

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

**การจำลองระบบควบคุมหอกลั่น**

**Control System Simulation of Distillation Column**



เลขที่.....  
เลขหนังสือ.....  
วัน,เดือน,ปี.....

83106  
-5 ส.ค. 2551

b. 11463126  
i. ....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง                    การจำลองระบบควบคุมหอกลิ้น  
Control System Simulation of Distillation Column

ผู้จัดทำ            นายคมศักดิ์            ลีลานันทกุล            47010075  
                                 นายวรงค์                ฌ์ฐุรงค์                47010645

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.นพดล            มณีรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การจำลองระบบควบคุมหอกถัน

โดย

นายคมศักดิ์ ลีถานันท์กุล 47010075

นายวรงค์ ณ์ฐุรงค์ 47010645

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.นพดล มณีรัตน์

ปีการศึกษา 2550

## บทคัดย่อ

ปฏิญานិพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ของหอกถัน เพื่อจำลองการทดลองในแต่ละชั้นของถาดรอง ภายในหอกถันที่ทำงานแบบต่อเนื่องในการแยกสารผสมเมทานอลและน้ำ จุดมุ่งหมายของโครงการนี้คือการใช้แบบจำลองสร้างค่าอุณหภูมิตั้งแต่ชั้นของหอกถันในเวลาที้น้อยกว่าการทดสอบจริง โดยที่มีความแม่นยำเพียงตรงกับค่าการทดสอบหอกถันจริง เพื่อใช้ในการทดสอบค่าอินพุตที่ป้อนเข้าสู่การทำงานของหอกถันว่าทำงานได้ตามที่ต้องการหรือไม่ รวมไปถึงการเลือกใช้ขนาดของถาดรองในแต่ละชั้นว่าทำให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดเท่าใด ซึ่งในการทดสอบหอกถันจริงจะต้องใช้เวลาหลายชั่วโมงในการทดสอบ โดยที่แบบจำลองจะต้องสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอินพุตได้ในขณะที่มีการทำงานอยู่ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Control System Simulation of Distillation Column

By

Mr. Khomsak Leranunthakul

Mr. Warong Natdurong

Advisor

Dr. Noppadol Maneerat

## ABSTRACT

This thesis proposes the creation of a dynamic mathematical model of distillation column to simulate the experiment in each tray in a column which works continuously to distillate an incoming methanol and water mixture. The purpose of experiment is to use the model to create a result of temperature in less time to compare with a real distillation column and with a precise result. Result temperature is use to test an input pass to the distillation column whether a column work as desirable and include the effect of size of each tray to an efficient of a column and the model have to change an input while it is working too.

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปฏิญานិพนธ์ฉบับนี้ ประสบความสำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์บัณฑิต ที่ได้ให้คำปรึกษาและคอยติดตามสอบถามความคืบหน้าของโครงการนี้ตลอดมาจนงานเสร็จสมบูรณ์ รวมทั้งเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่จำเป็น และความช่วยเหลืออื่นๆที่เป็นประโยชน์คือโครงการ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ช่วยเหลือในด้านเนื้อหาข้อมูล รวมไปถึงให้กำลังใจ สนับสนุนอุปกรณ์ที่ขาดเหลือ กระตุ้นเตือน รวมทั้งคอยถามไถ่ความคืบหน้าของโครงการอยู่เสมอ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้



ผู้จัดทำ

นายคมศักดิ์

นายวรงค์

ลีลานันท์กุล

ณัฐดุรงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำและจุดประสงค์	1
1.2 ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ตัวความแปร	4
2.2 การไหลกลับ	5
2.3 ถาดกรอง	6
2.4 ส่วนการต้มฆ่า	7
2.5 ความสมดุลของไอสารที่ระเหยกับของเหลว	8
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	9
3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ในโปรแกรมแล็บวิว	9
3.1.1 ความสมดุลของสารในแต่ละถาดกรอง	10
3.1.2 ความสมดุลของสารบนถาดกรองรับสารตั้งต้น	12
3.1.3 คุณภาพการเป็นของเหลวของสารตั้งต้น	13
3.1.4 ความสมดุลของสารบนส่วนรับผลิตภัณฑ์จากขอดหอ	13
3.1.5 ความสมดุลของสารบนส่วนการต้มฆ่า	14
3.2 สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ของหอกลั่น	15
3.3 แบบจำลองของเร้าท์	20

## สารบัญ ( ต่อ )

	หน้า
3.4 แบบจำลองของเหลววน ลาร์	21
3.5 การวิเคราะห์อัตราการใช้ของสารตั้งต้น	22
3.5.1 ขั้นตอนสำหรับการวิเคราะห์อัตราการใช้ของสารตั้งต้น	22
3.5.2 ผลลัพธ์สำหรับการวิเคราะห์อัตราการใช้ของสารตั้งต้น	23
3.5.3 การแปลงหน่วยสำหรับการวิเคราะห์อัตราการใช้ของสารตั้งต้น	24
3.6 การสูญเสียความร้อนจากส่วนการต้มซ้ำ	24
3.7 สมการอันดับ 4 รุงเง-กุตตา	28
3.8 ค่าอินพุตและเอาต์พุต สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์	30
3.8.1 ค่าอินพุตของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์	31
3.8.2 ค่าเอาต์พุตของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์	32
3.9 การทำงานของแบบจำลองบนโปรแกรมแล็บวิว	33
<b>บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง</b>	<b>38</b>
4.1 ค่าป้อนเข้าที่ใช้ในการทดสอบหอกลับ 1	38
4.2 ผลการทดลองที่ 1	40
4.3 ค่าป้อนเข้าที่ใช้ในการทดสอบหอกลับ 2	55
4.4 ผลการทดลองที่ 2	56
<b>บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุป</b>	<b>70</b>
5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง 1	70
5.1.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง 1	70
5.1.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง 2	71
5.2 สรุปผลการทดลอง	71
5.3 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข	72
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>73</b>

## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภาพจำลองหอกลิ้น	3
2.2 แบบตัวอย่างของตัวควมแน่น	4
2.3 แบบตัวอย่างของลิ้นปิดเปิดการไหลกลับ	5
2.4 แบบตัวอย่างของถาดรอง	6
2.5 แบบตัวอย่างของส่วนการคัมซ้ำ	7
2.6 แผนภาพความสัมพันธ์ของไอระเหย-ของเหลวของสารผสมเมททานอลและน้ำ	8
3.1 แผนภาพของหอกลิ้น	9
3.2 ลักษณะการทำงานของฝาครอบไอของถาดรอง	10
3.3 แบบตัวอย่างของถาดรองรับสารตั้งต้น	12
3.4 แบบตัวอย่างของส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ	13
3.5 แบบตัวอย่างของส่วนการคัมซ้ำ	14
3.6 แบบตัวอย่างของส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ	15
3.7 แบบตัวอย่างของส่วนทำให้บริสุทธิ์	16
3.8 แบบตัวอย่างของถาดรองรับสารตั้งต้น	17
3.9 แบบตัวอย่างของส่วนแยกสาร	18
3.10 แบบตัวอย่างของส่วนการคัมซ้ำ	19
3.11 การเปรียบเทียบจากแบบจำลองของเราท์	20
3.12 แบบจำลองของเหลวแวน ลาร์ สำหรับสารผสมเมททานอลและน้ำ	21
3.13 รูปกราฟแสดงการวิเคราะห์อัตราการผลิตของสารตั้งต้น	23
3.14 ป้อนความร้อน 1000 วัตต์ เข้าส่วนการคัมซ้ำ	25
3.15 ป้อนความร้อน 700 วัตต์ เข้าส่วนการคัมซ้ำ	25
3.16 ป้อนความร้อน 650 วัตต์ เข้าส่วนการคัมซ้ำ	26
3.17 ป้อนความร้อน 600 วัตต์ เข้าส่วนการคัมซ้ำ	26
3.18 ป้อนความร้อน 550 วัตต์ เข้าส่วนการคัมซ้ำ	27

## สารบัญญภาพ ( ต่อ )

รูปที่	หน้า
3.19 ป้อนความร้อน 570 วัตต์ เข้าส่วนการต้มซ้ำ	27
3.20 แผนภาพแสดงอินพุตและเอาต์พุต สำหรับแบบจำลอง	30
3.21 หน้าจอควบคุมและแสดงผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ 1	33
3.22 หน้าจอควบคุมและแสดงผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ 2	34
3.23 หน้าจอควบคุมและแสดงผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ 3	35
3.24 หน้าจอควบคุมและแสดงผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ 4	36
3.25 หน้าจอควบคุมและแสดงผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ 5	37
4.1 รูปร่างในการหาค่า $x, y$ เทียบกับอุณหภูมิ	39
4.2 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 0	41
4.3 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 0	41
4.4 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 1	42
4.5 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 1	42
4.6 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 2	43
4.7 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 2	43
4.8 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 3	44
4.9 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 3	44
4.10 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 4	45
4.11 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 4	45
4.12 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 5	46
4.13 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 5	46
4.14 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 6	47
4.15 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 6	47
4.16 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 7	48
4.17 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 7	48

## VII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญภาพ ( ต่อ )

รูปที่	หน้า
4.18 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่อาคารongชั้นที่ 8	49
4.19 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่อาคารongชั้นที่ 8	49
4.20 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่อาคารongชั้นที่ 9	50
4.21 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่อาคารongชั้นที่ 9	50
4.22 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่อาคารongชั้นที่ 10	51
4.23 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่อาคารongชั้นที่ 10	51
4.24 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่อาคารongชั้นที่ 11	52
4.25 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่อาคารongชั้นที่ 11	52
4.26 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่อาคารongชั้นที่ 12	53
4.27 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่อาคารongชั้นที่ 12	53
4.28 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่อาคารongชั้นที่ 13	54
4.29 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่อาคารongชั้นที่ 13	54
4.30 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่อาคารongชั้นที่ 0	56
4.31 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่อาคารongชั้นที่ 0	56
4.32 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่อาคารongชั้นที่ 1	57
4.33 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่อาคารongชั้นที่ 1	57
4.34 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่อาคารongชั้นที่ 2	58
4.35 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่อาคารongชั้นที่ 2	58
4.36 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่อาคารongชั้นที่ 3	59
4.37 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่อาคารongชั้นที่ 3	59
4.38 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่อาคารongชั้นที่ 4	60
4.39 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่อาคารongชั้นที่ 4	60
4.40 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่อาคารongชั้นที่ 5	61
4.41 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่อาคารongชั้นที่ 5	61

### VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ ( ต่อ )

รูปที่	หน้า
4.42 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่อาคารongชั้นที่ 6	62
4.43 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่อาคารongชั้นที่ 6	62
4.44 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่อาคารongชั้นที่ 7	63
4.45 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่อาคารongชั้นที่ 7	63
4.46 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่อาคารongชั้นที่ 8	64
4.47 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่อาคารongชั้นที่ 8	64
4.48 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่อาคารongชั้นที่ 9	65
4.49 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่อาคารongชั้นที่ 9	65
4.50 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่อาคารongชั้นที่ 10	66
4.51 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่อาคารongชั้นที่ 10	66
4.52 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่อาคารongชั้นที่ 11	67
4.53 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่อาคารongชั้นที่ 11	67
4.54 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่อาคารongชั้นที่ 12	68
4.55 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่อาคารongชั้นที่ 12	68
4.56 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่อาคารongชั้นที่ 13	69
4.57 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่อาคารongชั้นที่ 13	69

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางแสดงการวิเคราะห์อัตราการใช้ของสารตั้งต้น	23
3.2 อินพุตสำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์	31
3.3 เอาท์พุตสำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์	32
4.1 ค่าเริ่มต้น $x, y$ ในการทดลองที่ 1	39
4.2 ค่าอินพุตให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทดลองที่ 1	40
4.3 ค่าเริ่มต้น $x, y$ ในการทดลองที่ 2	55
4.4 ค่าอินพุตให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทดลองที่ 2	55



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 กล่าวนำและจุดประสงค์

จุดประสงค์ของโครงการนี้คือการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ของหอกลั่น เพื่อจำลองค่าอุณหภูมิในแต่ละชั้นถาดรอง (tray) ทั้ง 12 ชั้นภายในหอกลั่น โดยแบบจำลองที่สร้างขึ้นในแผนงานนี้ จะใช้ได้เฉพาะกับระบบการกลั่นแบบต่อเนื่องของสารผสมระหว่างเมทานอลและน้ำ

โดยทั่วไปการทดสอบระบบการกลั่นนั้นต้องใช้เวลาหลายชั่วโมงในการทำงาน โดยขึ้นอยู่กับการป้อนค่าปัจจัยการทำงาน คือ อัตราการไหลกลับจากยอดหอ (reflux percentage) ค่าความร้อนที่บรรจุเข้าไปในส่วนการต้มซ้ำ (heat added to the reboiler) อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น (feed flow rate) และองค์ประกอบของสารตั้งต้น (feed composition) จากการทดสอบระบบการกลั่นจริง ทำให้ได้ค่าอุณหภูมิในหอกลั่นแต่ละชั้นทั้ง 12 ถาดรอง (tray) ในส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ (overhead receiver) และในส่วนการต้มซ้ำ (reboiler)

เพราะฉะนั้น จุดประสงค์ของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คือเพื่อจำลองค่าที่ได้จากการทดสอบระบบการกลั่นจริงด้วยเวลาที่น้อยลง โดยการจะทำให้ได้ตามจุดมุ่งหมายที่ตั้งไว้แบบจำลองของหอกลั่นนี้ต้องสามารถสร้างค่าอุณหภูมิในแต่ละชั้นถาดรอง (tray) ของหอกลั่น ในส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ (overhead receiver) และในส่วนการต้มซ้ำ (reboiler) และแบบจำลองต้องมีการแสดงผลของอุณหภูมิในช่วงที่เกิดการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงค่าที่ป้อนเข้าสู่ระบบการกลั่น ในแต่ละชั้นถาดรอง (tray) ของหอกลั่น ในส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ (overhead receiver) และในส่วนการต้มซ้ำ (reboiler) และสถานะสุดท้ายเมื่ออุณหภูมิกิ่งที่ในแต่ละชั้นถาดรอง (tray) ของหอกลั่น ในส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ (overhead receiver) และในส่วนการต้มซ้ำ (reboiler)

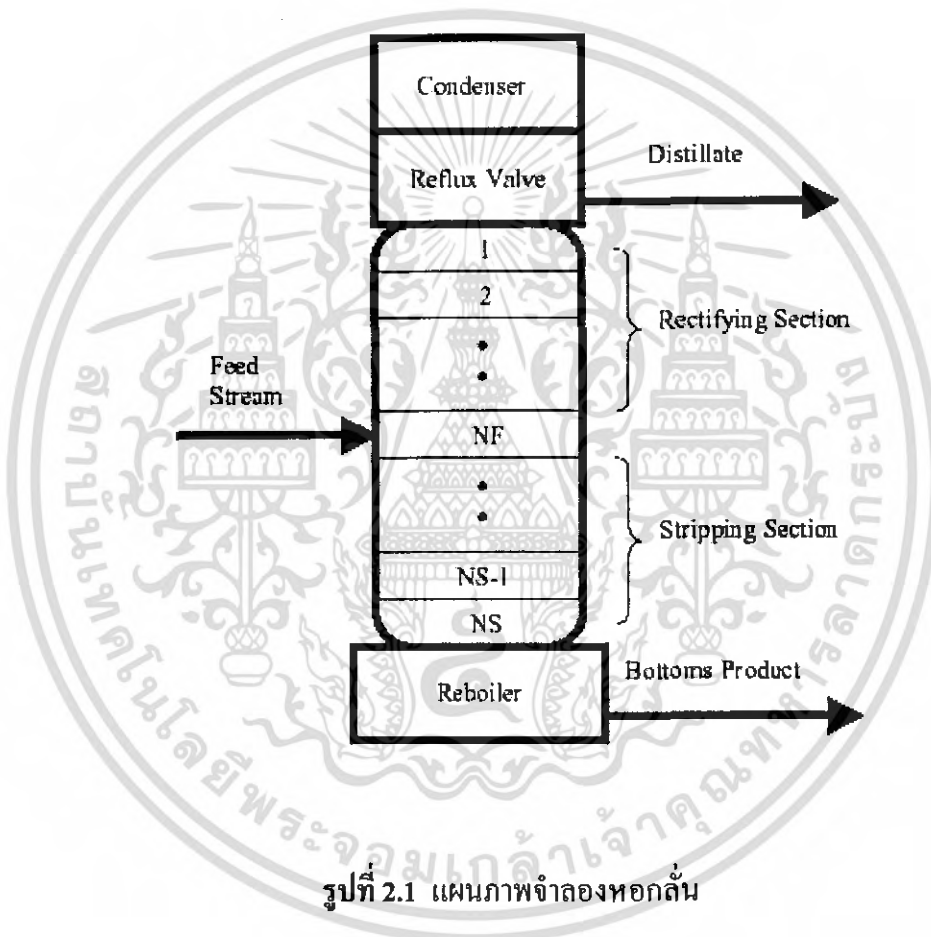
## 1.2 ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงการ

การจำลองระบบควบคุมหอกถันนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาและเข้าใจการทำงานของระบบการถัน ในการศึกษาช่วงแรก เป็นการหาข้อมูลของรูปแบบการถัน ชนิดของหอกถัน เพื่อหาหอกถันที่เหมาะสมในการจำลองจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยได้ข้อมูลจากการค้นคว้าหนังสือในหอสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และจากทางผู้เชี่ยวชาญที่ศึกษาอยู่ในภาควิชาที่มีการศึกษาในเรื่องเหล่านี้ เมื่อเข้าใจการทำงานของหอกถันแล้ว จึงเริ่มนำสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการถันมาคำนวณหาค่าผลลัพธ์ที่ต้องการ จากนั้นจึงเริ่มนำสมการทางคณิตศาสตร์มาเขียนลงในโปรแกรมที่เลือกใช้ และทดสอบการทำงานของแบบจำลอง โดยเทียบกับค่าจากการทำงานจริง และปรับแก้ค่าผิดพลาดจนสามารถได้ค่าที่สมจริงที่สุด เมื่อโปรแกรมสมบูรณ์ตามเป้าหมาย ก็เพิ่มส่วนโปรแกรมที่ใช้ในการตรวจสอบการทำงานของระบบ คือระบบป้องกันภัย โดยมีการเชื่อมกับอุปกรณ์ภายนอกเพื่อจำลองการรับ/ส่งสัญญาณในระบบนิรภัย

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

การกลั่นที่จำลองในการศึกษานี้ประกอบด้วย 12 ส่วน ตัวควบแน่น (condenser) ส่วนการต้มซ้ำ (reboiler) และตัวควบคุมการไหลกลับ (reflux valve)



รูปที่ 2.1 แผนภาพจำลองหอกลั่น

รูปที่ 2.1 แสดงแผนภาพจำลองของหอกลั่น โดยใส่สารตั้งต้น (feed) ไปในกึ่งกลางของหอกลั่น โดยส่วนด้านบนจากจุดที่รับสารตั้งต้น (feed) เรียกว่า ส่วนทำให้บริสุทธิ์ (rectifying section) ในส่วนนี้จะทำให้ส่วนประกอบที่เบาของสารตั้งต้นมีความบริสุทธิ์มากขึ้น

ส่วนที่ลงมาต่ำกว่าจุดรับสารตั้งต้น (feed) คือส่วนแยกสาร (stripping section) ที่ซึ่งส่วนประกอบที่เบาแยกออกจากส่วนประกอบหนัก หรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งคือ ความเข้มข้นของส่วนประกอบที่เบาจะถูกทำให้บริสุทธิ์ขึ้นเล็กน้อย

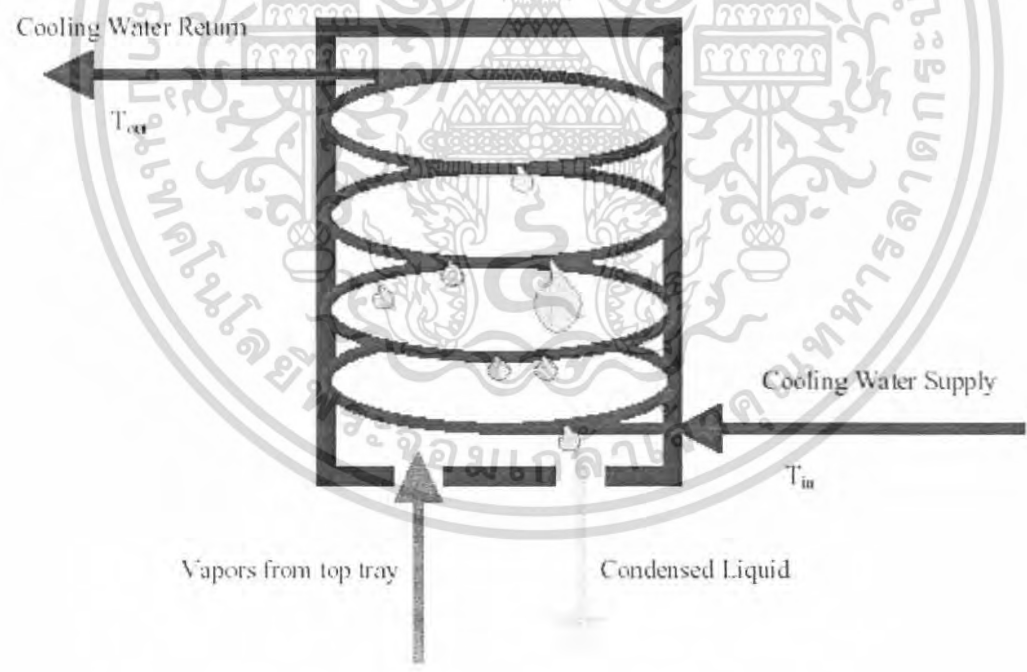
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler) นั้นอยู่ที่จุดล่างสุดของหอกกลั่น ส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler) จะให้ความร้อนไปที่หอกกลั่น เพื่อให้สารประกอบที่เบาของสารผสม 2 ชนิด ระเหยขึ้นไปภายในหอกที่ระเหย (tray) ผลิตภัณฑ์จากส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler) เรียกว่าผลิตภัณฑ์จากก้นหอก (Bottom Product)

ตัวควบแน่น (condenser) อยู่ที่จุดบนสุดของหอกกลั่น ตัวควบแน่น (condenser) จะลดความร้อนจากชั้นการกลั่น เพื่อให้ไอสารควบแน่นเป็นของเหลวที่สามารถเลือกให้เป็นผลิตภัณฑ์จากการกลั่น โดยควบคุมจากวาล์วควบคุมการไหลกลับ (reflux valve)

### 2.1 ตัวควบแน่น (Condenser)

ตัวควบแน่น (condenser) ถูกตั้งอยู่บนสุดของระบบการกลั่น ตัวควบแน่น (condenser) ใช้เพื่อลดความร้อนออกจากไอระเหยเพื่อให้เกิดการควบแน่น



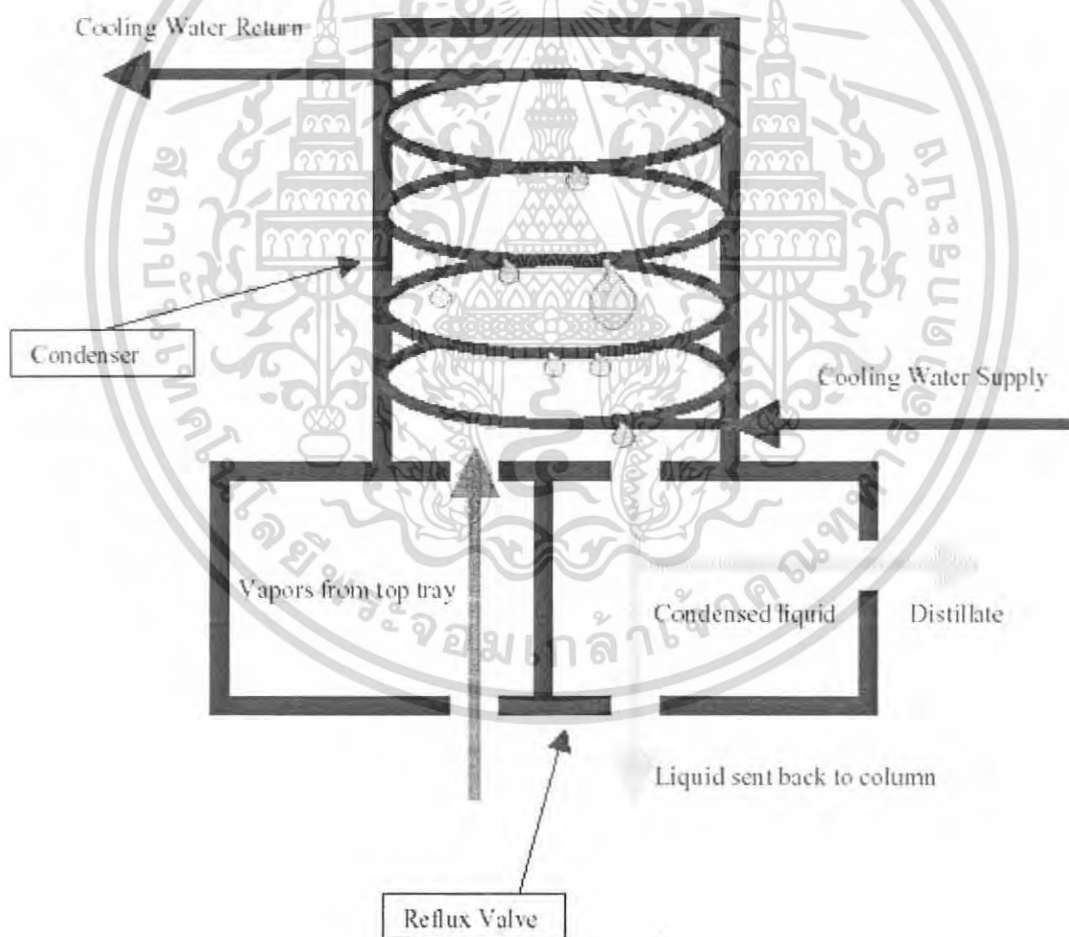
รูปที่ 2.2 แบบตัวอย่างของตัวควบแน่น (condenser)

รูปที่ 2.2 ภาพประกอบการควบแน่นของไอระเหยที่กำลังออกจากชั้นบนสุดของชั้นการกลั่น น้ำเย็นที่ทำให้อุณหภูมิของสารเย็นลงทำให้ไอระเหยควบตัวเป็นของเหลวแล้วออกจากตัวควบแน่น (condenser) โดยแรงดึงดูดของโลก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม้วารณี่ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวควบแน่น (condenser) มีเปลือกและท่อขดเป็นพื้นฐานในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับความร้อนจากไอรระเหยจากชั้นบนสุดของหอกกลั่น เป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำเย็นที่ส่งเข้ามากับไอรระเหยของสาร น้ำเย็นจะได้รับพลังงานที่สูญเสียจากไอรระเหยของสารทำให้น้ำเย็นที่ผ่านออกมามีความร้อนกว่าน้ำเย็นที่ถูกส่งเข้าไป

## 2.2 การไหลกลับ (Reflux)

ลิ้นปิดเปิดการไหลกลับ (Reflux Valve) จะติดตั้งอยู่ที่ตัวคอนเดนเซอร์ ลิ้นปิดเปิดการไหลกลับส่วนของไอที่ควบแน่นถูกรวบรวมเป็นผลิตภัณฑ์ (ผลิตผลจากการกลั่น) และที่พักไว้จะถูกส่งกลับไปยังส่วนหอกกลั่น



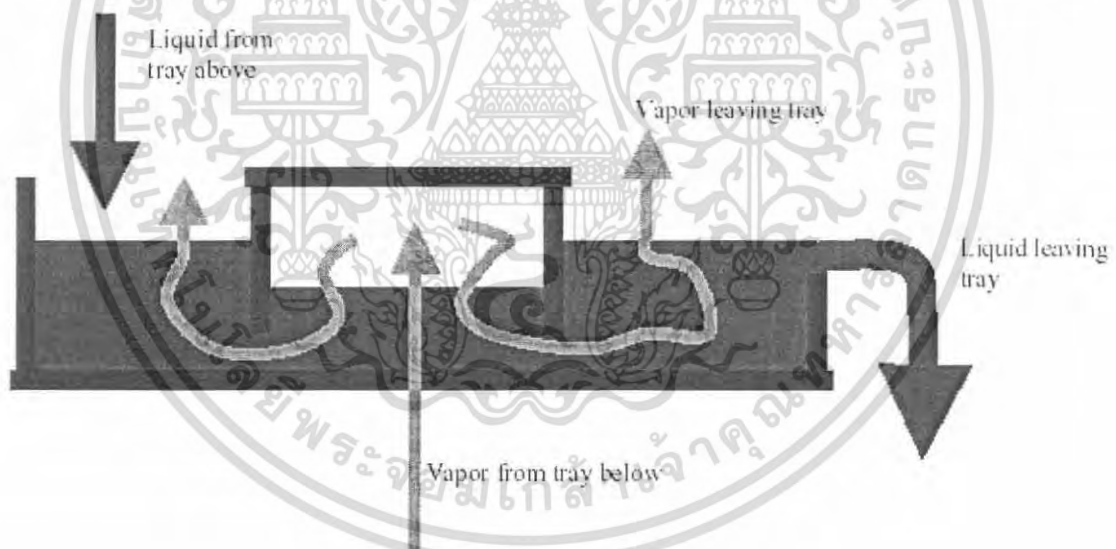
รูปที่ 2.3 แบบตัวอย่างของลิ้นปิดเปิดการไหลกลับ (reflux valve)

เอกสารนี้รูปที่ 2.3 ภาพประกอบการทำงานของลิ้นปิดเปิดการไหลกลับ (reflux valve) ลิ้นปิดเปิดการไหลกลับ (reflux valve) จะไม่กระทบอัตราการผลิตของไอรระเหยจากส่วนข้องีรกลั่นที่ใช้ตัวควบแน่น (condenser) แต่มันจะแยกกันเป็นระดับของสิ่งที่เกิดจากการควบแน่นเป็นของเหลว

นั่นคือในตัวควบแน่น (condenser) รู้ว่าเป็นระดับที่ต้องการ เช่นที่ 90% ของการไหลกลับคือ 90% ของการควบแน่นเป็นของเหลวถูกส่งกลับที่ส่วนของการกลั่นสำหรับการแยกออกที่ละเอียดขึ้น และ 10% ถูกรวบรวมเป็นผลิตภัณฑ์จากการกลั่น ลิ้นปิดเปิดการไหลกลับที่ทดลอง กระทำบนพื้นฐานเวลา เช่น ที่ 90% ลิ้นปิดเปิดการไหลกลับ (reflux valve) จะเปิดส่งสารที่เกิดจากการควบแน่นเป็นของเหลวออกเป็นผลิตภัณฑ์จากการกลั่นเป็นเวลา 6 วินาที (ที่ 10% ของนาฬิกา) และส่งเป็นของเหลวจากการควบแน่นกลับไปส่วนหอกลั่นเป็นเวลา 54 วินาที (ที่ 90% ของนาฬิกา)

### 2.3 ถาดรอง (Tray)

ถาดรอง (tray) นั้นเป็นส่วนสำคัญของการกลั่น เพราะถาดรอง (tray) จะช่วยเหลือในกระบวนการการแยกออกของสาร โดยระบบการกลั่นที่นำมาจำลองในการศึกษานี้ประกอบด้วย 12 ถาดรอง (tray)



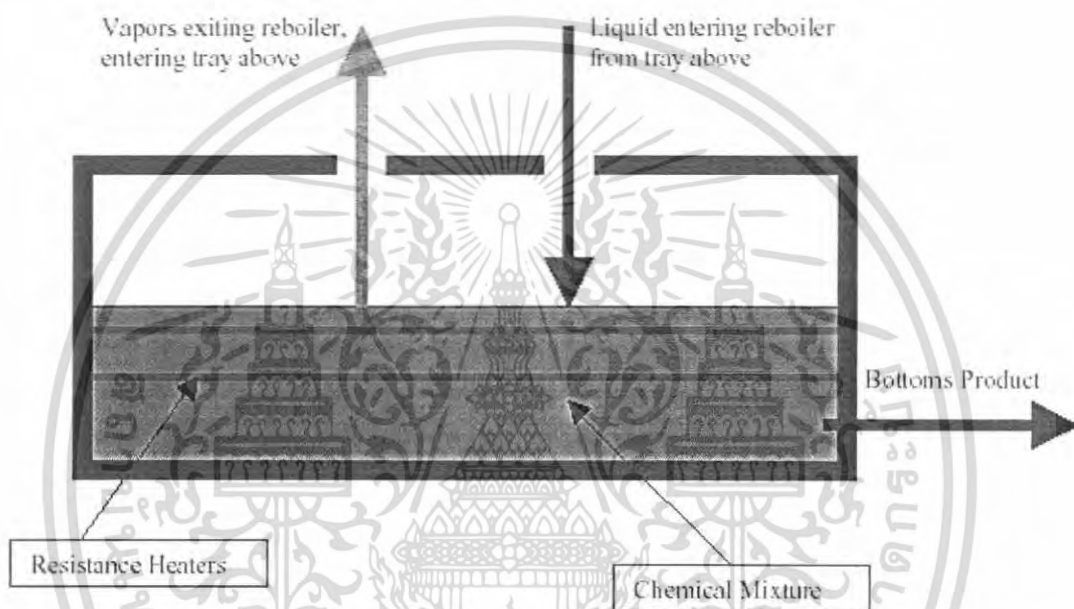
รูปที่ 2.4 แบบตัวอย่างของถาดรอง (tray)

รูปที่ 2.4 การคำนวณของชั้นถาดรอง (tray) ไอที่ระเหยจากระดับที่ต่ำกว่าเพิ่มขึ้นที่ถาดรอง (tray) เหนือกว่า ไอจะรวมกับของเหลวอีกครั้งก่อนที่จะไปที่ถาดรอง (tray) ชั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler)

การต้มให้เดือดเป็นส่วนสำคัญในการเปลี่ยนสถานะของเหลวที่ระดับการกลั่น สารผสม 2 ชนิด เพราะว่าเมทานอล (methanol) มีจุดเดือดที่ 64.7 องศาเซลเซียส และน้ำมีจุดเดือดที่ 100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.5 แบบตัวอย่างของส่วนการต้มซ้ำ (reboiler)

รูปที่ 2.5 ภาพประกอบของส่วนการต้มซ้ำ เครื่องทำความร้อนเป็นตัวทำความร้อนในการต้ม เมื่อไอสารเริ่มรวมตัว จะเริ่มการต้มซ้ำอีกครั้ง ไอระเหยจะเริ่มเกิดขึ้นจากการต้มซ้ำ (reboiler) และจะขึ้นไปตามแต่ละชั้นถาดรอง (tray) ตามสมดุลไอระเหย - ของเหลวระหว่างเมทานอล (methanol) และน้ำ ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

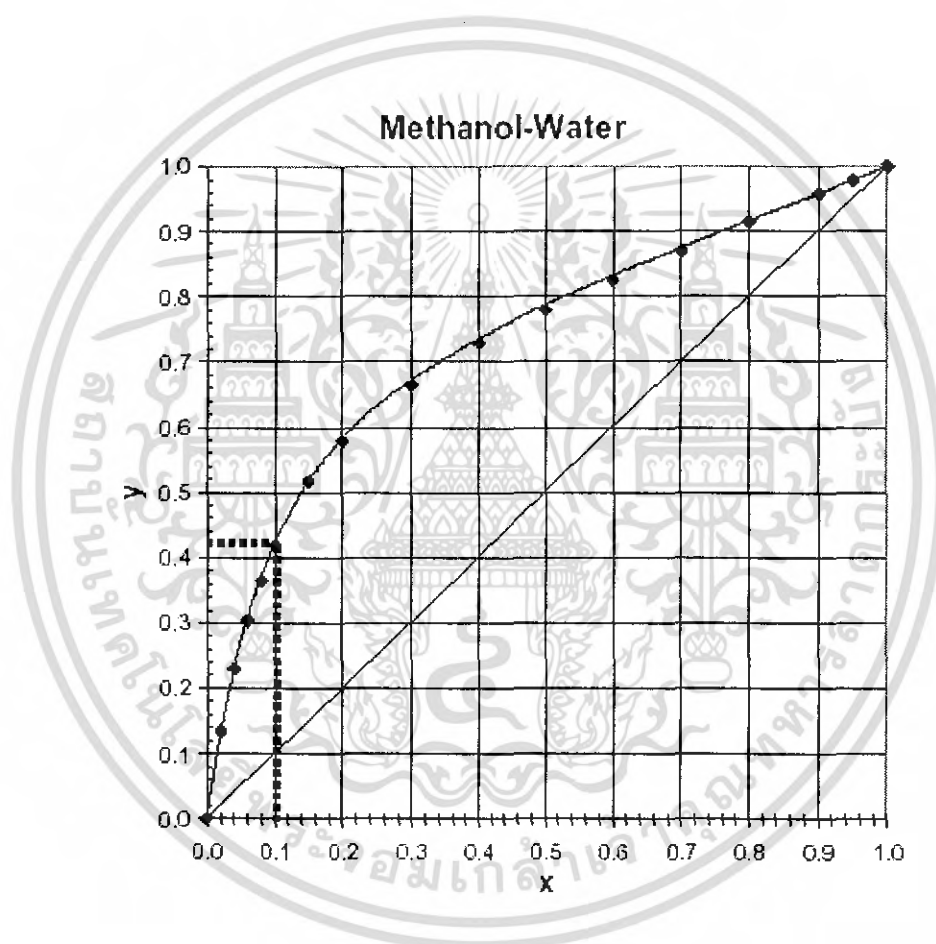
การส่งของเหลวลงไปในระดับล่างทำให้เพิ่มเศษส่วน โมลของส่วนประกอบหนัก จนกระทั่งการรวบรวมในตอนท้ายในการต้มให้เดือดอีกครั้ง ผลสุดท้าย เพื่อให้ระดับของความร้อนของการต้มให้เดือดเกิดค่าคงที่อีกครั้ง ส่วนของของเหลวในการต้มให้เดือดถูกรวบรวมเป็นผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ความสมดุลของไอสารที่ระเหย-ของเหลว

การกลั่นคือกระบวนการแยกสารผสมสารเคมี ในกรณีนี้สารผสม 2 ชนิด อาศัยความแตกต่างในจุดเดือด ความสัมพันธ์ของสารผสมสารเคมีเกี่ยวข้องกับของเหลว และของไอสาร เพราะฉะนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างไอสารที่ควบแน่น และของเหลวเป็นระบบไบนารี (binary) ของเมทานอลและน้ำ

แผนภาพความสมดุลสำหรับความสัมพันธ์ระหว่างไอสารและของเหลวที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.6 แผนภาพความสมดุลของไอระเหย-ของเหลวของสารผสมเมทานอลและน้ำ

รูปที่ 2.6 ภาพประกอบความสัมพันธ์ระหว่างการอิมตัวของไอสาร และการอิมตัวเป็นของเหลวสำหรับสารผสมระหว่างเมทานอลและน้ำ เส้นแนวตั้งแกน Y เป็นส่วนประกอบทั้งหมดของเมทานอลที่อิมตัวเป็นไอ เส้นแนวนอนแกน X เป็นส่วนประกอบทั้งหมดของเมทานอลที่อิมตัวเป็นของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

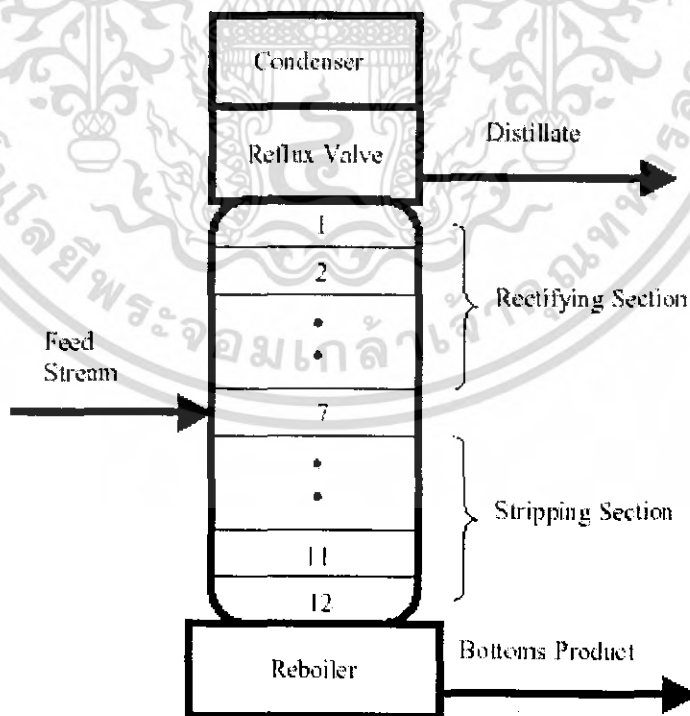
### หลักการออกแบบ

#### 3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ในโปรแกรมแล็บวิว (LabVIEW)

การที่จะสร้างแบบตัวอย่างเกี่ยวกับคณิตศาสตร์ในทางพลศาสตร์ (Dynamic Mathematical Model, DMM) ของหอกถัน ส่วนของสมการจำเป็นต้องนำมาจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในระบบการกลั่น การปรับเพื่อให้ความสมดุลระหว่างของเหลวและไอสาร อัตราการไหลเวียนสำหรับของเหลวและไอสาร การเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบในสารต่างๆทั้งหมดกับเวลา ฯลฯ

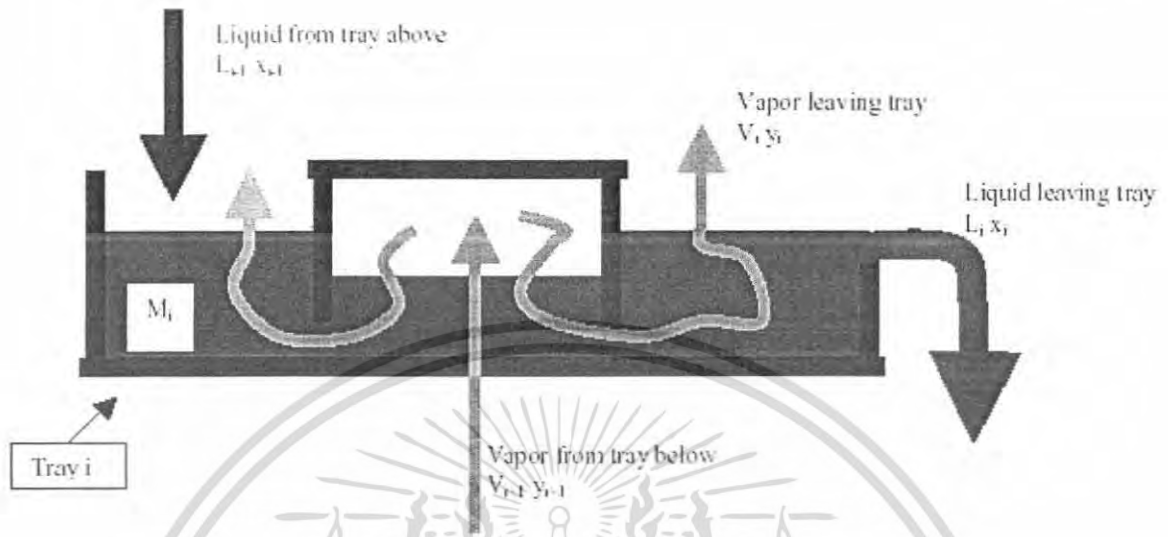
โปรแกรมแล็บวิว (LabVIEW) สามารถสร้างแบบจำลองการกลั่นที่เราสามารถรับส่งข้อมูลต่อการทำงานของระบบได้ แล็บวิว (LabVIEW) เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ และการเขียนโปรแกรมถูกปฏิบัติผ่านทางสร้างเครื่องมือในโปรแกรมแล็บวิว (LabVIEW) โดยถูกจัดการเพื่อสร้างแบบตัวอย่างภายใน

การพัฒนาของ DMM



รูปที่ 3.1 แผนภาพของหอกถัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น กรุณาอย่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ลักษณะการทำงานของฝาคาบไธของถาดรอง (tray)

ไอสารที่ควบแน่นลอยขึ้นจากถาดรอง (tray) ชั้นล่าง  $V_{i+1}$  และมีความเข้มข้น  $y_{i+1}$  เข้าไปทางด้านล่างของถาดรอง (tray) และถูกรวบรวมในฝาคาบไธ ไอเหล่านี้จะเกิดการไหลเวียนผ่านของเหลวบนถาดรอง (tray) “i” ที่ซึ่งมีการผสมเกิดขึ้นระหว่างไอสารกลายเป็นของเหลว ไอสารที่ควบแน่นออกจากถาดคือที่  $V_i$  กับความเข้มข้น  $y_i$  ของเหลว  $L_{i-1}$  จากถาดรอง (tray) ชั้นบนเข้ามาที่ถาดรอง (tray) “i” ด้วยความเข้มข้น  $x_{i-1}$  ของเหลวนี้ผสมกับไอที่ควบแน่นด้านบนของ “i” และออกทาง  $L_i, x_i$

### 3.1.1 ความสมดุลของสารในแต่ละถาดรอง (Tray)

ความสมดุลของสารประกอบเมทาทานอดสามารถบอกกิจกรรมที่เกิดขึ้นบนถาดรอง (tray) แต่ละอันในขณะนั้น ในสมการต่อไปนี้เป็นสูตรพื้นฐานความสมดุลของสารประกอบในทางพลศาสตร์

$$\text{สิ่งสะสม} = \text{ของเหลวจากถาดรองเหนือกว่า} + \text{ไอจากถาดรองต่ำกว่า} - \text{ของเหลวที่ไหลออกไป} - \text{ไอน้ำที่ควบแน่นออกไป}$$

หรือดั่งสมการ (3.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้ง  $\frac{dM_i x_i}{dt} = L_{i-1} x_{i-1} + V_{i+1} y_{i+1} - L_i x_i - V_i y_i$  และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ (3.1)

$dM_i/dt$  คือการเปลี่ยนแปลงโมลในระยะที่เป็นของเหลว  $dx/dt$  คือการเปลี่ยนแปลงในส่วนประกอบของเมททานอลกับเวลา  $L_{i-1}$  คือของเหลวที่ไหลจากถาดรอง (tray) ชั้นเหนือกว่าที่เข้าไปในถาดรอง (tray) ชั้นที่ “ i ”  $V_{i+1}$  คือไอสารที่ควบแน่นจากถาดรอง (tray) ชั้นต่ำกว่าถาดรอง (tray) ชั้นที่ “ i ”  $L_i$  คือของเหลวบนถาดรอง (tray) ชั้นที่ “ i ” และ  $V_i$  คือไอสารที่ควบแน่นบนถาดรอง (tray) ชั้นที่ “ i ” ส่วนประกอบต่างๆทั้งหมดของเมททานอลที่เป็นของเหลวถูกแสดงโดย “ x ” และไอสารที่เป็นส่วนประกอบต่างๆทั้งหมดของเมททานอลถูกแสดงโดย “ y ”

ณ จุดนี้ การไหลของสารออกจากหอกกลับแสดงให้เห็นว่าเป็นไปตามสมดุลของน้ำหนักโมเลกุล เพราะฉะนั้นสำหรับทุกถาดรอง (tray) ยกเว้นถาดรองรับสารตั้งต้น (feed tray) ไอระเหยที่ออกจากถาดรอง (tray) หนึ่ง จะเท่ากับไอระเหยที่เข้ามาจากถาดรอง (tray) ชั้นล่าง และของเหลวที่ออกจากถาดรอง (tray) หนึ่ง จะเท่ากับของเหลวที่ไหลเข้าจากถาดรอง (tray) ชั้นบน ดังสมการ (3.2) และ (3.3)

$$V_{i+1} = V_i \quad (3.2)$$

$$L_{i-1} = L_i \quad (3.3)$$

จากจุดก่อนหน้านี้นี้ เราสมมติให้ของเหลวที่สะสมในทุกๆถาดรอง (tray) รวมไปถึงในถาดรองรับสารตั้งต้น (feed tray) ตัวควบแน่น (condenser) และส่วนการต้มซ้ำ (reboiler) เป็นค่าคงที่หรือในอีกความหมายคือ ไม่มีการสูญเสียความร้อนจากภายในแต่ละชั้น กำหนดเป็นสมการ (3.4)

$$\frac{dM_i}{dt} = 0 \quad (3.4)$$

เพราะฉะนั้นค่าโมลที่กำหนดในแต่ละถาดรอง (tray) จะเท่ากันด้วย ดังสมการ (3.5)

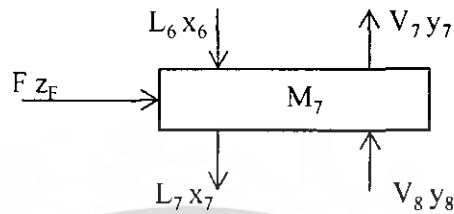
$$M_{i+1} = M_i = M_T \quad (3.5)$$

อย่างไรก็ตาม โมลของส่วนรับผลิตผลยอดห่อ (overhead receiver) และส่วนการต้มซ้ำ (reboiler) จะไม่เท่ากับแต่ละถาดรอง (tray) ดังสมการ (3.6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ  $M_B \neq M_T \neq M_D$  ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ซ้ำ (3.6) ถ้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 ความสมดุลของสารบนถาดรองรับสารตั้งต้น (Feed Tray)

สารในถาดรองรับสารตั้งต้น (Feed Tray) มีความแตกต่างกันเล็กน้อยกับถาดรองรับชั้นอื่นๆ ในหอกถัน ในแบบจำลองนี้ถาดรองรับสารตั้งต้น (feed tray) คือชั้นที่ 7



รูปที่ 3.3 แบบตัวอย่างของถาดรองรับสารตั้งต้น (feed tray)

ไอสารที่มีอัตราไหลออกจากถาดรองรับสารตั้งต้น (feed tray) เท่ากับไอสารที่ไหลเข้าสู่ถาดรองรับสารตั้งต้น (feed tray) การเพิ่มไอสารใดๆเข้าไปในถาดรองรับสารตั้งต้น (feed tray) ทำให้ไอสารเกิดความสมดุลขึ้น ดังสมการ (3.7)

$$V_7 = V_8 + F(1 - q_F) \quad (3.7)$$

เมื่ออุณหภูมิของเหลวไหลออกจากถาดรองรับสารตั้งต้น (feed tray) เท่ากับของเหลวที่ไหลเข้าไปในถาดรองรับสารตั้งต้น (feed tray) เมื่อเพิ่มของเหลวใดๆเข้าไป ดังสมการ ความสมดุลวัตถุของเหลวทั้งหมดสำหรับถาดรองรับสารตั้งต้น (feed tray) ดังสมการ (3.8)

$$L_7 = L_6 + Fq_F \quad (3.8)$$

สมการ (3.9) สมการอนุพันธ์ของสารในถาดรองรับสารตั้งต้น (feed tray) ในเทอมของสารประกอบเมทานอล

$$\frac{dM_7x_7}{dt} = L_6x_6 + V_8y_8 + Fz_F - L_7x_7 - V_7y_7 \quad (3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 คุณภาพการเป็นของเหลวของสารตั้งต้น

คุณภาพการเป็นของเหลวของสารตั้งต้นถูกแสดงโดย  $q_F$  จากแบบตัวอย่างในการศึกษานี้คือ สารตั้งต้นที่เป็นของเหลวเย็น ส่งผลให้  $q_F > 1$ , อธิบายโดยสมการ (3.10)

$$q_F = 1 + \frac{C_{p,L}(T_b - T_F)}{\lambda} \quad (3.10)$$

โดยตัวแปร

$C_{p,L}$  คือ ความจุความร้อนจำเพาะของสารตั้งต้น

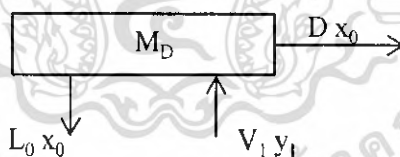
$T_F$  คือ อุณหภูมิของสารตั้งต้น

$T_b$  คือ จุดเดือดของสารตั้งต้น

$\lambda$  คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของสารตั้งต้น

### 3.1.4 ความสมดุลของสารบนส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ (Overhead Receiver)

ส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ (Overhead Receiver) ในแบบจำลองนี้ตั้งอยู่ในส่วนบนสุดของหอกลั่น ในการกำหนดลำดับของถาดรอง (Tray) ในหอกลั่นนั้น จะเริ่มต้นจาก 1 คือจากถาดรอง (Tray) ชั้นบนสุดในหอลงไปตามลำดับจนถึงถาดรอง (Tray) ล่างสุดคือ 12 และจะกำหนดลำดับของส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ (Overhead Receiver) เป็นชั้นที่ 0



รูปที่ 3.4 แบบตัวอย่างของส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ (overhead receiver)

เพราะฉะนั้น สมดุลของสารทั้งหมดในส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ (Overhead Receiver) จะเป็นดังสมการ (3.11)

$$V_1 = L_0 + D \quad (3.11)$$

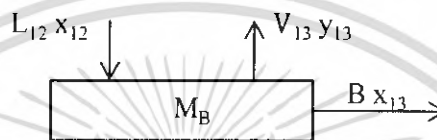
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ (3.12) สมการอนุพันธ์สำหรับส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ (Overhead Receiver) ในเทอมของสารประกอบเมทานอล

$$\frac{dM_D x_0}{dt} = V_1 y_1 - L_0 x_0 - D x_0 \quad (3.12)$$

### 3.1.5 ความสมดุลของสารบนส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler)

วิเคราะห์จากแบบตัวอย่างของส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler) ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.5 แบบตัวอย่างของส่วนการต้มซ้ำ (reboiler)

เมื่อถาดรองชั้นที่ 1 (Tray 1) คือ ถาดรองชั้นบนสุดของหอกลั่น และถาดรองชั้นที่ 12 (Tray 12) คือถาดรองชั้นล่างสุดของหอกลั่น ในส่วนของการต้มซ้ำ (Reboiler) กำหนดเป็นชั้นที่ 13 สมดุลของสารประกอบทั้งหมดในส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler) ดังสมการ (3.13)

$$B = L_{12} - V_{13} \quad (3.13)$$

สมการ (3.14) สมการอนุพันธ์ของส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler) ในเทอมของสารประกอบเมทานอล

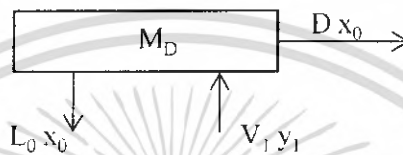
$$\frac{dM_B x_{13}}{dt} = L_{12} x_{12} - B x_{13} - V_{13} y_{13} \quad (3.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ของหอกลั่น

จากการวางแผนสร้างและการสมมติฐานที่ทำในส่วน 3.1 ในส่วนนี้จะเป็นการสร้างสมการสมดุลของสารใน 5 ส่วนหลักของหอกลั่น ได้แก่ ส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ (Overhead Receiver) ส่วนทำให้บริสุทธิ์ (Rectifying section) ส่วนรับสารตั้งต้น (Feed section) ส่วนแยกสาร (Stripping section) และส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler)

ความสมดุลของสารในส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ (Overhead Receiver)



รูปที่ 3.6 แบบตัวอย่างของส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ (Overhead Receiver)

$$\frac{dM_D x_0}{dt} = V_1 y_1 - L_0 x_0 - D x_0 \quad (3.12)$$

จากสมการ (3.12) เนื่องจาก  $dM_D/dt$  คือค่าคงที่ ดังนั้นความสมดุลของสารในส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ (Overhead Receiver) คือสมการ (3.15)

$$\frac{dx_0}{dt} = \frac{1}{M_0} [V_1 y_1 - L_0 x_0 - D x_0] \quad (3.15)$$

เนื่องจากไอสารและอัตราการไหลเวียนของของเหลวเป็นค่าคงที่สำหรับส่วนทำให้บริสุทธิ์ (Rectifying section) ดังสมการ (3.16), (3.17) และ (3.18)

$$V_{i+1} = V_i = V_R \quad (3.16)$$

$$L_{i-1} = L_i = L_R \quad (3.17)$$

$$V_R = L_R + D \quad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

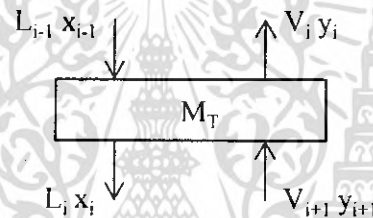
จะได้สมการ (3.19)

$$V_{RY1} - L_{RX0} - Dx_0 = V_{RY1} - x_0(L_R + D) = V_{RY1} - x_0V_R = V_R(y_1 - x_0) \quad (3.19)$$

สุดท้ายจะได้สมการความสมดุลของสารในส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ (Overhead Receiver) ดังสมการ (3.20)

$$\frac{dx_0}{dt} = \frac{1}{M_0} [V_R(y_1 - x_0)] \quad (3.20)$$

ในส่วนทำให้บริสุทธิ์ (Rectifying section) คือครึ่งบนของหอกลั่นตั้งแต่เหนือถาดรองรับสารตั้งต้น (Feed Tray) ในช่วงตั้งแต่ถาดรอง 1 ถึงถาดรอง 6



รูปที่ 3.7 แบบตัวอย่างของส่วนทำให้บริสุทธิ์ (Rectifying Section)

พิจารณาค่าคงที่ของโมลจากสมการ (3.21)

$$\frac{dx_i}{dt} = \frac{1}{M_i} [L_{i-1}x_{i-1} + V_{i+1}y_{i+1} - L_i x_i - V_i y_i] \quad (3.1)$$

จากสมการ (3.16) และ (3.17) ไอสารและอัตราการใช้ของเหลวของของเหลวคือค่าคงที่

$$V_{i+1} = V_i = V_R \quad (3.16)$$

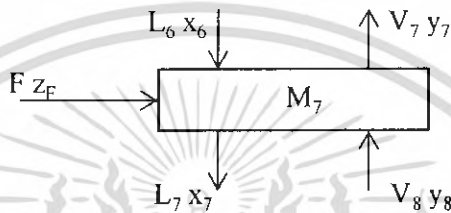
$$L_{i-1} = L_i = L_R \quad (3.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้น สมการสมดุลสารของส่วนทำให้บริสุทธิ์ (Rectifying section) จาก  $i = 1$  ถึง  $i = 6$  เป็นดังสมการ (3.22)

$$\frac{dx_i}{dt} = \frac{1}{M_T} [L_{RX_{i-1}} + V_{RY_{i+1}} - L_{RX_i} - V_{RY_i}] \quad (3.22)$$

สารตั้งต้นจะส่งเข้าไปที่กึ่งกลางหอกลั่นบนถาดรองชั้นที่ 7 (Tray 7)



รูปที่ 3.8 แบบตัวอย่างของถาดรองรับสารตั้งต้น (Feed Tray)

จากสมการ (3.9)

$$\frac{dM_7 x_7}{dt} = L_6 x_6 + V_8 y_8 + F z_F - L_7 x_7 - V_7 y_7 \quad (3.9)$$

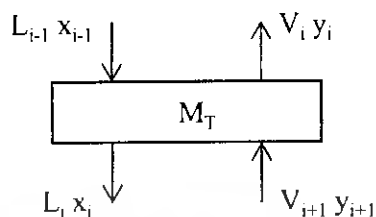
$dM_7/dt$  คือค่าคงที่ ได้สมการ (3.23)

$$\frac{dx_7}{dt} = \frac{1}{M_7} [L_{RX_6} + V_{SY_8} + F z_F - L_{SX_7} - V_{RY_7}] \quad (3.23)$$

83106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนแยกสาร (Stripping section) คือช่วงครึ่งล่างของหอกลั่นจากถาดรองรับสารตั้งต้น (Feed Tray) ลงมา ตั้งแต่ถาดรอง 8 ถึงถาดรอง 12



รูปที่ 3.9 แบบตัวอย่างของส่วนแยกสาร (Stripping Section)

พิจารณาค่าคงที่โมล จากสมการ (3.1)

$$\frac{dx_i}{dt} = \frac{1}{M_i} [L_{i-1}x_{i-1} + V_{i+1}y_{i+1} - L_i x_i - V_i y_i] \quad (3.1)$$

ไอสาร และอัตราการไหลเวียนของของเหลวคือค่าคงที่สำหรับส่วนแยกสาร (Stripping section) ดังสมการ (3.24) และ (3.25)

$$V_{i+1} = V_i = V_s \quad (3.24)$$

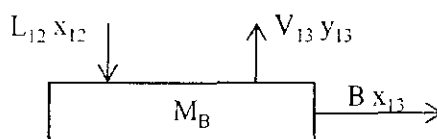
$$L_{i-1} = L_i = L_s \quad (3.25)$$

สมการความสมดุลสารของส่วนแยกสาร (Stripping section) จาก  $i = 8$  ถึง  $i = 12$  คือสมการ (3.26)

$$\frac{dx_i}{dt} = \frac{1}{M_T} [L_s x_{i-1} + V_s y_{i+1} - L_s x_i - V_s y_i] \quad (3.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler) จะอยู่ที่ล่างสุดของหอกลั่น สมดุลสารของส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler)



รูปที่ 3.10 แบบตัวอย่างของส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler)

จากสมการ (3.14)

$$\frac{dM_B x_{13}}{dt} = L_{12} x_{12} - B x_{13} - V_{13} y_{13} \quad (3.14)$$

$dM_B/dt$  คือค่าคงที่ จะได้สมดุลสารของส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler) ดังสมการ (3.27)

$$\frac{dx_{13}}{dt} = \frac{1}{M_B} [L_{12} x_{12} - B x_{13} - V_{13} y_{13}] \quad (3.27)$$

จากสมการ (3.24) และ (3.25) ไอสารและอัตราการไหลเวียนของของเหลวคือค่าคงที่สำหรับส่วนแยกสาร (Stripping section)

$$V_{i+1} = V_i = V_s \quad (3.24)$$

$$L_{i-1} = L_i = L_s \quad (3.25)$$

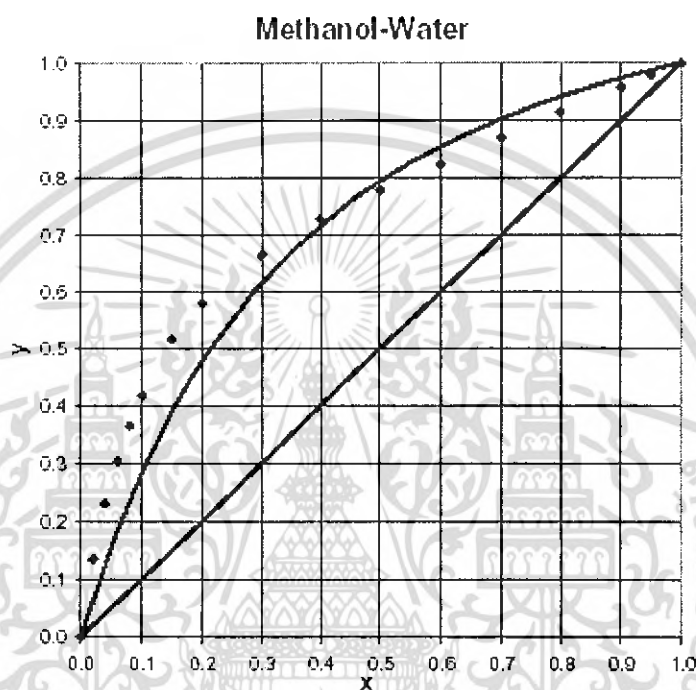
สมดุลสารของส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler) คือสมการ (3.28)

$$\frac{dM_B x_{13}}{dt} = L_s x_{12} - B x_{13} - V_s y_{13} \quad (3.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 แบบจำลองของเร้าท์ (Raoult model)

ถ้าระบบสารผสม 2 ชนิดของเมทานอลและน้ำเป็นอุดมคติ จะสอดคล้องกับกฎของเร้าท์ (Raoult model) เมื่อไอสารและของเหลวมีปฏิกริยาเป็นอุดมคติ ผลลัพธ์ของเร้าท์ (Raoult model) สามารถวิเคราะห์ได้ง่ายที่สุดทางกราฟ

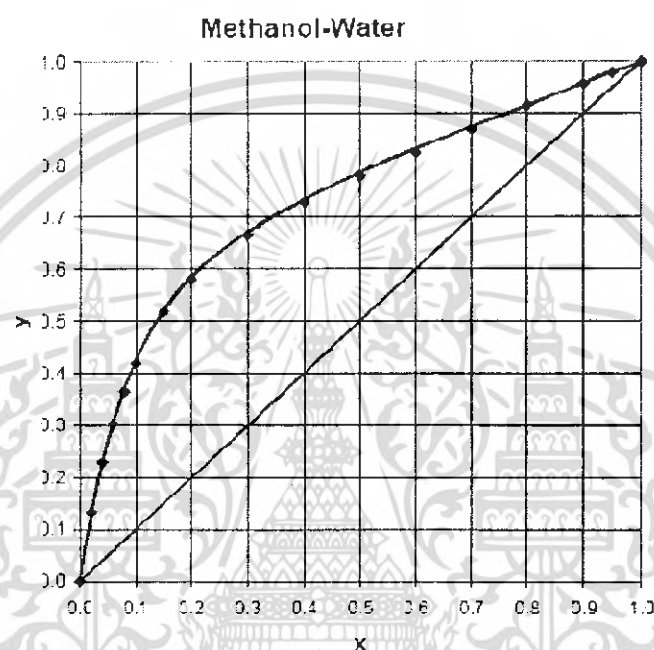


รูปที่ 3.11 การเปรียบเทียบจากแบบจำลองของเร้าท์ (Raoult model)

รูปที่ 3.11 เขียนภาพประกอบความสัมพันธ์ระหว่างไอสารที่อิ่มตัว และสารที่เป็นของเหลว แกน Y ในทางคณิตศาสตร์ “y” คือส่วนประกอบทั้งหมดของเมทานอลที่กลายเป็นไอ เส้นแนวนอนแกน X ค่า “x” คือส่วนประกอบทั้งหมดของเมทานอลที่อิ่มตัวเป็นของเหลว โดยจุดที่เห็นในกราฟคือการทดลองที่เทียบกับกับกราฟของสารทางอุดมคติระหว่างเมทานอลและน้ำ

### 3.4 แบบจำลองของเหลวแวน ลาร์ (Van Laar liquid model)

เมื่อระบบของสารผสม 2 ชนิดระหว่างเมทานอลและน้ำ ไม่เป็นอุดมคติ จำเป็นจะต้องใช้แบบจำลองของเหลวแวน ลาร์ (Van Laar liquid model) แบบจำลองนี้จะกำหนดให้ไอระเหยของสารเป็นอุดมคติ แต่ของเหลวไม่เป็นไปตามอุดมคติ สามารถแสดงให้เห็นชัดเจนในรูปแบบกราฟเช่นกัน



รูปที่ 3.12 แบบจำลองของเหลวแวน ลาร์ (Van Laar liquid model) สำหรับสารผสมเมทานอลและน้ำ

ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบที่เป็นไอระเหยของเมทานอลได้แก่ “ y ” และส่วนประกอบที่เป็นของเหลวของเมทานอลได้แก่ “ x ” สามารถแสดงได้จากสมการอันดับที่ 6 ดังสมการ (3.29)

$$y = -20.7x^6 + 71.8x^5 - 99.6x^4 + 70.7x^3 - 27.5x^2 + 6.23x + 0.0128 \quad (3.29)$$

### 3.5 การวิเคราะห์อัตราการไหลของสารตั้งต้น

อัตราการไหลของสารตั้งต้นถูกปรับโดยเปลี่ยนการตั้งค่า (ที่ 0 ถึง 10) อย่างไรก็ตามการตั้งค่าไม่ได้ตั้งโดยตรงกับอัตราการไหลเวียน โดยปริมาตรของสารตั้งต้นสำหรับใส่เข้า เพราะฉะนั้นอัตราการไหลเวียนกับการวัดปริมาตรของสารที่ใส่ขึ้นอยู่กับความตั้งใจของผู้ทดลอง

#### 3.5.1 ขั้นตอนสำหรับการวิเคราะห์อัตราการไหลของสารตั้งต้น

1. ป้อนตั้งค่าเริ่มต้นเป็น 0 อัตราการไหลของสารตั้งต้นที่ตั้งไว้ที่ 0 เท่ากับ 0 มิลลิลิตร/นาที
2. ป้อนตั้งค่าไว้ที่ 1 บันทึกเวลาที่บรรจุน้ำได้ 100 มิลลิลิตร
3. หาอัตราการไหลได้จากสมการ (3.30)

$$F = \frac{100\text{mL}}{\text{time}} * \frac{60\text{seconds}}{1\text{minute}} \quad (3.30)$$

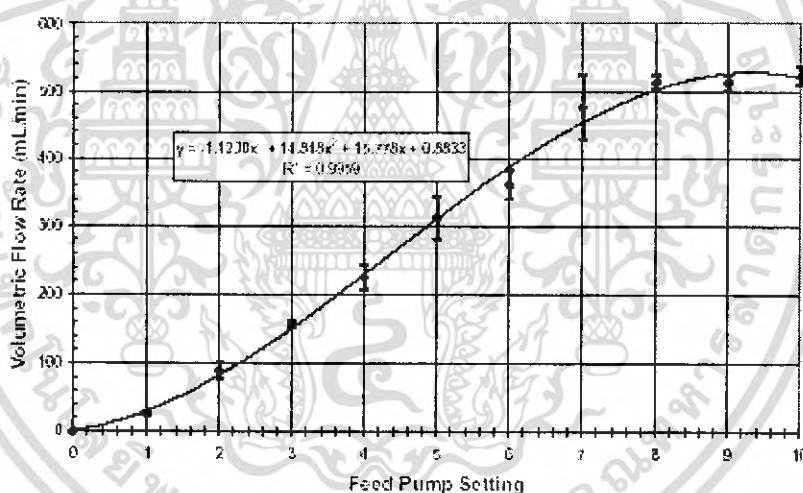
4. ขั้นตอน 2 ถูกวนซ้ำ 4 เวลาสำหรับทั้งหมดของ 5 การวัด
5. อัตราการไหลเวียนเฉลี่ยถูกค้นพบรวมทั้งข้อผิดพลาด (จากผู้วัด)
6. ขั้นตอน 2-5 ถูกวนซ้ำสำหรับการตั้งค่าป้อนที่ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10

### 3.5.2 ผลลัพธ์สำหรับการวิเคราะห์อัตราการไหลของสารตั้งต้น

ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์อัตราการไหลของสารตั้งต้นแสดงในตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.13

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงการวิเคราะห์อัตราการไหลของสารตั้งต้น

Pump Setting	Average Flow Rate (mL/min)
0	0
1	27
2	90
3	157
4	225
5	312
6	360
7	476
8	512
9	513
10	522



รูปที่ 3.13 รูปกราฟแสดงการวิเคราะห์อัตราการไหลของสารตั้งต้น

การตั้งค่าปั๊มเพื่อกำหนดอัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น สามารถวิเคราะห์หาค่าอัตราการไหลได้จากสมการ (3.31)

$$F = -1.12x^3 + 14.8x^2 + 15.8x + 0.883 \quad (3.31)$$

ที่ซึ่ง  $x$  คือค่าที่กำหนดให้ปั๊ม และ  $F$  คืออัตราการไหลของสารตั้งต้นในหน่วย มิลลิลิตร/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.3 การแปลงหน่วยสำหรับการวิเคราะห์อัตราการผลิตของสารตั้งต้น

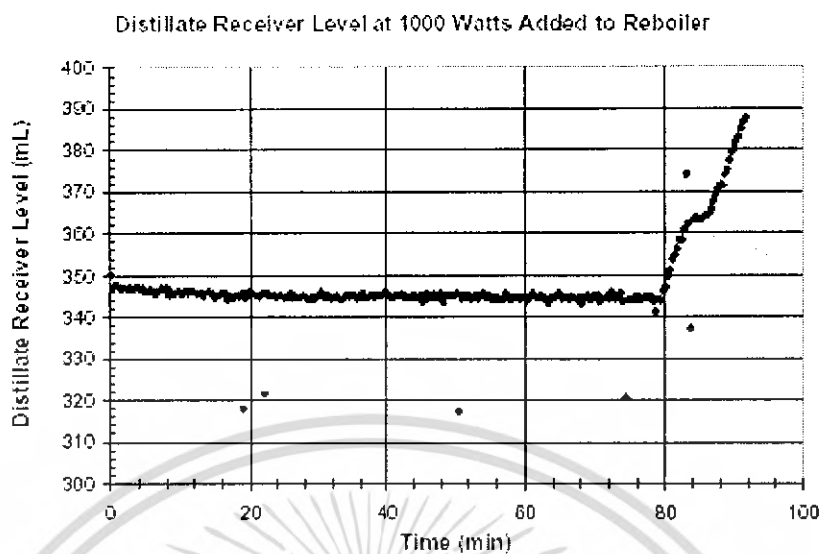
สำหรับความสมบูรณ์ในการคำนวณในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบพลศาสตร์ ค่าอัตราการผลิตต้องแสดงในโมลต่อหน่วยของเวลา ใช้การแปลงหน่วยดังสมการ (3.32)

$$\frac{\text{mL}}{\text{min}} * \frac{1\text{cm}^3}{1\text{mL}} \left[ \left( \text{wt\%MeOH} * \frac{0.792\text{g}}{\text{cm}^3} \right) + \left( (1 - \text{wt\%MeOH}) * \frac{1\text{g}}{\text{cm}^3} \right) \right] * \left( \left( z_F \frac{\text{mol}}{32.0\text{g}} \right) + \left( (1 - z_F) \frac{\text{mol}}{18.016\text{g}} \right) \right) = \frac{\text{mol}}{\text{min}} = F \quad (3.32)$$

### 3.6 การสูญเสียความร้อนจากส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler)

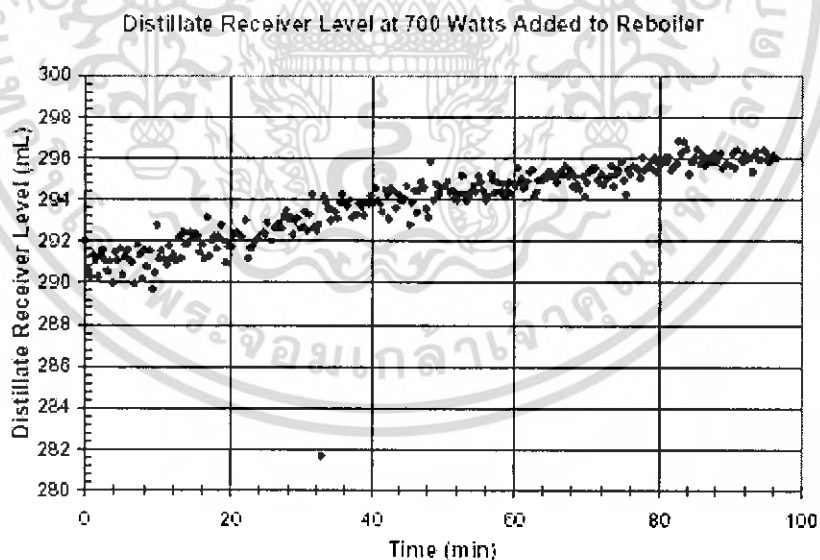
ค่าอัตราการผลิตของไอระเหยจากส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler) ในการจำลอง จำเป็นจะต้องทราบค่าความร้อนที่เข้าไปในส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler) ที่ทำให้ได้ไอระเหย แต่จะพบว่ามีการร้อนบางส่วนที่ไปกับไอระเหย และบางส่วนที่สูญเสียไปกับอากาศที่อยู่รอบๆ หากเราสามารถหาค่าความร้อนที่สูญเสียไปกับอากาศรอบๆ ได้ เราจะทราบค่าของความร้อนที่ใช้ในการทำให้เกิดไอระเหยได้

การสูญเสียความร้อนสำหรับการศึกษานี้ถูกวิเคราะห์จากผู้เชี่ยวชาญ โดยค้นพบพลังงานน้อยที่สุดที่สารนั้นสามารถเกิดการเดือดโดยปราศจากผลิตภัณฑ์จากการกลั่นที่ 90% ของการไหลกลับ โดยทดลองให้ความร้อนไปที่ส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler) โดยลดค่าความร้อนลงเรื่อยๆ เพื่อหาจุดที่มีอัตราการผลิตของไอระเหยเท่ากับ 0 โดยเมื่ออัตราการผลิตของไอระเหยเท่ากับ 0 จะไม่มีผลิตภัณฑ์จากการกลั่น



รูปที่ 3.14 ป้อนความร้อน 1000 วัตต์ เข้าสู่การต้มซ้ำ

ในการทดลองแรกกำหนดค่าความร้อนที่ 1000 วัตต์ป้อนไปที่ส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler) ถึงแม้ว่าจะไม่มีผลิตภัณฑ์ในช่วงเวลาแรก แต่ก็มีารรวบรวมผลผลิตจากการกลั่น 40 มิลลิลิตร

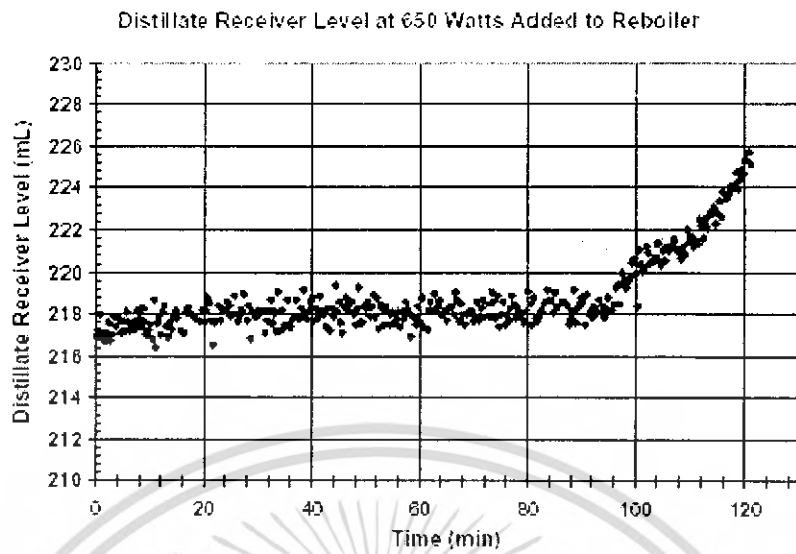


รูปที่ 3.15 ป้อนความร้อน 700 วัตต์ เข้าสู่การต้มซ้ำ

เมื่อป้อนความร้อน 700 วัตต์พบว่าจะมีอัตราการเกิดผลผลิตจากการกลั่นประมาณ 0.06

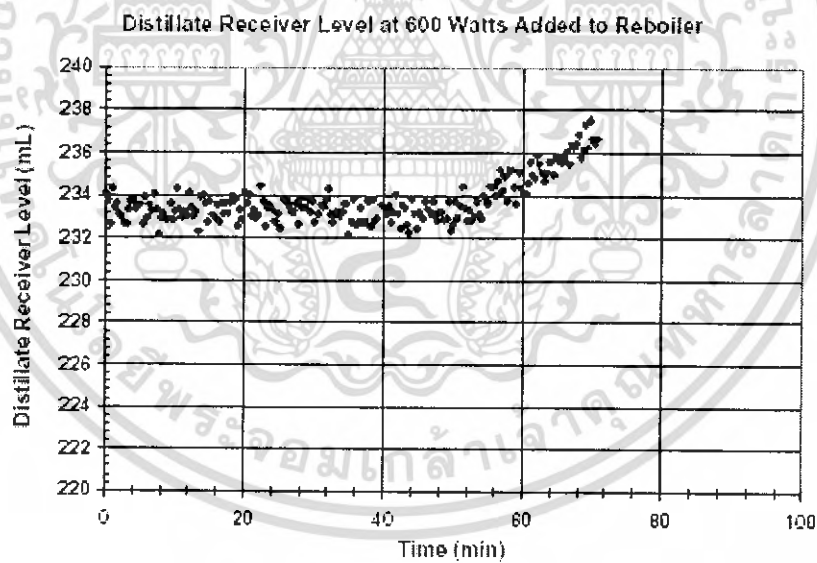
มิลลิลิตร/นาทึ ใน 100 นาที แสดงว่าค่าการสูญเสียความร้อนต้องน้อยกว่า 700 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



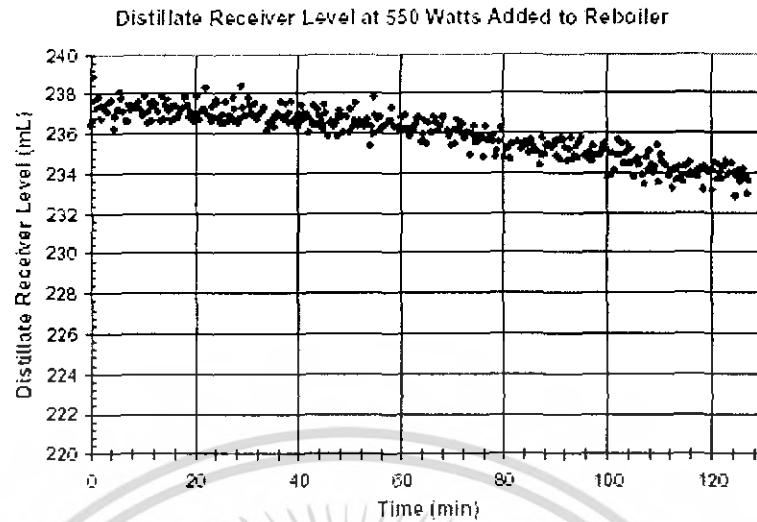
รูปที่ 3.16 ป้อนความร้อน 650 วัตต์ เข้าร่วมการต้มซ้ำ

เมื่อป้อนความร้อนที่ 650 วัตต์ จะมีผลผลิตจากการกลั่น 8 มิลลิลิตร ในช่วงเวลา 120 นาที



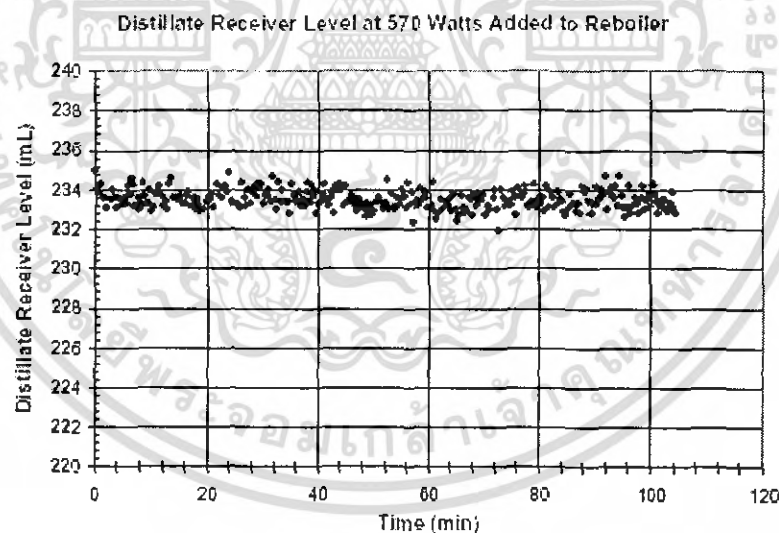
รูปที่ 3.17 ป้อนความร้อน 600 วัตต์ เข้าร่วมการต้มซ้ำ

เมื่อป้อนความร้อนที่ 600 วัตต์ จะมีผลผลิตจากการกลั่นเมื่อถึงช่วงเวลา 60 นาที



รูปที่ 3.18 ป้อนความร้อน 550 วัตต์ เข้าสู่การต้มซ้ำ

เมื่อป้อนความร้อนที่ 550 วัตต์ จะไม่มีการเกิดผลิตภัณฑ์จากการกลั่น



รูปที่ 3.19 ป้อนความร้อน 570 วัตต์ เข้าสู่การต้มซ้ำ

เมื่อป้อนความร้อน 570 วัตต์เข้าไปที่ส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler) จะไม่มีผลิตภัณฑ์เกิดขึ้น  
 อย่างไรก็ตามมีการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ความร้อน 600 วัตต์ และจะเห็นว่าทั้ง 2 ค่า แตกต่างกันเพียง 5 %  
 ดังนั้นกำหนดให้ค่าการสูญเสียความร้อนที่ส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler) เท่ากับ 570 วัตต์ และเป็น  
 ค่าคงที่ โดยไม่คำนึงถึงค่าความเข้มข้นของเมทานอลภายในส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler) ด้านการ  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการวิจัยเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นสมควรในด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7 สมการอันดับ 4 รุงเง-กุตตา (Fourth-Order Runge-Kutta)

พิจารณากลับไปที่สมการสมดุลของสารประกอบในแต่ชั้นถาดรอง (Tray) รวมไปถึงถาดรองรับสารตั้งต้น (Feed tray) ส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ (Overhead Receiver) และส่วนการต้มซ้ำ (Reboiler) เห็นได้อย่างชัดเจนว่า ทั้ง 14 สมการอนุพันธ์จะต้องแก้หาผลเฉลยภายในเวลาเดียวกัน และในการหาผลเฉลยนี้จำเป็นต้องใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณ โดยสมการอันดับ 4 รุงเง-กุตตา (Fourth-Order Runge-Kutta) เป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการหาค่าร่วมกันเพื่อหาผลเฉลยของสมการ รูปแบบพื้นฐานของรุงเง-กุตตา (Runge-Kutta) แสดงให้เห็นดังสมการ (3.33) (ที่  $x, y, h$  คือความชันบนช่วงเวลา)

$$y_{i+1} = y_i + \sigma(x_i, y_i, h) h \quad (3.33)$$

รูปแบบสมการอันดับ 4 รุงเง-กุตตา (Fourth-Order Runge-Kutta) ดังสมการ (3.34)

$$y_{i+1} = y_i + \left[ \frac{1}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \right] h \quad (3.34)$$

โดยหาค่า  $k$  แต่ละตัวจากสมการ (3.35) ถึง (3.38)

$$k_1 = f(x_i, y_i) \quad (3.35)$$

$$k_2 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}hk_1\right) \quad (3.36)$$

$$k_3 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}hk_2\right) \quad (3.37)$$

$$k_4 = f(x_i + h, y_i + hk_3) \quad (3.38)$$

ตัวอย่าง การใช้สมการอันดับ 4 รุงเง-กุตตา (Fourth-Order Runge-Kutta)

สมการ (3.39) สามารถหาผลเฉลยได้โดยการใช้สมการอันดับ 4 รุงเง-กุตตา (Fourth-Order Runge-Kutta) โดยขนาดของแต่ละช่วง ( $h$ ) = 0.5 และมีค่าเริ่มต้นที่  $y = 1$  และ  $x = 0$

$$f(x, y) = -2x^3 + 2x^2 - 2x + 2 \quad (3.39)$$

หาค่า  $k$  โดยใช้สมการ (3.35) ถึง (3.38)

$$k_1 = -2(0)^3 + 2(0)^2 - 2(0) + 2 = 2$$

$$k_2 = -2(0.25)^3 + 2(0.25)^2 - 2(0.25) + 2 = 1.59375$$

$$k_3 = k_2 = 1.59375$$

$$k_4 = -2(0.5)^3 + 2(0.5)^2 - 2(0.5) + 2 = 1.25$$

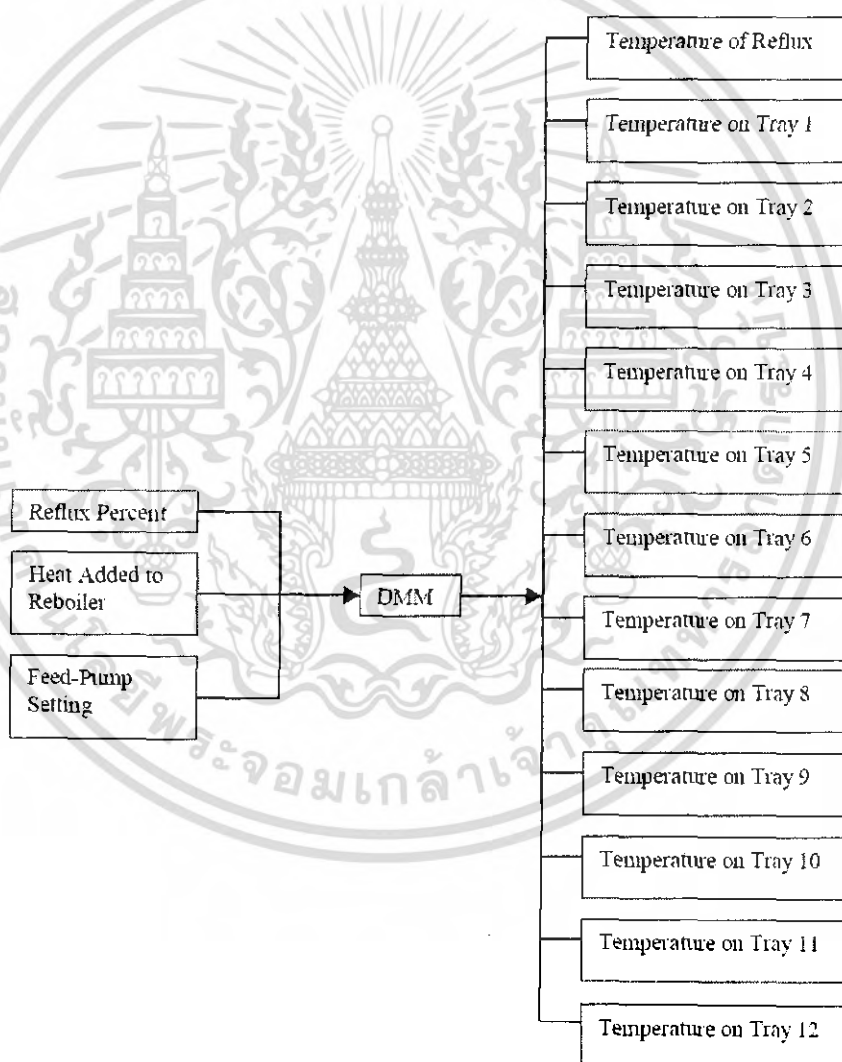
หาผลเฉลยจากสมการ (3.34)

$$y_{0.5} = 1 + \left[ \frac{1}{6} (2 + 2(1.59375) + 2(1.59375) + 1.25) \right] 0.5 = 1.802$$

และเมื่อพิสูจน์จากการคำนวณแล้วจะพบว่าค่าที่ถูกต้องเท่ากับ 1.802

### 3.8 ค่าอินพุตและเอาต์พุต สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ (Dynamic Mathematical Model , DMM) ในโปรแกรมแล็บวิว (LabVIEW)

ค่าอินพุตหลักสำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ (DMM) ได้แก่ อัตราการไหลกลับจากยอดหอ (reflux percentage) ค่าความร้อนที่บรรจุเข้าไปในส่วนการต้มซ้ำ (heat added to the reboiler) และค่าอัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น (feed flow rate) และค่าเอาต์พุต ได้แก่ ค่าอุณหภูมิในแต่ละชั้นของถาดรอง (tray) รวมไปถึงในส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ (overhead receiver) และในส่วนการต้มซ้ำ (reboiler)



รูปที่ 3.20 แผนภาพแสดงอินพุตและเอาต์พุต สำหรับแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.8.1 ค่าอินพุตของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ (DMM)

ค่าอินพุตทั้งหมดที่ต้องใช้ในการทำงานแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ (DMM) แสดงในตารางที่ 3.2

Inputs	Units
Filename	na
Reflux percent	na
Heat added to reboiler	Watts
Feed-Pump setting	na
Initial liquid composition of methanol on each tray including the feed tray, overhead receiver, and reboiler	na
Initial vapor composition of methanol on each tray including the feed tray, overhead receiver, and reboiler	na
Weight percent of methanol in the feed	na
Runge-Kutta step rate, h	minutes
Weight percent of methanol in feed	na
Heat loss from the reboiler	Watts
$M_D$	moles
$M_T$	moles
$M_B$	moles
Murphree Tray Efficiency	na

ตารางที่ 3.2 อินพุตสำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ (DMM)

โดยที่

$M_B$  คือปริมาณความจุในหน่วยโมลของส่วนการต้มซ้ำ (reboiler)

$M_T$  คือปริมาณความจุในหน่วยโมลของถาดรอง (tray)

$M_D$  คือปริมาณความจุในหน่วยโมลของส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ (overhead receiver)

### 3.8.2 ค่าเอาต์พุตของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ (DMM)

ค่าเอาต์พุตหลักจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ (DMM) คือค่าอุณหภูมิของเหลวบนแต่ละชั้นถาดรอง (tray) รวมไปถึงส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ (overhead receiver) และในส่วนการต้มซ้ำ (reboiler) โดยค่าเอาต์พุตทั้งหมดแสดงในตารางที่ 3.3

Output	Units
Temperature on each tray including feed tray, overhead receiver, and reboiler	Degree Celsius
Mole fraction of methanol in feed, $z_F$	na
Liquid Quality of feed, $q_F$	na
Vapor flow rate from stripping section, $V_S$	moles/min
Vapor flow rate from rectifying section, $V_R$	moles/min
Liquid flow rate from rectifying section, $L_R$	moles/min
Liquid flow rate from stripping section, $L_S$	moles/min
Distillate flow rate	moles/min
Bottoms product flow rate	moles/min
Liquid methanol concentration on each tray including feed tray, overhead receiver, and reboiler, $x_n$	na
Theoretical vapor methanol concentration on each tray including feed tray, overhead receiver, and reboiler, $y_n$	na
Actual vapor methanol concentration on each tray including feed tray, overhead receiver, and reboiler, $y_n$	na

ตารางที่ 3.3 เอาต์พุตสำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ (DMM)

### 3.9 แบบจำลองบนโปรแกรมแล็บวิว (LabVIEW)

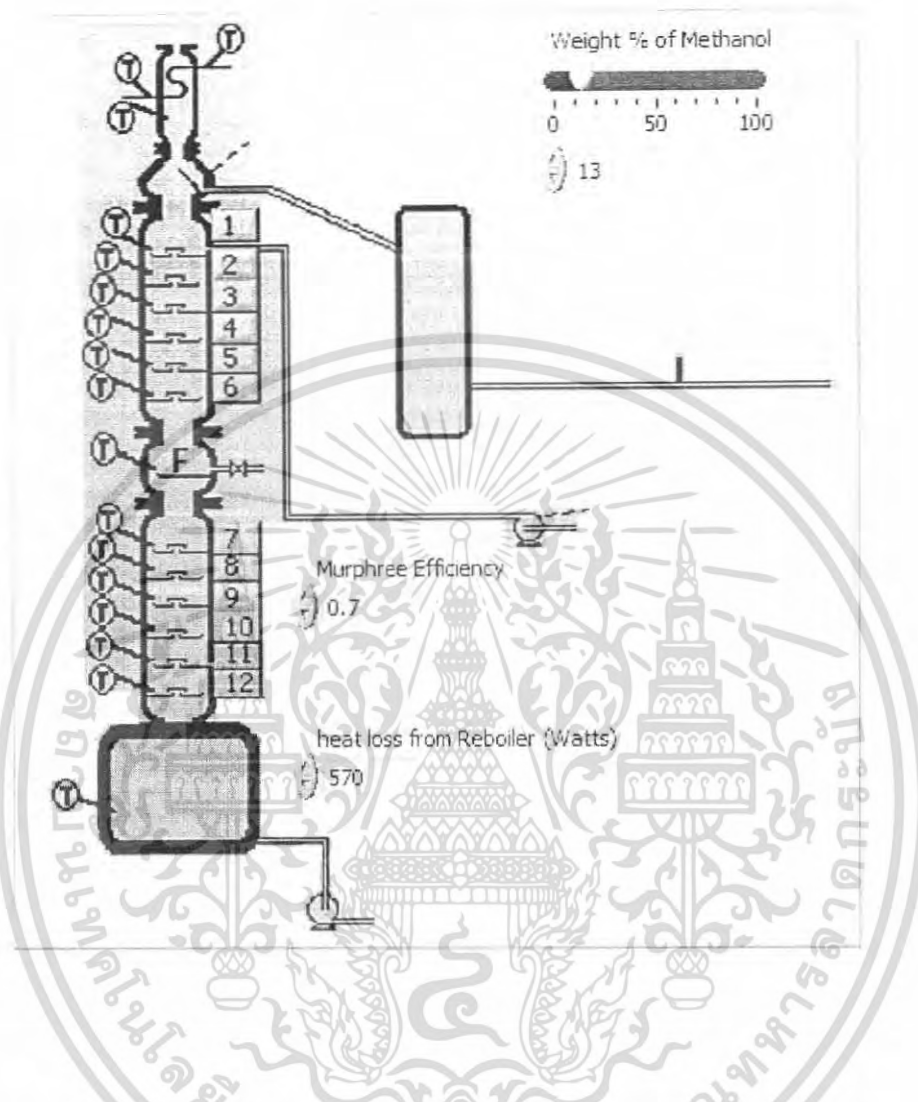
รูปภาพแสดงหน้าจอควบคุมและแสดงผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ (DMM) เมื่อเขียนโปรแกรมสมบูรณ์ รวมทั้งแสดงส่วนอินพุตและเอาต์พุต ตั้งแต่รูปที่ 3.21 ถึง 3.25



รูปที่ 3.21 หน้าจอควบคุมและแสดงผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ (DMM) 1

รูปที่ 3.21 เป็นส่วนอินพุตหลักที่ป้อนเข้าสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ (DMM) โดยสามารถเปลี่ยนแปลงค่าควบคุมได้จากแถบเลื่อน หรือป้อนค่าลงไปในกลุ่มแสดงค่าควบคุมโดยตรง ค่าอินพุตชุดนี้สามารถเปลี่ยนโดยผู้ใช้งานได้ตลอดในช่วงเวลาที่ทำการจำลองค่า โดยจะมีผลต่อค่าเอาต์พุตทันทีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าอินพุต

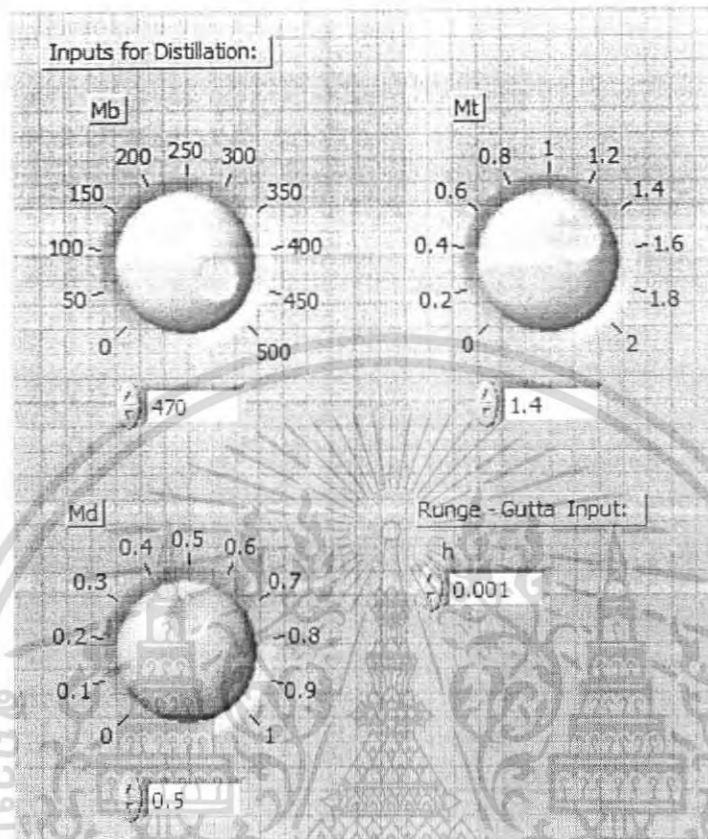
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 หน้าจอควบคุมและแสดงผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ (DMM) 2

รูปที่ 3.22 เป็นของค่าอินพุต ในส่วนนี้จะมีการแสดงรูปแบบของหอกลั่นที่นำมาจำลอง แสดงไว้ ค่าอินพุตชุดนี้สามารถเปลี่ยนโดยผู้ใช้งานได้ตลอดเวลาที่ทำการจำลองค่า โดยจะมีผลต่อค่าเอาต์พุตทันทีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 หน้าจอควบคุมและแสดงผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ (DMM) 3

รูปที่ 3.23 เป็นอีกส่วนของค่าอินพุต ประกอบไปด้วยขนาดความจุในหน่วยโมลของส่วนการต้มซ้ำ (reboiler) ถาดรอง (tray) และส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ (overhead receiver) ส่วนนี้จะเป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ และมีระดับการเปลี่ยนค่าสำหรับรุนแรง-กุดดาในหน่วยนาที และเช่นเดิมค่าอินพุตชุดนี้สามารถเปลี่ยน โดยผู้ใช้งาน ได้ตลอดในช่วงเวลาที่ทำการจำลองค่า โดยจะมีผลต่อค่าเอาต์พุตทันทีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าอินพุต

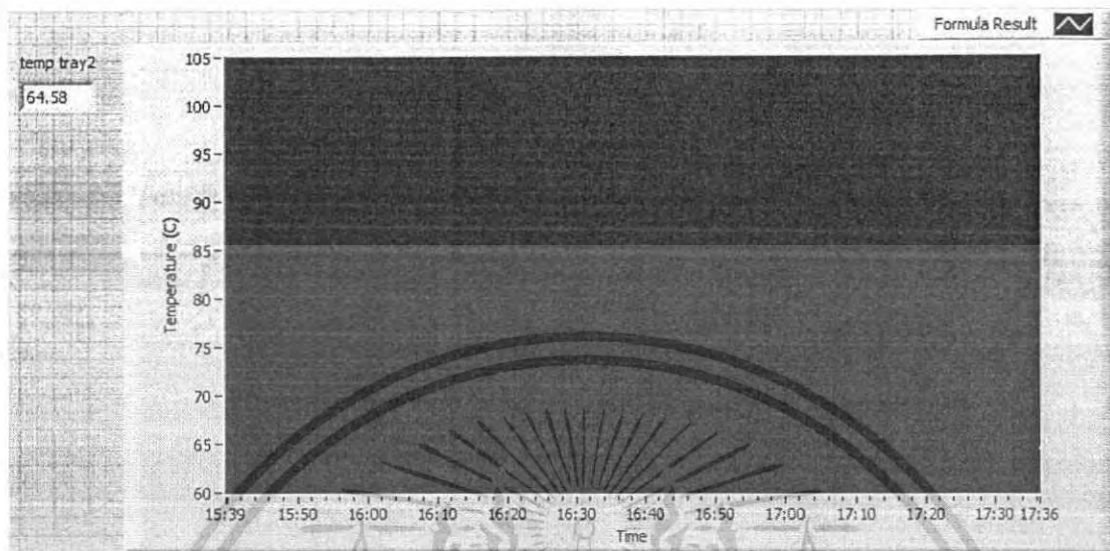
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Outputs of DMM:	
feed flow rate (mL/min)	Molar Feed flow rate , F (moles/min)
54.1655	2.82603
Liquid flow rate of stripping section , LS	mole fraction of light component , Zf
6.08588	0.0775984
Vapor flow rate of stripping section , VS	Quality of Feed Steam , qF
3.59855	1.07487
Liquid flow rate of rectifying section , LR	
3.04828	
Vapor flow rate of rectifying section , VR	
3.38698	
Molar distillate flow rate , D (moles/min)	
0.338698	
Molar bottom product flow rate , B (moles/min)	
2.48733	

รูปที่ 3.24 หน้าจอควบคุมและแสดงผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ (DMM) 4

รูปที่ 3.24 แสดงค่าเอาต์พุตจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ (DMM) โดยจะมีค่าอัตราการไหลเข้าและออกของไอระเหยและของเหลวในแต่ละส่วนของหอกลั่น และค่าที่จำเป็นในการคำนวณหาค่าอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 หน้าจอควบคุมและแสดงผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ (DMM) 5

รูปที่ 3.24 เป็นส่วนแสดงค่าอุณหภูมิบนกราฟเทียบกับเวลาในแต่ละชั้นของหอกถั่ว โดยจะมีทั้งหมด 14 กราฟ (tray 0 – tray 13) โดยสามารถนำไปเทียบกับผลจริงได้โดยหาสัดส่วนที่ต่างกันของเวลาในการจำลองกับการทำงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

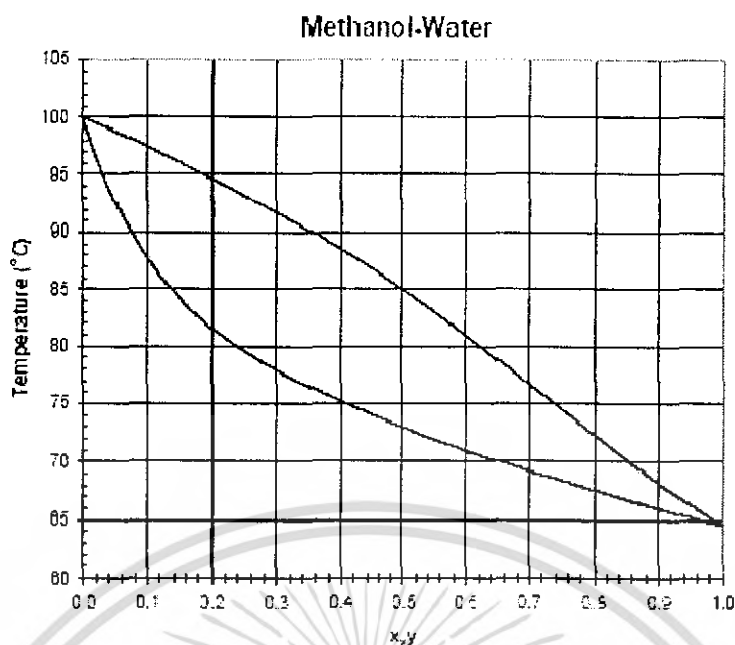
### การทดลอง และผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ ได้นำอินพุตที่ใช้กับหอกถันจริงมาใช้กับแบบจำลองหอกถันที่ออกแบบ โดยจะป้อนค่าอินพุตลงแบบจำลองเพื่อหาค่าของอุณหภูมิในแต่ละชั้นถาดรอง (tray) ของหอกถัน รวมไปถึงส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ (Overhead Receiver) และส่วนการค้ำซ้ำ (Reboiler)

โดยหอกถันจริงใช้เวลาในการทดสอบ 327 นาที และมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลกลับ (reflux percent) เมื่อหอกถันทำงานไปถึง 252.3 นาที แต่ในแบบจำลองนี้จะมีการทำงานที่เร็วกว่าหอกถันจริง 3 เท่า คือใช้เวลาในการทดสอบ 109 นาที และมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลกลับ (reflux percent) เมื่อแบบจำลองทำงานไปถึง 84.1 นาที และผลที่ได้ (อุณหภูมิในแต่ละชั้นถาดรอง) จะนำมาเทียบกับผลของหอกถันจริงเพื่อดูประสิทธิภาพการจำลองค่าของระบบจำลองที่สร้างขึ้น โดยจะมีการนำแบบจำลองอื่นที่ได้ผลใกล้เคียงแต่ใช้เวลาในการทดสอบ 210 นาที มาเปรียบเทียบกับ

#### 4.1 ค่าป้อนเข้าที่ใช้ในการทดสอบหอกถัน 1

ในการทดสอบหอกถันจริงจะต้องมีการอุ่นเครื่องหอกถันโดยให้ความร้อนเข้าไปทำงานเป็นเวลา 15 นาทีก่อนเพื่อให้เกิดการสมดุลในการเปลี่ยนแปลงของสาร โดยเราจะนำค่าอุณหภูมิหลังจากอุ่นเครื่องหอกถันมาคำนวณหาค่าความเข้มข้นของไอระเหย (y) และของเหลว (x) ในแต่ละชั้นของถาดรอง (tray) โดยหาได้จากรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 รูปกราฟในการหาค่า  $x, y$  เทียบกับอุณหภูมิ

ได้ผลดังตารางที่ 4.1

Tray	Initial Liquid Concentrations, $x$	Initial Vapor Concentration, $y$
0	0.950	0.98
1	1.000	1.00
2	1.000	1.00
3	0.990	0.99
4	0.980	0.99
5	0.900	0.98
6	0.330	0.70
7	0.300	0.67
8	0.370	0.72
9	0.370	0.72
10	0.170	0.55
11	0.140	0.50
12	0.060	0.34
13	0.026	0.19

ตารางที่ 4.1 ค่าเริ่มต้น  $x, y$  ในการทดลองที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอินพุตป้อนเข้าสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ ( DMM ) ที่ตรงกับค่าที่ใช้ในการทดสอบหอกลิ้นจริง

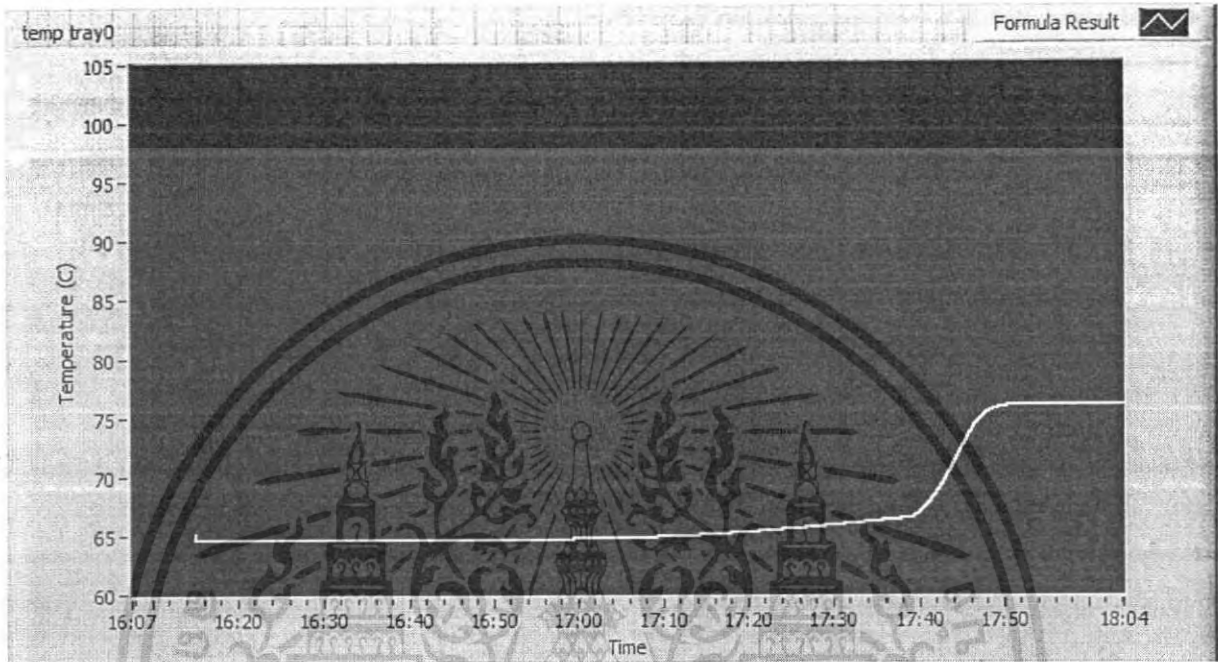
Inputs	Value
Weight percent of feed	13%
Reboiler Watts	3000 Watts
Feed-pump setting	1.5
Reflux	90%
Step change in reflux	-10% at 252.3 minutes
Murphree tray efficiency	70%
Heat Loss from reboiler	570 Watts
Runge-Kutta step rate, h	0.001 minutes
$M_D$	0.50 moles
$M_T$	1.4 moles
$M_B$	470 moles
Length of experiment	327 minutes

ตารางที่ 4.2 ค่าอินพุตให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทดลองที่ 1

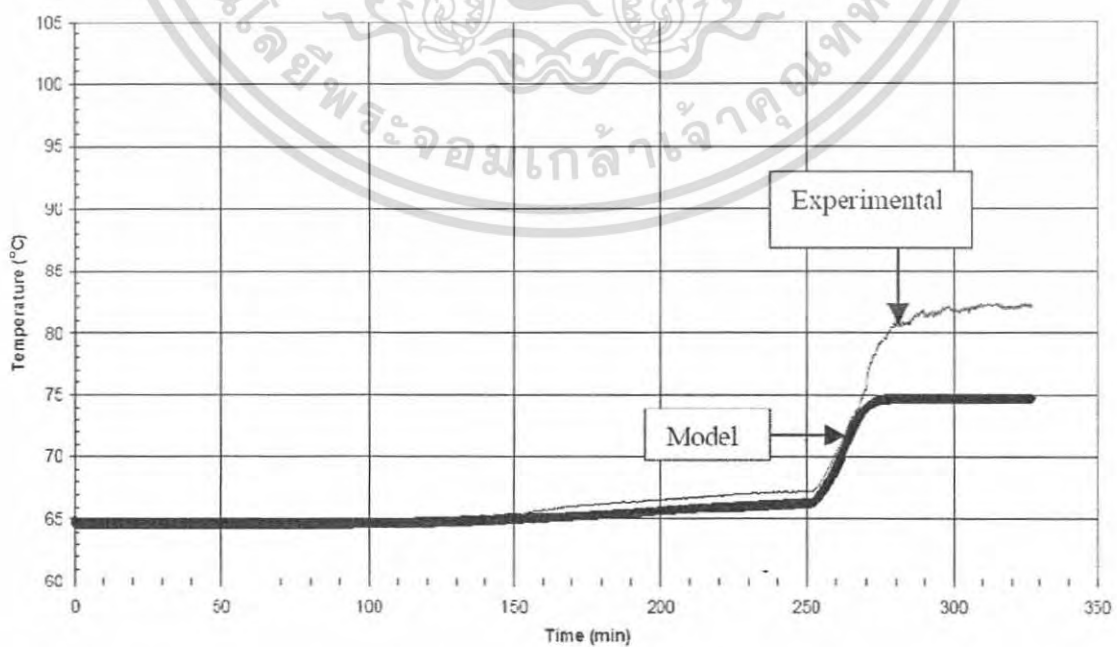
#### 4.2 ผลการทดลองที่ 1

พิจารณากราฟแสดงอุณหภูมิบนแต่ละส่วนของหอกลิ้นที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบหอกลิ้นจริงและค่าอุณหภูมิจากแบบจำลองอื่นที่นำมาเปรียบเทียบ โดยจะได้กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบทั้งหมด 14 จุดดังนี้

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 0 (overhead receiver)



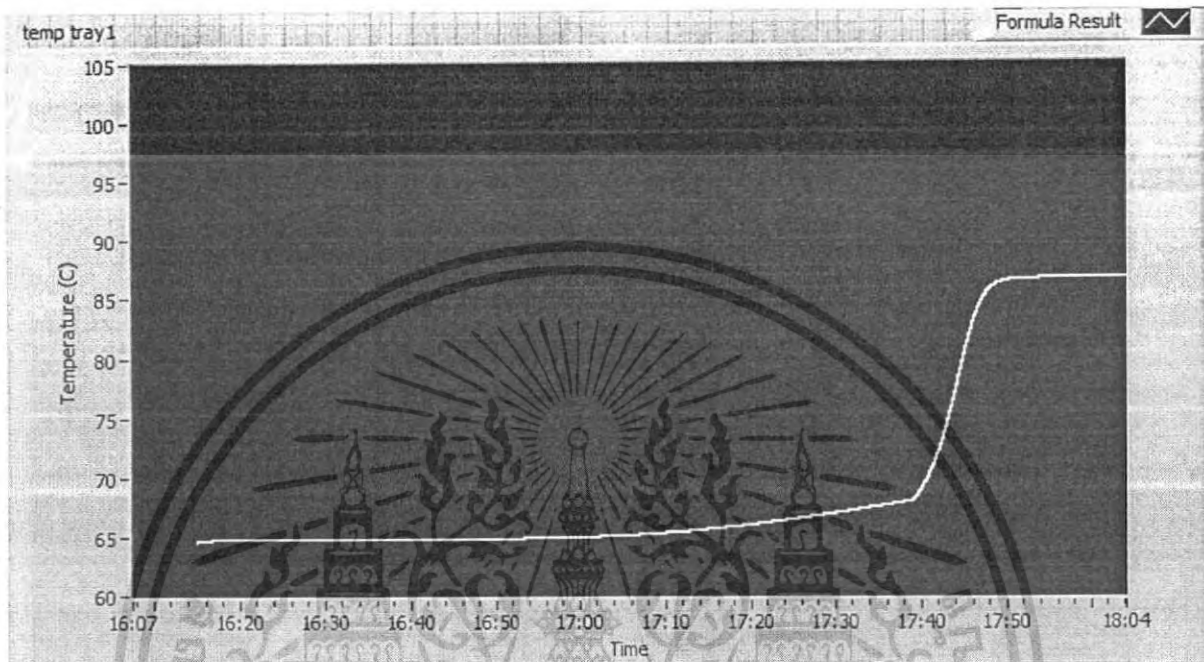
รูปที่ 4.2 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 0 (overhead receiver)



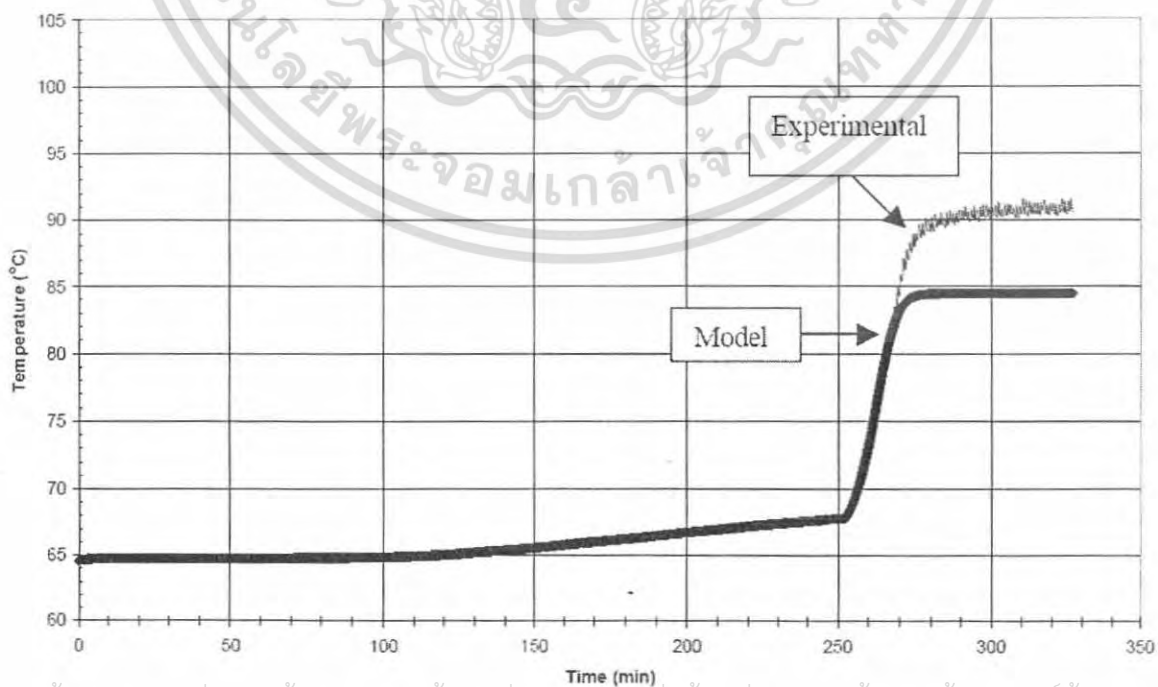
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม

รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบหอกักกันจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 0 (overhead receiver) ไปใช้

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 1 (tray 1)



รูปที่ 4.4 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 1 (tray 1)

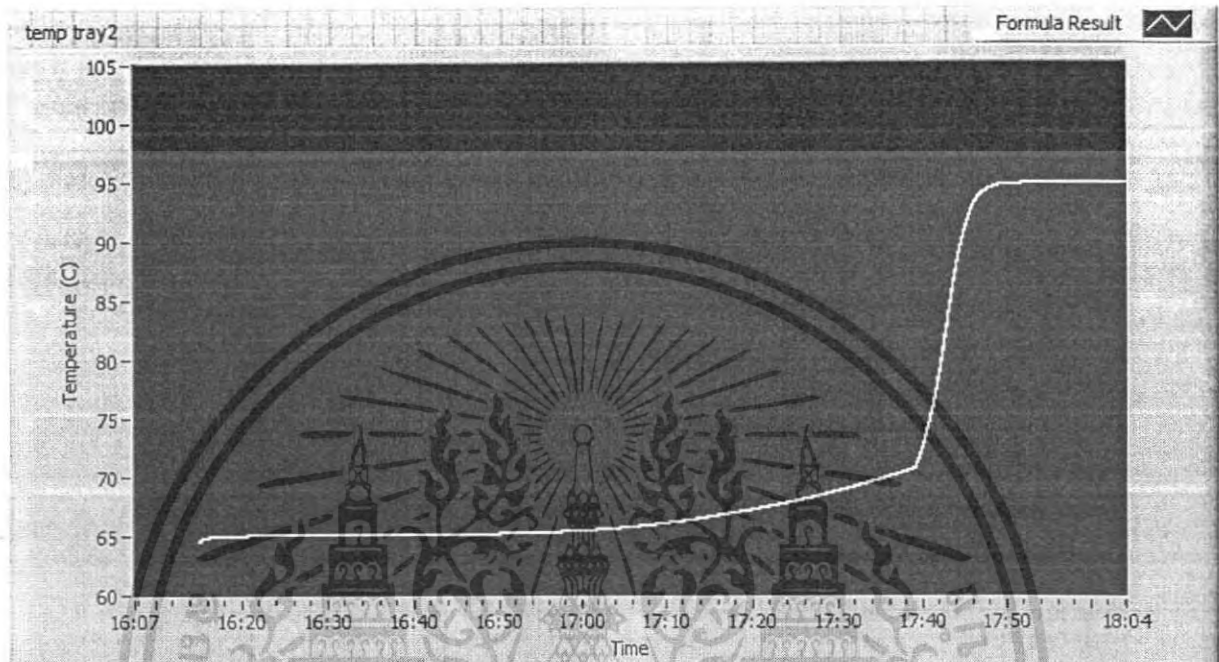


รูปที่ 4.5 ผลจากการทดสอบหอกถาดจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 1 (tray 1)

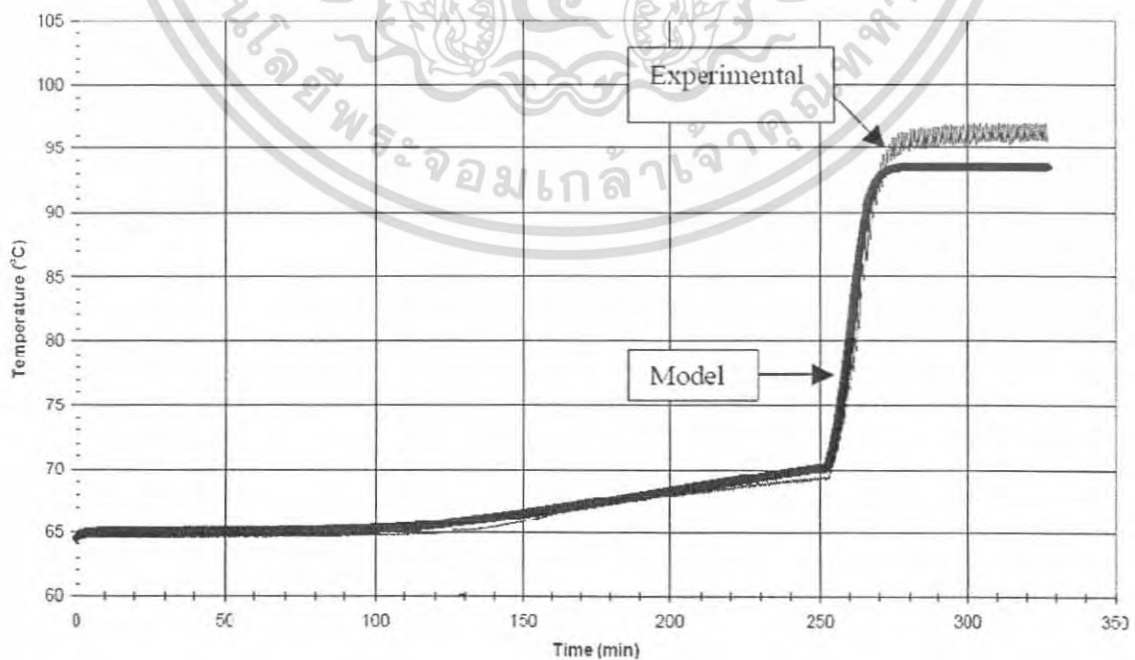
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม บริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและตัวเลขข้างต้นไว้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเท่านั้น การนำไปใช้

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 2 (tray 2)

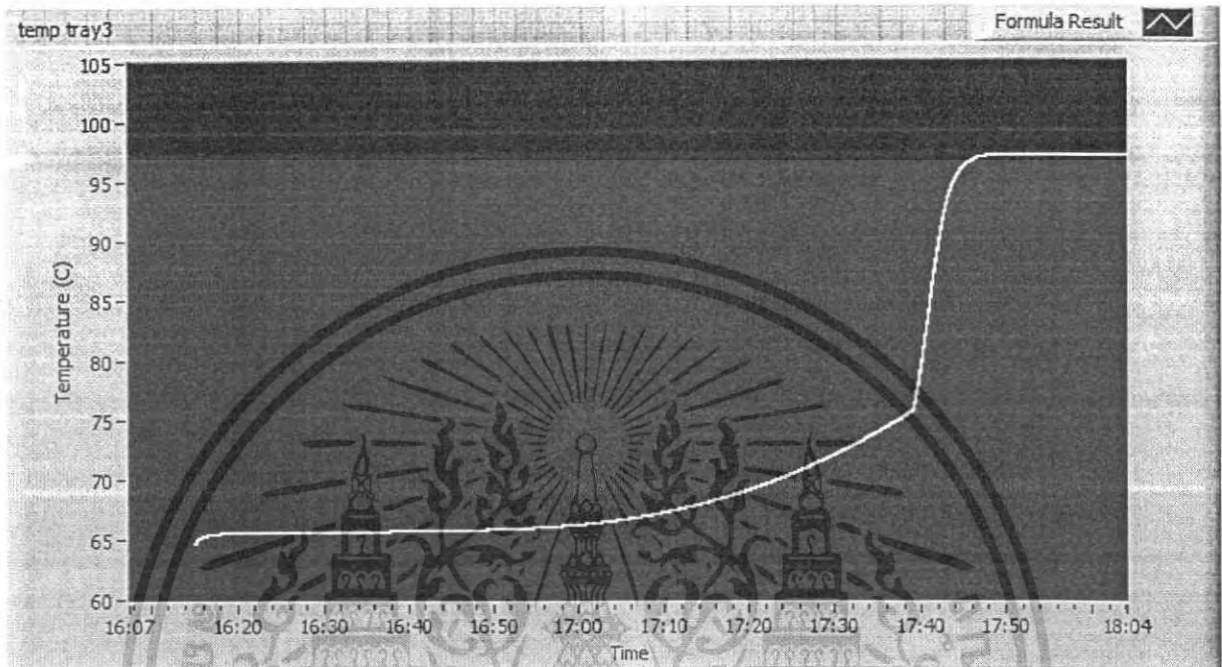


รูปที่ 4.6 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 2 (tray 2)

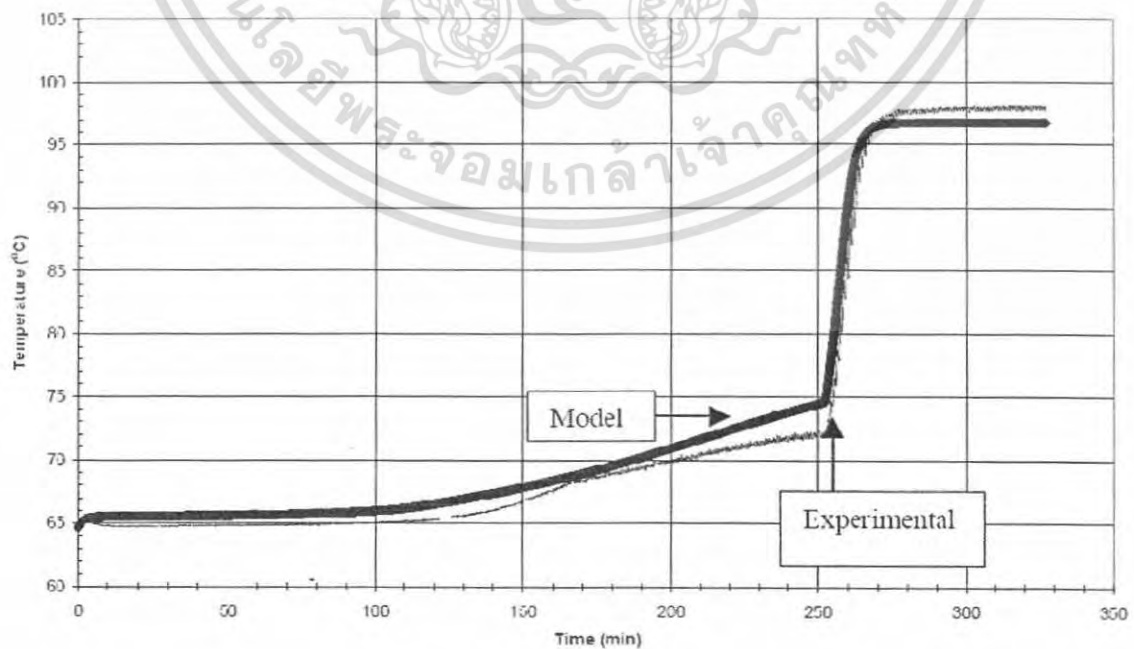


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณี **รูปที่ 4.7** ผลจากการทดสอบหอกถั่วจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 2 (tray 2) นำไปใช้

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 3 (tray 3)

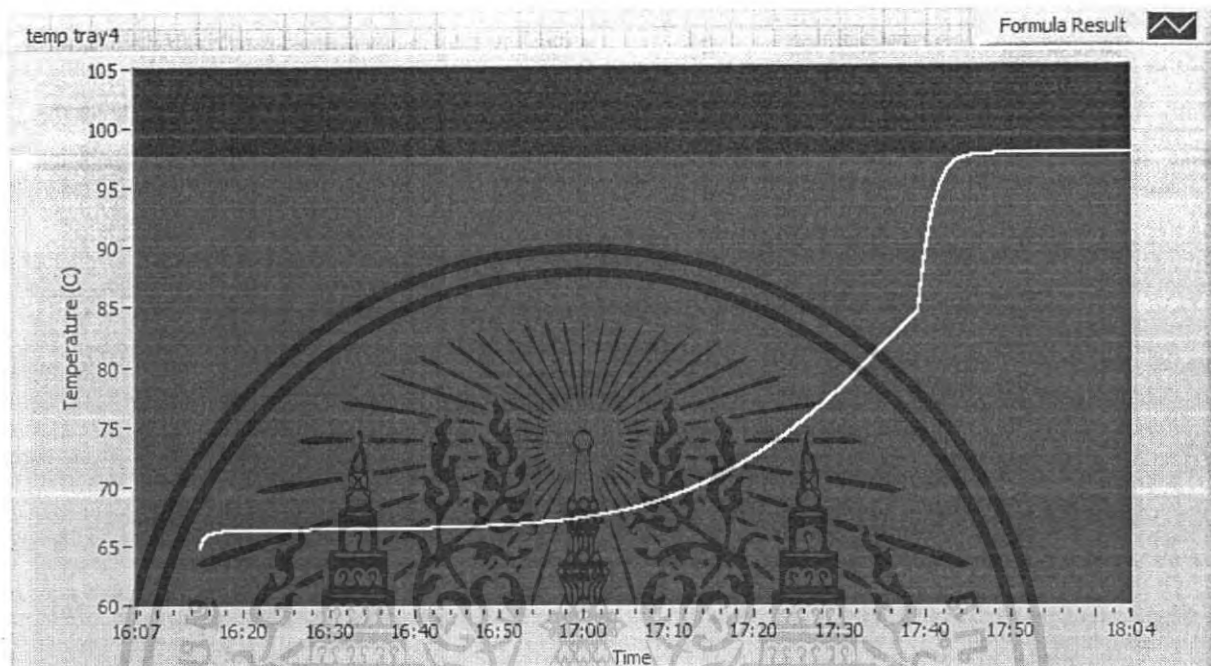


รูปที่ 4.8 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 3 (tray 3)

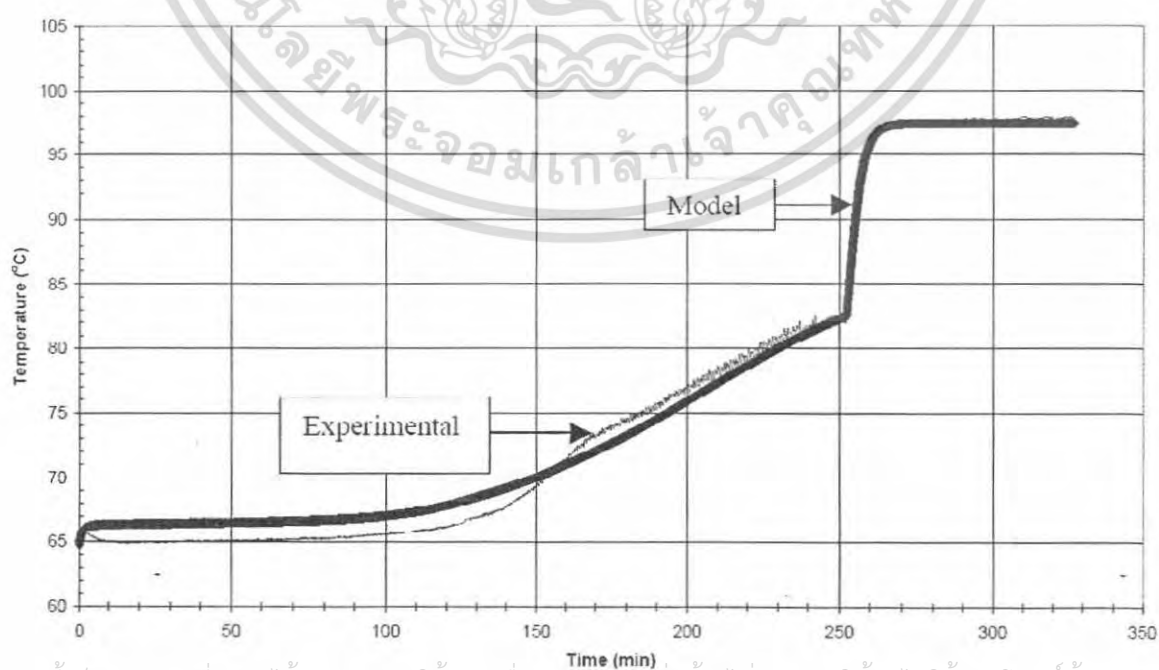


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.9 ผลจากการทดสอบหอกด้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 3 (tray 3) นำไปใช้

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 4 (tray 4)

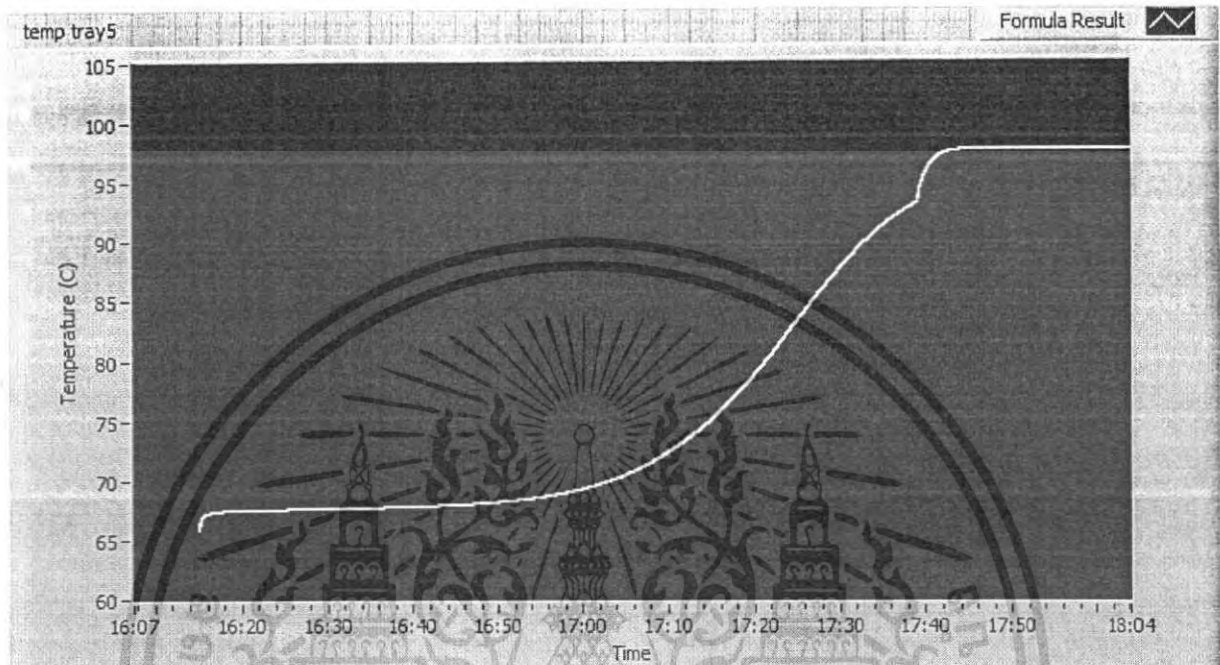


รูปที่ 4.10 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 4 (tray 4)

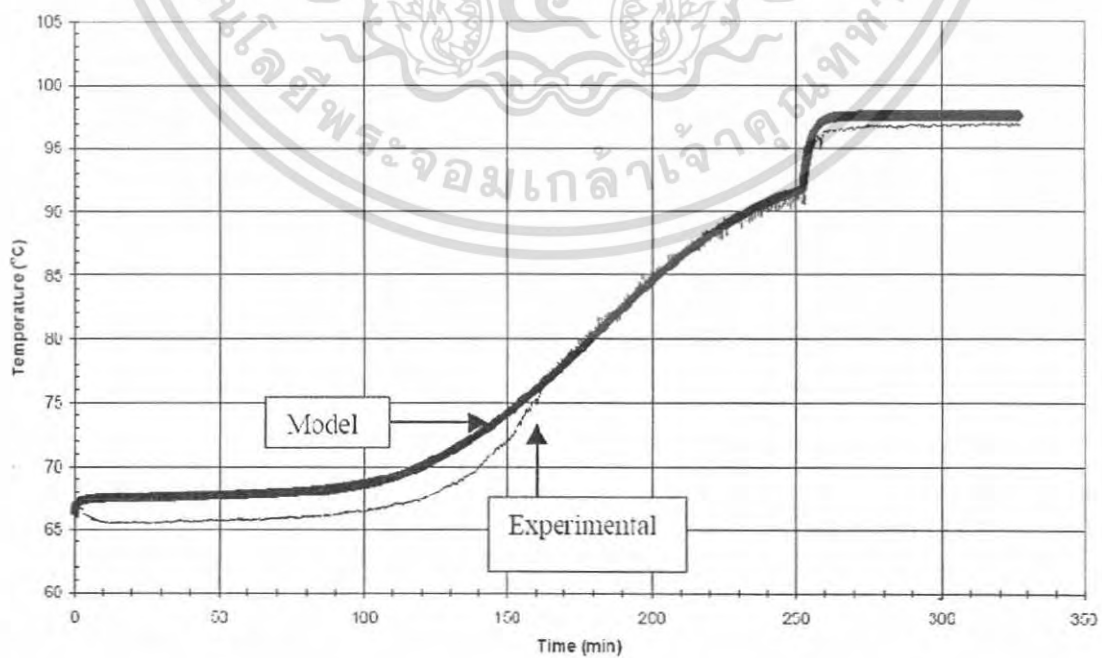


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด **รูปที่ 4.11** ผลจากการทดสอบหากลั่นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 4 (tray 4)

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 5 (tray 5)

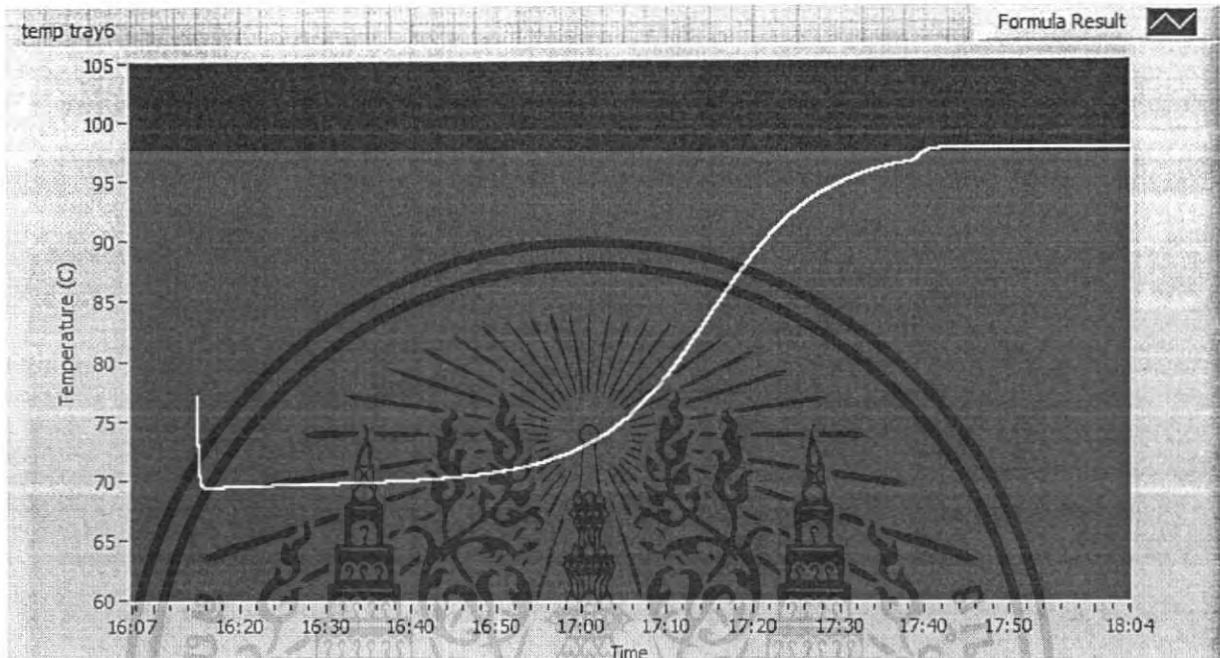


รูปที่ 4.12 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 5 (tray 5)

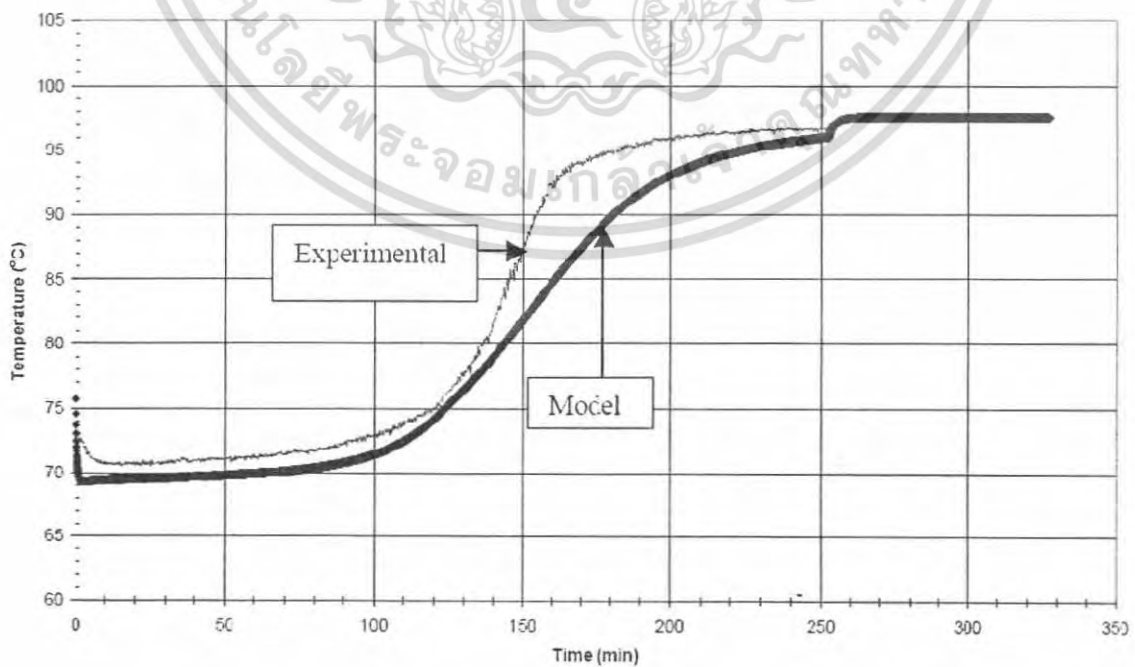


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 4.13 ผลจากการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 5 (tray 5)  
 ไม่วารณใดๆ ทั้งสน อักทงห้ามมเหตดแปลงเนื้อหา และตองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกคร้งทมการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 6 (tray 6)

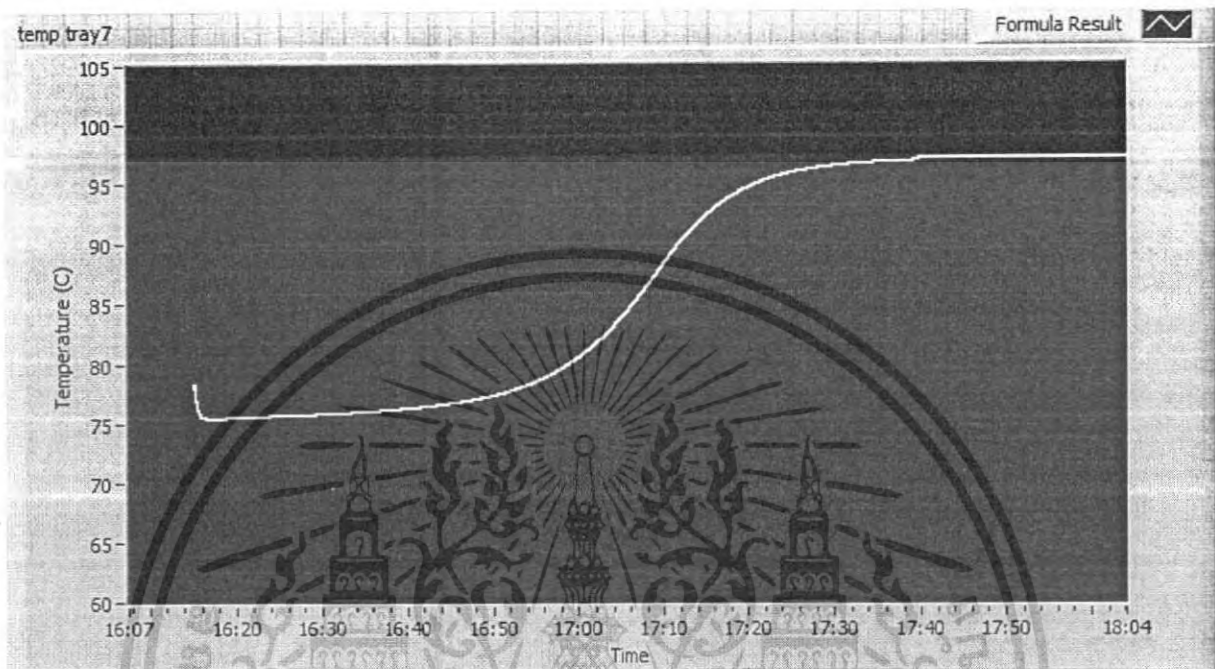


รูปที่ 4.14 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 6 (tray 6)

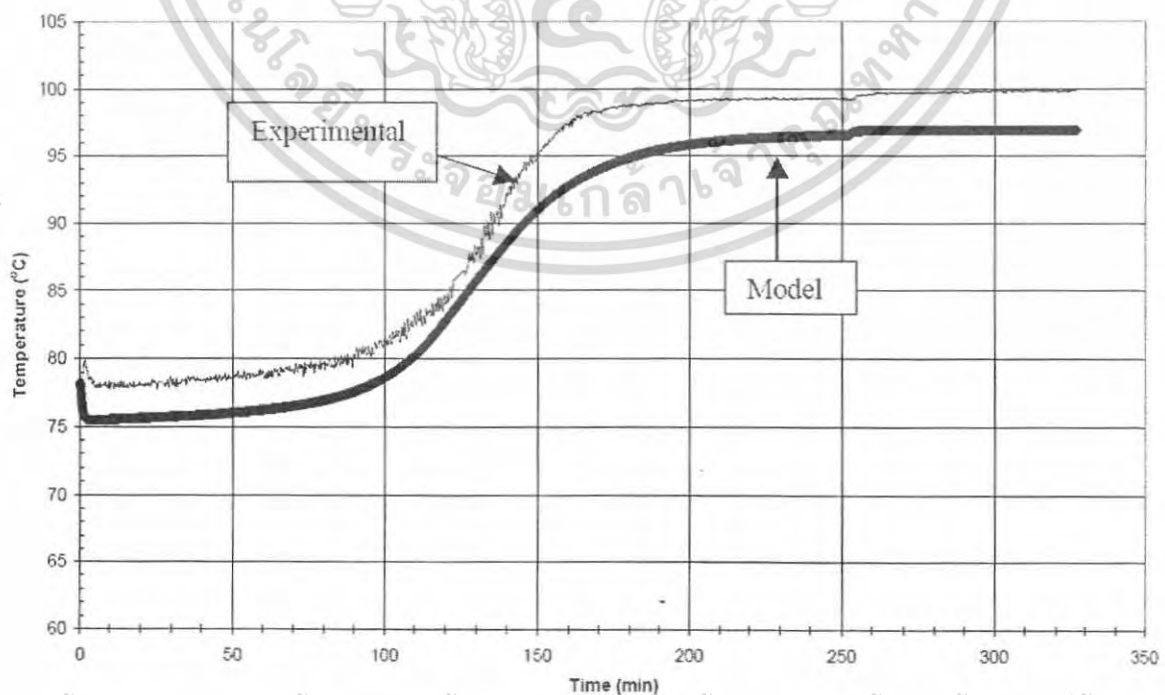


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 02-2564000

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 7 (tray 7 , feed tray)

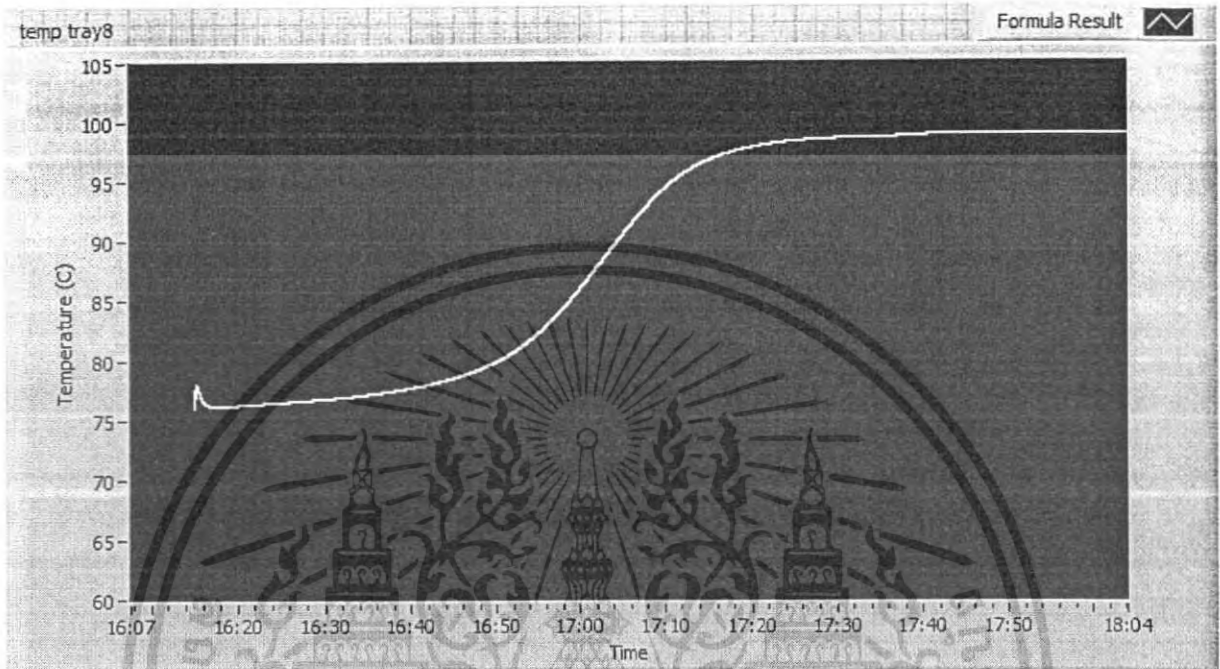


รูปที่ 4.16 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 7 (tray 7 , feed tray)

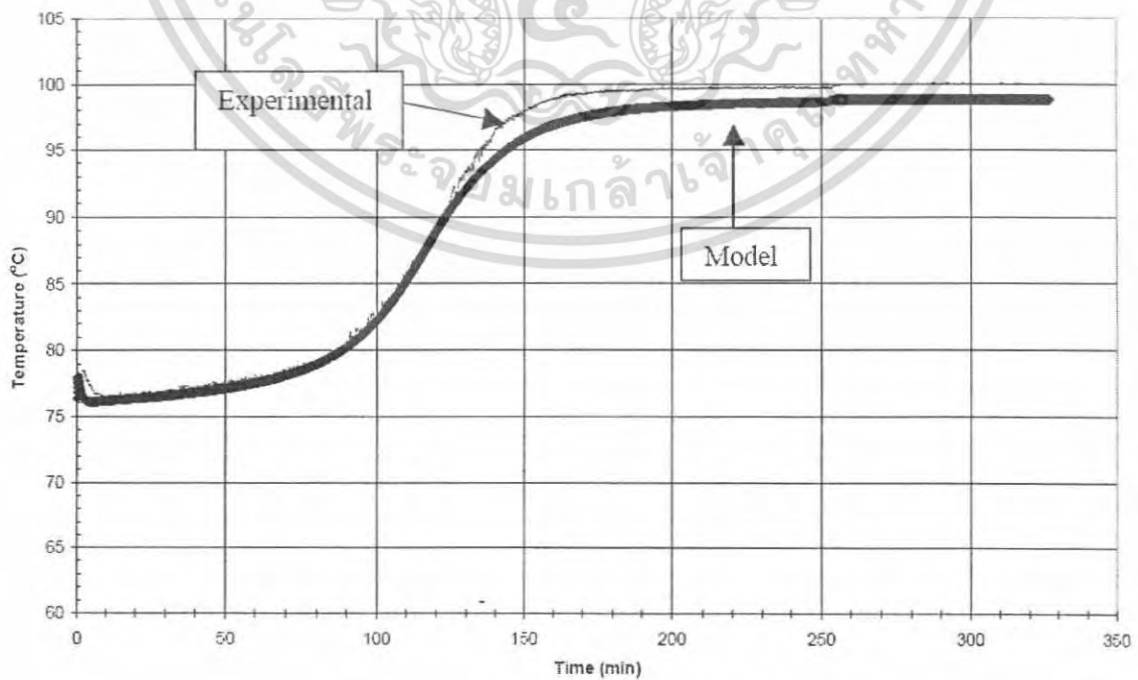


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ารูปที่ 4.17 ผลการทดสอบที่ถาดรองชั้นที่ 7 (tray 7 , feed tray) ไปใช้

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 8 (tray 8)

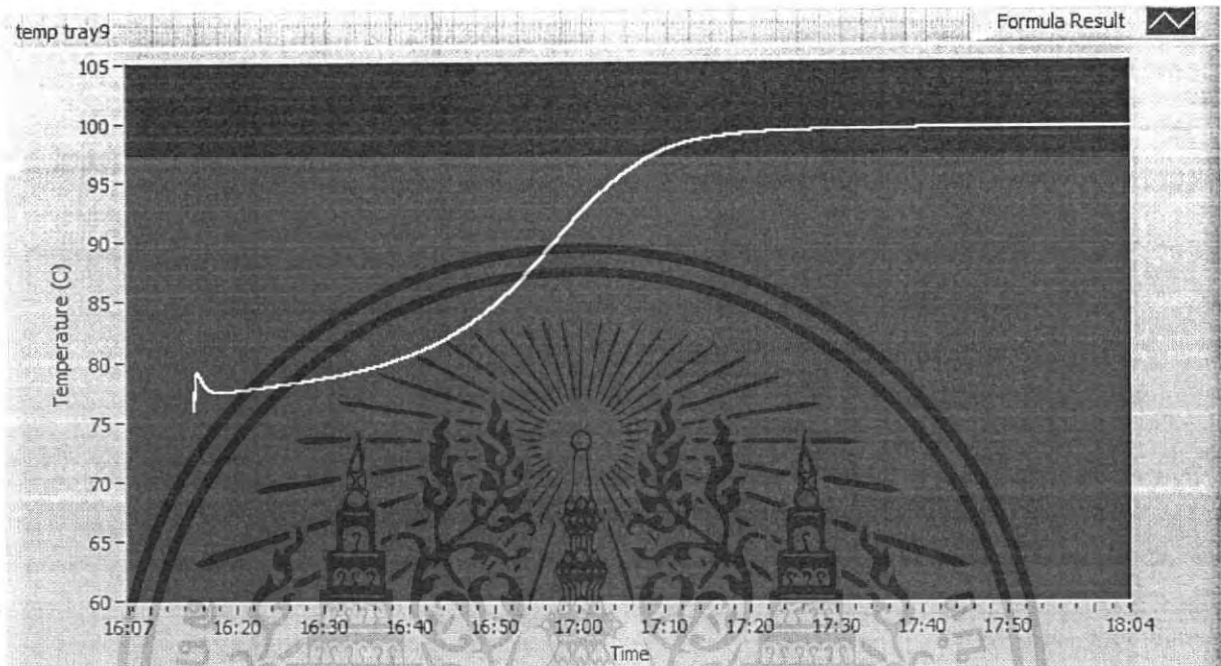


รูปที่ 4.18 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 8 (tray 8)

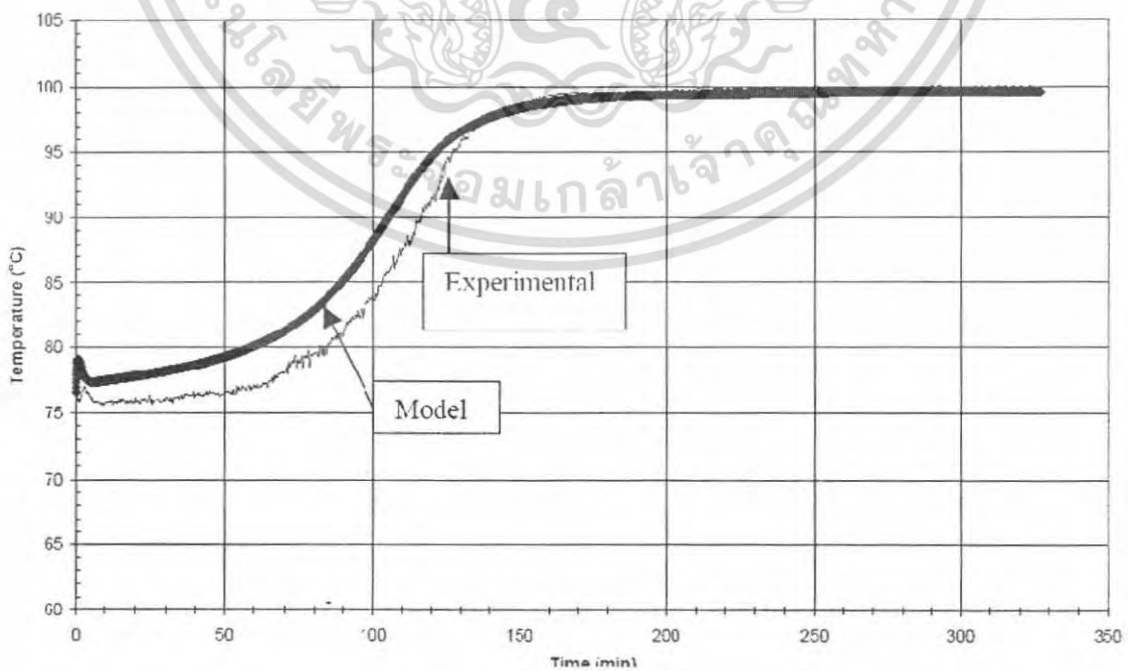


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม รูปที่ 4.19 ผลจากการทดสอบหอกถั่วจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 8 (tray 8) นำไปใช้

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 9 (tray 9)

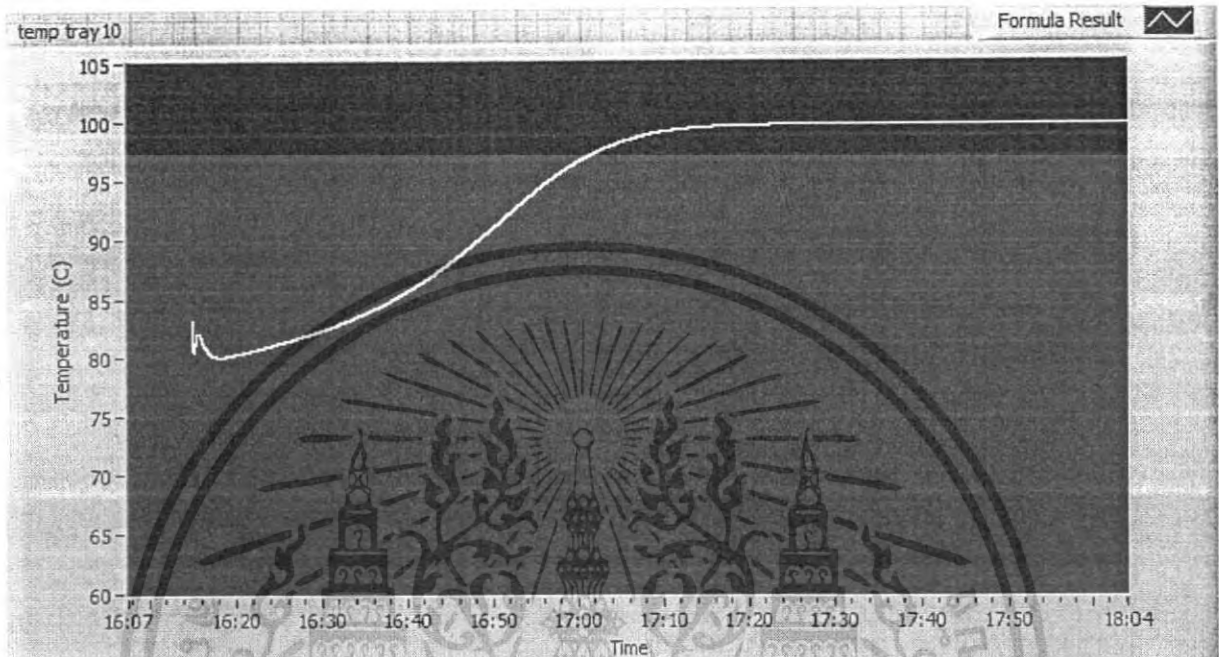


รูปที่ 4.20 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 9 (tray 9)

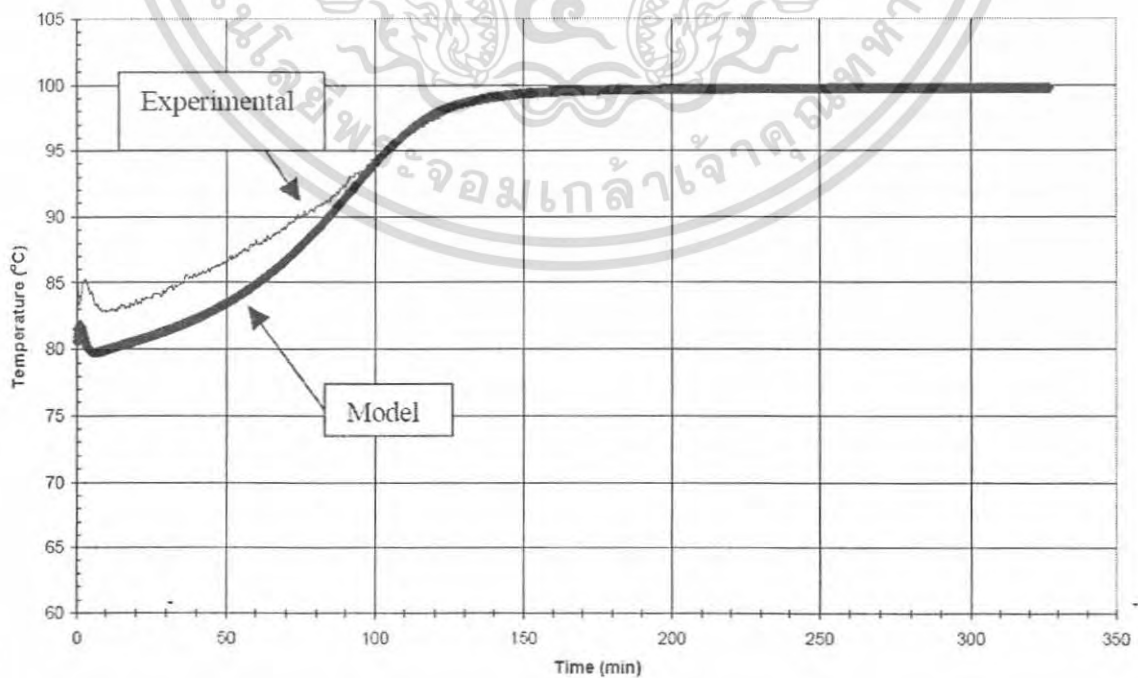


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ในประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 4.21 ผลจากการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 9 (tray 9)  
 ไม่วากรณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 10 (tray 10)

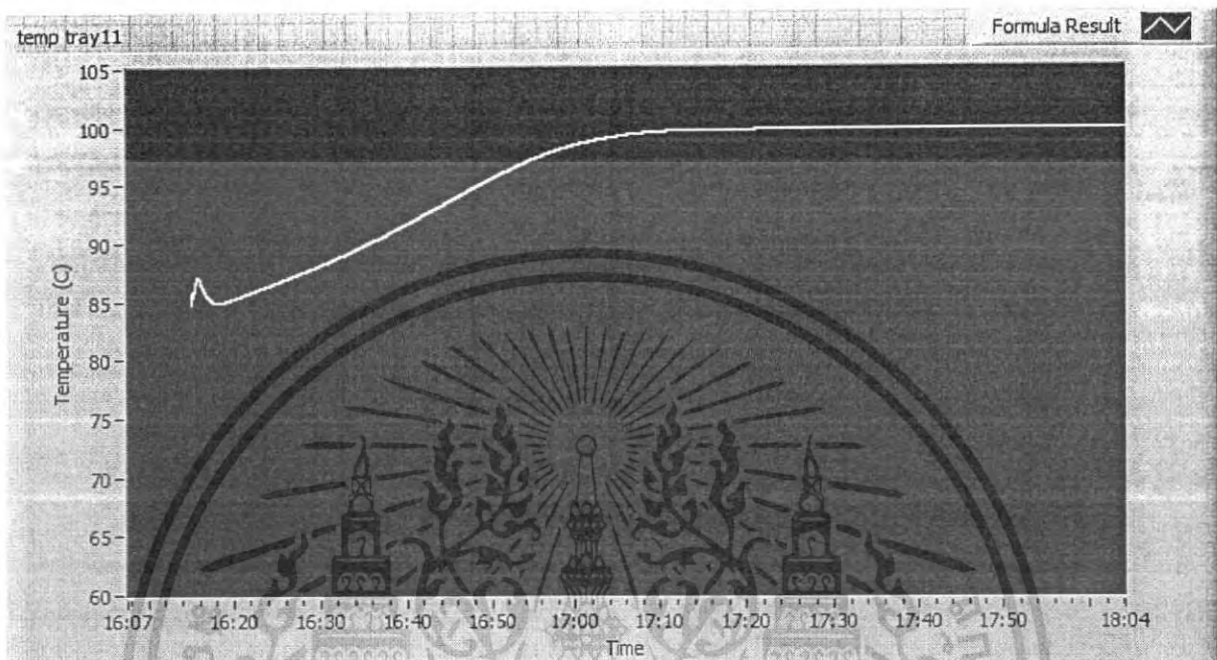


รูปที่ 4.22 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 10 (tray 10)

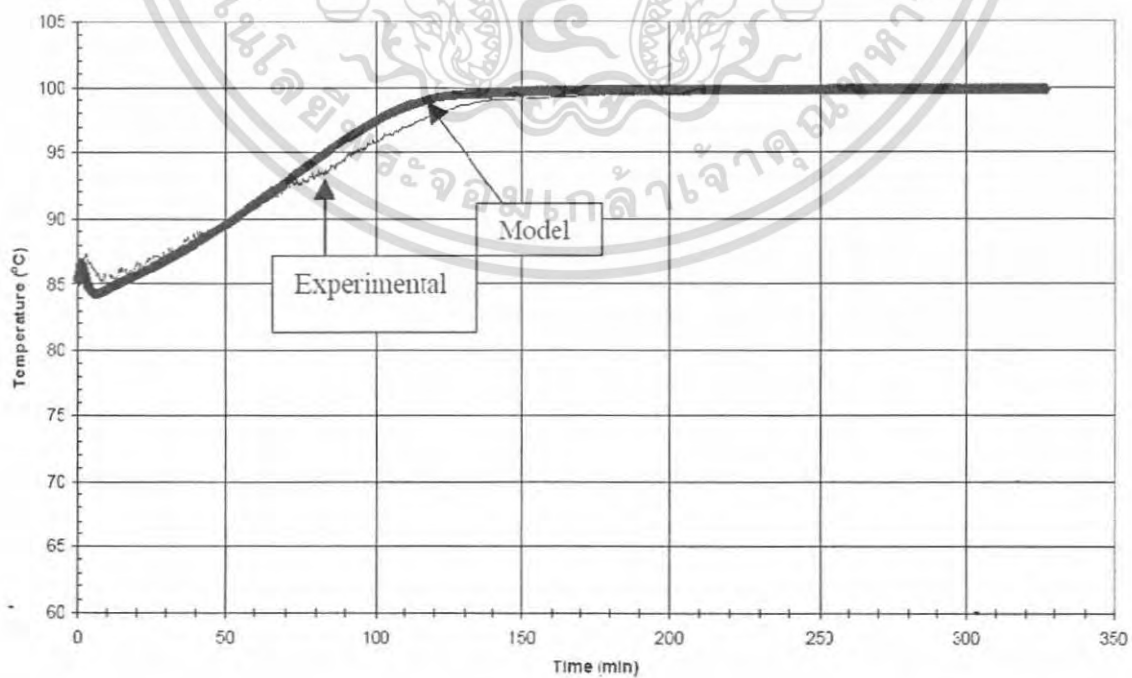


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.23 ผลจากการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 10 (tray 10)

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 11 (tray 11)

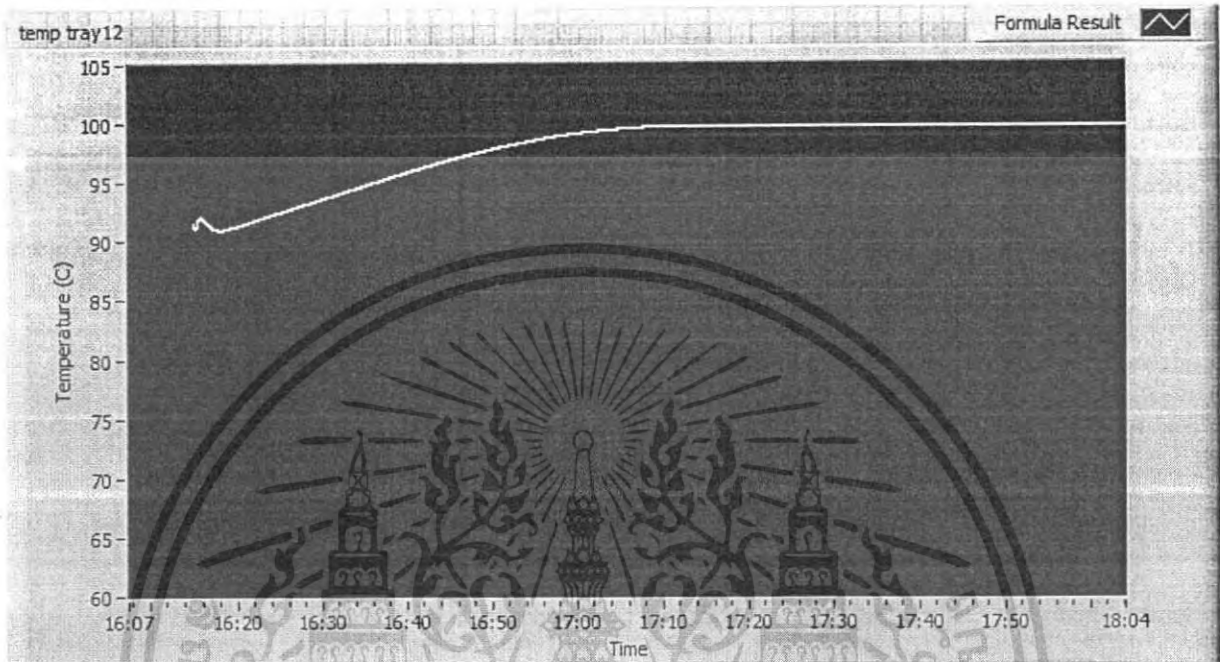


รูปที่ 4.24 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 11 (tray 11)

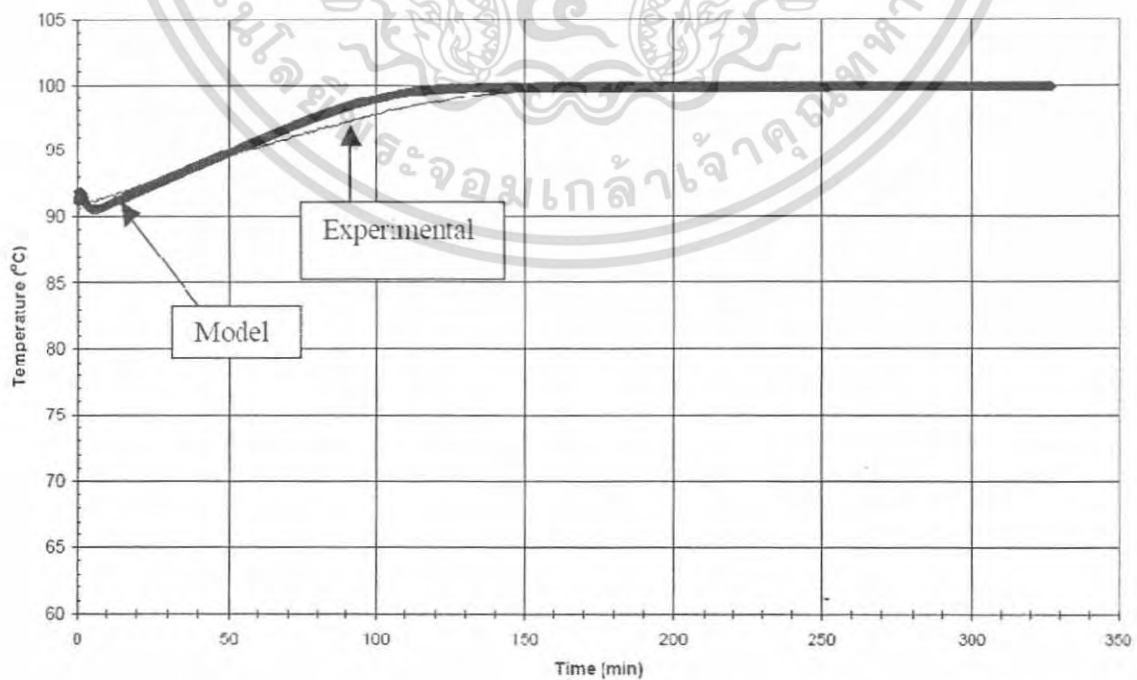


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 4.25 ผลจากการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 11 (tray 11)  
 ไม่ว่าจะพิมพ์ใดๆ ทั้งสิ้น ออกทั้งที่พิมพ์หรือคัดแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 12 (tray 12)

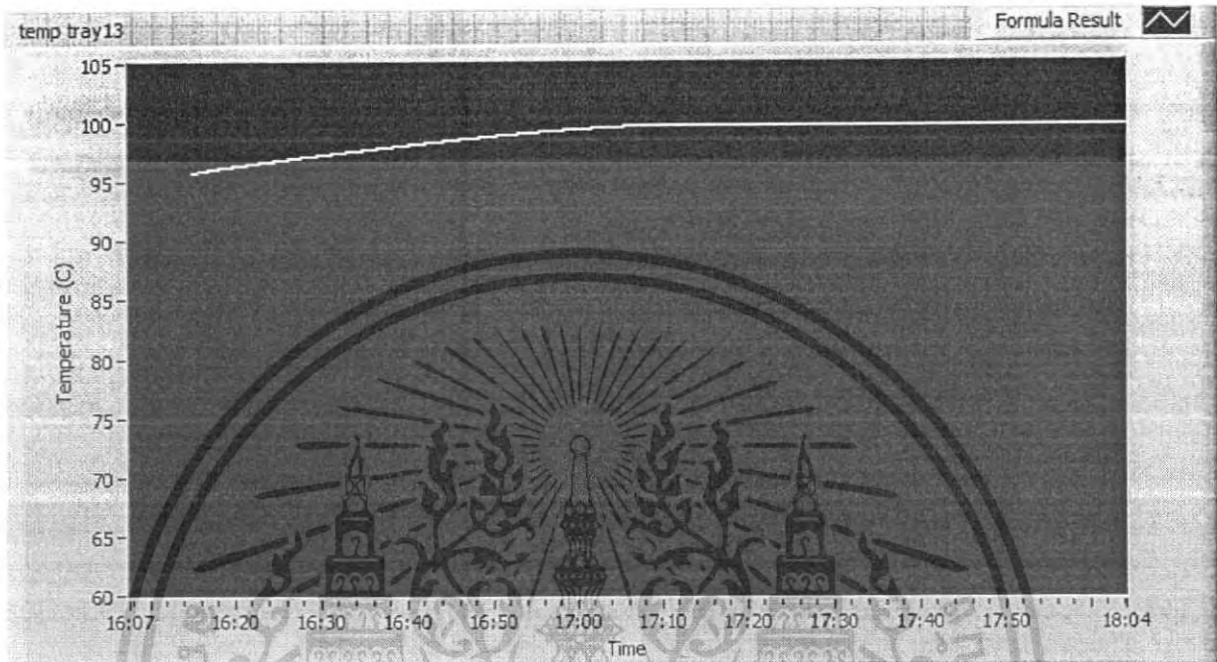


รูปที่ 4.26 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 12 (tray 12)

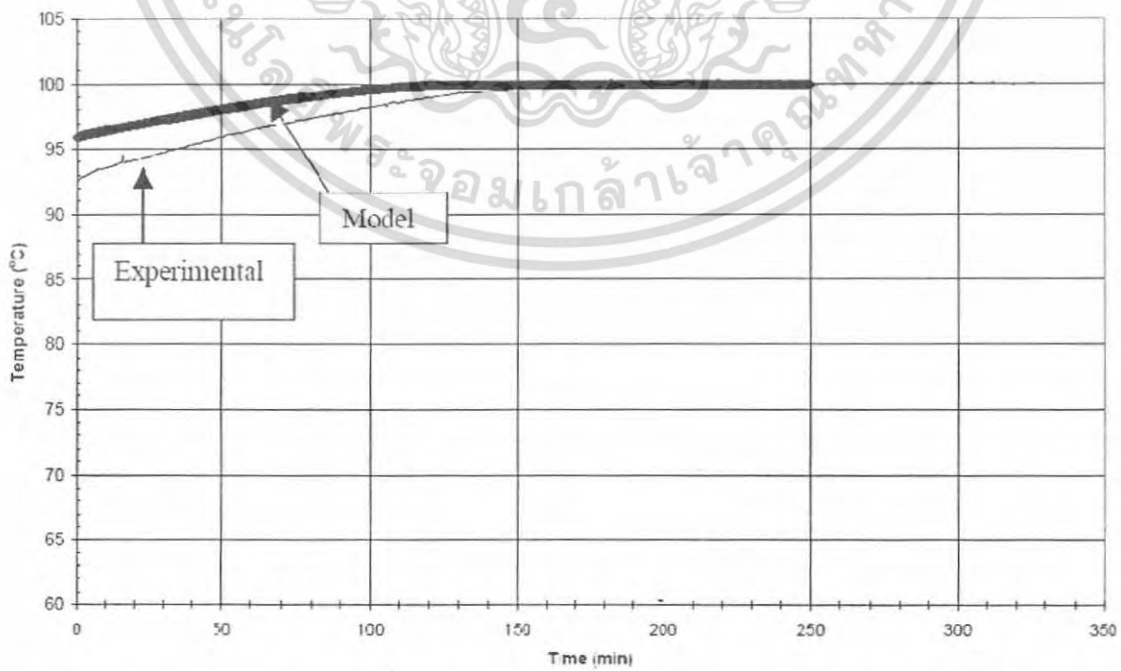


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 4.27 ผลจากการทดสอบหากลั่นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 12 (tray 12)

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 13 (reboiler)



รูปที่ 4.28 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 13 (reboiler)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 4.29 ผลจากการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 13 (reboiler)  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ค่าป้อนเข้าที่ใช้ในการทดสอบหอกถัน 2

ในการทดสอบที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงที่สารตั้งต้นจากมีเมทานอล 13 เฟอร์เซ็นต์ เป็น 10 เฟอร์เซ็นต์ แต่ในส่วนของคุณค่าอื่นๆยังคงเหมือนเดิม ในการหาค่าเริ่มต้นความเข้มข้นของของเหลวและไอระเหย ( $x, y$ ) เราสามารถใช้วิธีเดิมจากการทดลองที่ 1 คืออุ่นเครื่องหอกถัน 15 นาที แล้วนำค่าอุณหภูมิมาหาค่าเริ่มต้น ได้ผลดังตารางที่ 4.3

Tray	Initial Liquid Concentrations, $x$	Initial Vapor Concentration, $y$
0	0.680	0.85
1	0.600	0.82
2	0.400	0.75
3	0.250	0.65
4	0.070	0.35
5	0.090	0.35
6	0.080	0.35
7	0.025	0.26
8	0.030	0.25
9	0.030	0.25
10	0.030	0.25
11	0.030	0.25
12	0.030	0.25
13	0.020	0.20

ตารางที่ 4.3 ค่าเริ่มต้น  $x, y$  ในการทดลองที่ 2

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าอินพุตป้อนเข้าสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ (DMM) ที่ตรงกับค่าที่ใช้ในการทดสอบหอกถันจริง

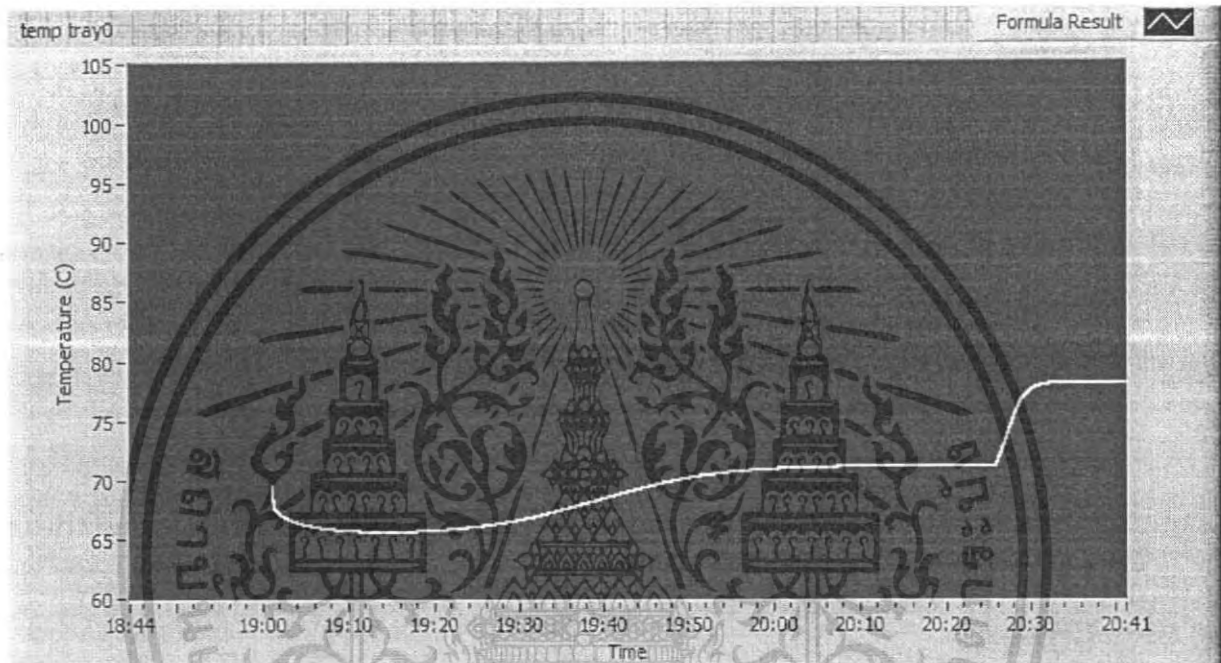
Inputs	Value
Weight percent of feed	10%
Reboiler Watts	3000 Watts
Feed-pump setting	1.5
Reflux	90%
Step change in reflux	-10% at 254 minutes
Murphree tray efficiency	70%
Heat Loss from reboiler	570 Watts
Runge-Kutta step rate, $h$	0.001 minutes
$M_D$	0.50 moles
$M_T$	1.4 moles
$M_B$	470 moles
Length of experiment	300 minutes

ตารางที่ 4.4 ค่าอินพุตให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทดลองที่ 2

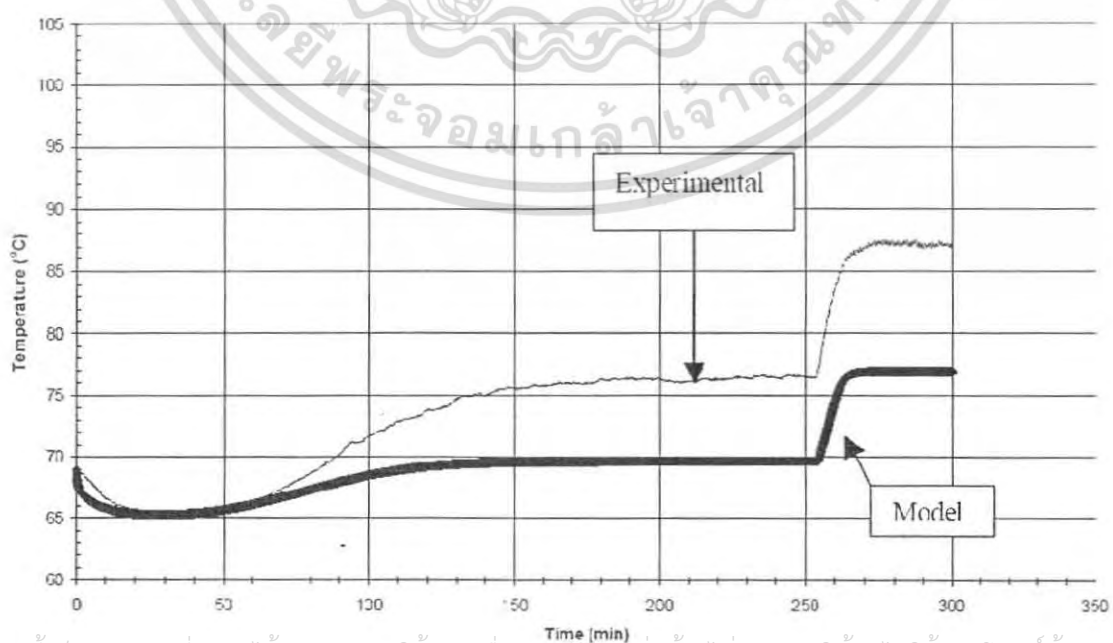
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.4 ผลการทดลองที่ 2

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 0 (overhead receiver)



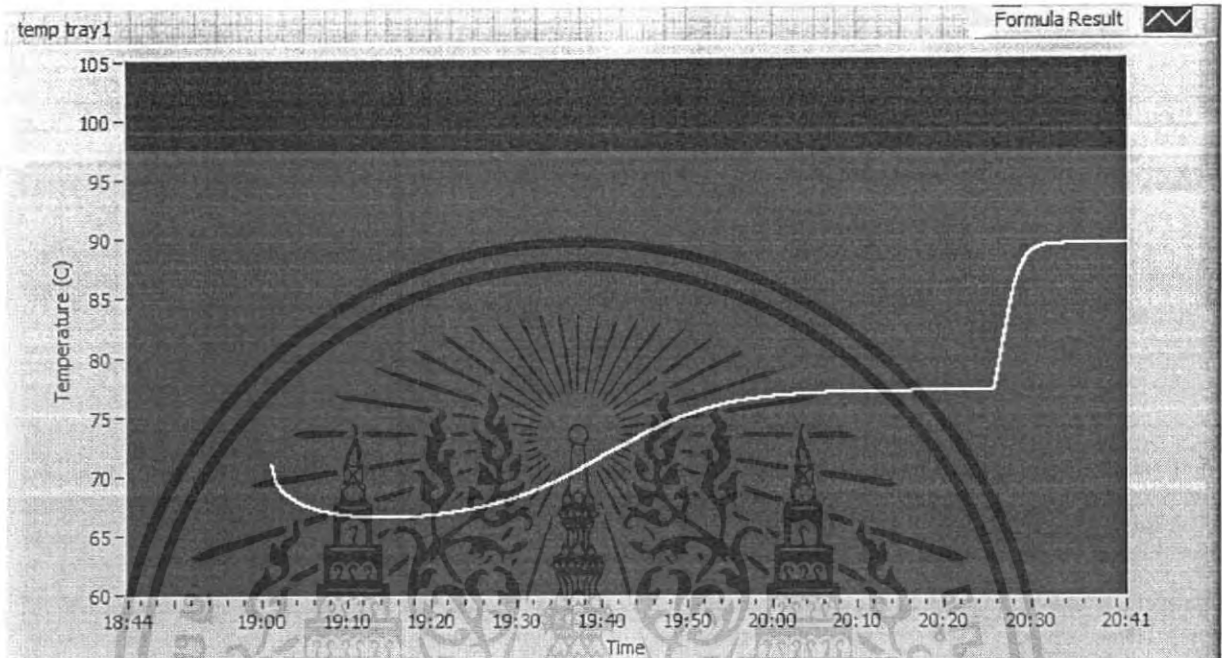
รูปที่ 4.30 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 0 (overhead receiver)



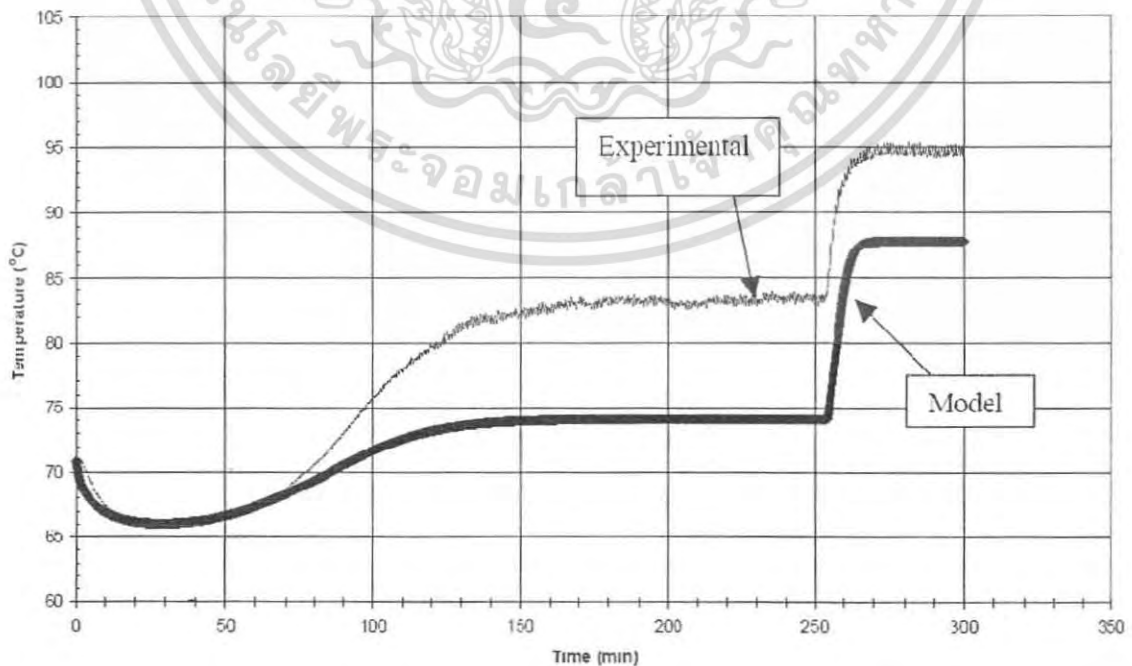
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.31 ผลการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 0 (overhead receiver)

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 1 (tray 1)

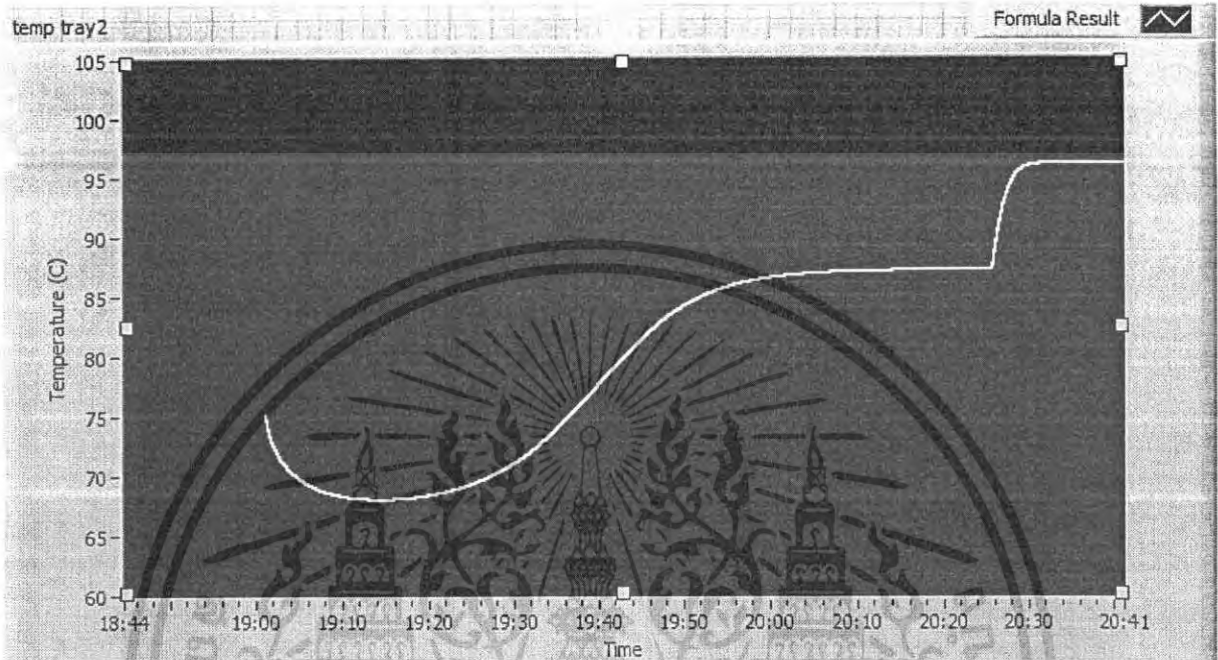


รูปที่ 4.32 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 1 (tray 1)

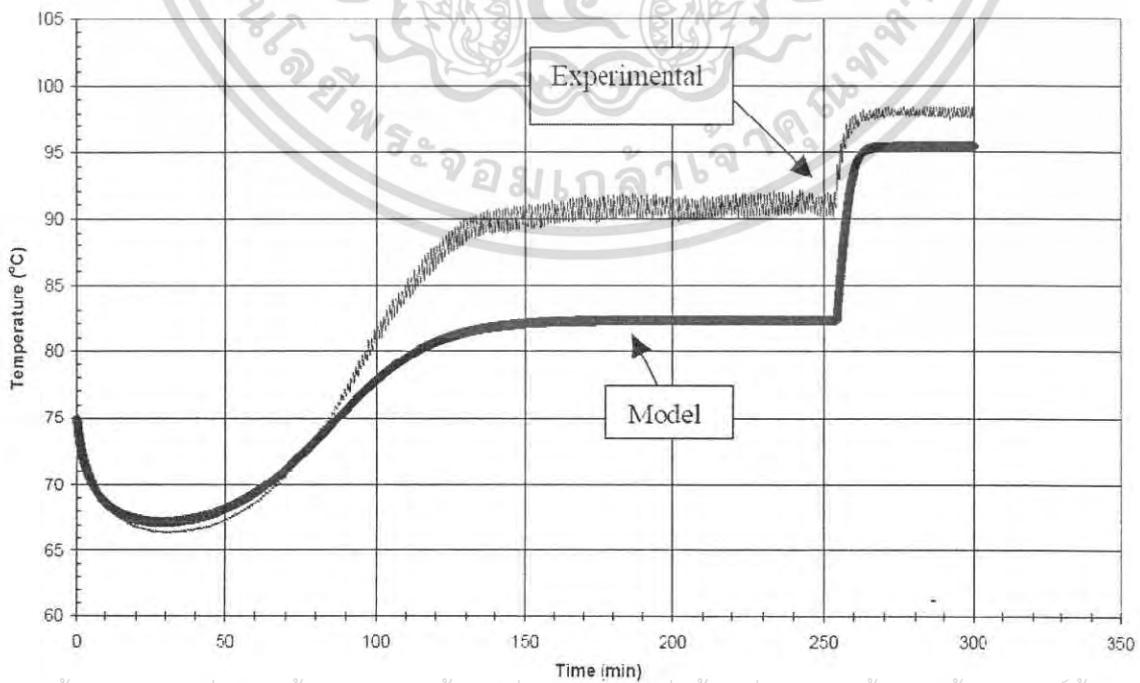


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 4.33 ผลจากการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 1 (tray 1)  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารนี้ หากฝ่าฝืนจะดำเนินการตามกฎหมายต่อไป

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 2 (tray 2)

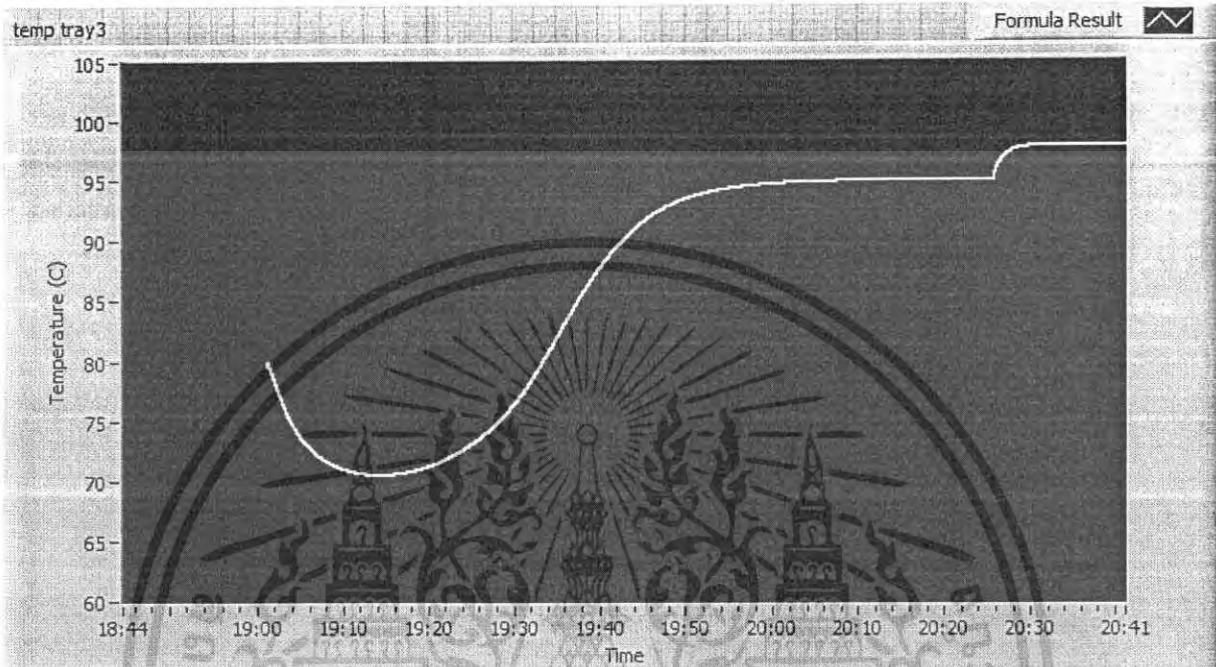


รูปที่ 4.34 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 2 (tray 2)

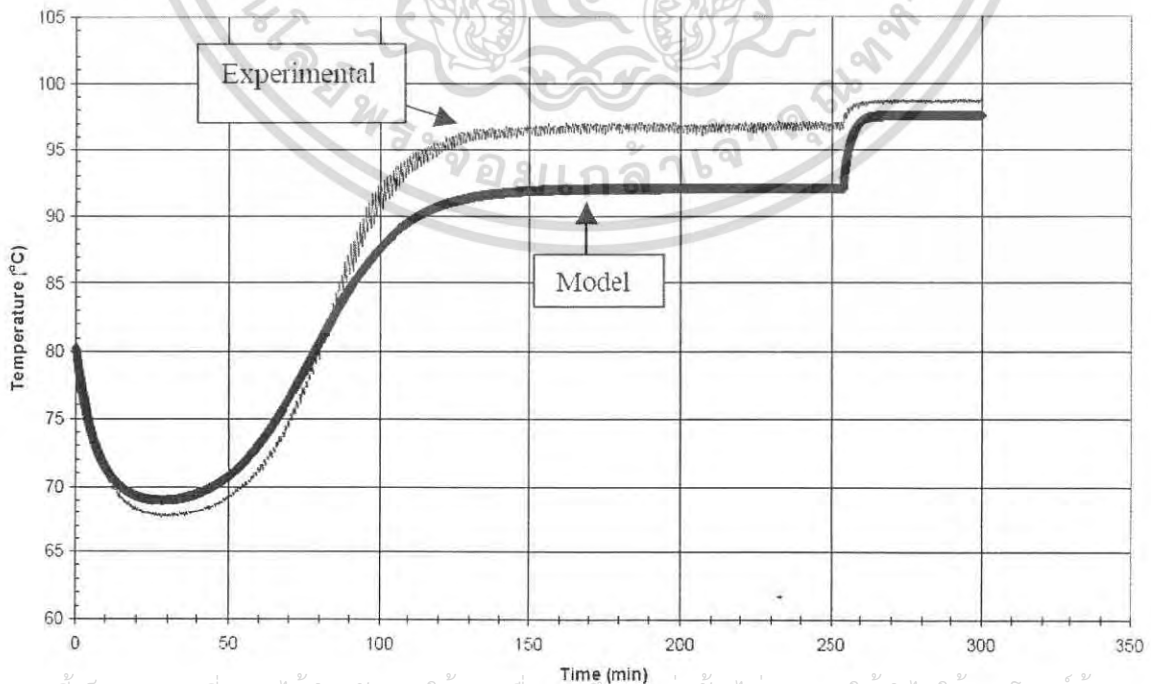


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าในรูปแบบที่ 4.35 ผลจากการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 2 (tray 2) นำไปใช้

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 3 (tray 3)



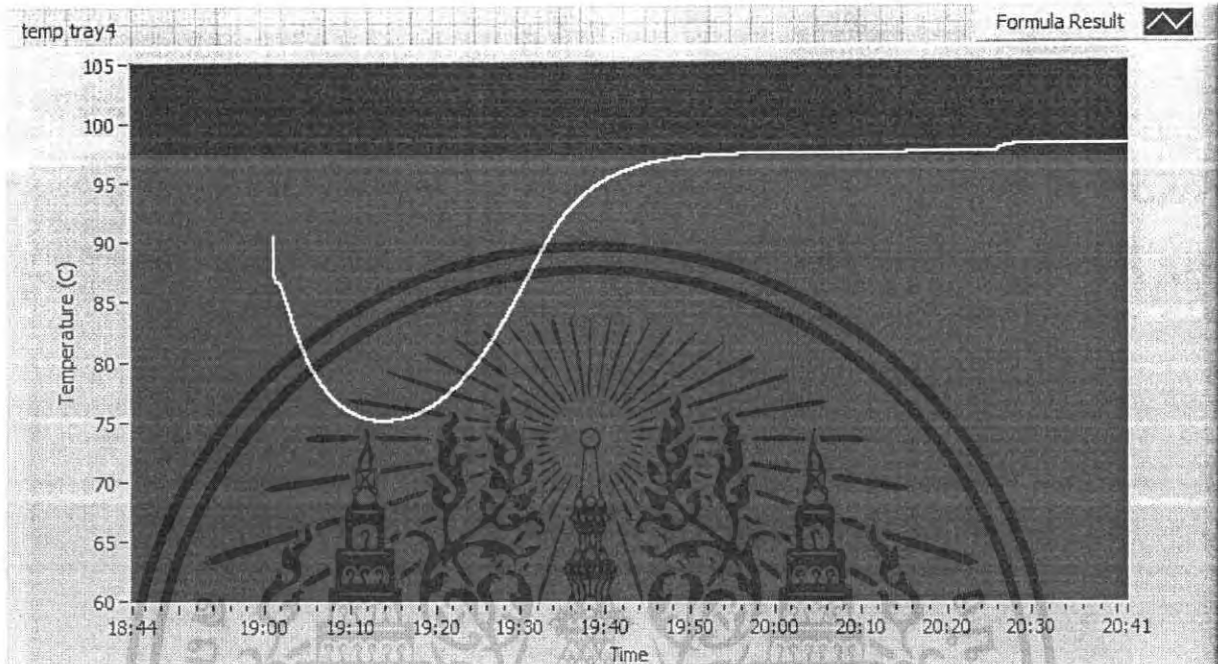
รูปที่ 4.36 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 3 (tray 3)



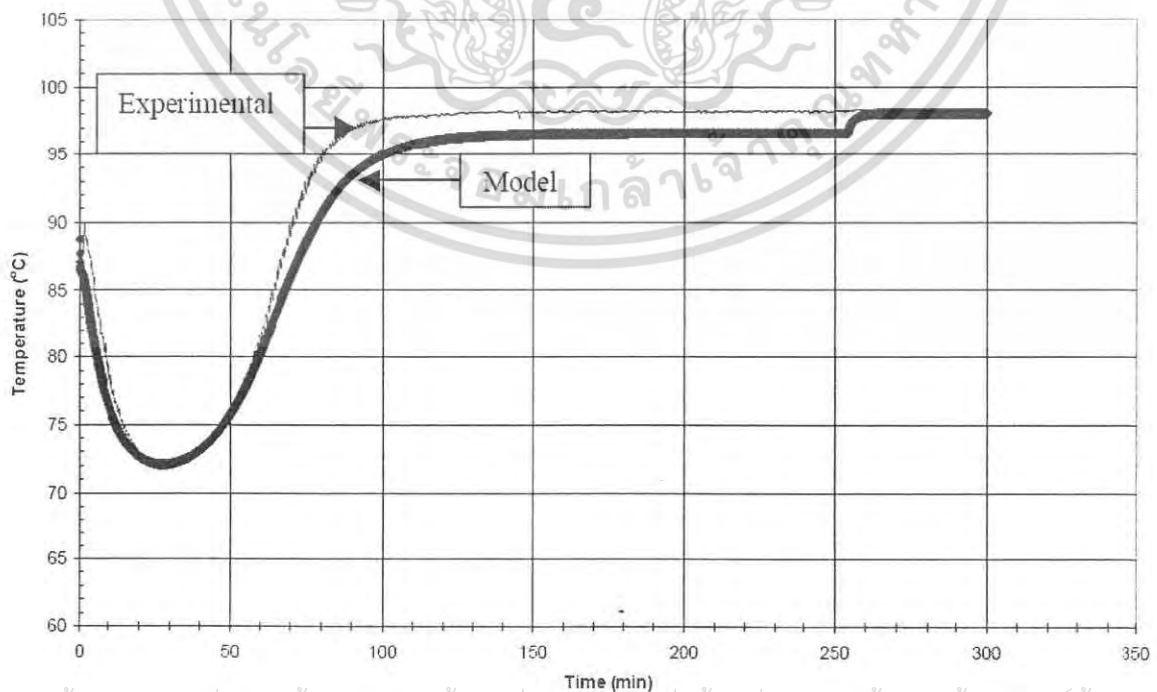
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม

รูปที่ 4.37 ผลจากการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 3 (tray 3)

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 4 (tray 4)

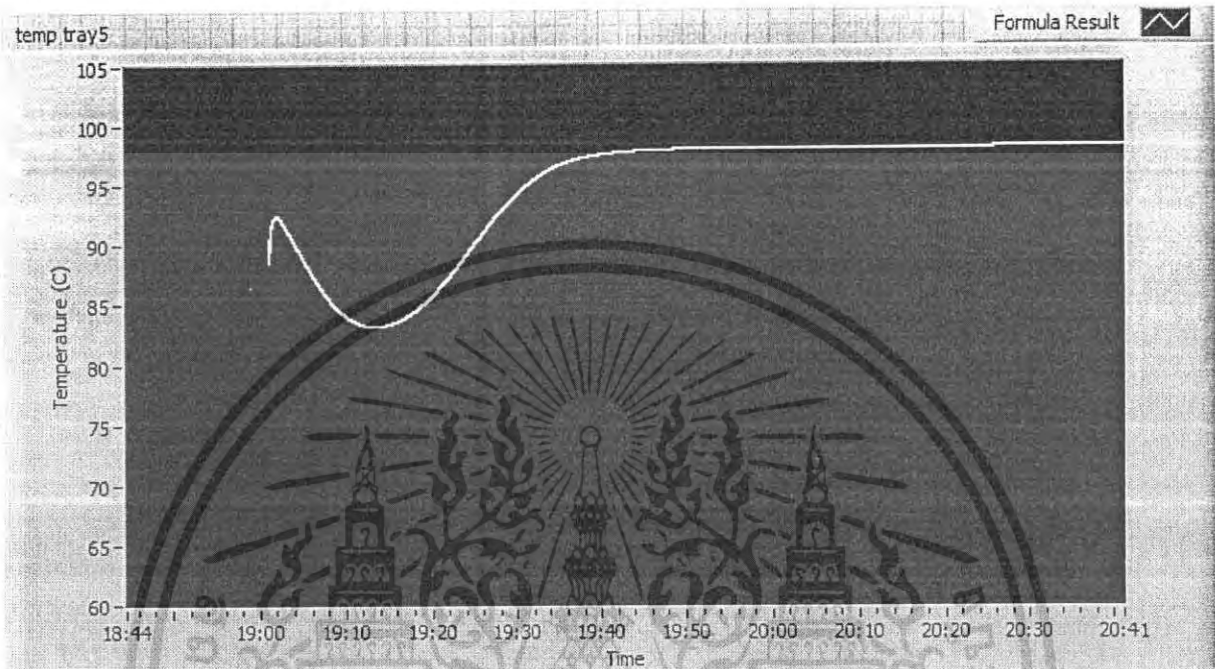


รูปที่ 4.38 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 4 (tray 4)

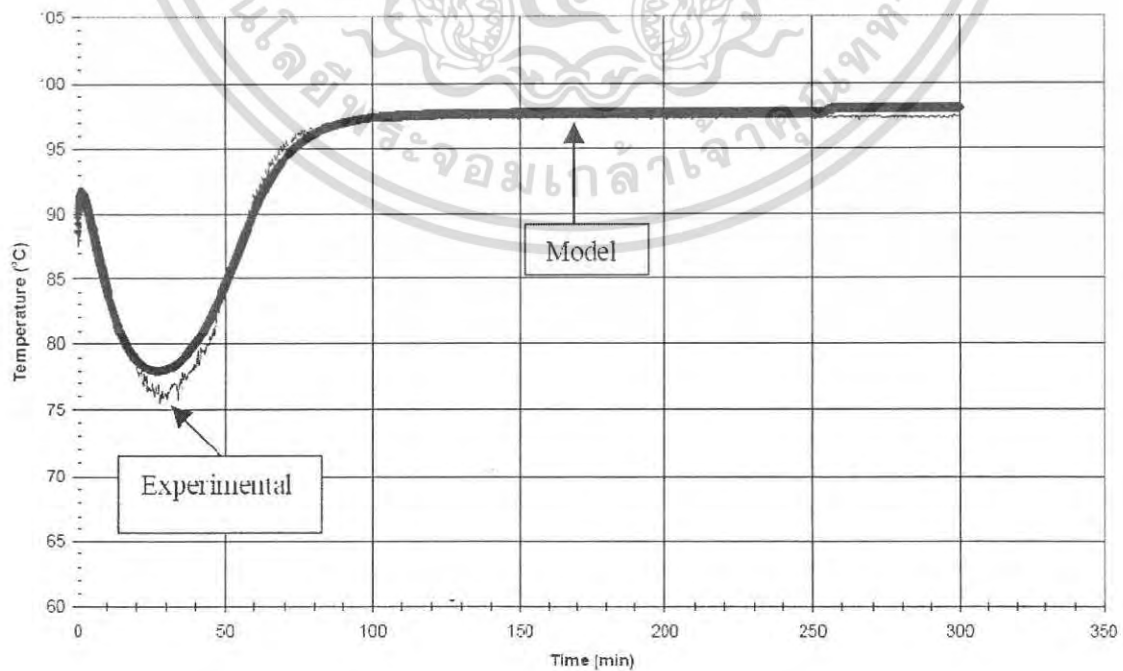


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด **รูปที่ 4.39** ผลจากการทดสอบหอกถักจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 4 (tray 4)

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 5 (tray 5)

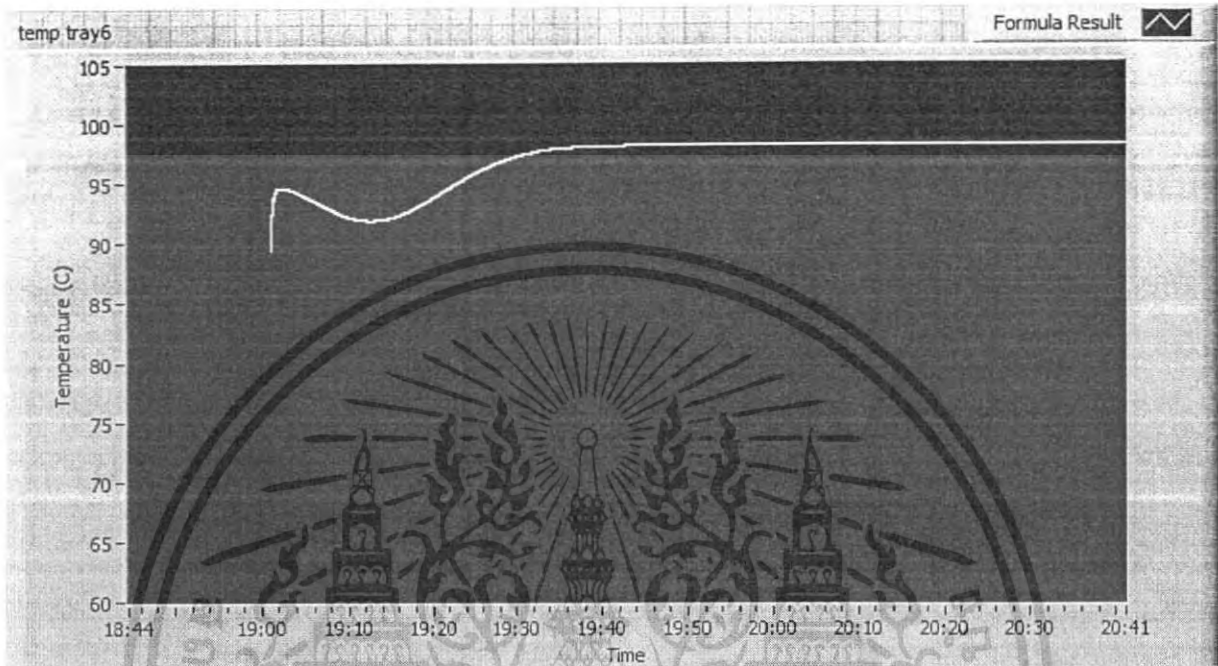


รูปที่ 4.40 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 5 (tray 5)

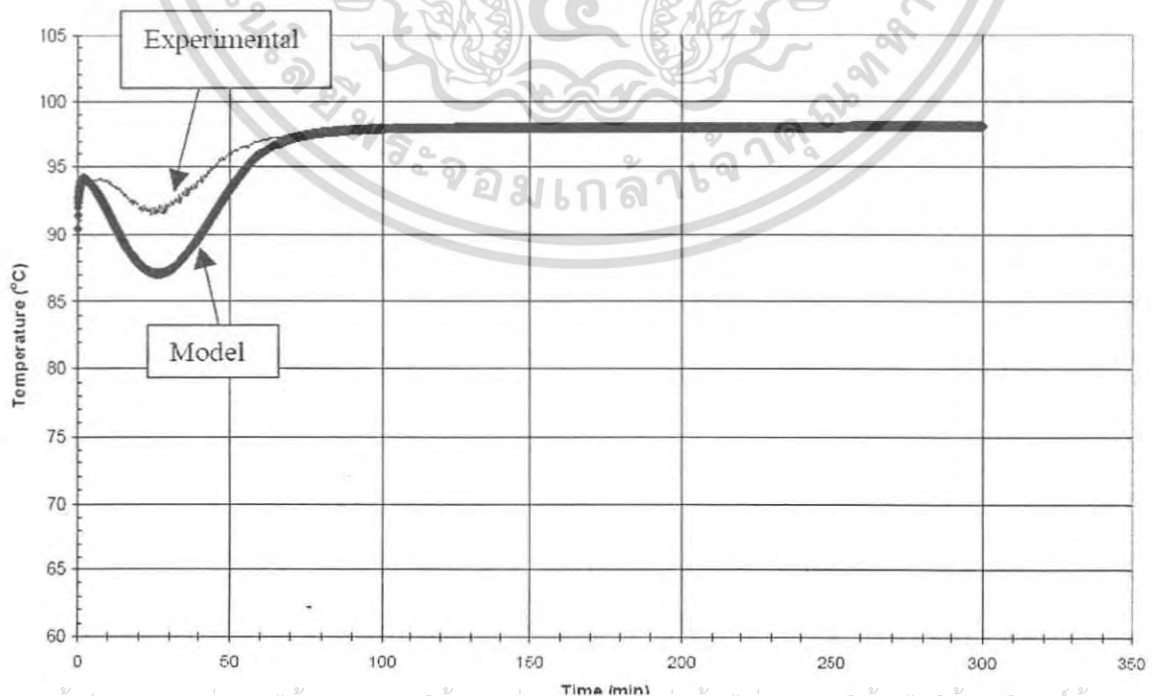


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ผลจากการทดสอบหากลั่นจริง และแบบจำลองอื่นๆ ที่ถาดรองชั้นที่ 5 (tray 5)

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 6 (tray 6)

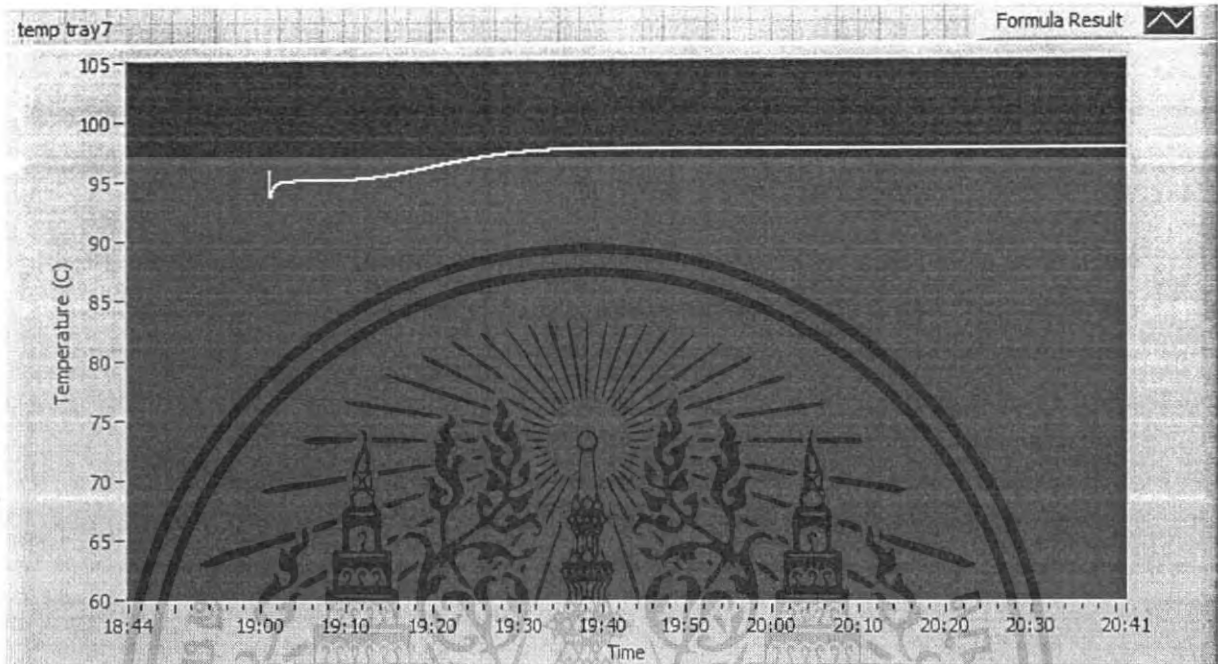


รูปที่ 4.42 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 6 (tray 6)

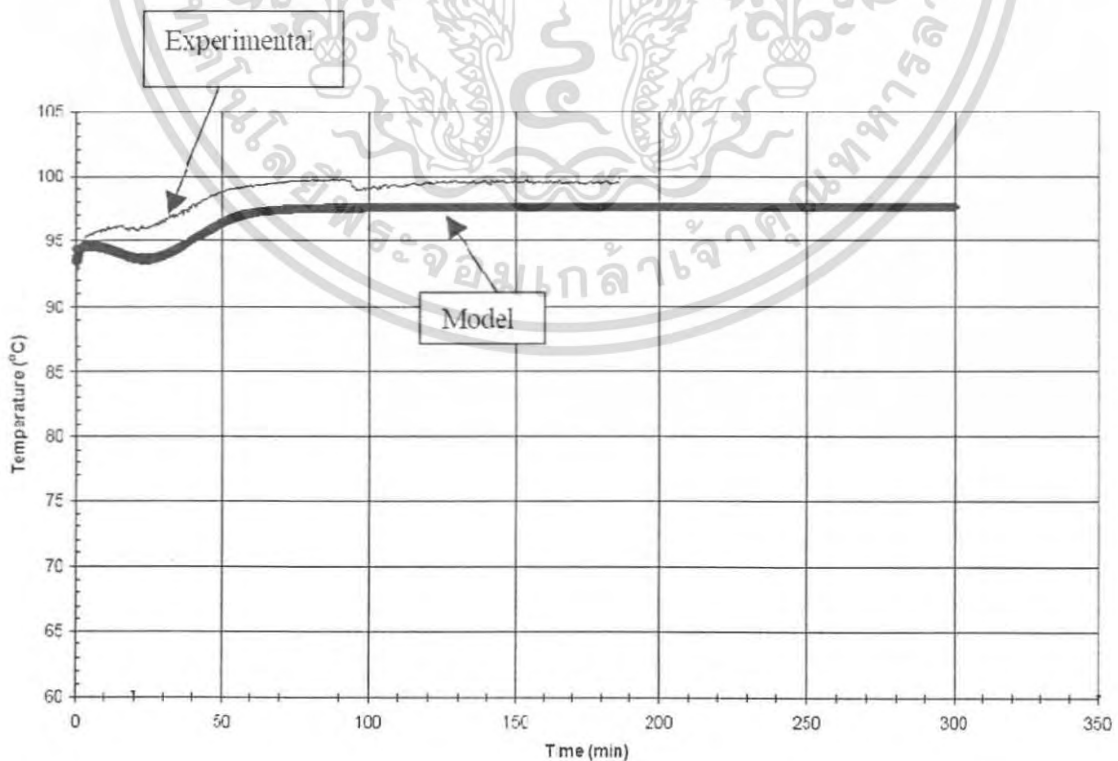


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 4.43 ผลจากการทดสอบหอกถั่วจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 6 (tray 6) นำไปใช้

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 7 (tray 7 , feed tray)

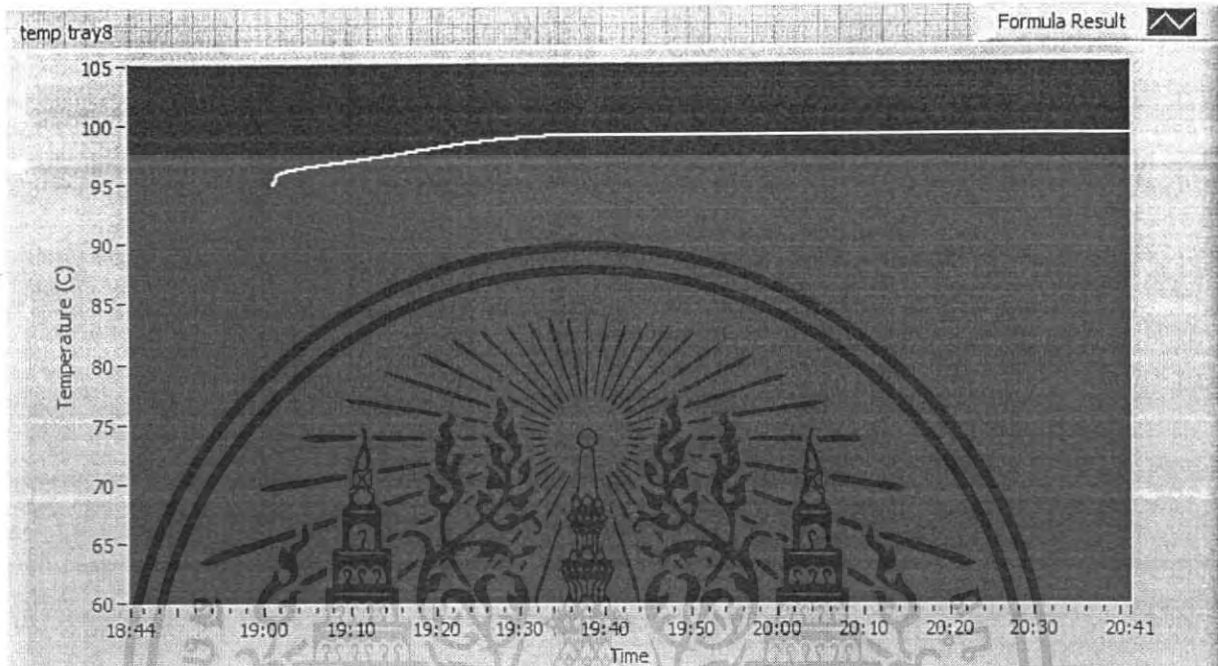


รูปที่ 4.44 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 7 (tray 7 , feed tray)

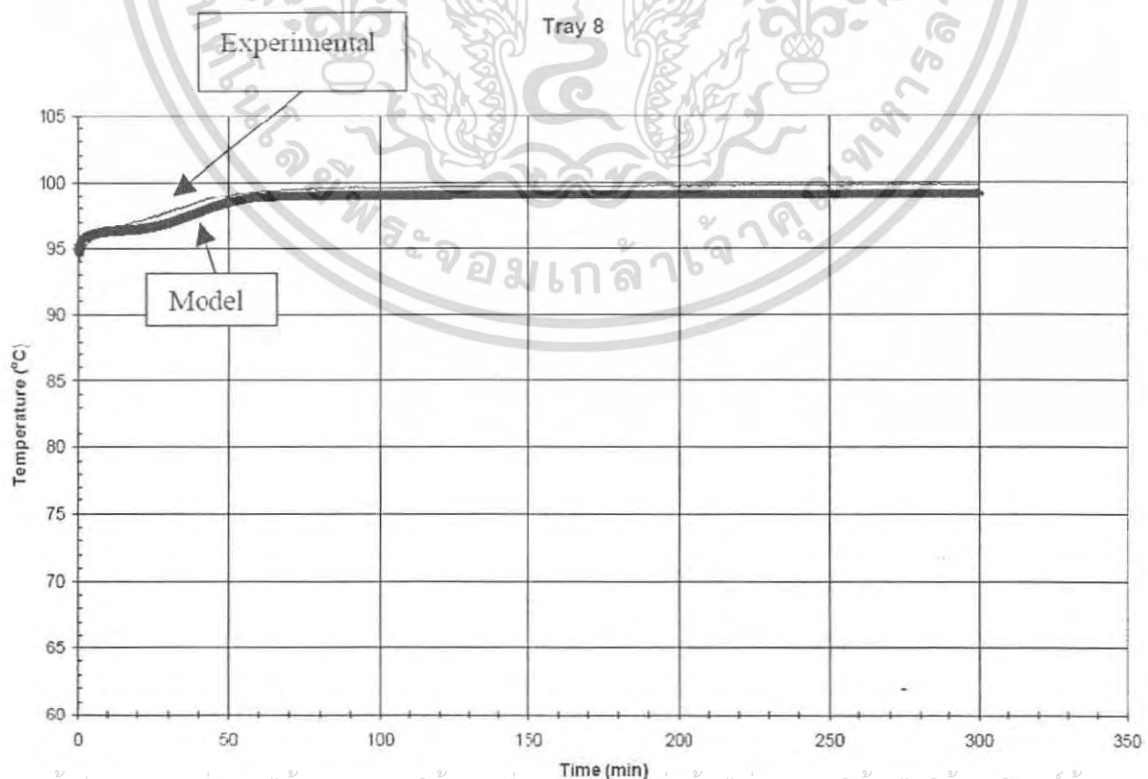


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ารูปที่ 4.45 ผลการทดสอบห็อกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 7 (tray 7 , feed tray) ไปใช้

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 8 (tray 8)

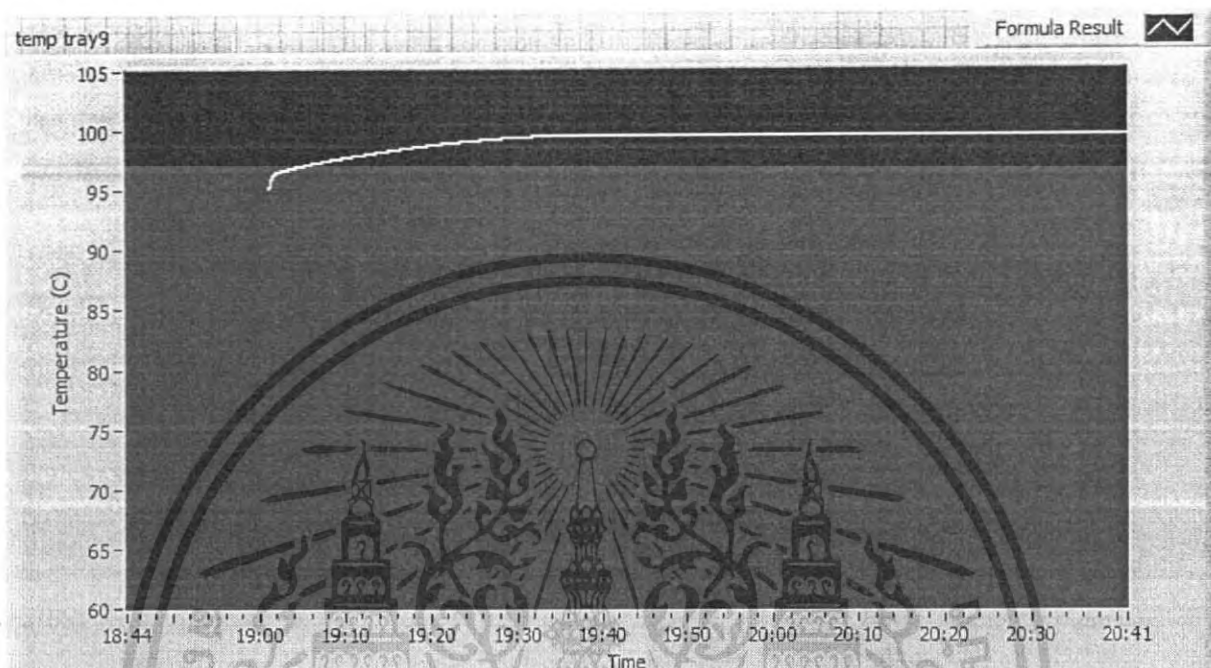


รูปที่ 4.46 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 8 (tray 8)

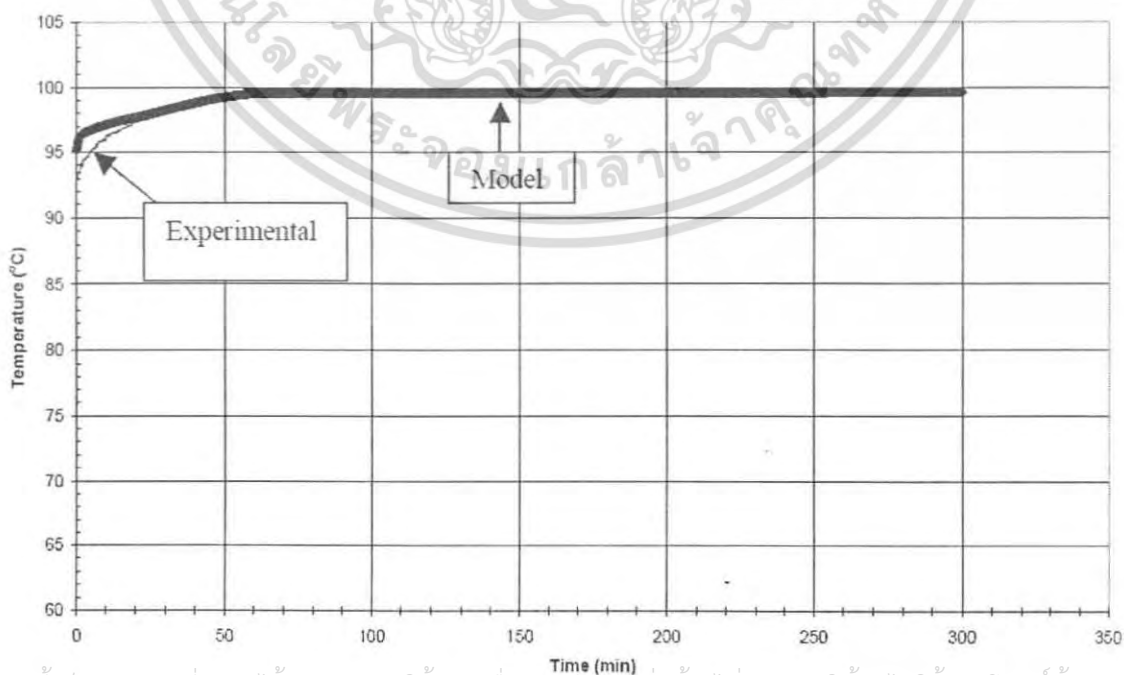


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม ผลจากการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 8 (tray 8) ที่มีกรรมนำไปใช้

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 9 (tray 9)



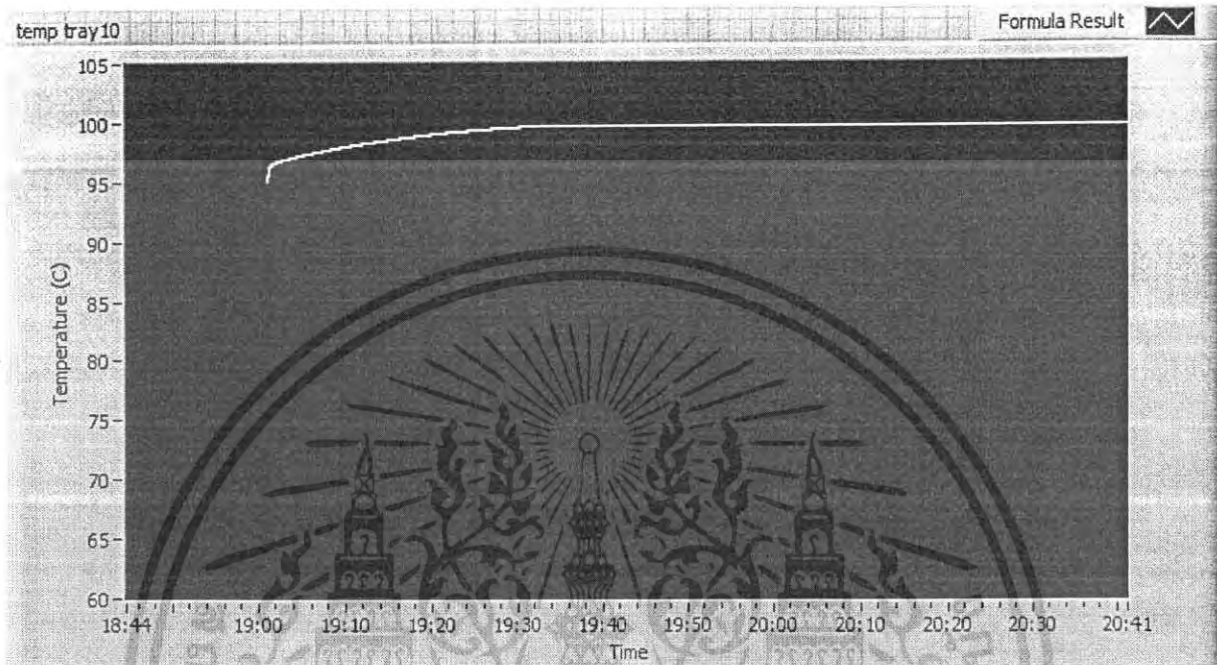
รูปที่ 4.48 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 9 (tray 9)



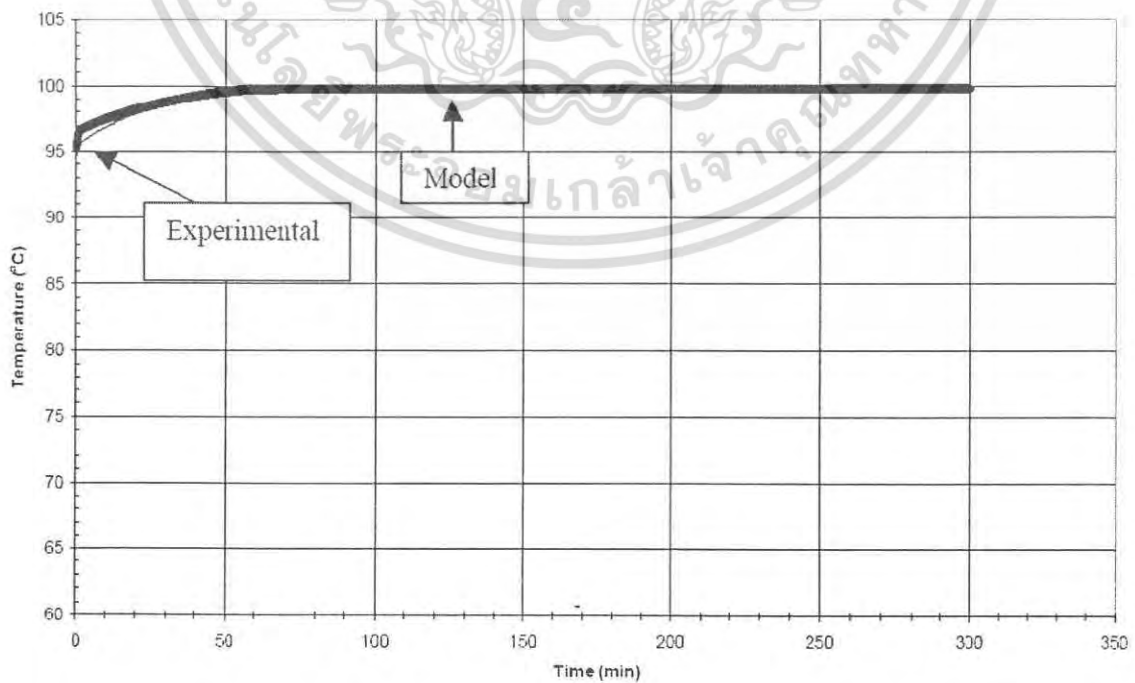
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.49 ผลจากการทดสอบหอกถนองจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 9 (tray 9)

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 10 (tray 10)

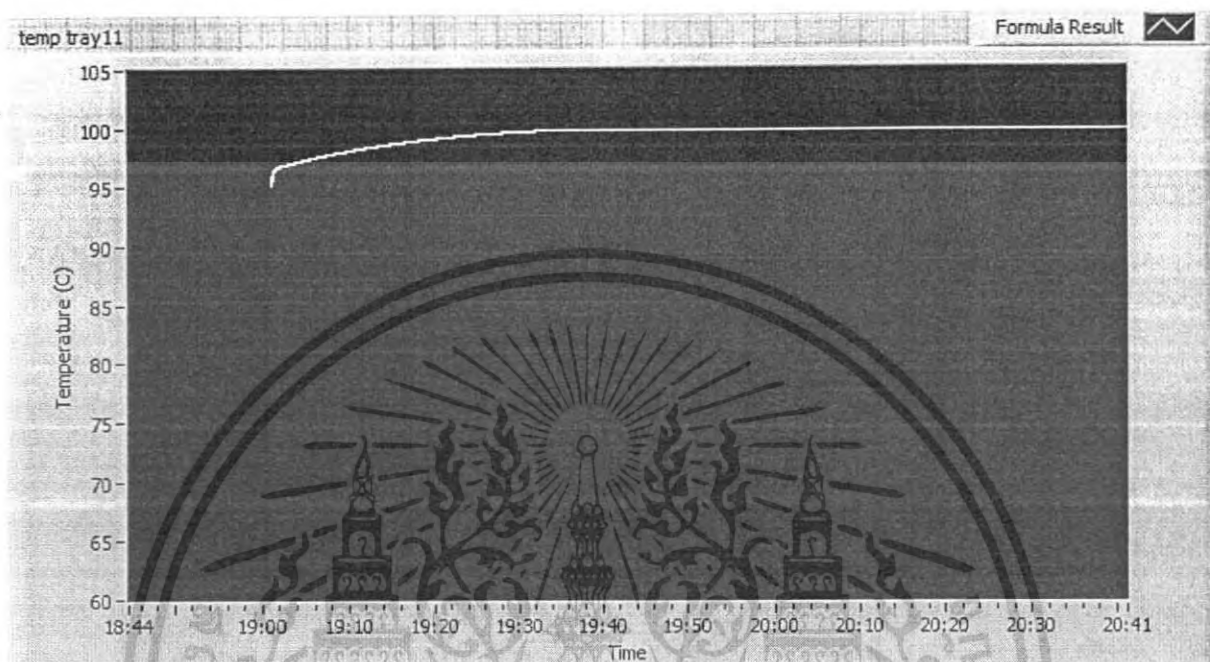


รูปที่ 4.50 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 10 (tray 10)

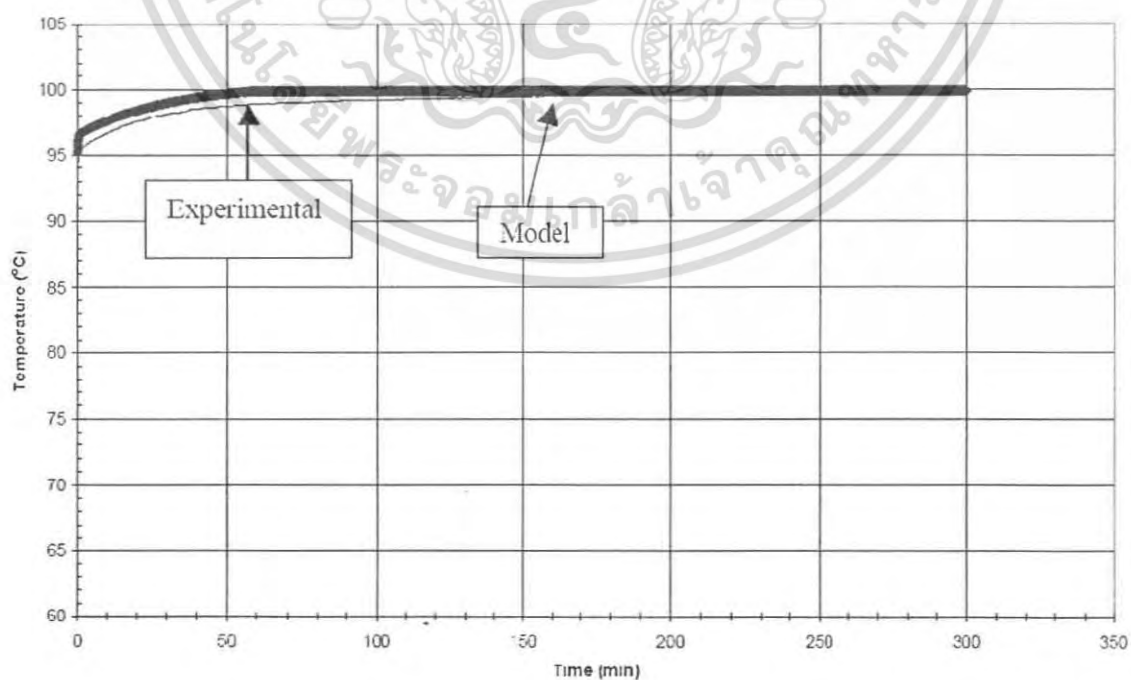


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 4.51 ผลจากการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 10 (tray 10) นำไปใช้

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 11 (tray 11)

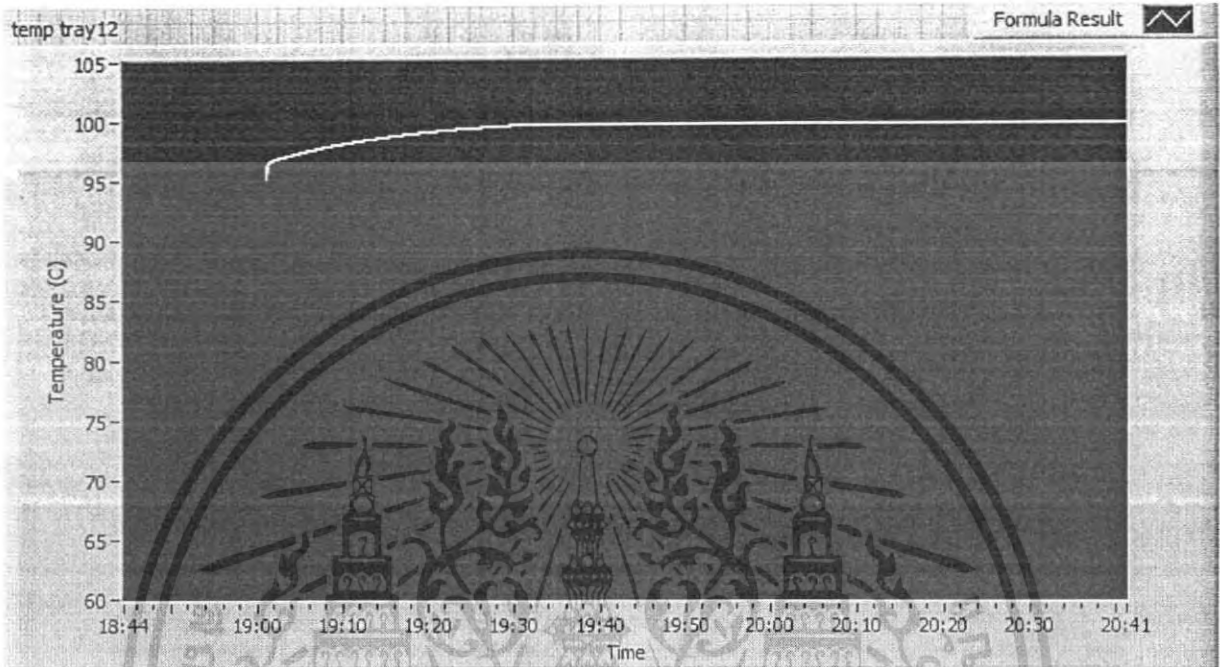


รูปที่ 4.52 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 11 (tray 11)

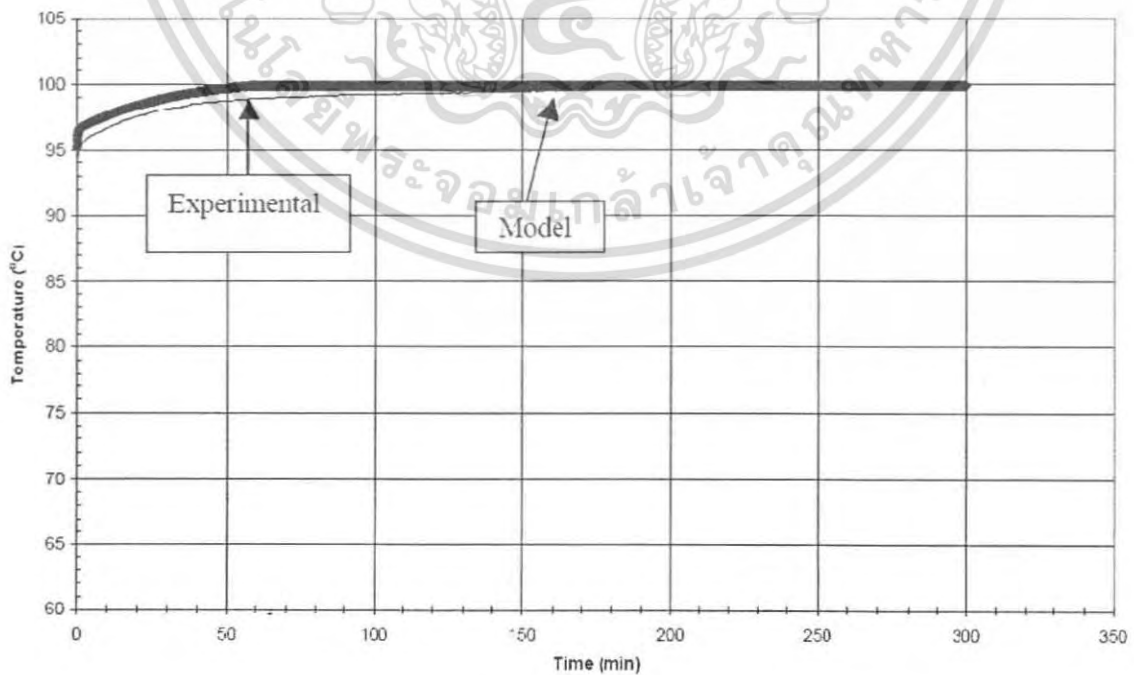


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.53 ผลจากการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 11 (tray 11)  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 12 (tray 12)

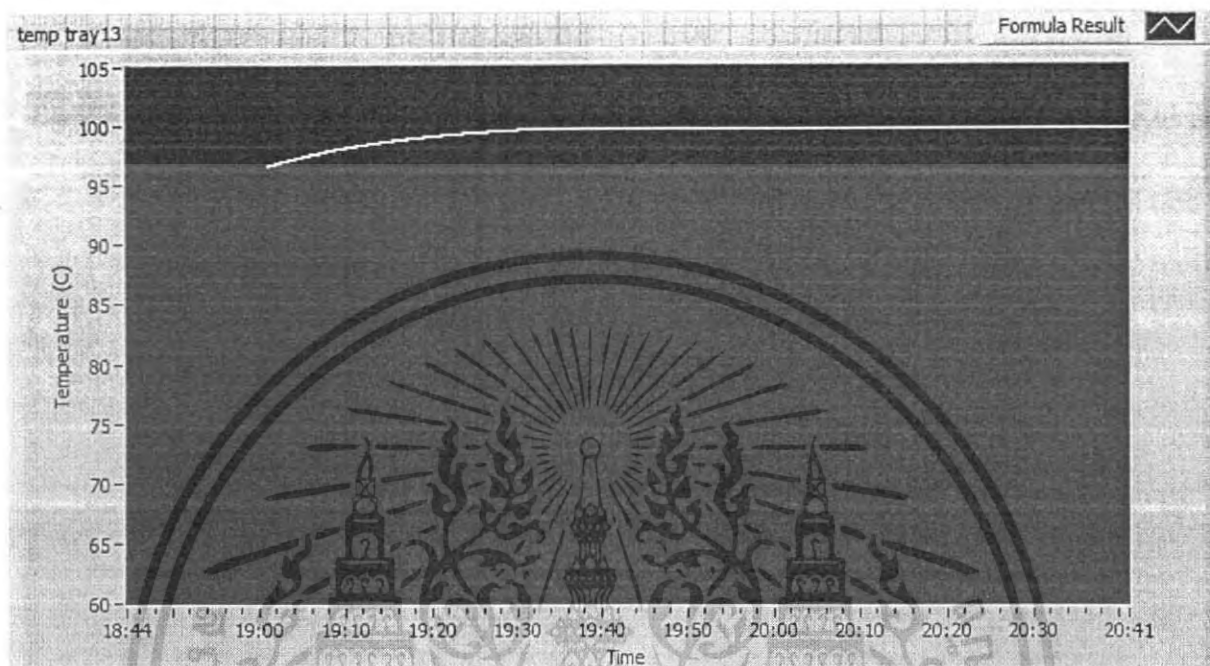


รูปที่ 4.54 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 12 (tray 12)

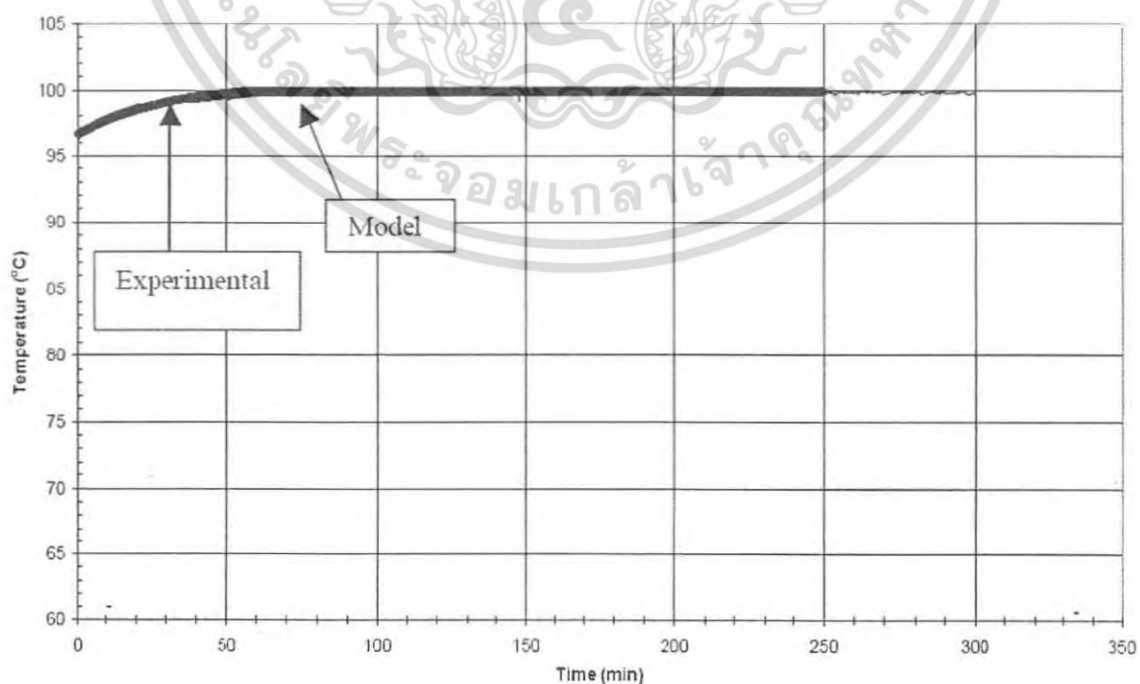


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 4.55 ผลจากการทดสอบหอกลิ้นจริง และแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 12 (tray 12)  
 ไม่วากรัมใดๆ ทงสน อักทงหามมเหตดแปลงเนอหา และตองอางองถงเงาของเอ๊กสารทุ๊กครั้งทุ๊กการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ถาดรองชั้นที่ 13 (reboiler)



รูปที่ 4.56 ผลการทดลองจากแบบจำลองที่ออกแบบที่ถาดรองชั้นที่ 13 (reboiler)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 4.57 ผลจากการทดสอบหอกันจริงและแบบจำลองอื่นๆที่ถาดรองชั้นที่ 13 (reboiler) ำไปใช้

## บทที่ 5

### วิเคราะห์และสรุป

#### 5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

##### 5.1.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง 1

พิจารณาในถาดรองชั้นที่ 0 ถึง 2 ช่วงก่อนการเปลี่ยนอัตราการไหลกลับแบบจำลองจะให้ผลเท่ากับผลจากการทดสอบจริง เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลกลับจาก 90 เปอร์เซ็นต์ เป็น 80 เปอร์เซ็นต์ ค่าอุณหภูมิที่สภาวะคงที่สุดท้ายของแบบจำลองจะต่ำกว่าค่าอุณหภูมิที่สภาวะคงที่สุดท้ายของการทดสอบจริงประมาณ 5 องศาเซลเซียส ถึง 1 องศาเซลเซียส

บนถาดรองชั้นที่ 3 ถึง 5 การตอบสนองของแบบจำลองใกล้เคียงกับการตอบสนองของการทดสอบจริงมาก ทั้งก่อนและหลังเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลกลับ และที่สภาวะคงที่สุดท้ายของแบบจำลองมีค่าอุณหภูมิที่เท่ากับหรือต่างกันเพียงเล็กน้อยกับอุณหภูมิจากการทดสอบจริง

บนถาดรองชั้นที่ 6 ถึง 8 แบบจำลองจะมีการตอบสนองที่ช้ากว่าการทดสอบจริงในช่วงก่อนการเปลี่ยนอัตราการไหลกลับ แต่หลังจากมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลกลับจะมีการตอบสนองที่เท่าๆกัน ในสภาวะคงที่สุดท้ายของแบบจำลองมีค่าอุณหภูมิที่เท่ากับหรือน้อยกว่าเพียงเล็กน้อยกับอุณหภูมิจากการทดสอบจริง

การตอบสนองของแบบจำลองบนถาดรองชั้นที่ 9 ถึง 13 ในช่วงครึ่งแรกของการทดสอบจะเร็วกว่าเล็กน้อยกับการตอบสนองของการทดสอบจริง ในช่วงครึ่งหลังของการทดสอบจะมีการตอบสนองเท่ากันอย่างสมบูรณ์

ในการทดลอง 1 การทำงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ (DMM) แสดงผลความแม่นยำที่ใกล้เคียงมากกับการทดสอบหอกลิ้นจริง คืออุณหภูมิในการทดสอบหอกลิ้น (ที่สามารถนำมาคำนวณหาปริมาณของเมทานอลในแต่ละชั้นของถาดรองได้ด้วย) โดยเมื่อศึกษาดูในทุกๆชั้นของถาดรอง (tray) รวมไปถึงในส่วนรับผลิตภัณฑ์จากยอดหอ (overhead receiver) และในส่วนการต้มซ้ำ (reboiler) แบบจำลองได้ให้ผลการตอบสนองที่ใกล้เคียงมากกับการทดสอบจริง และค่าอุณหภูมิมืดสุดท้ายมีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเพียง 5 องศาเซลเซียส โดยส่วนมากจะคลาดเคลื่อนที่ 1 ถึง 2 องศาเซลเซียส นอกจากนี้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองอื่น พบว่าให้ผลที่แม่นยำตรงกับการทดสอบจริงมากกว่าและใช้เวลาในการหาผลทดสอบน้อยกว่า

### 5.1.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง 2

การตอบสนองของแบบจำลองบนตารางครั้งที่ 0 ถึง 3 จะตรงกับการตอบสนองของการทดสอบจริงในช่วง 70 ถึง 90 นาทีแรกของ การทดสอบจริง หลังจากช่วงเวลานั้นแบบจำลองจะมีการตอบสนองที่ช้ากว่าการทดสอบจริง ในสภาวะอุณหภูมิคงที่ก่อนการเปลี่ยนอัตราการใช้พลังงานแบบจำลองจะมีค่าต่ำกว่าการทดสอบจริงประมาณ 5 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิที่สภาวะคงที่สุดท้ายของแบบจำลองจะต่ำกว่าค่าอุณหภูมิที่สภาวะคงที่สุดท้ายของการทดสอบจริงประมาณ 10 องศาเซลเซียส ถึง 1 องศาเซลเซียส

บนตารางครั้งที่ 4 และ 5 มีการตอบสนองที่น้อยกว่าเล็กน้อยทั้งช่วงก่อนและหลังการเปลี่ยนอัตราการใช้พลังงานแบบจำลอง และที่สภาวะคงที่สุดท้ายของแบบจำลองมีค่าอุณหภูมิที่เท่ากับหรือต่างกันเพียงเล็กน้อยกับอุณหภูมิจากการทดสอบจริง

บนตารางครั้งที่ 6 ถึง 8 จะมีผลตอบสนองที่สมบูรณ์เหมือนกับการทดสอบจริงในช่วงชั่วโมงแรก แต่ในช่วงเวลาหลังจากนั้นจะมีการตอบสนองน้อยกว่าการทดสอบจริงเล็กน้อย ในสภาวะคงที่สุดท้ายของแบบจำลองมีค่าอุณหภูมิที่เท่ากับหรือน้อยกว่าเพียงเล็กน้อยกับอุณหภูมิจากการทดสอบจริง

การตอบสนองของแบบจำลองบนตารางครั้งที่ 9 ถึง 13 จะมีมากกว่าการตอบสนองของการทดสอบจริงในครึ่งชั่วโมงแรก แต่หลังจากนั้นแบบจำลองจะให้ผลที่เท่ากับการทดสอบจริงอย่างสมบูรณ์

ในการทดลอง 2 การทำงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระบบพลศาสตร์ (DMM) ให้ผลที่ดีเยี่ยมในชั้นตารางตั้งแต่ 2 ถึง 13 ด้วยผลตอบสนองที่ไม่คลาดเคลื่อนจากผลของการทดสอบจริง และแสดงค่าอุณหภูมิคงที่สุดท้ายได้เที่ยงตรงกับการทดสอบจริงโดยชั้นตารางที่มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดคือ 3 องศาเซลเซียส

### 5.2 สรุปผลการทดลอง

ผลจากการทดลอง 1 และ 2 ทำให้พบว่าแบบจำลองสามารถสร้างค่าอุณหภูมิตั้งแต่ชั้นตารางได้เสมือนค่าอุณหภูมิจากการทดลองจริง แต่ยังมีบางชั้นตารางที่ค่าอาจคลาดเคลื่อนสูงเนื่องมาจากการใช้สมการรุงเง-กูดดา ทุกสมการที่นำมาคำนวณจะมีค่าขนาดช่วงการเปลี่ยนค่า (step size) เท่ากัน ดังนั้นการเลือกค่าที่ทำให้ได้ผลการทดลองในทุกชั้นตารางมีผลที่แม่นยำสุด อาจจะมีบางชั้นที่ช่วงขนาดที่เลือกทำให้เกิดการตอบสนองที่เร็วหรือช้าไปจากการทดสอบจริง

ผลการทดลองที่นำมาแสดงนั้น เป็นผลที่มีการแสดงการตอบสนองต่อค่าอินพุตของการทดสอบหอกลับได้ชัดเจนที่สุดในการทดลองทั้งหมด ผลส่วนใหญ่จะพบว่าแม้การตอบสนองอาจมี

ความคลาดเคลื่อน แต่เมื่อถึงสถานะคงที่ของอนุหุมิ แบบจำลองสามารถหาค่าอนุหุมิที่แม่นยำใกล้เคียงกับผลการทดสอบจริง

### 5.3 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข

เมื่อตัดปัญหาที่เกิดจากความผิดพลาดของบุคคลแล้ว พบว่าปัญหาหลักคือการหาเทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่มีการประมาณค่าที่ทำให้ได้ผลที่ใกล้เคียงที่สุด ซึ่งต้องใช้วิธีทดลองหาเทคนิคทางคณิตศาสตร์ให้มากที่สุด เพื่อให้ได้แบบจำลองที่ให้ผลเสมือนหอกลับจริงที่สุด รวมไปถึงการหาค่าขนาดช่วงการเปลี่ยนค่า (step size) ของสมการอันดับ 4 รุงเง-กุตตา (fourth-order runge-gutta) ในการที่จะประมาณค่าให้ได้ผลที่แม่นยำและใช้เวลาให้น้อยที่สุด โดยค่าเหล่านี้ไม่สามารถคำนวณได้ต้องทดสอบกับการทำงานของแบบจำลองไปเรื่อยๆ จนได้ค่าที่ให้ผลเฉลยที่ดีที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Chapra Steven C. and Raymond P. Canale. **Numerical Methods for Engineers**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: McGraw Hill Inc., 1988.
- [2] Christie John Geankopolis. **Transport Processes and Separation Process Principles**. 4<sup>th</sup> ed. University of Minnesota: Pearson Education Inc., 2003.
- [3] McCabe Warren L. **Unit Operations of Chemical Engineering**. 6<sup>th</sup> ed. Burr Ridge, IL: McGraw Hill Inc., 2001.
- [4] Cultip Michael B. and Mordechai Shacham. **Problem Solving in Engineering with Numerical Methods**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR, 2000.
- [5] Bequette B. Wayne. **Process Dynamics Modeling, Analysis, and Simulation**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR, 1998.
- [6] Felder Richard M. and Ronald W. Rousseau. **Elementary Principles of Chemical Processes**. 3<sup>rd</sup> ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000.
- [7] Perry Robert H. and Don W. Green. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. 7<sup>th</sup> ed. New York: McGraw Hill Inc., 1997.
- [8] เจริญ เพชรมณี. **เรียนลัด LabVIEW™**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2547