

การศึกษาการคั่วข้าวมอลต์ด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรด

STUDY OF ROASTED RICE MALT WITH INFRARED HEATER



พรศักดิ์ จิตรอำไพ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

# การศึกษาการก้าวข้ามมอดต์ด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรด

พรศักดิ์ จิตรอำไพ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการคั่วข้าวมอลต์ด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรด
ชื่อ-นามสกุล	นายพรศักดิ์ จิตรอำไพ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สถาพร ทองวิก
ปีการศึกษา	2554

## บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางในการลดต้นทุนด้านการใช้พลังงานในการผลิตข้าวมอลต์ของกลุ่มเกษตรกรแปรรูปข้าวมอลต์หุงรับประทาน ที่ใช้เครื่องคั่วข้าวมอลต์พลังงานแก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas , LPG) สูญเสียความร้อนมาก ผู้วิจัยได้ออกแบบเครื่องคั่วข้าวต้นแบบใช้ฮีทเตอร์ไฟฟ้าชนิดอินฟราเรด เพื่อลดการสูญเสียความร้อน ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการคั่วข้าวมอลต์ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานคั่วข้าวระหว่างเครื่องที่ใช้พลังงานแก๊สแอลพีจีกับเครื่องคั่วข้าวต้นแบบ

เครื่องต้นแบบลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกร่วมศูนย์กลาง ท่อด้านในมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร ใช้บรรจุฮีทเตอร์ไฟฟ้าชนิดอินฟราเรด 220 โวลต์ 500 วัตต์ จำนวน 2 แห่ง ท่อด้านนอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 มิลลิเมตร ทดสอบคั่วข้าวมอลต์จากเครื่องต้นแบบ โดยใช้ข้าวเปลือกงอกครั้งละ 3 กิโลกรัม ความชื้นข้าวเปลือกงอกเริ่มต้น 30-33 %w.b. พิจารณาความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 14 %w.b. ที่อุณหภูมิ 360 380 และ 400 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ถึงคั่วหมุ่นด้วยความเร็ววงที่ 10 รอบต่อนาที ใช้เวลาในกระบวนการนึ่งข้าว 90 นาที และอบแห้งอีก 90 นาที

ผลการศึกษาพบว่าการถ่ายเทความร้อนของเครื่องต้นแบบ มีรูปแบบเหมาะสมต่อการคั่วข้าวมอลต์มากกว่าเครื่องที่ใช้แก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง โดยที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมมากที่สุด สามารถลดค่าความร้อนสูญเสีย และลดต้นทุนด้านการใช้พลังงาน ได้มากกว่าเครื่องคั่วข้าวมอลต์ที่ใช้แอลพีจี เป็นเชื้อเพลิงร้อยละ 81.90 และร้อยละ 75.57 ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** ข้าวมอลต์ อินฟราเรด ประสิทธิภาพ

<b>Thesis Title</b>	Study of Malt Roasting By Infrared Heater
<b>Name-Surname</b>	Mr. Ponsak Jitamphai
<b>Program</b>	Mechanical Engineering
<b>Thesis Advisor</b>	Mr. Sathaporn Thongwik
<b>Academic Year</b>	2011

## **ABSTRACT**

The objective of this research was to study for a method to reduce energy consumption cost from producing the processed malt for the malt-for-eating farmer group. Regularly, the roasting-malt machine was powered by liquefied petroleum gas (LPG) which had a lot of heat loss. The researcher designed the electric-infrared heater prototype machine for roasting malt in order to reduce the heat losses, to study the optimal conditions for the roasting process of malt and to comparison the energy efficiency of roasted malt between the roasted machine powered by LPG and the machine powered by infrared.

The prototype machine was consisted of a central cylindrical tube that had the inner diameter of 150 mm which was installed with two bars of 200 V, 500 W electric-infrared heater, and outer diameter of this tube was 400 mm. The roasting-malt prototype machine was performed by using paddy rice germination 3 kg per batch, 30-33 % on a wet basis (wb) of initial moisture content and the final moisture content not more than 14 % wb at 360, 380 and 400 degree Celsius (°C) respectively. The rotation speed of roaster tank was maintained at 10 revolutions per minute, The steamed process and dried process session were 90 min each.

From the results, the heat transfer of prototype machines was a suitable model for roasting malts rather than a machine powered by LPG. The temperature of 380 ° C of the prototype machine was the most appropriated condition for reducing heat losses and energy consumption costs which was lower than those of the machine powered by LPG by 81.90 % and 75.57 % respectively.

**Keywords:** rice malt, infrared, efficiency

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ดร.สถาพร ทองวิก ซึ่งได้ให้คำปรึกษาแนะนำ และหาแนวทางแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำงานวิจัยโดยตลอดผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ช่วยเหลือในด้านข้อมูลและสถานที่ บริษัทเอ็มอีดี วิศวกรรม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมืออุปกรณ์ในการสร้างเครื่องอบแห้ง ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบคุณภาพข้าว และบริษัทเจริญ โภคภัณฑ์วิศวกรรม จำกัดที่ได้ให้การสนับสนุนด้านเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองในงานวิจัยนี้ รวมทั้งเพื่อนร่วมงานทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอด ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบ พระคุณ บิดามารดา ที่สนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัย และคอยให้กำลังใจเสมอมาทำให้สามารถฝ่าฟันอุปสรรค นานับประการจนสำเร็จ ประโยชน์อันใด จากงานวิจัยขอมอบเป็นกตัญญูตานุชาแต่บิดามารดา ครู อาจารย์ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

พรศักดิ์ จิตรอำไพ



# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....	3
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
1.6 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 การอบแห้งและกระบวนการอบแห้งเมล็ดพืช.....	5
2.2 ประเภทเครื่องอบแห้ง.....	7
2.3 ฮีทเตอร์.....	12
2.4 กระบวนการผลิตข้าวมอลต์หึ่งรับประทาน.....	15
2.5 ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง.....	20
2.6 หลักการถ่ายเทความร้อน.....	20
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
3 วิธีการวิจัยและทดลอง.....	31
3.1 ศึกษาและเก็บข้อมูลเบื้องต้น.....	31
3.2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
3.3 ออกแบบและสร้างเครื่อง.....	31

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.4 ทดสอบและเก็บข้อมูล .....	31
3.5 การคำนวณการถ่ายเทความร้อนและพลังงาน .....	35
3.6 เปรียบเทียบผลด้านพลังงาน .....	37
3.7 สรุปผลการทดลอง.....	37
4 ผลการทดลอง .....	38
4.1 การศึกษารูปแบบการถ่ายเทความร้อน.....	38
4.2 หาอุณหภูมิที่เหมาะสมของกระบวนการคั่วข้าวเปลือกด้วยเครื่องที่พัฒนาขึ้น.....	41
4.3 เปรียบเทียบพลังงาน .....	43
5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	45
5.1 สรุปผลงานวิจัย .....	45
5.3 ข้อเสนอแนะ .....	46
รายการอ้างอิง.....	47
ภาคผนวก.....	49
ภาคผนวก ก แบบเครื่องคั่วข้าวต้นแบบด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรด .....	50
ภาคผนวก ข การคำนวณ .....	61
ภาคผนวก ค อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	75
ภาคผนวก ง ตารางบันทึกผลการทดลอง .....	80
ภาคผนวก จ ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	87
ประวัติผู้เขียน.....	109

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าคงที่ $A$ และ $n$ ในสมการ (2.21) .....	28
2.2 ค่าคงที่ $A$ และ $a$ ในสมการ (2.22) .....	28





## สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 เครื่องคว่ำข้าวต้นแบบ .....	2
2.1 ความสัมพันธ์อัตราส่วนความชื้นและอุณหภูมิของวัสดุอบแห้ง .....	6
2.2 เครื่องทำแห้งแบบ Cabinet drier.....	8
2.3 ส่วนประกอบของเครื่องทำแห้งแบบ Tray drier.....	8
2.4 เครื่องอบแห้งแบบ LSU.....	10
2.5 เครื่องอบแห้งแบบถังหมุนเวียน.....	10
2.6 เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด.....	11
2.7 เครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุน.....	12
2.8 ฮีตเตอร์อินฟราเรด.....	14
2.9 องค์ประกอบที่สำคัญของผลข้าว .....	15
2.10 การนำความร้อนและการพาความร้อนผ่านผนังทรงกระบอก .....	23
2.11 การกระจายอุณหภูมิในทรงกระบอกหลายชั้น.....	24
2.12 การเกิดชั้นผิวและการแยกหลุดจากผิวสำหรับการไหลขวางท่อมวัตถุ.....	25
2.13 การพาความร้อนสำหรับการไหลขวางท่อมวัตถุ.....	27
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย โดยรวม .....	31
3.2 เครื่องคว่ำข้าวด้วยฮีตเตอร์อินฟราเรด .....	32
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	33
3.4 ข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลอง.....	34
3.5 การทดสอบคว่ำข้าวมอลต์ด้วยเครื่องคว่ำข้าวฮีตเตอร์อินฟราเรด.....	34
3.6 ข้าวเปลือกหลังจากผ่านการคว่ำ.....	34
3.7 ข้าวหลังผ่านการกระเทาะเปลือก .....	35
3.8 ขั้นตอนการคำนวณ .....	36
4.1 พื้นผิวของถังเครื่องคว่ำข้าวด้วยฮีตเตอร์อินฟราเรด .....	38
4.2 กราฟเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณและทดลองอุณหภูมิ 380 °C.....	39
4.3 กราฟรวมการเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณและการทดลอง .....	40
4.4 ความร้อนสูญเสียของเครื่องคว่ำข้าวมอลต์ .....	41

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
4.5 อัตราการอบแห้งที่ความชื้นเริ่มต้น 32%w.b.....	42
4.6 ปริมาณข้าวตั้น.....	43
4.7 การใช้พลังงานในการคั่วข้าวมอลต์.....	44



## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

คำย่อ	อธิบายคำย่อ
LPG	Liquid petroleum gas
VAC	Voltage alternating current
CFD	Computational fluid dynamics
LSU	Louisiana State University
SMER	Specific moisture extraction rate
SEC	Specific energy consumption
rpm	Revolutions per Minute
min	Minute

สัญลักษณ์	อธิบายสัญลักษณ์
w.b.	มาตรฐานเปียก
kg	กิโลกรัม
kW	กิโลวัตต์
W	วัตต์
mm	มิลลิเมตร
$M_i$	ความชื้นวัสดุก่อนอบแห้ง
$M_f$	ความชื้นวัสดุหลังอบแห้ง
$P_e$	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้
t	เวลาในการอบแห้ง
$Re_D$	ตัวเลขเรย์โนลด์ส์
D	เส้นผ่านศูนย์กลาง
V	ความเร็ว
$T_\infty$	อากาศภายใต้บรรยากาศ
$T_s$	อุณหภูมิที่ผิว
$\mu\text{m}$	ไมโครเมตร

# บทที่ 1

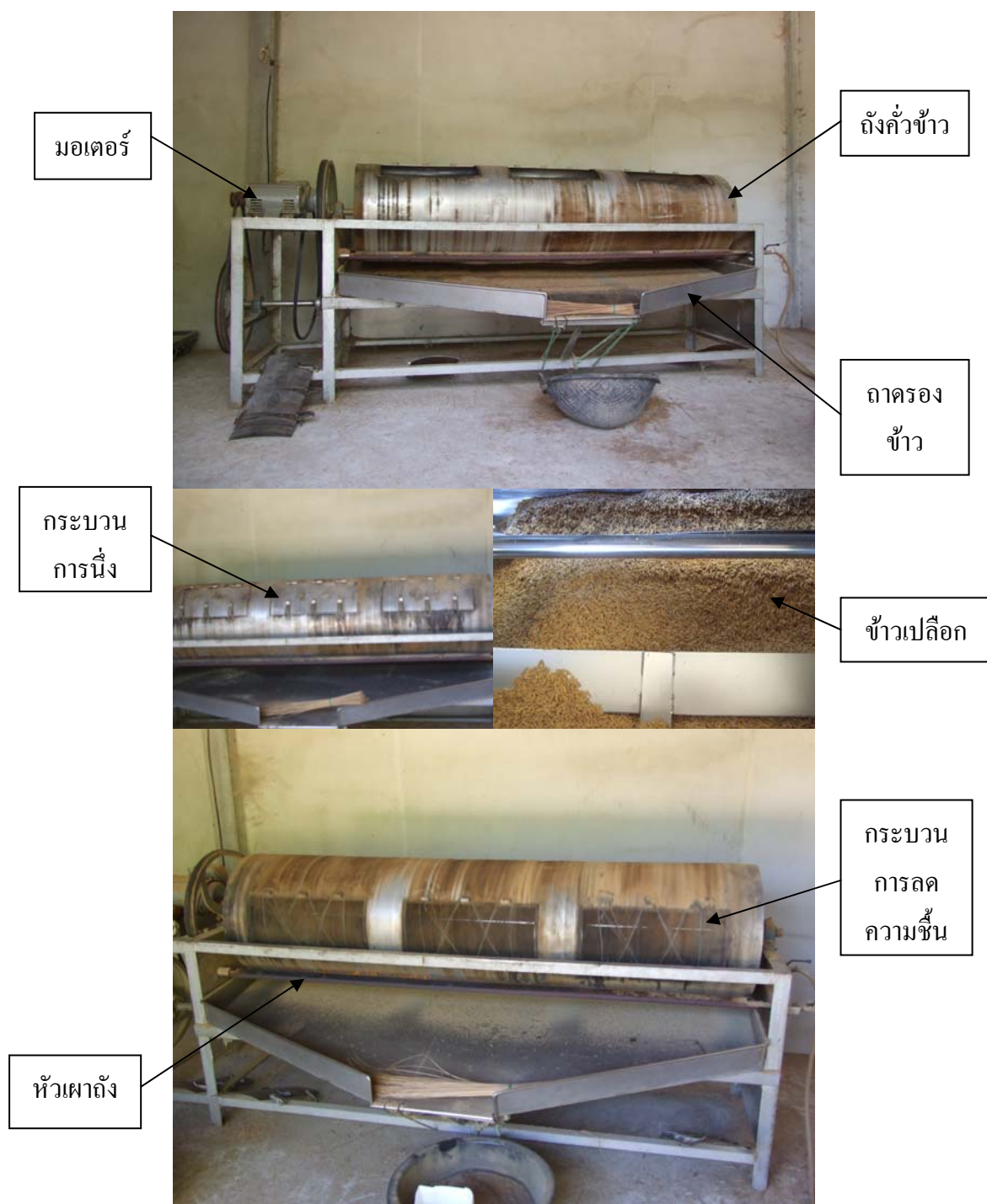
## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผลิตภัณฑ์ข้าวมอลต์หุงรับประทาน "ซันออไรซา" (Sunoryza) เป็นผลงานที่พัฒนาต่อเนื่องมาจากผลงานของ ผศ.ยุพกนิษฐ์ พวงวิระกุล [1] อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีชีวภาพและนักวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิต ที่ได้รับรางวัลชนะเลิศจากกรมทรัพย์สินทางปัญญาในปี 2545 และกระบวนการผลิตข้าวมอลต์หุงรับประทานได้รับการคุ้มครองตาม อนุสิทธิบัตรเลขที่ 928 ซึ่งเป็นข้าวที่มีคุณสมบัติแตกต่างจากข้าวที่หุงรับประทานทั่วไป คือ เมล็ดข้าวจะมีสีและกลิ่นที่หอมพิเศษ มีรสหวานเพิ่มขึ้น ที่สำคัญคือเป็นข้าวที่มีวิตามินบี 1 มากกว่าข้าวกล้อง 50 เท่า และมากกว่าข้าวเคลือบวิตามิน 26 เท่า และมีวิตามินบี 2 มากกว่าข้าวกล้อง 26 เท่า และมากกว่าข้าวเคลือบวิตามิน 2 เท่า เทคโนโลยีการผลิตและแปรรูปข้าวมอลต์หุงรับประทาน ได้ถูกถ่ายทอดมาสู่กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าว ต.คลองควาย อ.สามโคก จ.ปทุมธานี โดยได้รับการสนับสนุนจาก จ.ปทุมธานี ในปี 2549 กลุ่มผู้ปลูกข้าวได้ร่วมตัวกันจดทะเบียนเป็นรัฐวิสาหกิจชุมชน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิต แปรรูป และจำหน่ายข้าวมอลต์อย่างจริงจัง จากนั้นกลุ่มเกษตรกรจึงได้ออกแบบสร้างเครื่องแบบใช้แก๊ส LPG เพื่อใช้ในคั่ว ดังภาพที่ 1.1 ถึงคั่วมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 490 mm ยาว 2000 mm ใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนขนาด 2 HP ความเร็วรอบถึง 10 rpm ให้ความร้อนโดยการใช้แก๊สเผาถึงคั่วโดยตรง สามารถคั่วข้าวได้ครั้งละ 50 kg กระบวนการคั่วข้าวแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกจะทำการปิดฝาที่บเพื่อให้เกิดกระบวนการนึ่ง (Steaming) ซึ่งจะทำให้ข้าวมีสารอาหารเพิ่มขึ้น และยังช่วยลดการแตกหักในกระบวนการขัดสี ขั้นตอนที่ 2 เป็นกระบวนการอบแห้ง (Drying) กระบวนการนี้จะทำการเปลี่ยนฝาดังอบเป็นฝาดระแนงเพื่อระบายความชื้นออก กระบวนการนี้จะดำเนินต่อไปจนความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 14%w.b. จนข้าวมีกลิ่นหอม จากนั้นพักข้าวในสภาพแวดล้อม 1 วันแล้วนำไปกระเทาะเปลือกจะได้ข้าวมอลต์หุงรับประทาน

เครื่องคั่วข้าวที่เกษตรกรใช้เป็นแบบการใช้พลังงานร่วมระหว่างไฟฟ้ากับแก๊ส LPG เพื่อไม่ให้ข้าวเปลือกเกิดการไหม้ ต้องพลิกกลับข้าวเปลือกออกเนื่องจากไฟที่เผาถึงไม่สม่ำเสมอ ถ้าความดันในถังแก๊สต่ำปริมาณแก๊สลดลงค่าความร้อนลดลงทำให้คุณภาพข้าวจะไม่สม่ำเสมอ จากลักษณะการใช้ไฟเผาถึงโดยตรงทำให้มีการสูญเสียความร้อนให้กับสภาพแวดล้อมมาก ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตข้าวมอลต์ของเกษตรกรสูงขึ้น ไปด้วย รวมถึงยังมีค่าขนส่งแก๊ส LPG และยังทำให้

เกิดมลภาวะทางอากาศอีกด้วย จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าใช้การเผาถัง มีรูปแบบการถ่ายเทความร้อนจากด้านนอกสู่ด้านใน



ภาพที่ 1.1 เครื่องแกงข้าวต้นแบบ

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะลดการใช้พลังงาน ด้วยการออกแบบเครื่องคั่วข้าวต้นแบบ โดยใช้หลักการถ่ายเทความร้อนจากจุดศูนย์กลางของถังคั่วด้วยฮีทเตอร์ไฟฟ้าชนิดอินฟราเรด และทำการศึกษารูปแบบถ่ายเทความร้อน หากกระบวนการผลิตข้าวมอลต์หุงรับประทานที่เหมาะสมกับตัวเครื่องและเปรียบเทียบด้านการใช้พลังงาน ระหว่างเครื่องของเกษตรกรแบบใช้แก๊ส LPG กับเครื่องต้นแบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้น ผู้วิจัยหวังว่าผลการศึกษาที่ได้สามารถช่วยเกษตรกรลดต้นทุนด้านพลังงาน ในกระบวนการผลิตข้าวมอลต์ได้ในอนาคต

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษารูปแบบการถ่ายเทความร้อนของถังคั่วข้าว
- 1.2.2 เพื่อหาอุณหภูมิการคั่วข้าวมอลต์ที่เหมาะสมกับเครื่องต้นแบบ
- 1.2.3 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพลังงานของเครื่องคั่วข้าวเปลือกที่ใช้แก๊ส LPG กับเครื่องต้นแบบ

## 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

- 1.3.1 การทดลองหาอุณหภูมิที่เหมาะสมของการคั่วโดยปรับอุณหภูมิ และความเร็วรอบของถังคั่ว โดยกำหนดให้ความชื้นของข้าวเปลือกเริ่มต้นอยู่ระหว่าง 30-40 %w.b. และความชื้นหลังการคั่วไม่เกิน 14 %w.b.
- 1.3.2 ในการทดลองนี้ไม่ได้หาสถานะและกระบวนการเพาะงอกของข้าวเปลือก โดยจะใช้ข้าวเปลือกที่มีการเพาะงอกเช่นเดียวกับเครื่องของเกษตรกร
- 1.3.3 กำหนดให้อุณหภูมิที่ผิวท่อด้านในมีอุณหภูมิเท่ากันตลอดความยาว
- 1.3.4 อุณหภูมิอากาศที่เครื่องคั่วข้าวด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรดมีอุณหภูมิตลอดการทดลอง
- 1.3.5 ไม่มีการสูญเสียความร้อนของผิวผนังท่อกำเนิดความร้อน

## 1.4 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.4.1 ศึกษาแบบการถ่ายเทความร้อนของเครื่องคั่วข้าวมอลต์
- 1.4.2 ออกแบบและพัฒนาเครื่องคั่วข้าวมอลต์ ขนาดความจุ 3 kg
- 1.4.3 ตัวถังคั่วข้าวเปลือกทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 mm ยาว 500 mm
- 1.4.4 ระบบให้ความร้อน ใช้ฮีทเตอร์ไฟฟ้าชนิด Far Infrared (FIR) ขนาด 500 จำนวน 2 หลอด โดยถ่ายความร้อนจากด้านในถังคั่วใช้ไฟฟ้า 220 V 50Hz พร้อมด้วยระบบควบคุมอุณหภูมิ

1.5.5 อุณหภูมิการคั่วข้าวมอลต์ที่เหมาะสมพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ข้าวคั่ว

1.5.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพลังงานระหว่างเครื่องคั่วข้าวด้วยแก๊ส LPG และเครื่องคั่วแบบพิจารณาจากการผลิตข้าวมอลต์ 1 kg (ข้าวเปลือก)

## 1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานการนึ่งข้าวเปลือก การอบแห้ง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 เก็บข้อมูลเครื่องคั่วข้าวของเกษตรกรใช้แก๊ส LPG

1.5.3 ออกแบบและสร้างเครื่องคั่วข้าวคั่วแบบ

1.5.4 ทำการทดสอบเก็บข้อมูล และทำการปรับปรุงแก้ไข

1.5.5 วิเคราะห์ผลการทดสอบและเปรียบเทียบผลการทดสอบ

1.5.6 สรุปผลการทดสอบ

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ลดต้นทุนในการผลิตข้าวมอลต์หุงรับประทาน ต้นทุนในการคั่วข้าวให้กับกลุ่มเกษตรกร ต.คลองควาย อ.สามโคก จ.ปทุมธานี

1.6.2 ได้เครื่องคั่วข้าวมอลต์คั่วแบบที่มีการใช้พลังงานคิดที่การผลิตข้าวมอลต์ 1 kg ต่ำกว่าเครื่องผลิตข้าวมอลต์ของเกษตรกร

1.6.3 ทราบถึงรูปแบบการถ่ายเทความร้อนและกระบวนการผลิตข้าวมอลต์ที่เหมาะสมกับเครื่องคั่วแบบที่พัฒนาขึ้น เพื่อใช้ในการพัฒนาผลิตเครื่องคั่วข้าวมอลต์ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

1.6.4 มีส่วนช่วยในการส่งเสริมสนับสนุนให้เกิดอุตสาหกรรมขนาดย่อมเพิ่มรายได้ในการแปรรูปข้าวมอลต์หุงรับประทานให้กับกลุ่มเกษตรกร เกิดการส่งเสริมเศรษฐกิจในระดับฐานรากซึ่งจะส่งผลต่อความเจริญในท้องถิ่น การศึกษาและก่อให้เกิดการพัฒนาในระดับท้องถิ่นและระดับประเทศต่อไป

## บทที่ 2

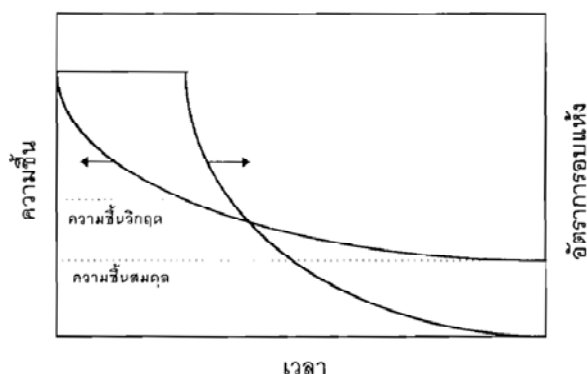
### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การอบแห้งและกระบวนการอบแห้งเมล็ดพืช

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้นซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ความร้อนที่ทำให้ไอน้ำระเหยออกจากวัสดุส่วนมากแล้วได้รับความร้อนมาจากความร้อนสัมผัสของอากาศ และการถ่ายเทความร้อนจะมีทั้งการนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสี แต่โดยทั่วไปแล้วมักจะเป็นการถ่ายเทความร้อน ด้วยการพาความร้อนเป็นหลัก ซึ่งในการอบแห้งโดยทั่วไปมักใช้อากาศร้อนในการอบแห้ง ความร้อนจะถ่ายเทอากาศร้อนไปยังวัสดุซึ่งความร้อนส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการระเหยของน้ำ โดยของเหลวที่อยู่ภายในวัสดุจะเคลื่อนที่ออกมายังผิววัสดุโดย (Capillary flow) ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงผิว (Surface force) ส่วนไอน้ำในวัสดุจะเคลื่อนที่เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Vapor diffusion) และความดันไอ (Partial vapor of pressure) ที่ความแตกต่างระหว่างไอน้ำในวัสดุกับความชื้น ถ้าผิวของวัสดุมีน้ำอยู่จำนวนมาก การลดลงของความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวก็จะคงที่ ส่งผลให้การอบแห้งคงที่ด้วย และเมื่อปริมาณน้ำที่ผิวของวัสดุลดลงมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวย่อมเปลี่ยนแปลง กล่าวคืออุณหภูมิของวัสดุเพิ่มขึ้นทำให้ความเข้มข้นของไอน้ำในวัสดุลดลง ส่งผลให้อัตราการอบแห้งลดลง ความชื้นที่อยู่ระหว่างอัตราการอบแห้งคงที่และอัตราการอบแห้งลดลงเรียกว่า ความชื้นวิกฤต และอัตราการอบแห้งจะลดลงตลอดระยะเวลาการอบแห้ง จนกระทั่งความดัน ไอของของเหลวในวัสดุมีค่าไม่แตกต่างกับความดัน ไอของอากาศแวดล้อมในการอบแห้ง ความชื้นที่จุดสุดท้ายเรียกว่า ความชื้นสมดุล เป็นจุดที่ไม่มีการถ่ายเทความชื้นอีกต่อไปดังแสดงในภาพที่ 2.1 อัตราการอบแห้งแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ

- 1) ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นที่ผิวนอกของวัสดุเท่านั้น น้ำจะเกาะอยู่ที่ผิววัสดุเป็นจำนวนมาก เมื่อผ่านความเร็วลมที่ไหลผ่านวัสดุ จะทำให้ฟิล์มอากาศนี้มีความหนาลดลง เป็นผลให้ความต้านทานต่อการไหลของความร้อนและมวลลดลงด้วย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศอบแห้ง จะทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างที่ผิววัสดุและของกระแสอากาศที่ไหลอย่างอิสระมีมากขึ้น เป็นผลให้มีการถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้น





ภาพที่ 2.1 ความสัมพันธ์อัตราส่วนความชื้นและอุณหภูมิของวัสดุอบแห้ง [2]

2) ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง การถ่ายเทความร้อนและมวลจะไม่เกิดอยู่ที่ผิวนอกของวัสดุเท่านั้น แต่จะเกิดขึ้นภายในผิวและภายในเนื้อวัสดุด้วย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศอบแห้ง จะทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิมีมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

### 2.1.1 กระบวนการอบแห้ง

เป็นกระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีการใดวิธีหนึ่งไปยังผลิตภัณฑ์ที่ความชื้นเมื่อวัสดุได้รับความร้อนจะเกิดกระบวนการถ่ายเทมวลผลิตภัณฑ์ไปยังอากาศ ดังนั้นกระบวนการอบแห้งจึงขึ้นอยู่กับกระบวนการถ่ายเทความร้อน เช่นการนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสี และกระบวนการถ่ายเทมวล โดยกระบวนการทั้งสองจะเกิดขึ้นพร้อมกัน การที่ความร้อนถูกถ่ายเทให้แก่วสดุก็เพื่อทำให้น้ำในวัสดุระเหยกลายเป็นไอ ผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีความชื้นค่อนข้างสูงขณะทำการเก็บเกี่ยว ทำให้เก็บรักษาไม่ได้นาน การอบแห้งจะช่วยให้สามารถเก็บรักษาผลผลิตได้เป็นระยะเวลายาวนานขึ้น

### 2.1.2 หลักการอบแห้งเมล็ดพืช

โดยทั่วไปเรามักใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูง และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ทั้งนี้เพราะสามารถอบแห้งได้เร็วและได้ความชื้นของเมล็ดพืชต่ำตามความต้องการ อุณหภูมิของอากาศจะสูงเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการนำเมล็ดพืชไปใช้งาน วิธีและเทคนิคที่ใช้ในการอบแห้งโดยมากเรามักจะเลือกอุณหภูมิสูงสุดที่ยอมให้ได้โดยคุณภาพของเมล็ดพืชไม่เสียหาย เพราะจะทำให้อบแห้งได้เร็ว มีผลให้เครื่องอบแห้งที่ต้องใช้มีขนาดเล็กลง ทำให้การลงทุนต่ำ ในการอบแห้งบางวิธีเราอาจใช้อากาศแวดล้อมในการอบแห้ง เช่นวิธีการอบแห้งในถังเก็บ คืออบแห้งเมล็ด

พืชภายในตัวถังที่ใช้เก็บรักษา การใช้อากาศอบแห้งที่มีอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เมล็ดพืชด้านล่างของถังสัมผัสกับลมร้อนก่อนแห้งเกินกว่าที่ต้องการ ส่วนเมล็ดพืชด้านบนของถังซึ่งสัมผัสกับลมร้อนจะยังขึ้นอยู่ ในขณะที่อากาศร้อนเคลื่อนที่ผ่านชั้นเมล็ดพืช จะเกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลขึ้นพร้อมๆ กัน ความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทไปยังเมล็ดพืชและทำให้น้ำที่บริเวณผิวเมล็ดจะระเหยไปในอากาศ เป็นผลให้อากาศมีอุณหภูมิลดลง และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงขึ้น ส่วนเมล็ดพืชจะมีความชื้นลดต่ำลง และหากความชื้นลดลงมากพอแล้วอุณหภูมิของเมล็ดพืชก็จะสูงขึ้นด้วย จนในที่สุดเมล็ดพืชจะมีอุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิอากาศที่ใช้ออบแห้ง ความชื้นลดลงจนถึงระดับความชื้นสมดุล เมื่อเมล็ดพืชแห้งดีแล้วจะให้เมล็ดพืชสัมผัสกับอากาศแวดล้อมเพื่อให้อุณหภูมิของเมล็ดพืชต่ำลง หากเก็บเมล็ดพืชทั้งที่ยังมีอุณหภูมิสูงอยู่อาจเกิดปัญหาการไหลเวียนของอากาศโดยธรรมชาติอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ซึ่งมีผลให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำในอากาศ ทำให้เมล็ดพืชในบริเวณที่มีการควบแน่นมีความชื้นสูงขึ้น โดยมากมักจะเป็นที่ขึ้นบนๆ และจะเป็นจุดเริ่มต้นของการแพร่เชื้อราและแมลงต่อไป

## 2.2 ประเภทเครื่องอบแห้ง

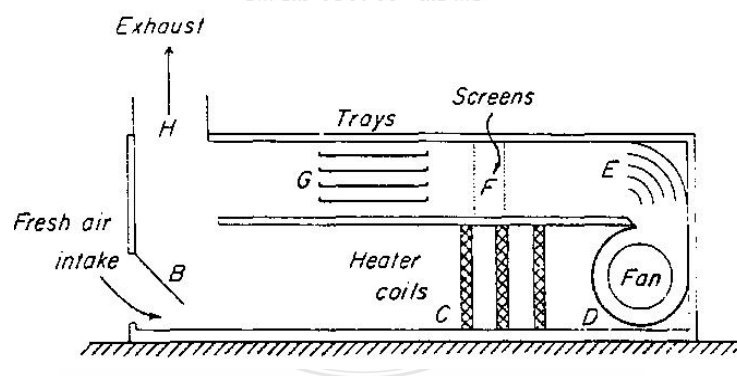
ส่วนประกอบของเครื่องอบโดยทั่วไปจะมีอยู่ 3 ส่วนคือ 1.ห้องอบแห้ง ซึ่งมีทั้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่และแบบเมล็ดเคลื่อนที่ 2. แหล่งกำเนิดความร้อนซึ่งในปัจจุบันมีการนำเชื้อเพลิงมาใช้หลายรูปแบบ 3. พัดลมที่มีหน้าที่ดูดและส่งอากาศร้อน ซึ่งหลักการอบเมล็ดพืชนั้นจะแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของแต่ละชนิดของเมล็ดพืช

### 2.2.1 Cabinet drier

เครื่องทำแห้ง (Drier) ที่ใช้เพื่อการทำแห้ง (Dehydration) อาหาร ที่มีลักษณะเป็นตู้ (Cabinet) ทำงานเป็นกะ (Catch) เหมาะสำหรับโรงงานขนาดเล็ก ที่ไม่ต้องการกำลังการผลิต สูงมาก ลักษณะเป็นตู้ ดังแสดงในภาพที่ 2.2 ซึ่งมีช่องเข้าของอากาศ (Fresh air intake,B) ถูกดูดเข้าในตู้อบ ผ่านคอยล์ร้อน (Heater coil,C) โดยใช้พัดลม (Fan,D) ก่อนลมร้อนแห้งจะถูกเป่าเข้าห้องอบแห้งอาจผ่านตะแกรงกรอง (Screen,F) เพื่อให้อากาศสะอาด ลมร้อนแห้งจะ ระเหยน้ำจากอาหาร เป็นการถ่ายเทความร้อนแบบ การพาความร้อน ระหว่างการอบ ลมร้อนขึ้น ที่ผ่านอาหาร จะถูกปล่อยออก (Exhaust,H) ดังแสดงในภาพที่ 2.3 ภายในห้องอบถาด (Tray) สำหรับใส่วัตถุดิบที่ต้องการอบแห้งเรียงเป็นชั้นๆ ซึ่ง อาจเรียกว่าเครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray drier) หรือภายในห้องอบอาจเป็นไม้แขวนอาหารที่ต้องการอบ หรือรถเข็น เข็นอาหารเข้าไปในห้องอบ



ภาพที่ 2.2 เครื่องทำแห้งแบบ Cabinet drier [3]



ภาพที่ 2.3 เครื่องทำแห้งแบบ Tray drier [4]

### 2.2.2 เครื่องอบแห้งแบบข้าวเปลือกไหล

เครื่องอบแห้งแบบนี้ต่างกับเครื่องอบแห้งแบบข้าวเปลือกอยู่กับที่ ตรงที่ข้าวเปลือกจะไหลลงสู่ที่ต่ำโดยแรงโน้มถ่วง เครื่องอบแห้งชนิดนี้สามารถแบ่งย่อยได้อีก คือแบบไหลวางและแบบข้าวเปลือกไหลคดุกเคด้า เครื่องอบแห้งทั้งสองแบบนี้เหมาะกับการใช้งานในระดับกลางและใหญ่ เพราะใช้อุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศสูง ทำให้การอบแห้งเป็นไปอย่างรวดเร็ว

1) เครื่องอบแห้งแบบไหลขวาง (Cross flow dryer) ในเครื่องอบแห้งแบบไหลตามขวาง อากาศที่ใช้ออบแห้งจะไหลตัดผ่านทิศทางการไหล โดยมีลักษณะการทำงานคือข้าวเปลือกจะไหลจากด้านบนลงด้านล่างผ่านช่องแคบซึ่งกว้างประมาณ 0.30-0.45 m. และไหลออกทางด้านล่างของเครื่องอบแห้งด้วยตัวควบคุมการไหล ช่องแคบที่ข้าวเปลือกไหลลงนี้แบ่งได้เป็น 2 ส่วน ส่วนบนเป็นส่วนอบแห้งและส่วนล่างเป็นส่วนที่ทำให้ข้าวเปลือกเย็นลงหลังอบแห้งแล้วเสร็จ

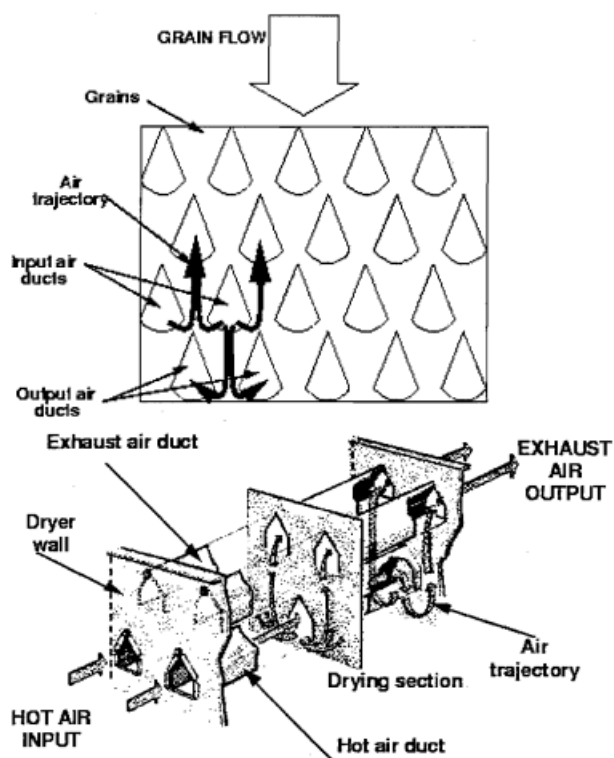
2) เครื่องอบแห้งแบบข้าวเปลือกไหลคลุกเคล้า (LSU) ลักษณะโครงสร้างของเครื่องอบแห้งเป็นถังรูปทรงสี่เหลี่ยมมีท่อลมเข้าและท่อลมออกเป็นรูปสามเหลี่ยม ขวางการไหลของเมล็ดข้าวเปลือกดังภาพที่ 2.4 ทำให้ข้าวเปลือกไหลเป็นแบบซิกแซ็ก ซึ่งทำให้ข้าวเปลือกมีการคลุกเคล้ากันขณะอบแห้งอย่างสม่ำเสมอ เครื่องอบแห้งแบบ LSU ยังแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ แบบชนิดท่อลมขนานกันกับชนิดท่อลมเข้าและออกไขว้ตั้งฉากกันสำหรับชนิดท่อลมเข้าและออกไขว้ตั้งฉากกัน

### 2.2.3 เครื่องอบแห้งแบบถึงหมุนเวียน (Recirculating dryer)

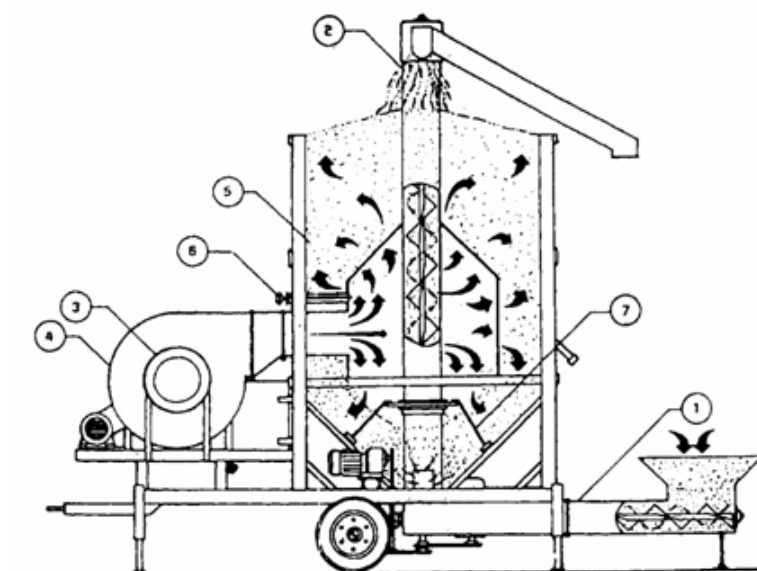
ลดความชื้นแบบนี้ถึงบรรจุเมล็ดพืชจะทำด้วยตะแกรง เป็นรูปทรงกระบอกแนวตั้ง ส่วนกลางของถังจะมีท่อลมทำด้วยตะแกรงรูปทรงกระบอก ซ้อนอยู่ภายใน ลมร้อนจะถูกเป่าให้ผ่านเมล็ดตามแนวรัศมี ผ่านรูตะแกรงออกสู่ภายนอก เมล็ดพืชที่อยู่ด้านล่างจะถูกลำเลียงขึ้นไปด้านบนใหม่หลายเที่ยวจนกว่าจะแห้งดังแสดงในภาพที่ 2.5

### 2.2.4 เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบด (Fluidized bed drier)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำแห้ง (Dehydration) ที่ใช้ลมร้อนเป่าผ่านชั้นวัสดุ (Bed) ทำให้วัสดุลอยตัวเป็นอิสระ เกิดการคลุกเคล้าและสัมผัส กับลมร้อน อย่างสม่ำเสมอ สามารถ ลดความชื้นของวัสดุลงอย่างรวดเร็วดังภาพที่ 2.6 เหมาะกับวัสดุที่เป็นเม็ดเล็กที่มีรูปทรงและขนาดสม่ำเสมอ เช่น เมล็ดธัญพืช (Cereal grain) ถั่ว (Legume) เป็นต้น



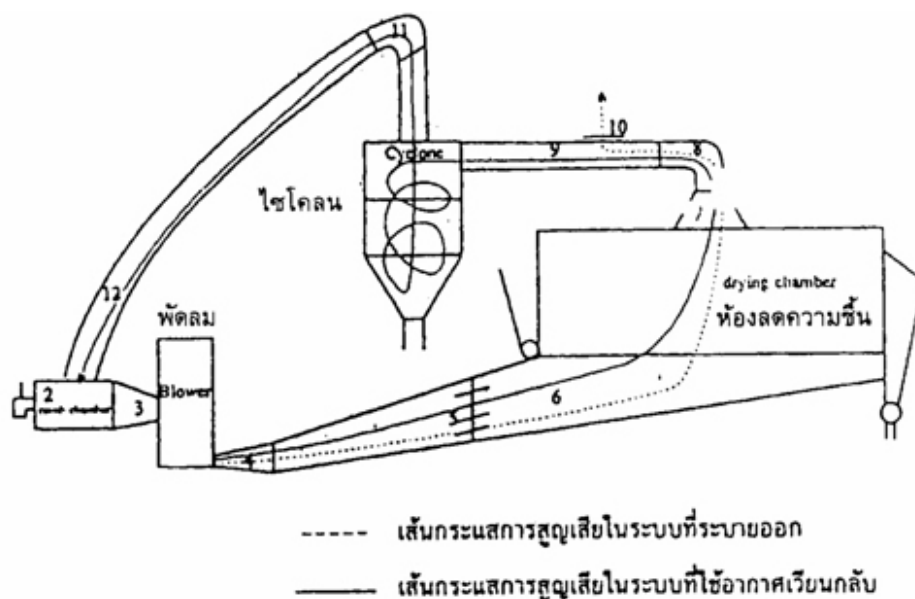
ภาพที่ 2.4 เครื่องอบแห้งแบบ LSU



1. เกลียวลำเลียงเมล็ดเข้าถังอบ
2. ชุดปรับทิศทางการไหลของเมล็ดพืช
3. เต้าเผา
4. พัดลม
5. เมล็ดพืช
6. หน้าปัทม์แสดงอุณหภูมิลมร้อน
7. แกนยึด

เครื่องลดความชื้นแบบกังหันเวียน

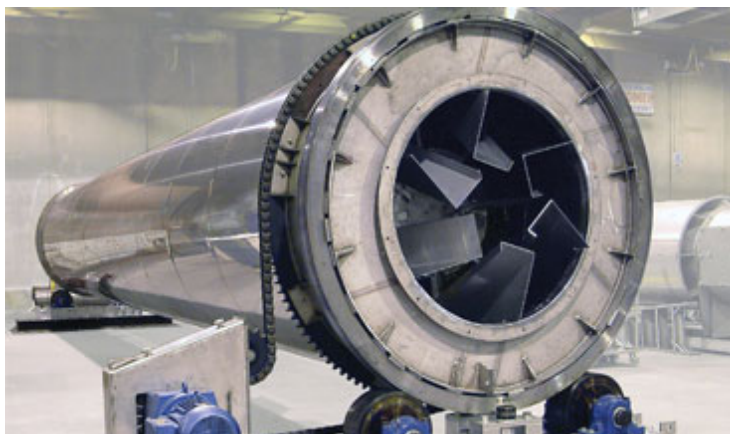
ภาพที่ 2.5 เครื่องอบแห้งแบบกังหันเวียน (Recirculating dryer) [5]



ภาพที่ 2.6 เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด (Fluidized bed drier) [6]

### 2.2.5 เครื่องอบแห้งแบบถังหมุน (Rotary drier)

เป็นเครื่องแห้งซึ่งนำมาใช้สำหรับการทำแห้ง (Dehydration) อาหาร เครื่องอบแห้งประเภทนี้ประกอบด้วย ตัวถังอบ เป็นรูปทรงกระบอกวางนอนวางเอียงเล็กน้อย หมุนรอบตัว ภายในตัวถัง ทำเป็นครีบทัดดั่งแสดงในภาพที่ 2.7 วัสดุที่ต้องการอบจะถูกป้อนเข้าด้านบนของเครื่อง เมื่อถึงหมุน ครีบทัดจะดันวัสดุขึ้นไป แล้วโปรยจากด้านบน สวนกับลมร้อนที่เป่าเข้าด้านล่าง วัสดุเคลื่อนที่และจะคลุกเคล้ากันตลอดเวลา ทำให้การอบแห้งสม่ำเสมอ วัสดุที่อบแห้งเสร็จแล้วจะเคลื่อนที่ ออกทางช่องเปิดด้านล่างเครื่องอบแห้งแบบถังหมุน เหมาะสำหรับการทำแห้งอาหาร ที่ต้องการกำลังการผลิตสูง ประเภทวัสดุปริมาณมวล (Bulk material) ที่ทนต่อแรง กระทบ ไม่ฉ่ำง่าย หรือแตกหักง่าย เช่น เมล็ดธัญพืช ถั่วเมล็ดแห้ง อาหารสัตว์การอบแบบถังหมุน วัสดุที่อบแห้งจะสัมผัสกับลมร้อนโดยตรง หรือสัมผัสโดยทางอ้อม โดยใช้ไอน้ำวิ่งอยู่ในท่อที่ติดอยู่กับเสื้อ (Jacket) ที่หุ้มอยู่รอบของตัวถัง



ภาพที่ 2.7 เครื่องอบแห้งแบบถ่วงทรงกระบอกหมุน [7]

### 2.3 ฮีตเตอร์

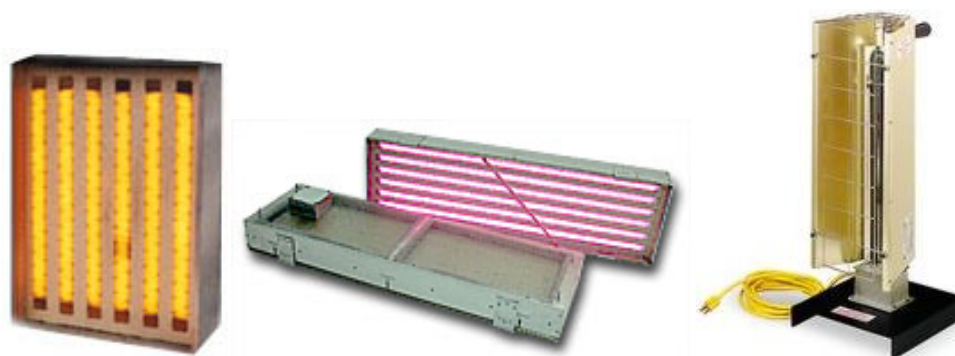
เป็นอุปกรณ์ทำความร้อนในอุตสาหกรรมดังภาพที่ 2.8 ที่มีหลักการพื้นฐานคือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำที่มีค่าความต้านทานสูง ลวดตัวนำจะร้อนดั่งนั้นลวดที่ใช้ผลิตฮีตเตอร์จะต้องมีคุณสมบัติเหนียวและทนอุณหภูมิได้สูง ฮีตเตอร์ถูกแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันดังนี้

- 1) ฮีตเตอร์แท่ง หรือ Cartridge heater ใช้ให้ความร้อนกับวัสดุที่เป็นของแข็ง เช่น เหล็กและโลหะต่างๆ ตัวอย่างการใช้งาน
- 2) ฮีตเตอร์ครีปหรือ Finned heater และ ฮีตเตอร์ท่อกลม ใช้ความร้อนกับอากาศ เช่น ใช้ในห้องอบแห้ง ในเตาอบ
- 3) ฮีตเตอร์จุ่ม หรือ Immersion heater หรือบางที่เรียกว่า ฮีตเตอร์ต้มน้ำ ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวทุกชนิด ตัวอย่างการใช้งานเช่น งานต้มน้ำ - ต้มน้ำมัน งานผสมสาร
- 4) บอบบิ้นฮีตเตอร์ (Bobbin heater) ใช้ให้ความร้อนของเหลวเหมือนฮีตเตอร์จุ่ม
- 5) ฮีตเตอร์อินฟราเรด (Infrared heater) ใช้ให้ความร้อนกับวัตถุโดยไม่ต้องสัมผัส โดยตรงไม่เหมาะกับวัตถุที่มีลักษณะมันวาวเนื่องจากวัตถุมันวาวจะมีคุณสมบัติสะท้อนแสง ทำให้ไม่สามารถดูดซับแสงอินฟราเรดได้อย่างเต็มที่ซึ่งติดตั้งในเตาอบหรือเหนือคอนเวเยอร์ได้
- 6) ฮีตเตอร์รัดท่อ หรือ Band heater ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวที่อยู่ในท่อหรือถังรูปทรงกระบอกโดยรัดจากด้านนอก
- 7) ฮีตเตอร์แผ่น หรือ Strip heater ใช้ให้ความร้อนโดยแนบกับวัตถุโดยตรงสามารถออกแบบให้เป็นรูปทรงใดก็ได้

รังสีอินฟราเรดมีการแบ่งย่อยออกได้ 3 ระดับ คือ รังสีอินฟราเรดใกล้ (Near infrared, NIR) ช่วงความยาวคลื่น 0.75 - 3  $\mu\text{m}$ . รังสีอินฟราเรดกลาง (Middle infrared, mid-IR) ช่วงความยาวคลื่น 3 - 25  $\mu\text{m}$ . และรังสีอินฟราเรดไกล (Far infrared, FIR) ช่วงความยาวคลื่น 25 - 100  $\mu\text{m}$ . รังสีอินฟราเรดมีจุดเด่นที่น่าสนใจ คือ ประการแรก พลังงานจากรังสีอินฟราเรดจะถูกแผ่ไปยังวัสดุซึ่งจะทำให้โมเลกุลของน้ำภายในวัสดุสั่น และเกิดความร้อนขึ้นซึ่งจะทำให้อุณหภูมิภายในวัสดุสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิวทำให้ผิวภายนอกวัสดุไม่เหี่ยวแห้งและยังช่วยให้มีอัตราการอบแห้งที่สูง ลดระยะเวลาการอบแห้งและพลังงานที่ใช้ด้วย ประการที่สองหลอดรังสีอินฟราเรดให้ Heat flux ที่ค่อนข้างสูงอุปกรณ์จึงมีขนาดเล็กประการที่สามการให้ความร้อนโดยการแผ่รังสีจะทำให้อุณหภูมิกระจายค่อนข้างสม่ำเสมอประการสุดท้าย คือ รังสีอินฟราเรดสามารถนำไปใช้ควบคู่กับระบบอื่นได้ง่ายเนื่องจากใช้พื้นที่ในการติดตั้งที่น้อย ไม่มีความซับซ้อนของระบบ และตอบสนองต่อการควบคุมได้รวดเร็ว

ฮีตเตอร์อินฟราเรด มีหลักการทำความร้อน คือ ให้กำเนิดแสงอินฟราเรดและส่งไปยังวัตถุ โดยเป็นแสงคลื่นยาวที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตามนุษย์ ซึ่งรังสีคลื่นยาวนี้ จะทำให้โมเลกุลของวัตถุที่ได้รับรังสีนี้เข้าไปเกิดการสั่น ทำให้เกิดความร้อนขึ้น หลักการนี้จะมีประสิทธิภาพมาก เมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับวัตถุที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่เรียงกันเป็นแถวยาว เช่น ลี กาว อาหารพลาสติก แลกเกอร์หน่วยเล็กที่สุดของวัตถุ คือ โมเลกุล ซึ่งประกอบด้วยอะตอมของธาตุต่าง ๆ การที่วัตถุสามารถอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อนได้ เนื่องจากโมเลกุลเหล่านั้นมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกัน ของวัตถุไฮโมเลกุล (โมเลกุลที่เกาะกันเป็นสายยาว เช่น ลี พลาสติก ยาง) จะยึดเกาะกันคล้ายสปริง ซึ่งจะมีการสั่นอยู่บ้าง เมื่อวัตถุไฮโมเลกุลได้รับรังสีอินฟราเรด ซึ่งมีความถี่ของคลื่นใกล้เคียงกับการสั่นของโมเลกุล จะส่งผลให้โมเลกุลต่างๆ มีการสั่นที่รุนแรงขึ้น เนื่องจากอิเล็กตรอนอิสระมีพลังงานมากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดความร้อนขึ้นที่ตัววัตถุ ช่วงรังสีที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการทำความร้อนกับวัตถุ คือ ช่วงรังสีคลื่นยาว คลื่นความยาวช่วงอื่นจะถือเป็นความสูญเสีย (เนื่องจากวิ่งทะลุวัตถุหรือถูกสะท้อนกลับ) ดังนั้น Infrared heater ที่มีประสิทธิภาพ จะต้องมีความสามารถในการแปลงพลังงานไฟฟ้า ให้อยู่ในรูปของคลื่นอินฟราเรดให้มากที่สุด คือ ช่วง 3 - 10 mm องค์ประกอบสำคัญที่ต้องพิจารณา คือ แหล่งกำเนิดคลื่นอินฟราเรด และวัตถุเป้าหมาย ในขณะที่การทำความร้อนด้วยวิธีการพา และการนำความร้อน จะเน้นที่ตัวกลาง





ภาพที่ 2.8 ฮีตเตอร์อินฟราเรด

1) ลักษณะของ Infrared heater

- สามารถให้ความร้อนวัตถุได้ถึงเนื้อใน จึงทำให้ประหยัดเวลาได้ 1-10 เท่า (การให้ความร้อนแบบการพาและการนำความร้อน จะทำให้วัตถุร้อนเฉพาะที่ผิว แล้วค่อย ๆ ซึมเข้าไปเนื้อใน จึงใช้เวลามาก

- มีขนาดเล็กกว่าฮีตเตอร์แบบทั่ว ๆ ไป ทำให้ประหยัดเนื้อที่
- การติดตั้ง และการถอดเปลี่ยนเพื่อซ่อมบำรุงง่าย
- มีความปลอดภัยสูง เนื่องจากไม่มีเปลวไฟ ตัวเรือนมีความเป็นฉนวนสูง ไฟไม่รั่ว
- ให้รังสีช่วง 3 – 10 มม. ซึ่งเป็นช่วงที่วัสดุเกือบทุกชนิดสามารถดูดซับรังสีได้ดี

2) การประยุกต์ใช้งาน

- ใช้ในการอบแห้งต่าง ๆ เช่น สี แล็กเกอร์ กาว เมล็ดพันธุ์พืช อีพ็อกซี่
- ใช้กับอุตสาหกรรมพลาสติก อบพลาสติกให้อ่อนตัวก่อนนำไปเข้าเครื่องเป่า
- ใช้กับอุตสาหกรรมอาหาร ขนมอบีง เบเกอร์รี่
- ใช้ในวงการแพทย์ เช่น การอบฆ่าเชื้อ, ห้องอบเด็กทารก
- ใช้กับอุตสาหกรรมเคลือบผิวต่าง ๆ เช่น เคลือบสี ผิว เซรามิก มีรามีน

3) ข้อควรระวัง

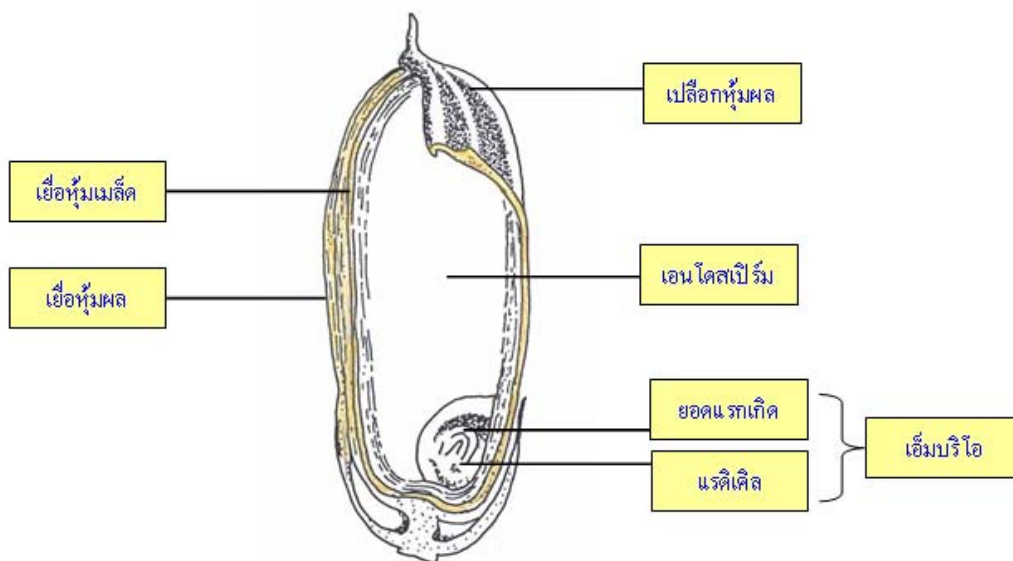
- การให้ความร้อนแบบอินฟราเรด สิ่งที่สำคัญที่สุด คือ ตัววัตถุจะต้องดูดซับรังสีได้ดี ดังนั้น วัตถุบางชนิดที่มีผิวมันวาว หรือมีคุณสมบัติการสะท้อนแสงที่ดีจะไม่เหมาะกับการให้ความร้อนด้วยวิธีนี้

- ถ้าต้องการควบคุมอุณหภูมิ พยายามวางหัววัตถุอุณหภูมิให้ใกล้วัตถุมากที่สุด หรือใช้หัววัตถุอุณหภูมิแบบอินฟราเรด

## 2.4 กระบวนการผลิตข้าวมอลต์หึ่งรับประทาน

เริ่มจากการนำข้าวเปลือกที่ได้จากการเก็บเกี่ยวมาผ่านกระบวนการลดความชื้น มาทำความสะอาดจากนั้นจึงทำการเพาะงอกเป็นระยะเวลาสามวัน นำข้าวเปลือกงอกมาผ่านกระบวนการนึ่งทำการลดความชื้นและคั่วจนข้าวมีกลิ่นหอมตามความต้องการ

### 2.4.1 สรีระของข้าว (Rice physiology)



ภาพที่ 2.9 องค์ประกอบที่สำคัญของผลข้าว [8]

ข้าวจัดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ส่วนที่นำมาบริโภคคือส่วนของผลหรือที่มักเรียกกันว่าเมล็ด ซึ่งมีเปลือกหุ้มผลที่แข็งที่เรียกว่าแกลบ เมื่อจะรับประทานจึงต้องกะเทาะเปลือกหุ้มออกก่อนจึงจะได้ส่วนของผลข้าวหรือเมล็ดข้าว โดยปกติผลข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสีจะเรียกว่าข้าวกล้อง ส่วนผลข้าวที่ผ่านกระบวนการขัดสีจนได้เมล็ดข้าวที่มีสีขาว เราเรียกว่าข้าวสาร ดังนั้นข้าวกล้องจึงมีคุณค่าทางสารอาหารมากกว่าข้าวที่ผ่านการขัดสีแล้ว ส่วนประกอบที่สำคัญของผลข้าว ดังแสดงในภาพที่ 2.8 สารอาหารที่สำคัญในข้าวกล้อง ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัว วิตามินบี 1 (Thiamin) วิตามินบี 2 (Riboflavin) วิตามินบี 3 (Niacin) วิตามินบี 5 (Pantothenic acid) วิตามินอี กรดโฟลิก (Folic acid) เหล็ก แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และซีลีเนียม นอกจากนี้ในข้าวกล้องยังมีเส้นใยอาหารอีกด้วย

#### 2.4.2 กระบวนการผลิตข้าวเหนียว (Parboiled rice process)

ขั้นตอนการผลิตข้าวเหนียวที่สำคัญมีอยู่ 3 ขั้นตอน คือ การแช่ (Soaking) การนึ่ง (Steaming) และการอบแห้ง (Drying)

กระบวนการแช่ข้าวเปลือกเป็นขั้นตอนที่สำคัญ ซึ่งเป็นขั้นตอนใช้ในการเพิ่มปริมาณความชื้นให้กับเมล็ดข้าว ปัจจุบันนิยมแช่ข้าวด้วยน้ำร้อนเพื่อจะทำให้ความชื้นเข้าไปในเมล็ดข้าว ได้รวดเร็วขึ้น โดยความชื้นนี้ทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวจนเพียงพอที่จะทำให้เกิดการ Gelatinization ได้ Kar, et al. (1999) [9] ได้ทำการวิจัยโดยการแช่ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 70-100°C จนได้ความชื้นสุดท้ายที่ 43% w.b. แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงที่ อุณหภูมิแวดล้อมเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้น้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปในแกนของเมล็ดข้าวได้ ยังพบอีกว่าการแช่ข้าวกล้องสามารถดูดซึมน้ำได้เร็วกว่าการแช่ข้าวเปลือก เนื่องจากเปลือกข้าวเป็นตัวป้องกันการดูดซึมน้ำทำให้การดูดซึมน้ำช้าลง จึงต้องใช้เวลานานในการแช่และนึ่ง รวมถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ข้าวมีผลต่อความแข็งของข้าวด้วย ข้าวเหนียวที่แช่ด้วยน้ำเย็นจะแข็งกว่าข้าวเหนียวที่แช่ด้วยน้ำร้อนกับน้ำอุ่น ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำแช่ยังมีผลต่อการดูดซึมน้ำของเมล็ดข้าว จากงานวิจัยพบว่าน้ำที่มีค่าความเป็นด่างจะให้ผลในการดูดซึมน้ำได้เร็วกว่าน้ำที่มีค่าเป็นกรด และน้ำที่มีค่าเป็นกลาง การนึ่งข้าวกล้องสามารถลดการใช้พลังงานได้ถึง 40% ของการใช้พลังงานทั้งหมด และใช้เวลาในการหุงข้าวลดลง 30% และ ต่อมา Ali and bBhattacharya (1980) [10] ได้ทำการวิจัยและพบว่า การแช่ข้าวเปลือกที่มีปริมาณเอมิโลสสูงที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลาสั้นสามารถทำให้ได้ข้าวที่มีสภาพคล้ายข้าวเหนียว เปอร์เซ็นต์การแตกหักของข้าวจะลดลงน้อยกว่า 5% ดังนั้นการแช่ข้าวควรทำที่อุณหภูมิสูงช่วยให้เมล็ดข้าวดูดซึมน้ำได้เร็วขึ้น และการแช่ข้าวเป็นเวลานานน้อย 2 ชั่วโมง ทำให้อ่าวมีความชื้นเพียงพอที่สามารถทำให้เกิด Gelatinization ได้ การแช่ข้าวเปลือกไม่ควรแช่ข้าวที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิ Gelatinization ของข้าว เพราะถ้าแช่ข้าวที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิ Gelatinization จะส่งผลให้เมล็ดข้าวปริแตกและทำให้แป้งบางส่วนละลายไปกับน้ำที่ใช้แช่ และในงานวิจัยของ Pillaiyar, et al. (1993) [11] ซึ่งมีความสอดคล้องกันโดยเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกควรใช้เวลาประมาณ 2-6 ชั่วโมง ทำให้อ่าวที่ได้เกิด Gelatinization อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งเมล็ด ทำให้ได้ปริมาณข้าวคันที่สูง โดยยังคงคุณภาพอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และจากงานวิจัยของ เอกรินทร์ โภษกรณัฐ (2545) [12] ได้ศึกษาการผลิตข้าวเหนียวในระดับอุตสาหกรรมพบว่า การแช่ข้าวเปลือกที่ใช้อุณหภูมิ 80°C เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง ส่งผลให้ข้าวเหนียวมีคุณภาพที่ดี White belly มีค่าที่ยอมรับได้ ซึ่งเสียระยะเวลาในการแช่นานมาก

ขั้นตอนที่ทำให้แป้งในเมล็ดข้าวเกิดการ Gelatinization ที่สมบูรณ์สามารถช่วยเพิ่มปริมาณข้าวต้ม การนึ่งซึ่งเป็นขั้นตอนที่ทำให้ความร้อนแก่เมล็ดข้าว งานวิจัยของ Adhikaritanayake, et al. (1998) [13] เวลาที่ใช้ในการนึ่งควรอยู่ที่ 99.1 min เพื่อให้ได้ข้าวหนึ่งคุณภาพดี ค่าความแข็งของข้าวเพิ่มขึ้นตามเวลาในการนึ่ง Toshinari, et al. (1993) [14] และ Elbert, et al. (2001) [15] พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการนึ่งมีผลต่อคุณภาพของข้าวในด้านของความขาวของข้าว เมื่ออุณหภูมิการนึ่งสูงขึ้นค่าความขาวของข้าวลดลง และเมื่อระยะเวลาในการนึ่งมากขึ้น ทำให้ได้ค่าความขาวข้าวมีแนวโน้มลดลงการอบแห้งเป็นขั้นตอนการลดความชื้นของข้าวให้เหมาะสมกับการเก็บรักษา ความชื้นหลังการอบแห้งควรมีค่าสูงกว่า 20%w.b. ถ้าความชื้นต่ำกว่านี้เกิดการคืนตัวของแป้ง (Starchretrogradation) ซึ่งการคืนตัวของแป้งเกิดเมื่อข้าวเปลือกเย็นตัวลง

การอบแห้งและเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวลดลง ดังนั้นการอบแห้งจึงควรแบ่งการอบแห้งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ในขั้นตอนแรกอบแห้งด้วย เครื่องฟลูอิดไรเซอร์ จากนั้นนำไปทำการ Tempering และขั้นตอนสุดท้ายนำไปเป่าด้วยอากาศแวดล้อม การทำให้ข้าวเปลือกเย็นตัวลงทันทีหลังจากออกจากเครื่องอบแห้งจะป้องกันการคืนตัวของแป้งได้ และจากงานวิจัยของ Kar, et al. (1999) [9] ความเป็นข้าวหนึ่งจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง เมื่ออุณหภูมิมอบแห้งต่ำจะได้ความเป็นข้าวหนึ่งต่ำ และเมื่ออุณหภูมิมอบแห้งสูงขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นลดลง และการ Tempering ข้าวหนึ่งมีผลต่อคุณภาพข้าวหนึ่ง ในงานวิจัยซึ่งมีความสอดคล้องกันระหว่างงานวิจัยของ Velupillai, et al. (1986) [16] และ Elbert, et al. (2001) [15] พบว่าการ Tempering เป็นกระบวนการที่ทำให้ความชื้นภายในเมล็ดแพร่ออกมาที่ผิวของเมล็ด เป็นการลดความแตกต่างความชื้นที่ผิวและแกนกลางของเมล็ดข้าว ทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นภายในเมล็ดข้าวลดลง ซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นและความแข็งแรงของข้าวแต่การ Tempering นั้นจะทำให้ข้าวหนึ่งมีสีคล้ำขึ้น จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่มีผลทำให้ความชื้นที่เข้าสู่เมล็ดข้าวสูงขึ้นสูงเพียงพอที่จะทำให้เกิด Gelatinization ซึ่งการแช่ข้าวในอุณหภูมิที่สูงสามารถที่จะลดระยะเวลาในการแช่ลงได้ ส่วนการนึ่งนั้นอุณหภูมิและระยะเวลาในการนึ่งมีผลต่อคุณภาพของข้าวในด้านของความขาวของข้าว เมื่ออุณหภูมิการนึ่งสูงขึ้นจะได้เปอร์เซ็นต์ความขาวของข้าวลดลง และเมื่อระยะเวลาในการนึ่งมากขึ้น ทำให้ได้ค่าความขาวข้าวมีแนวโน้มลดลง สำหรับการอบแห้งนั้นพบว่าความชื้นหลังการอบแห้งควรมีค่าสูงกว่า 20 %w.b. และควรมีการ Tempering เป็นการช่วยเพิ่มร้อยละข้าวต้นและความแข็งแรงของข้าวข้าว แต่จะทำให้ข้าวหนึ่งมีสีคล้ำขึ้น

### 1) วิธีการทำข้าวเหนียว

กรรมวิธีพื้นฐานของการทำข้าวเหนียวแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันคือ

- การแช่ (Soaking หรือ Steeping) นำข้าวเปลือกมาแช่น้ำให้มีความชื้นประมาณ 30-40%w.b. เพื่อให้แป้งอ่อนตัวลง น้ำที่แช่อาจเป็นน้ำเย็นหรือน้ำร้อนก็ได้ เวลาของการแช่ขึ้นอยู่กับน้ำเย็นใช้เวลาแช่ 2-3 วัน น้ำอุ่นหรือน้ำร้อน เวลาการแช่ลดลง

- การต้มหรือนึ่ง (Steaming) นำข้าวเปลือกขึ้นจากขั้นตอนแรกมาต้มหรือนึ่งให้สุก เพื่อให้แป้งภายในเมล็ดมีลักษณะเป็นวุ้น (Gelatinize) สังเกตจากข้างนอกจะเห็นเปลือกเมล็ดข้าวปริเล็กน้อย

- การทำให้แห้ง (Drying) หลังจากต้มหรือนึ่งแล้วข้าวเปลือกจะถูกนำไปทำให้แห้ง ซึ่งอาจใช้ตากแดดธรรมดา หรือผ่านเครื่องอบแห้งก็ได้ การทำให้แห้งมีจุดประสงค์เพื่อลดความชื้นให้เหลือ 12-14% การนำไปกะเทาะเปลือก

### 2) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากกรรมวิธีการทำข้าวเหนียว

- เปลือกเมล็ดจะปริเนื่องจากข้าวกล้องขยายตัว
- การแช่ข้าวเปลือกในน้ำเย็นหลาย ๆ วัน ทำให้เกิดการหมัก (Fermentation) ข้าวเหนียวมีกลิ่นเหม็นแสบๆ โดย แช่น้ำอุ่นหรือน้ำร้อนแทนน้ำเย็น

- ขณะแช่ข้าวเปลือก ความดัน (Pressure) ในน้ำสูงกว่าในเมล็ดทำให้แร่ธาตุและสารอาหารต่าง ๆ ซึ่งอยู่ในเนื้อเยื่อชั้นนอก ๆ ของเมล็ดซึมเข้าไปในส่วนของข้าวสาร ทำให้ข้าวสารนั้นมีคุณค่าอาหารเพิ่มขึ้น

- ตอนนึ่งจะเกิดลักษณะแป้งที่สุกเป็นกาวประสานเชื่อมรอยแตกร้าวภายในเมล็ดให้หายไป และเม็ดแป้งสุกขยายตัว จับเป็นเนื้อเดียวกันทำให้ช่องว่างภายในเม็ดข้าวสารที่เรามองเห็นเป็นลักษณะท้องไขหายไปด้วย ดังนั้น ข้าวเหนียวเมื่อทำให้แห้ง แล้วนำไปสีจึงได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและข้าวตันสูง ข้าวหักน้อย ข้าวสารใสไม่เป็นท้องไข

- ข้าวเปลือกเมื่อแช่น้ำ พวกแร่ธาตุและสารอาหารต่าง ๆ เช่น Free sugar และ Amino acid จะซึมเข้าไปส่วนที่เป็นแป้ง เมื่อนำไปนึ่ง เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารเหล่านี้เรียกว่า Browning reaction ทำให้ข้าวสารมีสีน้ำตาลอ่อนหรือคล้ำ แล้วแต่วิธีการแช่และนึ่ง

### 3) ปัจจัยที่ต้องควบคุมในการทำข้าวเหนียว

- ข้าวเปลือกหรือวัตถุดิบสำหรับทำข้าวเหนียว ควรมีสีของเปลือกและสีชั้นปลอกกร้าอ่อน เช่น ขาว (ฟาง) หรือน้ำตาล เมล็ดอยู่ในสภาพสะอาด ไม่มีรอยแมลงกัดกินหรือเชื้อราทำลาย

- ต้องควบคุมอุณหภูมิของน้ำและระยะเวลาการแช่ให้พอเหมาะ เพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นและสีที่ไม่ดีของข้าวหนึ่ง ในการแช่ควรทำให้มีการหมุนเวียนของน้ำและข้าวด้วย เพื่อป้องกันความร้อนสะสมซึ่งจะทำให้เกิดเมล็ดผิปรกติ (Deform grain)
- อุณหภูมิและเวลาขณะหนึ่งต้องควบคุมให้พอเหมาะ ไม่ควรให้สูงเกินไปเพราะจะมีผลต่อสีข้าวหนึ่ง ลักษณะเมล็ดผิปรกติ และข้าวสารแข็งเกินไปเมื่อใช้เวลานาน
- การทำให้แห้ง ต้องเป็นไปอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ ถ้าใช้ความร้อนสูงเกินไปและทำให้แห้งรวดเร็ว ข้าวจะแตกร้าว สีแล้วหักมากขึ้น
- ความชื้นของข้าวหนึ่งไม่ควรเกิน 14 % เมื่อเก็บไว้ในยุ้งฉางหรือโกดัง ทั้งนี้เพื่อป้องกันการทำลายของจุลินทรีย์โดยเฉพาะเชื้อราต่าง ๆ

#### 4) คุณภาพข้าวหนึ่ง

ข้าวหนึ่งคุณภาพดี พิจารณาจากสิ่งต่าง ๆ ดังนี้ คือ

สี ควรเป็นสีเหลืองอ่อน หรือน้ำตาลอ่อน

กลิ่น เมื่อหุงสุกแล้วควรมีกลิ่นน้อยที่สุด

คุณภาพการสี สีได้เนื้อ มีข้าวหักน้อย

ลักษณะเมล็ด สี แกร่ง ไม่มีท้องไข่ ขนาดรูปร่างเมล็ดเหมือนข้าวธรรมดา

ลักษณะข้าวสุก เมื่อหุงสุกแล้วเมล็ดร่วนไม่ติดกัน

#### 5) เปรียบเทียบข้าวหนึ่งกับข้าวธรรมดา

- ข้าวหนึ่งกะเทาะเปลือกง่ายกว่าข้าวธรรมดา
- ข้าวหนึ่งใช้เวลาและการขัดสีมากกว่าข้าวธรรมดา
- ข้าวหนึ่งคุณภาพการสีดีกว่า ข้าวหักน้อยกว่าข้าวธรรมดา
- ข้าวหนึ่งเก็บรักษาได้นานกว่าข้าวธรรมดา เพราะ Enzyme lypase ถูกทำลาย
- หากข้าวธรรมดาคือท้องไข่เมื่อทำเป็นข้าวหนึ่งแล้วเมล็ดจะสีไม่เป็นท้องไข่
- ข้าวสารหนึ่ง มีวิตามิน บี และ อี สูงกว่าข้าวสารธรรมดา (พันธุ์เดียวกัน)
- ข้าวหนึ่งใช้เวลาหุงต้มมากกว่าข้าวธรรมดา
- ข้าวหนึ่งหุงขึ้นหม้อกว่าข้าวธรรมดา เพราะการทำข้าวหนึ่งเป็นการทำให้ข้าวเก่า
- ข้าวหนึ่งย่อยง่ายกว่าข้าวธรรมดาเพราะแป้งสุกไปแล้ว Chain ของ Glucose ถูกทำลายไปแล้ว
- ำข้าวหนึ่งมีน้ำมัน 25-30 % ในขณะที่ข้าวธรรมดามีเพียง 15-20 %
- ข้าวหนึ่งมีกลิ่นและรสไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคที่คุ้นเคยกับข้าวธรรมดา

- ข้าวหนึ่งพะาะไม่งอก แต่ข้าวธรรมดาออก (ถ้ายังมีชีวิต)
- ข้าวหนึ่งมีต้นทุนการผลิตสูงกว่าข้าวธรรมดา

## 2.5 ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง

การประเมินสมรรถนะของกระบวนการทำแห้ง โดยจะพิจารณาออกเป็น 2 แนวทาง คือ การทำแห้ง และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ได้ดังนี้ คือ

2.5.1 อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction Rate, SMER) คือปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุต่อพลังงานที่ใช้ตลอดการอบแห้ง ซึ่งมีหน่วยเป็น kg/kWh

$$SMER = (m_{p,i} - m_{p,f})/P_e \quad (2.1)$$

2.5.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) เป็นส่วนกลับของ SMER กล่าวคือ เป็นพลังงานที่ใช้ต่อปริมาณน้ำระเหย ซึ่งมีหน่วยเป็น MJ/kg

$$SEC = 3.6P_e/(m_{p,i} - m_{p,f}) \quad (2.2)$$

เมื่อ	$m_{p,i}$	=	น้ำหนักวัสดุก่อนอบแห้ง (kg)
	$m_{p,f}$	=	น้ำหนักวัสดุหลังอบแห้ง (kg)
	$M_i$	=	ความชื้นวัสดุก่อนอบแห้ง (%db)
	$M_f$	=	ความชื้นวัสดุหลังอบแห้ง (%db)
	$m_{wc}$	=	ปริมาณน้ำควบแน่นที่เครื่องทำระเหย (kg)
	$P_e$	=	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)
	$t$	=	เวลาในการอบแห้ง (h)

## 2.6 หลักการถ่ายเทความร้อน

พลังงานความร้อนสามารถถ่ายเทจากสสารหนึ่งไปยังอีกสสารหนึ่ง โดยมีสื่อตัวกลาง หรือไม่มีก็ได้ เราแบ่งกลไกการถ่ายเทความร้อนออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) การนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนภายในวัตถุจากอะตอมหนึ่งไปยังอีกอะตอม ความร้อนถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยอัตราการ

ถ่ายเทความร้อนแบบนี้เป็นไปตาม กฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ (Fourier's law of heat conduction) ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 2.3

$$Q = -KA \frac{dT}{dx} \quad (2.3)$$

2) การพาความร้อน (Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนเมื่อของไหลไปสัมผัสกับผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างจากของไหล จึงทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้น โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนแบบนี้เป็นไปตาม กฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's law of cooling)

$$Q = hA(T_w - T_\infty) \quad (2.4)$$

3) การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยไม่อาศัยตัวกลาง พลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีจะเคลื่อนที่ไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนแบบนี้เป็นไปตาม กฎของสติฟาน-โบลทซ์มันน์ (Stefan-boltzmann law)

$$Q = \epsilon\sigma A(T_s^4 - T_\infty^4) \quad (2.5)$$

### 2.6.1 การนำความร้อนผ่านระบบพิกัดเชิงกระบอก

ในระบบทรงกระบอกและทรงกลม การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Temperature gradient) มักจะเกิดขึ้นในทิศตามรัศมีเท่านั้น ดังนั้นจึงคิดได้ว่าการนำความร้อนแบบมิติเดียว นอกจากนั้นแล้วภายใต้สภาวะคงตัวและไม่มีการกำเนิดความร้อนภายในตัวกลาง เราอาจวิเคราะห์ได้โดยใช้วิธีมาตรฐาน (Standard method) ซึ่งเริ่มต้นจากสมการความร้อน หรือใช้ Alternative method ซึ่งเริ่มต้นจากกฎของฟูเรียร์ ในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์ระบบทรงกระบอกโดยวิธีมาตรฐาน ส่วนวิธี "Alternative method" จะใช้ในการวิเคราะห์ระบบทรงกลม

#### 1) หลักการคำนวณระบบผนังผ่านระบบพิกัดเชิงกระบอก

ทรงกระบอก (Cylinder) ระบบทรงกระบอกที่พบบ่อย ได้แก่การนำความร้อนผ่านผนังท่อรูปทรงกระบอกกลวง ซึ่งผิวในและนอกทรงกระบอกสัมผัสกับของไหลที่มีอุณหภูมิต่างกัน ภาพที่ 2.10 ถ้าทรงกระบอกมีความยาวมากเมื่อเทียบกับความหนาของผนัง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในแนวรัศมีและประมาณได้ว่าเป็นการ นำความร้อนมิติเดียวตามรัศมี ในกรณีนี้เมื่อเป็นสภาวะคงตัว และไม่มีการกำเนิดพลังงานภายในทรงกระบอก สมการสำหรับพิกัดทรงกระบอกมิติ ลดลงเป็น



$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} kr \frac{dT}{dr} = 0 \quad (2.6)$$

สมมติให้ตัวกลางมี  $k$  เป็นค่าคงที่ จะได้

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( r \frac{dT}{dr} \right) = 0$$

อินทิเกรตครั้งแรก

$$r \frac{dT}{dr} = C_1 \Rightarrow \frac{dT}{dr} = \frac{C_1}{r} \quad (2.7)$$

อินทิเกรตครั้งที่สอง

$$T = C_1 \ln r + C_2 \quad (2.8)$$

เงื่อนไขขอบเขตที่ 1 (BC 1) :  $T = T_{s1} @ r = r_1$

เงื่อนไขขอบเขตที่ 1 (BC 2) :  $T = T_{s2} @ r = r_2$  (พิจารณาจากภาพที่ 2.10)

$$qr = -kr \frac{dT}{dr} = -k(2rL) \frac{dT}{dr}$$

ดังนั้น

$$T_{s1} = C_1 \ln r_1 + C_2$$

$$T = C_1 \ln r_2 + C_2$$

$$C_1 = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{\ln(r_1/r_2)}$$

$$C_2 = T_{s2} - \frac{T_{s1} - T_{s2}}{\ln(r_1/r_2)} \ln r_2$$

$$T = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{\ln(r_1/r_2)} \ln r + T_{s2} - \frac{T_{s1} - T_{s2}}{\ln(r_1/r_2)} \ln r_2$$

$$T = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{\ln(r_1/r_2)} \ln \left( \frac{r}{r_2} \right) + T_{s2} \quad (2.9)$$

อัตราการนำความร้อนผ่านผนังทรงกระบอก

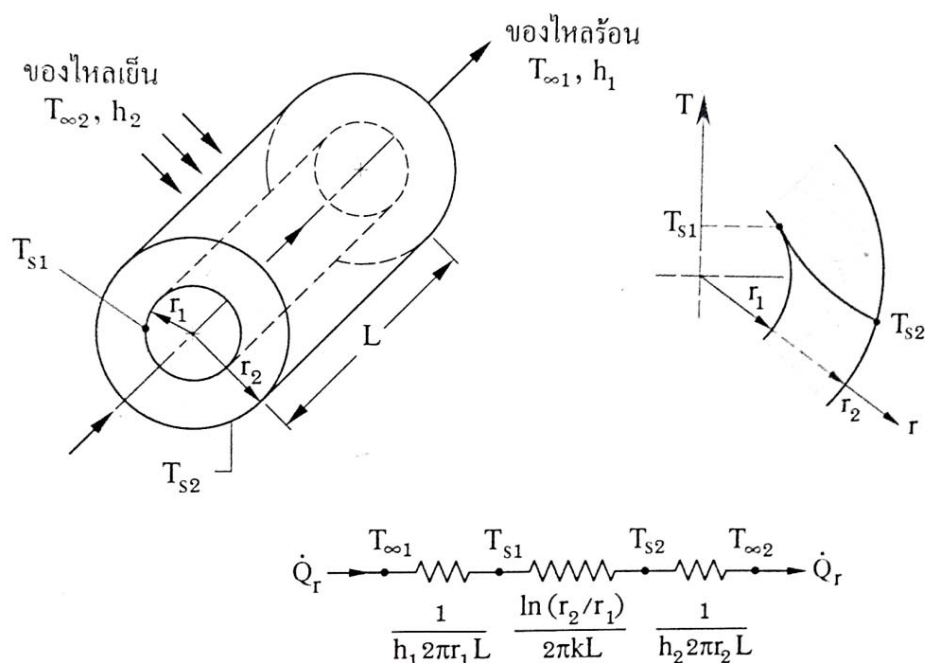
$$\dot{Q}_r = -kA \frac{dT}{dr} = -k(2\pi rL) \frac{dT}{dr}$$

$$= -k(2\pi rL) \frac{T_{s1} - T_{s2}}{\ln(r_1/r_2)} \frac{1}{r}$$

$$\dot{Q}_r = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{\ln(r_1/r_2)/2\pi Lk} = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{R_{cond}} \quad (2.10)$$

โดยที่  $R_{cond}$  คือความต้านทานการนำความร้อนผ่านผนังทรงกระบอก มีหน่วย K/W

$$R_{cond} = \frac{\ln(r_1/r_2)}{2\pi Lk} \quad (2.11)$$



ภาพที่ 2.10 การนำความร้อนและการพาความร้อนผ่านผนังทรงกระบอก

2) การวิเคราะห์ชั้นผนังทรงกระบอกหลายๆ ชั้น โดยตัวผิวกลางทั้งสองด้านสัมผัสกับของไหล

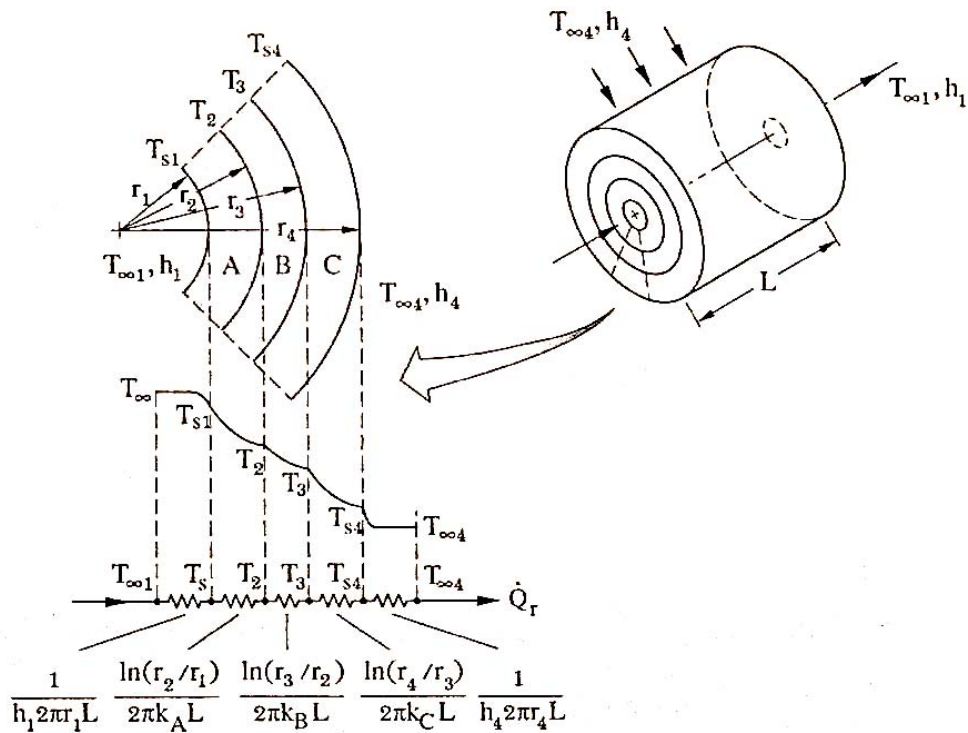
พิจารณาการถ่ายเทความร้อนทั้งการนำความร้อนรวมกับการพาความร้อนผ่านชั้นตัวกลางดังภาพที่ 2.11 โดยไม่คำนึงถึงความต้านทานผิวสัมผัส

อัตราหารถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นตัวกลางสามารถคำนวณได้จาก

$$T = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{\ln(r_1/r_2)} \ln\left(\frac{r}{r_2}\right) + T_{s,2} \quad (2.12)$$

$$Q_r = \frac{2\pi LK(T_{s,1}-T_{s,2})}{\ln(r_2/r_1)} \tag{2.13}$$

$$R_{conduction} = \frac{(T_{s,1}-T_{s,2})2\pi kL}{\ln(r_2/r_1)} \tag{2.14}$$



ภาพที่ 2.11 การกระจายอุณหภูมิในทรงกระบอกหลายชั้น

สำหรับระบบทรงกระบอกหลายชั้นดังในภาพที่ 2.11 ถ้าทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับกรณีผนังราบหลายชั้นจะพบว่าสามารถเขียนอัตรา การถ่ายเทความร้อนได้เป็น

$$Q_r = \frac{T_{\infty,1}-T_{\infty,4}}{\frac{1}{h_1 2\pi r_1 L} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_A L} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_B L} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi k_C L} + \frac{1}{h_4 2\pi r_4 L}} \tag{2.15}$$

พิจารณาในพจน์ของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

$$Q_r = \frac{T_{\infty,1}-T_{\infty,4}}{R_{tot}} = U_1 A_1 (T_{\infty,1} - T_{\infty,4}) \tag{2.16}$$

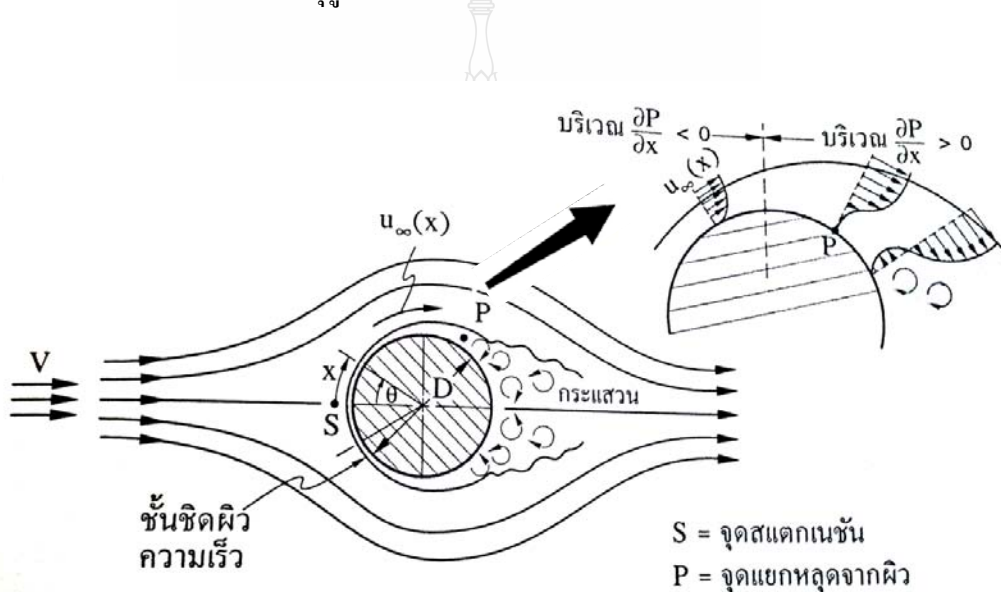
โดยที่  $A_1 = 2\pi r_1 L$  จะได้

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{r_1}{k_A} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{r_1}{k_B} \ln\frac{r_3}{r_2} + \frac{r_1}{k_C} \ln\frac{r_4}{r_3} + \frac{r_1}{r_4 h_4}} \quad (2.17)$$

ปกติ  $U_1$  จะอิงผิวภายในท่อ  $A_1$  หรือใช้  $U_4$  ซึ่งจะอิงผิวนอกท่อ  $A_4$  ดังนั้น

$$U_1 A_1 = U_4 A_4 = \frac{1}{R_{\text{tot}}} \quad (2.18)$$

## 2.6.2 การไหลขวางท่่าวัดรูปทรงกระบอก



ภาพที่ 2.12 การเกิดชั้นผิวและการแยกหลุดจากผิวสำหรับการไหลขวางท่่าวัดรูปทรงกระบอก

พิจารณาการไหลของของไหลก่อนเข้าปะทะที่มีความเร็วสม่ำเสมอ  $V$  จุดปะทะ  $S$  เรียกว่าจุดสแตกเนชั่น (ความดันสูงสุด) และเกิดชั้นผิวไปตามผิวโค้งตามพิกัด  $x$  ซึ่งวัดเชิงมุม  $\theta$  ด้วยความเร็วสายธารอิสระ  $u_\infty = u_\infty(x)$  ดังภาพที่ 2.12

ข้อสังเกต

1)  $u_\infty = 0$  ที่จุดสแตกเนชั่น (จุด  $S$ ) จากนั้นของไหลจะมีแรงอันเป็นผลจากแรงเนื่องจากความดันสุทธิมีทิศทางเดียวกับการไหล เรียกบริเวณนี้ว่า บริเวณการไหลเร่ง (Favorable Pressure Gradient,  $dP/dx < 0$  หรือ  $du_\infty/dx > 0$ ) จนกระทั่งของไหลมีความเร็วสูงสุด ( $dP/dx = 0$ ) จากนั้นของไหลจะเข้าสู่บริเวณการไหลหน่วง (Adverse Pressure Gradient,  $dP/dx > 0$  หรือ  $du_\infty/dx < 0$ )

2) ในบริเวณการไหลหน่วงนี้ พบว่าเกรเดียนต์ความเร็วที่ผิวทรงกระบอก  $\partial u/\partial y|_{y=0} = 0$  ซึ่งจุดนี้เรียก จุดแยกผิวหลุด (Separation point) ของไหลบริเวณใกล้ๆผิวทรงกระบอกจะไม่มีโมเมนต์เพียงพอที่จะเอาชนะแรงเนื่องจากความดันสถิต (ซึ่งกระทำในทิศทางตรงกันข้ามกับการไหล) จึงทำให้มีการไหลกลับทางและเกิดการไหลวนของของไหลบริเวณด้านหลังของทรงกระบอก และบริเวณนี้เรียกว่า บริเวณกระแสวน (Wake region)

3) การไหลท่อมวัตถุรูปทรงกระบอกจะทำให้เกิดการแยกหลุดจากผิวหรือกระแสวน บริเวณด้านหลังของทรงกระบอกหรือไม่ขึ้นอยู่กัตัวเลขเรย์โนลด์ส์

$$Re_D = \frac{VD}{\nu} \quad (2.19)$$

ถ้า  $Re_D \leq 1.0$  แรงเฉื่อยน้อยมาก การต้านทานการไหลเป็นผลมาจากแรงเนื่องจากความหนืดเท่านั้น ไม่เกิดการแยกหลุดจากผิว ชั้นขีดผิวเกาะติดผิวทรงกระบอก

ถ้า  $Re_D = 100$  เกิดการแยกหลุดจากผิวและเกิดการไหลวน การต้านทานการไหลเป็นผลมาจากแรงเนื่องจากความดันสถิตในทิศทางตรงกันข้ามกับการไหล (ในบริเวณการไหลหน่วง) เท่านั้น

ถ้า  $10^3 < Re_D < 10^5$  การต้านทานการไหลเป็นผลมาจากแรงเนื่องจากความดันสถิตในบริเวณกระแสวนแบบปั่นป่วนด้านหลังของทรงกระบอก

ถ้า  $Re_D > 10^5$  เกิดชั้นผิวแบบราบเรียบบริเวณด้านหน้าของทรงกระบอกและเปลี่ยนเป็นชั้นขีดผิวแบบปั่นป่วนซึ่งยังคงเกาะติดผิวทรงกระบอกอยู่ ต่อจากนั้นจึงเกิดการแยกหลุดจากผิวและของไหลไหลวนผ่านไปทางด้านหลัง

4) สำหรับการไหลท่อมวัตถุรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง  $D$  และยาว  $L$  ด้วยความเร็ว  $V$  เกิดแรงจุดกระทำบนผิวทรงกระบอก  $F_{drag}$  สัมประสิทธิ์การจุดคำนวณได้จาก

$$c_d = \frac{F_{drag}}{(\frac{1}{2}\rho v^2)LD} = 1 + \frac{10}{Re_D^{2/3}} \quad (2.20)$$

สำหรับ  $1 \leq Re_D \leq 10^4$

### 2.6.3 การพาความร้อนสำหรับวัตถุรูปทรงกระบอก

ฮิลเพิร์ต (Hilpert) สร้างสหสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยสำหรับการไหลขวางท่อมในทิศทางตั้งฉากกับแนวแกนวัตถุรูปทรงกระบอกในรูปของดังภาพที่ 2.13

$$Nu_m = \frac{h_m D}{k} = A Re_D^n Pr^{1/3} \quad (2.21)$$

สมการ (2.21) พิจารณาที่อุณหภูมิฟิล์ม  $T_f = (T_s + T_\infty)/2$  และค่าคงที่ A และ n พิจารณาได้จากตารางที่ 2.1 ซึ่งเป็นผลการทดลองของฮิลเพิร์ตและนัคเซน (Knudsen)

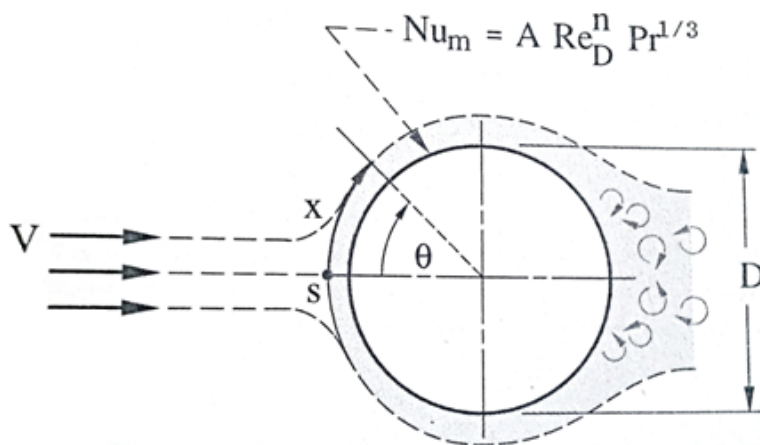
สหสัมพันธ์สำหรับการไหลขวางท่อมวัตถุรูปทรงกระบอก ซึ่งมีอุณหภูมิผิวคงที่ T ( $T_s =$  ค่าคงที่) ซูเคาส์คาส (Zhukauskas) แนะนำให้ใช้สมการเอมพิริคัล (สำหรับของเหลวและก๊าซ)

$$Nu_m = \frac{h_m D}{k} = A Re_D^a Pr^b \left( \frac{Pr_\infty}{Pr_s} \right)^{1/4} \quad (2.22)$$

สำหรับ  $0.7 < Pr < 500$  และ  $1 < Re_D < 1 \times 10^6$

สมบัติทุกตัวพิจารณาที่อุณหภูมิของไหลสายธารอิสระ ( $T_\infty$ ) ยกเว้น  $Pr_s$  พิจารณาที่อุณหภูมิ  $T_s$  ดังนี้

ถ้า  $Pr \leq 10$  ให้ใช้  $b = 0.37$  และถ้า  $Pr > 10$  ให้ใช้  $b = 0.36$  ส่วน A และ a ในสมการ (2.22) นั้นพิจารณาจากตารางที่ 2.2



ภาพที่ 2.13 การพาความร้อนสำหรับการไหลขวางท่อมวัตถุ

ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่ A และ n ในสมการ (2.21)

$Re_D$	A	n
0.4-4	0.989	0.330
4-40	0.911	0.385
40-4000	0.683	0.466
4000-40000	0.193	0.618
40000-400000	0.027	0.805

ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่ A และ a ในสมการ (2.22)

$Re_D$	A	a
1-40	0.75	0.40
40- $1 \times 10^3$	0.51	0.50
$1 \times 10^3 - 2 \times 10^5$	0.26	0.60
$2 \times 10^5 - 1 \times 10^6$	0.076	0.70

ในกรณีใช้คำนวณกับของไหลที่มี Pr ช่วงกว้างกว่าที่กำหนดในสมการ (2.22) เซอร์ซิลล์ (Churchill) และเบร์ริสไตน์ (Bernstein) แนะนำให้ใช้สหพันธ์ในรูปของ

$$Nu_m = 0.3 + \frac{0.26Re_D^{1/2}Pr^{1/3}}{[1+(0.4/Pr)^{2/3}]^{1/4}} \left[ 1 + \left( \frac{Re_D}{282000} \right)^{5/8} \right]^{4/5} \quad (2.23)$$

สำหรับ  $1 \times 10^2 < Re_D < 1 \times 10^7$  และ  $Re_D \cdot Pr > 0.2$

พิจารณาสมบัติทุกตัวในสมการ (2.23) ที่อุณหภูมิฟิล์ม  $T_f = (T_s + T_\infty)/2$   
อัตราการถ่ายเทความร้อนสู่ของไหล

$$\begin{aligned} Q_{duct} &= mC_p(T_{mo} - T_{mi}) = mC_p(T_s - T_{mi}) - (T_s - T_{mo}) \\ &= pLh_m \left( \frac{\Delta T_i - \Delta T_o}{\ln(\Delta T_i / \Delta T_o)} \right) \end{aligned} \quad (2.24)$$

โดยที่  $\Delta T_{lm}$  คืออุณหภูมิแตกต่างค่าเฉลี่ยล็อก (Log Mean Temperature Difference)

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_i - \Delta T_o}{\ln(\Delta T_i / \Delta T_o)} \quad (2.25)$$

และ

$$\Delta T_i = T_s - T_{mi}, \Delta T_o = T_s - T_{mo} \quad (2.26)$$

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.7.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการทำข้าวเปลือกนึ่ง

Feiller and Alary (1975) [17] ศึกษาหากระบวนการที่เหมาะสมของการผลิตข้าวหนึ่ง โดยการใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ต่างๆ ช่วงเวลาในการนึ่ง 15-30 min อุณหภูมิ 65 °C และ 75 °C และเวลา 10 20 30 min ของการนึ่งที่อุณหภูมิ 105 112 และ 120 °C. ผลที่ได้จากการทดสอบพบว่า การเพิ่มเวลาและอุณหภูมิของการนึ่ง มีผลต่อสีของเมล็ดที่เพิ่มขึ้นรวมทั้งค่าปริมาณการแตกหักของเมล็ดที่ลดลง

Deshpande et al.(1981) [18] ศึกษาผลของกระบวนการให้ความร้อนในการผลิตข้าวหนึ่งที่มีความดันและเวลาต่างๆ กันดังนี้ 1) 0.5 kg/cm<sup>2</sup> 15 min 2 kg/cm<sup>2</sup> 2 min 2) 1.0 kg/cm<sup>2</sup> 10 min 2 kg/cm<sup>2</sup> 5 min 3) 0.5 kg/cm<sup>2</sup> 15 min 2 kg/cm<sup>2</sup> 5 min 4) 1.0 kg/cm<sup>2</sup> 10 min 2.5 kg/cm<sup>2</sup> 2 min 5) 2.0 kg/cm<sup>2</sup> 5 min พบว่าที่ความดันสูงการถ่ายเทหรือส่งผ่านความร้อน ผ่านชั้นต่างๆของเมล็ดข้าวเข้าไปในใจกลางของเมล็ด (Endosperm) ก่อนข้างสูงและรวดเร็ว ซึ่งจะส่งผลให้ค่าของสีที่ตัวเมล็ดข้าวเพิ่มมากขึ้น และพบว่าที่สภาวะ 0.5 kg/cm<sup>2</sup> 15 min, 2 kg/cm<sup>2</sup> 5 min ให้คุณภาพข้าวหนึ่งที่ดีมาก

Feller และ Deissinger (1978) [19] ศึกษากระบวนการให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่สภาวะ 13 ถึง 32 psig ความชื้นเพิ่มมากขึ้น 14 ถึง 26 %w.b. ด้วยเวลา 0 ถึง 14 min และอบแห้งที่ความชื้นสัมพัทธ์ 13 % mc โดยกระบวนการ Fluidizing ด้วยอากาศเป็นเวลา 15 min พบว่าค่าความเหนียวของเมล็ดข้าวลดลง และความชื้นเพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มความดันและเวลาการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ รวมทั้งเพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวตันและค่าความเหลืองของเมล็ดข้าวด้วย

### 2.7.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการลดความชื้นข้าวเปลือกข้าว

ข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวมาจะมีปริมาณความชื้นค่อนข้างสูงประมาณ 20-25% ดังนั้นจึงต้องทำการลดความชื้นลงเพื่อให้สะดวกในการจัดเก็บ และไม่ทำให้เมล็ดข้าวเกิดการเสียหาย ซึ่งกระบวนการลดความชื้นมีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวตัน รวมทั้งคุณภาพของข้าวทั้งทางกายภาพและทางเคมีที่ได้ กระบวนการทำแห้งควรต้องระมัดระวังอย่างสูง ทั้งในเรื่องของเวลา อุณหภูมิ และเปอร์เซ็นต์ความชื้นเริ่มต้น เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ของแต่ละชนิดพันธุ์ข้าว และแต่ละสภาวะของข้าว



Stipe et al. (1976) [20] ศึกษากระบวนการทำแห้งข้าวเปลือกที่ความชื้นสูงด้วยเวลาอันสั้น โดยใช้อุณหภูมิ 80 °C จนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือเพียงประมาณ 13 % เพื่อป้องกันการแตกหักของเมล็ดระหว่างกระบวนการขัดขาว ดังนั้นการทำแห้งต้องทำการ Tempering ทันทีหลังจากการทำแห้งแล้ว 1 ชั่วโมง ที่ 70 °C ในภาชนะปิดสนิท

Daniels et al.(1998) [21] ศึกษากระบวนการทำแห้งที่อุณหภูมิ 33 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 67.8 %RH และ 54.3°C 21.9 %RH ผลการทดสอบพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวด้้นเพิ่มมากขึ้นเมื่อลดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำ แต่กลับลดลงเมื่อลดความชื้นที่อุณหภูมิสูง ปริมาณการดูดซึมน้ำ (Water absorption) เพิ่มมากขึ้นเมื่อลดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำ

สมชาติ, 2537 [22] ได้กล่าวถึงเครื่องอบแห้งแบบไหลตามกันว่า ในเครื่องอบแห้งแบบไหลตามกัน การไหลของเมล็ดพืชและอากาศอบแห้งจะขนานกันและมีทิศทางเดียวกัน เมล็ดพืชส่วนที่ชื้นที่สุดจะสัมผัสกับอากาศส่วนที่ร้อนที่สุด เมื่อเมล็ดพืชไหลต่ำลงมา อากาศอบแห้งจะเริ่มเย็นลงและเมล็ดพืชจะมีความชื้นลดลง เมล็ดพืชที่แห้งแล้วจะไม่สัมผัสกับอากาศที่ร้อนจัดอีกเลย ดังนั้นจึงสามารถใช้อากาศอบแห้งอุณหภูมิสูงได้ ทำให้ออบแห้งได้เร็ว ข้อดีอีกอย่างหนึ่งก็คือการแตกตัวของเมล็ดพืชจะมีน้อยเพราะเมล็ดพืชส่วนที่แห้งที่สุดจะสัมผัสกับอากาศอบแห้งที่เย็นที่สุด เมล็ดพืชที่แห้งแล้วจะไหลออกสู่ด้านล่างด้วยตัวควบคุมการไหลซึ่งถูกควบคุมโดยตัวควบคุมอุณหภูมิเมล็ดพืช เมล็ดพืชจะถูกทำให้เย็นลงก่อนที่จะไหลออกจากเครื่องอบแห้ง ความหนาของชั้นอบแห้งของเครื่องแบบนี้ความหนากว่า 1 เมตร ทั้งนี้เพื่อให้ การอบแห้งเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

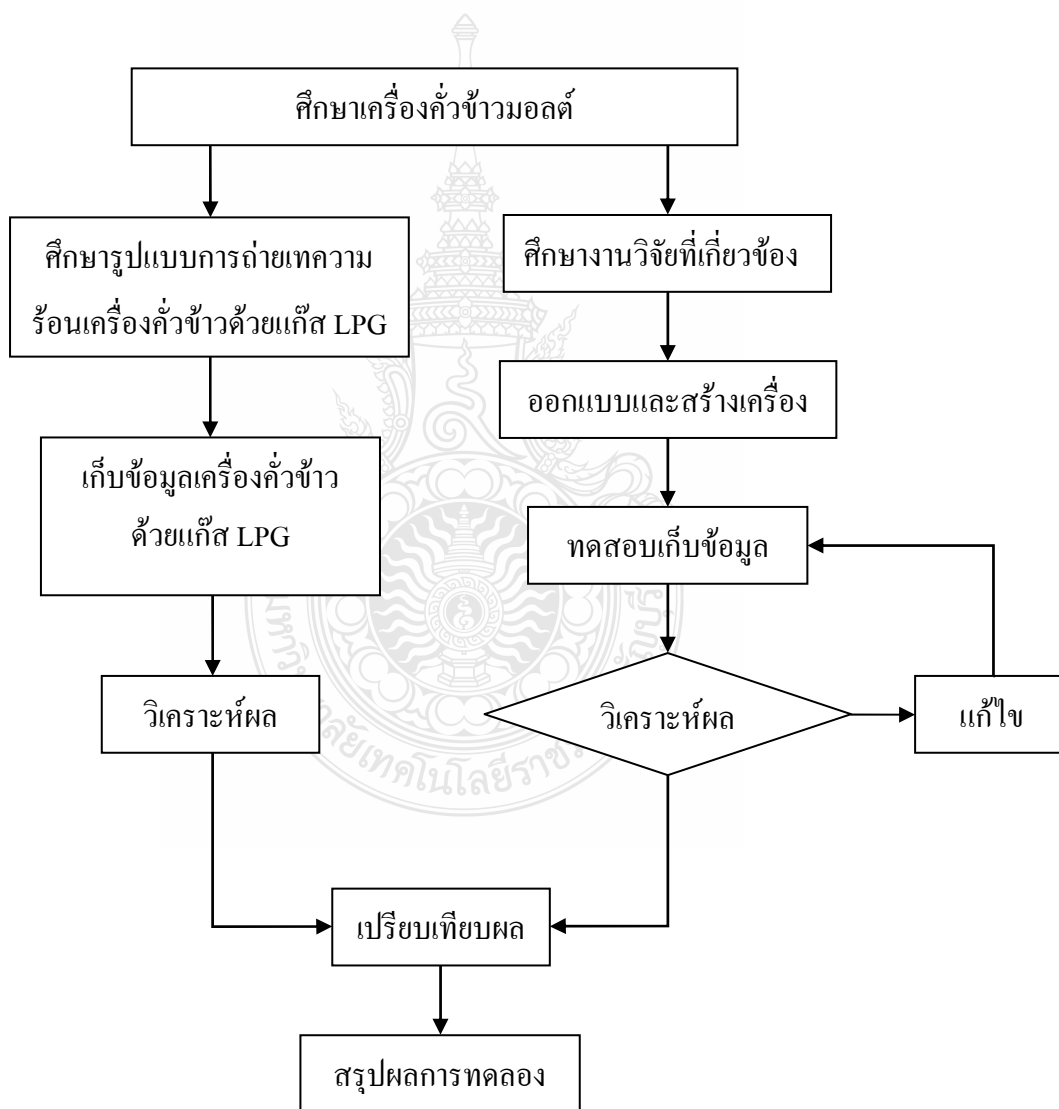
ใจทิพย์ และคณะ, 2544 [23] ได้ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกแบบไหลต่อเนื่องโดยใช้หลักการอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกในห้องอบและมีการพักเมล็ดในห้องลดอุณหภูมิ โดยถังอบและถังพักจะอยู่ในเครื่องเดียวกันและใช้ไฟฟ้าเป็นตัวให้ความร้อน สามารถลดความชื้นข้าวเปลือกได้ 2-3 ตันต่อวัน จากความชื้นเริ่มต้น 23 %w.b. ให้เหลือ 14 %w.b. โดยอัตราการลดความชื้น 1.40-3.78 %w.b./h และมีค่าใช้จ่ายในการอบแห้งประมาณ 68-190 บาทต่อตันข้าวเปลือกซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่สูง จึงมีการพัฒนาเครื่องอบแห้งที่มีความสามารถในการลดความชื้นให้มากกว่านี้และมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่านี้

ใจทิพย์ และคณะ, 2548 [24] ได้ทำการวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแห้งเมล็ดพืชสำหรับเกษตรกร จากการศึกษาพบว่า เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชสำหรับเกษตรกรนี้มีอัตราการลดความชื้น 1.3-1.6 %w.b./h และประสิทธิภาพการใช้พลังงานมีค่าสูงประมาณ 2.3 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย สามารถอบแห้งข้าวเปลือกได้วันละ 10 ตัน โดยค่าใช้จ่ายประมาณ 75-135 บาทต่อตันข้าวเปลือก โดยที่คุณภาพของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง มีเปอร์เซ็นต์ข้าวด้้นสูงไม่แตกต่างจากตัวควบคุม

### บทที่ 3

#### วิธีการวิจัยและทดลอง

จากการศึกษาทฤษฎีในบทที่ 2 จึงได้กำหนดวิธีการศึกษากระบวนการคั่วข้าวมอลต์ด้วยเครื่องคั่วข้าวด้วยฮีทเตอร์อินฟาเรด โดยได้ทำการศึกษาเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นการศึกษาเครื่องคั่วข้าวมอลต์ด้วยแก๊ส (LPG) ส่วนที่สองศึกษาเครื่องคั่วข้าวมอลต์ด้วยฮีทเตอร์อินฟาเรดและนำผลมาเปรียบเทียบการศึกษาคาดำเนินตามขั้นตอนดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยรวม

### 3.1 ศึกษาและเก็บข้อมูลเบื้องต้น

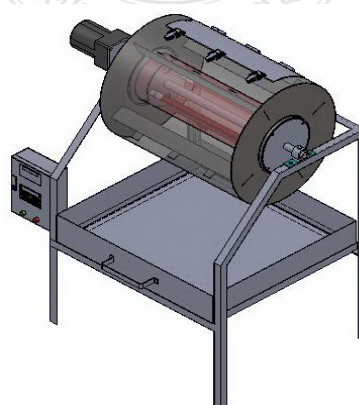
โดยไปทำการเก็บข้อมูลที่โรงงานต้นแบบผลิตข้าวมอลต์ ผู้ให้ข้อมูลกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าว ต.คลองควาย อ.สามโคก จ.ปทุมธานี ศึกษาวิธีการเตรียมข้าวเปลือกงอก ทำการศึกษากระบวนการคั่วข้าวมอลต์หุงรับประทาน หลักการทำงานเครื่องคั่วข้าวด้วยแก๊ส LPG นำข้อมูลที่ได้ไปพัฒนาเครื่องคั่วข้าวให้ความร้อนด้วยฮีทเตอร์ไฟฟ้าชนิดอินฟาเรด

### 3.2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษางานวิจัยการอบแห้งที่มีผู้ศึกษามาแล้วทั้งในต่างประเทศและในประเทศไทย ศึกษางานวิจัยที่ใช้ฮีทเตอร์อินฟาเรดมาใช้ในการอบแห้ง ศึกษาเครื่องอบแห้ง เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องและแนวทางในการพัฒนาเครื่องคั่วข้าวมอลต์

### 3.3 ออกแบบและสร้างเครื่อง

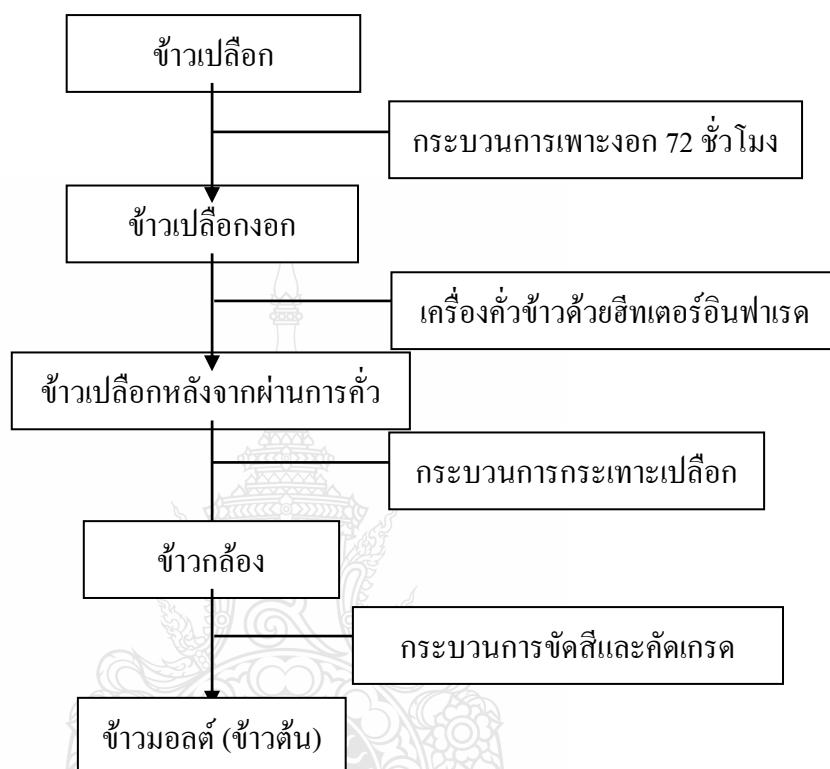
จากข้อมูลในหัวข้อ 3.1 และ 3.2 นำมาใช้ออกแบบเครื่องภายใต้เงื่อนไขโดยต้องใช้ไฟฟ้า 220 VAC. ใช้ผู้ควบคุมเครื่อง 1 คน ใช้งานได้ง่ายจึงได้ทำการออกแบบเครื่องดังภาพที่ 3.2 เป็นลักษณะท่อทรงกระบอกซ้อนร่วมศูนย์ ซึ่งท่อภายในมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 mm ยาว 500 mm สำหรับบรรจุฮีทเตอร์อินฟาเรดเป็นตัวนำความร้อนและป้องกันความเสียหายกับฮีทเตอร์อินฟาเรด ถึงบรรจุภายนอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 mm ตัวถังอบมีขนาด 500 mm ไว้สำหรับบรรจุข้าวเปลือก โดยการออกแบบเครื่องคั่วข้าวสามารถดูได้จากภาคผนวก ก เครื่องคั่วข้าวต้นแบบนี้จะใช้ในการศึกษาเพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาเครื่องคั่วข้าวมอลต์หุงรับประทาน ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป



ภาพที่ 3.2 เครื่องคั่วข้าวด้วยฮีทเตอร์อินฟาเรด

### 3.4 ทดสอบและเก็บข้อมูล

เมื่อได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องคั่วข้าวด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรดในข้อที่ 3.3 จากนั้นก็ จะทำการทดลอง ซึ่งเริ่มจากการนำข้าวเปลือกปทุมธานี 1 ที่ได้เตรียมไว้โดยข้าวเปลือกจะมีความชื้น ประมาณ 15%w.b. มาทำการทดลองดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

#### การทดลอง

- 1) เตรียมความพร้อมของเครื่องอบ โดยการตรวจสอบอุปกรณ์และระบบ พร้อมทั้งทำความสะอาด
- 2) บรรจุข้าวเปลือกงอกความชื้น 30%w.b. แสดงดังภาพที่ 3.4 มวล 3 kg ในเครื่องคั่วข้าวมอลต์
- 3) ทำการเดินเครื่องด้วยความเร็ว 10 rpm. ควบคุมอุณหภูมิภายในห้องกำเนิดความร้อน (ภาคผนวก ก) ที่ 360 °C ตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าและบันทึกผลการทดลองทุก 30 min ใช้เวลาทดลองครั้งละ 180 min โดยจะแบ่ง เป็นการคั่วด้วยฝาที่บ 90 min และฝาตะแกรง 90 min เครื่องที่ใช้ทดลองแสดงในภาพที่ 3.4 ข้าวที่ผ่านการคั่วแสดงดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.4 ข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3.5 การทดสอบคั่วข้าวมอลต์ด้วยเครื่องคั่วข้าวฮีเตอร์อินฟาเรด



ภาพที่ 3.6 ข้าวเปลือกหลังจากผ่านการคั่ว

5) ข้าวที่ผ่านการคั่วแล้วนำไปพักให้อุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิแวดล้อม แล้วจึงนำไปเก็บไว้ไม่น้อยกว่า 1 วันก่อนนำไปส่งไปทำการทดสอบที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี

6) ทำซ้ำจากข้อ 1 – 5 โดยเพิ่มอุณหภูมิการทดลองในข้อ 3 เป็น 380 °C และ 400 °C ตามลำดับ

7) ทำซ้ำจากข้อ 1 – 6 โดยทำการเพิ่มความชื้นเริ่มต้นข้าวเปลือกกองที่ 32 และ 33%w.b. ตามลำดับ

8) นำข้าวที่ผ่านกระบวนการคั่วไปทดสอบคุณสมบัติการแตกหักจากการกะเทาะเปลือกและการขัดสีที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ตัวอย่างข้าวผ่านการกะเทาะเปลือกดังแสดงในภาพที่ 3.7



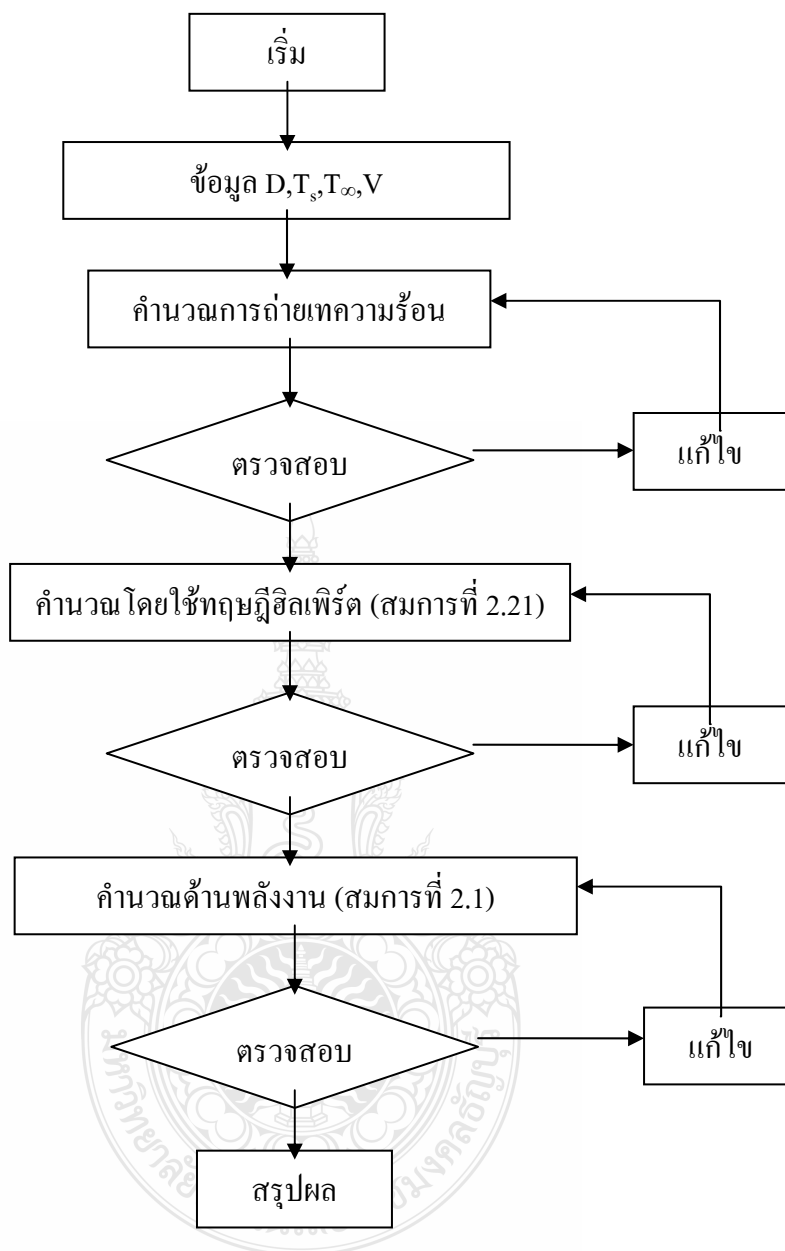
ภาพที่ 3.7 ข้าวหลังผ่านการกะเทาะเปลือก

9) นำข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกในข้อ 8 มาทำการคัดแยกและวิเคราะห์ปริมาณข้าวต้นในทุกการทดลอง

### 3.5 การคำนวณการถ่ายเทความร้อนและพลังงาน

การวิเคราะห์ผลจะแบ่งเป็นสองส่วน โดยในส่วนแรกจะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเครื่องคั่วข้าวด้วยแก๊ส LPG ซึ่งทำการคำนวณหาการถ่ายเทความร้อนและวิเคราะห์การใช้พลังงาน เป็นไปตามภาพที่ 3.8 ซึ่งจะทำการคำนวณผลในภาคผนวก ข

ส่วนที่สองจะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเครื่องคั่วข้าวด้วยฮีตเตอร์อินฟราเรด ทำการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนผลการคำนวณภาคผนวก ข เพื่อทำการเปรียบเทียบกับภาพที่ 3.8 นอกจากนั้นจะหาความเหมาะสมในการคั่วข้าวด้วยฮีตเตอร์อินฟราเรด และกระบวนการผลิตข้าวมอลต์



ภาพที่ 3.8 ขั้นตอนการคำนวณ

### 3.5.1 คำนวณการถ่ายเทความร้อน

การศึกษาจะแบบเป็น 2 ส่วน ซึ่งส่วนแรกจะทำการศึกษาคำนวณการถ่ายเทความร้อนด้านในโดยใช้กฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ (สมการที่ 2.3) และกฎการเย็นตัวของนิวตัน (สมการที่ 2.4) ผ่านท่อทรงกระบอกหลายชั้น เพื่อหาชั้นอุณหภูมิในแต่ละพื้นผิวของท่อทรงกระบอก

ส่วนที่สองทำการเก็บข้อมูลจากเครื่องคั่วข้าวมอลต์ด้วยแก๊ส LPG นำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยสำหรับวัสดุทรงกระบอก หาค่าความร้อนสูญเสียให้กับสภาพแวดล้อม จากนั้นนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบในข้อที่ 3.6 ต่อไป

### 3.5.2 จำนวนด้านพลังงาน (สมการที่ 2.14)

นำข้อมูลที่เก็บจากเครื่องคั่วข้าวต้นแบบ มาทำการคำนวณเพื่อหาอัตราการใช้พลังงานที่ใช้คั่วข้าวเปลือก 1 kg นำผลที่ได้เก็บจากเครื่องคั่วข้าวด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรดมาคำนวณหาการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการคั่วข้าวเปลือก 1 kg จากนั้นนำผลทั้งสองไปใช้ในข้อที่ 3.6

## 3.6 เปรียบเทียบผลด้านพลังงาน

นำผลคำนวณจากการถ่ายเทความร้อนในข้อที่ 3.5 และจากการเก็บผลทดลองในข้อที่ 3.4 มาทำการเปรียบเทียบด้านการถ่ายเทความร้อน ค่าความร้อนสูญเสียที่ผิวต่อกำเนิดความร้อนและวิเคราะห์หาพลังงานที่ใช้ในการคั่วข้าวเปลือก 1 kg ระหว่างเครื่องคั่วข้าวแบบใช้ LPG กับเครื่องคั่วข้าวด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรด ซึ่งผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลจะทำการนำเสนอในบทที่ 4

## 3.7 สรุปผลการทดลอง

จากการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องต้นแบบกับเครื่องคั่วข้าวมอลต์ด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรด ด้วยการนำผลการทดลองที่ได้ในบทที่ 4 สรุปโดยแบ่งตามวัตถุประสงค์ส่วนที่หนึ่งการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนส่วนที่สองเป็นการหาความเหมาะสมในการคั่วข้าวมอลต์ด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรด ส่วนที่สามเป็นการศึกษาเปรียบเทียบด้านพลังงานระหว่างเครื่องคั่วข้าวด้วยแก๊ส LPG กับเครื่องคั่วข้าวด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรดข้อมูลนี้จะนำเสนอในบทที่ 5

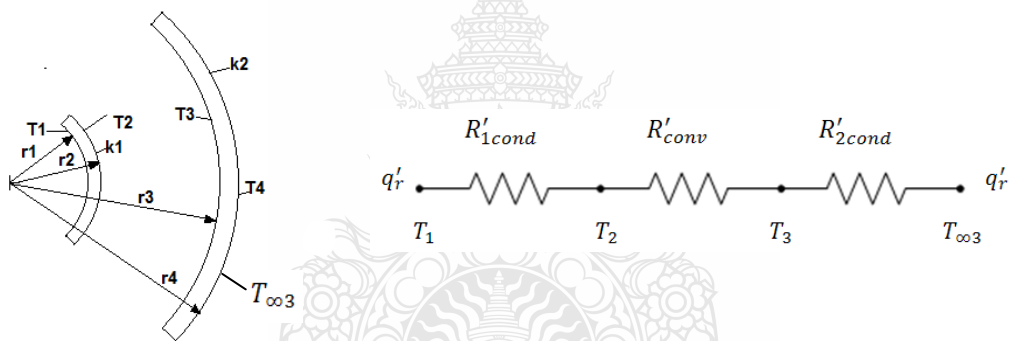


## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอผลงานวิจัย ที่ได้ทำการคำนวณและทดลองในบทที่ 3 โดยนำเสนอเป็นสามส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการศึกษารูปแบบการถ่ายเทความร้อน ส่วนที่สองศึกษาความเหมาะสมของกระบวนการคั่วข้าวมอลต์ด้วยฮีเตอร์อินฟราเรด และส่วนที่สามศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องคั่วข้าวมอลต์ด้วยฮีเตอร์อินฟราเรด กับเครื่องคั่วข้าวด้วยแก๊ส LPG ผลจากการศึกษาแสดงดังนี้

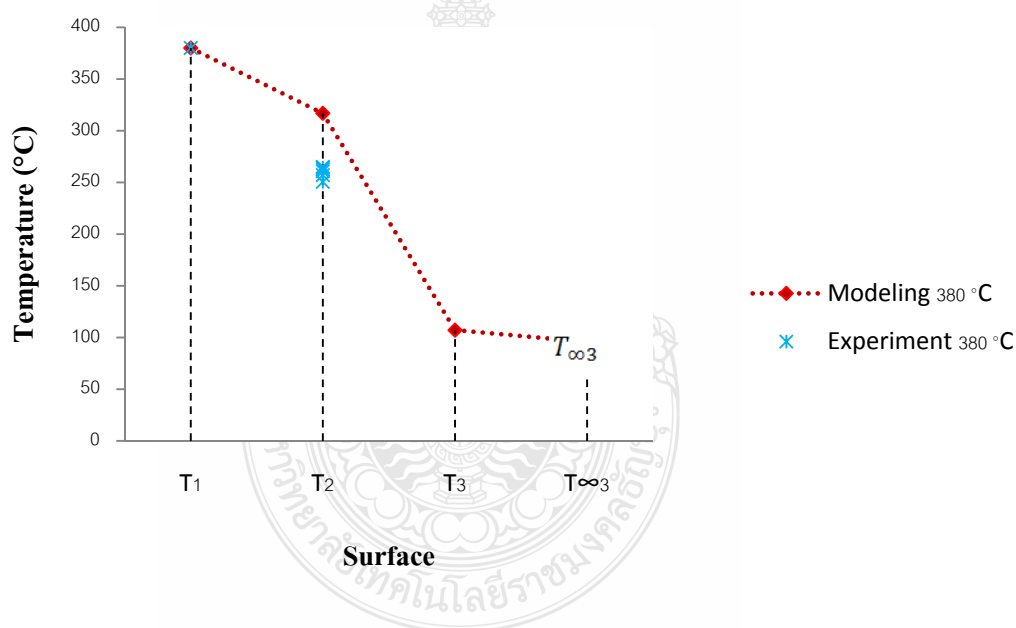
#### 4.1 การศึกษารูปแบบการถ่ายเทความร้อน



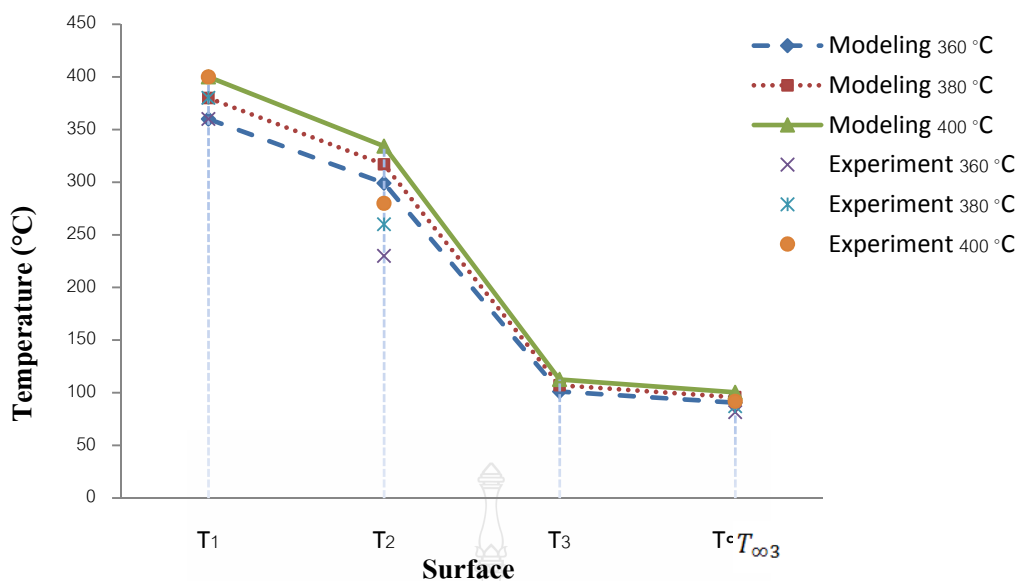
ภาพที่ 4.1 พื้นผิวของถังเครื่องคั่วข้าวด้วยฮีเตอร์อินฟราเรด

ภายในท่อให้กำเนิดความร้อนบรรจุฮีเตอร์อินฟราเรดไว้ ทำให้เกิดการส่งผ่านความร้อนจากศูนย์กลางเครื่องคั่วด้านในออกมาสู่ด้านนอก รูปแบบการถ่ายเทความร้อนแสดงดังภาพที่ 4.1 ส่วนในรายละเอียดของเครื่องคั่วข้าวแสดง (ภาคผนวก ก) ทำการควบคุมอุณหภูมิด้านในท่อกำเนิดความร้อน ( $T_1$ ) ไว้ที่ 360 , 380 และ 400 °C ตามลำดับ ทำการคำนวณหาอุณหภูมิผิวท่อด้านนอก ( $T_2$ ) อุณหภูมิผิวถึงด้านใน ( $T_3$ ) และอุณหภูมิที่ผิวถึงคั่วสัมผัสกับอากาศ ( $T_{\infty 3}$ ) ผลจากการคำนวณที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ภาพที่ 4.2 แสดงตัวอย่างเมื่อควบคุมอุณหภูมิ ( $T_1$ ) ไว้ที่ 380 °C พบว่าอุณหภูมิที่ ( $T_2$ ) และ ( $T_{\infty 3}$ ) ที่คำนวณได้มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 19.1% และ 9.1% ตามลำดับ เนื่องจากที่ผิว ( $T_2$ ) มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 19.1% ซึ่งเกิดมาจากการทดลองข้าวเปลือกงอกที่มี

ความชื้นสูงจะบรรจุอยู่ระหว่างผิว ( $T_2$ ) และ ( $T_3$ ) ซึ่งถึงด้านนอกที่ ( $k_2$ ) มีการหมุนทำให้ข้าวเปลือกงอกที่มีความชื้นสูงสัมผัสกับท่อกำเนิดความร้อนที่ผิว ( $T_2$ ) เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างผิว ( $T_2$ ) กับข้าวเปลือกงอก ทำให้ผิว ( $T_2$ ) จากการทดลองมีอุณหภูมิต่ำกว่าการคำนวณ ในการคำนวณได้มีการตั้งค่าการสมมุติฐานว่าไม่มีการสูญเสียความร้อนของผิวผนังท่อกำเนิดความร้อนและอุณหภูมิตลอดผิวท่อกำเนิดความร้อนมีอุณหภูมิสม่ำเสมอเท่ากันตลอดความยาว และไม่ได้คิดความร้อนที่สูญเสียให้กับข้าวเปลือกงอก แต่ในการทดลองจริงพบที่มีการสูญเสียความร้อนบางส่วนออกสู่สภาพแวดล้อมผ่านด้านข้างผนังท่อกำเนิดความร้อนส่งผลให้อุณหภูมิตลอดความยาวของผิวท่อกำเนิดความร้อนไม่สม่ำเสมอ มีความร้อนที่สูญเสียให้กับข้าวเปลือกงอก ทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองดังกล่าว ภาพที่ 4.3 แสดงภาพรวมการเปรียบเทียบที่อุณหภูมิ ( $T_1$ ) เท่ากับ 360 , 380 และ 400 °C พบว่าให้ผลเช่นเดียวกันกับภาพที่ 4.2



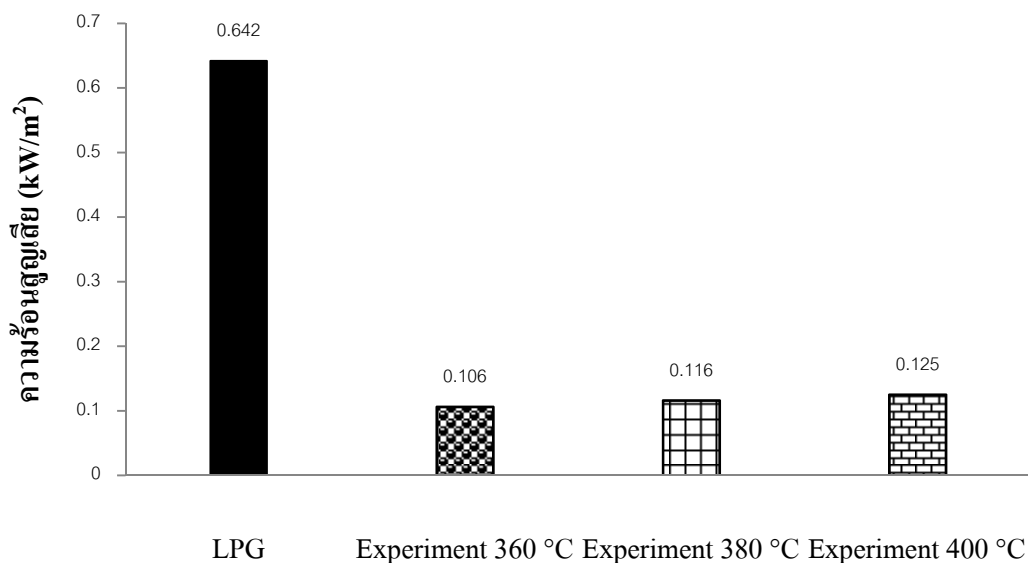
ภาพที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณและทดลองอุณหภูมิ 380 °C



ภาพที่ 4.3 กราฟรวมการเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณและการทดลอง

ส่วนที่สองการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนออกจากผิวท่อโดยการพาความร้อนโดยใช้ทฤษฎีฟิล์มเฟิร์ด (สมการที่ 2.18) หาความร้อนที่สูญเสียให้กับอากาศภายนอกต่อพื้นที่ผิว  $1 \text{ m}^2$  จะไม่มีผลกับขนาดของตัวถังคั่ว วิเคราะห์จากความร้อนที่ผิวด้านนอกถังคั่วพบว่าเครื่องคั่วข้าวด้วยแก๊ส LPG มีการสูญเสียความร้อนให้กับสภาวะแวดล้อมมากที่สุดที่  $0.642 \text{ kW/m}^2$  การวิเคราะห์เครื่องคั่วข้าวต้นแบบที่ใช้ฮีทเตอร์อินฟราเรดที่อุณหภูมิ ( $T_1$ ) 360 , 380 และ 400 °C พบว่ามีการสูญเสียความร้อน 0.106 , 0.116 และ  $0.125 \text{ kW/m}^2$  ตามลำดับแสดงให้เห็นว่าเครื่องต้นแบบมีการสูญเสียความร้อนให้กับสภาพแวดล้อมน้อยกว่า

การคำนวณที่ภาคผนวก ข2 การวิเคราะห์เครื่องคั่วข้าวด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรดที่อุณหภูมิ 360 380 และ 400 °C พบว่ามีการสูญเสียให้กับสภาพแวดล้อมน้อยกว่าเครื่องคั่วข้าวด้วย LPG จากภาพที่ 4.4 คิดเป็นร้อยละ 83.5 % 81.9 % และ 80.5 % ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการให้ความร้อนจากด้านนอกนั้นเกิดความร้อนสูญเสียมาก แต่ถ้าให้ความร้อนจากด้านในนั้นจะช่วยประหยัดพลังงานได้มากกว่า



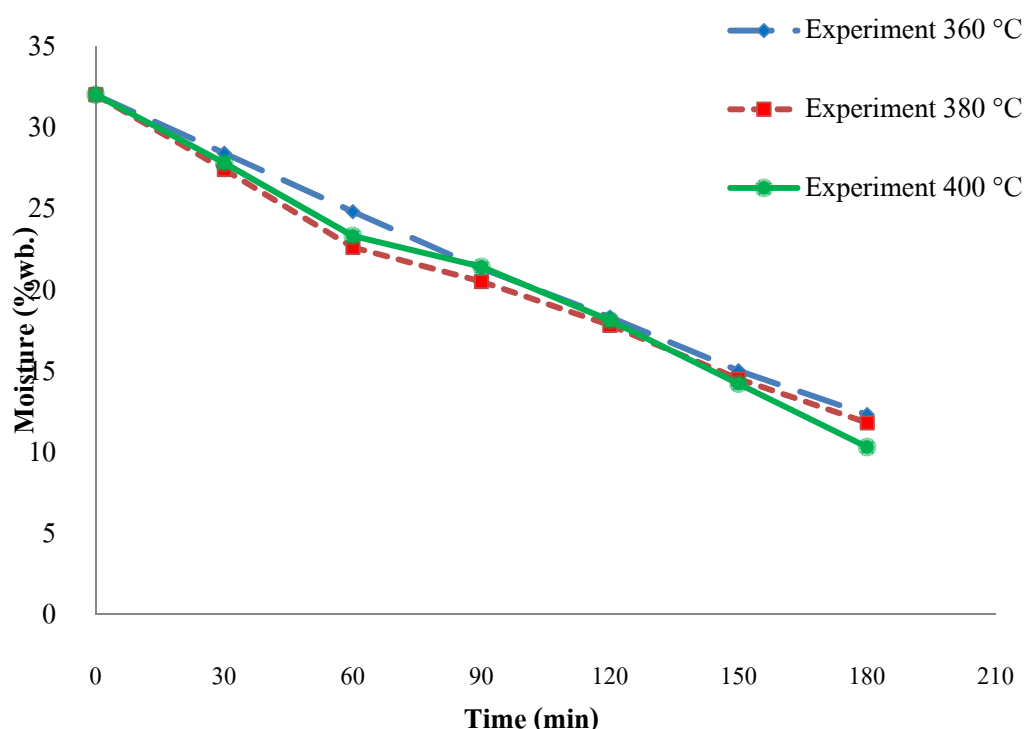
ภาพที่ 4.4 ความร้อนสูญเสียของเครื่องคั่วข้าวมอลต์

#### 4.2 หาอุณหภูมิที่เหมาะสมของกระบวนการคั่วข้าวเปลือกด้วยเครื่องที่พัฒนาขึ้น

ในการทดลองนี้เป็นการหาอุณหภูมิที่เหมาะสม ในการคั่วข้าวมอลต์หึ่งรับประทานด้วยเครื่องคั่วข้าวด้วยฮีตเตอร์อินฟราเรด มวลของข้าวเปลือก 3 kg ความเร็วในการหมุนถังคั่วข้าว 10 rpm ใช้เวลาในกระบวนการนึ่งข้าว 90 min และลดความชื้นอีก 90 min จากการทดลองพบว่าในการลดความชื้น 32% ลดความชื้นไม่เกิน 14%w.b. เมื่อพิจารณาตามภาพที่ 4.5 พบว่าที่อุณหภูมิผิวที่ ( $T_1$ ) ต่างกันความชื้นมีแนวโน้มลดลงใกล้เคียงกัน จึงพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นซึ่งเป็นข้าวเต็มเมล็ดที่ไม่มีการแตกหักและเป็นข้าวที่จำหน่ายได้ราคาสูงที่สุดมาเป็นหลักในการพิจารณา พบว่าการทดลองอุณหภูมิผิว ( $T_1$ ) ที่ 380 °C ได้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นได้ดีที่สุดเฉลี่ยร้อยละ 52.54% ดังแสดงภาพที่ 4.7 ส่วนด้านการใช้พลังงานจะนำเสนอข้อที่ 4.3 ในการทดสอบข้าวจะอยู่ที่ผิว  $r_3$  ซึ่งมีอุณหภูมิที่ผิว  $T_3$  ในภาพที่ 4.1 ซึ่งข้าวเปลือกที่นำมาทดลองมีความชื้นสูงและมีการเคลื่อนที่ตลอดการทดลองจึงทำให้ข้าวไม่เกิดการไหม้

#### 4.2.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือก

จากผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือก และจะเห็นว่าความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกที่ความชื้น 32%w.b. เมื่อระยะเวลาการอบแห้งเพิ่มมากขึ้นความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกลดลงมีแนวโน้มใกล้เคียงกันเป็นไปตามจลศาสตร์ของการอบแห้ง จากการทดลองพบว่าการลดความชื้นเหลือไม่เกิน 14%w.b. อุณหภูมิ 400 °C ใช้เวลาการอบแห้งน้อยที่สุดดังแสดงในภาพที่ 4.5

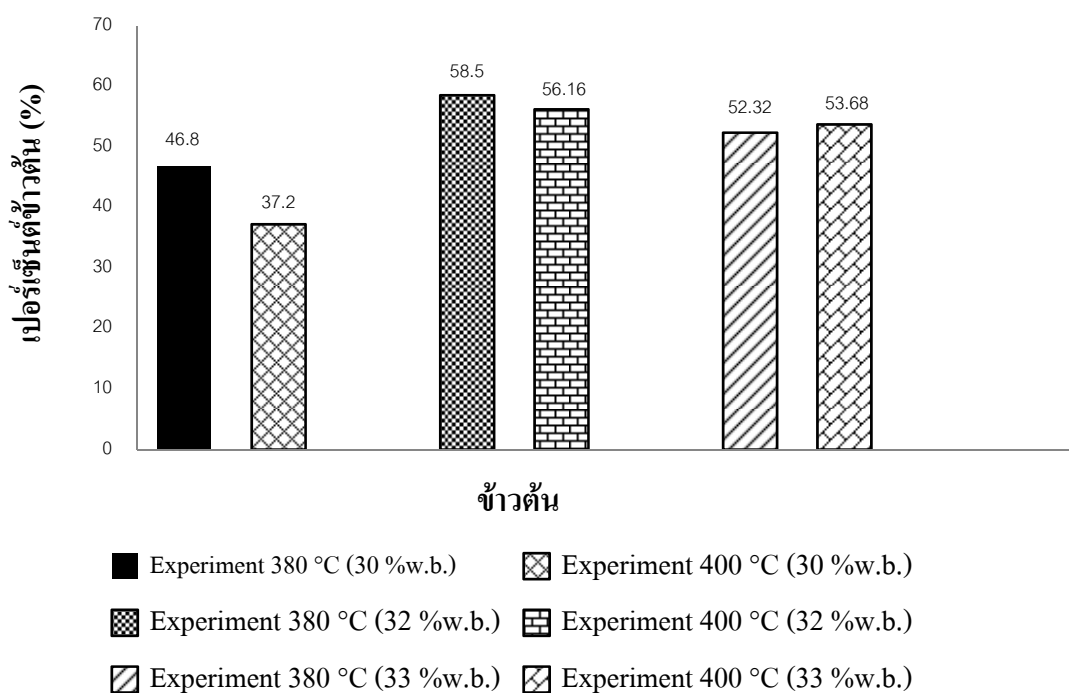


ภาพที่ 4.5 อัตราการอบแห้งที่ความชื้นเริ่มต้น 32 %w.b.

#### 4.2.2 ปริมาณข้าวคั่ว

ในการพิจารณาอุณหภูมิที่ใช้ในการนึ่งและอบแห้งที่เหมาะสมของเครื่องคั่วข้าวคั่วแบบ จะพิจารณาจากปริมาณข้าวที่ผ่านกระบวนการกะเทาะเปลือกและขัดสีที่ไม่มีส่วนใดส่วนหนึ่งแตกหัก เรียกว่า “ข้าวคั่ว” จากการทดลองพบว่าใช้เวลาในการนึ่งข้าว 90 min ลดความชื้น 90 min ความเร็วถึง 10 rpm จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ ( $T_1$ ) 360 °C พบว่าข้าวเกิดการแตกหักมากที่สุดเนื่องจากการเกิดแป้งภายในเมล็ดข้าวกลายเป็นวุ้นสั้น ที่อุณหภูมิ 380 °C จะให้ปริมาณข้าวคั่วเฉลี่ยสูงที่สุดเนื่องจากการแป้งภายในเมล็ดข้าวกลายเป็นวุ้นมีความเหมาะสมทำให้เมล็ดข้าวมีความแกร่ง และอุณหภูมิ 400 °C ให้ปริมาณข้าวคั่วลดลงทั้งนี้เนื่องมาจากในการระเหยน้ำถูกนำไปเพิ่มอุณหภูมิแก่เมล็ดข้าวเปลือก

เมล็ดข้าวจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้นมากเกินไป โครงสร้างเม็ดแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลงถึงขั้นเกิดเป็นโพรงอากาศลักษณะคล้ายการเดือดของน้ำแป้งขึ้นภายในเมล็ดข้าว ทำให้เกิดการแตกหักได้ง่ายจึงส่งผลให้อุณหภูมิ 380 °C ได้ปริมาณข้าวต้มมากกว่า นอกจากอุณหภูมิแล้วปริมาณความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดข้าวมีผลต่อปริมาณข้าวต้ม จากกราฟที่ 4.6 เปรียบเทียบที่อุณหภูมิ ( $T_1$ ) 380 °C ความชื้นเริ่มต้น 30%w.b. และ 32.0%w.b. จะมีปริมาณร้อยละข้าวต้ม 46.8 และ 58.5 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าความชื้นส่งผลต่อเวลาการเกิดเจลลาที่ไนซ์และการยึดเกาะเข้าด้วยกันภายในเมล็ดข้าวในกระบวนการนี้ด้วยเช่นกัน

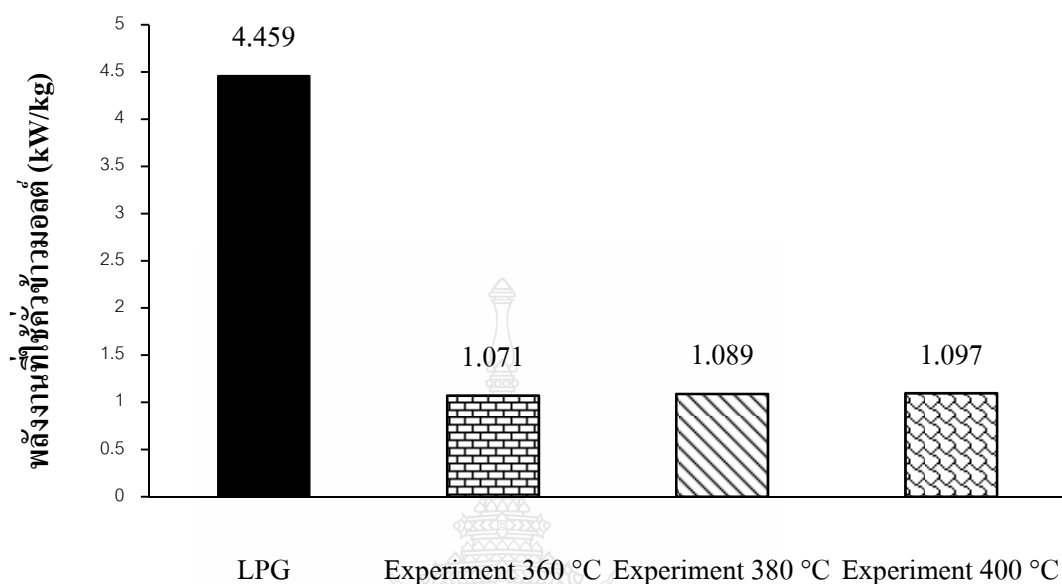


ภาพที่ 4.6 ปริมาณข้าวต้ม

#### 4.3 เปรียบเทียบพลังงาน

ในการเปรียบเทียบด้านพลังงานจะทำการเปรียบเทียบที่ใช้ในการคั่วข้าวมอลต์ที่ 1 kg (ข้าวเปลือก) ซึ่งจะไม่มีการเปรียบเทียบรูปแบบการให้ความร้อนระหว่างการให้ความร้อนจากด้านนอกด้วยวิธีเผาถังคั่ว กับการให้ความร้อนจากด้านในด้วยฮีเตอร์อินฟราเรดจากการศึกษาเก็บข้อมูลและทำการทดลองในภาคผนวก ง.10 ง.11 และ ง.12 พบว่าเครื่องคั่วข้าวต้มแบบด้วยฮีเตอร์อินฟราเรดนั้นอุณหภูมิ 360 °C ใช้พลังงานที่ 1.071 kW/kg ที่อุณหภูมิ 380 °C

ใช้พลังงานที่ 1.089 kW/kg ที่อุณหภูมิ 400 °C ใช้พลังงานที่ 1.097 kW/kg ซึ่งใช้พลังงานน้อยกว่า เครื่องคั่วต้นแบบที่ใช้พลังงาน 4.459 kW/kg



ภาพที่ 4.7 การใช้พลังงานในการคั่วข้าวมอลต์

ภาพที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานการคั่วข้าวมอลต์ ระหว่างเครื่องของเกษตรกรใช้แก๊ส LPG และเครื่องต้นแบบทดลองที่อุณหภูมิ ( $T_1$ ) 360, 380 และ 400°C พบว่าเครื่องต้นแบบใช้พลังงานน้อยกว่าคิดเป็นร้อยละ 75.98% , 75.57% และ 75.4% ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าเครื่องต้นแบบสามารถลดต้นทุนการผลิตข้าวมอลต์ด้านการใช้พลังงานมากกว่าเครื่องที่ใช้พลังงานแก๊ส LPG

## บทที่ 5

### สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิทยานิพนธ์นี้เป็นการสรุปผลการทดลองและการเปรียบเทียบผลที่ได้จากบทที่ 4 ที่ได้ศึกษาการคั่วข้าวมอลต์ด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรด ออกแบบเป็นท่อร่วมศูนย์กลางภายในขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มม. ใช้บรรจุฮีทเตอร์อินฟราเรดโดยประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดแบบคลื่นยาวเป็นอุปกรณ์ให้ความร้อน ท่อด้านนอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 มม. ใช้บรรจุข้าวเปลือก ขนาด 3 kg ความเร็วรอบถึงค่า 10 rpm ใช้เวลาในการนึ่งข้าวเปลือกงอก 90 min และลดความชื้น 90 min นำผลที่ได้จากการทดลองทำการคำนวณผลแล้วไปเปรียบเทียบเครื่องคั่วข้าวที่ใช้พลังงานแก๊ส LPG บางผลการทดลองเป็นผลที่ได้จากการศึกษาเครื่องคั่วข้าวด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรด แต่ไม่ได้นำไปเปรียบเทียบกับเครื่องต้นแบบจึงสรุปผลเป็นส่วน ๆ ได้ดังนี้

#### 5.1 สรุปผลงานวิจัย

5.1.1 จากการคำนวณการถ่ายเทความร้อนภายในถึงข้าวด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรดและนำมาเปรียบเทียบกับการวัดจริงที่ผิว  $T_2$  และ  $T_4$  พบว่ามีความคลาดเคลื่อนที่ร้อยละ 19.1% และ 9.1% ตามลำดับมีความน่าเชื่อถือสามารถนำไปใช้ในการออกแบบได้

5.1.2 จากการศึกษาการถ่ายเทความร้อนจากผิวท่อโดยการพาความร้อนโดยใช้ทฤษฎีฮีลเพิร์ต (สมการที่ 2.1) เครื่องคั่วข้าวมอลต์ต้นแบบใช้ฮีทเตอร์อินฟราเรดนั้นสูญเสียความร้อนน้อยกว่าเนื่องจากรูปแบบการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบการนำความร้อน และพาความร้อนจากด้านในแล้วค่อยๆ แพร่ออกสู่ด้านนอกจึงทำให้ ความร้อนที่ใช้ในการคั่วข้าวที่ 360 °C 380 °C และ 400 °C สามารถลดความร้อนสูญเสียได้มากกว่าเครื่องคั่วข้าวที่ใช้พลังงานแก๊ส LPG ที่เป็นการเผาจากด้านนอก ดังนี้ 83.5 % 81.9 % และ 80.5% ตามลำดับ

5.1.3 อุณหภูมิที่เหมาะสมของกระบวนการคั่วข้าวเปลือกด้วยเครื่องคั่วข้าวด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรดที่ความชื้นข้าวเปลือกต่างกัน ใช้อุณหภูมิ 380 °C จะให้ปริมาณข้าวต้นเฉลี่ย 52.58 %

5.1.4 ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องคั่วข้าวเปลือก พบว่าเครื่องคั่วข้าวมอลต์ด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรดโดยใช้อุณหภูมิคั่วข้าวที่ 360 °C 380 °C และ 400 °C ใช้พลังงานในการคั่วข้าวเปลือก 1 kg น้อยกว่าเครื่องคั่วข้าวมอลต์ที่ใช้แก๊ส LPG คิดเป็น 75.06 % 74.64 % และ 74.45 % ตามลำดับ

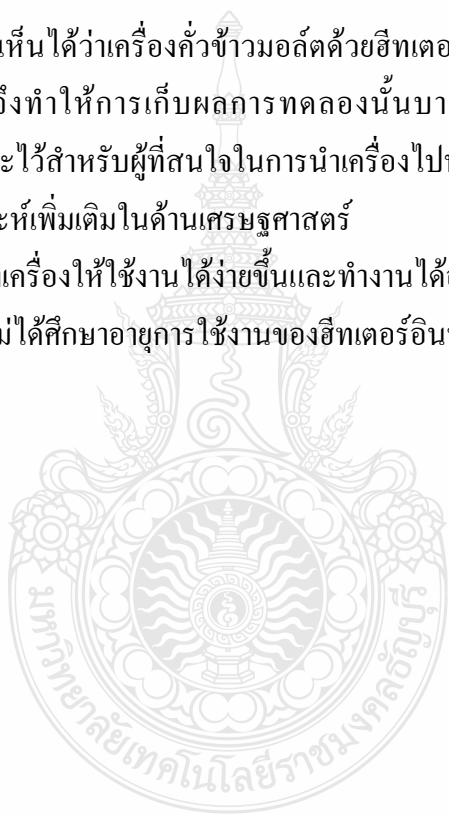


สรุปจากการวิเคราะห์ผลพบว่าในการคั่วข้าวเปลือก 1 kg เครื่องคั่วข้าวมอลต์ด้วยฮีเตอร์อินฟราเรดใช้พลังงานน้อยกว่าเครื่องคั่วข้าวต้นแบบ คิดเป็น 75.06 % 74.64 % และ 74.45 % และสามารถลดค่าใช้จ่ายของเครื่องต้นแบบได้ 74.23 % อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าด้านการใช้พลังงานจะดี แต่พบว่าทางด้านคุณภาพสีของข้าวและกลิ่นหอมของข้าวมอลต์ที่ผลิตได้ยังต้องปรับปรุงให้เป็นไปตามความต้องการของท้องตลาดต่อไป เพื่อให้คุณภาพข้าวเป็นไปตามความต้องการของท้องตลาดผู้จัดทำจึงจะให้อธิบายเสนอแนะในข้อต่อไป

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทำวิจัยจะเห็นได้ว่าเครื่องคั่วข้าวมอลต์ด้วยฮีเตอร์อินฟราเรดนั้น เป็นระบบทำงานเป็นช่วงและสุ่มตัวอย่าง จึงทำให้การเก็บผลการทดลองนั้นบางตัวแปรไม่สามารถควบคุมได้เท่าที่ควร จึงให้อธิบายเสนอแนะไว้สำหรับผู้สนใจในการนำเครื่องไปพัฒนาหรือทำการศึกษาเพิ่มเติม

- 5.2.1 ควรมีการวิเคราะห์เพิ่มเติมในด้านเศรษฐศาสตร์
- 5.2.2 ควรมีการพัฒนาเครื่องให้ใช้งานได้ง่ายขึ้นและทำงานได้อย่างต่อเนื่อง
- 5.2.3 ในการทดลองไม่ได้ศึกษาอายุการใช้งานของฮีเตอร์อินฟราเรด



## รายการอ้างอิง

- [1] ผศ.ยุพกนิษฐ์ ฟวงวีระกุล, กระบวนการทำข้าวมอลต์หุงรับประทาน. ไทย,อนุสิทธิบัตรเลขที่ 928, 2545.
- [2] ชานินทร์ การภักดี, การอบแห้งเมล็ดพันธุ์ด้วยไ้มความร้อน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540.
- [3] [www.fao.org/docrep/V5030E/V5030E0c.htm](http://www.fao.org/docrep/V5030E/V5030E0c.htm) (15 ธันวาคม 2554)
- [4] [www.filquip.com/\\_cabinet\\_dryer.html](http://www.filquip.com/_cabinet_dryer.html) (15 ธันวาคม 2554)
- [5] <http://blog.taradkaset.com> (15 ธันวาคม 2554)
- [6] [www.brrd.in.th/rkb/data\\_009/rice\\_xx2-09\\_machine017.html](http://www.brrd.in.th/rkb/data_009/rice_xx2-09_machine017.html) (15 ธันวาคม 2554)
- [7] [www.aeroglide.com/\\_Thai/rotary-dryers-th.php](http://www.aeroglide.com/_Thai/rotary-dryers-th.php) (15 ธันวาคม 2554)
- [8] [www.icreativeweb.com/demo/biology/index.php?option=com\\_content&view=article &id=200:-25-52&catid=45:bio-article-&Itemid=112](http://www.icreativeweb.com/demo/biology/index.php?option=com_content&view=article&id=200:-25-52&catid=45:bio-article-&Itemid=112)
- [9] Kar, N., Jain, R.K., Srivastav. P.P., Parboiling of Dehusked Rice, Journal of Food Engineering, Vol. 9, pp. 17-22, 1999.
- [10] Ali, S. Z. and Bhattacharya, K.R., High Temperature Drying - Cum- Parboiling of Paddy, Journal of Food Process Engineering, Vol. 4, pp. 123-136, 1980.
- [11] Pillaiyar, P., Singaravadivel, K, Desikachar, H.S.R., and Subramaniyan, "Low Moisture Parboiling of Paddy," Journal of Food Science Technology, Vol. 30, No. 2, pp. 1993,
- [12] เอกรินทร์ โขษกรณัญ, การอบแห้งข้าวหนึ่งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน, คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2545.
- [13] Adhikaritanayake, T.B. and Noomhorm, A. , Effect of Continuous Steaming on Parboiled Rice Quality, Journal of Food Engineering, 36, pp.135-143,1998.
- [14] Toshinori, K., Bhattacharya, K.R., and Ali, S.Z., Effect of Processing Conditions on the Color Intensity of Parboiled Rice, Journal of Soc of Agri Struc. Japan, Vol. 20, No. 1, pp, 153-160,1993.

- [15] Elbert, G., Marcela, P. and Suarez, C., Effect of Drying Condition on Head Rice Yield and Browning Index of Parboiled Rice, *Journal of Food Engineering*, 47, pp 37-41. 2001.
- [16] Velupillai, L. and Verma, L.R., Drying and Tempering Effect on Parboiled Rice Quality, *Transaction of American Society of Agricultural Engineers*, Vol. 29, pp. 312-319, 1986.
- [17] Feillet, P., and Alary, R. Effects of processing condition and varietal differences on the quality of the finished product. *Ann. Technology Agricultural*. 24(1) : 11-23,1975.
- [18] Deshpande, N., Mitchell, I. & Millis, R. , Tumour enzymes and prognosis in human breast cancer. *Eur. J. Cancer*, 17, 443, (1981).
- [19] Feller, D.A. and Deissingner, A.E., Steam treatment of rice paddy as a means of reducing stickiness., *Cereal Science Today* , Vol. 23, 488 p, 1978.
- [20] Stipe, D.R. Wratten, F.T. and Miller, M.F. (). Drying steam treated naturally moist rough rice. In 18 th Annual program Rep. Crowley, LA: *Louisiana State University. Rice Exp.Sta*,1976
- [21] Daniels, M.L., Marks,B.P., Siebenmorgen,T.J., Menew,R.W. and Meullenet, J.1998.
- [22] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ การอบแห้งเมล็ดพืช สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.กรุงเทพฯ 2537.
- [23] ใจทิพย์และคณะ, “การพัฒนาเครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกแบบไหลต่อเนื่อง”, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล 2544.
- [24] ใจทิพย์และคณะ, “การวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแห้งเมล็ดพืชสำหรับเกษตรกร” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ตะวันออก 2548.
- [25] ร.ศ. มนตรี พิรุณเกษตร การถ่ายเทความร้อน, ครั้งที่2.กรุงเทพฯ:บริษัทวิทยพัฒน์ จำกัด.หน้า 481-484, 2542.

ภาคผนวก

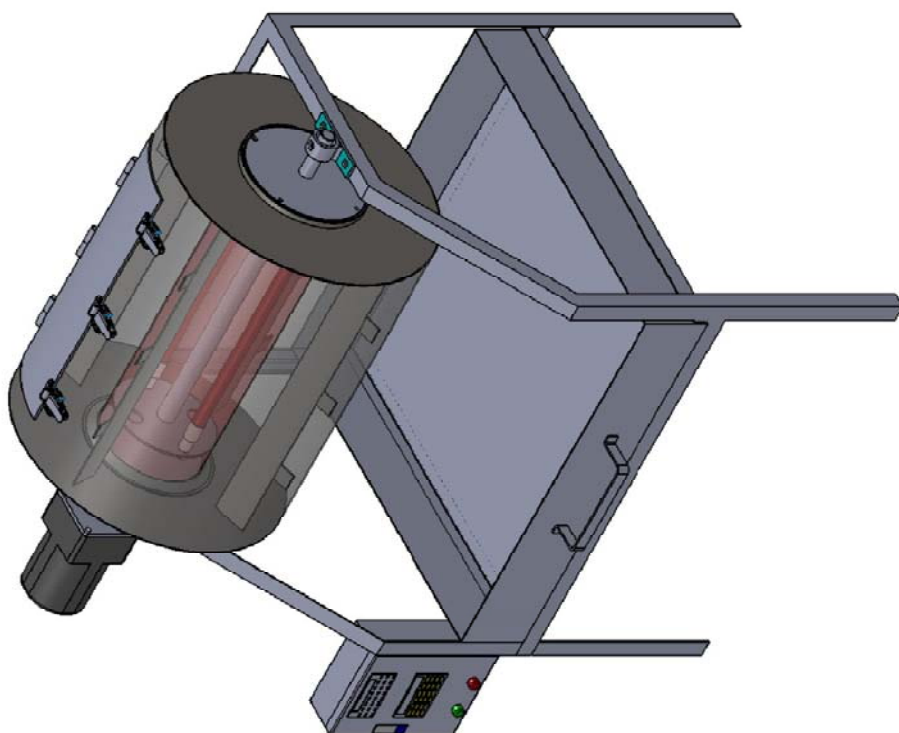


ภาคผนวก ก

แบบเครื่องแก้วข้าวต้มแบบด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรด

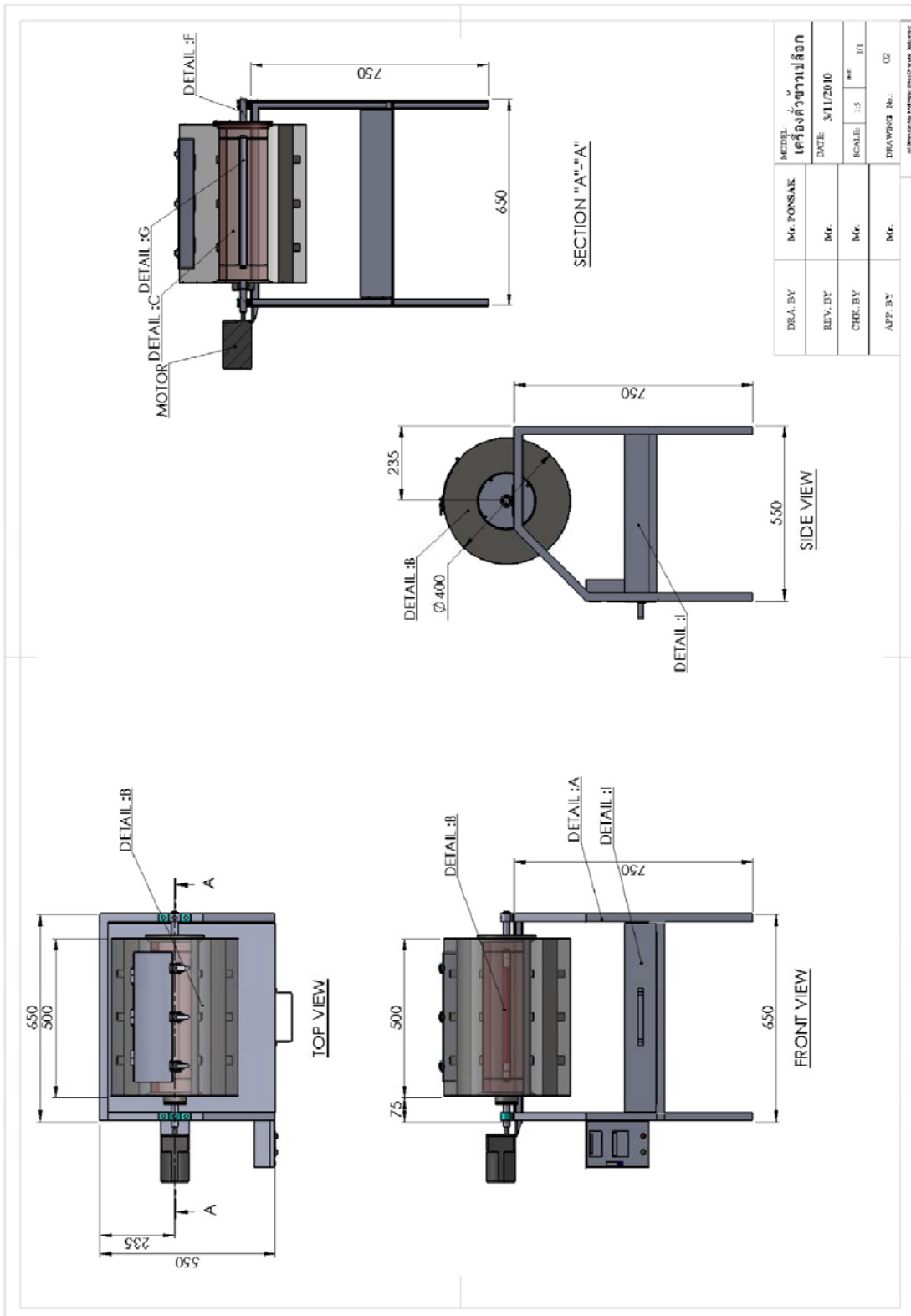


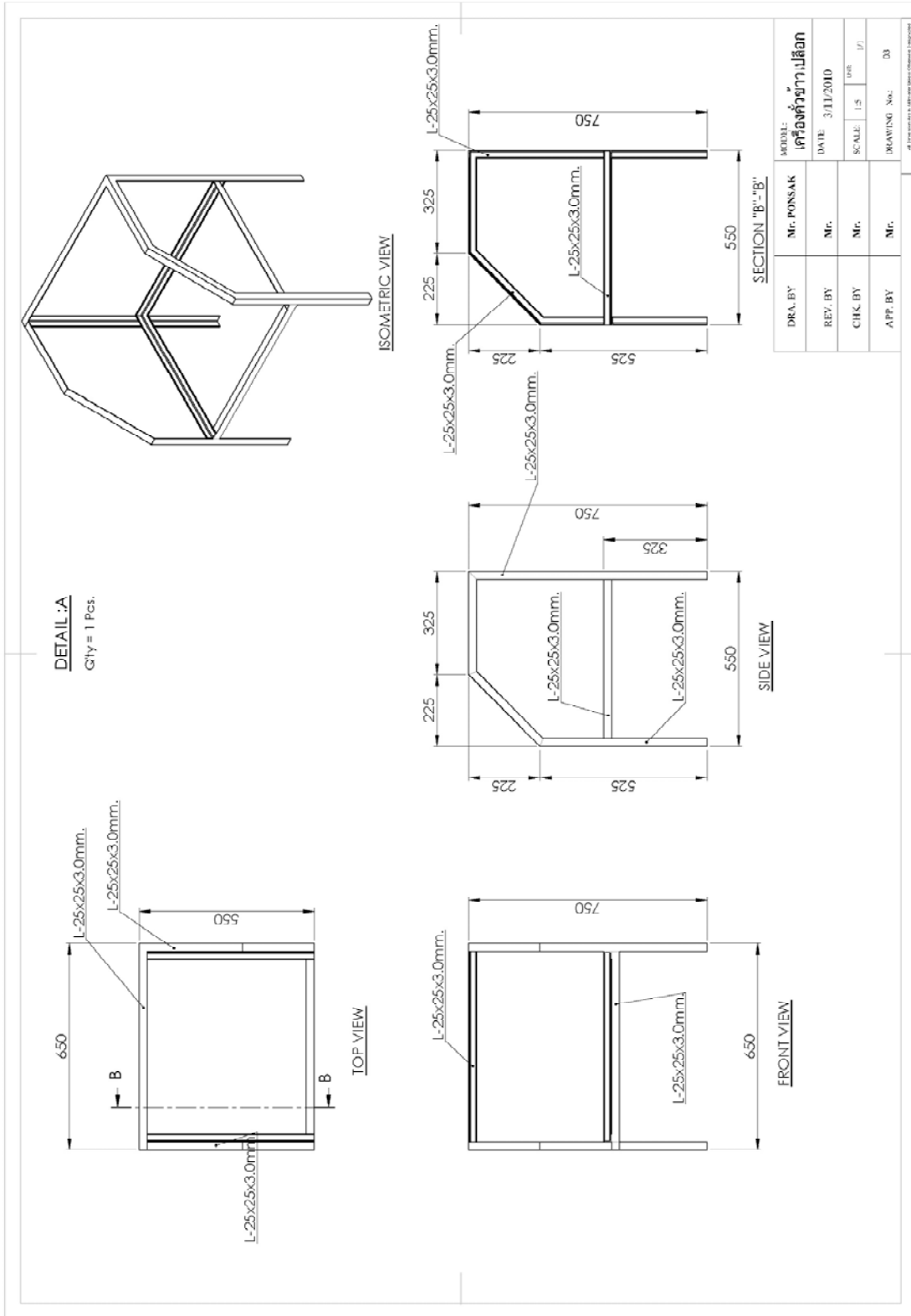
เครื่องคำนวณเปลือก



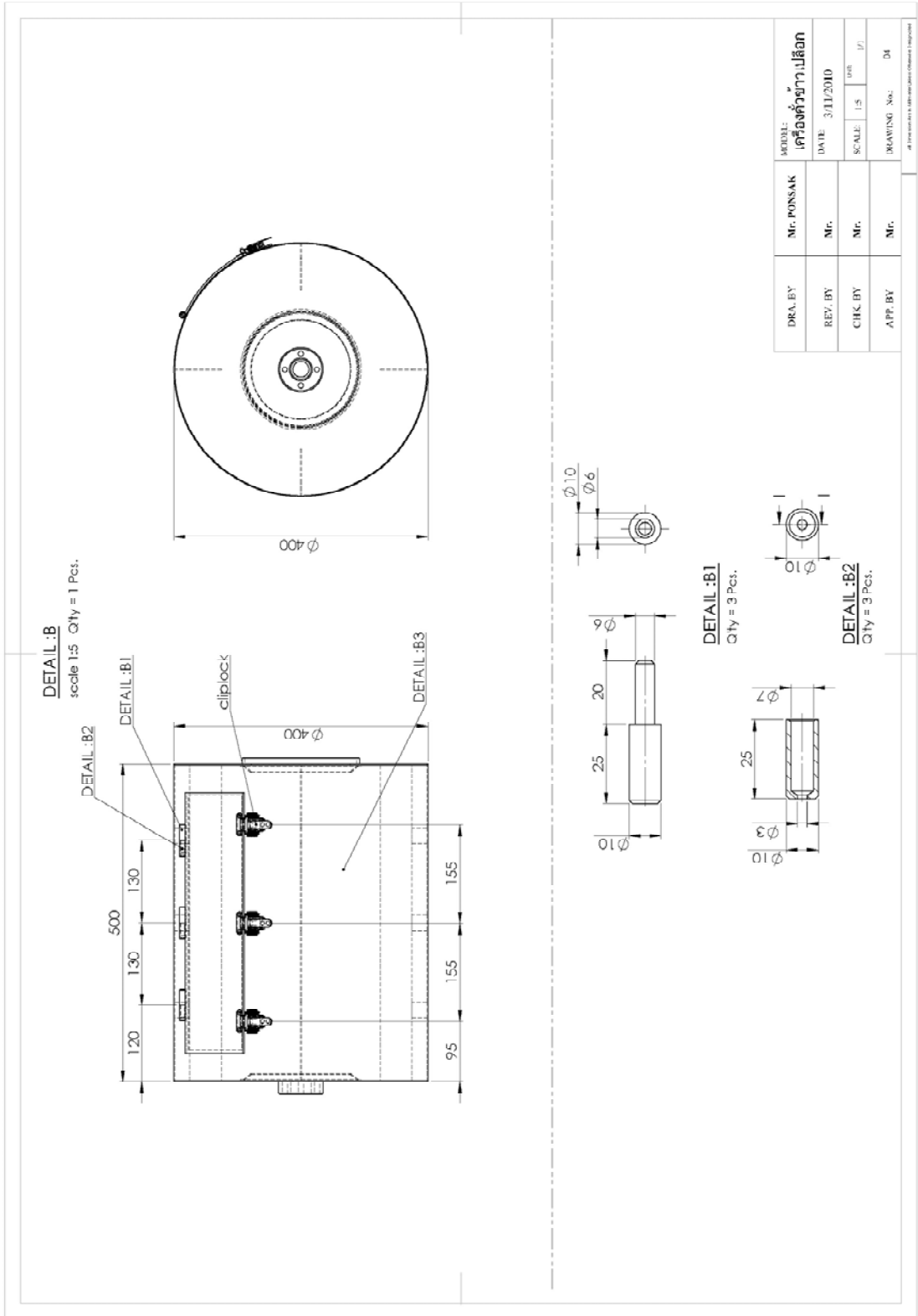
DESIGN BY	Mr. PONSAK	TITLE	เครื่องคำนวณเปลือก	
REV. BY	Mr.	DATE	31/1/2010	
CHEK. BY	Mr.	SCALE	1:5	NO. 01
APP. BY	Mr.	DRAWING No.	01	

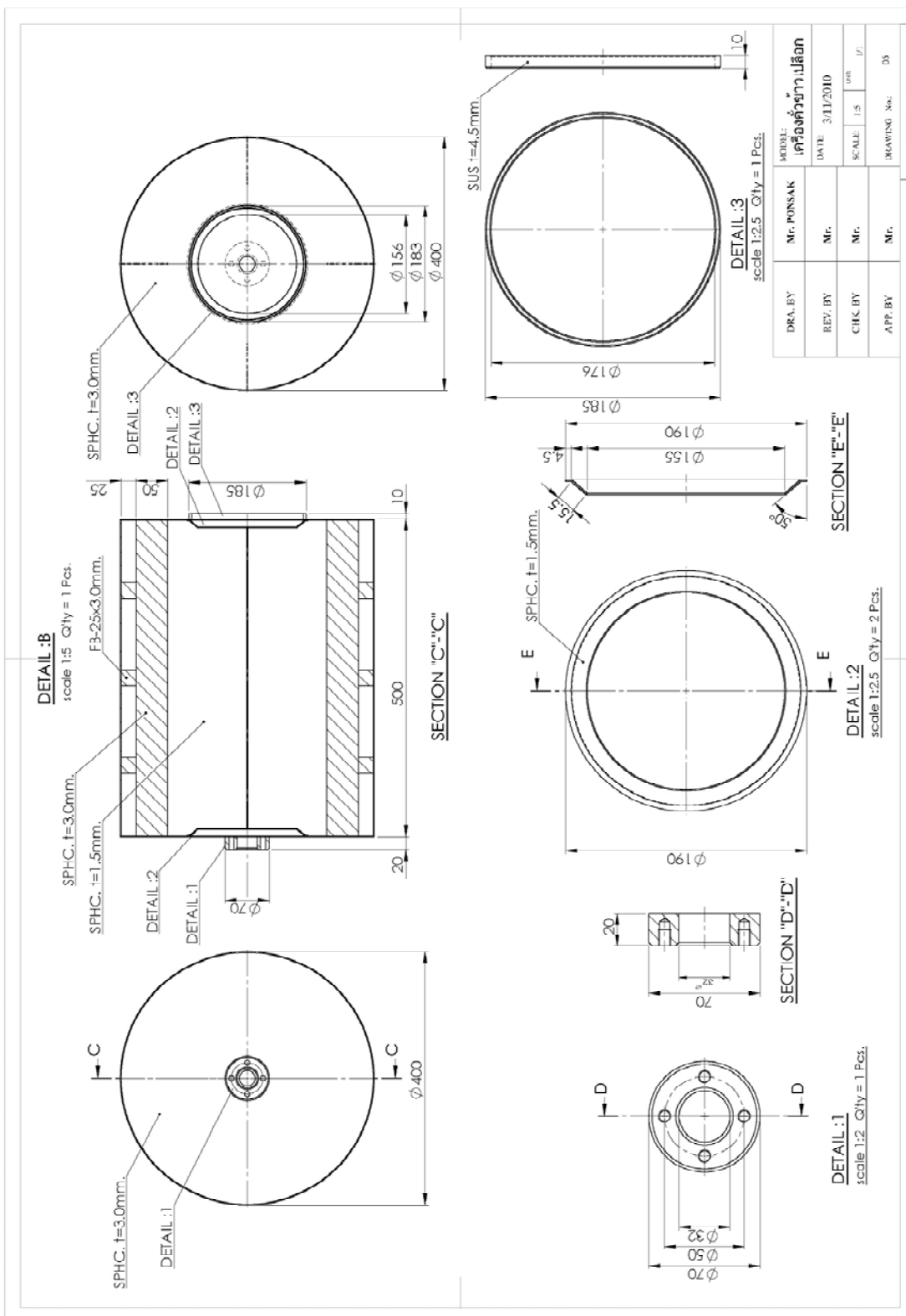
REF: 001-001-001-001-001

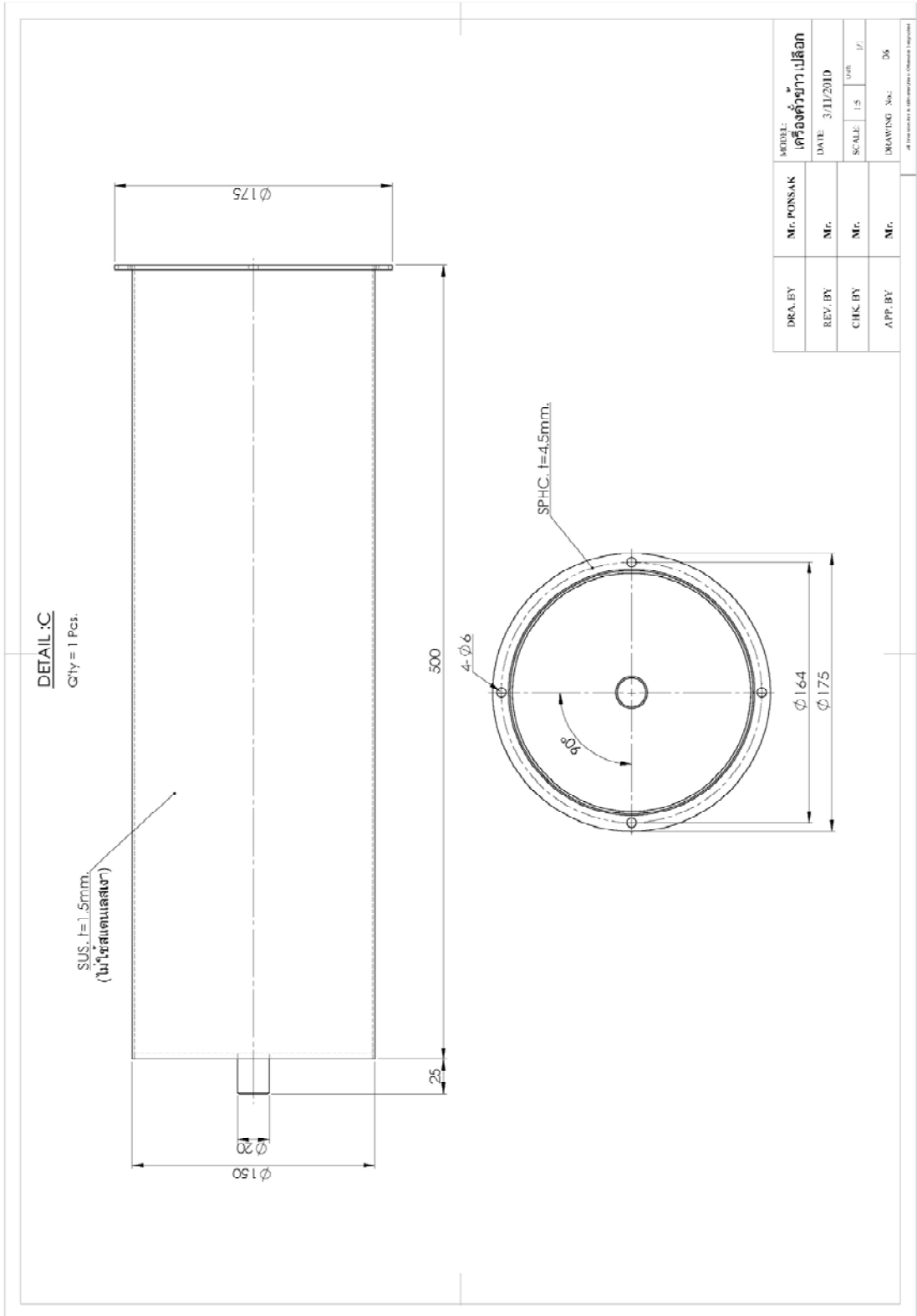


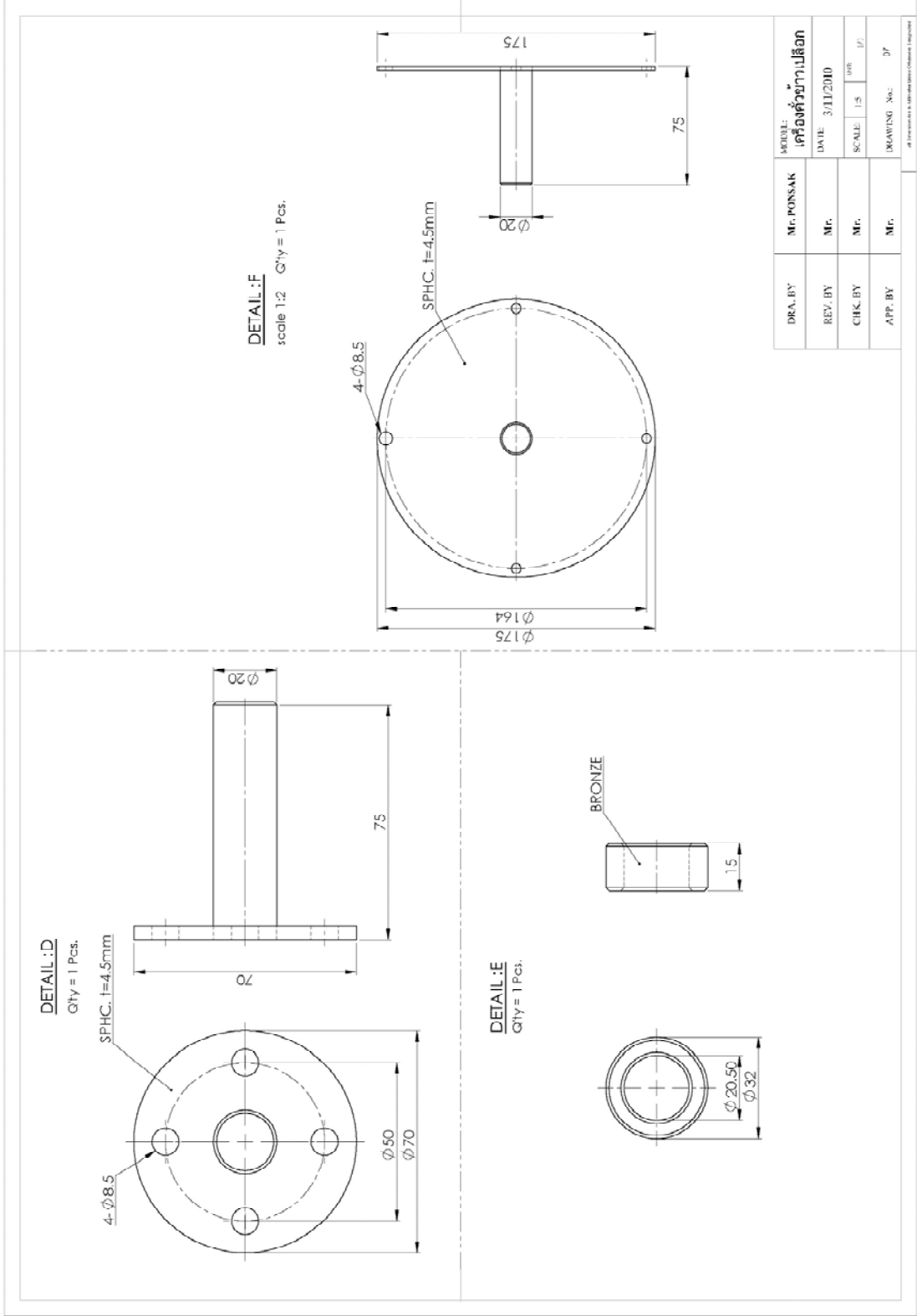




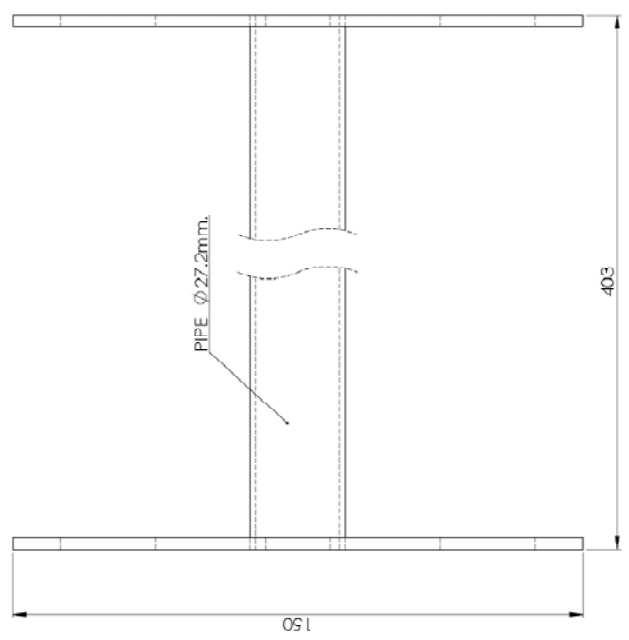
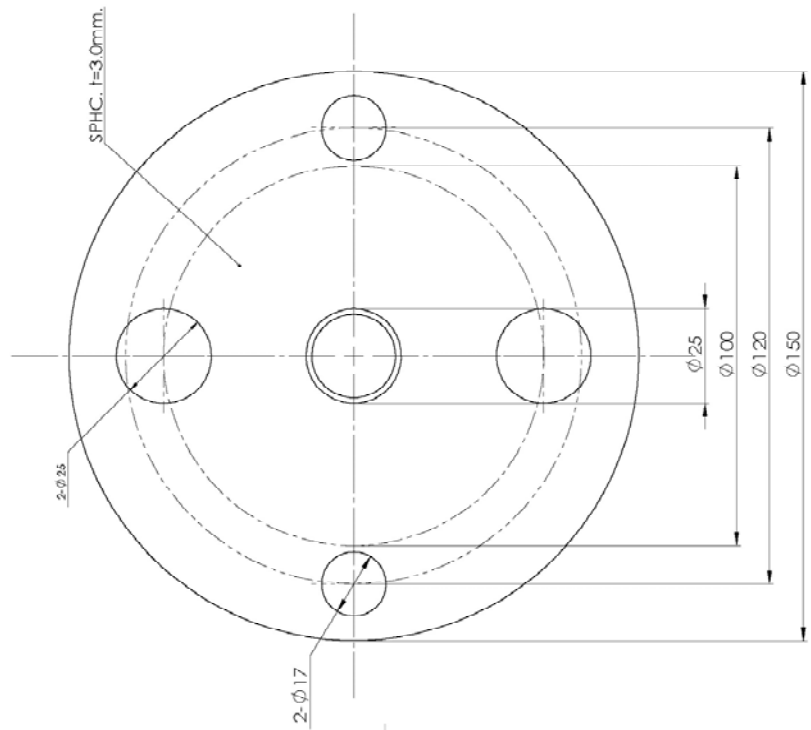








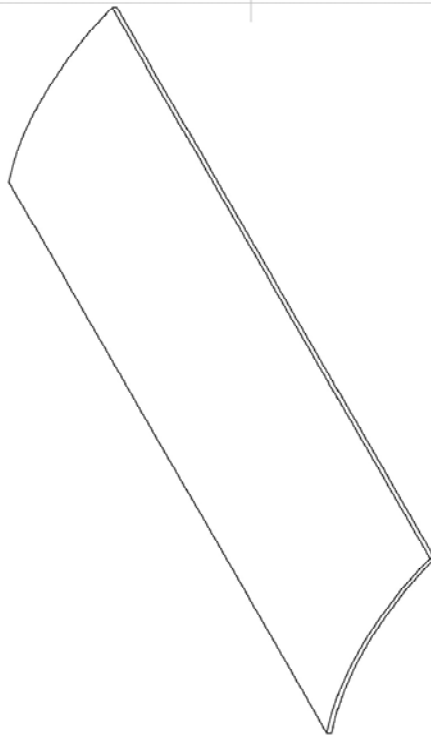
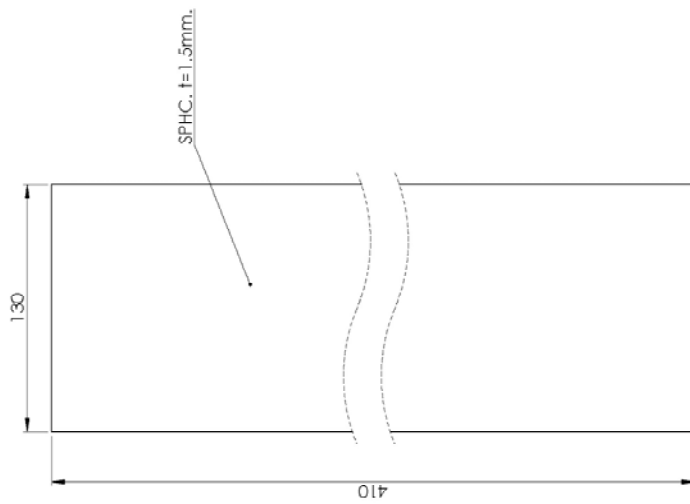
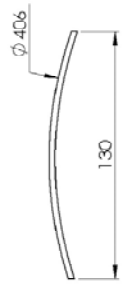
DETAIL:G  
Qty = 1 Pcs.



DR. BY	MR. PONSAK	MODEL	เครื่องตัดหญ้าเคลื่อน		
REV. BY	MR.	DATE	3/11/2010		
CHK. BY	MR.	SCALE	1:5	SHEET	1/1
APP. BY	MR.	DRAWING No.	08		

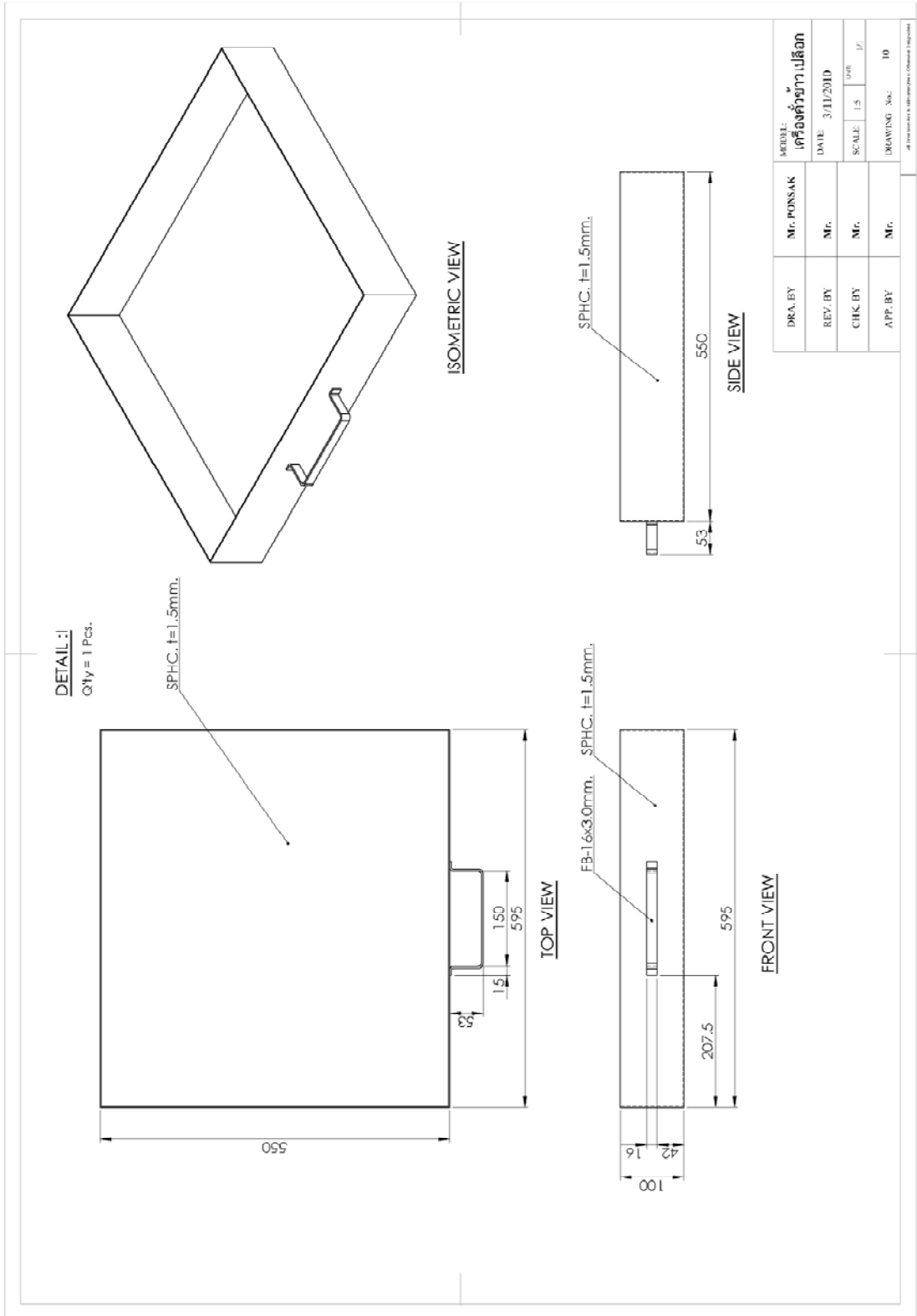
all dimensions in millimeters unless otherwise specified

DETAIL :H  
Qty = 1 Pcs.



DRAWN BY	MR. PONSAK	MODEL	เครื่องตัดหญ้าใบเลื่อย	
REV. BY	MR.	DATE	3/11/2010	
CHK. BY	MR.	SCALE	1:5	1/1
APP. BY	MR.	DRAWING No.	DP	

© 1999-2000 by PONSAK ENGINEERING & DESIGN



DRAWN BY	MR. PONSAK	PROJECT	เครื่องตัดหญ้าใบเลื่อย
REV. BY	MR.	DATE	3/11/2010
CHK. BY	MR.	SCALE	1:5
APP. BY	MR.	DRAWING No.	10

© 2010 PONSAK & ASSOCIATES ENGINEERS & ARCHITECTS

**ภาคผนวก ข**

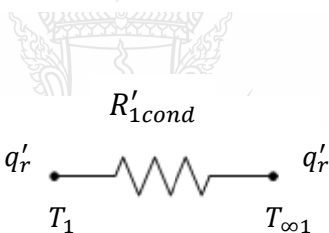
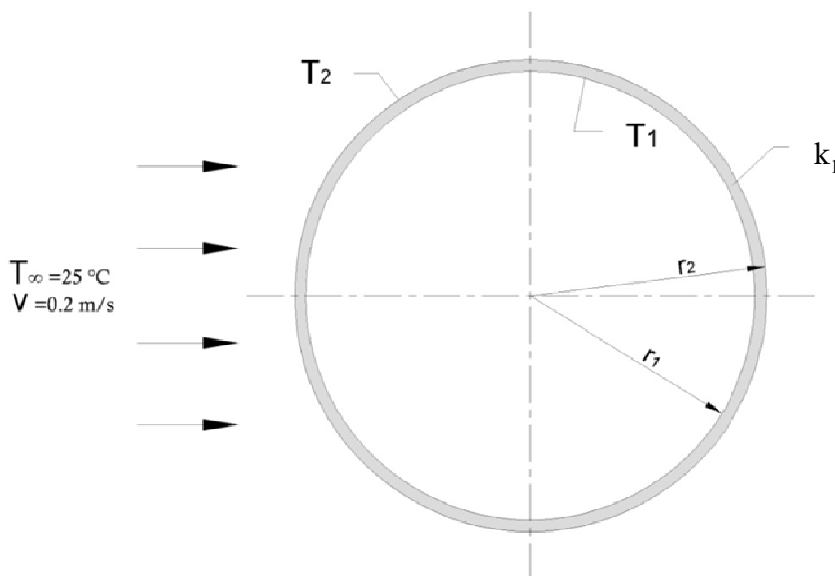
**การคำนวณ**





### ข.1 วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน

การศึกษาที่อุณหภูมิ 120 °C



เครื่องทำความร้อนด้วย LPG มีขนาดตัวถัง  $r_2 = 0.4$  m. หนา 0.003 m. โดยอุณหภูมิผิวสามารถวัด  $T_2$  มีความร้อน 120 °C

$$Q_{gen} = 212.428 \text{ kW} = 212428 \text{ W} \quad k_s = 12.317 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$$

$$T_2 = 120 \text{ °C} \quad T_1 = ? \text{ °C}$$

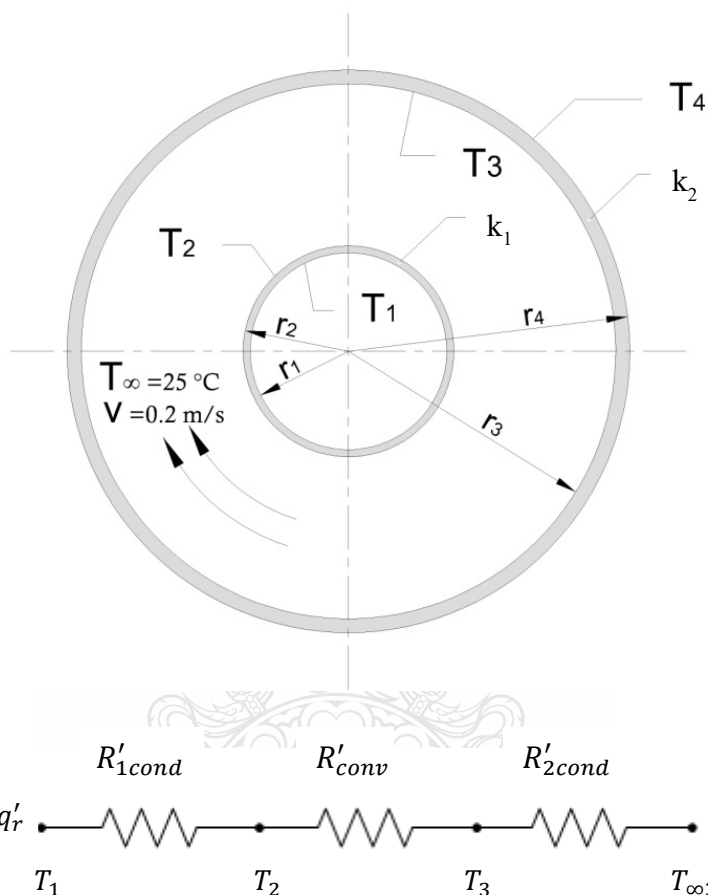
$$r_1 = 0.242 \text{ m.} \quad r_2 = 0.242 \text{ m.} \quad L = 2 \text{ m.}$$

$$\begin{aligned} \text{สมการที่ใช้} \quad \frac{qr}{2} &= -k_s \frac{T_s - T_\infty}{\ln(r_2/r_1)} \frac{1}{r_1} \\ \frac{qr^2}{2k_s} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) &= T_s - T_1 \\ -\left[\frac{qr^2}{2k_s} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)\right] + T_s &= T_1 \\ q = \frac{Q_{gen}}{\pi r^2 L} &= \frac{212428}{\pi(0.245^2)2} \\ &= 563248.084 \text{ W/m}^3 \end{aligned}$$

$$T_1 = - \left[ \frac{563248.084 \text{ W/m}^3 \times (0.245)^2}{2(12.317 \text{ W/m}\cdot\text{C})} \right] - \ln \left( \frac{0.245}{0.242} \right) + 120 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 103.09 \text{ }^\circ\text{C}$$

การศึกษาที่อุณหภูมิ 360 °C



เครื่องแก้วชาวมอลต์มีขนาดตัวถึง  $r_4 = 0.2 \text{ m}$ . หนา  $0.003 \text{ m}$ . ท่อด้านในมีขนาด  $r_2 = 0.075 \text{ m}$ . โดยอุณหภูมิผิว  $T_1$  มีความร้อน  $360 \text{ }^\circ\text{C}$

$$r_1 = 0.072 \text{ m.}$$

$$r_2 = 0.075 \text{ m.}$$

$$r_3 = 0.01985 \text{ m.}$$

$$r_4 = 0.2 \text{ m.}$$

$$v = 0.2 \text{ m/s}$$

$$T_1 = 360 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_\infty = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$k_1 = 20.264 \text{ W/m}\cdot\text{C}$$

$$k_2 = 43.106 \text{ W/m}\cdot\text{C}$$

สมบัติของอากาศพิจารณาที่  $T_f = \frac{1}{2}(360 + 25) = 192 \text{ }^\circ\text{C}$  (465.6 K)

$$k = 38.3608 \times 10^{-3} \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

$$U = 34.3868 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr = 0.6854$$

$$Re_D = \frac{VD}{\nu} = \frac{0.2(0.015)}{34.3868 \times 10^{-6}} = 872.428$$

$$Nu = \frac{h_m D}{k} = AR e_D^n Pr^{1/3} = 0.683 \times 872.43^{0.466} \times 0.6854^{1/3} = 14.129$$

$$h_m = \frac{k}{D} Nu = \frac{38.36 \times 10^{-3}}{0.15} \times 14.129 = 3.6134 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$R'_{cond} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{(2\pi k_1 L)} = \frac{\ln\left(\frac{0.075}{0.072}\right)}{2 \times \pi \times 20.26 \times 0.5} = 0.0006 \text{ m} \cdot \text{°C/W}$$

$$R'_{conv} = \frac{1}{(2\pi r_2 L h)} = \frac{1}{2 \times \pi \times 0.075 \times 3.6134} = 1.1748 \text{ m} \cdot \text{°C/W}$$

$$R'_{cond} = \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{(2\pi k_3 L)} = \frac{\ln\left(\frac{0.2}{0.1985}\right)}{2 \times \pi \times 43.1 \times 0.5} = 0.00005 \text{ m} \cdot \text{°C/W}$$

$$R'_{tot} = R'_{cond} + R'_{conv} + R'_{cond} = 1.18 \text{ m} \cdot \text{°C/W}$$

$$Q_r = \frac{T_1 - T_\infty}{R'_{tot}} = \frac{360 - 25}{1.18} = 284.99 \text{ W}$$

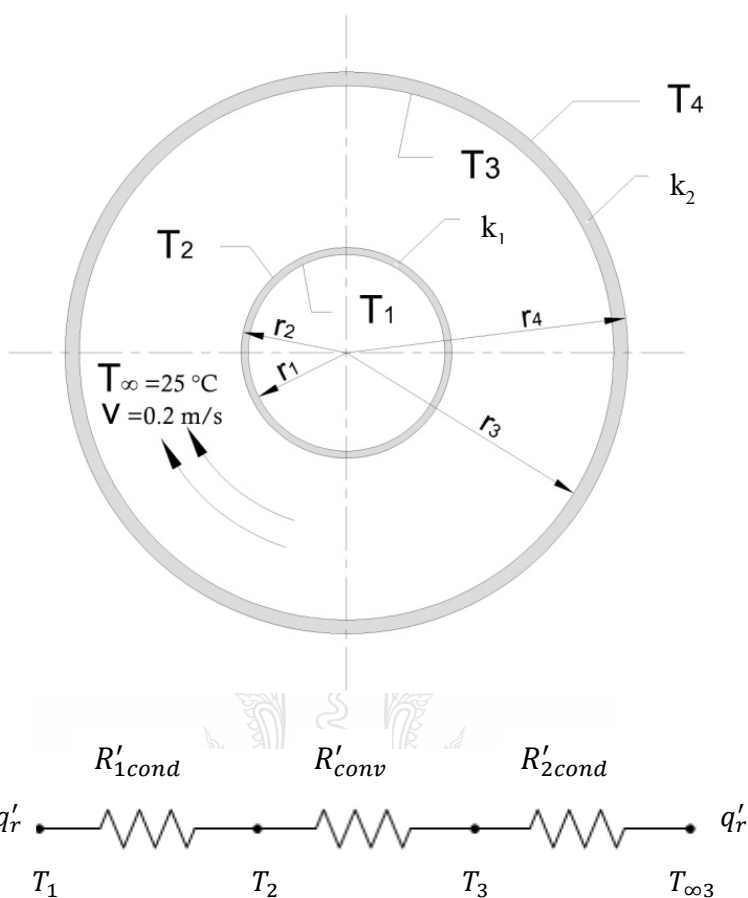
$$T_2 = -\left(\frac{Q}{K.A}\right) + T_1 = -\left(\frac{284.99}{20.26 \times 0.23}\right) + 360 = 299.07 \text{ °C}$$

$$T_3 = -\left(\frac{Q}{h.A}\right) + T_2 = -\left(\frac{284.99}{3.61 \times 0.4}\right) + 299.07 = 101.18 \text{ °C}$$

$$T_4 = -\left(\frac{Q}{K.A}\right) + T = -\left(\frac{284.99}{43.11 \times 0.63}\right) + 101.18$$

$$= 90.62 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

การศึกษาที่อุณหภูมิ  $380 \text{ }^{\circ}\text{C}$



เครื่องแก้วข้วมอลต์มีขนาดตัวถัง  $r_4 = 0.2 \text{ m}$ . หนา  $0.003 \text{ m}$ . ท่อด้านในมีขนาด  $r_2 = 0.075 \text{ m}$ . โดยอุณหภูมิผิว  $T_1$  มีความร้อน  $380 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$r_1 = 0.072 \text{ m.} \quad r_2 = 0.075 \text{ m.} \quad r_3 = 0.01985 \text{ m.} \quad r_4 = 0.2 \text{ m.}$$

$$v = 0.2 \text{ m/s} \quad T_1 = 380 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad T_{\infty} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$k_1 = 20.264 \text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C} \quad k_2 = 43.106 \text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$$

สมบัติของอากาศพิจารณาที่  $T_f = \frac{1}{2}(380 + 25) = 202.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $475.6 \text{ K}$ )

$$k = 39.04 \times 10^{-3} \text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C} \quad U = 35.67 \text{ m}^2/\text{s} \quad Pr = 0.6849$$

$$Re_D = \frac{VD}{\nu} = \frac{0.2(0.015)}{35.67 \times 10^{-6}}$$

$$= 841.04$$

$$Nu = \frac{h_m D}{k} = AR e_D^n Pr^{1/3} = 0.683 \times 841.04^{0.466} \times 0.6845^{1/3}$$

$$= 13.89$$

$$h_m = \frac{k}{D} Nu = \frac{38.36 \times 10^{-3}}{0.15} \times 13.89$$

$$= 3.6134 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$R'_{cond} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{(2\pi k_1 L)} = \frac{\ln\frac{0.075}{0.072}}{2 \times \pi \times 20.54 \times 0.5}$$

$$= 0.0006 \text{ m} \cdot \text{°C/W}$$

$$R'_{conv} = \frac{1}{(2\pi r_2 L h)} = \frac{1}{2 \times \pi \times 0.075 \times 3.6142}$$

$$= 1.1745 \text{ m} \cdot \text{°C/W}$$

$$R'_{cond} = \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{(2\pi k_3 L)} = \frac{\ln\frac{0.2}{0.1985}}{2 \times \pi \times 42.45 \times 0.5}$$

$$= 0.00005 \text{ m} \cdot \text{°C/W}$$

$$R'_{tot} = R'_{cond} + R'_{conv} + R'_{cond} = 1.175 \text{ m} \cdot \text{°C/W}$$

$$Q_r = \frac{T_1 - T_\infty}{R'_{tot}} = \frac{380 - 25}{1.175}$$

$$= 302.07 \text{ W}$$

$$T_2 = -\left(\frac{Q}{K.A}\right) + T_1 = -\left(\frac{302.07}{20.54 \times 0.23}\right) + 380$$

$$= 316.299 \text{ °C}$$

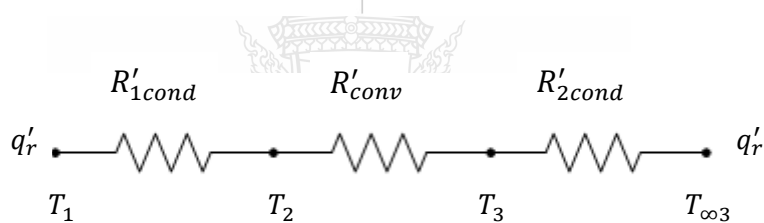
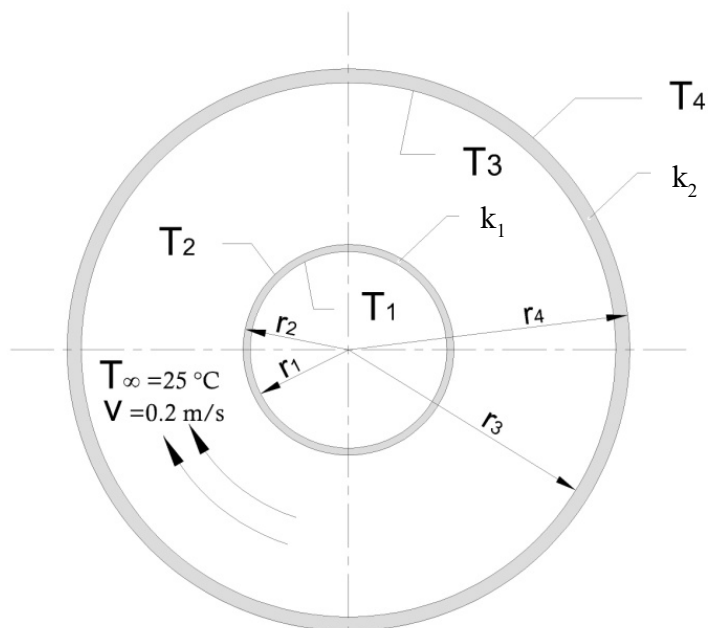
$$T_3 = -\left(\frac{Q}{h.A}\right) + T_2 = -\left(\frac{302.07}{3.61 \times 0.4}\right) + 316.299$$

$$= 106.59 \text{ °C}$$

$$T_4 = -\left(\frac{Q}{K.A}\right) + T_3 = -\left(\frac{302.07}{42.45 \times 0.63}\right) + 106.59$$

$$= 95.22 \text{ °C}$$

การศึกษาที่อุณหภูมิ 400 °C



เครื่องกั้วข้ววมอลต์มีขนาดตัวถ้ง  $r_4 = 0.2$  m. หนา 0.003 m. ท่อด้ำนในมีขนาด  $r_2 = 0.075$  m. โดยอุณหภูมิผิว  $T_1$  มีความร้อน 400 °C

$$r_1 = 0.072 \text{ m.} \quad r_2 = 0.075 \text{ m.} \quad r_3 = 0.01985 \text{ m.} \quad r_4 = 0.2 \text{ m.}$$

$$u = 0.2 \text{ m/s} \quad T_1 = 400 \text{ °C} \quad T_\infty = 25 \text{ °C}$$

$$k_1 = 20.264 \text{ W/m.°C} \quad k_2 = 43.106 \text{ W/m.°C}$$

สมบัติของอากาศพิจารณาที่  $T_f = \frac{1}{2}(400 + 25) = 212.5 \text{ °C}$  (485.6 K)

$$k = 39.72 \times 10^{-3} \text{ W/m°C} \quad U = 36.946 \text{ m}^2/\text{s} \quad Pr = 0.6854$$

$$Re_D = \frac{VD}{\nu} = \frac{0.2(0.015)}{36.946 \times 10^{-6}} = 811.996$$

$$Nu = \frac{h_m D}{k} = AR e_D^n Pr^{1/3} = 0.683 \times 811.996^{0.466} \times 0.6854^{1/3}$$

$$= 13.664$$

$$h_m = \frac{k}{D} Nu = \frac{39.72 \times 10^{-3}}{0.15} \times 13.664$$

$$= 3.6183 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$R'_{cond} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{(2\pi k_1 L)} = \frac{\ln\frac{0.075}{0.072}}{2 \times \pi \times 20.82 \times 0.5}$$

$$= 0.0006 \text{ m} \cdot \text{°C/W}$$

$$R'_{conv} = \frac{1}{(2\pi r_2 L h)} = \frac{1}{2 \times \pi \times 0.075 \times 3.6183}$$

$$= 1.1732 \text{ m} \cdot \text{°C/W}$$

$$R'_{cond} = \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{(2\pi k_3 L)} = \frac{\ln\frac{0.2}{0.1985}}{2 \times \pi \times 41.7877 \times 0.5}$$

$$= 0.00005 \text{ m} \cdot \text{°C/W}$$

$$R'_{tot} = R'_{cond} + R'_{conv} + R'_{cond} = 1.1739 \text{ m} \cdot \text{°C/W}$$

$$Q_r = \frac{T_1 - T_\infty}{R'_{tot}} = \frac{400 - 25}{1.175}$$

$$= 319.46 \text{ W}$$

$$T_2 = -\left(\frac{Q}{K.A}\right) + T_1 = -\left(\frac{319.46}{20.82 \times 0.23}\right) + 400$$

$$= 333.54 \text{ °C}$$

$$T_3 = -\left(\frac{Q}{h.A}\right) + T_2 = -\left(\frac{319.46}{3.6183 \times 0.399}\right) + 333.54$$

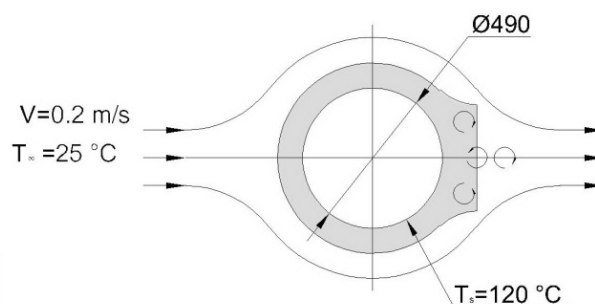
$$= 112.02 \text{ °C}$$

$$T_4 = -\left(\frac{Q}{K.A}\right) + T_3 = -\left(\frac{319.46}{41.79 \times 0.63}\right) + 112.02$$

$$= 99.8 \text{ °C}$$

## ข.2 วิเคราะห์ความร้อนสูญเสีย

การวิเคราะห์เครื่องต้นแบบ 120 °C



เครื่องคั่วข้าวมอลต์ต้นแบบหมุนด้วยความเร็ว 10 rpm มีอากาศไหลผ่านอุณหภูมิ  $T_\infty = 25\text{ }^\circ\text{C}$  ให้ความร้อนโดยการเผาถึงคั่วข้าว สามารถวัดอุณหภูมิที่ผิวท่อได้  $T_s = 120\text{ }^\circ\text{C}$  ด้วยความเร็ว 0.2 m/s

วิธีทำ

$$\text{สมบัติของอากาศพิจารณาที่ } T_f = \frac{1}{2}(25 + 120) = 72.5\text{ }^\circ\text{C} \text{ (345.65 K)}$$

$$\nu = 20.479 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{Pr} = 0.701$$

$$k = 29.676 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

ท่อทรงกระบอก

$$Re_D = \frac{VD}{\nu} = \frac{0.2(0.4)}{20.479 \times 10^{-6}} = 4785.39$$

ใช้สมการของซิลเฟอร์ต์และตารางที่ 2.1

$$\frac{h_m D}{k} = A Re_D^B Pr^{1/3} = 0.193 Re_D^{0.618} Pr^{1/3}$$

$$\begin{aligned} h_m &= 0.193 \frac{k}{D} Re_D^{0.618} Pr^{1/3} \\ &= 0.193 \left( \frac{29.676 \times 10^{-3}}{0.49} \right) (4785.39)^{0.618} (0.701)^{1/3} \\ &= 1.955 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C} \end{aligned}$$

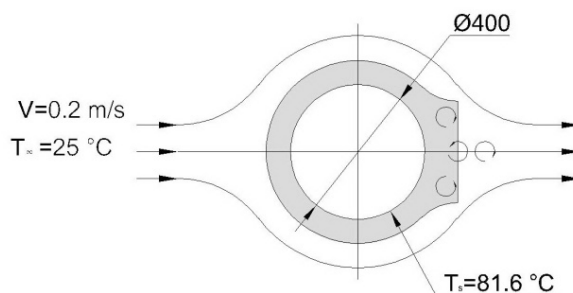
ดังนั้น  $Q = h_m A (T_s - T_\infty)$



$$Q = 1.955(3.46)(120 - 25)$$

$$= 642.61 \text{ W} \qquad = 0.642 \text{ kW}$$

การวิเคราะห์เครื่องคว่ำนมอลต์ด้วยฮีตเตอร์อินฟราเรดที่อุณหภูมิ 360 °C



เครื่องคว่ำนมอลต์ด้วยฮีตเตอร์อินฟราเรดหมุนด้วยความเร็ว 10 rpm มีอากาศไหลผ่าน อุณหภูมิ  $T_{\infty} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิที่ผิวท่อ  $T_s = 81.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ด้วยความเร็ว 0.2 m/s

วิธีทำ

$$\text{สมบัติของอากาศพิจารณาที่ } T_f = \frac{1}{2}(25 + 81.6) = 53.3 \text{ }^{\circ}\text{C} (326.45 \text{ K})$$

$$\nu = 18.55 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \qquad \text{Pr} = 0.703$$

$$K = 28.25 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

ท่อทรงกระบอก

$$Re_D = \frac{VD}{\nu} = \frac{0.2(0.4)}{18.55 \times 10^{-6}} = 4312.668$$

ใช้สมการของซิลเฟอร์ต์และตารางที่ 2.1

$$\frac{h_m D}{k} = A Re_D^n Pr^{1/3} = 0.193 Re_D^{0.618} Pr^{1/3}$$

$$h_m = 0.193 \frac{k}{D} Re_D^{0.618} Pr^{1/3}$$

$$= 0.193 \left( \frac{28.25 \times 10^{-3}}{0.4} \right) (4312.668)^{0.618} (0.703)^{1/3}$$

$$= 2.137 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

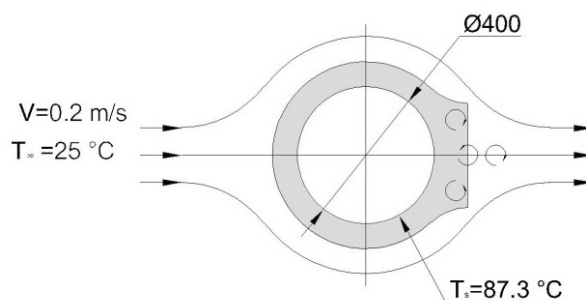
ดังนั้น

$$Q = h_m A (T_s - T_{\infty})$$

$$Q = 2.134 (0.878)(81.6 - 25)$$

$$= 106.05 \text{ W} \qquad = 0.106 \text{ kW}$$

การวิเคราะห์เครื่องคั่วข้าวมอลต์ด้วยฮีทเตอร์อินฟาเรดที่อุณหภูมิ 380 °C



เครื่องคั่วข้าวมอลต์ด้วยฮีทเตอร์อินฟาเรดหมุนด้วยความเร็ว 10 rpm มีอากาศไหลผ่าน อุณหภูมิ  $T_\infty = 25\text{ °C}$  อุณหภูมิที่ผิวท่อ  $T_s = 87.3\text{ °C}$  ด้วยความเร็ว 0.2 m/s

วิธีทำ

$$\text{สมบัติของอากาศพิจารณาที่ } T_f = \frac{1}{2}(25 + 87.3) = 56.15\text{ °C (329.3 K)}$$

$$\nu = 18.838 \times 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s} \quad \text{Pr} = 0.703$$

$$k = 28.482 \times 10^{-3}\text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

ท่อทรงกระบอก

$$Re_D = \frac{VD}{\nu} = \frac{0.2(0.4)}{18.838 \times 10^{-6}} = 4246.735$$

ใช้สมการของซิลเฟอร์และตารางที่ 2.1

$$\frac{h_m D}{k} = A Re_D^n Pr^{1/3} = 0.193 Re_D^{0.618} Pr^{1/3}$$

$$\begin{aligned} h_m &= 0.193 \frac{k}{D} Re_D^{0.618} Pr^{1/3} \\ &= 0.193 \left( \frac{28.482 \times 10^{-3}}{0.4} \right) (4246.735)^{0.618} (0.703)^{1/3} \\ &= 2.134\text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \end{aligned}$$

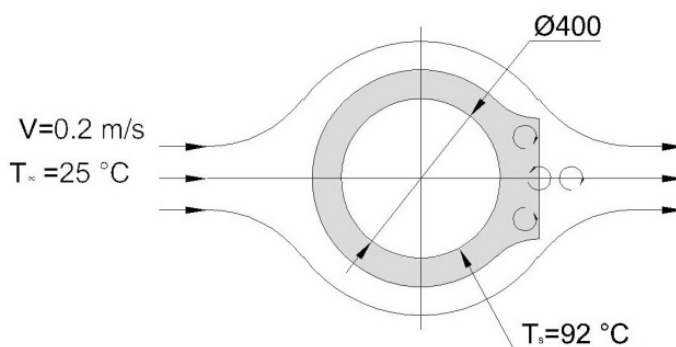
ดังนั้น

$$Q = h_m A (T_s - T_\infty)$$

$$Q = 2.134(0.878)(87.3 - 25)$$

$$= 116.73\text{ W} \quad = 0.116\text{ kW}$$

การวิเคราะห์เครื่องคั่วข้าวมอลต์ด้วยฮีตเตอร์อินฟราเรดที่อุณหภูมิ 400 °C



เครื่องคั่วข้าวมอลต์ด้วยฮีตเตอร์อินฟราเรดหมุนด้วยความเร็ว 10 rpm มีอากาศไหลผ่าน อุณหภูมิ  $T_{\infty} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิที่ผิวท่อ  $T_s = 92 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ความเร็วลม 0.2 m/s

วิธีทำ

$$\text{สมบัติของอากาศพิจารณาที่ } T_f = \frac{1}{2}(25 + 92) = 58.5 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (331.65 K)}$$

$$\nu = 19.074 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{Pr} = 0.703$$

$$K = 28.642 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

ท่อทรงกระบอก

$$Re_D = \frac{VD}{\nu} = \frac{0.2(0.4)}{19.074 \times 10^{-6}} = 4194.191$$

ใช้สมการของฮิลเฟิร์ตและตารางที่ 2.1

$$\frac{h_m D}{k} = A Re_D^n Pr^{1/3} = 0.193 Re_D^{0.618} Pr^{1/3}$$

$$\begin{aligned} h_m &= 0.193 \frac{k}{D} Re_D^{0.618} Pr^{1/3} \\ &= 0.193 \left( \frac{28.642 \times 10^{-3}}{0.4} \right) (4194.191)^{0.618} (0.703)^{1/3} \\ &= 2.129 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$Q = h_m A (T_s - T_{\infty})$$

$$Q = 2.129(0.878)(92 - 25)$$

$$= 125 \text{ W} \quad = 0.125 \text{ kW}$$

### ข.3 การคำนวณการใช้พลังงานเครื่องคั่วข้าวด้วยแก๊ส LPG

เครื่องคั่วข้าวต้นแบบ มีขนาดถึงอบเส้นผ่าศูนย์กลาง  $D = 490$  mm. ยาว  $L = 2000$  mm. ขนาดมอเตอร์ขับ 2 HP คั่วข้าวได้ครั้งละ 50 kg ใช้เวลา 7 hr. ให้ความร้อนด้วยวิธีการเผาถึงคั่ว ใช้เชื้อเพลิงเป็นแก๊ส LPG 1 ถัง หรือ 15 kg ราคาถังละ 290 บาท

วิธีทำ

$$\text{LPG 1 L} = 26595 \text{ BTU/h} = 7.789 \text{ kW}$$

$$1 \text{ BTU} = 0.000293 \text{ kW}$$

$$\text{LPG 1 L} = 0.55 \text{ kg} = 19.33 \text{ บาท}$$

$$\therefore \text{LPG 15 kg} = 27.27 \text{ L} = 212.428 \text{ kW}$$

พลังงานที่ใช้คั่วข้าว/kg

$$\text{Power}_{\text{LPG}} = \frac{\text{พลังงานที่ใช้}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}}$$

$$\text{Power}_{\text{LPG}} = 212.428 / 50$$

$$= 4.249 \text{ kW/kg}$$

ปริมาณการใช้แก๊ส/kg

$$= \frac{\text{ปริมาณการใช้แก๊ส}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}}$$

$$= 15 / 50$$

$$= 0.3 \text{ kg}$$

คิดเป็นเงิน

$$= 0.3 \times 19.33$$

$$= 5.799 \text{ Baht / kg}$$

อัตราการสิ้นเปลืองแก๊ส / hr.

$$= \frac{\text{ปริมาณแก๊ส}}{\text{เวลา}}$$

$$= 15 / 7$$

$$= 2.14 \text{ kg / hr}$$

คิดเป็นเงิน

$$= 2.14 \times 19.33$$

$$= 41.366 \text{ บาท / Kg}$$

อัตราการใช้พลังงาน	=	1.5 kW
ทำงาน 7 hr	=	10.5 kW
ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท	=	4.5 Baht / hr
พลังงานที่ใช้ทั้งหมด / ข้าว 1 kg	=	$\frac{(10.5+212.428)}{50}$
	=	4.459 kW / kg



ภาคผนวก ค

อุปกรณ์และเครื่องมือ





ภาพที่ ค.1 เครื่องคั่วขำมอลต์



ภาพที่ ค.2 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล



ภาพที่ ค.3 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด

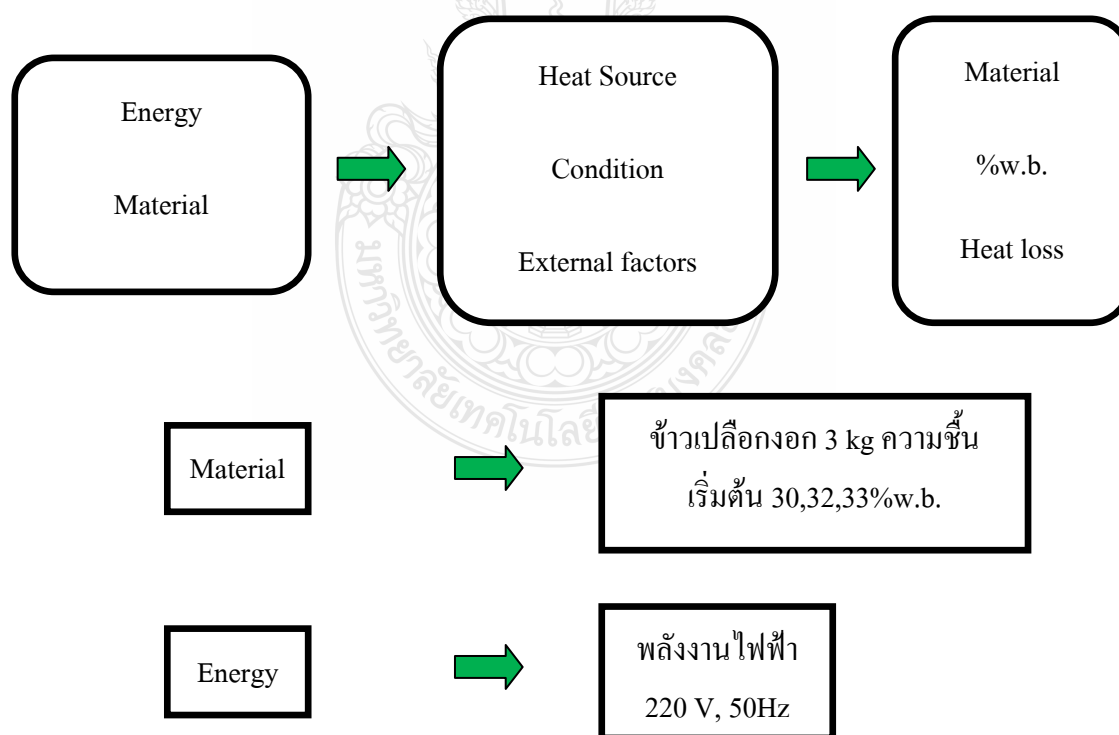


ภาพที่ ค.4 เครื่องวัดความชื้นข้าว

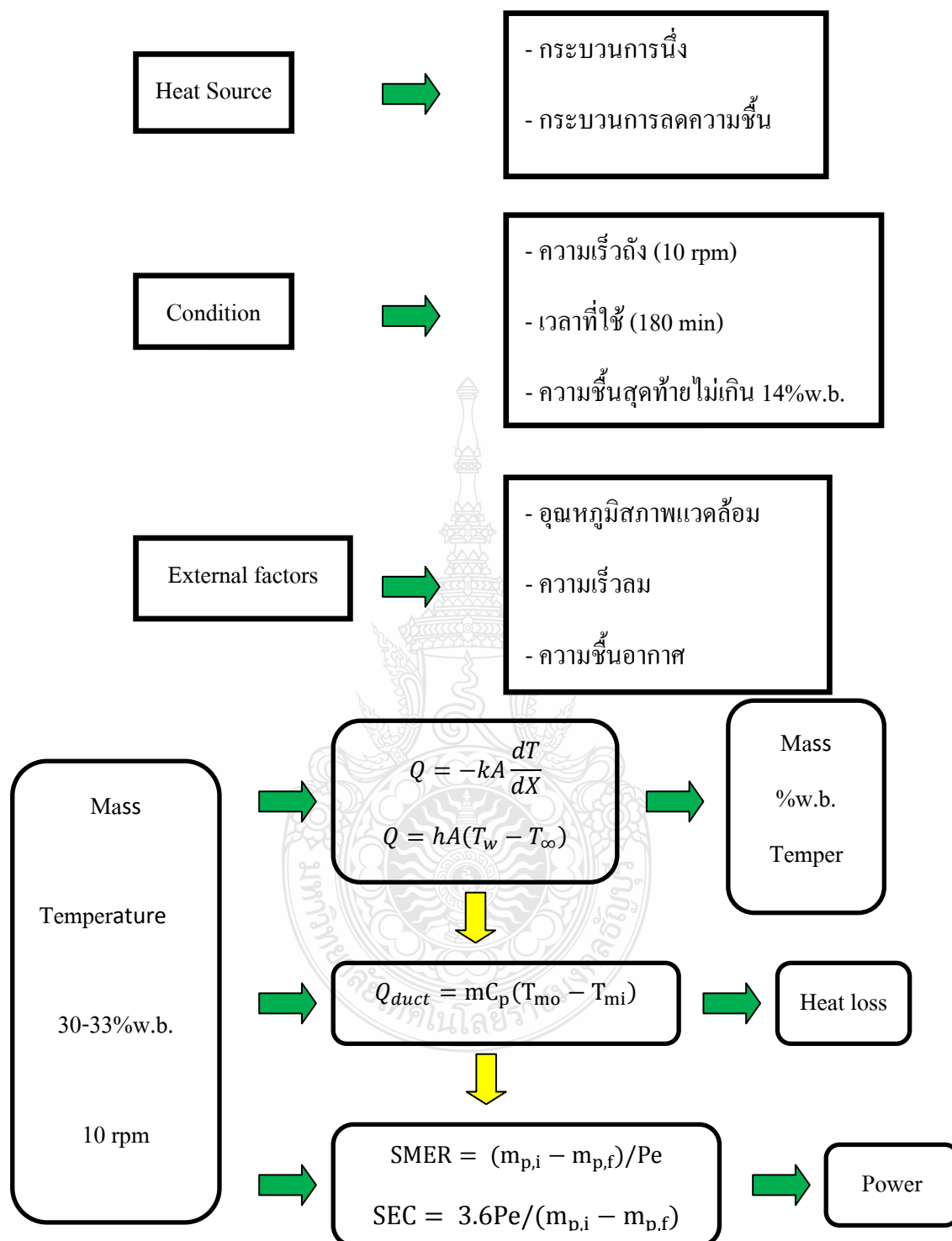




ภาพที่ ค.5 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า มัลติมิเตอร์



ภาพที่ ค.6 กระบวนการผลิต



ภาพที่ ค.7 สมการที่ใช้ลดความชื้น

ภาคผนวก ง

ตารางบันทึกผลการทดลอง



ตารางที่ ง.1 บันทึกค่าผลการทดลอง

การทดลองครั้งที่...1... อุณหภูมิ (TEMP) 360 °C ความเร็วรอบ...10..rpm									
วันที่.....6/2/54..... เริ่มเวลา...10.00.....น. น้ำหนักเข้า...3000 g.....									
	เวลาในการนึ่งข้าว				เวลาในการอบลดความชื้น				
เวลา	0	30	60	90	120	150	180	210	240
ความชื้น	30%	27.71	22.39	20.1	19.2	14.2	11.9		
อุณหภูมิ (T <sub>1</sub> )	27.2	233.1	228.6	227.6	232.2	234.1	226.4		
อุณหภูมิ (T <sub>4</sub> )	27.7	81.3	80.6	81.4	82.3	81.6	82.4		
กระแสไฟฟ้า	0	4.91	4.92	4.88	4.9	4.8	4.9		

ตารางที่ ง.2 บันทึกค่าผลการทดลอง

การทดลองครั้งที่...2... อุณหภูมิ (TEMP) 380 °C ความเร็วรอบ...10..rpm									
วันที่.....6/2/54..... เริ่มเวลา...14.00.....น. น้ำหนักเข้า...3000 g.....									
	เวลาในการนึ่งข้าว				เวลาในการอบลดความชื้น				
เวลา	0	30	60	90	120	150	180	210	240
ความชื้น	30%	27.43	21.46	18.9	16.4	13.9	11.4		
อุณหภูมิ (T <sub>1</sub> )	28.0	257.2	257.6	263.2	261.8	258.8	263.3		
อุณหภูมิ (T <sub>4</sub> )	29.7	87.3	88.6	87.4	88.3	86.3	87.4		
กระแสไฟฟ้า	0	5.08	4.85	5.04	4.98	5.05	4.92		

ตารางที่ ง.3 บันทึกค่าผลการทดลอง

การทดลองครั้งที่...3... อุณหภูมิ (TEMP) 400 °C ความเร็วรอบ...10..rpm									
วันที่.....6/2/54..... เริ่มเวลา...17.40.....น. น้ำหนักเข้า...3000 g.....									
	เวลาในการนึ่งข้าว				เวลาในการอบลดความชื้น				
เวลา	0	30	60	90	120	150	180	210	240
ความชื้น	30%	26.6	23.1	20.4	16.83	13.27	9.7		
อุณหภูมิ (T <sub>1</sub> )	26.0	276.6	278.8	284.3	283.2	277.6	281.5		
อุณหภูมิ (T <sub>4</sub> )	26.8	90	92.4	91.4	91.3	93	91.8		
กระแสไฟฟ้า	0	4.98	5.04	5.06	5.04	4.95	4.95		

ตารางที่ ง.4 บันทึกค่าผลการทดลอง

การทดลองครั้งที่...4... อุณหภูมิ (TEMP) 360 °C ความเร็วรอบ...10..rpm									
วันที่.....21/2/54..... เริ่มเวลา...10.30.....น. น้ำหนักเข้า...3000 g.....									
	เวลาในการนึ่งข้าว				เวลาในการอบลดความชื้น				
เวลา	0	30	60	90	120	150	180	210	240
ความชื้น	32%	28.4	24.8	21.3	18.3	15.0	12.3		
อุณหภูมิ (T <sub>1</sub> )	27.0	225.6	228.8	232.6	231.3	227.6	233.5		
อุณหภูมิ (T <sub>4</sub> )	27.4	77.7	79.7	84.6	83.6	78.2	85.9		
กระแสไฟฟ้า	0	4.95	4.74	4.89	4.97	4.8	4.85		

ตารางที่ ง.5 บันทึกค่าผลการทดลอง

การทดลองครั้งที่...5... อุณหภูมิ (TEMP) 380 °C ความเร็วรอบ...10..rpm									
วันที่.....21/2/54..... เริ่มเวลา...14.30.....น. น้ำหนักเข้า...3000 g.....									
	เวลาในการนึ่งข้าว				เวลาในการอบลดความชื้น				
เวลา	0	30	60	90	120	150	180	210	240
ความชื้น	32%	27.4	22.6	20.5	17.8	14.5	11.8		
อุณหภูมิ (T <sub>1</sub> )	26.7	264.4	250.7	265.2	262.8	257.1	260.8		
อุณหภูมิ (T <sub>4</sub> )	27.6	91.1	81.2	91.6	87.6	85.2	87.2		
กระแสไฟฟ้า	0	5.04	4.8	5.00	4.99	5.06	4.95		

ตารางที่ ง.6 บันทึกค่าผลการทดลอง

การทดลองครั้งที่...6... อุณหภูมิ (TEMP) 400 °C ความเร็วรอบ...10..rpm									
วันที่.....21/2/54..... เริ่มเวลา...19.00.....น. น้ำหนักเข้า...3000 g.....									
	เวลาในการนึ่งข้าว				เวลาในการอบลดความชื้น				
เวลา	0	30	60	90	120	150	180	210	240
ความชื้น	32%	27.8	23.3	21.4	18.1	14.2	10.3		
อุณหภูมิ (T <sub>1</sub> )	27.0	248.2	281.2	276.4	277.2	283.3	280.3		
อุณหภูมิ (T <sub>4</sub> )	27.4	95.8	93.2	88.9	89.6	92.6	92.1		
กระแสไฟฟ้า	0	5.00	4.92	5.05	5.05	4.95	4.95		

ตารางที่ ง.7 บันทึกค่าผลการทดลอง

การทดลองครั้งที่...7... อุณหภูมิ (TEMP) 360 °C ความเร็วรอบ...10..rpm									
วันที่.....21/3/54..... เริ่มเวลา...13.30.....น. น้ำหนักเข้า...3000 g.....									
	เวลาในการนึ่งข้าว				เวลาในการอบลดความชื้น				
เวลา	0	30	60	90	120	150	180	210	240
ความชื้น	33%	29.4	24.3	20	18.3	14.4	12.1		
อุณหภูมิ (T <sub>1</sub> )	27.2	234.1	225.6	228.2	233.5	231.6	227.5		
อุณหภูมิ (T <sub>4</sub> )	28.0	81.0	81.7	81.7	81.3	81.5	80.8		
กระแสไฟฟ้า	0	4.92	4.88	4.49	4.91	4.74	4.8		

ตารางที่ ง.8 บันทึกค่าผลการทดลอง

การทดลองครั้งที่...8... อุณหภูมิ (TEMP) 380 °C ความเร็วรอบ...10..rpm									
วันที่.....21/3/54..... เริ่มเวลา...17.30.....น. น้ำหนักเข้า...3000 g.....									
	เวลาในการนึ่งข้าว				เวลาในการอบลดความชื้น				
เวลา	0	30	60	90	120	150	180	210	240
ความชื้น	33%	29.2	23.7	19.6	17.2	13.9	11.8		
อุณหภูมิ (T <sub>1</sub> )	26.7	264.8	262.2	257.1	258.2	256.1	263.2		
อุณหภูมิ (T <sub>4</sub> )	27.6	87.5	87.5	86.8	86.8	87.4	88.0		
กระแสไฟฟ้า	0	5.06	4.95	5.04	4.97	5.02	4.94		

ตารางที่ ง.9 บันทึกค่าผลการทดลอง

การทดลองครั้งที่...9... อุณหภูมิ (TEMP) 400 °C ความเร็วรอบ...10..rpm									
วันที่.....22/3/54..... เริ่มเวลา...13.00.....น. น้ำหนักเข้า...3000 g.....									
	เวลาในการนึ่งข้าว				เวลาในการอบลดความชื้น				
เวลา	0	30	60	90	120	150	180	210	240
ความชื้น	33%	28.2	26.3	20.4	17.1	13.2	10		
อุณหภูมิ (T <sub>1</sub> )	27.0	276.3	278.8	282.6	281.1	284.1	279.4		
อุณหภูมิ (T <sub>4</sub> )	27.4	91.8	91.8	92.4	92.5	92.5	91.0		
กระแสไฟฟ้า	0	4.99	5.06	5.01	5.05	4.99	4.95		

ตารางที่ ง.10 คุณภาพการแตกหักของเมล็ดข้าวหลังการสี

คุณภาพการสี							
ตัวอย่าง	%ความชื้น	ข้าวกล้อง		ข้าวสาร		ข้าวเต็มเมล็ด	
		นน.	%	นน.	%	นน.	%
1	12.26	ข้าวหักมาก					
2	12.59	97.0	77.6	88.8	71.04	57.6	46.8
3	11.57	96.7	77.36	86.5	69.2	46.5	37.2
4	12.4	ข้าวหักมาก					
5	12.26	93.4	74.72	85.9	68.72	73.5	58.5
6	12.09	93.7	74.96	84.0	67.2	70.2	56.16
7	12.34	ข้าวหักมาก					
8	12.89	84.6	67.68	76.0	60.8	65.4	52.32
9	12.61	88.3	70.69	77.7	62.16	67.1	53.68

ตารางที่ ง.11 เปรียบเทียบการอบแห้งข้าวเปลือกความชื้นที่ 30 % wb.

รายการ	อุณหภูมิ (T <sub>1</sub> )		
	360 °C	380 °C	400 °C
ความชื้นเริ่มต้น (% w.b.)	30	30	30
ความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย (% w.b.)	11.9	11.4	9.7
ความชื้นก่อนกะเทาะเปลือก (% w.b.)	12.26	12.59	11.57
เวลาอบแห้ง (hr)	3	3	3
อัตราการลดความชื้น (%/hr)	6.133	6.2	6.77
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)	1.075	1.097	1.1
อัตราการระเหยน้ำ (kg/kW h)	5.6	5.652	7.97

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (kWh/kg)	0.210	0.211	0.195
รายการ	อุณหภูมิ (T <sub>p</sub> )		
	360 °C	380 °C	400 °C
ข้าวกล้อง (%)	0	77.6	77.36
ข้าวขาว (%)	0	71.04	62.9
ข้าวตัง (%)	0	46.8	37.2

ตารางที่ ง.12 สรุปผลการทดลองการอบแห้งข้าวเปลือกความชื้นที่ 32 % wb.

รายการ	อุณหภูมิ (T <sub>p</sub> )		
	360 °C	380 °C	400 °C
ความชื้นเริ่มต้น (% w.b.)	32	32	32
ความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย (% w.b.)	12.3	11.8	10.3
ความชื้นก่อนกะเทาะเปลือก (% w.b.)	12.4	12.26	12.09
เวลาอบแห้ง (hr)	3	3	3
อัตราการลดความชื้น (%/hr)	6.57	6.73	7.23
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)	1.071	1.089	1.097
อัตราการระเหยน้ำ SMER (kg/kW h)	6.131	6.183	6.594
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ SEC (kWh/kg)	0.196	0.194	0.182
ข้าวกล้อง (%)	0	74.72	74.96
ข้าวขาว (%)	0	68.72	67.2
ข้าวตัง (%)	0	58.5	56.16



ตารางที่ ง.13 สรุปผลการทดลองการอบแห้งข้าวเปลือกความชื้นที่ 33 % wb.

รายการ	อุณหภูมิ ( $T_1$ )		
	360 °C	380 °C	400 °C
ความชื้นเริ่มต้น (% w.b.)	33	33	33
ความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย (% w.b.)	12.1	11.8	10
ความชื้นก่อนกะเทาะเปลือก (% w.b.)	12.34	12.89	12.61
เวลาอบแห้ง (hr)	3	3	3
อัตราการลดความชื้น (%/hr)	6.967	7.067	7.67
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)	1.07	1.099	1.1
อัตราการระเหยน้ำ SMER (kg/kW h)	5.278	6.43	6.97
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ SEC (kWh/kg)	0.682	0.56	0.516
ข้าวกลิ้ง (%)	0	67.68	70.69
ข้าวขาว (%)	0	60.8	62.16
ข้าวตั้น (%)	0	52.32	53.68



ภาคผนวก จ

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

พรศักดิ์ จิตรอำไพ และสถาพร ทองวิก, “วิเคราะห์สภาวะการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรด”, การประชุมวิชาการระดับชาติ “มหาวิทยาลัยบูรพา ๒๕๕๔”, 6-7 กรกฎาคม 2554

พรศักดิ์ จิตรอำไพ และสถาพร ทองวิก, “การศึกษาการคั่วข้าวมอลต์ด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรด”, การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ ๔”, 14-16 ธันวาคม 2554



๓  
051036

ศร ๖๖๐๐/๓๗๗๑

มหาวิทยาลัยบูรพา  
ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง  
จังหวัดชลบุรี ๒๐๑๓๑

๑๖ มิถุนายน ๒๕๕๔

**เรื่อง** แบบตอบรับการนำเสนอผลงานวิจัยและตีพิมพ์บทความวิจัย ในการประชุมวิชาการระดับชาติ  
“มหาวิทยาลัยบูรพา ๒๕๕๔”

**เรียน** นายพรศักดิ์ จิตรอำไพ

ตามที่ท่านได้ส่งบทความวิจัย เรื่อง วิเคราะห์หาสภาวะการฉอมแห้งข้าวเปลือกด้วยฮีทเตอร์  
อินฟราเรด เพื่อนำเสนอผลงานวิจัยและตีพิมพ์บทความวิจัย ในการประชุมวิชาการระดับชาติ  
“มหาวิทยาลัยบูรพา ๒๕๕๔” ในวันที่ ๖-๗ กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๕๔ ณ มหาวิทยาลัยบูรพา  
บัดนี้คณะกรรมการดำเนินงานได้พิจารณาแล้วเห็นว่าบทความวิจัยของท่านมีคุณภาพ  
เหมาะสม ได้รับการนำเสนอในรูปแบบโปสเตอร์ และตีพิมพ์เผยแพร่ใน Proceedings การประชุมวิชาการ  
ระดับชาติ “มหาวิทยาลัยบูรพา ๒๕๕๔”

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมถวิล จิตควร)  
ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายวิชาการ ปฏิบัติการแทน  
อธิการบดีมหาวิทยาลัยบูรพา

สำนักงานอธิการบดี กองบริการการศึกษา งานส่งเสริมการวิจัย

โทรศัพท์ ๐๓๘-๑๐๒๕๖๒ โทรสาร ๐๓๘-๑๔๕๑๕๕

<http://ejournal.buu.ac.th/>

รวมบทความวิชาการประชุมวิชาการระดับชาติ  
**“มหาวิทยาลัยบูรพา ๒๕๕๔”**  
 Burapha University National Conference 2011  
 จัดโดย มหาวิทยาลัยบูรพา และ เครือข่ายอุดมศึกษา ภาคตะวันออก

วันที่ ๖-๗ กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๕๔  
 ณ อาคาร ๕๐ ปี มหาวิทยาลัยบูรพา  
 (ศาสตราจารย์ประยูร จินดาประดิษฐ์)  
 มหาวิทยาลัยบูรพา

## สารบัญ

หน้า

๓๓.	การพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องตัดเหล็กมัลติฟังก์ชัน โดยการจำลองไฟในดอ์เอลิเมนต์ นายศิริชัย ค่อสกุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.....	๑๖๖
๓๔.	การศึกษาและพัฒนากระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 โดยการ วิเคราะห์ไฟในดอ์เอลิเมนต์ นายกิตติ สมัครไทย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.....	๑๖๗
๓๕.	ผลการลดความร้อนของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ในระบบปรับอากาศความชื้น โดยวิธีการฉนวนหุ้ม นายภาณุภูมิ เสือคำ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.....	๑๖๘
๓๖.	วิเคราะห์หาสภาวะการฉ้อบแห้งข้าวเปลือกด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรด นายพรศักดิ์ จิตรอำไพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.....	๑๖๙
๓๗.	อุปกรณ์ TDR แบบมัลติเพล็กซ์ นายประวิทย์ บุญเอก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.....	๑๗๐
๓๘.	การสลับโหมดไมโครสำหรับระบบไวแมกเมื่อสายอากาศด้านส่งคงที่ นางสาวภัทรพร คำชาย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....	๑๗๑
๓๙.	การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์เชิงโต้ตอบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อหาพื้นที่ที่มีศักยภาพ ในการทำประปาหน้าบาคาลคัมได้ ด้วยระบบกรองน้ำแบบออสโมซิสย้อนกลับ ในเขต อำเภอเมืองนครราชสีมา นางสาวกฤษกร เข้มพิลา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.....	๑๗๒
๔๐.	การหาค่ารัศมีที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบความผิดปกติด้วยวิธี K-MEAN นายรังสิวุฒิ อุคม มหาวิทยาลัยบูรพา.....	๑๗๓
๔๑.	การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนด้วยชุดทดลองแบบ ๕ ชั้น เรื่อง การหักเหของแสงแก้วโบโรซิลิเกตที่นำกลับมาใช้ใหม่ นางสาวนิศยา หอมกลิ่น มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.....	๑๗๔
๔๒.	ผลของการใช้กิจกรรมแฮนด์-ออนร่วมกับสื่อการเรียนรู้ที่ทำจากแก้วที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ ทางการเรียนเรื่อง สมบัติของแสง นางสาวอัจฉราวรรณ น้อยสงวน มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.....	๑๗๕
๔๓.	การพัฒนาหน่วยสอนเรื่องคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้รูปแบบผสม นางสาวสมสกุล นึกชอบ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.....	๑๗๖

การประชุมวิชาการระดับชาติ “มหาวิทยาลัยบูรพา ๒๕๕๔” ๖-๗ กรกฎาคม ๒๕๕๔ ณ มหาวิทยาลัยบูรพา

## วิเคราะห์หาสภาวะการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยฮีเตอร์อินฟราเรด

### Analysis Of Drying Condition Infrared Heater With For Paddy Drying

นายพรศักดิ์ จิตรอำไพ และ สถาพร ทองวิก

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการรวมกระบวนการผลิตคือการนึ่งและอบแห้งข้าวเปลือกนึ่งในเครื่องเดียวกัน โดยประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดแบบคลื่นยาว ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิเป็นวัสดุอบแห้ง ซึ่งนำไปแช่น้ำเพื่อให้ความชื้นแพร่เข้าไปทั่วถึงทั้งหมดจนเมล็ดมีความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 30% w.b. แล้วนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแบบโรตารีที่ได้ออกแบบขึ้น มวลเริ่มต้นของข้าวเปลือก 3000 กรัม อบแห้งจนความชื้นไม่เกิน 14% w.b. จากนั้นเก็บข้าวไว้ที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อมไม่น้อยกว่า 1 วัน จึงนำข้าวไปทดสอบคุณภาพ จากการทดลองพบว่า การใช้อุณหภูมิในห้องอบที่อุณหภูมิ 380 °C ระยะเวลาที่ใช้ในการนึ่งข้าว 90 นาที เวลาในการอบแห้ง 90 นาที สามารถเพิ่มปริมาณต้นข้าวได้สูงสุด 46.8% (อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ซึ่งข้าวอ้างอิงได้ 43.44%) และการอบแห้งและร้อยละข้าวท้องไข่ (White Belly) อยู่ที่ 1.33%

คำสำคัญ: ข้าวนึ่ง, อินฟราเรด, อบแห้ง

#### Abstract

This research's objective is studying probability of combining parboiled rice with drying rice in the same machine by use long wave infrared. Raw material is Jasmine Rice which is soakage until moisture content is 30% w.b. Raw material mass 3000 grams is dried until moisture content is less than 14% w.b. with rotary dryer which is designed after that, keeping material at ambient condition more than 1 day then testing the quality of material. The result of research at condition temperature 380 °C, period of parboiled time 90 minutes, period of drying time 90 minutes can increases quantity of head rice maximum at 46.8% and white belly is 1.33% (It is acceptation condition. The referable condition is 43.44%).

Keyword (s) : parboiled rice, infrared, drying

การประชุมวิชาการระดับชาติ “มหาวิทยาลัยบูรพา ๒๕๕๔” ๖-๗ กรกฎาคม ๒๕๕๔ ณ มหาวิทยาลัยบูรพา

## 1. บทนำ

การผลิตข้าวเหนียวแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนหลักๆคือ การแช่ (Soaking) การนึ่ง (Steaming) และการอบแห้ง (Drying) โดยการรวมกระบวนการในการผลิตซึ่งจะสามารถลดต้นทุนและผลิตได้อย่างรวดเร็ว นายเฉลิมพร เอี่ยมมี [1] การรวมกระบวนการผลิตของการนึ่งและการอบแห้งข้าวเหนียวสำหรับข้าวหอม ด้วยเครื่องฟลูอิดไคซ์เบคมีไอน้ำร้อนยังคงเป็นตัวกลาง ที่อุณหภูมิอบแห้ง 150°Cสามารถเพิ่มปริมาณต้นข้าวได้สูงสุด 67.9% แต่การลดความชื้นสามารถทำได้หลากหลายวิธี ในแต่ละวิธีก็จะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันไป รังสีอินฟราเรดมีจุดเด่นที่น่าสนใจ คือ ประการแรก พลังงานจากรังสีอินฟราเรดจะถูกแผ่ไปยังวัสดุซึ่งจะทำให้โมเลกุลของน้ำภายในวัสดุสั่น และเกิดความร้อนขึ้นซึ่งจะทำให้อุณหภูมิกายในวัสดุสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิว (Sakai) [2] , (Glouannec) [3] ประการที่สองหลอดรังสีอินฟราเรดให้ heat flux ที่ค่อนข้างสูง ( Afzal) [4] , (Sheridan) [5] , (Hashimoto) [6] ดังนั้นอุปกรณ์จึงมีขนาดเล็ก ทำให้สามารถออกแบบเครื่องอบแห้งที่มีขนาดกะทัดรัด ประการที่สามการให้ความร้อนโดยการแผ่รังสีจะทำให้อุณหภูมิกะจัดค่อนข้างสม่ำเสมอ (Afzal) [7] ประการสุดท้าย ไม้มีความซับซ้อนของระบบและตอบสนองต่อการควบคุมได้รวดเร็ว (Chuet *et al.*, 2003) [8]

จากข้อสรุปเบื้องต้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่ศึกษาผลของการผลิตข้าวเหนียวโดยการรวมกระบวนการนึ่งและการอบแห้งข้าวเหนียวด้วยรังสีอินฟราเรด เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องนึ่งข้าวและอบลดความชื้น ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในอุตสาหกรรมโรงสีข้าวหรือกลุ่มเกษตรกร

## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

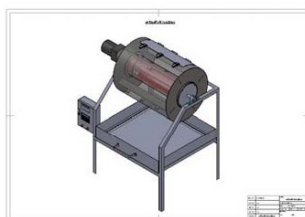
- 2.1 เพื่อศึกษาการรวมขั้นตอนกระบวนการผลิตข้าวเหนียวสำหรับข้าวหอม โดยการรวมขั้นตอนการนึ่ง (Steaming) และการอบแห้ง (Drying)
- 2.2 ศึกษาคุณภาพข้าวที่มีการเปลี่ยนแปลงด้านกายภาพ โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ 360,380 และ 400 °C
- 2.2 ศึกษาประสิทธิภาพด้านพลังของเครื่องอบข้าวเปลือก

การประชุมวิชาการระดับชาติ "มหาวิทยาลัยบูรพา ๒๕๕๔" ๖ - ๑ กรกฎาคม ๒๕๕๔ ณ มหาวิทยาลัยบูรพา

### 3. วิธีการวิจัย

เครื่องอบแห้งแบบโรตารีประกอบด้วย ห้องอบแห้งทรงกระบอกสองชั้น โดยชั้นนอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 มิลลิเมตร ใช้สำหรับบรรจุข้าวเปลือก ท่อด้านในมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร ใช้บรรจุอุปกรณ์ให้ความร้อนด้านในของท่อโดยใส่หลอดรังสีอินฟราเรดขนาด 500 วัตต์จำนวน 2 หลอด ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิชนิด K และใช้มอเตอร์เกียร์ชนิดปรับความเร็วรอบได้อยู่ในช่วง 0 - 50 รอบต่อนาที

ในการทดสอบใช้ข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิเป็นวัสดุอบแห้ง ซึ่งนำไปแช่น้ำเพื่อให้ความชื้น แพร่เข้าไปทั่วถึงซึ่งเมล็ดจมน้ำข้าวเปลือกมีความชื้น 30 % w.b. ซึ่งน้ำหนักมวล 3000 กรัม นำไปบรรจุในเครื่อง ทำการเดินเครื่องที่อุณหภูมิ 360, 380 และ 400 °C เก็บข้อมูลทุก ๆ 30 นาที ประกอบด้วย ความชื้นจะสุ่มตัวอย่างจำนวน 3 กลุ่ม แล้วมาหาค่าเฉลี่ย ปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิภายในห้องอบ โดยจะแบ่งเป็นการนึ่ง 90 นาที และอบแห้ง 90 นาที เป็นเวลาทั้งหมด 180 นาที



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก

#### การหาความชื้นในข้าวเปลือก

การหาความชื้นในข้าวเปลือกนั้นใช้อุปกรณ์เครื่องวัดความชื้นแบบอิเล็กทรอนิกส์ CPE รุ่น TA-5 โดยการชั่งตัวอย่างข้าวเปลือกจากเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกจำนวน 3 กลุ่มมาตรวจสอบหาความชื้น และหาค่าเฉลี่ยในแต่ละครั้งของการเก็บตัวอย่าง



ภาพที่ 2 เครื่องวัดความชื้น



การประชุมวิชาการระดับชาติ "มหาวิทยาลัยบูรพา ๒๕๕๔" ๖ - ๗ กรกฎาคม ๒๕๕๔ ณ มหาวิทยาลัยบูรพา

### การทดสอบคุณภาพข้าว

นำข้าวเปลือกที่ได้ผ่านกระบวนการอบแห้งไปทดสอบคุณภาพข้าว ขอความร่วมมือกับศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ในการทดสอบทางศูนย์วิจัยจะนำข้าวเปลือก 125 กรัม ไปกะเทาะเปลือก แล้วบันทึกน้ำหนัก จากนั้นนำข้าวกล้องที่ได้ไปเข้ากระบวนการขัดขาว นำข้าวที่ผ่านกระบวนการขัดขาวไปชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักข้าวสาร สุดท้ายนำข้าวสารไปแยกปริมาณข้าวคืนด้วยเครื่องตะแกรงกลม นำข้าวคืนที่ได้จากเครื่องไปชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนัก นำค่าน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละคืนข้าว ร้อยละคืนข้าวสัมพัทธ์ ดังต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละคืนข้าว} = (\text{น้ำหนักคืนข้าว} \times 100) / \text{น้ำหนักข้าวเปลือก}$$

(1)

### ข้าวท้องไข่ (Chalkiness หรือ White belly)

นับข้าวสารเต็มเมล็ดจำนวน 100 เมล็ด จำนวน 3 กลุ่มตัวอย่าง และแยกจำนวนข้าวท้องไข่ออกจากข้าวสารโดยใช้แสงไฟส่องโดยเลือกเฉพาะเมล็ดที่มีจุดขุ่นและทึบแสงเกิน 50% ขึ้นไปบันทึกจำนวน White belly ที่นับได้ ทำซ้ำกันตัวอย่างละ 3 ครั้ง แล้วนำไปเฉลี่ยเป็นร้อยละ

### ความขาวของข้าวสารนึ่ง (Whiteness of parboiled rice)

การทดสอบความขาวของข้าวสารนั้นใช้อุปกรณ์วัดความขาวแบบอิเล็กทรอนิกส์ STAKE รุ่น MM1D ซึ่งค่าความขาวจะแสดงค่าตัวเลขที่ใช้แทนความขาวของข้าว คำนวณได้จากปริมาณของแสงที่สะท้อนกับมายังเซ็นเซอร์ตัวรับแสง



ภาพที่ 4 เครื่องวัดความขาวของข้าว

๕

การประชุมวิชาการระดับชาติ “มหาวิทยาลัยบูรพา ๒๕๕๕” ๖-๗ กรกฎาคม ๒๕๕๕ ณ มหาวิทยาลัยบูรพา

#### อัตราการแห้ง (Drying Rate, DR)

คิดจากปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุต่อระยะเวลาในการอบแห้ง มีหน่วยเป็น kg/h หรือคิดจากปริมาณความชื้น ซึ่งมีหน่วยเป็น %db/h

$$\% \text{ ความชื้น (ต่อน้ำหนักเปียก)} = (\text{มวลวัตถุเริ่มต้น} - \text{มวลวัตถุที่แห้ง}) \times 100 / \text{มวลวัตถุเริ่มต้น} \quad (3)$$

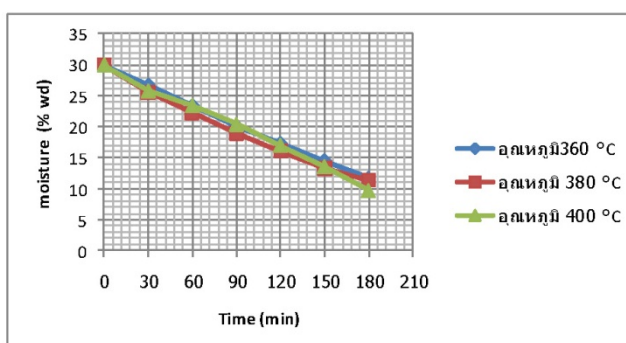
#### ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง (Energy Efficiency)

ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบเป่าความร้อน สามารถแสดงได้ด้วยความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังต่อไปนี้

$$\text{ชั่วโมง} = \frac{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง}}{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุอบแห้ง}} \quad (4)$$

#### 4. ผลการวิจัย

ในกระบวนการนี้ข้าวเปลือก และลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี โดยข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้นที่ 30% w.b. มีเงื่อนไขในการทดลองคืออุณหภูมิอบแห้งข้าวเปลือก 360,380 และ 400 °C ใช้เวลาในกระบวนการนี้ 90 นาที และอบแห้งอีก 90 นาที ความเร็วรอบของถังอบแห้งข้าวเปลือก 20 รอบ/นาที ภาพที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นที่ลดลงและเวลาในการอบแห้งพบว่า อุณหภูมิที่ 380 °C ให้ปริมาณข้าวคืนร้อยละ 46.8 %

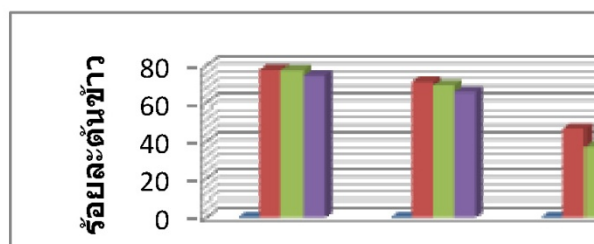


Burapha University National Conference 2011

๖

การประชุมวิชาการระดับชาติ “มหาวิทยาลัยบูรพา ๒๕๕๔” ๖-๗ กรกฎาคม ๒๕๕๔ ณ มหาวิทยาลัยบูรพา

ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง



ภาพที่ 2 แผนภูมิแสดงคุณภาพของข้าว

#### หมายเหตุ

ตัวอย่างที่ 1 คือ ตัวอย่างข้าวเปลือกที่ใช้อุณหภูมิในการบวนการ 360 °C

ตัวอย่างที่ 2 คือ ตัวอย่างข้าวเปลือกที่ใช้อุณหภูมิในการบวนการ 380 °C

ตัวอย่างที่ 3 คือ ตัวอย่างข้าวเปลือกที่ใช้อุณหภูมิในการบวนการ 400 °C

ตัวอย่างที่ 4 คือ ตัวอย่างข้าวเปลือกที่ใช้ในการอ้างอิงไม่ผ่านกระบวนการอบแห้ง

๑

การประชุมวิชาการระดับชาติ "มหาวิทยาลัยบูรพา ๒๕๕๔" ๖ - ๑ กรกฎาคม ๒๕๕๔ ณ มหาวิทยาลัยบูรพา



ภาพที่ 3 ตัวอย่างข้าวที่ผ่านกระบวนการทดสอบคุณภาพข้าว



ภาพที่ 4 การทดสอบข้าวท้องไข่

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ

รายการ	ตัวอย่าง			
	360 °C	380 °C	400 °C	ข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิที่ใช้อ้างอิง
ความชื้นเริ่มต้น (% w.b.)	30	30	30	-

๘

การประชุมวิชาการระดับชาติ "มหาวิทยาลัยบูรพา ๒๕๕๔" ๖-๗ กรกฎาคม ๒๕๕๔ ณ มหาวิทยาลัยบูรพา

ความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย (% w.b.)	11.7	11.4	9.7	-
ความชื้นก่อนกะเทาะเปลือก (% w.b.)	12.26	12.59	11.57	14.9
เวลาอบแห้ง (hr)	3	3	3	-
อัตราการลดความชื้น (%/hr)	6.1	6.2	6.77	-
ปริมาณน้ำที่ระเหยออก (kg/hr)	18.3	18.6	20.31	
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)	1.03	1.09	1.09	-
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (kWh/kg)	0.056	0.059	0.054	-
ข้าวกล้อง (%)	0	77.6	77.3	74.48
ข้าวขาว (%)	0	71.04	69.2	65.4
ดินข้าว (%)	0	46.8	37.2	43.44
ข้าวท้องไร่ (%)	0	1.33	2.67	6.67
ความขาวของข้าวสาร (%)	0	24.67	22.86	41.8

### อภิปรายผล

จากการทดลองรวบรวมกระบวนการผลิตของการนึ่งและการอบแห้งข้าวหนึ่งข้าวหอมมะลิด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีพบว่าที่อุณหภูมิ 360 °C เหลือความชื้นสุดท้ายได้ 11.7% w.b. แต่เมื่อนำข้าวไปทดสอบคุณภาพพบว่าข้าวที่ผ่านกระบวนการแล้วมีการแตกหักมาก ทำให้ผลข้าวกล้อง ข้าวขาว และข้าวดินเป็น 0 %

อุณหภูมิ 380 °C เหลือความชื้นสุดท้ายได้ 11.4% w.b. จากการทดสอบคุณภาพข้าว พบว่าได้ปริมาณข้าวกล้อง 77.6% ข้าวขาว 71.04% ร้อยละดินข้าว 46.8% ข้าวท้องไร่ 2.67% คุณภาพความขาวของข้าวนี้อยู่ที่ 24.67%

การประชุมวิชาการระดับชาติ “มหาวิทยาลัยบูรพา ๒๕๕๔” ๖-๗ กรกฎาคม ๒๕๕๔ ณ มหาวิทยาลัยบูรพา

อุณหภูมิ 400 °C เหลือความชื้นสุดท้ายได้ 9.7% w.b. จากการทดสอบคุณภาพข้าว พบว่าได้ ปริมาณข้าวกล้อง 77.3% ข้าวขาว 69.2% ร้อยละดินข้าว 37.2% ข้าวท้องไข่ 1.33% คุณภาพความขาว ของข้าวนี้อยู่ที่ 22.86%

ข้าวเปลือกหอมมะลิที่ใช้อ้างอิง ความชื้น 14.9% w.b. จากการทดสอบคุณภาพข้าว พบว่าได้ ปริมาณข้าวกล้อง 74.48% ข้าวขาว 65.4% ร้อยละดินข้าว 43.44% ข้าวท้องไข่ 6.67% คุณภาพความขาว ของข้าวนี้อยู่ที่ 41.8%

### สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการรวมกระบวนการผลิตของการนึ่งและการอบแห้งข้าวหนึ่งข้าวหอมมะลิ โดย ประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดแบบคลื่นยาว พบว่าถ้าใช้ความร้อน 380 °C ความเร็วรอบของถังอบแห้ง ข้าวเปลือก 20 รอบ/นาทีเวลาที่ใช้ในการนึ่ง 1.30 ชั่วโมง และอบแห้งอีก 1.30 ชั่วโมง สามารถเพิ่ม ปริมาณข้าวคืนได้มากที่สุด คือ 46.8 % โดยคุณภาพของความขาวจะลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้นของการแช่ การนึ่ง และการอบแห้งและร้อยละข้าวท้องไข่ (White Belly) อยู่ที่ 1.33%

### ข้อเสนอแนะ

1. ควรขยายขนาดเครื่องเพื่อที่จะสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้มากขึ้น
2. ควรมีการพัฒนาเครื่องให้ใช้งานได้ง่ายขึ้นและทำงานได้อย่างต่อเนื่อง
3. ควรมีการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในเชิงอุตสาหกรรมด้านเศรษฐศาสตร์
4. ศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของกรวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (คลองหก) เพื่อเพื่อสถานที่ทำวิจัย บริษัทเอ็มอีดีวิศวกรรม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมืออุปกรณ์ในการสร้างเครื่องอบแห้ง ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบคุณภาพข้าว และบริษัทเจริญ โภภภัณฑ์ วิศวกรรม จำกัด ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองในงานวิจัยนี้

การประชุมวิชาการระดับชาติ “มหาวิทยาลัยบูรพา ๒๕๕๔” ๖-๗ กรกฎาคม ๒๕๕๔ ณ มหาวิทยาลัยบูรพา

### บรรณานุกรม

- [1] นายเฉลิมพล เอี่ยมมี. (2546). การรวมกระบวนการผลิตของการนึ่งและการอบแห้งข้าวนี้้งสำหรับข้าวหอม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [2] Sakai, N. and Hanzawa, T., “Applications and advances in farinfrared heating in Japan”. Trends in Food Science & Technology. Vol. 5, pp. 357-362, 1994.
- [3] Glouannec, P., Lecharpentier, D., and Noel, H., “Experimental survey on the combination of radiating infrared and microwave sources for the drying of porous material”. Applied Thermal Engineering. Vol. 22, pp. 1689-1703, 2002.
- [4] Afzal, T.M. and Abe, T. 1998. “Diffusion in potato during far infrared radiation drying”. Journal of Food Engineering. 37: 353-365.
- [5] Sheridan, P. and Shilton, N., “Application of for infrared radiation to cooking of meat Products”. Journal of Food Engineering. Vol. 41, pp. 203-208, 1999.
- [6] Hashimoto, A. and Kameoka, T., “Effect of infrared irradiation on drying characteristics of wet porous materials.” Drying Technology-An International Journal. Vol. 17, pp. 1613– 1626, 1999.
- [7] Afzal, T.M. and Abe, T., “Simulation of moisture changes in barley during far infrared radiation drying”. Computers and Electronics in Agriculture. Vol. 26, pp. 137-145, 2000.
- [8] Chu, K.J. and Chou, S.K. 2003. “Low-cost drying methods for developing countries”.Trends in Food Science & Technology. 14: 519-528.
- [9] นายนเรศ มีโส การประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก. ปรัชญาคุษฎีบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.2547.

ที่ ศธ ๐๕๘๐.๓๐๓(๑)/ ๒๐๒๖

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก  
เลขที่ ๔๓ หมู่ ๖ ตำบลบางพระ  
อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ๒๐๑๑๐

๒๒ พฤศจิกายน ๒๕๕๔

เรื่อง ตอบการเข้าร่วมประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ ๔

เรียน คุณพรศักดิ์ จิตรอำไพ และ คุณสถาพร ทองวิค

สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. แผนที่โรงแรม  
๒. แบบสำรongsห้องพัก

ตามที่ท่านได้ส่งบทความวิจัยเรื่อง *การศึกษาการคว่ำวามอลต์ด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรด* เพื่อนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ แบบภาคบรรยาย ในการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ ๔ และ การประชุมวิชาการนานาชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ ๓ ระหว่างวันที่ ๑๔ - ๑๖ ธันวาคม ๒๕๕๔ ณ โรงแรมชลจันทร์ พัทยา รีสอร์ท จังหวัดชลบุรีนั้น

ในการนี้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ขอตอบรับการนำเสนอบทความวิจัยดังกล่าวของท่านซึ่งผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงขอให้ท่านดำเนินการดังต่อไปนี้

๑. ยืนยันการสำรองห้องพัก (ตามสิ่งที่ส่งมาด้วย ๒.)
๒. ชำระค่าลงทะเบียนและส่งหลักฐานการลงทะเบียนพร้อมรับรองสำเนาถูกต้องมาที่สถาบันวิจัยและพัฒนา

ทั้งนี้ ผู้เข้าร่วมประชุมสามารถเบิกค่าใช้จ่ายในการเดินทางมาร่วมประชุมจากหน่วยงานต้นสังกัดได้ตามระเบียบกระทรวงการคลังที่ กค ๐๔๐๔.๖/ว ๑๒๒ ลงวันที่ ๒๗ ธันวาคม ๒๕๔๕ และตามระเบียบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง และขอให้ท่านจัดส่งเอกสารดังกล่าวมายัง สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ทาง E-mail: rmutcon2011@rmutto.ac.th, rmutic2011@rmutto.ac.th หรือ ird2rmutto@gmail.com โทรสาร ๐-๓๘๓๕-๘๑๔๒ ภายในวันที่ ๑๐ ธันวาคม ๒๕๕๔

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร. สัน พันธุ์พินิจ)

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

สถาบันวิจัยและพัฒนา

โทร. ๐ ๓๘๓๕ ๘๒๐๑ ต่อ ๘๕๐๘ - ๘๕๑๐

โทรสาร ๐ ๓๘๓๕ ๘๑๔๒

http://ird.rmutto.ac.th





# สื่อบัตร

## การประชุมวิชาการ

### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4

ณ โรงแรมชลจันทร์ พัทยา รีสอร์ท จ. ชลบุรี  
14 - 16 ธันวาคม 2554

ภาคบรรยายและโปสเตอร์

- อาหารและเกษตร
- วิศวกรรมและอุตสาหกรรม
- ธุรกิจและการจัดการ

จัดโดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก  
[www.rmutto.ac.th](http://www.rmutto.ac.th)

## สารบัญ

	หน้า
กำหนดการเสนอผลงานวิจัย .....	n
<b>ภาคบรรยาย</b>	
<b>วันที่ 14 ธันวาคม 2554 (ห้องประชุมริมทะเล)</b>	
<b>กลุ่มวิศวกรรมและอุตสาหกรรม</b>	
ผู้เก็บบุญแอดจรีช โดยใช้ RFID ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต.....	1
โดย คุณทองทวี จิตพรหมมา	
รูปแบบการเรียนรู้แบบร่วมมือบนเว็บที่ส่งเสริมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.....	7
โดย คุณสาธิต โพธิ์เกตุ	
การรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ไทยบนพื้นฐานการประมวลผลภาพ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ.....	18
โดย คุณปิยะฉัฐ ท้วมโชติ และ คุณกิตติ ขูลธรรม	
การรู้จำและระบุขนาดไม้ไผ่บนพื้นฐานการประมวลผลภาพโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ.....	27
โดย คุณภูมิ คูเมือง และ คุณจารุวรรณ ขูลธรรม	
การบริหารความปลอดภัยและหลักการลดการใช้พลังงานในมหาวิทยาลัย.....	36
โดย คุณจิรัฐ เหมื่อนวิหาร	
การอนุรักษ์น้ำประปาภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.....	50
โดย คุณชณัญ แสงอินทร์	
การประยุกต์ใช้เทคนิคเชิงพันธุกรรมในการจัดการการผลิตของเครื่องจักรขนานเพื่อให้ค่าใช้จ่ายจากการส่งมอบ งานล่าช้ามีค่าต่ำที่สุด.....	62
โดย คุณปริญญา กวีกิจบัณฑิต คุณปิยะวรรณ สุนาสวน และคุณอรจิตร แจ่มแสง	
การประเมินสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวฟิล์มเคลือบด้วย Ring compression test.....	69
โดย คุณคมกวีช ณะวรรณวงษ์	
การศึกษารวมวิธีการอัดผงโลหะวิทยาสำหรับอิเล็กทรอนิกส์.....	76
โดย คุณพิชัย จันทรมณี คุณกมลพงศ์ แจ่มกมล คุณคณธรรม เอहनันท์ และ คุณรัตติกรณ์ เสารัดแคน	
การพัฒนาเครื่องย่อยเศษกิ่งไม้และใบไม้ขนาดเล็ก.....	83
โดย คุณพิชัย จันทรมณี และคุณกมลพงศ์ แจ่มกมล	
การศึกษาเปรียบเทียบความยาวอุปรูปผนวกคุมอัตราไหล ชนิดท่อเชื่อมที่มีผลต่อการระบาย ความร้อนมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ในระบบปรับอากาศ.....	91
โดย คุณภาคภูมิ เสือคำ และ คุณสถาพร ทองวิค	

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เครื่องมือสำหรับงานเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน.....	98
โดย คุณวิชัย หุ่มจันทร์	
การศึกษาการคั่วข้าวมอลต์ด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรด.....	105
โดย คุณพรศักดิ์ จิตรอำไพ และ คุณสถาพร ทองวิก	
ผลกระทบที่เกิดจากมลพิษทางเสียง บริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี.....	110
โดย คุณภิญญาดา ปาลีเอกวุฒิ	
กลุ่มอาหารและเกษตร (ห้องประชุมวารี)	
ผลของการใช้ยาสงบ Acepromazine ร่วมกับThiopentone ต่อค่าสัญญาณชีพของสุนัขจรจัด ที่ผ่าตัดทำหมัน.....	120
โดย คุณจร จุฑมอ้ง คุณเดือนดา ชาญศิลป์ คุณธนภฤต จันทรงค์ และคุณศิริลักษณ์ มีสุวรรณ	
คุณภาพน้ำนมดิบทางจุลชีววิทยาและการปนเปื้อนของสารพิษเชื้อราของศูนย์รวมน้ำนมดิบ ในภาคตะวันออกเฉียงของประเทศไทย.....	125
โดย คุณสุทธิทัศน์ ทองคำใส คุณธรรณี ทับทิม คุณกนกวรรณ ถึงห่ออาษา คุณทรงวุฒิ เวชบุญสุข และ คุณพรพรรณ เล่าลือ	
เปรียบเทียบผลของยาสงบระหว่าง Xylazine - Acepromazine - Thiopentone กับ Tiletamine - Zolazepam ต่อค่าชีวเคมีในเลือดของสุนัขที่ทำหมัน.....	130
โดย คุณศิริลักษณ์ มีสุวรรณ คุณเดือนดา ชาญศิลป์ และ คุณสมชาย โอหารกนก	
ผลของวัสดุเพาะต่อการพัฒนาเป็นดินอ่อนของพีร์นัสกูด.....	136
โดย คุณสันทนา วิเชียรฉันท	
การประเมินผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และคุณภาพในฟักทอง.....	142
โดย คุณพทนา จินาวงศ์ คุณจางุฎกัญญา ขนบดี และ คุณบัวทิพย์ อุบลประเสริฐ	
อิทธิพลของลักษณะทางพืชสวนที่มีต่อผลผลิตถั่วฝักยาว.....	150
โดย คุณชัยวัต อินทรณรงค์ คุณปราโมทย์ พรสุริยา คุณพรทิพย์ พรสุริยา และ คุณสรรลภ สวงนดิกุล	
อิทธิพลของลักษณะทางพืชสวนที่มีต่อผลผลิตแตงกวา.....	160
โดย คุณบุญลือ คงสูงเนิน คุณปราโมทย์ พรสุริยา คุณพรทิพย์ พรสุริยา และ คุณสรรลภ สวงนดิกุล	
การวิจัยและพัฒนาเครื่องทดสอบการขัดมันข้าวสารแบบแผ่นหนึ่ง.....	168
โดย คุณมณฑุศักดิ์ วามิษขัง และ คุณใจทิพย์ วามิษขัง	
การวิจัยและพัฒนาเครื่องทดสอบการขัดข้าวสำหรับ โรงสีข้าวขนาดย่อม.....	180
โดย คุณมณฑุศักดิ์ วามิษขัง คุณใจทิพย์ วามิษขัง และ คุณมานพ ลีโกมลชัย	

## การศึกษาการคั่วข้าวมอลต์ด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรด

### Stud of Malt Roasting By Infrared Heater

พรศักดิ์ จิตรอำไพ และ ศาพร ทองวิก

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความเหมาะสมการคั่วข้าวมอลต์ โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุน โดยประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดแบบคลื่นยาวเป็นอุปกรณ์ให้ความร้อน ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์หอมปทุมธานี 1 เป็นวัสดุอบแห้ง แล้วนำไปผ่านกระบวนการเพาะงอกเป็นเวลา 3 วัน แล้วนำไปคั่วด้วยเครื่องคั่วฮีทเตอร์อินฟราเรด มวลของข้าวเปลือก 3000 กรัม คั่วจนความชื้นไม่เกิน 14% w.b. จนข้าวเปลือกมีกลิ่นหอม จากนั้นนำข้าวเปลือกมาพักไว้ที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อมไม่น้อยกว่า 1 วัน แล้วจึงนำข้าวไปทดสอบคุณภาพข้าว จากการทดลองพบว่า การใช้อุณหภูมิ 380 °C ระยะเวลาในการคั่ว 185 นาที จะได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด 52.32 % แต่พบว่ากลิ่นและสีลดลงไม่เป็นอย่างที่คิดงการ และยังทำให้อายุของฮีทเตอร์สั้นลง

**คำสำคัญ:** ข้าวนี้้ง, อินฟราเรด, อบแห้ง

#### Abstract

This research's objective is finding the best condition for roasting malt by using rotary cylinder dryer. Use the long wave infrared is sourer for heating material. Raw material is paddy rice (Pathum tani1) which passed the germinating process for 3 day. Material mass 3000 grams is roasted by the infrared roasting machine until moisture content is less than 14% w.b. and baddy has fragrance after that, keeping the material at ambient condition more than 1 day then testing the quality of material. The result of the research at condition temperature 380 °C roasting period 185 minutes gets quantity of head rice 52.32% however, the smell and color isn't requirement and this condition shorten the lift the heater.

**Keyword (s) :** parboiled rice, infrared, drying

#### 1. บทนำ

ผลิตภัณฑ์ข้าวมอลต์หึ่งรับประทาน เป็นผลงานที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดย ผศ. ยุทธนินฐ พงษ์วีระกุล[1] อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีชีวภาพและนักวิจัยมหาวิทยาลัยรังสิต ได้รับรางวัลชนะเลิศจากกรมทรัพย์สินทางปัญญาในปี 2545 กระบวนการทำข้าวมอลต์หึ่งรับประทาน "ซันออโรซา" (Sunoryza) ซึ่งมีข้าวที่มีคุณสมบัติแตกต่างจากข้างรับประทานทั่วไป คือ เมล็ดข้าวจะมีสีและกลิ่นหอมพิเศษ มีรสหวานเพิ่มขึ้นมีวิตามิน บี1 มากกว่าข้าวกล้อง 50 เท่า และมากกว่าข้าวเคลือบวิตามิน 26 เท่า มีวิตามิน บี2 มากกว่าข้าวกล้อง 26 เท่า และมากกว่าข้าวเคลือบวิตามิน 2 เท่า และยังได้ถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตและแปรรูปให้กับกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าว ต.คลองควาย อ.สามโคก จ.ปทุมธานี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตแปรรูปจำหน่าย ผลิตภัณฑ์ข้าวมอลต์อย่างจริงจัง ในชื่อรัฐวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรเฉลิมพระเกียรติบ้านทางยาว

ในการผลิตข้าวมอลต์หึ่งรับประทาน ในแต่ละกระบวนการให้มีประสิทธิภาพเป็นไปตามความต้องการของตลาด จำเป็นต้องมีเครื่องที่ใช้นึ่งข้าวเปลือกและลดอุณหภูมิข้าวเปลือกที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและเวลาให้เหมาะสม แต่ละ

### 3.2 การทดสอบคุณภาพข้าว

นำข้าวเปลือกที่ได้ผ่านกระบวนการอบแห้งไปทดสอบคุณภาพข้าว ขอความร่วมมือกับศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ในการทดสอบทางศูนย์วิจัยจะนำข้าวเปลือก 125 กรัม ไปกะเทาะเปลือก แล้วบดที่น้ำหนัก จากนั้นนำข้าวกล้องที่ได้ไปเข้ากระบวนการขัดขาว นำข้าวที่ผ่านกระบวนการขัดขาว ไปชั่งน้ำหนักและบดที่น้ำหนักข้าวสาร สุดท้ายนำข้าวสารไปแยกปริมาณข้าวคืนด้วยเครื่องคัดแรงกลม นำข้าวคืนที่ได้จากเครื่องไปชั่งน้ำหนักและบดที่น้ำหนัก นำค่าน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหรือลดคืนข้าว ร้อยลดคืนข้าวสัมพัทธ์ ดังต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละคืนข้าว} = (\text{น้ำหนักคืนข้าว} \times 100) / \text{น้ำหนักข้าวเปลือก} \quad (1)$$

### 3.3 ความขาวของข้าวสาร

การเปลี่ยนแปลงสีของข้าวดังกล่าวเป็นผลเนื่องมาจากสารประกอบที่อยู่ในเมล็ดข้าวเปลือกเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Browning reaction) แบบเมลลาร์ด โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อน้ำตาลที่มีอยู่ในข้าวได้รับความร้อน ซึ่งความร้อนจะไปทำให้พันธะระหว่างโมเลกุลภายในน้ำตาลหลุดออกจากกันกลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลต่ำ และเมื่อให้ความร้อนต่อไปพันธะภายในน้ำตาลโมเลกุลต่ำจะหลุดออกจากกัน และเกิดเป็นสารประกอบสีโค่นขึ้นมา ซึ่งสารดังกล่าวเป็นสารที่ทำให้เกิดสีคล้ำในเมล็ดข้าว และสีน้ำตาลอาจมีส่วนเกิดจากสีของเปลือกข้าวซึ่งแพร่เข้าสู่เนื้อเมล็ดขณะแช่และคัดแน่นขณะอบแห้ง ด้วยเหตุดังกล่าวจึงทำให้ข้าวมีความขาวลดลงหรือมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งและระยะเวลาที่ใช้ในการแช่เมล็ดขึ้น

### 3.4 อัตราการทำแห้ง (Drying Rate, DR)

คิดจากปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุต่อระยะเวลาในการอบแห้ง มีหน่วยเป็น kg/h หรือคิดจากปริมาณความชื้น ซึ่งมีหน่วยเป็น %wb/h

$$\% \text{ ความชื้น (ต่อน้ำหนักเปียก)} = (\text{มวลวัตถุเริ่มต้น} - \text{มวลวัตถุที่แห้ง}) \times 100 / \text{มวลวัตถุเริ่มต้น} \quad (2)$$

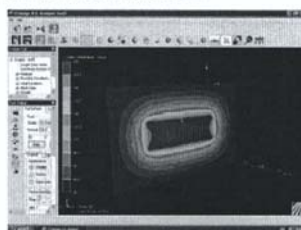
### 3.5 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง (Energy Efficiency)

ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบบีบความร้อน สามารถแสดงได้ด้วยความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังต่อไปนี้

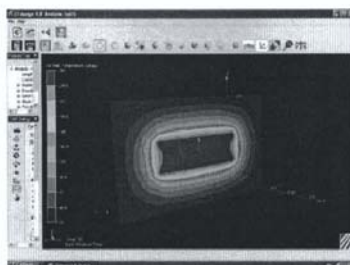
$$\text{ข้าวโมง} = \frac{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง}}{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุอบแห้ง}} \quad (3)$$

## 3. ผลการวิจัย

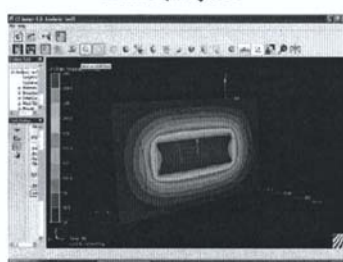
การวิเคราะห์การกระจายตัวของความร้อนด้วยโปรแกรม CFD



ภาพที่ 3 อุณหภูมิ 360 °



ภาพที่ 3 อุณหภูมิ 380 °



ภาพที่ 3 อุณหภูมิ 360 °

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ

รายการ	ตัวอย่าง		
	360 °C	380 °C	400 °C
ความชื้นเริ่มต้น (% w.b.)	33	33	33
ความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย (% w.b.)	12.04	12.0	9.7
ความชื้นก่อนกะเทาะเปลือก (% w.b.)	12.34	12.20	11.75
เวลาอบแห้ง (hr)	3	3	3
อัตราการลดความชื้น (%/hr)	6.8	5.57	5.53
ปริมาณน้ำที่ระเหยออก (kg/hr)			
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)	1.03	1.09	1.09
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (kWh/kg)	0.056	0.059	0.054
ข้าวกล้อง (%)	0	67.8	77.4
ข้าวขาว (%)	0	60.8	62.0
คั้นข้าว (%)	0	52.32	32.6

#### 4. อภิปรายผล

จากการทดลองรวบรวมกระบวนการผลิตของการนึ่งและการอบแห้งข้าวหนึ่งข้าวหอมมะลิด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีพบว่าที่อุณหภูมิ 360 °C เหลือความชื้นสุดท้ายได้ 12.04% w.b. แต่เมื่อนำข้าวไปทดสอบคุณภาพข้าวพบว่าข้าวที่ผ่านกระบวนการแล้วมีการแตกหักมาก ทำให้ผลข้าวกล้อง ข้าวขาวและข้าวคั้นเป็น 0%

อุณหภูมิ 380 °C เหลือความชื้นสุดท้ายได้ 12.0% w.b. จากการทดสอบคุณภาพข้าว พบว่าได้ปริมาณข้าวกล้อง 67.8% ข้าวขาว 60.8% ร้อยละคั้นข้าว 52.32%

อุณหภูมิ 400 °C เหลือความชื้นสุดท้ายได้ 9.7% w.b. จากการทดสอบคุณภาพข้าว พบว่าได้ปริมาณข้าวกล้อง 77.4% ข้าวขาว 62.0% ร้อยละคั้นข้าว 32.6%

#### 5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการรวมกระบวนการผลิตของการนึ่งและการอบแห้งข้าวหนึ่งข้าวหอมมะลิ โดยประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดแบบคลื่นยาว พบว่าถ้าใช้ความร้อน 380 °C ความเร็วรอบของถังอบแห้งข้าวเปลือก 20 รอบ/นาทีเวลาที่ใช้ออบแห้งอีก 3 ชั่วโมงสามารถเพิ่มปริมาณข้าวคั้นได้มากที่สุด คือ 52.32 % โดยคุณภาพของข้าวจะลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้นของการแช่การนึ่งข้อเสนอนี้

1. ควรขยายขนาดเครื่องเพื่อที่จะสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้มากขึ้น
2. ควรมีการพัฒนาเครื่องให้ใช้งานได้ง่ายขึ้นและทำงานได้อย่างต่อเนื่อง
3. ควรมีการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในเชิงอุตสาหกรรมด้านเศรษฐศาสตร์
4. ศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- ศส.อุทกนิษฐ์ พ่วงวีระกุล, 2545 กระบวนการทำข้าวมอลด์แห้งรับประทาน. ไทย, อนุสิทธิบัตรเลขที่ 928.
- นายเฉลิมพล เอี่ยมมี. (2546). การรวมกระบวนการผลิตของการนึ่งและการอบแห้งข้าวหนึ่งสำหรับข้าวหอม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- Sakai, N. and Hanzawa, (1994.) T., "Applications and advances in farinfrared heating in Japan". Trends in Food Science & Technology. Vol. 5, pp. 357-362,
- Afzal, T.M. and Abe, T. (1998.) "Diffusion in potato during far infrared radiation drying". Journal of Food Engineering. 37: 353-365.

#### 7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (คลองหก) เอื้อเฟื้อสถานที่ทำวิจัย บริษัทเอ็มอีวิศวกรรม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมืออุปกรณ์ในการสร้างเครื่องอบแห้ง ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบคุณภาพข้าว และบริษัทเจริญ โลกภัณฑ์วิศวกรรม จำกัดที่ได้ให้การสนับสนุนด้านเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองในงานวิจัยนี้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นายพรศักดิ์ จิตรอำไพ
วัน เดือน ปีเกิด	15 กรกฎาคม 2528
ที่อยู่	9/2 หมู่ที่ 14 ต.โพรงอากาศ อ.บางน้ำเปรี้ยว จ.ฉะเชิงเทรา 24150
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปี พ.ศ.2551
ประวัติการทำงาน (ถ้ามี)	วิศวกร แผนกออกแบบวิศวกรรม บริษัท เจริญโภคภัณฑ์วิศวกรรม จำกัด

