

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



## ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

เครื่องควมเมล็ดกาแฟต้นแบบ

(Prototype of Coffec's roast Machine)

จัดทำโดย

นางสาวนุชกานต์ พุ่มแก้ว	รหัส 47040914
นางสาวพร้อมพร ชุมทรัพย์	รหัส 47040917
นางสาวศิวพร แสงกระจ่าง	รหัส 47040926
นางสาวพัชโรบล โทธิบุญมา	รหัส 47041114

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..... 21 / 3 / 51 .....

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

( อาจารย์ ธีรเดช ดำรงโกวรรณ )

๒๗

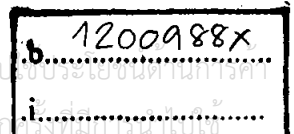
๒๖๒๔๑

๒๕๕๐

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 85437

วัน,เดือน,ปี..... 11 พ.ย. 2551



นุชกานต์ ทุมแก้ว, พร้อมพร ขุนทรัพย์, ศิวพร แสงกระจ่าง, พัทธโรบล โพธิบุญมา.2550 : เครื่องคั่วกาแฟต้นแบบ (Prototype of Coffee's roast Machine). ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ถิรเดช ดำรงโกวรรณ , 56 หน้า

กาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจที่ปลูกมากในประเทศไทย ทางภาคเหนือและภาคใต้ โดยส่วนใหญ่จะเป็นพันธุ์ อาราบิก้าและ โรบัสต้าโดยเกษตรกรจะขายในรูปแบบเมล็ดกาแฟคั่วแห้ง ซึ่งมีราคาราวๆ 60-80 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งมีราคาถูกกว่าเมล็ดกาแฟที่คั่วแล้ว 3-5 เท่าโดยการคั่วเมล็ดกาแฟในปัจจุบันอยู่ในรูปของอุตสาหกรรม ซึ่งมีเครื่องคั่วที่ได้มาตรฐานที่ซื้อจากต่างประเทศและที่สร้างขึ้นในประเทศไทยนั้น ซึ่งมีราคาสูงเกินกำลังซื้อของเกษตรกรไทย ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงได้เกิด โครงการปัญหาพิเศษฉบับนี้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟระบบไฟฟ้าเพื่อมาเพิ่มมูลค่ากาแฟให้เกษตรกร เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟนี้ใช้มอเตอร์เกียร์ 1 เฟส กระแสสลับ 220 โวลต์ 60 วัตต์ จำนวน 1 ตัว 6 วัตต์ 1 ตัว เป็นต้นกำลังและใช้ฮีตเตอร์ในการให้ความร้อน โดยแยกการทำงานออกเป็น 2 ชุด ที่ประกอบด้วยชุดคั่วและชุดระบายความร้อน จากการทดสอบเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟต้นแบบ จะเห็นได้ว่าเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟสามารถทำงานได้แบบอัตโนมัติซึ่งมีระบบของวงจรไฟฟ้าเป็นตัวควบคุมการทำงาน โดยทางผู้ปฏิบัติงานสามารถปรับตั้งอุณหภูมิและระยะเวลาในการทำงานของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟต้นแบบได้ตามความต้องการ แต่พอทดสอบใส่เมล็ดกาแฟลงไปเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟต้นแบบมีปัญหาเกิดขึ้นจากการออกแบบของใบคั่วเกิดความผิดพลาดทำให้เกิดช่องว่างดังคั่วกับใบพัด ซึ่งส่งผลให้การทำงานของใบพัดติดขัด ทั้งที่ระบบการควบคุมตั้งไว้ยังทำงานอย่างต่อเนื่อง การนำไปใช้งานจึงต้องมีการปรับปรุงในการออกแบบใบคั่วให้มีระยะห่างกับตัวถังน้อยที่สุดและสามารถปรับองศาของใบได้เพื่อให้ใบคั่วสามารถทำมุมกับตัวถังให้มากที่สุดซึ่งจะส่งผลต่อความสม่ำเสมอของเมล็ดกาแฟ

นางนุชกานต์ ทุมแก้ว.....

หรืออศพร ขุนทรัพย์.....

ศิวพร แสงกระจ่าง.....

พัทธโรบล โพธิบุญมา.....

ลายมือชื่อนักศึกษา

21/03/51

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ไม่อนุญาต วัน / เดือน / ปี

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ในการทำปัญหาพิเศษเรื่อง “เครื่องคว่ำกาแฟดันแบบ” ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ของผู้จัดทำปัญหาพิเศษทุกท่านที่คอยให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ กำลังใจ และเงินสนับสนุนในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ และขอขอบพระคุณอาจารย์ดิเรกเดช คำรงโกวรรณ เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ซึ่งมีส่วนเป็นอย่างมากในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ที่ได้คอยคำแนะนำในการสร้างเครื่องคว่ำกาแฟดันแบบ และช่วยเหลือด้านเงินสนับสนุนในการสร้างเครื่องคว่ำกาแฟดันแบบ และเพื่อนทุกๆคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ รวมถึงเพื่อนๆคณะวิศวกรรม ไฟฟ้า(หลักสูตรต่อเนื่อง)



นุชกานต์	พุ่มแก้ว
พร้อมพร	ชুমทรัพย์
ศิวพร	แสงกระจ่าง
พัชโรบล	โพธิบุญมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญตาราง	ค
สารบัญภาพ	ง
บทที่	
1. บทนำ	1
2. หลักการและทฤษฎี	4
2.1 ธรรมชาติของความร้อน	5
2.2 การนำความร้อน	6
2.2.1 การนำความร้อนในครีป	10
2.2.2 ความต้านทานผิวสัมผัส	11
2.3 การพาความร้อน	12
2.4 การแผ่รังสีความร้อน	14
2.5 การถ่ายเทความร้อนรวม	16
2.6 ฉนวนกันความร้อน	19
2.7 หลักการทำงานของเครื่องทำความเย็นที่ใช้กันอยู่	20
2.8 ระบบส่งกำลัง	21
ก) มอเตอร์	21
ข) เพลาส่งกำลัง	22
ค) การยึดด้วยสลักเกลียว	23
2.9 วัสดุที่ใช้ในการผลิต	23
2.10 พัดลม	24
2.11 ฮีตเตอร์	25
2.12 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเมลต์คาแพ	27
2.12.1 พันธุ์ของเมลต์คาแพที่ใช้เป็นวัตถุดิบ	28
2.12.2 มาตรฐานการผลิตคาแพ	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
3. การออกแบบและสร้าง	31
3.1 การออกแบบเครื่องควมเมลิคกาเฟ	31
3.1.1 การคำนวณขนาดภาชนะควมเมลิคกาเฟ	31
3.1.2 การออกแบบใบพัดควมและเพลลา	31
3.1.3 การคำนวณกำลังขั้มอเตอร์	32
3.1.4 การออกแบบชุดให้ความร้อน	32
3.2 ขั้นตอนการสร้างเครื่องควมเมลิคกาเฟ	33
3.2.1 การตัดเตรียมวัสดุทำโครงสร้างเครื่องควมเมลิคกาเฟ	33
3.2.2 โครงเครื่อง	33
3.2.3 ฉนวนกันความร้อน	34
3.2.4 การออกแบบถังควมในชั้นที่ 1-5	34
3.2.5 ส่วนประกอบต่างๆของถังควม	34
3.2.6 ชุดถังเกลี่ยเมลิคกาเฟ	34
3.2.7 ขั้นตอนการประกอบขึ้นโครงสร้างเครื่องควมเมลิคกาเฟ	35
3.2.8 ขั้นตอนการติดตั้งชุดส่งกำลังและอุปกรณ์กำเนิดความร้อน	36
3.2.9 ขั้นตอนการติดตั้งวงจรไฟฟ้า	38
4. การใช้งานและการทดสอบ	44
4.1 วัตถุประสงค์	44
4.2 หลักการทำงานของเครื่องควมกาเฟ	44
4.3 การใช้งาน	44
4.4 ขั้นตอนการทดสอบ	44
4.5 ลักษณะของตู้คอนโทล	45
4.6 การตรวจสอบและการวิเคราะห์	46
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	47
5.1 สรุปผลการทำปัญหาพิเศษ	47
5.2 ข้อเสนอแนะ	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ค่าโดยประมาณของสภาพการนำความร้อนของโลหะ ที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	50
2-2	พิสัยของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน	50
2-3	ค่าตัวประกอบเฟลิ่งสำหรับการไหลบางชนิด	51
2-4	ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	52
2-5	คุณสมบัติฉนวนใยแก้วและใยหิน	53
2-6	ลักษณะการใช้งานของฮีตเตอร์	53
2-7	รหัสสั่งทำฮีตเตอร์รุ่น HIU	54
2-8	ความเร็วต่ำสุดของอุปกรณ์และสารต่างๆ	55
2-9	ข้อมูลการชงของพันธุ์เมล็ดกาแฟที่ใช้ระดับในการคั่วของบ้าน ไร่กาแฟ	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1	7
2-2	8
2-3	9
2-4	11
2-5	17
2-6	27
3-1	33
3-2	35
3-4	37
3-5	39
3-6	42
3-7	43
4-1	45
4-2	45
4-3	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันร้านกาแฟโบราณและร้านกาแฟสดที่จำหน่ายตามห้างสรรพสินค้า หรือร้านอาหารต่างๆ เป็นที่นิยมกันมากในหมู่นักเรียน, นักศึกษา, พนักงานบริษัทห้างร้านต่างๆ และในแต่ละกลุ่มผู้บริโภคนั้น ต้องการกาแฟที่มีชนิดที่ต่างกัน จึงทำให้เกิดการผลิตเมล็ดกาแฟคั่วเพื่อนำไปทำกาแฟชนิดต่างๆตามความต้องการของผู้บริโภคที่มีจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ และอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน

ขั้นตอนในการผลิตเมล็ดกาแฟคั่วนั้น ผู้ผลิตต้องอาศัยความชำนาญในการกะปริมาณความร้อน และระยะเวลาในการคั่วให้เหมาะสม ซึ่งจะทำให้ผลผลิตที่ได้ออกมานั้นมีคุณภาพตามความต้องการของผู้บริโภค จึงเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก และในบางครั้งอาจก่อให้เกิดความเสียหายของวัตถุดิบหรือได้ผลผลิตออกมาแบบไม่มีคุณภาพ จึงเป็นการสิ้นเปลืองวัตถุดิบและระยะเวลาในการผลิต ซึ่งเทคโนโลยีในการผลิตเมล็ดกาแฟคั่วแบบเก่าอาจก่อให้เกิดมลภาวะที่เป็นพิษ เนื่องจากปริมาณความร้อนที่นำมาใช้ในการคั่วเมล็ดกาแฟนั้นจะได้มาจากไม้ฟืน หรือถ่านไม้ต่างๆ และการใช้เชื้อเพลิงประเภทนี้จะก่อให้เกิดควันพิษ หรือฝุ่นละออง อันเนื่องมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการคั่วเมล็ดกาแฟ ในขณะที่เดียวกันผู้ปฏิบัติงานและผู้อาศัยอยู่ใกล้เคียงกับบริเวณที่ใช้ในการปฏิบัติงานจะได้รับอันตรายต่อสุขภาพ อันเนื่องมาจากควันพิษ หรือฝุ่นละอองต่างๆที่ปะปนออกมากับอากาศ

จากปัญหาดังกล่าวทางคณะผู้จัดทำโคลงงานจึงนำเอาความรู้และวิชาที่ได้ศึกษามาประยุกต์และพัฒนาเครื่องคั่วกาแฟให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยการติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดความร้อนซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนแทนการใช้ไม้ฟืน ที่ป็นเหตุให้เกิดมลพิษทางอากาศและได้ทำการติดตั้งแผงควบคุม ซึ่งสะดวกต่อการควบคุมปริมาณความร้อนและระยะเวลาให้เหมาะสมในการคั่วเมล็ดกาแฟ เพื่อที่จะได้คั่วเมล็ดกาแฟที่มีคุณภาพตามความต้องการของผู้บริโภคและยังลดการสูญเสียของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการทำปัญหาพิเศษ

- 1.2.1 เพื่อออกแบบ และสร้างเครื่องควมเมลิคคาแพเป็นเครื่องต้นแบบ
- 1.2.2 ทดสอบระบบการทำงานของเครื่องควมเมลิคคาแพต้นแบบ

## 1.3 คำจำกัดความ

- 1.3.1 เครื่องควมเมลิคคาแพ คือ เครื่องที่สร้างขึ้นมาใช้ควมเมลิคคาแพ ซึ่งมีการทำงานทางกลโดยใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับควมเมลิคคาแพ และฮีดเตอร์ไฟฟ้าในการให้ความร้อน
- 1.3.2 ฮีดเตอร์ คือ อุปกรณ์ที่กำเนิดความร้อนเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน
- 1.3.3 วัตถุประสงค์ คือ เมลิคคาแพที่นำมาทำการควม
- 1.3.4 กาแพโบราณ คือ กาแพที่มีส่วนผสมของเมลิคคาแพ, ถั่วเหลือง, เมลิคข้าวโพด
- 1.3.5 กาแพสด คือ กาแพที่ไม่มีส่วนผสมอื่นๆ มาเจือปน

## 1.4 สถานะของปัญหาและวิธีการที่ทำการศึกษาปัญหาพิเศษ

- 1.4.1 ศึกษาความร้อนและรอบความเร็วรอบที่ใช้ควมเมลิคคาแพไม่เหมาะสม ทำให้เกิดเมลิคคาแพที่ไม่ได้คุณภาพ
- 1.4.2 เวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมจะต้องพิจารณาจากสีและกลิ่นของเมลิคคาแพที่ผ่านการควมแล้ว

## 1.5 ขอบเขตของการทำปัญหาพิเศษ

- 1.5.1 เครื่องควมเมลิคคาแพสามารถปรับตั้งอุณหภูมิตั้งแต่ 35 ถึง 250 องศาเซลเซียส โดยใช้ฮีดเตอร์ ขนาด 220 โวลต์ 3000วัตต์
- 1.5.2 เครื่องควมเมลิคคาแพสามารถปรับตั้งเวลา ตั้งแต่ 6 วินาที ถึง 10 ชั่วโมง โดยใช้ตัวตั้งเวลา
- 1.5.3 เครื่องควมเมลิคคาแพสามารถควมเมลิคคาแพได้ครั้งละ 1 กิโลกรัม
- 1.5.4 เครื่องควมเมลิคคาแพหมุนที่ความเร็วรอบคงที่ ที่ 60-166 รอบต่อนาที โดยใช้มอเตอร์ ขนาด 220 โวลต์ 60 วัตต์ โดยมีตัวครอบติดอยู่กับตัวมอเตอร์

## 1.6 สมมุติฐานในปัญหาพิเศษ

- 1.6.1 เครื่องควมเมลิคคาแพสามารถควมเมลิคคาแพออกมาได้สีตามที่ต้องการ

1.6.2 เวลาและอุณหภูมิเป็นตัวแปรสำคัญในการทำให้การควมเมลิคคาแพออกมามีคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6.3 เครื่องควมเสียดกาแฟเมื่อควมเสียดกาแฟเสียดกาแฟจะไม่เกาะติดที่ภาชนะที่ใช้ทำการควม

1.6.4 คุณภาพของเสียดกาแฟที่ได้จากการทดลอง พิจารณาจากสีของเสียดกาแฟที่ผ่านการควมเป็นหลัก โดยไมม่มีการพิจารณาเรื่องรสชาติ

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำปริญญานิพนธ์

1.7.1 สร้างเครื่องเสียดกาแฟต้นแบบ

1.7.2 สามารถเลือกเวลา และอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการควมเสียดกาแฟ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีเกี่ยวข้อง

สำหรับการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่ใช้ในการกำเนิดไฟฟ้าที่ได้ผ่านการหาความชื้น แล้วนั้นทางคณะผู้จัดทำได้ศึกษาทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

- 2.1 ธรรมชาติของความร้อน
- 2.2 การนำความร้อน
- 2.3 การพาความร้อน
- 2.4 การแผ่รังสีความร้อน
- 2.5 การถ่ายเทความร้อนรวม
- 2.6 ฉนวนกันความร้อน
- 2.7 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้กันอยู่
- 2.8 ระบบส่งกำลัง
- 2.9 วัสดุที่ใช้ในการผลิต
- 2.10 พัดลม
- 2.11 ฮีตเตอร์
- 2.12 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

#### 2.1 ธรรมชาติของความร้อน

คนทั่วไปซึ่งแม้จะไม่ใช่ว่าเป็นคนที่ศึกษามา โดยตรงทางสาขาวิชาความร้อนก็มีความคุ้นเคยกับคำว่า "ความร้อน" หรือ "การถ่ายเทความร้อน" เป็นอย่างดีจากประสบการณ์ในชีวิตประจำวัน แต่บุคคลเหล่านี้มักจะนึกภาพความร้อนว่าเป็นของไหลที่ไม่มีน้ำหนัก และมองไม่เห็นซึ่งถูกขัดขวางให้ถ่ายเทจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำ ภาพจำลองหรือแนวความคิดเช่นนี้เป็นพื้นฐานในการศึกษาปรากฏการณ์เกี่ยวกับความร้อนในสมัยโบราณ จวบจนกระทั่งปี ค.ศ. 1850 จูล (James Prescott Joule) จึงได้แสดงให้เห็นว่า พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงรูปได้จากรูปหนึ่งไปสู่อีกรูปหนึ่ง และพลังงานความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่งซึ่งถือว่าเป็นการปฏิวัติพื้นฐานของศาสตร์ทางเทอร์โมไดนามิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองอย่างง่ายแบบหนึ่งได้มาจากทฤษฎีทางจลน์ ของแก๊สตามทฤษฎีนี้ของโมเลกุลของสสารประกอบด้วยอะตอมซึ่งเป็นเสมือนลูกบิลเลียด ซึ่งอาจจะอยู่เดี่ยวๆหรือเป็นกลุ่มสองหรือสามลูกโมเลกุล

เหล่านี้มีการเคลื่อนที่ทั้งในรูปของการเลื่อนไหล(Translation),การหมุน และสั่น อุณหภูมิของระบบเป็นสิ่งที่บอกระดับของพลังงานของโมเลกุลของระบบอันเนื่องมาจากการเลื่อนไหล, การหมุนและการสั่นดังกล่าว ระบบที่มีอุณหภูมิสูงแสดงว่าโมเลกุลของระบบมีการเคลื่อนที่อย่างคึกคักส่วนระบบที่อุณหภูมิต่ำ แสดงว่าโมเลกุลของมันมีพลังงานจากการเคลื่อนไหวนั้นมีไม่มากนัก เมื่อนำระบบอุณหภูมิสูงเข้ามาติดกับระบบอุณหภูมิต่ำ โมเลกุลที่มีการเคลื่อนที่อย่างคึกคักด้วยพลังงานสูงของระบบอุณหภูมิสูงจะปะทะกับ โมเลกุลที่ค่อนข้างเชื่องช้าของระบบอุณหภูมิต่ำ โมเลกุลที่เชื่องช้าจะถูกกระตุ้นให้มีพลังงานสูงขึ้น นั่นคือทำให้ระบบอุณหภูมิต่ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่โมเลกุลของระบบอุณหภูมิสูงจะมีพลังงานลดลงเนื่องจากสูญเสียพลังงานบางส่วนออกไป เป็นผลให้ระบบอุณหภูมิสูงจะมีอุณหภูมิลดลง

ภาพแบบจำลองดังกล่าวค่อนข้างจะใกล้เคียงกับความเป็นจริง ในกรณีของแก๊สที่มีความดันต่ำสำหรับแก๊สที่มีความดันสูงและของเหลวภาพจำลองดังกล่าวใช้ได้ไม่คืบคั้น เนื่องจากในกรณีนี้โมเลกุลจะอยู่ใกล้ชิดกันทำให้มีแรงอื่นมาเกี่ยวข้อง นอกเหนือจากแรงจากการปะทะกัน ส่วนในของแข็งภาพจำลองนี้เป็นจริงยิ่งน้อยลงสำหรับ โลหะซึ่งมีอิเล็กตรอนอิสระเป็นจำนวนมาก เราก็อาจจะขยายแบบจำลองข้างต้นให้ครอบคลุมแนวคิดของแก๊สอิเล็กตรอนได้ อย่างไรก็ตามในโลหะมีอิเล็กตรอนอิสระค่อนข้างน้อย ดังนั้นพาหนะที่เป็นหลักในการถ่ายเทความร้อนก็คือ การสั่นของโคลงผลึก และแบบจำลองข้างต้นไม่สามารถที่จะใช้ได้

การถ่ายเทความร้อนแบ่งออกได้เป็นสามโหมดหรือลักษณะ ได้แก่ การนำความร้อน, การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน เพื่อความสะดวกในการคำนวณทางวิศวกรรมเรามักจะพิจารณาโหมดของการถ่ายเทความร้อนแต่ละ โหมดแยกกัน จากนั้นจึงนำมารวมกันเป็นผลสุดท้าย

## 2.2 การนำความร้อน

การนำความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านของแข็ง รวมทั้งการถ่ายเทความร้อนในของเหลวหรือแก๊สเมื่อของเหลวหรือแก๊สนั้น ไม่มีการเคลื่อนที่ ตัวอย่างเช่น เมื่อเราเผาปลายข้างหนึ่งของแท่งโลหะ เราจะพบว่าในไม่ช้าปลายอีกข้างหนึ่งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากการนำความร้อนไปตามแท่งโลหะนั้นเอง

อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนสามารถหาได้โดยอาศัยกฎของฟูเรียร์ ซึ่งเขียนในรูปสมการได้เป็น

$$q_x = -Ak \frac{dt}{dx} \quad (2-1)$$

เมื่อ  $q_x$  = อัตราการนำความร้อนในทิศทาง X

A = พื้นที่ของการนำความร้อนในทิศทางตั้งฉากกับ X

K = สภาพการนำความร้อนของวัสดุ

$dt/dx$  = เกรเดียนต์ของอุณหภูมิ ณ จุดที่พิจารณา

สภาพนำความร้อนเป็นสมบัติของวัสดุซึ่งสามารถหาค่าได้จากตาราง หรือแผนภาพ ในกรณีที่รู้รายละเอียดของวัสดุที่เกี่ยวข้อง ในกรณีที่ไม่รู้รายละเอียดของวัสดุโดยครบถ้วนก็อาจจะต้องหาค่าสภาพนำความร้อน โดยการทดลองโดยทั่วไปโลหะ ตารางที่ 2-1 แสดงค่าประมาณของโลหะบางตัวที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

อัตราถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเรียบที่มีความหนาเป็น L และอุณหภูมิพื้นผิวทั้งสองคงที่เป็น  $T_A$  และ  $T_B$  ดังแสดงในภาพที่ 2-1 สามารถคำนวณหาโดยใช้สมการ

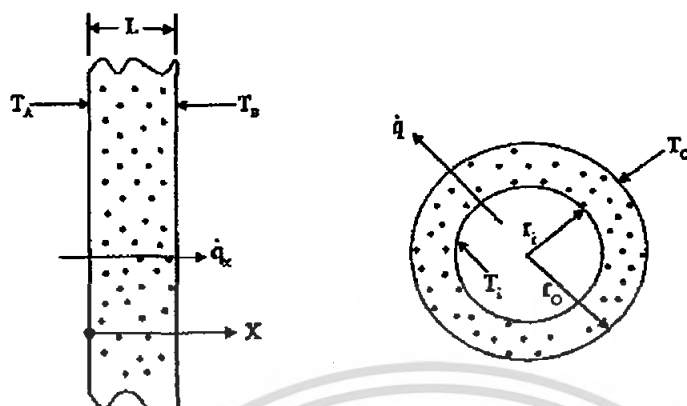
$$q_x = \frac{-ka(T_B - T_A)}{L} \quad (2-2)$$

ในการเขียนสมการ เราอาศัยความสัมพันธ์  $dt/dx = (T_A - T_B)/L$  เราอาจเขียนสมการเสียใหม่ให้อยู่ในรูปที่เทียบเคียงได้กับกฎของโอห์มในทางไฟฟ้า ดังต่อไปนี้

$$q_x = \frac{T_A - T_B}{R_w} \quad (2-3)$$

เมื่อ  $R_w$  = ความต้านทานทางความร้อน  
=  $L/Ak$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2-1 การนำความร้อนผ่านผนังเรียบ และ ผนังท่อกลม  
ที่มา นายพรเทพและคณะ(2548)

ซึ่งจะเห็นความคล้ายคลึงกับกฎของโอห์มอย่างชัดเจนจากสมการ ต่อไปนี้

$$I = \frac{E}{R} \quad (2-4)$$

เมื่อ  $I$  = กระแสไฟฟ้า (เทียบได้กับอัตราการถ่ายเทความร้อน)

$E$  = ความต่างศักย์ (เทียบได้กับผลต่างอุณหภูมิ)

$R$  = ความต้านทานทางไฟฟ้า (เทียบได้กับความต้านทานทางความร้อน)

ปัญหาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนที่ซับซ้อน เป็นจำนวนมาก สามารถจัดการได้โดยการเทียบเคียงกับวงจรไฟฟ้า เพื่อให้ใช้ประโยชน์จากทฤษฎีโครงข่าย ซึ่งถูกคิดค้นขึ้น เพื่อแก้ปัญหาทางวิศวกรรมไฟฟ้า

การถ่ายเทความร้อนผ่านท่อกลมที่มีความยาว  $L$  สามารถคำนวณหาลักษณะที่คล้ายคลึงกันให้รัศมีภายในและภายนอกของท่อเป็น  $r_i$  และ  $r_o$  ตามลำดับ และอุณหภูมิของผิวภายในและภายนอกเป็น  $T_i$  และ  $T_o$  ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2-1 อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังท่อสามารถคำนวณได้โดยใช้การเปรียบเทียบกับกฎของโอห์มในทำนองเดียวกันกับสมการนั้น คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q_x = \frac{T_i - T_o}{R_w} \quad (2-5)$$

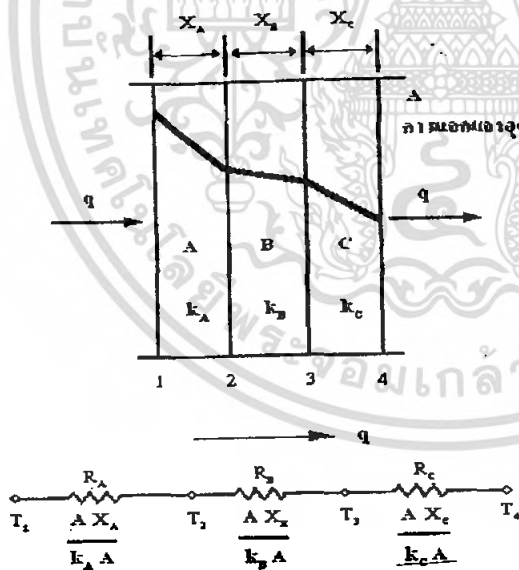
เมื่อ  $R_w = \ln(r_o/r_i) / 2\pi kL$

สำหรับในกรณีของการนำความร้อนผ่านผนังหลายชั้น นั้นหลักการของความต้านทานก็ยังคงใช้ได้ ยกตัวอย่าง เช่น การนำความร้อนผ่านผนังเรียบสามชั้น ดังแสดงในภาพ 2-2 อัตราการถ่ายเทความร้อนในทิศทางตามที่แสดงในการคำนวณได้จากสมการ

$$q_x = \frac{T_1 - T_4}{R_w} \quad (2-6)$$

เมื่อ  $R_w = \frac{X_A}{k_A A} + \frac{X_B}{k_B A} + \frac{X_C}{k_C A}$

ที่ด้านล่างของภาพที่ 2-2 เป็นวงจรไฟฟ้าเทียบเคียงการคำนวณความร้อนในกรณีนี้



ภาพที่ 2-2 การนำความร้อนผ่านผนังเรียบหลายชั้น และวงจรไฟฟ้าเทียบเคียง  
ที่มา นายพรเทพและคณะ(2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

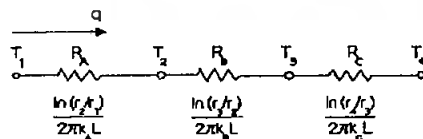
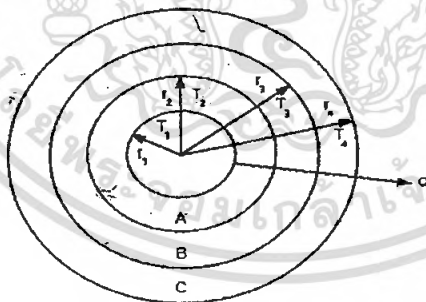
ในทำนองเดียวกันสำหรับการนำความร้อนผ่านผนังท่อหลายชั้น ดังแสดงในภาพที่ 2-3 อัตราการถ่ายเทความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$q_x = \frac{T_1 - T_4}{R_w} \quad (2-7)$$

เมื่อ 
$$R_w = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi L k_A} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi L k_A} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi L k_A}$$

¶ ในกรณีของการถ่ายเทความร้อนใส่ท่อหุ้มฉนวน นั้น ชั้น A ดังแสดงในภาพที่ 2-3 จะเป็นตัวท่อโลหะ เช่น ท่อเหล็กกล้าหรือท่อทองแดง เป็นต้น, ชั้น B จะเป็นฉนวนหุ้ม และชั้น C จะเป็นอลูมิเนียมฟอยล์บาง ในกรณีนี้ความต้านทานทางความร้อนของท่อ และอลูมิเนียมฟอยล์มีค่าต่ำกว่าของฉนวนมาก จึงทิ้งได้ และสมการจะกลายเป็น

$$q_x = \frac{T_1 - T_4}{\ln(r/r)/2\pi k_B} \quad (2-8)$$



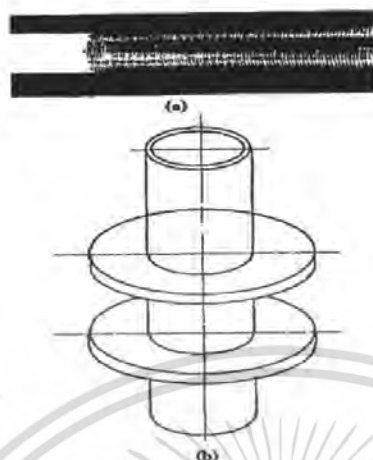
ภาพที่ 2-3 การนำความร้อนผ่านท่อกลมหลายชั้น และวงจรไฟฟ้าเทียบเคียง  
ที่มา นายพรเทพและคณะ(2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.1 การนำความร้อนในครีบบ

ปริมาณของพลังงานความร้อน ที่ถ่ายเทจากพื้นผิวของแข็งไปสู่ของไหล ที่ไหลผ่านพื้นผิวนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง หนึ่งในจำนวนนั้นก็คือ พื้นที่ของพื้นผิวที่สัมผัสกับของไหล ฉะนั้น การเพิ่มปริมาณการถ่ายเทความร้อนจึงอาจจะกระทำได้โดยการขยายพื้นที่ดังกล่าว ด้วยการเสริมครีบบนพื้นผิวถ่ายเทความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 2-4 การออกแบบครีบบในการใช้งานจริงมีความยุ่งยากเพิ่มขึ้น ในแง่ของความเหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งอยู่นอกขอบเขตของหนังสือนี้ ในที่นี้จะเพียงแต่ให้ข้อสังเกตว่า การแจกแจงอุณหภูมิบนครีบบจะขึ้นอยู่กับสภาพการนำความร้อนของวัสดุของครีบบปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ถูกระบายจากพื้นผิวของครีบบ โดยการพาความร้อนไปสู่ของไหลที่พัดผ่านพื้นผิวครีบบนั้น ครีบบจะมีอุณหภูมิสูงสุดที่ส่วนฐาน และค่อยๆ ลดต่ำลงไปสู่ปลายครีบบ

การเสริมครีบบให้แก่ท่อเปลือย แม้ว่าจะเป็นการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน แต่พึงระลึกไว้ว่า ครีบบจะบดบังบางส่วนของผิวท่อ ซึ่งจะลดประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน นอกจากนี้ครีบบจะต้องได้รับการยึดให้แน่นสนิทเข้ากับผิวท่อเพื่อขจัดความต้านทานของผิวสัมผัส ระหว่างผิวท่อกับฐานครีบบ เมื่อพิจารณาในแง่นี้ครีบบจะถูกหล่อ หรือตัดขึ้นมาจากเนื้อของตัวท่อย่อมจะดีกว่าการทำให้เป็นท่อ เปลือย แล้วจึงนำครีบบมายึดติดในภายหลัง การยึดครีบบติดกับผิวท่อด้วยเทคนิคโลหะเหลวกล่าว คือ การเชื่อมหรือบัดกรีจะช่วยป้องกันปัญหาเกี่ยวกับความต้านทานของหน้าสัมผัสได้ การยึดให้แน่นสนิทเข้ากับผิวท่อ เพื่อขจัดความต้านทานของผิวสัมผัสระหว่างผิวท่อกับฐานครีบบ เมื่อพิจารณาในแง่นี้ครีบบที่ถูกหล่อ หรือตัดขึ้นมาจากเนื้อของตัวท่อย่อมจะดีกว่าการทำให้เป็นท่อเปลือย แล้วจึงนำครีบบมายึดติดในภายหลัง การยึดครีบบติดกับผิวท่อด้วยเทคนิคโลหะเหลวกล่าว คือ การเชื่อมหรือบัดกรีจะช่วยป้องกันปัญหาเกี่ยวกับความต้านทานของหน้าสัมผัสได้



ภาพที่ 2-4 ผิวท่อที่ติดครีบบน (a) ครีบบนภายใน และ (b) ครีบบนภายนอก  
ที่มา นายพรเทพและคณะ(2548)

การเสริมครีบบนพื้นผิวเปลือย ไม่ได้เพิ่มปริมาณการถ่ายเทความร้อนเป็นสัดส่วน ตรงกับพื้นผิวที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากอุณหภูมิเฉลี่ยของครีบบนจะต่ำกว่าอุณหภูมิของพื้นผิวท่อเปลือยก่อนติดครีบบน ทำให้ตัวขับเคลื่อนการถ่ายเทความร้อนลดลง นอกจากนี้ครีบบนยังกีดขวางการไหลของการไหลของของไหลได้อีกด้วย

### 2.2.2 ความต้านทานผิวสัมผัส

เมื่อวัตถุที่เป็นตัวนำสองชิ้น ซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกัน ถูกนำมาแตะกันก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้นการถ่ายเทความร้อนดังกล่าว มักเกิดขึ้น ไม่ได้เท่าที่ควร เนื่องจากผิวสัมผัสไม่แนบสนิทเป็นเนื้อเดียวกันกับการเชื่อม ซึ่งจะทำได้ดีกันเป็นเนื้อเดียวกัน พื้นผิวที่สัมผัสกันนั้น หากขยายดูในระดับจุลภาค ก็จะเห็นว่าประกอบด้วย ส่วนที่เป็นขอกกับส่วนที่เป็นหลุม ส่วนที่จรดกันจริงๆ มักจะเป็นส่วนขอดี และเกิดเป็นช่องว่างขึ้นตรงส่วนที่เป็นหลุม ช่องว่างนี้โดยทั่วไปจะถูกขุไว้ด้วยวัสดุที่มีสภาพนำความร้อนเช่น อากาศ, น้ำมัน เป็นต้น

การกีดขวางต่อการไหลของความร้อนที่ผิวสัมผัส สามารถคิดออกมาในรูปของความต้านทานทางความร้อนเรียกว่า ความต้านทานผิวสัมผัส ซึ่งนิยามตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_i = \frac{\Delta T_i}{(q/A)} \quad (2-9)$$

เมื่อ  $R_i$  = ความต้านทานผิวสัมผัส  
 $\Delta T_i$  = ผลต่างอุณหภูมิของผิวสัมผัสทั้งสอง  
 $(q/A)$  = อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผิวสัมผัสต่อหน่วยพื้นที่

สำหรับพื้นผิวที่มีการสัมผัสแบบสนิทสมบูรณ์แบบ ความต้านทานผิวสัมผัสจะเป็นศูนย์ และ  $\Delta T_i$  จะเป็นศูนย์ เนื่องจากผิวสัมผัสทั้งสอง มีอุณหภูมิเท่ากัน

### 2.3 การพาความร้อน

การพาความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการเคลื่อนพาของไหล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นผิวของแข็งกับของไหลที่พัดผ่านไปบนพื้นผิวของแข็งนั้น การถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นผิวของแข็งกับของไหล อาจจะเป็นการนำความร้อนอย่างเดียว ในกรณีที่ไม่มีการเคลื่อนที่ของของไหลเทียบกับพื้นผิวของแข็ง อัตราการพาความร้อนสามารถคำนวณหาโดยใช้กฎการระบายความร้อนของนิวตัน คือ

$$q_i = Ah(T_w - T_f) \quad (2-10)$$

เมื่อ  $q_i$  = อัตราการพาความร้อน  
 $A$  = พื้นที่ของการพาความร้อน  
 $h$  = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน  
 $T_w$  = อุณหภูมิของพื้นผิวของแข็ง  
 $T_f$  = อุณหภูมิของของไหล

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน  $h$  แปรผันได้กว้างมาก ค่าที่ถือเป็นแบบอย่างของ  $h$  ถูกแสดงอยู่ในตารางที่ 2-2 จะสังเกตว่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน โดยบังคับมีค่าสูงกว่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยอิสระมาก และสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในของเหลวจะมีค่าสูงกว่าในแก๊สมาก ซึ่งเป็นผลโดยตรงของความหนาแน่น นอกจากนี้การถ่ายเทความร้อนในขณะที่มีการเปลี่ยนสถานะ เช่น จากของเหลวกลายเป็นไอ (การเดือด) หรือจากไอกลายเป็นของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(การควบแน่น) จะมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงมาก เมื่อเทียบกับในกรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ

การทำนายค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในอุปกรณ์รูปลักษณะใหม่ ที่ยังไม่เคยทดลองมาก่อนนับว่าเป็นเรื่องค่อนข้างยาก ปกติจะคำนวณหาด้วยสูตรสำเร็จที่หามาได้จากการวิเคราะห์ทางทฤษฎีร่วมกับผลการทดลอง ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับสมบัติของของไหลและเส้นทางการไหลที่กำหนดให้ นั้น สัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยหลักใหญ่จะขึ้นกับความเร็วของของไหล

ในการถ่ายเทความร้อนโดยบังคับนั้น ของไหลจะถูกขับเคลื่อน (ด้วยปั๊ม เป็นต้น) ให้ไหลด้วยความเร็วสูงกว่า การขับเคลื่อนด้วยแรงลอยตัวตามธรรมชาติ ค่า  $h$  แปรผันตามความเร็ว  $v$  ของของไหลตามความสัมพันธ์โดยประมาณดังต่อไปนี้

สำหรับการไหลแบบราบเรียบ (Laminar) ในท่อ :  $h \propto v^{1/3}$

สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent) ในท่อ :  $h \propto v^{3/4}$

การไหลนอกท่อ :  $h \propto v^{2/3}$

เมื่อการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้น โดยหลักใหญ่การพาความร้อนอิสระ, การเคลื่อนที่ของของไหลอาจเกิดขึ้น เนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล อันเป็นผลมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ค่าของ  $h$  จะขึ้นกับผลต่างอุณหภูมิของไหล/ผนังความสัมพันธ์โดยประมาณดังต่อไปนี้

ผลต่างอุณหภูมิมาก :  $h \propto \Delta T^{1/3}$

ผลต่างอุณหภูมิน้อย :  $h \propto \Delta T^{1/4}$

เราอาจนำหลักการของความต้านทานทางความร้อนมาใช้ ในการคำนวณหาการพาความร้อนก็ได้ โดยการจัดรูปสมการ ดังต่อไปนี้

$$q_x = \frac{T_w - T_F}{l / Ah} \quad (2-11)$$

$$= \frac{T_w - T_F}{R_C}$$

เมื่อ  $R_C = l / Ah$

= ความต้านทานทางความร้อนในการพาความร้อนความต้านทานเฟลิ่ง

หลังจากที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนถูกใช้งานไปแล้วระยะหนึ่ง อัตราการพาความร้อนภายใต้ผลต่างอุณหภูมิที่กำหนดให้จะลดต่ำลง ทั้งนี้ เนื่องจากมีคราบสกปรกเกาะสะสมบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังเว็บไซต์อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นผิวถ่ายเทความร้อน คราบสกปรกนี้ทำให้เกิดความต้านทานทางความร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งกีดขวางการถ่ายเทความร้อน คราบสกปรกเหล่านี้ เกิดจากเกลือแร่ที่ตกตะกอนจากน้ำ คราบคาร์บอนอันเนื่องมาจากการเกิด โคลิเมอร์ของสารประกอบอินทรีย์ บนพื้นผิวที่ร้อนเกิดขีดการตกตะกอนจากสิ่งปนเปื้อนพวกสารละลาย, สนิมและตะกรัน ซึ่งเกิดขึ้นจากการกัดกร่อน ตลอดจนคราบจากการเกาะสะสมอื่นๆ

คราบสกปรกเหล่านี้เรียกรวมๆ ว่า “เฟอ์ลิง” และเราเรียกว่าความต้านทานทางความร้อนของคราบสกปรกเหล่านี้ว่า ความต้านทานเฟอ์ลิง เพื่อใช้ในการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านพื้นผิวที่เกิดเฟอ์ลิง ความต้านทานเฟอ์ลิงมีความแปรผันค่อนข้างมาก จึงเป็นการยากที่จะระบุค่าให้แม่นยำ อย่างไรก็ตามอาศัยประสบการณ์ที่สั่งสมไว้โดยบริษัทผู้ผลิต และผู้ใช้งานได้นำไปสู่การจัดทำตารางตัวประกอบเฟอ์ลิง  $f(=I/R)$  โยสมาคมวิชาชีพด้านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ตารางที่ 2-3 เป็นตัวอย่างค่าตัวประกอบเฟอ์ลิงทั่วไป

#### 2.4 การแผ่รังสีความร้อน

ในการถ่ายเทความร้อน โดยการแผ่รังสีความร้อนนั้น เป็นการส่งความร้อนไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วสูง การแผ่รังสีความร้อนสามารถผ่านสุญญากาศได้ ซึ่งต่างจากการนำความร้อน และการพาความร้อนซึ่งจะต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน แสงแดดเป็นตัวอย่างพลังงานแผ่รังสีที่เราคุ้นเคยที่สุด ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาหลอมตัวชนิดให้ความร้อนซึ่งเกิดขึ้นในภาวะที่ค่อนข้างคงตัว ดวงอาทิตย์เปรียบเทียบกับดวงไฟกลมที่อุณหภูมิ 5,800 เคลวิน ทรงกลมที่ร้อนแรงนี้จะปลดปล่อยรังสีที่เข้มข้น ซึ่งจะเดินทางเป็นระยะทางประมาณ 150 ล้านกิโลกรัมผ่านห้วงอากาศ ซึ่งถือว่าเป็นสุญญากาศจนถึงโลกของเราในเวลา 8 นาที แสงแดดเป็นสิ่งเดียวที่ค้ำจุนชีวิตบนโลก ถ้าปราศจากแสงแดดจากดวงอาทิตย์สิ่งมีชีวิตก็ไม่อาจดำรงชีวิตอยู่ได้

พลังงานการแผ่รังสีที่ปลดปล่อยจากวัตถุสามารถคำนวณได้จาก

$$q_{\text{rad}} = A \epsilon \sigma T^4 \quad (2-12)$$

$q_{\text{rad}}$  = อัตราการเปล่งพลังงานรังสี

$A$  = พื้นผิวที่เปล่งพลังงานรังสี

$\epsilon$  = สภาพการเปล่งรังสีของพื้นผิวมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

$\sigma$  = ค่าคงค่าสเตฟาน - โบลตซ์มันน์เท่ากับ

$T$  = อุณหภูมิของพื้นผิวในหน่วยเคลวิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่า อัตราการเปล่งงานรังสีเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิยกกำลังสี่

ตามปกติการแผ่รังสีความร้อนจะมีค่าน้อยตัดทิ้งได้ เว้นแต่ เมื่อพื้นผิวมีอุณหภูมิสูงมาก การแผ่รังสีความร้อนมีความสำคัญ เช่นกันในระบบอุณหภูมิต่ำมาก ซึ่งได้มีการทำให้เป็นสุญญากาศ เพื่อจัดการนำความร้อนและการพาความร้อน

เมื่อวัตถุที่มีการเปล่งรังสีถูกปิดล้อมโดยสมบูรณ์ ตัวอย่างเช่น เบลวไฟในปล่องไฟ อัตราการถ่ายเทความร้อนสุทธิโดยการแผ่รังสีจากวัตถุไปสู่พื้นผิวปิดล้อม สามารถหาได้จากสมการ

$$q_r = A \epsilon \sigma T^4 (T_1^4 - T_2^4) \quad (2-13)$$

ในกรณีของการเปลี่ยนการแผ่รังสีความร้อนระหว่างวัตถุ 1 กับวัตถุ 2 โดยที่พื้นผิวของวัตถุ 2 ไม่ได้ปิดล้อมวัตถุ 1 โดยสมบูรณ์นั้น อัตราการถ่ายเทความร้อนสุทธิโดยกาแผ่รังสีจากวัตถุ 1 ไปสู่วัตถุ 2 สามารถหาได้จากสมการ

$$q_{(1-2)} = \alpha_2 A_2 F_{(1-2)} A_1 \epsilon_1 \sigma (T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)(T_1 - T_2) \quad (214)$$

เมื่อ  $\alpha_2$  = สภาพการดูดกลืนรังสีของพื้นผิวของวัตถุ 2 มีค่าระหว่าง 0 (ไม่ดูดกลืนเลย) 1 (ดูดกลืนทั้งหมด)

$A_2$  = พื้นผิวของวัตถุ 2

$F_{(1-2)}$  = สัดส่วนของรังสีที่ปลดปล่อยออกจากวัตถุ 1 และตกกระทบบนวัตถุ 2 มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

การแผ่รังสีความร้อนจะประกอบรวมกับการถ่ายเทความร้อน โดยการนำและการพา ในงานวิศวกรรมทุกชนิด ดังนั้น วิธีการที่สะดวกวิธีหนึ่งในการคำนวณการแผ่รังสีความร้อนก็คือการใช้หลักการของความต้านทานทางความร้อน นั่นคือ เราอาจจัดรูปสมการเสียใหม่ได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \dot{q}_{(1-2)} &= \alpha_2 A_2 F_{(1-2)} A_1 \varepsilon_1 \sigma (T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)(T_1 - T_2) \\ &= \frac{T_1 - T_2}{R_1} \end{aligned} \quad (2-15)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } R_1 &= \frac{1}{\alpha_2 A_2 F_{(1-2)} A_1 \varepsilon_1 \sigma (T_1 + T_2)(T_1 + T_2)} \\ &= \text{ความต้านทานทางความร้อนของการแผ่รังสีความร้อน} \end{aligned}$$

## 2.5 การถ่ายเทความร้อนรวม

โดยปกติเราจะไม่พิจารณากระบวนการถ่ายเทความร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแยกย่อยโดยละเอียด แต่มักจะพิจารณาการถ่ายเทความร้อนรวมกันในรูปของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม  $U$  ซึ่งถูกนิยามขึ้น เพื่อใช้ในการถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจากสมการ

$$\dot{q} = UA\Delta T \quad (2-16)$$

$\dot{q}$  = อัตราการถ่ายเทความร้อนจากของไหล 1 ไปสู่ของไหล 2 ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

$A$  = พื้นผิวถ่ายเทความร้อน

$U$  = สัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อนรวม

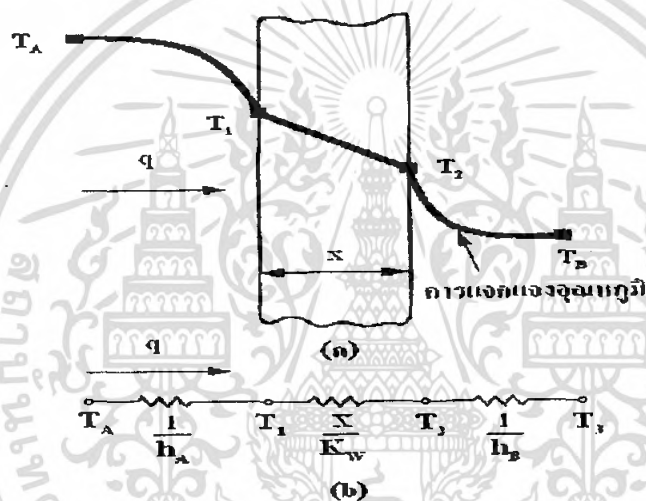
$\Delta T$  = ผลต่างของอุณหภูมิของไหล 1 และของไหล 2

ภาพที่ 2-5 แสดงความหมายของสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อนรวมให้เห็นชัดเจนยิ่งขึ้น

ของไหล A ที่อุณหภูมิ  $T_A$  ถูกกันแบ่งโดยผนังโลหะออกจากของไหล B ที่อุณหภูมิ  $T_B$  ซึ่งจะต่ำกว่า  $T_A$  จะมีการถ่ายเทความร้อนจากของไหล A ไปสู่ของไหล B โดยมีกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่เกี่ยวข้องคือ การถ่ายเทความร้อนโดยการพาจากของไหล A ไปสู่พื้นผิวผนัง, การนำความร้อนผ่านผนัง และการพาความร้อนจากพื้นผิวผนังไปสู่ของไหล B การแจกแจงอุณหภูมิจะมีลักษณะดังแสดงในรูปกล่าวคือของไหลที่อุณหภูมิลดลงจาก  $T_A$  ไปเป็น  $T_1$  บนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นผิวของผนัง ในผนังโลหะอุณหภูมิจะลดลงจาก  $T_1$  บนพื้นผิวด้านหนึ่งไปเป็น  $T_2$  บนพื้นผิวอีกด้านหนึ่งส่วนของไหล B ที่อยู่ใกล้กับพื้นผิวผนังจะมีอุณหภูมิลดลงจาก  $T_1$  ที่ติดกับพื้นผิวไปเป็น  $T_B$  ของของไหลที่อยู่ห่างออกไปจากพื้นผิว

อัตราการถ่ายเทความร้อนจากของไหล A ไปสู่ของไหล B ต่อหน่วยพื้นที่ของผนังสามารถคำนวณได้จากสมการ โดยอาศัยข้อเท็จจริงที่ว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนจากของไหลหนึ่งไปสู่อีกของไหลหนึ่ง ย่อมเท่ากับอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นความต้านทานชั้นใดชั้นหนึ่ง



ภาพที่ 2-5 (a) แผนภาพการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลที่ถูกกั้นแยกด้วยผนัง และ (b) วงจรเปรียบเทียบของแผนภาพ (a) ที่มา นายพรเทพและคณะ(2548)

$$\dot{q}_{AB} = \dot{q}_{A1} = h_A (T_A - T_1) = \frac{T_A - T_1}{R_A} \quad (2-17)$$

$$\dot{q}_{AB} = \dot{q}_{12} = \frac{k}{x} W (T_1 - T_2) = \frac{T_1 - T_2}{R_W} \quad (2-18)$$

$$\dot{q}_{AB} = \dot{q}_{B2} = h_B (T_2 - T_B) = \frac{T_2 - T_B}{R_B} \quad (2-19)$$

เมื่อ  $\dot{q}_{AB}$  = อัตราการถ่ายเทความร้อนจากของไหล A ไปสู่ของไหล B

$R_A, R_W, R_B$  = ความต้านทานทางความร้อนของชั้นไหล A ของผนังและของไหล B

ตามลำดับ =  $1/h_A, x/k_w, 1/h_B$  ตามลำดับ

สมการอาจจะเขียนรวมกันโดยอาศัยการพิจารณาจากภาพที่ 2-5 (b) ดังนี้

$$\begin{aligned} \dot{q} &= A \dot{q}_{AB} = \frac{A(T_A - T_B)}{1/h_A + x/k_w + 1/h_B} \\ &= \frac{A(T_A - T_B)}{R_A + R_W + R_B} \end{aligned} \quad (2-20)$$

ในการคำนวณการถ่ายเทความร้อน จากของไหลที่หนึ่งไปสู่ของไหลที่สอง โดยใช้สมการคำนวณตามแนวความคิดของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมนั้น จะมีพื้นที่การถ่ายเทความร้อนมาเกี่ยวข้องด้วย ในกรณีของการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังระนาบค่อนข้างจะตรงไปตรงมา เนื่องจากพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับของไหลที่หนึ่ง และของไหลที่สองมีพื้นที่เท่ากัน แต่สำหรับการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังท่อ เนื่องจากพื้นที่ผิวภายในกับภายนอกมีพื้นที่ไม่เท่ากัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่เป็นท่อหนา ความแตกต่างของพื้นที่ก็จะมีผลมากขึ้น ในกรณีนี้การคำนวณหาการถ่ายเทความร้อนโดยใช้สมการคำนวณ จะต้องเลือกใช้พื้นที่ A ให้สอดคล้องกับค่า U กล่าวคือ ถ้าเป็นค่า U ที่หาได้โดยอ้างอิงกับพื้นที่ผิวด้านใน (ภายในหรือภายนอก) การคำนวณด้วยสมการ ก็ต้องใช้พื้นที่ของพื้นผิวด้านนั้นตารางที่ 2-4 เป็นตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม  $U_0$  ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั่วไป ตัวอักษรห้อย “0” ที่ปรากฏใน  $U_0$  เป็นการบ่งชี้ว่า การคำนวณหาการถ่ายเทความร้อนให้ใช้พื้นที่ของผิวภายนอกท่อ

จากพิสัยของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมที่ให้ไว้ในตารางที่ 2-4 จะเห็นได้ว่าการแปรผันกว้างมาก ดังนั้นการเลือกค่าสัมประสิทธิ์ U แบบเดาสุ่ม เพื่อใช้ในการเลือกขนาด หรือประเมินสมรรถนะของอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อน จึงไม่ใช่วิธีที่ถูกต้องอย่างแน่นอน ประสพการณ์จากการทำงานกับอุปกรณ์ที่คล้ายคลึงกัน น่าจะเป็นประโยชน์ในการกำหนดค่าเบื้องต้น ในกรณีที่เราไม่มีประสบการณ์ด้วยตนเองโดยตรง ก็อาจจะอาศัยประสบการณ์ของคนอื่นได้ ซึ่งไม่มีการประมวล และแสดงในรูปของแผนภูมิ ดังแสดงในภาพที่ 2-6

วิธีใช้แผนภูมินี้ เราเริ่มต้นด้วยการกำหนดจุดบนแกนบนและล่างให้สอดคล้องกับชนิดของของไหล 1 และของไหล 2 ตามลำดับ จากนั้นจึงโยงเส้นตรงระหว่างจุดทั้งสองจุด (เส้นประในภาพ) จุดที่เส้นตรงนี้ตัดกับแกนกลางจะเป็นค่าโดยประมาณของสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทความร้อนรวม ตัวอย่างเส้นประที่ลากไว้ในรูปนั้นของไหล 1 เป็น Heavy Organics ซึ่งมีค่า ประมาณ 140 และของไหล 2 เป็นน้ำ Cooling Tower ซึ่งมีค่า ประมาณ 260 จากแผนภูมิลำค่า U ได้ประมาณ 90 Btu/(hr·ft<sup>2</sup>·°F) ค่า U นี้อาจจะหาได้จากการคำนวณ ดังนี้

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} = \frac{1}{140} + \frac{1}{260} \quad (2-21)$$

$$U = 91 \text{ Btu/(hr}\cdot\text{ft}^2\cdot\text{°F)}$$

## 2.6 ฉนวนกันความร้อน

ฉนวนที่เหมาะสมสำหรับเครื่องแก้วเมสติกกาแฟมีลักษณะทั่ว ๆ ไป ดังนี้

- 2.6.1 ควรทนอุณหภูมิได้สูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้งานโดยคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงมาก
- 2.6.2 มีน้ำหนักเบาและมีโครงสร้างที่สามารถตัดให้เป็นขนาดที่ต้องการได้ง่าย และสามารถโค้งงอได้ตามรูปทรงของเครื่องแก้วเมสติกกาแฟ
- 2.6.3 การยึดตัวคงทน ด้านความชื้นได้ดี ไม่หดตัว ไม่บวมหรือพองตัวและไม่ยุ่ย
- 2.6.4 ไม่ติดไฟ และสัมประสิทธิ์เก็บเสียงที่ดี
- 2.6.5 ไม่มีกลิ่น
- 2.6.6 ไม่ทำปฏิกิริยากับเหล็ก อลูมิเนียม หรือวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปโครงสร้าง
- 2.6.7 ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ
- 2.6.8 มีประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนกันความร้อนสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคุณสมบัติอันแรก คือ ทนความร้อนสูง ทำให้การเลือกฉนวนง่ายขึ้นมาก เพราะฉนวนที่ทนความร้อนสูงตั้งแต่ 300 องศาเซลเซียส ขึ้นไป จะเหลืออยู่เพียง 3 ชนิด

1. โยแก้ว (Glass Fiber)
2. โยหิน (Rockwool)
3. แคลเซียม ซิลิเกต (Calcium Silicate)

และจากคุณสมบัติข้อ 2 และ ข้อ 3 ทำให้ตัดแคลเซียม ซิลิเกต ออกได้ เนื่องจากการตั้งเตาเป็นไปได้อย่างยาก เพราะเป็นของแข็ง จากตาราง ที่ 2-5 พบว่า ฉนวนกันความร้อน ทั้งแบบโยแก้วและโยหิน มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ดังนี้

จากตารางที่ 2-5 จะเห็นได้ว่า

1. โยหินหนักกว่าเล็กน้อย คือ 60 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ขณะที่โยแก้วมีน้ำหนัก 65 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
2. โยหินอุณหภูมิต่ำกว่า คือ 350 องศาเซลเซียส ขณะที่โยแก้วทนได้ 300 องศาเซลเซียส
3. โยหินมีค่าการนำความร้อนสูงกว่าเล็กน้อย

## 2.7 หลักการทำงานของเครื่องตัวเมลิตกาแพที่ใช้กันอยู่

จากการศึกษาและวิเคราะห์การทำงาน ชิ้นส่วนกลไกของเครื่องต้นแบบ ทั้งผลิตภายในประเทศ และนำเข้าจากต่างประเทศจากการดำเนินการสำรวจเครื่องตัวเมลิตกาแพที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันพบว่ามียู 2 แบบ ด้วยกันคือ

- ก) แบบถังคั่วที่อยู่กับที่ ภายในมีใบครีป 2 ชั้น (บนและล่าง) หมุนกวน
- ข) แบบถังหมุน ภายในมีครีป 2 ชั้น (บนและล่าง) วางสลับกันอยู่กับที่ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

### ก) แบบถังคั่วที่อยู่กับที่

เป็นแบบที่พัฒนาจากกรรมวิธีดั้งเดิม ซึ่งถังในกระทะใบบัวใช้ฟันเป็นเชื้อเพลิงโดยใช้ใบกวนขณะคั่วต่อมามีการพัฒนามาเป็นตัวถังกระบอก ภายในมีครีปยึดติดกับแกนเพลาวางสลับกัน 2 ชั้น ลักษณะครีปด้านหน้าก็จะผลักเมลิตกาแพไปทางด้านหน้าซึ่งจะทำหน้าที่สลับกันโดยใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง สำหรับแกนใบครีปกวนอาจใช้แรงงานคน

หมุน หรือใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข) แบบถังหมุน

ภายในถังจะมีครีบบนเพื่อให้เมล็ดกระจายตัวขณะทำการคว่ำ ตัวถังจะมีรูปทรงกลมและทรงกระบอก เชื้อเพลิงจะใช้ได้ทั้ง ถ่าน ไม้ ฟืน และแก๊สหุงต้ม โดยจะมีมอเตอร์หรือเครื่องยนต์เป็นตัวขับเคลื่อนตัวถังเครื่องดังกล่าว

จากการสำรวจและวิเคราะห์เครื่องคว่ำเมล็ดกาแฟ พบว่า แบบถังหมุนจะมีประสิทธิภาพมากกว่าเพราะความร้อนสามารถกระจายอย่างสม่ำเสมอ ส่วนตัวถังอยู่กับที่มีครีบบน จะพบว่าตัวถังบริเวณด้านล่าง จะถูกความร้อนโดยตรง จึงสะสมความร้อนอยู่ตลอดเวลา นอกจากจะทำให้วัสดุชำรุดเสียหายเร็วแล้วผู้ใช้เครื่องต้องมีระสปรการณ์และความชำนาญสูง มิฉะนั้นจะมีโอกาสสูงมากที่เมล็ดกาแฟจะไหม้เกรียมเกินไปจนเสียคุณภาพได้

## 2.8 ระบบส่งกำลัง

การพัฒนาเครื่องคว่ำเมล็ดกาแฟมีทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณ อยู่หลายเรื่องด้วยกันซึ่งสามารถแยกออกได้ดังนี้

- ก) มอเตอร์
- ข) เพลาส่งกำลัง
- ค) การยึดด้วยสลักเกลียว

ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

### ก) มอเตอร์

ลักษณะสำคัญของมอเตอร์ไฟฟ้าที่สำคัญ

มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในอุตสาหกรรมเป็นมอเตอร์ไฟสลับ จำแนกได้เป็นประเภทใหญ่ๆ 2 ประเภท ได้แก่ มอเตอร์ขนาดเล็กซึ่งมีขนาดเป็นทศนิยมของกิโลวัตต์หรือกำลังม้า ใช้กับไฟเฟสเดียว 220 โวลต์ และมอเตอร์ขนาดใหญ่ ที่ใช้ไฟสามเฟสด้วยขนาดกำลังที่เป็นจำนวนกิโลวัตต์หรือกำลังม้าที่ลงตัว

มอเตอร์ขนาดเล็กพบใช้งานตามสถานีนงานเล็กๆ ทั่วไป มอเตอร์ขนาดเล็กที่ใช้กับไฟฟ้าเฟสเดียว 220 โวลต์ มักมีขนาดไม่ใหญ่โตกว่า 250 วัตต์หรือ 1/3 กำลังม้า มอเตอร์เล็กๆเหล่านี้มีราคาถูกไม่เหมาะที่ใช้งานตรากด้า หรือ งานหนักที่ต้องอยู่ในสภาวะแวดล้อม ที่กักร้อนหรือฝุ่นกลอนได้ง่าย มอเตอร์ที่บ่งไว้ว่า “ปกปิดมิดชิด” หมายถึงปกปิดกันฝุ่นได้ แต่กันไอเคมีไม่ได้มอเตอร์เล็กๆ เหล่านี้แตกต่างกันที่วิธีสตาร์ท เช่น สตาร์ทด้วยคาปาซิเตอร์ และด้วยแรงผลึกแม่เหล็กเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละวิธีก็มีข้อได้เปรียบแตกต่างกันแต่ที่นิยมมากที่สุดคือสตัดท์ด้วยคาปาซิเตอร์ หรือ คอนเดนเซอร์ซึ่งมีทอร์คบิดขณะเริ่มสตัดท์สูงเหมาะใช้กับเครื่องพดลม เครื่องกววน เครื่องผสม และงานเอนกประสงค์ทั่วไป

มอเตอร์ขนาดใหญ่ที่ใช้กับไฟสามเฟส 380 โวลต์ มักมีขนาดไม่ใหญ่โตกว่า 75 กิโลวัตต์ (100 แรงม้า) มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกเป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในโรงงานเคมี อุตสาหกรรม เพราะไว้วางใจได้ บำรุงรักษาง่ายราคาถูกทั้งราคามอเตอร์และราคาใช้งานลักษณะ หมุนของมอเตอร์

## ข) เพลาส่งกำลัง

### ข้อควรพิจารณาในการออกแบบเพลลา

เพลลาอาจจะรับแรงดึง แรงกด แรงบิด หรือแรงเฉือนหรือแรงรวมกันก็ได้ ดังนั้นการคำนวณจึงต้องใช้ความเค้นผสมเข้าช่วย แรงเหล่านี้ยังอาจจะมีเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลาทำให้เพลลาเสียหาย เพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะต่าง นอกจากนั้นเพลลาจะต้องมีความแข็งแกร่ง (Rigidity) เพียงพอเพื่อลดมุมบิดภายในเพลลาให้อยู่ให้อยู่ในขีดจำกัดที่พอเหมาะ

ถึงแม้ว่าจะไม่มีมาตรฐานสำหรับพิกัดมุมบิดของเพลลาไว้ก็ตาม ในทางปฏิบัติแล้วมักจะให้มุมบิดเพลลาเครื่องจักรทั่วไปไม่เกิน 0.3 องศา ต่อความยาว 20 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพลลา ระยะโก่ง (Deflection) ของเพลลาเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดของเพลลาเช่นเดียวกันเพราะถ้ามีระยะโก่งมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุน ทำความเร็ววิกฤต (Critical speed) ของเพลลาตกลง ซึ่งอาจทำให้เพลลาเกิดการสั่นอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็วของเพลลาเข้าใกล้ความเร็ววิกฤต ระยะโก่งนี้ยังมีผลต่อการเลือกชนิดที่รองรับเพลลา ซึ่งอาจเป็นแบร์ริงธรรมดาหรือแบร์ริงแบบปรับแนวได้เอง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าระยะโก่งเป็นสำคัญ สำหรับเพลลาเครื่องจักรกล ระยะโก่งระหว่างระยะจุดที่รองรับด้วยแบร์ริงควรจะไม่เกิน 0.8 มิลลิเมตร/เมตร

### วัสดุที่ใช้ทำเพลลา

เพลลาของเครื่องจักรกลส่วนมากมักทำโดยกรรมวิธีดิ่งเย็น แล้วแต่งผิวให้เรียบโดยนำแท่งเหล็กเหนียวที่ได้มาฆ่าออกซิเจน (Kill Inogot) ที่มีคาร์บอนผสมอยู่ตามเปอร์เซ็นต์ ที่กำหนด แต่วัสดุที่ได้ตามวิธีการดังกล่าวไม่ตรงอย่างแท้จริง และจะมีความเค้นหลงเหลืออยู่ในวัสดุเมื่อนำมาเจาะร่อง ลึมหักจะทำให้เพลลาหักเนื่องจากความไม่สมดุลของแรงเค้นที่หลงเหลือนี้ แต่ในขณะที่เค้นจากการดิ่งเย็นก็จะทำให้ผิวของเพลลาแข็งแรงเพิ่มขึ้นไปด้วย

เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ค) การจับยึดด้วยสลักเกลียว

การแบ่งชนิดของอุปกรณ์จับยึดด้วยเกลียวแบ่งตามวิธีการที่ใช้จับยึดจำแนกได้ดังนี้

1) สลักเกลียวและแป้นเกลียวจับเกลียวเป็นแท่งทรงกระบอก ปลายข้างหนึ่งมีเกลียวและอีกข้างหนึ่งมีหัวสี่เหลี่ยมหรือหัวหกเหลี่ยม หัวนี้มีไว้จับเพื่อหมุนสลักเกลียว หรือยึดสลักเกลียวไว้เพื่อหมุนแป้นเกลียวให้จับยึดชิ้นงานการยึดด้วยสลัก หรือแป้นเกลียวนี้กับบริเวณที่สามารถหมุนหัวสลักเกลียวและแป้นเกลียวได้สะดวก เช่นรอยต่อด้วยหน้าแปลน นิยมใช้ยึดด้วยสลักเกลียว เพราะเมื่อขันแน่นแล้วลำตัวของสลักเกลียวอยู่ภายใต้แรงดึงเพียงอย่างเดียวเท่านั้นนอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนใหม่ได้ง่ายถ้าสลักเกลียวขาดหรือเกลียวขาด

2) หมุดเกลียว แตกต่างไปจากสลักเกลียวคือใช้ขันเข้าไปในชิ้นงานชิ้นหนึ่งที่ต้องการยึด โดยมีต้องใช้เป็นเกลียว ใช้กับงานที่ไม่สามารถใช้สลักเกลียวได้เนื่องจากมีเนื้อที่ไม่พอหรือใช้กับรอยต่อที่ไม่มีการถอดบ่อยนักเพราะจะทำให้เกลียวตัวเมียบนชิ้นงานเสียหายได้ การยึดที่แน่นอนโดยใช้หมุดเกลียวยึดเข้าไปในชิ้นงานไม่น้อยกว่าหนึ่งเท่าครึ่งของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุมุมเกลียวเมื่อชิ้นงานเป็นเหล็กกล้า แต่ถ้าชิ้นงานเป็นเหล็กหล่อก็ให้ใช้เป็นสองเท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุมุมของหมุดเกลียว

3) สลักเกลียวสตัดมักเรียกย่อๆว่า สตัด เป็นแท่งทรงกระบอก มีเกลียวที่ปลายทั้งสองข้าง การยึดสตัดทำได้โดยขันสตัดเข้าไปในชิ้นงานชิ้นหนึ่งซึ่งมีเกลียวขัณฑ์ปลายอีกข้างหนึ่ง

4) หมุดเกลียวจักรกล เป็นหมุนเกลียวขนาดเล็กมีรูปร่างต่างๆกัน ส่วนมากที่หัวมักจะมีย่องเพื่อใช้ไขควงขันได้ โดยทั่วไปจะใช้กับงานประกอบชิ้นงานขนาดเล็ก

5) หมุดเกลียวปรับ เป็นหมุดเกลียวชนิดกึ่งยึด ใช้ป้องกันการเกิดการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างผิวเลื่อนของผิวที่ติดอยู่ด้วยกันโดยใช้ผลของความเสียดทาน เช่น ยึดปลายเพลลาให้ติดกับเพลลา ยึดค้อนล้อสายพานให้ติดกับเพลลา เป็นต้น หมุดเกลียวปรับมีหัวและปลายต่างๆกัน ปลายของหมุดเกลียวปรับจะต้องทำให้แข็ง เพื่อป้องกันการสึกหรอหรือมักใช้กับการส่งแรงน้อย

## 2.9 วัสดุที่ใช้ในการผลิต

เนื่องจากโครงสร้างเครื่องส่วนใหญ่มีหน้าที่ไว้เพียงเพื่อรับแรงดึงให้ใช้เหล็กฉาก ในการสร้างโครงสร้าง ส่วนตะแกรงและลูกบดนั้นถือเป็นสิ่งสำคัญเพราะว่าต้องสัมผัสกับเมล็ดกาแฟ ดังนั้นจึงได้ออกแบบให้ตะแกรงทำจากเหล็ก

## 2.10 พัดลม

พัดลมถูกนำมาใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมอย่างกว้างขวาง และได้รับการออกแบบและปรับปรุงขึ้นมาเรื่อยๆ จนปัจจุบันพัดลมบางตัวสามารถให้ประสิทธิภาพได้สูงถึง 90% ภายใต้สภาพที่เหมาะสม แต่ภายในสภาพใช้งานจริงๆ ประสิทธิภาพขนาดนั้นยังอยู่อีกไกล ทั้งนี้เนื่องจากความไม่ราบเรียบของลมที่ออกจากพัดลม ซึ่งจะไปลดสมรรถนะและประสิทธิภาพของพัดลม ตัวการอันนี้เรียกว่า “ผลเนื่องจากระบบ” (System effect)

ในบทความนี้จะได้กล่าวถึง สัญลักษณ์ นิยามชนิดของพัดลม หลักการใช้งาน การทดสอบพัดลม กฎของพัดลม การเลือกพัดลม ความสัมพันธ์ระหว่างความดันในระบบกับพัดลมการต่อพัดลมแบบขนาน เสียง การติดตั้ง และการควบคุม

### สัญลักษณ์

Q	= ปริมาณลม ลูกบาศก์ฟุต/นาที
Sp	= Static pressure ความดันสถิต ณ จุดใดจุดหนึ่ง นิ้วน้ำเป็นเกจ
Vp	= Velocity pressure ความดันความเร็ว ณ จุดใดจุดหนึ่งนิ้วน้ำเป็นเกจ
Tp	= Total pressure ความดันรวม ณ จุดใดจุดหนึ่ง นิ้วน้ำเป็นเกจ
P <sub>s</sub>	= Fan static pressure ความดันรวมสถิตของพัดลม นิ้วน้ำเป็นเกจ
P <sub>v</sub>	= Fan velocity pressure ความดันความเร็วของพัดลม นิ้วน้ำเป็นเกจ
P <sub>t</sub>	= Fan total pressure ความดันรวมของพัดลม นิ้วน้ำเป็นเกจ
N	= Rotational speed รอบพัดลม รอบต่อนาที
H	= กำลังที่ให้กับเพลลาของพัดลม กำลังม้าเบรก (Brake horsepower)
H <sub>a</sub>	= กำลังที่ลมมีอยู่ก่อนขาออกจากพัดลม กำลังม้าของลม (Air horsepower)
η <sub>t</sub>	= ประสิทธิภาพทางกล
η <sub>s</sub>	= ประสิทธิภาพทางสถิต
D	= ขนาดของพัดลม หรือเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัด
P	= ความหนาแน่นของลม ปอนด์ต่อตารางฟุต
A <sub>o</sub>	= พื้นที่ทางออกของพัดลม ตารางฟุต
K <sub>w</sub>	= Specific sound power lever ระดับกำลังเสียงจำเพาะ เดซิเบล 10 <sup>12</sup> วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## นิยาม

1. ปริมาณลม  $Q$  คือปริมาณลม เป็น ลูกบาศก์ฟุตต่ออนาที ที่พัดลมสามารถทำได้ เมื่อกำหนดสภาพขาเข้าของพัดลม

2. ความดันรวมของพัดลม  $P_r$  ความดันรวมของลม ตอนที่ออกจากพัดลมลบด้วยความดันรวมตอขาเข้า

3. ความดันเร็วของพัดลม  $P_v$  คือความดันที่คิดจากความเร็ว โดยเฉลี่ยของลม ซึ่งมีค่าเท่ากับปริมาณลม หาคด้วยพื้นที่ทางออกของพัดลม

4. ความดันสถิติกของพัดลม  $P_s$  กำหนดให้มีค่าเท่ากับ  $P_r - P_v$

5. กำลังของลมตอขาออกจากพัดลม  $H_o$  กำหนดมีหน่วยเป็นกำลังม้าของลมมีค่าขึ้นอยู่กับ  $Q$  และ  $PT$

6. กำลังที่ไ้  $H$  กำหนดให้มีหน่วยเป็นกำลังม้าเบรค วดจากกำลังม้าที่ไ้กับเพลลา

7. ประสิทธิภาพทางกล ( หรือประสิทธิภาพรวมของพัดลม )  $\eta$  มีค่าเท่ากับ  $H_o/H$   
ประสิทธิภาพสแตติก  $\eta_s$  มีค่าเท่ากับ  $\eta \times (P_s/P_r)$

8. จุดที่วัด (Point of rating) อาจเป็นจุดใดจุดหนึ่งบนกราฟแสดงสมรรถนะของพัดลมก็ได้แล้วแต่กรณี ซึ่งจะต้องกำหนดไว้  
ชนิดของพัดลม

พัดลมโดยทั่วไป แบ่งเป็นพวกใหญ่ๆ คือ พัดลมแรงเหวี่ยง (Centrifugal fans) เช่นพัดลมหอยโข่งและพัดลมตามแนวแกน (Axial flow fan) การแบ่งดูจากลักษณะการวิ่งของพัดลม

## 2.11 ฮีตเตอร์

คือ มีขดลวดความร้อนบรรจุอยู่ในท่อโลหะช่องว่างระหว่าง ขดลวดความร้อนและท่อโลหะ จะถูกอัดแน่นด้วยผงแมกนีเซียมออกไซด์ และถูกรีดลงให้มีความหนาแน่น ตามมาตรฐานวัสดุที่ใช้ทำ Tubular Heater มีหลายชนิดต่างกันตามลักษณะการใช้งาน ดังนี้

### ฮีตเตอร์ท่อกลม แบบตัว "U"

มีทั้งแบบสแตนเลส 304 , 316 และ อิน โคลอยด์พร้อมทั้งตัดตามแบบ

### คุณสมบัติ

- ให้ความร้อนคงที่สม่ำเสมอ
- ราคาประหยัด อายุการใช้งานยาวนาน
- สามารถใช้ได้ ในอากาศ, น้ำ หรือแม่พิมพ์โลหะได้
- เหมาะสำหรับ โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ

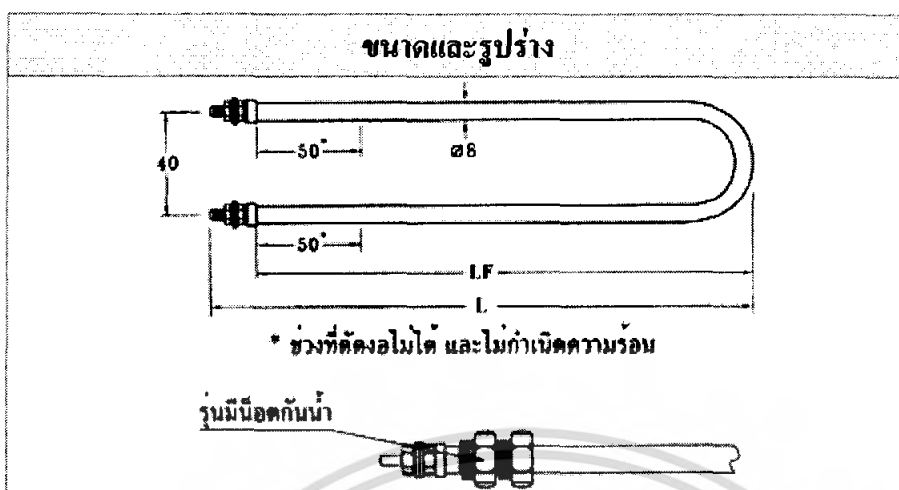
### ประโยชน์การนำไปใช้งาน

- ใช้สำหรับงานอบแห้งทั่วไป เช่น อบสีรถยนต์, อบพืชผลทางการเกษตร, อบเส้นใยผ้า, อบชิ้นส่วนอะไหล่รถยนต์ เป็นต้น
- ใช้ในงานอุ่น - ต้ม น้ำ, น้ำมัน และของเหลว
- ให้ความร้อนแม่พิมพ์โลหะ
- ใช้ให้ความร้อนในห้องอบเซรามิก
- ใช้ในห้องควบคุมความชื้น เป็นต้น

### ข้อควรระวัง

- 1) ฮีตเตอร์แบบตัว "U" เมื่อยังไม่เคยใช้งานและยังไม่เคยผ่านความร้อนมาก่อน สามารถตัดองได้ แต่เมื่อตัดแล้วห้ามตัดกลับ
- 2) รัศมีของการตัดโค้งต้องไม่น้อยกว่า 2 ซม. (Ø4 ซม.)
- 3) ฮีตเตอร์นี้ใช้ได้ ในอากาศ ในน้ำ ฝิ่งในโลหะ หรือแม่พิมพ์โลหะได้ แต่ต้องพิจารณาค่าวัตต์ให้เหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภท ตามหมายเหตุที่ระบุไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2-6 ขนาดและรูปร่างของฉีดเตอร์แบบตัว U

การคำนวณใช้สูตร

ปริมาณลม(ลูกบาศก์ฟุต/นาทื) =  $\frac{\text{พื้นที่รวมของหัวครอบ(ตารางฟุต)} \times \text{ความเร็วลมของหัวครอบ}}{\text{หัวคูด (ฟุต)}}$

ความดันลมสแตติก คือความดันของพัดลมที่มีเพื่อเอาชนะแรงเสียดทานต่างๆเช่นแรงเสียดทานในระบบท่อกลม แผ่นกรองอากาศ คอยล์ และหน้ากาลมในจำนวนนี้แรงเสียดทานในระบบท่อลม แผ่นกรองอากาศ และคอยล์คือส่วนที่จะมีผลมากที่สุดแรงเสียดทานในระบบท่อลมโดยทั่วไปจะประมาณเท่ากับ 0.1 นิ้วน้ำต่อความยาว 100 ฟุต

## 2.12 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเมล็ดกาแฟ

กาแฟเป็นไม้พุ่มขนาดย่อม ลำต้นสูงเต็มที่ประมาณ 9 เมตร แต่ที่ปลูกกันในไร่กาแฟมักนิยมตัดยอดให้มีพุ่มสูงเพียง 4 เมตรกว่าๆเพื่อให้เก็บผลได้สะดวก ใบกาแฟเป็นรูปไข่รีสีเขียวเข้มเป็นมันมีขอบเป็นหยักเล็กน้อย ขวาวประมาณ 10 เซนติเมตร ดอกสีขาวออกเป็นช่ออยู่ตามโคนใบ ขนาดโตกว่าดอกมะลิเล็กน้อย มีกลิ่นหอมเหม็นอ้อๆ ดอกกาแฟบานติดอยู่กับต้นเพียง 2-3 วัน ก็จะร่วงเหลือผลกาแฟจับกันเป็นกลุ่มมีสีเขียว แล้วค่อยๆกลายเป็นสีน้ำตาลทอง เมื่อสุกเต็มที่ที่จะเห็นเป็นพวงสีแดงสด กาแฟต้นหนึ่งจะให้ผลเป็นเมล็ดกาแฟที่นำไปคั่วได้เพียงประมาณ 1 กิโลกรัม/หนึ่งฤดูกาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.11.1 พันธุ์ของเมล็ดกาแฟที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

กาแฟชนิดต่างๆที่ปลูกกันในโลกมีอยู่มากมาย ต่างก็ให้กลิ่นและรสชาติที่แตกต่างกันออกไปแต่ใน ตลาดการค้ามีอยู่ 2 พันธุ์เท่านั้น คือกาแฟพันธุ์อาราบิก้า (Arabica) และ พันธุ์โรบัสต้า (Robusta) และยังมีอีก 2 พันธุ์ ที่ยังคงมีปลูกอยู่บ้างในปริมาณที่น้อยคือ พันธุ์ไลเบอริก้า (Liberica) และพันธุ์ เอกเซลซ่า (Excelsa)

ในทางการค้ามีภาษาพิเศษที่ใช้เรียกคุณสมบัติของกาแฟอยู่ 3 ตัวคือ

- Brazil : กาแฟคุณภาพบราซิล ใช้กับพันธุ์กาแฟที่ปลูกในบราซิล
- Mild : กาแฟที่ปลูกในประเทศไทยกลุ่มลาตินอเมริกา คืออเมริกากลางและอเมริกาใต้
- Robusta : กาแฟที่ได้จากเมล็ดพันธุ์โรบัสต้าที่ปลูกในแอฟริกาและเอเชีย

กาแฟในกลุ่มบราซิลและไมล์เป็นกาแฟพันธุ์อะราบิก้าที่มีคุณภาพรสชาติพอๆกัน ก่อนนั้น กาแฟที่ปลูกในบราซิลเป็นที่นิยมกันทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกาแฟ Brazil Santos และ ประเทศบราซิลยังเป็นตลาดใหญ่ในการผลิตที่ส่งออกมากที่สุด แต่ปัจจุบันกาแฟอะราบิก้าที่ปลูก ในแอฟริกาก็คุณภาพดีไม่แพ้กัน กาแฟพันธุ์อะราบิก้าจะให้ผลผลิตดีเมื่อปลูกในพื้นที่สูงกว่าระดับ ทะเลมากๆเท่านั้น เช่นกาแฟที่มีชื่อเสียงที่สุดปลูกที่ยอดเขาบูลมาแทนในจาไมก้า เนื้อ ระดับน้ำทะเลถึง 600- 1200 เมตร

กาแฟโรบัสต้า ปลูกกันมากในแอฟริกาโดยเฉพาะคองโก กาแฟพันธุ์นี้ทนโรค ทนแมลง ได้ดีกว่าพันธุ์อาราบิก้า และมีปริมาณคาเฟอีนมากกว่า จึงนิยมนำมาทำกาแฟสกัดคาเฟอีนและ กาแฟไร้คาเฟอีน แต่ในกลุ่มคอกาแฟถือว่ากาแฟที่ชงจากเมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้ามีรสชาติและ กลิ่นดีกว่ากาแฟโรบัสต้า

ในไทยกาแฟพันธุ์อาราบิก้าปลูกได้ดีเฉพาะภาคเหนือ เช่น เชียงใหม่ เชียงรายและ แม่ฮ่องสอน ส่วนใหญ่โรบัสต้าปลูกกันมากในภาคใต้ตั้งแต่จังหวัดชุมพรลงไป และปลูกได้ในที่ ราบสูงกว่าระดับน้ำทะเลไม่มากนัก ที่ขึ้นชื่อมากก็คือกาแฟเขาช่องจังหวัดตรัง

### 2.12.2 มาตรฐานการผลิตกาแฟ

มาตรฐานการผลิตกาแฟนี้ครอบคลุมเฉพาะ กาแฟซึ่งได้จากต้นกาแฟมีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า คอฟเฟีย อาราบิก้า (Coffea Arabica) และคอฟเฟีย คานีฟอร่า และพันธุ์โรบัสต้า Coffea canephora , var, robusta)

ที่ปลูกในประเทศไทยเท่านั้น

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

1. ผลกาแฟ ( Coffee cherry ) หมายถึง ผลจากพืชในสกุลคอฟเฟีย
2. กาแฟเมล็ด (Green coffee ) หมายถึง เมล็ดกาแฟแห้งที่ได้จากผลกาแฟหลังผ่านกรรมวิธีเอาส่วนเปลือกออก ได้แก่ เปลือกนอก,เนื้อและเยื่อหุ้มเมล็ดออกแล้ว
3. เมล็ดดำ หมายถึง กาแฟเมล็ดที่มีสีดำภายใน/หรือภายนอกเมล็ด
4. เมล็ดเสียเพราะรา หมายถึง เมล็ดร่อนรอยซึ่งเกิดการเจริญของรา
5. เมล็ดแตกหัก หมายถึง กาแฟเมล็ดที่แตกบิ่น
6. เมล็ดเจริญไม่เต็มที่ หมายถึง กาแฟเมล็ดที่ยังไม่สุกเต็มที่ที่มีผิวขุ่น
7. เมล็ดเบา (spongy bean and floater baen ) หมายถึงกาแฟเมล็ดที่มีน้ำหนักเบากว่าปกติอาจกดได้ด้วยเล็บมือ โดยทั่วไปสีอ่อนกว่าปกติ
8. เมล็ดถูกแมลงทำลาย หมายถึง กาแฟเมล็ดที่มีร่องรอยซึ่งเกิดจากการทำลายของแมลงที่ภายนอก/ภายใน
9. กาแฟคั่ว หมายถึง เมล็ดกาแฟที่คั่วจนได้ที่ทั้งที่เป็นเมล็ดและที่บดแล้ว

## บ้านไร่กาแฟ

บ้านไร่กาแฟ ผลิตผลไทยแท้ๆกาแฟที่ขมมากหากแก้ง่วงได้น้อยกาแฟสด(ปรุงรสคๆ) ของ บ้านไร่กาแฟ ถูกแบ่งออกเป็น 3 ระดับ 6 ชนิด โดยมีชื่อเรียกสั้นๆ เป็นเบอร์ตามระดับที่ถูกแบ่งในการคั่ว การคั่วที่อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกันก็จะได้ระดับของ รส กลิ่น สี ดังนี้

### 1. ระดับเข้ม แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1.1 เอเชียเอสเพรสโซ เบลนด์ (เบอร์ 0) รสขมจัด หอมมากถึงความไหม้ของกาแฟ เมล็ดกาแฟมีสีดำสนิท

1.2 ไทย เบลนด์ (เบอร์ 1) รสขมเข้ม กลิ่นหอมไหม้ เมล็ดกาแฟคั่ว มีสีดำเข้ม

### 2.ระดับกลาง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.1 บ้านไร่ เบลนด์ (เบอร์ 3) รสขมปานกลาง กลิ่นหอมหวาน เมล็ดกาแฟมีสีน้ำตาลอมดำ

2.2 คอฟฟี่เอฟ เบลนด์ (เบอร์ 5) รสขมกลมกล่อม กลิ่นหอมกรุ่นเมล็ดกาแฟมีสีน้ำตาลเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. ระดับอ่อน แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

3.1 สยาม เบลนด์ (เบอร์ 7) รสขมอ่อน ๆ กลิ่นหอมนุ่มนวล เมล็ดกาแฟมีสีน้ำตาล

3.2 บางกอก เบลนด์ (เบอร์ 9) รสขมนุ่มนวล กลิ่นหอมละมุนละไม เมล็ดกาแฟคั่วสีน้ำตาลอ่อน

การคั่ว(สี) การคั่วต่างระดับกันนี้เองทำให้ได้รสชาติที่แตกต่างกันของกาแฟโดยความแตกต่างของกาแฟจะขึ้นอยู่กับความขม กลิ่น และระดับสารกาแฟซึ่งจะเห็นได้ว่ากาแฟเบอร์ 0 (เอเชีย เอสเพรสโซ เบลนด์) จะขมจัดมาก

สารกาแฟ เบอร์ 9 (บางกอก เบลนด์) รสอ่อนที่สุด มีสารกาแฟมากที่สุด(สารกาแฟประกอบด้วยสารต่าง ๆ ราว 600 ชนิด) ก็เนื่องมาจาก การคั่วอ่อนนั่นเอง ซึ่งจะแก้วงได้ดี ตรงกันข้าม (เบอร์ 0 เอเชียเอสเพรสโซ) มีรสขมจัดที่สุดผ่านการคั่วมากกว่าชนิดอื่น ทำให้สารกาแฟในเมล็ดสลายตัวออกไปมากย่อมแก้วงได้น้อย

#### คำอธิบายระดับต่างของสีเมล็ดกาแฟที่คั่ว

ระดับ 0 คือ เมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วจน ได้สีของเมล็ดกาแฟเป็นสีดำสนิท

ระดับ 3 คือ เมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วจน ได้สีของเมล็ดกาแฟเป็นสีน้ำตาลอมดำ

ระดับ 8 คือ เมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วจน ได้สีของเมล็ดกาแฟเป็นสีน้ำตาลอ่อน

ระดับ 9 คือ เมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วจน ได้สีของเมล็ดกาแฟเป็นสีน้ำตาลอ่อน

## บทที่ 3

### การออกแบบและสร้าง

ขั้นตอนการออกแบบและสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟมี ดังนี้

3.1 การออกแบบเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ

3.2 การสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ

#### 3.1 การออกแบบเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ

3.1.1 การคำนวณขนาดภาชนะคั่วเมล็ดกาแฟ

วัสดุที่ใช้สร้างภาชนะ คือ เหล็ก จุดสำคัญที่เลือกใช้ คือ เนื่องจากเครื่องที่เป็นสแตนเลส และอลูมิเนียมมีราคาแพง จึงใช้เหล็กในการสร้างเครื่อง เพราะเหล็กมีคุณสมบัติในการนำความร้อนได้ดี ทำความสะอาดง่าย ราคาถูก และภาชนะที่ใช้ทำการคั่วที่ออกแบบเป็นภาชนะทรงกระบอก เพราะ เพื่อทำการคั่วเมล็ดกาแฟจะทำการคั่วได้ทั่วถึง แม้เป็นภาชนะขนาดเล็กก็สามารถทำการคั่วได้ทั่วถึงกว่าภาชนะที่เป็นทรงสี่เหลี่ยมหรือทรงกะทะแบนที่มีขนาดในการคั่วเท่าๆกัน

ในการออกแบบภาชนะคั่วนั้น ก่อนอื่นต้องทราบถึงปริมาณของเมล็ดกาแฟที่จะใส่ลงในภาชนะ เพื่อจะทำการคั่วและนำมาหาปริมาตรเพื่อนำมาเทียบค่าหาขนาดภาชนะที่ใช้สำหรับทำการคั่ว

ถังคั่วมีหน้าที่รับเมล็ดกาแฟที่ต้องการคั่วที่ป้อนทางช่องป้อนเมล็ดกาแฟเข้าไปในถังคั่วโดยใช้พลังงานความร้อนจากชุดให้ความร้อน(Heater) และมีหน้าที่กระจายความร้อนให้ทั่วถึง

เมล็ดกาแฟที่ใช้คั่ว 1 กิโลกรัม มีปริมาตรเท่ากับ 2,357.14 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยการหาปริมาตรด้วยวิธีการตวงใส่ภาชนะทรงกระบอก

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad V &= (\pi d^2 / 4) \times L \\ &= \frac{\pi (29)^2}{4} \times 50 \\ &= 33,039.286 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร} \end{aligned}$$

การออกแบบถังคั่วมีขนาดใหญ่กว่าขนาดจริงเพราะการคั่วเมล็ดกาแฟให้ได้คุณภาพในการคั่วให้สม่ำเสมอไม่ควรใช้วัสดุเกิน 1/3 ของปริมาตรถังคั่ว เนื่องจากเมล็ดกาแฟที่ทำการคั่วเรียบร้อยแล้วจะมีปริมาตรเป็น 25% ของเมล็ดกาแฟสดที่ยังไม่ได้คั่ว

3.1.2 การออกแบบใบพัดคั่วและเพลลา

ใบคั่วควรทำมุมกับระนาบตั้งให้เหมาะสมกับมุมที่ตั้งเฉียงทำกับระนาบพื้นจะทำให้สามารถคั่วเมล็ดกาแฟให้ได้คุณภาพและการกระจายทั่วถึงคั่วอย่างสม่ำเสมอ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 การคำนวณกำลังขับเคลื่อนมอเตอร์

มอเตอร์ที่ใช้เป็นแบบมอเตอร์เกียร์ที่สามารถปรับรอบให้เร็ว-ช้าลงได้ตามที่ต้องการ จึงไม่จำเป็นต้องใช้อัตราทดรอบ ข้อกำหนดในการออกแบบ

1. ชุดใบค้ำ 1 ชุด หนัก 2.5 กิโลกรัม
2. ชุดใบค้ำมีความกว้าง 290 มิลลิเมตร
3. ความเร็วรอบที่ใช้ในการค้ำเมล็ดกาแฟสูงสุด 80 รอบ/นาที

$$\text{น้ำหนักชุดใบค้ำ} = 2.5 \times 9.81 = 24.525 \approx 25 \text{ N}$$

$$\text{น้ำหนักเมล็ดกาแฟ} = 1 \times 9.81 = 9.81 \approx 10 \text{ N}$$

จากสมการ หากำลังมอเตอร์ ( $w_p$ )

$$T = (4 \times 290) - 25 \times 145 \\ = 164.575 \text{ N}$$

$$W_p = T \times 2\pi dn$$

การหาแรงบิด

$$W_p = (164.575 + 9.81) \times 2 \times \pi \times n/60 \times 30 \\ = 48.751 \text{ W} \approx 50 \text{ W}$$

ดังนั้นควรเลือกใช้มอเตอร์ที่มีขนาด 50 W หรือมีขนาดมากกว่า 50 W

### 3.1.4 การออกแบบชุดให้ความร้อน (Heater)

แท่งให้ความร้อนเป็นแบบใช้กระแสไฟฟ้า (Heater) ที่ทำจากวัสดุอินโคลอย มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.6 มิลลิเมตร ยาว 1 เมตร ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{จากสูตร} \quad Q = kA\Delta T/\Delta X \\ = (54 \times 0.1443 \times 275)/0.02 \\ = 1,071.4275 \text{ W}$$

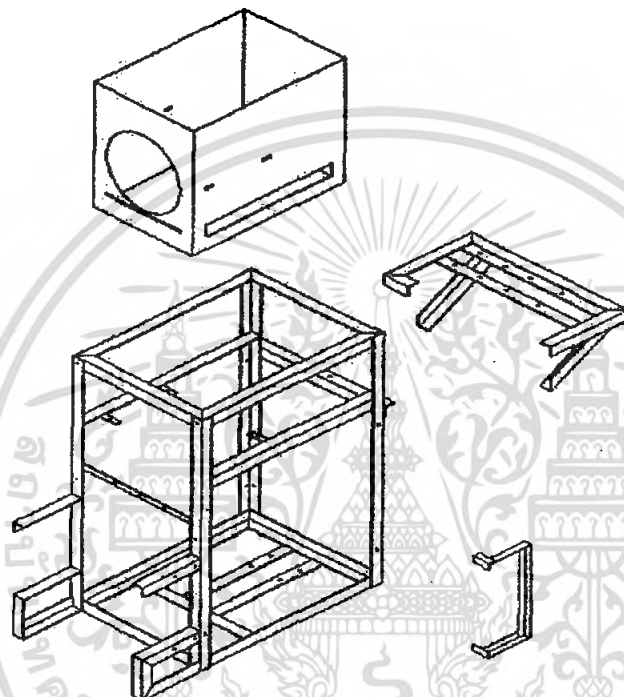
$$Q = mCp\Delta T \\ = 1 \times 1.77 \times 275 \\ = 495 \text{ Kg J}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ขั้นตอนการสร้างเครื่องควมเสียดกาฬ

#### 3.2.1 การตัดเตรียมวัสดุทำโครงสร้างของเครื่องควมเสียดกาฬ

หลังจากการเลือกวัสดุทำโครงสร้างของเครื่องควมเสียดกาฬแล้ว ต่อไปคือการตัดวัสดุให้ได้ตามขนาดที่ออกแบบไว้ ซึ่งมีขั้นตอนและรายละเอียด ดังนี้



ภาพที่ 3-1 โครงเครื่อง

#### 3.2.2 โครงเครื่อง

โครงเครื่องใช้เหล็กฉาก หน้า 3 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร จำนวน 6 ท่อน

โครงเครื่องใช้เหล็กฉาก หน้า 3 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร จำนวน 8 ท่อน

โครงเครื่องใช้เหล็กฉาก หน้า 3 เซนติเมตร ยาว 20.8 เซนติเมตร จำนวน 4 ท่อน

โครงเครื่องใช้เหล็กฉาก หน้า 3 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร จำนวน 2 ท่อน

โครงเครื่องใช้เหล็กฉาก หน้า 3 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร จำนวน 2 ท่อน

โครงเครื่องใช้เหล็กฉาก หน้า 6 เซนติเมตร ยาว 250 เซนติเมตร จำนวน 4 ท่อน

โครงเครื่องใช้เหล็กฉาก หน้า 9.27 เซนติเมตร ยาว 46 เซนติเมตร จำนวน 1 ท่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 ฉนวนกันความร้อน

ฉนวนแบบใยแก้ว ขนาด 50×50 เซนติเมตร จำนวน 2 ชั้น

ฉนวนแบบใยแก้ว ขนาด 50×60 เซนติเมตร จำนวน 6 ชั้น

### 3.2.3 การออกแบบถังคั่วในชั้นที่ 1-5

เหล็กแผ่นขนาด 52×52 เซนติเมตรหนา 0.2 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น

เหล็กแผ่นขนาด 52×71.5 เซนติเมตรหนา 0.2 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น

เหล็กแผ่นขนาด 71.5×110 เซนติเมตรหนา 0.2 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น

เหล็กแผ่นขนาด 52×20 เซนติเมตรหนา 0.2 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น

### 3.2.4 ส่วนประกอบต่างๆของถังคั่ว

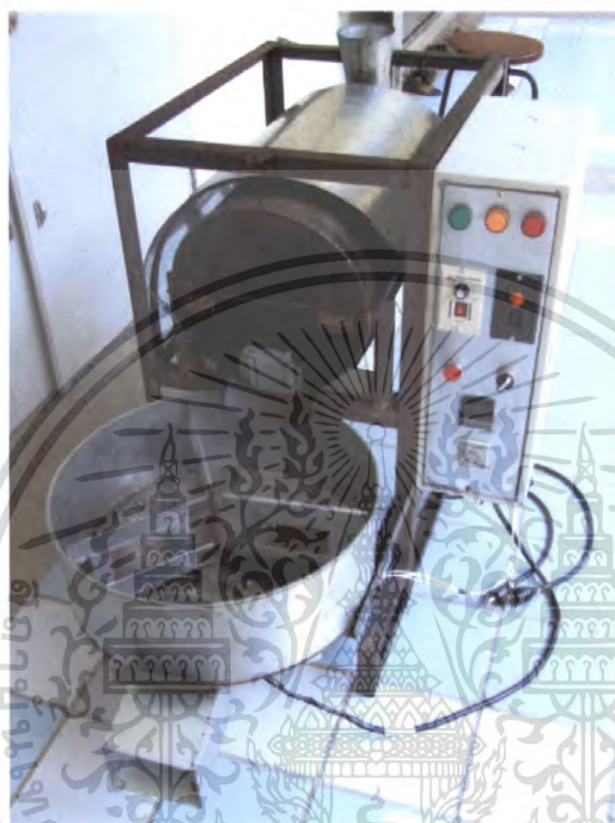
- ถังคั่ว
- เพลและใบกวน

### 3.2.5 ชุดถังเกลี่ยเมล็ดกาแฟ

- ใบเกลี่ย
- ถังเกลี่ย
- พัดลมดูดความร้อน



### 3.2.6 ขั้นตอนการประกอบชิ้น โครงสร้างเครื่องควมเส็ดกาแพ



ภาพที่ 3-2 เครื่องควมเส็ดกาแพ

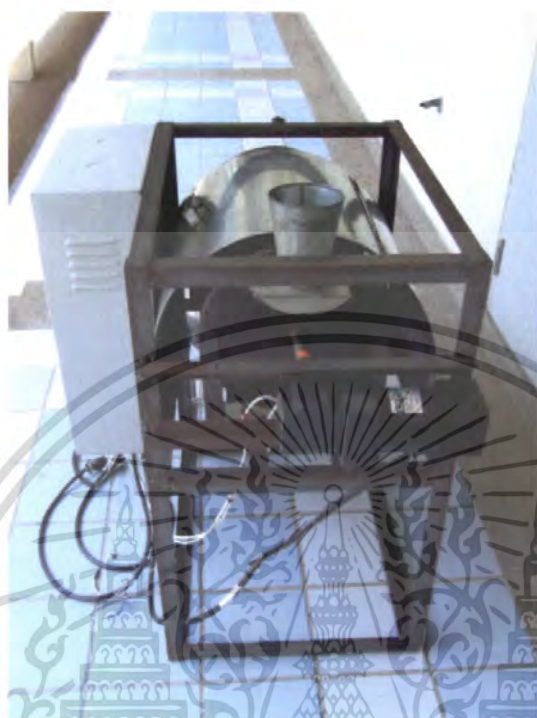
1. หลังจากที่ทำกาการตัดเหล็กจากตามขนาดที่กำหนดไว้ ขั้นตอนต่อไปคือ การนำวัสดุมาประกอบเชื่อมต่อกัน โครงสร้างของเครื่องควมเส็ดกาแพ เพื่อเป็น โครงตัวเครื่องควมเส็ดกาแพ
2. นำเหล็กจากที่ทำกาการตัดไว้ เพื่อทำโครงสร้างของโครงที่ใช้วางตัวเครื่องให้ได้ขนาดเหมาะสมกับตัวเครื่องควมเส็ดกาแพ
3. นำภาชนะที่ใช้ควมเส็ดกาแพที่ทำกาการม้วนเหล็กกระทะแวงเป็นรูปทรงกระบอกมาติดตั้งเข้ากับตัวเครื่องควมเส็ดกาแพ โดยยึดตัวเครื่องควมเส็ดกาแพกับตัวโครงเหล็กที่สร้างไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.7 ขั้นตอนการติดตั้งชุดส่งกำลังและอุปกรณ์กำเนิดความร้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3-4(ข)

**ภาพที่ 3-4 การติดตั้งชุดส่งกำลังและอุปกรณ์กำเนิดความร้อน**

1. หลังจากทำโครงสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟเรียบร้อยแล้ว จึงนำชุดส่งกำลัง โดยมีมอเตอร์เกียร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง มาติดตั้งเข้ากับ โครงสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ
2. เมื่อทำการติดตั้งเครื่องส่งกำลังแล้วจึงนำเพลามาติดตั้งเข้ากับแกนมอเตอร์เกียร์ส่งกำลังโดยตรง
3. นำอุปกรณ์กำเนิดความร้อน(Heater) มาติดตั้งเข้ากับ โครงสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ และนำฉนวนกันความร้อนรองข้างใต้อุปกรณ์กำเนิดความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.8 ขั้นตอนการติดตั้งวงจรไฟฟ้า



ภาพที่ 3-5(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3-5(ข)



รูปที่ 3-5(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3-5 การติดตั้งวงจรไฟฟ้านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. หลังจากได้ทำตัวเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟเรียบร้อยแล้ว จึงทำการติดตั้งวงจรไฟฟ้าเข้ากับตัวเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ เพื่อใช้ในการควบคุมเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ
2. ทำการเจาะตู้คอนโทล เพื่อติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ
3. ทำการต่อวงจรไฟฟ้าให้ได้ตามระบบที่กำหนดไว้ เพื่อใช้ในการควบคุมระบบการทำงานของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ
4. นำตู้คอนโทลไปติดตั้งเข้ากับตัวเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ
5. ทำการเดินสายไฟวงจรในตู้คอนโทลเข้ากับชุดส่งกำลังและอุปกรณ์กำเนิดความร้อน
6. ทำการทดสอบเดินเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ และทำการตรวจสอบระบบควบคุมการทำงานต่างๆ ของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ ให้อยู่ในระบบการทำงานที่เราต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โครงสร้างเครื่องแก้วเมตต์กาแฟ



ภาพที่ 3-6(ก)

ภาพที่ 3-6(ข)

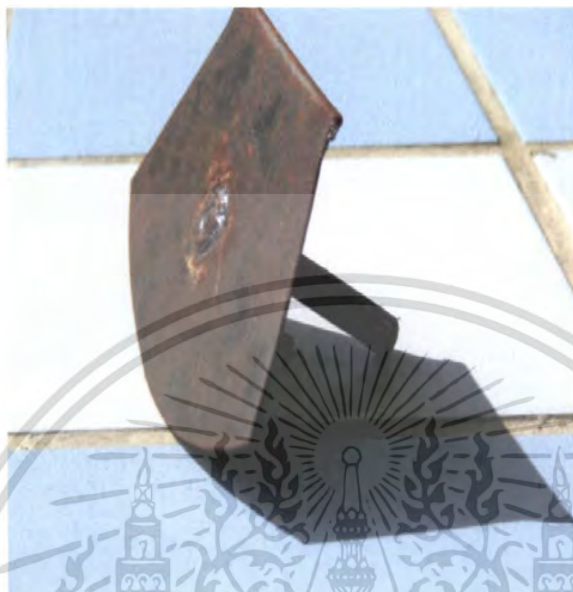


รูปที่ 3-6(ค)



รูปที่ 3-6(ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-6(จ)

รูปที่ 3-6 โครงสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ

1. ช่องป้อนเมล็ดกาแฟ
2. ฝาครอบเครื่อง
3. ถังคั่ว
4. เพลาและใบคั่ว
5. ฝาเปิดด้านหน้า
6. ใบกวาดเมล็ดกาแฟออกจากถังคั่ว
7. โครงเครื่อง
8. ชุดให้ความร้อน(Heater)
9. ชุดส่งกำลัง
10. ตู้ควบคุมไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โครงสร้างต่างๆของเครื่องระบายความร้อน



ภาพที่ 3-7(ก)



รูปที่ 3-7(ข)



รูปที่ 3-7(ค)

รูปที่ 3-7 โครงสร้างต่างๆของเครื่องระบายความร้อน

1. ไบเกลี่ย
2. แกนไบเกลี่ย
3. แบริ่ง
4. ถังเกลี่ย
5. ฝาเปิด-ปิดช่องออกเมล็ดกาแฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 6. พัดลมระบายความร้อน  
 ไม่วากรณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การใช้งานและการทดสอบ

#### 4.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างเครื่องคว่ำกาแฟ
2. ศึกษาการคว่ำเมล็ดกาแฟดิบ

#### 4.2 หลักการทำงานของเครื่องคว่ำกาแฟ

ชกเบรกเกอร์ตั้งเวลา (TIMER) และอุณหภูมิ (TEMP) ตามต้องการ กดสวิทช์ฮีตเตอร์จะเริ่มทำงาน อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงจุดที่ตั้งเอาไว้ TIMER และ ไบคอนในตัวก็จะเริ่มทำงาน ในขณะนั้นฮีตเตอร์ก็จะทำงานต่อไปเรื่อยๆ จนถึงเวลาที่กำหนด ไบคอนจะหยุดทำงาน เมื่อไบคอนหยุดทำงาน เครื่องระบายความร้อน ซึ่งประกอบไปด้วย ไบพัด และพัดลมจะทำงานอัตโนมัติ นำเมล็ดที่ทำการคว่ำแล้ว มาทำการระบายความร้อนที่เครื่องระบายความร้อนซึ่งทำงานอัตโนมัติ รอจนเมล็ดกาแฟเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องจึงชกเบรกเกอร์ลง

#### 4.3 การใช้งาน

1. ชกเบรกเกอร์
2. ตั้ง TEMP และ TIMER ตามที่ต้องการ
3. เปิดสวิทช์
4. รอจนระบบตัด จึงเปิดฝานำเมล็ดกาแฟออกมา
5. นำเมล็ดกาแฟที่ทำการคว่ำแล้วไปที่เครื่องระบายความร้อน
6. รอจนเมล็ดกาแฟเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง
7. ปิดเครื่อง

#### 4.4 ขั้นตอนการทดสอบ

1. ชกเบรกเกอร์
2. ตั้ง TEMP CONTROL และ TIMER ตามที่ต้องการ
3. เปิดสวิทช์
4. รอจนระบบตัด จึงเปิดฝานำเมล็ดกาแฟออกมา
5. นำเมล็ดกาแฟที่ทำการคว่ำแล้วไปที่เครื่องระบายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. รอจนเม็ลต์กาเฟเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง
7. ปิดเครื่อง

หมายเหตุ จะทำการคั่วเม็ลต์กาเฟจำนวน 3 ระดับ ระดับอ่อน ระดับปานกลาง ระดับเข้ม ซึ่งจะคั่วในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

#### 4.5 ลักษณะของตู้คอนโทรล



ภาพที่ 4-1 การตั้งค่า Temp Control



ภาพที่ 4-2 การทำงานของตู้คอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 การทดสอบเครื่อง

จากการทดสอบเครื่องตัวเมสส์คาเฟต์นแบบ จะเห็นได้ว่าเครื่องตัวเมสส์คาเฟต์สามารถทำงานได้แบบอัตโนมัติซึ่งมีระบบของวงจรไฟฟ้าเป็นตัวควบคุมการทำงาน โดยทางผู้ปฏิบัติงานสามารถปรับตั้งอุณหภูมิและระยะเวลาในการทำงานของเครื่องตัวเมสส์คาเฟต์นแบบได้ตามความต้องการ แต่พอทดลองสออบใส่เมสส์คาเฟต์ลงไปเครื่องตัวเมสส์คาเฟต์นแบบมีปัญหาเกิดขึ้นจากการออกแบบของใบพัดเกิดความผิดพลาดทำให้เกิดช่องว่างถึงตัวกับใบพัด ซึ่งส่งผลให้การทำงานของใบพัดติดขัด ทั้งที่ระบบการควบคุมตั้งไว้ยังทำงานอย่างต่อเนื่อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบการใช้งานของเครื่องควมัลติคาเฟต์นแบบ สามารถนำมาใช้เป็นข้อสรุป และข้อเสนอแนะได้ดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการทำปัญหาพิเศษ

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทำปัญหาพิเศษ

ในการทำปัญหาพิเศษ การออกแบบเครื่องควมัลติคาเฟต์นแบบ ได้มีการออกแบบโครงสร้างเครื่องควมัลติคาเฟต์นและวงจรควบคุมการทำงานของเครื่องควมัลติคาเฟต์นและทำการประกอบชิ้นส่วนต่างๆขึ้น ซึ่งทางคณะผู้จัดทำปัญหาพิเศษได้ให้ความสำคัญในด้านการใช้งานได้จริง

จากการทดสอบการใช้งานของเครื่องควมัลติคาเฟต์นแบบ จะเห็นได้ว่า เครื่องควมัลติคาเฟต์นแบบสามารถทำงานได้แบบอัตโนมัติซึ่งมีวงจรเป็นตัวควบคุมการทำงานของเครื่องควมัลติคาเฟต์นแบบ โดยผู้ปฏิบัติงานสามารถปรับตั้งอุณหภูมิและระยะเวลาการทำงานของเครื่องควมัลติคาเฟต์นแบบได้ตามต้องการ จากการทำงานของเครื่องควมัลติคาเฟต์นแบบ ที่ใช้มีระบบการสร้างความร้อนจากฮีตเตอร์

การออกแบบและพัฒนากonstrukเครื่องควมัลติคาเฟต์นแบบนั้น ทางคณะผู้จัดทำได้เริ่มต้นจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้ในการกำหนดขนาด ละชิ้นส่วนที่ใช้เป็นส่วนประกอบในการออกแบบรูปทรงของเครื่องควมัลติคาเฟต์นแบบ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน จากนั้นจึงได้ดำเนินการสร้างอุปกรณ์ซึ่งพอสรุปได้ ดังนี้

- อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิสูงสุด 600องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถปรับตั้งให้มีการทำงานตามที่เราต้องการได้
- ตัวตั้งเวลาสามารถปรับตั้งเวลาการทำงานได้ตั้งแต่ 6 วินาทีถึง 10 ชั่วโมง
- ฮีตเตอร์ ขนาด 220 โวลต์ 3000 วัตต์ สามารถทำอุณหภูมิสูงสุดที่ 300 องศาเซลเซียส
- มอเตอร์ AC แรงม้า 220 โวลต์ 60 วัตต์ ความเร็วรอบสูงสุด 160 รอบต่อนาที

การทดสอบใส่เมล็ดกาแฟลงในเครื่องควมัลติคาเฟต์นแบบมีปัญหาเกิดขึ้นจากการออกแบบใบพัดเกิดความผิดพลาดทำให้เกิดช่องว่างถึงตัวกับใบพัด ซึ่งส่งผลให้การทำงานของใบพัดคืดขัด ทั้งที่ระบบการควบคุมตั้งไว้ยังทำงานอย่างต่อเนื่อง

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ถึงแม้เครื่องแก้วเมสติกกาแพคต้นแบบที่ออกแบบและสร้างขึ้นใหม่จะมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าเครื่องแก้วกาแพคที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน และการทำงานหรือผลผลิตของเมสติกกาแพคได้จากการแก้วโดยรวมสามารถแก้วได้เหมือนกับเครื่องแก้วขนาดใหญ่หรือขนาดมาตรฐานแต่ยังมีข้อบกพร่องที่ต้องแก้ไขหลายประการ

- มีการออกแบบชุดควบคุมความร้อนให้คงที่มากขึ้นคือ ต้องติดตั้งชุดควบคุมความร้อนให้อยู่ติดกับบริเวณตัวถังแก้วให้มากที่สุด เพื่อลดการสูญเสียความร้อน

- ควรพิจารณวากันความร้อนที่มีคุณสมบัติทนความร้อน ประมาณ 300 องศาเซลเซียส บริเวณชุดให้ความร้อนและตัวถังเพื่อให้อุณหภูมิบริเวณตัวถังมีความคงที่และลดการสูญเสียความร้อน

- มีออกแบบใบแก้วกับถังแก้วให้มีระยะห่างกันน้อยที่สุด และลักษณะของใบควรให้รับกับเมสติกที่ใส่เพื่อจะพามาเมสติกกาแพคออกมาด้วยใบแก้วเองมีการออกแบบใบแก้วให้ใบสามารถปรับองศาของใบได้เพื่อให้ใบแก้วสามารถทำมุมกับถังแก้วให้มากที่สุด ในการออกแบบใบแก้วนี้จะส่งผลต่อความสม่ำเสมอของเมสติกกาแพค ฉะนั้นใบแก้วสามารถปรับเปลี่ยนใบได้เมื่อทำการแก้วเมสติกกาแพคได้ไม่สม่ำเสมอ

## เอกสารอ้างอิง

เกียรติชัย รักษาชาติ .2548. เอกสารประกอบการสอนวิชา วศก 266 กลศาสตร์ของแข็ง I

ME 226 Mechanics of Solids I ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์

วอร์คเกอร์ จี. 2542. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในงานอุตสาหกรรม.

ส. เอเชียบเพรช จำกัด กรุงเทพมหานคร

กาญจน์มูณี ศรีศาลภพ .2547. เล่าขาน...ตำนานกาแฟ. : ดอกหญ้ากรู๊ป กรุงเทพมหานคร

Available : [http:// www.roytawan.com/](http://www.roytawan.com/) - 40k – [10กันยายน2550]

Available : [http:// www.chiangmaicoffee.com/coffeeRoast.htm](http://www.chiangmaicoffee.com/coffeeRoast.htm) - 17k [ 25ตุลาคม2550]

Available : <http://www.rmutpysic.com /physics/oldfomt/71/4-vernipr/htm> [3ธันวาคม2550]

Available: <http://www.northheat.com/tubular.html> [7ธันวาคม2550]

Available : <http://www.sbheater.com/finned.asp> [22ธันวาคม2550]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-1 ค่าโดยประมาณของสภาพการนำความร้อนของโลหะที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

สภาพนำความร้อน $W/(m \cdot ^\circ C)$				
โลหะ	100°C	0 °C	100°C	400°C
โลหะเจือของอะลูมิเนียม	120	160	180	-
เหล็กกล้าไร้สนิม	-	43	42	36
เหล็กกล้าไร้สนิม	16	17	19	19
ทองแดง	407	308	374	350
ทองเหลือง	88	100	120	140
นิกเกิล/โครม	12	13	16	18

ตารางที่ 2-2 พิสัยของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

การถ่ายเทความร้อน	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	
	$Btu/(hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F)$	$W/(m^2 \cdot K)$
การพาความร้อนอิสระ (อากาศ)	1-5	5-25
การพาความร้อนบังคับ (อากาศ)	2-100	10-500
การพาความร้อนบังคับ (น้ำ)	20-3,000	100-15,000
น้ำเดือด	500- 5,000	2,500-25,000
ไอน้ำควบแน่น	1,000- 20,000	5,000-10,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-3 ค่าตัวประกอบเฟลิ่งสำหรับการไหลบางชนิด

ของไหล	ความต้านทานเฟลิ่ง	
	(hr·ft <sup>2</sup> ·°F/Btu)	(m <sup>2</sup> ·C/kW)
น้ำทะเล		
ต่ำกว่า 50 °C	$0.5 \times 10^{-3}$	0.09
สูงกว่า 50 °C	$1 \times 10^{-3}$	0.2
น้ำป้อนหม้อน้ำที่บำบัดแล้ว	$1 \times 10^{-3}$	0.2
น้ำมันเตา	$5 \times 10^{-3}$	0.9
น้ำมันหุงแข็ง	$4 \times 10^{-3}$	0.7
ไอแอลกอฮอล์	$0.5 \times 10^{-3}$	0.09
ไอน้ำ	$0.5 \times 10^{-3}$	0.09
อากาศตัน	$2 \times 10^{-3}$	0.4
น้ำยาทำความเร็ว	$1 \times 10^{-3}$	0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-4 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

ของไหล	$U(W/m^2 \text{ } ^\circ C)$
<b>อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อในเซลล์</b>	
น้ำ/น้ำ	1,220-2,440
แอมโมเนีย/น้ำ	1,220-2,440
สารอินทรีย์เบา	370-730
สารอินทรีย์ปานกลาง	240-610
สารอินทรีย์หนัก	25-370
แก๊ส	10-240
น้ำ/น้ำเกลือ	490-980
ไอน้ำ/น้ำ (ตัวอุ่นน้ำป้อน)	980-5,00
ไอน้ำ/แอมโมเนีย	980-3,400
ไอน้ำ/สารอินทรีย์เบา	490-980
ไอน้ำ/สารอินทรีย์ปานกลาง	240-490
ไอน้ำ/สารอินทรีย์หนัก	30-300
ไอน้ำ/แก๊ส	25-240
<b>อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดระบบความร้อนด้วยอากาศ</b>	
น้ำ	680-740
น้ำมันหล่อลื่น	85-170
ไอเสีย	50-170
อากาศ	114-511
ไอน้ำควบแน่น	740-795
สารทำความเย็น R – 12	340-455
<b>อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นเพลต</b>	
น้ำ	3,000-7,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-5 คุณสมบัติจนวนใยแก้วและใยหิน

หีนคุณสมบัติทั่วไป	ใยแก้ว	ใยหิน
ความหนาแน่น	56	60
ทนความร้อนสูง	300	350
การดูดซึมความชื้นต่อน้ำหนัก	<1.5%	<2%
ค่าการนำความร้อน (Btu นิ้วต่อตารางฟุต องศาฟาเรนไฮต์)	0.22	0.235

ตารางที่ 2-6 ลักษณะการใช้งานของฮีตเตอร์

ทองแดง	ใช้กับ	น้ำสะอาด
สแตนเลส 304	ใช้กับ	อากาศที่มีการหมุนเวียน , เตาอบ , น้ำ , น้ำมัน , ของเหลว หรือในอุตสาหกรรมอาหารที่มี pH 5-9
สแตนเลส 316	ใช้กับ	อากาศที่มีการหมุนเวียน กรด , สารละลาย , สารเคมี หรือของเหลวที่มีลักษณะกัดกร่อน
อิน โคลอย 800	ใช้กับ	อากาศที่ไม่มีการหมุนเวียน เช่น ในเตาอบ , น้ำ , น้ำมัน และของเหลวทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-7 รหัสสั่งทำฮีดเตอร์รุ่น HIU

MODEL	เส้นผ่าศูนย์กลาง	ความยาว	แรงดัน	กำลังวัตต์
8x300/220-600W	6,7,8,11 mm.	300 mm.	220,380 V.	600 W.
8x300/220-800W				800 W.
8x300/220-1000W				1000 W.
8x300/220-1500W				1500 W.
8x350/220-800W		350 mm.	220,380 V.	800 W.
8x350/220-1500W				1500 W.
8x350/220-2000W				2000 W.
8x400/220-1000W		400 mm.	220,380 V.	1000 W.
8x400/220-1500W				1500 W.
8x400/220-2000W				2000 W.
8x500/220-1000W				500 mm.
8x500/220-1800W		1800 W.		
8x500/220-2500W		2500 W.		
8x500/220-3000W		3000 W.		
8x600/220-1200W		600 mm.	220,380 V.	1200 W.
8x600/220-2000W				2000 W.
8x600/220-3000W	3000 W.			
8x750/220-1500W	750 mm.			220,380 V.
8x750/220-2500W		2500 W.		
8x750/220-3500W		3500 W.		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-8 ความเร็วต่ำสุดของอุปกรณ์และสารต่างๆ

สำหรับ	ความเร็วลมต่ำสุด
เครื่องสูบลมไฟฟ้า	
เครื่องเชื่อมไฟฟ้า	75 ที่หน้าครอบ
เครื่องพ่นสี	75 ตรงที่คนพ่นสี
เครื่องพ่นทราย	250 ตรงปากหัวครอบ
	40 ตรงปากท่อ
เศษด้าย - ผ้าไหม	500
ฝุ่นหยาบ	
ฝุ่นกระสอบ	750
ฝุ่นยาง	
แป้งทำขนม	
ฝุ่นซีเมนต์	1000
ฝุ่นซีเมนต์	
ฝุ่นทองเหลือง	
ผงถ่าน	2000
ฝุ่นตะกั่ว	2500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-9 ข้อมูลการรชงของพันธุ์เมล็ดกาแฟที่ใช้ระดับในการคั่วของบ้านไร่กาแฟ

<p>ไทยปักษ์ใต้ บรอกเบลนด์</p>	<p>รสเข้ม Strong Coffee</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- พันธุ์โรบัสต้าทางใต้ของไทย</li> <li>- รสขมจัดจ้าน</li> <li>- กลิ่นหอมออกเปรี้ยว</li> <li>- คั่วระดับ 8 ได้สีน้ำตาลอ่อน</li> </ul>
<p>เอเชีย บรอกเบลนด์</p>	<p>รสเข้ม Strong Coffee</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- พันธุ์อาราบิก้าทางเหนือของไทย</li> <li>- รสขมจัดที่สุด</li> <li>- กลิ่นหอมมากถึงความไหม้ของกาแฟ</li> <li>- คั่วระดับ 0 ได้สีดำสนิท</li> </ul>
<p>บ้านไร่ บรอกเบลนด์</p>	<p>รสกลาง Medium Coffee</p> <p>พันธุ์อาราบิก้าทางเหนือของไทย</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- รสขมปานกลาง</li> <li>- กลิ่นหอมหวาน</li> <li>- คั่วระดับ 3 ได้สีน้ำตาลอมหวาน</li> </ul>
<p>บางกอก บรอกเบลนด์</p>	<p>รสอ่อน Light Coffee</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- พันธุ์อาราบิก้าทางเหนือของไทย</li> <li>- รสขมจางๆ นุ่มนวล</li> <li>- กลิ่นหอมละมุนละไม</li> <li>- คั่วระดับ 9 ได้สีน้ำตาลอ่อน</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง

นางสาวนุชกานต์ พุ่มแก้ว เกิดวันที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2528 ภูมิลำเนาอยู่ที่ จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนหอวัง จังหวัด กรุงเทพมหานคร เพื่อปีพุทธศักราช 2546

นางสาวพร้อมพร ชุมทรัพย์ เกิดวันที่ 10 เมษายน พ.ศ. 2529 ภูมิลำเนาอยู่ที่ จังหวัดลพบุรี สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนพิบูลวิทยาลัย จังหวัด ลพบุรี เพื่อปี พุทธศักราช 2546

นางสาวศิวพร แสงกระจ่าง เกิดวันที่ 26 กรกฎาคม พ.ศ. 2528 ภูมิลำเนาอยู่ที่ จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนเบญจมราชาลัย ใน พระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร เพื่อปีพุทธศักราช 2546

นางสาวพัชโรบล โทธิบุญมา เกิดวันที่ 4 มกราคม พ.ศ. 2528 ภูมิลำเนาอยู่ที่ จังหวัด อำนาจเจริญ สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนสารวิทยา จังหวัด กรุงเทพมหานคร เพื่อปีพุทธศักราช 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้