สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

**เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟต้นแบบ**

**(Prototype of Coffec's roast Machine)**

จัดทำโดย

| | | |
|---|---|---|
| นางสาวนุชกานต์ | พุ่มแก้ว | รหัส 47040914 |
| นางสาวพร้อมพร | ขุมทรัพย์ | รหัส 47040917 |
| นางสาวศิวพร | แสงกระจ่าง | รหัส 47040926 |
| นางสาวพัชโรบล | โพธิบุญมา | รหัส 47041114 |

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..... 21 / 3 / 51

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

( อาจารย์ ถิรเดช ดำรงโภวรรณ )

วพ.
ท724ค
2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b 1200988x
i

เลขหมู่
เลขทะเบียน 85437
วัน,เดือน,ปี 11 พ.ย. 2551

**นุชกานต์ พุ่มแก้ว, พร้อมพร ขุมทรัพย์, ศิวพร แสงกระจ่าง, พัชโรบล โพธิบุญมา.2550 : เครื่องคั่วกาแฟต้นแบบ (Prototype of Coffee's roast Machine). ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ถิรเดช คำรงโภวรรณ , 56 หน้า**

กาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจที่ปลูกมากในประเทศไทย ทางภาคเหนือและภาคใต้ โดยส่วนใหญ่จะเป็นพันธ์ อาราบิกาและโรบัสต้าโดยเกษตรกรจะขายในรูปแบบเมล็ดกาแฟตากแห้ง ซึ่งมีราคาราวๆ 60-80 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งมีราคาถูกกว่าเมล็ดกาแฟที่คั่วแล้ว 3-5 เท่าโดยการคั่วเมล็ดกาแฟในปัจจุบันอยู่ในรูปของอุตสาหกรรม ซึ่งมีเครื่องคั่วที่ได้มาตรฐานที่ซื้อจากต่างประเทศและที่สร้างขึ้นในประเทศไทยนั้น ซึ่งมีราคาสูงเกินกำลังซื้อของเกษตรกรไทย ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงได้เกิดโครงงานปัญหาพิเศษฉบับนี้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟระบบไฟฟ้าเพื่อมาเพิ่มมูลค่ากาแฟให้เกษตรกร เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟนี้ใช้มอเตอร์เกียร์ 1 เฟส กระแสสลับ 220 โวลล์ 60 วัตต์ จำนวน 1 ตัว 6 วัตต์ 1 ตัว เป็นต้นกำลังและใช้ฮีตเตอร์ในการให้ความร้อน โดยแยกการทำงานออกเป็น 2 ชุด ที่ประกอบด้วยชุดคั่วและชุดระบายความร้อน จากการทดสอบเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟต้นแบบ จะเห็นได้ว่าเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟสามารถทำงานได้แบบอัตโนมัติซึ่งมีระบบของวงจรไฟฟ้าเป็นตัวควบคุมการทำงาน โดยทางผู้ปฏิบัติงานสามารถปรับตั้งอุณหภูมิและระยะเวลาในการทำงานของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟต้นแบบได้ตามความต้องการ แต่พอทดสอบใส่เมล็ดกาแฟลงไปในเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟต้นแบบมีปัญหาเกิดขึ้นจากการออกแบบของใบคั่วเกิดความผิดพลาดทำให้เกิดช่องว่างถังคั่วกับใบพัด ซึ่งส่งผลให้การทำงานของใบพัดติดขัด ทั้งที่ระบบการควบคุมตั้งไว้ยังทำงานอย่างต่อเนื่อง

การนำไปใช้งานจึงต้องมีการปรับปรุงในการออกแบบใบคั่วให้มีระยะห่างกับตัวถังน้อยที่สุดและสามารถปรับองศาของใบได้เพื่อให้ใบคั่วสามารถทำมุมกับตัวถังให้มากที่สุดซึ่งจะส่งผลต่อความสม่ำเสมอของเมล็ดกาแฟ

นุชกานต์ พุ่มแก้ว
พร้อมพร ขุมทรัพย์
ศิวพร แสงกระจ่าง
พัชโรบล โพธิบุญมา

.....  21/03/51

ลายมือชื่อนักศึกษา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา วัน / เดือน / ปี

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ในการทำปัญหาพิเศษเรื่อง “เครื่องคั่วกาแฟต้นแบบ” ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ของผู้จัดทำปัญหาพิเศษทุกท่านที่คอยให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ กำลังใจ และเงินสนับสนุนในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ และขอขอบพระคุณอาจารย์ถิรเดช ดำรงโภวรรณ เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ซึ่งมีส่วนเป็นอย่างมากในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ที่ได้คอยคำแนะนำในการสร้างเครื่องคั่วกาแฟต้นแบบ และช่วยเหลือด้านเงินสนับสนุนในการสร้างเครื่องคั่วกาแฟต้นแบบ และเพื่อนทุกๆคนที่คอยให้ความช่วยเหลือรวมถึงเพื่อนๆคณะวิศวกรรมไฟฟ้า(หลักสูตรต่อเนื่อง)

นุชกานต์ พุ่มแก้ว
พร้อมพร ขุมทรัพย์
ศิวพร แสงกระจ่าง
พัชโรบล โพธิบุญมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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 การนำความร้อนในครีบ | 10 |
| 2.2.2 ความต้านทานผิวสัมผัส | 11 |
| 2.3 การพาความร้อน | 12 |
| 2.4 การแผ่รังสีความร้อน | 14 |
| 2.5 การถ่ายเทความร้อนรวม | 16 |
| 2.6 ฉนวนกันความร้อน | 19 |
| 2.7 หลักการทำงานของเครื่องคั่วกาแฟที่ใช้กันอยู่ | 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 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเมล็ดกาแฟ | 27 |
| 2.12.1 พันธุ์ของเมล็ดกาแฟที่ใช้เป็นวัตถุดิบ | 28 |
| 2.12.2 มาตรฐานการผลิตกาแฟ | 28 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)


| บทที่ | หน้า |
|---|---|
| 3. การออกแบบและสร้าง | 31 |
| 3.1 การออแบบเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ | 31 |
| 3.1.1 การคำนวณขนาดภาชนะคั่วเมล็ดกาแฟ | 31 |
| 3.1.2 การออกแบบใบพัดคั่วและเพลา | 31 |
| 3.1.3 การคำนวณกำลังขับมอเตอร์ | 32 |
| 3.1.4 การออกแบบชุดให้ความร้อน | 32 |
| 3.2 ขั้นตอนการสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ | 33 |
| 3.2.1 การตัดเตรียมวัสดุทำโครงสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ | 33 |
| 3.2.2 โครงเครื่อง | 33 |
| 3.2.3 ฉนวนกันความร้อน | 34 |
| 3.2.4 การออกแบบถังคั่วในชิ้นที่ 1-5 | 34 |
| 3.2.5 ส่วนประกอบต่างๆของถังคั่ว | 34 |
| 3.2.6 ชุดถังเกลี่ยเมล็ดกาแฟ | 34 |
| 3.2.7 ขั้นตอนการประกอบขึ้นโครงสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ | 35 |
| 3.2.8 ขั้นตอนการติดตั้งชุดส่งกำลังและอุปกรณ์กำเนิดความร้อน | 36 |
| 3.2.9 ขั้นตอนการติดตั้งวงจรไฟฟ้า | 38 |
| 4. การใช้งานและการทดสอบ | 44 |
| 4.1 วัตถุประสงค์ | 44 |
| 4.2 หลักการทำงานของเครื่องคั่วกาแฟ | 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 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2-1 | ค่าโดยประมาณของสภาพการนำความร้อนของโลหะที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน | 50 |
| 2-2 | พิสัยของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน | 50 |
| 2-3 | ค่าตัวประกอบเฟาลิงสำหรับการไหลบางชนิด | 51 |
| 2-4 | ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม | 52 |
| 2-5 | คุณสมบัติฉนวนใยแก้วและใยหิน | 53 |
| 2-6 | ลักษณะการใช้งานของฮีตเตอร์ | 53 |
| 2-7 | รหัสสั่งทำฮีตเตอร์รุ่น *HIU* | 54 |
| 2-8 | ความเร็วต่ำสุดของอุปกรณ์และสารต่างๆ | 55 |
| 2-9 | ข้อมูลการชงของพันธุ์เมล็ดกาแฟที่ใช้ระดับในการคั่วของบ้านไร่กาแฟ | 56 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2-1 | การนำความร้อนผ่านผนังเรียบ และ ผนังท่อกลม | 7 |
| 2-2 | การนำความร้อนผ่านผนังเรียบหลายชั้น และวงจรไฟฟ้าเทียบเคียง | 8 |
| 2-3 | การนำความร้อนผ่านท่อกลมหลายชั้น และวงจรไฟฟ้าเทียบเคียง | 9 |
| 2-4 | ผิวท่อที่ติดครีบ (a) ครีบภายใน และ (b) ครีบภายนอก | 11 |
| 2-5 | (a) แผนภาพการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลที่ถูกกั้นแยกด้วยผนัง และ (b) วงจรเปรียบเทียบของแผนภาพ (a) | 17 |
| 2-6 | ขนาดและรูปร่างของฮีตเตอร์แบบตัว U | 27 |
| 3-1 | โครงเครื่อง | 33 |
| 3-2 | เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ | 35 |
| 3-4 | การติดตั้งชุดส่งกำลังและอุปกรณ์กำเนิดความร้อน | 37 |
| 3-5 | การติดตั้งวงจรไฟฟ้า | 39 |
| 3-6 | โครงสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ | 42 |
| 3-7 | โครงสร้างต่างๆของเครื่องระบายความร้อน | 43 |
| 4-1 | การตั้งค่า Temp Control | 45 |
| 4-2 | การทำงานของตู้คอนโทล | 45 |
| 4-3 | แถบสีเปรียบเทียบสีเมล็ดกาแฟที่ทำการคั่วแล้ว | 46 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันร้านกาแฟโบราณและร้านกาแฟสดที่จำหน่ายตามห้างสรรพสินค้า หรือร้านอาหารต่างๆ เป็นที่นิยมกันมากในหมู่นักเรียน, นักศึกษา, พนักงานบริษัทห้างร้านต่างๆ และในแต่ละกลุ่มผู้บริโภคนั้น ต้องการกาแฟที่มีชนิดที่ต่างกัน จึงทำให้เกิดการผลิตเมล็ดกาแฟคั่วเพื่อนำไปทำกาแฟชนิดต่างๆตามความต้องการของผู้บริโภคที่มีจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ และอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน

ขั้นตอนในการผลิตเมล็ดกาแฟคั่วนั้น ผู้ผลิตต้องอาศัยความชำนาญในการกะปริมาณความร้อน และระยะเวลาในการคั่วให้เหมาะสม ซึ่งจะทำให้ผลผลิตที่ได้ออกมานั้นมีคุณค่าตามความต้องการของผู้บริโภค จึงเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก และในบางครั้งอาจก่อให้เกิดความเสียหายของวัตถุดิบหรือได้ผลผลิตออกมาแบบไม่มีคุณภาพ จึงเป็นการสิ้นเปลืองวัตถุดิบและระยะเวลาในการผลิต ซึ่งเทคโนโลยีในการผลิตเมล็ดกาแฟคั่วแบบเก่าอาจก่อให้เกิดมลภาวะที่เป็นพิษ เนื่องจากปริมาณความร้อนที่นำมาใช้ในการคั่วเมล็ดกาแฟนั้นจะได้มาจากไม้ฟืน หรือถ่านไม้ต่างๆ และการใช้เชื้อเพลิงเพลิงประเภทนี้จะก่อให้เกิดควันพิษ หรือฝุ่นละออง อันเนื่องมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการคั่วเมล็ดกาแฟ ในขณะเดียวกันผู้ปฏิบัติงานและผู้อาศัยอยู่ใกล้เคียงกับบริเวรที่ใช้ในการปฏิบัติงานจะได้รับอันตรายต่อสุขภาพ อันเนื่องมาจากควันพิษ หรือฝุ่นละอองต่างๆที่ปะปนออกมากับอากาศ

จากปัญหาดังกล่าวทางคณะผู้จัดทำโคลงงานจึงนำเอาความรู้และวิชาที่ได้ศึกษามาประยุกต์และพัฒนาเครื่องคั่วกาแฟให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยการติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดความร้อนซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนแทนการใช้ไม้ฟืน ที่เป็นเหตุให้เกิดมลพิษทางอากาศและได้ทำการติดตั้งแผงควบคุม ซึ่งสะดวกต่อการควบคุมปริมาณความร้อนและระยะเวลาให้เหมาะสมในการคั่วเมล็ดกาแฟ เพื่อที่จะได้คั่วเมล็ดกาแฟที่มีคุณภาพตามความต้องการของผู้บริโภคและยังลดการสูญเสียของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**1.2 วัตถุประสงค์ของการทำปัญหาพิเศษ**

1.2.1 เพื่อออกแบบ และสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟเป็นเครื่องต้นแบบ

1.2.2 ทดสอบระบบการทำงานของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟต้นแบบ

**1.3 คำจำกัดความ**

1.3.1 เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ คือ เครื่องที่สร้างขึ้นมาไว้ใช้คั่วเมล็ดกาแฟ ซึ่งมีการทำงานทางกลโดยใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับคั่วเมล็ดกาแฟ และฮีตเตอร์ไฟฟ้าในการให้ความร้อน

1.3.2 ฮีตเตอร์ คือ อุปกรณ์ที่กำเนิดความร้อนเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน

1.3.3 วัตถุดิบ คือ เมล็ดกาแฟที่นำมาทำการคั่ว

1.3.4 กาแฟโบราณ คือ กาแฟที่มีส่วนผสมของเมล็ดกาแฟ,ถั่วเหลือง,เมล็ดข้าวโพด

1.3.5 กาแฟสด คือ กาแฟที่ไม่มีส่วนผสมอื่นๆ มาเจือปน

**1.4 สถานะของปัญหาและวิธีการที่ทำการศึกษาปัญหาพิเศษ**

1.4.1 ศึกษาความร้อนและรอบความเร็วรอบที่ใช้คั่วเมล็ดกาแฟไม่เหมาะสม ทำให้เกิดเมล็ดกาแฟที่ไม่ได้คุณภาพ

1.4.2 เวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมจะต้องพิจารณาจากสีและกลิ่นของเมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วแล้ว

**1.5 ขอบเขตของการทำปัญหาพิเศษ**

1.5.1 เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟสามารถปรับตั้งอุณหภูมิตั้งแต่ 35 ถึง 250 องศาเซลเซียส โดยใช้ฮีตเตอร์ ขนาด 220 โวลต์ 3000วัตต์

1.5.2 เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟสามารถปรับตั้งเวลา ตั้งแต่ 6 วินาที ถึง 10 ชั่วโมง โดยใช้ตัวตั้งเวลา

1.5.3 เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟสามารถคั่วเมล็ดกาแฟได้ครั้งละ 1 กิโลกรัม

1.5.4เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟหมุนที่ความเร็วรอบคงที่ ที่ 60-166 รอบต่อนาที โดยใช้มอเตอร์ขนาด 220 โวลต์ 60 วัตต์ โดยมีตัวทดรอบติดอยู่กับตัวมอเตอร์

**1.6 สมมุติฐานในปัญหาพิเศษ**

1.6.1 เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟสามารถคั่วเมล็ดกาแฟออกมาได้สีตามที่ต้องการ

1.6.2 เวลาและอุณหภูมิเป็นตัวแปรสำคัญในการทำให้การคั่วเมล็ดกาแฟออกมามีคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6.3 เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟเมื่อคั่วเมล็ดกาแฟเมล็ดกาแฟจะไม่เกาะติดที่ภาชนะที่ใช้ทำการคั่ว

1.6.4 คุณภาพของเมล็ดกาแฟที่ได้จากการทดลอง พิจารณาจากสีของเมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วเป็นหลัก โดยไม่มีการพิจารณาเรื่องรสชาติ

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำปริญญานิพนธ์

1.7.1 สร้างเครื่องเมล็ดกาแฟต้นแบบ

1.7.2 สามารถเลือกเวลา และอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการคั่วเมล็ดกาแฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่2
# ทฤษฎีเกี่ยวข้อง

สำหรับการสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ ที่ใช้ในการคั่วเมล็ดกาแฟที่ได้ผ่านการหาความชื้นแล้วนั้นทางคณะผู้จัดทำได้ศึกษาทฤษฎีและเอกสารเกี่ยงข้องมีดังนี้

2.1 ธรรมชาติของความร้อน

2.2 การนำความร้อน

2.3 การพาความร้อน

2.4 การแผ่รังสีความร้อน

2.5 การถ่ายเทความร้อนรวม

2.6 ฉนวนกันความร้อน

2.7 หลักการทำงานของเครื่องคั่วกาแฟที่ใช้กันอยู่

2.8 ระบบส่งกำลัง

2.9 วัสดุที่ใช้ในการผลิต

2.10 พัดลม

2.11 ฮีตเตอร์

2.12 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเมล็ดกาแฟ

**2.1 ธรรมชาติของความร้อน**

คนทั่วไปซึ่งแม้จะไม่ใช่เป็นคนที่ศึกษามา โดยตรงทางสาขาวิชาความร้อนก็มีความคุ้นเคยกับคำว่า "ความร้อน" หรือ "การถ่ายเทความร้อน" เป็นอย่างดีจากประสบการณ์ในชีวิตประจำวัน แต่บุคลเหล่านี้อาจจะนึกภาพความร้อนว่าเป็นของไหลที่ไม่มีน้ำหนัก และมองไม่เห็นซึ่งถูกขับดันให้ถ่ายเทจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำ ภาพจำลองหรือแนวความคิดเช่นนี้เป็นพื้นฐานในการศึกษาปรากฏการณ์เกี่ยวกับความร้อนในสมัยโบราณ จวบจนกระทั่งปี ค.ศ. 1850 จูล (James Prescott Joule) จึงได้แสดงให้เห็นว่า พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงรูปได้จากรูปหนึ่งไปสู่อีกรูปหนึ่ง และพลังความร้อนเป็นพลังรูปหนึ่งซึ่งถือว่าเป็นการปูพื้นฐานของศาสตร์ทางเทอร์โมไดนามิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองอย่างง่ายแบบหนึ่งได้มาจากทฤษฎีทางจลน์ ของแก๊สตามทฤษฎีนี้ของโมเมกุล ของสสารประกอบด้วยอะตอมซึ่งเป็นเสมือนลูกบิดเลียด ซึ่งอาจจะอยู่เดี่ยวๆหรือเป็นกลุ่มสองหรือสามลูกโมเลกุล

เหล่านี้มีการเคลื่อนที่ทั้งในรูปของการเลื่อนไหล(Translation),การหมุน และสั่น อุณหภูมิของระบบเป็นสิ่งที่บอกระดับของพลังงานของโมเลกุลของระบบอันเนื่องมาจากการเลื่อนไหล, การหมุนและการสั่นดังกล่าว ระบบที่มีอุณหภูมิสูงแสดงว่าโมเลกุลของระบบมีการเคลื่อนที่อย่างคึกคักส่วนระบบที่อุณหภูมิต่ำ แสดงว่าโมเลกุลของมันมีพลังงานจากการเคลื่อนไหวมี่ไม่มากนัก เมื่อนำระบบอุณหภูมิสูงเข้ามาติดกับระบบอุณหภูมิต่ำ โมเลกุลที่มีการเคลื่อนที่อย่างคึกคักด้วยพลังงานสูงของระบบอุณหภูมิสูงจะปะทะกับโมเลกุลที่ค่อนข้างเชื่องช้าของระบบอุณหภูมิต่ำ โมเลกุลที่เชื่องช้าจะถูกกระตุ้นให้มีพลังงานสูงขึ้น นั้นคือทำให้ระบบอุณหภูมิต่ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่โมเลกุลของระบบอุณหภูมิสูงจะมีพลังงานลดลงเนื่องจากสูญเสียพลังงานบางส่วนออกไป เป็นผลให้ระบบอุณหภูมิสูงจะมีอุณหภูมิลดลง

ภาพแบบจำลองดังกล่าวค่อนค้างจะใกล้เคียงกับความเป็นจริง ในกรณีของแก๊สที่มีความดันต่ำสำหรับแก๊สที่มีความดันสูงและของเหลวภาพจำลองดังกล่าวใช้ได้ไม่ดีนัก เนื่องจากในกรณีนี้โมเลกุลจะอยู่ใกล้ชิดกันทำให้มีแรงอื่นมาเกี่ยวข้อง นอกเหนือจากแรงจากการปะทะกัน ส่วนในของแข็งภาพจำลองนี้เป็นจริงยิ่งน้อยลงสำหรับโลหะซึ่งมีอิเล็กตรอนอิสระเป็นจำนวนมาก เราก็อาจจะขยายแบบจำลองข้างต้นให้คลอบคลุมแนวคิดของแก๊สอิเล็กตรอนได้ อย่างไรก็ตามในอโลหะมีอิเล็กตรอนอิสระค่อนข้างน้อย ดังนั้นพาหนะที่เป็นหลักในการถ่ายเทความร้อนก็ คือ การสั่นของโคลงผลึก และแบบจำลองข้างต้นไม่สามารถที่จะใช้ได้

การถ่ายเทความร้อนแบ่งออกได้เป็นสามโหมดหรือลักษณะ ได้แก่ การนำความร้อน, การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน เพื่อความสะดวกในการคำนวณทางวิศวกรรมเรามักจะพิจารณาโหมดของการถ่ายเทความร้อนแต่ละโหมดแยกกัน จากนั้นจึงนำมารวมกันเป็นผลสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2 การนำความร้อน**

การนำความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านของแข็ง รวมทั้งการถ่ายเทความร้อนในของเหลวหรือแก๊สเมื่อของเหลวหรือแอแก๊สนั้นไม่มีการเคลื่อนที่ ตัวอย่างเช่น เมื่อเราเผาปลายข้างหนึ่งของแท่งโลหะ เราจะพบว่าในไม่ช้าปลายอีกข้างหนึ่งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากการนำความร้อนไปตามแท่งโลหะนั้นเอง

อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนสามารถหาได้โดยอาศัยกฎของฟูเรียร์ ซึ่งเขียนในรูปสมการได้เป็น

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

เมื่อ $q_x$ = อัตราการนำความร้อนในทิศทาง X

A = พื้นที่ของการนำความร้อนในทิศทางตั้งฉากกับ X

K = สภาพการนำความร้อนของวัสดุ

dT/dX = เกรเดียนต์ของอุณหภูมิ ณ จุดที่พิจารณา

สภาพนำความร้อนเป็นสมบัติของวัสดุซึ่งสามารถหาค่าได้จากตาราง หรือแผนภาพ ในกรณีที่รู้รายระเอียดของวัสดุที่เกี่ยวข้อง ในกรณีที่ไม่รู้รายละเอียดของวัสดุโดยครบถ้วนก็อาจจะต้องหาค่าสภาพนำความร้อน โดยการทดลองโดยทั่วไปโลหะ ตารางที่ 2-1 แสดงค่าประมาณของโลหะบางตัวที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

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

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

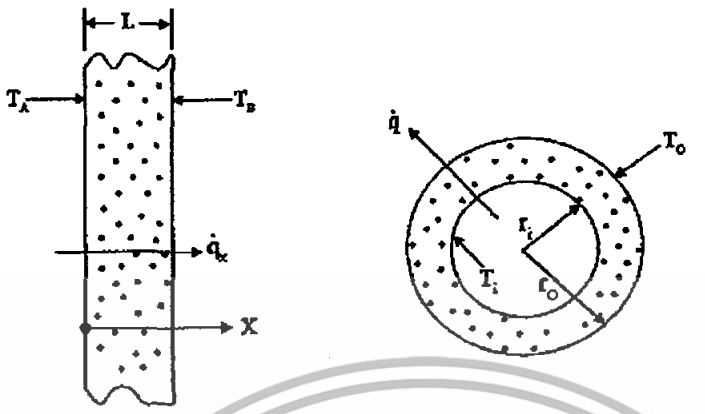
ในการเขียนสมการ เราอาศัยความสัมพันธ์ $dt/dx = (T_A-T_B)/L$ เราอาจเขียนสมการเสียใหม่ให้อยู่ในรูปที่เทียบเคียงได้กับกฎของโอห์มในทางไฟฟ้า ดังต่อไปนี้

$$q_x = \frac{T_A - T_B}{R_W} \qquad (2\text{-}3)$$

เมื่อ $R_W$ = ความต้านทานทางความร้อน

= L/Ak

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




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

**ซึ่งจะเห็นความคล้ายคลึงกับกฎของโอห์มอย่างชัดเจนจากสมการ ต่อไปนี้**

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

**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 อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังท่อสามารถคำนวณได้โดยใช้การเปรียบเทียบกับกฎของโอห์มในทำนองเดียวกันกับสมการนั่น คือ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q_x = \frac{Ti - To}{R_W} \qquad (2\text{-}5)$$

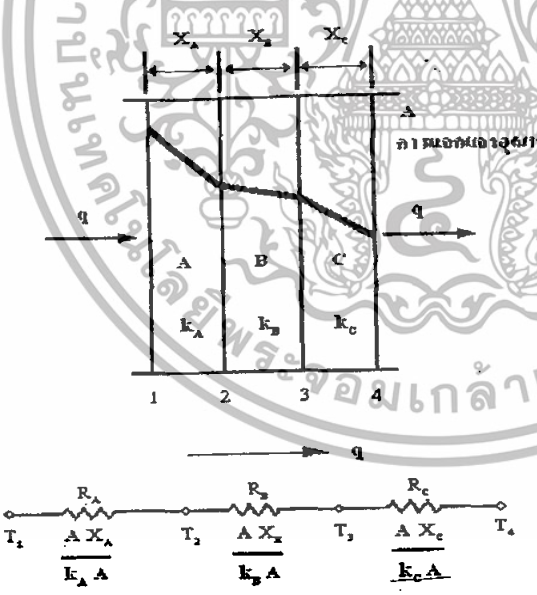
เมื่อ $R_W = \ln (r_o/ri) 2\P kL$

สำหรับในกรณีของการนำความร้อนผ่านผนังหลายชั้น นั้นหลักการของความต้านทานก็ยังคงใช้ได้ ยกตัวอย่าง เช่น การนำความร้อนผ่านผนังเรียบสามชั้น ดังแสดงในภาพ 2-2 อัตราการถ่ายเทความร้อนในทิศทางตามที่แสดงในการคำนวณได้จากสมการ

$$q_x = \frac{T_1 - T_4}{R_W} \qquad (2\text{-}6)$$

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 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

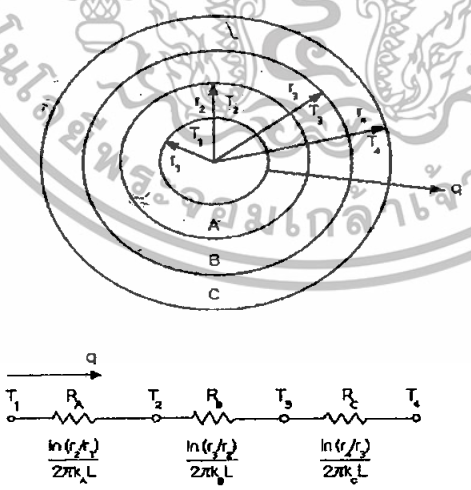
ในทำนองเดียวกันสำหรับการนำความร้อนผ่านผนังท่อหลายชั้น ดังแสดงในภาพที่ 2-3 อัตราการถ่ายเทความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$q_x = \frac{T_1 - T_4}{R_W} \qquad (2\text{-}7)$$

เมื่อ $$R_w = \frac{In(r_2/r_1)}{2\P LK_A} + \frac{In(r_3/r_2)}{2\P LK_A} + \frac{In(r_4/r_3)}{2\P LK_A}$$

¶ในกรณีของการถ่ายเทความร้อนใส่ห่อหุ้มฉนวน นั้น ชั้น A ดังแสดงในภาพที่ 2-3 จะเป็นตัวท่อโลหะ เช่น ท่อเหล็กกล้าหรือท่อทองแดงเป็นต้น, ชั้นB จะเป็นฉนวนหุ้ม และชั้น C จะเป็นอลูมิเนียมฟอยล์บาง ในกรณีนี้ความต้านทานทางความร้อนของท่อ และอลูมิเนียมฟอยล์มีค่าต่ำกว่าของฉนวนมาก จึงทิ้งได้ และสมการจะกลายเป็น

$$q_x = \frac{T_1 - T_4}{In(r/r)/2\P k_B} \qquad (2\text{-}8)$$







ภาพที่ 2-3 การนำความร้อนผ่านท่อกลมหลายชั้น และวงจรไฟฟ้าเทียบเคียง

ที่มา นายพรเทพและคณะ(2548)

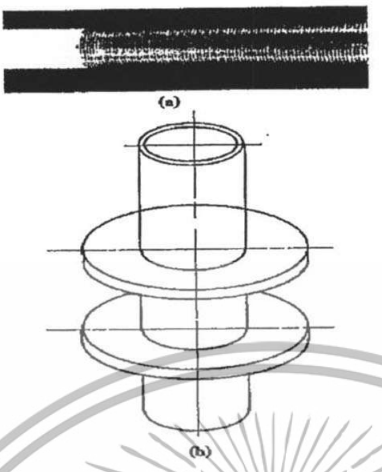
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2.1 การนำความร้อนในครีบ**

ปริมาณของพลังงานความร้อน ที่ถ่ายเทจากพื้นผิวของแข็งไปสู่ของไหล ที่ไหลผ่านพื้นผิวนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง หนึ่งในจำนวนนั้นก็คือ พื้นที่ของพื้นผิวที่สัมผัสกับของไหล ฉะนั้นการเพิ่มปริมาณการถ่ายเทความร้อนจึงอาจจะกระทำได้โดยการขยายพื้นที่ดังกล่าว ด้วยการเสริมครีบบนพื้นผิวถ่ายเทความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 2-4 การออกแบบครีบในการใช่งานจริงมีความยุ่งยากเพิ่มขึ้น ในแง่ของความเหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งอยู่นอกขอบเขตของหนังสือนี้ ในที่นี้จะเพียงแต่ให้ข้อสังเกตว่า การแจกแจงอุณหภูมิบนครีบจะขึ้นอยู่กับสภาพการนำความร้อนของวัสดุของครีบปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ถูกระบายจากพื้นผิวของครีบ โดยการพาความร้อนไปสู่ของไหลที่พัดผ่านพื้นผิวครีบนั้น ครีบจะมีอุณหภูมิสูงสุดที่ส่วนฐาน และค่อยๆ ลดต่ำลงไปสู่ปลายครีบ

*การเสริมครีบให้แก่ท่อเปลือย* แม้ว่าจาเป็นการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน แต่พึงระลึกไว้ว่าครีบจะบดบังบางส่วนของผิวท่อ ซึ่งจะลดประสิทธิผลในการถ่ายเทความร้อน นอกจากนี้ครีบจะต้องได้รับ การยึดให้แน่นสนิทเข้ากับผิวท่อเพื่อขจัดความต้านทานของผิวสัมผัส ระหว่างผิวท่อกับฐานครีบ เมื่อพิจารณาในแง่นี้ครีบจะถูกหล่อ หรือตัดขึ้นมาจากเนื้อของตัวท่อย่อมจะดีกว่าการทำเป็นท่อ เปลื่อย แล้วจึงนำครีบมายึดติดในภายหลัง การยึดครีบติดกับผิวท่อด้วยเทคนิคโลหะเหลวกล่าว คือ การเชื่อมหรือบัดกรีจะช่วยป้องกันปัญหาเกี่ยวกับความต้านทานของหน้าสัมผัสได้การยึดให้แน่นสนิทเข้ากับผิวท่อ เพื่อขจัดความต้านทานของผิวสัมผัสระหว่างผิวท่อกับฐานครีบ เมื่อพิจารณาในแง่นี้ครีบที่ถูกหล่อ หรือตัดขึ้นมาจากเนื้อของตัวท่อย่อมจะดีกว่าการทำเป็นท่อเปลือย แล้วจึงนำครีบมายึดติดในภายหลัง การยึดครีบติดกับผิวท่อด้วยเทคนิคโลหะเหลวกล่าว คือ การเชื่อมหรือบัดกรีจะช่วยป้องกันปัญหาเกี่ยวกับความต้านของหน้าสัมผัสได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




ภาพที่ 2-4 ผิวท่อที่ติดครีบ (a) ครีบภายใน และ (b) ครีบภายนอก
ที่มา นายพรเทพและคณะ(2548)

การเสริมครีบบนพื้นผิวเปลือย ไม่ได้เพิ่มปริมาณการถ่ายเทความร้อนเป็นสัดส่วน ตรงกับพื้นผิวที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากอุณหภูมิเฉลี่ยของครีบจะต่ำกว่าอุณหภูมิของพื้นผิวท่อเปลือยก่อนติดครีบ ทำให้ตัวขับดันการถ่ายเทความร้อนลดลง นอกจากนี้ครีบยังกีดขวางการไหลของการไหลของของไหลได้อีกด้วย

**2.2.2 ความต้านทานผิวสัมผัส**

เมื่อวัตถุที่เป็นตัวนำสองชิ้น ซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกัน ถูกนำมาแตะกันก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้นการถ่ายเทความร้อนดังกล่าว มักเกิดขึ้นไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากผิวสัมผัสไม่แนบสนิทเป็นเนื้อเดียวกันกับการเชื่อม ซึ่งจะทำให้ติดกันเป็นเนื้อเดียวกัน พื้นผิวที่สัมผัสกันนั้น หากขยายดูในระดับจุลภาค ก็จะเห็นว่าประกอบด้วย ส่วนที่เป็นยอกกับส่วนที่เป็นหลุม ส่วนที่จรดกันจริงๆ มักจะเป็นส่วนยอด และเกิดเกิดเป็นช่องว่างขึ้นตรงส่วนที่เป็นหลุม ช่องว่างนี้โดยทั่วไปจะถูกจุไว้ด้วยวัสดุที่มีสภาพนำความร้อนเช่น อากาศ,น้ำมัน เป็นต้น

การกีดขวางต่อการไหลของความร้อนที่ผิวสัมผัส สามารถคิดออกมาในรูปของความต้านทานทางความร้อนเรียกว่า ความต้านทานผิวสัมผัส ซึ่งนิยามตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_i = \frac{\Delta T_i}{(q^{\cdot}/A)} \qquad (2\text{-}9)$$

เมื่อ $R_i$ = ความต้านทานผิวสัมผัส

$\Delta T_i$ = ผลต่างอุณหภูมิของผิวสัมผัสทั้งสอง

$(q^{\cdot}/A)$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผิวสัมผัสต่อหน่วยพื้นที่

สำหรับพื้นผิวที่มีการสัมผัสแนบสนิทสมบูรณ์แบบ ความต้านทานผิวสัมผัสจะเป็นศูนย์ และ $\Delta T_i$ จะเป็นศูนย์ เนื่องจากผิวสัมผัสทั้งสอง มีอุณหภูมิเท่ากัน

**2.3 การพาความร้อน**

การพาความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการเคลื่อนพาของไหล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นผิวของแข็งกับของไหลที่พัดผ่านไปบนพื้นผิวของแข็งนั้น การถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นผิวของแข็งกับของไหล อาจจะเป็นการนำความร้อนอย่างเดียว ในกรณีที่ไม่มีการเคลื่อนที่ของของไหลเทียบกับพื้นผิวของแข็ง อัตราการพาความร้อนสามารถคำนวณหาโดยใช้กฎการระบายความร้อนของนิวตัน คือ

$$q^{\cdot} = Ah\,(T_W - T_F) \qquad (2\text{-}10)$$

เมื่อ $q^{\cdot}$ = 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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(การควบแน่น) จะมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงมาก เมื่อเทียบกันในกรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ

การทำนายค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในอุปกรณ์รูปลักษณ์ใหม่ ที่ยังไม่เคยทดลองมาก่อนนับว่าเป็นเรื่องค่อนข้างยาก ปกติจะคำนวณหาด้วยสูตรสำเร็จที่หามาได้จากการวิเคราะห์ทางทฤษฎีร่วมกับผลการทดลอง ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับสมบัติของของไหลและเส้นทางการไหลที่กำหนดให้นั้น สัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยหลักใหญ่จะขึ้นกับความเร็วของของไหล

ในการถ่ายเทความร้อนโดยบังคับนั้น ของไหลจะถูกขับดัน (ด้วยปั๊ม เป็นต้น) ให้ไหลด้วยความเร็วสูงกว่า การขับดันด้วยแรงลอยตัวตามธรรมชาติ 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/ผนังความสัมพันธ์โดยประมาณต่อไปนี้

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

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

เราอาจนำหลักการของความต้านทานทางความร้อนมาใช้ ในการคำนวณหาการพาความร้อนก็ได้ โดยการจัดรูปสมการ ดังต่อไปนี้

$$q_x = \frac{Tw - T_F}{I / Ah} \qquad (2\text{-}11)$$

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

เมื่อ $R_C = I/Ah$

= ความต้านทานทางความร้อนในการพาความร้อนความต้านทานเฟาลิ่ง

หลังจากที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนถูกใช้งานไปแล้วระยะหนึ่ง อัตราการพาความร้อนภายใต้ผลต่างอุณหภูมิที่กำหนดให้จะลดต่ำลงทั้งนี้ เนื่องจากมีคราบสกปรกเกาะสะสมบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นผิวถ่ายเทความร้อน คราบสกปรกนี้ทำให้เกิดความต้านทานทางความร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งกรีดขวางการถ่ายเทความร้อน คราบสกปรกเหล่านี้ เกิดจากเกลือแร่ที่ตกตะกอนจากน้ำ คราบคาร์บอนอันเนื่องมาจากการเกิดโคลีเมอร์ของสารประกอบอินทรีย์ บนพื้นผิวที่ร้อนเกิดขีดการตกตะกอนจากสิ่งปนเปื้อนพวกสารละลาย,สนิมและตะกรัน ซึ่งเกิดขึ้นจากการกัดกร่อน ตลอกจนคราบจากการเกาะสะสมอื่นๆ

คราบสกปรกเหล่านี้เรียกร่วมๆ ว่า "เฟาลิ่ง" และเราเรียกว่าความต้านทานทางความร้อนของคราบสกปรกเหล่านี้ว่า ความต้านทานเฟาลิ่ง เพื่อใช้ในการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านพื้นผิวที่เกิดเฟาลิ่ง ความต้านทานเฟาลิ่งมีความแปรผันค่อนข้างมาก จึงเป็นการยากที่จะระบุค่าให้แม่นยำ อย่างไรก็ตามอาศัยประสบการณ์ที่สั่งสมไว้โดยบริษัทผู้ผลิต และผู้ใช้งานได้นำไปสู่การจัดทำตารางตัวประกอบเฟาลิ่ง f(=I/R) โยสมาคมวิชาชีพด้านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ตารางที่2-3 เป็นตัวอย่างค่าตัวประกอบเฟาลิ่งทั่วไป

**2.4 การแผ่รังสีความร้อน**

ในการถ่ายเทความร้อน โดยการแผ่รังสีความร้อนนั้น เป็นการส่งความร้อนไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วสูง การแผ่รังสีความร้อนสามารถผ่านสุญญากาศได้ ซึ่งต่างจากการนำความร้อน และการพาความร้อนซึ่งจะต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน

แสงแดดเป็นตัวอย่างพลังงานแผ่รังสีที่เราคุ้นเคยที่สุด ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาหลอมตัวชนิดให้ความร้อนซึ่งเกิดขึ้นในภาวะที่ค่อนข้างคงตัว ดวงอาทิตย์เปรียบเทียบได้กับดวงไฟกลมที่อุณหภูมิ 5,800 เคลวิน ทรงกลมที่ร้อนแรงนี้จะปลดปล่อยรังสีที่เข้มข้น ซึ่งจะเดินทางเป็นระยะทางประมาณ 150ล้านกิโลกรัมผ่านห้วงอากาศ ซึ่งถือว่าเป็นสุญญากาศจนถึงโลกของเราในเวลา 8 นาที แสงแดดเป็นสิ่งเดียวที่ค้ำจุนชีวิตบนโลก ถ้าปราศจากแสงแดดจากดวงอาทิตย์สิ่งมีชีวิตก็ไม่อาจดำรงชีวิตอยู่ได้

พลังงานการแผ่รังสีที่ปลดปล่อยจากวัตถุสามารถคำนวณได้จาก

$$\dot{q}_{rad} = A\varepsilon\sigma T^4 \qquad (2\text{-}12)$$

$\dot{q}_{rad}$ = อัตราการเปล่งพลังงานรังสี

A = พื้นผิวที่เปล่งพลังงานรังสี

$\varepsilon$ = สภาพการเปล่งรังสีของพื้นผิวมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

$\sigma$ = ตังคงค่าสเตฟาน - โบลตซ์มันน์เท่ากับ

T = อุณหภูมิของพื้นผิวในหน่วยเคลวิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่า อัตราการเปล่งงานรังสีเป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิยกกำลังสี่

ตามปกติการแผ่รังสีความร้อนจะมีค่าน้อยตัดทิ้งได้ เว้นแต่ เมื่อพื้นผิวมีอุณหภูมิสูงมาก การแผ่รังสีความร้อนมีความสำคัญ เช่นกันในระบบอุณหภูมิต่ำมาก ซึ่งได้มีการทำให้เป็นสุญญากาศ เพื่อขจัดการนำความร้อนและการพความร้อน

เมื่อวัตถุที่มีการเปล่งรังสีถูกปิดล้อมโดยสมบูรณ์ ตัวอย่างเช่น เปลวไฟในปล่องไฟ อัตราการถ่ายเทความร้อนสุทธิโยการแผ่รังสีจากวัตถุไปสู่พื้นผิวปดล้อม สามารถหาได้จากสมการ

$$\dot{q}_r = A\varepsilon\sigma T^4 ( T^4_1 - T^4_2) \qquad (2\text{-}13)$$

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

$$\dot{q}_{(1\text{-}2)} = \alpha_2 A_2 F_{(1\text{-}2)} A_1 \varepsilon_1 \sigma (T^2_1 + T^2_2)(T+T)(T-T) \qquad (214)$$

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

$A_2$ = พื้นผิวของวัตถุ 2

$F_{(1\text{-}2)}$ = สัดส่วนของรังที่ปลดปล่อยออกจากวัตถุ 1 และตกกระทบลงบนวัตถุ 2 มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

การแผ่รังสีความร้อนจะประกอบรวมกับการถ่ายเทความร้อน โดยการนำและการพา ในงานวิศวกรรมทุกชนิด ดังนั้น วิธีการที่สะดวกวิธีหนึ่งในการคำนวณการแผ่รังสีความร้อนก็คือการใช้หลักการของความต้านทานทางความร้อน นั่นคือ เราอาจจัดรูปสมการเสียใหม่ได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q^{\circ}_{(1-2)} = \alpha_2 A_2 F_{(1-2)} A_1 \varepsilon_1 \sigma (T^2_1+T^2_2)(T_1+T_2)(T_1-T_2) \quad (2\text{-}15)$$

$$= \frac{T_1 - T_2}{R_1}$$

เมื่อ $R_1 = \dfrac{I}{\alpha_2 A_2 F_{(1-2)} A_1 \varepsilon_1 \sigma)(T_1+T_2)(T_1+T_2)}$

= ความต้านทานทางความร้อนของการแผ่รังสีความร้อน

## 2.5 การถ่ายเทความร้อนรวม

โดยปกติเราจะไม่พิจารณากระบวนการถ่ายเทความร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแยกย่อยโดยละเอียด แต่มักจะพิจาณาการถ่ายเทความร้อนรวมกันในรูปของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U ซึ่งถูกนิยามขึ้น เพื่อใช้ในการถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจากสมการ

$$q^{\circ} = AU\Delta T \quad (2\text{-}16)$$

$q^{\circ}$ = 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 $T_1$ บน

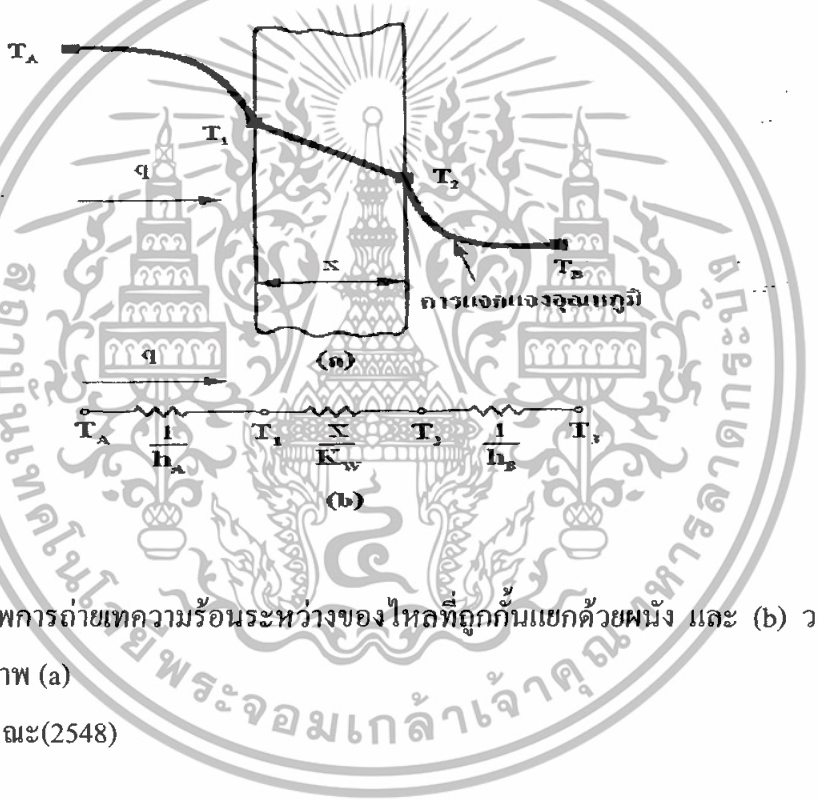
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



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

อัตราการถ่ายเทความร้อนจากของไหล A ไปสู่ของไหล B ต่อหน่วยพื้นที่ของผนังสามารถคำนวณได้จากสมการ โดยอาศัยข้อเท็จจริงที่ว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนจากของไหลหนึ่งไปสู่อีกของไหลหนึ่ง ย่อมเท่ากับอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นความต้านทานชั้นใดชั้นหนึ่ง




**ภาพที่** 2-5 (a) แผนภาพการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลที่ถูกกั้นแยกด้วยผนัง และ (b) วงจรเปรียบเทียบของแผนภาพ (a)

**ที่มา** นายพรเทพและคณะ(2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

85437

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

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

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

เมื่อ $q^{\circ}_{AB}$ = 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

$$q^{\circ} = Aq^{\circ}_{AB} = \frac{A(T_A - T_B)}{1/h_A + x/k_W + 1/h_B} \quad (2\text{-}20)$$

$$= \frac{A(T_A - T_B)}{R_A + R_W + R_W}$$

ในการคำนวณการถ่ายเทความร้อน จากของไหลที่หนึ่งไปสู่ของไหลที่สอง โดยใช้สมการคำนวณตามแนวความคิดของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมนั้น จะมีพื้นที่การถ่ายเทความร้อนมาเกี่ยวข้องด้วย ในกรณีของการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังระนาบค่อนค้างจะตรงไปตรงมา เนื่องจากพื้นผิวที่สัมผัสกับของไหลที่หนึ่ง และของไหลที่สองมีพื้นที่เท่ากัน แต่สำหรับการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังท่อ เนื่องจากพื้นผิวภายในกับภายนอกมีพื้นที่ไม่เทากัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่เป็นท่อหนา ความแตกต่างของพื้นที่ก็จะยิ่งมีผลมากขึ้น ในกรณีนี้การคำนวณหาการถ่ายเทความร้อนโดยใช้สมการคำนวณ จะต้องเลือกใช้พื้นที่ A ให้สอดคล้องกับค่า U กล่าวคือ ถ้าเป็นค่า U ที่หามาโดยอ้างอิงกับพื้นผิวด้านใน (ภายในหรือภายนอก) การคำนวณด้วยสมการ ก็ต้องใช้พื้นที่ของพื้นผิวด้านนั้นตารางที่ 2-4 เป็นตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม $U_o$ ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั่วไป ตัวอักษรห้อย "O" ที่ปรากฏใน $U_o$ เป็นการบ่งชี้ว่า การคำนวณหาการถ่ายเทความร้อนให้ใช้พื้นที่ของผิวภายนอกท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

วิธีใช้แผนภูมินี้ เราเริ่มต้นด้วยการกำหนดจุดบนแกนบนและล่างให้สอดคล้องกับชนิดของของไหล 1 และของไหล 2 ตามลำดับ จากนั้นจึงโยงเส้นตรงระหว่างจุดทั้งสองจุด (เส้นประในภาพ) จุดที่เส้นตรงนี้ตัดกับแกรนกลางจะเป็นค่าโดยประมาณของสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทความร้อนรวม ตัวอย่างเส้นประที่ลากไว้ในรูปนั้นของไหล 1 เป็น Heavy Organics ซึ่งมีค่า ประมาณ 140 และของไหล 2 เป็นน้ำ Coolling Tower ซึ่งมีค่า ประมาณ 260 จากแผนภูมิอ่านค่า U ได้ประมาณ 90 Btu/(hr•ft$^2$•$^\circ$F) ค่า U นี้อาจจะหาได้จากการคำนวณ ดังนี้

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

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

**2.6 ฉนวนกันความร้อน**

ฉนวนที่เหมาะสมสำหรับเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟมีลักษณะทั่ว ๆ ไป ดังนี้

2.6.1 ควรทนอุณหภูมิได้สูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้งานโดยคุณสมบัติไม่เปลี่ยนมากนัก

2.6.2 มีน้ำหนักเบาและมีโครงสร้างที่สามารถตัดให้เป็นขนาดที่ต้องการได้ง่าย และสามารถโค้งงอได้ตามรูปทรงของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ

2.6.3 การยึดตัวคงทน ต้านความชื้นได้ดี 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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคุณสมบัติอันแรก คือ ทนความร้อนสูง ทำให้การเลือกฉนวนง่ายขึ้นมาก เพราะฉนวนที่ทนความร้อนสูงตั้งแต่ 300 องศาเซลเซียส ขึ้นไป จะเหลืออยู่เพียง 3 ชนิด

1.ใยแก้ว (Glass Fiber)

2.ใยหิน (Rockwool)

3. แคลเซียม ซิลิเคท (Calcium Silicate)

และจากคุณสมบัติข้อ 2 และ ข้อ 3 ทำให้ตัดแคลเซียม ซิลิเตท ออกได้ เนื่องจากการตั้งแต่เป็นไปได้ยาก เพราะเป็นของแข็ง จากตาราง ที่ 2-5 พบว่า ฉนวนกันความร้อน ทั้งแบบใยแก้วและใยหิน มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ดังนี้

จากตารางที่ 2-5 จะเห็นได้ว่า

1. ใยหินหนักกว่าเล็กน้อย คือ 60 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ขณะที่ใยแก้วมีน้ำหนัก 65 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2. ใยหินอุณหภูมิสูงกว่า คือ 350 องศาเซลเซียส ขณะที่ใยแก้วทนได้ 300 องศาเซลเซียส

3. ใยหินมีค่าการนำความร้อนสูงกว่าเล็กน้อย

**2.7 หลักการทำงานของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟที่ใช้กันอยู่**

จากการศึกษาและวิเคราะห์การทำงาน ชิ้นส่วนกลไกของเครื่องต้นแบบ ทั้งผลิตภายในประเทศ และนำเข้าจากต่างประเทศจากการดำเนินการสำรวจเครื่องคั่วกาแฟที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันพบว่ามีอยู่ 2 แบบ ด้วยกันคือ

ก) แบบถังคั่วที่อยู่กับที่ ภายในมีใบครีบ 2 ชั้น (บนและล่าง) หมุนกวน

ข) แบบถังหมุน ภายในมีครีบ 2 ชั้น (บนและล่าง) วางสลับกันอยู่กับที่ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

**ก) แบบถังคั่วที่อยู่กับที่**

เป็นแบบที่พัฒนาจากกรรมวิธีดั้งเดิม ซึ่งคั่วในกระทะใบบัวใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงโดยใช้ใบกวนขณะคั่วต่อมามีการพัฒนามาเป็นตัวถังกระบอก ภายในมีครีบยึดติดกับแกนเพลาวางสลับกัน 2 ชั้น ลักษณะครีบด้านหน้าก็จะผลักเมล็ดกาแฟไปทางด้านหน้าซึ่งจะทำหน้าที่สลับกันโดยใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง สำหรับแกนใบครีบกวนอาจใช้แรงงานคนหมุน หรือใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ข) แบบถังหมุน**

ภายในถังจะมีครีบเพื่อให้เมล็ดกระจายตัวขณะทำการคั่ว ตัวถังจะมีรูปทรงกลมและทรงกระบอก เชื้อเพลิงจะใช้ได้ทั้ง ถ่านไม้ ฟืน และแก๊สหุงต้ม โดยจะมีมอเตอร์หรือเครื่องยนต์เป็นตัวขับเครื่องถังคั่ว

จากการสำรวจและวิเคราะห์เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ พบว่า แบบถังหมุนจะมีประสิทธิ์ภาพมากกว่าเพราะความร้อนสามารถกระจายอย่างสม่ำเสมอ ส่วนตัวถังอยู่กับที่มีครีบหมุน จะพบว่าตัวถังบริเวณด้านล่าง จะถูกความร้อนโดยตรง จึงสะสมความร้อนอยู่ตลอดเวลา นอกจากจะทำให้วัสดุชำรุดเสียหายเร็วแล้วผู้ใช้เครื่องต้องมีระสบการณ์และความชำนาญสูง มิฉะนั้นจะมีโอกาสสูงมากที่เมล็ดกาแฟจะไหม้เกรียมเกินไปจนเสียคุณภาพได้

**2.8 ระบบส่งกำลัง**

การพัฒนาเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟมีทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณ อยู่หลายเรื่องด้วยกันซึ่งสามารถแยกออกได้ดังนี้

ก) มอเตอร์

ข) เพลาส่งกำลัง

ค) การยึดด้วยสลักเกลียว

ซึ่งมีรายระเอียดดังนี้

**ก) มอเตอร์**

ลักษณะสำคัญของมอเตอร์ไฟฟ้าที่สำคัญ

มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในอุตสาหกรรมเป็นมอเตอร์ไฟสลับ จำแนกได้เป็นประเภทใหญ่ๆ 2 ประเภท ได้แก่ มอเตอร์ขนาดเล็กซึ่งมีขนาดเป็นทศนิยมของกิโลโวตต์หรือกำลังม้า ใช้กับไฟเฟสเดียว 220 โวลต์ และมอเตอร์ขนาดใหญ่ๆ ที่ใช้ไฟสามเฟสด้วยขนาดกำลังที่เป็นจำนวนกิโลวัตต์หรือกำลังม้าที่ลงตัว

มอเตอร์ขนาดเล็กพบใช้งานตามสถานีงานเล็กๆ ทั่วไป มอเตอร์ขนาดเล็กที่ใช้กับไฟฟ้าเฟสเดียว220 โวลต์ มักมีขนาดไม่ใหญ่โตกว่า 250 วัตต์หรือ 1/3 กำลังม้า มอเตอร์เล็กๆเหล่านี้มีราคาถูกไม่เหมาะที่ใช้งานตรากตำ หรือ งานหนักที่ต้องอยู่ในสภาวะแวดล้อม ที่กัดกร่อนหรือผุกลอนได้ง่าย มอเตอร์ที่บ่งไว้ว่า “ปกปิดมิดชิด” หมายถึงปกปิดกันฝุ่นได้ แต่กันไอเคมีไม่ได้มอเตอร์เล็กๆ เหล่านี้แตกต่างกันที่วิธีสตาร์ท เช่นสตาร์ด้วยคาปาซิเตอร์ และด้วยแรงผลักแม่เหล็กเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละวิธีก็มีข้อได้เปรียบแตกต่างกันแต่ที่นิยมมากที่สุดคือสตาร์ทด้วยคาปาซิเตอร์ หรือคอนเดนเซอร์ซึ่งมีทอร์คบิดขณะเริ่มสตาร์ทสูงเหมาะใช้กับเครื่องพัดลม เครื่องวกวน เครื่องผสม และงานเอนกประสงค์ทั่วไป

มอเตอร์ขนาดใหญ่ที่ใช้กับไฟสามเฟส 380 โวลต์ มักมีขนาดไม่ใหญ่โตกว่า 75 กิโลวัตต์ ( 1ooแรงม้า ) มอเตอร์เหนียวนำแบบกรงกระรอกเป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้กันมากมี่สุดในโรงงานเคมีอุตสาหกรรม เพราะไว้วางใจได้ บำรุงรักษาง่ายราคาถูกทั้งราคามอเตอร์และราคาใช้งานลักษณะหมุนของมอเตอร์

**ข) เพลาส่งกำลัง**

ข้อควรพิจารณาในการออกแบบเพลา

เพลาอาจจะรับแรงดึง แรงกด แรงบิด หรือแรงเฉือนหรือแรงรวมกันก็ได้ ดั้งนั้นการคำนวณจึงต้องใช้ความเค้นผสมเข้าช่วย แรงเหล่านี้ยังอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลาทำให้เพลาเสียหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะต่าง นอกจากนั้นเพลายังจะต้องมี ความแข็งเกร็ง ( Rigidity) เพียงพอเพื่อลดมุมบิดภายในเพลาให้อยู่ให้อยู่ในขีดจำกัดที่พอเหมาะ

ถึงแม้ว่าจะไม่มีมาตรฐานสำหรับพิกัดมุมบิดของเพลาไว้ก็ตาม ในทางปฏิบัติแล้วมักจะให้มุมบิดเพลาเครื่องจักรทั่วไปไม่เกิน 0.3 องศา ต่อความยาว 20 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพลา ระยะโก่ง ( Deflection ) ของเพลาก็เป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดของเพลาเช่นเดียวกันเพราะถ้ามีระยะโก่งมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุน ทำความเร็ววิกฤต (Critical speed ) ของเพลาลดลง ซึ่งอาจทำให้เพลามีการสั่นอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็วของเพลาเข้าใกล้ความเร็ววิกฤต ระยะโก่งนี้ยังมีผลต่อการเลือกชนิดที่รองรับเพลา ซึ่งอาจเป็นแบริ่งธรรมดาหรือแบริ่งแบบปรับแนวได้เอง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าระยะโก่งเป็นสำคัญ สำหรับเพลาเครื่องจักรกล ระยะโก่งระหว่างระยะจุดที่รองรับด้วยแบริ่งควรจะไม่เกิน 0.8 มิลลิเมตร/เมตร

**วัสดุที่ใช้ทำเพลา**

เพลาของเครื่องจักรกลส่วนมากมักทำโดยกรรมวิธีดึงเย็น แล้วแต่งผิวให้เรียบโดยนำแท่งเหล็กเหนียวที่ได้มาฆ่าออกซิเจน( Kill Inogot ) ที่มีคาร์บอนผสมอยู่ตามเปอร์เซ็นต์ ที่กำหนด แต่วัสดุที่ได้ตามวิธีการดังกล่าวไม่ตรงอย่างแท้จริง และจะมีความเค้นหลงเหลืออยู่ในวัสดุเมื่อนำมาเซาะร่องลิ่มก็จะทำให้เพลาหดเนื่องจากความไม่สมดุลย์ของแรงเค้นที่หลงเหลือนี้ แต่ในขณะเดียวกันการดึงเย็นก็จะทำให้ผิวของเพลาแข็งแรงเพิ่มขึ้นไปด้วย

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ค) การจับยึดด้วยสลักเกลียว**

การแบ่งชนิดของอุปกรณ์จับยึดด้วยเกลียวแบ่งตามวิธีการที่ใช้จับยึดจำแนกได้ดังนี้

1) สลักเกลียวและแป้นเกลียวจับเกลียวเป็นแท่งทรงกระบอก ปลายข้างหนึ่งมีเกลียวและอีกข้างหนึ่งมีหัวสี่เหลี่ยมหรือหัวหกเหลี่ยม หัวนี้มีไว้จับเพื่อหมุนสลักเกลียว หรือยึดสลักเกลียวไว้เพื่อหมุนแป้นเกลียวให้จับยึดชิ้นงานการยึดด้วยสลัก หรือแป้นเกลียวนี้กับบริเวณที่สามารถหมุนหัวสลักเกลียวและแป้นเกลียวได้สะดวก เช่นรอยต่อด้วยหน้าแปลน นิยมใช้ยึดด้วยสลักเกลียวเพราะเมื่อขันแน่นแล้วลำตัวของสลักเกลียวอยู่ภายใต้แรงดึงเพียงอย่างเดียวเท่านั้นนอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนใหม่ได้ง่ายถ้าสลักเกลียวขาดหรือเกลียวขาด

2) หมุดเกลียว แตกต่างไปจากสลักเกลียวคือใช้ขันเข้าไปในชิ้นงานชิ้นหนึ่งที่ต้องการยึดโดยมิต้องใช้แป้นเกลียว ใช้กับงานที่ไม่สามารถใช้สลักเกลียวได้เนื่องจากมีเนื้อที่ไม่พอหรือใช้กับรอยต่อที่ไม่มีการถอดบ่อยนักเพราะจะทำให้เกลียวตัวเมียชนชิ้นงานเสียหายได้ การยึดที่แน่นอนโดยใช้หมุดเกลียวยึดเข้าไปในชิ้นงานไม่น้อยกว่าหนึ่งเท่าครึ่งของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุหมุดเกลียวเมื่อชิ้นงานเป็นเหล็กกล้า แต่ถ้าชิ้นงานเป็นเหล็กหล่อก็ให้ใช้เป็นสองเท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุของหมุดเกลียว

3) สลักเกลียวสตัดมักเรียกย่อๆว่า สตัด เป็นแท่งทรงกระบอก มีเกลียวที่ปลายทั้งสองข้าง การยึดสตัดทำได้โดยขันสตัดเข้าไปในชิ้นงานชิ้นหนึ่งซึ่งมีเกลียวขันที่ปลายอีกข้างหนึ่ง

4) หมุดเกลียวจักรกล เป็นหมุนเกลียวขนาดเล็กมีรูปร่างต่างๆกัน ส่วนมากที่หัวมักจะมีร่องเพื่อใช้ไขควงขันได้ โดยทั่วไปจะใช้กับงานประกอบชิ้นงานขนาดเล็ก

5) หมุดเกลียวปรับ เป็นหมุดเกลียวชนิดกึ่งยึด ใช้ป้องกันการเกิดการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างผิวเลื่อนของผิวที่ติดอยู่ด้วยกันโดยใช้ผลของความเสียดทาน เช่น ยึดปลายเพลาให้ติดกับเพลา ยึดดุมล้อสายพานให้ติดกับเพลา เป็นต้น หมุดเกลียวปรับมีหัวและปลายต่างๆกัน ปลายของหมุดเกลียวปรับจะต้องทำให้แข็ง เพื่อป้องกันการสึกหรอหรือมักใช้กับการส่งแรงน้อย

**2.9 วัสดุที่ใช้ในการผลิต**

เนื่องจากโครงสร้างเครื่องส่วนใหญ่มีหน้าที่ไวเพียงเพื่อรับแรงดึงให้ใช้เหล็กฉาก ในการสร้างโครงเครื่อง ส่วนตะแกรงและลูกบดนั้นถือเป็นสิ่งสำคัญเพราะว่าต้องสัมผัสกับเมล็ดกาแฟ ดังนั้นจึงได้ออกแบบให้ตะแกรงทำจากเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**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 ความดันสแตติก ณ จุดใดจุดหนึ่ง นิ้วน้ำเป็นเกจ

Vp = Velocity pressure ความดันความเร็ว ณ จุดใดจุดหนึ่งนิ้วน้ำเป็นเกจ

Tp = Total pressure ความดันรวม ณ จุดใดจุดหนึ่ง นิ้วน้ำเป็นเกจ

$P_s$ = Fan static pressure ความดันรวมสแตติกของพัดลม นิ้วน้ำเป็นเกจ

$P_v$ = Fan vilocity pressure ความดันความเร็วของพัดลม นิ้วน้ำเป็นเกจ

$P_t$ = Fan total pressure ความดันรวมของพัดลม นิ้วน้ำเป็นเกจ

N = Rotational speed รอบพัดลม รอบต่อนาที

H = กำลังที่ให้กับเพลาของพัดลม กำลังม้าเบรก (Brake horsepower)

$H_o$ = กำลังที่ลมมีอยู่ตอนขาออกจากพัดลม กำลังม้าของลม (Air horsepower)

$n_t$ = ประสิทธิภาพทางกล

$n_s$ = ประสิทธิภาพทางสแตติก

D = ขนาดของพัดลม หรือเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัด

P = ความหนาแน่นของลม ปอนด์ต่อตารางฟุต

$A_o$ = พื้นที่ทางออกของพัดลม ตารางฟุต

$K_w$ = Specific sound power lever ระดับกำลังเสียงจำเพาะ เดซิเบล $10^{12}$ วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**นิยาม**

1. ปริมาณลม Q คือปริมาณลม เป็น ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที ที่พัดลมสามารถทำได้ เมื่อกำหนดสภาพขาเข้าของพัดลม

2. ความดันรวมของพัดลม $P_t$ ความดันรวมของลม ตอนที่ออกจากพัดลมลบด้วยความดันรวมตอขาเข้า

3. ความดันเร็วของพัดลม $P_v$ คือความดันที่คิดจากความเร็ว โดยเฉลี่ยของลม ซึ่งมีค่าเท่ากับปริมาณลม หารด้วยพื้นที่ทางออกของพัดลม

4. ความดันสแตติกของพัดลม $P_s$ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ $P_t - P_v$

5. กำลังของลมตอนขาออกจากพัดลม $H_o$ กำหนดมีหน่วยเป็นกำลังม้าของลมมีค่าขึ้นอยู่กับ Q และ PT

6. กำลังที่ให้ H กำหนดให้มีหน่วยเป็นกำลังม้าเบรค วัดจากกำลังม้าที่ให้กับเพลา

7.ประสิทธิภาพทางกล ( หรือประสิทธิภาพรวมของพัดลม ) $n_t$ มีค่าเท่ากับ $H_o/H$

ประสิทธิภาพสแตติก $n_s$ มีค่าเท่ากับ $n_t \times (P_s/P_t)$

8. จุดที่วัด (Point of rating) อาจเป็นจุดใดจุดหนึ่งบนกราฟแสดงสมรรถนะของพัดลมก็ได้ แล้วแต่กรณี ซึ่งจะต้องกำหนดไว้

**ชนิดของพัดลม**

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

## 2.11 ฮีตเตอร์

คือ มีขดลวดความร้อนบรรจุอยู่ในท่อโลหะช่องว่างระหว่าง ขดลวดความร้อนและท่อโลหะจะถูกอัดแน่นด้วยผงแมกนีเซี่ยมออกไซด์ และถูกรีดลงให้มีความหนาแน่น ตามมาตรฐานวัสดุที่ใช้ทำ Tubular Heaterมีหลายชนิดต่างกันตามลักษณะการใช้งาน ดังนี้

ฮีทเตอร์ท่อกลม แบบตัว "U"

มีทั้งแบบสแตนเลส304 ,316 และ อินโคลอยด์พร้อมทั้งดัดตามแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คุณลักษณะ**

- ให้ความร้อนคงที่สม่ำเสมอ
- ราคาประหยัด อายุการใช้งานยาวนาน
- สามารถใช้ได้ในอากาศ, น้ำ หรือแม่พิมพ์โลหะได้
- เหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ

**ประโยชน์การนำไปใช้งาน**

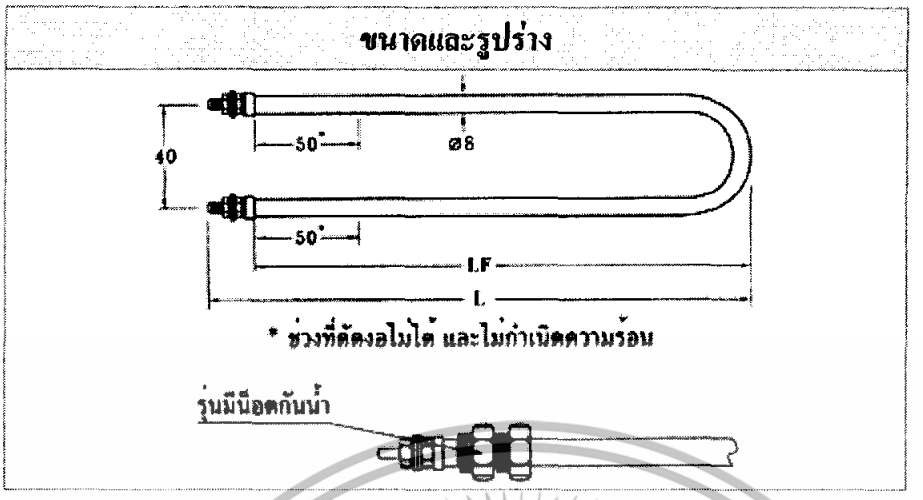
- ใช้สำหรับงานอบแห้งทั่วไป เช่น อบสีรถยนต์, อบพืชผลทางการเกษตร, อบเส้นใยผ้า, อบชิ้นส่วนอะไหล่รถยนต์ เป็นต้น
- ใช้ในงานอุ่น - ต้มน้ำ, น้ำมัน และของเหลว
- ให้ความร้อนแม่พิมพ์โลหะ

- ใช้ให้ความร้อนในห้องอบเซาน์น่า
- ใช้ในห้องควบคุมความชื้น เป็นต้น

**ข้อควรระวัง**

1) ฮีทเตอร์แบบตัว "U" เมื่อยังไม่เคยใช้งานและยังไม่เคยผ่านความร้อนมาก่อน สามารถดัดงอได้ แต่เมื่อดัดแล้วห้ามดัดกลับ
2) รัศมีของการดัดโค้งต้องไม่น้อยกว่า 2 ซม. (∅4 ซม.)
3) ฮีทเตอร์นี้ใช้ได้ในอากาศ ในน้ำ ฝังในโลหะ หรือแม่พิมพ์โลหะได้ แต่ต้องพิจารณาค่าวัตต์ให้เหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภท ตามหมายเหตุที่ระบุไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




ภาพที่ 2-6 ขนาดและรูปร่างของฮีตเตอร์แบบตัว U

การคำนวณใช้สูตร

ปริมาณลม(ลูกบาศก์ก์ฟุต/นาที) = พื้นที่รวมของหัวครอบ(ตารางฟุต) X ความเร็วลมของหัวครอบ / หัวดูด (ฟุต)

ความดันลมสแตติก คือความดันของพัดลมที่มีเพื่อเอาชนะแรงเสียดทานต่างๆเช่นแรงเสียดทานในระบบท่อกลม แผ่นกรองอากาศ คอยล์ และหน้ากากลมในจำนวนนี้แรงเสียดทานในระบบท่อลม แผ่นกรองอากาศ และคอยล์คือส่วนที่จะมีผลมากที่สุดแรงเสียดทานในระบบท่อลมโดยทั่วไปจะประมาณเท่ากับ 0.1 นิ้วน้ำต่อความยาว 100 ฟุต

**2.12 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเมล็ดกาแฟ**

กาแฟเป็นไม้พุ่มขนาดย่อม ลำต้นสูงเต็มที่ประมาณ 9 เมตร แต่ที่ปลูกกันในไร่กาแฟมักนิยมตัดยอดให้มีพุ่มสูงเพียง 4 เมตรกว่าๆเพื่อให้เก็บผลได้สะดวก ใบกาแฟเป็นรูปยาวรีสีเขียวเข้มเป็นมันมีขอบเป็นหยักเล็กน้อย ยวาประมาณ 10 เซนติเมตร ดอกสีขาวออกเป็นช่ออยู่ตามโคนใบขนาดโตกว่าดอกมะลิเล็กน้อย มีกลิ่นหอมเหนื่อยๆ ดอกกาแฟบานติดอยู่กับต้นเพียง 2-3 วัน ก็จะร่วงเหลือผลกาแฟจับกันเป็นกลุ่มมีสีเขียว แล้วค่อยๆกลายเป็นสีน้ำตาลทอง เมื่อสุกเต็มที่จะเห็นเป็นพวกสีแดงสด กาแฟต้นหนึ่งจะให้ผลเป็นเมล็ดกาแฟที่นำไปคั่วได้เพียงประมาณ 1 กิโลกรัม/หนึ่งฤดูกาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.11.1 พันธุ์ของเมล็ดกาแฟที่ใช้เป็นวัตถุดิบ**

กาแฟชนิดต่างๆที่ปลูกกันในโลกมีอยู่มากมาย ต่างก็ให้กลิ่นและรสชาติที่แตกต่างกันออกไปแต่ในตลาดการค้านิยมอยู่ 2 พันธุ์เท่านั้น คือกาแฟพันธุ์อาราบิกา (Arabica) และ พันธุ์โรบัสต้า (Robusta) และยังมีอีก 2 พันธุ์ ที่ยังคงมีปลูกอยู่บ้างในปริมาณที่น้อยคือ พันธุ์ไลเบอริก้า (Liberrica) และพันธุ์ เอกเซลซ่า (Excelsa)

ในทางการค้ามีภาษาพิเศษที่ใช้เรียกคุณสมบัติของกาแฟอยู่ 3 ตัวคือ

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

กาแฟในกลุ่มบราซิลและไมล์เป็นกาแฟพันธุ์อะราบิก้าที่มีคุณภาพรสชาติพอๆกัน ก่อนนั้นกาแฟที่ปลูกในบราซิลเป็นที่นิยมกันทั่วโลก โดยเฉพาะออย่างยิ่งกาแฟ Brazil Santos และประเทศบราซิลยังเป็นตลาดใหญ่ในการผลิตที่ส่งออกมากที่สุด แต่ปัจจุบันกาแฟอะราบิกาที่ปลูกในแอฟริกาก็คุณภาพดีไม่แพ้กัน กาแฟพันธุ์อะราบิก้าจะให้ผลผลิตดีเมื่อปลูกในพื้นที่สูงกว่าระดับทะเลมากๆเท่านั้น เช่นกาแฟที่มีชื่อเสียงที่สุดปลูกที่ยอดเขาบูลเมาเท่นในจาไมก้า เหนือระดับน้ำทะเลถึง 600- 1200 เมตร

กาแฟโรบัสต้า ปลูกกันมากในแอฟิกาโดยเฉพาะคองโก กาแฟพันธุ์นี้ทนโรค ทนแมลงได้ดีกว่าพันธุ์อาราบิก้า และมีปริมาณคาแฟอีนมากกว่า จึงนิยมนำมาทำกาแฟสกัดคาแฟอีนและกาแฟไร้คาแฟอีน แต่ในกลุ่มคอกาแฟถือว่ากาแฟที่ชงจากเมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้ามีรสชาติและกลิ่นดีกว่ากาแฟโรบัสต้า

ในไทยกาแฟพันธุ์อาราบิก้าปลูกได้ดีเฉพาะภาคเหนือ เช่น เชียงใหม่ เชียงราบและแม่ฮ่องสอน ส่วนใหญ่โรบัสต้าปลูกกันมากในภาคใต้ตั้งแต่จังหวัดชุมพรลงไป และปลูกได้ในที่ราบสูงกว่าระดับน้ำทะเลไม่มากนัก ที่ขึ้นชื่อมากก็คือกาแฟเขาช่องจังหวัดตรัง

**2.12.2 มาตรฐานการผลิตกาแฟ**

มาตรฐานการผลิตกาแฟนี้ครอบคลุมเฉพาะ กาแฟซึ่งได้จากต้นกาแฟมีชื่อทางพฤษศาตร์ว่า คอฟเฟีย อาราบิก้า (Coffea Arabica) และคอฟเฟีย คานิฟอรา และพันธุ์โรบัสต้า Coffer canephora , var, robusta)
ที่ปลูกในประเทศไทยเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

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

**บ้านไร่กาแฟ**

บ้านไร่กาแฟ ผลิตผลไทยแท้ๆกาแฟที่ชมมากหากแก้ว่วงได้น้อยกาแฟสด(ปรุงสดๆ) 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) รสชมจัด หอมมากถึงความไหม้ของกาแฟ เมล็ดกาแฟมีสีดำสนิท

1.2 ไทย เบลนด์ (เบอร์ 1) รสชมเข้ม กลิ่นหอมไหม้ เมล็ดกาแฟคั่ว มีสีดำเข้ม

**2.ระดับกลาง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ**

2.1 บ้านไร่ เบลนด์ (เบอร์ 3) รสชมปานกลาง กลิ่นหอมหวาน เมล็ดกาแฟมีสีน้ำตาลอมดำ

2.2 คอฟฟี่เอฟ เบลนด์ (เบอร์ 5) รสชมกลมกล่อม กลิ่นหอมกรุ่นเมล็ดกาแฟมีสีน้ำตาลเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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 เบอร์9 (บางกอก เบลนด์) รสอ่อนที่สุด มีสารกาแฟมากที่สุด(สารกาแฟประกอบด้วยสารต่าง ๆ ราว 600 ชนิด) ก็เนื่องมาจาก การคั่วน้อยนั่นเอง ซึ่งจะแก้ง่วงได้ดี ตรงกันข้าม (เบอร์ 0 เอเชียเอสเพรสโซ) มีรสขมจัดที่สุดผ่านการคั่วมากกว่าชนิดอื่น ทำให้สารกาแฟในเมล็ดสลายตัวออกไปมากย่อมแก้ง่วงได้น้อย

**คำอธิบายระดับต่างของสีเมล็ดกาแฟที่คั่ว**

ระดับ 0 คือ เมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วจนได้สีของเมล็ดกาแฟเป็นสีดำสนิท

ระดับ 3 คือ เมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วจนได้สีของเมล็ดกาแฟเป็นสีน้ำตาลอมดำ

ระดับ 8 คือ เมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วจนได้สีของเมล็ดกาแฟเป็นสีน้ำตาลอ่อน

ระดับ 9 คือ เมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วจนได้สีของเมล็ดกาแฟเป็นสีน้ำตาลอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# การออกแบบและสร้าง

ขั้นตอนการออกแบบและสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟมี ดังนี้

3.1 การออกแบบเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ

3.2 การสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ

## 3.1 การออกแบบเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ

3.1.1 การคำนวณขนาดภาชนะคั่วเมล็ดกาแฟ

วัสดุที่ใช้สร้างภาชนะ คือ เหล็ก จุดสำคัญที่เลือกใช้ คือ เนื่องจากเครื่องที่เป็นสแตนเลสและอลูมิเนียมมีราคาแพง จึงใช้เหล็กในการสร้างเครื่อง เพราะเหล็กมีคุณสมบัติในการนำความร้อนได้ดี ทำความสะอาดง่าย ราคาถูก และภาชนะที่ใช้ทำการคั่วที่ออกแบบเป็นภาชนะทรงกระบอก เพราะ เที่อทำการคั่วเมล็ดกาแฟจะทำการคั่วได้ทั่วถึง แม้เป็นภาชนะขนาดเล็กก็สามารถทำการได้ทั่วถึงกว่าภาชนะที่เป็นทรงสี่เหลี่ยมหรือทรงกะทะแบนที่มีขนาดในการคั่วเท่าๆกัน

ในการออกแบบภาชนะคั่วนั้น ก่อนอื่นต้องทราบถึงปริมาณของเมล็ดกาแฟที่จะใส่ลงในภาชนะ เพื่อจะทำการคั่วและนำมาหาปริมาตรเพื่อนำมาเทียบค่าหาขนาดภาชนะที่ใช้สำหรับทำการคั่ว

ถังคั่วมีหน้าที่รับเมล็ดกาแฟที่ต้องการคั่วที่ป้อนทางช่องป้อนเมล็ดกาแฟเข้าไปในถังคั่วโดยใช้พลังงานความร้อนจากชุดให้ความร้อน(Heater) และมีหน้าที่กระจายความร้อนให้ทั่วถึง

เมล็ดกาแฟที่ใช้คั่ว 1 กิโลกรัม มีปริมาตรเท่ากับ 2,357.14 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยการหาปริมาตรด้วยวิธีการตวงใส่ภาชนะทรงกระบอก

จากสมการ $$V = (\pi d^2/4) \times L$$

$$= \frac{\pi(29)^2}{4} \times 50$$

$$= 33{,}039.286 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

การออกแบบถังคั่วมีขนาดใหญ่กว่าขนาดจริงเพราะการคั่วเมล็ดกาแฟให้ได้คุณภาพในการคั่วให้สม่ำเสมอไม่ควรใช้วัตถุดิบเกิน 1/3 ของปริมาตรถังคั่ว เนื่องจากเมล็ดกาแฟที่ทำการคั่วเรียบร้อยแล้วจะมีปริมาตรเป็น 25% ของเมล็ดกาแฟสดที่ยังไม่ได้คั่ว

3.1.2 การออกแบบใบพัดคั่วและเพลา

ใบคั่วควรทำมุมกับระนาบถังให้เหมาะสมกับมุมที่ถังเอียงทำกับระนาบพื้นจะทำให้สามารถคั่วเมล็ดกาแฟให้ได้คุณภาพและการกระจายทั่วถังคั่วอย่างสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3การคำนวณกำลังขับมอเตอร์

มอเตอร์ที่ใช้เป็นแบบมอเตอร์เกียร์ที่สามารถปรับรอบให้เร็ว-ช้าลงได้ตามที่ต้องการ จึงไม่จำเป็นต้องใช้อัตราทดรอบ ข้อกำหนดในการออกแบบ

1. ชุดใบคั่ว 1 ชุด หนัก 2.5 กิโลกรัม
2. ชุดใบคั่วมีความกว้าง 290 มิลลิเมตร
3. ความเร็วรอบที่ใช้ในการคั่วเมล็ดกาแฟสูงสุด 80 รอบ/นาที

น้ำหนักชุดใบคั่ว $= 2.5 \times 9.81 = 24.525 \approx 25\ N$

น้ำหนักเมล็ดกาแฟ $= 1 \times 9.81 = 9.81 \approx 10\ N$

จากสมการ หากำลังมอเตอร์$(w_p)$

$$T = (4 \times 290) - 25 \times 145$$
$$= 164.575\ N$$
$$W_p = T \times 2\pi dn$$

การหาแรงบิด

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

ดังนั้นควรเลือกใช้มอเตอร์ที่มีขนาด 50 W หรือมีขนาดมากกว่า 50 W

3.1.4 การออกแบบชุดให้ความร้อน (Heater)

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

จากสูตร $Q = kA\Delta T/\Delta X$

$$= (54 \times 0.1443 \times 275)/0.02$$
$$= 1{,}071.4275\ W$$

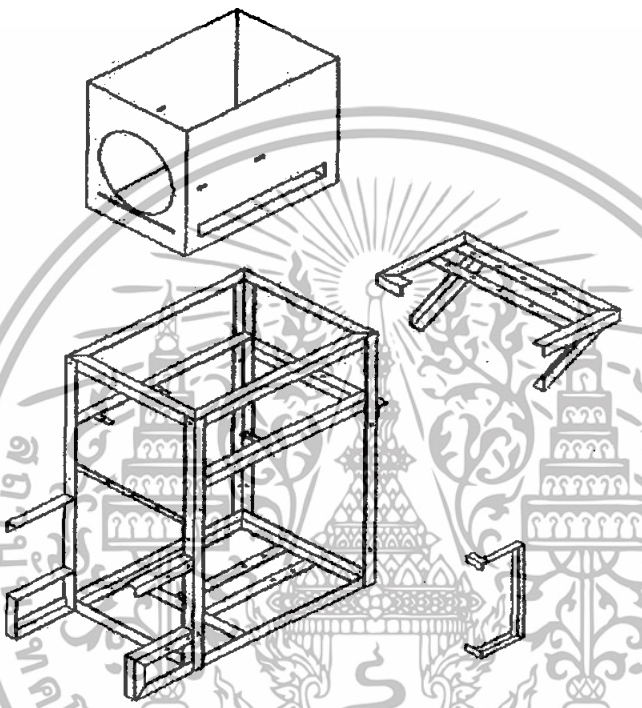
$$Q = mCp\Delta T$$
$$= 1 \times 1.77 \times 275$$
$$= 495\ Kg\ J$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.2 ขั้นตอนการสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ**

3.2.1 การตัดเตรียมวัสดุทำโครงสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ

หลังจากการเลือกวัสดุทำโครงสร้างของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟแล้ว ต่อไปคือการตัดวัสดุให้ได้ตามขนาดที่ออกแบบไว้ ซึ่งมีขั้นตอนและรายละเอียด ดังนี้



**ภาพที่ 3-1 โครงเครื่อง**

3.2.2 โครงเครื่อง

โครงเครื่องใช้เหล็กฉาก หนา 3 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร จำนวน 6 ท่อน

โครงเครื่องใช้เหล็กฉาก หนา 3 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร จำนวน 8 ท่อน

โครงเครื่องใช้เหล็กฉาก หนา 3 เซนติเมตร ยาว 20.8 เซนติเมตร จำนวน 4ท่อน

โครงเครื่องใช้เหล็กฉาก หนา 3 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร จำนวน 2 ท่อน

โครงเครื่องใช้เหล็กฉาก หนา 3 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร จำนวน 2 ท่อน

โครงเครื่องใช้เหล็กฉาก หนา 6 เซนติเมตร ยาว 250 เซนติเมตร จำนวน 4 ท่อน

โครงเครื่องใช้เหล็กฉาก หนา 9.27 เซนติเมตร ยาว 46 เซนติเมตร จำนวน 1 ท่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ฉนวนกันความร้อน

ฉนวนแบบใยแก้ว ขนาด 50×50 เซนติเมตร จำนวน 2 ชิ้น

ฉนวนแบบใยแก้ว ขนาด 50×60 เซนติเมตร จำนวน 6 ชิ้น

3.2.3 การออกแบบถังคั่วในชิ้นที่ 1-5

เหล็กแผ่นขนาด 52×52 เซนติเมตร หนา 0.2 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น

เหล็กแผ่นขนาด 52×71.5 เซนติเมตร หนา 0.2 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น

เหล็กแผ่นขนาด 71.5×110 เซนติเมตร หนา 0.2 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น

เหล็กแผ่นขนาด 52×20 เซนติเมตร หนา 0.2 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น

3.2.4 ส่วนประกอบต่างๆของถังคั่ว

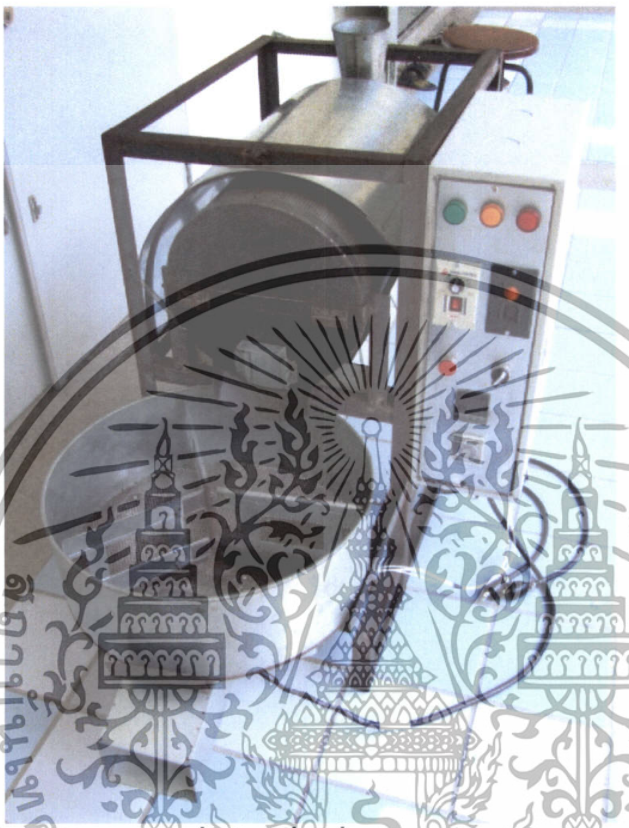
- ถังคั่ว
- เพลาและใบกวน

3.2.5 ชุดถังเกลี่ยเมล็ดกาแฟ

- ใบเกลี่ย
- ถังเกลี่ย
- พัดลมดูดความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 ขั้นตอนการประกอบขึ้นโครงสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ



**ภาพที่ 3-2 เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ**

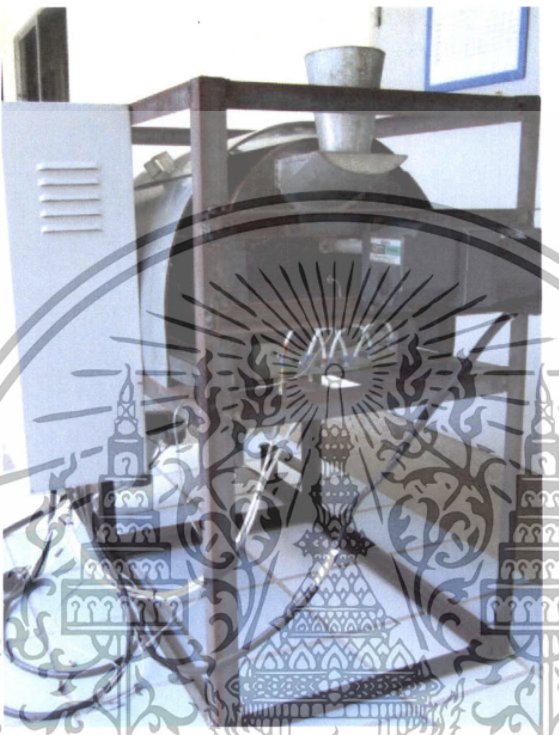
1. หลังจากที่ทำการตัดเหล็กฉากตามขนาดที่กำหนดไว้ ขั้นตอนต่อไปคือ การนำวัสดุมาประกอบเชื่อมต่อขึ้นโครงสร้างของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ เพื่อเป็นโครงตัวเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ

2. นำเหล็กฉากที่ทำการตัดไว้ เพื่อทำโครงสร้างของโครงที่ใช้วางตัวเครื่องให้ได้ขนาดเหมาะสมกับตัวเครื่องคั่วกาแฟ

3. นำภาชนะที่ใช้คั่วเมล็ดกาแฟที่ทำการม้วนเหล็กรูตะแกรงเป็นรูปทรงกระบอกมาติดตั้งเข้ากับตัวเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ โดยยึดตัวเครื่องคั่วกับตัวโครงเหล็กที่สร้างไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.7 ขั้นตอนการติดตั้งชุดส่งกำลังและอุปกรณ์กำเนิดความร้อน



ภาพที่ 3-3 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3-4(ข)

**ภาพที่ 3-4 การติดตั้งชุดส่งกำลังและอุปกรณ์กำเนิดความร้อน**

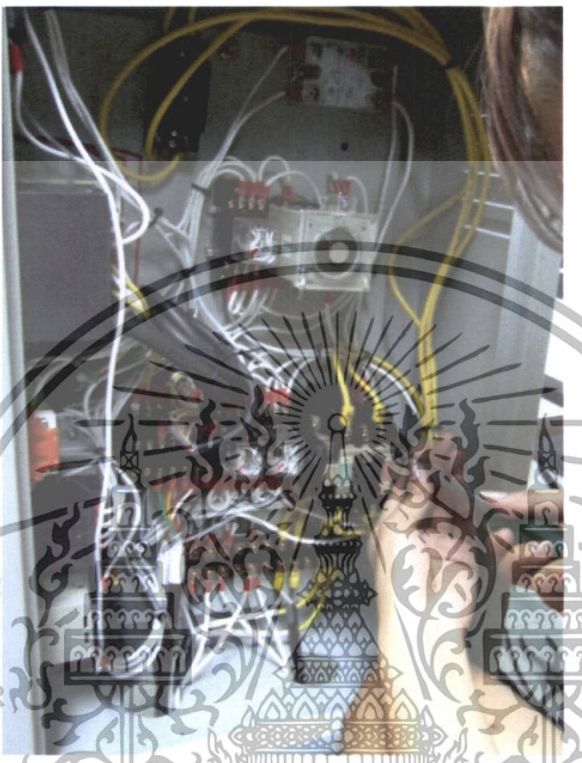
1. หลังจากทำโครงสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟเรียบร้อยแล้ว จึงนำชุดส่งกำลังโดยมีมอเตอร์เกียร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง มาติดตั้งเข้ากับโครงสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ

2. เมื่อทำการติดตั้งเครื่องส่งกำลังแล้วจึงนำเพลามาติดตั้งเข้ากับแกนมอเตอร์เกียร์ส่งกำลังโดยตรง

3. นำอุปกรณ์กำเนิดความร้อน(Heater) มาติดตั้งเข้ากับโครงสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ และนำฉนวนกันความร้อนรองข้างใต้อุปกรณ์กำเนิดความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.8 ขั้นตอนการติดตั้งวงจรไฟฟ้า



ภาพที่ 3-5(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3-5(ข)

รูปที่ 3-5(ค)

**รูปที่ 3-5 การติดตั้งวงจรไฟฟ้า**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

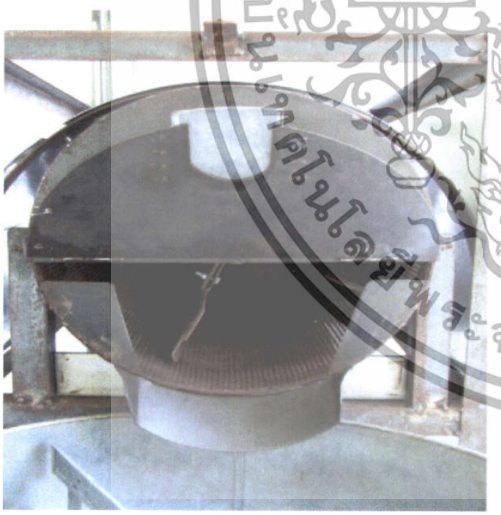
1. หลังจากได้ทำตัวเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟเรียบร้อยแล้ว จึงทำการติดตั้งวงจรไฟฟ้าเข้ากับตัวเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ เพื่อใช้ในการควบคุมเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ
2. ทำการเจาะตู้คอนโทล เพื่อติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ
3. ทำการต่อวงจรไฟฟ้าให้ได้ตามระบบที่กำหนดไว้ เพื่อใช้ในการควบคุมระบบการทำงานของเครื่องคั่วเมล็กาแฟ
4. นำตู้คอนโทลไปติดตั้งเข้ากับตัวเครื่งคั่วเมล็ดกาแฟ
5. ทำการเดินสายไฟวงจรในตู้คอนโทลเข้ากับชุดส่งกำลังและอุปกรณ์กำเนิดความร้อน
6. ทำการทดลองเดินเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ และทำการตรวจสอบระบบควบคุมการทำงานต่างๆ ของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ ให้อยู่ในระบบการทำงานที่เราต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โครงสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ

ภาพที่ 3-6 (ก)

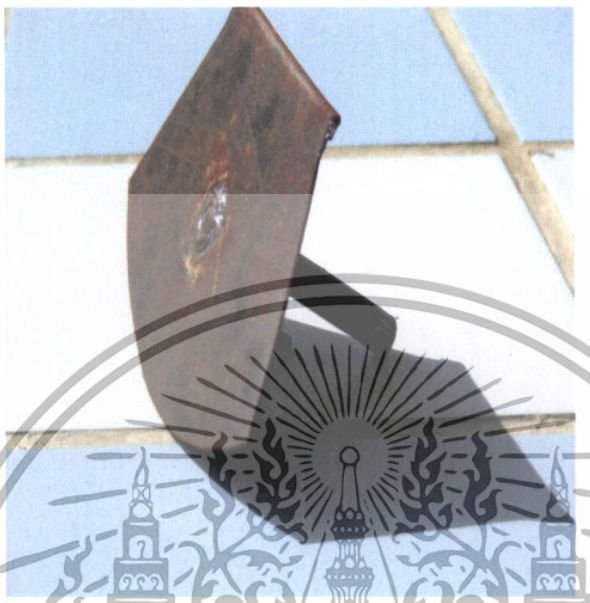
ภาพที่ 3-6(ข)



รูปที่ 3-6(ค)

รูปที่ 3-6(ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



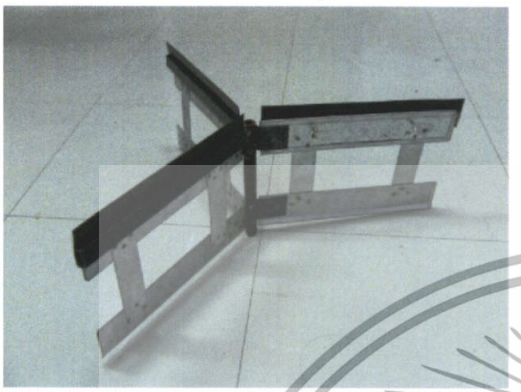
**รูปที่ 3-6(จ)**

**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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**โครงสร้างต่างๆของเครื่องระบายความร้อน**



ภาพที่ 3-7(ก)

รูปที่ 3-7(ข)

รูปที่ 3-7(ค)

**รูปที่ 3-7 โครงสร้างต่างๆของเครื่องระบายความร้อน**

1. ใบเกลี่ย
2. แกนใบเกลี่ย
3. แบริ่ง
4. ถังเกลี่ย
5. ฝาเปิด-ปิดช่องออกเมล็ดกาแฟ
6. พัดลมระบายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# การใช้งานและการทดสอบ

## 4.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างเครื่องคั่วกาแฟ
2. ศึกษาการคั่วเมล็ดกาแฟดิบ

## 4.2 หลักการทำงานของเครื่องคั่วกาแฟ

ยกเบรกเกอร์ตั้งเวลา (TIMER)และอุณหภูมิ (TEMP)ตามต้องการ กดสวิตท์ฮีตเตอร์จะเริ่มทำงาน อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงจุดที่ตั้งเอาไว้ TIMER และ ใบกวนในตัวถังจะเริ่มทำงาน ในขณะนั้นฮีตเตอร์ก็จะทำงานต่อไปเรื่อยๆ จนถึงเวลที่กำหนด ใบกวนจะหยุดทำงาน เมื่อใบกวนหยุดทำงาน เครื่องระบายความร้อน ซึ่งประกอบไปด้วย ใบพัด และพัดลมจะทำงานอัตโนมัติ นำเมล็ดที่ทำการคั่วแล้ว มาทำการระบายความร้อนที่เครื่องระบายความร้อนซึ่งทำงานอัตโนมัติ รอจนเมล็ดกาแฟเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องจึงยกเบรกเกอร์ลง

## 4.3 การใช้งาน

1. ยกเบรกเกอร์
2. ตั้ง TEMP และ TIMER ตามที่ต้องการ
3. เปิดสวิทต์
4. รอจนระบบตัด จึงเปิดฝานำเมล็ดกาแฟออกมา
5. นำเมล็ดกาแฟที่ทำการคั่วแล้วไปที่เครื่องระบายความร้อน
6. รอจนเมล็ดกาแฟเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง
7. ปิดเครื่อง

## 4.4 ขั้นตอนการทดสอบ

1. ยกเบรกเกอร์
2. ตั้ง **TEMP CONTROL**และ **TIMER** ตามที่ต้องการ
3. เปิดสวิทต์
4. รอจนระบบตัด จึงเปิดฝานำเมล็ดกาแฟออกมา
5. นำเมล็ดกาแฟที่ทำการคั่วแล้วไปที่เครื่องระบายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. รอจนเมล็ดกาแฟเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง
7. ปิดเครื่อง

หมายเหตุ จะทำการคั่วเมล็ดกาแฟจำนวน 3 ระดับ ระดับอ่อน ระดับปานกลาง ระดับเข้ม ซึ่งจะคั่วในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

**4.5 ลักษณะของตู้คอนโทล**

**ภาพที่ 4-1 การตั้งค่า Temp Control**

**ภาพที่ 4-2 การทำงานของตู้คอนโทล**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.6 การทดสอบเครื่อง**

จากการทดสอบเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟต้นแบบ จะเห็นได้ว่าเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟสามารถทำงานได้แบบอัตโนมัติซึ่งมีระบบของวงจรไฟฟ้าเป็นตัวควบคุมการทำงาน โดยทางผู้ปฏิบัติงานสามารถปรับตั้งอุณหภูมิและระยะเวลาในการทำงานของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟต้นแบบได้ตามความต้องการ แต่พอทดลองสอบใส่เมล็ดกาแฟลงไปในเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟต้นแบบมีปัญหาเกิดขึ้นจากการออกแบบของใบพัดเกิดความผิดพลาดทำให้เกิดช่องว่างถังคั่วกับใบพัด ซึ่งส่งผลให้การทำงานของใบพัดติดขัด ทั้งที่ระบบการควบคุมตั้งไว้ยังทำงานอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบการใช้งานของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟต้นแบบ สามารถนำมาใช้เป็นข้อสรุป และข้อเสนอแนะได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทำปัญหาพิเศษ

5.2 ข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการทำปัญหาพิเศษ

ในการทำปัญหาพิเศษ การออกแบบเครื่องคั่วกาแฟต้นแบบ ได้มีการออกแบบโครงสร้างเครื่องคั่วกาแฟเมล็ดกาแฟและวงจรควบคุมการทำงานของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟและทำการประกอบชิ้นส่วนต่างๆขึ้น ซึ่งทางคณะผู้จัดทำปัญหาพิเศษได้ให้ความสำคัญในด้านการใช้งานได้จริง

จากการทดสอบการใช้งานของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟต้นแบบ จะเห็นได้ว่า เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟต้นแบบสามารถทำงานได้แบบอัตโนมัติซึ่งมีวงจรเป็นตัวควบคุมการทำงานของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟต้นแบบ โดยผู้ปฏิบัติงานสามารถปรับตั้งอุณหภูมิและระยะเวลาการทำงานของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟต้นแบบได้ตามต้องการ จากการทำงานของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟต้นแบบ ที่ใช้มีระบบการสร้างความร้อนจากฮีตเตอร์

การออกแบบและพัฒนาการสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟต้นแบบนั้น ทางคณะผู้จัดทำได้เริ่มต้นจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้ในการกำหนดขนาด ละชิ้นส่วนที่ใช้เป็นส่วนประกอบในการออกแบบรูปทรงของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟต้นแบบ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน จากนั้นจึงได้ดำเนินการสร้างอุปกรณ์ซึ่งพอสรุปได้ ดังนี้

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

การทดสอบใส่เมล็ดกาแฟลงไปในเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟต้นแบบมีปัญหาเกิดขึ้นจากการออกแบบใบพัดเกิดความผิดพลาดทำให้เกิดช่องว่างถังคั่วกับใบพัด ซึ่งส่งผลให้การทำงานของใบพัดติดขัด ทั้งที่ระบบการควบคุมตั้งไว้ยังทำงานอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 **ข้อเสนอแนะ**

ถึงแม้เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟต้นแบบที่ออกแบบและสร้างขึ้นมาใหม่จะมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าเครื่องคั่วกาแฟที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน และการทำงานหรือผลผลิตของเมล็ดกาแฟได้จากการคั่วโดยรวมสามารถคั่วได้เหมือนกับเครื่องคั่วขนาดใหญ่หรือขนาดมาตรฐานแต่ยังมีข้อบกพร่องที่ต้องแก้ไขหลายประการ

- มีการออกแบบชุดควบคุมความร้อนให้คงที่มากขึ้นคือ ต้องติดตั้งชุดควบคุมความร้อนให้อยู่ติดกับบริเวณตัวถังคั่วให้มากที่สุด เพื่อลดการสูญเสียความร้อน

- ควรติดฉนวนกันความร้อนที่มีคุณสมบัติทนความร้อน ประมาณ 300 องศาเซลเซียส บริเวณชุดให้ความร้อนและตัวถังเพื่อให้อุณหภูมิบริเวณตัวถังมีความคงที่และลดการสูญเสียความร้อน

- มีออกแบบใบคั่วกับถังคั่วให้มีระยะห่างกันน้อยที่สุด และลักษณะของใบควรให้รับกับเมล็ดที่ใส่เพื่อจะพาเมล็ดกาแฟออกมาด้วยใบคั่วเองมีการออกแบบใบคั่วให้ใบสามารถปรับองศาของใบได้เพื่อให้ใบคั่วสามรถทำมุมกับถังคั่วให้มากที่สุด ในการออกแบบใบคั่วนี้จะส่งผลต่อความสม่ำเสมอของเมล็ดกาแฟ ฉะนั้นใบคั่วสามารถปรับเปลี่ยนใบได้เมื่อทำการคั่วเมล็ดกาแฟได้ไม่สม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง


เกียรติชัย รักษาชาติ .2548. เอกสารประกอบการสอนวิชา วศก 266 กลศาสตร์ของแข็ง I ME 226 Mechanics of Solids I ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์รักษ์

วอร์คเกอร์ จี. 2542. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในงานอุตสาหกรรม. ส. เอเชียเพรช จำกัด กรุงเทพมหานคร

กาญจน์มุนี ศรีศาลภพ .2547. เล่าขาน...ตำนานกาแฟ. : ดอกหญ้ากรุ๊ป กรุงเทพมหานคร

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

Available : 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 [22ธันวาม2550]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-1 ค่าโดยประมาณของสภาพการนำความร้อนของโลหะที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

| สภาพนำความร้อน W/(m °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 |
| ทองเหลือ | 88 | 100 | 120 | 140 |
| นิเกิล/โครม | 12 | 13 | 16 | 18 |

ตารางที่ 2-2 พิสัยของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

| การถ่ายเทความร้อน | สัมประสิทธิ์การพาความร้อน | |
|---|---|---|
| | Btu/(hr•ft$^2$• °F ) | W/(m$^2$°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 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-3 ค่าตัวประกอบเฟาลิงสำหรับการไหลบางชนิด

| ของไหล | ความต้านทานเฟาลิง | |
|---|---|---|
| | ($hr \cdot ft^2 \cdot {}^\circ F/Btu$) | ($m^2 {}^\circ C/kW$) |
| น้ำทะเล | | |
| ต่ำกว่า 50 °C | $0.5\times10^{-3}$ | 0.09 |
| สูงกว่า 50 °C | $1\times10^{-3}$ | 0.2 |
| น้ำป้อนหม้อน้ำที่บำบัดแล้ว | $1\times10^{-3}$ | 0.2 |
| น้ำมันเตา | $5\times10^{-3}$ | 0.9 |
| น้ำมันชุบแข็ง | $4\times10^{-3}$ | 0.7 |
| ไอแอลกอฮอล์ | $0.5\times10^{-3}$ | 0.09 |
| ไอน้ำ | $0.5\times10^{-3}$ | 0.09 |
| อากาศดัน | $2\times10^{-3}$ | 0.4 |
| น้ำยาทำความเร็ว | $1\times10^{-3}$ | 0.2 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-4 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

| ของไหล | U(W/m$^2$ °C) |
|---|---|
| อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อในเชลล์ | |
| น้ำ/น้ำ | 1,220-2,440 |
| แอมโมเนีย/น้ำ | 1,220-2,440 |
| สารอินทรีย์เบา | 370-730 |
| สารอินทรีย์ปานกลาง | 240-610 |
| สารอินทรีย์หนัก | 25-370 |
| แก๊สน้ำ | 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 |
| อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดระบบความร้อนด้วยอากาศ | |
| น้ำ | 680-740 |
| น้ำมันหล่อลื่น | 85-170 |
| ไอเสีย | 50-170 |
| อากาศ | 114-511 |
| ไอน้ำควบแน่น | 740-795 |
| สารทำความเย็น R – 12 | 340-455 |
| อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นเพลต | |
| น้ำ | 3,000-7,000 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-5 คุณสมบัติฉนวนใยแก้วและใยหิน

| หินคุณสมบัติทั่วไป | 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 |
| อินโคลอย 800 | ใช้กับ | อากาศที่ไม่มีการหมุนเวียน เช่น ในเตาอบ , น้ำ , น้ำมัน และของเหลวทั่วไป |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-7 รหัสสั่งทำฮีตเตอร์รุ่น 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. | 220,380 V. | 1000 W. |
| 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. | 1500 W. |
| 8x750/220-2500W | | | | 2500 W. |
| 8x750/220-3500W | | | | 3500 W. |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-8 ความเร็วต่ำสุดของอุปกรณ์และสารต่างๆ

| สำหรับ | ความเร็วลมต่ำสุด |
|---|---|
| **เครื่องชุบไฟฟ้า** | |
| เครื่องเชื่อมไฟฟ้า | 75 ที่หน้าครอบ |
| เครื่องพ่นสี | 75 ตรงที่คนพนสี |
| เครื่องพ่นทราย | 250 ตรงปากหัวครอบ |
| | 40 ตรงปากท่อ |
| เศษด้าย - ผ้าไหม | 500 |
| ฝุ่นหยาบ | |
| ฝุ่นกระสอบ | 750 |
| ฝุ่นยาง | |
| แป้งทำขนม | |
| ฝุ่นขี้เลื่อย | 1000 |
| ฝุ่นขี้เหล็ก | |
| ฝุ่นทองเหลือง | |
| ผงถ่าน | 2000 |
| ฝุ่นตะกั่ว | 2500 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-9 ข้อมูลการชงของพันธุ์เมล็ดกาแฟที่ใช้ระดับในการคั่วของบ้านไร่กาแฟ

| | |
|---|---|
| ไทยปักษ์ใต้<br>บรอก เบลนด์ | รสเข้ม Strong Coffee<br>- พันธ์โรบัสต้าทางใต้ของไทย<br>- รสขมจัดจ้าน<br>- กลิ่นหอมออกเปรี้ยว<br>- คั่วระดับ 8 ได้สีน้ำตาลอ่อน |
| เอเชีย<br>บรอก เบลนด์ | รสเข้ม Strong Coffee<br>- พันธ์อะราบิก้าทางเหนือของไทย<br>- รสขมจัดที่สุด<br>- กลิ่นหอมมากถึงความไหม้ของกาแฟ<br>- คั่วระดับ 0 ได้สีดำสนิท |
| บ้านไร่<br>บรอกแบลนด์ | รสกลาง Medium Coffee<br>พันธ์อะราบิก้าทางเหนือของไทย<br>- รสขมปานกลาง<br>- กลิ่นหอมหวาน<br>- คั่วระดับ 3 ได้สีน้ำตาลอมหวาน |
| บางกอก<br>บรอกแบลนด์ | รสอ่อน Light Coffee<br>- พันธ์อะราบิก้าทางเหนือของไทย<br>- รสขมจางๆ นุ่มนวล<br>- กลิ่นหอมละมุนละไม<br>- คั่วระดับ 9 ได้สีน้ำตาลอ่อน |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้แต่ง

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

นางสาวพร้อมพร ขุมทรัพย์ เกิดวันที่ 10 เมษายน พ.ศ. 2529 ภูมิลำเนาอยู่ที่ จังหวัดลพบุรี สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนพิบูลวิทยาลัย จังหวัด ลพบุรี เพื่อปีพุทธศักราช 2546

นางสาวศิวพร แสงกระจ่าง เกิดวันที่ 26 กรกฎาคม พ.ศ. 2528 ภูมิลำเนาอยู่ที่ จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเบญจมราชาลัย ในพระบรมราชูประถัมภ์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร เพื่อปีพุทธศักราช 2546

นางสาวพัชโรบล โพธิบุญมา เกิดวันที่ 4 มกราคม พ.ศ. 2528 ภูมิลำเนาอยู่ที่ จังหวัดอำนาจเจริญ สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสารวิทยา จังหวัดกรุงเทพมหานคร เพื่อปีพุทธศักราช 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้