

การเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน

INCREASING OF CONTROL PERFORMANCE OF THE ETHYL
BENZENE PRODUCTION PROCESS

น้ำค้าง คมตัน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน

นำคำ กมนัน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลและองค์กรต่างๆ ดังนี้ ดร.ชัยภท ศิระวรกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ สำหรับงานวิจัยนี้ด้วยดีตลอดมาจนสำเร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย ตรีชัยยาพร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุไรวัลย์ รัตนะพิสิฐ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรณี แผงจันทิก คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ อาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอก ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและประสิทธิ์ประสาทความรู้วิชาการต่างๆ ขอขอบพระคุณ พ่อ แม่ และครอบครัว ที่สนับสนุนทั้งกำลังใจและกำลังทรัพย์ ทุกท่านที่มีส่วนให้ความสนับสนุนช่วยเหลือ รวมทั้งผู้ที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ด้วย

น้ำค้าง คมสัน

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน
ชื่อ-นามสกุล	นางสาวน้ำค้าง คมตัน
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ชัยภพ ศิระวรกุล, วศ.ค.
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน โดยกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีนมีสามปฏิกริยาในกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน และมีกระแสป้อนกลับสองกระแสของสารตั้งต้นเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด ด้วยปัจจัยเหล่านี้ทำให้กระบวนการนี้มีความซับซ้อนและยากต่อการควบคุมกระบวนการเพื่อให้ได้ค่าเป้าหมายที่เหมาะสม

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยเริ่มต้นจากการศึกษาประสิทธิภาพการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมแบบดั้งเดิม (CS0) ซึ่งนำเสนอโดยไลเบนในปี 1999 ขั้นตอนที่สองปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมสำหรับวงควบคุมต่างๆในโครงสร้างการควบคุมแบบดั้งเดิมเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการควบคุมที่ดีขึ้น (CS0M) ขั้นตอนที่สามออกแบบโครงสร้างการควบคุมใหม่ (CS1) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งปรับปรุงโดยการติดตั้งการควบคุมแบบคาสเคด (Cascade Control) ที่กระแสขาออกจากเครื่องปฏิกรณ์ตัวที่สอง และออกแบบโครงสร้างการควบคุมใหม่ (CS2) โดยติดตั้งวงควบคุมอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ตัวที่สอง ขั้นตอนสุดท้ายประเมินประสิทธิภาพการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมต่างๆ วิทยานิพนธ์นี้ใช้โปรแกรม Aspen Plus 2006 และ Aspen Dynamics 2006 สำหรับจำลองกระบวนการในสภาวะคงที่และสภาวะพลวัตตามลำดับ

ผลการจำลองกระบวนการพบว่าโครงสร้างการควบคุมที่ปรับปรุงแล้ว CS1 และ CS2 ให้ผลการตอบสนองเชิงพลวัตและค่าไอเออี (IAE) ดีกว่าโครงสร้างการควบคุมที่มีเพียงการปรับพารามิเตอร์จากการควบคุม CS0M โดยโครงสร้างการควบคุมที่ปรับปรุงแล้ว CS2 มีประสิทธิภาพการควบคุมที่ดีที่สุด

คำสำคัญ: กระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน พารามิเตอร์ตัวควบคุม การออกแบบโครงสร้างการควบคุม การควบคุมกระบวนการ การจำลองกระบวนการ

Thesis Title	Increasing of Control Performance of The Ethyl Benzene Production Process
Name-Surname	Miss Namkang Komsan
Program	Chemical Engineering
Thesis Adviser	Mr. Chaiyapop Siraworakun, D. Eng.
Academic Year	2014

ABSTRACT

This thesis proposed a methodology to increase the control performance of the ethyl benzene production process. In the ethyl benzene process, there are three reactions and two recycle streams of reactant to achieve the maximum profit. Due to these features, the process is complex and difficult to control at the optimal setpoints.

This research methodology started by studying the control performance of the traditional control structure (CS0) proposed by Luyben in 1999. Secondly, the controller tuning parameters for the traditional control structure was re-tuned to obtain better control performances (CS0M). Thirdly, a modified control structure was designed to enhance more control performances (CS1) by installing cascade control at the output stream of the second reactor. The new control structure (CS2) was designed by installing temperature controller for the second reactor as well. Finally, control performances of all control structures are evaluated. This research used the commercial software, Aspen Plus 2006 and Aspen Dynamics 2006, to make simulation in steady state and dynamics mode, respectively.

The simulation results showed that the responses of the modified control structure (CS1) and (CS2) give dynamics response and IAE values than the modified tuning parameter control structure (CS0M). The modified control structure (CS2) gives the best control performance.

Keywords: ethyl benzene production process, controller tuning parameters, control structure design, process control, process simulation

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(10)
บทที่	
บทที่ 1 บทนำ.....	11
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	11
1.2 วัตถุประสงค์.....	12
1.3 ขอบเขตโครงการวิจัย.....	13
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	13
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
2.1 เอทิลเบนซีน.....	14
2.2 กระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน.....	15
2.3 การจำลองกระบวนการ.....	16
2.4 หลักการออกแบบ โครงสร้างระบบควบคุมแบบแผ่นที่ไวด์.....	18
2.5 ตัวควบคุมแบบพีไอดี.....	25
2.6 Cascade Control.....	27
2.7 การประเมินประสิทธิภาพการควบคุม.....	27
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	32
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	32
3.2 กระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน.....	33

สารบัญ(ต่อ)

3.3 ขั้นตอนการวิจัย.....	34
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและวิเคราะห์.....	38
4.1 การปรับค่าพารามิเตอร์การควบคุม.....	38
4.2 การปรับโครงสร้างการควบคุม.....	39
4.3 ผลการตอบสนอง.....	41
4.4 การประเมินประสิทธิภาพการควบคุม.....	82
4.5 วิเคราะห์ผลการตอบสนอง.....	83
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	85
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	85
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	85
รายการอ้างอิง.....	87
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.ข้อมูลดิบของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน.....	90
ภาคผนวก ข.ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	123
ประวัติผู้เขียน.....	134

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	การคำนวณพารามิเตอร์ปรับจูนแบบซีเลอร์-นิโคส์.....	26
ตารางที่ 3.1	แสดงแผนการดำเนินงาน.....	32
ตารางที่ 3.2	ค่ากระแสของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีนอ้างอิงงานวิจัยของไลเบน.....	35
ตารางที่ 3.3	ค่าไคเนติกส์ของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน.....	35
ตารางที่ 3.4	การจับคู่ตัวแปรปรับและตัวแปรควบคุม ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมและ ลักษณะตัวควบคุมของ (CS0).....	36
ตารางที่ 4.1	การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ K_c กับ τ_I จาก (CS0) เป็น (CS0M).....	38
ตารางที่ 4.2	การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ K_c กับ τ_I จาก (CS0M) เป็น (CS1).....	40
ตารางที่ 4.3	การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ K_c กับ τ_I จาก (CS1) เป็น (CS2)	41
ตารางที่ 4.4	ผลการตอบสนองการบวกระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม 20% ของ (CS0) และ (CS0M).....	42
ตารางที่ 4.5	ผลการตอบสนองการบวกระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม 20% ของ (CS1) และ (CS2).....	49
ตารางที่ 4.6	ผลการตอบสนองการบวกระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม 20% ของโครงสร้าง ทั้งหมด.....	57
ตารางที่ 4.7	ผลการตอบสนองการบวกระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด 20% ของ (CS0) และ (CS0M).....	62
ตารางที่ 4.8	ผลการตอบสนองการบวกระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด 20% ของ (CS1) และ (CS2).....	69
ตารางที่ 4.9	ผลการตอบสนองการบวกระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด 20% ของ โครงสร้างทั้งหมด.....	77
ตารางที่ 4.10	ค่า IAE ของผลการตอบสนองการบวกระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม 20%.....	82
ตารางที่ 4.11	ค่า IAE ของผลการตอบสนองการบวกระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด 20%	83



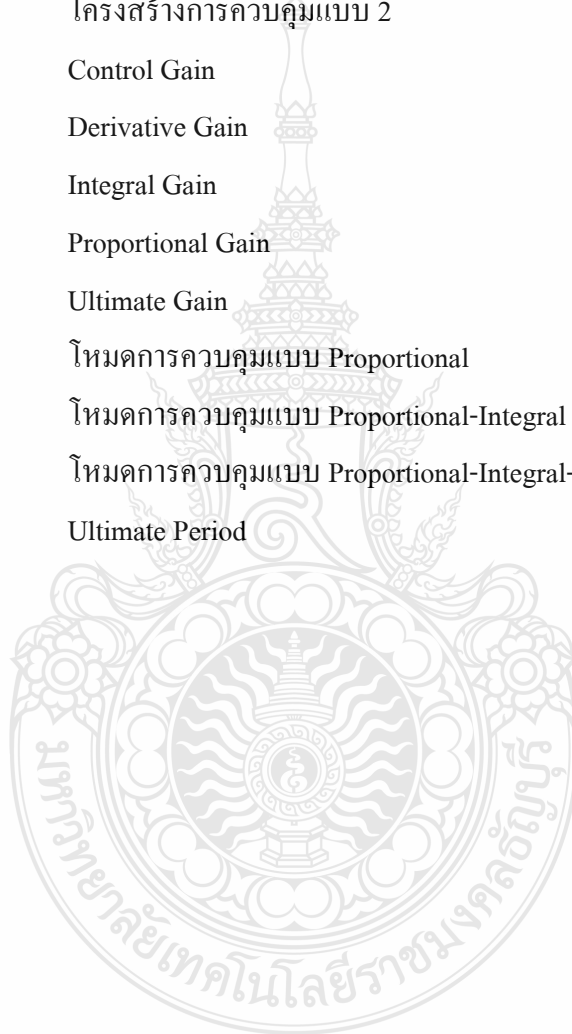
สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเอทิลเบนซีน.....	14
รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบการตอบสนองของโหมดการควบคุมต่างๆ.....	25
รูปที่ 3.1 สมการปฏิกิริยาการเกิดเอทิลเบนซีน.....	33
รูปที่ 3.2 แผนภาพโครงสร้างกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน.....	34
รูปที่ 3.3 โครงสร้างกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน โดยใช้โปรแกรมAspen Plus.....	36
รูปที่ 4.1 โครงสร้างการควบคุมของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (CS0), (CS0M).....	39
รูปที่ 4.2 โครงสร้างการควบคุมของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (CS1).....	39
รูปที่ 4.3 โครงสร้างการควบคุมของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (CS2).....	41



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CS0	โครงสร้างการควบคุมแบบดั้งเดิม (Luyben)
CS0M	โครงสร้างการควบคุมแบบปรับพารามิเตอร์การควบคุม
CS1	โครงสร้างการควบคุมแบบ 1
CS2	โครงสร้างการควบคุมแบบ 2
K_c	Control Gain
K_D	Derivative Gain
K_I	Integral Gain
K_p	Proportional Gain
K_u	Ultimate Gain
P	โหมดการควบคุมแบบ Proportional
PI	โหมดการควบคุมแบบ Proportional-Integral
PID	โหมดการควบคุมแบบ Proportional-Integral-Derivative
P_u	Ultimate Period



บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบัน ในโรงงานอุตสาหกรรมเคมีที่ผลิตเอทิลเบนซีนเพื่อนำไปใช้ในการทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ นิยมผลิตกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเอทิลเบนซีนที่ผลิตได้ทั้งหมดร้อยละ 99% นำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตสไตรีน ซึ่งกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีนมีค่อนข้างมีความซับซ้อนในกระบวนการผลิต อาจทำให้เกิดปัญหาที่ยากต่อการควบคุมประสิทธิภาพการผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน

1.1 ที่มาและความสำคัญ

กระบวนการผลิตเอทิลเบนซีนเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญในโรงงานอุตสาหกรรมเคมี ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีนส่วนใหญ่ นำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตสไตรีน ในงานวิจัยนี้กระบวนการผลิตเอทิลเบนซีนเป็นกระบวนการขั้นพื้นฐานที่เหมาะสมกับการนำมาศึกษา เนื่องจากกระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อนเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมีในเครื่องปฏิกรณ์และการรีไซเคิล ปฏิกิริยาของกระบวนการนี้มีการเกิดทั้งหมด 3 ปฏิกิริยา ปฏิกิริยาแรกเบนซีนทำปฏิกิริยากับเอทิลีนได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอทิลเบนซีน ปฏิกิริยาที่สองเอทิลีนทำปฏิกิริยากับเอทิลเบนซีนได้ผลิตภัณฑ์เป็นไดเอทิลเบนซีน ไดเอทิลเบนซีนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการให้มีในกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน และปฏิกิริยาสุดท้ายเป็นปฏิกิริยาระหว่างไดเอทิลเบนซีนกับเบนซีนได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอทิลเบนซีนตามต้องการ ส่วนการรีไซเคิลจะรีไซเคิลสองกระแสคือกระแสเบนซีนกับกระแสไดเอทิลเบนซีนสองกระแสนี้ถูกรีไซเคิลกลับมาทำปฏิกิริยากับสารในเครื่องปฏิกรณ์ทั้งสอง เนื่องจากมีการหมุนเวียนสารและพลังงานในกระบวนการผลิตทำให้กระบวนการยากต่อการควบคุม

ในปี ค.ศ. 1983 จอร์ส [1] ทำการสังเคราะห์ระบบควบคุมสำหรับกระบวนการทางเคมีโดยเสนอความหลากหลายด้านการสังเคราะห์ระบบควบคุม จากกระบวนการที่มีหน่วยผลิตย่อยหน่วยเดียว มีโครงสร้างวงการควบคุมแน่นอน โครงสร้างวงการควบคุมไม่แน่นอน ต่อมาในปี ค.ศ. 1997 คาร์ล และรอซซีเตอร์ [2] ได้เสนอเทคนิคในการเลือกตัวแปรปรับที่เรียกว่าประสิทธิภาพของตัวแปรเข้า

เดียว เป็นการเลือกตัวแปรปรับที่มีผลต่อตัวแปรควบคุมและกำจัดตัวแปรที่ไม่เหมาะสมเพื่อลดความยุ่งยากในการเลือกโครงสร้างระบบควบคุม ต่อมาในปี 2001 โลงนีส [3] และจอห์นเสนอเทคนิคการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าโปรแกรมเชิงเส้นเลขจำนวนเต็มผสมเป็นการคำนวณค่าเกณฑ์ของกระบวนการควบคู่กับการสร้างสมการออปติไมซ์ การพิจารณาผลการกระทบระหว่างตัวแปร ค่าความไวต่อการระบบควบ และในปี ค.ศ. 2010 วิลเลียม [4] ได้เสนอหนังสือการควบคุมกระบวนการแพลนท์ไวด์ อธิบายเกี่ยวกับหลักการออกแบบแพลนท์ไวด์เพื่อเลือกโครงสร้างที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการทางอุตสาหกรรมเคมีซึ่งมีการอธิบายถึงโครงสร้างของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน การควบคุมกระบวนการ แนวทางการปรับ โครงสร้างการควบคุมต่างๆ จะเห็นได้ว่างานวิจัยจะเน้นไปทางการสร้างการควบคุมใหม่ โดยไม่ได้พิจารณาการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมและการปรับพารามิเตอร์การควบคุม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุม โดยการปรับพารามิเตอร์การควบคุมและออกแบบโครงสร้างการควบคุมใหม่ด้วย

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีนโดยใช้โปรแกรม Aspen Plus ในการจำลองกระบวนการที่สภาวะคงตัว และใช้โปรแกรม Aspen Dynamics ในการจำลองกระบวนการที่สภาวะพลวัต และเปรียบเทียบผลการตอบสนองกับงานวิจัยอ้างอิงของไลเบน [5]

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีนโดยใช้โปรแกรม Aspen Plus ในการจำลองกระบวนการที่สภาวะคงตัว และใช้โปรแกรม Aspen Dynamics ในการจำลองกระบวนการที่สภาวะพลวัต

1.2.3 ศึกษาการพัฒนาโครงสร้างการควบคุมใหม่โดยใช้แนวคิดแพลนท์ไวด์แบบวิเคราะห์เชิงพฤติกรรม (Heuristic)

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งเน้นถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน โดยมีขอบเขตการวิจัย ดังนี้

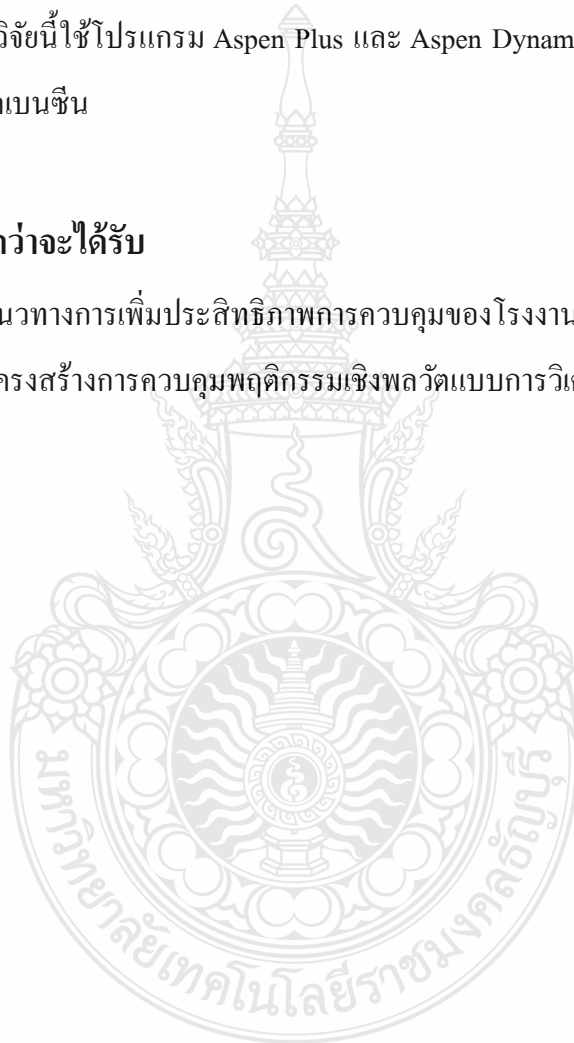
1.3.1 กระบวนการผลิตเอทิลเบนซีนอ้างอิงจากหนังสือ Principles and Case Studies of Simultaneous Design, First Edition นำเสนอโดย William L. Luyben

1.3.2 งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Aspen Plus และ Aspen Dynamics ในการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมของโรงงานผลิตเอทิลเบนซีน

1.4.2 ได้โครงสร้างการควบคุมพฤติกรรมเชิงพลวัตแบบการวิเคราะห์เชิงพฤติกรรม



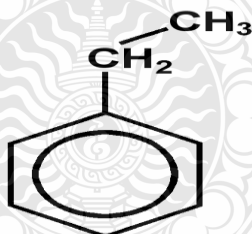
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ได้การศึกษากระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน และจำลองกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน โดยใช้โปรแกรมในการจำลองกระบวนการในสถานะคงตัวและสถานะพลวัต และศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุม

2.1 เอทิลเบนซีน

เอทิลเบนซีนเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นของไซลีนส์ และสามารถติดไฟได้ง่าย เอทิลเบนซีนไม่ละลายในน้ำ แต่สามารถละลายได้ในแอลกอฮอล์ อีเทอร์ และเบนซีน เอทิลเบนซีนส่วนใหญ่ประมาณ 97 % ผลิตมาจากกระบวนการอัลคิเลชันของเบนซีนด้วยเอทิลีน กระบวนการอัลคิเลชันสามารถทำได้ทั้งในวัฏภาคของเหลวและวัฏภาคไอ แต่การทำในวัฏภาคของเหลวเป็นที่นิยมมากกว่า โครงสร้างของเอทิลเบนซีนดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเอทิลเบนซีน[6]

2.1.1 ประโยชน์ของเอทิลเบนซีน

เอทิลเบนซีนที่ผลิตได้เกือบทั้งหมดคือ ประมาณ 99 % ใช้ผลิตสไตรีน นอกนั้นใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมการผลิตสี และเป็นวัตถุดิบในการผลิตไดเอทิลเบนซีน และอะซีโทฟีโนนซึ่งเป็นวัตถุดิบสำหรับทำหัวน้ำหอม

2.2 กระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน

2.2.1 การอัดเพื่อเพิ่มความดันให้กับเอทิลีน (Compressing Unit)

การอัดเพื่อเพิ่มความดันให้กับเอทิลีน (Compressing Unit) โดยเอทิลีนคอมเพรสเซอร์จะทำหน้าที่อัดแก๊สเอทิลีนจาก 14.7 psig เป็น 536 psig ซึ่งแก๊สเอทิลีนยังอยู่ในสถานะที่เป็นก๊าซโดยใช้ Electric Motor เป็นตัวขับเคลื่อนในระบบเอทิลีนคอมเพรสเซอร์ จะมีถังแยกของเหลวซึ่งทำหน้าที่เป็นภาชนะที่ไ้แยกเอาเฉพาะไอออกไปและจะมีถังด้านขาออกจากคอมเพรสเซอร์เพื่อทำการแยกแก๊สเอทิลีนออกจากของเหลวก่อนส่งต่อไปยังเครื่องปฏิกรณ์สำหรับแก๊สเอทิลีน ที่ผ่านการเพิ่มความดันนี้เป็นการเพิ่มพลังงานให้กับโมเลกุลของเอทิลีนเพื่ออำนวยความสะดวกให้เกิดการแตกตัวให้พร้อมในการรวมตัวกับเบนซีนต่อไปสำหรับตัวแปรต่างๆที่มีความสำคัญ เช่น ความดันด้านขาเข้าของคอมเพรสเซอร์ ซึ่งจะถูกควบคุมให้มีค่าคงที่อุณหภูมิของเอทิลีน ความดันด้านขาออกของคอมเพรสเซอร์ เป็นต้น

2.2.2 กระบวนการทำปฏิกิริยาในการผลิตเอทิลเบนซีน (Alkylation/Transalkylation Unit)

กระบวนการทำปฏิกิริยาในการผลิตเอทิลเบนซีน (Alkylation/Transalkylation Unit) ที่ถูกอัดเพื่อให้มีความดันสูงขึ้น ใ้่างยต่อการทำปฏิกิริยาและเบนซีนจะถูกเพิ่มความร้อนโดยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็นการเพิ่มพลังงานให้แก่โมเลกุลของเบนซีนทั้งเอทิลีนและเบนซีนจะถูกส่งเข้าไปยัง (Alkylation Reactor) ตัวที่ 1 และ 2 โดยการทำปฏิกิริยาจะมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ (Aluminium Chloride) เป็นตัวเร่งทำให้เกิดปฏิกิริยาทำการควบคุมอุณหภูมิที่ 370 องศาเซลเซียสที่ความดัน 210 psig จะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นส่วนผสมระหว่างเอทิลเบนซีนกับโพลีเอทิลเบนซีน สำหรับโพลีเบนซีนจะส่งไปยังระบบ (Transalkylation Unit) เพื่อทำเป็นเอทิลเบนซีน

2.2.3 กระบวนการแยกเพื่อทำให้บริสุทธิ์ (Separation Unit)

กระบวนการแยกเพื่อทำให้บริสุทธิ์ (Separation Unit) สำหรับระบบการแยกเพื่อทำให้เอทิลเบนซีนบริสุทธิ์นั้นมีส่วนผสมของเอทิลเบนซีนและโพลีเอทิลเบนซีนจะถูกส่งเข้าที่หอกลั่น (Benzene Column) เพื่อกลั่นแยกเบนซีน และสารที่ไม่ใช่อะโรมาติกส์ชนิดเบา (Light non-aromatic compound)

ออกและจะส่งเบนซินกลับไปทำปฏิกิริยา (Alkylation) และ (Transalkylation) ต่อไปสำหรับสารที่ไม่ใช่ไม่ใช่อะโรมาติกส์ชนิดเบา (Light non-aromatic compound) จะถูกแยกออกและส่งไปที่ (Dry Benzene Column) เพื่อทำการแยกสารที่มีจุดเดือดต่ำกว่าเบนซินออก เช่น มีเทน,อีเทน แล้วส่งไปเผาที่ (Flare) สำหรับเอทิลเบนซินหลังจากถูกกลั่นแยกแล้วจะถูกส่งไปยังถังเก็บผลิตภัณฑ์ สำหรับโพลีเอทิลเบนซินและสารประกอบที่หนักเช่น (Flux oil) จะถูกส่งไปกลั่นแยกที่ (Polyethylbenzene Column) โดยแยกโพลีเอทิลเบนซินออกแล้วไปที่ชุด (Transalkylation Unit) เพื่อผลิตเป็นเอทิลเบนซินต่อไป การทำปฏิกิริยา (Transalkylation) จะทำการเปลี่ยนโพลีเอทิลเบนซินให้เป็นเอทิลเบนซินทั้งหมดโดยใช้การส่งโพลีเอทิลเบนซินเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดอยู่และมีการส่งเบนซินเพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยากับเอทิลีนที่ถูกทำให้แตกตัวออกมาจากโพลีเอทิลเบนซิน ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ (Transalkylation) เป็นเอทิลเบนซินทั้งหมดในการควบคุมการทำปฏิกิริยาต้องให้มีเบนซินเป็นเบด เพื่อให้สามารถจับตัวกับเอทิลีนที่แตกตัวออกมาโดยมีการคายความร้อนออกมาด้วย ทำให้ถ้ามีปริมาณเบนซินถูกส่งเข้าไปน้อยเกินไปอาจเกิดความร้อนต่อเนื่องสูงจนอาจเกิดการระเบิดของเครื่องปฏิกรณ์ได้

2.3 การจำลองกระบวนการ

การจำลองกระบวนการ[7] ประกอบด้วย ขั้นตอนการออกแบบแบบจำลอง (Model) ของระบบงานจริง (Real System) การดำเนินการทดลองใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงาน หรือเพื่อประเมินผลการใช้กลยุทธ์ (Strategies) ต่างๆ ในการดำเนินงานภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ การจำลองแบบปัญหาซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองส่วนหนึ่ง และขั้นตอนการนำแบบจำลองนั้นไปใช้งานเชิงวิเคราะห์อีกขั้นหนึ่ง ส่วนการจำลองกระบวนการมีหลักสำคัญคือ ต้องสามารถอธิบายพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในระบบงานจริงเพื่อนำผลไปปรับปรุงการดำเนินงานของระบบได้อย่างเหมาะสม

การจำลองกระบวนการได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในขั้นตอนการออกแบบ และการดำเนินงานโดยขั้นตอนการออกแบบมุ่งความสนใจไปที่ การทำคุณวมลและพลังงาน ต้นทุน อุปกรณ์ ซึ่งมักจะเกี่ยวข้องกับศาสตร์ ส่วนขั้นตอนการดำเนินงานจะมุ่งความสนใจไปที่การกำหนด

ปริมาณและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การแก้ปัญหาเฉพาะหน้า (Troubleshooting) ของโรงงาน ความสามารถในการควบคุม (Controllability) ความปลอดภัยในการดำเนินงานและการบำรุงรักษา เพื่อลดต้นทุนศักยภาพการผลิตและเพิ่มความสามารถในการแข่งขันทางการค้า

การจำลองกระบวนการส่วนให้อาศัยซอฟต์แวร์ หรือแพคเกจการจำลองสถานการณ์ (Simulation Packages) เป็นเครื่องมือในการจำลองและให้วิศวกรเรียนรู้ ประกอบกับความก้าวหน้าทางคอมพิวเตอร์ ทำให้การจำลองกระบวนการด้วยคอมพิวเตอร์เป็นที่นิยมมากที่สุด อีกทั้งโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ถูกพัฒนาโดยนักพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งมีให้เลือกใช้อย่างมาก ดังนั้นการจำลองสถานการณ์กระบวนการในปัจจุบันสามารถใช้การจำลองแบบย่อส่วน (Pilot scale) ได้เป็นอย่างดี

เหตุผลที่ต้องสร้างแบบจำลองกระบวนการแทนการทดลองกับกระบวนการจริงมีดังนี้

1. เพราะการทดลองกับกระบวนการจริง อาจก่อให้เกิดความขัดข้องในการดำเนินงานตามปกติ
2. เพราะในการทดลองกับกระบวนการจริงนั้นเป็นการยากที่จะควบคุมเงื่อนไขต่างๆในการทดลองให้คงที่ ทำให้ผลการทดลองที่ได้ในแต่ละครั้งอาจไม่ใช่ผลการทดลองภายใต้เงื่อนไขอันเดียวกัน
3. เพราะการทดลองกับกระบวนการจริงอาจต้องใช้เวลา และค่าใช้จ่ายจำนวนมากจึงจะได้ข้อมูลเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์
4. เพราะว่าการทดลองกับกระบวนการจริง อาจเป็นไปได้ที่จะทดลองกับเงื่อนไขทุกรูปแบบที่ผู้วิเคราะห์ต้องการ

อย่างไรก็ตามการจำลองกระบวนการ โดยใช้ซอฟต์แวร์ ทางคอมพิวเตอร์นั้น ผู้ใช้จะต้องเข้าใจเกี่ยวกับปัญหาดีพอ และสามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ของปัญหานั้นๆ ได้ รวมถึงฟังก์ชันจุดประสงค์ว่ากระบวนการต้องการอะไร อาทิเช่น กำไรสูงสุด หรือต้นทุนวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ต่ำสุด นอกจากนี้ผู้จำลองกระบวนการต้องมีประสบการณ์หรือความสามารถในการตีค่าตอบที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อแยกแยะและตัดสินใจผลที่คำนวณได้ไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.4 หลักการออกแบบโครงสร้างระบบควบคุมแบบแพลนท์ไวด์

2.4.1 การควบคุมแบบแพลนท์ไวด์

คือหลักการออกแบบการควบคุมที่พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยผลิตทุกหน่วยในกระบวนการ เพื่อออกแบบโครงสร้างการควบคุมทั้งกระบวนการให้ได้ตามวัตถุประสงค์ของการดำเนินกระบวนการ

2.4.2 ฮิวริสติกส์ (Heuristic)

ของการออกแบบโครงสร้างการควบคุมกระบวนการ ที่ใช้หลักการพื้นฐานด้านการออกแบบระบบควบคุมทั่วไปมีดังนี้

1. บักเลย์ Buckley (1964) เสนอพื้นฐานในการพิจารณาปัญหาการควบคุมโดยแนะนำให้แบ่งปัญหาออกเป็น 2 ส่วนคือ

ก) การควบคุมมวลสาร

ข) การควบคุมผลิตภัณฑ์

ขั้นแรกการควบคุมควรเริ่มที่การรักษาระดับของเหลวและแก๊สในกระบวนการ ในขั้นนี้ควรควบคุมระบบโดยมุ่งเน้นประเด็นไปที่โครงสร้างการควบคุมไฮดรอลิก (Hydraulic)

วงการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ควรเลือกตัวแปรปรับที่มีค่าเหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าเวลาคงที่ของกระบวนการต่อเวลาตอบสนอง (Time Constant) ของวงการควบคุมแบบปิดที่มีค่าน้อยที่สุด เพราะระบบจะตอบสนองต่อการรบกวนได้อย่างรวดเร็ว และได้ผลการควบคุมแบบตรงเป้าหมาย (Tight Control) แต่ต้องพิจารณาเสถียรภาพของระบบซึ่งเป็นข้อจำกัดของการควบคุมกระบวนการด้วย

การพิจารณาวงควบคุมปริมาณวัสดุ (Inventory Loop) คือระดับของเหลวในถังเก็บของเหลว (Surge Volumes) มักใช้ตัวควบคุมแบบพีโดยให้ค่าเวลาคงที่ต่อการตอบสนองวงการควบคุมมวลสารต่างจากค่าเวลาคงที่ของกระบวนการต่อการตอบสนองวงควบคุมคุณภาพประมาณ 10 เท่า เพื่อสามารถปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมของวงควบคุมทั้งสองได้อย่างอิสระ

2. ดักลาส Douglas (1988) เสนอการพิจารณาออกแบบโครงสร้าง

การควบคุมระบบที่มีความซับซ้อนในสถานะคงตัวสำหรับกรณีที่เราควบคุมและมูลค่าของผลิตภัณฑ์มีราคาสูงกว่าราคาต้นทุนของพลังงานการออกแบบโครงสร้างการควบคุมควรพิจารณาระบบในสองหัวข้อคือ

ก) สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์มีการสูญเสียน้อยที่สุด

ข) อัตราการไหลของแก๊สทั้งระบบมีค่ามากที่สุด

ควบคุมให้ปริมาณสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์มีค่าน้อยที่สุด หมายถึงการควบคุมองค์ประกอบของสารที่สำคัญแบบตรงเป้าหมาย กรณีที่สารผลิตภัณฑ์มีราคาแพงกว่าราคาพลังงานที่ต้องใช้ในกระบวนการ การทำรีไซเคิลแก๊สสามารถช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ โดยดำเนินการให้คอมพิวเตอร์ทำงานเต็มกำลัง ข้อดีของภาวะการดำเนินงานแบบนี้คือ เป็นการลดองศาอิสระของกระบวนการ เพื่อให้ระบบดำเนินการได้ง่ายขึ้น

3. คาวน์ Downs (1993) อธิบายถึงการเข้าใจกระบวนการอย่างลึกซึ้ง ซึ่งเกิดจากการทำมวลสารของหน่วยย่อยก่อนการพิจารณาทั้งกระบวนการ ซึ่งเมื่อนำมาต่อเข้าด้วยกันระหว่างหน่วยย่อย มักจะเกิดปัญหาคุลมวลสารระหว่างหน่วยย่อย ดังนั้นควรพิจารณากระบวนการอย่างละเอียดเพื่อให้สารทุกโมเลกุลถูกใช้ในกระบวนการตรงตามสมการการเกิดปฏิกิริยา

4. ลูเบน Luyben (1997) เสนอกฎ 3 ข้อในการพิจารณาโครงสร้างการควบคุม ซึ่งเป็นกฎที่เกิดจากการศึกษากระบวนการหลายระบบ

ก) สารรีไซเคิลทุกสารควรมีการควบคุมอัตราการไหลเพื่อป้องกันการเกิดสโนบอลเอฟเฟ็ก (Snowball Effect)

ข) การควบคุมปริมาณสารตั้งต้น ด้วยการควบคุมการป้อนสารตั้งต้นใหม่เพียงวงควบคุมเดียวสำหรับกระบวนการที่มีการเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ ไม่เพียงพอต่อการควบคุมปริมาณสารดังกล่าว เนื่องจากไม่มีการวัดปริมาณสารที่เหลือค้างภายใน ทำให้ไม่สามารถควบคุมปริมาณสารนี้ภายในกระบวนการได้อย่างถูกต้องส่งผลต่อการแปรปรวนการเกิดปฏิกิริยา ทำให้ผลิตภัณฑ์ถูกรบกวน ดังนั้นการออกแบบวงควบคุมสารเหล่านี้ต้องมีการวัดสารที่ตกค้างภายในกระบวนการ เพื่อควบคุมปริมาณสารในระบบได้อย่างถูกต้อง

ค) สำหรับสารผลิตภัณฑ์ที่ออกทางกระแสอดหอควรใช้สารป้อนที่มีวิฤภาคของเหลวในกรณีสารผลิตภัณฑ์ที่ออกทางด้านล่างควรใช้สารป้อนที่มีวิฤภาคเป็นไอ เนื่องจากการเปลี่ยนอัตราการไหลเข้าที่ป้อนสารเป็นของเหลวอิมตัวจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเชิงพลวัตต่อผลิตภัณฑ์น้อยกว่าใช้สารป้อนเป็นไอ

5. ริชาร์ดสัน (Richardson) Luyben (1999) แนะนำว่าการควบคุมกระบวนการควรใช้ท่อนขนาดใหญ่เพื่อสามารถควบคุมกระบวนการได้อย่างรวดเร็ว

6. ชินสกี Shinskey (1988) แนะนำให้ทำโครงสร้างการควบคุมกระบวนการแบบการควบคุมแบบสัดส่วน การควบคุมแบบลำดับขั้น การควบคุมแบบโอเวอร์ไรด์ (Override Control) และ

การควบคุมตำแหน่งวาล์วที่ออฟติไมซ์ (Value-position Optimize Control) เนื่องจากการควบคุมดังกล่าวเป็นการควบคุมที่ใช้สำหรับการควบคุมกระบวนการพื้นฐานทั้งหมด

7. ไทเรียส Tyreus (1992) กล่าวถึงขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งสำหรับระบบการควบคุมแบบแพลนท์ไวด์ คือการกำหนดชนิดของตัวควบคุมและปรับแต่งตัวควบคุม ในการควบคุมระบบของเหลวนิยมเลือกตัวควบคุมแบบพี ซึ่งเป็นการควบคุมที่ไม่ต้องการความถูกต้องของตัวแปรควบคุมมากนัก ดังนั้นการกำหนดค่าเกณฑ์การควบคุมควรมีค่าประมาณ 1.67 ที่ค่านี้วาล์วจะเปิดให้อยู่ที่ 80 % และวาล์วจะปิดที่ระดับอยู่ที่ 20% สำหรับการควบคุมหน่วยย่อยอื่นนิยมใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ และค่าการปรับแต่งวงการควบคุมด้วยการทดสอบ รีเลย์-ฟีดแบ็ค (Relay-Feedback) ซึ่งเป็นการทดสอบอย่างง่ายและรวดเร็วเพื่อให้ได้ค่าเกนสูงสุด (Ultimate gain, K_u) และคาบค่าสุดท้าย (Ultimate Period, P_u) ใช้ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์สำหรับระบบควบคุมด้วยวิธีซิกเลอร์-นิโคล (Ziegler-Nichols)

2.4.3 ความจำเป็นของการควบคุมแบบแพลนท์ไวด์

เนื่องจากกระบวนการทางอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มักมีลักษณะสำคัญ 3 ลักษณะ ซึ่งส่งผลให้การควบคุมกระบวนการย่อยไม่เพียงพอต่อการควบคุมระบบให้ดำเนินไปตามเป้าหมายได้จึงจำเป็นต้องใช้หลักการควบคุมกระบวนการแบบแพลนท์ไวด์เพื่อควบคุมลักษณะทั้ง 3 ประการคือ

1. การหมุนเวียนสารภายในกระบวนการ (Material Recycle) มีเหตุผลพื้นฐานที่สำคัญ 6 ข้อดังนี้

- ก) การเพิ่มผลการเปลี่ยน (Conversion) ให้เพิ่มขึ้น
- ข) การปรับปรุงทางด้านเศรษฐศาสตร์
- ค) การปรับปรุงผลผลิตที่ได้ (Yield)
- ง) การให้มีตัวระบายความร้อน (Thermal Sink)
- จ) การป้องกันการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง
- ฉ) สมบัติการควบคุม

2. การสะสมของพลังงานในกระบวนการ เหตุผลเบื้องต้นที่ทำให้เกิดการสะสมของกระบวนการคือ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพทางเทอร์โมไดนามิกส์ของกระบวนการ โดยมีการส่งพลังงานไปมาระหว่างหน่วยผลิตย่อยภายในกระบวนการ ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายพลังงานภายในกระบวนการลง เนื่องจากเป็นค่าใช้จ่ายด้านยูทิลิตี้ลง

3. การควบคุมองค์ประกอบของสารในกระบวนการ สารในกระบวนการสามารถจำแนกลักษณะขององค์ประกอบที่อยู่ภายในกระบวนการได้เป็น 3 ชนิดคือ สารตั้งต้น ผลิตภัณฑ์ และสารเฉื่อย การทำดุลมวลสาร (Material Balance) แต่ละสารองค์ประกอบนั้นจะต้องเหมาะสมและถูกต้อง

ตามสมการปฏิกิริยา โดยทั่วไปแล้วจะไม่มีปัญหาสำหรับสารผลิตภัณฑ์และสารเฉื่อย อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่แท้จริงจะเกิดเมื่อมีการพิจารณาถึงสารตั้งต้น (เนื่องจากการหมุนเวียนของสารใน กระบวนการ) และการตรวจสอบการมีอยู่ของสารในกระบวนการทั้งหมด ของทุกๆ โมเลกุลของสาร ตั้งต้นที่ป้อนเข้าไปในโรงงานจะต้องถูกใช้ไปในการเกิดปฏิกิริยา หรือออกจากกระบวนการเป็นสาร ปนเปื้อน หรือสารปล่อยทิ้ง การออกจากกระบวนการด้วย 2 วิธีหลังนี้ถือเป็นการสูญเสียสารตั้งต้น ดังนั้นจึงต้องพยายามที่จะลดการสูญเสียสารตั้งต้นที่ออกจากกระบวนการให้น้อยที่สุด เนื่องจากสิ่งนี้ จะแสดงถึงผลผลิตที่ลดลงด้วย ดังนั้นจะป้องกันสารตั้งต้นไม่ให้ออกจากกระบวนการด้วยวิธีดังกล่าว นั้นหมายถึงต้องแน่ใจว่าทุก โมลของสารตั้งต้นที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการจะถูกใช้ไปโดยการ เกิดปฏิกิริยา

2.4.4 เป้าหมายสำหรับระบบควบคุมกระบวนการแบบแพลนท์ไวด์

1. การดำเนินกระบวนการอย่างปลอดภัยและสม่ำเสมอ โดยไม่ก่อให้เกิดความขัดข้องของ ระบบ

2. การควบคุมให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์แบบตรงค่าเป้าหมาย (Tight Control)

3. การหลีกเลี่ยงเงื่อนไขที่จะทำให้กระบวนการเกิดอันตราย

4. การทำให้ระบบควบคุมทำงานอย่างอัตโนมัติ และต้องการความใส่ใจทางด้าน การปฏิบัติงานน้อยลง

5. การเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตที่เร็วแล้วได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ

6. ไม่มีผลกระทบที่ไม่ดีต่อสิ่งแวดล้อม

2.4.5 ขั้นตอนการออกแบบการควบคุมแบบแพลนท์ไวด์

ขั้นตอนเบื้องต้นในออกแบบการควบคุมแบบแพลนท์ไวด์มี 9 ขั้นตอน เป็นการ ใช้หลักการเบื้องต้นทางด้านวิศวกรรมเคมีนั้นคือการอนุรักษ์พลังงานและมวลสาร มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 กำหนดวัตถุประสงค์การควบคุม

เป็นการกำหนดวัตถุประสงค์การควบคุมกระบวนการที่ภาวะคงตัวและภาวะพลวัตสำหรับ กระบวนการ ซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญมากของปัญหาเนื่องจากวัตถุประสงค์การควบคุมที่แตกต่างกัน นำไปสู่โครงสร้างการควบคุมที่แตกต่างกันด้วย โครงสร้างการควบคุมที่ดีที่สุดสำหรับ โรงงานขึ้นอยู่กับ การออกแบบและหลักการควบคุมที่กำหนดขึ้น

วัตถุประสงค์เหล่านี้จะรวมถึงผลผลิตที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาและการแยกสาร การระบุ ถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เกรดของผลิตภัณฑ์และการตรวจสอบความต้องการทางการตลาดความ เข้มงวดทางด้านสิ่งแวดล้อม และช่วงของสภาวะการปฏิบัติงานที่ปลอดภัย

ขั้นที่ 2 หองศาความเป็นอิสระ (Degree of Freedom) ของการควบคุม

นับจำนวนวาล์วควบคุม ที่สามารถหาได้ซึ่งก็คือจำนวนขององศาอิสระสำหรับการควบคุม การนับจำนวนตัวแปรที่ต้องควบคุมให้อยู่ที่ค่าเป้าหมาย จำนวนของวาล์วอิสระต้องเหมาะสมด้วย การวางวาล์วควบคุมเหล่านี้บางครั้งจะต้องทำเพื่อปรับปรุงสมรรถนะเชิงพลวัต แต่บ่อยครั้งที่ไม่สามารถเลือกการวางตำแหน่งของวาล์วเหล่านั้นได้

หน้าที่โดยทั่วไปของวาล์วควบคุม คือ

- กำหนดอัตราการผลิต
- รักษาปริมาณของแก๊สและของเหลวให้เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด
- ควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์
- หลีกเลี่ยงข้อจำกัดทางด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม
- วาล์วที่เหลือหลังจากการกำหนดหน้าที่เหล่านี้แล้วจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์

ในการเพิ่มวัตถุประสงค์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่สภาวะคงตัว หรือเพิ่มความสามารถในการควบคุมทางพลวัต เช่น ลดการใช้พลังงานให้น้อยลง เพิ่มผลผลิตที่ได้ให้มากขึ้น หรือกำจัดการรบกวนออกไป

ขั้นที่ 3 กำหนดระบบการจัดการพลังงาน

ภายในกระบวนการต้องมีระบบการควบคุมความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี โดยอาจส่งความร้อนดังกล่าวไปใช้ในหน่วยอื่นของกระบวนการ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อความร้อนถูกใช้ในกระบวนการจนเพียงพอแล้ว ความร้อนดังกล่าวจะถูกส่งไปยังหน่วยยูลิติดี และออกจากระบบในที่สุด ดังนั้นระบบควบคุมพลังงานในกระบวนการต้องทำหน้าที่ดังนี้

1) ถ้ามีการสะสมความร้อนเกิดขึ้นระหว่างกระแสของกระบวนการ ต้องทำการควบคุมการแพร่กระจายความร้อนไม่ให้กระจายไปยังหน่วยต่างๆของระบบ และต้องมั่นใจว่าความร้อนที่เกิดจากการคายความร้อนของปฏิกิริยาจะถูกใช้หมดไป หรือถูกกำจัดหมดไปโดยไม่ต้องมีความร้อนกลับมารบกวนระบบอีก

2) ในกรณีมีความร้อนที่เกิดจากการคายความร้อนของปฏิกิริยา จำเป็นต้องกำจัดความร้อนส่วนนี้ออกจากระบบ เพราะอาจทำให้ระบบไม่สามารถควบคุมได้ ส่วนระบบที่ปฏิกิริยาเป็นการดูดความร้อน ระบบจำเป็นต้องเพิ่มความร้อนให้กับปฏิกิริยาเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น

3) การส่งผ่านความร้อนระหว่างกระแสของกระบวนการ ถือเป็นส่วนที่สำคัญเพราะสารที่ไหลออกจากถังของปฏิกิริยาไปสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ถ้าควบคุมอุณหภูมิไม่ดีอาจทำให้ระบบขาดเสถียรภาพ และเป็นอันตรายต่ออุปกรณ์ของกระบวนการ

ขั้นที่ 4 กำหนดอัตราการผลิต

เป็นการกำหนดตัวแปรหลักที่มีผลต่ออัตราการผลิต และหาตัวแปรปรับที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมตัวแปรดังกล่าว ซึ่งในการเปลี่ยนกำลังการผลิตทำได้หลายทางทั้งทางตรง และทางอ้อม เช่น การเพิ่มอัตราการเพิ่มผลผลิตโดยการเพิ่มอุณหภูมิ เพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้น เพิ่มปริมาตรของสารภายในถังปฏิกรณ์ (กรณีสารในระบบเป็นของเหลว) และเพิ่มความดัน (กรณีที่สารเป็นแก๊ส)

ทางเลือกในกำหนดตัวแปรหลักของระบบมีความสัมพันธ์ต่อปฏิริยาของระบบ และสมรรถนะของเครื่องปฏิกรณ์ด้วย เช่น การเลือกอุณหภูมิเป็นตัวแปรหลักในปฏิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น แต่ในกระบวนการที่เป็นปฏิริยาคายความร้อนแบบผันกลับได้ พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ระบบเข้าสู่สมดุลอย่างรวดเร็วทำให้อัตราการผลิตลดลง ดังนั้นการเลือกตัวแปรหลักจำเป็นต้องพิจารณาถึงลักษณะของปฏิริยาและเครื่องปฏิกรณ์ด้วย

ตัวแปรหลักที่จะเลือกใช้ควรทำให้อัตราการผลิตเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ราบเรียบ และสามารถกำจัดผลการรบกวนได้ด้วย ที่สำคัญตัวแปรหลักควรมีผลต่อตัวหน่วยแยกน้อยที่สุด แต่ควรมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิริยาอย่างรวดเร็ว ภายใต้สภาวะที่สามารถดำเนินงานได้จริง

ขั้นที่ 5 ควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ ความปลอดภัย สิ่งแวดล้อม และการปฏิบัติงาน

การเลือกแล้วควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ ความปลอดภัย และความสามารถในการดำเนินการ และข้อจำกัดทางสิ่งแวดล้อมที่ดีที่สุด เพื่อให้ได้การควบคุมแบบตรงเป้าหมายถือเป็นสิ่งสำคัญสำหรับเหตุผลทางเศรษฐศาสตร์และการปฏิบัติงาน เช่น เลือว่าแล้วตัวแปรปรับที่มีค่าเวลาคงที่ของกระบวนการต่อการตอบสนองเวลาน้อย ค่าเวลาหน่วงของระบบ (Dead Time) ต่ำ และมีค่าเกน (Gain) สภาวะคงตัวมาก นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงขนาดของการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล และตัวแปรบางตัวที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น อุณหภูมิในหอกลั่นส่วนล่างที่ถูกควบคุมโดยการปรับการไหลของไอน้ำที่ส่งไปรีบอยเลอร์ และระดับของของเหลวในหอกลั่นส่วนล่างที่เป็นตัวแปรควบคุมอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์

ข้อสังเกต จะเห็นได้ว่าการกำหนดวงควบคุมของการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะมาก่อนการควบคุม ดังนั้น โครงสร้างการควบคุมแบบแพลนท์ไวด์ จะมีพื้นฐานในการออกแบบระบบควบคุมต่างจากการควบคุมของบักเลย์ ที่พิจารณาการควบคุมคุณภาพภายหลัง

ขั้นที่ 6 ควบคุมสารหมุนเวียนให้คงที่และควบคุมปริมาณสารสะสมในระบบ (ระดับความดันและของเหลว)

การกำหนดอัตราการไหลในทุกวงควบคุมการป้อนกลับ และการเลือกตัวแปรปรับที่ดีที่สุดสำหรับควบคุมระดับของเหลวนิยมทำคอนสไตต์ควบคุมอัตราการไหลในทุกวงควบคุมของกระแสป้อนกลับที่ทำเช่นนี้เพราะทำได้ง่าย และมีประสิทธิภาพในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงขนาด

ของอัตราการไหลในกระแสน้อนกลับเพื่อผลการควบคุมในภาวะคงตัว และภาวะพลวัตให้ได้ตรงตามเป้าหมายที่โรงงานต้องการ

การกำหนดอัตราการไหลในกระแสน้อนกลับจะไม่ซับซ้อน ถ้าพิจารณาการเลือกตัวแปรหลักเพื่อควบคุมอัตราการผลิตในขั้นตอนที่ 4 เพราะกระแสน้อนกลับทุกสารมีความสำคัญต่อเป้าหมายการควบคุมแบบแพลนท์ไว้ด์ เช่น การพิจารณาอัตราการควบคุมแก๊สย้อนกลับโดยปกติมักกำหนดให้มีการไหลเวียนได้มากที่สุดเท่าที่เครื่องคอมเพรสเซอร์สามารถทำงานได้ตามหลักการควบคุมของดักลาสส่วนการกำหนดอัตราการไหลในแต่ละวงควบคุมย้อนกลับจะใช้ว่าแล้วควบคุมระดับของสารแต่ละหน่วย ซึ่งถือเป็นการทำคูลสารตามหลักการของบั๊กเลย์ และการเลือกตัวแปรที่มีผลต่อหน่วยผลิตมากที่สุด เป็นไปตามกฎการควบคุมของริชาร์ดสัน เพื่อให้ได้ว่าแล้วควบคุมที่เหมาะสมต่อการควบคุมมากที่สุด

ขั้นที่ 7 ตรวจสอบคูลสารองค์ประกอบ

การวิเคราะห์องค์ประกอบของสารที่เข้า-ออก และสารที่ถูกใช้ในกระบวนการ จะมีความยุ่งยากเมื่อกระบวนการมีการย้อนกลับ เพราะกระแสน้อนกลับจะทำให้เกิดการสะสมของสารองค์ประกอบ ซึ่งมีผลต่อกลไกการเกิดปฏิกิริยาของผลิตภัณฑ์ในระบบ ดังนั้นการทำคูลสารองค์ประกอบที่ถูกต้องทำให้เข้าใจกลไกการใช้ไปของสารต่างภายในกระบวนการได้อย่างถูกต้อง

สารองค์ประกอบที่อยู่ภายในกระบวนการประกอบไปด้วย สารตั้งต้น ผลิตภัณฑ์ และสารเฉื่อย สารตั้งต้นควรถูกใช้ให้หมดไปในการทำปฏิกิริยา และไม่ควรให้มีสารตั้งต้นปนเปื้อนในสารผลิตภัณฑ์เพราะถือว่าการสูญเสีย ดังนั้นควรมีการปรับปริมาณสารตั้งต้นใหม่ (Fresh Feed) ที่เข้าสู่กระบวนการโดยเทียบจากการใช้ไปของสาร สำหรับสารเฉื่อยในระบบจะต้องปล่อยออกจากกระบวนการบางส่วน และควบคุมสารองค์ประกอบเฉื่อยบางส่วนด้วยสัดส่วนของสารเฉื่อยในกระแสน้อนกลับ

ขั้นที่ 8 ควบคุมหน่วยปฏิบัติการแต่ละหน่วย

การกำหนดวงจรควบคุมที่จำเป็นสำหรับหน่วยปฏิบัติการย่อยแต่ละหน่วย มีรูปแบบการควบคุมมากมาย ตัวอย่างเช่น เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ (Tubular Reactor) โดยทั่วไปควบคุมอุณหภูมิขาเข้า สำหรับปฏิกิริยาคูลความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงจะมีระบบควบคุม คือการปรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ส่งไปยังเตาเผา เพื่อให้พลังแก่เครื่องปฏิกรณ์ ส่วนเครื่องตกผลึกซึ่งต้องการปรับโหลดการทำความเย็น (Refrigeration Load) เพื่อควบคุมอุณหภูมิการไหลของสารป้อนที่เป็นตัวทำละลายเหลวไปยังเครื่องดูดซึม (Absorber) ทำการควบคุมโดยการปรับอัตราส่วนแก๊สที่เข้าสู่กระบวนการ เป็นต้น

ขั้นที่ 9 ทำออปติไมซ์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ และปรับปรุงความสามารถในการควบคุมเชิงพลวัต

หลังจากควบคุมกระบวนการให้สอดคล้องกับทุกความต้องการที่เป็นข้อกำหนดพื้นฐานแล้วโดยทั่วไปจะมืองศาอิสระที่เกี่ยวข้องกับวาล์วควบคุมที่ไม่ได้ใช้ในการควบคุม ค่าเป้าหมายในเครื่องควบคุมบางเครื่องที่สามารถปรับค่าได้ สิ่งเหล่านี้สามารถใช้เพื่อปรับโหมดสมรรถนะกระบวนการทางเศรษฐศาสตร์ที่ภาวะคงตัว (เช่น ลดพลังงานให้น้อยลง เพิ่มความสามารถเลือกให้เพิ่มขึ้น) หรือเพื่อปรับปรุงการตอบสนองทางพลวัต ตัวอย่างเช่น เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบคายความร้อนสามารถทำให้เย็นได้ด้วยน้ำหล่อเย็นในแจ็กเก็ต และน้ำเกลือที่ส่งไปยังเครื่องควบแน่นของสารรีฟลักซ์ การควบคุมอุณหภูมิที่ตำแหน่งนี้จะควบคุมได้อย่างรวดเร็วเมื่อใช้ตัวควบคุมเป็นกระแสน้ำเกลือ แต่ค่าใช้จ่ายในกระแสน้ำเกลือมีราคาแพงกว่าการใช้น้ำในการหล่อเย็นดังนั้นในการควบคุมระบบจำเป็นต้องพิจารณาผลทางเศรษฐศาสตร์ว่าคุ้มหรือไม่

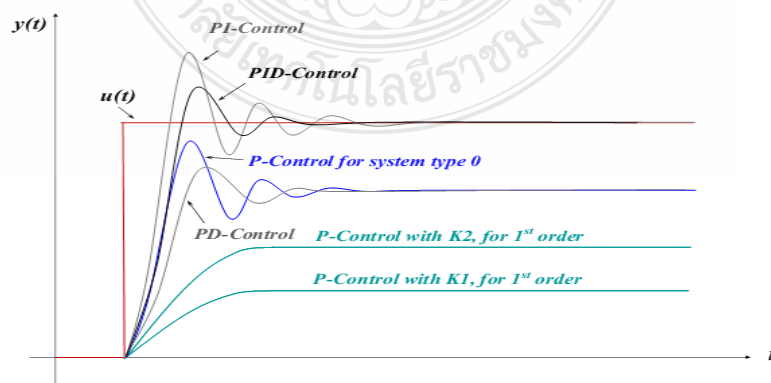
2.5 ตัวควบคุมแบบพีไอดี

ตัวควบคุมแบบพีไอดี [8] เป็นตัวควบคุมแบบพื้นฐานที่ใช้ทั่วไปในการควบคุมกระบวนการมี Mode การควบคุมหลากหลายเช่น P, PI หรือ PID เป็นต้น

1) P-Control จะมีผลของการควบคุมทำให้ค่าตัวแปรควบคุมเข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากขึ้น แต่ยังคงมีความแตกต่างของค่าที่สภาวะคงตัวใหม่กับค่าเป้าหมายอยู่ โดยค่าความแตกต่างนี้เรียกว่าค่า offset

2) PI-Control พบว่าผลการควบคุมทำให้ค่าตัวแปรควบคุมเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการควบคุมแบบ PI ช่วยกำจัดค่า offset ได้ แสดงว่าเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ 100%

3) PID-Control จะเห็นได้ว่าการควบคุมแบบ PID ทำให้การแกว่งของการตอบสนองของระบบลดลงทั้งยังราบเรียบขึ้นและเข้าสู่ค่าเป้าหมายที่ต้องการเร็วขึ้น



รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบการตอบสนองของโหมดการควบคุมต่างๆ [9]

วิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอดีของซีเลอร์-นิโคลด์ (Ziegler-Nichold Compensation)[10] เริ่มด้วยการเซตค่า K_I และ K_D เป็นศูนย์ จากนั้นจะเพิ่มค่า K_p ไปจนถึงค่า K_u (Critical Gain) ระบบจะเริ่มแกว่งให้วัดคาบของการแกว่ง P_u และให้ใช้ตารางด้านล่างเพื่อหาค่า (Gain) อื่นๆ

ตารางที่ 2.1 การคำนวณพารามิเตอร์ปรับจูนแบบซีเลอร์-นิโคลด์

	K_c	τ_I	τ_D
P control	$K_u/2.0$		
PI control	$K_u/2.2$	$P_u/1.2$	
PID control	$K_u/1.7$	$P_u/2.0$	$P_u/8$

2.5.1 แนวทางในการเลือกใช้ตัวควบคุมสำหรับกระบวนการต่างๆ

ออกแบบตัวควบคุมขั้นสูงสำหรับวงควบคุมที่สำคัญ เช่น อุณหภูมิและองค์ประกอบของสาร [11]

- 1) การควบคุมอัตราการไหล สำหรับวงควบคุมโดยทั่วไปใช้โหมดพีไอ ในการควบคุมในปี (1994) Frue hauf ได้แนะนำการปรับค่าพารามิเตอร์การควบคุม โดยให้ K_c อยู่ในช่วง (0.5-0.7) และ τ_I อยู่ในช่วง (0.2-0.3) นาที
- 2) ระดับของเหลว สำหรับวงควบคุมระดับของเหลวโดยทั่วไปใช้โหมดพี หรือ พีไอ ในการควบคุม
- 3) ความดัน สำหรับวงควบคุมความดันโดยทั่วไปจะใช้โหมดพีไอ ในการควบคุม
- 4) อุณหภูมิ สำหรับรูปการควบคุมอุณหภูมิเป็นการยากที่จะกำหนด เนื่องจากความหลากหลายของกระบวนการและความหลากหลายของอุปกรณ์การถ่ายเทความร้อน โดยทั่วไปจะใช้โหมดพีไอดีในการควบคุมเพื่อให้ได้ผลการตอบสนองที่เร็วกว่าโหมดพีไอ

5) สารองค์ประกอบ วงควบคุมสารองค์ประกอบ โดยทั่วไปจะใช้ในการควบคุม เช่นเดียวกับวงอุณหภูมิแต่จะมีข้อที่แตกต่างคือ

ก) noise ของเครื่องมือส่งผลกับอุปกรณ์

ข) Time delay ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวิเคราะห์และตัวอย่างอาจจะเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมทั้ง 2 ข้อนี้สามารถมีประสบการณ์มาแล้วถึงจะทำได้ดี

2.6 Cascade Control

การจัดระบบควบคุมในแบบ Cascade [12] ก็คือ การกำหนดให้ กระจายออกจากตัวควบคุม หนึ่งไปเป็นกระแสขาเข้า หรือ ค่าเป้าหมายให้กับตัวควบคุมอีกชุดหนึ่ง หรือจะมองในอีกมุมหนึ่งก็คือการแทรกระบบ Feedback Loop อันหนึ่งไว้ในระบบ Feedback Loop อีกอันหนึ่ง นั่นเอง Cascade Control จึงเหมาะที่จะใช้การควบคุมกระบวนการ ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างช้า หรือ กระบวนการที่มี ค่าคงที่เวลามาก ๆ เช่น การควบคุมอุณหภูมิ

2.7 การประเมินประสิทธิภาพการควบคุม

1. ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของค่าความคลาดเคลื่อน (Integral of Absolute value of Error, IAE)

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt$$

เกณฑ์ในการพิจารณาค่า IAE เป็นการประเมินประสิทธิภาพการควบคุมโดยมองภาพรวมของความผิดพลาดทั้งหมดในกระบวนการ

2. ผลรวมค่ากำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อน (Integral of Square of Error, ISE)

$$ISE = \int_0^{\infty} e^2(t) dt$$

เกณฑ์ในการพิจารณาค่า ISE เป็นการประเมินประสิทธิภาพการควบคุมในหน่วยการควบคุมที่มีค่า Overshoot สูงๆ เช่น การควบคุมในหน่วยของอุณหภูมิ เพราะจะเห็นค่าความผิดพลาดได้ชัดเจน

3. ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของค่าความคลาดเคลื่อนที่คิดน้ำหนักตามเวลาที่ผ่านไป (Integral of Time weighted Absolute value of Error, ITAE)[13]

$$ITAE = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt$$

เกณฑ์ในการพิจารณาค่า ITAE เป็นการประเมินประสิทธิภาพการควบคุมที่มีเวลามาเกี่ยวข้องด้วย โดยเมื่อเวลาผ่านไปค่าความผิดพลาดก็ยิ่งสูงขึ้นด้วย เหมาะสำหรับกระบวนการที่มีการเข้าสู่ค่าเป้าหมายช้าๆ

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

William L. Luyben [14] ได้ศึกษาการใช้การจำลองกระบวนการเชิงพลวัตสำหรับวิเคราะห์ความปลอดภัยของเครื่องปฏิกรณ์งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่ามีประโยชน์มากในการวิเคราะห์ปัญหา ด้านความปลอดภัยในกรณีที่มีเหตุการณ์ฉุกเฉิน ซึ่งการตอบสนองเชิงพลวัตของกระบวนการต่างๆ เมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้น อาจจะมีผลกระทบต่อการออกแบบระบบความปลอดภัยของกระบวนการ ตัวอย่างเช่น ความผิดพลาดของการจ่ายน้ำหล่อเย็นทำให้อุณหภูมิและความดันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว พิจารณาตัวแปรที่กำหนดที่ใช้เวลาเร็วที่สุดในการเข้าถึงเวลาวิกฤต (เวลาที่ระบบความปลอดภัยทำงาน) ซึ่งจะสามารถช่วยวิศวกรที่ออกแบบระบบความปลอดภัยได้อีกด้วย การใช้การจำลองแบบพลวัตเพื่อสำรวจปริมาณและเวลาตอบสนองด้านความปลอดภัย โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ CSTR ในเฟสของเหลวจะแสดงการตอบสนองที่ค่อนข้างช้าจะเกิดความผิดพลาดด้านความปลอดภัยได้ แบบก๊าซเฟสของเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อจะตอบสนองอย่างรวดเร็วโดยแสดงโครงสร้างการควบคุมความปลอดภัย ไม่ให้เกิดความผิดพลาดและปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

Muhammad A. Al-Arfaj และ William L. Luyben[15] ได้ศึกษาเปรียบเทียบการควบคุมที่อุดมคติและการกลั่นแบบมีปฏิริยาของเมทิลอะซีเตท การออกแบบและการควบคุมของเมทิลอะซีเตท โดยการกลั่นที่มีปฏิริยาได้รับการศึกษาที่สภาวะคงที่ที่จะพบว่าผลกระทบของ multiplicities ในระบบที่มีรูปเปิดยากที่จะควบคุมให้โครงสร้างของระบบการควบคุมมีความเสถียร ศึกษาโครงสร้างการควบคุม CS1 คือการเลือกรวมรูปและระบบไม่เป็นเชิงเส้นที่ไม่ร้ายแรงอย่างไรก็ตาม โครงสร้างนี้ต้องวิเคราะห์สามองค์ประกอบดังนั้นมีค่าน้อยกว่าในทางปฏิบัติโครงสร้างการควบคุม CS5 ซึ่งใช้การวัดองค์ประกอบเดียวเท่านั้นปฏิสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการออกแบบและการควบคุมเป็น การเปลี่ยนแปลงในระดับคอนเวอร์ชันการออกแบบคอนเวอร์ชันต่ำๆเป็นเชิงเส้นน้อยลงและควบคุมได้ง่ายกว่ามันเป็นสิ่ง

สำคัญที่จะต้องพิจารณาทั้งการออกแบบและการควบคุมร่วมกันในขั้นตอนการออกแบบการควบคุม กระบวนการของเมทิลอะซิเตทโดยใช้คอลัมน์ปฏิบัติการเป็นเรื่องยากมากถ้าโครงสร้าง CSI มีการนำมาใช้กับการออกแบบสูง

Kanika Phetyodsri [16] ได้ศึกษาโครงสร้างการควบคุมแบบแพลนท์ไวด์สำหรับ กระบวนการเมทานอล ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการหมุนเวียนสารและพลังงานนับเป็นปัญหาสำคัญในการ ออกแบบ โครงสร้างการควบคุมแพลนท์ไวด์เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมของโรงงานก๊าซสังเคราะห์จาก กระบวนการออกซิเดชันบางส่วนของชีวมวลสามารถนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิต เมทานอล กระบวนการเมทานอลถูกนำมาใช้ในการทดสอบการออกแบบ โครงสร้างการควบคุมแบบแพลนท์ ไวด์ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อน งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาโครงสร้างการควบคุม แบบแพลนท์ไวด์ของกระบวนการเมทานอลด้วยวิธีการของวงค์ตรี (2552) ร่วมกับโปรแกรม Aspen Plus และ Aspen Dynamics ในการเทียบกับงานวิจัยของไลเบนโดยการควบคุมที่ได้ออกแบบด้วยวิธี ของวงค์ตรีซึ่งมีการใช้ข่ายงานแลกเปลี่ยนความร้อน สามารถกำจัดตัวแปรรบกวนได้ดีมีผลตอบสนอง ต่อสิ่งรบกวนใกล้เคียงกับ โครงสร้างการควบคุมอ้างอิงของไลเบน โดยเปรียบเทียบจากปริพันธ์ของค่า คลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ อีกทั้งสามารถลดการใช้พลังงานและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้

Anton A. Kiss และคณะ [17] ได้ศึกษาการออกแบบและการควบคุมพฤติกรรมเชิงพลวัต จากพลังงานแบบอินทิเกรตของกระบวนการผลิตไบโอดีเซล วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อลด พลังงานสำหรับการผลิตไบโอดีเซล กระบวนการนี้ขึ้นอยู่กับปฏิริยาการกลั่นและการดูดซึมปฏิริยา ความร้อนแบบอินทิเกรตจะใช้ช่วยในการลดพลังงาน การแยกปฏิริยากระบวนการในงานนี้กำจัดการ ดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับตัวเร่งปฏิริยาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพมากและลดความต้องการพลังงานสำหรับ การผลิตไบโอดีเซล ผลที่สำคัญคือมีประสิทธิภาพของ โครงสร้างการควบคุมจะช่วยให้อัตราส่วนสาร ตั้งต้นป้องกันไม่ให้เกิดการร่อยแยกทะเลเมื่อเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน นำไปใช้ในการปรับปรุง การควบคุมและความยืดหยุ่นของระบบ ได้อย่างน่าทึ่งแม้ในระดับสูงของการรวมเหล่านี้แยก กระบวนการปฏิริยาสามารถควบคุมได้ดีภายใต้การรบกวนที่เฉพาะเจาะจงที่แสดงให้เห็นผลของการ จำลองแบบ Aspen plus

Weici Tang และคณะ [18] ได้ศึกษาการประเมินค่าการสัมผัสของมนุษย์ที่จะรับสไตรีน และเอทิลเบนซีน โดยประเมินจากการสัมผัสของมนุษย์ที่จะรับสไตรีนในการบริโภคอาหารที่มีการ สัมผัสทางการหายใจจากสไตรีน และประเมินจากความเสี่ยงในการสูดดมสไตรีนและเอทิล เบนซีนจากการบริโภคอาหาร ซึ่งที่พบส่วนใหญ่จะเป็นพวกวัสดุบรรจุภัณฑ์พอลิเมอร์คือประมาณ

ช่วง 18.2 - 55.2 มิลลิกรัมต่อคน บุคคลที่สัมผัสเอทิลเบนซินทุกวันคาดว่าจะอยู่ประมาณ 130 มิลลิกรัมต่อคน

Jeffrey D. Ward และคณะ [19] ได้ศึกษาพฤติกรรมเชิงพลวัตและการควบคุมกระบวนการที่มีการตกผลึกกระบวนการทางพฤติกรรมเชิงพลวัตกับตกผลึกจะมีลักษณะ วิธีการช่วยให้วิศวกรคาดการณ์อัตราการเกิดใน สภาวะคงที่ในระหว่างกระบวนการผลิต มีการเลือกตัวแปรสำคัญสำหรับการเลือกต่างๆของตัวแปรควบคุมจะได้ผลการวิเคราะห์ง่าย ๆ พิจารณาเฉพาะการดำเนินการกระบวนการ สภาวะคงที่ ในงานนี้เราใช้วิธีการและผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานก่อนหน้าในการพัฒนาโครงสร้างการควบคุมพฤติกรรมเชิงพลวัตและทดสอบ โครงสร้างการใช้อย่างเข้มงวดรูปแบบจำลองกระบวนการที่ใช้ไม่ใช่เชิงเส้นแบบไดนามิกส์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการผลิตโครงสร้างการควบคุมพฤติกรรมเชิงพลวัตสามารถทำงานได้และมีพฤติกรรมในสภาวะคงที่ของกระบวนการแบบไดนามิกส์จะมีความสอดคล้องกับการคาดการณ์ของการทำงานก่อนหน้า

Hiroya Seki และคณะ [20] ได้ศึกษาการควบคุมการพฤติกรรมเชิงพลวัตในการออกแบบระบบการทำงานของโมโนเมอร์ไวโนลอะซิเตทมาตรฐานของโรงงานผลิต งานวิจัยนี้เน้นการออกแบบระบบการควบคุมของไวโนลอะซิเตทโมโนเมอร์ของโรงงานผลิตที่ได้รับการแนะนำว่าเป็นปัญหา มาตรฐานการควบคุมพฤติกรรมเชิงพลวัตของไลเบน การวิเคราะห์เชิงเส้นของรูปแบบง่ายซึ่งรวมถึงพฤติกรรมเครื่องปฏิกรณ์ที่มีรายละเอียดและการแยกแยะกับก๊าซและของเหลวรีไซเคิลจะถูกดำเนินการเพื่อให้ใช้ระบุสภาพการใช้งานที่ดีที่สุดและการพัฒนาลักษณะในการออกแบบระบบควบคุมการสร้างลำดับขั้นเป็นการแสดงถึงสภาพการใช้งานที่ดีที่สุดซึ่งผ่านการตรวจสอบการจำลองในรูปแบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น

A.M. Saillenfait และคณะ [21] ได้ศึกษาความเป็นพิษพัฒนาการของเอทิลเบนซินแบบ ออโร แมทดำ พาราไซลีนและไซลีนเทคนิคในหนูจากการสูดดม ในการศึกษานี้ได้รับการออกแบบมา เพื่อประเมินความเป็นพิษของการพัฒนาของเอทิลเบนซินไซลีนและไอโซเมอร์ไซลีนเทคนิคในหนูส ปรากฏหลังจากสูดดมมาตลอดระยะเวลาที่เป็นตัวอ่อนและทารกในครรภ์ของหนูสปรากฏ เลือกรูการสูดดม เพราะมันเป็นทางที่มีแนวโน้มในการสัมผัสสารเคมีและผู้บริโภค ผลการศึกษาเห็นได้ว่าความ เป็นพิษของมารดาที่ 1000 และ 2000 ppm จากสารเคมีทั้งหมดจะมีพิษต่อทารกในครรภ์ที่ 1000 และ 2000 ppm จากการเกิดในตัวของมารดาที่เป็นพิษผลกระทบ นอกจากนี้ยังมีข้อบ่งชี้เล็กน้อยของการ เจริญเติบโตของทารกในครรภ์ปัญญาอ่อนที่ไซลีนออโรไซลีนและทางเทคนิค 500 ppm เห็นได้จาก น้ำหนักตัวที่ลดลงของทารกในครรภ์

J.L. Sotelo และคณะ [22] ได้ศึกษาของเหลวอุณหภูมิวิกฤตในปฏิกิริยาของเอทิลเบนซีน เมื่อ ZSM-5 ได้ทำการศึกษาในช่วงกว้างของอุณหภูมิและความดันรวมในสภาวะวิกฤตเพื่อตรวจสอบผลกระทบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของการเกิดปฏิกิริยากับตัวแปร โดยมุ่งเน้นที่ความได้เปรียบที่มีศักยภาพของภาวะวิกฤต ในปฏิกิริยาของเอทิลเบนซีนมีการเกิดปฏิกิริยาอย่างรุนแรงขึ้นอยู่กับความดันและอุณหภูมิจากผลของตัวแปรในปฏิกิริยาความหนาแน่นและการเกิดปฏิกิริยาจลนศาสตร์ ความดันมีผลกระทบในเชิงบวกต่อเอทิลเบนซีนจากการเพิ่มหนาแน่น ผลกระทบของอุณหภูมิขึ้นอยู่กับช่วงความดัน ที่ความดันสูงอุณหภูมิมีผลกระทบที่เห็นได้ชัดเมื่อการเคลื่อนไหวย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกับปฏิกิริยา

N. Mimura และคณะ [23] ได้ศึกษาดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนกับเหล็กออกไซด์ตามตัวเร่งปฏิกิริยาในการเกิดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พลังงานที่จำเป็นสำหรับกระบวนการใหม่โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการเกิดไฮโดรจีของเอทิลเบนซีนสไตรีนในการผลิต ซึ่งจะต่ำกว่ากระบวนการเชิงพาณิชย์ในปัจจุบันโดยใช้น้ำ ในงานวิจัยนี้รายงานผลของการคำนวณพลังงานที่จำเป็นในการผลิตสไตรีนในการเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการเชิงพาณิชย์ในปัจจุบันที่ใช้น้ำส่วนเกินและการเกิดกระบวนการใหม่โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และบางส่วนของผลการทดลองกระบวนการที่ดีไฮโดรจี พลังงานที่จำเป็นสำหรับกระบวนการเชิงพาณิชย์ในปัจจุบันโดยใช้น้ำและสำหรับกระบวนการใหม่โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์คาดว่าจะอยู่ 1.5×10^9 Cal / t-styrene และ 6.3×10^8 Cal / t-styrene ตามลำดับ ดังนั้นกระบวนการใหม่ที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์จะประหยัดพลังงานกระบวนการที่ใช้ฟูออรีน แคลเซียม อลูมิเนียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มีแนวโน้มของไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนในคาร์บอนไดออกไซด์

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอแผนการดำเนินงาน กระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน ขั้นตอนการดำเนินงานโดยแสดงค่ากระแสเริ่มต้นการผลิต การจับคู่ตัวแปรปรับตัวแปรควบคุมของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน

3.1 แผนการดำเนินการวิจัย

- 3.1.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน และรวบรวมข้อมูล
- 3.1.2 ศึกษาการใช้โปรแกรม Aspen Plus และ Aspen Dynamics
- 3.1.3 จำลองกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีนในสภาวะคงตัวและสภาวะพลวัต
- 3.1.4 ปรับพารามิเตอร์การควบคุมให้มีประสิทธิภาพการควบคุมมากขึ้น
- 3.1.5 ปรับปรุงโครงสร้างการควบคุมแบบใหม่สำหรับโรงงานผลิตเอทิลเบนซีน
- 3.1.6 เปรียบเทียบโครงสร้างการควบคุม
- 3.1.7 สรุปผลจัดทำรูปเล่ม

ตารางที่ 3.1 แสดงแผนการดำเนินการวิจัย

แผนการดำเนินงาน	2556			2557		
	มิ.ย.-ก.ค.	ส.ค.-ก.ย.	ต.ค.-ธ.ค.	ม.ค.-เม.ย.	พ.ค.-ส.ค.	ก.ย.-ธ.ค.
1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน และรวบรวมข้อมูล						
2. ศึกษาการใช้โปรแกรม Aspen Plus และ Aspen Dynamics						
3. จำลองกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีนในสภาวะคงตัวและสภาวะพลวัต						

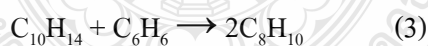
ตารางที่ 3.1 แสดงแผนการดำเนินการวิจัย

แผนการดำเนินงาน	2556			2557		
	มิ.ย.-ก.ค.	ส.ค.-ก.ย.	ต.ค.-ธ.ค.	ม.ค.-เม.ย.	พ.ค.-ส.ค.	ก.ย.-ธ.ค.
4.ปรับพารามิเตอร์การควบคุมให้มีประสิทธิภาพการควบคุมมากขึ้น			-----			
5.ปรับปรุงโครงสร้างการควบคุมแบบใหม่สำหรับโรงงานผลิตเอทิลเบนซีน				-----	-----	
6.เปรียบเทียบโครงสร้างการควบคุม					-----	-----
7.สรุปผลจัดทำรูปเล่ม						-----

----- แสดงแผนการดำเนินงาน _____ แสดงการดำเนินงานจริง

3.2 กระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน

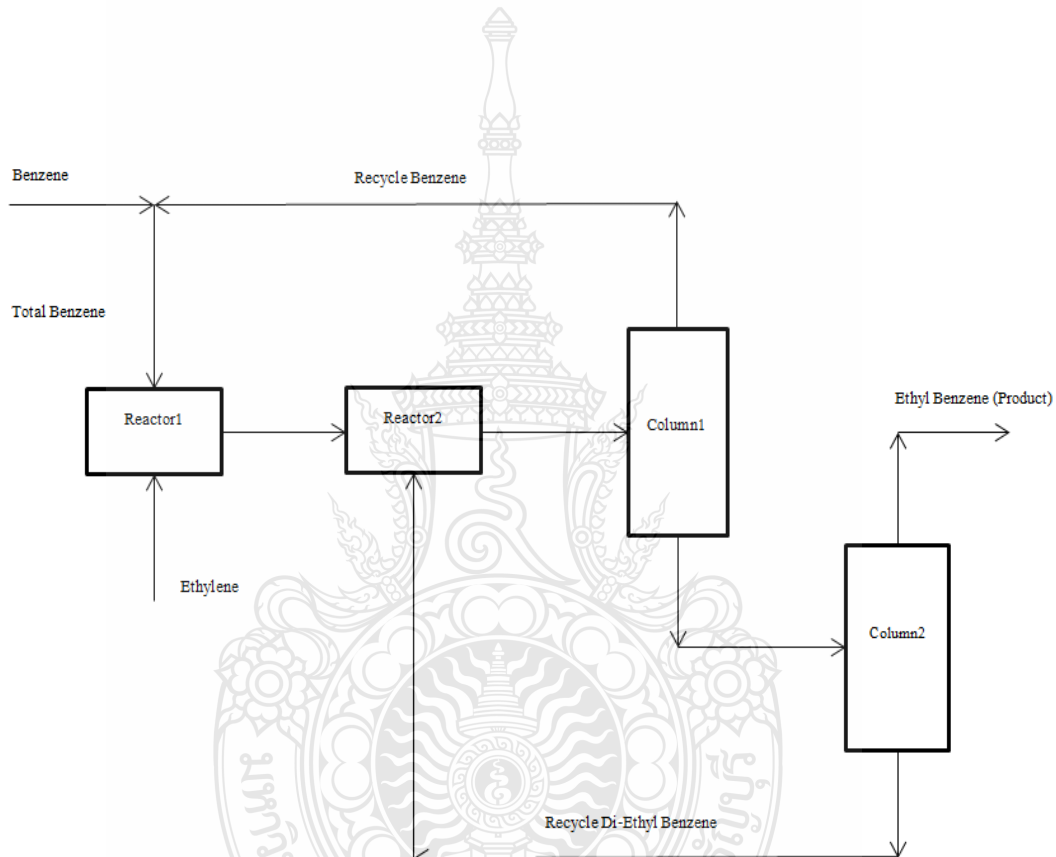
กระบวนการผลิตเอทิลเบนซีนเป็นกระบวนการสำคัญสำหรับโรงงานผลิตสารเคมี ซึ่งกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีนมีการเกิดปฏิกิริยา 3 ปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ดังนี้



รูปที่ 3.1 สมการปฏิกิริยาการเกิดเอทิลเบนซีน

จาก 3 สมการการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน ปฏิกิริยาแรกเบนซีนทำปฏิกิริยากับเอทิลีนได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอทิลเบนซีน ปฏิกิริยาที่สองเอทิลีนทำปฏิกิริยากับเอทิลเบนซีนได้ผลิตภัณฑ์เป็นไดเอทิลเบนซีน ไดเอทิลเบนซีนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการให้มีในกระบวนการผลิต

เอทิลเบนซีน และปฏิกิริยาสุดท้ายเป็นปฏิกิริยาระหว่างไดเอทิลเบนซีนกับเบนซีนได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอทิลเบนซีน มีการรีไซเคิลเบนซีนกับไดเอทิลเบนซีนกลับมาใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการ ในขั้นตอนการแยกใช้หอกลั่น 2 ตัวเพื่อแยกเอทิลเบนซีนออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ หอแรกเป็นการแยกเบนซีนกลับมาเป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา หอที่สองเป็นการแยกไดเอทิลเบนซีนกลับมาทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์และแยกผลิตภัณฑ์เป็นเอทิลเบนซีน



รูปที่ 3.2 แผนภาพโครงสร้างกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน

3.3 ขั้นตอนการวิจัย

ใช้โปรแกรม Aspen Plus ในการจำลองกระบวนการที่สภาวะคงตัวซึ่งในกระบวนการมีเครื่องปฏิกรณ์ 2 เครื่อง หอกลั่น 2 หอ กระแสรีไซเคิล 2 กระแส เป็นต้น ซึ่งในโปรแกรมการสร้างแบบจำลองต้องใช้ข้อมูลพื้นฐานที่เหมาะสมในการจำลองกระบวนการ เช่น อุณหภูมิ ความดัน

อัตราส่วนเชิงโมลของสาร ปฏิกริยาที่ใช้ในกระบวนการ (ดังตารางที่ 3.2, 3.3) โดยใช้ข้อมูลอ้างอิง พื้นฐานจากงานวิจัยของ ไลเบน

ตารางที่ 3.2 ค่ากระแสของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีนอ้างอิงงานวิจัยของ ไลเบน

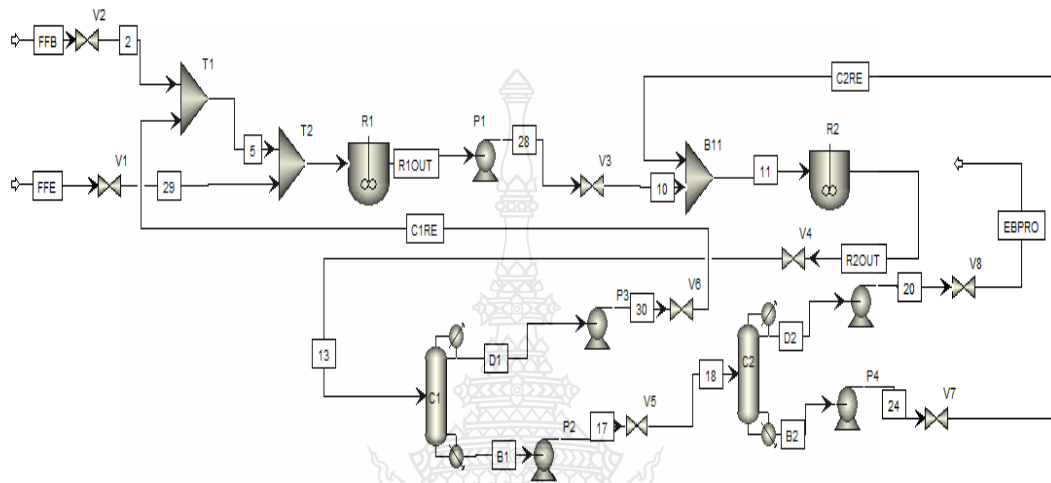
Stream	Compositions				Conditions		
	Ethylene	Benzene	Ethyl benzene	Diethyl benzene	T (K)	P (atm)	Total mole flow kmol/h
FFE	1	0	0	0	320	11	360.6
FFB	0	1	0	0	320	11	360.6
R1OUT	0.0039	0.6568	0.2891	0.0501	434	20	1696
R2OUT	0.0001	0.5146	0.3354	0.1500	432	19	1882
C1RE	0.0001	0.9989	0.001	0	380.8	2	969.4
C2RE	0	0	0.001	0.999	496	5	282.2
EBPro	0	0.0005	0.999	0.0005	439.7	2	630.6

ตารางที่ 3.3 ค่าไคเนติกส์ของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน

	K1	K2	K3
k	1.528×10^6	2.778×10^7	1000
E (cal/mol)	17,000	20,000	15,000
Concentration terms (kmol/m ³)	$C_E C_B$	$C_E C_{EB}$	$C_B C_{DEB}$

จำลองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม Aspen Plus (ดังรูปที่ 3.4) และใช้โปรแกรม Aspen Dynamics ในการจำลองกระบวนการที่สภาวะพลวัตซึ่งใช้ในการควบคุมกระบวนการ จากเอกสารอ้างอิงของ ไลเบน และใช้โปรแกรม Aspen Dynamics ในการจำลองที่สภาวะพลวัต เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมแบบดั้งเดิม (CS0) การจับคู่ตัวแปรปรับ และตัวแปรควบคุม พร้อมทั้งปรับค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างการควบคุม และลักษณะการควบคุม (ดังตาราง 3.4) ทำการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมโดยปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมสำหรับวง ควบคุมต่างๆในโครงสร้างการควบคุมแบบดั้งเดิมเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการควบคุมที่ดีขึ้น (CS0M)

โดยค่าการปรับพารามิเตอร์ จากนั้นปรับปรุงการควบคุมอัตราการไหลของกระแสขาออกจากเครื่องปฏิกรณ์ อุณหภูมิในหอกลั่นทั้ง 2 หอ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ปรับปรุง (CS1) ให้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 3.3 โครงสร้างกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีนโดยใช้โปรแกรม Aspen Plus

ตารางที่ 3.4 การจับคู่ตัวแปรปรับและตัวแปรควบคุม ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมและลักษณะตัวควบคุมของ (CS0)

ตัวแปรควบคุม	ตัวแปรปรับ	ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม		Controller action
		Controller Gain (K _c)	Integral time (τ_I) (min)	
Flow Ethylene	Feed Flowrate	0.5	0.3	Reverse
Flow Benzene	Feed Flowrate	0.5	0.3	Reverse
Reactor Temperature	Cooling water to the jacket	15	26	Reverse
Reactor1 Level	R1out Flowrate	5	-	Direct

ตัวแปรควบคุม	ตัวแปรปรับ	ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม		Controller action
		Controller Gain (K_c)	Integral time (τ_I) (min)	
Reactor2 Level	R2out Flowrate	5	-	Direct
C ₁ Column Pressure	Condenser CW (C ₁ Column)	20	12	Reverse
C ₂ Column Pressure	Condenser CW (C ₂ Column)	20	12	Reverse
C ₁ Base Level	C ₁ Bottom Flowrate	2	-	Direct
C ₂ Base Level	C ₂ Bottom Flowrate	2	-	Direct
C ₁ Reflux Drum Level	C ₁ Distillate Rate	2	-	Direct
C ₂ Reflux Drum Level	C ₂ Distillate Rate	2	-	Direct
C ₁ Temperature State 14	Reboiler Heat Input	0.54	13	Reverse
C ₂ Temperature State 20	Reboiler Heat Input	1.5	9.2	Reverse



บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและวิเคราะห์

งานวิจัยนี้เสนอการดำเนินงานและการวิเคราะห์โครงสร้างการผลิตเอทิลเบนซีน (CS0), (CS0M), (CS1) และ (CS2) โดยมีการปรับค่าพารามิเตอร์การควบคุม การปรับโครงสร้างการควบคุม ผลการตอบสนอง การประเมินประสิทธิภาพการควบคุมและวิเคราะห์ผลการตอบสนอง

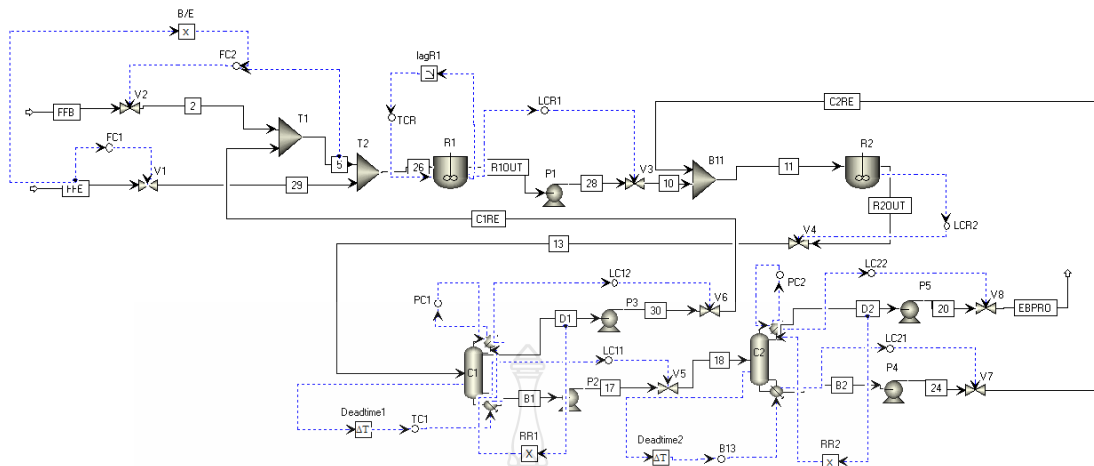
4.1 การปรับค่าพารามิเตอร์การควบคุม

นำโครงสร้างการควบคุมแบบดั้งเดิม (CS0) มาปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ใหม่ (CS0M) ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ K_c กับ τ_I จาก (CS0) เป็น (CS0M)

Controller	CS0		CS0M	
	Controller Gain (K_c)	Integral time (τ_I) (min)	Controller Gain (K_c)	Integral time (τ_I) (min)
TCR	15	26	2	10
TC1	0.54	13	1.4	15
TC2	1.5	9.2	3.3	10

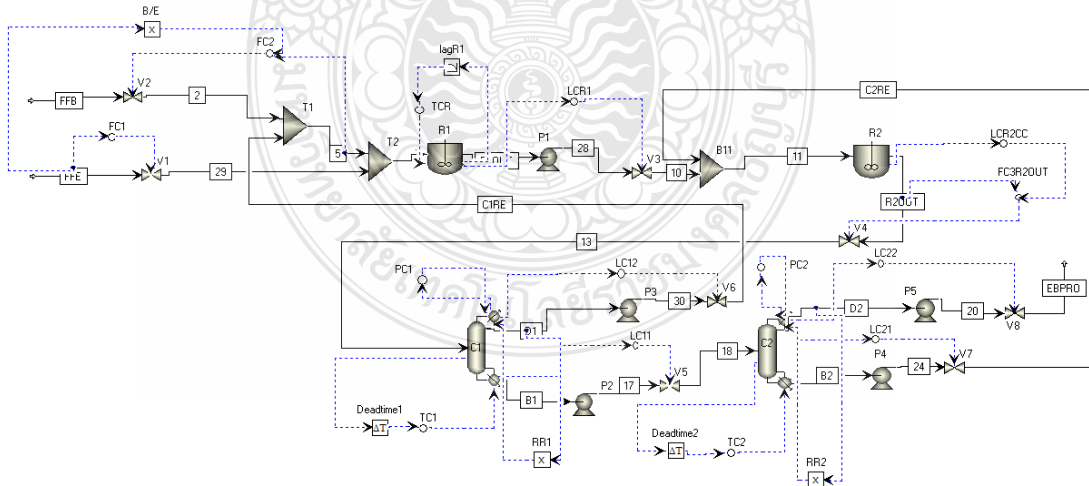
จากตารางที่ 4.1 การปรับค่าพารามิเตอร์ K_c กับ τ_I จาก (CS0) เป็น (CS0M) ปรับพารามิเตอร์ตัวควบคุม TCR อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ตัวแรก ปรับพารามิเตอร์ตัวควบคุม TC1 อุณหภูมิในหอกถันตัวแรกและปรับพารามิเตอร์ตัวควบคุม TC2 อุณหภูมิในหอกถันตัวที่ 2



รูปที่ 4.1 โครงสร้างการควบคุมของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (CS0), (CS0M)

4.2 การปรับโครงสร้างการควบคุม

ปรับปรุงโครงสร้างการควบคุม ที่ปรับค่าพารามิเตอร์ใหม่ (CS0M) เป็นโครงสร้างการควบคุมใหม่ (CS1) โดยการเพิ่ม Cascade control ที่ระดับของเหลวทางออกจากเครื่องปฏิกรณ์ตัวที่สองเพื่อแก้ปัญหการควบคุมระดับของเหลว ก่อนเข้าสู่หอกลั่นตัวแรก หลังจากนั้นก็ปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อให้เหมาะสมกับโครงสร้างการควบคุมนี้ (ดังรูปที่ 4.2)



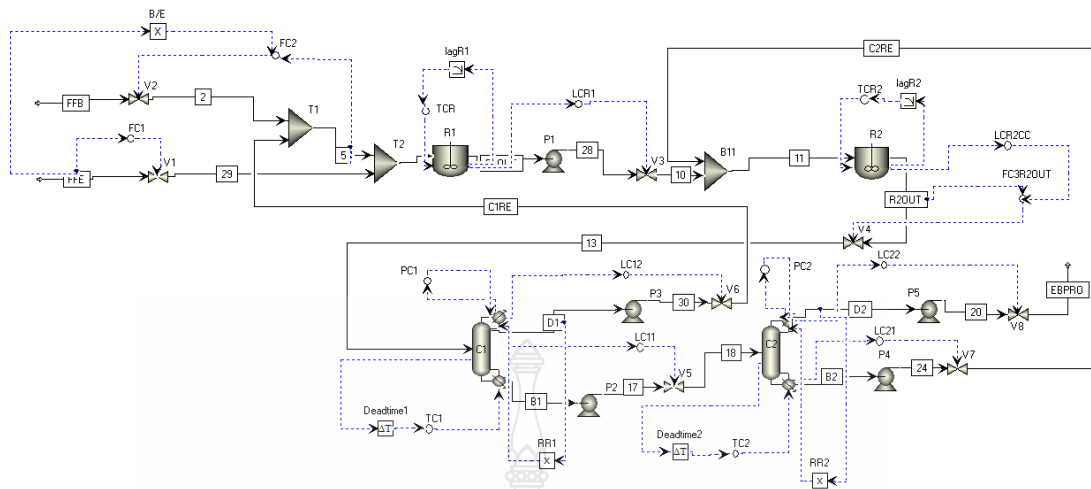
รูปที่ 4.2 โครงสร้างการควบคุมของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (CS1)

จากตารางที่ 4.1 การปรับค่าพารามิเตอร์ K_c กับ τ_I จาก (CS0M) เป็น (CS1) ปรับพารามิเตอร์ตัวควบคุม TC1 อุณหภูมิในหอกลั่นตัวแรกและปรับพารามิเตอร์ตัวควบคุม TC2 อุณหภูมิในหอกลั่นตัวที่ 2

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ K_c กับ τ_I จาก (CS0M) เป็น (CS1)

Controller	CS0M		CS1	
	Controller Gain (K_c)	Integral time (τ_I) (min)	Controller Gain (K_c)	Integral time (τ_I) (min)
TC1	1.4	15	2.5	15
TC2	3.3	10	4	10
LCR2CC	5	-	5	1
FC3R2OUT	-	-	0.5	-

ปรับปรุงโครงสร้างการควบคุมใหม่ (CS2) โดยการติดตั้งตัวควบคุมอุณหภูมิ (Loop Temperature) ที่เครื่องปฏิกรณ์ตัวที่สอง (ดังรูป 4.3)



รูปที่ 4.3 โครงสร้างการควบคุมของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (CS2)

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ K_c กับ τ_I จาก (CS1) เป็น (CS2)

Controller	CS1		CS2	
	Controller Gain (K_c)	Integral time (τ_I) (min)	Controller Gain (K_c)	Integral time (τ_I) (min)
TCR2	-	-	2	10
TC1	1.4	15	2.5	15
TC2	3.3	10	4	10

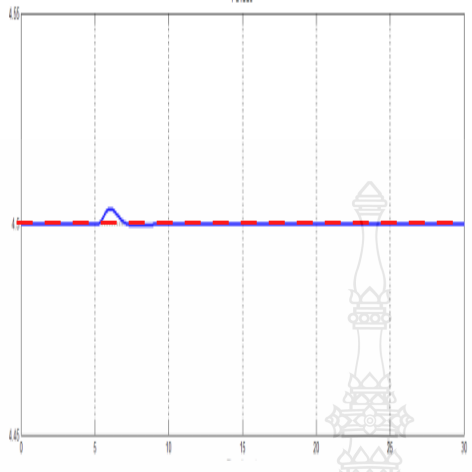
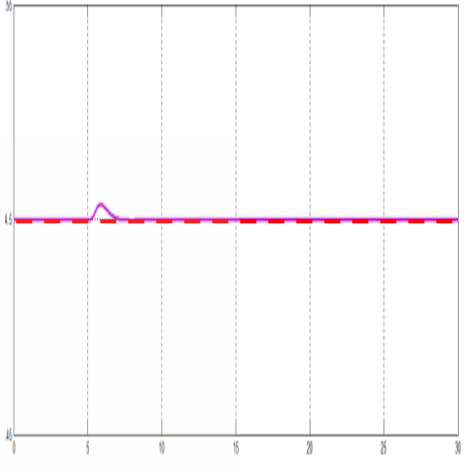
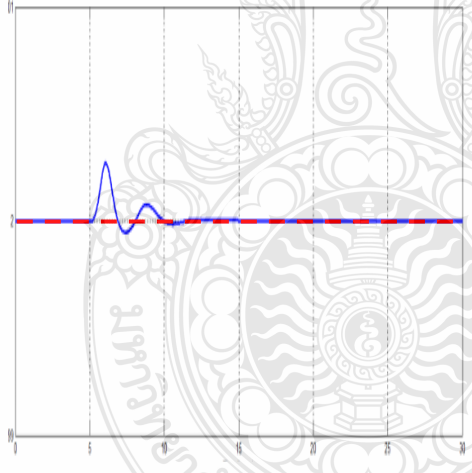
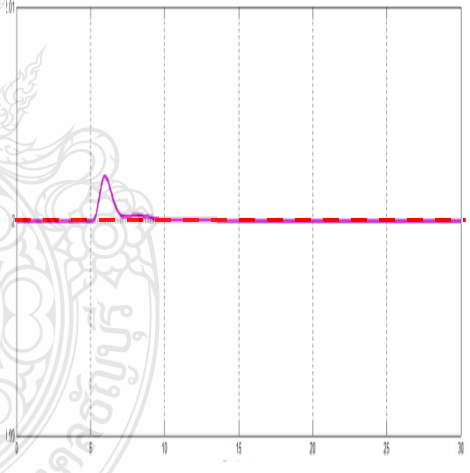
4.3 ผลการตอบสนอง

เปรียบเทียบผลการตอบสนองในการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมระบบโดยการเพิ่มสารขาเข้าไป 20% ระหว่างการควบคุมแบบดั้งเดิม (CS0) กับการควบคุมโดยการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ใหม่ (CS0M)

ตารางที่ 4.4 ผลการตอบสนองการควบคุมระบบของกระแสน้ำเข้าเพิ่ม 20% ของ (CS0) และ (CS0M)

Controller	CS0	CS0M
FFB SP = 630.6	<p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 15258</p>	<p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 15058</p>
FFE SP = 630.6	<p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 1889.6</p>	<p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 1889.4</p>

ตารางที่ 4.4 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม 20% ของ (CS0) และ (CS0M)

Controller	CS0	CS0M
PC1 SP = 4.5	 <p data-bbox="443 929 587 963">IAE = 0.0022</p>	 <p data-bbox="938 929 1082 963">IAE = 0.0021</p>
PC2 SP = 2	 <p data-bbox="443 1550 587 1583">IAE = 0.0020</p>	 <p data-bbox="938 1550 1082 1583">IAE = 0.0015</p>

ตารางที่ 4.4 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม 20% ของ (CS0) และ (CS0M)

Controller	CS0	CS0M
TCR1 SP = 433.7	<p>TCR1 (K)</p> <p>IAE = 0.0781</p>	<p>TCR1 (K)</p> <p>IAE = 0.0224</p>
TCR2 SP = 432	<p>TCR2 (K)</p> <p>IAE = 62.7410</p>	<p>TCR2 (K)</p> <p>IAE = 62.6757</p>

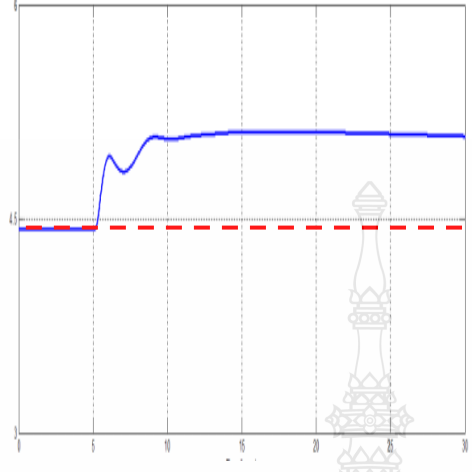
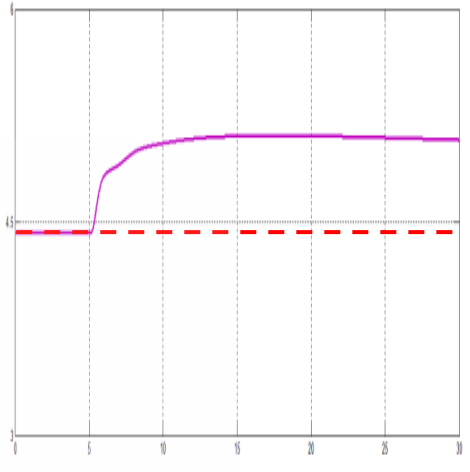
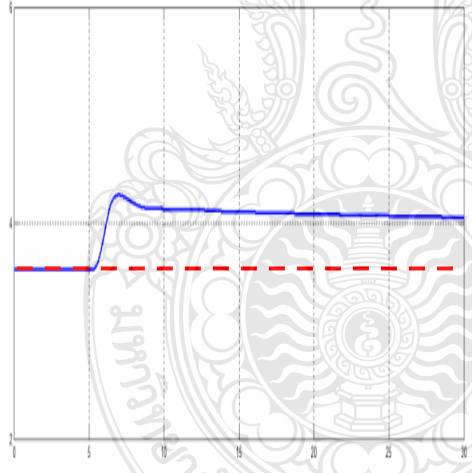
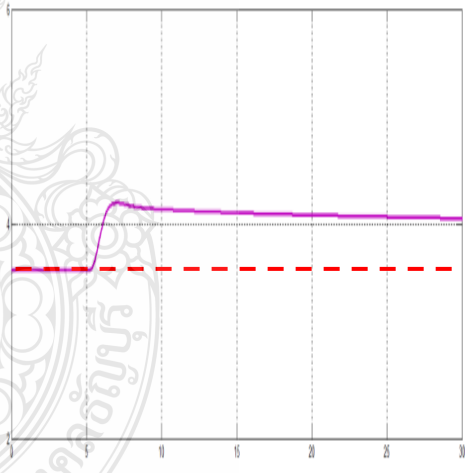
ตารางที่ 4.4 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม 20% ของ (CS0) และ (CS0M)

Controller	CS0	CS0M
TC1 SP = 475.58	<p>IAE = 15.9691</p>	<p>IAE = 6.1775</p>
TC2 SP = 492.79	<p>IAE = 4.5172</p>	<p>IAE = 1.4980</p>

ตารางที่ 4.4 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม 20% ของ (CS0) และ (CS0M)

Controller	CS0	CS0M
LCR1 SP = 6.9268	<p>LCR1 (m)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 3.6121</p>	<p>LCR1 (m)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 3.6108</p>
LCR2 SP = 6.9268	<p>LCR2 (m)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 3.8978</p>	<p>LCR2 (m)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 3.8959</p>

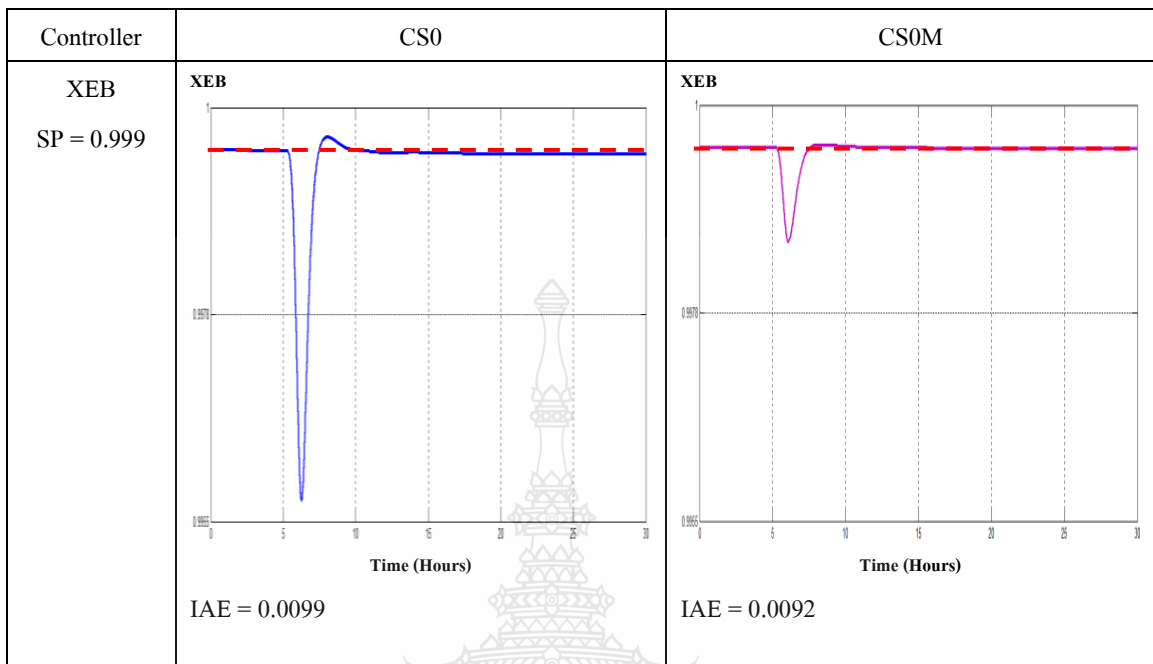
ตารางที่ 4.4 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสน้ำเข้าเพิ่ม 20% ของ (CS0) และ (CS0M)

Controller	CS0	CS0M
LC11 SP = 4.425	<p data-bbox="443 394 523 421">LC11 (m)</p>  <p data-bbox="628 891 734 913">Time (Hours)</p> <p data-bbox="443 931 584 958">IAE = 9.5363</p>	<p data-bbox="938 394 1018 421">LC11 (m)</p>  <p data-bbox="1123 891 1228 913">Time (Hours)</p> <p data-bbox="938 931 1078 958">IAE = 9.5331</p>
LC12 SP = 3.575	<p data-bbox="443 1014 523 1041">LC12 (m)</p>  <p data-bbox="628 1512 734 1534">Time (Hours)</p> <p data-bbox="443 1552 584 1579">IAE = 7.5467</p>	<p data-bbox="938 1014 1018 1041">LC12 (m)</p>  <p data-bbox="1123 1512 1228 1534">Time (Hours)</p> <p data-bbox="938 1552 1078 1579">IAE = 7.5403</p>

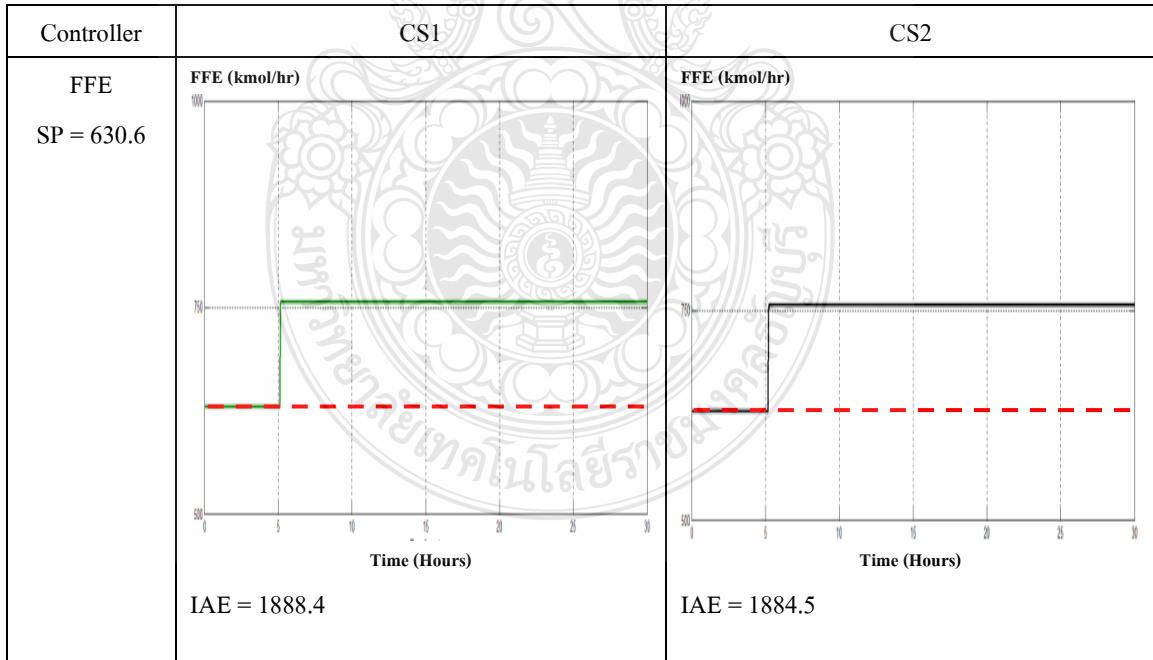
ตารางที่ 4.4 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม 20% ของ (CS0) และ (CS0M)

Controller	CS0	CS0M
LC21 SP = 3.33	<p>LC21 (m)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 11.1305</p>	<p>LC21 (m)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 11.1273</p>
LC22 SP = 3.25	<p>LC22 (m)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 7.5938</p>	<p>LC22 (m)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 7.5894</p>

ตารางที่ 4.4 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม 20% ของ (CS0) และ (CS0M)



ตารางที่ 4.5 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม 20% ของ (CS1) และ (CS2)



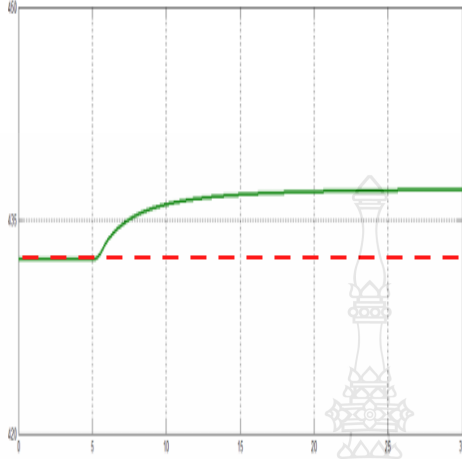
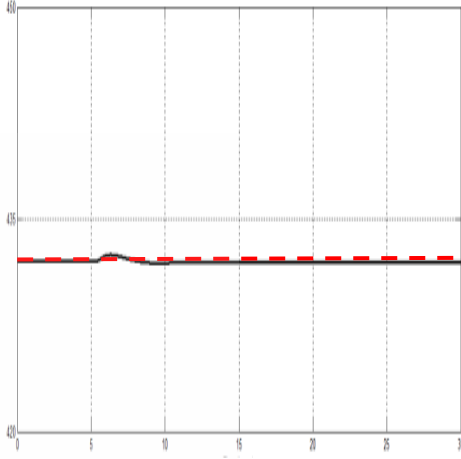
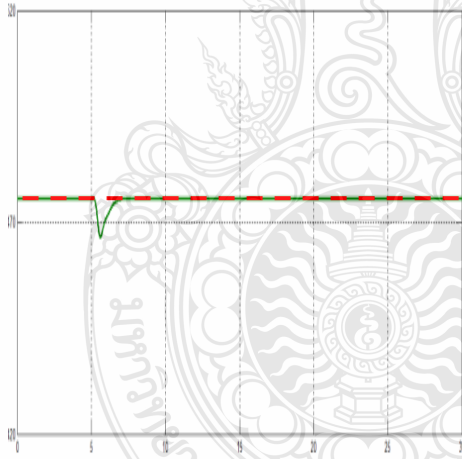
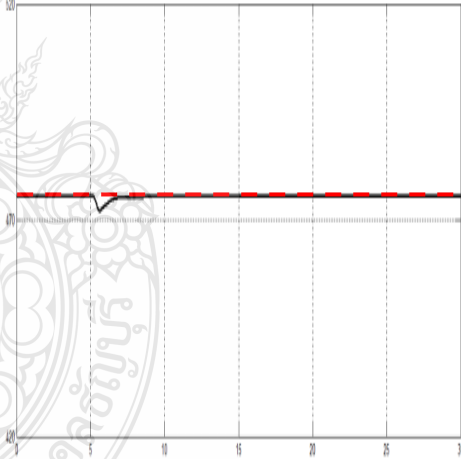
ตารางที่ 4.5 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม 20% ของ (CS1) และ (CS2)

Controller	CS1	CS2
<p>FFB</p> <p>SP = 630.6</p>	<p>FFB (kmol/hr)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 15082</p>	<p>FFB (kmol/hr)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 15083</p>
<p>PC1</p> <p>SP = 4.5</p>	<p>Pressure (bar)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.0019</p>	<p>Pressure (bar)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.0012</p>

ตารางที่ 4.5 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม 20% ของ (CS1) และ (CS2)

Controller	CS1	CS2
PC2 SP = 2	<p>Pressure (bar)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.0015</p>	<p>Pressure (bar)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.0007</p>
TCR1 SP = 433.7	<p>TCR1 (K)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.0288</p>	<p>TCR1 (K)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.0042</p>

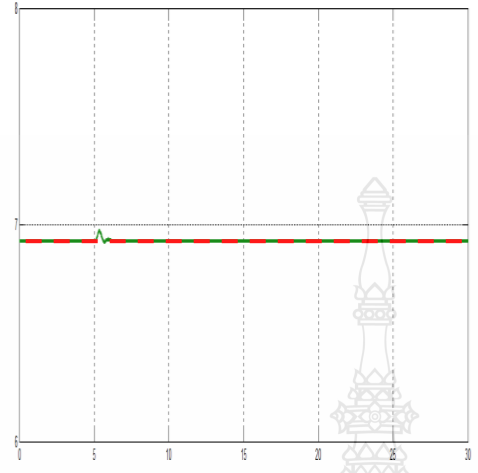
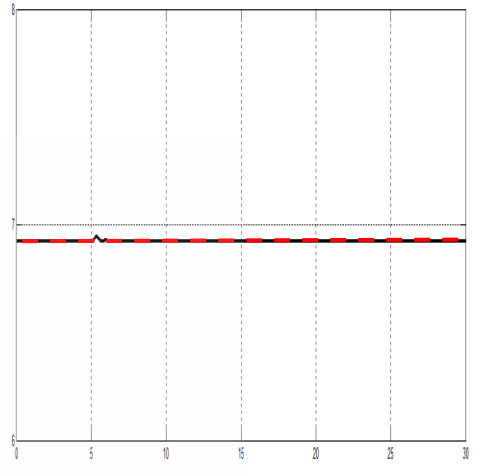
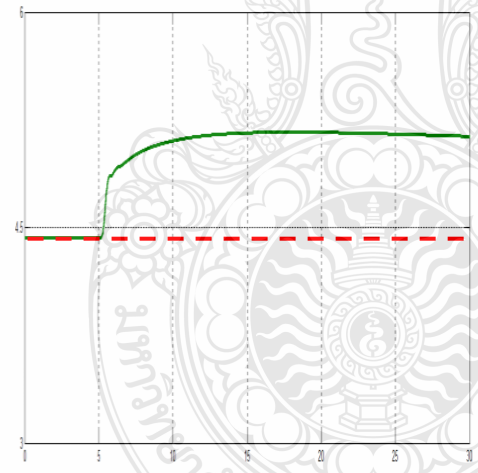
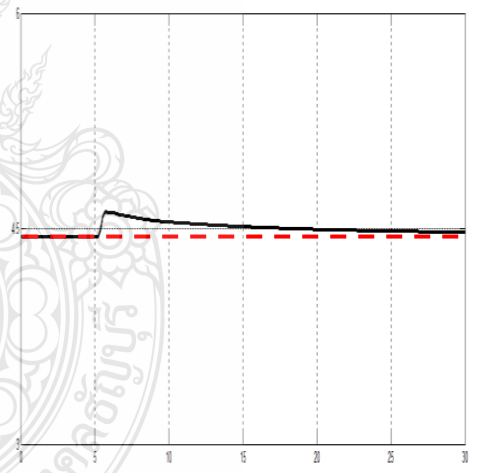
ตารางที่ 4.5 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม 20% ของ (CS1) และ (CS2)

Controller	CS1	CS2
<p>TCR2 SP = 432</p>	<p>TCR2 (K)</p>  <p>IAE = 69.4792</p>	<p>TCR2 (K)</p>  <p>IAE = 0.7695</p>
<p>TC1 SP = 475.58</p>	<p>TC1 (K)</p>  <p>IAE = 3.4506</p>	<p>TC1 (K)</p>  <p>IAE = 1.660</p>

ตารางที่ 4.5 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม 20% ของ (CS1) และ (CS2)

Controller	CS1	CS2
TC2 SP = 492.79	<p>TC2 (K)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 1.2384</p>	<p>TC2 (K)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.4532</p>
LCR1 SP = 6.9268	<p>LCR1 (m)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 3.6129</p>	<p>LCR1 (m)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 1.1529</p>

ตารางที่ 4.5 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม 20% ของ (CS1) และ (CS2)

Controller	CS1	CS2
<p>LCR2</p> <p>SP = 6.9268</p>	<p>LCR2 (m)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.0086</p>	<p>LCR2 (m)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.0037</p>
<p>LC11</p> <p>SP = 4.425</p>	<p>LC11 (m)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 10.3267</p>	<p>LC11 (m)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 1.2747</p>

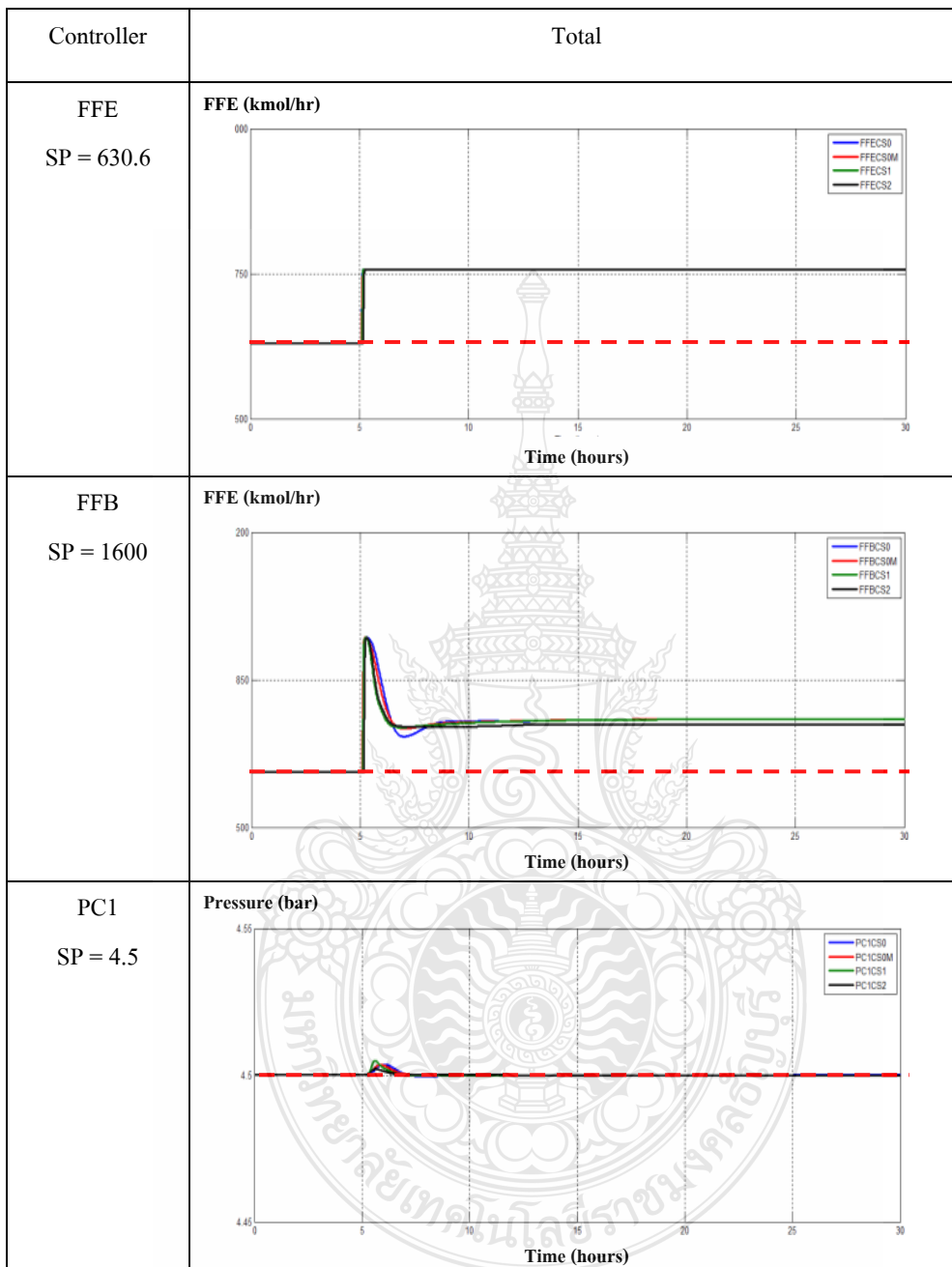
ตารางที่ 4.5 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม 20% ของ (CS1) และ (CS2)

Controller	CS1	CS2
LC12 SP = 3.575	<p>LC12 (m)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 7.5974</p>	<p>LC12 (m)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 4.5659</p>
LC21 SP = 3.33	<p>LC21 (m)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 15.0639</p>	<p>LC21 (m)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.8754</p>

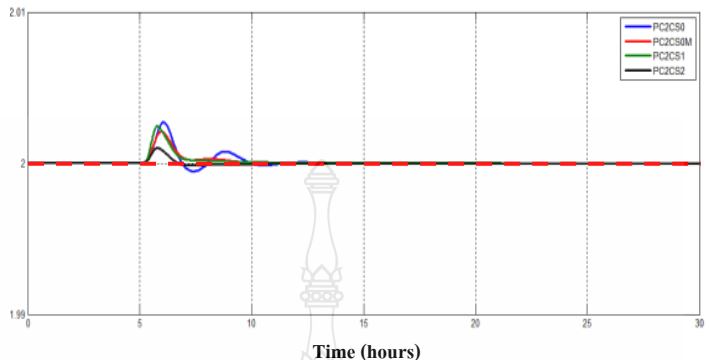
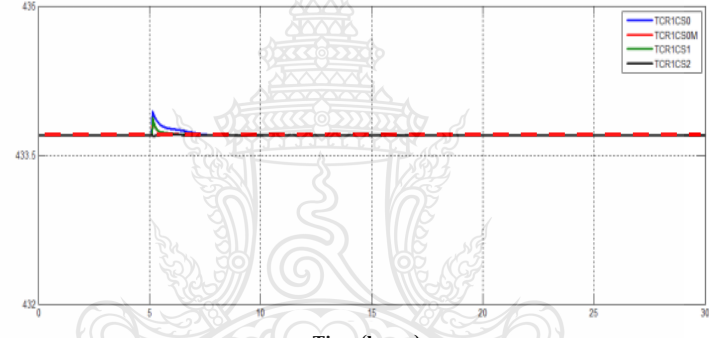
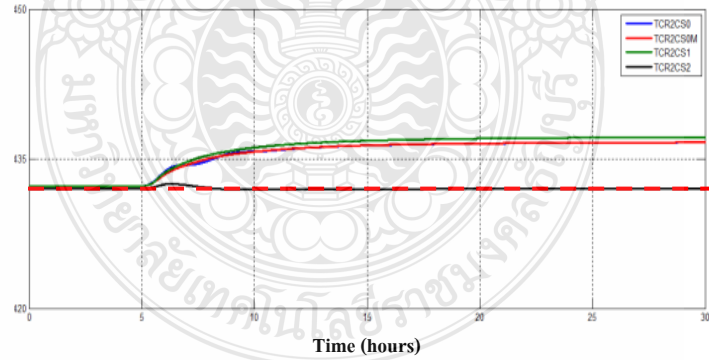
ตารางที่ 4.5 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม 20% ของ (CS1) และ (CS2)

Controller	CS1	CS2
<p>LC22</p> <p>SP = 3.25</p>	<p>LC22 (m)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 7.5891</p>	<p>LC22 (m)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 1.1237</p>
<p>XEB</p> <p>SP = 0.999</p>	<p>XEB</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.0086</p>	<p>XEB</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.0098</p>

ตารางที่ 4.6 ผลการตอบสนองการควบคุมระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม 20% ของโครงสร้างทั้งหมด



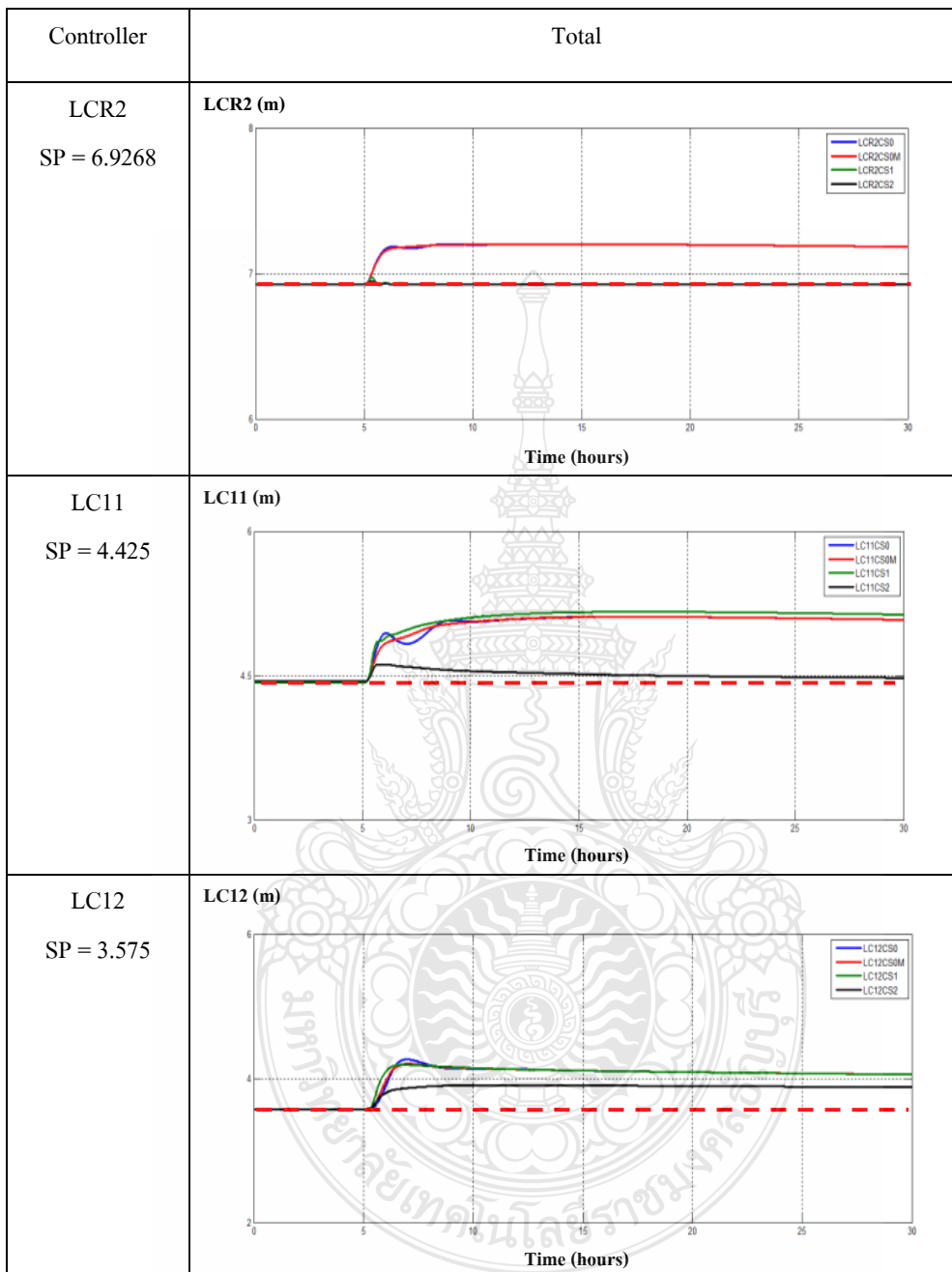
ตารางที่ 4.6 ผลการตอบสนองการควบคุมระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม 20% ของโครงสร้างทั้งหมด

Controller	Total
PC2 SP = 2	<p>Pressure (bar)</p>  <p style="text-align: center;">Time (hours)</p>
TCR1 SP = 433.7	<p>TCR1 (K)</p>  <p style="text-align: center;">Time (hours)</p>
TCR2 SP = 432	<p>TCR2 (K)</p>  <p style="text-align: center;">Time (hours)</p>

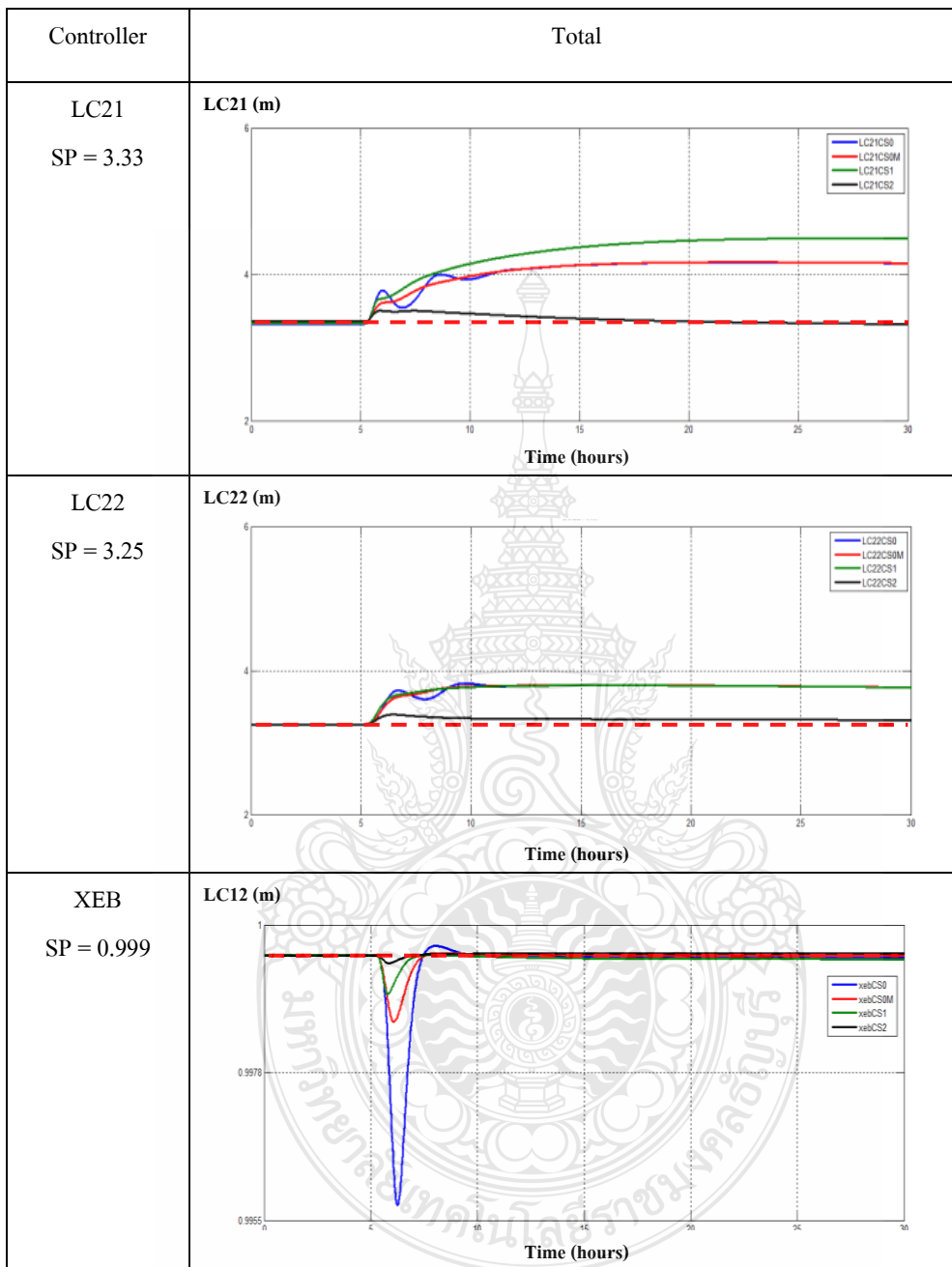
ตารางที่ 4.6 ผลการตอบสนองการควบคุมระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม 20% ของโครงสร้างทั้งหมด

Controller	Total
TC1 SP = 475.58	<p>TC1 (K)</p> <p>Time (hours)</p>
TC2 SP = 492.79	<p>TC2 (K)</p> <p>Time (hours)</p>
LCR1 SP = 6.9268	<p>LCR1 (m)</p> <p>Time (hours)</p>

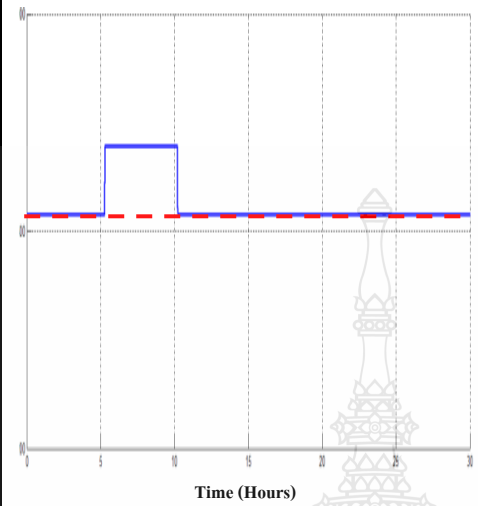
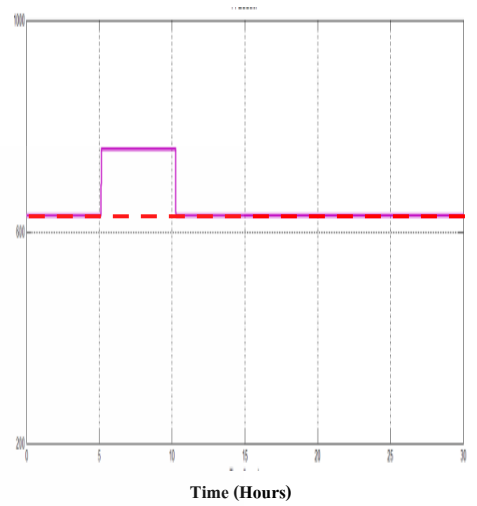
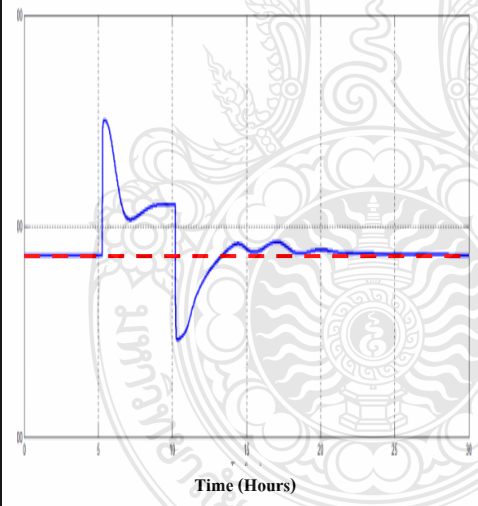
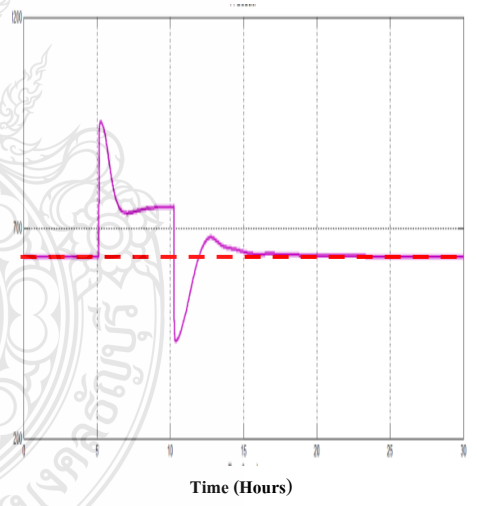
ตารางที่ 4.6 ผลการตอบสนองการควบคุมระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม 20% ของโครงสร้างทั้งหมด



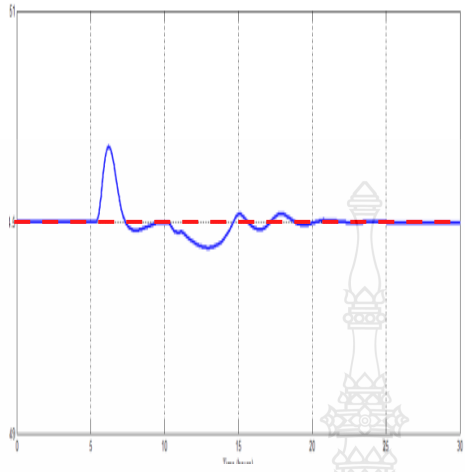
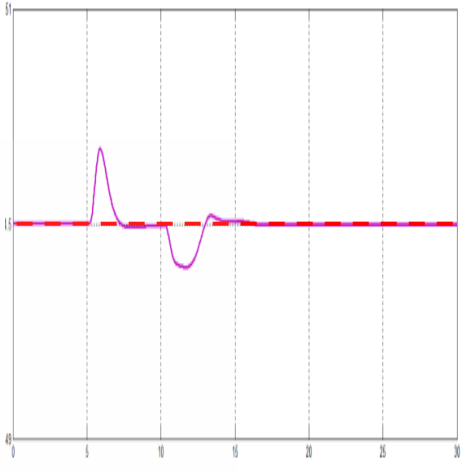
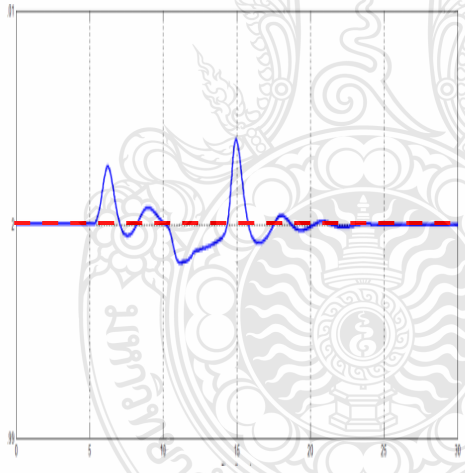
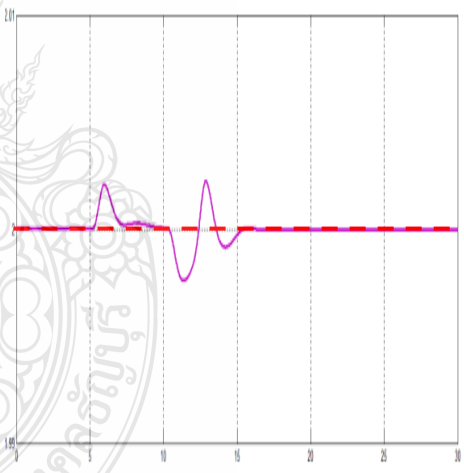
ตารางที่ 4.6 ผลการตอบสนองการควบคุมระบบของกระแสน้ำเข้าเพิ่ม 20% ของโครงสร้างทั้งหมด



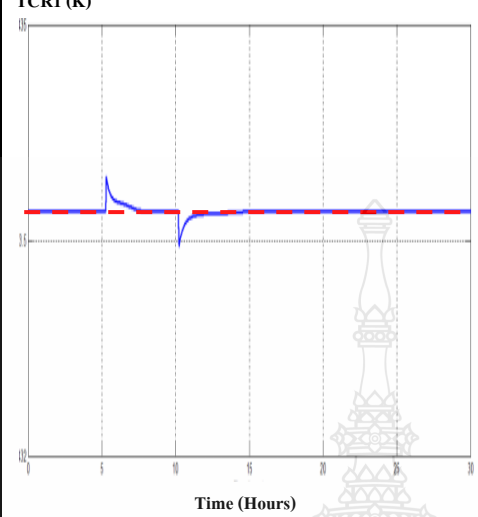
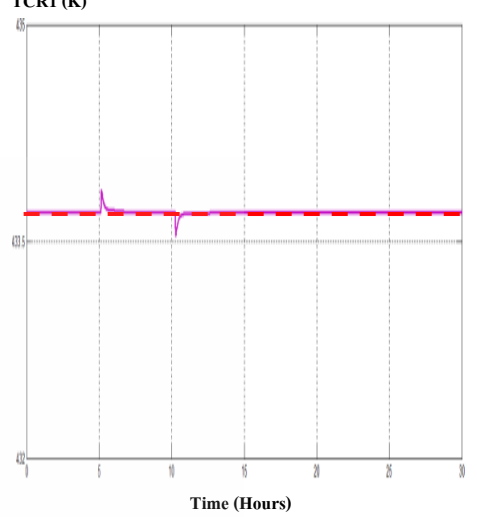
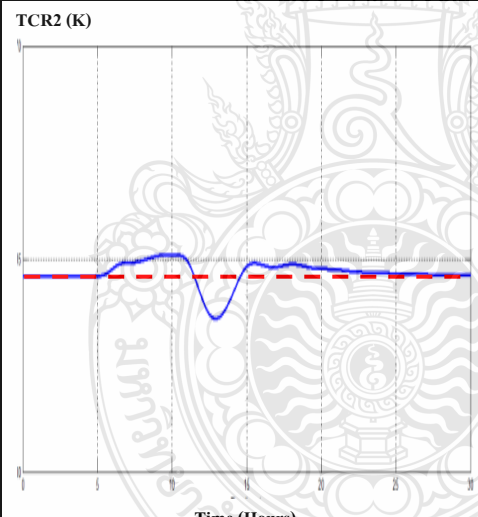
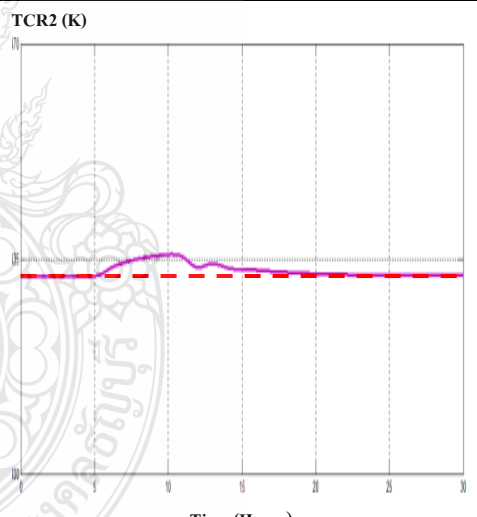
ตารางที่ 4.7 ผลการตอบสนองการควบคุมระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด20% ของ (CS0) และ (CS0M)

Controller	CS0	CS0M
FFE SP = 630.6	 <p>IAE = 311.0925</p>	 <p>IAE = 323.5814</p>
FFB SP = 1600	 <p>IAE = 16698</p>	 <p>IAE = 16645</p>

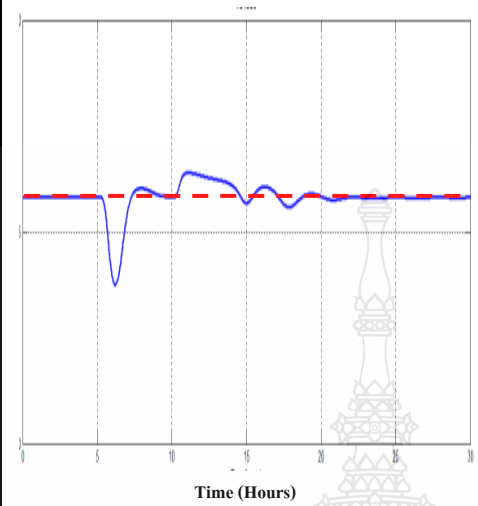
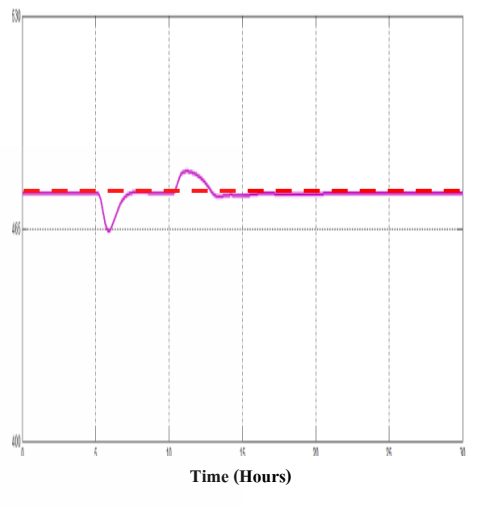
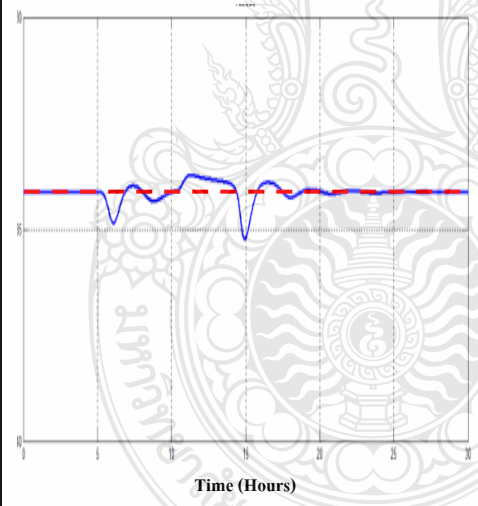
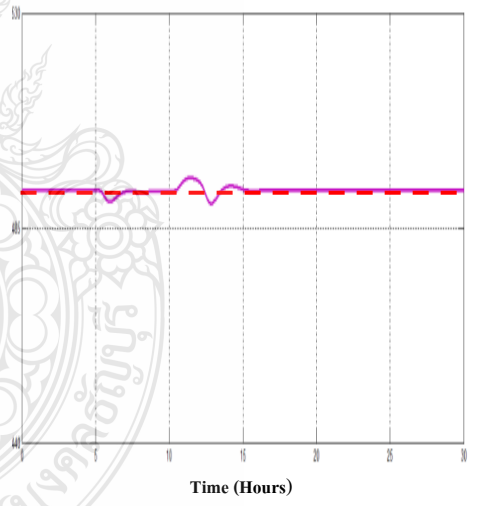
ตารางที่ 4.7 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด20% ของ (CS0) และ (CS0M)

Controller	CS0	CS0M
PC1 SP = 4.5	 <p style="text-align: center;">Time (Hours)</p> IAE = 0.0045	 <p style="text-align: center;">Time (Hours)</p> IAE = 0.0041
PC2 SP = 2	 <p style="text-align: center;">Time (Hours)</p> IAE = 0.0066	 <p style="text-align: center;">Time (Hours)</p> IAE = 0.0043

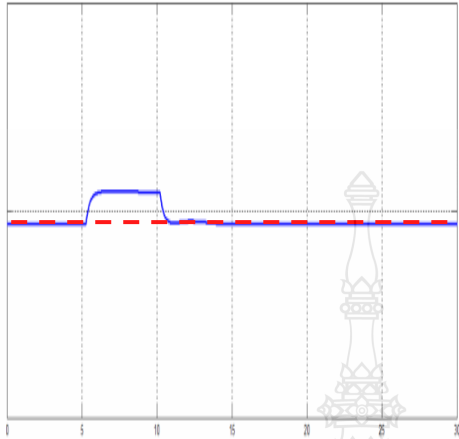
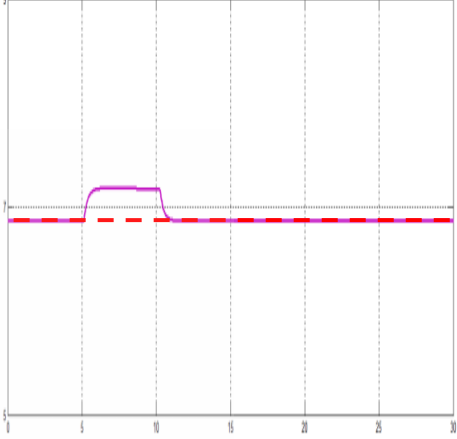
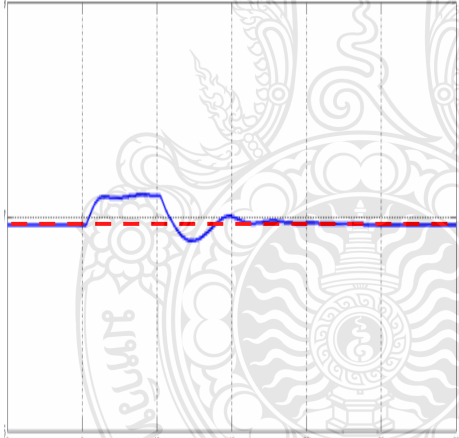
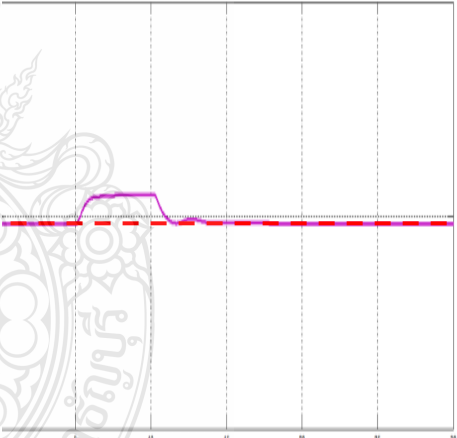
ตารางที่ 4.7 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด20% ของ (CS0) และ (CS0M)

Controller	CS0	CS0M
TCR1 SP = 433.7	 <p>IAE = 0.1603</p>	 <p>IAE = 0.0494</p>
TCR2 SP = 432	 <p>IAE = 24.1238</p>	 <p>IAE = 17.0607</p>

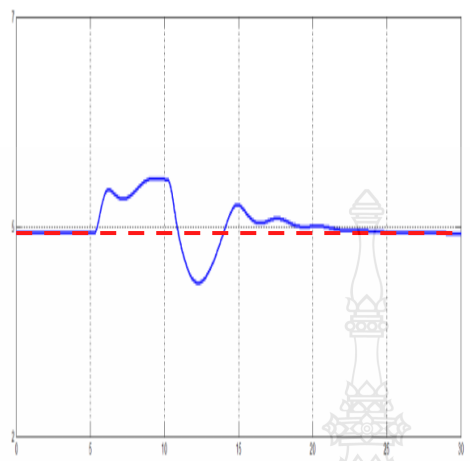
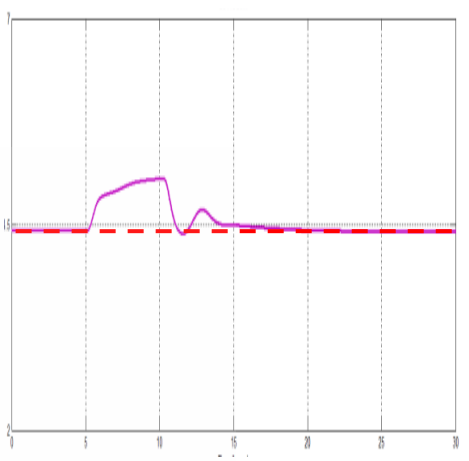
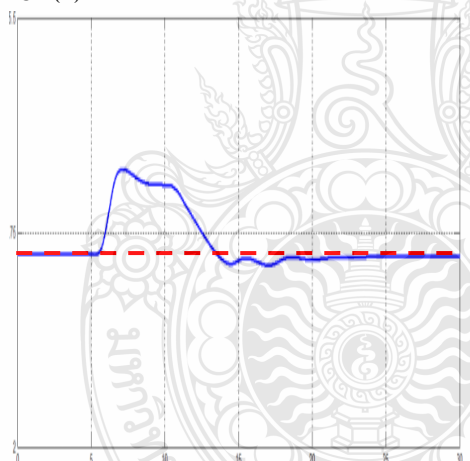
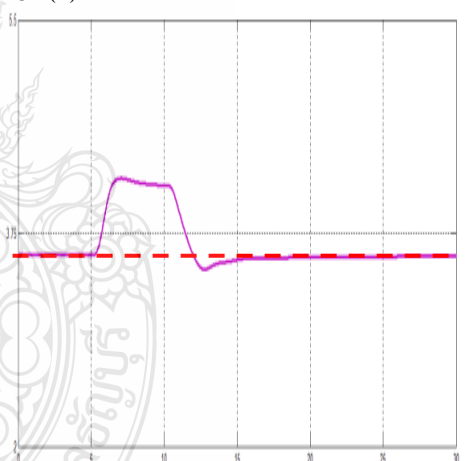
ตารางที่ 4.7 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด20% ของ (CS0) และ (CS0M)

Controller	CS0	CS0M
TC1 SP = 475.58	 <p>IAE = 32.1333</p>	 <p>IAE = 12.9348</p>
TC2 SP = 492.79	 <p>IAE = 15.3447</p>	 <p>IAE = 4.6906</p>

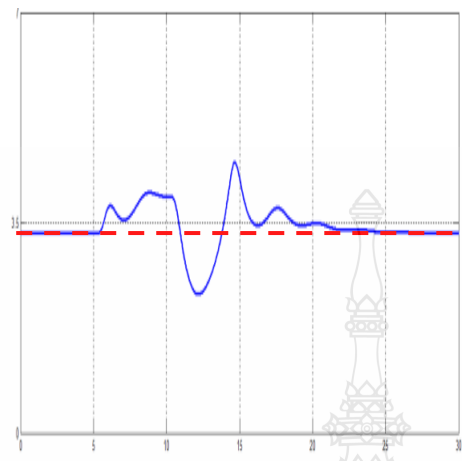
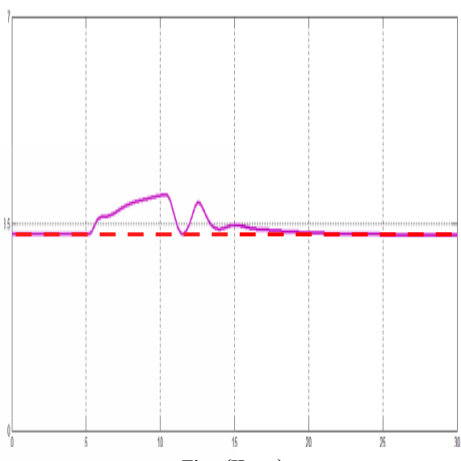
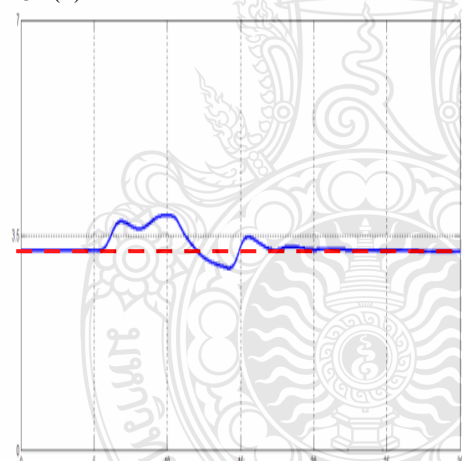
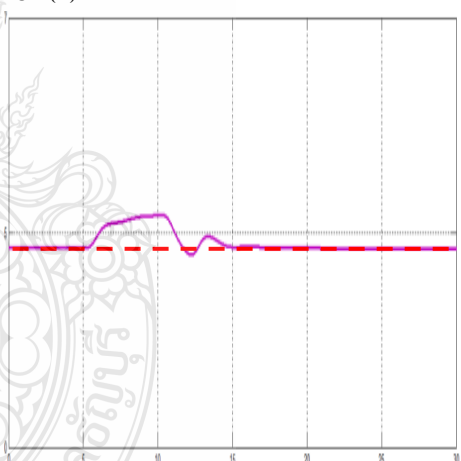
ตารางที่ 4.7 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด20% ของ (CS0) และ (CS0M)

Controller	CS0	CS0M
<p>LCR1</p> <p>SP = 6.9268</p>	<p>LCR1 (m)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 1.3989</p>	<p>LCR1 (m)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 1.4425</p>
<p>LCR2</p> <p>SP = 6.9268</p>	<p>LCR2 (m)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.9102</p>	<p>LCR2 (m)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.7679</p>

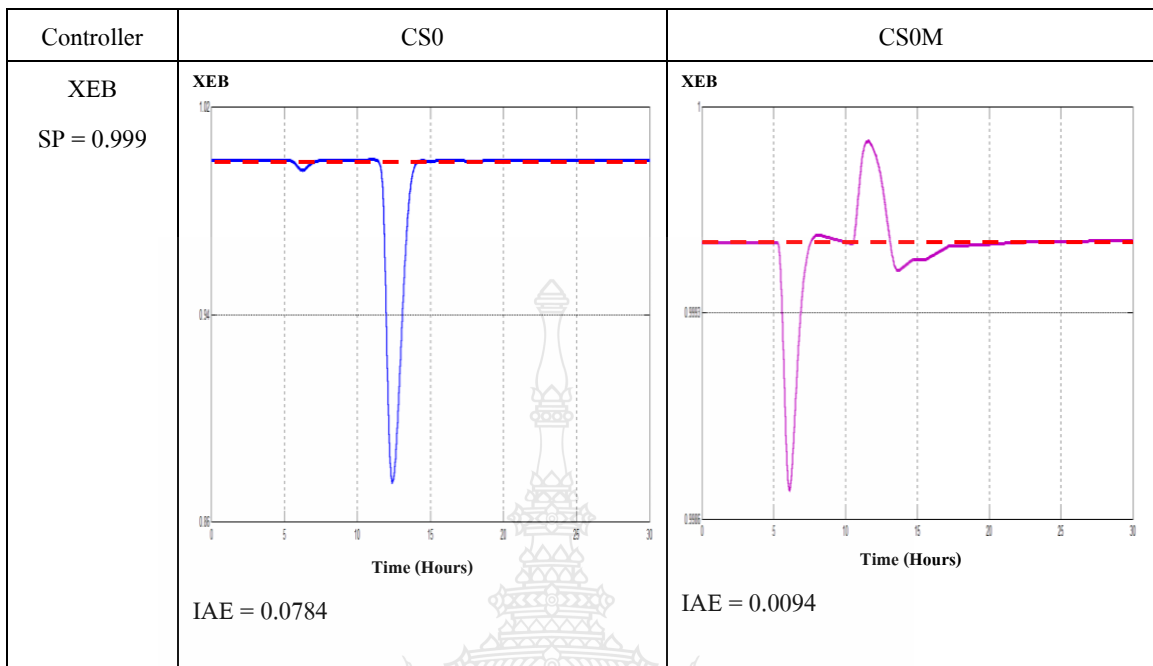
ตารางที่ 4.7 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด20% ของ (CS0) และ (CS0M)

Controller	CS0	CS0M
<p>LC11</p> <p>SP = 4.425</p>	<p>LC11 (m)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 2.5381</p>	<p>LC11 (m)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 1.8038</p>
<p>LC12</p> <p>SP = 3.575</p>	<p>LC12 (m)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 2.1023</p>	<p>LC12 (m)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 1.8771</p>

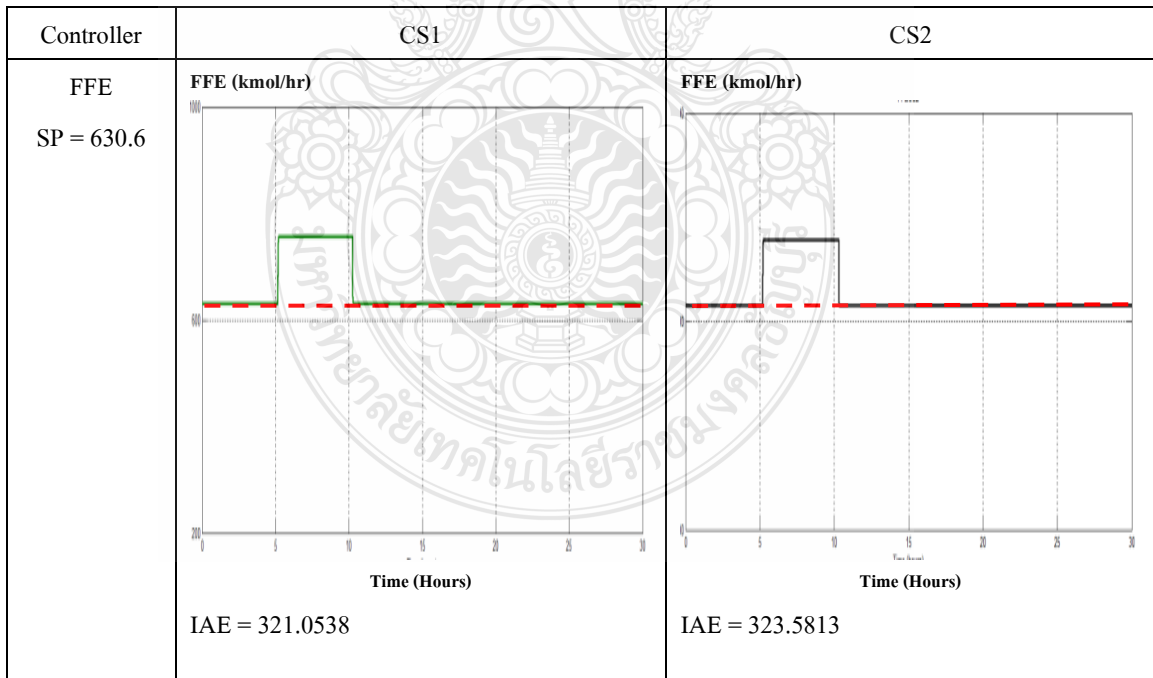
ตารางที่ 4.7 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสน้ำเข้าเพิ่ม-ลด20% ของ (CS0) และ (CS0M)

Controller	CS0	CS0M
LC21 SP = 3.33	<p>LC21 (m)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 3.5543</p>	<p>LC21 (m)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 1.9647</p>
LC22 SP = 3.25	<p>LC22 (m)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 1.7489</p>	<p>LC22 (m)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 1.4769</p>

ตารางที่ 4.7 ผลการตอบสนองการควบคุมระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด20% ของ (CS0) และ (CS0M)



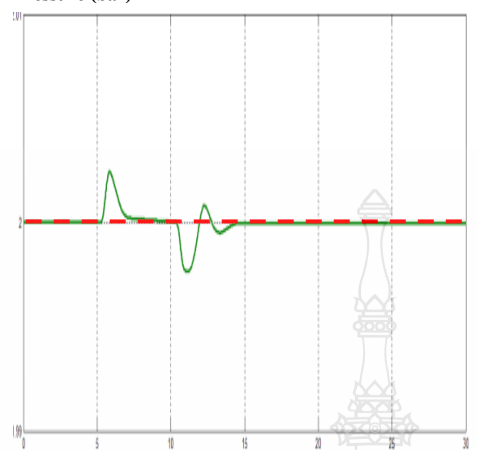
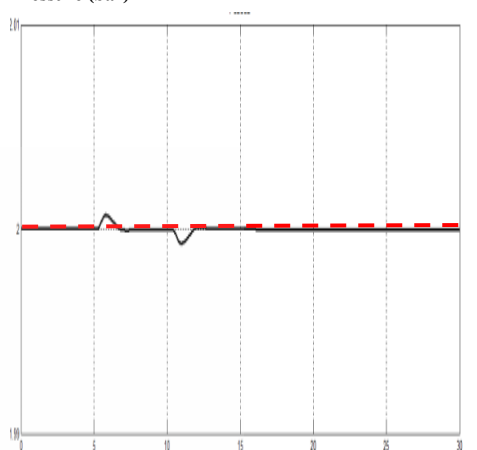
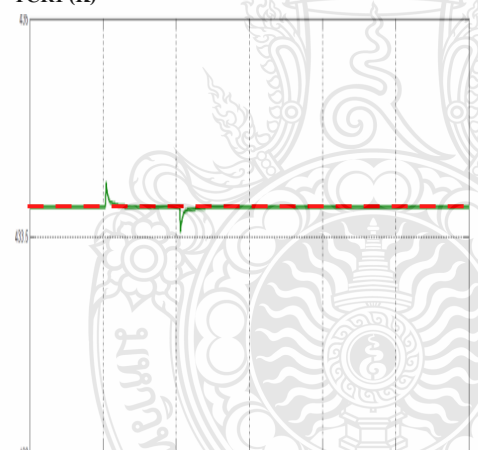
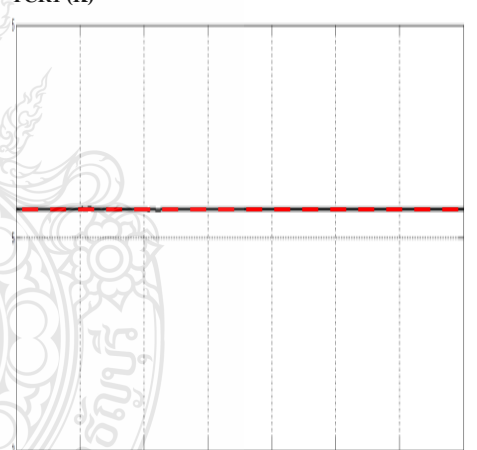
ตารางที่ 4.8 ผลการตอบสนองการควบคุมระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด20% ของ (CS1) และ (CS2)



ตารางที่ 4.8 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด 20% ของ (CS1) และ (CS2)

Controller	CS1	CS2
FFB SP = 1600	<p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 16647</p>	<p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 16651</p>
PC1 SP = 4.5	<p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.0039</p>	<p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.0013</p>

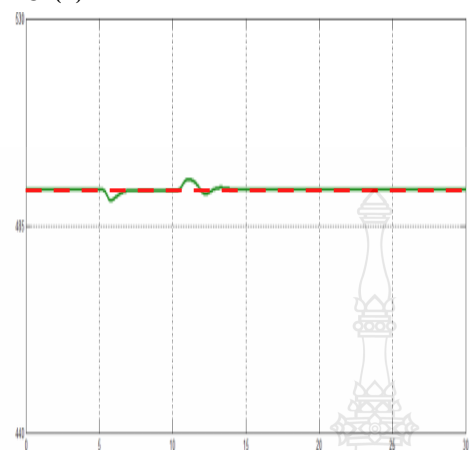
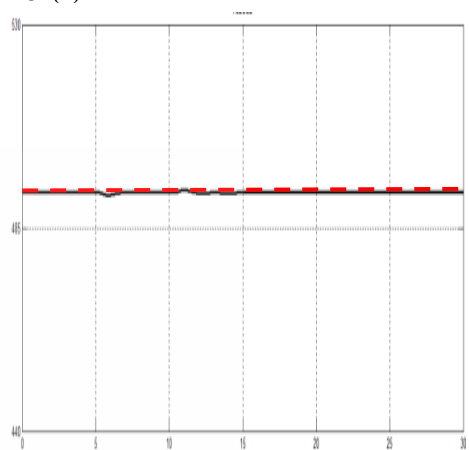
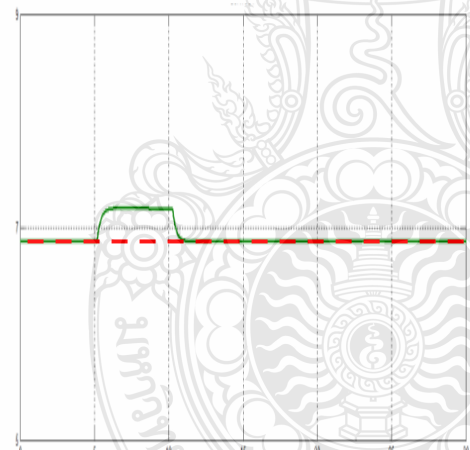
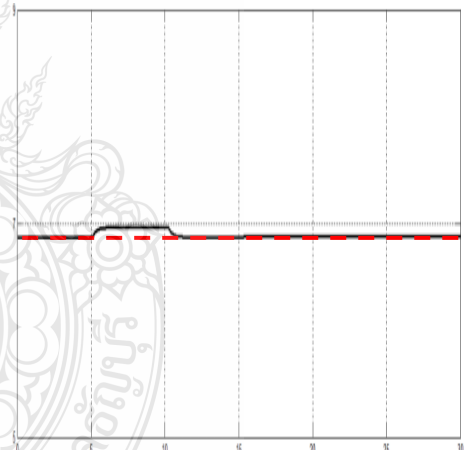
ตารางที่ 4.8 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด20% ของ (CS1) และ (CS2)

Controller	CS1	CS2
PC2 SP = 2	<p>Pressure (bar)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.0031</p>	<p>Pressure (bar)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.0008</p>
TCR1 SP = 433.7	<p>TCR1 (K)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.0556</p>	<p>TCR1 (K)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.0054</p>

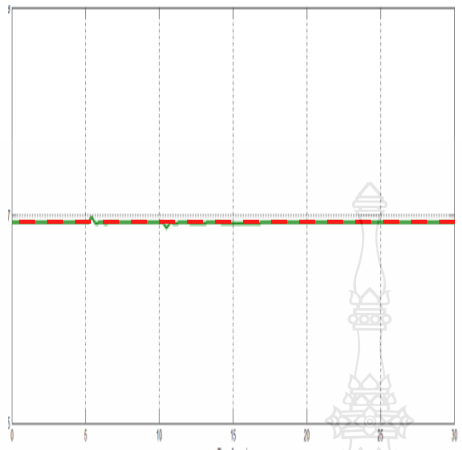
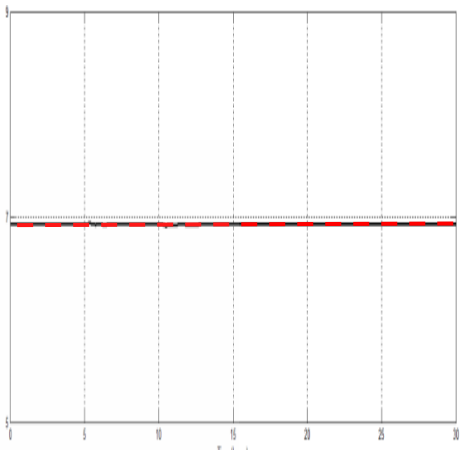
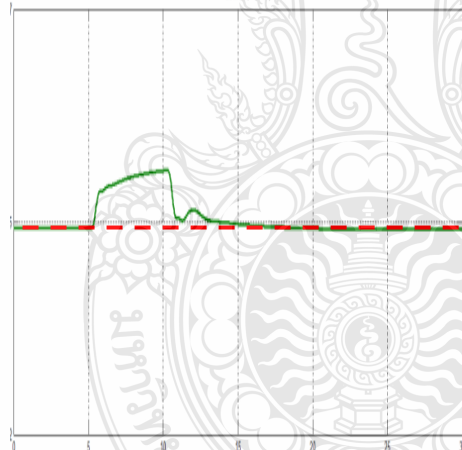
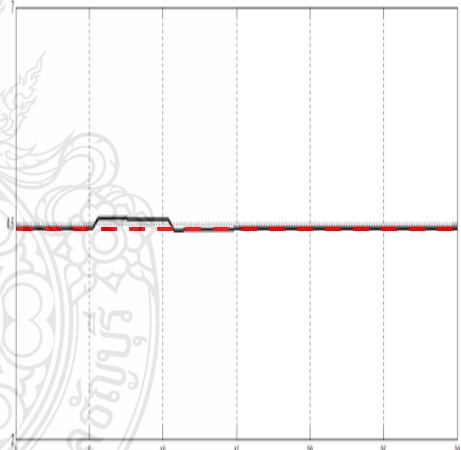
ตารางที่ 4.8 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด20% ของ (CS1) และ (CS2)

Controller	CS1	CS2
TCR2 SP = 432	<p>TCR2 (K)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 17.7165</p>	<p>TCR2 (K)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.6783</p>
TC1 SP = 475.58	<p>TC1 (K)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 7.1222</p>	<p>TC1 (K)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 2.0947</p>

ตารางที่ 4.8 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด20% ของ (CS1) และ (CS2)

Controller	CS1	CS2
TC2 SP = 492.79	<p>TC2 (K)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 2.7328</p>	<p>TC2 (K)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.5661</p>
LCR1 SP = 6.9268	<p>LCR1 (m)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 1.4424</p>	<p>LCR1 (m)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.8311</p>

ตารางที่ 4.8 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด20% ของ (CS1) และ (CS2)

Controller	CS1	CS2
<p>LCR2</p> <p>SP = 6.9268</p>	<p>LCR2 (m)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.0173</p>	<p>LCR2 (m)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.0044</p>
<p>LC11</p> <p>SP = 4.425</p>	<p>LC11 (m)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 1.9031</p>	<p>LC11 (m)</p>  <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.4860</p>

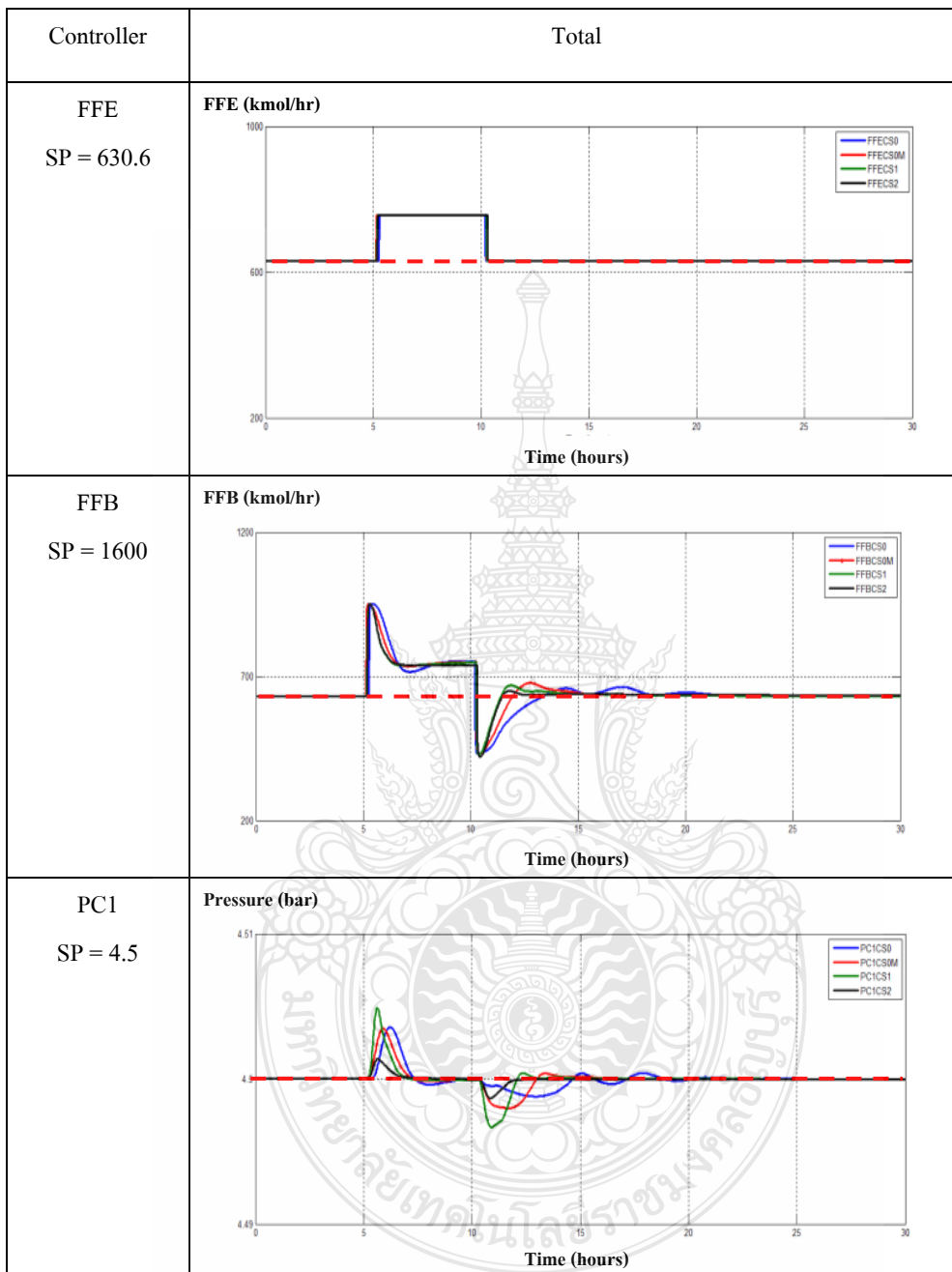
ตารางที่ 4.8 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด20% ของ (CS1) และ (CS2)

Controller	CS1	CS2
LC12 SP = 3.575	<p>LC12 (m)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 1.8140</p>	<p>LC12 (m)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.5664</p>
LC21 SP = 3.33	<p>LC21 (m)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 2.3208</p>	<p>LC21 (m)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.6686</p>

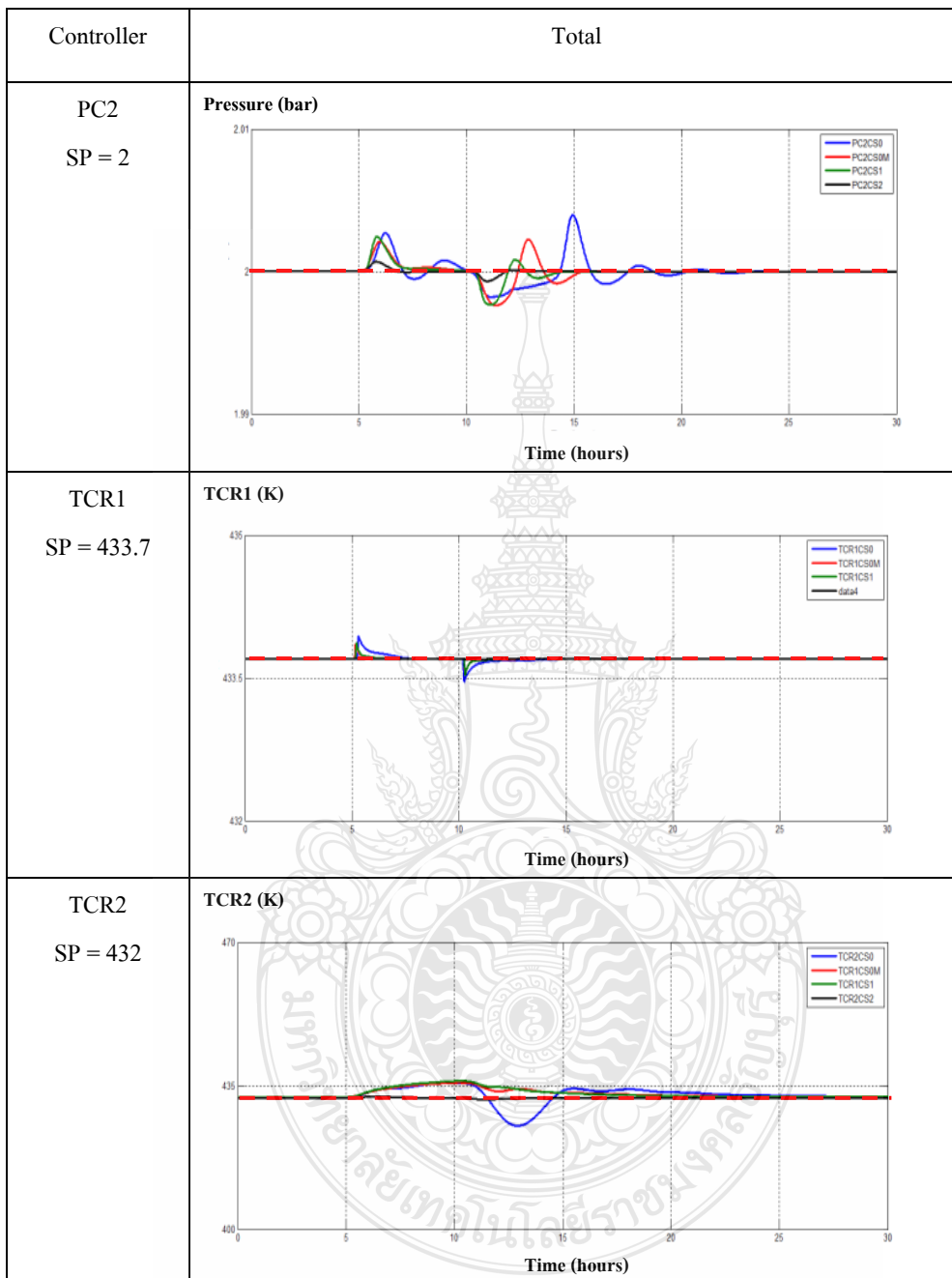
ตารางที่ 4.8 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด20% ของ (CS1) และ (CS2)

Controller	CS1	CS2
LC22 SP = 3.25	<p>LC22 (m)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 1.4109</p>	<p>LC22 (m)</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.2551</p>
XEB SP = 0.999	<p>XEB</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.0093</p>	<p>XEB</p> <p>Time (Hours)</p> <p>IAE = 0.0096</p>

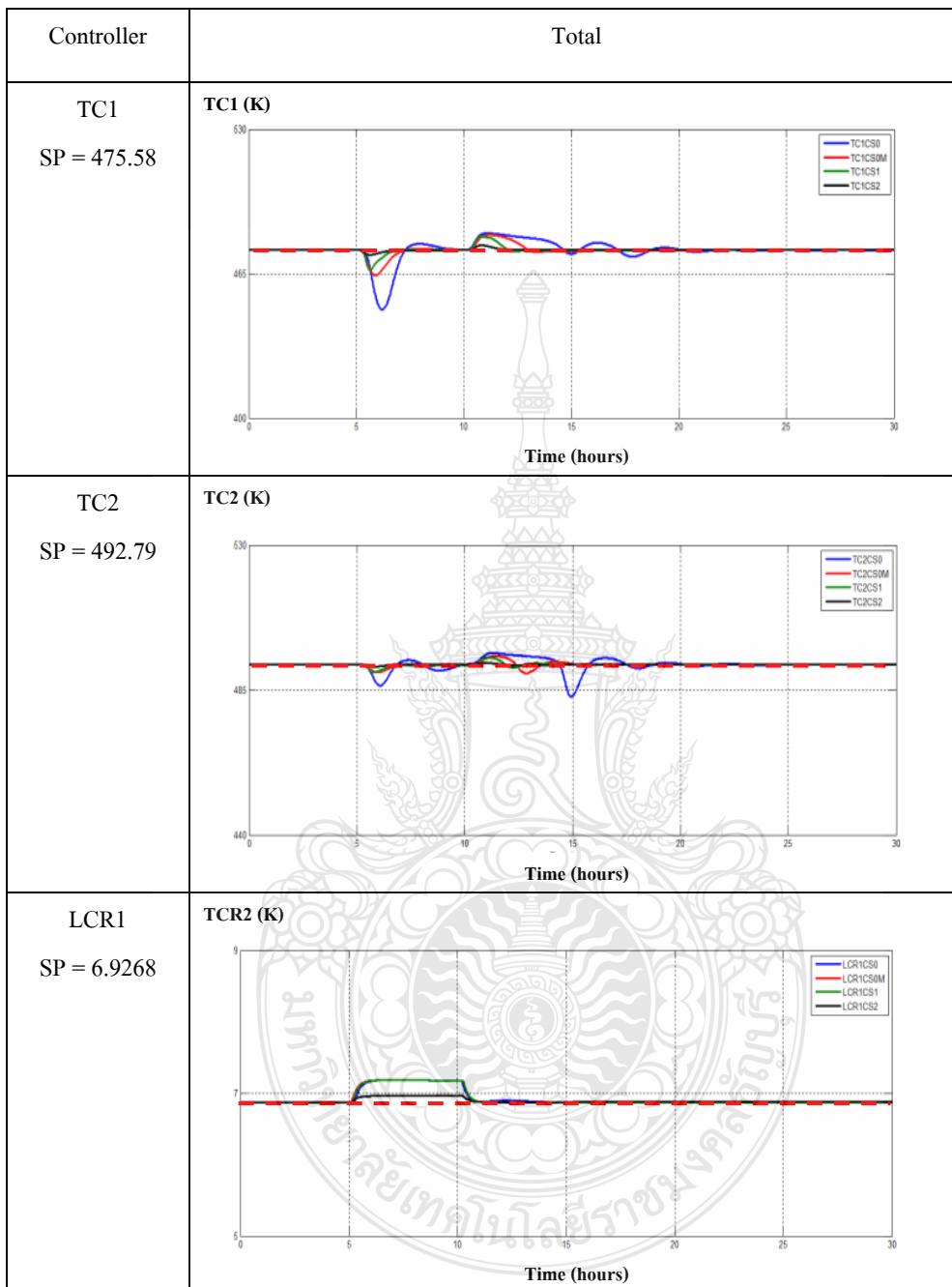
ตารางที่ 4.9 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด20% ของกระแสทั้งหมด



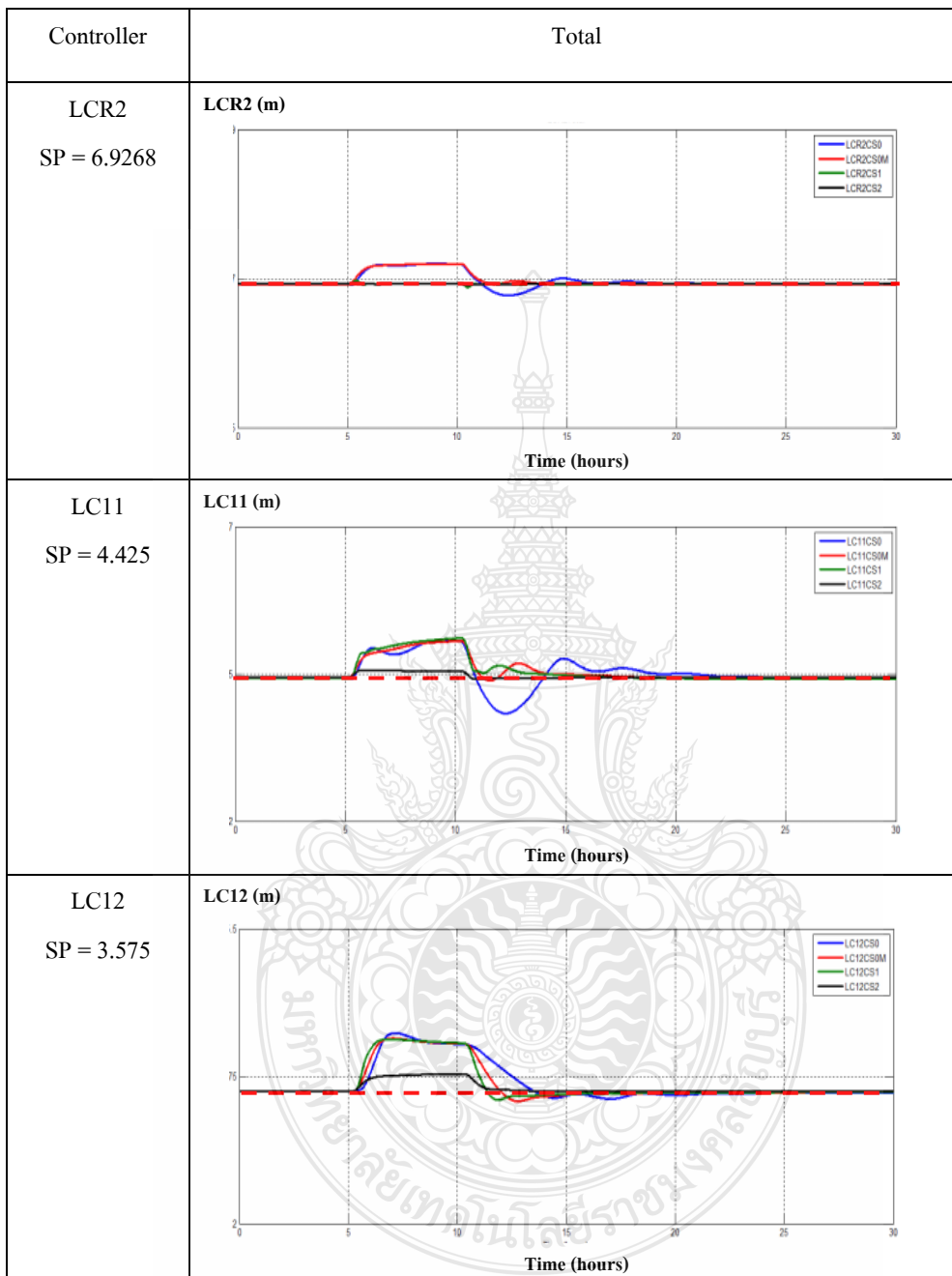
ตารางที่ 4.9 ผลการตอบสนองการควบคุมระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด20% ของกระแสทั้งหมด



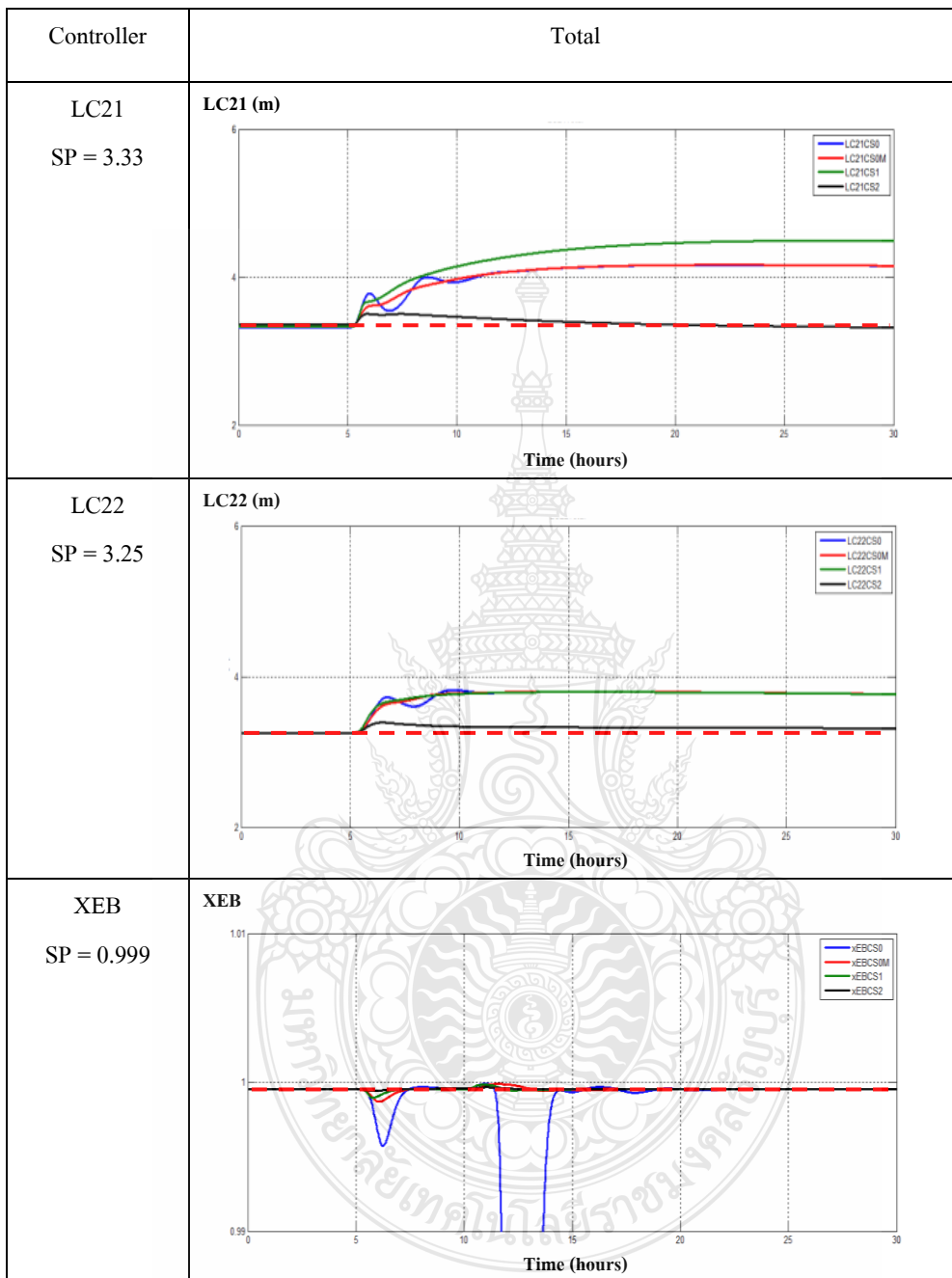
ตารางที่ 4.9 ผลการตอบสนองการควบคุมระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด20% ของกระแสทั้งหมด



ตารางที่ 4.9 ผลการตอบสนองการบกวนระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด20% ของกระแสทั้งหมด



ตารางที่ 4.9 ผลการตอบสนองการควบคุมระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด20% ของกระแสทั้งหมด



4.4 การประเมินประสิทธิภาพการควบคุม

ประเมินประสิทธิภาพการควบคุมโดยการคำนวณค่า IAE

ตารางที่ 4.10 ค่า IAE ของผลการตอบสนองการบกพร่องระบบของกระแสน้ำเข้าเพิ่ม 20%

Controller	IAE			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
FFE	1889.6	1889.4	1888.4	1884.5
FFB	15258	15058	15082	15083
PC1	0.0022	0.0021	0.0019	0.0012
PC2	0.0020	0.0015	0.0015	0.0007
TCR1	0.0781	0.0224	0.0288	0.0042
TCR2	62.7410	62.6757	69.4792	0.7695
TC1	15.9691	6.1775	3.4506	1.660
TC2	4.5172	1.4980	1.2384	0.4532
LCR1	3.6121	3.6108	3.6129	1.1509
LCR2	3.8978	3.8959	0.0086	0.0037
LC11	9.5363	9.5331	10.3267	1.2747
LC12	7.5467	7.5403	7.5974	4.5659
LC21	11.1305	11.1273	15.0639	0.8754
LC22	7.5938	7.5894	7.5891	1.1237
Total	17274.2268	17061.0740	17088.7990	16979.3831

ตารางที่ 4.11 ค่า IAE ของผลการตอบสนองการควบคุมระบบของกระแสขาเข้าเพิ่ม-ลด 20%

Controller	IAE			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
FFE	311.0925	323.5814	321.0538	323.5813
FFB	16698	16645	16647	16651
PC1	0.0045	0.0041	0.0039	0.0013
PC2	0.0066	0.0043	0.0031	0.0008
TCR1	0.1603	0.0494	0.0556	0.0054
TCR2	24.1238	17.0607	17.7165	0.6783
TC1	32.1333	12.9348	7.1222	2.0947
TC2	15.3447	4.6906	2.7328	0.5661
LCR1	1.3989	1.4425	1.4424	0.8311
LCR2	0.9102	0.7679	0.0173	0.0044
LC11	2.5381	1.8038	1.9031	0.4860
LC12	2.1023	1.8771	1.8140	0.5664
LC21	3.5543	1.9647	2.3208	0.6686
LC22	1.7489	1.4769	1.4109	0.2551
Total	17093.1184	17012.6582	17004.5964	16980.7395

4.5 วิเคราะห์ผลการตอบสนอง

4.5.1 วิเคราะห์การทดสอบสมรรถนะของการควบคุมระบบโดยการเพิ่มกระแสขาเข้า 20% จากกราฟการตอบสนองระหว่างโครงสร้างการควบคุม (CS0) เปรียบเทียบกับ (CS0M) จะเห็นว่าประเมินประสิทธิภาพการควบคุม (IAE) กระแส FFE, FFB, PC1, PC2, TCR1, TCR2, TC1, TC2 LCR1, LCR2, LC11, LC12, LC21 และ LC22 ของโครงสร้างการควบคุม (CS0M) ทั้งหมดมีค่า (IAE) น้อยกว่า (CS0) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับพารามิเตอร์การควบคุมเพียงอย่างเดียวก็สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมได้โดยไม่ต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มในการออกแบบโครงสร้างการควบคุมใหม่ในการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุม

จากกราฟการตอบสนองระหว่างโครงสร้างการควบคุม (CS1) กับโครงสร้างการควบคุม (CS2) ที่ปรับปรุงโครงสร้างการควบคุมใหม่ (CS1) ติด Cascade control ในกระแสของเหลวที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ตัวที่สองส่วน (CS2) ได้เพิ่มการควบคุมอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ตัวที่สอง เมื่อประเมินประสิทธิภาพการควบคุม (IAE) เห็นได้ว่าโครงสร้างการควบคุม (CS2) มีค่า (IAE) น้อยกว่าโครงสร้างการควบคุมแบบ (CS1) ยกเว้นในกระแสของ FFB ที่โครงสร้างการควบคุมแบบ (CS1) มีค่า (IAE) น้อยกว่า ดังนั้นโครงสร้างการควบคุมแบบ (CS2) จึงมีประสิทธิภาพการควบคุมมากกว่า

4.5.1 วิเคราะห์การทดสอบสมรรถนะของการควบคุมระบบโดยการเพิ่ม-ลดกระแสค่าเข้า 20%

จากกราฟการตอบสนองระหว่างโครงสร้างการควบคุม (CS0) กับโครงสร้างการควบคุม (CS0M) เห็นได้ว่าเมื่อประเมินประสิทธิภาพการควบคุม (IAE) กระแส FFB, PC1, PC2, TCR1, TCR2, TC1, TC2, LCR2, LC11, LC12, LC21, LC22 ของโครงสร้างการควบคุม (CS0M) มีค่า (IAE) น้อยกว่าโครงสร้างการควบคุมแบบ (CS0) ยกเว้น FFE กับ LCR1 เท่านั้น ซึ่งแสดงให้เห็นคล้ายกันกับการรบกวนระบบโดยการเพิ่มกระแสค่าเข้า 20% ว่าการปรับพารามิเตอร์การควบคุมเพียงอย่างเดียวก็สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมได้

จากกราฟการตอบสนองระหว่างโครงสร้างการควบคุม (CS1) กับโครงสร้างการควบคุม (CS2) เห็นได้ว่า เมื่อประเมินประสิทธิภาพการควบคุม (IAE) ค่ากระแส PC1, PC2, TCR1, TCR2, TC1, TC2, LCR1, LCR2, LC11, LC21, LC22 มีค่า (IAE) น้อยกว่าโครงสร้างของ (CS1) ยกเว้นแค่ FFE กับ FFB ดังนั้นเห็นได้ว่า โครงสร้างการควบคุมแบบ (CS2) มีประสิทธิภาพดีกว่า

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทนี้ได้กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะในการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเอทิลเบนซีนของแต่ละ โครงสร้างการผลิต

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ต้องการศึกษาโครงสร้างการควบคุมของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีนและทำการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุม จากผลการจำลองกระบวนการพบว่าค่าพารามิเตอร์มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมเห็นได้จากการปรับค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างการควบคุมแบบดั้งเดิม (CS0) ไปเป็นโครงสร้างการควบคุมใหม่ (CSOM) โดยจะเห็นได้ว่า (CSOM) มีประสิทธิภาพการควบคุมดีกว่าแบบดั้งเดิมเพราะผลการตอบสนองจากการรบกวนระบบดีขึ้น การแกว่งลดลง เข้าค่าเป้าหมายได้เร็วขึ้น โครงสร้างการควบคุมที่ปรับปรุงแล้ว (CS1) เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมในหน่วยสัญญาณของระดับของเหลวก่อนเข้าหอกลั่นตัวแรกทั้งนี้เพราะต้องการทำให้ระดับของเหลวลดการแกว่งและนิ่งก่อนที่จะเข้าสู่หอกลั่นตัวแรก จากนั้นก็ปรับค่าพารามิเตอร์บางตัวให้เหมาะสมกับกระบวนการ และโครงสร้างการควบคุม (CS2) เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ตัวที่สอง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมอุณหภูมิและระดับของเหลว โดยเห็นได้ว่าโครงสร้างการควบคุมแบบ (CS1) และ (CS2) ให้ผลการตอบสนองดีกว่าโครงสร้างการควบคุมที่มีเพียงการปรับพารามิเตอร์จากการควบคุม (CSOM) ซึ่งจากการประเมินประสิทธิภาพการควบคุม (IAE) โครงสร้างการควบคุมแบบ (CSOM) มีประสิทธิภาพการควบคุมใกล้เคียงกับโครงสร้างการควบคุมแบบ (CS1) และโครงสร้างการควบคุมแบบ (CS2) มีประสิทธิภาพการควบคุมดีที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ออกแบบและควบคุมระบบการจัดการพลังงานภายในกระบวนการ เพื่อให้ใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

5.2.2 ออกแบบตัวควบคุมขั้นสูงสำหรับวงควบคุมที่สำคัญ เช่น อุณหภูมิและองค์ประกอบของสาร

5.2.3 สำหรับการออกแบบโครงสร้างการควบคุมควรถองคิดตั้งคาคascade (Cascade Control) อุณหภูมิ เพราะจากผลการตอบสนองวงควบคุมอุณหภูมิมีผลการตอบสนองที่เปลี่ยนแปลงมากที่สุด

5.2.4 สำหรับการออกแบบโครงสร้างการควบคุมในงานวิจัยนี้ ออกแบบโดยไม่ได้คำนึงถึงค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นการจะนำไปใช้จริงอาจจะต้องคิดเรื่องนี้ด้วย



รายการอ้างอิง

- [1] George Stephanopoulos. (1983) "Synthesis of control systems for chemical plants-a challenge for creativity" (pp. 331-365). Comput, Chem. Eng.
- [2] Yi Cao. (1997) "Input selection for disturbance rejection under manipulate variable constrain". Comput, Chem. Eng.
- [3] Loannis K. Kookos. 2001 "Heuristic-Based Mathematical programming framework for control structure selection". (pp. 2079-2088). Ind.Eng.Chem.
- [4] William L. Luyben. 2011 "Principles and case studies of simultaneous design". (pp. 107-133). USA : Wiley-Interscience.
- [5] William L. Luyben. 1999 "Plantwide process control". USA : McGraw-HillBook Company.
- [6] เอทิลเบนซิน, (17 พฤศจิกายน 2557). บทที่ 9 เบนซินและอนุพันธ์.
สืบค้นจาก: http://dc363.4shared.com/doc/p3_4ogHz/preview.html
- [7] Sayfon Kietawarin. 2002 "Control structure design applied to hydrodealkylation process plantwide control problem". Bangkok : Chulalongkorn University.
- [8] น.ต.กัปตัน เตียวตระกูล. (17 พฤศจิกายน 2557). คอนโทรลเลอร์แบบพีไอดี.
สืบค้นจาก: <http://www.navy.mi.th/electwww/magaz/magazine/no16/18.pdf>
- [9] สุชาติ จันทร์จรมานิตย์. (17 พฤศจิกายน 2557). สืบค้นจาก: <http://suchart.rmutl.ac.th/04-220-308/Control.pdf>
- [10] ชิกเลอร์-นิโคลส์. (17 พฤศจิกายน 2557). สืบค้นจาก:
http://eng.sut.ac.th/me/box/3_54/425311/02%20PID%20control%20design.pdf
- [11] Dale E. Seborg. 2011 "Process Dynamic and Control". USA : Wiley-Interscience.
- [12] Cascade Control. (17 พฤศจิกายน 2557). สืบค้นจาก:
http://eng.sut.ac.th/me/box/3_54/425311/07%20Pneumatic%20System5.pdf
- [13] IAE. (17 พฤศจิกายน 2557). สืบค้นจาก: http://www.online-courses.vissim.us/Strathclyde/measures_of_controlled_system_pe.htm

รายการอ้างอิง(ต่อ)

- [14] William L. Luyben, 2012 “Use of dynamic simulation for reactor safety analysis”.
USA : Computers and chemical engineering. (Mimeographed)
- [15] Muhammad A. Al-Arfaj and William L. Luyben, 2002 “Comparative control study
of ideal and methyl acetate reactive distillation”. USA : Chemical Engineering
Science. (Mimeographed)
- [16] Kanika Phetyodsri, 2011 “Plantwide control structure for methanol process”. Thailand :
Chemical Engineering . (Mimeographed)
- [17] Anton A. Kiss and Costin Sorin Bildea, 2011 “Design and control of an energy
integrated biodiesel process”. The Netherland : Centre for technology transfer in
process Industries. (Mimeographed)
- [18] Weici Tang, Ingrid Hemm and Gerhard Eisenbrand, 2000 “Estimations of human
exposure to styrene and ethylbenzene”. Germany : Division of food chemistry and
environmental toxicology. (Mimeographed)
- [19] Jeffrey D.Ward, Cheng-Ching Yu, Michael F. Doherty, 2010. “Plantwide dynamics and
control of processes with crystallization”. Yaiwan : Computers and Chemical
Engineering. (Mimeographed)
- [20] Hiroya Seki, Morimasa Ogawa, Toshiaki Itoh, Shigeki Ootakara, Hisashi Murata,
Yoshihiro Hashimoto and Manabu Kano, 2009. “Plantwide control system design of the
benchmark vinyl acetate monomer production plant”. Japan : Chemical Engineering.
(Mimeographed)
- [21] A.M. Saillenfait, F. Gallissot, F. GallissotG. Morel and P. Bonnet, 2002.
“Developmental toxicities of ethylbenzene, ortho-, meta-, para-xylene
and technical xylene in rats following inhalation exposure”. France :
Chemical Engineering. (Mimeographed)

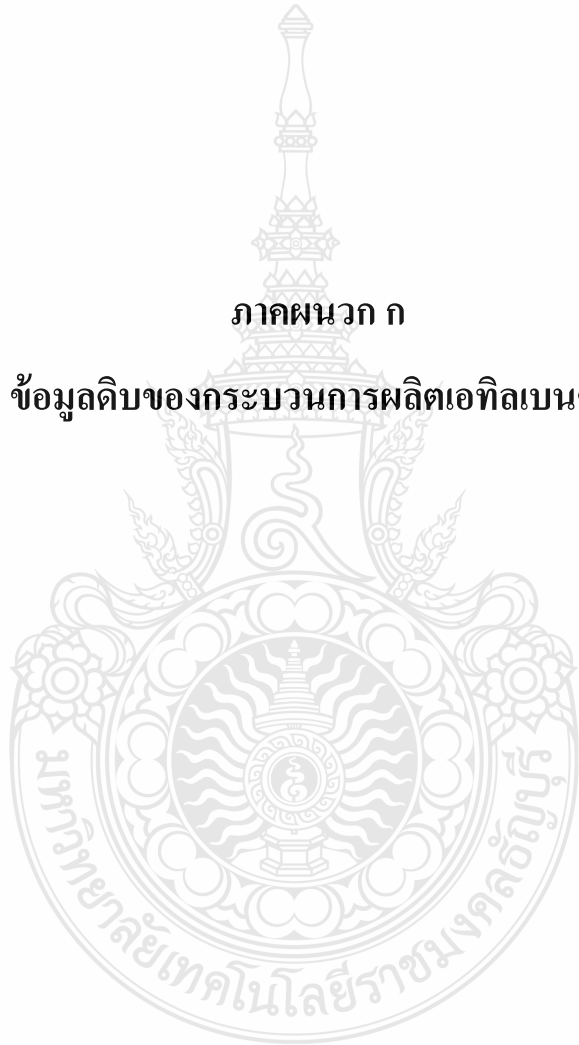
รายการอ้างอิง(ต่อ)

- [22] J.L. Sotelo, A. Rodriguez, V.I. Agueda and P. Gomez. 2010. “Supercritical fluids as reaction media in the ethylbenzene disproportionation on ZSM-5”. Spain : Chemical Engineering. (Mimeographed)
- [23] N. Mimuraa, I. Takaharaa, M. Saitoa, T. Hattori, K. Ohkumac and M. Andod. 1998. “Dehydrogenation of ethylbenzene over iron oxide-based catalyst in the presence of carbon dioxide”. Japan : Applied Chemistry. (Mimeographed)



ภาคผนวก ก

ข้อมูลดิบของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน



ค่าเริ่มต้นของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน

ตารางที่ ก.1 การจับคู่ตัวแปรปรับและตัวแปรควบคุม ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมและลักษณะตัวควบคุมของ (CS0)

ตัวแปรควบคุม	ตัวแปรปรับ	ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม		Controller action
		Controller Gain (K _c)	Integral time (τ_I) (min)	
Flow Ethylene	Feed Flowrate	0.5	0.3	Reverse
Flow Benzene	Feed Flowrate	0.5	0.3	Reverse
Reactor Temperature	Cooling water to the jacket	15	26	Reverse
Reactor1 Level	R1out Flowrate	5	-	Direct
Reactor2 Level	R2out Flowrate	5	-	Direct
C ₁ Column Pressure	Condenser CW (C ₁ Column)	20	12	Reverse
C ₂ Column Pressure	Condenser CW (C ₂ Column)	20	12	Reverse
C ₁ Base Level	C ₁ Bottom Flowrate	2	-	Direct
C ₂ Base Level	C ₂ Bottom Flowrate	2	-	Direct
C ₁ Reflux Drum Level	C ₁ Distillate Rate	2	-	Direct
C ₂ Reflux Drum Level	C ₂ Distillate Rate	2	-	Direct
C ₁ Temperature State 14	Reboiler Heat Input	0.54	13	Reverse
C ₂ Temperature State 20	Reboiler Heat Input	1.5	9.2	Reverse

ตารางที่ ก.2 ค่ากระแสของกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน

Stream	Compositions				Conditions		
	Ethylene	Benzene	Ethyl benzene	Diethyl benzene	T (K)	P (atm)	Total mole flow kmol/h
FFE	1	0	0	0	320	11	360.6
FFB	0	1	0	0	320	11	360.6
R1OUT	0.00388	0.65681	0.28925	0.05006	434	20	1606.1
R2OUT	0.00006	0.51464	0.33534	0.14999	432	19	1882.2
C1RE	0.00010	0.99895	0.00090	0	380.8	2	969.4
C2RE	0	0	0.00103	0.99897	496	5	282.2
EBPro	0	0.00044	0.99899	0.00056	439.7	2	630.6

ข้อมูลของโครงสร้างการผลิตเอทิลเบนซีน

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
0	630.928	630.928	630.928	630.966
0.02	630.928	630.928	630.928	630.966
0.04	630.928	630.928	630.928	630.966
0.06	630.928	630.928	630.928	630.966
0.08	630.928	630.928	630.928	630.965
0.1	630.928	630.928	630.928	630.965
0.12	630.928	630.928	630.928	630.965
0.14	630.928	630.928	630.928	630.965
0.16	630.928	630.928	630.928	630.965
0.18	630.928	630.928	630.928	630.965
0.2	630.928	630.928	630.928	630.965
0.22	630.928	630.928	630.928	630.965
0.24	630.928	630.928	630.928	630.965

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
0.26	630.928	630.928	630.928	630.965
0.28	630.928	630.928	630.928	630.965
0.3	630.928	630.928	630.928	630.965
0.32	630.928	630.928	630.928	630.965
0.34	630.928	630.928	630.928	630.965
0.36	630.928	630.928	630.928	630.965
0.38	630.928	630.928	630.928	630.965
0.4	630.928	630.928	630.928	630.965
0.42	630.928	630.928	630.928	630.965
0.44	630.928	630.928	630.928	630.965
0.46	630.928	630.928	630.928	630.965
0.48	630.928	630.928	630.928	630.965
0.5	630.928	630.928	630.928	630.965
0.52	630.928	630.928	630.928	630.965
0.54	630.928	630.928	630.928	630.965
0.56	630.928	630.928	630.928	630.964
0.58	630.928	630.928	630.928	630.964
0.6	630.928	630.928	630.928	630.964
0.62	630.928	630.928	630.928	630.964
0.64	630.928	630.927	630.928	630.964
0.66	630.928	630.927	630.928	630.964
0.68	630.928	630.927	630.928	630.964
0.7	630.928	630.927	630.928	630.964
0.72	630.928	630.927	630.928	630.964
0.74	630.928	630.927	630.927	630.964

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
0.76	630.928	630.927	630.927	630.964
0.78	630.928	630.927	630.927	630.964
0.8	630.928	630.927	630.927	630.964
0.82	630.928	630.927	630.927	630.964
0.84	630.928	630.927	630.927	630.964
0.86	630.928	630.927	630.927	630.964
0.88	630.928	630.927	630.927	630.964
0.9	630.928	630.927	630.927	630.964
0.92	630.928	630.927	630.927	630.964
0.94	630.928	630.927	630.927	630.964
0.96	630.928	630.927	630.927	630.964
0.98	630.928	630.927	630.927	630.964
1	630.928	630.927	630.927	630.964
1.02	630.928	630.927	630.927	630.964
1.04	630.928	630.927	630.927	630.963
1.06	630.928	630.927	630.927	630.963
1.08	630.928	630.927	630.927	630.963
1.1	630.928	630.927	630.927	630.963
1.12	630.928	630.927	630.927	630.963
1.14	630.927	630.927	630.927	630.963
1.16	630.927	630.927	630.927	630.963
1.18	630.927	630.927	630.927	630.963
1.2	630.927	630.927	630.927	630.963
1.22	630.927	630.927	630.927	630.963
1.24	630.927	630.927	630.927	630.963

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
1.26	630.927	630.927	630.927	630.963
1.28	630.927	630.927	630.927	630.963
1.3	630.927	630.927	630.927	630.963
1.32	630.927	630.927	630.927	630.963
1.34	630.927	630.927	630.927	630.963
1.36	630.927	630.927	630.927	630.963
1.38	630.927	630.927	630.927	630.963
1.4	630.927	630.927	630.927	630.963
1.42	630.927	630.927	630.927	630.963
1.44	630.927	630.927	630.927	630.963
1.46	630.927	630.927	630.927	630.963
1.48	630.927	630.927	630.927	630.963
1.5	630.927	630.927	630.927	630.963
1.52	630.927	630.927	630.927	630.962
1.54	630.927	630.927	630.927	630.962
1.56	630.927	630.927	630.927	630.962
1.58	630.927	630.927	630.927	630.962
1.6	630.927	630.927	630.927	630.962
1.62	630.927	630.927	630.927	630.962
1.64	630.927	630.927	630.927	630.962
1.66	630.927	630.927	630.927	630.962
1.68	630.927	630.927	630.927	630.962
1.7	630.927	630.927	630.927	630.962
1.72	630.927	630.927	630.927	630.962
1.74	630.927	630.927	630.927	630.962

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
1.76	630.927	630.927	630.927	630.962
1.78	630.927	630.927	630.927	630.962
1.8	630.927	630.927	630.927	630.962
1.82	630.927	630.927	630.927	630.962
1.84	630.927	630.927	630.927	630.962
1.86	630.927	630.927	630.927	630.962
1.88	630.927	630.927	630.927	630.962
1.9	630.927	630.927	630.927	630.962
1.92	630.927	630.927	630.927	630.962
1.94	630.927	630.927	630.927	630.962
1.96	630.927	630.927	630.927	630.962
1.98	630.927	630.927	630.927	630.962
2	630.927	630.927	630.927	630.961
2.02	630.927	630.927	630.927	630.961
2.04	630.927	630.927	630.927	630.961
2.06	630.927	630.927	630.927	630.961
2.08	630.927	630.927	630.927	630.961
2.1	630.927	630.927	630.927	630.961
2.12	630.927	630.927	630.927	630.961
2.14	630.927	630.927	630.927	630.961
2.16	630.927	630.927	630.927	630.961
2.18	630.927	630.927	630.927	630.961
2.2	630.927	630.927	630.927	630.961
2.22	630.927	630.927	630.927	630.961
2.24	630.927	630.927	630.927	630.961

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
2.26	630.927	630.927	630.927	630.961
2.28	630.927	630.927	630.927	630.961
2.3	630.927	630.927	630.927	630.961
2.32	630.927	630.927	630.927	630.961
2.34	630.927	630.927	630.927	630.961
2.36	630.927	630.927	630.927	630.961
2.38	630.927	630.927	630.927	630.961
2.4	630.927	630.927	630.927	630.961
2.42	630.927	630.927	630.927	630.961
2.44	630.927	630.927	630.927	630.961
2.46	630.927	630.927	630.927	630.961
2.48	630.927	630.927	630.927	630.96
2.5	630.927	630.927	630.927	630.96
2.52	630.927	630.927	630.927	630.96
2.54	630.927	630.927	630.927	630.96
2.56	630.927	630.927	630.927	630.96
2.58	630.927	630.927	630.927	630.96
2.6	630.927	630.927	630.927	630.96
2.62	630.927	630.927	630.927	630.96
2.64	630.927	630.927	630.927	630.96
2.66	630.927	630.927	630.927	630.96
2.68	630.927	630.927	630.927	630.96
2.7	630.927	630.927	630.927	630.96
2.72	630.927	630.927	630.927	630.96
2.74	630.927	630.927	630.927	630.96

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
2.76	630.927	630.927	630.927	630.96
2.78	630.927	630.927	630.927	630.96
2.8	630.927	630.927	630.927	630.96
2.82	630.927	630.927	630.927	630.96
2.84	630.927	630.927	630.927	630.96
2.86	630.927	630.927	630.927	630.96
2.88	630.927	630.927	630.927	630.96
2.9	630.927	630.927	630.927	630.96
2.92	630.927	630.927	630.927	630.96
2.94	630.927	630.927	630.927	630.96
2.96	630.927	630.927	630.927	630.959
2.98	630.927	630.927	630.927	630.959
3	630.927	630.927	630.927	630.959
3.02	630.927	630.927	630.927	630.959
3.04	630.927	630.926	630.927	630.959
3.06	630.927	630.926	630.927	630.959
3.08	630.927	630.926	630.927	630.959
3.1	630.927	630.926	630.927	630.959
3.12	630.927	630.926	630.927	630.959
3.14	630.927	630.926	630.927	630.959
3.16	630.927	630.926	630.927	630.959
3.18	630.927	630.926	630.927	630.959
3.2	630.927	630.926	630.927	630.959
3.22	630.927	630.926	630.927	630.959
3.24	630.927	630.926	630.927	630.959

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
3.26	630.927	630.926	630.927	630.959
3.28	630.927	630.926	630.927	630.959
3.3	630.927	630.926	630.927	630.959
3.32	630.927	630.926	630.927	630.959
3.34	630.927	630.926	630.927	630.959
3.36	630.927	630.926	630.927	630.959
3.38	630.927	630.926	630.926	630.959
3.4	630.927	630.926	630.926	630.959
3.42	630.927	630.926	630.926	630.959
3.44	630.927	630.926	630.926	630.959
3.46	630.927	630.926	630.926	630.958
3.48	630.927	630.926	630.926	630.958
3.5	630.926	630.926	630.926	630.958
3.52	630.926	630.926	630.926	630.958
3.54	630.926	630.926	630.926	630.958
3.56	630.926	630.926	630.926	630.958
3.58	630.926	630.926	630.926	630.958
3.6	630.926	630.926	630.926	630.958
3.62	630.926	630.926	630.926	630.958
3.64	630.926	630.926	630.926	630.958
3.66	630.926	630.926	630.926	630.958
3.68	630.926	630.926	630.926	630.958
3.7	630.926	630.926	630.926	630.958
3.72	630.926	630.926	630.926	630.958
3.74	630.926	630.926	630.926	630.958

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
3.78	630.926	630.926	630.926	630.958
3.8	630.926	630.926	630.926	630.958
3.82	630.926	630.926	630.926	630.958
3.84	630.926	630.926	630.926	630.958
3.86	630.926	630.926	630.926	630.958
3.88	630.926	630.926	630.926	630.958
3.9	630.926	630.926	630.926	630.958
3.92	630.926	630.926	630.926	630.958
3.94	630.926	630.926	630.926	630.958
3.96	630.926	630.926	630.926	630.957
3.98	630.926	630.926	630.926	630.957
4	630.926	630.926	630.926	630.957
4.02	630.926	630.926	630.926	630.957
4.04	630.926	630.926	630.926	630.957
4.06	630.926	630.926	630.926	630.957
4.08	630.926	630.926	630.926	630.957
4.1	630.926	630.926	630.926	630.957
4.12	630.926	630.926	630.926	630.957
4.14	630.926	630.926	630.926	630.957
4.16	630.926	630.926	630.926	630.957
4.18	630.926	630.926	630.926	630.957
4.2	630.926	630.926	630.926	630.957
4.22	630.926	630.926	630.926	630.957
4.24	630.926	630.926	630.926	630.957
4.26	630.926	630.926	630.926	630.957

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
4.28	630.926	630.926	630.926	630.957
4.3	630.926	630.926	630.926	630.957
4.32	630.926	630.926	630.926	630.957
4.34	630.926	630.926	630.926	630.957
4.36	630.926	630.926	630.926	630.957
4.38	630.926	630.926	630.926	630.957
4.4	630.926	630.926	630.926	630.957
4.42	630.926	630.926	630.926	630.957
4.44	630.926	630.926	630.926	630.956
4.46	630.926	630.926	630.926	630.956
4.48	630.926	630.926	630.926	630.956
4.5	630.926	630.926	630.926	630.956
4.52	630.926	630.926	630.926	630.956
4.54	630.926	630.926	630.926	630.956
4.56	630.926	630.926	630.926	630.956
4.58	630.926	630.926	630.926	630.956
4.6	630.926	630.926	630.926	630.956
4.62	630.926	826.754	630.926	630.956
4.64	630.926	908.602	630.926	630.956
4.66	630.926	935.788	630.926	630.956
4.68	630.926	944.998	630.926	630.956
4.7	630.926	948.382	630.926	630.956
4.72	630.926	949.714	630.926	630.956
4.74	630.926	950.141	630.926	630.956
4.28	630.926	950.103	630.926	630.956

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
4.76	630.926	949.13	630.926	630.956
4.78	630.926	948.269	630.926	630.956
4.8	630.926	947.171	630.926	630.956
4.82	630.926	945.825	630.926	630.956
4.84	630.926	944.143	630.926	630.956
4.86	630.926	942.196	630.926	630.956
4.88	630.926	939.993	630.926	630.956
4.9	630.926	937.526	630.926	630.956
4.92	630.926	934.68	630.926	630.955
4.94	630.926	931.643	630.926	630.955
4.96	630.926	928.292	630.926	630.955
4.98	630.926	924.693	630.926	630.955
5	630.926	920.89	630.926	630.955
5.02	630.926	916.833	879.072	630.955
5.04	630.926	912.623	925.564	630.955
5.06	630.926	908.231	941.55	630.955
5.08	630.926	903.711	947.114	630.955
5.1	878.983	899.031	949.182	630.955
5.12	925.435	894.299	949.922	630.955
5.14	941.564	889.437	949.873	630.955
5.16	947.269	884.543	949.26	630.955
5.18	949.339	879.584	948.179	630.955
5.2	950.282	874.614	946.537	630.955
5.22	950.691	869.633	944.177	879.079
5.24	950.825	864.652	941.161	925.572

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
5.26	950.619	949.13	937.341	947.149
5.28	950.319	948.269	932.794	949.173
5.3	949.892	947.171	927.405	949.86
5.32	949.304	945.825	921.354	949.76
5.34	948.556	944.143	914.636	949.019
5.36	947.614	942.196	907.404	947.774
5.38	946.489	939.993	899.745	945.916
5.4	945.137	937.526	891.802	943.402
5.42	943.578	934.68	883.685	940.092
5.44	941.771	931.643	875.527	935.956
5.46	939.74	928.292	867.459	931.098
5.48	937.448	924.693	859.546	925.444
5.5	934.94	920.89	851.904	919.026
5.52	932.16	916.833	844.627	912.059
5.54	929.182	912.623	837.763	904.635
5.56	925.936	908.231	831.345	896.837
5.58	922.473	903.711	825.37	888.811
5.6	918.787	899.031	819.919	880.666
5.62	914.918	894.299	814.928	872.523
5.64	910.898	889.437	810.327	864.538
5.66	906.673	884.543	806.077	856.791
5.68	902.314	879.584	802.196	849.346
5.7	897.858	874.614	798.678	842.306
5.72	893.264	869.633	795.38	835.675
5.74	888.585	864.652	792.276	829.557

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
5.76	883.841	859.694	789.445	823.873
5.78	879.05	854.76	786.701	818.678
5.8	874.196	849.891	784.041	814.02
5.82	869.318	845.083	781.506	809.733
5.84	864.429	840.329	779.001	805.822
5.86	859.526	835.685	776.576	802.204
5.88	854.629	831.13	774.182	798.96
5.9	849.737	826.65	771.862	795.937
5.92	844.869	822.315	769.543	793.069
5.94	840.026	818.082	767.352	790.44
5.96	835.219	813.958	765.17	787.924
5.98	830.445	809.977	763.065	785.465
6	825.725	806.094	761.059	783.111
6.02	821.057	802.395	759.053	780.78
6.04	816.453	798.767	757.252	778.499
6.06	811.915	795.297	755.465	776.239
6.08	807.448	791.981	753.788	774.029
6.1	803.06	788.759	752.252	771.819
6.12	798.749	785.631	750.716	769.7
6.14	794.528	782.599	749.426	767.592
6.16	790.379	779.71	748.152	765.544
6.18	786.305	776.914	746.989	763.587
6.2	782.263	774.147	745.967	761.63
6.22	778.272	771.632	744.945	759.854
6.24	774.352	769.117	744.135	758.1

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
6.26	770.479	766.767	742.626	756.441
6.28	766.76	764.527	742.019	754.929
6.3	763.16	762.314	741.412	753.417
6.32	759.642	760.342	740.946	752.133
6.34	756.327	758.369	740.489	750.878
6.36	753.118	756.548	740.086	749.719
6.38	750.126	754.827	739.739	748.712
6.4	747.179	753.13	739.396	747.705
6.42	744.505	751.643	739.131	746.896
6.44	741.927	750.156	738.871	746.11
6.46	739.532	748.797	738.64	745.397
6.48	737.226	747.523	738.437	744.797
6.5	735.125	746.269	738.237	744.196
6.52	733.145	745.187	738.08	743.724
6.54	731.285	744.106	737.924	743.268
6.56	729.576	743.128	737.786	742.853
6.58	727.951	742.22	737.666	742.503
6.6	726.516	741.327	737.546	742.152
6.62	725.135	740.573	737.457	741.869
6.64	723.899	739.82	737.367	741.593
6.66	722.775	739.149	737.294	741.34
6.68	721.7	738.533	737.234	741.113
6.7	720.789	737.929	737.174	740.889
6.72	719.94	737.435	737.143	740.697
6.74	719.153	736.942	737.112	740.509

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
6.76	718.495	736.513	737.094	740.335
6.78	717.9	736.127	737.089	740.174
6.8	717.357	735.751	737.084	740.015
6.82	716.915	735.461	737.104	739.879
6.84	716.524	735.171	737.124	739.744
6.86	716.189	734.931	737.155	739.621
6.88	715.927	734.725	737.196	739.51
6.9	715.711	734.526	737.237	739.401
6.92	715.552	734.395	737.295	739.314
6.94	715.437	734.265	737.353	739.228
6.96	715.366	734.166	737.418	739.154
6.98	715.351	734.099	737.489	739.09
7	715.361	734.032	737.561	739.029
7.02	715.424	734.02	737.642	738.988
7.04	715.523	734.008	737.723	738.947
7.06	715.634	734.02	737.804	738.915
7.08	715.811	734.055	737.891	738.896
7.1	716.006	734.09	737.978	738.877
7.12	716.219	734.165	738.065	738.865
7.14	716.47	734.24	738.153	738.859
7.16	716.744	734.333	738.241	738.854
7.18	717.049	734.441	738.33	738.858
7.2	717.356	734.55	738.419	738.863
7.22	717.712	734.687	738.508	738.868
7.24	718.079	734.824	738.597	738.873

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
7.26	718.859	734.972	738.686	738.88
7.28	719.282	735.132	738.775	738.887
7.3	719.719	735.292	738.864	738.894
7.32	720.164	735.47	738.953	738.901
7.34	720.628	735.647	739.042	738.908
7.36	721.109	735.833	739.131	738.915
7.38	721.597	736.026	739.22	738.922
7.4	722.094	736.22	739.309	738.922
7.42	722.603	736.418	739.398	738.923
7.44	723.126	736.621	739.487	738.921
7.46	723.654	736.825	739.576	738.917
7.48	724.186	737.035	739.665	738.913
7.5	724.729	737.246	739.753	738.904
7.52	725.281	737.457	739.84	738.895
7.54	725.834	737.668	739.927	738.885
7.56	726.39	737.88	740.014	738.872
7.58	726.949	738.093	740.102	738.859
7.6	727.518	738.305	740.189	738.845
7.62	728.087	738.517	740.276	738.828
7.64	728.656	738.729	740.362	738.812
7.66	729.224	738.942	740.447	738.794
7.68	729.793	739.154	740.532	738.774
7.7	730.361	739.366	740.617	738.755
7.72	730.929	739.578	740.702	738.735
7.74	731.493	739.79	740.787	738.715

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
7.76	732.057	739.994	740.87	738.696
7.78	732.621	740.198	740.952	738.673
7.8	733.179	740.397	741.035	738.651
7.82	733.729	740.596	741.118	738.629
7.84	734.279	740.791	741.201	738.607
7.86	734.823	740.985	741.281	738.584
7.88	735.36	741.173	741.362	738.562
7.9	735.897	741.361	741.443	738.54
7.92	736.417	741.545	741.524	738.518
7.94	736.938	741.725	741.605	738.495
7.96	737.451	741.906	741.684	738.472
7.98	737.956	742.078	741.763	738.449
8	738.452	742.251	741.842	738.426
8.02	738.938	742.419	741.921	738.403
8.04	739.423	742.583	742	738.38
8.06	739.887	742.748	742.079	738.357
8.08	740.35	742.904	742.158	738.334
8.1	740.802	743.06	742.237	738.312
8.12	741.242	743.212	742.316	738.289
8.14	741.681	743.36	742.394	738.266
8.16	742.096	743.508	742.471	738.243
8.18	742.511	743.648	742.548	738.22
8.2	742.912	743.788	742.625	738.197
8.22	743.302	743.925	742.702	738.174
8.24	732.057	744.057	742.779	738.151

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
8.28	743.689	744.189	742.856	738.128
8.3	744.052	744.314	742.933	738.109
8.32	744.413	744.439	743.008	738.09
8.34	744.761	744.561	743.084	738.071
8.36	745.097	744.679	743.159	738.052
8.38	745.43	744.796	743.234	738.033
8.4	745.738	744.907	743.309	738.013
8.42	746.044	745.017	743.385	737.997
8.44	746.337	745.127	743.459	737.981
8.46	746.618	745.23	743.531	737.965
8.48	746.896	745.334	743.604	737.949
8.5	747.149	745.434	743.677	737.934
8.52	747.401	745.532	743.75	737.921
8.54	747.64	745.629	743.823	737.908
8.56	747.867	745.721	743.896	737.894
8.58	748.091	745.813	743.967	737.881
8.6	748.293	745.903	744.038	737.87
8.62	748.493	745.99	744.108	737.86
8.64	748.68	746.076	744.178	737.85
8.66	748.857	746.158	744.248	737.84
8.68	749.031	746.24	744.318	737.83
8.7	749.185	746.321	744.388	737.821
8.72	749.337	746.398	744.457	737.814
8.74	749.479	746.475	744.525	737.808
8.76	749.611	744.189	744.592	737.801

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
8.8	749.736	746.55	744.66	737.794
8.82	749.852	746.622	744.727	737.789
8.84	749.96	746.695	744.794	737.785
8.86	750.067	746.764	744.859	737.782
8.88	750.157	746.833	744.925	737.778
8.9	750.247	746.901	744.99	737.775
8.92	750.329	746.966	745.056	737.773
8.94	750.403	747.032	745.12	737.773
8.96	750.477	747.095	745.183	737.773
8.98	750.537	747.157	745.247	737.773
9	750.597	747.219	745.31	737.773
9.02	750.652	747.279	745.373	737.774
9.04	750.7	747.336	745.435	737.778
9.06	750.748	747.393	745.496	737.781
9.08	750.786	747.451	745.558	737.784
9.1	750.824	747.508	745.619	737.787
9.12	750.857	747.563	745.68	737.794
9.14	750.885	747.616	745.74	737.8
9.16	750.914	747.668	745.799	737.807
9.18	750.938	747.721	745.858	737.814
9.2	750.96	747.774	745.917	737.82
9.22	750.981	747.824	745.976	737.829
9.24	750.997	747.873	746.035	737.839
9.26	751.013	747.921	746.092	737.849
9.28	751.029	747.97	744.66	737.794

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
9.3	751.04	748.018	746.148	737.859
9.32	751.052	748.067	746.205	737.87
9.34	751.063	748.112	746.262	737.882
9.36	751.073	748.157	746.318	737.895
9.38	751.081	748.202	746.375	737.909
9.4	751.089	748.247	746.431	737.922
9.42	751.097	748.291	746.486	737.936
9.44	751.106	748.335	746.54	737.951
9.46	751.114	748.377	746.594	737.967
9.48	751.122	748.419	746.649	737.984
9.5	751.131	748.461	746.703	738.001
9.52	751.139	748.503	746.758	738.017
9.54	751.148	748.543	746.81	738.035
9.56	751.157	748.583	746.862	738.055
9.58	751.166	748.622	746.914	738.075
9.6	751.175	748.662	746.967	738.094
9.62	751.186	748.701	747.019	738.114
9.64	751.198	748.741	747.071	738.135
9.66	751.21	748.778	747.124	738.158
9.68	751.222	748.815	747.175	738.181
9.7	751.234	748.852	747.225	738.203
9.72	751.249	748.889	747.275	738.226
9.74	751.265	748.926	747.325	738.248
9.76	751.281	748.962	747.375	738.274
9.78	751.297	748.997	747.425	738.299

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
9.8	751.313	749.032	747.525	738.324
9.82	751.332	749.067	747.574	738.349
9.84	751.352	749.102	747.622	738.375
9.86	751.372	749.137	747.671	738.402
9.88	751.392	749.171	747.719	738.43
9.9	751.413	749.204	747.767	738.457
9.92	751.435	749.237	747.815	738.485
9.94	751.459	749.27	747.863	738.512
9.96	751.483	749.303	747.911	738.541
9.98	751.507	749.336	747.958	738.571
10	751.531	749.369	748.004	738.6
10.02	751.555	749.402	748.05	738.63
10.04	751.582	749.434	748.097	738.66
10.06	751.609	749.466	748.143	738.689
10.08	751.636	749.497	748.189	738.721
10.1	751.662	749.528	748.235	738.753
10.12	751.689	749.559	748.282	738.785
10.14	751.716	749.59	748.326	738.817
10.16	751.743	749.621	748.371	738.848
10.18	751.77	749.652	748.415	738.88
10.2	751.797	749.683	748.46	738.912
10.22	751.824	749.713	748.504	738.944
10.24	751.851	749.743	748.549	738.977
10.26	751.878	749.772	748.593	739.011
10.28	751.906	749.802	748.637	739.045

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
10.32	751.933	749.831	748.68	739.078
10.34	751.96	749.861	748.722	739.112
10.36	751.987	749.891	748.765	739.146
10.38	752.014	749.92	748.808	739.18
10.4	752.041	749.95	748.851	739.213
10.42	752.065	749.979	748.894	739.247
10.44	752.089	750.008	748.936	739.281
10.46	752.113	750.036	748.978	739.315
10.48	752.137	750.065	749.019	739.349
10.5	752.159	750.093	749.06	739.384
10.52	752.179	750.122	749.101	739.418
10.54	752.199	750.15	749.143	739.452
10.56	752.22	750.179	749.184	739.487
10.58	752.24	750.207	749.225	739.521
10.6	752.256	750.236	749.266	739.555
10.62	752.272	750.265	749.305	739.59
10.64	752.288	750.293	749.345	739.624
10.66	752.304	750.322	749.384	739.658
10.68	752.318	750.35	749.424	739.693
10.7	752.329	750.378	749.463	739.727
10.72	752.339	750.406	749.502	739.761
10.74	752.35	750.434	749.542	739.796
10.76	752.359	750.462	749.58	739.83
10.78	752.366	750.489	749.618	739.864
10.8	751.933	750.517	748.68	739.899

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
10.82	752.121	750.545	749.656	739.933
10.84	752.098	750.573	749.694	739.967
10.86	752.076	750.601	749.732	740.002
10.88	752.054	750.629	749.77	740.036
10.9	752.031	750.656	749.807	740.071
10.92	752.007	750.684	749.845	740.105
10.94	751.982	750.712	749.881	740.139
10.96	751.958	750.74	749.918	740.174
10.98	751.933	750.768	749.954	740.208
11	751.909	750.796	749.99	740.242
11.02	751.884	750.823	750.026	740.277
11.04	751.86	750.851	750.062	740.311
11.06	751.835	750.879	750.099	740.345
11.08	751.811	750.907	750.134	740.38
11.1	751.787	750.935	750.169	740.414
11.12	751.764	750.963	750.203	740.448
11.14	751.74	750.991	750.238	740.483
11.16	751.717	751.018	750.273	740.517
11.18	751.693	751.046	750.307	740.551
11.2	751.67	751.074	750.342	740.586
11.22	751.647	751.102	750.377	740.619
11.24	751.626	751.129	750.41	740.651
11.26	751.606	751.156	750.443	740.683
11.28	751.586	751.184	750.476	740.714
11.3	751.565	751.211	750.509	740.746

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
11.32	751.545	751.265	750.542	740.778
11.34	751.529	751.292	750.575	740.81
11.36	751.512	751.319	750.608	740.842
11.38	751.496	751.347	750.641	740.874
11.4	751.479	751.374	750.673	740.905
11.42	751.465	751.401	750.704	740.935
11.44	751.452	751.428	750.736	740.965
11.46	751.439	751.455	750.767	740.996
11.48	751.428	751.483	750.798	741.026
11.5	751.419	751.51	750.83	741.056
11.52	751.41	751.537	750.861	741.086
11.54	751.401	751.564	750.893	741.116
11.56	751.394	751.591	750.924	741.147
11.58	751.389	751.619	750.955	741.177
11.6	751.385	751.645	750.984	741.205
11.62	751.38	751.671	751.014	741.234
11.64	751.38	751.697	751.044	741.262
11.66	751.38	751.723	751.074	741.291
11.68	751.381	751.749	751.104	741.319
11.7	751.381	751.775	751.133	741.347
11.72	751.385	751.801	751.163	741.376
11.74	751.39	751.828	751.192	741.404
11.76	751.395	751.854	751.22	741.433
11.78	751.403	751.88	751.249	741.46
11.8	751.545	751.906	751.277	741.487

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
11.82	751.411	751.932	751.333	741.514
11.84	751.421	751.958	751.361	741.54
11.86	751.432	751.984	751.39	741.567
11.88	751.443	752.009	751.418	741.594
11.9	751.458	752.034	751.446	741.621
11.92	751.473	752.058	751.474	741.647
11.94	751.488	752.083	751.5	741.674
11.96	751.507	752.108	751.527	741.7
11.98	751.526	752.133	751.553	741.727
12	751.546	752.158	751.58	741.753
12.02	751.565	752.183	751.606	741.78
12.04	751.589	752.208	751.633	741.806
12.06	751.612	752.233	751.659	741.832
12.08	751.635	752.257	751.686	741.859
12.1	751.661	752.281	751.712	741.885
12.12	751.689	752.304	751.739	741.912
12.14	751.716	752.328	751.764	741.941
12.16	751.744	752.351	751.789	741.975
12.18	751.774	752.375	751.814	742.009
12.2	751.805	752.399	751.839	742.042
12.22	751.837	752.422	751.864	742.082
12.24	751.868	752.446	751.889	742.121
12.26	751.901	752.469	751.914	742.163
12.28	751.936	752.493	751.939	742.209
12.3	751.972	752.516	751.964	742.254

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
12.32	752.007	752.561	752.013	742.302
12.34	752.042	752.583	752.036	742.353
12.36	752.079	752.605	752.06	742.404
12.38	752.118	752.627	752.083	742.458
12.4	752.157	752.65	752.107	742.512
12.42	752.196	752.672	752.13	742.566
12.44	752.234	752.694	752.154	742.62
12.46	752.273	752.716	752.177	742.675
12.48	752.313	752.738	752.201	742.73
12.5	752.355	752.76	752.224	742.785
12.52	752.396	752.781	752.248	742.84
12.54	752.438	752.801	752.27	742.895
12.56	752.479	752.822	752.292	742.95
12.58	752.521	752.843	752.314	743.005
12.6	752.562	752.864	752.336	743.055
12.62	752.605	752.884	752.358	743.105
12.64	752.647	752.905	752.38	743.154
12.66	752.689	752.926	752.402	743.204
12.68	752.731	752.947	752.424	743.25
12.7	752.773	752.967	752.446	743.296
12.72	752.815	752.988	752.469	743.341
12.74	752.858	753.008	752.49	743.384
12.76	752.9	753.028	752.511	743.426
12.78	752.942	753.047	752.532	743.466
12.8	752.007	753.066	752.552	743.505

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
12.84	752.984	753.086	752.573	743.545
12.86	753.026	753.105	752.594	743.581
12.88	753.068	753.125	752.615	743.616
12.9	753.111	753.144	752.636	743.651
12.92	753.153	753.163	752.657	743.686
12.94	753.195	753.183	752.677	743.72
12.96	753.237	753.202	752.698	743.752
12.98	753.279	753.22	752.718	743.783
13	753.322	753.238	752.737	743.814
13.02	753.364	753.256	752.757	743.842
13.04	753.406	753.275	752.776	743.869
13.06	753.446	753.293	752.796	743.896
13.08	753.485	753.311	752.815	743.924
13.1	753.523	753.329	752.835	743.949
13.12	753.561	753.347	752.854	743.973
13.14	753.6	753.365	752.874	743.997
13.16	753.638	753.383	752.893	744.019
13.18	753.675	753.401	752.913	744.039
13.2	753.711	753.419	752.932	744.059
13.22	753.746	753.437	752.951	744.079
13.24	753.782	753.454	752.969	744.099
13.26	753.817	753.47	752.988	744.116
13.28	753.85	753.487	753.006	744.133
13.3	753.883	753.086	753.024	744.15
12.84	753.916	753.105	753.042	744.163

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
13.32	753.949	753.504	753.06	744.189
13.34	753.981	753.521	753.078	744.202
13.36	754.011	753.538	753.097	744.215
13.38	754.041	753.554	753.115	744.224
13.4	754.071	753.571	753.133	744.233
13.42	754.101	753.588	753.151	744.243
13.44	754.129	753.605	753.169	744.252
13.46	754.156	753.622	753.187	744.261
13.48	754.183	753.638	753.204	744.267
13.5	754.209	753.655	753.221	744.273
13.52	754.236	753.671	753.238	744.279
13.54	754.261	753.686	753.255	744.285
13.56	754.285	753.702	753.271	744.291
13.58	754.308	753.718	753.288	744.297
13.6	754.332	753.733	753.305	744.3
13.62	754.355	753.749	753.322	744.303
13.64	754.377	753.764	753.339	744.306
13.66	754.397	753.78	753.356	744.309
13.68	754.418	753.796	753.373	744.313
13.7	754.438	753.811	753.39	744.316
13.72	754.458	753.827	753.407	744.318
13.74	754.477	753.842	753.422	744.318
13.76	753.949	753.858	753.438	744.319
13.78	753.981	753.873	753.454	744.32
13.32	754.011	753.504	753.47	744.189

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
13.8	754.494	753.887	753.485	744.321
13.82	754.511	753.902	753.501	744.321
13.84	754.529	753.916	753.517	744.322
13.86	754.546	753.931	753.533	744.323
13.88	754.563	753.945	753.548	744.323
13.9	754.577	753.96	753.564	744.321
13.92	754.592	753.974	753.58	744.32
13.94	754.606	753.989	753.596	744.319
13.96	754.621	754.004	753.611	744.318
13.98	754.635	754.018	753.626	744.317
14	754.647	754.033	753.641	744.316
14.02	754.659	754.047	753.656	744.315
14.04	754.671	754.061	753.67	744.313
14.06	754.683	754.075	753.685	744.312
14.08	754.695	754.088	753.7	744.311
14.1	754.705	754.102	753.714	744.309
14.12	754.715	754.115	753.729	744.308
14.14	754.725	754.129	753.744	744.306
14.16	754.735	754.142	753.758	744.304
14.18	754.745	754.156	753.773	744.303
14.2	754.754	754.169	753.788	744.301
14.22	754.762	754.183	753.803	744.299
14.24	754.77	754.196	753.816	744.298
14.26	754.777	754.21	753.83	744.296
14.28	754.494	753.887	753.844	744.294

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
14.38	754.785	754.223	753.857	744.292
14.4	754.792	754.237	753.871	744.291
14.42	754.8	754.25	753.884	744.289
14.44	754.808	754.264	753.898	744.287
14.46	754.815	754.276	753.912	744.286
14.48	754.821	754.289	753.925	744.284
14.5	754.827	754.301	753.939	744.282
14.52	754.833	754.314	753.953	744.281
14.54	754.839	754.326	753.966	744.279
14.56	754.844	754.339	753.98	744.277
14.58	754.85	754.351	753.994	744.275
14.6	754.856	754.363	754.007	744.274
14.62	754.862	754.376	754.02	744.272
14.64	754.868	754.388	754.033	744.27
14.66	754.873	754.401	754.045	744.269
14.68	754.879	754.413	754.058	744.267
14.7	754.884	754.426	754.071	744.265
14.72	754.89	754.438	754.083	744.263
14.74	754.895	754.451	754.096	744.262
14.76	754.9	754.463	754.108	744.26
14.78	754.905	754.475	754.121	744.258
14.8	754.911	754.486	754.134	744.257
14.82	754.916	754.498	754.146	744.255
14.84	754.921	754.509	754.159	744.253
14.86	754.927	754.521	754.171	744.252

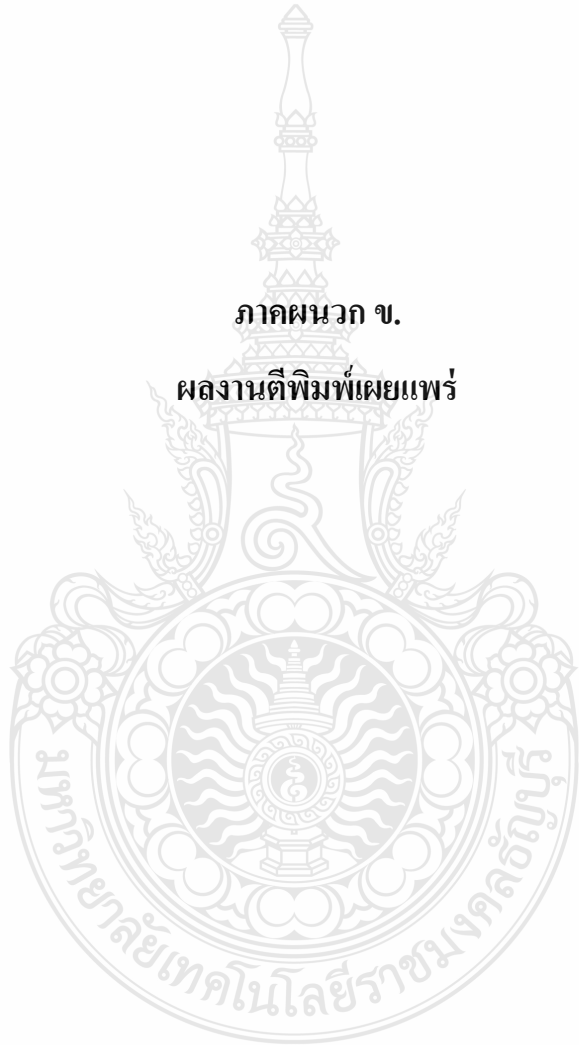
ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมรรถนะของการควบคุมกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน (ต่อ)

Time (Hours)	FFB			
	CS0	CS0M	CS1	CS2
14.38	754.785	754.223	753.857	744.292
14.4	754.792	754.237	753.871	744.291
14.42	754.8	754.25	753.884	744.289
14.44	754.808	754.264	753.898	744.287
14.46	754.815	754.276	753.912	744.286
14.48	754.821	754.289	753.925	744.284
14.5	754.827	754.301	753.939	744.282
14.52	754.833	754.314	753.953	744.281
14.54	754.839	754.326	753.966	744.279
14.56	754.844	754.339	753.98	744.277
14.58	754.85	754.351	753.994	744.275
14.6	754.856	754.363	754.007	744.274
14.62	754.862	754.376	754.02	744.272
14.64	754.868	754.388	754.033	744.27
14.66	754.873	754.401	754.045	744.269
14.68	754.879	754.413	754.058	744.267
14.7	754.884	754.426	754.071	744.265
14.72	754.89	754.438	754.083	744.263
14.74	754.895	754.451	754.096	744.262
14.76	754.9	754.463	754.108	744.26
14.78	754.905	754.475	754.121	744.258
14.8	754.911	754.486	754.134	744.257
14.82	754.916	754.498	754.146	744.255
14.84	754.921	754.509	754.159	744.253
14.86	754.927	754.521	754.171	744.252



ภาคผนวก ข.

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวน้ำค้าง คมสัน
วัน เดือน ปีเกิด 24 ตุลาคม 22532
ที่อยู่ 67/4 หมู่ 7 ตำบลทอนหงส์ อำเภอพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช
การศึกษา
พ.ศ.2552 สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี
 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เบอร์โทรศัพท์ 08-3592-5216
อีเมล nam_kang_bow@hotmail.com

