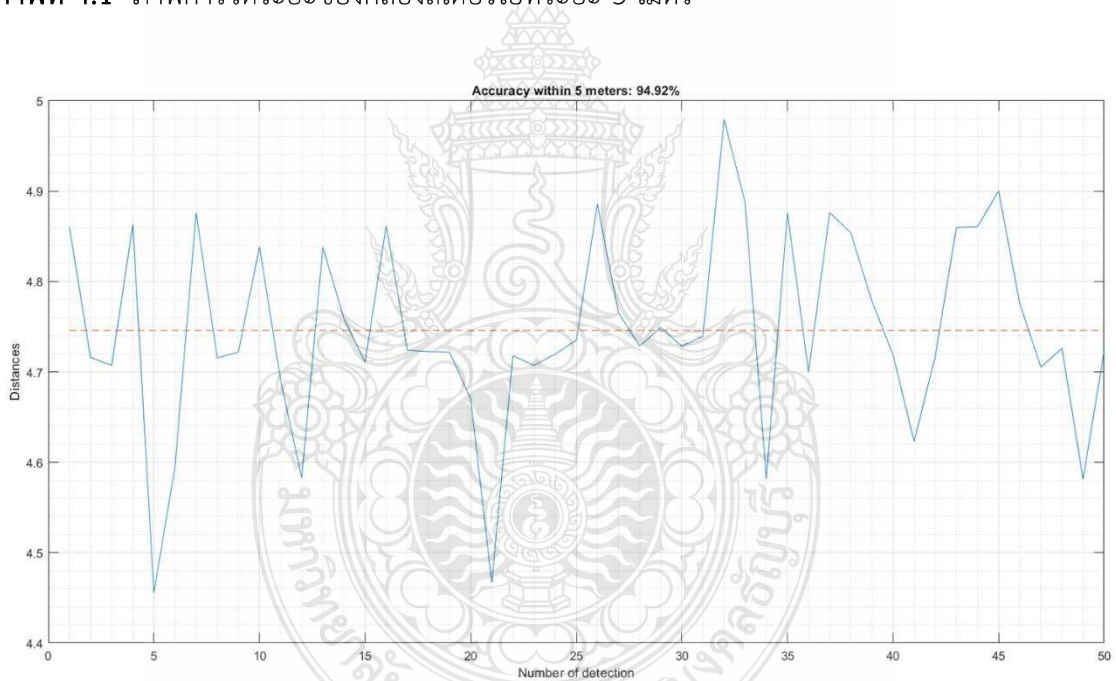
ระยะห่างของมนุษย์กับกล้อง	จำนวน
5 เมตร	50 ภาพ
10 เมตร	50 ภาพ
15 เมตร	50 ภาพ
20 เมตร	50 ภาพ

##### 4.1.1 ผลการทดสอบวัดระยะที่ 5 เมตร

การทดสอบการวัดระยะด้วยชุดข้อมูลภาพมนุษย์ในระยะ 5 เมตร แสดงตัวอย่างการทดสอบดังภาพที่ 4.1 โดยผลการทดลองพบว่ามีอัตราความถูกต้องร้อยละ 94.92 ในการระบุระยะของตำแหน่งมนุษย์ภายในภาพ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของระยะในการวัดอยู่ที่ 4.74 เมตร มีระยะสูงสุดที่วัดได้คือ 4.95 เมตร และระยะต่ำสุดที่ 4.46 เมตร แสดงดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.1 ภาพการวัดระยะของกล้องสเตอริโอที่ระยะ 5 เมตร



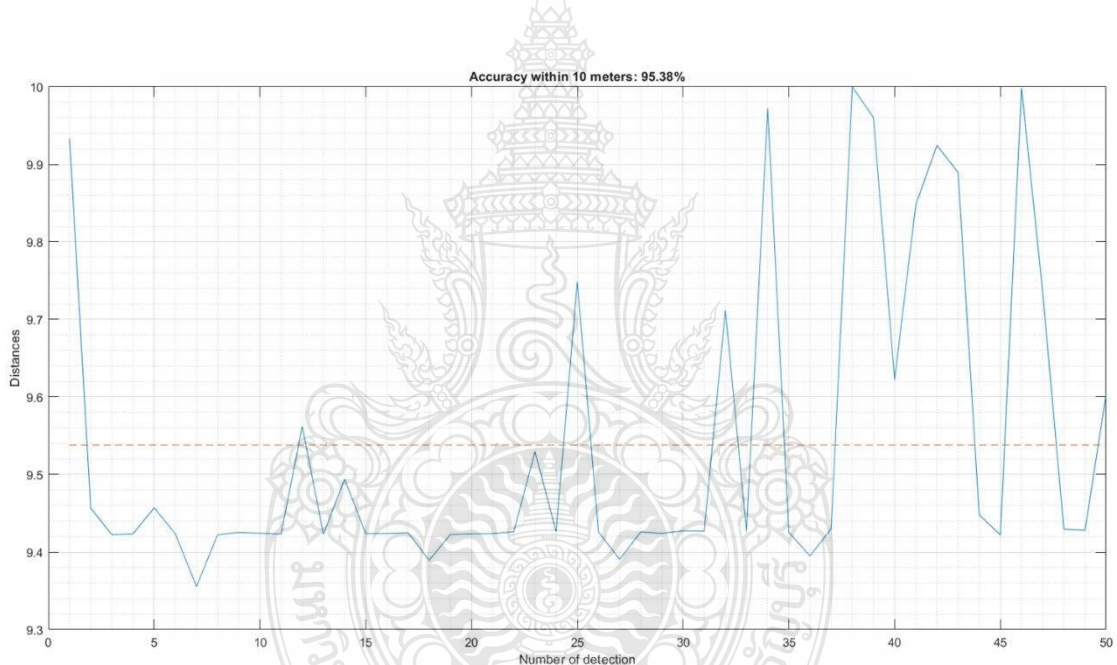
ภาพที่ 4.2 ผลการทดสอบวัดระยะของกล้องสเตอริโอที่ระยะ 5 เมตร

#### 4.1.2 ผลการทดสอบวัดระยะที่ 10 เมตร

การทดสอบการวัดระยะด้วยชุดข้อมูลภาพมนุษย์ในระยะ 10 เมตร แสดงตัวอย่างการทดสอบดังภาพที่ 4.3 โดยผลการทดลองพบว่ามีอัตราความถูกต้องร้อยละ 95.36 ในการระบุระยะของตำแหน่งมนุษย์ภายในภาพ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของระยะในการวัดอยู่ที่ 9.54 เมตร มีระยะสูงสุดที่วัดได้คือ 10.00 เมตร และระยะต่ำสุดที่ 9.36 เมตร แสดงดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.3 ภาพการวัดระยะของกล้องสเตอริโอที่ระยะ 10 เมตร

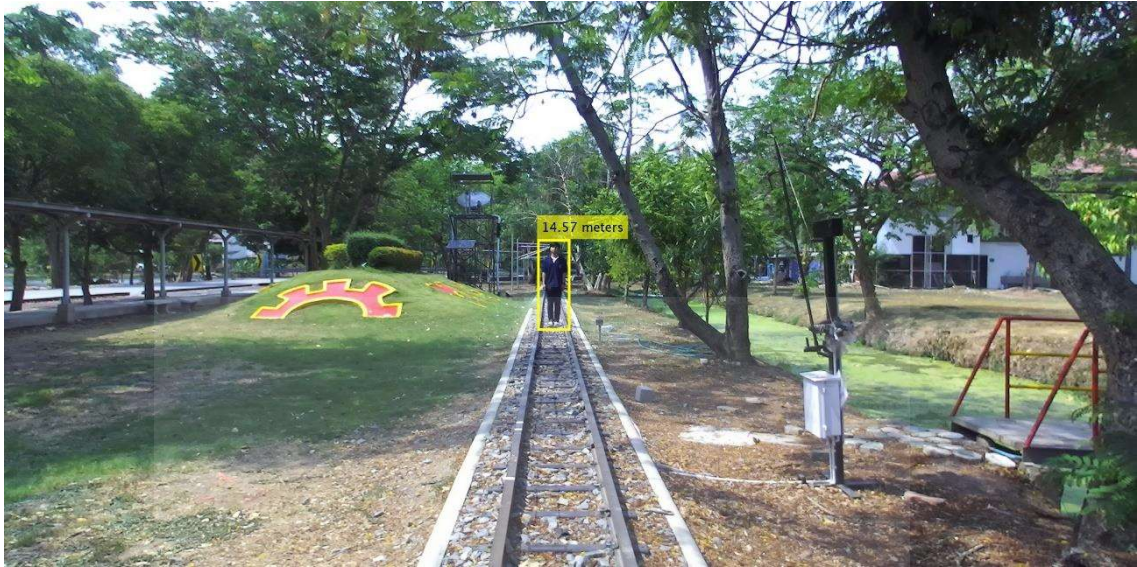


ภาพที่ 4.4 ผลการทดสอบวัดระยะของกล้องสเตอริโอที่ระยะ 10 เมตร

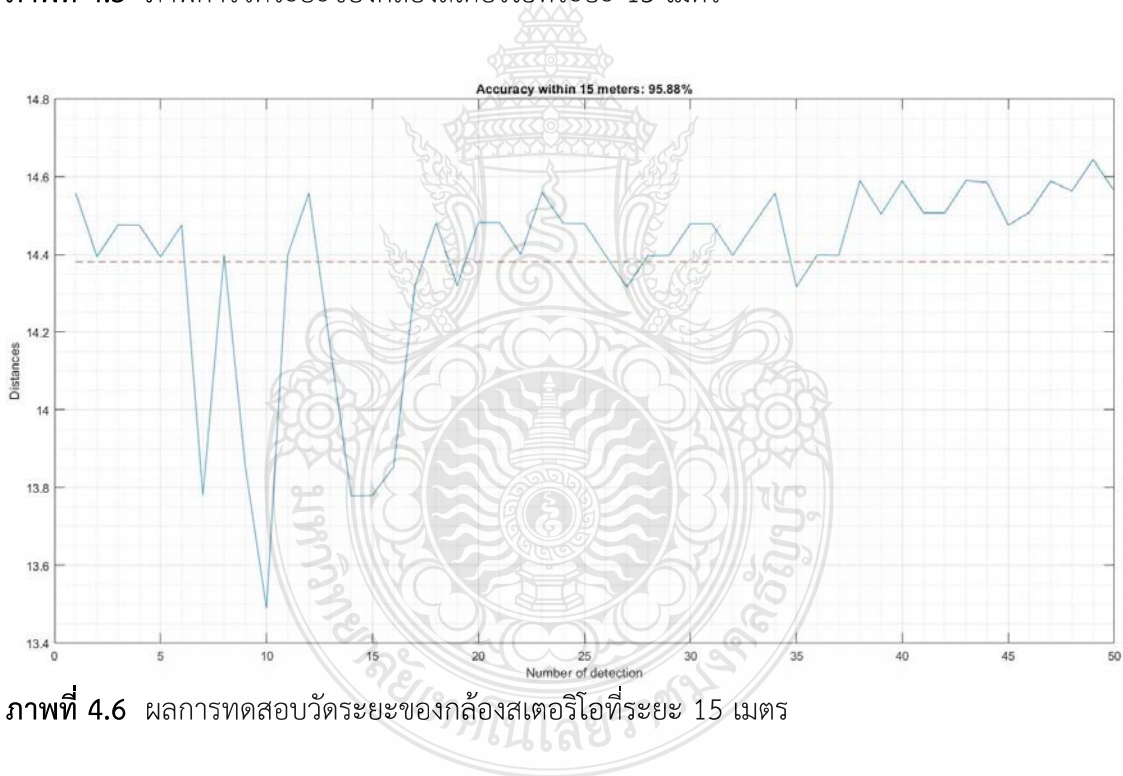
#### 4.1.3 ผลการทดสอบวัดระยะที่ 15 เมตร

การทดสอบการวัดระยะด้วยชุดข้อมูลภาพมนุษย์ในระยะ 15 เมตร แสดงตัวอย่างการทดสอบดังภาพที่ 4.5 โดยผลการทดลองพบว่ามีอัตราความถูกต้องร้อยละ 95.88 ในการระบุระยะของตำแหน่งมนุษย์ภายในภาพ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของระยะในการวัดอยู่ที่ 14.38 เมตร มีระยะสูงสุดที่วัดได้คือ 14.62 เมตร และระยะต่ำสุดที่ 13.44 เมตร แสดงดังภาพที่ 4.6





ภาพที่ 4.5 ภาพการวัดระยะของกล้องสเตอริโอที่ระยะ 15 เมตร



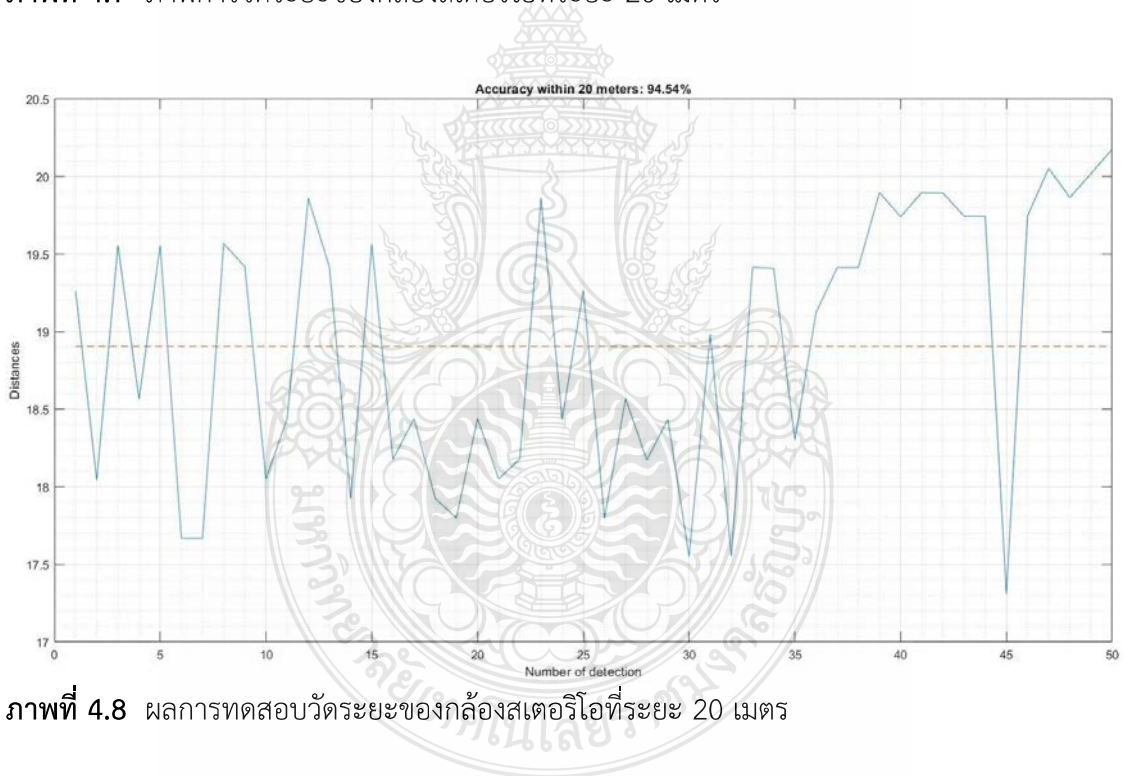
ภาพที่ 4.6 ผลการทดสอบวัดระยะของกล้องสเตอริโอที่ระยะ 15 เมตร

#### 4.1.4 ผลการทดสอบวัดระยะที่ 20 เมตร

การทดสอบการวัดระยะด้วยชุดข้อมูลภาพมนุษย์ในระยะ 20 เมตร แสดงตัวอย่างการทดสอบดังภาพที่ 4.7 โดยผลการทดลองพบว่ามีความถูกต้องร้อยละ 94.54 ในการระบุระยะของตำแหน่งมนุษย์ภายในภาพ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของระยะในการวัดอยู่ที่ 18.91 เมตร มีระยะสูงสุดที่วัดได้คือ 4.95 เมตร และระยะต่ำสุดที่ 4.46 เมตร แสดงดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.7 ภาพการวัดระยะของกล้องสเตอริโอที่ระยะ 20 เมตร



ภาพที่ 4.8 ผลการทดสอบวัดระยะของกล้องสเตอริโอที่ระยะ 20 เมตร

#### ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบของการวัดระยะห่างของมนุษย์กับกล้องสเตอริโอ

ระยะห่างของมนุษย์กับกล้อง	จำนวน	ค่าความถูกต้อง
5 เมตร	50 ภาพ	94.92%
10 เมตร	50 ภาพ	95.36%
15 เมตร	50 ภาพ	95.88%
20 เมตร	50 ภาพ	94.54%
ค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการวัดระยะ		95.17%

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงการวัดค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการวัดระยะของกล้องสเตอริโอ อยู่ที่ร้อยละ 95.17 โดยมีระยะห่างของมนุษย์กับกล้องเริ่มต้นที่ 5 ,10 ,15 และ 20 เมตร ซึ่งมีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 94.92, 95.36, 95.88 และ 94.54 ตามลำดับ ผู้วิจัยมีความเห็นว่าสาเหตุของความผิดพลาดนั้นสามารถสรุปได้ 2 สาเหตุ คือ 1.เกิดขึ้นจากความผิดพลาดของตำแหน่งการยืนและลักษณะร่างกายของผู้เข้าร่วมทดสอบ เนื่องจากตำแหน่งที่ใช้ในการวัดนั้นอ้างอิงจากจุดกึ่งกลางระหว่างความกว้างและความสูง ทั้งนี้ในการสอบเทียบระยะทางได้ใช้อุปกรณ์ตลับเมตร ซึ่งอาจเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้ 2.เกิดขึ้นจากแสงสว่างตามสภาพแวดล้อมที่ส่งผลให้การประมวลผลภาพเกิดความผิดพลาดได้

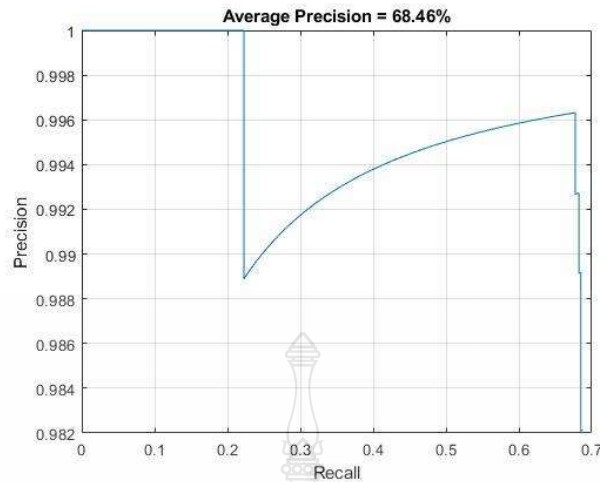
#### 4.2 ผลการทดสอบระบบตรวจจับมนุษย์

การฝึกอบรมระบบตรวจจับมนุษย์ได้นำเทคนิคการตรวจจับวัตถุแบบ Faster R-CNN โดยมีโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้โครงสร้างแบบ VGG-16 มาใช้ในการการแยกแยะและจดจำมนุษย์ ในการทดลองได้มีการนำชุดข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด 400 ภาพ มาทดลองกับระบบที่ผ่านการฝึกอบรมปรับค่าพารามิเตอร์ 3 รูปแบบ ที่ได้กำหนดไว้ในตารางที่ 3.4 เพื่อวัดประสิทธิภาพการตรวจจับมนุษย์ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

##### 4.2.1 ผลการทดสอบการฝึกอบรม Faster RCNN รูปแบบ 1

การทดสอบวัดประสิทธิภาพการตรวจจับของ Faster RCNN รูปแบบที่ 1 ที่มีการกำหนดให้มี 5 Anchor Box จากการฝึกอบรมพบว่าใช้ระยะเวลาในการฝึกอบรมอยู่ที่ 21 ชั่วโมง 29 นาที ในส่วนของผลการทดสอบมีอัตราความถูกต้องร้อยละ 68.46

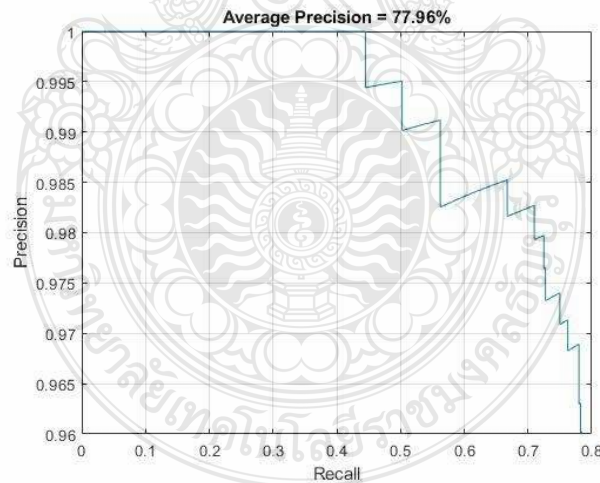




ภาพที่ 4.9 ผลการทดสอบ Faster RCNN ที่กำหนดค่าพารามิเตอร์รูปแบบที่ 1

#### 4.2.2 ผลการทดสอบการฝึกรูปแบบ Faster RCNN รูปแบบ 2

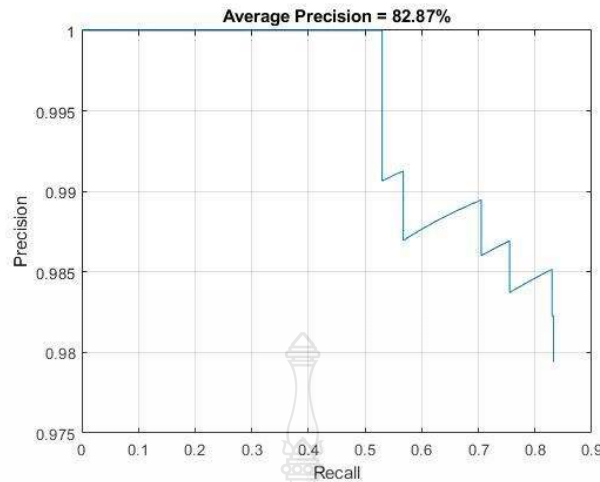
การทดสอบวัดประสิทธิภาพการตรวจจับของ Faster RCNN รูปแบบที่ 2 ที่มีการกำหนดให้มี 10 Anchor Box จากการฝึกรูปแบบพบว่า ใช้ระยะเวลาในการฝึกรูปแบบอยู่ที่ 22 ชั่วโมง 53 นาที ในส่วนของผลการทดสอบมีอัตราความถูกต้องร้อยละ 77.96



ภาพที่ 4.10 ผลการทดสอบ Faster RCNN ที่กำหนดค่าพารามิเตอร์รูปแบบที่ 2

#### 4.2.3 ผลการทดสอบการฝึกรูปแบบ Faster RCNN รูปแบบ 3

การทดสอบวัดประสิทธิภาพการตรวจจับของ Faster RCNN รูปแบบที่ 3 ที่มีการกำหนดให้มี 15 Anchor Box จากการฝึกรูปแบบพบว่า ใช้ระยะเวลาในการฝึกรูปแบบอยู่ที่ 24 ชั่วโมง 14 นาที ในส่วนของผลการทดสอบมีอัตราความถูกต้องร้อยละ 82.87



ภาพที่ 4.11 ผลการทดสอบ Faster RCNN ที่กำหนดค่าพารามิเตอร์รูปแบบที่ 3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบของ Faster RCNN ในการตรวจจับมนุษย์

รูปแบบ	จำนวนกล่องยึด (Anchor Boxes)	ระยะเวลาใน การฝึกอบรม	ค่าความถูกต้อง (Average Precision)
1	5	21h : 29m	68.46%
2	10	22h : 53m	77.96%
3	15	24h : 14m	82.87%

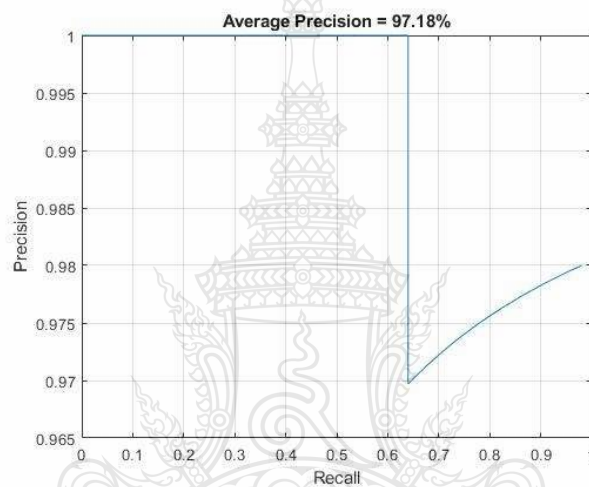
จากตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงความสำคัญในการเลือกใช้จำนวนกล่องยึดสำหรับการฝึกอบรม Faster RCNN ซึ่งขนาดและจำนวนของกล่องยึดที่กำหนดจะช่วยทำให้ในการทดสอบนี้มีการกำหนดจำนวนกล่องยึด 3 ค่า นั่นก็คือ 5, 10 และ 15 Anchor Box ซึ่งมีค่าความถูกต้องร้อยละ 68.46, 77.96 และ 82.87 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการเพิ่มจำนวนกล่องยึดให้มากขึ้น ค่าความถูกต้องนั้นก็เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มจำนวนของกล่องยึดก็ส่งผลให้ระยะเวลาการฝึกอบรมเพิ่มขึ้นตาม ดังนั้นการเพิ่มจำนวนกล่องยึดนั้นควรมีการปรับปรุงและทดสอบให้เหมาะสมก่อนการนำไปใช้งาน

### 4.3 ผลการทดสอบการรวมระบบประมวลผลภาพสเตอริโอกับระบบตรวจจับมนุษย์

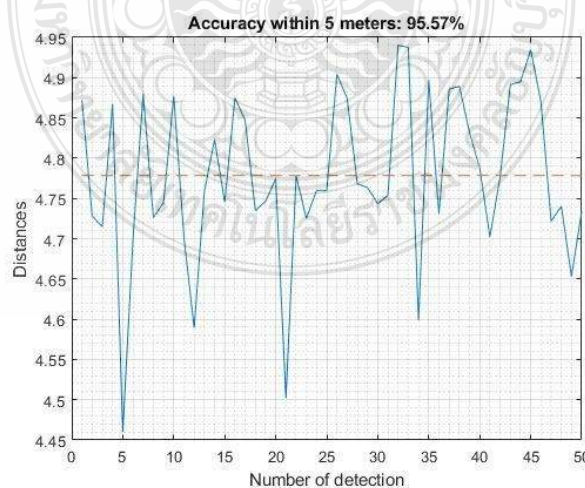
ในการทดสอบนี้การตรวจจับ Faster RCNN ที่ผ่านการฝึกอบรมกับจำนวนกล่องยึดเท่ากับ 15 Anchor Box มาใช้ในการทดสอบร่วมกับการวัดระยะของกล้องสเตอริโอ ในระยะ 5, 10 และ 15 เมตร

#### 4.3.1 ผลการทดสอบของการวัดระยะห่างร่วมกับการตรวจจับมนุษย์ที่ระยะ 5 เมตร

การทดสอบวัดประสิทธิภาพของการตรวจจับมนุษย์จากกล้องสเตอริโอ พบว่าอัตราความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 97.18 และส่วนของผลการวัดระยะร่วมกับการตรวจจับมนุษย์มีอัตราความถูกต้องร้อยละ 95.57



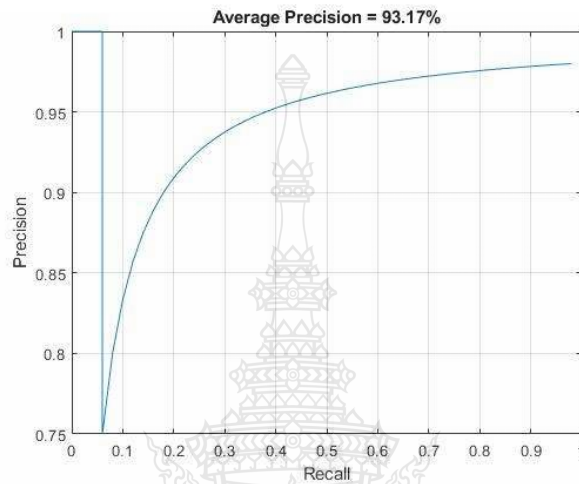
ภาพที่ 4.12 ผลการทดสอบในการตรวจจับมนุษย์จากกล้องสเตอริโอที่ระยะ 5 เมตร



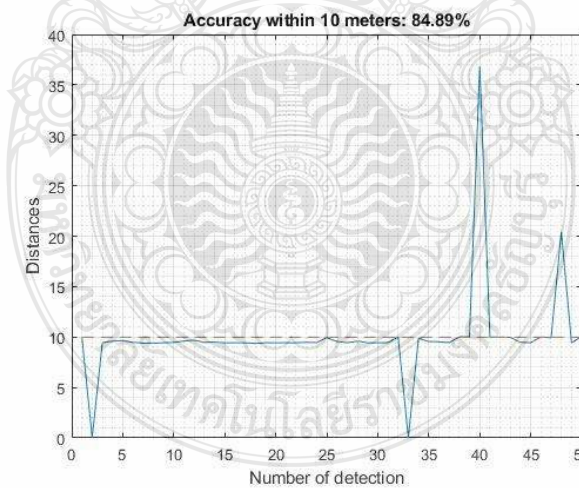
ภาพที่ 4.13 ผลการทดสอบในการวัดระยะร่วมกับการตรวจจับมนุษย์ที่ระยะ 5 เมตร

#### 4.3.2 ผลการทดสอบของการวัดระยะห่างร่วมกับการตรวจจับมนุษย์ที่ระยะ 10 เมตร

การทดสอบวัดประสิทธิภาพของการตรวจจับมนุษย์จากกล้องสเตอริโอ พบว่าอัตราความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 93.17 และส่วนของผลการวัดระยะห่างร่วมกับการตรวจจับมนุษย์มีอัตราความถูกต้องร้อยละ 84.89



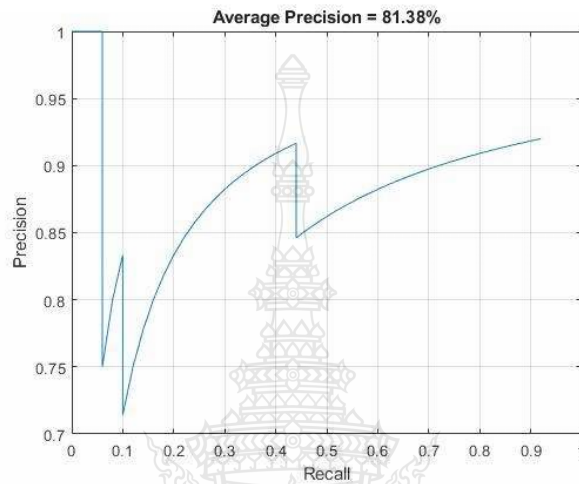
ภาพที่ 4.14 ผลการทดสอบ Faster RCNN ที่กำหนดค่าพารามิเตอร์รูปแบบที่ 3



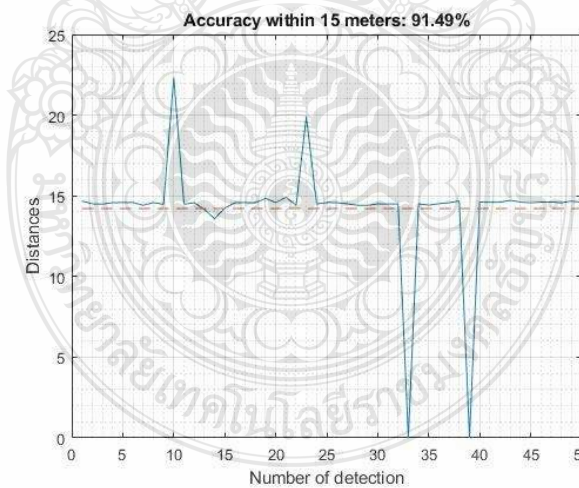
ภาพที่ 4.15 ผลการทดสอบ Faster RCNN ที่กำหนดค่าพารามิเตอร์รูปแบบที่ 3

#### 4.3.3 ผลการทดสอบของการวัดระยะห่างร่วมกับการตรวจจับมนุษย์ที่ระยะ 15 เมตร

การทดสอบวัดประสิทธิภาพของการตรวจจับมนุษย์จากกล้องสเตอริโอ พบว่าอัตราความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 81.38 และส่วนของผลการวัดระยะห่างร่วมกับการตรวจจับมนุษย์มีอัตราความถูกต้องร้อยละ 91.49



ภาพที่ 4.16 ผลการทดสอบ Faster RCNN ที่กำหนดค่าพารามิเตอร์รูปแบบที่ 3

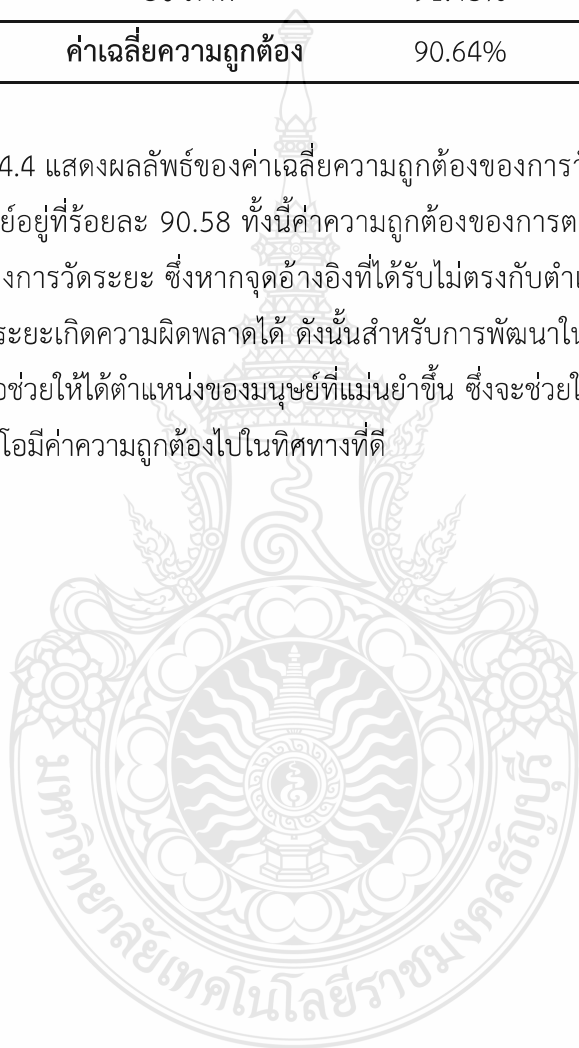


ภาพที่ 4.17 ผลการทดสอบ Faster RCNN ที่กำหนดค่าพารามิเตอร์รูปแบบที่ 3

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบของการวัดระยะห่างร่วมกับการตรวจจับมนุษย์จากกล้องสเตอริโอ

ระยะห่างของมนุษย์กับกล้อง	จำนวน	ค่าความถูกต้องในการตรวจวัดระยะ	ค่าความถูกต้องในการตรวจจับ
5 เมตร	50 ภาพ	95.57%	97.18%
10 เมตร	50 ภาพ	84.89%	93.17%
15 เมตร	50 ภาพ	91.48%	81.38%
ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง		90.64%	90.58%

จากตารางที่ 4.4 แสดงผลลัพธ์ของค่าเฉลี่ยความถูกต้องของการวัดระยะอยู่ที่ร้อยละ 90.64 และการตรวจจับมนุษย์อยู่ที่ร้อยละ 90.58 ทั้งนี้ค่าความถูกต้องของการตรวจจับมนุษย์นั้นจะมีผลต่อการอ้างอิงตำแหน่งของการวัดระยะ ซึ่งหากจุดอ้างอิงที่ได้รับไม่ตรงกับตำแหน่งของมนุษย์จริงก็จะทำให้ผลของการตรวจวัดระยะเกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้นสำหรับการพัฒนาในอนาคตควรเพิ่มเทคนิคการแบ่งส่วนภาพเข้าไปเพื่อช่วยให้ได้ตำแหน่งของมนุษย์ที่แม่นยำขึ้น ซึ่งจะช่วยให้การตรวจวัดระยะห่างของมนุษย์ด้วยกล้องสเตอริโอมีค่าความถูกต้องไปในทิศทางที่ดี



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอระบบตรวจจับวัตถุโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์สำหรับระบบขนส่งทางราง ซึ่งมีการนำกล้องสเตอริโอและการเรียนรู้เชิงลึกมาประยุกต์ใช้งานเป็นระบบตรวจจับวัตถุหรือมนุษย์ที่เข้ามาสู่เส้นทางการเดินรถบนระบบขนส่งทางราง โดยระบบถูกออกแบบบนพื้นฐานของเทคนิคการตรวจจับวัตถุแบบ Faster RCNN และโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันที่มีโครงสร้างแบบ VGG-16 ซึ่งได้มีการปรับขนาดภาพนำเข้าของ VGG 16 ให้เป็น  $320 \times 320$  เพื่อให้มีคุณสมบัติในการสกัดคุณลักษณะเด่นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ในการฝึกอบรมระบบตรวจจับมนุษย์ได้มีการปรับค่าพารามิเตอร์ Anchor Box 3 รูปแบบ ในการทดลองได้มีการแบ่งขั้นตอนการทดลองออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ ส่วนแรกเป็นการทดสอบวัดประสิทธิภาพของ ZED Stereo Camera ในการตรวจวัดระยะของวัตถุภายในภาพ ส่วนที่สองเป็นการทดสอบวัดประสิทธิภาพการตรวจจับมนุษย์ของระบบตรวจจับที่ผ่านการฝึกอบรมจำนวน 3 รูปแบบ เพื่อศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับการฝึกอบรม ในส่วนสุดท้ายเป็นการทดสอบระหว่างการตรวจจับมนุษย์กับการตรวจวัดระยะ โดยเป็นการรวมการทำงานระหว่างการประมวลผลภาพสเตอริโอกับระบบการตรวจจับมนุษย์ที่ได้รับการฝึกอบรม

จากผลการทดลองวัดประสิทธิภาพของ ZED Stereo Camera กับชุดข้อมูลภาพสเตอริโอ 200 ภาพ ให้อัตราค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการวัดระยะอยู่ที่ร้อยละ 95.17 และในส่วนของระบบการตรวจจับมนุษย์ที่ผ่านการฝึกอบรมในรูปแบบ 3 ให้ค่าความถูกต้องที่มากกว่ารูปแบบที่ 1 และ 2 ในการแยกแยะและจดจำอยู่ที่ร้อยละ 82.87 เนื่องจากการฝึกอบรมที่มีการกำหนดค่า Anchor Box ที่มีจำนวนมากจะให้ผลลัพธ์ในการวิเคราะห์พื้นที่ที่สนใจได้ครอบคลุมแต่ใช้ระยะเวลาในการฝึกอบรมที่นานกว่า

#### 5.2 ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย

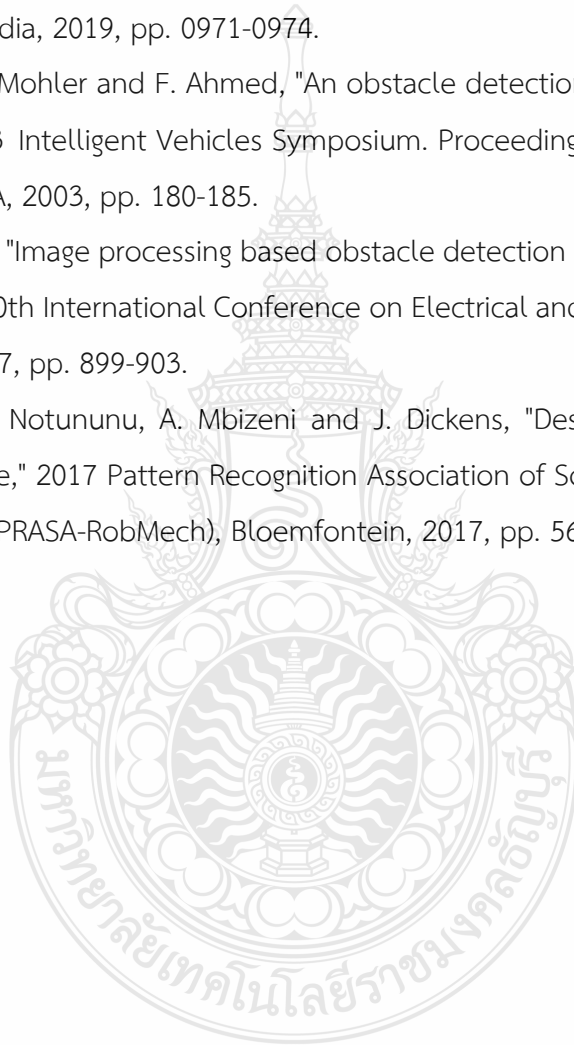
การจะนำไปประยุกต์ใช้งานจริงนั้นยังคงต้องคำนึงถึงความแม่นยำและความเร็วในการประมวลผล ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตจะต้องมีการพัฒนาเทคนิคการตรวจจับวัตถุ และโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันในรูปแบบอื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับและความเร็วในการประมวลผลของระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งนี้ควรมีการเพิ่มจำนวนของวัตถุที่ต้องตรวจจับ เพื่อให้ครอบคลุมสิ่งกีดขวางที่จะเข้ามาสู่เส้นทางการเดินรถ และจำนวนของข้อมูลภาพที่นำมาใช้ในการฝึกอบรมให้มากขึ้น เนื่องจากจำนวนข้อมูลภาพมีผลต่อความถูกต้องของวิธีการเรียนรู้เชิงลึก



## เอกสารอ้างอิง

- [1] ภาวินา อัครมณีกุล และรัชพล วัฒนาไพศาล. (2558). การลงทุนโครงสร้างพื้นฐานด้านคมนาคมขนส่งทางบก. วารสารเศรษฐกิจและสังคม, 15(2), 17-23.
- [2] กอบกุล โมทนา. (2559). “ยุทธศาสตร์และแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านคมนาคมขนส่ง ของไทย พ.ศ.2558- 2565”, วารสารรัฐศาสตร์, 58(1), 91-104.
- [3] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. (2559). “การศึกษาแผนพัฒนามาตรฐานด้านระบบรางของประเทศไทย”.
- [4] สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2561). “รายงานโลจิสติกส์ของประเทศไทยประจำปี 2560”.
- [5] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศการขนส่งและจราจร สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. (2562). “รายงานโครงสร้างพื้นฐานคมนาคม พ.ศ. 2561”.
- [6] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร สำนักแผนความปลอดภัย กลุ่มพัฒนาความปลอดภัย. (มิถุนายน 2561). “รายงานการวิเคราะห์สถานการณ์อุบัติเหตุทางถนนของกระทรวงคมนาคม พ.ศ. 2560”.
- [7] Ubon News. “จุดตัดทางรถไฟมาตรฐานที่ต้องปรับหรือไม่?”. 2562. แหล่งที่มา: <https://www.ubonnews.in.th/acticle /27215/>. สืบค้นเมื่อ 17/08/2562.
- [8] Sanook. ดับสองขบวนขบวน-ควบกระบะข้ามทางรถไฟไม่ทันสังเกต ถูกม้าเหล็กอัดยัดทั้งคนทั้งรถ. 2562. แหล่งที่มา: <https://www.sanook.com/news/7696518/>. สืบค้นเมื่อ 17/08/2562.
- [9] Sanook. ม้าเหล็กพุ่งอัดยัดกระบะข้ามรางรถไฟ-ขณะคนขับพาครอบครัวไปทำบุญดับ 3 ศพ. 2562. แหล่งที่มา: <https://www.sanook.com/news/7718026/>. สืบค้นเมื่อ 17/08/2562.
- [10] นคร จันทศร. ช่างรถไฟ ความรู้ทั่วไปด้านวิศวกรรมรถไฟ. 2559.
- [11] Francois Chollet, Deep Learning with Python. 2018.
- [12] G. Prabhakar, B. Kailath, S. Natarajan and R. Kumar, "Obstacle detection and classification using deep learning for tracking in high-speed autonomous driving," 2017 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP), Cochin, 2017, pp. 1-6.
- [13] V. D. Nguyen, H. Van Nguyen, D. T. Tran, S. J. Lee and J. W. Jeon, "Learning Framework for Robust Obstacle Detection, Recognition, and Tracking," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 18, no. 6, pp. 1633-1646, June 2017.

- [14] H. S. G. Supreeth and C. M. Patil, "Moving object detection and tracking using deep learning neural network and correlation filter," 2018 Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT), Coimbatore, 2018, pp. 1775-1780.
- [15] Z. Ahmed, R. Iniyavan and M. M. P, "Enhanced Vulnerable Pedestrian Detection using Deep Learning," 2019 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), Chennai, India, 2019, pp. 0971-0974.
- [16] M. Ruder, N. Mohler and F. Ahmed, "An obstacle detection system for automated trains," IEEE IV2003 Intelligent Vehicles Symposium. Proceedings (Cat. No.03TH8683), Columbus, OH, USA, 2003, pp. 180-185.
- [17] M. Karaduman, "Image processing based obstacle detection with laser measurement in railways," 2017 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), Bursa, 2017, pp. 899-903.
- [18] S. Xungu, L. Notununu, A. Mbizeni and J. Dickens, "Design of railway obstacle detection prototype," 2017 Pattern Recognition Association of South Africa and Robotics and Mechatronics (PRASA-RobMech), Bloemfontein, 2017, pp. 56-61.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก  
ภาพที่ใช้ในการทดลอง





ภาพที่ ก.1 ชุดข้อมูลภาพระยะ 5 เมตรจากกล้องสเตอริโอ





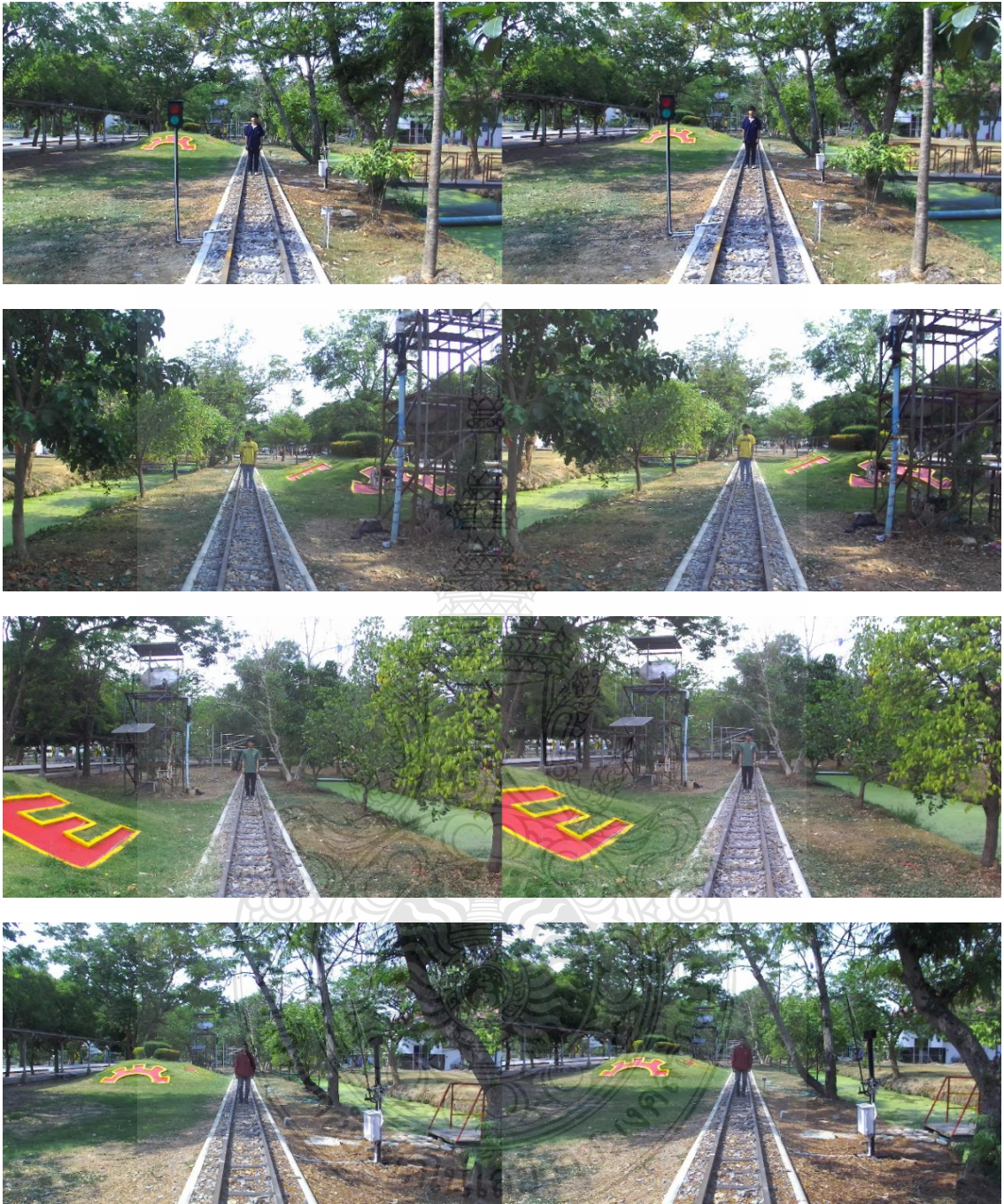
ภาพที่ ก.2 ชุดข้อมูลภาพระยะ 5 เมตรจากกล้องสเตอริโอ





ภาพที่ ก.3 ชุดข้อมูลภาพระยะ 10 เมตรจากกล้องสเตอริโอ





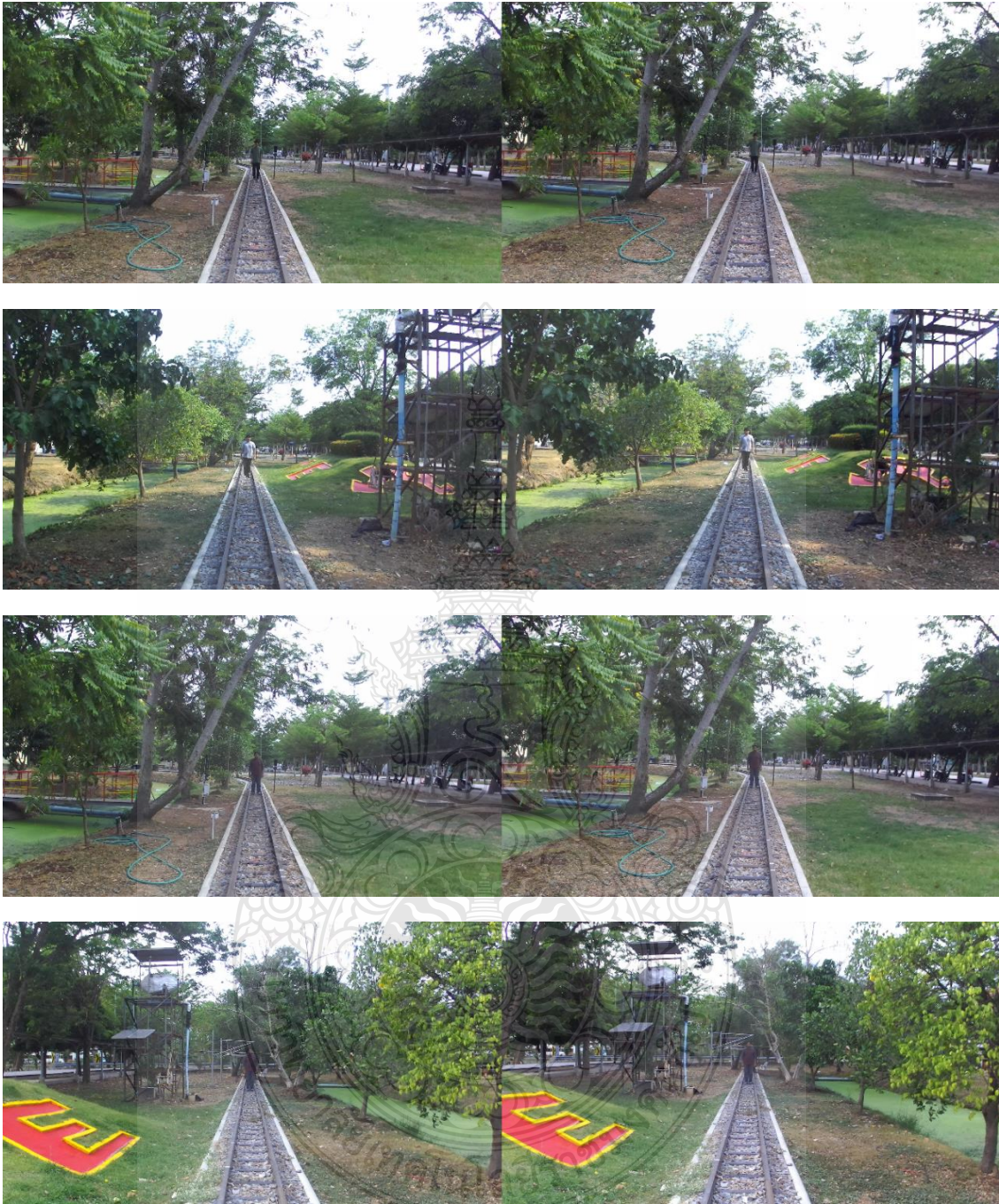
ภาพที่ ก.4 ชุดข้อมูลภาพระยะ 10 เมตรจากกล้องสเตอริโอ





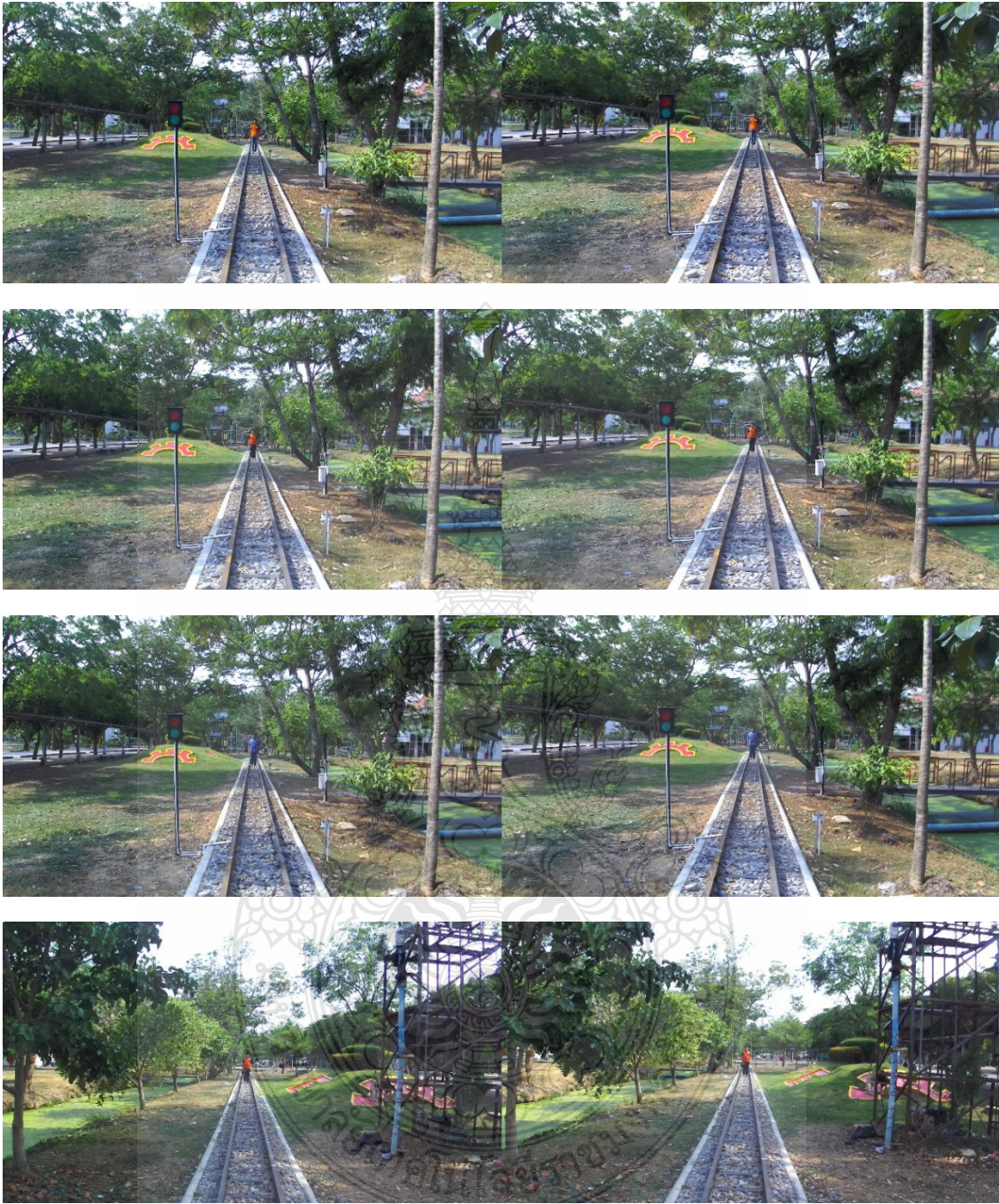
ภาพที่ ก.5 ชุดข้อมูลภาพระยะ 15 เมตรจากกล้องสเตอริโอ





ภาพที่ ก.6 ชุดข้อมูลภาพระยะ 15 เมตรจากกล้องสเตอริโอ





ภาพที่ ก.7 ชุดข้อมูลภาพระยะ 20 เมตรจากกล้องสเตอริโอ





ภาพที่ ก.8 จุดข้อมูลภาพระยะ 20 เมตรจากกล้องสเตอริโอ





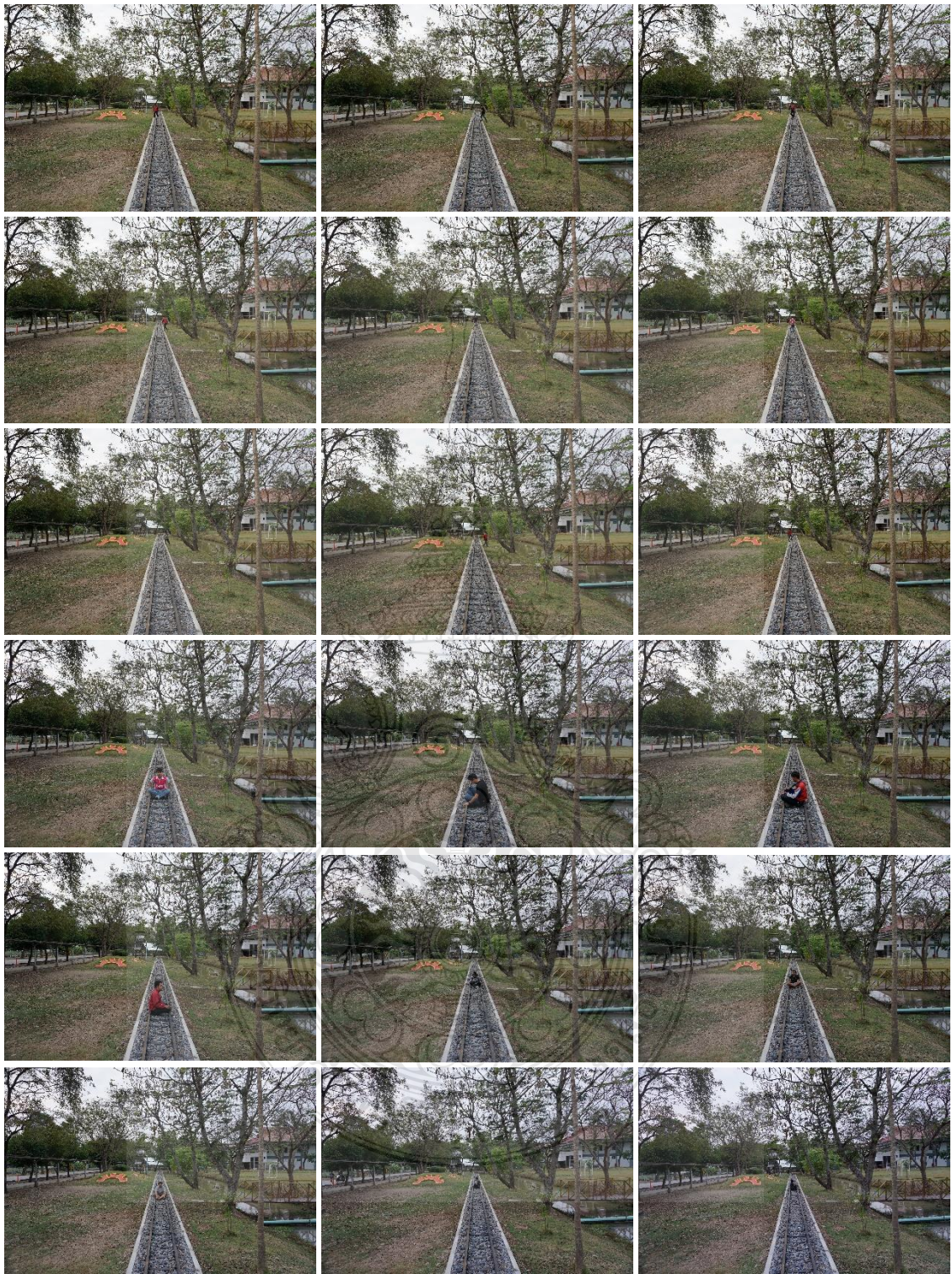
ภาพที่ ก.9 ชุดข้อมูลภาพที่ใช้สำหรับการฝึกอบรม





ภาพที่ ก.10 ชุดข้อมูลภาพที่ใช้สำหรับการฝึกอบรม





ภาพที่ ก.11 ชุดข้อมูลภาพที่ใช้สำหรับการฝึกอบรม





ภาพที่ ก.12 ชุดข้อมูลภาพที่ใช้สำหรับการทดสอบ





ภาคผนวก ข

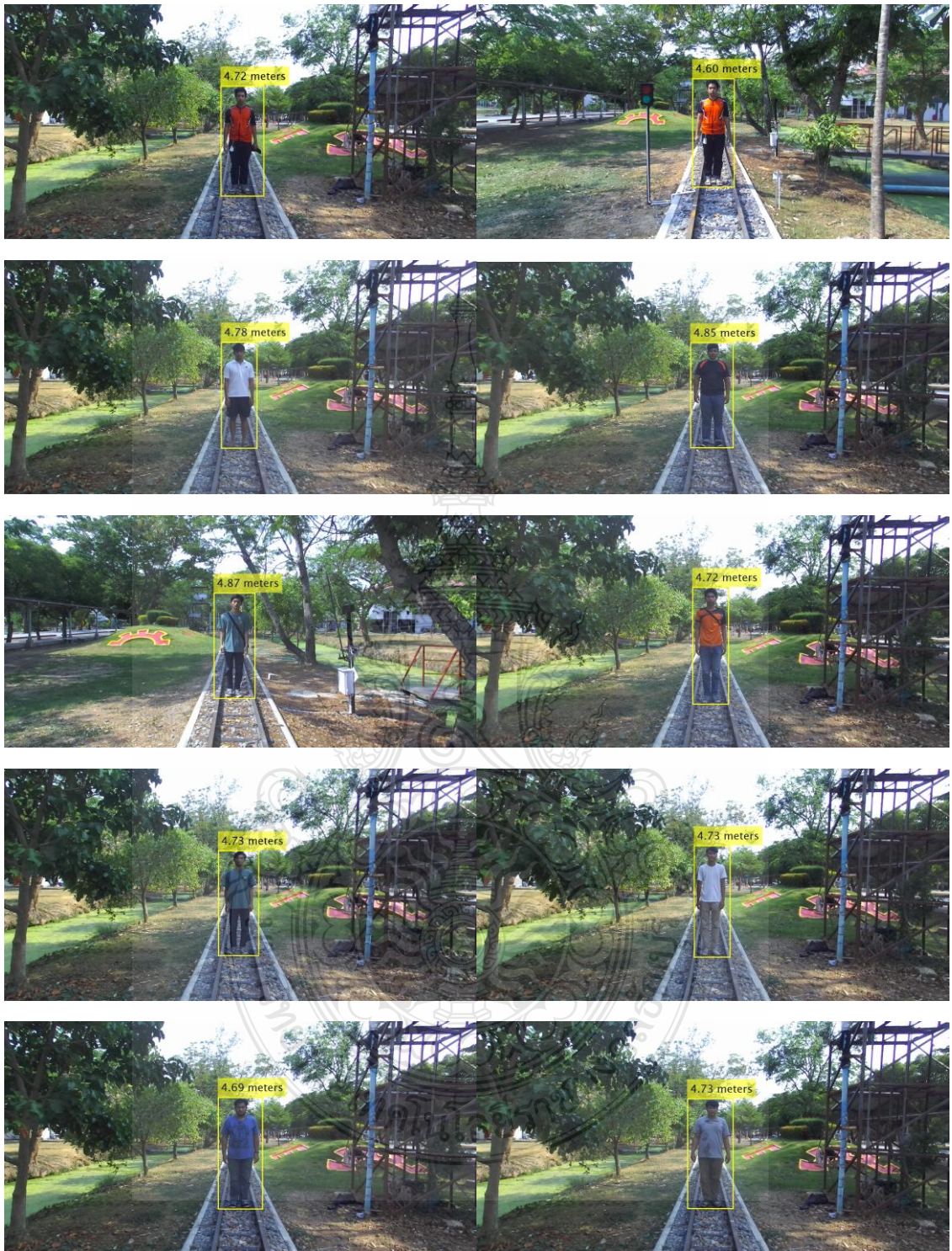
ภาพผลการทดลอง





ภาพที่ ข.1 ผลการทดลองที่ 1 ระยะ 5 เมตร





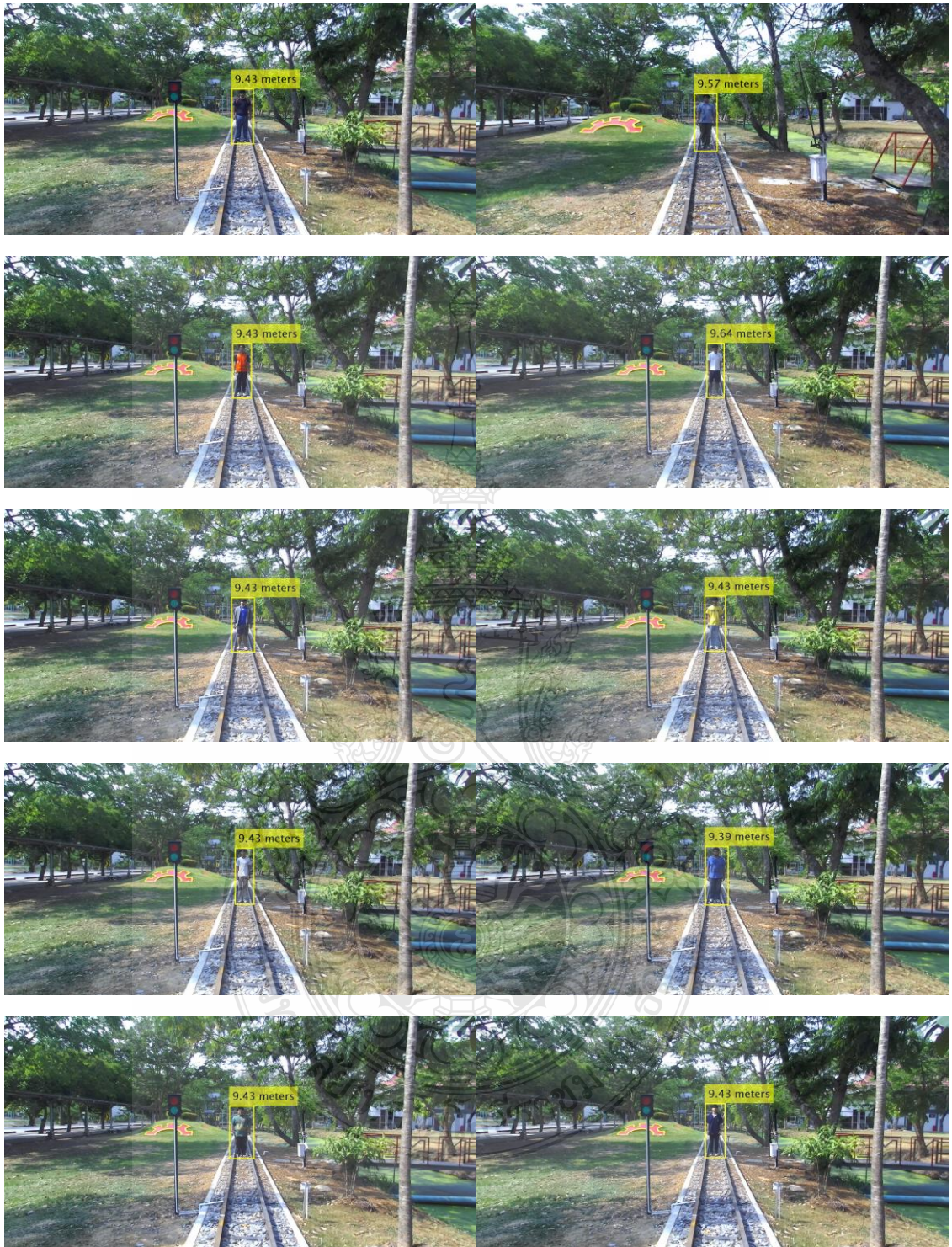
ภาพที่ ข.2 ผลการทดลองที่ 1 ระยะ 5 เมตร





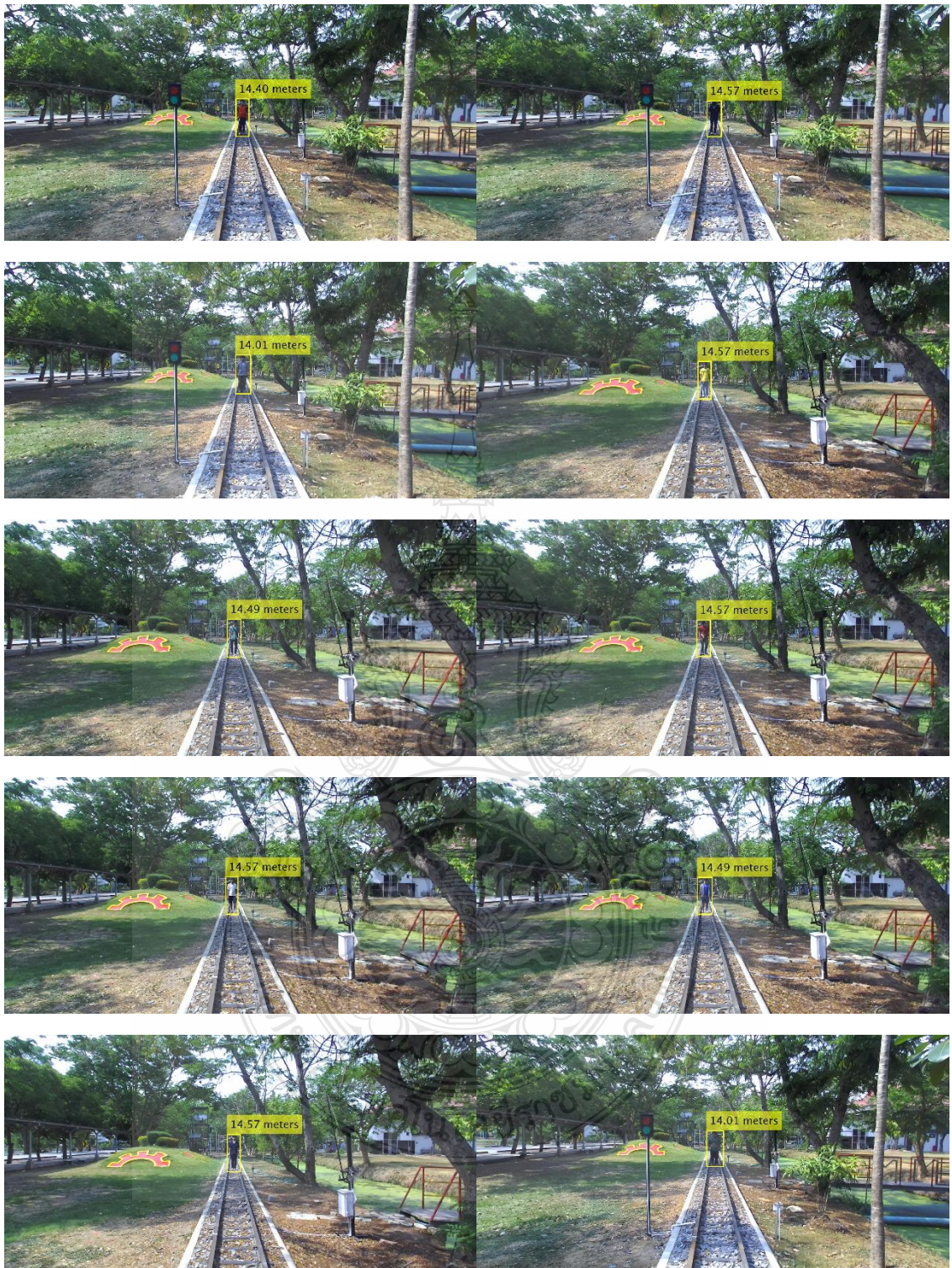
ภาพที่ ข.3 ผลการทดลองที่ 1 ระยะ 10 เมตร





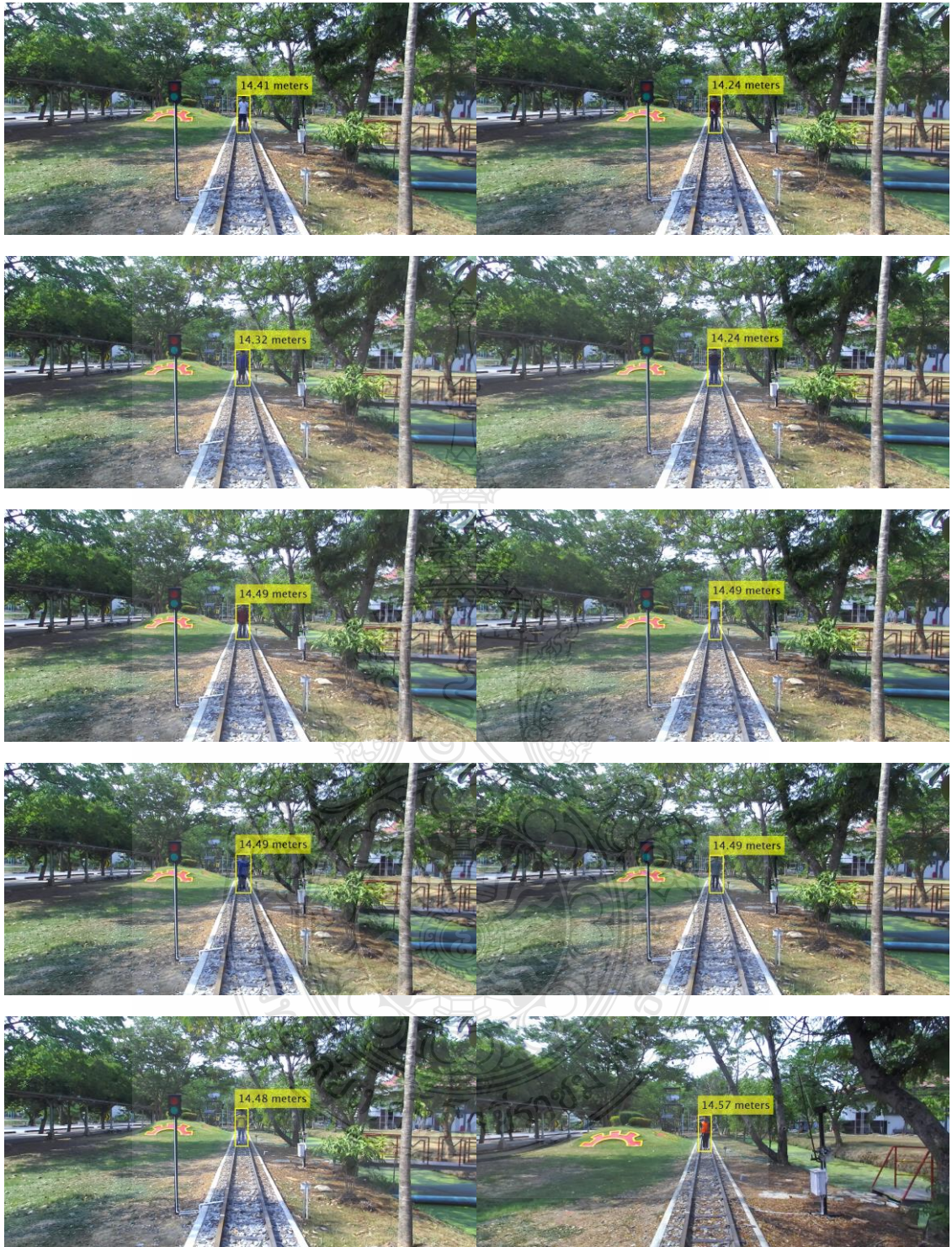
ภาพที่ ข.4 ผลการทดลองที่ 1 ระยะ 10 เมตร





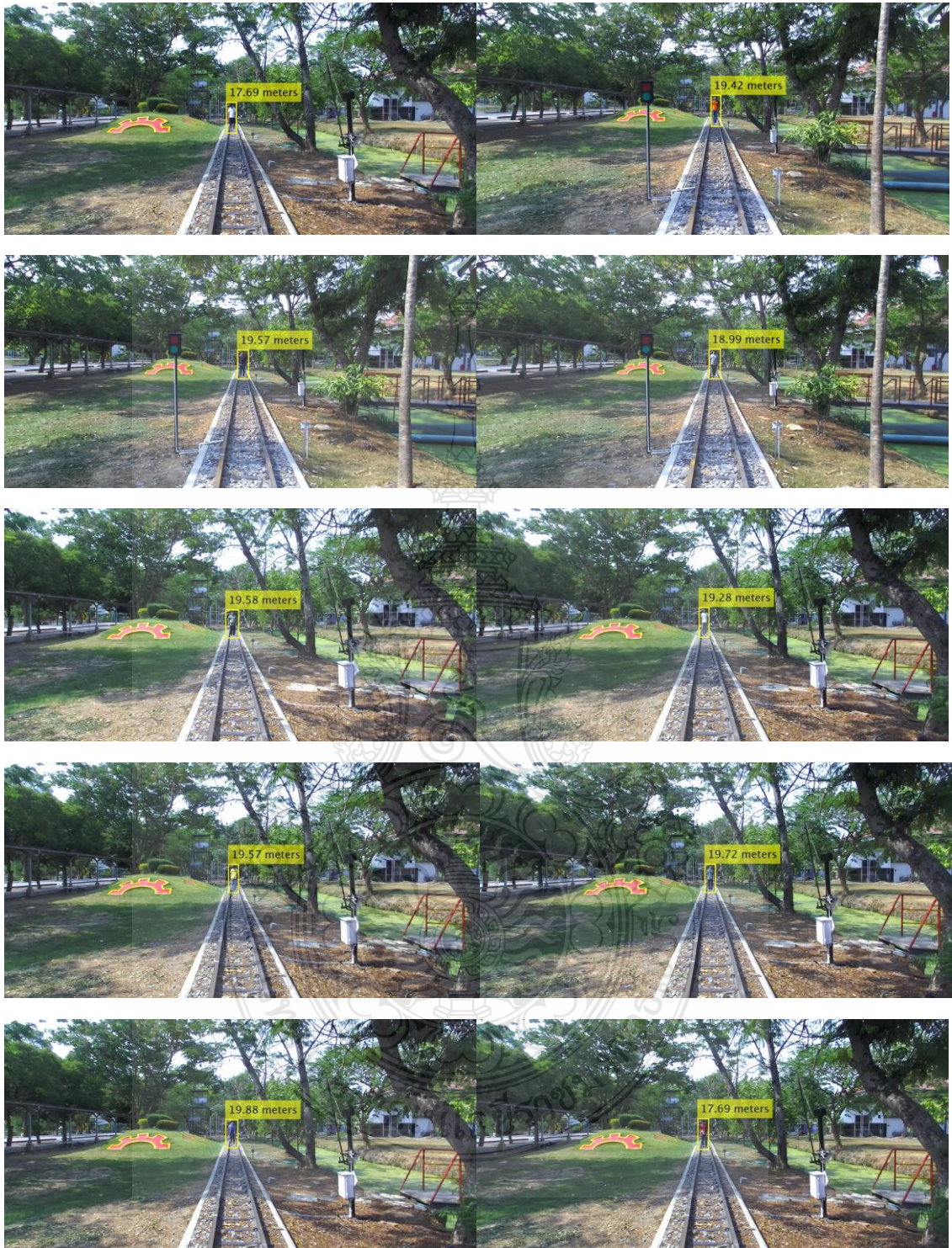
ภาพที่ ข.5 ผลการทดลองที่ 1 ระยะ 15 เมตร





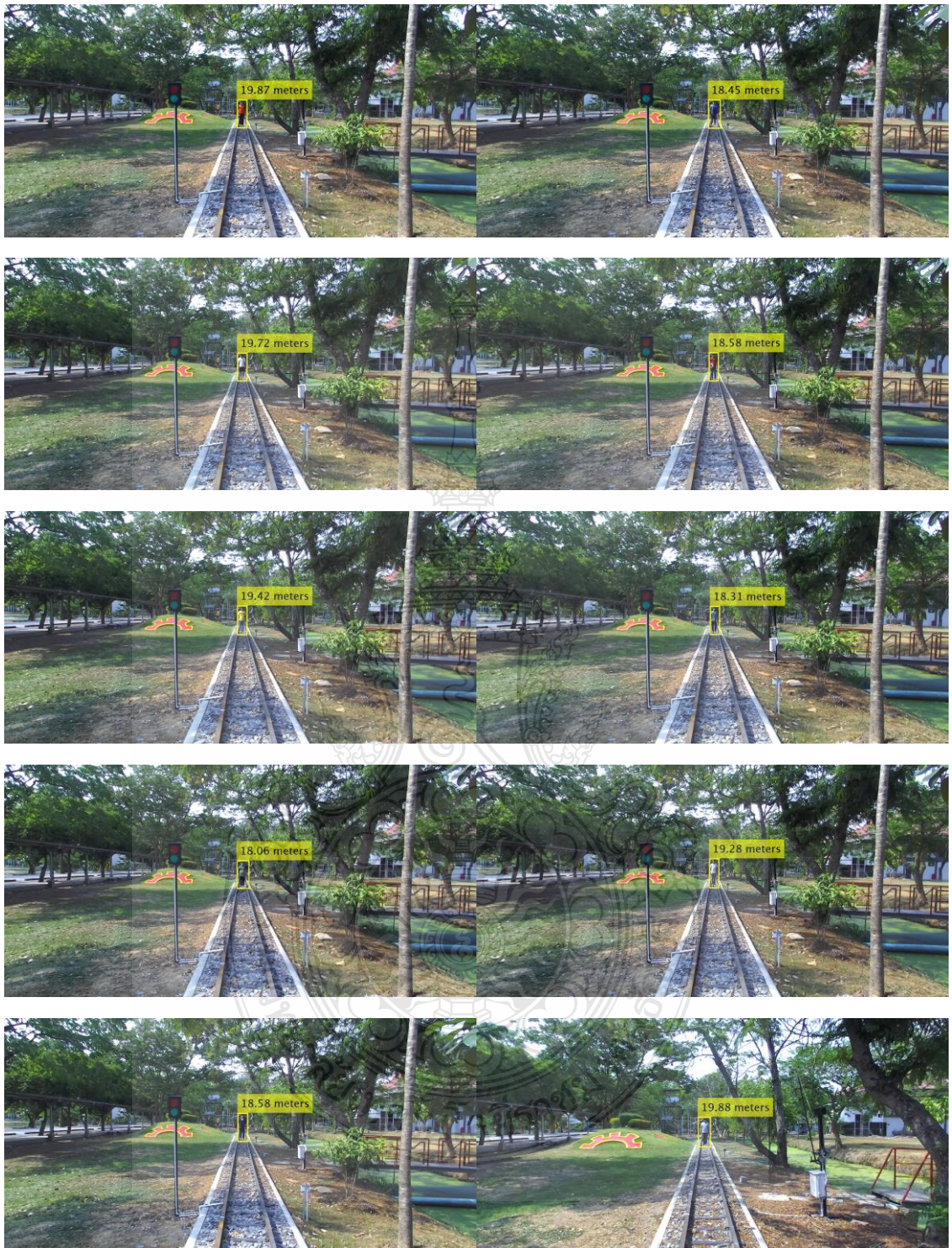
ภาพที่ ข.6 ผลการทดลองที่ 1 ระยะ 15 เมตร





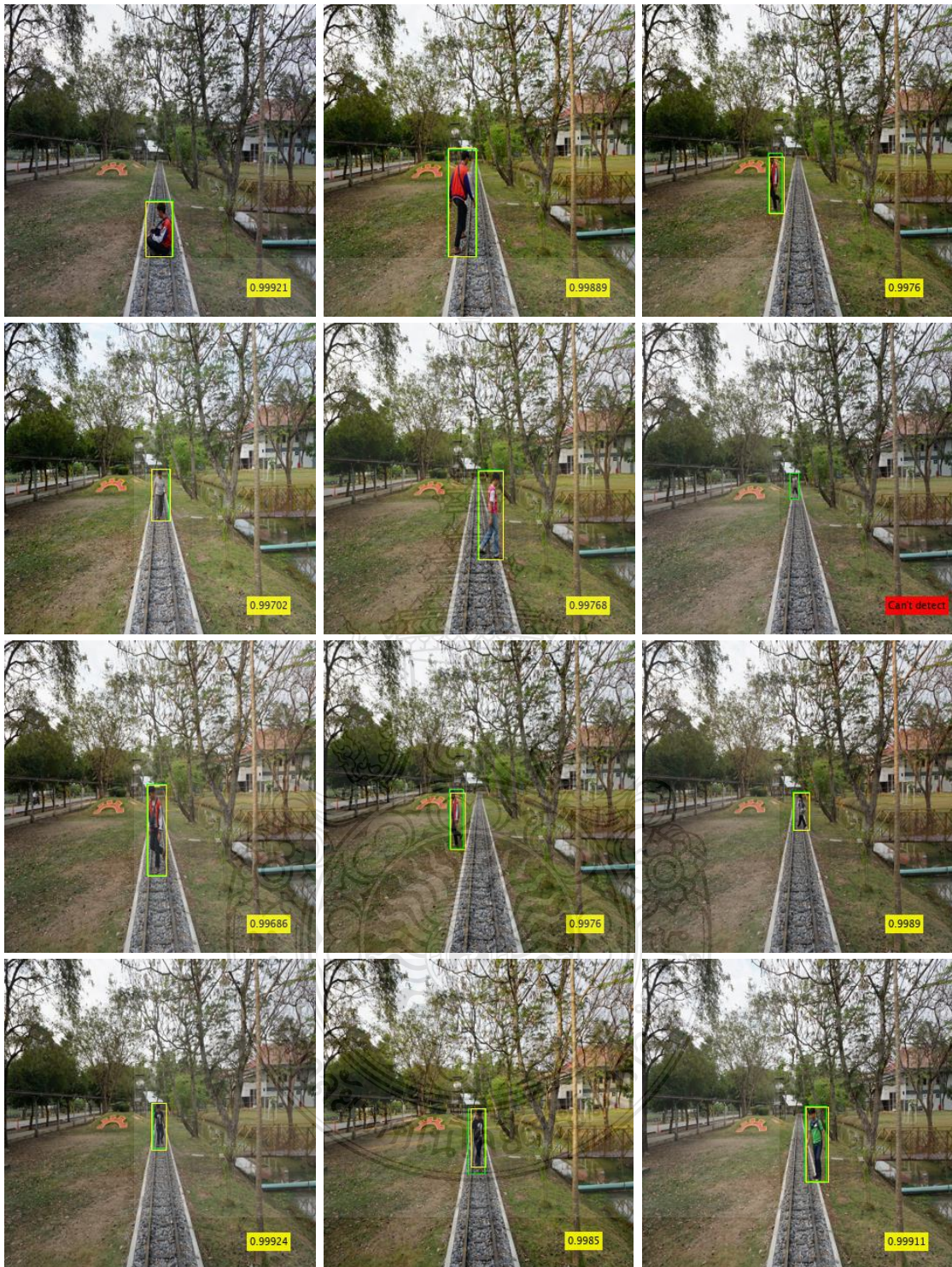
ภาพที่ ข.7 ผลการทดลองที่ 1 ระยะ 20 เมตร





ภาพที่ ข.8 ผลการทดลองที่ 1 ระยะ 20 เมตร





ภาพที่ ข.9 ผลการทดลองที่ 2 Faster R-CNN รูปแบบที่ 1





ภาพที่ ข.10 ผลการทดลองที่ 2 Faster R-CNN รูปแบบที่ 1





ภาพที่ ข.11 ผลการทดลองที่ 2 Faster R-CNN รูปแบบที่ 1





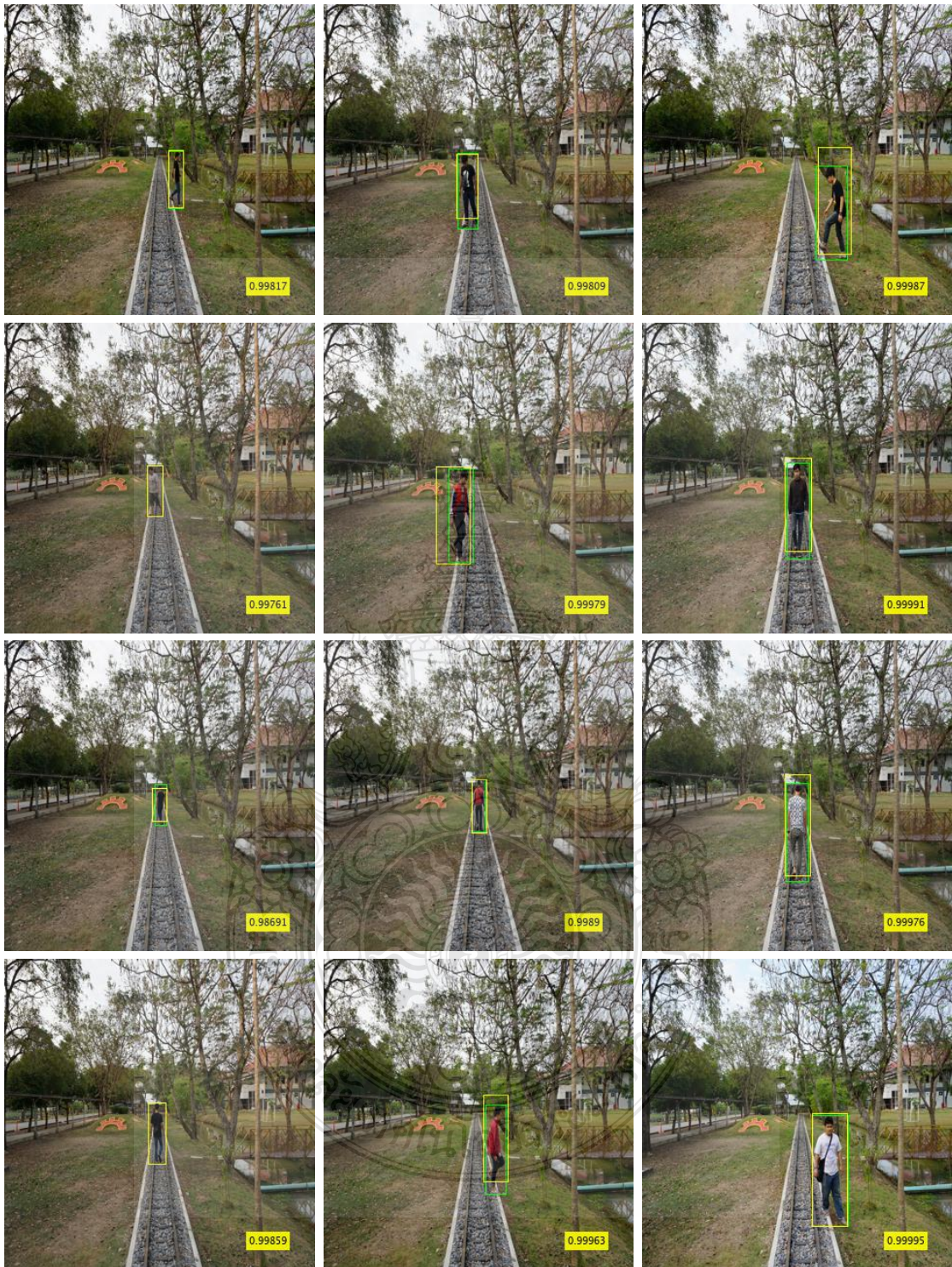
ภาพที่ ข.12 ผลการทดลองที่ 2 Faster R-CNN รูปแบบที่ 2





ภาพที่ ข.13 ผลการทดลองที่ 2 Faster R-CNN รูปแบบที่ 2





ภาพที่ ข.14 ผลการทดลองที่ 2 Faster R-CNN รูปแบบที่ 2





ภาพที่ ข.15 ผลการทดลองที่ 2 Faster R-CNN รูปแบบที่ 3





ภาพที่ ข.16 ผลการทดลองที่ 2 Faster R-CNN รูปแบบที่ 3





ภาพที่ ข.17 ผลการทดลองที่ 2 Faster R-CNN รูปแบบที่ 3





ภาพที่ ข.18 ผลการทดลองที่ 3 ระยะ 5 เมตร





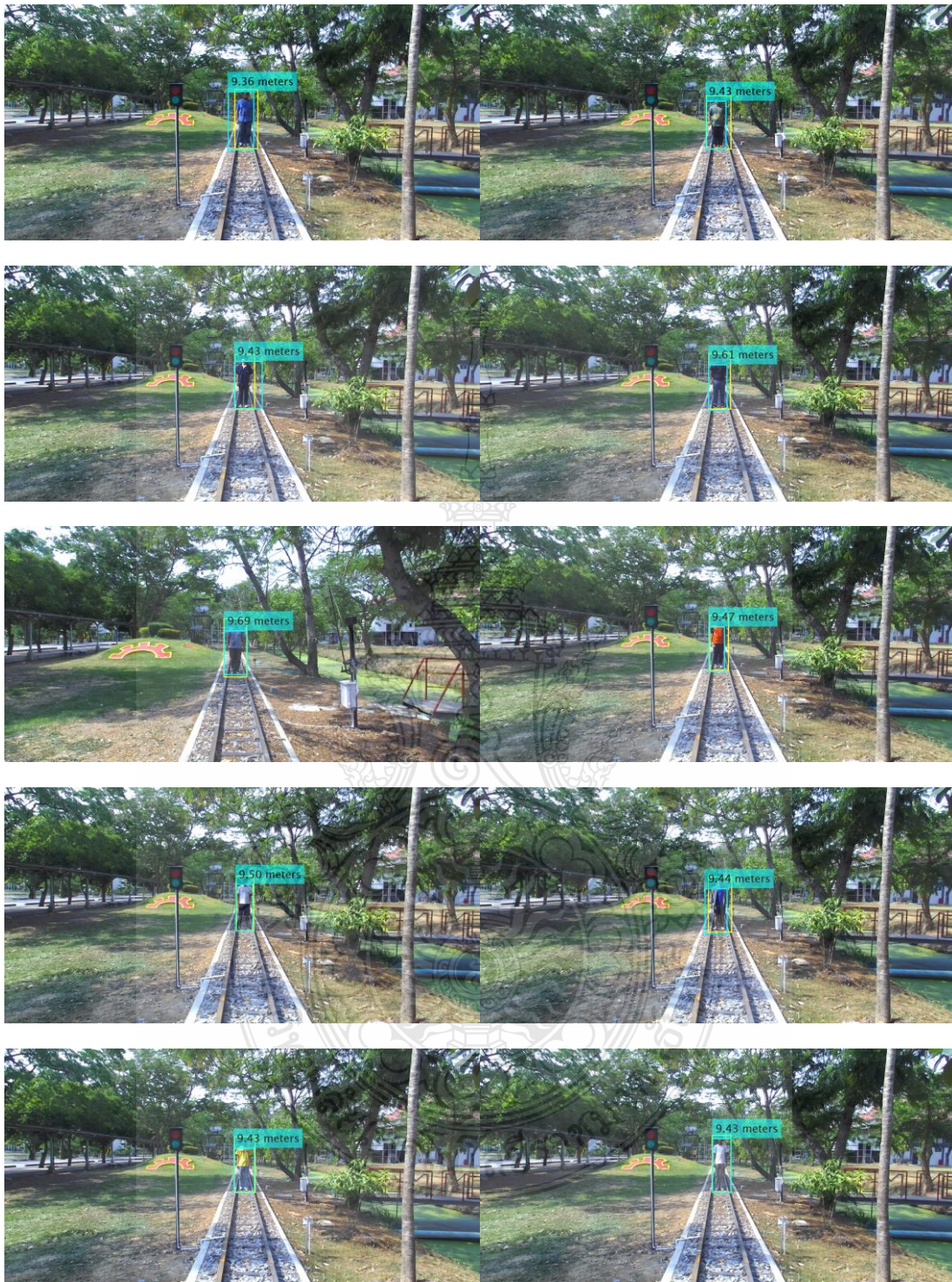
ภาพที่ ข.19 ผลการทดลองที่ 3 ระยะ 5 เมตร





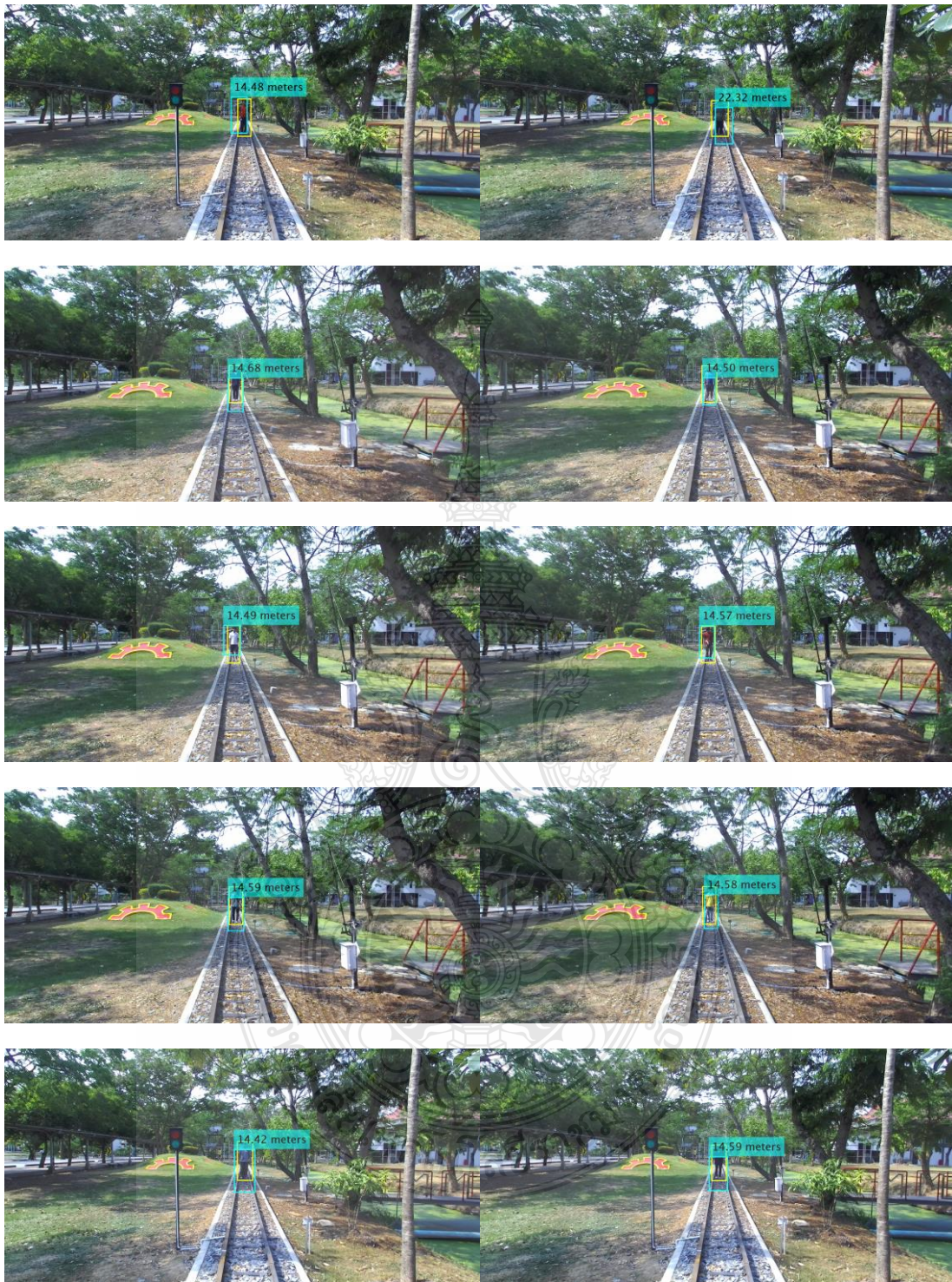
ภาพที่ ข.20 ผลการทดลองที่ 3 ระยะ 10 เมตร





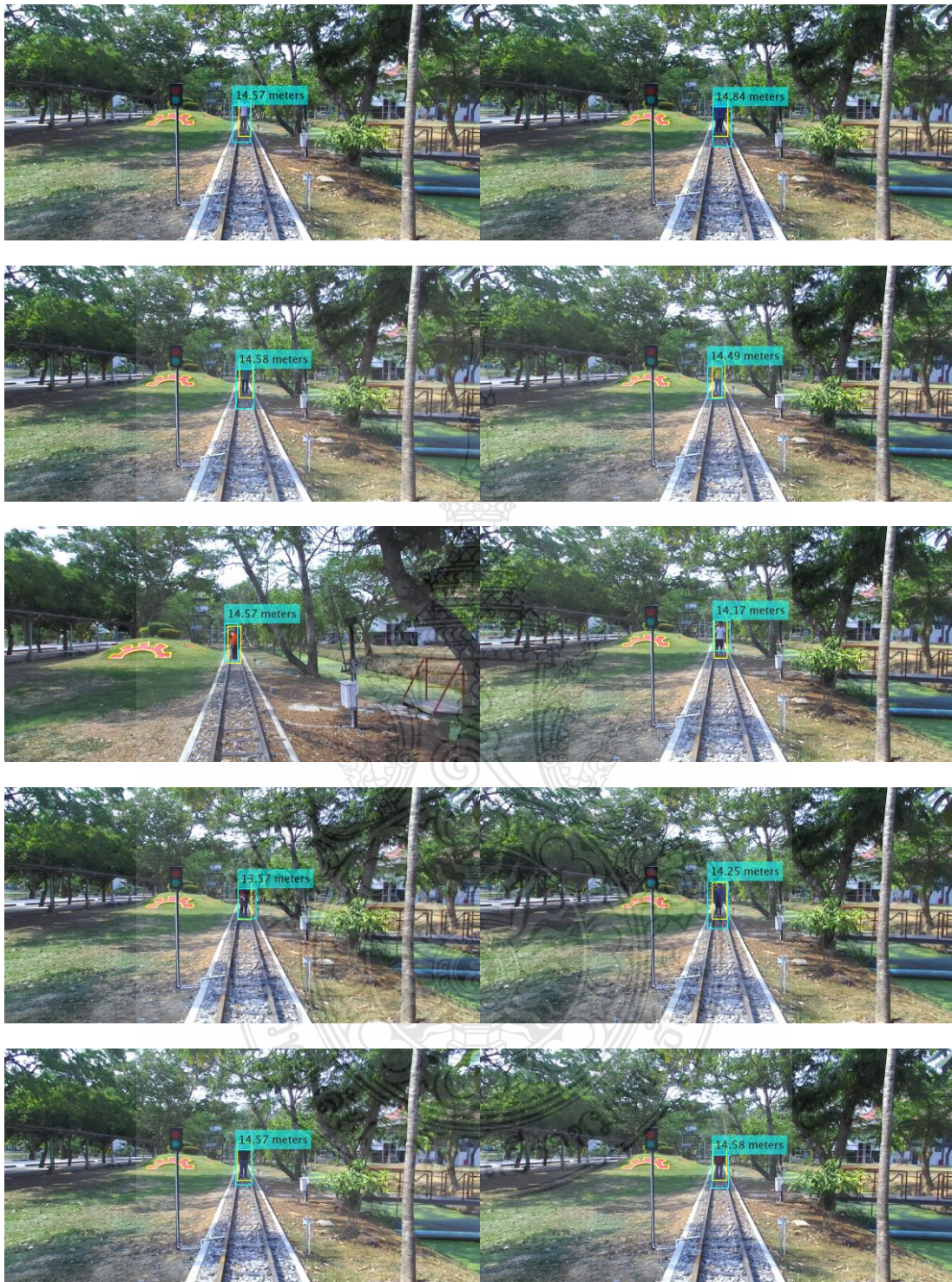
ภาพที่ ข.21 ผลการทดลองที่ 3 ระยะ 10 เมตร





ภาพที่ ข.22 ผลการทดลองที่ 3 ระยะ 15 เมตร





ภาพที่ ข.23 ผลการทดลองที่ 3 ระยะ 15 เมตร





ภาคผนวก ค  
บทความที่ได้รับการเผยแพร่

## ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

[1] ทศพล แก้วรามุข, จักรี ศรีนนท์ฉัตร. “ปัจจัยการศึกษาความเสี่ยงและความปลอดภัยขององศาทางโค้งสำหรับรถไฟ”. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 41 (EECON-41) 21-23 พฤศจิกายน 2561:หน้า 312-315

[2] ทศพล แก้วรามุข, จักรี ศรีนนท์ฉัตร. “การตรวจจับคนเดินเท้าโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึกสำหรับความปลอดภัยด้านการคมนาคมขนส่งระบบราง”. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 43 (EECON-43) 28-30 ตุลาคม 2563:







**SPU**  
SRIPATUM  
UNIVERSITY



**การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๔๑**  
**The 41<sup>st</sup> Electrical Engineering Conference (EECON-41)**

**วันที่ ๒๑ - ๒๓ พฤศจิกายน ๒๕๖๑**

โรงแรมสุรีย์ แกรนด์ โฮเทล แอนด์ คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์ จังหวัดอุบลราชธานี  
เจ้าภาพจัดงาน มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

**Volume 1**

**ไฟฟ้ากำลัง  
อิเล็กทรอนิกส์กำลัง  
ระบบควบคุมและการวัดคุม  
การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล  
ไฟโตนิคส์**



Reviewer	Organization
Akekachai Deesiri	Sripatum University
Amarin Ratanavis	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Amnoiy Ruengwaree	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Amorn Jirasereeamornkun	Mahanakorn University of Technology
Anon Namin	Rajamangala University of Technology Lanna
Anuree Lorsawatsiri	Mahanakorn University of Technology
Aphibal Pruksanubal	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Aphirak Jansang	Kasetsart University
Apichai Bhatranand	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Apinan Aurasopon	Maharakham University
Apiwat Lekuthai	Chulalongkorn University
Araya Florence	Ubon Ratchathani University
Arporn Teeramongkonrasmee	Chulalongkorn University
Arthit Sodeyome	Siam University
Arthit Srikaew	Suranaree University of Technology
Atipong Suriya	Ubonratchathani University
Atipong Suriya	Ubon Ratchathani University
Bhichate Chiewthanakul	Khonkhan University
Bongkoj Sookananta	Ubon Ratchathani University
Boonchai Boonchu	Mahanakorn University of Technology
Boonchai Techaumnat	Chulalongkorn University
Boonchuay Supmonchai	Chulalongkorn University
Boonlert Suechoey	Southeast Asia University
Boonruang Marungsri	Suranaree University of Technology
Boonsong Sutapun	Suranaree University of Technology
Boonsri Kaewkhamai	Chiang Mai University
Boonyang Plangklang	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Budhapon Sawetsakulanond	Mahanakorn University of Technology
Cattareeya Suwanasri	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Chai Chompooinwai	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chainarin Ekkaravarodome	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Chainarong Wisassakwichai	Rajamangala University of Technology Krungthep
Chaiwut Chatuthai	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chaiyachet Saivichit	Chulalongkorn University
Chaiyan Jettanasen	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chaiyaporn Lothongkam	Mahanakorn University of Technology



Reviewer	Organization
Chaiyo Thammarat	South East Asia University
Chaiyut Sumpavakup	Suranaree University of Technology
Chalee Vorakulpipat	National Electronics and Computer Technology Center
Chanchai Dechthummarong	Rajamangala University of Technology Lanna Chiangmai
Chanchai Thongsopa	Suranaree University of Technology
Chanchana Tangwongsan	Chulalongkorn university
Chanin Wissawinthanon	Chulalongkorn university
Channarong Banmongkol	Chulalongkorn University
Chantana Chantrapornchai	Kasetsart University
Chanwit Kaewkasi	Suranaree University of Technology
Chaowanana Jamroen	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Chamyut Karnjanapiboon	Rajamangala University of Technology Lanna
Chatchai Suppitaksakul	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Chawasak Pakpenthai	University of Phayao
Chirawat Kotchasarn	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Chirdpong Deelertpaiboon	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Chokchai Sangdao	Mahanakorn University of Technology
Chonlatee Photong	Maharakham University
Chowarit Mitsantisuk	Kasetsart University
Chutham Sawigun	Mahanakorn University of Technology
Chutham Sawigun	Mahanakorn University of Technology
Chuttchaval Jeraputra	Mahidol University
Chuwong Phongcharoenpanich	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Danucha Prasertsom	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Daranee Hormdee	Khonkhan University
David Banjerdpongchai	Chulalongkorn University
Decha Wilairat	Mahidol University
Denchai Worasawate	Kasetsart University
Doldet Tantraviwat	Chiang Mai University
Don Isarakom	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Duangarthit Srimoon	Rangsit University
Dulpichet Rerkpreedapong	Kasetsart University
Dusit Thanapatay	Kasetsart University
Jakkree Srinonchat	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Jantana Panyavaraporn	Burapha University
Jasada Kudtongngam	National Electronics and Computer Technology Center.

**Reviewer**

**Organization**

Jedsada Arunruerk	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Jirapat Sangthong	Mahanakorn University of Technology
Jirasak Chanwutitum	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Jirawadee Polprasert	Narasauen University
Jukkrit Kluabwang	Rajamangala University of Technology Lanna Tak
Jukkrit Tagapanij	Mahanakorn University of Technology
Kampol Woradit	Srinakharinwirot University
Kanokphan Lertniphonphan	KDDI Research
Karn Patanukhom	Chiang Mai University
Khanit Matra	Srinakharinwirot University
Khanittha Kaewdang	Ubon Ratchathani University
Kiattisin Kanjanawanishkul	Maharakham University
Kittaya Somsai	Rajamangala University of Technology Isan Sakon Nakhon
Kittisak Kerdprasop	Suranaree University of Technology
Kittisak Tripipatpornchai	Rangsit University
Kittiwan Nimkerdphol	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Komsan Hongesombut	Kasetsart University
Komson Daroj	Ubonratchathani University
Kornchawal Chaipah	Khon Kaen University
Kraisorn Chaisaowong	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Krek Piromsopa	Chulalongkorn University
Krischonme Bhumkittipich	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Mana Sriyudthsak	Chulalongkorn University
Mongkol Konghirun	King Mongkut University's Technology Thonburi
Monthon Nawong	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Nachirat Rachburee	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Nalin Sidahao	Mahanakorn University of Technology
Nararat Ruangchaijatupon	Khon Kaen University
Narong Yoothanom	Sripatum University
Narongrit Sanajit	Mahanakorn University of Technology
Natee Thongun	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Nathabhat Phankong	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Nattachai Watcharapinchai	National Electronics and Computer Technology Center
Nattachote Rugthaicharoencheep	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Nattapong Phanthuna	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Nattha Jindapetch	Prince of Songkla University



Reviewer	Organization
Natthawuth Somakettarin	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Nimit Boonpirom	Sripatum University
Nirudh Jirasuwankul	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Nisachon Tangsangiumvisai	Chulalongkorn University
Nisai Fuengwarodsakul	King Mongkut 's University of Technology North Bangkok
Nit Petcharaks	Dhurakij Pundit University
Nithiphat Teerakawanich	Kasetsart University
Nitikarn Nimsuk	Thammasat University
Nitipong Panklang	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Nopporn Patcharaprakiti	Rajamangala University of Technology Lanna
Norasage Pattanadech	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Norasert Wichaipanich	Rajamangala university of Technology Thanyaburi
Nuttaporn Ritnoom	University of the Thai Chamber of Commerce
Nutthaphong Tanthanuch	Thammasat University
Ongart Sadmai	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Pakit Suwat	Siam University
Pakpum Somboon	Chulalongkorn University
Panich Intra	Rajamangala University of Technology Lanna
Panjai Tantatsanawong	Silpakorn University
Panuwat Janpugdee	Chulalongkorn University
Parachai Juanuwattanakul	Sripatum University
Parnjit Damrongkulkamjorn	Kasetsart University
Pasawee Srimode	Sripatum University
Pasist Suwanapingkarl	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Patamaporn Sripadungtham	Kasetsart University
Pattarawit Polpinit	Khon Kaen University
Pauline Kongsuwan	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Peerapol Yuvapoositanon	Mahanakorn University of Technology
Petch Nantivatana	Sripatum University
Phakkawat Jantree	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Phayung Desyoo	King Mongkuts University of Technology North Bangkok
Phichai Youplao	Rajamangala University of Technology Isan Sakon Nakhon
Phisan Kaewprapha	Thammasat University
Pichai Aree	Thammasat University
Pichaya Chaipanya	Srinakharinwirot University
Pinit Jitjing	Rajamangala University of Technology Thanyaburi

**Reviewer**

**Organization**

Pinit Nuangpirom	Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Mai
Pinit Thepsatorn	Srinakharinwirot University
Pipat Prommee	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Pisut Raphisak	Kasetsart University
Pitikhate Sooraksa	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Pokkrong Vongkoon	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Poompat Saengudomlert	Bangkok University
Poonlap Lamsrichan	Kasetsart University
Poonsri Wannakarn	Rajamangala University of Technology Phra Nakorn
Pornrapeepat Bhasaputra	Thammasat University
Pracha Khamphakdi	Ubon Ratchathani University
Prajuab Pawarangkoon	Mahanakorn University of Technology
Prasit Nakonrat	Ubon Ratchathani University
Prasopchok Hothongkham	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Prattana Kaewpet	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Prayoth Kumsawat	Suranaree university of technology
Promsak Apiratikul	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Pruet Boonma	Chiang Mai University
Punyaphat Phumiphak	Mahanakorn University of Technology
Rachu Punchalard	Mahanakorn University of Technology
Rangsan Wongsan	Suranaree University of Technology
Rathdharshagorn Suriyakulnaayudhya	Kasetsart University
Rawid Banchuin	Siam University
Rungsimant Sitdhikom	Mahanakorn University of Technology
Sakhon Woothipatanapan	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Salitip Sinthusonthishat	Mahanakorn University of Technology
Samroeng Hintamai	Sripatum University
Sanchai Dechanupaprittha	Kasetsart University
Sangsuree Vasopongayya	Prince of Songkla University
Sansanee Auephanwiryakul	Chiangmai University
Sersak Uatrongjit	Chiang Mai University
Settawit Poochaya	Suranaree University of Technology
Sipat Triukose	Chulalongkorn University
Sirichai Dangeam	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Sirichai Triamlumlerd	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Siroj Sirisukprasert	Kasetsart University



Reviewer	Organization
Sirivat Poonvasin	Kasetsart University
Sitthidet Vachirasricirikul	University of Phayao
Somboon Sooksatra	Rangsit University
Somchat Jiriwibhakorn	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Somphop Rodamporn	Srinakharinwirot University
Sompob Polmai	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Somying Thainimit	Kasetsart University
Songphol Kanjanachuchai	Chulalongkorn University
Suchin Trirongjitmoah	Ubon Ratchatani University
Sudarat Khwanon	Suranaree University of Technology
Sunisa Kunarak	Srinakharinwirot University
Supachai Vorapojpisut	Thammasat University
Supachate Innet	University of the Thai Chamber Commerce
Supakit Kawdungta	Rajamangala university of Technology Lanna Chiang Mai
Suparek Janjarasjitt	Ubon Ratchathani University
Suparek Manitpornsut	University of the Thai Chamber Commerce
Supat Kittiratsatcha	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Supattana Nirukkanaporn	Rangsit University
Supattra Phetnil	Mahanakorn University of Technology
Surachai Chaitusaney	Chulalongkorn University
Surachoke Thanapitak	Mahidol University
Suradej Tretriluxana	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Surapong Suwankawin	Chulalongkorn University
Suree Pumrin	Chulalongkorn University
Surin Kittitomkun	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Surin Ngaemngam	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Suwannee Adsavakulchai	University of the Thai Chamber Commerce
Suwat Pattaramalai	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Suwit Kiravittaya	Naresuan University,
Tatpong Katanyukul	Khonkhan University
Teeraphon Phophongiwat	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Teerasak Somsak	Rajamankala University of Technology Lanna
Teratam Bunyagul	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Thanakorn Khongdeach	Kasetsart University
Thanakorn Namhormchan	Eastern Asia University
Thanapat Promwatthanapakdee	Sripatum University

Reviewer	Organization
Thanaset Thosdeekoraphat	Suranaree University of Technology
Thanatchai Kulworawanichpong	Suranaree University of Technology
Theerawut Chaiyatham	Ubon Ratchathani University
Theerayod Wiangtong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Thummaros Rugthum	Ubon Ratchathani University
Thumrongrat Amornraksa	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Toempong Phetchakul	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Tosaporn Narongrit	Suranaree University of Technology
Touchai Angchuan	Prince of Songkla University
Ukrit Mankong	Chiang Mai University
Upady Hatthasin	Rajamangala University of Technology Lanna Chiangmai
Usana Tuntoolavest	Kasetsart University
Uthen Kamnarn	Rajamangala University of Technology Lanna
Uthen Leeton	Suranaree University of Technology
Vara Varavithya	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Varakorn Kasemsuwan	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Vichakorn Hengsitawat	Sripatum University
Vijit Kinnares	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Vinai Silaruam	Mahanakorn University of Technology
Virote Pirajanchai	Rajamangala University Technology Thanyaburi
Vorapoj Patanavijit	Assumption University
Vuttiapon Tarateeraseth	Srinakharinwirot University
Wachira Chongburee	Kasetsart University
Wanayuth Sanngoen	Sripatum University
Wanchai Chankaipol	Sripatum University
Wanchai Chimchavee	University of the Thai Chamber Commerce
Wanchai Khamsen	Rajamangala University of Technology Lanna Lampang
Wanchai Subsingha	Rangsit University
Wanchak Lenwari	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Wanchalerm Pora	Chulalongkorn University
Wannarat Suntiamomtut	Prince of songkla university
Wannaree Wongtrairat	Rajamangala University of Technology Isan
Warin Sootkaneung	Rajamangala University of Technology Phra Nakorn
Watanyu Meesrisuk	Nakhon Pathom Rajabhat University
Watcharee Veerakachen	Kasetsart University
Wattana Punlumjeak	Rajamangala University of Technology Thanyaburi



Reviewer	Organization
Wekin Piyarat	Srinakharinwirot University
Werachet Khanngern	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Wichian Coppakaew	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Wijitra Petchakit	Walailak University
Wipavan Narksarp	Siam University
Wiroonsak Santipach	Kasetsart University
Wiro Ponglangka	Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Rai
Wirote Sangtungtong	Suranaree University of Technology
Worakam Wongsachua	Ubon Ratchathani University
Worapong Tangsrirat	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Worawat Nakawiro	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Worawat Sangiamvibool	Mahasarakham University
Wuthiporn Loedwassana	Mahanakorn university of technology
Wuttipong Kumwilaisak	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Wuttiwat Kongrattanaprasert	Rajamangala University of Technology Krungthep
Yongyuth Naras	Siam University
Yutana Chongjarearn	Dhurakij Pundit University
Yuthapong Somchit	Chiang Mai University
Yuttana Kumsuwan	Chiang Mai university
Yuttapong Jiraksopakun	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Yutthana Kanthaphayao	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
ทัศนัย พลอยสุวรรณ	Siam University
นิพนธ์ ทางทอง	Rajamangala University of Technology Krungthep
ประเมศวร์ ห่อนแก้ว	Suranaree University of Technology
ปราโมทย์ อนันต์วราพงษ์	Rajamangala University of Technology Krungthep
ไวยพจน์ ศุภวารเสถียร	Siam University
สายชล ชุดเจือเงิน	Rajamangala University of Technology Krungthep
สุภณ พลสิงห์	Rajamangala University of Technology Krungthep

Day 3

วันศุกร์ที่ 23 พฤศจิกายน 2561

วันศุกร์ ที่ 23 พฤศจิกายน 2561

Presentation						
Room	ปทุมวัน	ปทุมมาศ	ปทุมชาติ	ปทุมทิพย์	A5	A2
Session	PV5	PE5	GN5	EL1	DS1	BE1
Paper IDs	PV23-PV27	PE23-PE28	GN27-GN32	EL01, EL01-EL05	ID501, DS01-D505	IBE01, BE01-BE05
Session Chair	ผศ.อรุณรัตน์ นววิภาดากร SAU	ผศ.อรุณเทพ คัมปาน RMUTL	ผศ.ดร.วิวัฒน์ คงมงคลประเสริฐ RMUTK	ผศ.ดร.อานวย เรืองวารี RMUTT	ดร.ธีระชัย สุภาพิชัยกุล RMUTT	ผศ.ดร.ไกรสร ไชยชาวงค์ KMUTNB
10.30-10.50 Coffee Break						
Presentation / Tutorial						
Room	ปทุมวัน	ปทุมมาศ	ปทุมชาติ	ปทุมทิพย์	A5	A2
Session	PH1	EL2	Tutorial 7: โรงเรียนต้นแบบพลังงานทดแทน (Smart Energy School)			
Paper IDs	IPH01, PH01-PH02	EL06-EL07, BE06, DS06				
Session Chair	ผศ.ดร.สมภาสกร แสงเงิน MUT	ผศ.ดร.สุจิตต์ อนุพิทักษ์ MUJ				



รหัส	ชื่อบทความ	หน้า
PE24	การวิเคราะห์การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสำหรับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดลดทอนแรงดัน	221
PE25	การปรับศูนย์ของสเปกเตอร์พัลส์วิดโมดูเลชันสำหรับวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบเวียนนา	225
PE26	การบรรเทาการขาดเสถียรภาพสำหรับวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมได้ ที่มีโหลดเป็นวงจรแปลงผันแบบบับคัก	229
PE27	การออกแบบตัวควบคุมพีไอสำหรับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงหนึ่งเฟสแบบฟลูริดจ์บนแกนอ้างอิงแบบซิงโครนัส	233
PE28	ศึกษาตัวควบคุมการทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้นสำหรับวงจรเรียงกระแสสามเฟส	237
ICT01	การประยุกต์ใช้ PLC ในการควบคุมตำแหน่งผ่านสมาร์ทโฟน	241
ICT02	การออกแบบตัวควบคุม PID <sup>m</sup> ด้วยหลักเกณฑ์การปรับจูนตามแบบซิกเกอร์-นิโคลส์	245
CT01	Automatic Flaw Detection using MSSIM in Ultrasound Imaging of Steel Plate	251
CT02	การตรวจจับฮาร์มอนิกแบบปรับตัวด้วยโครงข่ายประสาท สำหรับวงจรรอกกำลังแยกที่พีในระบบไฟฟ้าสามเฟสสี่สาย	255
CT03	การประยุกต์การค้นหาแบบนกกาเหว่าเชิงตัดแปรเพื่อออกแบบตัวควบคุม PID อย่างเหมาะสมสำหรับระบบควบคุมค่าแรงดันอัตโนมัติ	259
CT04	การประยุกต์ใช้การควบคุมค่า pH โดยใช้ระบบควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองร่วมกับตัวกรองคาลมาน	263
CT05	การเปรียบเทียบสมรรถนะของการควบคุมกระแสไฟฟ้ากริดที่มีและไม่มีกริดแรงดันกริด	267
CT06	การพัฒนาเครื่องวัดจุดศูนย์ถ่วงสำหรับหุ่นยนต์เสมือนมนุษย์	271
CT07	การเปรียบเทียบการประมาณค่ากระแสไฟฟ้าของแผงฟิวที่ใช้ในระบบควบคุมอินเวอร์เตอร์พีวีเฟสเดียว	275
CT08	Sag/Swell/Interruption Pattern Sequencing and Triggering using Low-cost DAQ	279
CT09	การรักษาสมดุลของอากาศยานไรคนขับชนิดขับเคลื่อนด้วยตัวควบคุมฟuzzyที่สแควร์ไอดี	283
CT10	ระบบควบคุมแขนกลควบคุมระบบสมองกลฝังตัวสำหรับย้อมสีสไลด์ชิ้นเนื้อ	287
CT11	การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และพิสูจน์เอกลักษณ์กระบวนการกีดขวางงาน สำหรับเครื่องกีดซีเอ็นซีด้วยวิธีตัวสังเกต	293
IDS01	Pigment Separation for Color Model of Foliage Plant using Principal Component Analysis	296
DS01	การคิมอดูเลชันเอพไอเอสเคบนพื้นฐานการประมวลสัญญาณดิจิทัลแบบปรับตัว	300
DS02	การหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของไดรอนเพื่อครอบคลุมการสื่อสารของระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายด้วยอัลกอริทึมวิธีระบบคที่ถูกปรับปรุง	304
DS03	การหลอมรวมภาพหลายความคมชัดแบบสามขั้นตอนด้วยการแทนรูปแบบมากเลขศูนย์ควบคู่และการเรียนรู้พจนานุกรม	308
DS04	ปัจจัยการศึกษาความเสี่ยงและความปลอดภัยขององศาทางโค้งสำหรับรถไฟ	312
DS05	การพัฒนากระบวนการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์สำหรับการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายกลางคืน	316
DS06	IMAGE ENHANCEMENT USING DISCRETE SHEARLET TRANSFORM WITH RGB IMAGE	320
IPH01	การประยุกต์ใช้โปรแกรม LabVIEW สำหรับการสอบเทียบเครื่องมือทดสอบทางแสง	324
PH01	Avalanche gain and Shot noise in silicon-based planar MSM structures	330
PH02	การทดลองระบบการสื่อสารเชิงแสงใต้น้ำไร้สายโดยใช้การถ่วงสัญญาณ PAM-4 ที่ความเร็ว 200 Mbps	334

## ปัจจัยการศึกษาความเสี่ยงและความปลอดภัยของเสาทางโค้งสำหรับรถไฟ

### Studying Risk and Safety of Curve Angle for Railway

ทศพล แก้วรากมุก และ จักรี ศรีนนท์อักษร<sup>๑</sup>

<sup>๑</sup>ห้องปฏิบัติการและวิจัยด้านการประมวลผลสัญญาณ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ที่ 1 ตำบลคลองหก อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

E-mail: thossapon\_k@mail.rmutt.ac.th, jakkree.s@en.rmutt.ac.th

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยด้านการเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ของขบวนรถไฟกำลังเป็นที่น่าสนใจในการเพิ่มประสิทธิภาพการเดินรถรวมถึงด้านความปลอดภัยสำหรับการคมนาคมขนส่งระบบราง ทั้งนี้ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเร็วของขบวนรถไฟเนื่องจากแรงกระทำด้านข้างที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของขบวนรถไฟในทางตรงและทางโค้ง โดยทำให้เกิดการสั่นสะเทือนรวมทั้งแรงเหวี่ยง จากสาเหตุดังกล่าวบทความนี้เสนอปัจจัยการศึกษาความเสี่ยงและความปลอดภัยสำหรับการเข้าโค้งของขบวนรถไฟ โดยมุ่งเน้นที่จะเปรียบเทียบการเข้าโค้ง 3 รูปแบบและวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเดินรถ ได้นี้ระบบ Programmable Logic Controller (PLC) ควบคุมการจ่ายไฟและตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าจาก Analog input module เพื่อทำการเก็บข้อมูลแบบเวลาจริงไมโครโพรเซสเซอร์จากนั้นนำระบบ Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) ทำหน้าที่ในการแสดงผลข้อมูลบนคอมพิวเตอร์ ซึ่งองศาโค้งที่น้อยเกินไปหรือมากเกินไปนั้นจะมีผลต่อแรงเสียดทานในระหว่างเข้าโค้งทำให้ความเร็วของขบวนรถไฟลดลง จากผลการทดลองพบว่าโค้ง 45 องศาสามารถรักษาสถียรภาพของขบวนรถไฟได้เหมาะสมในการเข้าโค้ง

**คำสำคัญ :** ทางโค้งขบวนรถไฟ, องศาทางโค้ง, ความเร็วรถไฟ

#### Abstract

The development of railway speed increasing system is recently interested to concentrate for improving the efficiency of safety in railway system. The majority effect to the speed train is the side force effect when the train is moving on the track especially in curve track. It causes the vibration force and lift force. This article presents the studying of risk and safety for the curve train trajectory. In this experiment, the three different curve angles of railway track are compared and analyzed in the condition of speed. The voltage signal is measured to present the speed train in different curve. The Programmable Logic Control is used to control the electric supply and measure from the Analog input module. All data is recorded in the real time system. The Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)

is used for data monitoring. The experiment results show that the curve angle effects to the resistance of rail track and speed of the moving train. The 45 degree of curve is the suitable trace which can keep the speed efficient stability.

**Keywords :** Railway Curve, Angle of Curve, Speed Train

#### 1. บทนำ

การเพิ่มประสิทธิภาพความเร็วของขบวนรถไฟในการเดินรถนั้นสามารถช่วยในการยกระดับคุณภาพการให้บริการและตอบสนองความต้องการของประชาชนผู้ใช้บริการให้มีความสะดวกและรวดเร็วในการเดินทางรวมทั้งด้านความปลอดภัย ดังนั้นการเพิ่มความเร็วให้กับขบวนรถไฟจึงเป็นเรื่องที่จำเป็นและมีความสำคัญที่มีผลต่อความปลอดภัยของขบวนรถไฟ ซึ่งการวางระบบและเส้นทางเดินรถไฟนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องออกแบบให้เหมาะสม จากการศึกษางานวิจัยพบว่าในงานวิจัย [1] เป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของกรควบคุมความเร็วของรถไฟที่มีอยู่รถไฟอยู่ในสถานะของการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงและรถไฟอยู่ในสถานะของเส้นทางที่ไม่ตรง ในงานวิจัย [2] เป็นการพัฒนาแบบจำลองในการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความเร็วของขบวนรถไฟความเร็วสูง ในงานวิจัย [3] เป็นการพัฒนาแบบจำลองสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการเดินรถของขบวนรถไฟและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของกรลดพลังงานของรถไฟโดยใช้เทคนิค Genetic Algorithm (GA) ในงานวิจัย [4] เป็นระบบตรวจสอบพลังงานของทางรถไฟและเป็นระบบการจัดการเส้นทางเดินรถไฟที่ดีที่สุด ในงานวิจัย [5] เป็นวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการเดินทางของรถไฟแบบหลายสายภายใต้การจัดการจราจรทางรถไฟแบบเวลาจริง เป็นบทความที่ใช้การจัดการเส้นทางของขบวนรถไฟ 2 กระจบบนเส้นทางเดียวกันโดยอาศัยหลักการของ Pseudo Spectral Algorithm ในงานวิจัย [6] เป็นระบบการเพิ่มประสิทธิภาพและการจัดการจราจรของทางเดินรถไฟประมวลผลแบบเวลาจริง ในงานวิจัย [7] เป็นระบบจำลองทางเดินรถไฟเหมือนจริงโดยมีการคำนวณหาลักษณะของระยะทางโค้งของรถไฟที่เหมาะสม จากงานวิจัยที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่ากรออกแบบเส้นทางของรถไฟเพื่อให้รถไฟวิ่งด้วยความเร็วที่มีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัยในขณะที่เส้นทางเดินรถไฟไม่ตรงยังเป็นที่น่าสนใจ ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยความเสี่ยงและความปลอดภัยสำหรับการเข้าโค้งของขบวนรถไฟ โดย



เปรียบเทียบการเข้าโค้ง 3 รูปแบบและวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเดินรถ

2. ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ความเสี่ยงที่มีผลต่อความปลอดภัยของขบวนรถไฟ

อุบัติเหตุทางรางที่เกิดขึ้นเนื่องจากปัญหาของรถรางของขบวนรถไฟ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่มีผลต่อความปลอดภัยของประชาชนผู้ใช้บริการและสร้างความเสียหายต่อขบวนรถไฟรวมทั้งโครงสร้างทางราง อีกทั้งทำให้เกิดผลกระทบอื่น ๆ ตามมาเช่น การหยุดให้บริการทำให้เสียเวลาและโอกาสทางด้านธุรกิจ การเสี่ยงประมาทในการซ่อมบำรุงโครงสร้างทางรางและขบวนรถไฟ เป็นต้น จึงได้สรุปสาเหตุของความเสียหายที่มีต่อความปลอดภัยของขบวนรถไฟดังนี้

- 1) การเพิ่มความเร็วของขบวนรถไฟผ่านบริเวณจุดเสี่ยงเช่น ทางโค้งมีผลทำให้เกิดแรงเสียดทานกระทำด้านข้างของขบวนรถไฟจึงเกิดแรงเหวี่ยง จุดประแ่งด้านรางมีผลทำให้เกิดแรงกระแทกระหว่างล้อกับราง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงจุดสัมผัสระหว่างล้อ
- 2) การหยุดรถไฟกะทันหันทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างล้อกับรางส่งผลกระทบต่อความสมดุลของขบวนรถไฟ
- 3) ความไม่พร้อมของทางรถไฟและขบวนรถไฟเกิดจากทางรถไฟมีการชำรุด อุปกรณ์เสียหายหรือขัดข้อง
- 4) จุดตัดทางรถไฟมักเกิดอุบัติเหตุจากผู้ใช้รถใช้ถนนไม่ปฏิบัติตามระเบียบในการข้ามทางรถไฟ
- 5) ความประมาทของพนักงานขับรถไฟที่ไม่ทำตามระเบียบการเดินรถ

2.2 การเข้าโค้งของขบวนรถไฟที่มีผลต่อความเร็ว

รถไฟเป็นวัตถุที่เคลื่อนที่มีผลต่อความเร็วทางกลศาสตร์โดยส่วนมากความแปรปรวนที่มีผลต่อความเร็วดังสมการที่ (1) และสมการที่ (2)

$$\frac{dt}{ds} = \frac{1}{v} \tag{1}$$

$$\frac{dv}{ds} = \frac{F_t(v) - F_b(V) - F_r(V)}{v} \tag{2}$$

เมื่อการวิเคราะห์ความเร็วของรถไฟระยะทางมีผลต่อมวลและเวลา S คือระยะทาง, T คือเวลา นั้นหมายถึง  $F_t(v)$  คือความเร็วของรถไฟ  $F_b(v)$  คือแรงดึงทางไฟฟ้าสูงสุดหรือแรงเบรกต่อมวลของรถไฟ  $F_r(v)$  คือแรงต้านทานที่เกิดจากการลากวัตถุ โดยค่าความต้านทานที่หาได้ขึ้นอยู่กับความเร็วของรถไฟโดยที่ความเร็วขึ้นกับการวิเคราะห์โมเดลรถไฟ โดยไม่ใช้เบรกทดลองโดยใช้ความเร็วคงที่ โดยการจำลองกำลังไฟสูงสุดให้กับโมเดลและหาค่ากำลังไฟที่ดังสมการ

$$V_0 = 0, V_S = 0 \tag{3}$$

$$t_s - t_0 = T \tag{4}$$

นอกจากนี้ค่าของแรงลากของวัตถุมีแรงน้อยกว่าแรงดึงจากเบรกมีสูงกว่าค่าสูงสุดดังสมการที่ (5) และสมการที่ (6)

$$0 \leq F_t \leq \bar{F}_t \tag{5}$$

$$0 \leq F_b \leq \bar{F}_b \tag{6}$$

ในบทความนี้เป็นการวัดค่าของพลังงานบนรางรถไฟโดยการควบคุมแรงลากและน้ำหนักของวัตถุหาได้ดังสมการที่ (7)

$$\min J = \int_0^s F_t(v) ds \tag{7}$$

การหาค่าลิมิตขึ้นอยู่กับการหาค่าสูงสุด Principle ของ Hamiltonian ดังสมการที่ (8)

$$H = -F_t + \lambda_1 (F_t - F_b - F_r) + \frac{\lambda_2}{v} \tag{8}$$

เมื่อ  $\lambda_1$  และ  $\lambda_2$  ตัวแปรร่วมของการหาค่าสูงสุด Principle

$$\frac{d\lambda_1}{d\lambda_2} = -\frac{\partial H}{\partial H} \tag{9}$$

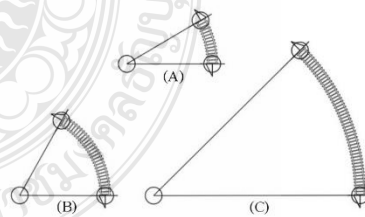
$$\frac{d\lambda_2}{ds} = -\frac{\partial H}{\partial H} \tag{10}$$

เนื่องจากค่าของ Hamiltonian ไม่เกี่ยวข้องกับ  $\frac{\partial H}{\partial t} = 0$  เมื่อ

$$\frac{d\lambda_2}{ds} = 0 \tag{11}$$

3. วิธีการคำนวณการทดลอง

วิธีการคำนวณงานวิจัยประกอบไปด้วยการจำลองเส้นทางรถทดลองและสร้างแบบจำลองรถไฟ โดยแบบจำลองรถไฟจ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่เท่ากับความแรงดึงที่และวัดแรงดันไฟฟ้าที่ระยะบึงความเร็ว สักขณะเส้นทางรถทดลองนั้นมีจุดเริ่มโค้งและจุดสิ้นสุดโค้งที่เท่ากันคือ 90 องศา ซึ่งในการทดลองนั้นมีการจำลองเส้นทางโค้งออกเป็น 3 เส้นทางดังรูปที่ 1

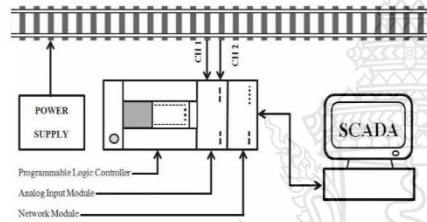


รูปที่ 1 เส้นทางการทดลอง (A) โค้ง 30 องศา, (B) โค้ง 60 องศา, (C) โค้ง 45 องศา

DS04

จากรูปที่ 1 จุด (A) มีองศาในการโค้ง 30 องศาซึ่งมีรัศมีโค้งที่แคบกว่าจุด (B) ในส่วนของจุด (C) มีองศาในการโค้ง 45 องศาซึ่งมีรัศมีโค้งที่กว้างกว่าจุด (B) โดยจุด (B) มีองศาในการโค้ง 60 องศา จึงมีการเปรียบเทียบกันระหว่าง (A) กับ (B) และ (C) กับ (B)

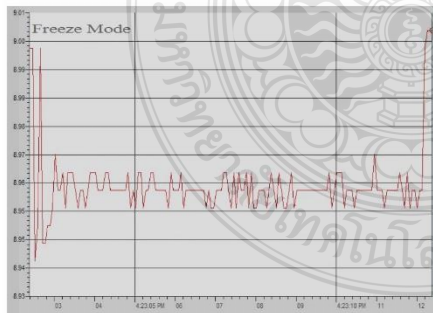
จากรูปที่ 2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าทำหน้าที่เชื่อมแรงดันไฟฟ้าให้เปรียบเทียบกันระบบทางตรง โดยมีระบบควบคุม Programmable Logic Controller (PLC) รุ่น Mitsubishi FX3U FX3U-48MR ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายไฟและตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าจาก Analog input module รุ่น Mitsubishi FX2N-4AD (Digital output: 12-bit conversion stored in 16-bit 2's complement form. Maximum value: +2047 Minimum value: -2048) โดยแปลงแรงดันไฟฟ้าสัญญาณอนาล็อกให้เป็นดิจิทัลเพื่อทำการเก็บข้อมูลแบบเวลาจริงวิเคราะห์ จากนั้น Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) ทำหน้าที่ในการแสดงผลข้อมูลบนคอมพิวเตอร์



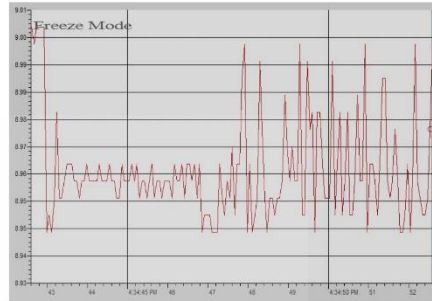
รูปที่ 2 กราฟอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าจากแบบจำลอง

4. ผลการทดลอง

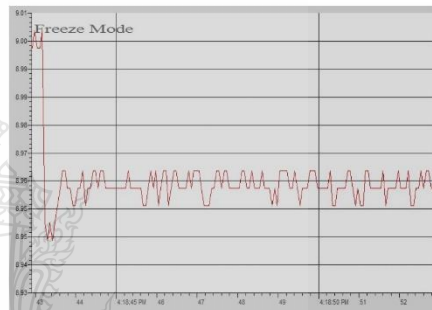
ผลจากการทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าบนเส้นทางตรงและทางโค้ง ดังรูปที่ 3 ถึง 6 จากจุดเริ่มต้นแสดงถึงสถานะของแรงดันไฟฟ้าที่ชั่วขณะเมื่อขบวนรถไฟเคลื่อนที่ ซึ่งส่งผลให้จุดเริ่มต้นต้องการแรงในการเคลื่อนที่ซึ่งส่งผลกระทบต่อ (1), (2) เมื่อขบวนรถไฟมีการเคลื่อนด้วยความเร็วที่ถึงระดับแรงดันไฟฟ้าจะเริ่มคงที่ ดังสมการที่ (3) และดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟแรงดันไฟฟ้าทางตรง



รูปที่ 4 กราฟแรงดันไฟฟ้าทางโค้ง 30 องศา



รูปที่ 5 กราฟแรงดันไฟฟ้าทางโค้ง 45 องศา



รูปที่ 6 กราฟแรงดันไฟฟ้าทางโค้ง 60 องศา

ผลการทดลองรูปที่ 3 เป็นการเก็บค่าแรงดันไฟฟ้าของทางตรง โดยจะนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองในทางโค้ง เพื่อแสดงให้เห็นถึงความเร็วที่ลดลงเนื่องจากมีแรงเสียดทานในทางโค้งมีมากขึ้นส่งผลทำให้โวลตทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในขณะที่ขบวนรถไฟเริ่มเข้าโค้ง ดังรูปที่ 4, 6 ซึ่ง



ทางโค้ง 3 องศาขบวนรถไฟเกิดครางเนื่องด้วยใช้ความเร็วในการเข้าโค้งมากเกินไปทำให้ล้อตกราง

ตารางที่ 1 แสดงจุดต่ำสุดและสูงสุดของระดับแรงดันไฟฟ้า

องศาความโค้ง	รัศมีความโค้ง	ระดับแรงดันไฟฟ้า	
		ต่ำสุด	สูงสุด
0 องศา (ทางตรง)	0 cm (ทางตรง)	8.955	8.963
30 องศา	10.3 cm	8.948	8.996
45 องศา	24.5 cm	8.955	8.963
60 องศา	14 cm	8.948	8.963

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นถึงระดับแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเส้นทางที่มองค่าความโค้งและรัศมีความโค้งไม่เท่ากัน โดยความโค้งที่ 45 องศา มีระดับแรงดันที่ใกล้เคียงกับเส้นทางตรงมากที่สุด

### 5. สรุป

บทความฉบับนี้นำเสนอปัจจัยการศึกษาความเสี่ยงและความปลอดภัยสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพความเร็วของขบวนรถไฟในการเข้าโค้งบนทางรถไฟที่ได้นำระบบ Programmable Logic Controller (PLC) มาควบคุมการจ่ายไฟและตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าจาก Analog input module เพื่อทำการเก็บข้อมูลแบบเวลาจริงมาวิเคราะห์ จากนั้นนำระบบ Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) ทำหน้าที่ในการแสดงผลข้อมูลบนคอมพิวเตอร์ โดยมุ่งเน้นในศึกษาความแตกต่างระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขบวนรถไฟทางตรงและทางโค้ง จึงองค์ความรู้ที่น้อยเกินไปหรือมากเกินไปนั้นจะมีผลต่อแรงเสียดทานในระหว่างเข้าโค้งทำให้ความเร็วของขบวนรถไฟลดลง จากผลการทดลองพบว่าโค้ง 45 องศาสามารถรักษาสถียรภาพของขบวนรถไฟได้เหมาะสมในการเข้าโค้งและสามารถใช้ความเร็วได้คือค่าโค้ง 30 องศาและโค้ง 60 องศา

### 6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ภายใต้งบโครงการ : 4740 ซึ่งได้สนับสนุนทุนวิจัยสำหรับโครงการนี้ ขอขอบคุณนักวิจัย และห้องปฏิบัติการวิจัยทางด้านการประมวลผลสัญญาณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความช่วยเหลือและร่วมมือในด้านอุปกรณ์ เครื่องมือวัดและทดสอบ

### เอกสารอ้างอิง

[1] K. Bao, S. Lu, F. Xue, Z. Tan, "Optimization for Train Speed Trajectory Based on Pontryagin's Maximum Principle," IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pp.1-6.

[2] W. ShangGuan, X. H. Yan, B. G. Cai, J. Wang, "Multiobjective Optimization for Train Speed Trajectory in CTCS High-Speed Railway With Hybrid Evolutionary Algorithm," IEEE

TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, VOL. 16, NO. 4, AUGUST 2015

[3] F. Liu, J. Xun, N. Bin, "An Optimization Method for Train Driving Trajectory in Urban Rail Systems," 31st Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC), pp.413-418, 2

[4] H. A. Hamid, G. L. Nicholson, H. Douglas, N. Zhao, C. Roberts, "Investigation into Train Positioning Systems for Saving Energy with Optimised Train Trajectories," IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT), pp. 460-468, 2016.

[5] P. Wang, R. M.P. Goverde, "Train Trajectory Optimization of Opposite Trains on Sin Track Railway Lines," IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT), pp.23-31,

[6] P. Wang, R. M.P. Goverde, L. Ma, "A multiple-phase train trajectory optimization method under real-time rail traffic management," IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems, pp. 771-776, 2015.

[7] N. Zhao, C. Roberts, S. Hillmans, P. Western, L. Chen, Z. Tian, T. Xin, S. Su, "Train Trajectory Optimisation of ATO Systems for Metro Lines," IEEE 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pp.1796-1801, 2014.



**SPU**  
SRIPATUM  
UNIVERSITY



# การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๔๑ (EECON-41)

## มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ระหว่างวันที่ ๒๑ - ๒๓ พฤศจิกายน ๒๕๖๑

ขอขอบเกียรติบัตรฉบับนี้ไว้เพื่อแสดงว่า

**ทศพล แก้วรามูขุ**

ได้นำเสนอบทความวิจัยเรื่อง

ปัจจัยการศึกษาความเสี่ยงและความปลอดภัยของสถานีส่งกำลังสำหรับรถไฟ



๓๓

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรการ วงศ์สายเชื้อ)  
ประธานคณะกรรมการจัดการประชุม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภรชัย จูณวัฒน์กุล)  
ประธานคณะกรรมการจัดการประชุม

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิชิต เอกบุตร)  
นายกสมาคมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (ประเทศไทย)



การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 43  
The 43<sup>rd</sup> Electrical Engineering Conference (EECON-43)



28 - 30 ตุลาคม 2563  
ณ โรงแรมท็อบแลนด์  
อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก



ไฟฟ้ากำลัง (PW)

การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)

อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)

ไฟโตนิกส์ (PH)

ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)

วิศวกรรมชีวการแพทย์ (BE)

ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)

คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)

อิเล็กทรอนิกส์ (EL)

พลังงานหมุนเวียน (RE)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)





รายนามผู้พิจารณาบทความ (Reviewers)  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๔๓

Asst. Prof. Dr. Nuntiya Chaiyabut	Bangkok University
Assoc. Prof. Dr. Poompat Saengudomlert	Bangkok University
Assoc. Prof. Songkran Kantawong	Bangkok University
Dr. Akkharaphong Eksiri	Bangkok University
Prof. Dr. boonchai techaumnat	Chulalongkorn University
Assoc. Prof. Dr. Surachai Chaitusaney	Chulalongkorn University
Assoc. Prof. Dr. Nisachon Tangsangiumvisai	Chulalongkorn University
Asst. Prof. Dr. Apiwat Lek-uthai	Chulalongkorn University
Asst. Prof. Dr. Channarong Banmongkol	Chulalongkorn University
Assoc. Prof. Dr. Chaiyachet Saivichit	Chulalongkorn University
Dr. Napong Panitantum	Chulalongkorn University
Prof. Dr. Songphol Kanjanachuchai	Chulalongkorn University
Asst. Prof. Dr. Arporn Teeramongkonrasmee	Chulalongkorn University
Asst. Prof. Dr. Narongdech Keeratipranon	Dhurakij Pundit University
Asst. Prof. Nachirat Rachburee	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst. Prof. Phongsuk Ampha	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst. Prof. Dr. Paitoon Rkluea	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assoc. Prof. Dr. Krischonme Bhumkittipich	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assoc. Prof. Dr. Boonyang Plangklang	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Dr. Kittiwann Nimkerdphol	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst. Prof. Dr. Jakkree Srinonchat	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst. Prof. Wattana Punlumjeak	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst. Prof. Dr. Chatchai Suppitaksakul	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Mr. Nattapol Ha-uapal	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst. Prof. Jakkrit Onshaunjit	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assoc. Prof. Dr. Chirawat Kotchasarn	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst. Prof. Ong-Art Sadmai	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst. Prof. Dr. Sirichai Dangeam	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst. Prof. Dr. Paitoon Rkluea	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst. Prof. Dr. Noraset Wichaipanich	Rajamangala university of Technology Thanyaburi
Asst. Prof. Dr. Surin Ngaemngam	Rajamangala university of Technology Thanyaburi
Asst. Prof. Dr. Monthon Nawong	Rajamangala university of Technology Thanyaburi
Asst. Prof. Dr. Amnoiy Ruengwaree	Rajamangala university of Technology Thanyaburi
Asst. Prof. Dr. Nathabhat Phankong	Rajamangala university of Technology Thanyaburi





รายนามผู้พิจารณาบทความ (Reviewers)  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๔๓

Prof. Dr. Prayoot Akkaraekthalin	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Asst. Prof. Dr. Ruslee Sutthaweekul	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Dr. Yuenyong Nilsiam	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Asst. Prof. Dr. Chainarin Ekkaravarodome	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Assoc. Prof. Dr. Pisit Liutanakul	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Dr. Chaiyut Sumpavakup	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Dr. Chaiyut Sumpavakup	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Asst. Prof. Dr. Anusak Bilsalam	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Mr. Chaowanam Jamroen	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Dr. Pokkrong Vongkoon	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Asst. Prof. Dr. Pennapa Pairodamonchai	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Asst. Prof. Dr. Kraisor Chaisaowong	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Asst. Prof. Dr. Nitikarn Nimsuk	Thammasat University
Asst. Prof. Dr. Nutthaphong Tanthanuch	Thammasat University
Asst. Prof. Dr. Jackravut Dejvives	Thammasat University
Assoc. Prof. Dr. Somchart Chokchaitam	Thammasat University
Assoc. Prof. Dr. Wanchai Pijitrojana	Thammasat University
Assoc. Prof. Dr. Nopadol Uchaipichat	Thammasat University
Assoc. Prof. Dr. Pichai Aree	Thammasat University
Asst. Prof. Dr. Supachai Vorapojpisut	Thammasat University
Assoc. Prof. Dr. Nopbhorn Leeprechanon	Thammasat University
Assoc. Prof. Dr. Sanya Mitaim	Thammasat University
Dr. Kanchana Silawarawet	Thammasat University
Asst. Prof. Dr. Supakit Prueksaaroon	Thammasat University
Dr. Pornrapeepat Bhasaputra	Thammasat University
Asst. Prof. Dr. Supawat Supakwong	Thammasat University
Asst. Prof. Dr. Dahmmaet Bunnjaweht	Thammasat University
Asst. Prof. Dr. Khanit MATRA	Srinakharinwirot University
Asst. Prof. Dr. Pichaya Chaipanya	Srinakharinwirot University
Asst. Prof. Dr. Pramual Choorat	Srinakharinwirot University
Asst. Prof. Sunisa Kunarak	Srinakharinwirot University
Assoc. Prof. Dr. Anan Kruesubthaworn	Khonkaen University
Dr. Jonggrist Jongudomkarn	Khonkaen University
Assoc. Prof. Dr. Chiranut Sa-ngiamsak	Khonkaen University
Asst. Prof. Dr. Nararat Ruangchajaturon	Khonkaen University



## รายนามผู้พิจารณาบทความ (Reviewers) การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๔๓

Asst. Prof. Dr. Pramin Artrit	Khonkaen University
Asst. Prof. Dr. Warayut Kampeerawat	Khonkaen University
Asst. Prof. Dr. Werapon Chiracharit	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Dr. Ekkachai Mujjalinvimut	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Asst. Prof. Dr. Sudchai Boonto	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Assoc. Prof. Dr. Wanchak Lenwari	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Dr. Sarawan Wongs	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Prof. Dr. Kosin Chamnongthai	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Assoc. Prof. Dr. Natasha Dejdumrong	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Asst. Prof. Dr. Suwat Pattaramalai	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Asst. Prof. Nattavut Chayavanich	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Asst. Prof. Tasanee Chayavanich	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Assoc. Prof. Dr. Boonserm Kaewkamnerdpong	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Asst. Prof. Dr. Sumate Naetiladdanon	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Asst. Prof. Dr. Thorin Theeradejvanichkul	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Asst. Prof. Dr. Weerawoot Kanokbannakorn	Kasetsart University
Assoc. Prof. Dr. Peerayot Sanposh	Kasetsart University
Dr. Achara Pichetjamroen	Kasetsart University
Assoc. Prof. Dr. Chowarit Mitsantisuk	Kasetsart University
Assoc. Prof. Dr. Siriroj Sirisukprasert	Kasetsart University
Asst. Prof. Dr. patamaporn Sripadungtham	Kasetsart University
Asst. Prof. Dr. Nihiphat Teerakawanich	Kasetsart University
Assoc. Prof. Dr. Surachoke Thanapitak	Mahidol University
Asst. Prof. Dr. Pornchai Chanyağorn	Mahidol University
Asst. Prof. Dr. Tatcha Chulajata	Mahidol University
Dr. Chuttchaval Jeraputra	Mahidol University
Dr. Supun Tiptipakorn	Mahidol University
Dr. Somnida Bhatranand	Mahidol University
Dr. Niruth Prombutr	Mahidol University
Asst. Prof. Choosak Kamonkhanthithorn	Rajamangala University of Technology Krungthep
Asst. Prof. Dr. Tanairat Mata	Rajamangala University of Technology Krungthep
Dr. Yutana Chongjarearn	Rajamangala University of Technology Krungthep
Asst. Prof. Dr. Wuttiwat Kongrattanaprasert	Rajamangala University of Technology Krungthep
Asst. Prof. Dr. Veerachai Malyavej	Mahanakorn University of Technology
Mr. Nattapong Jundang	Mahanakorn University of Technology





## รายนามผู้พิจารณาบทความ (Reviewers)

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๔๓

Asst. Prof. Dr. Suchada Sitjongsataporn	Mahanakorn University of Technology
Dr. Jirapat Sangthong	Mahanakorn University of Technology
Dr. Vinai Silaruam	Mahanakorn University of Technology
Asst. Prof. Dr. Nalin Sidahao	Mahanakorn University of Technology
Assoc. Prof. Dr. Athikom Roeksabutr	Mahanakorn University of Technology
Dr. Theppanom Sopaperm	Mahanakorn University of Technology
Dr. Wannu Yeetum	Mahanakorn University of Technology
Asst. Prof. Dr. Chokchai Sangdao	Mahanakorn University of Technology
Asst. Prof. Dr. Wuthiporn Loedwassana	Mahanakorn University of Technology
Asst. Prof. Dr. Sommart Sang-Ngern	Mahanakorn University of Technology
Dr. Phonsit Santiprapan	Prince of Songkla University
Assoc. Prof. Dr. Nattha Jindapetch	Prince of Songkla University
Dr. Mongkol Saejia	Prince of Songkla University
Dr. Chalakorn karupongsiri	Prince of Songkla University
Dr. Yuttana Kongjeen Kongjeen	Rajamangala University of Technology Isan
Dr. Mongkol Danbumrungtrakul	Rajamangala University of Technology Isan
Asst. Prof. Dr. Thanomsak SOPON	Rajamangala University of Technology Isan
Dr. Nithiroth Pornsuwancharoen	Rajamangala University of Technology Isan
Asst. Prof. Dr. Wannaree Wongtrairat	Rajamangala University of Technology Isan
Asst. Prof. Dr. Upady Hatthasin	Rajamangala University of Technology Lanna Lampang
Assoc. Prof. Dr. Wanchai Khamsen	Rajamangala University of Technology Lanna Lampang
Asst. Prof. Dr. Supawud Nedphokaew	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Dr. Kotchapong Sumanonta	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Asst. Prof. Dr. Sakhon Woothipatanapan	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Dr. Arnon Singhasathein	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Asst. Prof. Kitja Luckamnuyorn	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Dr. Thanarat Tanmaneeprasert	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Dr. Ponlakit Jariyatantiwait	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Assoc. Prof. Dr. Nattachote Rugthaichaeroencheep	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Asst. Prof. Dr. Nattapong Phanthuna	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Dr. Anchalee Manosueb	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Dr. Pasist Suwanapingkarl	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Asst. Prof. Dr. Burasakorn Yoosooka	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Asst. Prof. Dr. Sanya Khunkhao	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Asst. Prof. Dr. Manat Boonthienthong	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Asst. Prof. Dr. Surachet Dechphung	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon



## รายนามผู้พิจารณาบทความ (Reviewers)

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๔๓

Asst. Prof. Dr. Chaipayorn Panyindee	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Mr. Suthee Rukkaphan	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Asst. Prof. Adisak Khaengsarigid	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Asst. Prof. Dr. Jetsdaporn Satansup	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Dr. Peerumporn Jiranantanagorn	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Dr. Pratyta Mongkolwai	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Dr. Bancha Luadang	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Asst. Prof. Dr. Kairoek Choeychien	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Dr. Jiraporn Kiatwuthiamorn	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Dr. Praphat Ammanee	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Dr. Komkris Boonying	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Dr. Chaipichit Cumpim	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Dr. Pitchanun Wongsiritorn	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Asst. Prof. Dr. Kunthphong Srisathit	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Dr. Prasopchok Hothongkham	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Mr. Ditsapon Chumchewkul	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Asst. Prof. Dr. Ekasit Nugoolcharoenlap	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Asst. Prof. Dr. Nopporn Patcharaprakiti	Rajamangala University of Technology Lanna
Asst. Prof. Dr. Anon Namin	Rajamangala University of Technology Lanna
Dr. Teerasak Somsak	Rajamangala University of Technology Lanna
Asst. Prof. Dr. Wirot Ponglangka	Rajamangala University of Technology Lanna
Asst. Prof. Dr. Supattana Nirukkanaporn	Rangsit University
Asst. Prof. Dr. Somboon Sooksatra	Rangsit University
Mr. Kittisak Tripipatpornchai	Rangsit University
Assoc. Prof. Dr. Adirak Kanchanaharuthai	Rangsit University
Asst. Prof. Dr. Wanchai Subsingha	Rangsit University
Asst. Prof. Dr. Phaisan Ngamjanyaporn	Rangsit University
Asst. Prof. Dr. Somsak Siriporananon	Southeast Asia University
Asst. Prof. Chaiyo Thammart	Southeast Asia University
Asst. Prof. Chirasak Sinsukudomchai	Southeast Asia University
Assoc. Prof. Dr. Boonlert Suechoey	Southeast Asia University
Asst. Prof. Wipavan Narksarp	Siam University
Asst. Prof. Dr. Yongyuth Naras	Siam University
Asst. Prof. Dr. Samroeng Hintamai	Sripatum University
Asst. Prof. Wanchai Chankaipol	Sripatum University
Asst. Prof. Dr. Parachai Juanuwattanukul	Sripatum University





รายนามผู้พิจารณาบทความ (Reviewers)  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๔๓

Dr. Phamorn Silapan	Silpakorn University
Assoc. Prof. Dr. Yutana Jewajinda	Silpakorn University
Asst. Prof. Dr. Rapeepan Kaewon	Silpakorn University
Dr. Natapong Wongprommoon	Silpakorn University
Dr. Jhirat Mearnchu	Silpakorn University
Mr. Chaiwut Choorak	Silpakorn University
Mr. Kittithuch Paponpen	Silpakorn University
Assoc. Prof. Dr. Monthippa Uthansakul	Suranaree University of Technology
Assoc. Prof. Dr. Chanchai Thongsopa	Suranaree University of Technology
Asst. Prof. Dr. Boonsong Sutapun	Suranaree University of Technology
Asst. Prof. Dr. Sudarat Khwan-on	Suranaree University of Technology
Dr. Tosaporn Narongrit	Suranaree University of Technology
Asst. Prof. Dr. Thanaset Thosdeekoraphat	Suranaree University of Technology
Assoc. Prof. Dr. Rangsan Wongsan	Suranaree University of Technology
Asst. Prof. Dr. Prayoth Kumsawat	Suranaree University of Technology
Assoc. Prof. Dr. Keerati Chayakulkheeree	Suranaree University of Technology
Asst. Prof. Dr. Uthen Leeton	Suranaree University of Technology
Dr. Tosaphol Ratniyomchai	Suranaree University of Technology
Assoc. Prof. Dr. Kongpol Areerak	Suranaree University of Technology
Assoc. Prof. Dr. Kongpan Areerak	Suranaree University of Technology
Dr. Wirote Sangtungong	Suranaree University of Technology
Asst. Prof. Dr. Atipong Suriya	Ubon Ratchathani University
Asst. Prof. Dr. Prasit Nakonrat	Ubon Ratchathani University
Asst. Prof. Dr. Suparek Janjarasjitt	Ubon Ratchathani University
Dr. Pracha Khamphakdi	Ubon Ratchathani University
Assoc. Prof. Dr. Suchin Trirongjitmoah	Ubon Ratchathani University
Asst. Prof. Dr. Worakarn Wongsachua	Ubon Ratchathani University
Asst. Prof. Dr. Bongkoj Sookananta	Ubon Ratchathani University
Dr. Nakrop Jinaporn	Ubon Ratchathani University
Assoc. Prof. Dr. Khanittha Kaewdang	Ubon Ratchathani University
Asst. Prof. Dr. Nattapong Pothi	University of Phayao
Assoc. Prof. Dr. Jonglak Pahasa	University of Phayao
Assoc. Prof. Dr. Sitthidet Vachirasricirikul	University of Phayao
Assoc. Prof. Dr. Chawasak Rakpenthai	University of Phayao
Asst. Prof. Dr. Damrong Amordechaphon	University of Phayao
Asst. Prof. Dr. Wanchai Chimchavee	University of the Thai Chamber of Commerce



## รายนามผู้พิจารณาบทความ (Reviewers)

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๔๓

Asst. Prof. Dr. Suparek Manitpornsut	University of the Thai Chamber of Commerce
Asst. Prof. Supanunt Tunwannarux	University of the Thai Chamber of Commerce
Asst. Prof. Dr. Supachate Innet	University of the Thai Chamber of Commerce
Asst. Prof. Nuttaporn Ritnoom	University of the Thai Chamber of Commerce
Prof. Dr. Somkait Udomhunsakul	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Dr. Sisuda Chaihongskul	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Asst. Prof. Dr. Phakkawat Jantree	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Asst. Prof. Dr. yutthana kanthaphayao	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Dr. naradon chotiwanaporn	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Asst. Prof. Dr. Chow Chompoo-inwai	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Dr. Jirawadee Polprasert	Naresuan University
Asst. Prof. Dr. Sarawut Wattanawongpitak	Naresuan University
Assoc. Prof. Dr. Tanit Malakorn	Naresuan University
Asst. Prof. Dr. Niphat Jantharamin	Naresuan University
Assoc. Prof. Dr. Suchart Yammen	Naresuan University
Dr. Suradet Jitprapaikularn	Naresuan University
Asst. Prof. Dr. Surachet Kanprachar	Naresuan University
Dr. Phisut Apichayakul	Naresuan University
Asst. Prof. Dr. Siriporn Dachasilaruk	Naresuan University
Assoc. Prof. Dr. Suwit Kiravittaya	Naresuan University
Assoc. Prof. Dr. Somporn Ruangsinchaiwanin	Naresuan University
Asst. Prof. Dr. Piyadanai Pachanapan	Naresuan University
Dr. Jirarat leamsaard	Naresuan University
Asst. Prof. Dr. Ponpisut Worrajiran	Naresuan University
Asst. Prof. Dr. Panomkhawn Riyamongkol	Naresuan University
Assoc. Prof. Dr. Panus Nattharith	Naresuan University
Dr. Settha Tangkawanit	Naresuan University
Asst. Prof. Dr. Mutita Songjun	Naresuan University
Asst. Prof. Dr. Supawan Ponpitakchai	Naresuan University
Asst. Prof. Dr. Akaraphunt Vongkunghae	Naresuan University
Dr. Sangchai Monkronthong	Naresuan University
Mr. Panupong Somkhom	Naresuan University
Mr. Rattapoom Waranusast	Naresuan University
Assoc. Prof. Dr. Thawatchai Mayteevarunyoo	Naresuan University
Ms. Jiraporn Pooksook	Naresuan University
Dr. Surapon Nathanael Charoensook	Naresuan University





กำหนดการจัดงาน และนำเสนอบทความ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๔๓

วันพฤหัสบดีที่ 29 ตุลาคม พ.ศ.2563 (ต่อ)						
การนำเสนอบทความ						
Room	ห้องเลขที่	ห้องชมนิทรรศการ	ห้องอภิปราย	ห้องบรรยาย	ห้องประชุม	ห้องประชุม
14:00 - 15:30						
Room	DS1	CT1	PE1	PW3	CM1	ห้องประชุม
Session						ห้องประชุม
Paper Sequence	DS-1 to DS-5	ICT1 CT-1 to CT-6	iPE-1 PE-1 to PE4	PW-11 to PW-15	iCM-1, CM-1 to CM-7	ECON Meeting
Session Chair	ผศ.ดร.เอศรพีพันธ์ วงศ์กัมแห (มน.)	ผศ.อดิศักดิ์ แจ่มสารกิจ (มทร.รัตนโกสินทร์)	รศ.ดร.ทองพัน อารีรักษ์ (มทส.)	รศ.ดร.มนูโชติ รักไชยเจริญชีพ (มทร.พระนคร)	ผศ.ดร.กันตพงษ์ ศรีสถิตย์ (มทร.รัตนโกสินทร์)	
15:30 - 15:45						
15:45 - 18:00						
พักรับประทานอาหาร - กาแฟและของว่าง						
การนำเสนอบทความ						
Room	ห้องเลขที่	ห้องชมนิทรรศการ	ห้องอภิปราย	ห้องบรรยาย	ห้องประชุม	ห้องประชุม
Room	DS2	CT2	PE2	PW4	CM2	ห้องประชุม
Session						ห้องประชุม
Paper Sequence	DS-6 to DS-11	CT-7 to CT-14	PE-5 to PE-10	iPW1 PW-16 to PW-22	CM-10, CM-8, CM-9 CM-11	
Session Chair	รศ.ดร.วราภรณ์ พัฒนวิจิตร (มอช.)	ผศ.ดร.มูเตตา สงฆ์จันทร์ (มน.)	รศ.ดร.ทองพล อารีรักษ์ (มทส.)	รศ.ดร.เกียรติ ชยะกุลศรี (มทส.)	ผศ.ดร.ภักวีวัฒน์ จันทร์ตรี (มทร.สุพรรณภูมิ)	
18:00 - 22:00	งานเลี้ยง Banquet และพิธีมอบรางวัลแก่เจ้าภาพ ครั้งที่ 44 ณ ห้องคอนเวนชันฮอลล์ 1					



## สารบัญบทความ

### การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๔๓

รหัส	ชื่อบทความ	หน้า
PW-27	การเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นชะลอความเร็วของรถจักรยานยนต์	113
PW-28	Software Implementation of Dissolved Gas Analysis with Microsoft PowerApps	117
DS-1	การกำจัดสัญญาณแทรกสอดเพาเวอร์ไลน์ในสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจด้วยระบบปรับตัว	121
DS-2	อัลกอริทึมปรับตัว LMS แปรค่าขนาดขึ้นได้ที่ถูกควบคุมด้วยผลรวมของการสะสมค่าเกรเดียนต์กำลังสอง	125
DS-3	การตรวจจับและการลบเงาในภาพสแกนโซนาร์	129
DS-4	ตัวกรองภาพแบบสองฝ่ายโดยใช้การตรวจจับขอบภาพชนิดแค่นี้	133
<b>DS-5</b>	<b>การตรวจจับคนเดินเท้าโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึกสำหรับความปลอดภัยด้านการคมนาคมขนส่งระบบราง</b>	<b>137</b>
DS-6	การวิเคราะห์สหสัมพันธ์สำหรับการควบคุมขนาดคอคอดทกวด้วยการเรียนรู้ของเครื่องจักรในการติดตั้งหัวอ่านเขียนอัตโนมัติ	141
DS-7	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมสำหรับการรู้จำใบหน้าบนคอมพิวเตอร์แบบกราฟิกส์เรียลไทม์	145
DS-8	ระบบตรวจจับยานพาหนะในมุมมองสายตาสำหรับรถสองล้อ	149
DS-9	การแบ่งส่วนภาพพื้นผิวด้วยเอ็กทิฟโฟลวโมเดลที่ถูกเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวิธีการจำลองการอบเหนียว	153
DS-10	The Novel Outlier Detection Algorithm Based on QTSD (Quadruple Threshold Statistical Detection) Filter for FIIN (Fix Intensity Impulse Noise)	157
DS-11	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพฟังก์ชันหน้าต่างในระบบรู้จำเสียงพูดภาษาไทยที่ใช้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน	161
iPE-1	Modern Trends in Wireless Power Transfer System Development	166
PE-1	การควบคุมตามรอยกำลังสูงสุดสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระด้วยวิธีการรบกวนและการสังเกตแบบปรับเปลี่ยนระดับค่าได้อิงการควบคุมแรงดัน	170



## การตรวจจับคนเดินเท้าโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึกสำหรับความปลอดภัยด้านการคมนาคมขนส่งระบบราง

### Pedestrian Detection Using Deep Learning for Railway Transport Safety

ทศพล แก้วรามนุษย์<sup>1</sup> และ จักรี ศรีนนท์ฉัตร<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup>ห้องปฏิบัติการและวิจัยด้านการประมวลผลสัญญาณ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ที่ 1 ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12110

E-mail: thossapon\_k@mail.rmutt.ac.th, jakkree.s@cn.rmutt.ac.th

#### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์เข้ามามีบทบาทในงานต่าง ๆ มากมาย ระบบขนส่งทางรางก็เป็นอีกหนึ่งระบบที่มีการนำมาใช้เพื่อพัฒนาเป็นระบบตรวจสอบคนเดินเท้าและวัตถุที่กีดขวางบนราง ซึ่งจะเป็นการแจ้งเตือนและป้องกันอุบัติเหตุ บทความนี้นำเสนอการตรวจจับคนเดินเท้าบนระบบขนส่งทางรางโดยใช้ทฤษฎีการเรียนรู้เชิงลึก ระบบที่ออกแบบอยู่บนพื้นฐานของ Faster Region Convolution Neural Networks (Faster R-CNN) งานวิจัยนี้ใช้โครงข่าย Alexnet และ VGG-16 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ โดยการทดสอบใช้ชุดข้อมูลภาพคนเดินเท้าบนรางรถไฟจำนวน 1,000 ภาพ ถูกแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุดคือ ชุดของการ Training และชุดของการ Testing จำนวน 80% และ 20% ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่า Alexnet และ VGG-16 ให้ความแม่นยำร้อยละ 71.11 และ 80.47 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของ VGG-16 มีความละเอียดหลายชั้นส่งผลต่อการคำนวณที่ดี แต่ใช้เวลานานในการประมวลผลมากกว่า

**คำสำคัญ:** มุมมองของรถไฟ, การเรียนรู้เชิงลึก, การตรวจจับคนเดินเท้า

#### Abstract

Recently, an artificial intelligent is widely applied to make more advance in many areas. Railway system is one of an important area to use it for pedestrian and obstructed objects detection on track. It can provides the warning sign and reducing the accidents. This article presents the pedestrian detection on railway track using deep learning algorithm. This system is designed and based on Faster Region Convolution Neural Networks (Faster R-CNN). The Alexnet and VGG-16 are used in this research to comparison the efficiency. A set of 1,000 images is used to analysis the system which each image is a pedestrian on railway track. These images are separated to be training set and testing set as 80% and 20% respectively. The experiment results shown that the Alexnet and VGG-16 provide the accuracy as 71.11% and 80.47% respectively. This is because the VGG-16 consists of the complex layers which is the advantage to computation. However, it uses more time for processing.

**Keywords:** Railway Vision, Deep Learning, Pedestrian Detection

#### 1. บทนำ

การคมนาคมขนส่งทางรางมีความจำเป็นอย่างมากทั้งด้านการเดินทางและด้านโลจิสติกส์ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญมากในการพัฒนาประเทศในปัจจุบัน แต่การขนส่งในระบบรางยังมีความเสี่ยงในด้านความปลอดภัยที่เกิดจากเส้นทางรถไฟที่ตัดผ่านถนนและที่อยู่อาศัยของประชาชน ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุทางราง โดยเกิดการแข่งขันระหว่างขบวนรถไฟกับคนเดินเท้าหรือวัตถุที่เข้ามากีดขวางบนเส้นทางนำมาซึ่งความสูญเสียในชีวิตและทรัพย์สิน อีกทั้งส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยและบริการและเสียโอกาสทางด้านธุรกิจ จากสาเหตุดังกล่าวจึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการตรวจจับสิ่งกีดขวางทางราง งานวิจัยของ Rodriguez และคณะ [1] ได้นำเสนอวิธีการแบบ Hough Transform ในการตรวจจับบริเวณรางและบริเวณที่คาดว่าจะเป็นที่กีดขวาง งานวิจัยของ Yao และคณะ [2] ได้พัฒนาอัลกอริทึมสำหรับตรวจจับสิ่งกีดขวาง โดยใช้วิธีการตรวจสอบจากค่าของ Histogram งานวิจัยของ Karaduman และคณะ [3] นำเสนอวิธีการสแกนภาพด้วยหน้าต่างหรือจุ่มมรกตที่กำหนดไว้โดยจะเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลภาพเพื่อตรวจสอบอัตราความคล้ายคลึงกัน อีกทั้งมีการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ตัวเลขเซอร์ในการตรวจสอบสิ่งกีดขวางจากบทความที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่ามีการนำระบบประมวลผลภาพมาใช้ในการตรวจสอบสิ่งกีดขวางทางราง แต่ยังคงประสบปัญหาและอุปสรรคในการตรวจจับ เนื่องจากมีความซับซ้อนของภาพพื้นหลังและมีการเปลี่ยนแปลงของแสงสว่างและสภาพแวดล้อม ส่งผลทำให้การประมวลผลภาพเกิดความผิดพลาด บทความนี้จึงนำเสนอวิธีการเรียนรู้เชิงลึก โดยใช้การตรวจจับแบบ Faster R-CNN ในการแก้ปัญหาดังกล่าว อีกทั้งได้มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโครงข่าย Alexnet [6] และ VGG-16 [7] ที่มีลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการตรวจจับ ซึ่งจะมีนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบตรวจจับคนเดินเท้าที่เข้าสู่วิทยาลัยนครสวรรค์

#### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

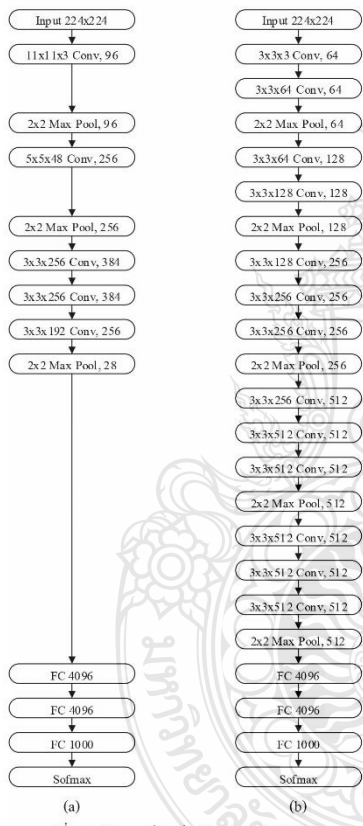
##### 2.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน

โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันเป็นส่วนหนึ่งในรูปแบบของการเรียนรู้เชิงลึก ซึ่งเป็นที่นิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในงานด้านการจำแนกประเภทและการจดจำวัตถุ [4-5] การทำงานจะประกอบด้วย

DS-5

DS-5

หลายชั้นของการประมวลผล ได้แก่ ชั้นคอนโวลูชัน (Convolution Layer) ที่จะอาศัยการสร้างหน้ากรอง (Filter) หรือ เคอร์เนล (Kernel) เพื่อสกัดคุณลักษณะเด่น (Feature Map) ของภาพ จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งเข้าสู่ฟังก์ชันกระตุ้น (Activate Function) สำหรับแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non linear) และทำการลดขนาดของคุณลักษณะเด่นให้เล็กลง โดยใช้ชั้นพูลลิ่ง (Pooling Layer) ต่อมาเป็นการเชื่อมโยงแบบสมบูรณ์ (Fully Connected Layer) ซึ่งจะเป็นการเชื่อมโยงชั้นต่าง ๆ เข้าด้วยกันทำให้เกิดเป็นโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) เพื่อให้โมเดลเรียนรู้และทำหน้าที่จำแนกประเภท



รูปที่ 1 สถาปัตยกรรมโครงข่าย (a) Alexnet, (b) VGG-16

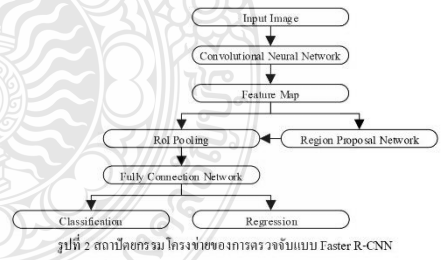
จากรูปที่ 1 (a) คือสถาปัตยกรรมโครงข่าย Alexnet ถูกคิดค้นขึ้นโดย Alex Krizhevsky และคณะ [6] ซึ่งมีโครงสร้างจำนวน 8 ชั้น ประกอบด้วย 5 ชั้นแรกคือชั้นคอนโวลูชันที่มีขนาดหน้าต่างกรองแบบ

11x11, 5x5 และ 3x3 ทั้งนี้มีการค้นกลางระหว่างชั้นคอนโวลูชันด้วยการพูลลิ่งค่าสูงสุด (Max Pooling) ส่วนของ 3 ชั้นสุดท้ายคือการเชื่อมโยงแบบสมบูรณ์ ซึ่งถูกกำหนดให้มีจำนวน 4,096 โหนด ยกเว้นชั้นสุดท้ายที่จะเป็นการกำหนดให้โหนดเท่ากับจำนวนคลาสของจำแนกประเภท

ในส่วนของรูปที่ 1 (b) เป็นสถาปัตยกรรมโครงข่าย VGG-16 ถูกคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ. 2015 โดย K. Simonyan & A. Zisserman [7] มีจำนวน 16 ชั้นแบ่งออกเป็น 13 ชั้นคอนโวลูชันที่ใช้ขนาดหน้าต่างกรอง 3x3 เท่ากันทุกชั้น และ 3 ชั้นการเชื่อมโยงแบบสมบูรณ์ถูกกำหนดให้ 2 ชั้นแรกมีจำนวน 4,096 โหนด โดยชั้นสุดท้ายมีโหนดตามจำนวนของการจำแนกประเภท

2.2 การตรวจจับคนเดินเท้า

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาการตรวจจับคนเดินเท้าถูกพัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของการเรียนรู้เชิงลึก ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการตรวจจับแบบดั้งเดิม[8] ทั้งนี้วิธีการตรวจจับแบบ Faster R-CNN [9] เป็นหนึ่งในวิธีการที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ในงานด้านการตรวจจับคนเดินเท้า โดยขั้นตอนการทำงานแสดงดังรูปที่ 2 คือการอาศัยคุณลักษณะเด่น (Feature Map) ที่ได้จากกระบวนการของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันในชั้นคอนโวลูชันสุดท้าย มาเข้าสู่เครือข่ายเสนอบริเวณ (Region Proposal Network) สำหรับการตรวจสอบบริเวณที่คิดว่าจะมีวัตถุ โดยใช้กรอบสี่เหลี่ยม (Anchors Boxes) ที่มีกรกำหนดขนาดไว้ ซึ่งจะมีการเก็บข้อมูล 2 รูปแบบคือ แบบแรกเป็นการระบุว่ามีหรือไม่มีวัตถุ แบบที่สองคือพิกัดจุดกึ่งกลาง ความกว้างและความสูง จากนั้นข้อมูลที่ได้จะถูกส่งไปประมวลผลในชั้นคอนโวลูชัน Return on Investment (RoI) Pooling ทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลคุณลักษณะแบบเวกเตอร์ที่มีขนาดคงที่จากการหาความสัมพันธ์ของตำแหน่งพิกัดที่ได้จากชั้นคอนโวลูชันสุดท้ายและเครือข่ายเสนอบริเวณ เพื่อส่งต่อไปยังชั้นการเชื่อมโยงแบบสมบูรณ์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แบ่งออกเป็นการค้นหาและพิกัดตำแหน่งของคนเดินเท้า



รูปที่ 2 สถาปัตยกรรมโครงข่ายของการตรวจจับแบบ Faster R-CNN

3. วิธีดำเนินการทดลอง

การทดลองนี้ได้ดำเนินการบนคอมพิวเตอร์ที่ใช้หน่วยประมวลผลกราฟิก (GPU) รุ่น GeForce GTX 1070Ti RAM 8GB โดยข้อมูลภาพคนเดินเท้าบริเวณวางรถไฟจำลองถูกบันทึกจากกล้องดิจิทัลของ SONY

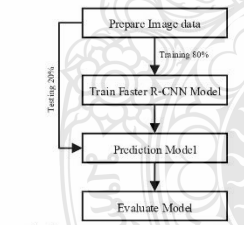


A6000 ที่มีขนาดภาพต้นฉบับ 3,000x2,000 พิกเซล โดยการทดลองได้มีการลดขนาดของข้อมูลภาพลงเหลือ 320x320 พิกเซล เพื่อช่วยทำให้มีการประมวลผลที่รวดเร็วยิ่งขึ้น เนื่องจากในการฝึกอบรมนั้นต้องใช้ข้อมูลภาพเป็นจำนวนมาก โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลภาพทั้งหมด 1,000 ภาพที่ได้รับการติดรอยระบุคลาสดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การติดรอยระบุคลาสบนดินเท้าให้กับชุดข้อมูลภาพ

การฝึกอบรมและทดสอบโมเดลการตรวจจับคนเดินเท้าแสดงดังรูปที่ 4 โดยนำข้อมูลภาพทั้งหมดที่ผ่านการปรับลดขนาดมาทำการแบ่งออกเป็น 2 ชุดคือ ชุดการฝึกอบรม (Training) และชุดการทดสอบ (Testing) จากนั้นนำข้อมูลเข้าสู่กระบวนการฝึกอบรมแบบ Faster R-CNN โดยใช้การถ่ายโอนการเรียนรู้ (Transfer Learning) จากโครงข่ายที่ผ่านการอบรมมาแล้วหน้า ซึ่งการฝึกอบรมกำหนดให้โมเดลเรียนรู้จำนวน 100 รอบ เมื่อฝึกอบรมโมเดลเสร็จสิ้นจึงนำโมเดลมาทำการวัดค่าความถูกต้องในการตรวจจับเพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของโมเดล โดยทำการเปรียบเทียบค่าความแม่นยำเฉลี่ยของแต่ละโมเดล

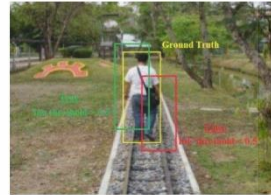


รูปที่ 4 ขั้นตอนการฝึกอบรมและทดสอบโมเดล

การวัดความถูกต้องในการตรวจจับคนเดินเท้าได้เลือกใช้ค่า Intersection over Union (IoU) เป็นตัวชี้วัด ซึ่งการวัดนี้เป็นมาตรฐานสำหรับการแข่งขัน PASCAL VOC [10] โดยที่ในงานด้านตรวจจับวัตถุ ซึ่งการคำนวณสามารถหาได้จากสมการที่ (1) เมื่อกำหนดให้  $\Lambda$  คือพื้นที่จริง (Ground Truth Area) ที่มีคนเดินเท้า และ B คือพื้นที่จากการทำนายของโมเดล (Prediction Area) จากนั้นหาค่าพื้นที่ทับซ้อนระหว่าง A และ B หารด้วยพื้นที่ทั้งหมดของ A และ B ทั้งนี้ในการทดสอบได้

กำหนดค่า IoU เท่ากับ 0.5 หากการวัดได้รับค่า IoU น้อยกว่า 0.5 จะถือว่าไม่สามารถตรวจจับคนเดินเท้าได้แสดงด้วยดังรูปที่ 5

$$IoU = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} \quad (1)$$



รูปที่ 5 ตัวอย่างการวัดความถูกต้องของการตรวจจับด้วยค่า IoU เท่ากับ 0.5

ในส่วนของการประเมินประสิทธิภาพการทำนายจะประกอบไปด้วยค่าความเที่ยง (Precision) และ ค่ารีคอล (Recall) ที่หาได้จากสมการที่ (2), (3) โดยที่ TP (True Positive) เป็นค่าการทำนายที่ถูกต้องเมื่อค่า IoU เท่ากับหรือมากกว่า 0.5 และ FP (False Positive) จะมีค่า IoU น้อยกว่า 0.5 ต่อมาค่า FN (False Negative) คือค่าที่ไม่สามารถตรวจจับคนเดินเท้าได้

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

การหาค่าความแม่นยำเฉลี่ย (Average Precision) ของโมเดลจะเป็นการคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟที่เกิดจากการพล็อตกราฟระหว่างค่าความเที่ยงและค่ารีคอล ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (4), (5)

$$P_{interp}(r) = \max_{\tilde{r} \geq r} p(\tilde{r}) \quad (4)$$

$$Average\ Precision = \frac{1}{11} \sum_{r \in \{0.0, \dots, 1.0\}} P_{interp}(r) \quad (5)$$

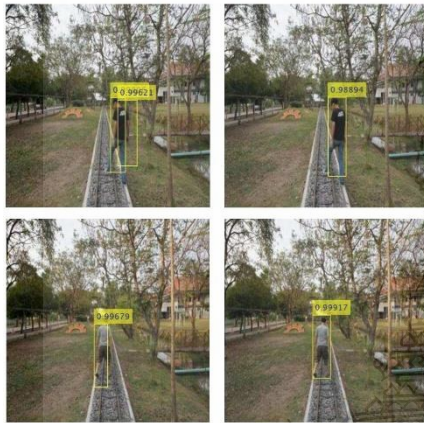
#### 4. ผลการทดลอง

ชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบมีจำนวนทั้งหมด 200 ภาพ โดยจะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการตรวจจับแบบ Faster R-CNN ที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน 2 โครงข่ายที่ได้รับการเรียนรู้มาจำนวน 100 รอบ จากผลการทดสอบพบว่า วิธีการ Faster R-CNN ที่ใช้โครงข่าย VGG-16 มีอัตราความแม่นยำเฉลี่ย 80.47% ซึ่งสูงกว่าอัตราความแม่นยำเฉลี่ยของ Alexnet ที่ได้ 71.11% และเมื่อเปรียบเทียบเรื่องความเร็วในการประมวลผลการฝึกอบรม VGG-16 ใช้ระยะเวลา 4 ชั่วโมง 42 นาที ซึ่งมากกว่า Alexnet ที่ใช้เพียง 3 ชั่วโมง 26 นาที ผลลัพธ์ของการทดลองเปรียบเทียบแสดงตารางที่ 1

DS-5

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบระหว่าง Alexnet และ VGG16

Method	Average Precision	Training Time
Faster R-CNN + Alexnet	71.11%	03h:26m
Faster R-CNN + VGG-16	80.47%	04h:42m



(a) Alexnet (b) VGG-16

รูปที่ 6 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการตรวจจับของโมเดล

จากรูปที่ 6 เป็นการแสดงผลการเปรียบเทียบความแม่นยำของการตรวจจับในแต่ละโครงข่ายได้แก่ Alexnet และ VGG-16 โดยมีการสุ่มภาพตัวอย่างจากฐานข้อมูลที่น่าเชื่อถือทดสอบ (Testing) ซึ่งโครงข่าย Alexnet ที่ผ่านการฝึกอบรมมาแล้วนั้นสามารถตรวจจับคนเดินเท้าภายในภาพได้แต่ในด้านของความแม่นยำในการระบุตำแหน่งคนเดินเท้าพบว่ายังคงมีความผิดพลาด เมื่อเปรียบเทียบกับโครงข่าย VGG-16 ที่ให้ความแม่นยำในการตรวจจับที่สูงกว่า

### 5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับการตรวจจำคนเดินเท้าที่เข้ามาสู่วิววงเส้นทางรถรางไฟฟ้า โดยใช้การตรวจจับแบบ Faster R-CNN ที่ใช้โครงข่าย Alexnet และ VGG-16 จากการทดลองพบว่าโครงข่ายแบบ VGG-16 นั้นให้ประสิทธิภาพความแม่นยำเฉลี่ยได้สูงกว่า แต่ใช้ระยะเวลาในการฝึกอบรมที่นานกว่า Alexnet เนื่องจากจำนวนชั้นการประมวลผลของ VGG-16 มีมากกว่า Alexnet ทั้งนี้การจะนำไปประยุกต์ใช้งานจริงยังคงต้องคำนึงถึงความแม่นยำและความเร็วในการประมวลผล ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตจะต้องมีการพัฒนาโครงข่ายการตรวจจับในรูปแบบอื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับของระบบให้มากขึ้น และเพิ่มจำนวนของชุดฝึกอบรมให้มากขึ้น เนื่องจากจำนวนข้อมูลภาพที่มีผลต่อความถูกต้องของวิธีการเรียนรู้เชิงลึก

### 6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ภายใต้รหัสโครงการ : 4740 ซึ่งได้สนับสนุนทุนวิจัยสำหรับโครงการนี้ ขอขอบคุณนักวิจัย และห้องปฏิบัติการวิจัยทางด้านการประมวลผลสัญญาณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความช่วยเหลือและร่วมมือในด้านอุปกรณ์ เครื่องมือวัดและทดสอบ

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] L.A.F. Rodriguez, J.A. Uribe and J.F.V. Bonilla, "Obstacle Detection over Rails Using Hough Transform", In XVII Symposium of Image, Signal Processing, and Artificial Vision (STSIVA), pp. 317-322. IEEE, 2012.
- [2] T. Yao, S. Dai, P. Wang and Y. He, "Image based obstacle detection for automatic train supervision", International Congress on Image and Signal Processing, pp. 1267-1270, 2012.
- [3] M. Karaduman, "Image processing based obstacle detection with laser measurement in railways," International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), Bursa, pp. 899-903, 2017
- [4] Z. Zheng, Z. Li, A. Nagar, W. and Kang, "Compact deep convolutional neural networks for image classification." In *ICMEW*, pp. 1-6. 2015.
- [5] R. Chauhan, K. K. Ghanshala and R. C. Joshi, "Convolutional neural network (CNN) for image detection and recognition." In *First International Conference on Secure Cyber Computing and Communication (ICSCCC)*, pp. 278-282. IEEE, 2018.
- [6] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. Hinton, "Imagenet classification with deep convolutional neural networks", in *Proc. Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, pp. 1097-1105, 2012.
- [7] K. Simonyan and A. Zisserman, "Very deep convolutional networks for large-scale image recognition", in *Proc. ICLR*, pp. 1-9, 2015.
- [8] W. Ouyang and X. Wang, "Joint Deep Learning for Pedestrian Detection", *Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision*, 2014.
- [9] X. Yu, Y. Si and L. Li, "Pedestrian detection based on improved Faster RCNN algorithm," *2019 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC)*, Changchun, China, 2019, pp. 346-351.
- [10] M. Everingham, S. M. A. Eslami, L. Van Gool, C. K. I. Williams, J. Winn and A. Zisserman, "The PASCAL visual object classes challenge: A retrospective", *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 111, no. 1, pp. 98-136, Jan. 2014





# การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๔๓ (EECON-43)

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ระหว่างวันที่ ๒๘ - ๓๐ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๖๓

ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้ไว้เพื่อแสดงว่า

ทศพล แก้วรามุข และ จักร ศรินนท์ฉัตร

ได้นำเสนอบทความวิจัยเรื่อง

“การตรวจจับคนเดินเท้าโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึกสำหรับความปลอดภัย  
ด้านการคมนาคมขนส่งระบบราง”

(รองศาสตราจารย์ ดร.อริศม เอกษบุตระ)  
นายกสมาคมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (ประเทศไทย)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรารุณี วัฒนวงศ์พิทักษ์)  
ประธานคณะกรรมการจัดการประชุม

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายทศพล แก้วรากมุก
วัน เดือน ปีเกิด	4 กันยายน 2538
ที่อยู่	338 ซอยนาคนิวาส40 ถนนนาคนิวาส แขวงลาดพร้าว เขตลาดพร้าว กรุงเทพมหานคร 10230
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม วิทยาลัยอาชีวศึกษาเซนต์จอห์น ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยอาชีวศึกษาเซนต์จอห์น
เบอร์โทรศัพท์	099-140-5391
อีเมล	Thossapon.kaewrakmuk@gmail.com

