การจำลองการนึ่งผลปาล์มด้วยไอน้ำแบบกะ

นาย อรรฆเดช ตรีชวา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SIMULATION OF BATCHWISE STEAM STERILIZATION OF PALM FRUITS

Mr. Akadech Trichava

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองการนึ่งผลปาล์มด้วยไอน้ำแบบกะ
โดย	นาย อรรฆเดช ตรีชวา
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.มล. ศุภกนก ทองใหญ่)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. เจิดศักดิ์ ไชยคุนา)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ผึ่งผาย พรรณวดี)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อรรฆเดช ตรีชวา : การจำลองการนึ่งผลปาล์มด้วยไอน้ำแบบกะ. (SIMULATION OF BATCHWISE STEAM STERILIZATION OF PALM FRUITS) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. เดชา ฉัตรศิริเวช, 90หน้า.

แบบจำลองการนึ่งผลปาล์มโดยใช้ไอน้ำแบบกะได้พัฒนาขึ้นบนหลักการนำความร้อน กระบวนการนึ่งผลปาล์มแบบอัดไอน้ำ3ครั้ง และ แบบครั้งเดียวจำลองได้ด้วย โปรแกรมสำเร็จรูป COMSOL MULTIPHYSICS™ Version 3.3 ศึกษาผลของขนาดและรูปร่างของกระบะบรรจุผลปาล์มต่ออัตราส่วนปริมาณผลปาล์มที่นึ่งสุก โดยใช้ปริมาณไอน้ำเท่ากัน

ผลปาล์มจะสามารถนึ่งสุกได้ทั้งหมดเมื่อลดความยาวของกระบะลง 10% ณ อัตราการผลิตเดิม แม้ว่าการลดพื้นที่หน้าตัดของกระบะลง 36% มีผลให้ผลปาล์มที่ทำการนึ่งสุกหมดพอดี แต่อัตราการผลิตจะลดลง 25%

การปรับปรุงกระบะสามารถเพิ่มอัตราการผลิตได้โดยการเปลี่ยนรูปทรงของกระบะ จากรูปทรงลูกบาศก์ ให้เป็นแบบรูปทรงสี่เหลี่ยมแนวนอน หรือ รูปทรงกระบอกแนวตั้ง หลายๆแถว ตามขนาดของทะลายปาล์ม อัตราการผลิตเพิ่มขึ้น 8% และ 17% จากกระบะรูปทรงสี่เหลี่ยมและกระบะทรงกระบอกตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2550.....

4970685321 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: PALM FRUIT / STERILIZATION / SIMULATION / HEAT TRANSFER / IDEAL TRIPLE PEAK

AKADECH TRICHAVA : SIMULATION OF BATCHWISE STEAM STERILIZATION OF PALM FRUITS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. DEACHA CHATSIRIWECH , Ph.D., 90 pp.

Batchwise palm fruit steam sterilization has been modeled based on heat conduction. Ideal triple peak sterilization process as well as single peak one, has been simulated by COMSOL MULTIPHYSICS™ Version 3.3 solver. The model has been used to investigate the effects of size and shape of palm fruit containers on the yield of sterilized palm fruits under the same steam consumption.

The yield of sterilized palm fruits can be improved up to complete sterilization by shortening the palm fruit container down 10% with the same production rate. Although the fruits can be sterilized completely by reducing the crossectional area of the container down 36%, the production rate has been reduced by 25%

The improvement can be enhanced by altering the conventional cubic container to horizontal rectangular or vertical circular trays with minimum depth as palm fruit brunch. In the circumstances, the palm fruits can be sterilized completely. In addition, the yields of sterilized palm fruits have been increased by 8% and 17% for the rectangular and circular trays, respectively.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.....Chemical Engineering..... Student's signature.....

Field of study.....Chemical Engineering..... Advisor's signature.....

Academic year.....2007.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำการวิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ สำหรับการให้คำแนะนำ และการดูแลเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา รวมทั้งกรุณาตรวจสอบเนื้อหาวิทยานิพนธ์เพื่อให้ได้วิทยานิพนธ์ที่มีความสมบูรณ์ ตลอดจน รองศาสตราจารย์ ดร.มล. ศุภกนก ทองใหญ่ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. เจิดศักดิ์ ไชยคุนา และรองศาสตราจารย์ ดร. ผึ่งผาย พรรณวดี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และตรวจสอบเนื้อหาวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดามารดา ญาติพี่น้องและเพื่อนๆ ซึ่งคอยเป็นกำลังใจ และสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญภาพ ..... ญ

สารบัญตาราง ..... ต

สัญลักษณ์และอักษรย่อ ..... ถ

บทที่

1. ปาล์มน้ำมัน 1

1.1 ความเป็นมา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2. กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ 4

2.1 วัตถุดิบและกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ 7

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของวัตถุดิบ 4

2.1.2 ประโยชน์จากปาล์มน้ำมัน 4

2.1.3 กระบวนการผลิตของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 5

2.2 กระบวนการนึ่งผลปาล์ม 7

2.2.1 ลักษณะหม้อนึ่งผลปาล์ม 7

2.2.2 วัตถุประสงค์ในการนึ่งปาล์ม 8

2.2.3 วิธีการทำงานของหม้อนึ่งผลปาล์ม 8

2.3 ลักษณะและคุณสมบัติของหม้อนึ่งผลปาล์ม ไอน้ำและกระบะบรรจุผลปาล์ม 10

2.3.1 ลักษณะหม้อนึ่งผลปาล์ม 10

2.3.2 ลักษณะไอน้ำที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์ม 10

2.3.3 ลักษณะและคุณสมบัติของผลปาล์มที่ทำการนึ่ง 13

บทที่ หน้า

3. การจำลองการนึ่งผลปาล์ม 15
3.1 ลักษณะหม้อนึ่งผลปาล์ม ไอน้ำ และ กระบะบรรจุผลปาล์มที่ใช้ในการจำลองการนึ่งผลปาล์ม 15
3.2 วิธีการจำลองการนึ่งผลปาล์ม 15
3.3 ระเบียบวิธีการแก้สมการ 18
3.3.1 การแบ่งช่วงของหม้อนึ่ง 19
3.3.2 การแบ่งช่วงของกระบะใส่ปาล์ม 20
4. ขั้นตอนการจำลองการนึ่งปาล์ม 21
4.1 การสร้างแบบจำลองหม้อนึ่ง ไอน้ำและผลปาล์ม 21
4.2 การสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำในหม้อนึ่ง 22
4.3 การสร้างแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนของกระบะผลปาล์มในหม้อนึ่ง 24
4.4 การตรวจสอบแบบจำลอง กระบวนการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อน 25
4.4.1 การตรวจสอบแบบจำลองการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม 25
4.4.2 การตรวจสอบแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนของผลปาล์มในหม้อนึ่ง 26
4.5 การทดสอบแบบจำลองที่พัฒนา 26
4.5.1 การพัฒนาแบบจำลองโดยการลดความยาวและขนาดของกระบะ 26
4.5.1.1 การพัฒนาแบบจำลองโดยการลดความยาวของกระบะ 26
4.5.1.2 การพัฒนาแบบจำลองโดยการลดขนาดของกระบะ 27
4.5.2 การพัฒนาแบบจำลองโดยการเปลี่ยนรูปร่างของกระบะ 28
4.5.2.1 การพัฒนาแบบจำลองโดยการเปลี่ยนรูปร่างของกระบะให้เป็นแบบเป็นชั้นๆวางซ้อนกัน 28
4.5.2.2 การพัฒนาแบบจำลองโดยการเปลี่ยนรูปร่างของกระบะให้เป็นแบบแถวๆเรียงต่อกัน 29
4.6 การประเมินผลปาล์มสำหรับกระบวนการนึ่งผลปาล์ม 30
5. ผลการจำลองการนึ่งผลปาล์ม 31
5.1 ผลการจำลองการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำ 31
5.1.1 ผลการตรวจสอบการแบ่งช่วงของหม้อนึ่งและกระบะผลปาล์ม 31
5.1.2 ผลการจำลองการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำ 34

บทที่ หน้า

5.1.2.1 ผลการตรวจสอบแบบจำลองการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม 38
5.2 ผลการจำลองการถ่ายเทความร้อนของผลปาล์มในกระบะบรรจุผลปาล์มในหม้อนึ่งไอน้ำ 39
5.2.1 ผลการพิจารณาหาอุณหภูมิที่ใช้ตัดสินถึงจุดที่ผลปาล์มนึ่งสุก 45
5.2.2 ผลการตรวจสอบแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนของผลปาล์มตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม 48
5.3 ผลการจำลองการถ่ายเทความร้อนของผลปาล์มในกระบะบรรจุผลปาล์มแบบที่พัฒนา 51
5.3.1 ผลการพัฒนาแบบจำลองโดยการลดความยาวและขนาดของกระบะ 51
5.3.1.1 ผลการพัฒนาแบบจำลองโดยการลดความยาวของกระบะ 51
5.3.1.2 ผลการพัฒนาแบบจำลองโดยการลดขนาดของกระบะ 53
5.3.2 ผลการพัฒนาแบบจำลองโดยการเปลี่ยนรูปร่างของกระบะที่บรรจุผลปาล์ม 55
5.3.2.1 ผลการพัฒนาแบบจำลองโดยการเปลี่ยนรูปร่างของกระบะให้เป็นแบบชั้นๆวางซ้อนกัน 55
5.3.1.2 ผลการพัฒนาแบบจำลองโดยการเปลี่ยนรูปร่างของกระบะให้เป็นแบบแถวๆเรียงต่อกัน 57
5.4 ผลการประเมินผลปาล์มสำหรับกระบวนการนึ่งผลปาล์ม 59
6. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 61
6.1 สรุปผลการวิจัย 61
6.2 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย 62
รายการอ้างอิง 63
ภาคผนวก 64
ภาคผนวก ก 65
ภาคผนวก ข 66
ภาคผนวก ค 69
ภาคผนวก ง 76
ภาคผนวก จ 85
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 90

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

2.1 แสดงให้เห็นถึงปริมาณไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต……..6
2.2 แสดงลักษณะหม้อนึ่ง 7
2.3 แสดงตำแหน่งวาล์วของหม้อนึ่ง 9
2.4 แสดงลักษณะการออกแบบหม้อนึ่ง 10
2.5 แสดงลักษณะการออกแบบกระบะใส่ผลปาล์ม 13
2.6 แสดงองค์ประกอบของผลปาล์ม 14
3.1 แสดงแกนในการแบ่งช่วงของหม้อนึ่ง.....19
3.2 แสดงแกนในการแบ่งช่วงของกระบะใส่ผลปาล์ม.....20
4.1 แบบจำลองที่พัฒนาโดยการลดความยาวของกระบะบรรจุปาล์ม 27
4.2 แบบจำลองที่พัฒนาโดยการลดขนาดของกระบะบรรจุปาล์ม 28
4.3 แบบจำลองที่พัฒนาโดยการเปลี่ยนรูปร่างของกระบะบรรจุปาล์มเป็นชั้นๆ 29
4.4 แบบจำลองที่พัฒนาโดยการเปลี่ยนรูปร่างของกระบะบรรจุปาล์มเป็นแถวๆ 30
5.1 แสดงผลการแบ่งช่วง 0.5, 0.25, 0.1ในส่วนของหม้อนึ่งตัดด้านข้าง.....32
5.2 แสดงผลการแบ่งช่วง 0.5, 0.25, 0.1 ในส่วนของกระบะผลปาล์มตัดด้านข้าง.....33
5.3 แสดงการเคลื่อนที่ของไอน้ำในกลุ่มที่1ตัดด้านข้าง 34
5.4 แสดงการเคลื่อนที่ของไอน้ำในกลุ่มที่2ตัดด้านข้าง 35
5.5 แสดงการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำในกลุ่มที่1ตัดด้านข้าง 36
5.6 แสดงการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำในกลุ่มที่2ตัดด้านข้าง……..……..……...37
5.7 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในหม้อนึ่งก่อนทำการนึ่ง 41
5.8 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในหม้อนึ่งหลังผ่านขั้นตอนอัดไอน้ำครั้งที่1 41
5.9 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในหม้อนึ่งหลังผ่านขั้นตอนปล่อยไอน้ำครั้งที่1.....41
5.10 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในหม้อนึ่งหลังผ่านขั้นตอนอัดไอน้ำครั้งที่2.....42
5.11 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในหม้อนึ่งหลังผ่านขั้นตอนปล่อยไอน้ำครั้งที่2.....42
5.12 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในหม้อนึ่งหลังผ่านขั้นตอนอัดไอน้ำครั้งที่2.....42
5.13 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในหม้อนึ่งหลังผ่านขั้นตอนคงความดันไอน้ำ.....43
5.14 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในหม้อนึ่งหลังผ่านขั้นตอนอัดไอน้ำครั้งที่3.....43
5.15 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณแกนในกระบะผลปาล์มตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม 44

ภาพประกอบ หน้า

5.16 แสดงปริมาณผลปาล์มสะสมที่อุณหภูมิต่างๆภายในกระบะผลปาล์ม ที่นึ่งแบบอัดไอน้ำสามครั้ง 45
5.17 แสดงอุณหภูมิภายในหม้อนึ่งหลังผ่านการนึ่งผลปาล์มเมื่อ k = 0.2 45
5.18 แสดงปริมาณผลปาล์มสะสมที่อุณหภูมิต่างๆภายในกระบะผลปาล์มที่นึ่งแบบอัดไอน้ำ สามครั้งที่ค่าการนำความร้อนเท่ากับ0.15-0.2 งานต่อเมตรเคลวิน 46
5.19 แสดงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในหม้อนึ่งผลปาล์มที่นึ่งแบบเก่า 47
5.20 แสดงปริมาณผลปาล์มสะสมที่อุณหภูมิต่างๆภายในกระบะผลปาล์ม ที่นึ่งแบบอัดไอน้ำสามครั้งและนึ่งแบบเก่า 48
5.21 แสดงลักษณะอุณหภูมิของผลปาล์มที่พัฒนาแบบจำลอง ที่ลดความยาวกระบะ 50
5.22 แสดงปริมาณผลปาล์มสะสมที่อุณหภูมิต่างๆภายในกระบะผลปาล์มดั้งเดิม และแบบลดความยาวกระบะ 50
5.23 แสดงลักษณะอุณหภูมิของผลปาล์มที่พัฒนาแบบจำลอง ที่ลดขนาดกระบะ 51
5.24 แสดงปริมาณผลปาล์มสะสมที่อุณหภูมิต่างๆภายในกระบะผลปาล์มดั้งเดิม และแบบลดขนาดของกระบะ 52
5.25 แสดงลักษณะอุณหภูมิของผลปาล์มที่พัฒนาแบบจำลอง แบบเป็นชั้นๆวางซ้อนกัน 53
5.26 แสดงปริมาณผลปาล์มสะสมที่อุณหภูมิต่างๆภายในกระบะผลปาล์มดั้งเดิม และแบบชั้นๆวางซ้อนกัน 54
5.27 แสดงลักษณะอุณหภูมิของผลปาล์มที่พัฒนาแบบจำลอง แบบเป็นแถวๆเรียงต่อกัน 55
5.28 แสดงปริมาณผลปาล์มสะสมที่อุณหภูมิต่างๆภายในกระบะผลปาล์มดั้งเดิม และแบบเป็นแถวๆเรียงต่อกัน 55
ข.1 กระบะบรรจุผลปาล์มในโรงงาน 63
ข.2 หม้อนึ่งและกระบะบรรจุผลปาล์มในโรงงาน 63
ข.3 องค์ประกอบของผลปาล์มสด 64
ข.4 คุณสมบัติของเมล็ดและเส้นใยของผลปาล์ม 64
ข.5 คุณสมบัติของทะลายเปล่าของปาล์มสด 65
ค.1 แสดงลักษณะต่างๆในหม้อนึ่งขั้นตอน First peak pressure 66
ค.2 แสดงลักษณะต่างๆในหม้อนึ่งขั้นตอน Exhaust 1 67
ค.3 แสดงลักษณะต่างๆในหม้อนึ่งขั้นตอน Second Peak Pressure 68
ค.4 แสดงลักษณะต่างๆในหม้อนึ่งขั้นตอน Exhaust 2 69

ภาพประกอบ หน้า

ค.5 แสดงลักษณะต่างๆในหม้อนึ่งขั้นตอน Third Peak Pressure 70
ค.6 แสดงลักษณะต่างๆในหม้อนึ่งขั้นตอน Full Peak Pressure 71
ค.7 แสดงลักษณะต่างๆในหม้อนึ่งขั้นตอน Exhaust 3 72
ง.1 แสดงอุณหภูมิภายในหม้อนึ่งที่ตำแหนงต่างๆในหม้อนึ่งแบบขนาด 1.25 x1.25, L=2.5 หลังผ่านนึ่งผลปาล์มแบบอัดไอน้ำสามครั้ง 74
ง.2 แสดงอุณหภูมิภายในหม้อนึ่งที่ตำแหนงต่างๆในหม้อนึ่งแบบขนาด 1.25 x1.25, L=2.5 หลังผ่านนึ่งผลปาล์มแบบเก่า 76
ง.3 แสดงอุณหภูมิภายในหม้อนึ่งที่ตำแหนงต่างๆในหม้อนึ่งแบบขนาด 1.25 x1.25, L=2.25 78
ง.4 แสดงอุณหภูมิภายในหม้อนึ่งที่ตำแหนงต่างๆในหม้อนึ่งแบบขนาด 1 x1, L=2.5 79
ง.5 แสดงอุณหภูมิภายในหม้อนึ่งที่ตำแหนงต่างๆในหม้อนึ่งแบบเป็นชั้นๆสี่เหลี่ยม วางซ้อนกัน 80
ง.6 แสดงอุณหภูมิภายในหม้อนึ่งที่ตำแหนงต่างๆในหม้อนึ่งแบบเป็นทรงกระบอก วางเรียงต่อๆกัน 81

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2.1 แสดงค่าความหนืดของไอน้ำที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์ม 11

2.2 ตารางแสดงค่าความแตกต่างระหว่างสูตรคำนวณกับตารางไอน้ำ 12

2.3 แสดงค่าการนำความร้อนของไอน้ำที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์ม 13

2.4 แสดงคุณสมบัติขององค์ประกอบผลปาล์ม 14

5.1 แสดงคุณสมบัติของไอน้ำที่เกิดขึ้นตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม 37

5.2 แสดงปริมาณไอน้ำทางเข้า-ออก เทียบกับปริมาณไอน้ำที่สะสมอยู่ในหม้อนึ่ง 38

5.3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณไอน้ำที่ใช้จากแบบจำลองกับโรงงาน 39

5.4 แสดงปริมาณไอน้ำทางเข้า-ออก เทียบกับปริมาณไอน้ำที่สะสมอยู่ในหม้อนึ่ง
ในส่วนของการออกแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนในผลปาล์ม 50

5.5 แสดงผลการประเมินแบบจำลองผลปาล์ม 59

ก.1 คุณสมบัติของไอน้ำที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์ม 62

จ.1 แสดงปริมาณของไอน้ำที่สะสมอยู่ในกระบะผลปาล์มกับปริมาณไอน้ำที่ทางเข้า-ออกหม้อนึ่ง
ในกระบะผลปาล์มแบบ 1.25x1.25 L=2.5 m 82

จ.2 แสดงปริมาณของไอน้ำที่สะสมอยู่ในกระบะผลปาล์มกับปริมาณไอน้ำที่ทางเข้า-ออกหม้อนึ่ง
ในกระบะผลปาล์มแบบ 1.25x1.25 L=2.25 m 83

จ.3 แสดงปริมาณของไอน้ำที่สะสมอยู่ในกระบะผลปาล์มกับปริมาณไอน้ำที่ทางเข้า-ออกหม้อนึ่ง
ในกระบะผลปาล์มแบบ 1x1 L=2.5 m 84

จ.4 แสดงปริมาณไอน้ำทางเข้า-ออก เทียบกับปริมาณไอน้ำที่สะสมอยู่ในหม้อนึ่ง
ในกระบะผลปาล์มแบบเป็นชั้นๆสี่เหลี่ยมวางซ้อนกัน 85

จ.5 แสดงปริมาณของไอน้ำที่สะสมอยู่ในกระบะผลปาล์มกับปริมาณไอน้ำที่ทางเข้า-ออก หม้อนึ่ง
ในกระบะผลปาล์มแบบเป็นทรงกระบอกวางเรียงต่อๆกัน 86

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์และอักษรย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์

A	พื้นที่ผิวของวัตถุ
Cp	ค่าความร้อนจำเพราะ
F	แรงกระทำกับวัตถุ
g	แรงโน้มถ่วง
g_r	แรงโน้มถ่วงในแนวแกน r
g_θ	แรงโน้มถ่วงในแนวแกน θ
gz	แรงโน้มถ่วงในแนวแกน z
$\overline{h}_c$	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน
K_c	ค่าการนำความร้อน
m	มวลของวัตถุ
P	ความดัน
T	อุณหภูมิ
v	ความเร็วของของไหล
V_r	ความเร็วของของไอน้ำร้อนที่ไหลเข้าหม้อนึ่งในแนวแกน r
V_θ	ความเร็วของของอากาศที่ไหลออกจากหม้อนึ่งในแนวแกน θ
V_z	ความเร็วของของไอน้ำร้อนที่ไหลในหม้อนึ่งในแนวแกน z
V	ปริมาณของวัตถุ

อักษรกรีก

ρ	ความหนาแน่นของวัตถุ
μ	ความหนืดของของวัตถุ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
ปาล์มน้ำมัน

1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบันความต้องการน้ำมันปาล์มของโลกยังคงสูงขึ้นเรื่อยๆ ทั้งนี้เพราะน้ำมันปาล์มสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 1.1 ประเทศมาเลเซียเป็นแหล่งผลิตน้ำมันปาล์มหลักของโลกโดยผลิตได้ประมาณ 3 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2524 สำหรับในประเทศไทยนั้นได้มีการนำเอาพันธุ์ปาล์มเข้ามาปลูกในเชิงเศรษฐกิจเป็นครั้งแรกในราว พ.ศ. 2511 ที่จังหวัดกระบี่ ต่อมาได้มีการปลูกปาล์มน้ำมันกันอย่างแพร่หลายมากขึ้น โดยได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐบาลและจะปลูกกันมากในแถบภาคใต้ของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดกระบี่ สตูล ตรัง ภูเก็ต สุราษฎร์ธานี ชุมพร สงขลา และประจวบคีรีขันธ์ ในปี พ.ศ. 2532 ประมาณได้ว่ามีสวนปาล์มน้ำมันในภาคใต้ของประเทศไทยรวมทั้งสิ้น 732,428 ไร่ ประเทศไทยสามารถผลิตได้มากกว่า 200,000 ตัน ในปี พ.ศ. 2534 *[1]*

วัตถุดิบพื้นฐานที่ใช้ป้อนโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบคือ ผลปาล์มทะลายสดของปาล์มน้ำมัน(Fresh Fruit Bunch) ปาล์มน้ำมันจะให้ผลผลิตเมื่อมีอายุตั้งแต่ 3 ปีขึ้นไป และจะออกผลเป็นทะลายสด ซึ่งเมื่อสุกแล้วต้องนำไปแปรรูปขั้นต้นเป็นน้ำมันปาล์มน้ำมันดิบกับน้ำมันเมล็ดในและนำไปแปรรูปขั้นที่สองเป็นการกลั่นน้ำมันให้บริสุทธิ์ และนำไปเป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย ผลผลิตปาล์มสดต่อไร่ประมาณ 3-5 ตันทะลายต่อปี ซึ่งขึ้นกับอายุของต้นปาล์มและการบำรุงรักษา ทะลายปาล์มแต่ละทะลายจะมีน้ำหนักประมาณตั้งแต่ ครึ่งกิโลกรัมถึง 95 กิโลกรัม โดยประมาณ 66% เป็นน้ำหนักของผลปาล์มสดโดยแต่ละทะลายจะประกอบด้วยผลปาล์มตั้งแต่ 800 ถึง 1,000 ผล ในทางพฤษศาสตร์ผลปาล์มสดประกอบด้วยส่วนที่เป็นเนื้อปาล์มน้ำมันซึ่งจะมีเส้นใยส่วนนี้อยู่ประมาณ 33-35% ของผลและประกอบด้วยส่วนที่เป็นน้ำมันประมาณ 49% ,น้ำ 35% และอื่นๆอีก16% และนอกจากนี้ผลปาล์มยังประกอบไปด้วย กะลาปาล์ม(Shell) เป็นเปลือกหุ้มเมล็ดในปาล์ม(Palm Kernel) ซึ่งคิดเป็น 10% โดยน้ำหนักของผลปาล์มและประกอบด้วยน้ำมันประมาณ 51% โดยน้ำหนัก ในประเทศไทยมีโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบ่งออกเป็น 2 จำพวก คือ 1. จะสกัดน้ำมันปาล์มดิบจากเนื้อปาล์มน้ำมันและน้ำมันจากเมล็ดในปาล์ม 2.สกัดน้ำมันปาล์มดิบจากเนื้อปาล์มน้ำมันเท่านั้นและขายเมล็ดในปาล์มให้แก่โรงงานอื่นเพื่อนำไปผลิตต่อไป *[2]*

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองของกระบะบรรจุผลปาล์มตามลักษณะรูปทรงเรขาคณิตเพื่อหาปริมาณของผลปาล์มนึ่งสุกตามขั้นตอนการผลิตน้ำมันปาล์มต่อปริมาณผลปาล์มที่ทำการนึ่งในหม้อนึ่ง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) กำหนดให้ลักษณะการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของ ไอน้ำเป็นแบบราบเรียบ
2) กำหนดให้ลักษณะการถ่ายเทความร้อนในผลปาล์มเป็นแบบการนำความร้อน
3) กำหนดการทำงานในขั้นตอนการทำงานของหม้อนึ่งเป็นแบบ แบบการอัดไอน้ำสามครั้ง (ideal triple peak)
4) กำหนดให้ลักษณะของหม้อนึ่งที่ใช้เป็นแบบทรงกระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 2 เมตร และ ความยาว 3เมตร
5) กำหนดให้มีการใช้ปริมาณไอน้ำในการนึ่งเท่ากันทุกกรณี
6) กำหนดวิธีการคำนวณ การนำความร้อนของผลปาล์มด้วยวิธี ระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง (finite difference method)
7) กำหนดให้ใช้โปแกมสำเร็จรูป COMSOL MULTIPHYSICS™ Version 3.3 ในการคำนวณหาค่า

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

1) ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติและลักษณะต่างๆของผลปาล์ม
2) ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มในโรงงาน
3) ศึกษาถึงขั้นตอนการนึ่งปาล์ม (Sterilization) ในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโดยศึกษาถึง อุณหภูมิ ความดัน เวลา และลักษณะการไหลของไอน้ำที่ใช้ในหม้อนึ่ง (Sterilizer)
4) กำหนดถึงขนาดของหม้อนึ่ง กระบะบรรจุผลปาล์ม และไอน้ำที่ใช้ในการจำลอง
5) กำหนดค่าคงที่และตัวแปลต่างๆในหม้อนึ่ง
6) จำลองการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม
7) จำลองการถ่ายเทความร้อนของผลปาล์มตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม

8) ทำการตรวจสอบแบบจำลอง

9) จำลองแบบจำลองที่พัฒนาตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม

10) ประเมินปริมาณผลปาล์มที่นึ่งสุก ทั้งแบบเดิมและที่พัฒนา

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถประมาณปริมาณผลปาล์มที่นึ่งสุกต่อปริมาณผลปาล์มที่นึ่งในหม้อนึ่งได้

2) สามารถหาลักษณะของกระบะบรรจุผลปาล์มที่เหมาะสมในการนึ่งผลปาล์มได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ

2.1วัตถุดิบและกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของวัตถุดิบ

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Elaeis Guineensis jacq เป็นพืชตระกูลปาล์ม เช่นเดียวกับต้นตาลและมะพร้าว จากหลักฐานต่างๆ ที่ค้นพบได้ยืนยันว่าปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีป อัฟริกา และต่อมาก็ได้แพร่หลายเข้าไปในทวีปอเมริกาใต้ในสมัยล่าอาณานิคมและสมัยค้าทาส เพราะมีบันทึกแสดงว่ามีการใช้น้ำมันปาล์มเป็นอาหารของทาสผิวดำในระหว่างเดินเรือ ต่อมาในราวปีพ.ศ. 2454 ก็มีชาวเบลเยี่ยมนำเอาปาล์มน้ำมันเข้ามาปลูกเป็นครั้งแรกที่เกาะสุมาตราในประเทศอินโดนีเซีย และในเวลาไล่เลี่ยกันปาล์มน้ำมันก็แพร่หลายเข้าไปในประเทศมาเลเซีย จนในที่สุดมาเลเซียก็กลายเป็นผู้ผลิตน้ำมันปาล์มรายใหญ่ที่สุดของโลก นับตั้งแต่ปี 2517 เป็นต้นมา

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้นที่มีอายุเก็บเกี่ยวได้นานกว่า 20 ปี พันธุ์ที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายคือพันธุ์ เทเนอร่า (Tenera) โดย การเพราะเมล็ดพันธุ์ ในถุงเป็นเวลา 6-12 เดือนจึงจะนำลงไปปลูกลงดินที่เตรียมไว้ เนื้อที่ประมาณ 1 ไร่ สามารถปลูกปาล์มน้ำมันได้ 22 ต้น เมื่อปลูกลงดินแล้วเป็นเวลาประมาณ 3 ปี จึงเริ่มให้ผลผลิตสามารถเก็บเกี่ยวส่งขายโรงงานได้ผลผลิตปาล์มสดต่อไร่ประมาณ 3-5 ตันทะลาย ต่อปี ซึ่งขึ้นอยู่กับต้นปาล์มและการบำรุงรักษา ทะลายปาล์มแต่ละทะลายมีน้ำหนักประมาณ ตั้งแต่ครึ่งกิโลกรัม ถึง 95 กิโลกรัม เพื่อให้ได้คุณภาพน้ำมันปาล์มที่ดีเมื่อเก็บเกี่ยวแล้วควรส่งขายให้โรงงานทันที เพื่อที่จะได้ทำการผลิตต่อไป ถึงแม้ว่าปาล์มน้ำมันจะเป็นพืชที่มีความสามารถ ในการเจริญเติบโตในสภาพดินฟ้าอากาศเกือบทุกชนิด แต่การที่จะให้เจริญเติบโตโดยมีผลผลิตสูงในเชิงเศรษฐกิจนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการดูแลรักษา และเอาใจใส่อย่างใกล้ชิด นับตั้งแต่การเลือกพันธุ์ปาล์ม การทำแปลงเพราะต้นกล้า การทำสวนปาล์มและการบำรุงรักษา

2.1.2 ประโยชน์จากปาล์มน้ำมัน

กากเส้นใยและเศษกะลาใช้ทำเป็นเชื้อเพลิงและอาหารสัตว์ ส่วนเมล็ดในประกอบด้วย กากเมล็ดในใช้ทำอาหารสัตว์ น้ำมันในเมล็ดในใช้ทำ ลอรีลแอลกฮอล์, สบู่, ผงซักฟอก, เนยเทียม, ไขมันผสม, ขนมปังกรอบ, ครีมไอศกรีม, ไขมันทำขนมปัง, กรดไขมัน ส่วนน้ำมันปาล์ม ใช้เป็นวานาสปาติ เนยขาว กลั่นบริสุทธิ์ ได้เป็น ไขมันบริสุทธิ์, เนยขาว, วานาสปาติ, เนยเทียม, น้ำมันทอด, เมลโลรีนทาแซนวิช, ไฮครีม,

ผสมในนม, เครื่องสำอาง แยกส่วนกลั่นแยกบริสุทธิ์ ได้เป็น สเตียรีน ใช้เป็น เนยขาวกับเนยโกโก้ โอเลอิก ใช้เป็น น้ำมันกรด, น้ำมันปรุงอาหาร, น้ำมันสลัด, สบู่

2.1.3 กระบวนการผลิตของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ *[3]*

กระบวนการผลิตของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ มีขั้นตอนดังนี้

การตรวจสอบคุณภาพของทะลายปาล์มสด (Fresh Fruit Bunch Grading)

ขณะที่รถบรรทุกกำลังเทผลปาล์มทะลายสดที่นำมาส่งแก่โรงงานจะมีพนักงานของโรงงานทำการตรวจคุณภาพผลปาล์มสด โดยจะพิจารณาถึง

1.ความสุกที่พอเหมาะขณะเก็บเกี่ยว

2.ความสะอาด ไม่มีสิ่งที่สกปรกและดินทรายปะปน

3.ขนาด โดยพิจารณาถึงน้ำหนักเฉลี่ยของทะลาย

4.ความถูกต้องในเงื่อนไขการเก็บเกี่ยว เช่น ความยาวของก้านทะลาย ปริมาณผลปาล์มที่ร่วงออกจากทะลาย เป็นต้น

ผลปาล์มสดที่มีคุณภาพที่ดีจึงจะให้น้ำมันได้มาก และแน่นอนราคาของผลปาล์มสดนั้นก็ย่อมดีไปด้วยตามสัดส่วน

การนึ่ง (Sterilization)

ผลปาล์มทะลายที่ลงบนลานเทปาล์มจะถูกทยอยบรรจุลงกระบะผลปาล์มทะลายสดเพื่อเข้ากระบวนการผลิตขั้นตอนแรกคือ การนึ่ง(Sterilization) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับสภาพผลปาล์มให้เหมาะสมกับการเข้ากระบวนการผลิตต่อๆไป ผลจากการนึ่งที่เห็นได้ชัดคือ

1.ทำให้สามารถนวดเอาผลปาล์มออกจากทะลายได้ง่าย

2.เนื้อของผลปาล์มจะนุ่มเหมาะกับการเข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไปการนึ่งใช้ไอน้ำความดันประมาณ 3 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร อุณหภูมิประมาณ 120องศาเซลเซียส

การนวด (Threshing)

ทะลายที่ผ่านการนึ่งแล้วจะเข้าสู่กระบวนการนวดเพื่อแยกเอาผลปาล์มออกมาจะถูกนำกลับเข้าสวนปาล์มโดยตรงหรือเข้าสู่เตาเผาก่อน เพื่อให้ได้ขี้เถ้าแล้วป้อนเข้าสู่สวนปาล์มโดยใช้วัสดุคลุมดินเพื่อเก็บรักษาความชื้นและเป็นปุ๋ยให้แก่ต้นปาล์ม

การกวน หรือย่อย (Digestion)

ผลปาล์มร่วงที่ได้จากเครื่องนวด จะเข้าสู่หม้อกวนหรือหม้อย่อยเพื่อกวนหรือย่อยให้เนื้อปาล์มซึ่งมีน้ำมันสะสมอยู่ได้แยกตัวออก และอยู่ในสภาพเป็นเนื้อเดียวกันซึ่งเป็นส่วนผสมของเนื้อปาล์มน้ำมันและเมล็ด

การหีบ (Pressing)

เนื้อปาล์มที่ผ่านการย่อยแล้วจะเข้าสู่เครื่องเพื่อคั้นเอาน้ำมันออกมาจากส่วนที่เป็นกาก ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยของเนื้อปาล์มและเมล็ด น้ำมันที่ได้จากเครื่องหีบนี้จะเข้ากระบวนการผลิตต่อไป ซึ่งเรียกว่ากระบวนการแยกส่วนเส้นใยออก แล้วนำเมล็ดไปกะเทาะ ซึ่งเรียกกระบวนการรวม นี้ว่า การผลิตเมล็ดใน (Kernel Recovery)

การกรองแยกน้ำมัน (Oil Clarification)

น้ำมันที่ได้จากการหีบจะผ่านตะแกรงสั่น เพื่อกรองเอากากเส้นใยออกแล้วจึงเข้าเครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำ (Decanter) น้ำที่แยกออกมานี้จะเป็นน้ำเสียของกระบวนการผลิตซึ่งจะต้องผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียต่อไป ส่วนน้ำมันที่ได้จะต้องผ่านเครื่อง กรองแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) เพื่อแยกตะกอนสกปรกและน้ำบางส่วนที่หลงเหลือออกไปก่อนเข้าสู่กระบวนการสุดท้ายคือ การดูดความชื้นในน้ำมันออกจนมีความชื้นเหลืออยู่ไม่เกิน 0.1 % จึงส่งน้ำที่ได้เข้าบรรจุในถังเก็บเพื่อรอการจำหน่ายต่อไป

การผลิตเมล็ดใน

กากเครื่องหีบซึ่งแยกเอาน้ำมันออกไปแล้วจะประกอบด้วยเส้นใย(Fiber) และ เมล็ดใน(Nut) จำเป็นทำการแยกทั้งสองอย่างนี้ออกจากกันโดยใช้ลมที่มีความเร็วดูดเอาเส้นใยออกไปจากเมล็ด เส้นใยที่ได้จะนำไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำและเมล็ดจะเข้าสู่กระบวนการอบแห้งที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียสแล้วทำการกะเทาะหลังจากกะเทาะจะได้ส่วนผสมของเมล็ดใน (Kernel) และกะลา (Shell) ปนกันออกมาจากเครื่องกะเทาะการแยกเอากะลาออกไปจากเมล็ดใน กะลาที่ได้จะใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำเช่นเดียวกับเส้นใย เมล็ดในที่แยกเอากะลาออกไปแล้วจะถูกอบแห้งในไซโลด้วยลมร้อนอุณหภูมิประมาณ 60องศาเซลเซียส จนความชื้นลดลงเหลือ 7-8 % จึงบรรจุกระสอบเพื่อจำหน่ายต่อไป

Measurement	Steam flowrate [kg/h]	Percentage of boiler output
Boiler steam output	14744	100
Before back pressure vessel:		
Turbine	12389	84
Make-up	1540	10
Vacuum dryer	1068	7
After back pressure vessel:		
Sterilisers	5219	35
Other processes	3302	22
Loss to atmosphere	5433	37

รูปที่2.1แสดงให้เห็นถึงปริมาณไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต

จากรูปที่2.1แสดงให้เห็นว่า ในส่วนของหม้อนึ่ง (Sterilizer) เป็นส่วนที่ใช้ปริมาณของไอน้ำร้อนมากที่สุดในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม อีกทั้งในขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มนี้เป็นขั้นตอนแบบกะ ที่ต้องใช้เวลามากในกระบวนการผลิต ทำให้ในกระบวนการผลิต ไม่สามารถทำต่อเนื่องได้จึงอาจทำให้สูญเสียน้ำมันปาล์มที่อยู่ในทะลายปาล์มสด เพราะเนื่องจาก เอ็มไซน์ ในผลปาล์ม ทำการย่อยน้ำมันปาล์มให้การเป็นกรดไขมัน เสียก่อน ดังนั้นในขั้นตอนของการนึ่งผลปาล์ม จึงเป็นขั้นตอนที่น่าสนใจ ในการทำการศึกษา โดยในที่นี้เราจะทำการคำนวณพลังงานความร้อนที่ใช้ในระบบ โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เปรียบเทียบกับพลังงานความร้อนที่ใช้ในโรงงานจริง อีกทั้งจะคำนวณเปรียบเทียบเวลาที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้จริงในโรงงาน

2.2กระบวนการนึ่งผลปาล์ม *[4]*

2.2.1 ลักษณะหม้อนึ่งผลปาล์ม

การทำการนึ่งผลปาล์มจะใช้ หม้อนึ่ง ซึ่งมีลักษณะทางแนวนอนรูปทรงกระบอกรูปร่างประมาณ 1.83 เมตร (6 ฟุต) โดยขนาดนั้นขึ้นอยู่กับกระบะที่ใช้ใส่ในการนำไปนึ่ง ซึ่งปกติจะขนาดยาว 3.05 เมตร (10 ฟุต) จะสามารถใส่ ผลปาล์ม ได้ ประมาณ 3 ตัน โดยปกติจะมีประตูเปิดด้านเดียว และทำการเปิดแบบบานสวิงด้านข้างและทำการนำ ของเข้าออกโดยใช้การเข่นเข้าไปตามราง โดยทั่วไปแล้วโรงงาน จะมีหม้อนึ่งประมาณ 2-3 ตัว

รูป2.2แสดงลักษณะหม้อนึ่ง

2.2.2 วัตถุประสงค์ในการนึ่งปาล์ม

เพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระ (Free fatty acids, FFA) โดยหยุดของเอ็มไซน์ที่เปลี่ยนน้ำมันปาล์มดิบไปเป็นกรดไขมันอิสระ โดยให้ความร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งการใช้ความร้อนนึ่งทำให้ลักษณะของทางฟิสิกส์เคมี เกิดการเปลี่ยนแปลง และลดการเสื่อมสภาพของไขมัน ร่วมทั้งช่วยให้ปลอกเปลือกของ เนื้อปาล์มออกจากเมล็ด (kernel) และทำให้เปลือกของเมล็ดใน ปาล์มง่ายต่อการแตกออก อีกทั้งลดการแตกของเมล็ดในได้ในระหว่างการใช้ความดันและการกะเทาะเมล็ดในปาล์ม เพราะถ้านึ่งได้ดีพอจะทำให้เปลือกของปาล์ม มีความยืดหยุ่นมากเพียงพอในระหว่างกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม

จากงานวิจัยของ Sivasothy Kandiah ได้ศึกษาถึงอุณหภูมิของผลปาล์มที่ผ่านการนึ่งแล้วปรากฏว่าปริมาณผลปาล์มที่นึ่ง 3000 กิโลกรัมจะมีปริมาณที่ไม่ต้องนำกลับมานึ่งใหม่ประมาณ 2700 กิโลกรัมโดยถือว่าเป็นผลปาล์มที่นึ่งสุกและเมื่อทำการวัดอุณหภูมิผลปาล์มที่นึ่งสุกอุณหภูมิอยู่ในช่วงประมาณ 55-60 องศาเซลเซียส โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ช่วงอุณหภูมิช่วงนี้และปริมาณผลปาล์มที่ถือว่านึ่งสุกเป็นเกณฑ์ในการออกแบบการจำลองการนึ่งผลปาล์ม

2.2.3 วิธีการทำงานของหม้อนึ่งผลปาล์ม

ในงานวิจัยนี้ใช้ระบบการนึ่งผลปาล์มแบบอัดไอน้ำสามครั้ง(Ideal triple peak) อัตโนมัติโดยวิธีนี้จะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้เพิ่มขึ้น และผลปาล์มที่ต้องนำกลับมานึ่งใหม่ลดลง เปอร์เซ็นต์การสูญเสียของผลปาล์มนั้นลดลง ทำให้วิธีนี้เป็นวิธีการที่น่าสนใจในการวิจัยเป็นอย่างยิ่ง อีกทั้งวิธีการทำงานของหม้อนึ่งวิธีนี้เป็นที่นิยมใช้ในโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม โดยวิธีนี้แบ่งออกเป็น 8ขั้นตอนอธิบายได้ดังนี้

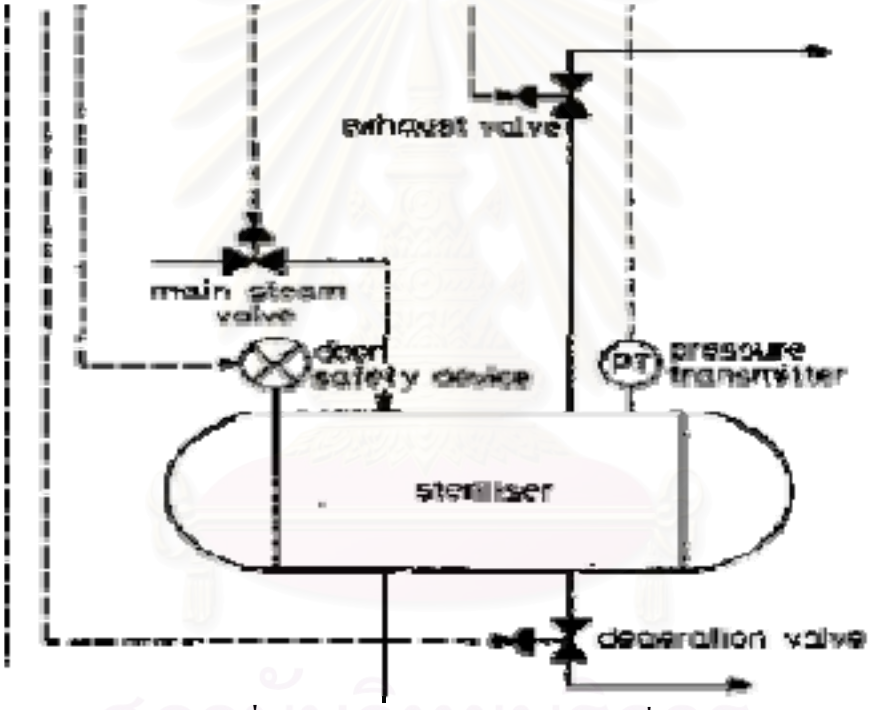
ขั้นแรกกำจัดอากาศที่อยู่ในหม้อนึ่ง (Deaeration) ขั้นตอนนี้เปิด วาล์วหลัก (main valve) ให้ไอน้ำร้อนเข้ามาในหม้อนึ่ง เพื่อไล่เอาอากาศที่อยู่ในหม้อนึ่งออกจากระบบโดยเปิด วาล์วไล่อากาศ (Deaeration valve) โดยคุมความดันไว้ที่14.7 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมของหม้อนึ่ง จะใช้เวลา 5 นาที

หลังจากนั้นเพิ่มความดันทั้งหมดสามครั้ง(First, Second, Third) สลับกับลดความดันสองครั้ง (Exhaust1, Exhaust2) โดยการเพิ่มความดันจะเปิดเฉพาะวาล์วหลัก (main valve) เป็นเวลา 8 นาที ส่วนการลดความดันจะเปิดเฉพาะวาล์วไล่ไอน้ำ (Exhaust valve) เป็นเวลา 3นาที เพื่อเป็นการขจัดสิ่งเจือปนและไล่ไอน้ำออก ที่ยังอยู่ในหม้อนึ่งเช่น ความชื้นจากผลปาล์ม และเตรียมความพร้อมของผลปาล์ม

ต่อด้วยการคงความดันไอน้ำ(Full pressure steaming) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์มเพื่อให้ผลปาล์มมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการหยุดเอ็มไซน์ ที่เปลี่ยนน้ำมันไปเป็นกรดไขมันอิสระ โดยเปิดวาล์วหลัก (main valve) เป็นเวลา 30 นาที และคุมความดันไว้ที่ 54.7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

สุดท้ายขั้นตอนไล่ไอน้ำครั้งที่3 (Exhaust3) ซึ่งเป็นขั้นตอนในการลดความดันและไอน้ำออกเพื่อนำเอาผลปาล์มที่นึ่งเสร็จแล้วออก ใช้เวลา 5 นาที

ส่วนในการนึ่งผลปาล์มโดยการใช้ไอน้ำแบบเก่าจะไม่มีการเตรียมความร้อนก่อนทำการนึ่งจริงในการคงความดันไอน้ำ(Full pressure steaming) โดยจะอัดไอน้ำเข้าสู่หม้อนึ่งตามขั้นตอนคงความดันไอน้ำเป็นเวลา 60 นาทีและทำการปล่อยไอน้ำออก (Exhaust) เป็นเวลา 30 นาที และจากงานวิจัยของ Sivasothy Kandiah ได้ศึกษาถึงอุณหภูมิของผลปาล์มที่ผ่านการนึ่งตามการนึ่งแบบเก่าแล้วปรากฏว่าปริมาณผลปาล์มที่นึ่ง 3000 กิโลกรัมจะมีปริมาณที่ไม่ต้องนำกลับมานึ่งใหม่ประมาณ 2000 กิโลกรัมโดยถือว่าเป็นผลปาล์มที่นึ่งสุกและเมื่อทำการวัดอุณหภูมิผลปาล์มที่นึ่งสุกอุณหภูมิอยู่ในช่วงประมาณ 55-60 องศาเซลเซียส

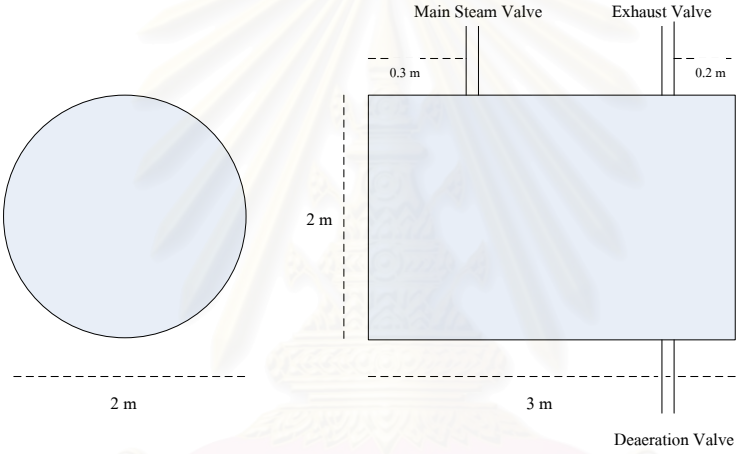


รูปที่ 2.3 แสดงตำแหน่งวาล์วของหม้อนึ่ง

2.3 ลักษณะและคุณสมบัติของหม้อนึ่งผลปาล์ม ไอน้ำและกระบะบรรจุผลปาล์ม

2.3.1 ลักษณะหม้อนึ่งผลปาล์ม

โดยปกติหม้อนึ่งผลปาล์มจะมีลักษณะเป็นแบบทางแนวนอนรูปทรงกระบอก ขนาดนั้นขึ้นอยู่กับกระบะที่ใช้ใส่ในการนำไปนึ่งผลปาล์ม และใส่ผลปาล์มเข้าออกโดยใส่กระบะทรงสี่เหลี่ยมเข่นเข้าไปตามราง โดยปริมาณของผลปาล์มที่ใส่เข้าไปคิดเป็นปริมาณเกือบเต็มหม้อนึ่ง ในส่วนของงานวิจัยนี้จะทำการกำหนดให้หม้อนึ่งมีความยาว 3 เมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เมตรและกำหนดระยะต่างๆของวาล์วดังรูปที่ 2.4 โดยในการออกแบบส่วนนี้นี้จะคิดเฉพาะหม้อนึ่งเปล่า ไม่มีผลปาล์มบรรจุอยู่ในหม้อนึ่ง



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการออกแบบหม้อนึ่ง

2.3.2 ลักษณะไอน้ำที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์ม

ไอน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มนั้นโดยไอน้ำที่ได้นำไปใช้ในขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มผ่านท่อส่งไอน้ำขนาด 0.1 เมตร โดยที่ไอน้ำที่ใช้นั้นจะมีอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และความดันที่ 54.7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งไอน้ำที่ใช้นี้กำหนดให้เป็นไอน้ำอิ่มตัว และทำการพิจารณาถึงคุณสมบัติต่างๆของไอน้ำที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์ม

พิจารณาถึงค่าความหนืดของไอน้ำที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์มจากตารางไอน้ำอิ่มตัว*[5]* เพื่อกำหนดให้เป็นค่าคงที่หรือหาสมการช่วยในการคำนวณโดยพิจารณาจากค่าความคาดเคลื่อนของไอน้ำอิ่มตัวที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์มได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความหนืดของไอน้ำที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์ม

ความดันของไอน้ำ	อุณหภูมิของไอน้ำ	ความหนืด
บรรยากาศ(atm)	องศาเคลวิน	กิโลกรัมต่อเมตรวินาที
1.00	373.73	1.23E-05
1.33	382.02	1.26E-05
1.67	388.75	1.28E-05
2.00	394.46	1.30E-05
2.33	399.43	1.32E-05
2.67	403.86	1.33E-05
3.00	407.86	1.35E-05
3.33	411.51	1.36E-05
3.67	413.15	1.37E-05
	เฉลี่ย	1.31E-05

จากตารางที่2.2 สามารถกำหนดให้ค่าความหนืดเป็นค่าคงที่ได้โดยค่าความคาดเคลื่อนอยู่ในช่วงระหว่าง 0.53-6.21 ส่วนค่าความหนาแน่นไม่สามารถกำหนดเป็นค่าคงที่ได้ดังนั้นจำเป็นต้องหาสมการช่วยในการคำนวณโดยใช้สมการคุณสมบัติของก๊าซและทำการทดสอบสมการที่ 1 โดยการเปรียบเทียบกับค่าจากตารางไอน้ำดังตารางที่2.3ได้ดั้งนี้

$$PV = nRT$$

$$\frac{P \,.\, m}{RT} = \frac{n \,.\, m}{V} = \rho \qquad (1)$$

ตารางที่2.2 ตารางแสดงค่าความแตกต่างระหว่าสูตรคำนวณกับตารางไอน้ำ

ความดันของไอน้ำ	อุณหภูมิของไอน้ำ	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม)	
บรรยากาศ(atm)	องศาเคลวิน	ตาราง	คำนวณ
1.00	373.73	0.61	0.60
1.33	382.02	0.80	0.79
1.67	388.75	0.98	0.97
2.00	394.46	1.16	1.14
2.33	399.43	1.35	1.32
2.67	403.86	1.53	1.49
3.00	407.86	1.70	1.66
3.33	411.51	1.88	1.83
3.67	413.15	2.06	1.99

ผลจากตารางที่ 2.2 แสดงว่าสมการที่1 สามารถใช้ในการหาค่าความหนาแน่นได้แทนการใช้ค่าจากตารางไอน้ำเนื่องจากมีค่าความคาดเคลื่อนต่ำอยู่ในช่วง0.96-3.12 ซึ่งสามารถว่าสามารถใช้แทนกันได้

ทำการพิจารณาหาค่าการนำความร้อนที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์มโดยพิจารณาจากตารางไอน้ำเพื่อกำหนดหาค่าความจุความร้อนของไอน้ำที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์มแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าความจุความร้อนของไอน้ำที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์ม

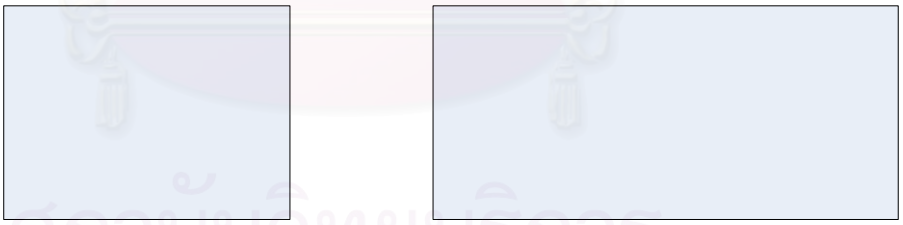
ความดันของไอน้ำ	อุณหภูมิของไอน้ำ	ค่าความจุความร้อน(Cp)
บรรยากาศ(atm)	องศาเคลวิน	จูลต่อกิโลกรัม เคลวิน
1.00	373.73	1527.37
1.33	382.02	1546.8
1.67	388.75	1563.96
2.00	394.46	1579.53
2.33	399.43	1593.93

2.67	403.86	1607.41
3.00	407.86	1620.16
3.33	411.51	1632.3
3.67	413.15	1643.93
	เฉลี่ย	1590.60

จากตารางที่2.3 จะเห็นได้ว่าจากตารางจะมีค่าความคาดเคลื่อนมีค่าน้อยอยู่ในช่วง 0.21-3.98 ซึ่งสามารถกำหนดให้ค่าความร้อนจำเพาะเป็นค่าคงที่ได้ ดังนั้นในส่วนของไอน้ำเราสามารถกำหนดให้ ค่าความหนืด ค่าการนำความร้อนและค่าความร้อนจำเพาะเป็นค่าคงที่ได้เพื่อง่ายต่อการออกแบบจำลอง ส่วนค่าความหนาแน่นของไอน้ำใช้สมการที่ 1 ในการช่วยคิดคำนวณ

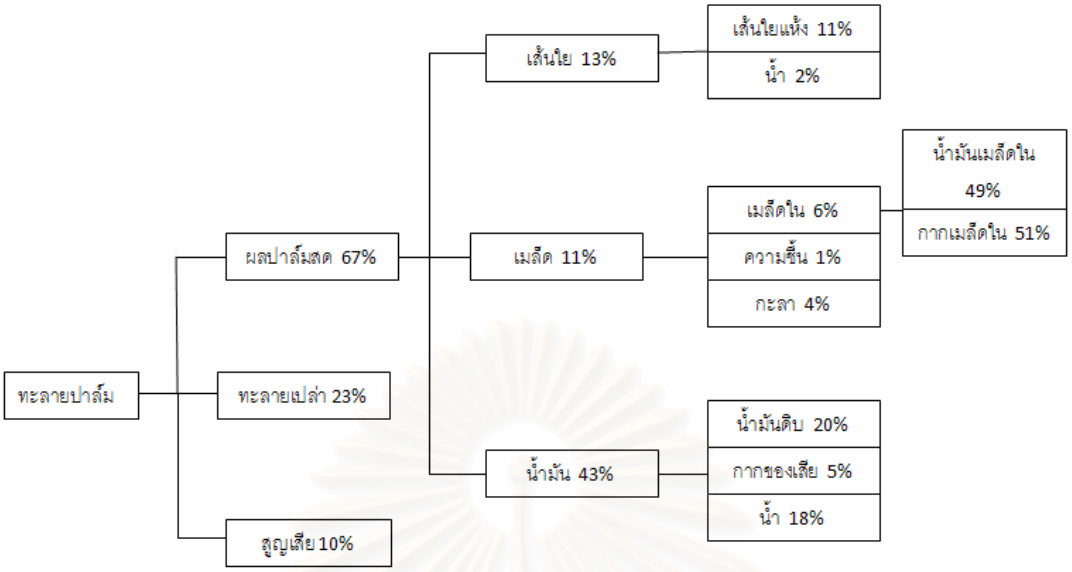
2.3.3 ลักษณะและคุณสมบัติของผลปาล์มที่ทำการนึ่ง

ผลปาล์มที่ใช้ในการคำนวณนั้นรูปร่างของผลปาล์มนั้นในงานวิจัยนี้เรากำหนดให้ผลปาล์มเป็นไปตามลักษณะกระบะที่ใส่ผลปาล์ม กำหนดให้เป็นแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 1.25x1.25 เมตร และมีความยาว 2.5เมตร และเป็นกระบะแบบทึบไม่มีอากาศไหลผ่านช่องว่างระหว่างทะลายปาล์มในหม้อนึ่ง จึงพิจารณาเฉพาะการนำความร้อน ไม่คิดเทอมการพาความร้อนในกระบะนึ่งปาล์มดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการออกแบบกระบะใส่ผลปาล์ม

กำหนดคุณสมบัติของผลปาล์มที่อยู่ในหม้อนึ่งได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าการนำความร้อน ค่าความร้อนจำเพาะโดยงานวิจัยนี้จะทำการกำหนดให้ค่าคุณสมบัติของผลปาล์มมาจากการกระจายค่าคุณสมบัติต่างๆตามองค์ประกอบของผลปาล์มและไม่คำนึงถึงค่าคุณสมบัติของกระบะที่บรรจุผลปาล์มในงานวิจัยนี้ ดังแสดงในรูปที่2.6 และตารางที่ 2.4



รูปที่ 2.6 แสดงองค์ประกอบของทะลายปาล์ม

ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติขององค์ประกอบผลปาล์ม

	คุณสมบัติของผลปาล์ม			ร้อยละองค์ประกอบผลปาล์ม
	ค่าความหนาแน่น	ค่าความจุความร้อน	ค่าการนำความร้อน	
ส่วนประกอบในผลปาล์ม	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	จูลต่อกิโลกรัม เคลวิน	งานต่อเมตรเคลวิน	
เส้นใยและเมล็ด	0.01	1.1E-0.3	0.12	20.00
น้ำมันปาล์ม	900.00	150.00	0.10	28.00
ทะลายเปล่า	800.00	1100.00	0.12	37.00
น้ำ(ความชื้น)	1000.00	1200.00	0.36	15.00
เฉลี่ย	713.00	629.00	0.15	

จากงานวิจัยของ Sunday E. Etuk *[6]* ที่ทำการศึกษาคุณสมบัติของผลปาล์มและคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มดังแสดงในตารางที่ 2.4 สามารถทำการกำหนดคุณสมบัติของผลปาล์มในกระบะนึ่งปาล์มโดยกำหนดให้เป็นค่าคงที่เพราะเนื่องจากผลปาล์มเป็นของแข็ง ค่าคุณสมบัติมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และเพื่อให้ง่ายต่อการทำแบบจำลอง

บทที่ 3
การจำลองการนึ่งผลปาล์ม

3.1ลักษณะหม้อนึ่งผลปาล์ม ไอน้ำ และ กระบะบรรจุผลปาล์มที่ใช้ในการจำลองการนึ่งผลปาล์ม

ลักษณะหม้อนึ่งที่ใช้ในการจำลองการนึ่งผลปาล์ม

จากหัวข้อที่ 2.3.1 ได้กล่าวถึงลักษณะของหม้อนึ่งไว้แล้ว โดยลักษณะของหม้อนึ่งที่ใช้ในการจำลองการนึ่งผลปาล์มเป็นแบบทรงกระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เมตร และมีความยาวของหม้อนึ่งเท่ากับ 3 เมตร ดังแสดงไว้ดังหัวข้อที่ 2.3.1

ลักษณะไอน้ำที่ใช้ในการจำลองการนึ่งผลปาล์ม

จากหัวข้อที่ 2.3.2 ได้กล่าวถึงลักษณะของไอน้ำที่ใช้ไว้แล้ว โดยลักษณะและคุณสมบัติของไอน้ำที่ใช้ในการจำลองการนึ่งผลปาล์มคือ ไอน้ำร้อนที่อุณหภูมิ140 องศาเซลเซียส และความดันที่ 54.7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งไอน้ำที่ใช้นี้กำหนดให้เป็นไอน้ำอิ่มตัว และมีค่าความหนืดและค่าความจุความร้อนเป็นค่าคงที่ โดยมีค่าความหนืดเท่ากับ $1.31x10^{-5}$ กิโลกรัมต่อเมตรวินาที และค่าความจุความร้อนเท่ากับ 1590 จูลต่อกิโลกรัมเคลวิน โดยในส่วนของค่าความหนาแน่นกำหนดให้ใช้สมการที่ 1 ในการคำนวณ

ลักษณะกระบะบรรจุผลปาล์มที่ใช้ในการจำลองการนึ่งผลปาล์ม

จากหัวข้อที่ 2.3.3 ได้กล่าวถึงลักษณะของกระบะผลปาล์มที่ใช้ไว้แล้ว โดยลักษณะของกระบะบรรจุผลปาล์มมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมทึบไม่มีที่ว่างข้างใน มีขนาดกว้าง1.25 เมตร สูง 1.25 เมตร และยาว 2.5 เมตร และมีคุณสมบัติตามทะลายปาล์มดังต่อไปนี้ ค่าความหนาแน่น 713 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความจุความร้อน 629 จูลต่อกิโลกรัมเคลวิน ค่าการนำความร้อน 0.15งานต่อเมตรเคลวิน

3.2 วิธีการจำลองการนึ่งผลปาล์ม

ในส่วนของงานวิจัยนี้ทำการแบ่งการจำลองออกเป็น สองส่วนได้แก่ในส่วนของหม้อนึ่งและในส่วนของกระบะบรรจุผลปาล์ม

ในงานวิจัยนี้จะออกแบบจำลองหม้อนึ่งโดยอาศัยการควบคุมระบบการทำงานตามแบบ อัดไอน้ำสามครั้ง(ideal triple peak) ในส่วนของงานวิจัยนี้จะคิดคำนวณถึงลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำ ในขั้นตอนที่2-8 เท่านั้นโดยในขั้นตอนที่1 เป็นแค่ขั้นตอนก่อนที่จะทำการนึ่งจริงและไม่จำเป็นต้องทำทุกครั้งในงานวิจัยนี้จึงไม่นำมาพิจารณา โดยในงานวิจัยนี้ใช้ สมการดุลโมเมนตัมและสมการดุลมวลของไอน้ำ เนื่องจากไอน้ำที่ใช้ในการนึ่งมีการเคลื่อนที่เข้าและออกภายในหม้อนึ่งทำให้มีเทอมของ

โมเมนตัมและมวลเกิดขึ้น และสมการดุลพลังงานโดยในส่วนของการไอน้ำนี้จะมีทั้งในเทอมของการนำความร้อนและการพาความร้อนในเทอมของสมการดุลพลังงานเนื่องจากไอน้ำมีการเคลื่อนที่ภายในหม้อนึ่ง *[7]*

และในงานวิจัยนี้เรากำหนดให้ผลปาล์มเป็นไปตามลักษณะกระบะที่ใส่ผลปาล์ม กำหนดให้เป็นแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 1.25x1.25 เมตร และมีความยาว 2.5 เมตร และเป็นกระบะแบบทึบไม่มีอากาศไหลผ่านช่องว่างระหว่างทะลายปาล์มในหม้อนึ่ง จึงพิจารณาเฉพาะการนำความร้อน ไม่คิดเทอมการพาความร้อนในกระบะนึ่งปาล์ม และเนื่องจากในส่วนของกระบะผลปาล์มไม่มีการเคลื่อนที่ในขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มเราสามารถคิดพิจารณาเฉพาะในเรื่องของการดุลพลังงานเท่านั้น โดยกำหนดให้ตัวแปรและแกนอยู่ในรูปของทรงกระบอกโดยใช้สมการดังต่อไปนี้

สมการดุลโมเมนตัมของไอน้ำ

$$\rho\frac{\partial u}{\partial t}+\rho u.\nabla u=\nabla.\left[-\rho I+(\mu(\nabla u)^T)-\left(\frac{2\mu}{3}-k\right)(\nabla.u)I\right]+F \quad (2)$$

สมการดุลมวลของไอน้ำ

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\nabla.(\rho u)=0 \quad (3)$$

สมการดุลพลังงานของไอน้ำ

$$\rho C_p\frac{\partial T}{\partial t}+\nabla.(-k\nabla T)=Q-\rho C_p u.\nabla T \quad (4)$$

สมการดุลพลังงานในกระบะผลปาล์ม

$$\rho C_p\frac{\partial T}{\partial t}+\nabla.(-k\nabla T)=Q \quad (5)$$

โดยในงานวิจัยนี้สมมุติให้ความร้อนที่เกิดขึ้นจากไอน้ำภายในหม้อนึ่งในขั้นตอนการนึ่งที่มีกระบะผลปาล์มบรรจุไว้นั้นตรงบริเวณที่ติดกับขอบของกระบะบรรจุผลปาล์มมีค่าใกล้เคียงกันดั้งนั้นเราสามารถกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อน(Heat Transfer Coefficient) ไม่นำมาพิจารณาในส่วนของงานวิจัยนี้

โดยในที่นี้เราทำการพิจารณา จำลองลักษณะการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนในแต่ละขั้นตอนที่ 2-8 ว่าลักษณะการถ่ายเทความร้อนในแต่ละขั้นตอนเป็นอย่างไรบ้างและอุณหภูมิเฉลี่ยภายในหม้อนึ่งโดยในแต่ละขั้นตอน นั้นเรานำมากำหนดขอบเขตสภาวะในขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มได้เพื่อใช้ในการแก้สมการหาลักษณะการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำในขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม ได้ดังต่อไปนี้

ขอบเขต(B.C.) ที่บริเวณผิวของหม้อนึ่ง $(r = R, 0 \le z \le L)$

$$T = T_w \,,\; v_r = 0 \,,\; v_\theta = 0 \,,\; v_z = 0$$

การอัดไอน้ำครั้งที่1 (First peak pressure build-up)

$$B.C. \quad v = u_0 \quad at \quad r = R, \theta = 0^0, z = 0.3\ m$$

$$I.C. \quad at\ t = 0, \quad T = 30\ {}^0C, P = 14.7\ {}^{lb}\!/_{in^2}$$

$$t = 8\ \text{min}, \quad T = T_1\ {}^0C, P = 54.7\ {}^{lb}\!/_{in^2}$$

การปล่อยไอน้ำครั้งที่ 1(Exhaust1)

$$B.C. \quad v = -u_0 \quad at \quad r = R, \theta = 0^0, z = 2.8\ m$$

$$I.C. \quad at\ t = 0, \ , T = T_1\ {}^0C, P = 54.7\ {}^{lb}\!/_{in^2}$$

$$t = 3\text{min}\,, T = T_2\ {}^0C, P = 14.7\ {}^{lb}\!/_{in^2}$$

การอัดไอน้ำครั้งที่2 (Second peak pressure build-up)

$$B.C. \quad v = u_0 \quad at \quad r = R, \theta = 0^0, z = 0.3\ m$$

$$I.C. \quad at\ t = 0, T = T_2\ {}^0C, P = 14.7\ {}^{lb}\!/_{in^2}$$

$$t = 8\,\text{min}, \ T = T_3\ {}^0C, P = 54.7\ {}^{lb}\!/_{in^2}$$

การปล่อยไอน้ำครั้งที่2 (Exhaust2)

$$B.C. \quad v = -u_0 \ at \quad r = R, \theta = 0^0, z = 2.8m$$

$$I.C. \quad at\ t = 0, T = T_3\ {}^0C, P = 54.7\ {}^{lb}\!/_{in^2}$$

$$t = 3\,\text{min}, \ T = T_4\ {}^0C, P = 14.7\ {}^{lb}\!/_{in^2}$$

การอัดไอน้ำครั้งที่3 (Third peak pressure build-up)

$$B.C. \quad v = u_0 \quad at \quad r = R, \theta = 0^0, z = 0.3\ m$$

$$I.C. \quad at\ t = 0, \ T = T_4\ {}^0C, P = 14.7\ {}^{lb}\!/_{in^2}$$

$$t = 8\,\text{min}\,, \ T = T_5\ {}^0C, P = 54.7\ {}^{lb}\!/_{in^2}$$

การคงความดันไอน้ำ(Full pressure steaming)

$$B.C. \quad v = u_0 \quad at \quad r = R, \theta = 0^0, z = 0.3\ m$$

$$I.C. \quad at\ t = 0, \ T = T_5\ {}^0C, P = 54.7\ {}^{lb}\!/_{in^2}$$

$$t = 8\,\text{min}\,, \ T = T_6\ {}^0C, P = 54.7\ {}^{lb}\!/_{in^2}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การปล่อยไอน้ำครั้งที่ 3(Exhaust3)

$$B.C. \quad v = -u_0 \ at \quad r = R, \theta = 0^0, z = 2.8\ m$$

$$I.C. \quad at\ t = 0,\ T = T_6\ {}^0C, P = 54.7\ {}^{lb}/_{in^2}$$

$$t = 5\min\ ,\ T = T_7\ {}^0C, P = 14.7\ {}^{lb}/_{in^2}$$

โดยหลักการเราต้องแก้ระบบสมการพีชคณิตเหล่านี้ไปพร้อมๆกัน โดยที่ตัวแปรแต่ละตัวมีความสัมพันธ์กัน ทำให้ระบบสมการมีความยุ่งยากในการแก้สมการ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้สร้างแบบจำลองการนึ่งผลปาล์มด้วยไอน้ำแบบกะ เพื่อลดเวลาและความยุ่งยากในการแก้สมการ โดยโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้คือโปรแกรม COMSOL MULTIPHYSICS™ Version 3.3

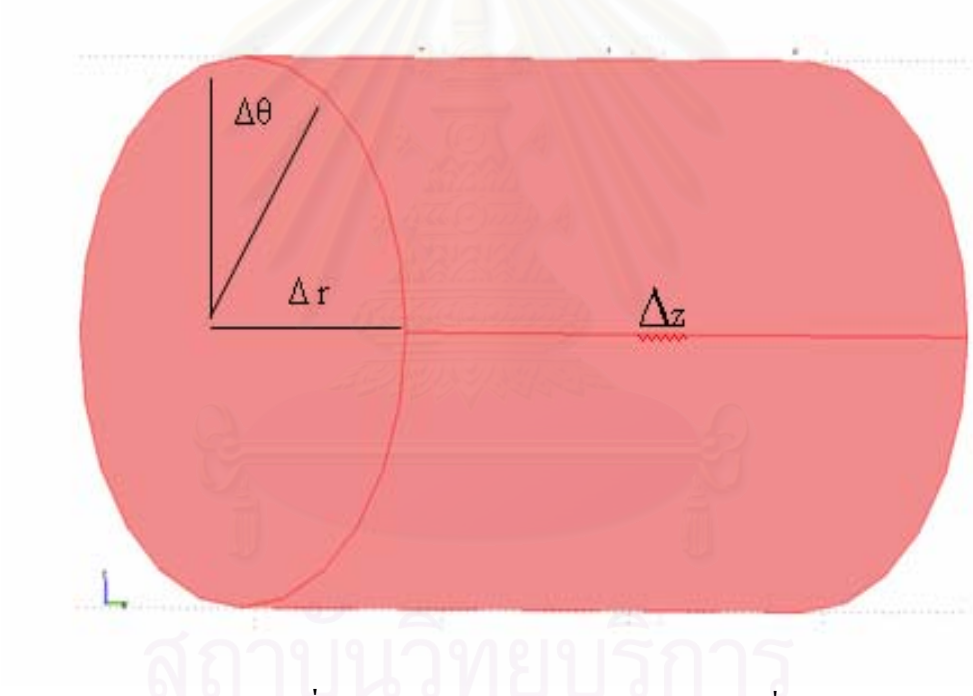
3.3ระเบียบวิธีการแก้สมการ *[8]*

เนื่องจากสมการที่เราใช้ในการศึกษาและออกแบบจำลองนั้นเป็นสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย ซึ่งในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยนั้นโดยปกติจะมีความยุ่งยากซับซ้อนทั้งขั้นตอนของระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่จะนำมาประยุกต์ใช้และเวลาของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่จำเป็นจะต้องใช้ไปในการคำนวณ โดยการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยนั้นปกติและจะทำได้โดย 1.การใช้ระเบียบวิธีทางคณิตศาสตร์ชั้นสูง (advanced mathematics) เพื่อหาผลเฉลยแม่นตรง (exact solution) และ 2.การใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อผลเฉลยโดยประมาณ (Approximate solution) ประโยชน์จากการใช้ระเบียบวิธีทางคณิตศาสตร์ชั้นสูง จะก่อให้เกิดผลเฉลยแม่นตรงที่ถูกต้องเที่ยงตรงตามตำแหน่งใดๆที่ต้องการ แต่โดยปกติสำหรับปัญหาทั่วๆไปแล้ว ผลเฉลยแม่นตรงจะไม่สามารถหาได้โดยเฉพาะปัญหาทางปฏิบัติในปัจจุบันที่เงื่อนไขขอบเขตและลักษณะรูปแบบของปัญหานั้นมีความซับซ้อน ในปัจจุบันทำให้ระเบียบวิธีเชิงเลขนั้นได้รับความนิยมและใช้กันอย่างกว้างขว้าง ระเบียบวิธีทางตัวเลขสามารถแก้ปัญหาที่มีเงื่อนไขขอบเขตและรูปร่างลักษณะซับซ้อนได้เป็นอย่างดี แต่ในขณะเดียวกันจะให้ผลเฉลยโดยประมาณที่ตำแหน่งบ้างตำแหน่งเท่านั้น ซึ่งหากต้องการทราบค่าที่ตำแหน่งอื่นๆก็จำเป็นต้องใช้หลักของการประมาณค่าในช่วงที่เราทำการแบ่งช่วงคิด นอกจากนั้นระเบียบวิธีเชิงตัวเลขจะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่มีความผิดพลาด ซึ่งความผิดพลาดนั้นจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระเบียบวิธีการที่เลือกใช้ ประกอบกับความรู้และประสบการณ์ของผู้ใช้ด้วย ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ใช้แก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยนั้น อาจแบ่งได้เป็น 2 ระเบียบวิธีใหญ่ๆ คือระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง (finite difference method) และวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element method) โดยในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข แบบระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง เพราะเนื่องจาก แบบจำลองในงานวิจัยนี้ มีลักษณะที่ไม่ซับซ้อนทำให้ควรใช้วิธีผลต่างสืบเนื่อง ซึ่งจะมีความซับซ้อนน้อยกว่าวิธีแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งเหมาะกับแบบจำลองที่มีลักษณะที่ซับซ้อนมากกว่า

ในงานวิจัยนี้ขั้นตอนแรกในการแก้สมการสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยนั้นเราจะมาพิจารณาแบบจำลองแบ่งออกเป็นช่องๆ ซึ่งมีขนาดเท่ากันในทิศโคออร์ดิเนต ตามแบบจำลองโดยช่องเหล่านี้จะประกอบกันเป็นตาราง ซึ่งเชื่อมกันที่จุดต่อ (Grid point) ที่อยู่ในที่ต่างๆกัน และที่จุดต่อนี้เองเป็นตำแหน่งที่เราจะคำนวณหาผลเฉลยโดยประมาณ โดยในงานวิจัยนี้จะทำการแบ่งช่วงออกเป็น 2ส่วน ได้แก่ในส่วนของหม้อนึ่ง และส่วนของกระบะผลปาล์ม ตามลักษณะโคออร์ดิเนต ของแบบจำลอง

3.3.1 การแบ่งช่วงของหม้อนึ่ง

เนื่องจากหม้อนึ่งที่ทำการจำลองมีลักษณะเป็นทรงกระบอกโดยมี แกนในโดออร์ดิเนตอยู่ในแกน r, θ, z ทำให้ในการแบ่งช่วงนั้นจะทำการแบ่งในทิศของแกน r, θ, z เป็น $\Delta r,\ \Delta\theta, \Delta z$ โดยในงานวิจัยนี้จะทำการทดลองหาช่วงที่ทำการแบ่งอย่างเหมาะสม กำหนดให้ $\Delta r,\ \Delta\theta, \Delta z$ มีค่าเท่ากันโดยแบ่งช่องออกเป็น 0.5, 0.25, 0.1 เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้สามารถกำหนดระยะห่างของช่วงได้ดังนี้

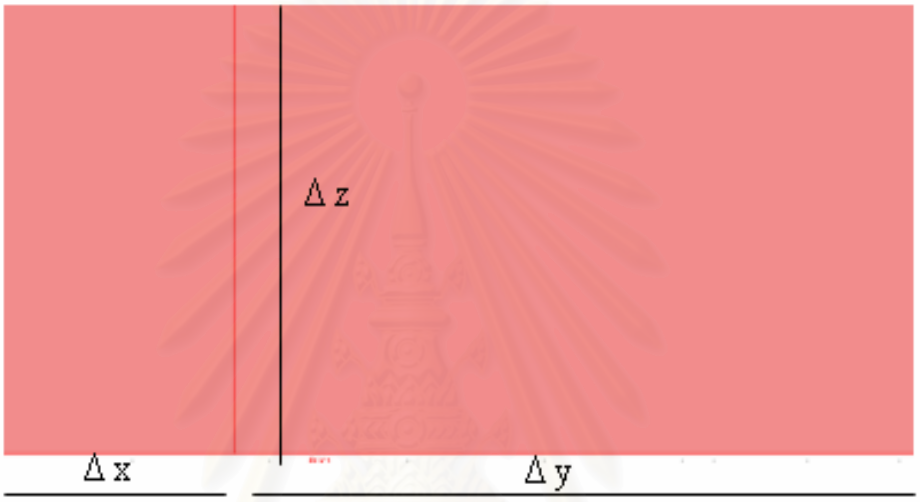


รูปที่ 3.1 แสดงแกนในการแบ่งช่วงของหม้อนึ่ง

โดยกำหนดให้ช่วงของ r อยู่ในช่วง $0 \le r \le 1$ และ θ อยู่ในช่วง $0 \le \theta \le 360$ และ z อยู่ในช่วง $0 \le z \le 3$ และในส่วนของหม้อนึ่งเราพิจารณาถึงการเคลื่อนที่ และความร้อนที่เกิดขึ้นเพราะฉะนั้นในการแบ่งช่วงออกเป็น 0.5 , 0.25 และ 0.1 โดยเพื่อให้สะดวกในการคำนวณในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปช่วยในการคำนวณ

3.3.2 การแบ่งช่วงของกระบะใส่ปาล์ม

จากการออกแบบกระบะที่ใส่ปาล์มเป็นลักษณะทรงสี่เหลี่ยมโดยมี แกนในโดออร์ดิเนตอยู่ในแกน x, y, z ทำให้ในการแบ่งช่วงนั้นจะทำการแบ่งในทิศของแกน x, y, z เป็น $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ โดยในงานวิจัยนี้จะทำการทดลองหาช่วงที่ทำการแบ่งอย่างเหมาะสม กำหนดให้ $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ มีค่าเท่ากันโดยแบ่งช่องออกเป็น 0.5, 0.25, 0.1 และกำหนดให้คิดทีละ 1วินาที เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้สามารถกำหนดระยะห่างของช่วงได้ดังนี้



รูปที่ 3.2 แสดงแกนในการแบ่งช่วงของกระบะใส่ผลปาล์ม

โดยกำหนดให้ช่วงของ x อยู่ในช่วง $0 \le x \le 1.25$ และ y อยู่ในช่วง $0 \le y \le 2.5$ และ z อยู่ในช่วง $0 \le z \le 1.25$ และเนื่องจากในส่วนของกระบะใส่ปาล์มเราพิจารณาเฉพาะความร้อนเท่านั้น โดยแบ่งช่วงออกเป็น 0.5 , 0.25 และ 0.1 โดยเพื่อให้สะดวกในการคำนวณในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปช่วยในการคำนวณ

โดยในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาถึงการแบ่งช่วงที่เหมาะสมในการคำนวณ โดยทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการแบ่งช่วงต่างๆเพื่อหาการแบ่งที่เหมาะสม โดยทำการเปรียบเทียบทั้งในส่วนของหม้อนึ่งและในส่วนของผลปาล์มในกระบะผลปาล์ม

บทที่ 4
ขั้นตอนการจำลองการนึ่งปาล์ม

ขั้นตอนการจำลองการนึ่งปาล์มด้วยไอน้ำแบบกะ ประกอบด้วย5 ขั้นตอนหลักๆคือ

- ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองหม้อนึ่งและผลปาล์มสำหรับใช้ในแบบจำลองขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม
- ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองกระบวนการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม
- ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองกระบวนการถ่ายเทความร้อนของผลปาล์มตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม
- ขั้นตอนการตรวจสอบแบบจำลอง กระบวนการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำและกระบวนการถ่ายเทความร้อนของผลปาล์มตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม
- ขั้นตอนการทดสอบแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้น

4.1การสร้างแบบจำลองหม้อนึ่ง ไอน้ำและผลปาล์ม

ในการสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการจำลองลักษณะการนึ่งผลปาล์มด้วยไอน้ำแบบกะด้วยวิธีแบบอัดไอน้ำสามครั้ง(Ideal triple peak) ตามขั้นตอนที่ 2.2.3โดยมีขั้นตอนในการออกแบบดั้งนี้

1. กำหนดลักษณะของหม้อนึ่งที่จะใช้ในการนึ่งผลปาล์มโดยในงานวิจัยนี้กำหนดให้เป็นตามหัวข้อที่ 2.3.1
2. กำหนดลักษณะของไอน้ำที่ใช้และคุณสมบัติของไอน้ำได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด ค่าความร้อนจำเพาะและค่าการนำความร้อน ตามหัวข้อที่ 2.3.2
3. กำหนดลักษณะของกระบะที่ใส่ผลปาล์มและคุณสมบัติของผลปาล์มในกระบะได้แก่ค่าความหนาแน่น ค่าความร้อนจำเพาะ ค่าการนำความร้อน ตามหัวข้อที่ 2.3.3

4.2 การสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำในหม้อนึ่ง

ในงานวิจัยในส่วนนี้เราจะทำการคำนวณลักษณะการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำในหม้อนึ่งตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มด้วยไอน้ำแบบกะ โดยใช้โปรแกรม COMSOL ในการคำนวณ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ใช้แบบจำลองหม้อนึ่งและไอน้ำที่สร้างจากโปรแกรม COMSOL ในการคำนวณ
2. จำลองขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มในขั้นตอนแรก(First Peak Pressure) โดยกำหนดให้ การจำลองการเคลื่อนที่ใช้ ดุลโมเมนตัม(Momentum Balance) เลือกการเคลื่อนที่แบบเปลี่ยนตามอุณหภูมิ(Non-Isothermal Flow) ประกอบด้วยในเทอม

   - ขอบเขต(Boundary Settings) กำหนดให้เป็น การเคลื่อนที่แบบธรรมดา (Normal Flow/Pressure) ที่ทางเข้าของหม้อนึ่งใส่ค่าความดัน เท่ากับ 54.7 ปอนด์ต่อตารางนิ้วและ ไม่มีการเคลื่อนที่ที่ทางออก

   - คุณสมบัติ(Subdomain Settings) กำหนดทางกายภาพ(Physics) กำหนดให้ ความหนาแน่นที่เป็นฟังก์ชั่นกับความดันและอุณหภูมิ โดยใช้สมการที่1ในบทที่2 และค่าความหนืดเท่ากับ 1.34 x10^{-5} กิโลกรัมต่อวินาที และกำหนดค่าเริ่มต้น(Init) กำหนดค่าในเทอม ความดันเริ่มต้น เท่ากับ 14.7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

   ในส่วนการจำลองการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำใช้ สมดุลพลังงาน(Energy Balance) เลือกการถ่ายเทความร้อนแบบปกติ(GeneralHeatTransfer) ประกอบด้วยในเทอม

   - ขอบเขต(Boundary Settings) กำหนดให้เป็น อุณหภูมิ ที่ทางเข้าของหม้อนึ่งและกำหนดค่า อุณหภูมิเริ่มต้น เท่ากับ 415 เคลวิน และกำหนดให้ ไม่มีการแลกเปลี่ยนพลังงาน(Thermal insulation) ที่ทางออกของหม้อนึ่ง

   - คุณสมบัติ(Subdomain Settings) กำหนดในเทอมการนำและการพาความร้อน(Conduct, Convection) กำหนดให้ความหนาแน่นที่เป็นฟังก์ชั่นกับความดันและอุณหภูมิโดยใช้สมการที่1ในบทที่2 ค่าความร้อนจำเพาะใช้เท่ากับ 1905 จูลต่อกิโลกรัมเคลวินและค่าการนำความร้อน ใช้เท่ากับ 400 งานต่อกิโลกรัมเคลวินและ กำหนดค่าเริ่มต้น(Init) กำหนดค่าในเทอม อุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 304 เคลวิน

ในขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มขั้นตอนแรกใช้เวลาในการนึ่งเท่ากับ 480 วินาที โดยกำหนดค่าที่ ตัวแปลการคำนวณ(Solver Parameters)กำหนดให้ แก้ปัญหา(Solver) โดยใช้วิธี ขึ้นกับเวลา (Time dependent)และกำหนดให้ เวลาที่ใช้ เป็น 0:1:480 ทำการคำนวณหาลักษณะการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของผลปาล์มในขั้นตอนแรก โดยกดที่ปุ่ม Solve

3. จำลองขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มในขั้นตอนที่สอง (Exhaust 1) โดยกำหนดให้ การจำลองการเคลื่อนที่ใช้ ดุลโมเมนตัม(Momentum Balance) > การเคลื่อนที่แบบเปลี่ยนตามอุณหภูมิ(Non-Isothermal Flow)ประกอบด้วยในเทอม

- ขอบเขต (Boundary Settings) กำหนดให้เป็น ไม่มีการเคลื่อนที่ที่ทางเข้าของหม้อนึ่ง และ การเคลื่อนที่แบบธรรมดา(Normal Flow/Pressure)ที่ทางออก ใส่ค่าความดัน เท่ากับ14.7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

- คุณสมบัติ (Subdomain Settings)>ทางกายภาพ (Physics) กำหนดให้ความหนาแน่นที่เป็นฟังก์ชั่นกับความดันและอุณหภูมิ โดยใช้สมการที่1ในบทที่2 และค่าความหนืดเท่ากับ 1.34 $x10^{-5}$ กิโลกรัมต่อวินาที และ กำหนดค่าเริ่มต้น (Init) กำหนดค่าในเทอม ความดันเริ่มต้น เท่ากับ 54.7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในส่วนการจำลองการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำใช้ สมดุลพลังงาน(Energy Balance) เลือกการถ่ายเทความร้อนแบบปกติ(GeneralHeat Transfer)ประกอบด้วยในเทอม

- ขอบเขต (Boundary Settings) กำหนดให้เป็น ไม่มีการแลกเปลี่ยนพลังงาน(Thermal insulation)ที่ทางเข้าของหม้อนึ่ง และใช้ อุณหภูมิ ที่ทางออกของหม้อนึ่ง และกำหนดค่า อุณหภูมิเริ่มต้น เท่ากับ 304 เคลวิน

- คุณสมบัติ(Subdomain Settings) กำหนดในเทอมการนำและการพาความร้อน(Conduct, Convection) กำหนดให้ความหนาแน่นที่เป็นฟังก์ชั่นกับความดันและอุณหภูมิโดยใช้สมการที่1ในบทที่2 ค่าความร้อนจำเพราะใช้เท่ากับ 1905 จูลต่อกิโลกรัมเคลวินและค่าการนำความร้อน ใช้เท่ากับ 400 งานต่อกิโลกรัมเคลวิน

ในขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มขั้นตอนที่สองใช้เวลาในการนึ่งเท่ากับ 180 วินาที โดยกำหนดค่าที่ ตัวแปลการคำนวณ(Solver Parameters) กำหนดให้ แก้ปัญหา (Solver) โดยใช้วิธี ขึ้นกับเวลา(Time dependent) และกำหนดให้ เวลาที่ใช้ เป็น 0:1:180

ทำการคำนวณหาลักษณะการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของผลปาล์มในขั้นตอนแรก โดยกดที่ปุ่ม Solve

4. จำลองขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มในขั้นตอนที่สาม(Second Peak Pressure) ตามข้อ 2 โดยไม่ต้องกำหนดค่าในเทอม คุณสมบัติ(Subdomain Settings) กำหนดในเทอม การนำและการพาความร้อน(Conduct,Convection) และกำหนดค่าเริ่มต้น(Init) ที่อุณหภูมิเริ่มต้น
5. จำลองขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มในขั้นตอนที่สี่ (Exhaust 2) ตามข้อที่ 3
6. จำลองขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มในขั้นตอนที่ห้า(Third Peak Pressure) ตามข้อ 2 โดยไม่ต้องกำหนดค่าในเทอม คุณสมบัติ(Subdomain Settings) กำหนดในเทอม การนำและการพาความร้อน(Conduct, Convection)และกำหนดค่าเริ่มต้น(Init) ที่อุณหภูมิเริ่มต้น
7. จำลองขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มในขั้นตอนที่หก (Full Peak Pressure) ตามข้อ 2 โดยไม่ต้องกำหนดค่าในเทอม คุณสมบัติ(Subdomain Settings) กำหนดในเทอม การนำและการพาความร้อน(Conduct,Convection) กำหนดค่าเริ่มต้น และกำหนดค่าเริ่มต้น(Init) ที่อุณหภูมิเริ่มต้น และในขั้นตอนนี้ใช้เวลา 1800 วินาที
8. จำลองขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มในขั้นตอนที่เจ็ด(Exhaust 3) โดยกำหนดให้ ตามข้อที่ 3 และในขั้นตอนนี้ใช้เวลา 600 วินาที
9. ศึกษาผลการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำที่เกิดขึ้นในหม้อนึ่งตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มที่ได้
10. ตรวจสอบผลการออกแบบหม้อนึ่งและไอน้ำ

4.3 การสร้างแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนของกระบะผลปาล์มในหม้อนึ่ง

ในงานวิจัยส่วนนี้ทำการศึกษาถึงลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในผลปาล์ม โดยพิจารณาเฉพาะในเทอมการนำความร้อน โดยใช้โปรแกรม COMSOL ในการคำนวณ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ใช้แบบจำลองผลปาล์มที่บรรจุอยู่ในหม้อนึ่ง ที่สร้างจากหัวข้อที่2.4.2 ในการคำนวณ
2. จำลองขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มในขั้นตอนแรก (First Peak Pressure) ตามข้อ 2 ในหัวของที่ 4.1 โดยที่ฟังก์ชั่น ดุลพลังงาน (Energy Balance) เลือกการถ่ายเทความร้อนแบบปกติ(GeneralHeat Transfer) ทำการกำหนดค่าในส่วนของผลปาล์มมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

   - คุณสมบัติ (Subdomain Settings) > Conduct กำหนดให้ความหนาแน่นมีค่าเท่ากับ 713 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความร้อนจำเพาะใช้เท่ากับ 630จูล

ต่อกิโลกรัมเคลวินและค่าการนำความร้อน ใช้เท่ากับ 0.15 งานต่อกิโลกรัมเคลวิน และ กำหนดค่าเริ่มต้น(Init) กำหนดค่าในเทอม อุณหภูมิเริ่มต้น เท่ากับ 304 เคลวิน

-ขอบเขต(Boundary Settings) กำหนดให้ผลปาล์มทั้งหมดเป็นแบบต่อเนื่อง

3. จำลองขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มในขั้นตอนที่สองถึงเจ็ด ตามข้อที่3-8 ในหัวข้อที่ 4.1
4. ศึกษาผลของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นของผลปาล์ม ตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มตามวิธีอัดไอน้ำสามครั้ง
5. จำลองขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มด้วยวิธีอื่นแบ่งออกเป็นสองส่วนในส่วนแรก ทำตามหัวข้อที่2 โดยกำหนดให้ใช้เวลาในการนึ่งเป็น 3600 วินาที และในส่วนที่สองทำตามหัวข้อ3 ในหัวข้อที่ 4.1 กำหนดให้ใช้เวลาเป็น 1800 วินาที
6. ศึกษาอุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดขึ้นในผลปาล์มเพื่อใช้ในการพิจารณาความสุกของผลปาล์มที่ต้องการ
7. ตรวจสอบแบบจำลองผลปาล์มที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์ม

4.4 การตรวจสอบแบบจำลอง กระบวนการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อน

ในงานวิจัยนี้เราจะทำการตรวจสอบแบบจำลองเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ทำการสร้างขึ้นมา โดยในการตรวจสอบนี้ทำการแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่การตรวจสอบ หม้อนึ่งและไอน้ำ และอีกส่วนหนึ่งทำการตรวจสอบแบบจำลองผลปาล์ม

4.4.1การตรวจสอบแบบจำลองการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม

ในส่วนการตรวจสอบแบบจำลองการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของหม้อนึ่งและไอน้ำในงานวิจัยนี้ทำการตรวจสอบจาก ดุลมวลของไอน้ำ ภายในหม้อนึ่งและปริมาณที่เข้าหม้อนึ่งตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มจากสมการที่5 และ6 ตามลำดับ

$$m_i = \int_0^t C_i \qquad (5)$$

$$m_{acc} = \int_0^v C_{acc} \qquad (6)$$

โดยค่า C_i เป็น อัตตาปริมาณของไอน้ำที่ทำการอัดเข้าไปในหม้อนึ่ง ส่วนC_{acc} คือปริมาณความเข้มข้นที่อยู่ในหม้อนึ่ง หลังจากนั้นทำการคำนวณหาปริมาณของไอน้ำที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์มเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณไอน้ำที่ใช้จริงจากข้อมูลว่ามีค่าความแตกต่างเท่าใดโดยที่ค่าความ

แตกต่างต้องมีค่าน้อยจึงจะสามารถนำแบบจำลองของหม้อนึ่งและไอน้ำ ไปใช้ในการจำลองหม้อนึ่งที่มีผลปาล์มได้ต่อไป

4.4.2 การตรวจสอบแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนของผลปาล์มในหม้อนึ่ง

ในงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในแต่ละจุดของผลปาล์มที่ออกแบบจำลองหลังผ่านกระบวนการนึ่งผลปาล์มเรียบร้อยแล้วกับของมูลที่ได้จากการทดลองจริง เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการนึ่งผลปาล์มให้สุก ไม่จำเป็นต้องกลับมานึ่งใหม่ สาเหตุถ้าผลปาล์มนึ่งไม่สุกจะทำให้ผลปาล์มยังคงมีเปลือกแข็งอยู่ ไม่สามารถทำการปลอกเปลือกผลปาล์มได้ ทำให้ต้องนำผลปาล์มในส่วนนี้กลับมานึ่งให้ส่งผลให้สิ้นเปลือก เพิ่มขึ้น

อีกส่วนหนึ่งในการตรวจสอบถึงอุณหภูมิที่กำหนดให้ผลปาล์มนึ่งสุกแล้วจะนำไปเปรียบเทียบกับผลปาล์มที่ทำการนึ่งโดยวิธีอื่นเพื่อคำนวณหาปริมาณผลปาล์มที่นึ่งสุกเปรียบเทียบกับปริมาณผลปาล์มที่นึ่งสุกจริงจากวิธีการนึ่งแบบอื่น

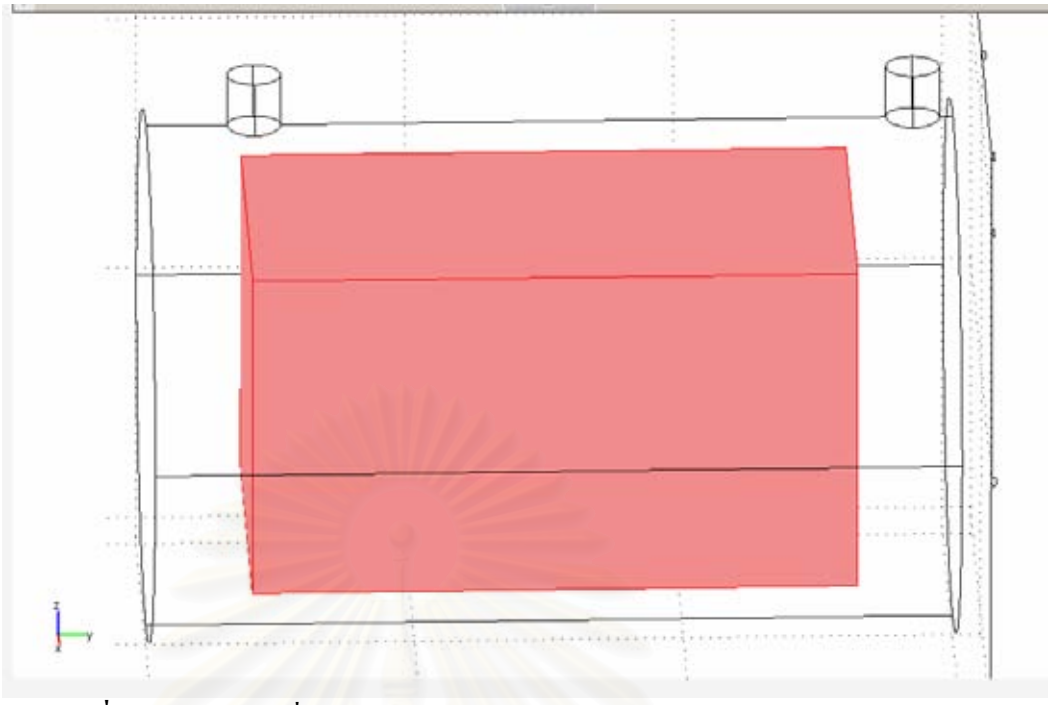
4.5 การทดสอบแบบจำลองที่พัฒนา

การทดสอบแบบจำลองที่พัฒนา จะพิจารณาถึงปริมาณผลปาล์มที่ต้องการทำการนึ่งให้สุกโดยวิธีการนึ่งผลปาล์มด้วยไอน้ำแบบ อัดไอน้ำสามครั้ง (Ideal triple peak) โดยทำการออกแบบจำลองใหม่ในงานวิจัยนี้ทำการออกแบบใหม่ 2 แบบคือในส่วนของการลดความยาวและขนาดของกระบะที่บรรจุผลปาล์ม และเปลี่ยนรูปร่างของกระบะที่บรรจุผลปาล์ม

4.5.1 การพัฒนาแบบจำลองโดยการลดความยาวและขนาดของกระบะ

4.5.1.1การพัฒนาแบบจำลองโดยการลดความยาวของกระบะ

ออกแบบลักษณะผลปาล์มที่บรรจุอยู่ในหม้อนึ่งใหม่โดยการลดความยาวของกระบะลงและใช้โปรแกรม COMSOL ในการออกแบบและคำนวณ ซึ่งกำหนดให้กระบะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 1.25x1.25 เมตร และมีความยาว 2.25 เมตรและเป็นกระบะแบบทึบบรรจุอยู่ในหม้อนึ่งดังแสดงในรูปที่ 4.1



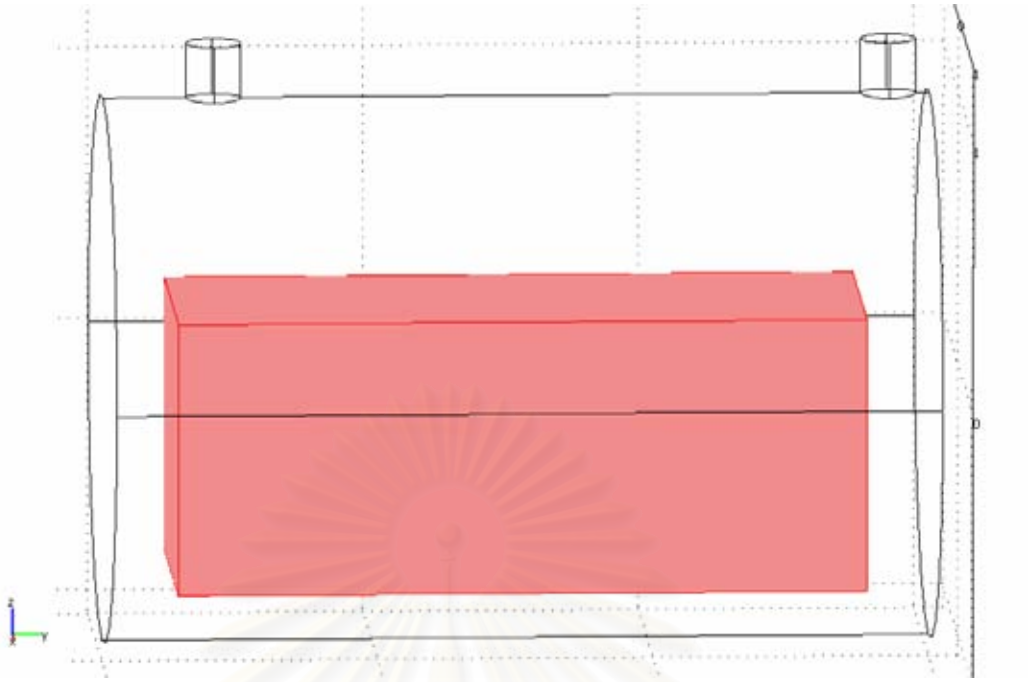
รูปที่4.1 แบบจำลองที่พัฒนาโดยการลดความยาวของกระบะบรรจุปาล์ม

คำนวณลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในผลปาล์มโดยใช้โปรแกรม COMSOL โดยขั้นตอนในการคำนวณนั้นให้ทำตามข้อ2-3 ในหัวข้อที่ 4.3 นำผลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณของผลปาล์มที่นึ่งไม่สุกและนำไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ไม่ได้พัฒนาต่อไป

4.5.1.2 การพัฒนาแบบจำลองโดยการลดขนาดของกระบะ

ออกแบบลักษณะผลปาล์มที่บรรจุอยู่ในหม้อนึ่งใหม่โดยการลดขนาดของกระบะหรือพื้นที่หน้าตัดของกระบะลง และใช้โปรแกรม COMSOL ในการออกแบบและคำนวณ ซึ่งกำหนดให้กระบะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 1x1 เมตร และมีความยาว 2.5 เมตรและเป็นกระบะแบบทึบบรรจุอยู่ในหม้อนึ่งดังแสดงในรูปที่ 4.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



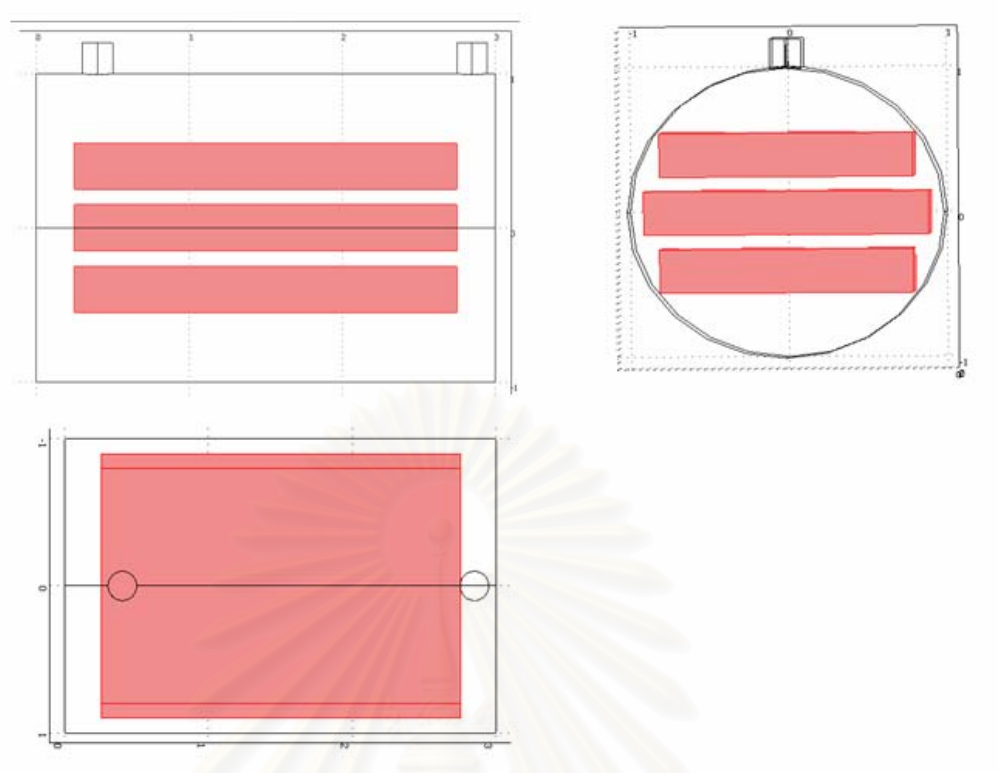
รูปที่4.2 แบบจำลองที่พัฒนาโดยการลดขนาดของกระบะบรรจุปาล์ม

คำนวณลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในผลปาล์มโดยใช้โปรแกรม COMSOL โดยขั้นตอนในการคำนวณนั้นให้ทำตามข้อ2-3 ในหัวข้อที่ 4.3 นำผลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณของผลปาล์มที่นึ่งไม่สุกและนำไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ไม่ได้พัฒนาต่อไป

4.5.2 การพัฒนาแบบจำลองโดยการเปลี่ยนรูปร่างของกระบะ

4.5.2.1 การพัฒนาแบบจำลองโดยการเปลี่ยนรูปร่างของกระบะให้เป็นแบบเป็นชั้นๆวางซ้อนกัน

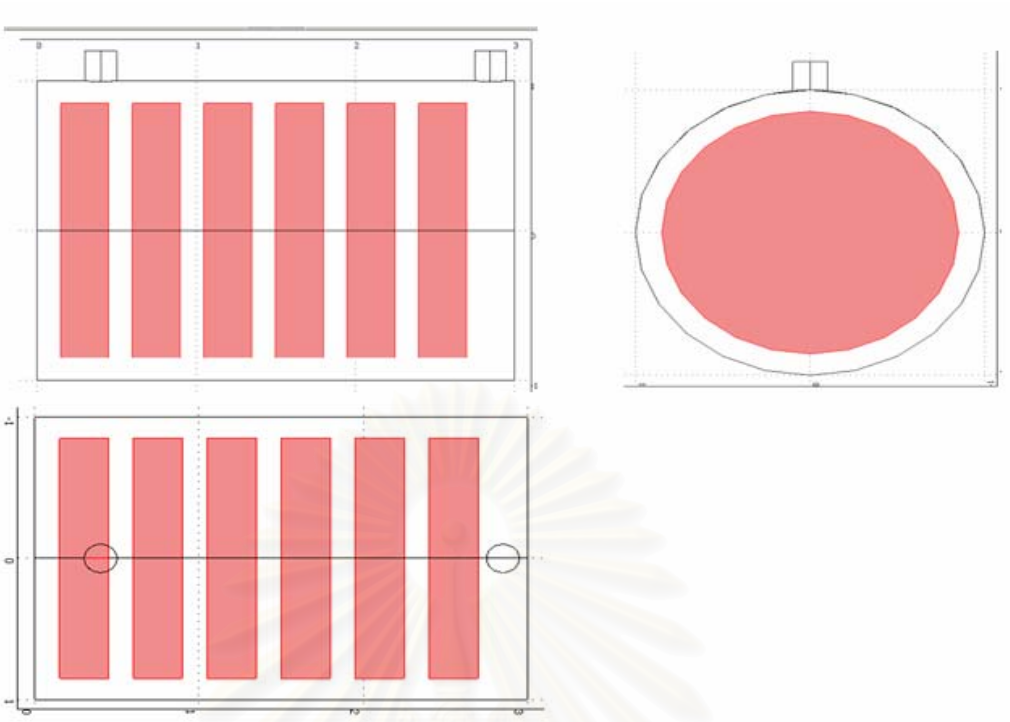
ในงานวิจัยนี้ทำการออกแบบให้ลักษณะของหม้อนึ่งเป็นชั้นๆโดยพิจารณาถึงขนาดของทะลายปาล์มที่จะทำการนึ่งผลปาล์มที่มีขนาดประมาณ 0.3เมตร และปริมาณผลปาล์มที่อยู่ในกระบะผลปาล์มรวมทั้งระยะห่างในแต่ละชั้นจะทำการพิจารณาถึงการถ่ายเทความร้อนในหม้อนึ่งที่เป็นไปได้ทำให้ได้ กระบะใส่ผลปาล์มมีความหนา 0.3 เมตร และว่างห่างกัน0.15เมตรและใช้โปรแกรม COMSOL ในการออกแบบและคำนวณ ซึ่งกำหนดให้กระบะมีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส จำนวนสามอันขนาด 0.3 เมตร x1.8เมตรจำนวน 1 อัน และขนาด 0.3 เมตร x1.6เมตร สองอัน ทั้งหมดมีความยาว 2.5 เมตร และกำหนดให้กระบะแต่ละอันห่างระหว่างกัน0.15 เมตร โดยว่างจากบนสุดเป็นแบบ0.3 เมตร x1.6เมตร ชั้นกลางเป็นแบบ0.3 เมตร x1.8เมตร ชั้นล่างสุดเป็นแบบ0.3 เมตร x1.6เมตร และกำหนดให้กระบะเป็นแบบทึบบรรจุอยู่ในหม้อนึ่งดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3แบบจำลองที่พัฒนาโดยการเปลี่ยนรูปร่างของกระบะบรรจุปาล์มเป็นชั้นๆ

4.5.2.2 การพัฒนาแบบจำลองโดยการเปลี่ยนรูปร่างของกระบะให้เป็นแบบแถวๆเรียงต่อกัน

ในงานวิจัยนี้ทำการออกแบบให้ลักษณะของหม้อนึ่งเป็นแถวๆโดยพิจารณาถึงขนาดของทะลายปาล์มที่จะทำการนึ่งผลปาล์มที่มีขนาดประมาณ 0.3เมตร และปริมาณผลปาล์มที่อยู่ในกระบะผลปาล์มรวมทั้งระยะห่างในแต่ละชั้นจะทำการพิจารณาถึงการถ่ายเทความร้อนในหม้อนึ่งที่เป็นไปได้ทำให้ได้ทำให้กระบะใส่ผลปาล์มมีลักษณะเป็นทรงกระบอกมีรัศมีขนาด 0.85 เมตร มีความหนา 0.3 เมตร และว่างห่างกัน0.15เมตรและใช้โปรแกรม COMSOL ในการออกแบบและคำนวณ ซึ่งกำหนดให้กระบะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกแผ่นเล็กๆ จำนวนหกอันขนาด รัศมีขนาด 0.85เมตร ยาว 0.3เมตร และกำหนดให้กระบะแต่ละอันห่างระหว่างกัน0.15 เมตร เป็นกระบะแบบทึบบรรจุอยู่ในหม้อนึ่งดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แบบจำลองที่พัฒนาโดยการเปลี่ยนรูปร่างของกระบะบรรจุปาล์มเป็นแถวๆ

4.6 การประเมินผลปาล์มสำหรับกระบวนการนึ่งผลปาล์ม

ในงานวิจัยนี้ ประเมินแบบจำลองกระบวนการนึ่งผลปาล์มด้วยไอน้ำแบบกะ วิธีนึ่งใช้วิธีแบบ อัดไอน้ำสามครั้ง (Ideal triple peak) โดยกำหนดให้ใช้ปริมาณไอน้ำคงที่ในการนึ่งผลปาล์ม และคำนวณหาปริมาณของผลปาล์มที่นึ่งสุก จากกระบะที่บรรจุผลปาล์ม โดยคิดจากอุณหภูมิที่กำหนดว่าสามารถนึ่งผลปาล์มได้สุก อีกทั้งคำนวณหาปริมาณผลปาล์มต่อไอน้ำที่เหมาะสมในการนึ่งผลปาล์ม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
ผลการจำลองการนึ่งผลปาล์ม

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลของการจำลองการนึ่งปาล์มด้วยไอน้ำแบบกะ ด้วยวิธีอัดไอน้ำสามครั้ง(Ideal triple peak) โดยในบทนี้จะของกล่าวแยกออกเป็น 4ส่วนประกอบด้วย 1ผลการจำลองการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำ 2ผลการจำลองการถ่ายเทความร้อนของผลปาล์มในกระบะบรรจุผลปาล์ม 3ผลการจำลองการถ่ายเทความร้อนของผลปาล์มในกระบะบรรจุผลปาล์มแบบที่พัฒนา 4ผลการประเมินผลปาล์มสำหรับกระบวนการนึ่งผลปาล์ม

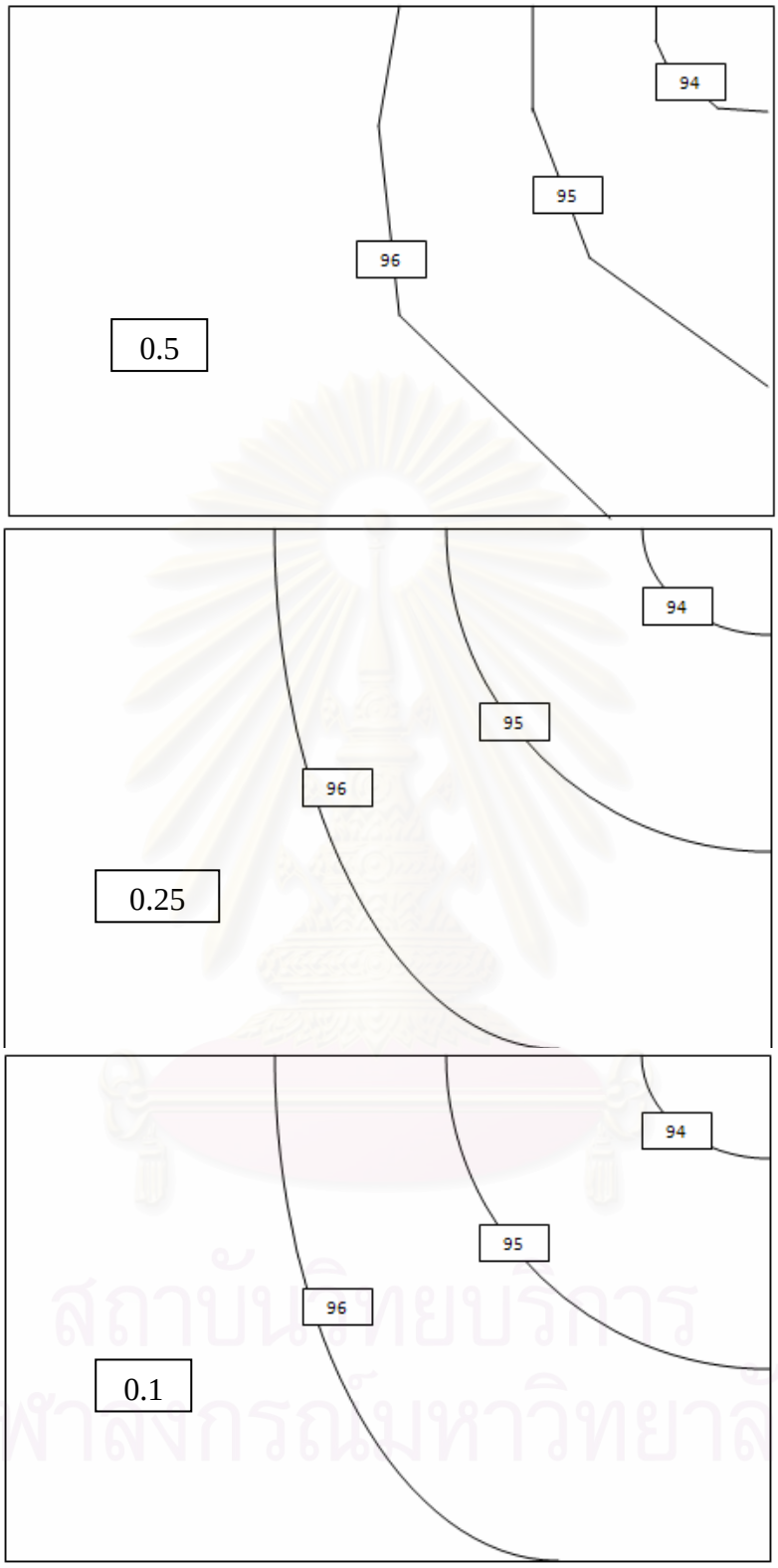
5.1ผลการจำลองการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำ

ผลการออกแบบจำลองการนึ่งผลปาล์มในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลของการออกแบบจำลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่การจำลองการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำในหม้อนึ่งตามวิธีการนึ่งผลปาล์ม และการถ่ายเทความร้อนของผลปาล์มในกระบะบรรจุผลปาล์มในหม้อนึ่งตามวิธีการนึ่งผลปาล์ม และมีการตรวจสอบถึงการแบ่งช่วงของหม้อนึ่งและกระบะผลปาล์ม

5.1.1 ผลการตรวจสอบการแบ่งช่วงของหม้อนึ่งและกระบะผลปาล์ม

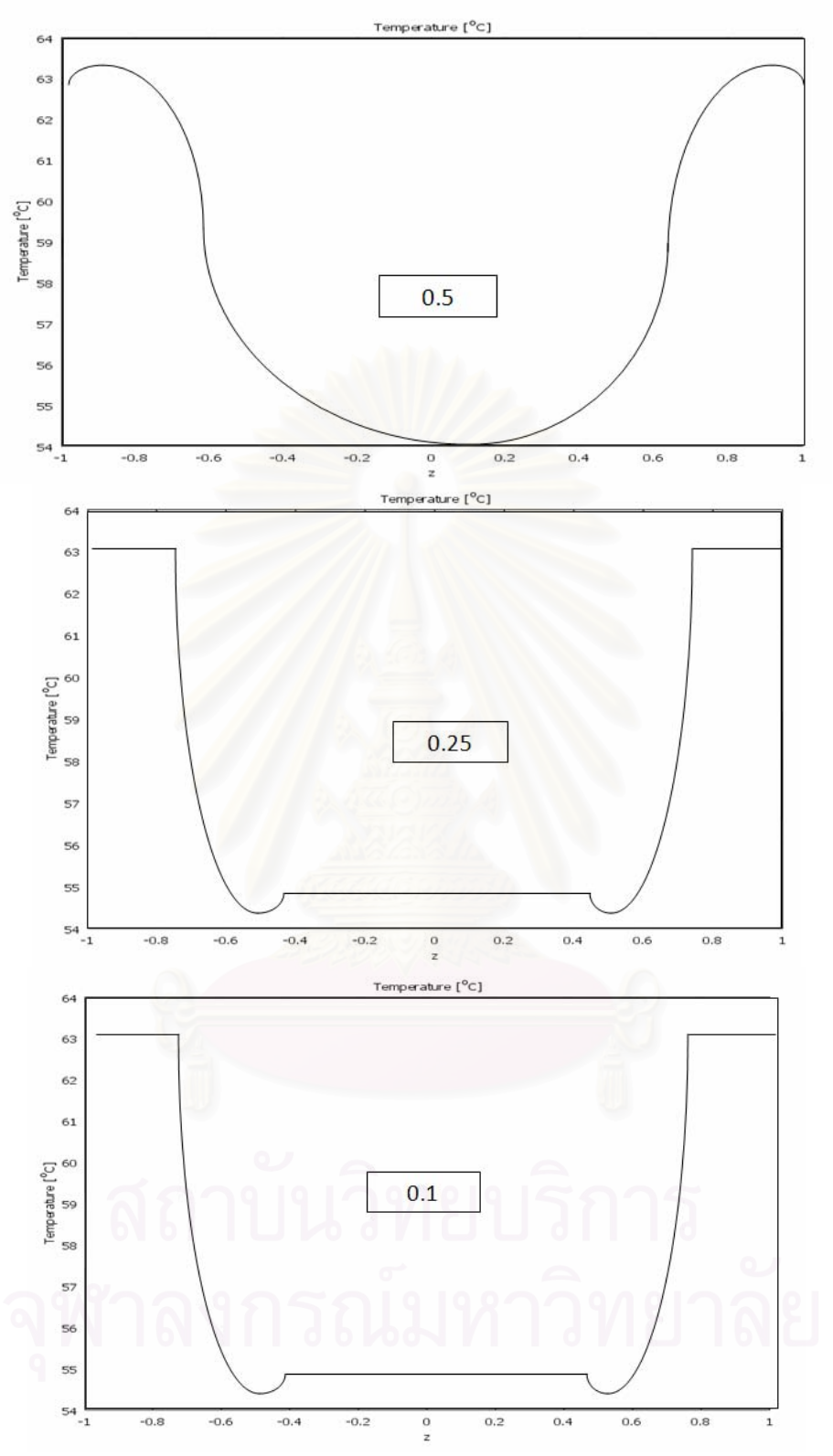
ในงานวิจัยนี้ได้มีการกำหนดระยะช่วงไว้ตรวจสอบที่ 0.5, 0.25, และ 0.1 โดยแบ่งออกเป็นในส่วนของหม้อนึ่งและในส่วนของกระบะใส่ผลปาล์ม โดยคำนวณหาลักษณะการถ่ายเทความร้อน ได้ผลการแบ่งช่วงในส่วนของหม้อนึ่งแสดงดังรูปที่ 5.1 และในส่วนของกระบะใส่ผลปาล์มแสดงดังรูปที่ 5.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.1 แสดงผลการแบ่งช่วง 0.5, 0.25, 0.1ในส่วนของหม้อนึ่งตัดด้านข้าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.2 แสดงผลการแบ่งช่วง 0.5, 0.25, 0.1 ในส่วนของกระบะผลปาล์มตัดด้านข้าง

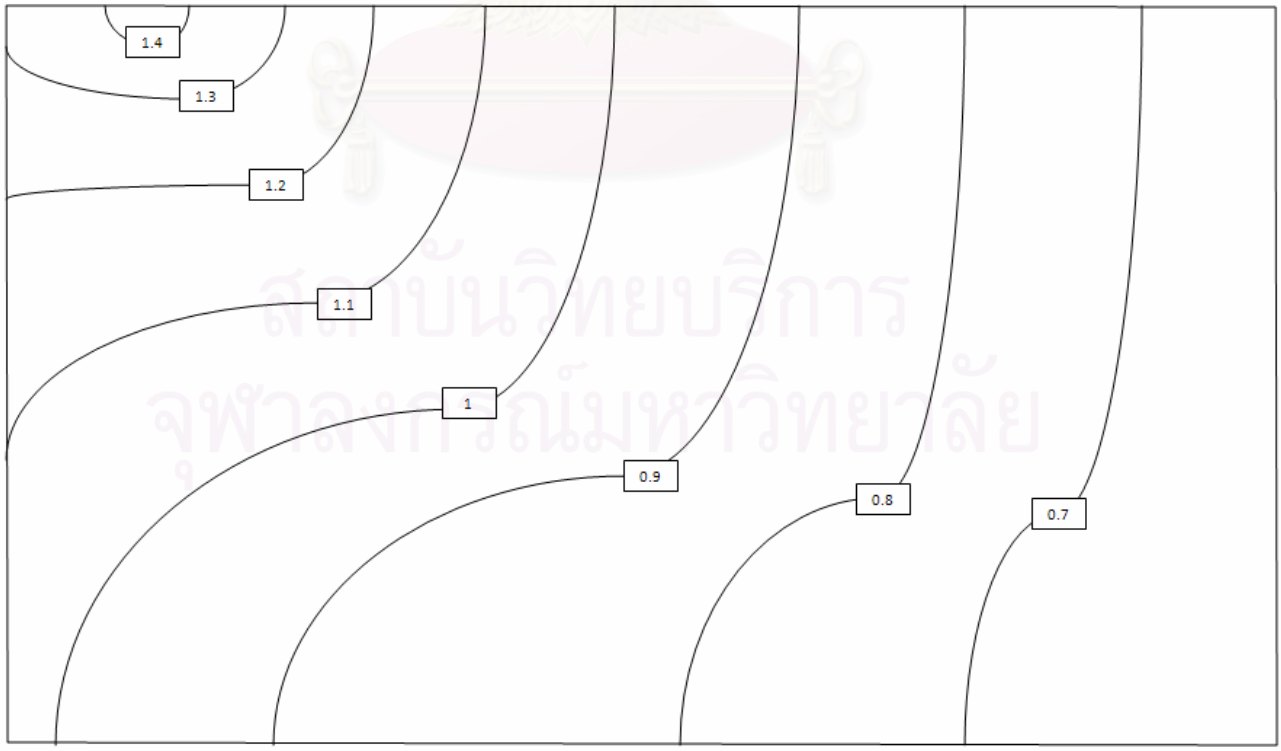
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการแบ่งช่วงในส่วนของกระบะผลปาล์มปรากฏว่า ในส่วนของการแบ่งทีละ 0.5 จะให้ความละเอียด ได้น้อยกว่าในแบบ 0.25 และ 0.1 แสดงได้ว่าในส่วนของการแบ่งช่วงในกระบะใส่ผลปาล์มนั้นสามารถใช้การแบ่งทีละ 0.25 เพียงพอแก่การใช้คำนวณในส่วนของกระบะผลปาล์ม

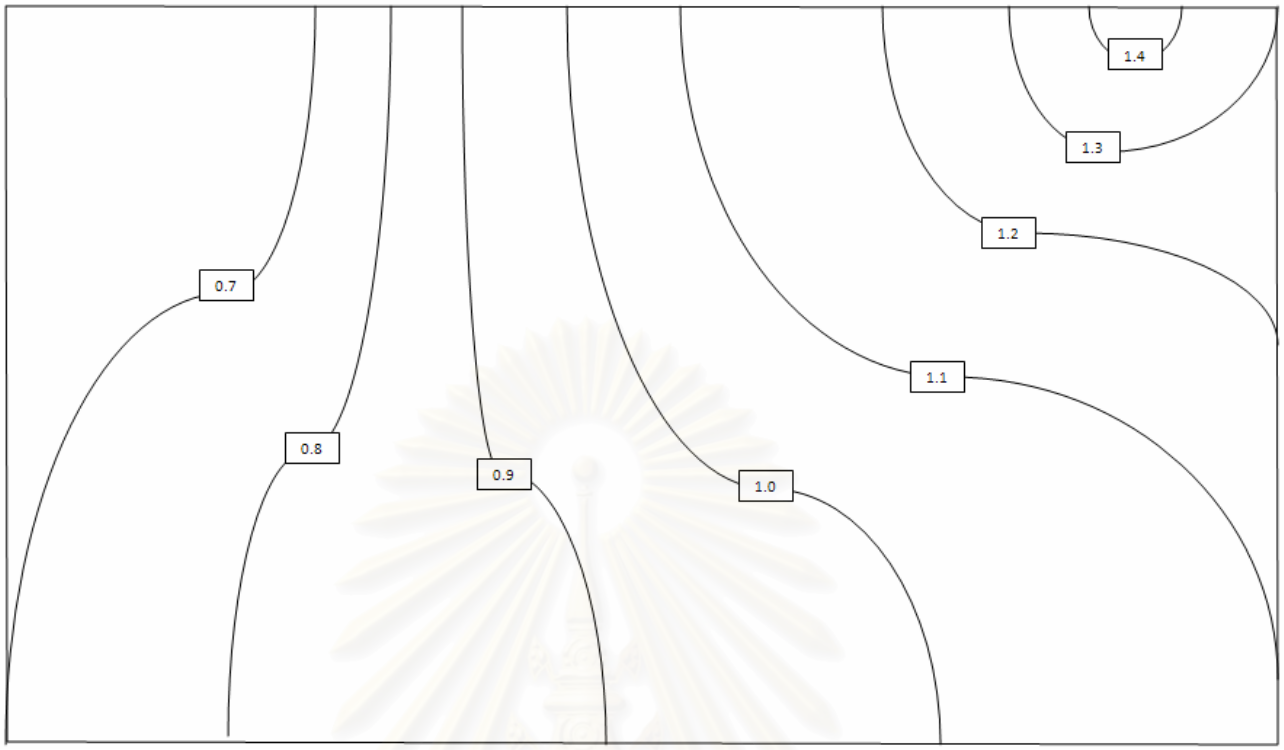
ดังนั้นในงานวิจัยนี้เพื่อความสะดวกและง่ายต่อการคำนวณ จะทำการแบ่งช่วงออกเป็นทีละ 0.25 ทั้งในส่วนของหม้อนึ่ง และในส่วนของกระบะใส่ผลปาล์ม

5.1.2 ผลการจำลองการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำ

ในงานวิจัยในส่วนนี้ ทำการจำลองการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำตามวิธีการนึ่งผลปาล์มด้วยไอน้ำแบบอัดไอน้ำสามครั้ง(Ideal triple peak) โดยทำการจำลองแบ่งออกเป็นตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม 7 ขั้นตอน ประกอบด้วย อัดไอน้ำครั้งที่1(First Peak Pressure) , ปล่อยไอน้ำครั้งที่1(Exhaust 1), อัดไอน้ำครั้งที่2(Second Peak Pressure), ปล่อยไอน้ำครั้งที่2(Exhaust 2), อัดไอน้ำครั้งที่3(Third Peak Pressure), คงความดันไอน้ำ(Full Peak Pressure), ปล่อยไอน้ำครั้งที่3(Exhaust 3) โดยดูลักษณะการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำที่เกิดขึ้นในหม้อนึ่งผลปาล์ม ซึ่งลักษณะการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนจะแยกออกเป็นสองกลุ่มตามลักษณะการทำงานของขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มได้แก่กลุ่มที่1 ขั้นตอนการอัดไอน้ำครั้งที่1,2,3 และการคงความดันไอน้ำ ส่วนกลุ่มที่2 ขั้นตอนการปล่อยไอน้ำครั้งที่1,2,3 ได้แสดงลักษณะการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนดั้งรูปที่ 5.3 ถึง 5.6 โดยหน่วยของความเร็วในรูปเป็น $x10^{-3}$ เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิในการถ่ายเทความร้อนหน่วยเป็นเซลเซียส



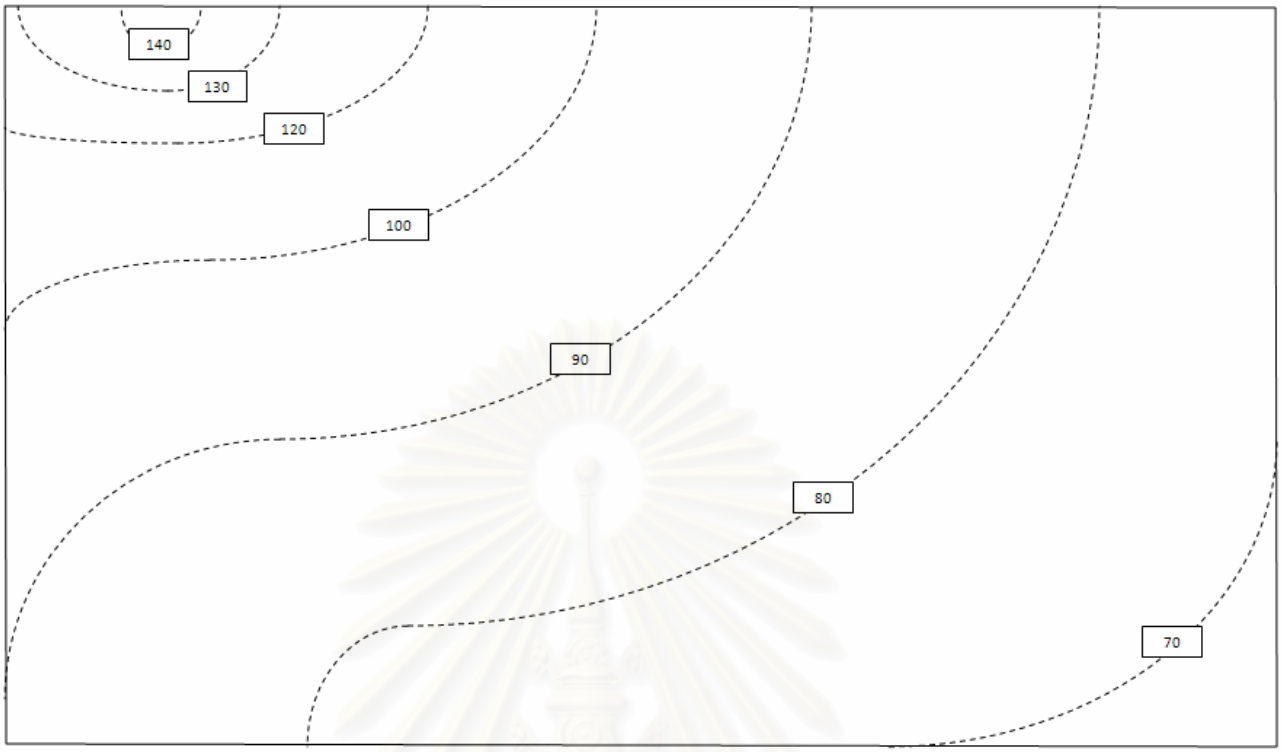
รูปที่ 5.3 แสดงการเคลื่อนที่ของไอน้ำในกลุ่มที่1 ตัดด้านข้าง



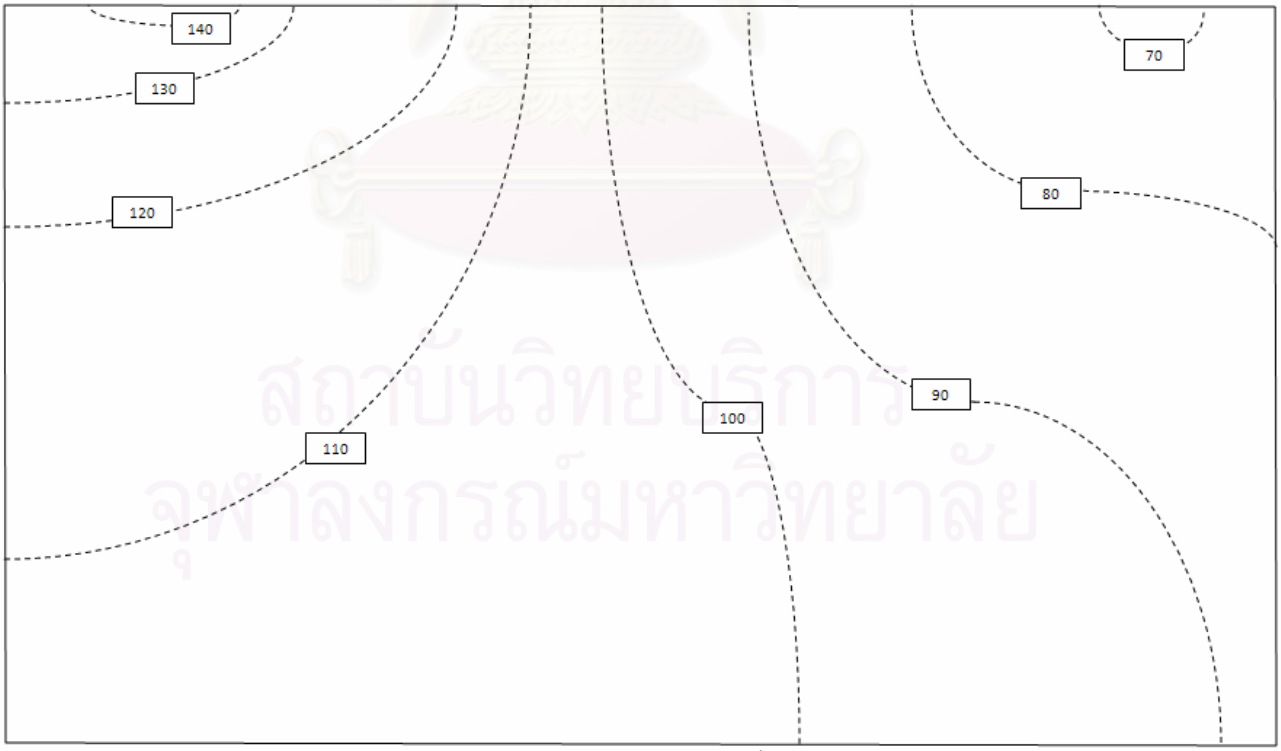
รูปที่ 5.4 แสดงการเคลื่อนที่ของไอน้ำในกลุ่มที่2

จากรูปที่ 5.3 จะแสดงให้เห็นถึงลักษณะของการเคลื่อนที่ของไอน้ำในกลุ่มที่1 ที่เกิดขึ้น ปรากฏว่าลักษณะการเคลื่อนที่จะเป็นแบบกระจายทั่วหม้อนึ่งผลปาล์มโดยเริ่มกระจายตัวจากทางเข้าที่ทำการอัดไอน้ำเข้าหม้อนึ่ง หลังจากนั้นจะเกิดการกระจายตัวตามลักษณะของหม้อนึ่งโดยเคลื่อนที่จากทางเข้าไปทางด้านหลังและจะเกิดการหมุนวนอยู่ภายในหม้อนึ่ง ส่วนรูปที่5.4 จะแสดงให้เห็นถึงลักษณะของการเคลื่อนที่ของไอน้ำในกลุ่มที่2 ที่เกิดขึ้น ปรากฏว่าลักษณะการเคลื่อนที่จะเป็นแบบกระจายทั่วหม้อนึ่งผลปาล์มคล้ายในกลุ่มที่1แต่จะเริ่มรวมตัวที่ทางออกที่ทำการปล่อยไอน้ำออกจากหม้อนึ่ง หลังจากนั้นจะเกิดการเคลื่อนที่แบบกระจายตัวตามลักษณะของหม้อนึ่งโดยเคลื่อนที่จากทางเข้าไปทางด้านหลังที่ทำการปล่อยไอน้ำออกและจะเกิดการหมุนวนอยู่ภายในหม้อนึ่งเช่นเดียวกับกลุ่มที่1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.5 แสดงการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำในกลุ่มที่1 ตัดด้านข้าง



รูปที่ 5.6 แสดงการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำในกลุ่มที่2 ตัดด้านข้าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 5.5 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในหม้อนึ่งของกลุ่มที่1โดยลักษณะการถ่ายเทความร้อนจะกระจายตัวทำให้ความร้อนภายในหม้อนึ่งใกล้เคียงกันหมดทั้งหมดนึ่ง และจะเกิดการถ่ายเทความร้อนเข้ามาทางเข้าที่ทำการอัดไอน้ำและถ่ายเท่ความร้อนไปตามลักษณะของหม้อนึ่งไปทางด้านหลัง โดยอุณหภูมิภายในหม้อนึ่งในกลุ่มที่1 จะค่อยๆเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกันทั้งหม้อนึ่ง โดยในขั้นตอนที่คงความดันไอน้ำ(Full Peak Pressure) เมื่อความอุณหภูมิภายในหม้อนึ่งประมาณ 140 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในหม้อนึ่งจะเริ่มคงที่ ในส่วนรูปที่5.6 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในหม้อนึ่งของกลุ่มที่2 โดยลักษณะการถ่ายเทความร้อนจะกระจายตัวทำให้ความร้อนภายในหม้อนึ่งใกล้เคียงกันหมดทั้งหมดนึ่ง และจะเกิดการถ่ายเทความร้อนออกจากหม้อนึ่งที่ทางออกบริเวณที่ทำการปล่อยไอน้ำ ส่งผลให้อุณหภูมิภายในหม้อนึ่งในกลุ่มที่2 จะลดลงใกล้เคียงกันทั้งหม้อนึ่ง

จากผลการจำลองการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำสามารถบอกได้ถึง ลักษณะการเคลื่อนที่ของไอน้ำ เป็นลักษณะการกระจายตัวตามหม้อนึ่ง และอุณหภูมิภายในหม้อนึ่งเป็นลักษณะที่เกือบจะเท่ากันภายในหม้อนึ่งผลปาล์ม และสามารถบอกได้ถึงคุณสมบัติของไอน้ำที่เกิดขึ้นได้แก่ ปริมาณไอน้ำที่เหลืออยู่ในหม้อนึ่ง อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม ความดันภายในหม้อนึ่งหลังจากผ่านขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม และเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มในแต่ละขั้นตอน ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงคุณสมบัติของไอน้ำที่เกิดขึ้นตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม

	ขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม						
ไอน้ำ	อัดไอน้ำครั้งที่1	ปล่อยไอน้ำครั้งที่1	อัดไอน้ำครั้งที่2	ปล่อยไอน้ำครั้งที่2	อัดไอน้ำครั้งที่3	คงความดันไอน้ำ	ปล่อยไอน้ำครั้งที่3
ปริมาณที่อยู่ในหม้อนึ่ง (กิโลกรัม)	110.53	81.81	191.47	160.14	269.79	696.24	619.65
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	95.00	79.00	117.00	85.00	123.00	140.00	95.00
ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	54.70	14.70	54.70	14.70	54.70	54.70	14.70
เวลาที่ใช้ (นาที)	8.00	3.00	8.00	3.00	8.00	30.00	5.00

จากตารางที่5.1 แสดงให้เห็นได้ว่าปริมาณของไอน้ำในหม้อนึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มโดยเมื่อทำการอัดไอน้ำปริมาณไอน้ำในหม้อนึ่งจะเพิ่มขึ้น หลังจากทำการปล่อยไอน้ำออกจากหม้อนึ่งจะเห็นได้ว่า ปริมาณของไอน้ำในหม้อนึ่งจะลดลง แต่จะไม่ทำการเอาไอน้ำออกหมดเพื่อเป็น

การเตรียมให้ภายในหม้อนึ่งมีอุณหภูมิที่เหมาะแก่การนึ่งผลปาล์มให้สุกในขั้นตอนต่อๆไป ส่วนอุณหภูมิในหม้อนึ่งจะเพิ่มและลดตามการอัดไอน้ำและปล่อยไอน้ำออกจากหม้อนึ่ง

5.1.2.1 ผลการตรวจสอบแบบจำลองการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม

ในการตรวจสอบแบบจำลอกการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำทำการตรวจสอบตามหัวข้อที่3.4.1 ในส่วนที่ 1 ทำการตรวจสอบแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบปริมาณไอน้ำที่เข้ากับปริมาณไอน้ำที่อยู่ภายในหม้อนึ่งได้ผลแสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงปริมาณไอน้ำทางเข้า-ออก เทียบกับปริมาณไอน้ำที่สะสมอยู่ในหม้อนึ่ง

		ขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม							
		อัดไอน้ำครั้งที่1	ปล่อยไอน้ำครั้งที่1	อัดไอน้ำครั้งที่2	ปล่อยไอน้ำครั้งที่2	อัดไอน้ำครั้งที่3	คงความดันไอน้ำ	ปล่อยไอน้ำครั้งที่3	รวม
ปริมาณไอน้ำ เข้า-ออก(ก.ก)	เข้า	112.32	-	112.32	-	112.32	421.2	-	758.16
	ออก	-	28.08	-	28.08	-	-	70.2	126.36
ปริมาณไอน้ำในหม้อนึ่ง (ก.ก)	สะสม	110.53	81.81	191.47	160.14	269.79	696.24	619.65	619.65
ร้อยละความคาดเคลื่อน		1.60	2.89	2.59	4.95	3.92	0.82	1.92	1.92

จากตารางที่ 5.2 แสดงให้เห็นถึงร้อยละความคาดเคลื่อนของแบบจำลองอยู่ในช่วง 0.82-4.95โดยระดับความคาดเคลื่อนในช่วงนี้ถือว่ายอมรับได้แสดงว่าแบบจำลองมีความแม่นยำประมาณ 95% ในการศึกษาการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำสามารถใช้ได้ในส่วนของการออกแบบสาเหตุที่เกิดความคาดเคลื่อนมาจากการอ่านค่าปริมาณไอน้ำในหม้อนึ่งเป็นค่าเฉลี่ย ในส่วนต่อไปทำการเปรียบเทียบปริมาณไอน้ำที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์มโดยพิจารณาจากขั้นตอนการอัดไอน้ำสามขั้นตอน และขั้นตอนการคงความดันไอน้ำ(Full Peak Pressure)จากแบบจำลอง กับปริมาณที่ใช้จริงจากโรงงาน*/9/*ได้ผลดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณไอน้ำที่ใช้จากแบบจำลองกับโรงงาน

	ปริมาณไอน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม				
	อัดไอน้ำครั้งที่1	อัดไอน้ำครั้งที่2	อัดไอน้ำครั้งที่3	คงความดันไอน้ำ	รวม
โรงงาน	115.97	115.97	115.97	434.90	782.82
แบบจำลอง	110.53	109.66	109.66	426.45	756.29
ร้อยละความคาดเคลื่อน					3.39

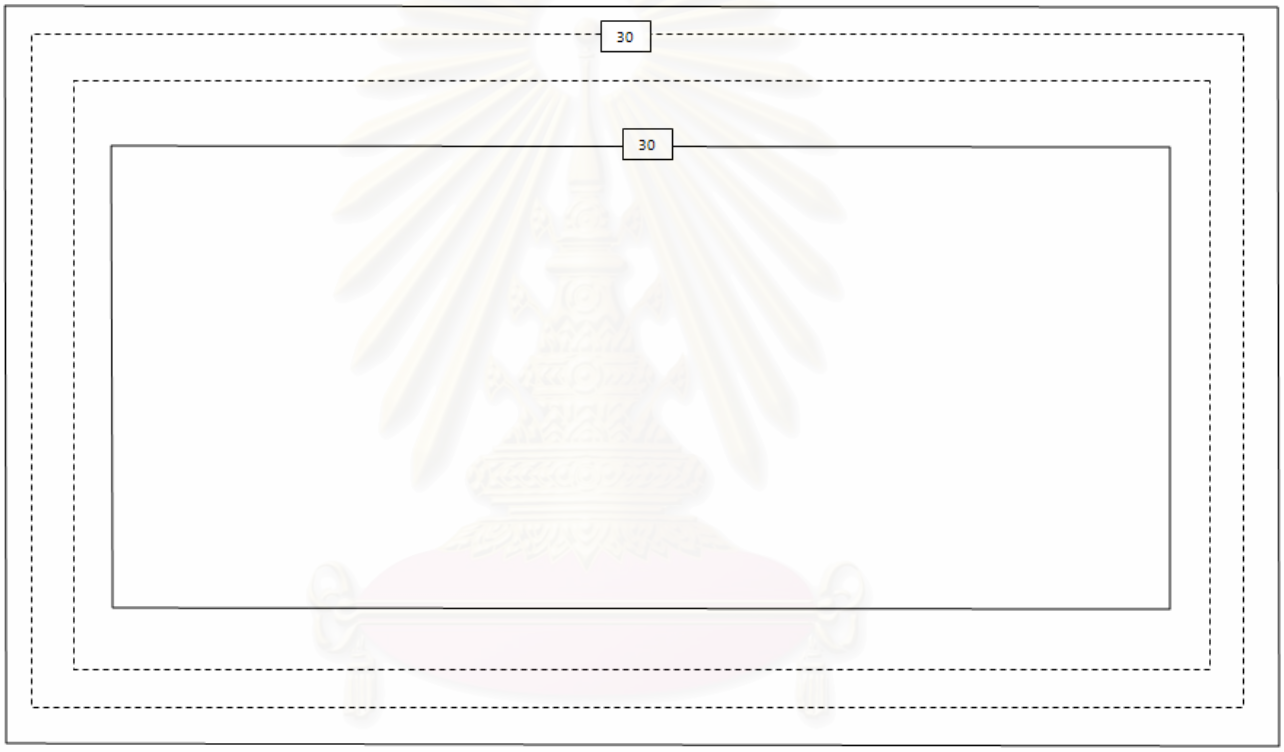
จากตารางที่ 5.3 แสดงให้เห็นปริมาณไอน้ำที่ใช้จากแบบจำลองเทียบกับปริมาณไอน้ำที่ใช้จริงจากโรงงาน มีค่าความคาดเคลื่อนเท่ากับ 3.39% แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มที่ออกแบบมีความใกล้เคียงกับที่ใช้จริง

ผลจาการออกแบบจำลองการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำในหม้อนึ่งตามวิธีการนึ่งไอน้ำวิธีแบบอัดไอน้ำสามครั้ง(Ideal triple peak) สามารถบอกจำลองลักษณะการเคลื่อนที่ของไอน้ำได้ว่าไอน้ำจะเริ่มต้นกระจายตัวจนเต็มหม้อนึ่ง และลักษณะของอุณหภูมิภายในหม้อนึ่งจะเพิ่มขึ้นไล่ไปจากบริเวณทางเข้าไปจนถึงด้านในของหม้อนึ่งอย่างราบเรียบในกรณีอัดไอน้ำ ส่วนกรณีปล่อยไอน้ำออกจากหม้อนึ่ง อุณหภูมิภายในหม้อนึ่งจะค่อยๆลดลงเริ่มจากทางออกที่ปล่อยไอน้ำจากหม้อนึ่ง ทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง โดยการเปรียบเทียบปริมาณของไอน้ำที่ทางเข้า-ออก กับปริมาณไอน้ำที่อยู่ในหม้อนึ่ง ได้ร้อยละความคาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 0.82-4.95 แสดงว่าแบบจำลองมีความแม่นตรงในระดับที่น่าเชื่อถือได้ และตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยการคิดร้อยละความคาดเคลื่อนของปริมาณไอน้ำที่ใช้จากการออกแบบกับที่ใช้จริง ได้ร้อยละความคาดเคลื่อนเท่ากับ 3.39 แสดงว่าแบบจำลองมีความถูกต้องประมาณ 96% ใกล้เคียงกับของจริง แสดงว่าสามารถนำแบบจำลองขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มโดยใช้ไอน้ำ ไปใช้ในออกแบบการนึ่งผลปาล์มต่อไปได้

5.2 ผลการจำลองการถ่ายเทความร้อนของผลปาล์มในกระบะบรรจุผลปาล์มในหม้อนึ่งไอน้ำ

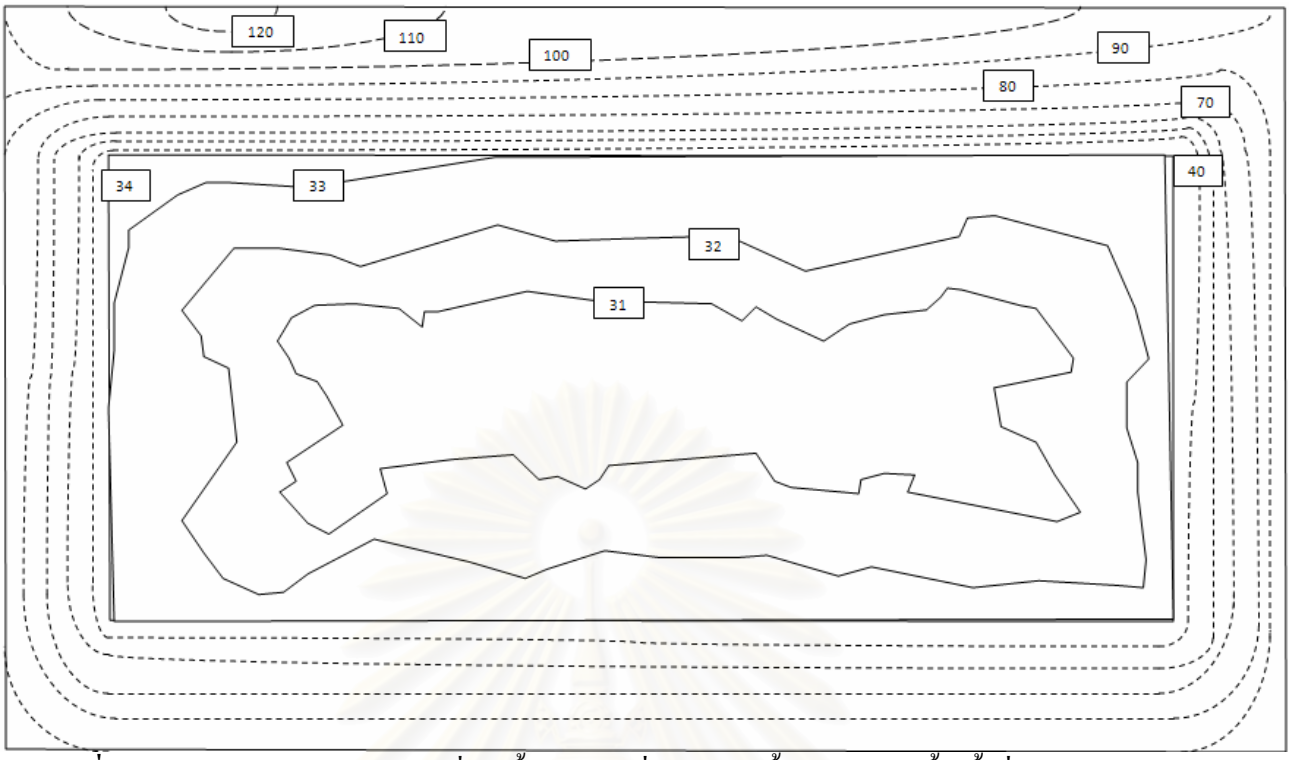
ในงานวิจัยในส่วนนี้ ทำการจำลองการถ่ายเทความร้อนของผลปาล์มในหม้อนึ่งไอน้ำตามวิธีการนึ่งผลปาล์มด้วยไอน้ำแบบอัดไอน้ำสามครั้ง(Ideal triple peak) เพื่อดูอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม แล้วนำไปตรวจสอบหาอุณหภูมิที่ใช้ในการตัดสินว่าผลปาล์มนึ่งสุกพอดี เพื่อนำไปพัฒนาออกแบบจำลองในการนึ่งผลปาล์มต่อไปได้

ในงานวิจัยในส่วนนี้ ทำการจำลองการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบะผลปาล์มตามวิธีการนึ่งผลปาล์มด้วยไอน้ำแบบอัดไอน้ำสามครั้ง(Ideal triple peak) โดยทำการจำลองแบ่งออกเป็นตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม 7 ขั้นตอน ประกอบด้วย อัดไอน้ำครั้งที่1 (First Peak Pressure), ปล่อยไอน้ำครั้งที่1 (Exhaust 1), อัดไอน้ำครั้งที่2 (Second Peak Pressure), ปล่อยไอน้ำครั้งที่2 (Exhaust 2), อัดไอน้ำครั้งที่3 (Third Peak Pressure), คงความดันไอน้ำ (Full Peak Pressure), ปล่อยไอน้ำครั้งที่3 (Exhaust 3) โดยดูลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบะผลปาล์ม โดยแสดงดังรูปที่5.7-5.14 โดยกำหนดให้เส้นปะแทนอุณหภูมิภายนอกกระบะ และเส้นทึบแทนอุณหภูมิในกระบะโดยอุณหภูมิภายในรูปเป็นองศาเซลเซียส

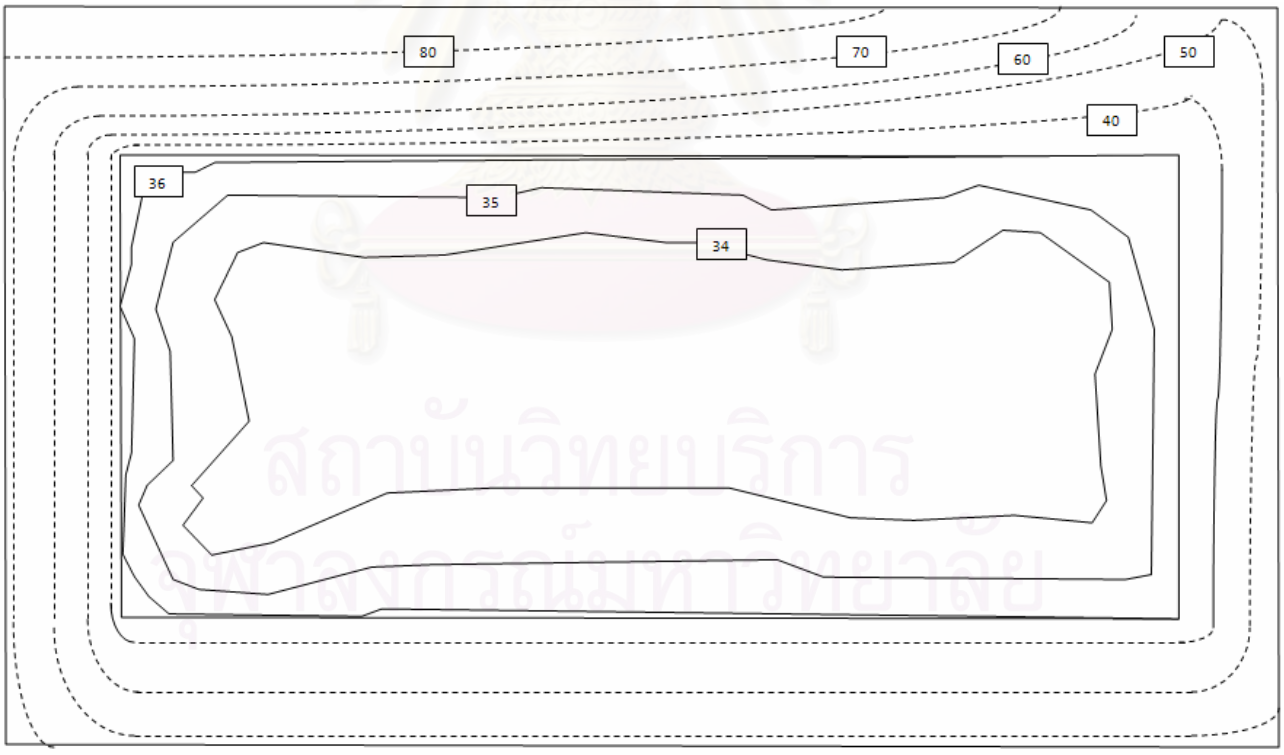


รูปที่ 5.7 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในหม้อนึ่งก่อนทำการนึ่งตัดด้านข้าง

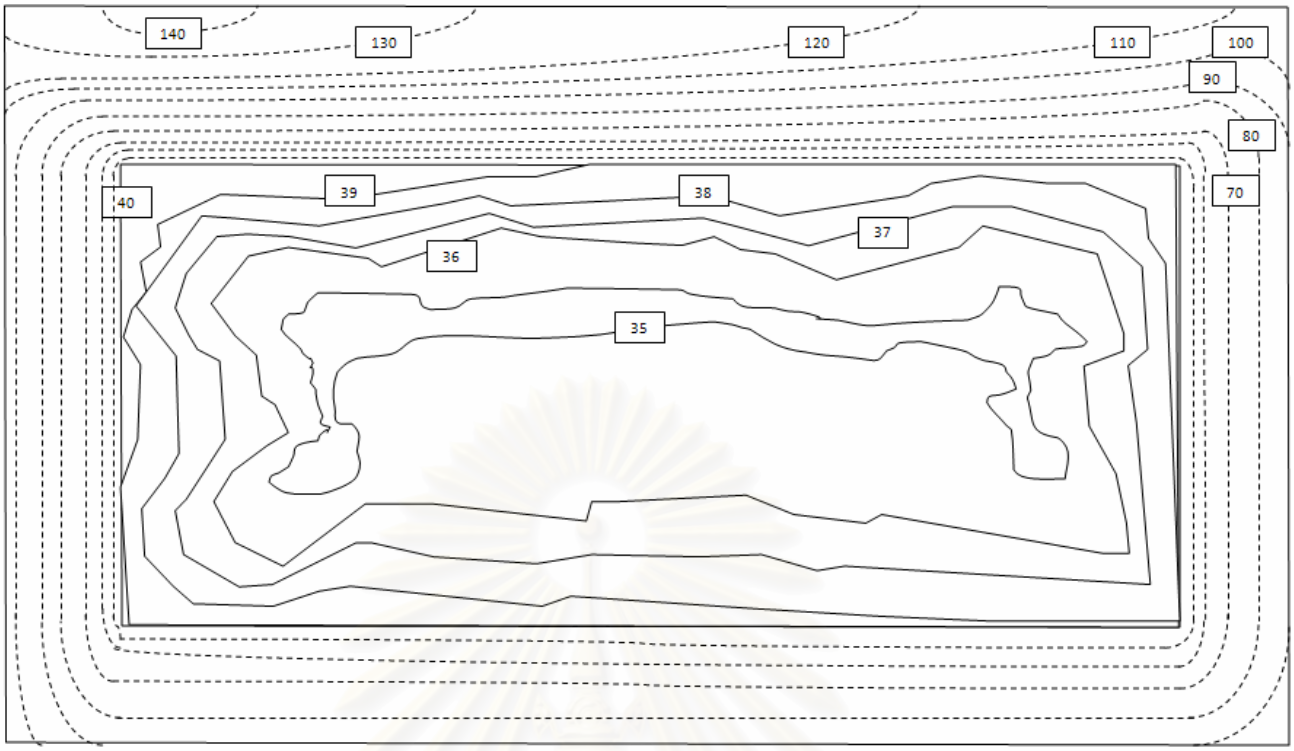
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



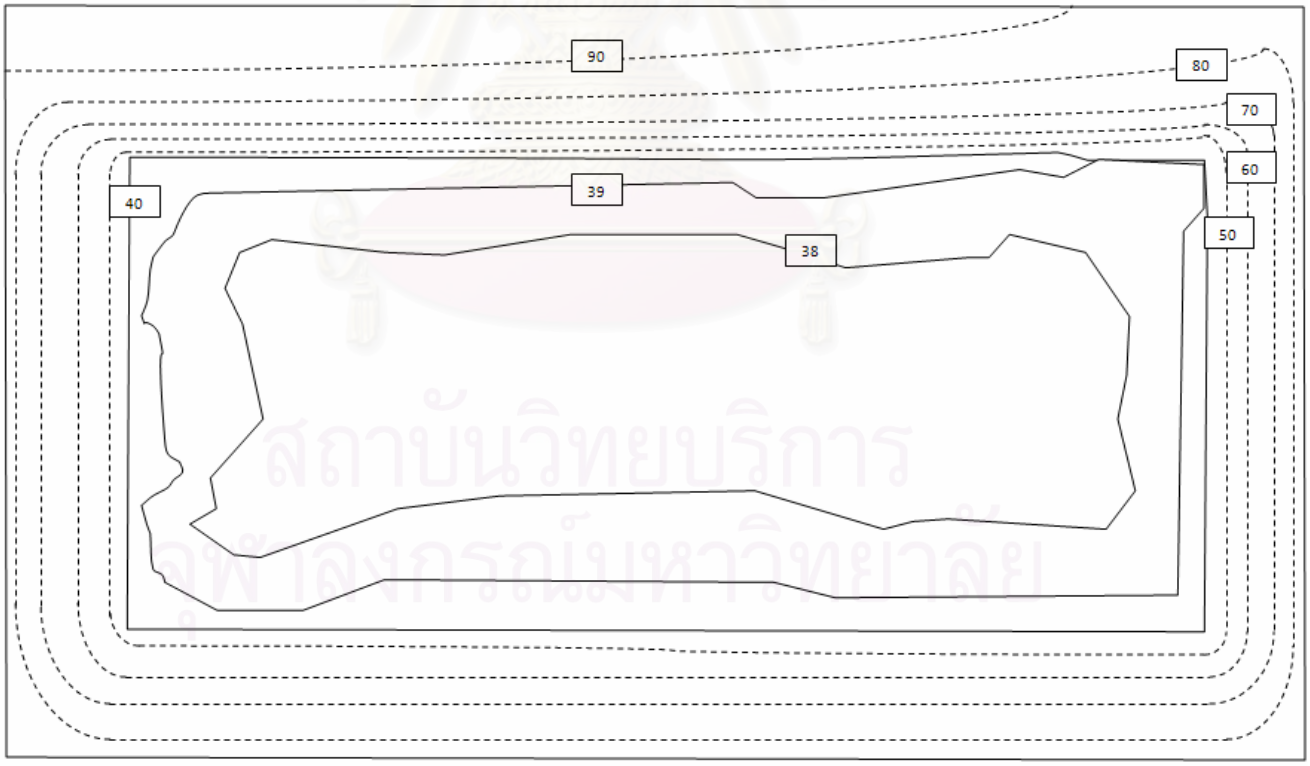
รูปที่ 5.8 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในหม้อนึ่งหลังผ่านขั้นตอนอัดไอน้ำครั้งที่1ตัดด้านข้าง



รูปที่ 5.9 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในหม้อนึ่งหลังผ่านขั้นตอนปล่อยไอน้ำครั้งที่1 ตัดด้านข้าง

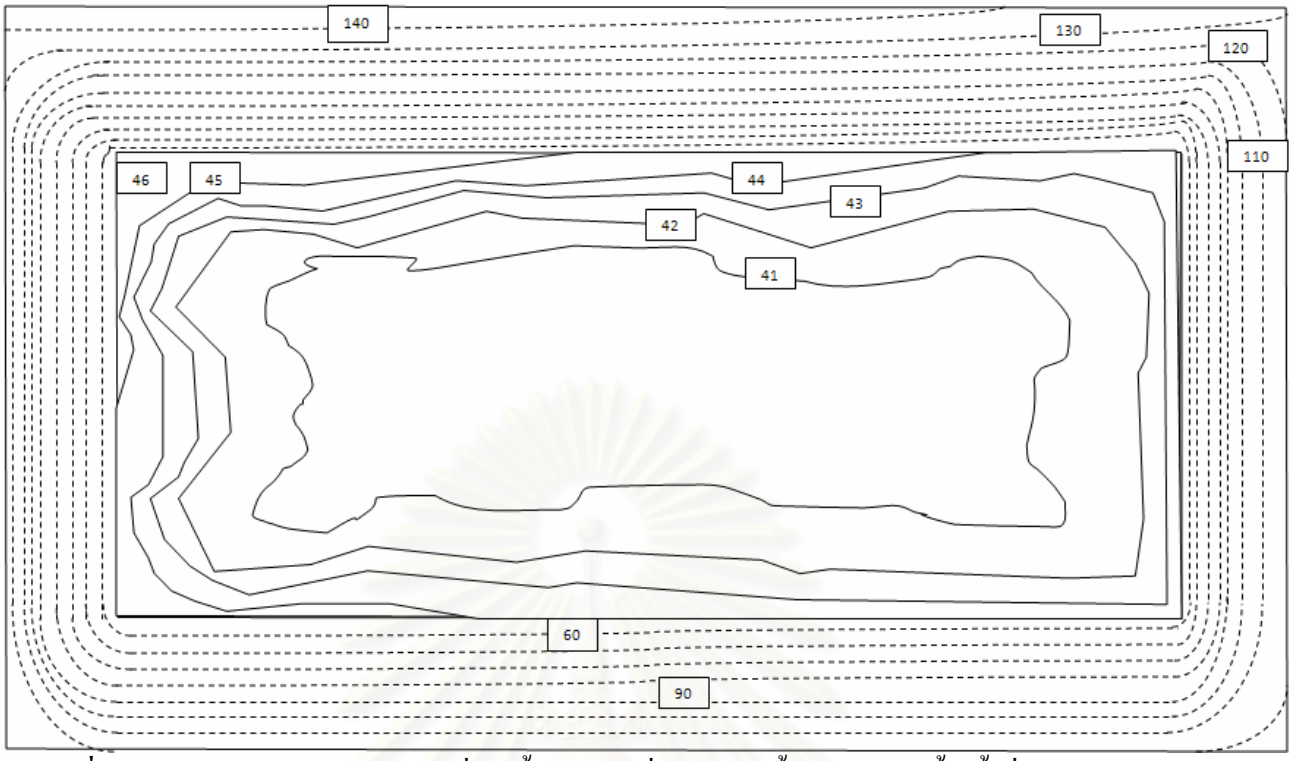


รูปที่ 5.10 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในหม้อนึ่งหลังผ่านขั้นตอนอัดไอน้ำครั้งที่2ตัดด้านข้าง

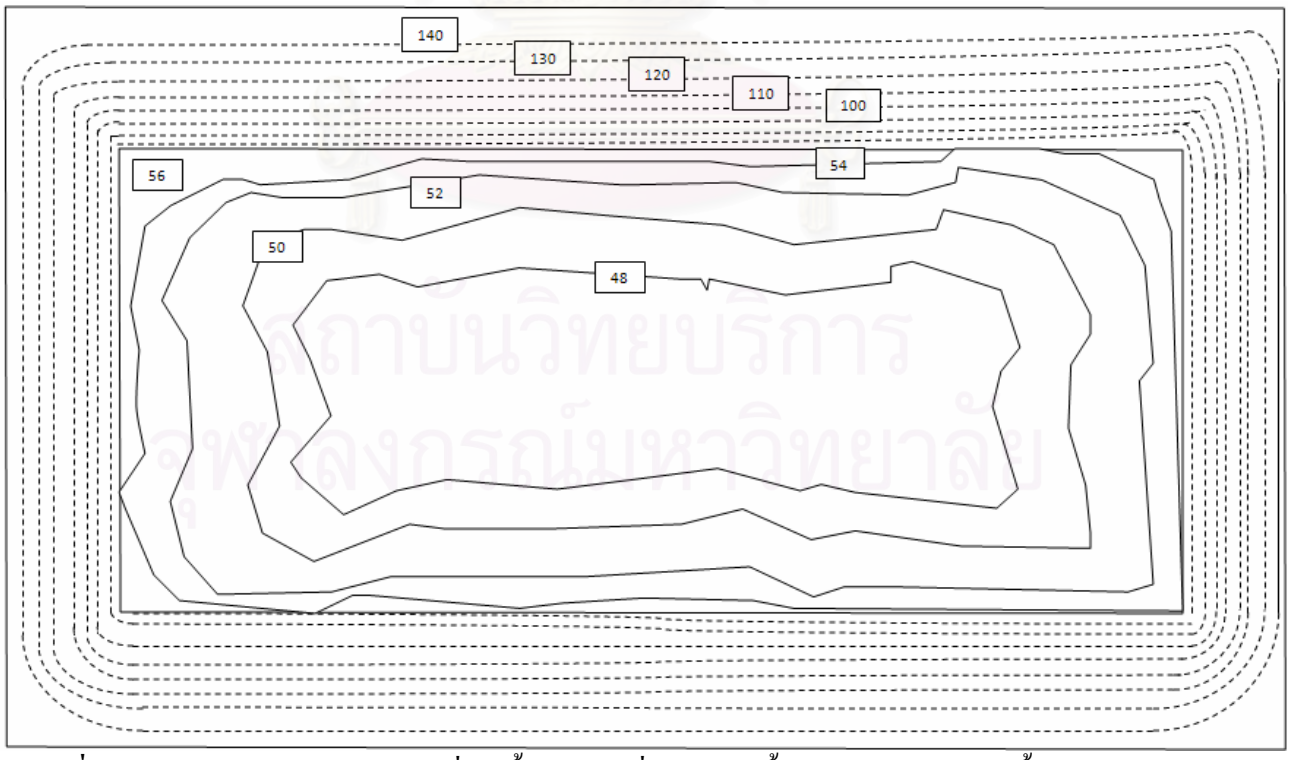


รูปที่ 5.11 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในหม้อนึ่งหลังผ่านขั้นตอนปล่อยไอน้ำครั้งที่2 ตัดด้านข้าง

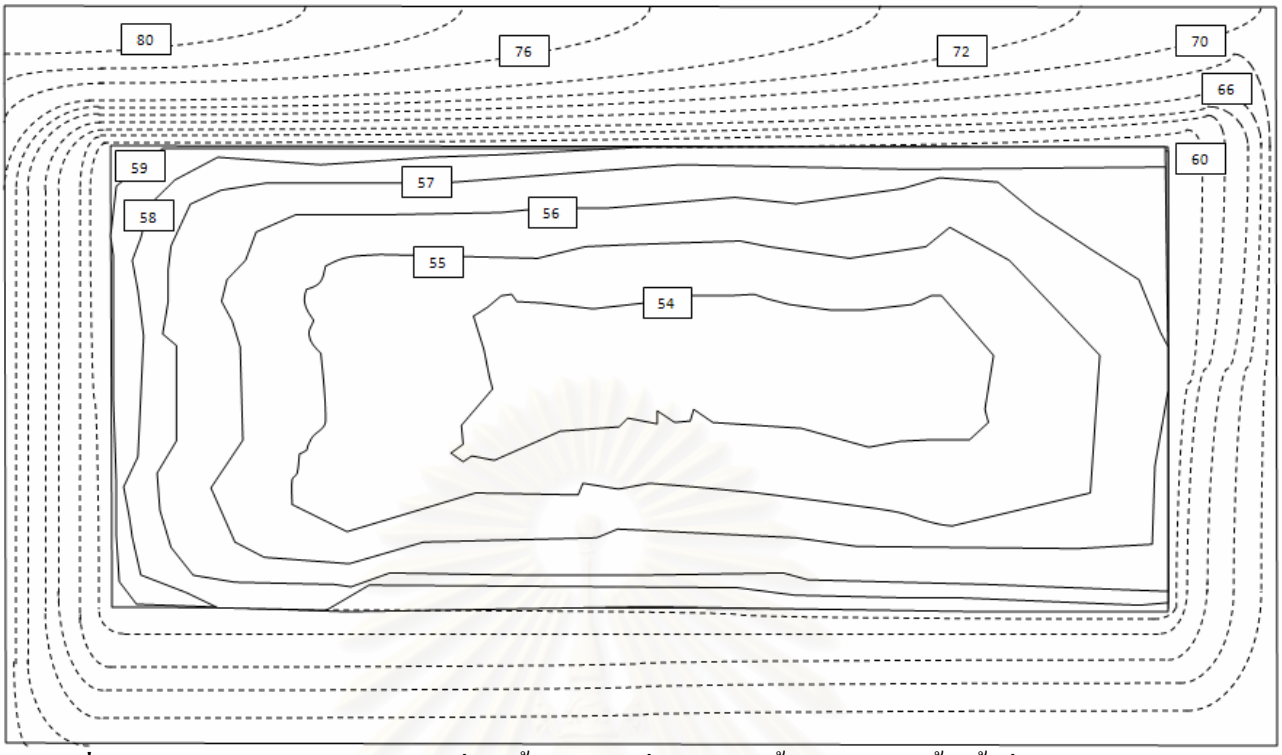
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.12 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในหม้อนึ่งหลังผ่านขั้นตอนอัดไอน้ำครั้งที่3ตัดด้านข้าง



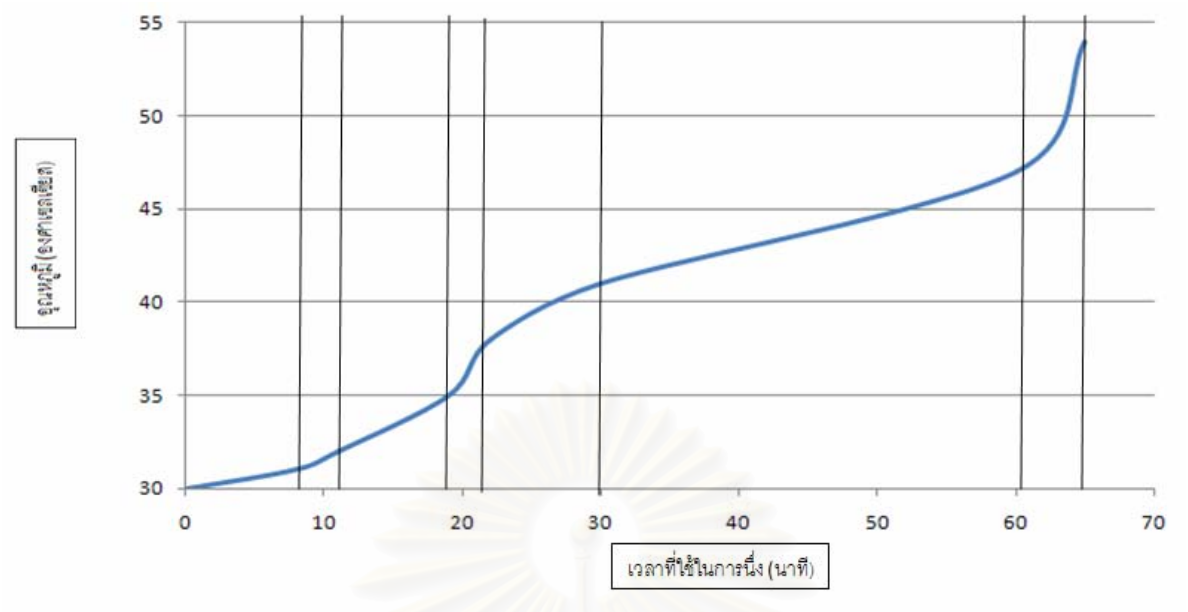
รูปที่ 5.13 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในหม้อนึ่งหลังผ่านขั้นตอนคงความดันไอน้ำตัดด้านข้าง



รูปที่ 5.14 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในหม้อนึ่งหลังผ่านขั้นตอนอัดไอน้ำครั้งที่3ตัดด้านข้าง

จากรูปที่5.7-5.14 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบะผลปาล์มในหม้อนึ่งโดยลักษณะการถ่ายเทความร้อน จะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณผิวของกระบะผลปาล์มเข้าไปสู่บริเวณด้านในของกระบะผลปาล์ม โดยบริเวณผิวกระบะผลปาล์มจะมีอุณหภูมิสูงกว่า ภายในกระบะผลปาล์ม โดยวัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในกระบะผลปาล์มบริเวณที่อุณหภูมิถ่ายเทได้น้อยสุด ตรงบริเวณกึ่งกลางของกระบะบรรจุผลปาล์มจุดศูนย์กลางมวลของกระบะ ตามขั้นตอนการนึ่งแบบอัดไอน้ำสามครั้ง (Ideal triple peak) แสดงดังรูปที่5.15

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

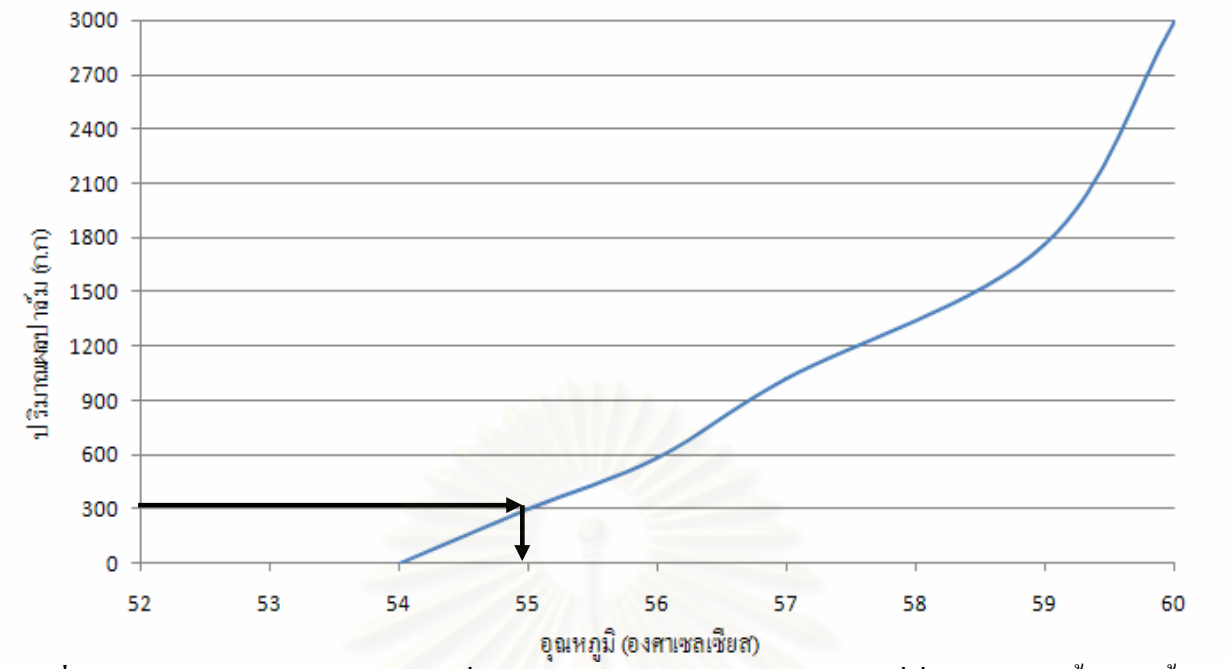


รูปที่ 5.15 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณจุดศูนย์กลางมวลในกระบะผลปาล์มตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม

จากผลการจำลองการถ่ายเทความร้อนของผลปาล์มในหม้อนึ่งผลปาล์มโดยวิธีแบบอัดไอน้ำสามครั้ง (Ideal triple peak) ได้ผลปรากฏว่าอุณหภูมิของผลปาล์มจะเพิ่มขึ้นตลอดในขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มโดยในขั้นตอนที่อัดไอน้ำเข้าหม้อนึ่งจะทำให้อุณหภูมิในผลปาล์มสูงขึ้น แต่ในขั้นตอนที่ปล่อยไอน้ำออกจากหม้อนึ่ง ก็สามารถเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ผลปาล์มได้เช่นกันเนื่องจากอุณหภูมิภายในหม้อนึ่งยังคงมีอุณหภูมิสูงกว่าในเนื้อผลปาล์มทำให้ยังมีการแลกเปลี่ยนความร้อนกันเกิดขึ้น

5.2.1 ผลการพิจารณาหาอุณหภูมิที่ใช้ตัดสินถึงจุดที่ผลปาล์มนึ่งสุก

จากงานวิจัยของ Sivasothy Kandiah ได้ศึกษาถึงอุณหภูมิของผลปาล์มที่ผ่านการนึ่งแล้วปรากฏว่าปริมาณผลปาล์มที่นึ่ง 3000 กิโลกรัมจะมีปริมาณที่ต้องนำกลับมานึ่งใหม่ประมาณ 300 กิโลกรัมคิดเป็น10 เปอร์เซ็นต์ โดยถือว่าเป็นผลปาล์มที่นึ่งไม่สุก และเมื่อทำการวัดอุณหภูมิผลปาล์มที่นึ่งสุกอุณหภูมิอยู่ในช่วงประมาณ 55-60 องศาเซลเซียส โดยผลการจำลองการนึ่งผลปาล์มได้ปริมาณของผลปาล์มสะสมในกระบะผลปาล์มที่อุณหภูมิต่างๆในรูปที่ 5.16

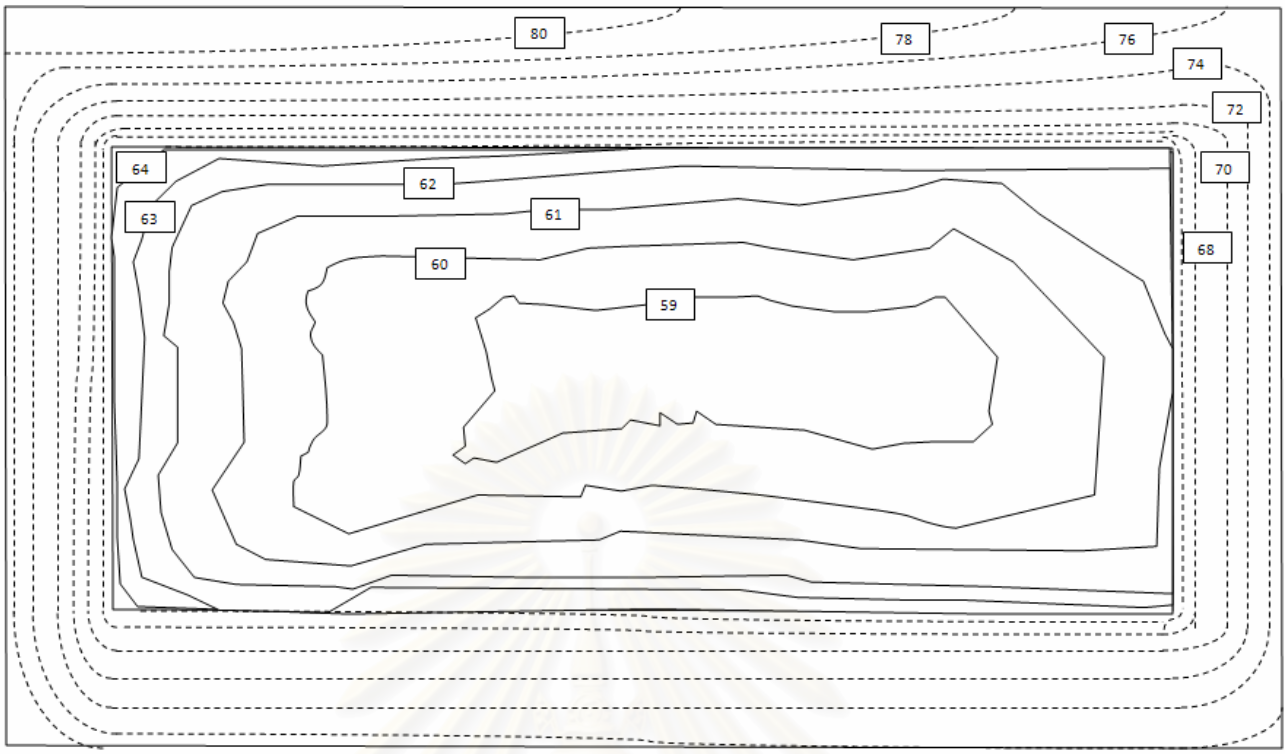


รูปที่ 5.16 แสดงปริมาณผลปาล์มสะสมที่อุณหภูมิต่างๆภายในกระบะผลปาล์มที่นึ่งแบบอัดไอน้ำสามครั้ง

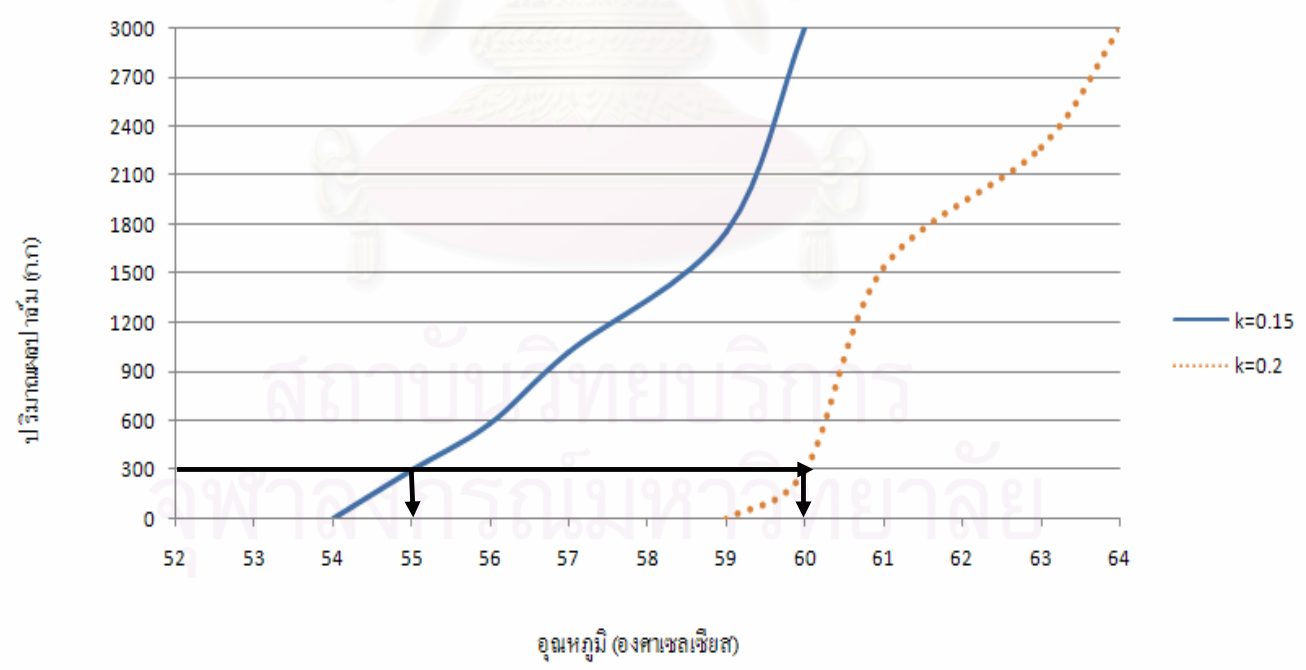
จากรูปที่5.16 แสดงให้เห็นว่าปริมาณผลปาล์มสะสมประมาณ 300กิโลกรัม จะอยู่ที่อุณหภูมิน้อยกว่า 55 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณผลปาล์มร้อยละ 10 ของผลปาล์ม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sivasothy Kandiah ที่ระบุไว้ว่าอุณหภูมิของผลปาล์มที่ถือว่านึ่งสุกอยู่ในช่วง55-60 องศาเซลเซียส และมีปริมาณนึ่งไม่สุกประมาณร้อยละ10 ของผลปาล์มทั้งหมด ดังนั้นเราสามารถระบุได้ว่าอุณหภูมิที่ใช้พิจารณาว่าผลปาล์มนึ่งสุกอยู่ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

เมื่อทำการศึกษาถึงค่าการนำความร้อนของกระบะบรรจุผลปาล์มพบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนค่าจะส่งผลให้อุณหภูมิของผลปาล์มในกระบะบรรจุผลปาล์มมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป โดยเมื่อทำการเพิ่มค่าการนำความร้อนจาก 0.15งานต่อเมตรเคลวิน เป็น0.2งานต่อเมตรเคลวิน ได้ผลการจำลองการนึ่งผลปาล์มหลังผ่านขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มแบบอัดไอน้ำสามครั้งแสดงดังรูปที่5.17 และปริมาณผลปาล์มสะสมในกระบะผลปาล์มที่อุณหภูมิต่างๆในรูปที่5.18

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่5.17 แสดงอุณหภูมิภายในหม้อนึ่งหลังผ่านการนึ่งผลปาล์มเมื่อ k = 0.2 ตัดด้านข้าง



รูปที่5.18 แสดงปริมาณผลปาล์มสะสมที่อุณหภูมิต่างๆภายในกระบะผลปาล์มที่นึ่งแบบอัดไอน้ำสามครั้งที่ค่าการนำความร้อนเท่ากับ0.15-0.2 งานต่อเมตรเคลวิน

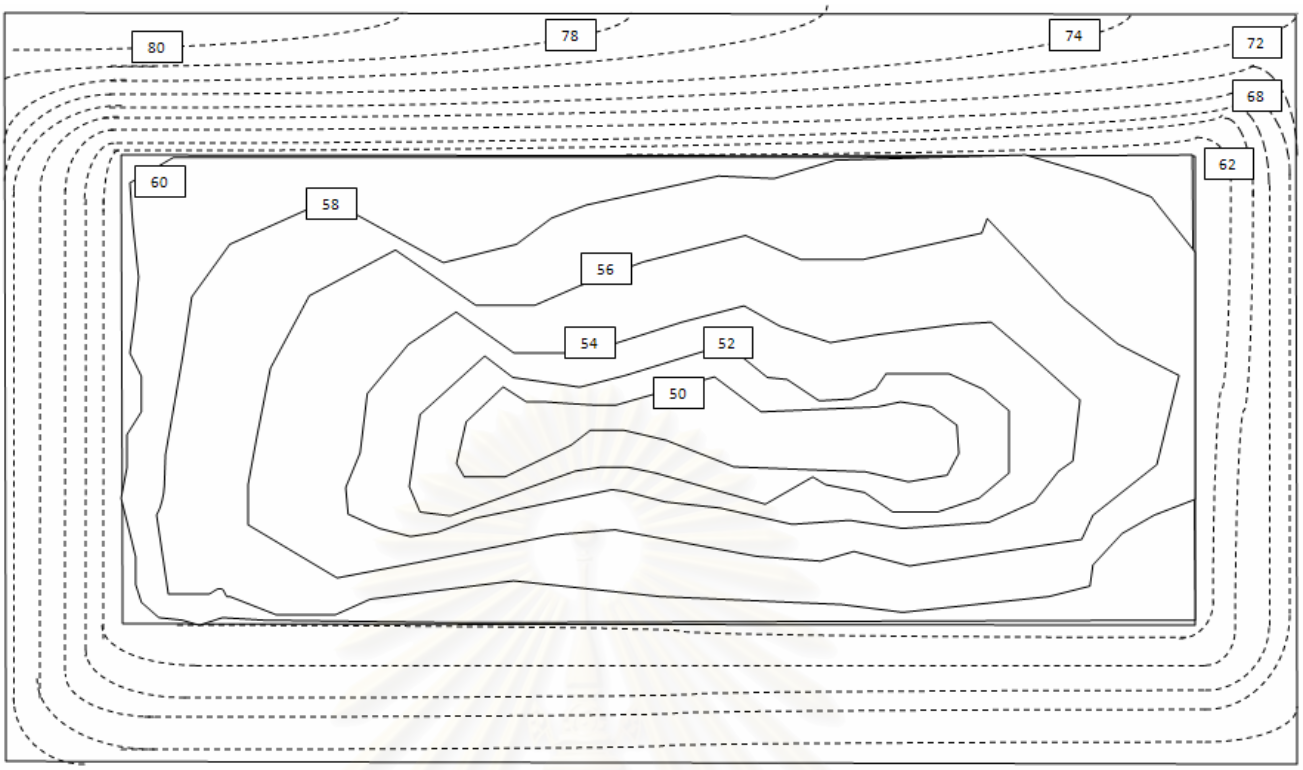
จากรูปที่5.18 แสดงให้เห็นว่าปริมาณผลปาล์มสะสมประมาณ 3000กิโลกรัม จะอยู่ที่อุณหภูมิน้อยกว่า 55 องศาเซลเซียสในกรณีที่ค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.15งานต่อเมตรเคลวิน และจะอยู่ที่อุณหภูมิน้อยกว่า 60 องศาเซลเซียสในกรณีที่ค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.2งานต่อเมตรเคลวิน โดยมีปริมาณผลปาล์มร้อยละ 10 ของผลปาล์มทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sivasothy Kandiah ที่ระบุไว้ว่าอุณหภูมิของผลปาล์มที่ถือว่านึ่งสุกอยู่ในช่วง55-60 องศาเซลเซียส และมีปริมาณนึ่งไม่สุกประมาณร้อยละ10 ของผลปาล์มทั้งหมด ดั้งนั้นเราสามารถระบุได้ว่าค่าการนำความร้อนที่เราสามารถนำมาใช้ในการออกแบบจำลองจะอยู่ในช่วง 0.15-0.2 งานต่อเมตรเคลวิน โดยงานวิจัยนี้จะใช้ค่าการนำความร้อนที่ 0.15 งานต่อเมตรเคลวิน และอุณหภูมิที่ใช้ในการพิจารณาอยู่ที่ประมาณ 55 องศาเซลเซียส

และจากการพิจารณาอุณหภูมิผลปาล์มที่นึ่งสุก แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่ผลปาล์มนึ่งไม่สุกจากรูปที่ 5.14 และ5.17 จะแสดงให้เห็นว่าอยู่ที่บริเวณตรงแกนกลางไปด้านหลังสาเหตุที่นึ่งไม่สุก เพราะเนื่องจากไอน้ำที่ให้ความร้อนแก่ผลปาล์มเคลื่อนที่จากหน้าไปหลังทำให้บริเวณด้านหลังนั้นจะมีการถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำเข้าสู่ผลปาล์ม ได้ช้ากว่าด้านหน้าที่จะได้เจอความร้อนจากไอน้ำทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้เร็วกว่า ส่วนบริเวณกึ่งกลางด้านในที่อุณหภูมิต่ำกว่าด้านนอกเพราะเนื่องจากกระบะผลปาล์มที่ออกแบบมีความหนา ทำให้การถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำส่งไปถึงบริเวณด้านในได้ช้ากว่าผิวด้านนอกที่ติดกับไอน้ำโดยตรง

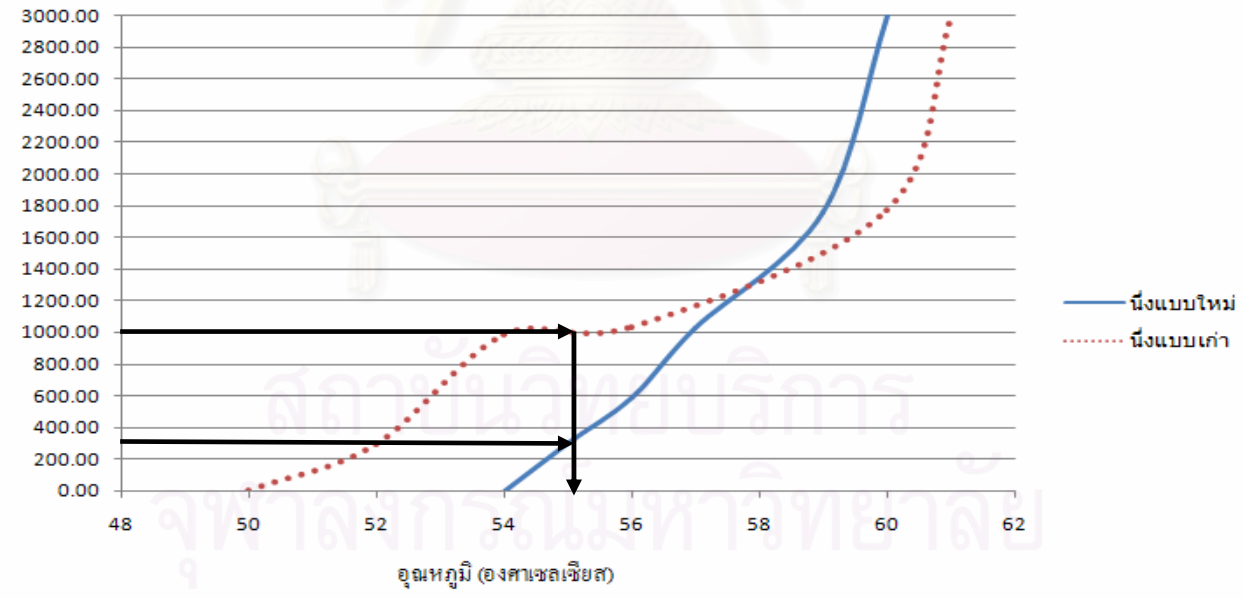
ดั้งนั้นผลจากการออกแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนภายในผลปาล์ม ปรากฏว่าอุณหภูมิภายในผลปาล์มจะค่อยๆสูงขึ้นตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม ทั้งในขั้นตอนที่อัดไอน้ำและปล่อยไอน้ำจากหม้อนึ่ง สาเหตุที่เป็นอย่างนี้เพราะเนื่องจากอุณหภูมิภายในหม้อนึ่ง จะสูงกว่าอุณหภูมิภายในของผลปาล์มเสมอทำให้ยังคงมีการแลกเปลี่ยนความร้อนจากไอน้ำเข้าสู่ผลปาล์ม และจากข้อมูล ปริมาณของผลปาล์มที่นึ่งไม่สุกปรากฏว่าจะได้อุณหภูมิที่ทำให้ผลปาล์มถือว่านึ่งสุกอยู่ที่ 55 องศาเซลเซียสและช่วงค่าการนำความร้อนจะอยู่ที่0.15-0.2 งานต่อเมตรเคลวิน

5.2.2 ผลการตรวจสอบแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนของผลปาล์มตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม

ในการตรวจสอบแบบจำลอกการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำทำการตรวจสอบตามหัวข้อที่3.4.2 คือการออกแบบขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มใหม่โดยเปลี่ยน วิธีการนึ่งผลปาล์มให้เป็นแบบเก่า นั้นคือการ อัดไอน้ำเข้าสู่หม้อนึ่ง 60 นาทีหลังจากนั้นปล่อยไอน้ำออก 30 นาที เป็นขั้นตอนเก่าที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์ม โดยงานวิจัยของ Sivasothy Kandiah ที่ระบุไว้ว่าปริมาณผลปาล์มที่นึ่ง 3000กิโลกรัม จะมีส่วนที่นึ่งไม่สุกประมาณ 1000กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ35 จากการจำลองถึงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในกระบะผลปาล์มแสดงดังรูปที่5.19 และปริมาณของผลปาล์มสะสมในกระบะผลปาล์มที่อุณหภูมิต่างๆในรูปที่5.20



รูปที่5.19 แสดงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในหม้อนึ่งผลปาล์มที่นึ่งแบบเก่าตัดด้านข้าง



รูปที่5.20 แสดงปริมาณผลปาล์มสะสมที่อุณหภูมิต่างๆภายในกระบะผลปาล์มที่นึ่งแบบอัดไอน้ำสามครั้งและนึ่งแบบเก่า

จากรูปที่5.20 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการคำนวณหา ปริมาณผลปาล์มสะสมที่นึ่งไม่สุก จากแบบจำลองผลปาล์มขั้นตอนการนึ่งแบบเก่าโดยพิจารณาอุณหภูมิที่นึ่งสุกที่ 55องศาเซลเซียส ได้ปริมาณที่นึ่งไม่สุกเท่ากับ 1035กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละปริมาณผลปาล์มสะสมเท่ากับ ร้อยละ34 ใกล้เคียงกับข้อมูลจากทางโรงงานและงานวิจัยที่ระบุไว้ว่าร้อยละ35 คิดเป็นร้อยละความคาดเคลื่อนระหว่างผลการจำลองกับโรงงานเท่ากับ ร้อยละ1.43 แสดงว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการพิจารณาว่าผลปาล์มนึ่งสุก สามารถนำมาใช้ในการออกแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนของผลปาล์มในขั้นตอนการนึ่งปาล์มด้วยไอน้ำแบบกะได้

และจากรูปที่5.19 แสดงให้เห็นอุณหภูมิเฉลี่ยที่เกิดขึ้นภายในผลปาล์ม โดยพิจารณาอุณหภูมิที่นึ่งสุกที่ 55องศาเซลเซียส จะสามารถบอกถึงตำแหน่งของผลปาล์มที่ยังนึ่งไม่สุกอยาตรงกึ่งกลางไปทางด้านหลังเช่นเดียวกับวิธีการนึ่งแบบอัดไอน้ำสามครั้ง แต่จะมีบริเวณที่นึ่งไม่สุกเยอะกว่าสาเหตุมาจากวิธีการนึ่งแบบเก่าจะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำเข้าสู่ผลปาล์มได้ยากกว่าแบบใหม่เนื่องมาจากว่า ไม่มีการเตรียมความร้อนในหม้อนึ่งก่อนทำการนึ่งจริง

และการตรวจสอบความถูกต้องของการออกแบบจำลองในส่วนการถ่ายเทความร้อนในกระบะใส่ผลปาล์ม ใช้ตามการตรวจสอบแบบจำลอกการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำทำการตรวจสอบตามหัวข้อที่3.4.1 ในส่วนที่1 ที่ทำการตรวจสอบแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบปริมาณไอน้ำที่เข้ากับปริมาณไอน้ำที่อยู่ภายในหม้อนึ่งได้ผลแสดงดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 แสดงปริมาณไอน้ำทางเข้า-ออก เทียบกับปริมาณไอน้ำที่สะสมอยู่ในหม้อนึ่งในส่วนของการออกแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนในผลปาล์ม

		ขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม							
		อัดไอน้ำครั้งที่1	ปล่อยไอน้ำครั้งที่1	อัดไอน้ำครั้งที่2	ปล่อยไอน้ำครั้งที่2	อัดไอน้ำครั้งที่3	คงความดันไอน้ำ	ปล่อยไอน้ำครั้งที่3	รวม
ปริมาณไอน้ำ เข้า-ออก(ก.ก)	เข้า	112.32	-	112.32	-	112.32	421.2	-	758.16
	ออก	-	28.08	-	28.08	-	-	70.2	126.36
ปริมาณไอน้ำในหม้อนึ่ง (ก.ก)	สะสม	111.81	82.27	192.82	166.97	280.25	680.36	624.94	624.94
ร้อยละความคาดเคลื่อน		0.45	2.34	1.9	0.9	0.2	3.08	1.09	1.09

จากตารางที่ 5.4 แสดงให้เห็นถึงร้อยละความคาดเคลื่อนของแบบจำลองอยู่ในช่วง 0.20-3.08 โดยระดับความคาดเคลื่อนในช่วงนี้ถือว่ายอมรับได้แสดงว่าแบบจำลองมีความแม่นยำประมาณ 97% ใน

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบะปาล์ม สามารถใช้ได้ในส่วนของการออกแบบสาเหตุที่เกิดความคาดเคลื่อนมาจากการอ่านค่าปริมาณไอน้ำในหม้อนึ่งเป็นค่าเฉลี่ย

5.3ผลการจำลองการถ่ายเทความร้อนของผลปาล์มในกระบะบรรจุผลปาล์มแบบที่พัฒนา

ผลการทดสอบแบบจำลองที่พัฒนา ตามแบบจำลองผลปาล์มที่ออกแบบตามหัวข้อที่3.4 แบ่งแบบจำลองที่พัฒนาออกเป็นสองส่วน ในส่วนของการลดความยาวและขนาดของกระบะที่บรรจุผลปาล์มและเปลี่ยนรูปร่างของกระบะที่บรรจุผลปาล์ม โดยศึกษาอุณหภูมิของผลปาล์มหลังจากผ่านกระบวนการนึ่งผลปาล์มเรียบร้อยแล้ว เพื่อหาปริมาณของผลปาล์มที่นึ่งไม่สุกมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองต้นแบบ

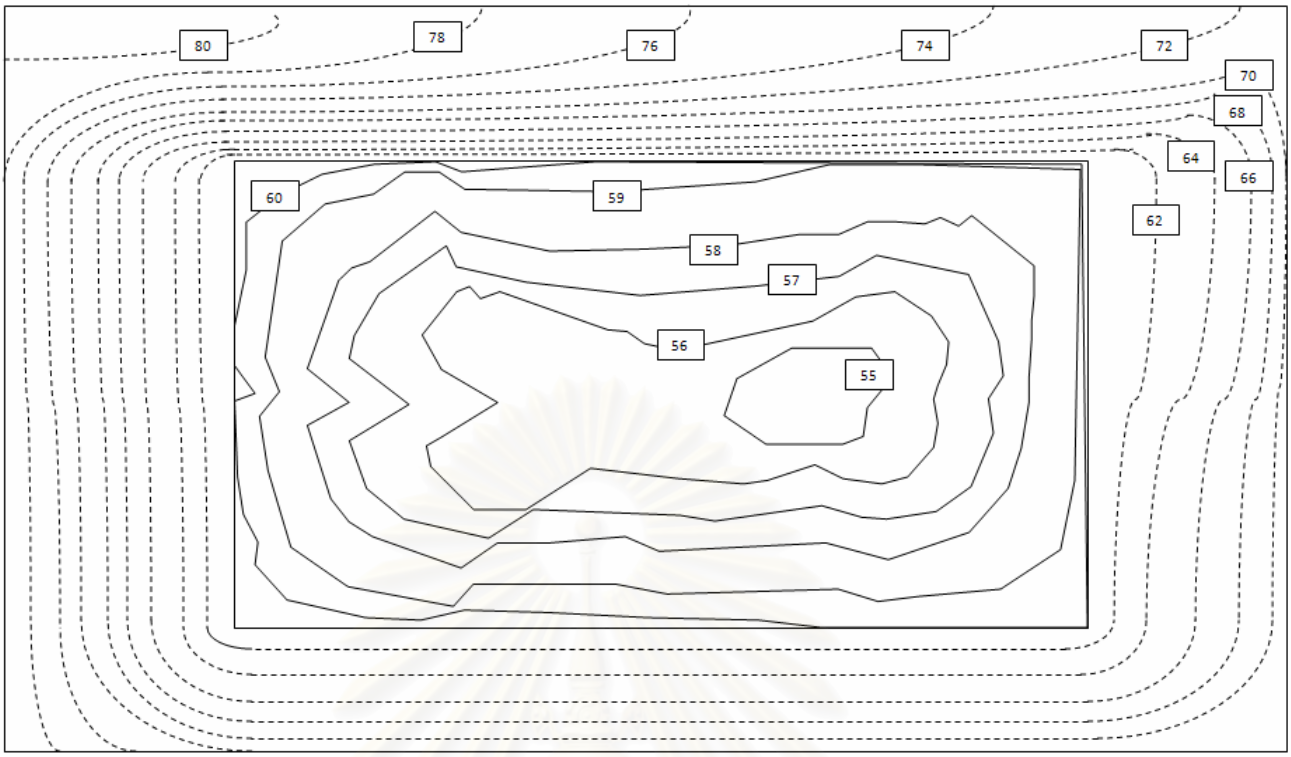
5.3.1 ผลการพัฒนาแบบจำลองโดยการลดความยาวและขนาดของกระบะ

จากหัวข้อที่3.4.1 นำแบบจำลองที่พัฒนามาผ่านกระบวนการนึ่งผลปาล์มแบบอัดไอน้ำสามครั้ง (Ideal triple peak) แบ่งผลการจำลองออกเป็น สองส่วน ได้แก่ในส่วนลดความยาวของกระบะใส่ผลปาล์มและในส่วนของการลดขนาดกระบะผลปาล์ม แบบจำลองที่ทำการพัฒนาโดยการลดความยาวลงจาก 2.5 เมตรไปเป็น 2.25 เมตรและในส่วนของการลดขนาด ลดขนาดกระบะปาล์มจาก 1.25 x1.25 เมตรไปเป็น 1x1 เมตร

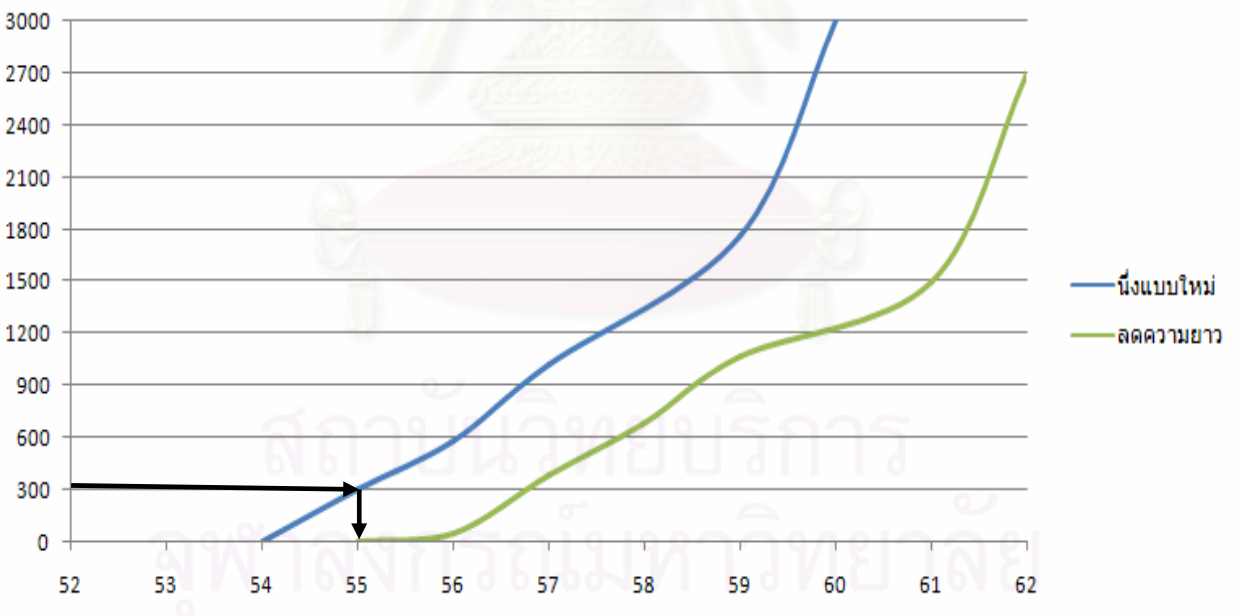
5.3.1.1 ผลการพัฒนาแบบจำลองโดยการลดความยาวของกระบะ

จากแบบจำลองที่ออกแบบในหัวข้อที่4.5.1.1 ทำการจำลองขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มตามวิธีการแบบอัดไอน้ำสามครั้ง (Ideal triple peak) เพื่อศึกษาถึงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นของผลปาล์มหลังผ่านกระบวนการนึ่งผลปาล์ม เพื่อคำนวณหาปริมาณของผลปาล์มที่นึ่งไม่สุกและนำไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ไม่ได้พัฒนาต่อไป โดยได้ลักษณะของอุณหภูมิสุดท้ายในผลปาล์มและอุณหภูมิเฉลี่ยภายในผลปาล์มแสดงดังรูปที่ 5.21 และปริมาณของผลปาล์มสะสมในกระบะผลปาล์มที่อุณหภูมิต่างๆตามแบบจำลองที่ลดความยาวลงในรูปที่ 5.22

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.21 แสดงลักษณะอุณหภูมิของผลปาล์มที่พัฒนาแบบจำลอง ที่ลดความยาวกระบะตัดด้านข้าง



รูปที่ 5.22 แสดงปริมาณผลปาล์มสะสมที่อุณหภูมิต่างๆภายในกระบะผลปาล์มดั้งเดิมและแบบลดความยาวกระบะ

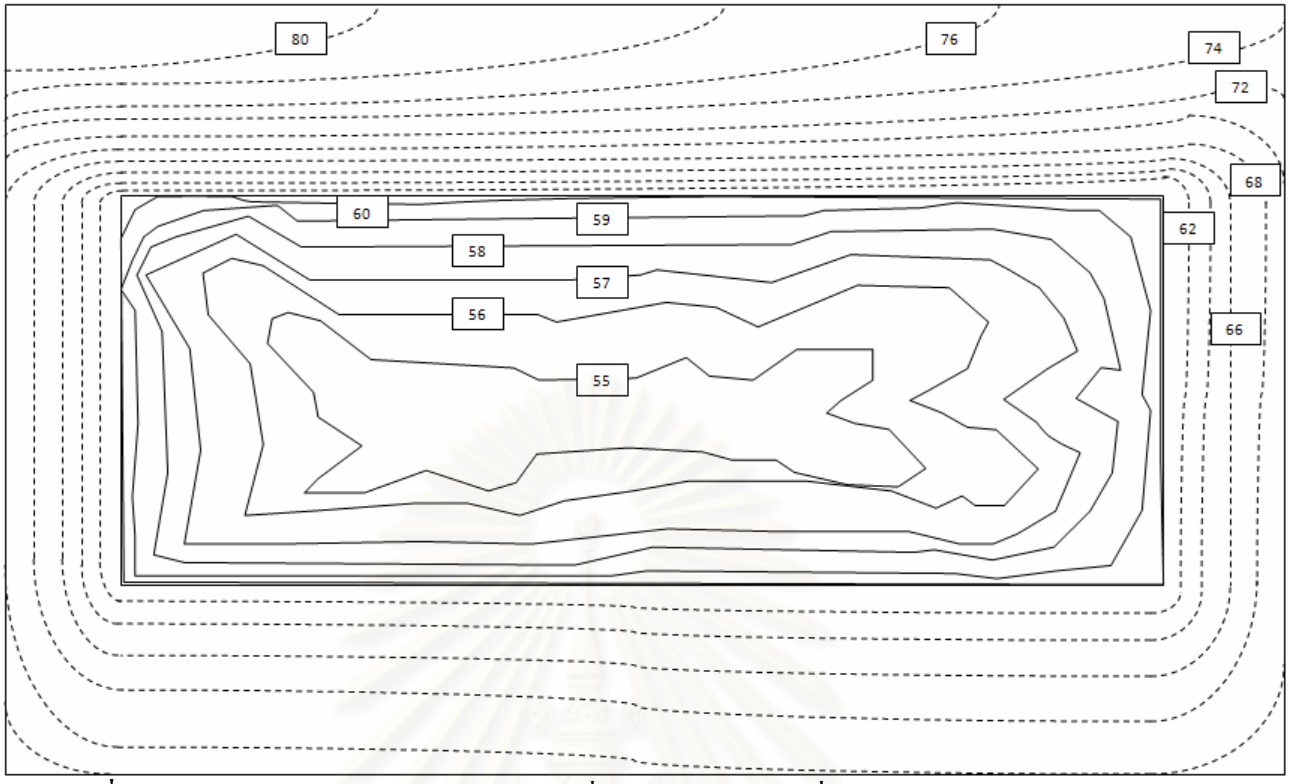
จากรูปที่ 5.21 และ5.22 แสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิเฉลี่ยภายในผลปาล์มและปริมาณผลปาล์มสะสมจากแบบจำลองที่พัฒนาแบบทำการลดความยาวของกระบะให้น้อยลง ผลปรากฏว่าอุณหภูมิขั้นต่ำภายในผลปาล์มอยู่ที่ 55 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ผลปาล์มสุกพอดี สาเหตุที่ผลปาล์มสามารถนึ่งสุกนั้นเกิดจากการที่เราทำการตัดเอาบริเวณที่ทำการแลกเปลี่ยนความร้อนไม่ดีที่แสดงจากหัวข้อ5.2.2 ที่แสดงให้เห็นว่าการที่กระบะบรรจุผลปาล์มมีความยาวมากเกินไปจะทำให้ไม่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอน้ำกับผลปาล์มได้ดีพอที่จะทำให้ผลปาล์มสุก แต่เมื่อทำการตัดเอาความยาวของกระบะออกก็จะช่วยให้สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอน้ำกับผลปาล์มได้ดีขึ้นเพราะไอน้ำร้อนจะมาจากทางด้านหน้าที่เราทำการอัดไอน้ำเข้าสู่หม้อนึ่งไปทางด้านหลังที่เราทำการปล่อยไอน้ำออก แสดงว่าความร้อนจะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากด้านหน้ามาทางด้านหลัง และจากแบบจำลองนี้แสดงให้เห็นถึงปริมาณของผลปาล์มที่นึ่งสุกตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มเท่ากับ 2700 กิโลกรัม เมื่อใช้ปริมาณไอน้ำในการนึ่งเท่ากันกับแบบจำลองที่ไม่ได้พัฒนา

และผลการตรวจสอบความถูกต้องโดยการทำการตรวจสอบแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบปริมาณไอน้ำที่เข้ากับปริมาณไอน้ำที่อยู่ภายในหม้อนึ่ง ปรากฏว่าร้อยละความคาดเคลื่อนของแบบจำลองอยู่ในช่วง 1.43-4.97

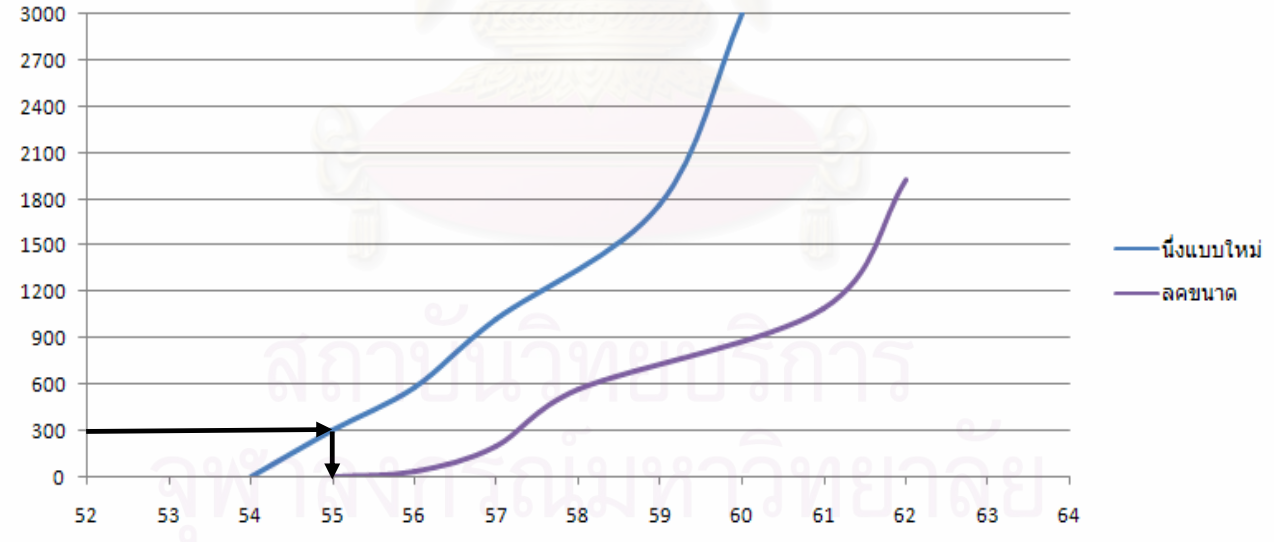
5.3.1.2 ผลการพัฒนาแบบจำลองโดยการลดขนาดของกระบะ

จากแบบจำลองที่ออกแบบในหัวข้อที่4.5.1.2 ทำการจำลองขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มตามวิธีการแบบอัดไอน้ำสามครั้ง (Ideal triple peak) เพื่อศึกษาถึงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นของผลปาล์มหลังผ่านกระบวนการนึ่งผลปาล์ม เพื่อคำนวณหาปริมาณของผลปาล์มที่นึ่งไม่สุกและนำไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ไม่ได้พัฒนาต่อไป โดยได้ลักษณะของอุณหภูมิสุดท้ายในผลปาล์มและอุณหภูมิเฉลี่ยภายในผลปาล์มแสดงดังรูปที่ 5.23 และปริมาณของผลปาล์มสะสมในกระบะผลปาล์มที่อุณหภูมิต่างๆตามแบบจำลองที่ลดความยาวลงในรูปที่ 5.24

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.23 แสดงลักษณะอุณหภูมิของผลปาล์มที่พัฒนาแบบจำลอง ที่ลดขนาดกระบะตัดด้านข้าง



รูปที่ 5.24 แสดงปริมาณผลปาล์มสะสมที่อุณหภูมิต่างๆภายในกระบะผลปาล์มดั้งเดิมและแบบลดขนาดของกระบะ

จากรูปที่ 5.23 และรูปที่ 5.24 แสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิเฉลี่ย ภายในผลปาล์มและปริมาณสะสมของผลปาล์มที่อุณหภูมิต่างๆ ปรากฏว่าแบบจำลองที่ทำการพัฒนาโดยการลดขนาดลง อุณหภูมิภายในผลปาล์มต่ำที่สุดอยู่ที่ 55องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ผลปาล์มสุกพอดี เนื่องมาจากเมื่อทำการลดขนาดของกระบะ

ผลปาล์มลงจะทำให้ อุณหภูมิจากไอน้ำสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น และจากแบบจำลองนี้แสดงให้เห็นถึงปริมาณของผลปาล์มที่นึ่งสุกตามขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มเท่ากับ 2000 กิโลกรัม เมื่อใช้ปริมาณไอน้ำในการนึ่งเท่ากันกับแบบจำลองที่ไม่ได้พัฒนา

และผลการตรวจสอบความถูกต้องโดยการทำการตรวจสอบแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบปริมาณไอน้ำที่เข้ากับปริมาณไอน้ำที่อยู่ภายในหม้อนึ่ง ปรากฏว่าร้อยละความคาดเคลื่อนของแบบจำลองอยู่ในช่วง 0.90-4.70

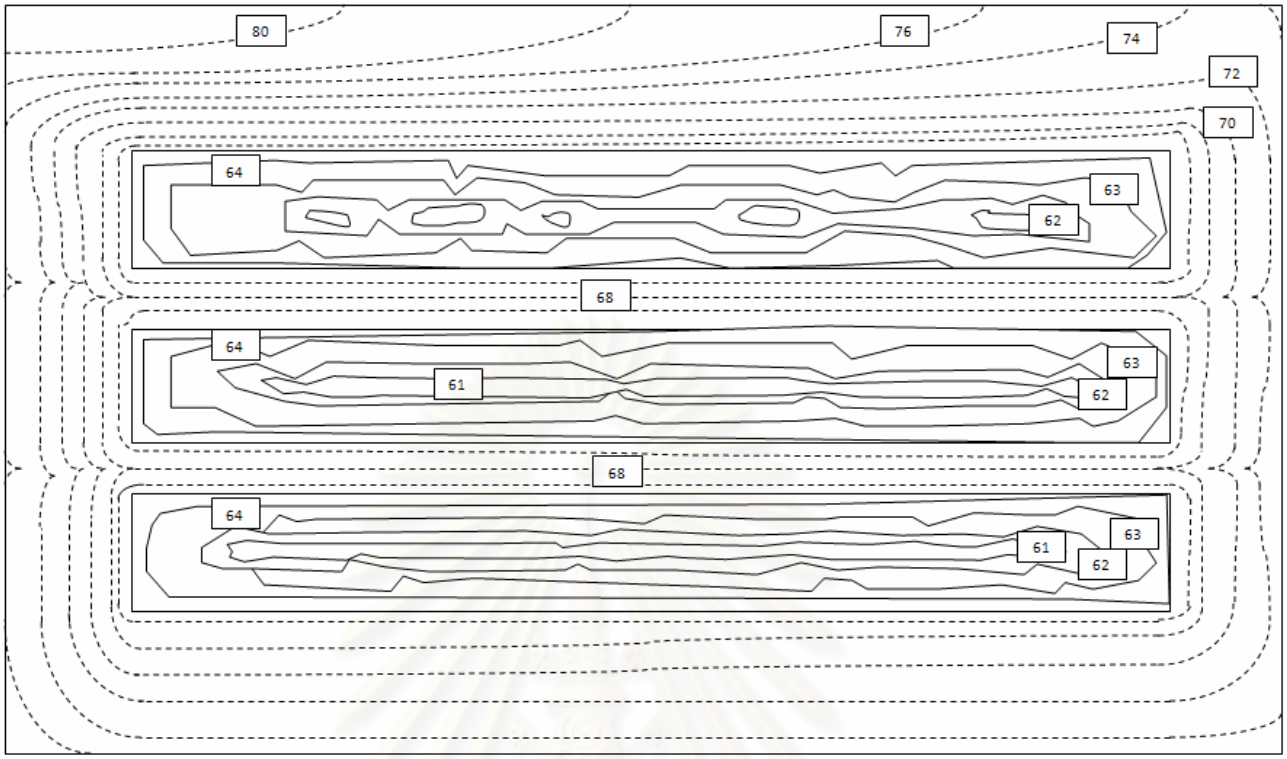
ผลจากการพัฒนาแบบจำลองผลปาล์มที่ออกแบบพัฒนาโดยการลดความยาวและแบบลดขนาดของกระบะ ปรากฏว่าเมื่อทำการลดความยาวของกระบะลงมาที่ 2.25เมตรจะสามารถนึ่งผลปาล์มขนาด 2700 กิโลกรัม ให้สุกได้เพราะเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำสู่ผลปาล์มมีการเคลื่อนที่มาจากทางด้านหน้าที่อัดไอน้ำเข้าหม้อนึ่ง ไปทางด้านหลังที่ปล่อยไอน้ำ ดังนั้นไอน้ำจะเกิดการพาความร้อนเกิดขึ้นเพื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับผลปาล์ม และเมื่อทำการลดความยาวลงโอกาสที่ผลปาล์มจะได้รับการถ่ายเทความร้อนจากการพาความร้อนขอไอน้ำร้อนที่ไปถึงจะเพิ่มขึ้นทำให้ผลปาล์มสามารถสุกได้ ส่วนทางด้านการลดขนาดกระบะปาล์มจากขนาด 1.25x1.25เมตรความยาว 2.5เมตร ไปเป็นขนาด 1x1เมตร ความยาว 2.5 เมตรปริมาณผลปาล์มเท่ากับ 2000กิโลกรัม ปรากฏว่าผลปาล์มที่ทำการพัฒนาจะนึ่งได้สุกทั้งกระบะเหมือนกับ การลดความยาวของกระบะ สาเหตุมาจากเมื่อเราทำการลดขนาดของกระบะ จะเกิดพื้นที่ว่างในหม้อนึ่งเพิ่มขึ้นทำให้ ไอน้ำสามารถเคลื่อนที่ได้ดีขึ้นส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำสู่ผลปาล์มได้ดีขึ้น

5.3.2 ผลการพัฒนาแบบจำลองโดยการเปลี่ยนรูปร่างของกระบะที่บรรจุผลปาล์ม

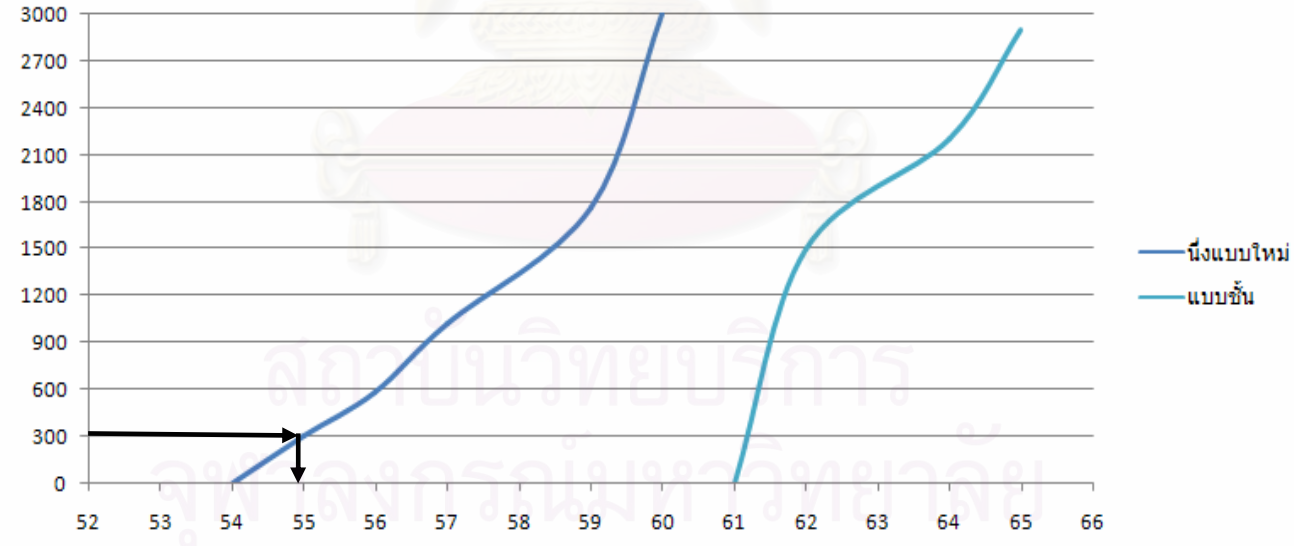
จากหัวข้อที่4.5.2 นำแบบจำลองที่พัฒนาผ่านกระบวนการนึ่งผลปาล์มแบบอัดไอน้ำสามครั้ง (Ideal triple peak) แบ่งผลการจำลองออกเป็น สองส่วนได้แก่ ผลการพัฒนาแบบจำลองโดยการเปลี่ยนรูปร่างของกระบะให้เป็นแบบเป็นชั้นๆวางซ้อนกัน และ ผลการพัฒนาแบบจำลองโดยการเปลี่ยนรูปร่างของกระบะให้เป็นแบบแถวๆเรียงต่อกัน

5.3.2.1ผลการพัฒนาแบบจำลองโดยการเปลี่ยนรูปร่างของกระบะให้เป็นแบบชั้นๆวางซ้อนกัน

จากแบบจำลองที่ออกแบบในหัวข้อที่4.5.2.1 ทำการจำลองขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มตามวิธีการแบบอัดไอน้ำสามครั้ง (Ideal triple peak) เพื่อศึกษาถึงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นของผลปาล์มหลังผ่านกระบวนการนึ่งผลปาล์ม เพื่อคำนวณหาปริมาณของผลปาล์มที่นึ่งไม่สุกและนำไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ไม่ได้พัฒนาต่อไป โดยได้ลักษณะของอุณหภูมิสุดท้ายในผลปาล์มและอุณหภูมิเฉลี่ยภายในผลปาล์มแสดงดังรูปที่ 5.25 และปริมาณของผลปาล์มสะสมในกระบะผลปาล์มที่อุณหภูมิต่างๆตามแบบจำลองที่ลดความยาวลงในรูปที่ 5.26



รูปที่ 5.25 แสดงลักษณะอุณหภูมิของผลปาล์มที่พัฒนาแบบจำลอง แบบเป็นชั้นๆวางซ้อนกันตัดด้านข้าง



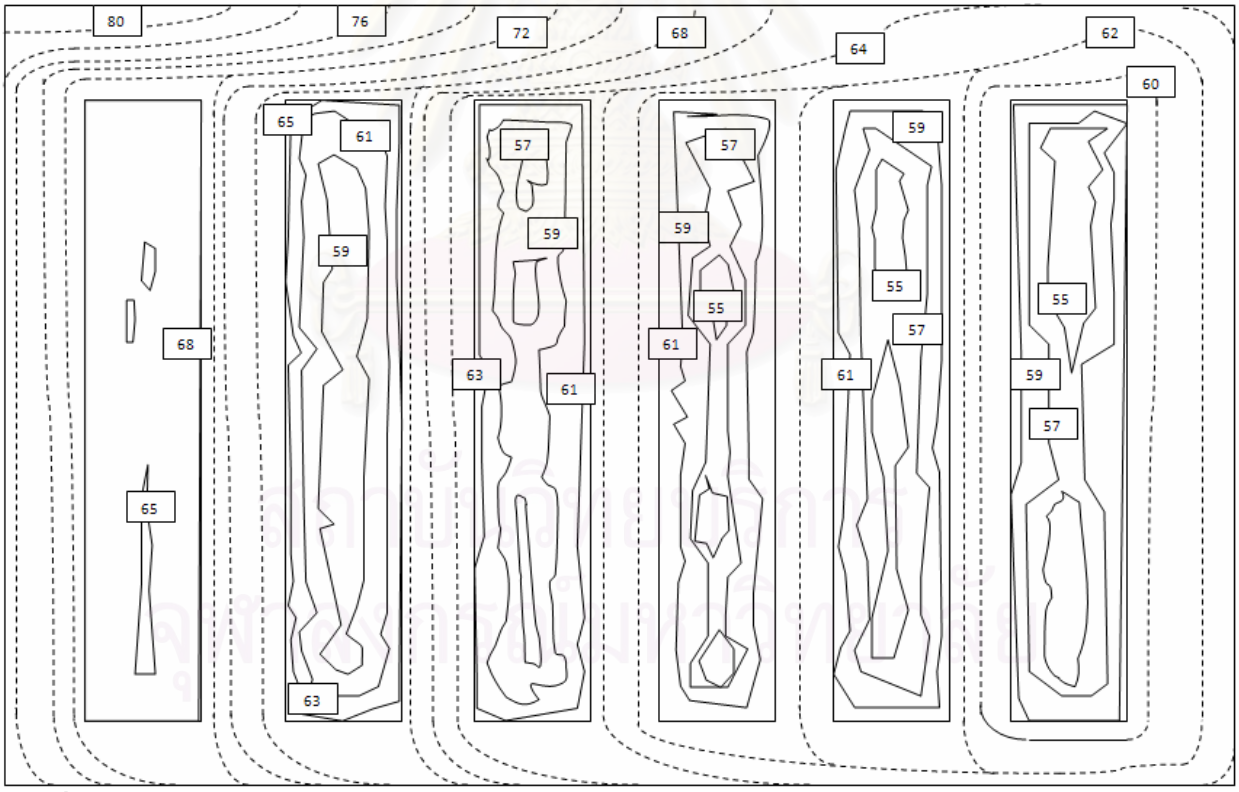
รูปที่5.26 แสดงปริมาณผลปาล์มสะสมที่อุณหภูมิต่างๆภายในกระบะผลปาล์มดั้งเดิมและแบบชั้นๆวางซ้อนกัน

จากรูปที่ 5.25 และรูปที่ 5.26 แสดงให้เห็นลักษณะของอุณหภูมิภายในผลปาล์ม และปริมาณสะสมของผลปาล์มที่อุณหภูมิต่างๆ ปรากฏว่าการออกแบบจำลองผลปาล์มให้ออกแบบเป็นชั้นๆ แล้ววางซ้อนกันจะทำให้ไอน้ำสามารถเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างชั้นได้ ส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอน้ำกับผลปาล์มเพิ่มขึ้น ทำให้ได้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในผลปาล์มนั้นเท่ากันทุกจุดและผลอุณหภูมิเฉลี่ยของผล

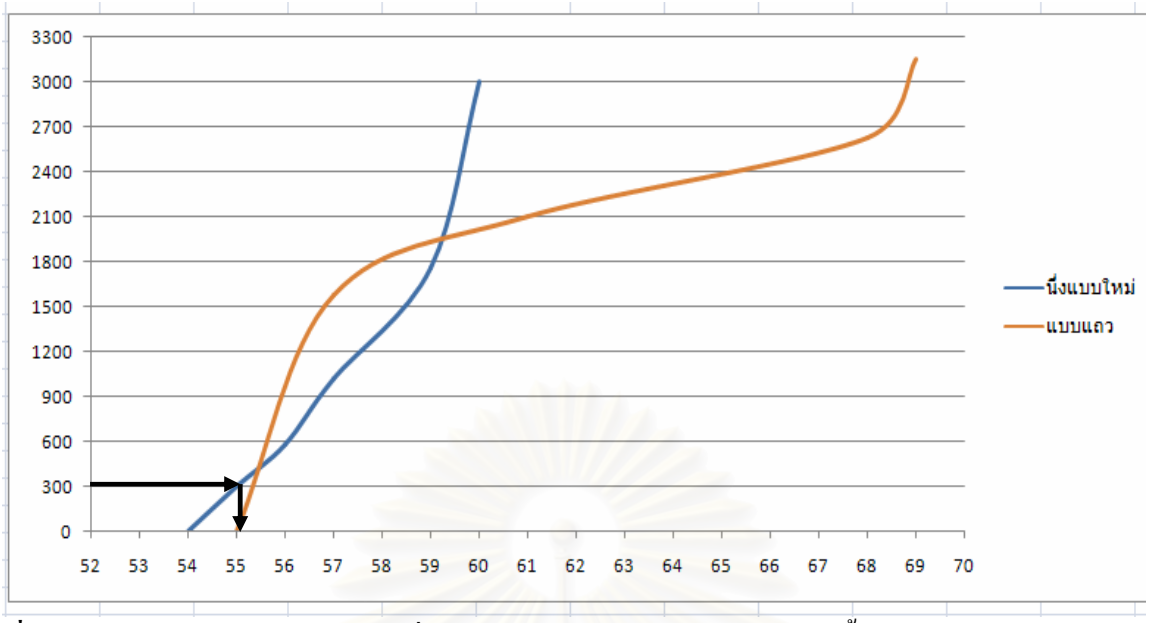
ปาล์มในแต่ละชั้นเท่ากับประมาณ 62 และ 61องศาเซลเซียสโดยผลปาล์มที่อยู่ด้านบนจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอันอื่นเพราะ ด้านบนเป็นด้านที่อยู่ติดกับท่อที่อัดไอน้ำร้อนเข้าสู่หม้อนึ่งจะทำให้บริเวณนั้นเกิดการถ่ายเทความร้อนก่อนบริเวณอื่นในหม้อนึ่ง และผลการตรวจสอบความถูกต้องโดยการทำการตรวจสอบแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบ ปริมาณไอน้ำที่เข้ากับปริมาณไอน้ำที่อยู่ภายในหม้อนึ่ง ปรากฏว่าร้อยละความคาดเคลื่อนของแบบจำลองอยู่ในช่วง 0.98-4.67

5.3.2.2ผลการพัฒนาแบบจำลองโดยการเปลี่ยนรูปร่างของกระบะให้เป็นแบบแถวๆเรียงต่อกัน

จากแบบจำลองที่ออกแบบในหัวข้อที่4.5.2.2 ทำการจำลองขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มตามวิธีการแบบอัดไอน้ำสามครั้ง (Ideal triple peak) เพื่อศึกษาถึงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นของผลปาล์มหลังผ่านกระบวนการนึ่งผลปาล์มเพื่อคำนวณหาปริมาณของผลปาล์มที่นึ่งไม่สุกและนำไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ไม่ได้พัฒนาต่อไป โดยได้ลักษณะของอุณหภูมิสุดท้ายในผลปาล์มและอุณหภูมิเฉลี่ยภายในผลปาล์มแสดงดังรูปที่ 5.27 และปริมาณของผลปาล์มสะสมในกระบะผลปาล์มที่อุณหภูมิต่างๆตามแบบจำลองที่ลดความยาวลงในรูปที่5.28



รูปที่ 5.27 แสดงลักษณะอุณหภูมิของผลปาล์มที่พัฒนาแบบจำลอง แบบเป็นแถวๆเรียงต่อกันตัดด้านข้าง



รูปที่5.28 แสดงปริมาณผลปาล์มสะสมที่อุณหภูมิต่างๆภายในกระบะผลปาล์มดั้งเดิมและแบบเป็นแถวๆเรียงต่อกัน

จากรูปที่5.27 และรูปที่ 5.28 แสดงให้เห็นลักษณะของอุณหภูมิภายในผลปาล์ม และปริมาณสะสมของผลปาล์มที่อุณหภูมิต่างๆ ปรากฏว่าการออกแบบจำลองผลปาล์มให้เป็นแบบแถวๆเรียงต่อกันจะทำให้ไอน้ำสามารถเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างแถวได้ ส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอน้ำกับผลปาล์มเพิ่มขึ้น ทำให้ได้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในผลปาล์มนั้นเท่ากันทุกจุดและผลอุณหภูมิเฉลี่ยของผลปาล์มในแต่ละแถวเท่ากับ 68, 61, 57 องศาเซลเซียสและ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับโดยผลปาล์มที่อยู่ด้านหน้าจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอันอื่นเพราะ ด้านหน้าเป็นด้านที่เจอไอน้ำก่อนด่านอื่นจะทำให้บริเวณนั้นเกิดการถ่ายเทความร้อนก่อนบริเวณอื่นในหม้อนึ่ง

และผลการตรวจสอบความถูกต้องโดยการทำการตรวจสอบแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบปริมาณไอน้ำที่เข้ากับปริมาณไอน้ำที่อยู่ภายในหม้อนึ่ง ปรากฏว่าร้อยละความคาดเคลื่อนของแบบจำลองอยู่ในช่วง 0.51-4.28

ผลจากการพัฒนาแบบจำลองกระบะใส่ผลปาล์มโดยการออกแบบลักษณะหม้อนึ่งใหม่ปรากฏว่าการพัฒนาแบบจำลองแบบเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมบางเป็นชั้นๆวางซ้อนกันจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างชั้นทำให้ไอน้ำสามารถเคลื่อนที่เข้าไปเพื่อทำการถ่ายเทความร้อนให้กับผลปาล์มได้ ส่งผลให้อุณหภูมิของผลปาล์มในแต่ละชั้นนั้นเท่ากัน โดยปริมาณปาล์มที่นึ่งสุกได้จากแบบจำลองนี้เท่ากับ 2900 กิโลกรัม โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 61องศาเซลเซียส ส่วนแบบจำลองที่พัฒนาแบบทรงกระบอกแผ่นเล็กเป็นแถวๆเรียงต่อกัน จะเกิดช่องว่างระหว่างแถวทำให้ไอน้ำสามารถเข้าไปในช่องว่างนั้นแล้วทำการแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับผลปาล์มได้ดีขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิของผลปาล์มในแต่ละแถวนั้นเท่ากันโดยปริมาณปาล์มที่นึ่งสุกได้จากแบบจำลองนี้เท่ากับ 3150กิโลกรัม โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของแถวที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 55องศาเซลเซียส ส่วนสาเหตุที่การออกแบบจำลองแบบทำเป็นแถวๆเรียงกันนั้นได้อุณหภูมิและปริมาณสูงกว่าอีก

แบบนึ่งนั้นเพราะการออกแบบเป็นแถวๆจะวางในทิศทางการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำทำให้อุณหภูมิในหม้อถึงสูงกว่า แต่ในส่วนวางเป็นชั้นๆนั้นจะวางขวางทิศทางการเคลื่อนที่ไอน้ำทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนจากไอน้ำได้ไม่ดีเท่าแบบวางเป็นแถว

5.4ผลการประเมินผลปาล์มสำหรับกระบวนการนึ่งผลปาล์ม

จากผลการจำลองการนึ่งผลปาล์มด้วยไอน้ำแบบกะ ตามวิธีการแบบอัดไอน้ำสามครั้ง(Ideal triple peak) จะสามารถทำให้ทราบถึงปริมาณของไอน้ำที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์ม และอุณหภูมิที่ใช้ในการตัดสินใจว่าเป็นจุดที่ผลปาล์มสุกพอดี ไม่จำเป็นต้องนำมานึ่งใหม่ เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในส่วนการนำผลปาล์มที่นึ่งไม่สุกกลับมานึ่งใหม่ โดยผลการประเมินผลปาล์มสำหรับกระบวนการนึ่งผลปาล์มนี้ จะทำการเปรียบเทียบปริมาณผลปาล์มที่นึ่งสุกในแต่ละแบบจำลองที่ทำการออกแบบ ว่าแบบจำลองใดเหมาะสมที่สุด และคำนวณหาปริมาณผลปาล์มที่นึ่งสุกเทียบกับไอน้ำที่ใช้ โดยผลการประเมินแสดงในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงผลการประเมินแบบจำลองผลปาล์ม

ชนิดของแบบจำลอง	ปริมาณไอน้ำที่ใช้ (กิโลกรัม)	ปริมาณผลปาล์มที่อยู่ในหม้อนึ่ง (กิโลกรัม)	ปริมาณผลปาล์มที่นึ่งสุก (กิโลกรัม)	อุณหภูมิเฉลี่ย(องศาเซลเซียส)	อัตราส่วนผลปาล์มที่นึ่งสุกต่อปริมาณผลปาล์มที่ทำการนึ่ง
1.25x1.25,L=2.5	756.29	3007.81	2707.03	56.00	0.90
1.25x1.25,L=2.5 (นึ่งแบบเก่า)	869.80	3007.81	2015.23	55.00	0.67
1.25x1.25,L=2.25	756.29	2707.03	2707.03	57.85	1.00
1x1,L=2.5	756.29	1925.00	1925.00	57.95	1.00
แบบเป็นชั้นๆ	756.29	2900.00	2900.00	61.00	1.00
แบบเป็นแถวๆ	756.29	3150.00	3150.00	56.00	1.00

จากตารางที่5.11 แสดงให้เห็นปริมาณของผลปาล์มที่อยู่ในหม้อนึ่งของแบบจำลองปรากฏว่าแบบจำลองที่พัฒนาแบบแบ่งออกเป็นแถวๆรูปทรงกระบอก จะมีความสามารถในการนึ่งผลปาล์มได้ดีที่สุด นึ่งได้ประมาณ 3150 กิโลกรัม โดยการใช้ไอน้ำเท่ากันในวิธีการนึ่งแบบอัดไอน้ำสามครั้ง (Ideal triple peak) สาเหตุที่แบบจำลองที่พัฒนาแบบแบ่งออกเป็นแถวๆรูปทรงกระบอก สามารถนึ่งได้ดีที่สุดเพราะแบบจำลองที่พัฒนาวางตามทิศทางของไอน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านไปตามแกนยาวตามแกนทรงกระบอก และมีช่องว่างให้ไอ

น้ำเคลื่อนที่เข้าไปเพื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อน และอัตราส่วนปริมาณไอน้ำที่ใช้เทียบกับผลปาล์มจะอยู่ที่ 0.24

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

1. จากแบบจำลองการเคลื่อนที่ของไอน้ำในแบบจำลอง ลักษณะการเคลื่อนที่ของไอน้ำจะกระจายตัวตัวเต็มหม้อนึ่งและจะเคลื่อนที่ไปทางจากด้านหน้าบริเวณที่ทำการอัดไอน้ำ ไปทางด้านหลังบริเวณปล่อยที่ปล่อยไอน้ำ

2.จากแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำ ลักษณะการถ่ายเทความร้อนจะเป็นเหมือนกับลักษณะการเคลื่อนที่ของไอน้ำ ที่อุณหภูมิจะถ่ายเทความร้อนมาจากด้านหน้าบริเวณที่ทำการอัดไอน้ำ ไปทางด้านหลังบริเวณปล่อยที่ปล่อยไอน้ำ

3.จากการออกแบบจำลองการนึ่งผลปาล์มด้วยไอน้ำแบบกะ โดยวิธีการนึ่งไอน้ำแบบอัดไอน้ำสามครั้ง สามารถกำหนดค่าคงที่การนำความร้อนของผลปาล์มจะอยู่ในช่วง 0.15-0.2 งานต่อเมตรเคลวิน จะได้อุณหภูมิผลปาล์มหลังการนึ่งผลปาล์มอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับค่าจริงที่วัดได้

4.จากการออกแบบจำลองสามารถทำการนึ่งผลปาล์มให้สุกทั้งกระบะได้โดยการลดความยาวของกระบะลง10% หรือทำการลดพื้นที่หน้าตัดลง36% แต่ปริมาณผลปาล์มที่นึ่งได้สุกจะลดลงประมาณ25%ในกรณีลดพื้นที่หน้าตัด

5.จากการออกแบบจำลองสามารถทำการเพิ่มปริมาณผลปาล์มที่นึ่งสุกได้โดยการเปลี่ยนรูปทรงของกระบะบรรจุผลปาล์มจากทรงลูกบาศก์เป็นแบบทรงสี่เหลี่ยมพื้นผ้าและรูปทรงกระบอกโดยแบ่งออกเป็นชั้นและแบบแถว ขึ้นอยู่กับขนาดของทะลายปาล์มที่ทำการนึ่ง จะสามารถทำให้ปริมาณผลปาล์มที่นึ่งสุกเพิ่มขึ้น8%และ17% ตามลำดับ

6.จากแบบจำลองที่ทำการพัฒนาโดยการเปลี่ยนรูปร่างของกระบะที่บรรจุผลปาล์ม ให้เป็นแบบทรงกระบอกบางๆที่ความหนา 0.3 เมตร และมีรัศมี 0.85เมตร เป็นแบบจำลองที่ดีที่สุดในการนึ่งผลปาล์ม สามารถนึ่งผลปาล์มสุกได้ 3150 กิโลกรัม และ อัตราส่วนของปริมาณผลปาล์มที่นึ่งสุกต่อปริมาณผลปาล์มที่นึ่งมีค่าเท่ากับ1

6.2 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย

1.ในการสร้างแบบจำลองผลปาล์มอาจจะมีการออกแบบให้มีความหลากหลายมากขึ้นเพื่อเพิ่มทางเลือกในการนำแบบจำลองไปใช้จริง

2. ในการออกแบบจำลองเราทำการศึกษาถึงวิธีการนึ่งผลปาล์มแบบ อัดไอน้ำสามครั้งเป็นหลัก อาจจะมีการนำวิธีการนึ่งผลปาล์มแบบอื่นๆ มาทำการจำลองเพื่อจะได้วิธีที่ดีและเหมาะสมกับความต้องการของผู้นำไปใช้จริงได้

3.การอ่านค่าต่างๆโดยการใช้โปรแกรม COMSOL จะเป็นการอ่านค่าจากกราฟทำให้มีความคาดเคลื่อนจากข้อมูลที่จำลองได้จริงเล็กน้อย ควรทำการเฉลี่ยค่าที่อ่านได้จากหลายๆแกนที่ทำการสร้างกราฟขึ้นมา เพื่อลดค่าความคาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น

4.ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงปริมาณไอน้ำที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์ม ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาการใช้ไอน้ำให้ความร้อนแก่ผลปาล์มได้ดีขึ้น

5.ในการออกแบบจำลองการนึ่งผลปาล์มค่าคงที่ที่ใช้เป็นแบบง่ายและไม่ละเอียดควรมีการศึกษาเกี่ยวกับค่าคงที่ต่างๆที่ใช้เพิ่มเติมเพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับของจริงมากที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] Klinpikul,s. palm oil Industry. Science Journal 41, 10(2530):587-594

[2] Wibulswas, P.Co-generation in Thai Agro-Industry. Proc ASEAN Seminar on Energy Conservation in Industries Bangkok:1998 ,August, pp 182-195.

[3] สุรศักดิ์ สุรนันทชัย. การวิเคราะห์ระบบผลิตพลังงานร่วมในโรงงานปาล์มน้ำมัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธรบุรี

[4] Sivasothy Kandiah. Overiew of automation in a palm oil mill the sterilization process. Computing and Control engineering Journal . January (1992):45-52

[5] Robert H. Perry, Don W. Green. Perry's Chemical Engineers' Handbook. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 1999.

[6] Sunday E.Etuk. Determination of thermal properties of Cocos Nucifera Trunk for predicting Temperature variation with ITS thickness. The Arabian Journal for Science and Engineering 30,1A : 1-7

[7] Bird,R.B.,Stewart,W.E.,& Lightfoot,E.N. Transport Phenomena . New York : Wiley Internatianal Edition ,1976

[8] สุนันท์ ศรัณยนิตย์. การถ่ายเทความร้อน .กรุงเทพฯ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย- ญี่ปุ่น) : 2545

[9] LIM,E.H., and LEE,A.K. Automatic control of sterilization Taiko's experience .Workshop on the Current Status of Automation in palm oil mill. Kuala Lumpur, Malaysia : 1987

[10] SOUTHWORTH ,A. Automatic control of sterilization Taiko's experience .Workshop on the Current Status of Automation in palm oil mill. Kuala Lumpur, Malaysia : 1987

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

แสดงคุณสมบัติของไอน้ำที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์ม

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติของไอน้ำที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์ม

Pressure	Saturation Temperature	Density of Steam	Specific Heat of Steam (cp)	Dynamic Viscosity of Steam
psi absolute	°C	kg/m³	J/kg K	Pa s
15	100.576	0.609073	1527.37	1.23E-05
20	108.872	0.797136	1546.8	1.26E-05
25	115.603	0.982203	1563.96	1.28E-05
30	121.308	1.16497	1579.53	1.30E-05
35	126.282	1.3459	1593.93	1.32E-05
40	130.708	1.52531	1607.41	1.33E-05
45	134.706	1.70345	1620.16	1.35E-05
50	138.359	1.88049	1632.3	1.36E-05
55	141.729	2.05659	1643.93	1.37E-05

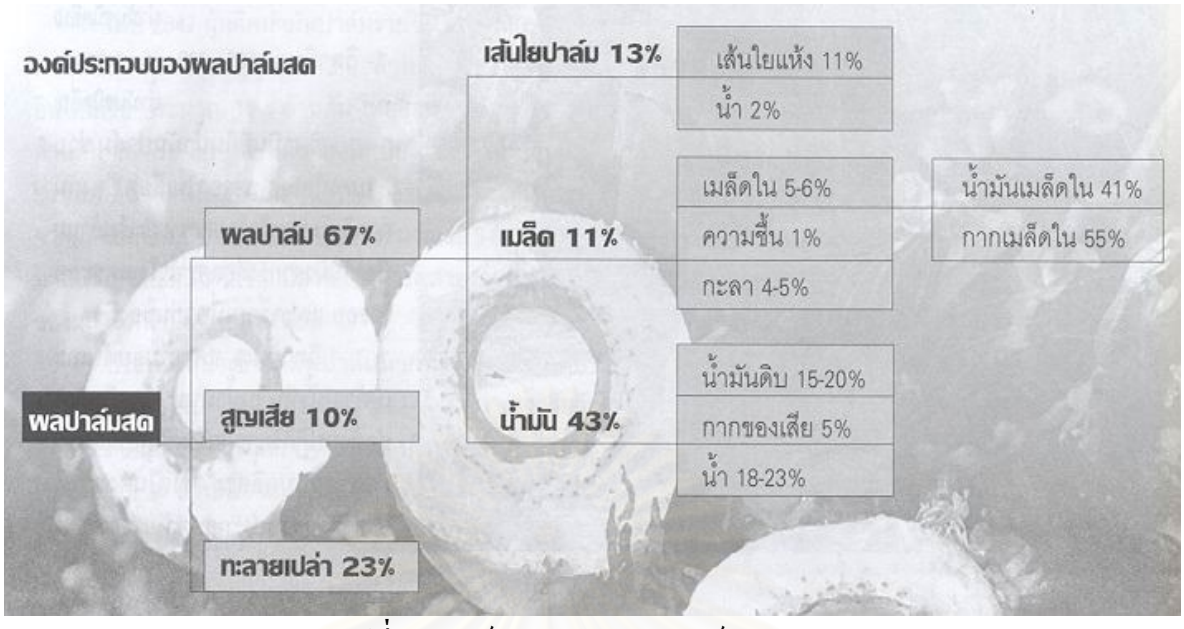
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ผลการออกแบบจำลองผลปาล์มและหม้อนึ่ง

รูปที่ ข.1 กระบะบรรจุผลปาล์มในโรงงาน

รูปที่ ข.2 หม้อนึ่งและกระบะบรรจุผลปาล์มในโรงงาน



รูปที่ ข.3 องค์ประกอบของผลปาล์มสด

Table 1. Thermal Properties of *Cocos nucifera* (Coconut Palm) Trunk

	Density (ρ) $kgm^{-3} x10^3$	Thermal Conductivity (k) $Wm^{-1}K^{-1}$	Specific heat Capacity (c) $Jkg^{-1}K^{-1} x 10^3$	Thermal Resistivity (r) $W^{-1}mK$	Thermal Diffusivity (λ) $M^2s^{-1} x 10^{-7}$	Thermal Absorptivity (α) m^{-1}
Sample 1	0.593	0.120	1.204	8.3333	1.68	14.713
Sample 2	0.597	0.118	1.204	8.4746	1.64	14.891
Sample 3	0.601	0.124	1.286	8.0645	1.73	14.498
Mean value (M)	0.597	0.121	1.198	8.2908	1.68	14.701
Mean value ± Standard Error (M ± SD)	0.5970±0.0027	0.121±0.002	1.198±0.006	8.2908±0.1367	1.68±0.03	14.701±0.131

รูปที่ ข.4 คุณสมบัติของเมล็ดและเส้นใยของผลปาล์ม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Table 2. Density and Thermal Conductivity of Solids (at Room Temperature) [23]

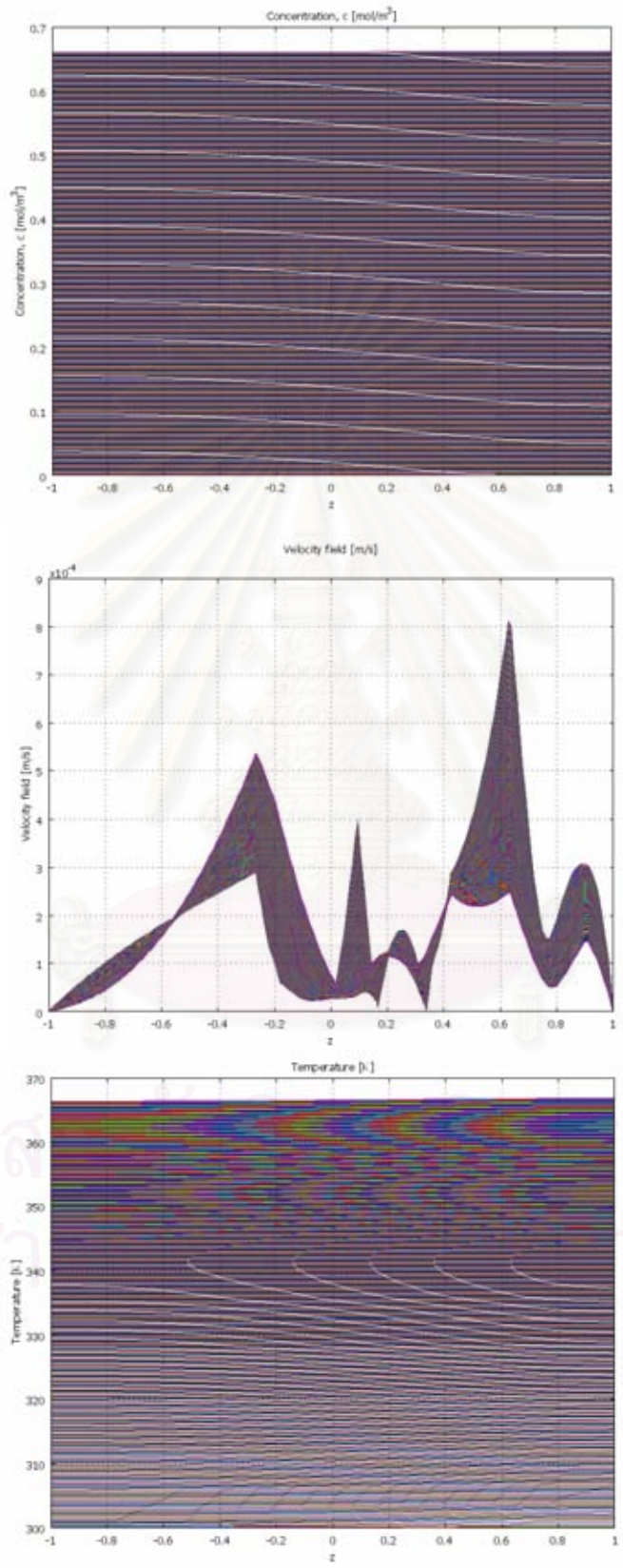
Material	Density ρ (kgm^{-3})	Thermal conductivity K (Wm^{-1} K^{-1})
Oak wood	770	0.160
Pine wood	570	0.138
Pine fiberboard	256	0.052
Brick building	2300	0.600
Asbestos cement sheet	150	0.319

รูปที่ ข.5 คุณสมบัติของทะลายเปล่าของปาล์มสด

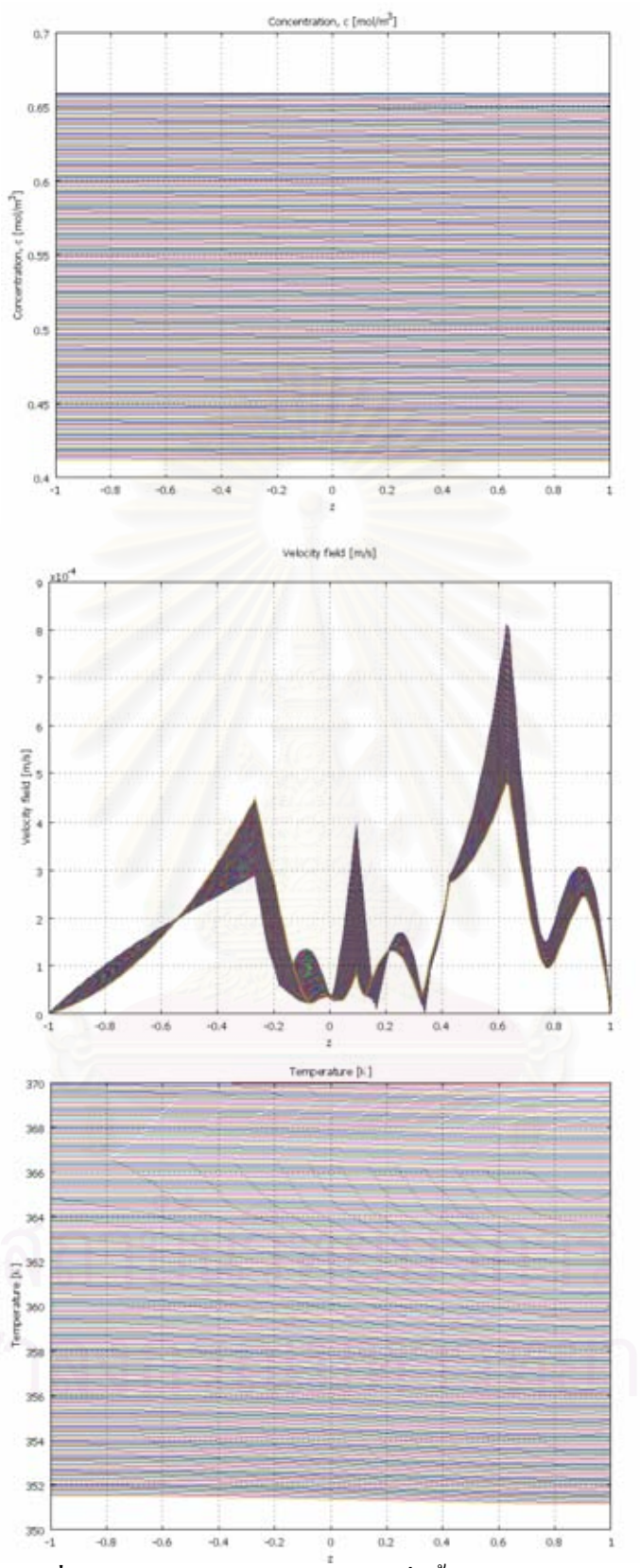
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

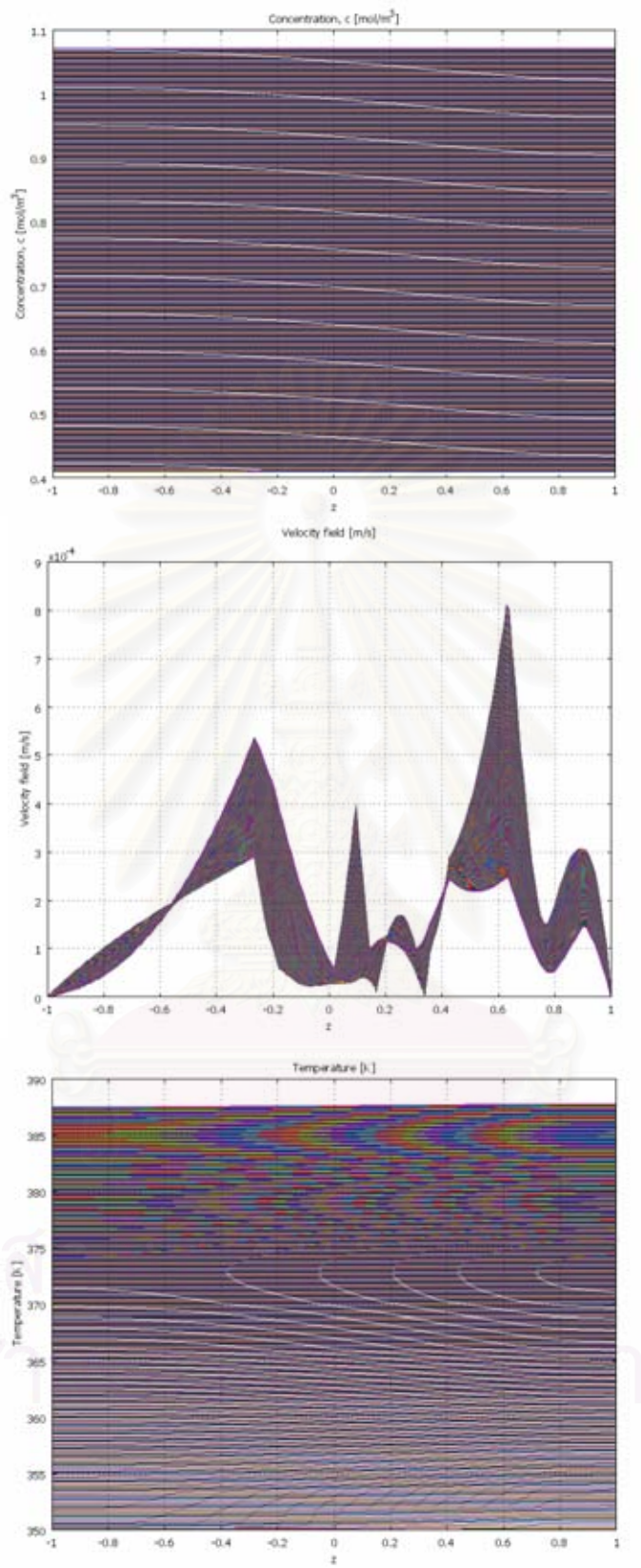
ผลการออกแบบจำลองลักษณะการเคลื่อนที่และการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำ



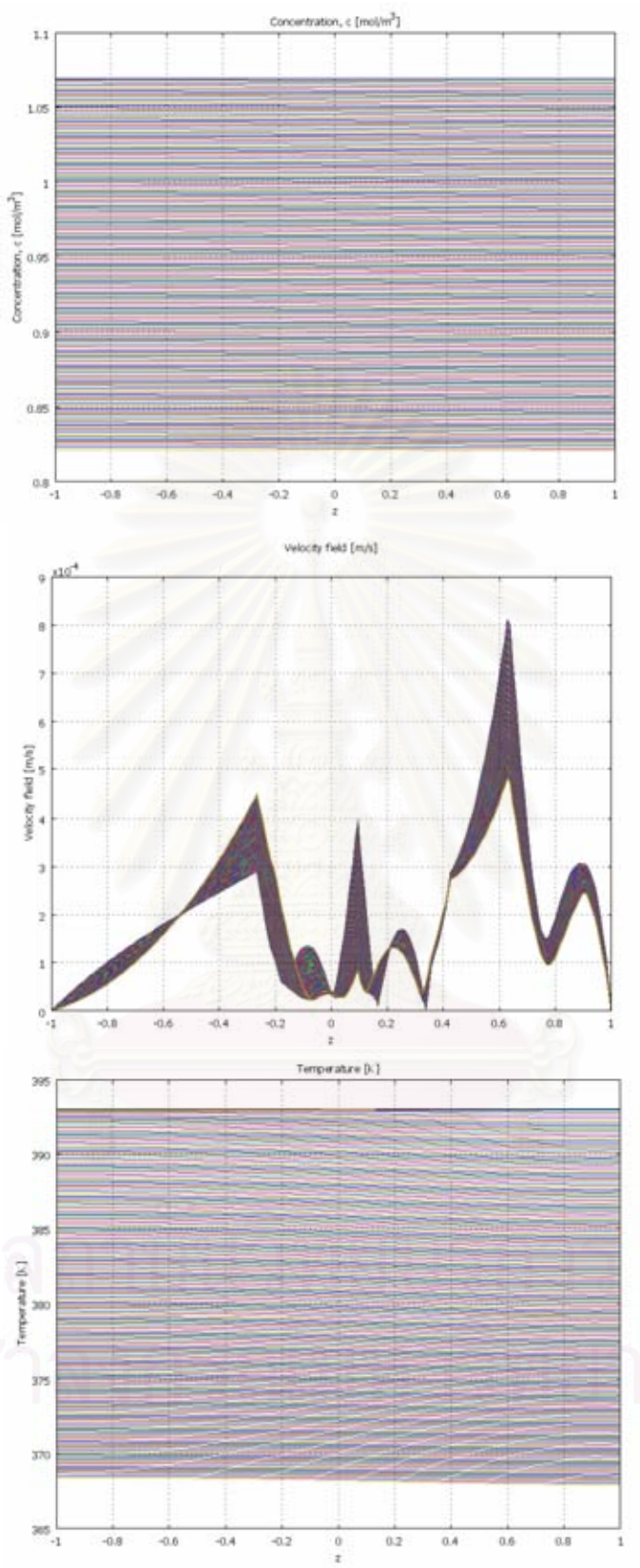
รูปที่ ค.1แสดงลักษณะต่างๆในหม้อนึ่งขั้นตอน First peak pressure



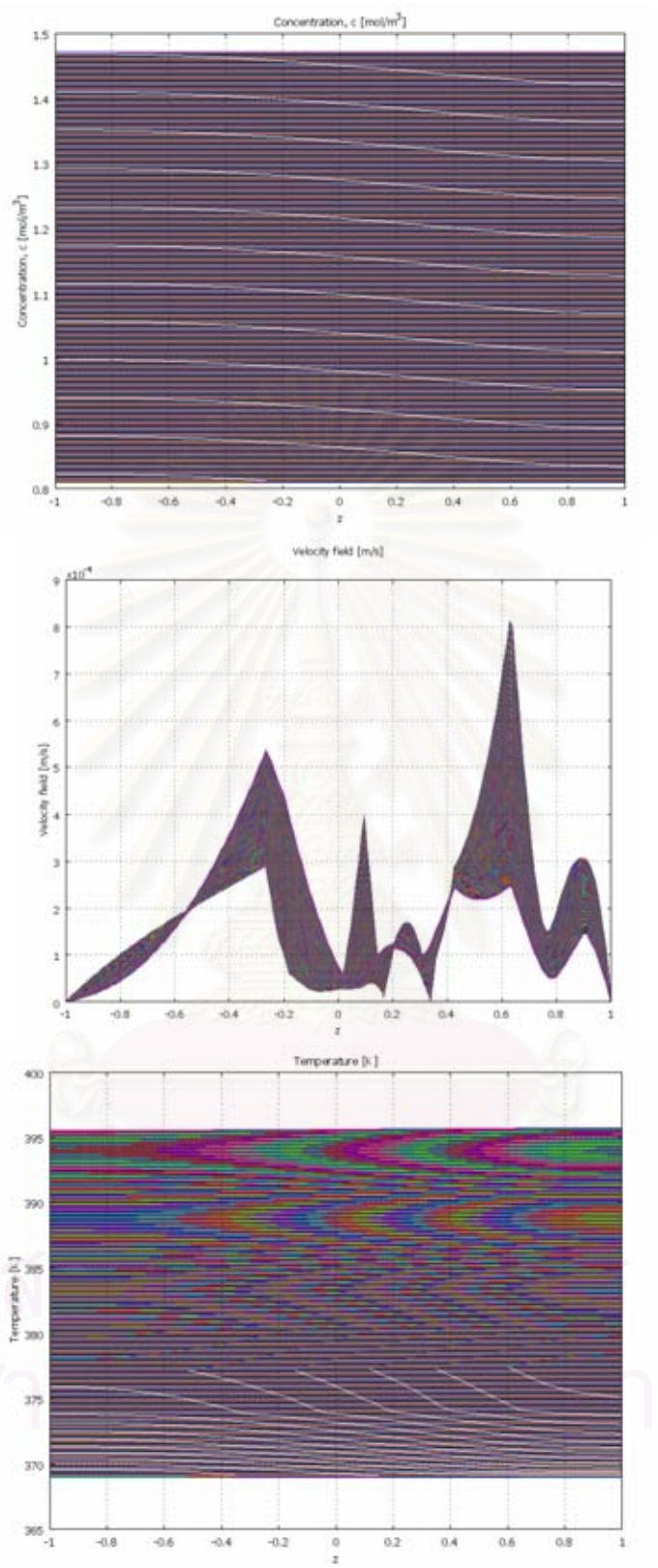
รูปที่ ค.2แสดงลักษณะต่างๆในหม้อนึ่งขั้นตอน Exhaust 1



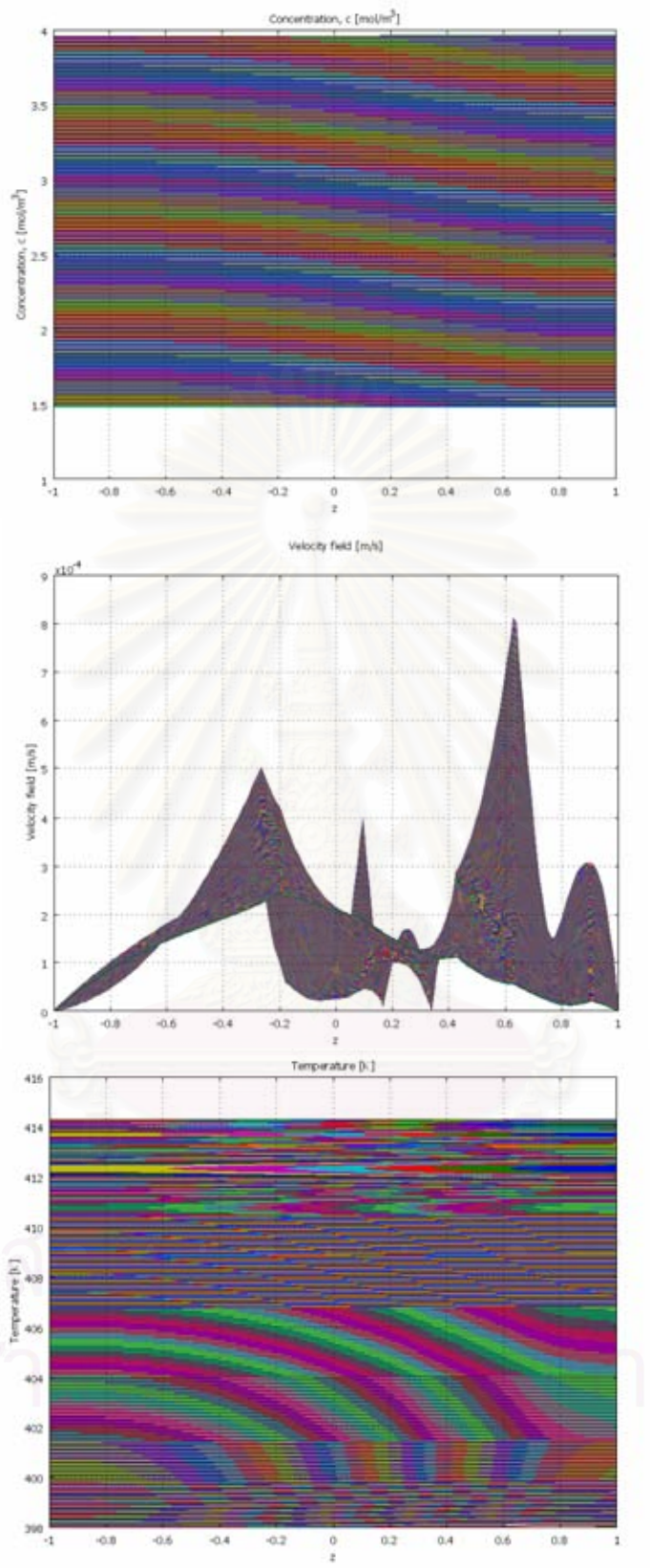
รูปที่ ค.3แสดงลักษณะต่างๆในหม้อนึ่งขั้นตอน Second Peak Pressure



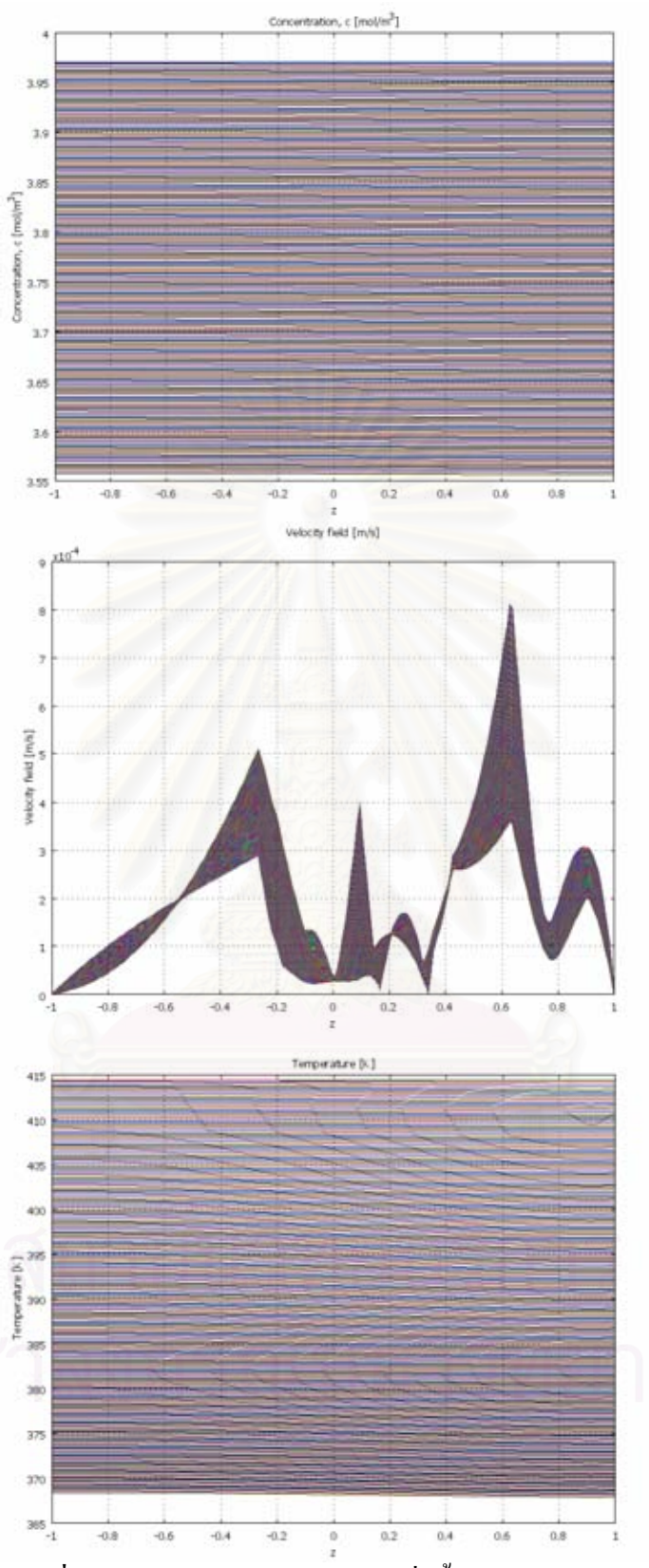
รูปที่ ค.4แสดงลักษณะต่างๆในหม้อนึ่งขั้นตอน Exhaust 2



รูปที่ ค.5แสดงลักษณะต่างๆในหม้อนึ่งขั้นตอน Third Peak Pressure



รูปที่ ค.6แสดงลักษณะต่างๆในหม้อนึ่งขั้นตอน Full Peak Pressure

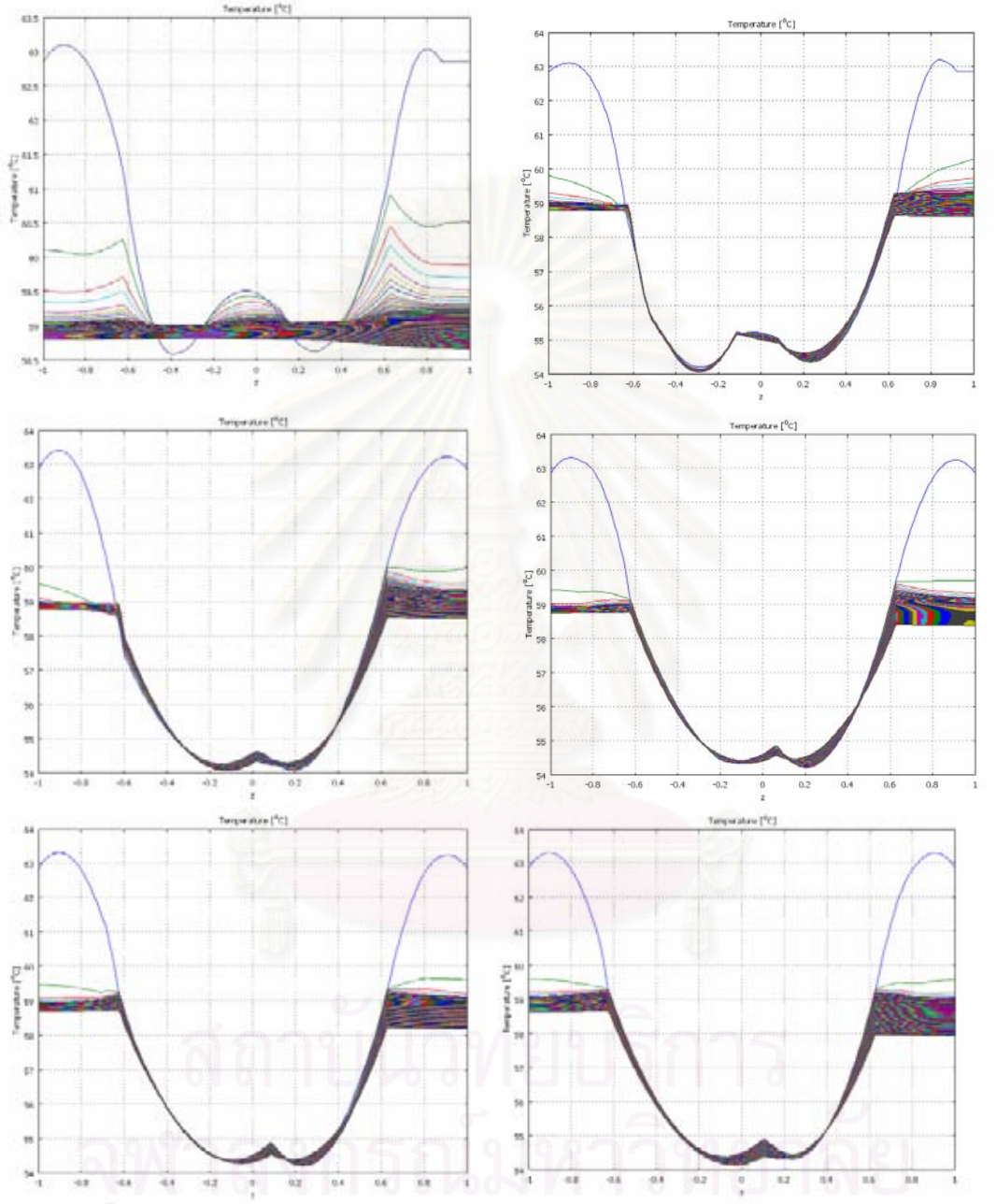


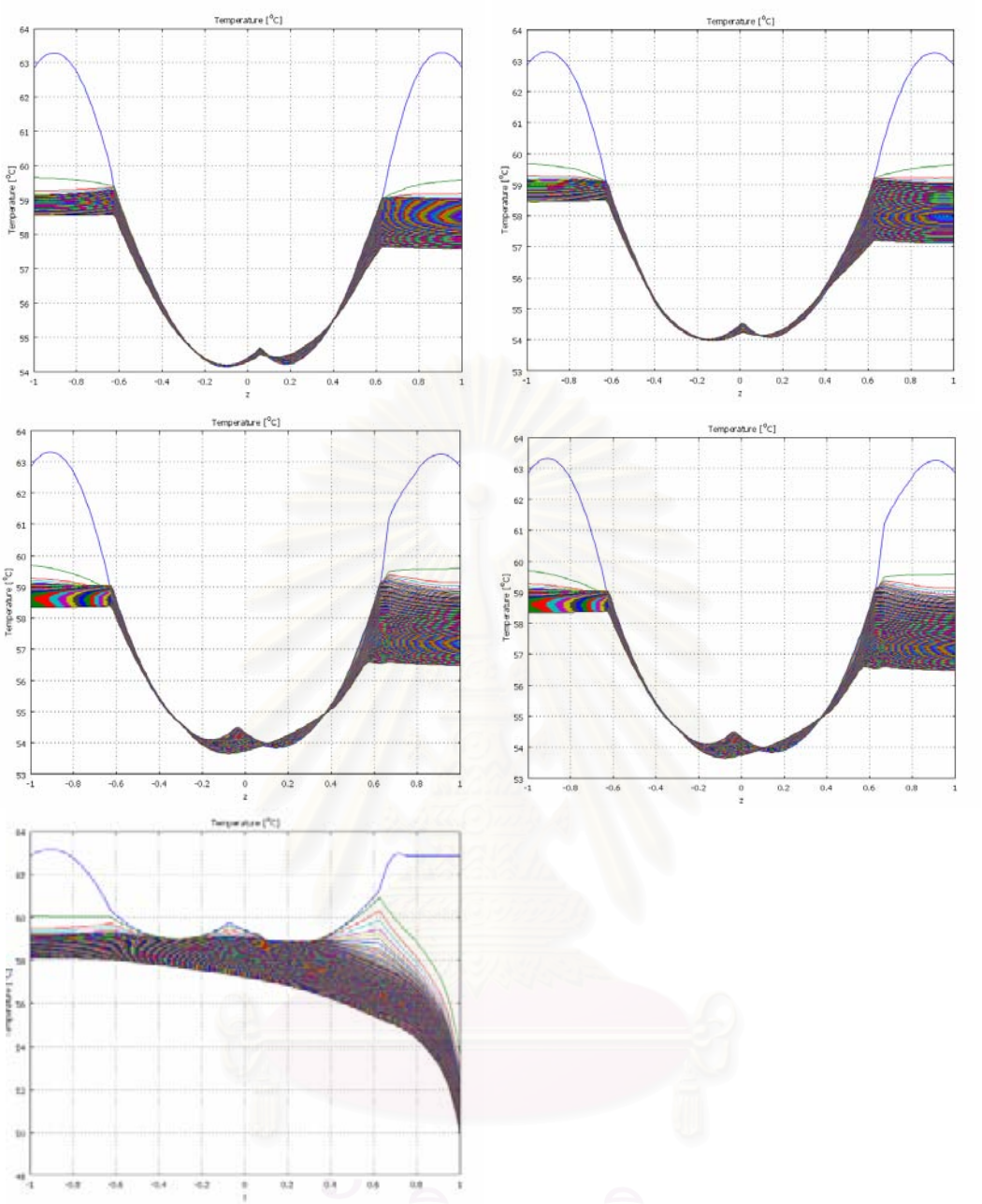
รูปที่ ค.7แสดงลักษณะต่างๆในหม้อนึ่งขั้นตอน Exhaust 3

ภาคผนวก ง

ผลการออกแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนของผลปาล์ม

-อุณหภูมิผลปาล์มในแบบจำลองกรณีกระบะขนาด 1.25 x1.25, L=2.5m ที่ตำแหน่งต่างๆ

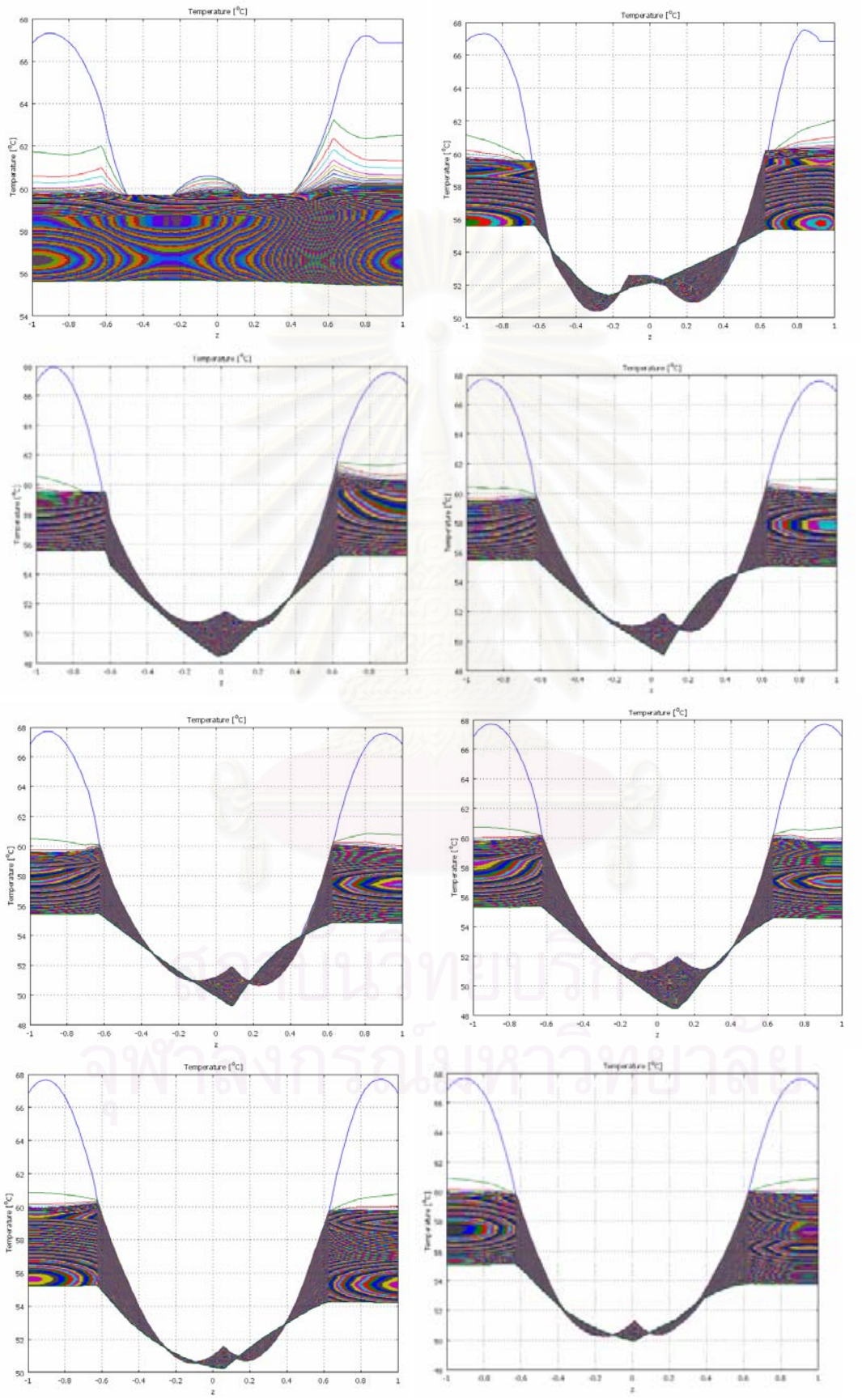


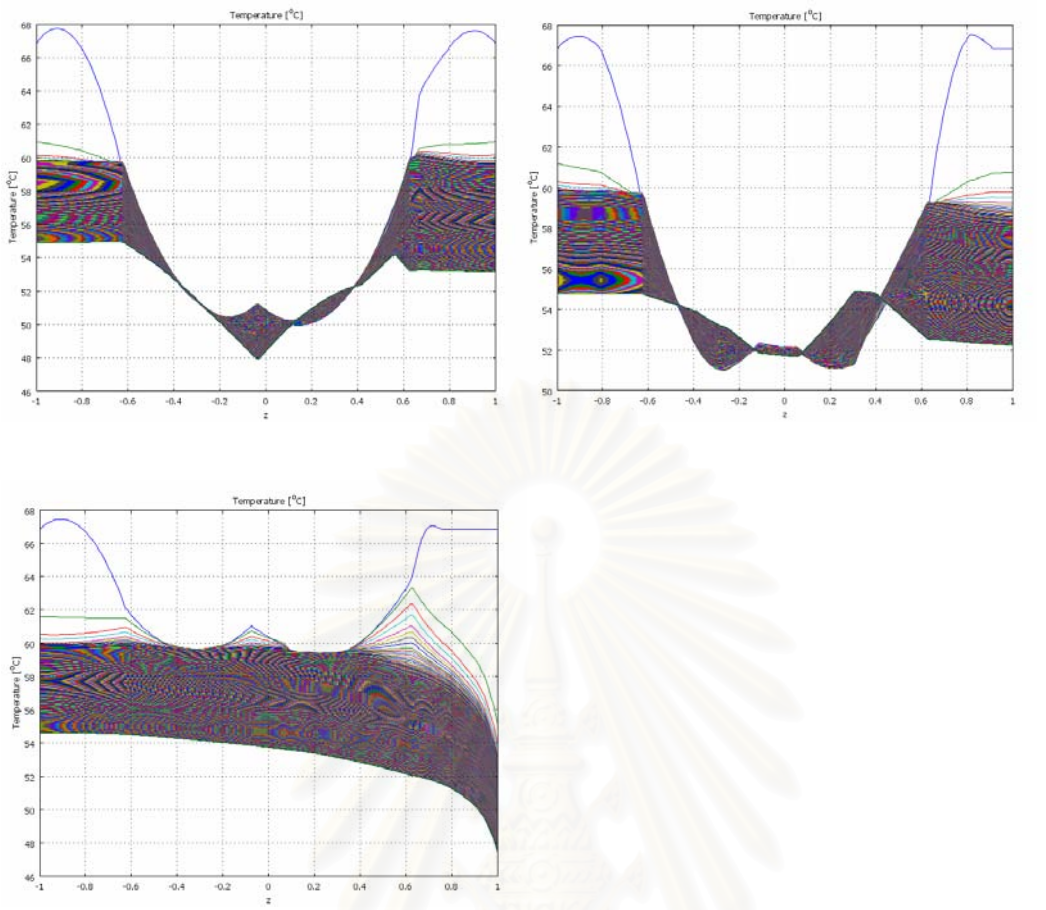


รูปที่ ง.1 แสดงอุณหภูมิภายในหม้อนึ่งที่ตำแหนงต่างๆในหม้อนึ่งแบบขนาด 1.25 x1.25, L=2.5 หลังผ่านนึ่งผลปาล์มแบบอัดไอน้ำสามครั้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

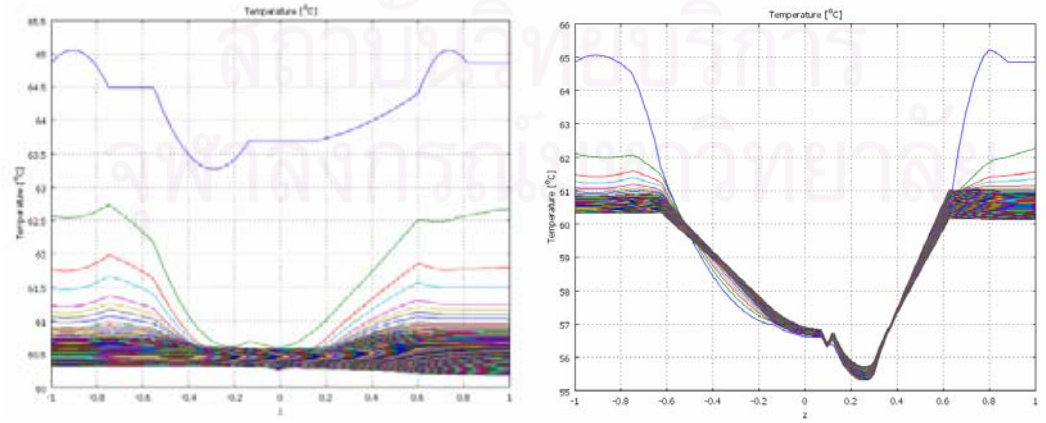
-อุณหภูมิผลปาล์มในแบบจำลองกรณีกระบะขนาด 1.25 x1.25, L=2.5m ทำการนึ่งแบบเก่าที่ตำแหน่งต่างๆ

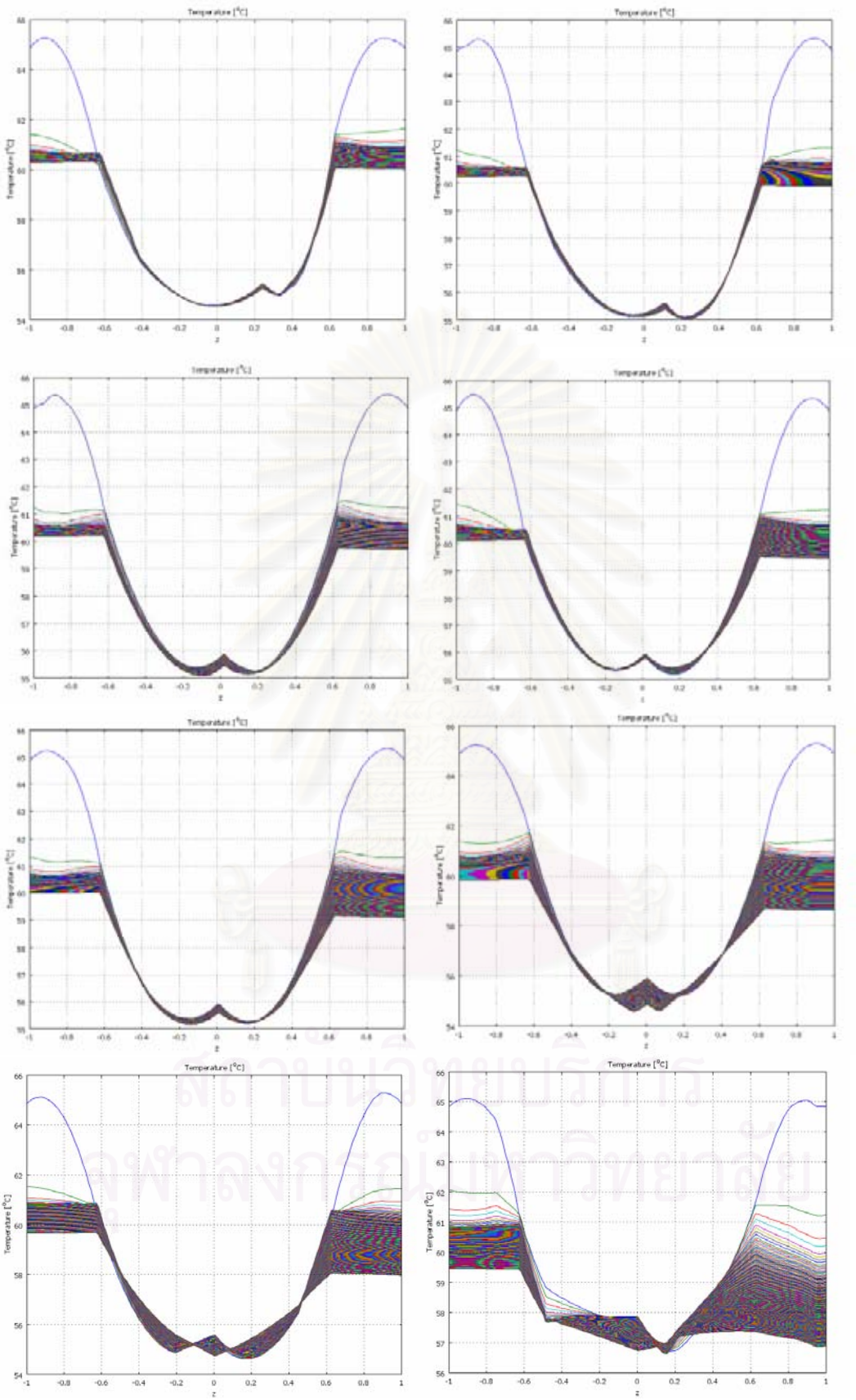


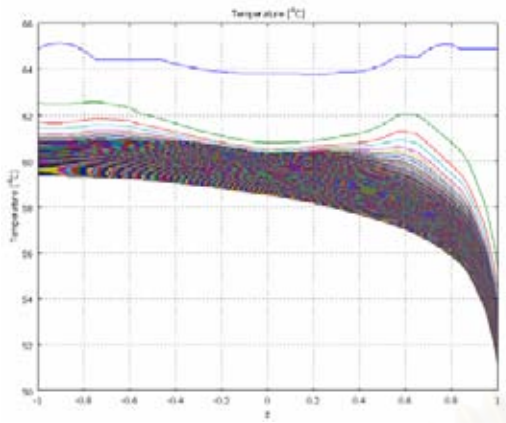


รูปที่ ง.2 แสดงอุณหภูมิภายในหม้อนึ่งที่ตำแหนงต่างๆในหม้อนึ่งแบบขนาด 1.25 x1.25, L=2.5 หลังผ่านนึ่งผลปาล์มแบบเก่า

-อุณหภูมิผลปาล์มในแบบจำลองกรณีกระบะขนาด 1.25 x1.25, L=2.25m ที่ตำแหน่งต่างๆ

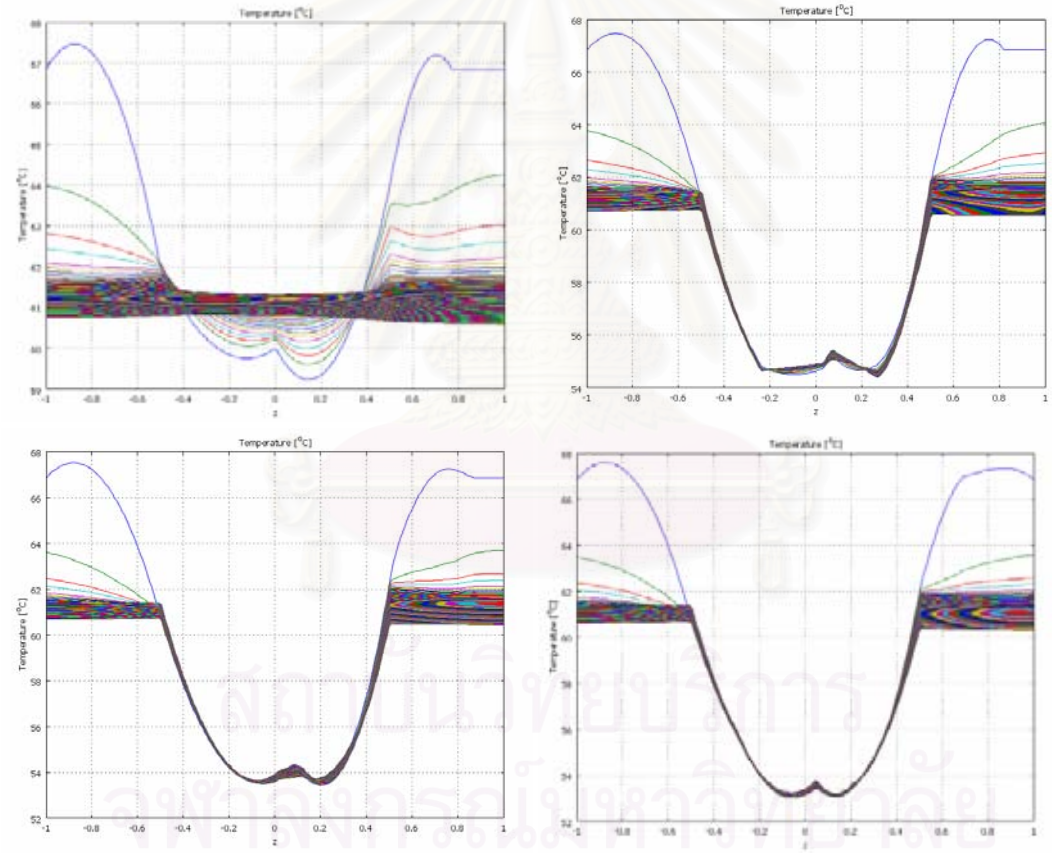


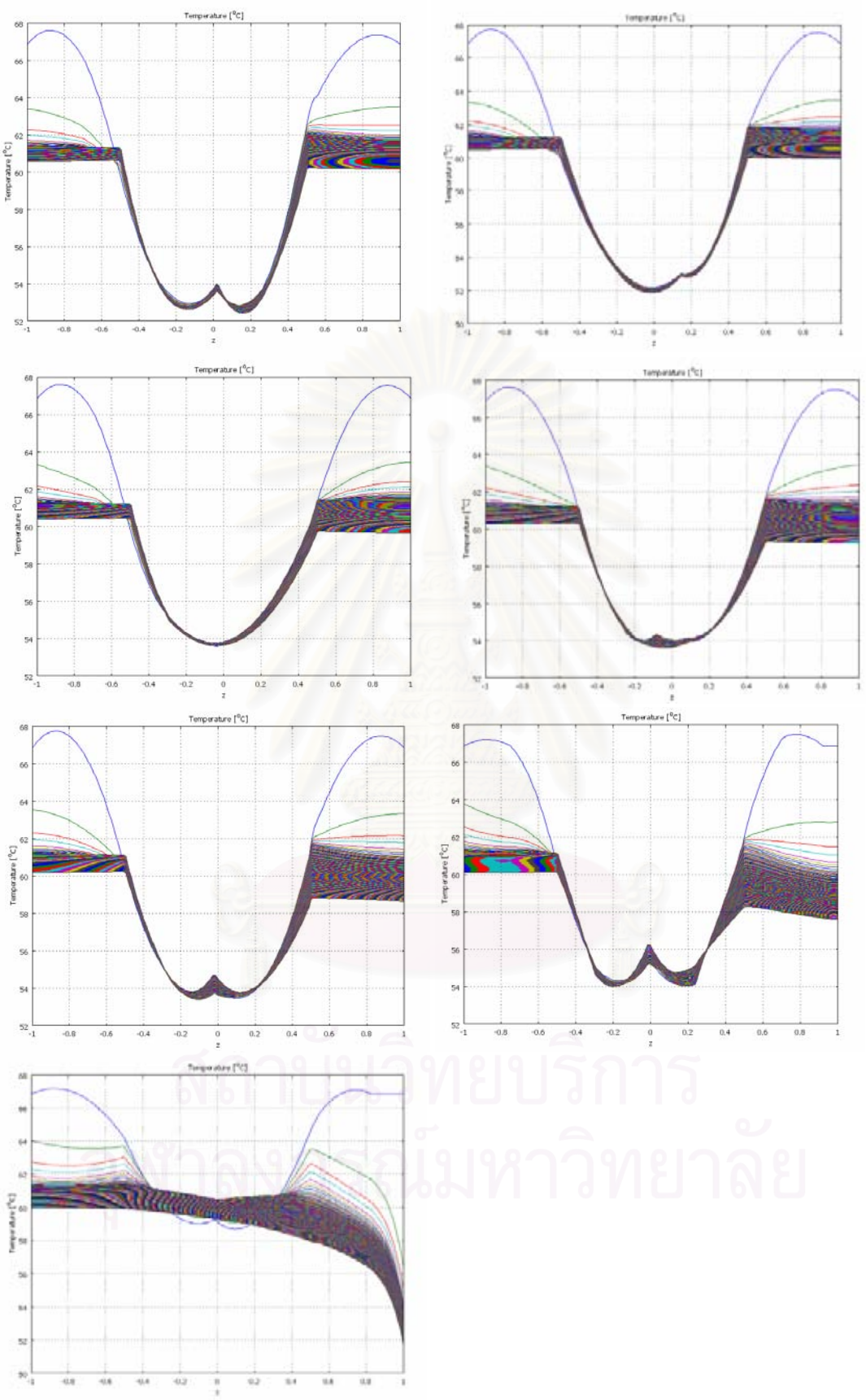

Temperature [°C]
Temperature [°C]
z



รูปที่ ง.3 แสดงอุณหภูมิภายในหม้อนึ่งที่ตำแหนงต่างๆในหม้อนึ่งแบบขนาด 1.25 x1.25, L=2.25

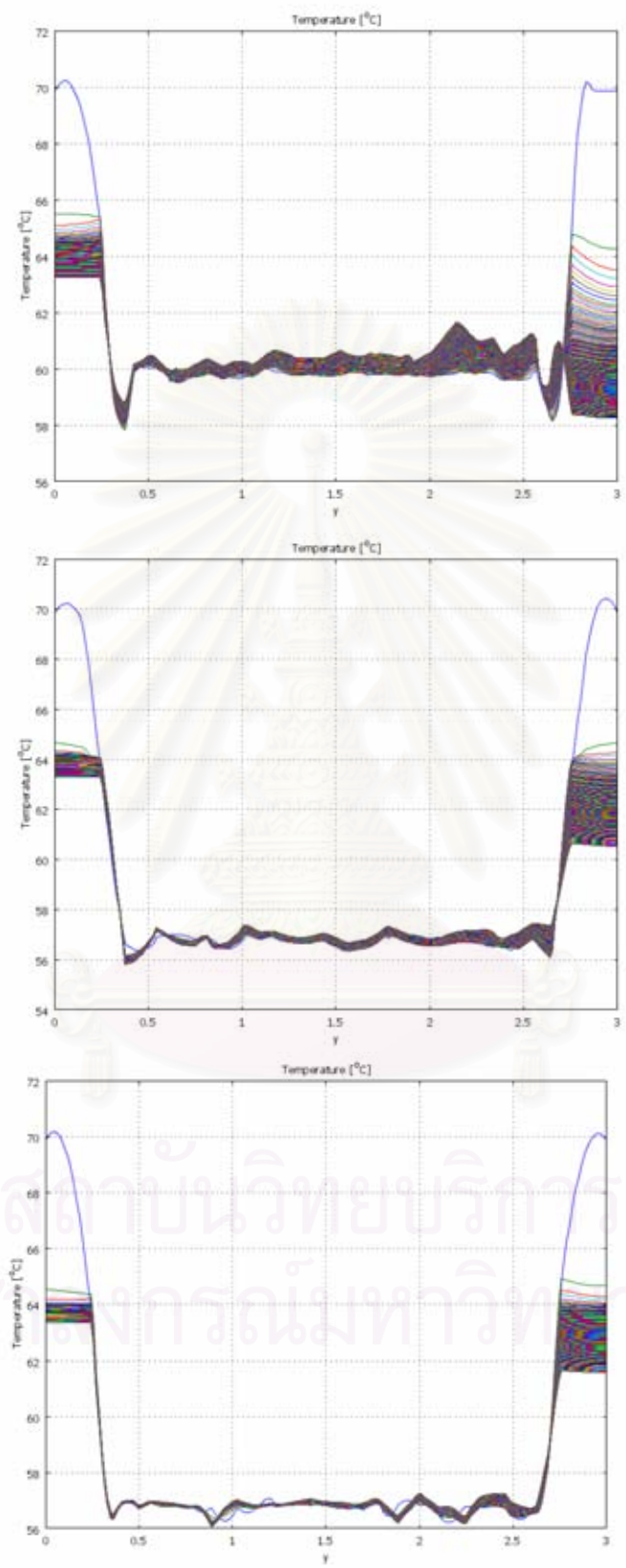
-อุณหภูมิผลปาล์มในแบบจำลองกรณีกระบะขนาด 1 x 1, L=2.5m ที่ตำแหน่งต่างๆ





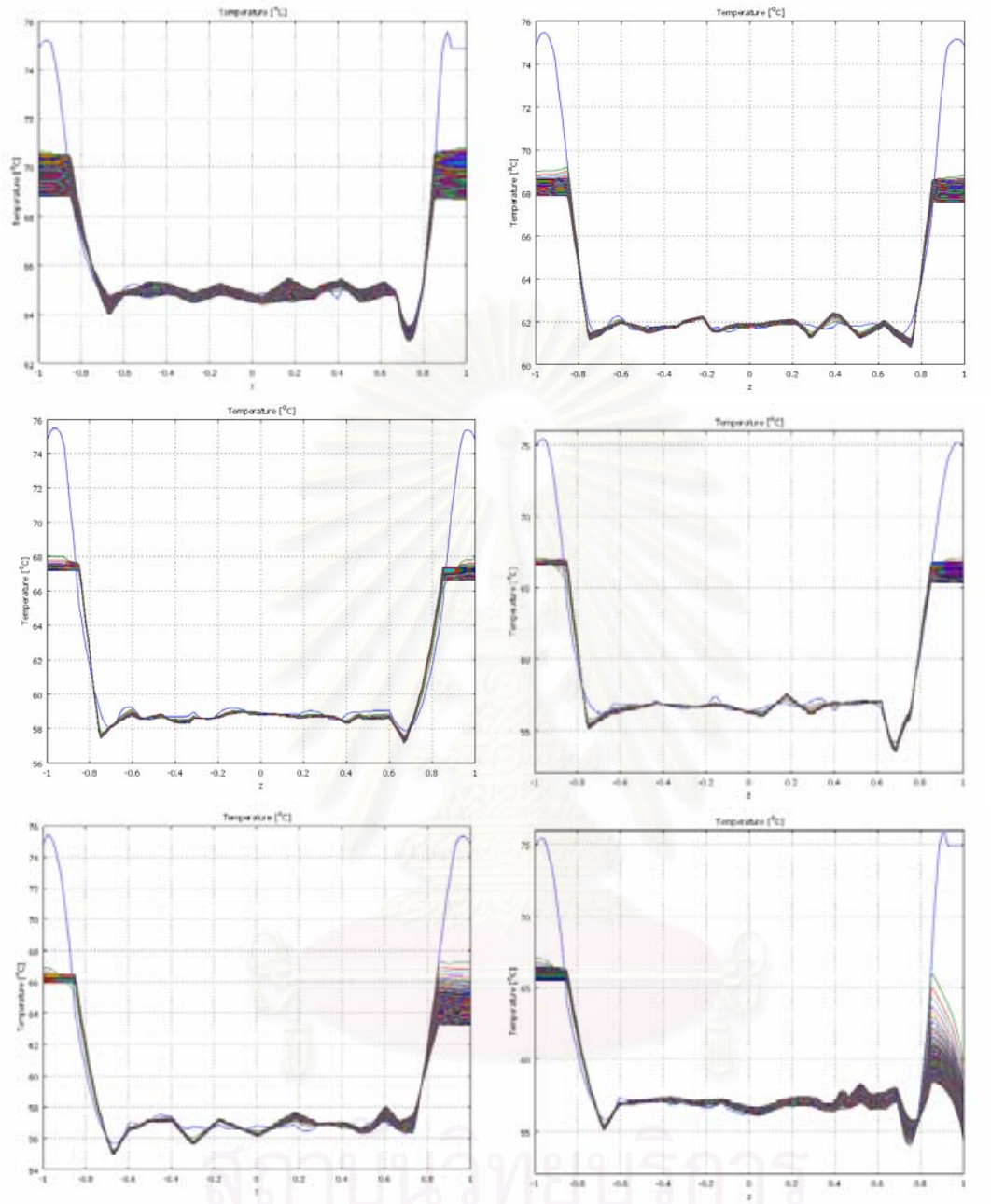
รูปที่ ง.4 แสดงอุณหภูมิภายในหม้อนึ่งที่ตำแหนงต่างๆในหม้อนึ่งแบบขนาด 1 x1, L=2.5

-อุณหภูมิผลปาล์มในแบบจำลองกรณีกระบะ แบบเป็นชั้นๆสี่เหลี่ยมวางซ้อนกันที่ตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ ง.5 แสดงอุณหภูมิภายในหม้อนึ่งที่ตำแหนงต่างๆในหม้อนึ่งแบบเป็นแถวๆวางเรียงกัน

-อุณหภูมิผลปาล์มในแบบจำลองกรณี กระบะเป็นทรงกระบอกวางเรียงต่อๆกันที่ตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ ง.6 แสดงอุณหภูมิภายในหม้อนึ่งที่ตำแหนงต่างๆในหม้อนึ่งแบบเป็นทรงกระบอกวางเรียงต่อๆกัน

ภาคผนวก จ

ผลการตรวจสอบแบบจำลองโดยการโดยการเปรียบเทียบปริมาณไอน้ำที่เข้ากับปริมาณไอน้ำที่อยู่ภายในหม้อนึ่ง

ตารางที่ จ.1 แสดงปริมาณของไอน้ำที่สะสมอยู่ในกระบะผลปาล์มกับปริมาณไอน้ำที่ทางเข้า-ออก ในกระบะผลปาล์มแบบ 1.25x1.25 L=2.5 m

ปริมาณปาล์ม(kg)	3007	1.25x1.25,2.5						ร้อยละความคาดเคลื่อน
ขั้นตอนการนึ่ง	โมลไอน้ำในหม้อนึ่ง(kmol)	ปริมาณไอน้ำในหม้อนึ่ง(kg)	โมลไอน้ำในผลปาล์ม (kmol)	ปริมาณไอน้ำในผลปาล์ม (kg)	ปริมาณไอน้ำรวม(kg)	ปริมาณไอน้ำที่ทางเข้าและออก(kg)	ค่าความคาดเคลื่อน	%
First peak Pressure	1.09	108.30	0.05	3.51	111.81	112.32	0.51	0.45
Exhaust 1	0.62	61.21	0.30	21.06	82.27	84.24	1.97	2.34
Second Peak Pressure	1.66	164.74	0.40	28.08	192.82	196.56	3.74	1.90
Exhaust 2	1.20	119.23	0.68	47.74	166.97	168.48	1.51	0.90
Third Peak Pressure	2.22	220.58	0.85	59.67	280.25	280.80	0.55	0.20
Full Pressure	5.72	568.04	1.60	112.32	680.36	702.00	21.64	3.08
Exhaust 3	4.70	466.99	2.25	157.95	624.94	631.80	6.86	1.09

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.2 แสดงปริมาณของไอน้ำที่สะสมอยู่ในกระบะผลปาล์มกับปริมาณไอน้ำที่ทางเข้า-ออก ในกระบะผลปาล์มแบบ 1.25x1.25 L=2.25 m

ปริมาณปาล์ม(kg)	2707.00	1.25x1.25,2.25						ร้อยละความคาดเคลื่อน
ขั้นตอนการนึ่ง	โมลไอน้ำในหม้อนึ่ง (kmol)	ปริมาณไอน้ำในหม้อนึ่ง(kg)	โมลไอน้ำในผลปาล์ม (kmol)	ปริมาณไอน้ำในผลปาล์ม (kg)	ปริมาณไอน้ำรวม(kg)	ปริมาณไอน้ำที่ทางเข้าและออก(kg)	ค่าความคาดเคลื่อน	%
First peak Pressure	1.02	108.19	0.04	2.53	110.72	112.32	1.60	1.43
Exhaust 1	0.60	63.30	0.28	17.69	80.99	84.24	3.25	3.86
Second Peak Pressure	1.57	167.34	0.37	23.38	190.71	196.56	5.85	2.98
Exhaust 2	1.13	119.78	0.64	40.44	160.22	168.48	8.26	4.90
Third Peak Pressure	2.09	222.44	0.85	53.70	276.14	280.80	4.66	1.66
Full Pressure	5.45	579.66	1.50	94.77	674.43	702.00	27.57	3.93
Exhaust 3	4.46	474.03	2.00	126.36	600.39	631.80	31.41	4.97

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.3 แสดงปริมาณของไอน้ำที่สะสมอยู่ในกระบะผลปาล์มกับปริมาณไอน้ำที่ทางเข้า-ออก ในกระบะผลปาล์มแบบ 1x1 L=2.5 m

ปริมาณปาล์ม(kg)	1925.00	1x1,2.5						ร้อยละความคาดเคลื่อน
ขั้นตอนการนึ่ง	โมลไอน้ำในหม้อนึ่ง (kmol)	ปริมาณไอน้ำในหม้อนึ่ง(kg)	โมลไอน้ำในผลปาล์ม (kmol)	ปริมาณไอน้ำในผลปาล์ม (kg)	ปริมาณไอน้ำรวม(kg)	ปริมาณไอน้ำที่ทางเข้าและออก(kg)	ค่าความคาดเคลื่อน	%
First peak Pressure	0.89	110.86	0.01	0.45	111.31	112.32	1.01	0.90
Exhust 1	0.57	71.25	0.20	9.00	80.25	84.24	3.99	4.74
Second Peak Pressure	1.49	185.35	0.23	10.35	195.70	196.56	0.86	0.44
Exhust 2	1.08	134.52	0.60	27.00	161.52	168.48	6.96	4.13
Third Peak Pressure	1.97	245.76	0.70	31.50	277.26	280.80	3.54	1.26
Full Pressure	5.07	631.52	1.20	54.00	685.52	702.00	16.48	2.35
Exhust 3	4.21	524.27	1.80	81.00	605.27	631.80	26.53	4.20

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.4 แสดงปริมาณของไอน้ำที่สะสมอยู่ในกระบะผลปาล์มกับปริมาณไอน้ำที่ทางเข้า-ออก ในกระบะผลปาล์มแบบเป็นชั้นๆสี่เหลี่ยมวางซ้อนกัน

ปริมาณปาล์ม(kg)	2772.00	d = 0.2						ร้อยละความคาดเคลื่อน
ขั้นตอนการนึ่ง	โมลไอน้ำในหม้อนึ่ง (kmol)	ปริมาณไอน้ำในหม้อนึ่ง(kg)	โมลไอน้ำในผลปาล์ม (kmol)	ปริมาณไอน้ำในผลปาล์ม (kg)	ปริมาณไอน้ำรวม(kg)	ปริมาณไอน้ำที่ทางเข้าและออก(kg)	ค่าความคาดเคลื่อน	%
First peak Pressure	1.00	104.76	0.10	6.48	111.24	112.32	1.08	0.96
Exhust 1	0.65	68.09	0.20	12.96	81.05	84.24	3.19	3.78
Second Peak Pressure	1.65	172.75	0.35	22.68	195.43	196.56	1.13	0.58
Exhust 2	1.30	136.19	0.44	28.51	164.70	168.48	3.78	2.24
Third Peak Pressure	2.12	222.41	0.70	45.36	267.77	280.80	13.03	4.64
Full Pressure	5.62	588.75	1.30	84.24	672.99	702.00	29.01	4.13
Exhust 3	4.70	492.37	2.00	129.60	621.97	631.80	9.83	1.56

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.5 แสดงปริมาณของไอน้ำที่สะสมอยู่ในกระบะผลปาล์มกับปริมาณไอน้ำที่ทางเข้า-ออก ในกระบะผลปาล์มแบบเป็นทรงกระบอกวางเรียงต่อๆกัน

ปริมาณปาล์ม(kg)	2797.00	r = 0.85						ร้อยละความคาดเคลื่อน
ขั้นตอนการนึ่ง	โมลไอน้ำในกระบะ(kmol)	ปริมาณไอน้ำในกระบะ(kg)	โมลไอน้ำในผลปาล์ม (kmol)	ปริมาณไอน้ำในผลปาล์ม (kg)	ปริมาณไอน้ำรวม(kg)	ปริมาณไอน้ำที่ทางเข้าและออก(kg)	ค่าความคาดเคลื่อน	%
First peak Pressure	1.01	105.21	0.10	6.54	111.75	112.32	0.57	0.51
Exhust 1	0.65	67.71	0.21	13.73	81.44	84.24	2.80	3.32
Second Peak Pressure	1.63	169.37	0.36	23.54	192.92	196.56	3.64	1.85
Exhust 2	1.30	135.42	0.47	30.74	166.15	168.48	2.33	1.38
Third Peak Pressure	2.12	220.73	0.85	55.58	276.31	280.80	4.49	1.60
Full Pressure	5.63	586.14	1.50	98.09	684.23	702.00	17.77	2.53
Exhust 3	4.55	473.96	2.00	130.79	604.74	631.80	27.06	4.28

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย อรรฆเดช ตรีชวา เกิดเมื่อวันที่ 27 กันยายน พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ในปีการศึกษา 2548 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย