



เครื่องคั่วกาแฟสดแบบอัตโนมัติ
(Coffee Roast Machine)

รัฐศักดิ์ พรหมมาศ



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตวังไกลกังวล
พ.ศ. 2550

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องคั่วกาแฟโดยตัวเครื่องคั่วจะมีขนาดเท่ากับ (กว้าง x ยาว x สูง) 480x1210 x 780 มิลลิเมตร ชุดถังคั่วมีลักษณะเป็นทรงกระบอกและส่วนปลายจะเป็นทรงกรวยวางอยู่ในลักษณะแนวนอนมีขาตั้งปรับขึ้นลง และมีกรวยไว้สำหรับใส่เมล็ดกาแฟลงในถังคั่วซึ่งตัวถังมีขนาดเท่ากับ (กว้าง x ยาว) 300 x 650 มิลลิเมตร มีชุดวัดอุณหภูมิไว้ใช้ระดับความร้อนภายในถังคั่ว มีพัดลมดูดความชื้นภายในถังคั่วใช้มอเตอร์ขนาด 1/3 แรงม้า มีถังกวนกาแฟและพัดลมขนาด 1/3 แรงม้า เพื่อช่วยดูดความร้อนออกจากเมล็ดกาแฟโดยระบบไซโคลน ส่วนการให้ความร้อนอาศัยจากการให้ความร้อนแก๊ส LPG เป็นตัวให้ความร้อนซึ่งหัวแก๊สจะถูกติดตั้งภายใต้ถังคั่วโดยที่ถังคั่วจะหมุนอยู่ตลอดเวลาขณะทำการคั่วเพื่อที่จะพามาเมล็ดกาแฟดิบเข้าไปคั่วได้อย่างทั่วถึง

สามารถคั่วกาแฟได้ครั้งละ 5 กิโลกรัม ใช้เวลาประมาณ 30-35 นาที สามารถปรับระดับของอุณหภูมิที่ใช้ในการคั่วได้ตั้งแต่ 120°C - 300°C โดยสามารถคั่วกาแฟได้ทั้ง สายพันธุ์อาราบิก้า และ สายพันธุ์โรบัสต้า



Abstract

This study involved designing and producing the coffee roaster sized 480 × 1210 × 780 mm (W x L x H dimension). The roaster bucket is characterized of cylindrical and cone-shaped at the end lied horizontally with an adjustable stand. The cone is available for passing the coffee beans into the roaster bucket of 300 × 650 mm size (W x L dimension). The temperature measuring unit is used to check the heat level in the roaster bucket where 1/3 Hp motor humidity-sucking fan is installed. The 1/3 Hp fan and churcing bucket are to suck the heat out of the coffee beans through cyclone separator. Regarding to heating, it relied on LPG as heater which gas knob is installed the roaster bucket which is rotating constantly while roasting to ensure the thoroughly roasting effectiveness of raw coffee beans.

The capacity of the proposed coffee roaster can produce 5 kg roasted beans at a time, and approximately takes 30-35 minutes. The roasting temperature can be adjusted ranging 120 ° C - 300 ° C. Both Arabica and Robusta coffee beans can be roasted by using this device.



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
รายการตาราง	จ
รายการรูปประกอบ	ฉ
รายการสัญลักษณ์	
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 วิธีดำเนินการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ชนิดของกาแฟที่นิยมปลูกในประเทศไทย	4
2.2 การคั่วกาแฟ	4
2.3 กระบวนการในการคั่วกาแฟ	6
2.4 เครื่องคั่วกาแฟที่นิยมใช้ในปัจจุบัน	6
2.5 ปริมาณความร้อนและกำลังที่ต้องการ	7
2.6 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	8
2.7 วิวัฒนาการของเครื่องคั่วกาแฟ	8
2.8 เครื่องคั่วกาแฟแบบต่างๆ	8
2.9 การเริ่มและการหยุดคั่ว	
2.10 คุณสมบัติของกาแฟขณะทำการคั่ว	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.11 อิทธิพลของระดับการคั่ว	
2.12 เกณฑ์ในการทดสอบการคั่วกาแฟ	16
2.13 อุณหภูมิความร้อน	18
2.14 หลักการออกแบบชิ้นส่วน	25
บทที่ 3 การออกแบบและการคำนวณ	
3.1 แนวความคิดในการออกแบบเครื่องคั่วกาแฟอัตโนมัติ	30
3.2 แนวคิดและหลักการทำงานของเครื่องคั่วกาแฟอัตโนมัติ	30
3.3 องค์ประกอบหลักของเครื่องคั่วกาแฟอัตโนมัติ	30
3.4 คำนวณหาขนาดพลูเลย์	32
3.5 คำนวณหาค่าความร้อนที่ใช้คั่วกาแฟ	36
3.6 คำนวณหาอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้ในการคั่วกาแฟ	37
3.7 คำนวณหาปริมาณของอากาศที่ใช้ในการคั่วกาแฟ	38
3.8 คำนวณหาปริมาณความร้อนที่อากาศต้องการเพื่อใช้ในการคั่วกาแฟ	39
บทที่ 4 ผลการทดลอง	40
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	40
4.2 วิธีการทดลอง	40
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	53
5.1 สรุปผลการทดลอง	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	53

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	54
ภาคผนวก	56
ก. ข้อมูลประกอบการคำนวณ	57
ข. โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องคว่ำกาแฟ	60



รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงผลการทดลองของนาย Gerald S. Wasserman	10
2.2 แสดง MAJESTIC ROAST STANDARDS	17
2.3 แสดงคำลี้ข้มประสิทธิภาพความเสียหายของเบริ่ง	27
4.1 แสดงข้อมูลขณะทำการคั่วเมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้า ครั้งที่ 1	43
4.2 แสดงข้อมูลขณะทำการคั่วเมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้า ครั้งที่ 2	44
4.3 แสดงข้อมูลขณะทำการคั่วเมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้า ครั้งที่ 3	46
4.4 แสดงข้อมูลขณะทำการคั่วเมล็ดกาแฟพันธุ์โรบัสต้า ครั้งที่ 1	49
4.5 แสดงข้อมูลขณะทำการคั่วเมล็ดกาแฟพันธุ์โรบัสต้า ครั้งที่ 2	51



รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
2.1	9
2.2	9
2.3	19
2.4	19
2.5	20
2.6	22
2.7	22
2.8	23
2.9	23
2.10	29
3.1	31
3.2	32
3.3	33
4.1	40
4.2	41
4.3	41
4.4	42
4.5	42
4.6	43
4.7	45
4.8	46
4.9	47
4.10	48
4.11	48
4.12	48
4.13	49

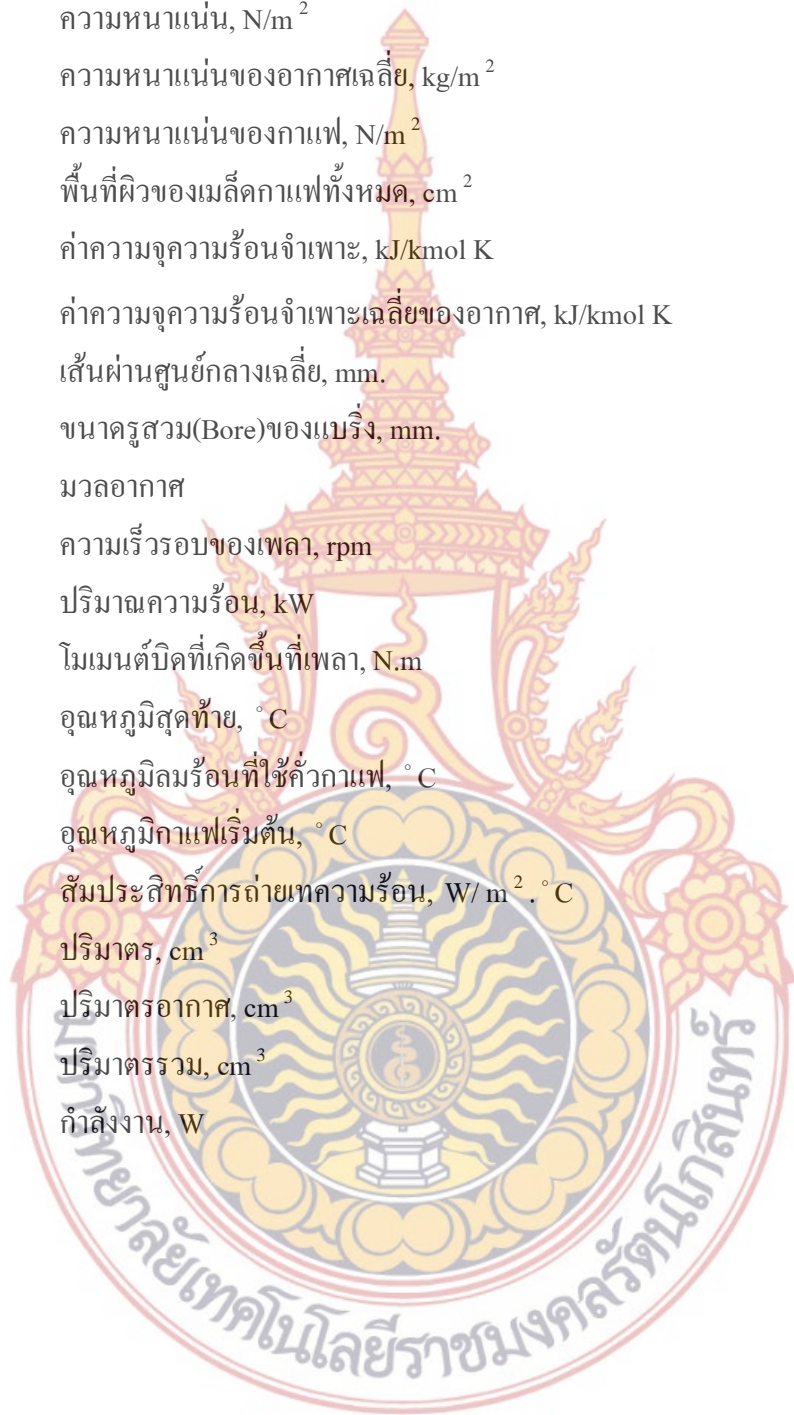
รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา โดยเริ่มจากอุณหภูมิ 35 °C ถึง 160 °C	50
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา โดยเริ่มจากอุณหภูมิ 35 °C ถึง 180 °C	51



รายการสัญลักษณ์

ρ	ความหนาแน่น, N/m ²
ρ_a	ความหนาแน่นของอากาศเฉลี่ย, kg/m ²
ρ_c	ความหนาแน่นของกาแฟ, N/m ²
A	พื้นที่ผิวของเมล็ดกาแฟทั้งหมด, cm ²
C_p	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ, kJ/kmol K
\bar{C}_p	ค่าความจุความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของอากาศ, kJ/kmol K
d_{av}	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย, mm.
D	ขนาดรูสวม(Bore)ของแปรง, mm.
m_a	มวลอากาศ
n	ความเร็วรอบของเพลลา, rpm
Q	ปริมาณความร้อน, kW
T	โมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นที่เพลลา, N.m
T_f	อุณหภูมิสุดท้าย, °C
T_r	อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้คั่วกาแฟ, °C
T_s	อุณหภูมิกาแฟเริ่มต้น, °C
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน, W/m ² .°C
V	ปริมาตร, cm ³
V_a	ปริมาตรอากาศ, cm ³
V_t	ปริมาตรรวม, cm ³
W	กำลังงาน, W



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ปัจจุบันคนไทยนิยมบริโภคกาแฟมากขึ้น ต่างจากเมื่อก่อนที่ผู้ที่นิยมดื่มกาแฟมักจะเป็นคนที่อยู่ในวัยทำงาน [1] แต่ในปัจจุบันจะเห็นได้ว่า กลุ่มวัยรุ่นส่วนใหญ่ก็หันมานิยมดื่มกาแฟมากขึ้น เพราะร้านค้าต่างๆ ได้นำกาแฟมาดัดแปลงให้เป็นเครื่องดื่มต่างๆ หลายชนิดหลายรสชาติ ทำให้ดื่มได้ง่ายขึ้น โดยเฉพาะกาแฟสดซึ่งเป็นที่นิยม เพราะรสชาติที่หอมกลมกล่อม ซึ่งจะเห็นได้จากในปัจจุบันจะมีร้านขายกาแฟสดได้เปิดให้บริการกันอย่างมากมาย เช่น Starbucks , Coffee World , Black Canyon และร้านที่เปิดตามศูนย์บริการน้ำมัน สาเหตุที่คนนิยมดื่มกาแฟสดเนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบกับกาแฟสำเร็จรูปหรือกาแฟผงแล้ว กาแฟสดที่คั่วใหม่จะมีรสชาติที่ดีและกลิ่นที่หอมกว่า และผู้บริโภคบางกลุ่มที่เป็นนักดื่มกาแฟอย่างแท้จริงยังสามารถที่จะเลือกรสชาติและกลิ่นของกาแฟได้โดยการปรับสถานะการคั่วอย่างไร ก็ตามการผลิตกาแฟสดจะผลิตครั้งละไม่มาก แต่จะผลิตบ่อยครั้ง เพราะต้องการกลิ่นและความสดของกาแฟ ผู้ผลิตกาแฟสดส่วนใหญ่จะเป็นผู้ผลิตรายย่อย ทำการผลิตและส่งร้านขายกาแฟสดในบริเวณใกล้เคียง และผู้ผลิตเหล่านี้ยังต้องนำเข้ามาเครื่องคั่วกาแฟจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาสูง ด้วยเหตุนี้กาแฟสดจึงมีราคาสูงกว่ากาแฟสำเร็จรูป

ฉะนั้น หากเราสามารถสร้างเครื่องคั่วกาแฟได้เอง โดยที่สามารถเลือกระดับขององศาการคั่วได้เพื่อสามารถเลือกรสชาติของกาแฟตามที่เราต้องการ เราก็จะมีเครื่องคั่วกาแฟที่ไม่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องคั่วกาแฟสดแบบอัตโนมัติ
- 1.2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟสด
- 1.2.3 เพื่อได้ระบบการคั่วกาแฟสดที่เหมาะสมและราคาถูก

1.3 ขอบเขตของโครงการ

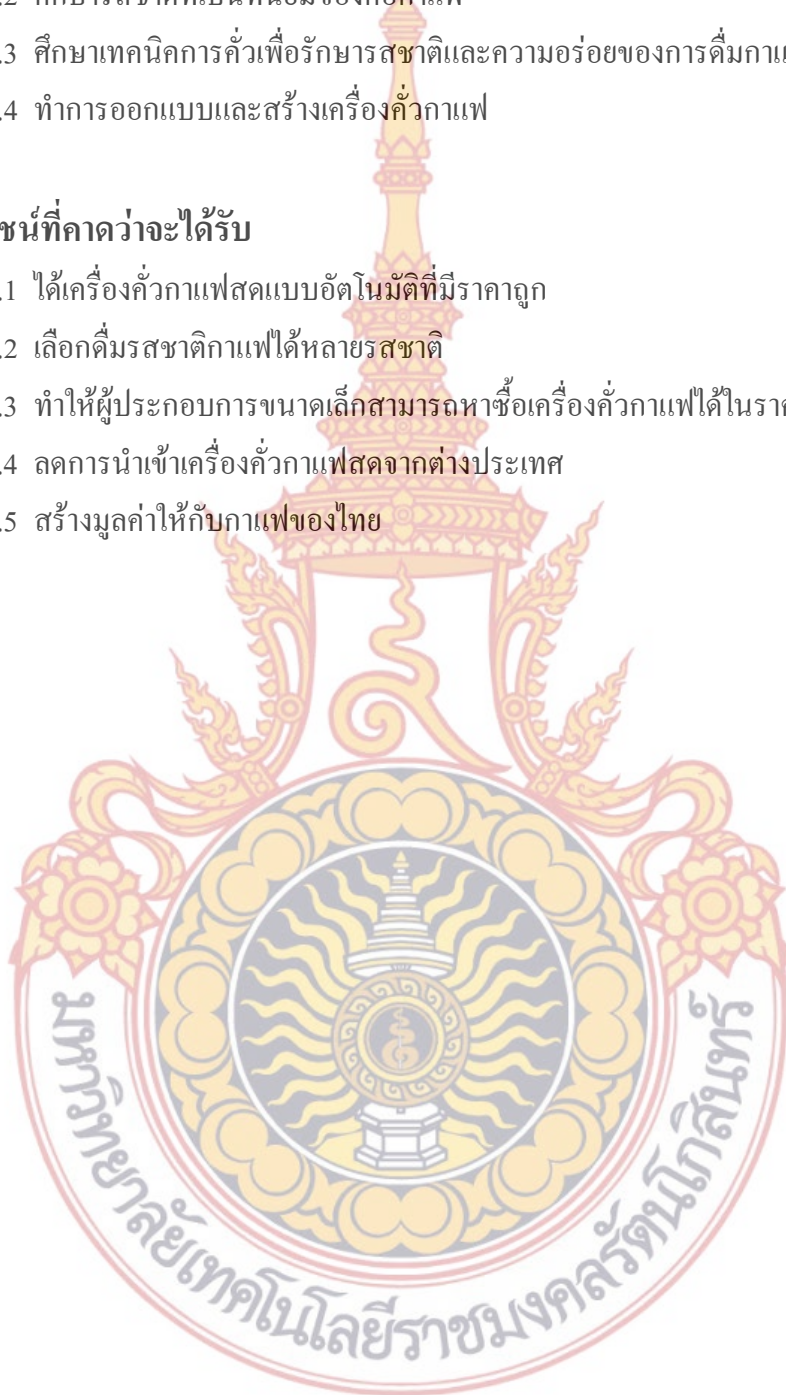
ออกแบบและสร้างเครื่องคั่วกาแฟที่มีกำลังการผลิต 5 กิโลกรัมต่อครั้ง โดยสามารถปรับระดับของอุณหภูมิการคั่วได้ตามต้องการ

1.4 วิธีดำเนินการ

- 1.4.1 ศึกษาชนิดของกาแฟที่นิยมปลูกในประเทศไทย
- 1.4.2 ศึกษารสชาติที่เป็นที่นิยมของคอกาแฟ
- 1.4.3 ศึกษาเทคนิคการคั่วเพื่อรักษารสชาติและความอร่อยของการคั่วกาแฟ
- 1.4.4 ทำการออกแบบและสร้างเครื่องคั่วกาแฟ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้เครื่องคั่วกาแฟสแบบอัตโนมัติที่มีราคาถูก
- 1.5.2 เลือกคั่วรสชาติกาแฟได้หลายรสชาติ
- 1.5.3 ทำให้ผู้ประกอบการขนาดเล็กสามารถหาซื้อเครื่องคั่วกาแฟได้ในราคาต่ำ
- 1.5.4 ลดการนำเข้าเครื่องคั่วกาแฟสดจากต่างประเทศ
- 1.5.5 สร้างมูลค่าให้กับกาแฟของไทย



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กาแฟเป็นพันธุ์พืชที่มีประวัติความเป็นมายาวนานเป็นพืชป่าที่ขึ้นตามธรรมชาติที่มีผู้ค้นพบโดยบังเอิญ ว่ากันว่าในราวคริสต์ศตวรรษที่ 14 คนเลี้ยงแพะชาวอาบิสซิเนียโบราณ หรือดินแดนประเทศเอธิโอเปีย ในอาฟริกาปัจจุบัน ชื่อ คาลดี (KALDI) ได้ค้นพบเมล็ดพันธุ์กาแฟโดยบังเอิญ

ในสมัยโบราณเมล็ดกาแฟถูกนำไปทดลองผสมกับอาหารโดยการผสมลงในแป้งทำให้อาหารมีกลิ่นหอมขึ้น จึงทำให้เมล็ดกาแฟกลายเป็นที่รู้จักและนิยมมากขึ้น ชาวกราวเมล็ดพันธุ์นี้แพร่สะพัดไปถึงชาวมุสลิม ในละแวกใกล้เคียง จากปากต่อปาก จากมัสยิดหนึ่งไปยังมัสยิดหนึ่ง จากชุมชนไปถึงชุมชนจนเป็นที่รู้จักกว้างขวางไปทั่ว จึงถือได้ว่าชาวมุสลิมในคาบสมุทรอาราเบียเป็นชนกลุ่มแรก ๆ ที่ได้รู้จักกาแฟ และยังทำให้กาแฟเป็นที่รู้จักแพร่หลายไปยังชนชาติอื่น ๆ ที่สุดกาแฟก็แพร่หลายไปทั่วโลก สู่หมู่เกาะในอินโดนีเซียถึงเอเชียอาคเนย์อย่างประเทศลาวและประเทศเวียดนามจนถึงประเทศไทย ซึ่งปัจจุบัน มีการปลูกกาแฟกันทั้งภาคเหนือและภาคใต้ ปัจจุบันประเทศบราซิลจัดเป็นประเทศที่ผลิตกาแฟได้มากที่สุดในโลก มีผลผลิต 3 ใน 4 ของโลก ทั้งนี้เพราะภูมิประเทศเป็นที่สูง ระบายน้ำได้ดี อากาศร้อนเหมาะแก่การปลูกกาแฟ ในกาแฟหนึ่งถ้วยจะมีปริมาณคาเฟอีนประมาณ 100 มิลลิกรัม เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะเข้าไปกระตุ้นประสาทส่วนกลาง คือสมองให้รู้สึกกระปรี้กระเปร่าและไม่ง่วง กาแฟมีผลต่อระบบกล้ามเนื้อของไต ทำให้ปัสสาวะถี่และมากขึ้น จุดนี้เองทำให้กาแฟมีผลดีต่อร่างกายคือลดอาการเมาได้ หลังจากดื่มเหล้าซึ่งมีแอลกอฮอล์เป็นองค์ประกอบ ถ้าดื่มกาแฟตามไป คาเฟอีนในกาแฟจะช่วยขับแอลกอฮอล์ในร่างกายออกจากไตได้อีกด้วยทำให้สร้างเมาได้

เมื่อพูดถึงธุรกิจหรือรายได้ของกาแฟแล้ว กาแฟโรบัสต้าเป็นสินค้าเกษตรส่งออกชนิดหนึ่งของไทย ซึ่งปัญหาด้านคุณภาพเนื่องจากสภาพดินฟ้าอากาศ ที่ยากแก่การควบคุม และการปฏิบัติดูแลรักษาต้นและการปฏิบัติหลังเก็บเกี่ยวที่ไม่ถูกต้อง เป็นปัจจัยที่สำคัญเป็นอย่างมากต่อคุณภาพของกาแฟ ดังนั้นจึงเป็นที่จะต้องเปลี่ยนทัศนคติของเกษตรกร ที่เชื่อว่ากาแฟเป็นพืชที่ไม่จำเป็นต้องเอาใจใส่มากนักเมื่อเทียบกับ พืชอื่น แม้ว่ากาแฟโรบัสต้าจะเป็นพืชที่มีการเก็บเกี่ยวผลเพียงปีละครั้ง และช่วงเก็บเกี่ยวกินเวลาสั้น เพียง 2-3 เดือน แต่การปฏิบัติดูแลรักษาในระหว่างปีมีความสำคัญ โดยเฉพาะการปฏิบัติหลังเก็บเกี่ยว ที่ต้องตากแห้ง เป็นเรื่องสำคัญมาก เกษตรกรยังนิยมใช้ตากในลานดินแทนที่จะตากในลานปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตได้มีคุณภาพต่ำ ด้วยมีความคิดว่าสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายใ้งานได้น้อย ไม่คุ้มค่าการลงทุน ดังนั้นเพื่อให้เกษตรกร ผลิตกาแฟโรบัสต้าที่มีคุณภาพอย่างถูกต้องและเหมาะสม จึงควรมีการปฏิบัติที่ดีในการทำสวนกาแฟโรบัสต้า ซึ่งเป็นวิธีปฏิบัติที่มีประสิทธิภาพในการผลิตมีขั้นตอนการผลิตแน่นอนชัดเจนตรวจสอบได้ ทำ

ให้ได้ผลผลิตสูง เหมาะแก่สภาพท้องถิ่น และภูมิประเทศ มีคุณภาพตามมาตรฐาน และไม่ทำให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม

2.1 ชนิดของกาแฟที่นิยมปลูกในประเทศไทย

กาแฟมีหลากหลายพันธุ์หลายชนิด แต่ที่นิยมปลูกและมีขายกันโดยทั่วไปมีอยู่ 2 พันธุ์ คือ อาราบิก้า และโรบัสต้า ซึ่งกาแฟสองชนิดนี้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน

อาราบิก้า เป็นสายพันธุ์ที่นิยมปลูกและบริโภคกันมากที่สุดในโลก มีปริมาณการผลิตถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ในตลาดกาแฟโลก [2] แต่จะมีจำนวนเพียง 1 ใน 8 เท่านั้นที่เป็นกาแฟที่มีคุณภาพได้มาตรฐานและเป็นที่ยอมรับ กาแฟชนิดนี้ให้ผลผลิตที่มีคุณภาพและปริมาณสารกาแฟชั้นดี มีกลิ่นและรสชาติดีที่สุดเมล็ดพันธุ์ อาราบิก้าจะมีรูปร่างค่อนข้างเรียวยาว รอยผ่าใต้วงมีลักษณะคล้ายตัว S เมื่อผ่านกระบวนการผลิตแล้วกาแฟพันธุ์นี้จะมีกลิ่นหอมหวานอบอวน ชับช้อน คล้ายกลิ่นช็อกโกแลตและดอกไม้ รสชาตินุ่มละมุน มีปริมาณคาเฟอีนประมาณ 1.1-1.7 เปอร์เซ็นต์ หรือประมาณครึ่งหนึ่งของพันธุ์โรบัสต้าในสัดส่วนเท่ากัน

กาแฟอาราบิก้าชอบความเย็น เจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีในพื้นที่ที่มีระดับความสูงตั้งแต่ 800 - 2000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล สำหรับในประเทศไทยบนเขาสูงในจังหวัดทางภาคเหนือ เช่น เชียงใหม่ เชียงราย ตาก ลำปาง จึงเป็นแหล่งที่ดีในการปลูกกาแฟพันธุ์อาราบิก้า

โรบัสต้า เป็นกาแฟพันธุ์ที่ต้องการความชุ่มชื้นสูง ปลูกง่าย ให้ปริมาณผลผลิตมาก นิยมปลูกกันมาก ในทวีปแอฟริกาและเอเชีย สามารถปลูกในพื้นที่ที่มีระดับความสูงตั้งแต่ 500- 600 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล สำหรับประเทศไทยนิยมปลูกกันทางภาคใต้ เช่นที่จังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราชเมล็ดพันธุ์ของโรบัสต้าจะอวบอ้วน ด้านหลังมีลักษณะนูนเป็นหลังเตา รอยผ่าใต้วงมีลักษณะจะเป็นเส้นค่อนข้างตรง กาแฟสายพันธุ์นี้ กลิ่นไม่หอมหวานอบอวล ไม่ชับช้อน รสชาติฝาดกว่าพันธุ์อาราบิก้า และมีปริมาณคาเฟอีนสูงกว่า 1-2 เท่าตัว หรือประมาณ 2 - 4.5 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้ว่าจะให้รสชาติด้อยกว่า มีรสฝาดมากกว่า แต่บอดี้ของกาแฟพันธุ์นี้จะมีมากกว่า สามารถรับรู้ได้เวลาดื่มส่วนใหญ่ จะนำมาผลิตเป็นกาแฟสำเร็จรูป หรือนำมาผสมกับกาแฟพันธุ์อาราบิก้า เพื่อให้ได้รสชาติที่แตกต่างออกไป นอกจากนี้ยังมีพันธุ์กาแฟที่อาจพบได้อีก 2 สายพันธุ์คือ ลิเบอริก้า (Liberica) และเอ็กซ์เซลซ่า (Excelsa) แต่ทั้ง 2 สายพันธุ์นี้ไม่เป็นที่นิยมในการค้า เนื่องจากรสชาติไม่ค่อยดีนัก

2.2 การคั่วกาแฟ

ในสมัยก่อนจนกระทั่งเกือบถึงปี ค.ศ.1900 เมล็ดกาแฟยังคงถูกคั่วอยู่ตามบ้านเรือนในยุโรปและอเมริกาโดยใช้ กระทะแบบต่าง ๆ หรือใช้ Hand Turned Cylinders ช่วงที่ยากที่สุดของการคั่ว

เมล็ดกาแฟก็คือการใช้ความร้อนต่อเมล็ดกาแฟซึ่งต้องให้อย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ ดังนั้นคนคั่วกาแฟจึงได้พยายามทำให้เมล็ดกาแฟเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาที่ให้ความร้อนต่อมัน ถ้าแหล่งความร้อนให้ความร้อนมากเกินไปเมล็ดกาแฟก็จะไหม้ แต่ถ้าความร้อนที่ให้นั้นน้อยเกินไปเมล็ดกาแฟจะไม่สุก (ทั้งสองกรณีผลผลิตคั่วที่ได้จะมีรสชาติไม่ดี หรือไม่เป็นที่น่าพอใจ) ถ้าเมล็ดกาแฟไม่ถูกคั่วอย่างต่อเนื่องหรือเมล็ดกาแฟได้รับความร้อนไม่สม่ำเสมอเมล็ดกาแฟก็จะไหม้

แบบหนึ่งของเครื่องคั่วกาแฟตามบ้านนั้นจะมีลักษณะเป็นถังทรงกลมทำด้วยโลหะภายในกรวง โดยในการคั่วนั้นจะใช้การหมุนของถังกลมกลวงไปบนถ่านที่กำลังลุกไหม้ เพื่อคั่วกาแฟในปริมาณที่ไม่มากสำหรับนำไปคั่วและทำเป็นเครื่องคั่ว ต่อมาถังทรงกลมแบบนี้ก็ได้มีการพัฒนาโดยการเจาะรูเพื่อเป็นช่องระบายก๊าซและช่วยในการถ่ายเทความร้อนไปยังเมล็ดกาแฟได้อีกด้วย อุณหภูมิของก๊าซรอบๆ ถังเหล็ก ที่ใช้คั่วกาแฟจะอยู่ประมาณ 2000°F (1093°C) ส่วนอุณหภูมิภายในถังนั้นยังไม่มีการวัด ส่วนเวลาที่ใช้ในการคั่วก็ประมาณครึ่งชั่วโมงต่อถัง เมล็ดกาแฟที่ถูกคั่วแล้วจะมีสีต่างกัน ซึ่งบางเมล็ดก็ไหม้ การควบคุมการคั่วก็ใช้คนและได้ผลผลิตประมาณ 100 ถัง/คน/วัน โดยใน 1 วัน จะทำงาน 12 ชั่วโมงสภาพและวิธีการทำงานยังไม่ปลอดภัยโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปิดเตาดึงเอา Hot Drum ออกมาแล้วเกลี่ยเมล็ดกาแฟให้มันเย็นตัว

ปัจจุบันเครื่องคั่วกาแฟนั้นมีหลายแบบหลายขนาดตั้งแต่เครื่องคั่วขนาดเล็กแบบที่ใช้ได้ตามบ้าน หรือห้องทดลองไปจนถึงขนาดกลางและขนาดใหญ่แบบที่ใช้ในร้านและโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีทั้งแบบที่ใช้ความร้อนโดยตรงหรือแบบที่ใช้อากาศร้อนเป็นตัวทำให้เมล็ดกาแฟสุก ดังนั้นผู้คั่วหรือผู้ควบคุมเครื่องคั่วต้องมีความเชี่ยวชาญในการดูสีหรือเทียบสีเมล็ดกาแฟที่คั่วได้และจะต้องทราบถึงคุณสมบัติของเมล็ดกาแฟแต่ละชนิดเป็นอย่างดี จึงจะได้เมล็ดกาแฟคั่วที่มีคุณภาพและได้รสชาติตามที่ต้องการ อย่างไรก็ตามการคั่วเมล็ดกาแฟ หมายถึง กระบวนการนำเมล็ดกาแฟดิบมาผ่านกรรมวิธีทางความร้อนโดยใช้อุณหภูมิในการคั่วตั้งแต่ $120 - 300^{\circ}\text{C}$ การแบ่งระดับความเข้มของกาแฟด้วยสีนั้นไม่มีเกณฑ์ตายตัว ในแต่ละระดับจะมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันไปโดยทั่วไปแล้วจะแบ่งออกเป็น 4 ระดับ

ระดับแรกสุดคือ ระดับอ่อน หรือ Light Roast มีชื่อเรียกต่างๆ เช่น Half City หรือ Cinnamon Roast กาแฟที่คั่วระดับนี้จะมีสีน้ำตาลอ่อนคล้ายสีของซินนามอนหรืออบเชยนั่นเอง การคั่วระดับนี้เรียกได้ว่าเป็นระดับการคั่วที่คงความหอมและคุณสมบัติดั้งเดิมของกาแฟไว้ได้มากที่สุดส่วนใหญแล้วจะมี Acidity หรือความเปรี้ยว สดชื่นสูงและมีรสฝาดอยู่มาก

ระดับปานกลาง หรือ Medium Roast ซึ่งในบางครั้งจะมีผู้เรียกว่า Full City บ้างหรือ American บ้าง เมล็ดกาแฟจะมีสีน้ำตาลเข้มปานกลางให้รสชาติขมหวานมีความเปรี้ยวเล็กน้อย เป็นระดับการคั่วที่ให้ความกลมกล่อมของกลิ่นและรสชาติของกาแฟได้ดีที่สุด

ระดับเข้ม หรือ Dark Roast และยังมีชื่อเรียกอื่น ๆ อีกเช่น Continental Roast หรือ Vienna Roast เมล็ดกาแฟที่คั่วในระดับนี้จะมีสีน้ำตาลค่อนข้างเข้ม มีรสชาติขมปนหวานเล็กน้อยแต่ไม่เปรี้ยว มีกลิ่นฉุนของกาแฟคั่วปนกับกลิ่นหอมของกาแฟแท้ ๆ

สุดท้ายคือ ระดับเข้มมาก หรือ Very Dark Roast ซึ่งยังเรียกกันไปต่างๆ อีกเช่น French Roast , Italian Roast หรือ Espresso เมล็ดกาแฟจะมีสีน้ำตาลเข้มเกือบดำ มีน้ำมันเคลือบอยู่บนมันเป็นเงา รสชาติค่อนข้างขม มีความหวานอยู่บ้างเล็กน้อย ไม่มีกลิ่นเปรี้ยวหลงเหลืออยู่เลย และมีกลิ่นกาแฟคั่วที่ฉุนกว่าระดับอื่น

อย่างไรก็ดี ไม่มีตัววัดที่แน่ชัดลงไปว่า การคั่วและสีในระดับต่าง ๆ นั้น ระดับใดจะได้รสชาติมาตรฐานที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับชนิดของเมล็ดกาแฟดิบ วิธีการชงแบบต่าง ๆ รวมทั้งความพึงพอใจของผู้ดื่มอีกด้วย

2.3 กระบวนการในการคั่วกาแฟ

เมล็ดกาแฟก่อนที่จะมาเป็นเครื่องดื่มนั้น ต้องผ่านกระบวนการที่สำคัญ 3 ประการคือ การคั่ว ตามด้วย การบดแล้วจึงจะนำมาชงเป็นกาแฟสำหรับดื่ม กระบวนการคั่วเป็นกระบวนการที่จะบ่งถึงลักษณะของรสชาติและกลิ่นหอมของกาแฟ ส่วนกระบวนการบดจะเป็นตัวบอกถึงความสามารถในการละลายของกาแฟเมื่อชงกับน้ำ

การคั่วกาแฟต้องใช้อุณหภูมิและเวลาที่สัมพันธ์กัน ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในเมล็ดกาแฟ เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในโครงสร้างเมล็ดกาแฟ นั่นคือการสูญเสียความชื้นและองค์ประกอบบางส่วน ซึ่งสูญเสียไปเนื่องจากความร้อน เครื่องคั่วกาแฟโดยทั่วไปจะคั่วภายใต้ ความดันบรรยากาศ ด้วยการเผาไหม้ของแก๊สหรือกับอากาศส่วนเกิน เมล็ดกาแฟจะถูกคั่วโดยสัมผัส กับผิวร้อนของแผ่นโลหะ หรืออาจจะเป็นการพาความร้อนจากแก๊สหรือโดยตรง บางเครื่องอาจใช้การแผ่รังสีความร้อนของ Heater ก็ได้ ซึ่งค่าอุณหภูมิในการคั่วอาจปรับได้หลายค่า คุณลักษณะของกาแฟจะอยู่ที่กระบวนการคั่วกาแฟ ซึ่งถูกเรียกว่า Degree of Roast [1] ก็คือการสะท้อนของแสงจากสีผิวเมล็ดกาแฟคั่ว รสชาติกาแฟและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้น การคั่วกาแฟมีทั้งแบบเร็ว (Fast Roasted , คั่วประมาณ 1 – 2 นาที) คั่วแบบธรรมดา (Conventional Roasted) คั่วประมาณ 12-15 นาที แต่โดยทั่วไปแล้วนิยมคั่วกันที่ประมาณ 5 – 8 นาที

2.4 เครื่องคั่วกาแฟที่นิยมใช้ในปัจจุบัน [1]

สำหรับลักษณะของเครื่องคั่วกาแฟนั้นปัจจุบันมีใช้กันอยู่หลายแบบ เครื่องกาแฟทุกแบบจะต้องมีระบบ Cooling เมื่อกาแฟที่คั่วเสร็จแล้วออกจากห้อง โดยอาจใช้อากาศหรือการสเปรย์น้ำก็ได้ สิ่งที่สำคัญอีกประการของเครื่องคั่วกาแฟคือการหมุนเวียนแก๊สร้อนกลับมาใช้ใหม่ (Re-circulated) ซึ่งเป็นการเพิ่มความร้อนให้กับกาแฟ ประหยัดพลังงาน และเป็นการลดปริมาณความร้อนที่จะปล่อยบรรยากาศ อีกทั้งยังลดมลภาวะทางอากาศอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงถึงความคุ้มค่า มีผลกระทบต่อสุขภาพอย่างไรที่เกิดจาก

การหมุนเวียนแก๊สร้อนกลับมาใช้ใหม่ด้วย เช่น เศษของกาแฟอาจติดกับขดลวดความร้อนซึ่งจะทำให้ขดลวดความร้อนเสียได้

2.5 ปริมาณความร้อนและกำลังที่ต้องการ [1]

จำนวนความร้อนที่ต้องการใช้ในการคั่วกาแฟนั้น มีปรากฏอยู่ตามแหล่งข้อมูลเกี่ยวกับกาแฟทั่วไป ความร้อนเหล่านี้ได้จากการทดลองทั้งสิ้น จากข้อมูล Thermal analysis ของ Lambelet เป็นที่ชมเชยของงานกาแฟ ได้วัดค่า Enthalpy หรือความร้อนที่ต้องการใช้ในการคั่วกาแฟ สำหรับกาแฟ Mexican Arabica ซึ่งอยู่ระหว่าง 60 และ 100 kCal/kg ของกาแฟ ค่าที่วัดได้นี้จะต่ำกว่าที่ได้จากการคำนวณค่าความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) และความร้อนแฝง (Latent Heat) ที่ต้องการในการทำให้เมื่อกาแฟมีอุณหภูมิขึ้นที่อุณหภูมิที่จะคั่ว จำนวนความร้อน 60 – 100 kCal เป็นจำนวนที่น้อยที่สุดที่จะใช้คั่วกาแฟจริงๆ ในทางปฏิบัติ แก๊สร้อนที่ออกมาจากแหล่งความร้อนไปกับพื้นผิวเครื่องคั่วกาแฟในระหว่างที่ถูกปล่อยออกมา ถ้าต้องการอุณหภูมิการคั่วกาแฟ 200 °C แก๊สร้อนที่ถูกปล่อยออกมาต้องมีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 200 °C เนื่องจากจะมีการสูญเสียความร้อนไปด้วย

อัตราการถ่ายเทความร้อนหาได้จาก

$$\frac{Q}{t} = U A \Delta T_m \quad (2.1)$$

เมื่อ

Q ปริมาณต่อเวลา t, kW

U Overall heat transfer coefficient, $W/m^2 \cdot ^\circ C$

A พื้นที่ผิวของเมล็ดกาแฟทั้งหมด, cm^2

ΔT_m ความแตกต่างเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิแก๊สร้อนและกาแฟ, $^\circ C$

ในกระบวนการคั่วกาแฟ ปริมาณน้ำหนักของอากาศต่อน้ำหนักกาแฟเป็นพารามิเตอร์ที่เป็นประโยชน์จะ ถูกใช้ในกระบวนการคั่วกาแฟ จากข้อมูลของ Continuous Roaster จะมีอัตราส่วนของอากาศร้อนเข้าใน รอบแรกต่อกาแฟเท่ากับ 0.5 ต่อ 1.0 และอากาศที่นำมาหมุนเวียนต่อกาแฟเท่ากับ 11 % โดยมีเวลาในการ คั่ว 20–30 นาทีและอุณหภูมิของอากาศ 250°C แต่อุณหภูมิคั่วจริงเพียง 200°C (มีการสูญเสียความร้อนเกิดขึ้น)

Sivetz และ Desrosier ทำการคำนวณค่า Overall Heat Transfer Coefficient , U และแนะนำให้ ใช้ที่ $1.24 \text{ Cal/h.cm}^{\circ}\text{C}$ ถ้าเมล็ดกาแฟหนา 0.3 cm. แล้วค่า U จะค่อนข้างสูง ถึงแม้ว่าจะไม่มีแหล่งข้อมูลใด ในปัจจุบันที่สามารถเชื่อมได้ สำหรับค่า Thermal Conduct ของเมล็ดกาแฟ แต่ก็จะทำให้ การพัฒนาให้ได้ค่าที่เหมาะสมมากที่สุดต่อไป

2.6 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ [1]

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่ปรากฏให้เห็นอย่างชัดเจนหลังผ่านกระบวนการคั่วแล้ว คือ สี ภายนอกของกาแฟซึ่งมีตั้งแต่สีน้ำตาลอ่อน ในระดับการคั่วที่อ่อน (Light Roasts) ไปจนถึงจะเป็นสีดำ ทั้งหมด ในระดับการคั่วที่แก่ (Very Dark Roasts) คุณลักษณะต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปของเมล็ดกาแฟ ในกระบวนการคั่ว นั้นเรียกว่า Degree of Roast สิ่งเหล่านี้ดูได้จากสีภายนอก (ซึ่งได้กล่าวมาแล้ว ข้างต้น) กลิ่นและรสชาติที่ให้ออกมานอกจากนี้คุณสมบัตินี้ก็อย่างหนึ่งที่ต้องรู้ คือ ความ หนาแน่นของกาแฟ ซึ่งหาได้จากข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับกาแฟ จะได้ความหนาแน่นของกาแฟที่กะเพาะ เปลือกออกแล้ว (Green Coffee) มีค่า 1.25 g/ml และ Arabica ที่เจริญเติบโตเต็มที่มีค่าความหนาแน่น 1.3 g/ml

2.7 วิวัฒนาการของเครื่องคั่วกาแฟ [1]

ก่อนปี 1914 การให้ความร้อนต่อเมล็ดกาแฟส่วนใหญ่จะทำโดยการถ่ายทอดความร้อนผ่าน ผนัง Rotating Steel เมื่อเมล็ดกาแฟที่ได้รับการคั่วแล้วจะถูกเทลงมาบนพื้นหินและถูกกระจายออกให้ เย็น อุณหภูมิของแก๊สที่บนผิวเหล็กจะใกล้เคียง 2000°F อุณหภูมิภายในก็จะไม่สูงขึ้นไปกว่านี้และใน แต่ละครั้งเวลาที่ใช้คั่วกาแฟจะใช้เวลาประมาณ 0.5 ชั่วโมง สีของการคั่วกาแฟจะต้องสม่ำเสมอและเป็นธรรมชาติที่บางเมล็ดจะไหม้ การคั่วกาแฟที่ถูกควบคุมด้วยมือผลผลิตที่ได้ประมาณ 100 ถุง ต่อคน ต่อวัน ในเวลา 12 ชั่วโมง ในการทำงานทุกๆ วัน เงื่อนไขและองค์ประกอบการทำงานที่ทำให้เกิดความ ไม่ปลอดภัยคือ การเปิดเตา ใช้มือจับของร้อน การเผาถ่านและการเก็บกวาดเมล็ดที่ตากไว้ให้เย็น

2.8 เครื่องคั่วกาแฟแบบต่างๆ

2.8.1 เครื่องคั่ว Jubilee Roaster

ระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 1 Jaber Burns & Sons [3] ได้พัฒนาเครื่องคั่ว Jubilee โดยการใช้ความร้อน จากเปลวไฟแก๊สโดยตรงให้กับอากาศภายในกระบอกคั่วและที่มีครอบไว้คลุมเปลวไฟ ดังนั้นเมล็ดจะถูกไล่ลงไปเหนือ Rotating Cylinder โดยไม่ให้ติดต่อกับเปลวไฟ การเปลี่ยนแปลงในวิธีการคั่วนี้เป็นการเบี่ยงเบนที่สำคัญจากกลุ่มผู้ใช้เตาถ่าน เพราะในการใช้น้ำมันเตาหรือแก๊สในการให้ความร้อนโดยตรง ของเครื่องคั่ว ทำให้การควบคุมอุณหภูมิคิดว่า ผลของการส่งผ่านความร้อนผ่านทางอากาศถึงเมล็ด จะดีกว่าจากผนังโลหะถึงเมล็ด ความต้องการความร้อนจากแก๊สและอุณหภูมิของผนังทรงกระบอกคั่ว จะต่ำกว่า ส่วนผลผลิตที่ได้จะเพิ่มเป็น 400 ถุงของกาแฟคั่ว ต่อคนต่อวัน ผลโดยรวมจากการคั่วเมล็ดกาแฟ ก็คือ การคั่วที่ให้ความสม่ำเสมอมากขึ้นและการใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ

2.8.2 เครื่องคั่ว Thermo Roaster

ในปี 1953 Jaber Burns & Sons [3] ได้ปรับปรุงเครื่องคั่ว Jubilee โดยการย้ายเครื่องเผามาไว้ข้างนอกของกระบอกคั่วความร้อนจากแก๊สยังคงจะหมุนเวียนไปมาเข้าไปในเครื่องเผาไหม้และแพร่กระจายอยู่บริเวณเหนือการคั่วเมล็ดกาแฟ การให้ความร้อนผ่านไปยังผนังของทรงกระบอกคั่วจะมีความเร็วที่สูงกว่า ทำให้ผลของการส่งผ่านความร้อนดีกว่าจากแก๊สถึงเมล็ดกาแฟโดยตรง ผลที่ได้จากการเปลี่ยนแปลง การออกแบบและการลดอุณหภูมิแก๊สให้ต่ำลงถึง 800 °C นี้จะช่วยลดเวลาในการคั่วกาแฟในแต่ละครั้งถึง 15 นาที อุณหภูมิและเวลาในการคั่วกาแฟจะผันแปรกับการเปลี่ยนน้ำหนักของปริมาณกาแฟที่ทำในแต่ละครั้ง เครื่องคั่วกาแฟ Thermo จะให้ผลผลิตเป็น 2 เท่า ของการคั่วที่ใช้มือหมุน ถ้าใช้เครื่องคั่ว 3 เครื่องก็จะได้กาแฟ 800 ถุง ต่อคนต่อวัน เครื่องคั่วชนิดนี้ยังใช้รูปแบบการคั่วกาแฟที่สม่ำเสมอและยังเป็นการพัฒนารสชาติและกลิ่นของกาแฟที่ดีกว่า ส่วนในการพองตัวที่สม่ำเสมอของเมล็ดกาแฟเป็นการชี้บอกขนาดของการขยายตัวออกอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาระหว่างการปล่อยความร้อนออกมา



รูปที่ 2.1 แสดงเครื่องคั่วแบบเทอร์มาโล

2.8.3 เครื่องคั่วกาแฟแบบต่อเนื่อง

ประมาณปี 1940 เมื่อ Jaberg Burn & Sons [3] ได้เสนอขายเครื่องคั่วแบบต่อเนื่องของพวกเขาขึ้นมา ซึ่งเวลาประมาณเดียวกันทางฝั่งทะเลตะวันออกของสหรัฐอเมริกา ก็ได้มีการสร้างเครื่องคั่วแบบต่อเนื่องที่ยังคงใช้กันจนถึงทุกวันนี้ ซึ่งจะได้ผลิตผลเป็น 2 เท่า ได้กาแฟถึง 1600 ถังต่อคนต่อวัน การใช้แรงงานคนจะใช้เพียงผู้ประสานงานติดต่อเพื่อตรวจเช็คสีของกาแฟที่คั่วแล้ว และนาน ๆ ที่จึงจะปรับเครื่องควบคุมอุณหภูมิเพื่อควบคุมอุณหภูมิของอากาศ อัตราการป้อนเมล็ดกาแฟและตั้งเครื่องลดความชื้น อุณหภูมิของแก๊สที่หมุนเวียนถูกลดลงมาที่ 500°F (260°C) และเมล็ดกาแฟจะถูกคั่วในเวลา 5 นาที นั่นเป็นการพัฒนารสชาติและขนาดเมล็ดกาแฟ และยังช่วยให้น้ำหนักที่หายไปลดน้อยลงโดยปกติจะทำให้เมล็ดกาแฟเย็นด้วยการทำให้อากาศเย็นลง แต่บางทีจะใช้น้ำเย็นเป็นส่วนเสริม



รูปที่ 2.2 แสดงเครื่องคั่วกาแฟแบบต่อเนื่อง

การทดลองของนาย Gerald S. Wasserman [1]

การทดลองนี้ทำขึ้นเมื่อ ค.ศ. 2001 โดยนาย Gerald S. Wasserman เพื่อตรวจสอบหาส่วนประกอบของ Methylmercaptane (CH_4S) เพราะมีผลกับกลิ่นของกาแฟในการคั่วกาแฟที่สภาวะต่างกัน เช่น อุณหภูมิ ปริมาณของลม ชนิดของกาแฟ และระยะเวลาที่ใช้เป็นต้น ทำการทดลอง 7 การทดลอง ซึ่งในแต่ละการทดลองจะทำการคั่ว 2 ชั้น ชั้นแรกกาแฟถูกคั่วใช้เวลาประมาณ 5 – 15 นาที ภายในอุณหภูมิต่ำแล้วได้ Roast Color 30 – 50 Lu ในขั้นตอนที่ 2 กาแฟถูกคั่วประมาณ 0.5 – 0.3 นาที ภายใต้อุณหภูมิสูง จะได้ Roast Color 4 – 19 Lu กาแฟที่คั่วเสร็จแล้วจะมีความหนาแน่นลดลงมาอยู่ในช่วง 0.27 – 0.38 กระบวนการวิเคราะห์หาสารประกอบซัลเฟอร์ ที่มีผลกับกลิ่นของกาแฟแสดงให้เห็นถึงระดับของ Methylmercaptane (CH_4S) ซึ่งเป็นจุดสำคัญที่มีผลกับกลิ่นของกาแฟ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงผลการทดลองของนาย Gerald S. Wasserman

การทดลอง	ชนิดกาแฟ	ความหนาแน่น (g/cc)	Roast Color (Lu)	Methylmercaptane (μ g/g of coffee)
1	Washed arabica	0.366	14.1	11.2
2	Natural arabica	0.327	9.5	19.0
3	robusta	0.353	15.2	21
4	Natural arabica	0.285	7.4	26
5	Natural arabica	0.282	8.2	31
6	Natural arabica	0.303	12.4	17
7	Natural arabica	0.317	16	39

2.9 การเริ่มและการหยุดคั่ว

ในช่วงการวอร์มเครื่อง เครื่องคั่วจะต้องการความร้อนที่แตกต่างจากการให้ความร้อนในช่วงอื่นๆ ซึ่งหลังจากเริ่มสตาร์ทเครื่องคั่วกาแฟแล้ว ไม่ว่าจะเป็นเครื่องคั่วกาแฟแบบเป็นงวดหรือแบบต่อเนื่อง ก็ตาม ความร้อนของโลหะจะไม่อยู่ในสภาพคงที่ เนื่องจากกระบวนการหมุนเวียนของแก๊ส ส่วนการเริ่มและการสิ้นสุดในการป้อนกาแฟดิบเข้าเครื่องกาแฟแบบต่อเนื่องนั้นจะต้องทำอย่างระมัดระวัง โดยเราจะสังเกตจากสีของเมล็ดกาแฟให้ได้ตามสีที่เราต้องการ หรือมีความแตกต่างจากสีที่เราต้องการ

เครื่องมือและวิธีการคั่วกาแฟ

ก่อนปี 1940 ได้เริ่มมีเทอร์โมมิเตอร์ติดตั้งอยู่ที่เครื่องคั่วกาแฟแล้ว [4] เพื่อเป็นตัวบอกอุณหภูมิของแก๊ส ในการคั่ว ส่วนในการควบคุมส่วนอื่น ๆ จะขึ้นอยู่กับความชำนาญและประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงาน ควบคุมงานเนื่องจากระดับของการคั่วกาแฟนั้นมักจะไม่เป็นรูปแบบที่แน่นอนเสมอไป โดยเป้าหมายสำคัญที่สุด ในการคั่วกาแฟคือ สีและกลิ่นของเมล็ดกาแฟที่คั่ว ซึ่งหลังปี 1946 เครื่องคั่วกาแฟได้มีการควบคุมการจัดส่งเชื้อเพลิง การตรวจสอบอุณหภูมิและสัญญาณเตือน ซึ่งจะเป็นตัวบอกให้รู้ว่าสิ้นสุดกระบวนการคั่วกาแฟแล้ว เพื่อผู้ควบคุมเครื่องจะได้ปล่อยเมล็ดกาแฟที่คั่วเสร็จแล้วลงสู่ในส่วนที่ทำให้เย็นลง ซึ่งการคั่วกาแฟแบบงวดประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงานถือเป็นสิ่งที่สำคัญ

ลักษณะการเคลื่อนที่ของเมล็ดของแข็งในสะเป้าเต็ดเบด

การเคลื่อนที่ของเมฆของแข็งในสะเก็ดแตกต่างจากฟลูอิดเซชันธรรมดา ทั้งนี้เพราะเมฆของแข็งเคลื่อนที่จากด้านล่างไปยังผิวของเบคด้วยความเร็วที่สูงมาก แล้วเคลื่อนที่ขึ้นจากด้านบนลงด้านล่างตรงบริเวณด้านนอก รายละเอียดการเดินทางแยกพิจารณาเป็น บริเวณสะเก็ด ที่บริเวณนี้เมฆของแข็งเคลื่อนที่จากส่วนรอบนอกแล้วลอยไปตามกระแสของอากาศด้วยความเร็วที่สูงมาก เมฆของแข็งที่อัตราเร่งสูงมากตรงบริเวณทางเข้าของอากาศแล้วค่อยๆ ซ้ำลงจนถึงผิวของเบค การสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีในเบคเพื่อหาความเร็วของเมฆของแข็งในสะเก็ดขึ้นอยู่กับการเร็วของอากาศในทางเข้า ความลึกของเบค คุณสมบัติของของแข็งแต่ยังหาความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าวไม่ได้ บริเวณรอบนอกพบว่าเมฆของแข็งเคลื่อนที่ลงตรงบริเวณรอบนอก ความเร็วตรงส่วนบนเร็วกว่าตรงส่วนล่างประมาณ 2 เท่า เพราะเกิดจากน้ำหนักของเมฆของแข็งใกล้กับสะเก็ดและความเร็วของอากาศที่ส่วนขึ้นมาส่วนความเร็วตรงส่วนนี้จะเร็วกว่า สรุปความเร็วของเมฆของแข็งในบริเวณรอบนอกมีลักษณะเป็นพาราโบลากับการไหลของของไหลในท่อที่ส่วนทางกันอยู่

การถ่ายเทความร้อน

1. การถ่ายเทความร้อนระหว่างเมฆของแข็งกับก๊าซ
2. การถ่ายเทความร้อนจากผนัง
3. การถ่ายเทความร้อนบริเวณสะเก็ด

การถ่ายเทความร้อนระหว่างเมฆของแข็งกับก๊าซ มีความซับซ้อนอยู่มากอันเนื่องจากปริมาณของก๊าซที่ผ่านในเบคแต่ละส่วนไม่เท่ากัน จึงทำให้อุณหภูมิของก๊าซในแต่ละตำแหน่งแตกต่างกันออกไป ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนที่ได้มักจะเป็นของเบคทั้งหมดเราไม่สามารถหาในแต่ละส่วนได้

การถ่ายเทความร้อนจากผนังที่ถ่ายเทให้กับเบคหรือก๊าซในสะเก็ดนั้นจะเป็นการนำหรือการพาความร้อนนั้นไม่สามารถบอกได้อย่างชัดเจน เพราะการเคลื่อนที่ของเมฆของแข็งตรงบริเวณรอบนอกใกล้กับผนังเป็นไปอย่างช้าๆ ทิศทางลงด้านล่างส่วนก๊าซไหลไปทางด้านบนด้วยความเร็วช้าๆ เช่นกัน ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนจึงมีน้อยมากเมื่อเทียบกับฟลูอิดเซชัน

การถ่ายเทความร้อนบริเวณสะเก็ดสูงมากแล้วลดลงอย่างรวดเร็วตรงขอบของสะเก็ดและลดลงต่อไปอีกเล็กน้อยจนถึงผนังของหอททดลอง กลไกการถ่ายเทความร้อนในสะเก็ดเบคมีความซับซ้อน แบ่งออกเป็นส่วนๆ แต่ละหาปริมาณที่แน่นอนไม่ได้จึงได้เป็นค่าเฉลี่ยของเบค

2.10 คุณสมบัติของกาแฟขณะทำการคว่ำ

การคั่วกาแฟเป็นขั้นตอนที่มีความสัมพันธ์กับการพัฒนากลิ่นหอมและรสชาติของสารกาแฟ ซึ่งกาแฟแต่ละชนิดจะมีกลิ่นและรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวของมันเอง ระดับการคั่วมีความสัมพันธ์กับกระบวนการผลิตสารกาแฟและความต้องการของตลาด การเลือกระดับการคั่วขึ้นอยู่กับชนิดอุปกรณ์ที่ใช้ในการคั่ว แม้ว่ากาแฟจะมีคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่แตกต่างกัน แต่คุณสมบัติทั้งสองนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกันระหว่างทำการคั่ว แต่จะมีความแตกต่างกันถ้าระดับการคั่วต่างกัน การคั่วกาแฟเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญมากและมีความจำเป็นต้องมีขั้นตอนการอุ่นที่เพียงพอ เพื่อให้ความชื้นในเมล็ดกาแฟระเหยออกไปได้รวดเร็วขึ้นและเมล็ดกาแฟที่แห้งลงจะได้รับความร้อนต่อไป ที่อุณหภูมิสูงกว่า 400°F [4] ที่อุณหภูมิประมาณนี้จะเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสหรือการขยายตัวเนื่องจากความร้อนและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นภายในเมล็ดกาแฟ ในช่วงเวลาไม่กี่นาทีต่อมาความร้อนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีจะถูกปลดปล่อยออกมา ทำให้อุณหภูมิเมล็ดกาแฟสูงขึ้นถึง $392\text{--}410^{\circ}\text{F}$ ทำให้เมล็ดกาแฟสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นจาก 4 % เป็น 6 % ซึ่งสารกาแฟมีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 12 % ดังนั้นการสูญเสียทั้งหมดเนื่องจากการคั่วจะเพิ่มขึ้นจาก 16 % เป็น 18 % เมื่อเมล็ดกาแฟมีเปอร์เซ็นต์ การสูญเสียในปริมาณที่สูงจะทำให้เมล็ดกาแฟมีสีเข้ม เมล็ดกาแฟจะเป็นสีน้ำตาลในช่วงเวลาที่มีการสูญเสียน้ำหนักอย่างรวดเร็ว นอกจากนั้น ในช่วงนี้ น้ำตาลไซโครสถูกทำให้เปลี่ยนแปลง และเมล็ดกาแฟส่วนใหญ่จะขยายตัวเป็น 2 เท่าของปริมาตรเดิม พร้อมทั้งมีชี้ถ้าถูกปลดปล่อยออกมาจากรอยแตกของเมล็ดกาแฟ น้ำที่สกัดจากสารกาแฟมีค่า PH ประมาณ 0.6 น้ำที่สกัดจากสารกาแฟที่อยู่ในช่วงเริ่มต้นของปฏิกิริยาไพโรไลซิสจะมีค่า PH ลดลงเล็กน้อย ค่าประมาณ 5.5 หลังจากนั้นค่า PH จะลดลงเหลือ 4.9 สำหรับน้ำที่สกัดจาก roast mild coffee กระบวนการที่สำคัญในการคั่วคือ การกลั่นแห้งด้วยความร้อน เพื่อสลายโครงสร้างของสารอินทรีย์ในสารกาแฟ ขบวนการคั่วจะสิ้นสุดลงเมื่อเราได้รสชาติที่ต้องการ (ความเข้มของสีจะเป็นตัวบอกระดับการคั่ว) ขบวนการคั่วในแต่ละครั้งจะสิ้นสุดลง โดยการทำให้อุณหภูมิของเมล็ดกาแฟลดลงโดยระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ กุญแจที่สำคัญให้ได้มาซึ่งรสชาติที่เราต้องการ ขึ้นอยู่กับระดับการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสของน้ำตาลและปฏิกิริยาการเมลลไเซชัน (Caramelization) การสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการคั่วจะเกิดขึ้นใน 2 อัตราก็คือ อัตรากแรกจะช้า ซึ่งเป็นการระเหยของน้ำออกจากเมล็ดกาแฟ และอัตรากที่สอง เป็นการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิส ในขณะที่อัตรากการสูญเสีย น้ำลดต่ำลง อัตรากการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กลับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

จุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดขึ้นตอนเริ่มต้นของปฏิกิริยาไพโรไลซิส ที่อุณหภูมิประมาณ 365°F (185°C) หรือเกิดในช่วงเวลาที่สารกาแฟสูญเสีย น้ำหนักไป ลักษณะทั่วไปของปรากฏการณ์จะคล้ายกันมากในกาแฟพันธุ์ Robusta, Medellin และ Brazilian ความคล้ายคลึงนี้จะไม่เกิดขึ้นกับขนาด, ชนิด, ความชื้น และปัจจัยอื่นๆที่แตกต่างกันในอันที่จะได้มาซึ่งรสชาติที่ต้องการ

สารระเหย รสชาติ และกลิ่น

สารระเหย จะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟ, สี, หรือน้ำหนักที่สูญเสียไปอัตราของการจับไ้กรดสารระเหย จะมีค่าสูงสุดระหว่างการคั่วซึ่งอาจแสดงให้เห็นเมื่อคั่วเสร็จแล้ว วิธีการเคมีสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาสุดท้ายของการคั่วกับอัตราการกลั่นตัวของกรด หรืออัตราการปรากฏของ Carbonyl หรือ Dimethyl Sulfer ก็คือ การซึมและการคดกลั่น ซึ่งจะให้ผลดีกว่าการดูดอุณหภูมิหรือสีของเมล็ดกาแฟ ในปัจจุบันมีเครื่องมือที่เรียกว่า Gas Chromatography ซึ่งสามารถวิเคราะห์และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบทางเคมีภายในเมล็ดกาแฟ กับสารระเหยที่ออกมาจากเมล็ดกาแฟ ออกมาเป็นกราฟ ซึ่งกราฟนี้แสดงให้เห็นว่า สารระเหยที่เหลืออยู่ในเมล็ดกาแฟจะยิ่งลดน้อยลง ถ้าคั่วกาแฟให้เกรียมมากขึ้น เราารู้แล้วว่าก่อนที่เมล็ดกาแฟจะถูก Pyrolysis มันจะมีความเป็นกรดสูง ซึ่งทำให้กาแฟอย่างมีรสชาติไม่ดี (กล่าวอีนัยหนึ่งก็คือ Pyrolysis จะทำให้เกิดการสมดุลของสารเคมีในเมล็ดกาแฟ)

การคั่วกาแฟภายในภาชนะปิด จะทำให้สารระเหยและน้ำไม่สามารถหนีออกไปได้ ผลก็คือจะทำให้กาแฟมีรสเปรี้ยว ดังนั้นในการคั่วกาแฟเราจึงควรพิจารณาจากน้ำหนักที่ลดลงของกาแฟมากกว่า จะพิจารณาจากเวลาที่ใช้ไปกาแฟที่ต่างชนิดกันจะมีปริมาณ CO_2 ไม่เท่ากัน เมื่อโปรตีนได้รับความร้อนมันจะเปลี่ยนไปเป็น Cabonyls การคั่วกาแฟดิบที่สามารถละลายน้ำได้ภายใต้ความดันนั้นกาแฟที่ได้จะมีรสชาติไม่ดีเท่ากับกาแฟที่คั่วจากเมล็ด เพราะว่าสัดส่วนของน้ำที่มากเกินไปจะทำให้กาแฟมีรสเปรี้ยว ส่วนเมล็ดกาแฟดิบขนาดเล็กๆ หรือเมล็ดที่แตกจะให้รสชาติอ่อนและไม่ดีนัก ในการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของเมล็ดกาแฟในระหว่างการคั่วนั้นเป็นสิ่งที่ยุ่งยาก แต่มันก็มีประโยชน์ในการบอกให้เราทราบเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาล และคาร์โบไฮเดรตอื่นๆรวมทั้งน้ำมัน โปรตีน และแร่ธาตุต่างๆอีกด้วย

กรด

มักเกิดจากการแตกตัวของคาร์โบไฮเดรตเมื่อได้รับความร้อน โดยมันจะแตกตัวเป็นกรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic Acids) และก๊าซ CO_2 ซึ่งโดยทั่วไปแล้วกาแฟดิบจะมีค่า PH 6 – 6.5 แต่เมื่อทำการคั่ว PH จะลดลงเหลือ 5.1 และเหลือ 5.5 ในพันธุ์ Robusta เมื่อกาแฟถูกคั่วให้เกรียมขึ้น จะทำให้ปริมาณสารระเหยและความเป็นกรดลดลง กรดที่มีปริมาณมากมีอยู่หลายตัวได้แก่ กรด Chlorogenic, กรด Acetic และกรด Citric ซึ่งกรด Chlorogenic เกิดขึ้นในกาแฟดิบประมาณ 7% แต่ประมาณ 1/3 ถึง 1/2 ของกรด Chlorogenic ซึ่งจะถูกทำลายลงไปในการคั่ว ส่วนกรด Acetic ก่อนถูกคั่วจะมีอยู่ 0.4 % เมื่อคั่วแล้ว

2.11 อิทธิพลของระดับการคั่ว

การพัฒนารสชาติของการคั่วได้ถูกค้นพบมาเป็นเวลานานแล้ว สิ่งที่เราต้องการคือการแยกแยะ ความแตกต่างของผลที่ได้จากการคั่วไฟอ่อน ไฟปานกลางและไฟแก่ การคั่วด้วยไฟอ่อนทำให้มีกรด ลงเหลืออยู่มากในเมล็ดกาแฟ ความสัมพันธ์ระหว่างสีของเมล็ดกาแฟคั่วและเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย จากการคั่ว การคั่วด้วยไฟอ่อนถึงปานกลางจะได้เมล็ดกาแฟที่มีสีอ่อน (cinnamon – colored) ส่วนการคั่วด้วยไฟปานกลางทำให้เมล็ดกาแฟมีน้ำตาลแต่ไม่ถึงสีดำ การคั่วด้วยไฟแก่จะได้เมล็ดกาแฟที่มีสีน้ำตาลเข้มจนถึงสีดำ แต่ในการคั่วทุกแบบสารกาแฟนั้นมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 12 % [5]จำนวนสารละลาย ที่สกัดได้โดยการใช้ น้ำที่มีอุณหภูมิ 212 ° F ซึ่งแปรผันไปตามชนิดของกาแฟ แต่การคั่วด้วยไฟแก่นั้น ทำให้ความสามารถในการสกัดกาแฟลดลงเราสามารถแยกแยะระดับการคั่วด้วยสายตาของเราเองได้จากการสังเกตเฉดสีต่างๆ 8 เฉดสี ที่เกิดจากการคั่วด้วยไฟที่อ่อนที่สุดจนถึงการคั่วด้วยไฟที่แก่ที่สุด เช่น cinnamon, medium, high, city, full city, French, and Italian การใช้กาแฟต่างชนิดกัน หรือการผสมกาแฟที่คั่วด้วยระดับที่ต่างกันนั้นมีความสำคัญต่อการควบคุม การพัฒนารสชาติ โดยใช้วิธีการคั่วด้วยไฟอ่อนที่สุดและแก่ที่สุด การนำกาแฟที่คั่วด้วยไฟอ่อนมาผสมกัน มักทำให้รสชาติของกาแฟมีเอกลักษณ์มากกว่ากาแฟที่คั่วด้วยไฟแก่ การทำให้เย็นโดยใช้น้ำมันจะไปเพิ่มความชื้นหลายเปอร์เซ็นต์ในเมล็ดกาแฟ ทำให้เมล็ดกาแฟที่ออกมาจากเครื่องคั่วมีสีเข้ม ดังนั้นการทำให้เมล็ดจากผิวกาแฟนั้นแห้งแล้วก็เปียกทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบกับเฉดสีมาตรฐานได้

จำนวนสารที่สกัดได้และสารที่ละลายออกมาขึ้นอยู่กับระดับการคั่ว เช่น กาแฟที่บดหยาบเมื่อนำมาบด จนเป็นผง ที่อุณหภูมิ 212 ° F [5] สามารถสกัดออกมาได้ถึง 30% หรือมากกว่านั้นแต่อย่างไรก็ตามไม่ว่าการบดจะเป็นแบบใด การคั่วด้วยไฟแก่ยังคงทำความสามารถในการสกัดน้ำกาแฟน้อยกว่าการคั่วกาแฟอ่อน ความหนาแน่นของเมล็ดกาแฟคั่วจะแปรผันไปตามระดับการคั่ว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนั้นขึ้นอยู่กับความเร็วในการคั่วและความชื้นเดิมที่มีอยู่ในสารกาแฟ ระดับของความแตกต่างของความหนาแน่นเหล่านี้มีผลกระทบต่อกาแฟคั่วเมล็ดกาแฟส่วนใหญ่จะพองตัวเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ ที่เกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิส การคั่วอย่างรวดเร็วสำหรับเมล็ดกาแฟที่มีขนาดใหญ่ โดยเฉพาะกาแฟที่เก็บมาใหม่ๆ ที่มีความชื้นมากกว่าปกติ เป็นสาเหตุทำให้เกิดการพองตัวมากกว่าปกติ 10 – 15% [5]

การพัฒนารสชาติของกาแฟ

เวลาและอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการคั่ว วิธีการถ่ายเทความร้อน (การแผ่รังสีการนำความร้อน หรือการพาความร้อน) วิธีในการทำให้เย็นลงและอัตราการเย็นตัว สิ่งเหล่านี้ทั้งหมดนั้นมีผลต่อรสชาติสุดท้าย ที่เราจะได้จากกาแฟ รสชาติที่อยู่ภายในเมล็ด จะสามารถถูกดึงออกมาด้วยกลไกการคั่ว

คุณสมบัติของสารกาแฟที่มีผลต่อวิธีการคั่วและอัตราการคั่ว ได้แก่ความร้อนจำเพาะภายในเมล็ดกาแฟ ความชื้น ขนาดและรูปร่างเมล็ดกาแฟ สภาพเดิมของเมล็ดกาแฟ อายุ วิธีการเก็บรักษาและกรรมวิธีทำให้แห้งและเป็นตัวแปรเล็กๆ น้อยๆ อื่น ตัวอย่างเช่น การคั่วกาแฟแบบ Peaberries จะเร็วกว่ากาแฟที่มีรูปร่างครึ่งวงรี เนื่องจากความกลมของมันทำให้มีความสามารถในการกลิ้งดีกว่า นอกจากนั้นพวกมันยังมีขนาดเล็กกว่า berries ที่ยังโตยังไม่เต็มทีนั้นทำการคั่วยากจะได้เมล็ดกาแฟมีสีเหลืองอ่อนและเหนียว เมื่อนำกาแฟขนาดเล็กๆ ผสมกับกาแฟที่มีขนาดใหญ่ โดยเป็นกาแฟชนิดเดียวกัน เมล็ดกาแฟขนาดเล็กจะถูกคั่วมากกว่า กาแฟที่เป็นที่ไม่เหมาะแก่การคั่วได้แก่กาแฟที่แก่เกินไปและแห้งเกินไป

จุดที่น่าสนใจคืออัตราการพองตัว และระดับการพองตัวที่เกิดขึ้นระหว่างการคั่วกาแฟ 4 ชนิด ที่กล่าวถึงนำมาคั่วด้วยไฟปานกลางและกาแฟแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักจำเพาะดังนี้ (น้ำหนัก จำเพาะที่คั่วด้วยไฟปานกลางต่อน้ำหนัก จำเพาะที่คั่วด้วยไฟแก่) 0.65/0.57, 0.67/0.58, 0.75/0.65 และ 0.75/0.65 [3] ข้อมูลตัวเลขเหล่านี้เป็นเพียงตัวอย่างประกอบคำอธิบายว่าการพองตัวนั้นได้รับอิทธิพลจากอัตราการคั่ว (เครื่องคั่ว) อายุของเมล็ดกาแฟ ความชื้นเริ่มต้นและอื่นๆ อีก กาแฟชนิดเดียวกันนำมาคั่วที่ระดับต่างกันและหลังจากนั้นมีการนำมาผสมกัน แต่ถ้านำสารกาแฟที่มีความแตกต่างกันแล้วนำมาคั่วก็จะเป็นสาเหตุให้เกิดรสชาติที่แย่ ในบางครั้งเราอาจนำกาแฟที่มีความแตกต่างกันมาแยกกันคั่วก่อนแล้วค่อยนำมาผสมกัน

การคั่วและบดกาแฟ

หลังได้เมล็ดกาแฟมาแล้วกระบวนการแรกของเครื่องคั่วกาแฟก็เริ่มต้น นั่นคือการคั่วและการบดการคั่วที่ดีต้องมีส่วนของความเป็นศิลปินและนักวิทยาศาสตร์ไปพร้อมกัน คือการรักษาคุณภาพและความสม่ำเสมอในการดำเนินงาน เพราะขณะที่การคั่วเกิดขึ้นน้ำตาลและสารคาร์โบไฮเดรตในเมล็ดกาแฟจะหลอมตัวเข้าด้วยกันกลายเป็นสารละลายที่เรียกว่าน้ำมันของกาแฟ โดยหลักเทคนิคแล้วสารละลายนี้ไม่ใช่ไขมันปกติ(เพราะละลายในน้ำได้) แต่มันให้รสชาติและกลิ่นของกาแฟ ความพิเศษของกาแฟคือ การคั่วในจำนวนหรือกองเล็กๆ ทั่วๆไปมีสองวิธีคือ การคั่วในภาชนะรูปกลองกลมและการคั่วด้วยการผ่านไอความร้อน การคั่วในเครื่องคั่วแบบกลองกลม(Drum-type roasting machines) โดยคั่วให้เมล็ดกาแฟรอกกลิ้งในภาชนะเหมือนกลอง ด้วยความร้อนจากแก๊สหรือไม้ เมื่อการคั่วพอเหมาะหรือได้ที่แล้ว เมล็ดกาแฟที่สุกก็จะไหลที่ปรวมกันในหม้อที่เย็นเพื่อป้องกันไม่ให้มันสุกจนเกินไป การคั่วแบบใช้เครื่องไอร้อน มักเรียกกันว่าเครื่องคั่วแบบกระดานไหล (fluid-bed roaster) เมล็ดกาแฟจะกระดอนกระเด็นท่ามกลางไอความร้อนที่อบตลอดเวลา ด้วยความร้อนประมาณ 400 °F กระบวนการคั่ว ทำ

ให้เมล็ดกาแฟพองตัวเพิ่มขนาดโตขึ้นราว 50% ขณะที่มันมีน้ำหนักเบาลงเมล็ดที่คั่วอย่างอ่อนหรือเข้มสังเกตได้จากขนาดความเข้มข้นของซินนามอนถึงน้ำตาลแบบช็อกโกแลตการคั่วอย่างอ่อนมักใช้กับกาแฟแบบ espresso เพราะจะให้รสชาติที่รุนแรงและเปรี้ยวกว่าการคั่วแบบเข้มข้น การคั่วที่เข้มข้น

ในทางตรงข้ามจะให้รสชาติไปทางหวานจัด จำนวนน้ำมันกาแฟมากขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการคั่ว ยิ่งคั่วเข้มข้นมากเท่าไร สารคาเฟอีนและความเป็นกรดก็จะลดน้อยลงตามสัดส่วนกัน ความเข้มข้นสังเกตจากสีน้ำตาลช็อกโกแลตกลางๆเหมือนสีฟ้าชาตินแววาว เกือบน้ำตาลเข้มเหมือนสีของน้ำมัน ยิ่งคั่วเข้มข้นมาก รสชาติยิ่งเหมือนถ่านมากกว่าถั่ว คั่วจนเข้มมาก จะให้กลิ่นเหมือนควันไฟ เหมาะกับกาแฟดื่มมากกว่ากาแฟ espresso

การคั่วทุกอย่างอ้างอิงถึงขนาดความเข้มของการคั่ว จากอ่อนไปถึงแก่หรือเข้มข้น จากซินนามอน เข้มปานกลาง เข้ม (City) เข้มขึ้น (Full City) แบบ French และในที่สุดแบบ Espresso หรือคั่วแบบ Italian ในทางแถบตะวันตกของสหรัฐอเมริกา การคั่วแบบ French บ่งบอกถึงการคั่วที่เข้มข้นที่สุด จำเป็นที่ต้องเข้าใจว่า คำพวกนี้ไม่เกี่ยวข้องกับสถานที่ของการบดหรือคั่วกาแฟ เพราะการปลูกกาแฟมีมากกว่า 100 อาณาบริเวณทั่วโลก จึงผลิตเมล็ดกาแฟแตกต่างกัน เราเชื่อว่าการบดที่เหมาะสมอีกด้วย ที่มีความจำเป็นและสอดคล้องกับรสชาติที่พิเศษของ espresso แต่เพียงเมล็ดกาแฟอย่างเดียวจะไม่จำเป็นต่อความซับซ้อนของกาแฟ espresso ที่เยี่ยมยอด เพราะการบดแบบ espresso อาจประกอบด้วยสามถึงเจ็ดชนิดของเมล็ดกาแฟที่แตกต่างกันก็ได้ ผู้คั่วที่ชำนาญ จะมีความรู้ในเมล็ดกาแฟแต่ละอย่างต่างกัน ประกอบด้วยศิลปะที่ผสมผสานในการสรรสร้างรสชาติการบดอัดที่ต้องการด้วย ความรู้ในการบดอัดมักเป็นความลับที่ต้องปกปิดกันของแต่ละคนในสหรัฐอเมริกา เมล็ดกาแฟอาราบิก้า 100% มักนิยมใช้กับเครื่องคั่วบดอัดแบบ espresso ดังที่อ้างไว้แล้วว่า ในประเทศอิตาลี เมล็ดกาแฟชนิด Robusta จะใช้ผสมเพิ่มกับครีม คาเฟอีน และประกบกันกับความซับซ้อนในการบดอัดด้วยกัน ชาวอิตาลีนั้น มีความชำนาญในศิลปะการบดอัดกาแฟแบบ espresso การโต้เถียงยังมีอยู่สำหรับนักคั่วกาแฟว่า สิ่งไหนเริ่มก่อนระหว่างการคั่วกับการบด โดยทั่วไป การคั่วแต่ละครั้งเพื่อแยกแยะลักษณะของรสนชาติก่อนแล้วจึงบดจะทำให้ได้ผลที่ดีที่สุด เมล็ดกาแฟสดที่คั่วใหม่จะลดปริมาณสารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็นร้อยละหะเหยเป็นไอออกไป ใช้เวลาวันถึงสองวันเพื่อให้หมดแก๊สเหล่านี้ก่อน รสชาติของกาแฟจึงจะสมบูรณ์ที่สุดทุกวันนี้ นักคั่วกาแฟชั้นดีจะบรรจุเมล็ดกาแฟไว้ในถุงอัดอากาศที่มีวาล์วให้แก๊สระบายออกได้ทางเดียว โดยไม่ให้เมล็ดกาแฟทั้งหมดถูกอากาศทำลาย การบรรจุลักษณะนี้ช่วยให้รสชาติเสื่อมช้าลง เพราะหากไม่บรรจุเมล็ดกาแฟที่คั่วแล้วแบบนี้ เมื่อใดที่โดนกับอากาศ มันจะเริ่มเสื่อมทันที การคั่วจนผิวเมล็ดเป็นน้ำมันเป็นสิ่งสำคัญมาก แม้เมื่อโดนกับอากาศแล้ว หากมีการเก็บที่เหมาะสม ความสดจะคงอยู่ราว 7 ถึง 10 วัน เราแนะนำว่าควรเก็บเมล็ดกาแฟที่คั่วแล้วไว้ในที่ๆสะอาด แห้ง ในภาชนะบรรจุที่มิดชิด วางไว้ในที่มีแดดๆ เราไม่แนะนำให้เก็บไว้ในตู้เย็น เพราะมันจะดูดซับกลิ่นอื่นๆที่มีอยู่ในตู้เย็น การแช่แข็งทำให้เสียคุณภาพ จึงไม่แนะนำให้กระทำนอกจากจำเป็นที่ต้องเก็บไว้ก่อนใช้นานๆ สิ่งที่ต้องระวังทางอุดมคติ คือ ควรซื้อกาแฟที่คั่วและใช้เฉพาะในแต่ละสัปดาห์เท่านั้น

2.12 เกณฑ์ในการทดสอบการคั่วกาแฟ

2.12.1 ความชื้นภายในเมล็ดกาแฟ [1]

การวัดความชื้นที่มีอยู่ในเมล็ดกาแฟจะช่วยในการทำนายอายุการเก็บรักษาได้ กาแฟที่มีความชื้นมากเกินไปจะทำให้เสีรสชาติอย่างรวดเร็ว (ไม่สด) แม้ว่าจะบรรจุในสุญญากาศก็ตาม ความชื้นที่มีอยู่มากเกินไปจะทำให้เกิด Overqueching ระหว่างการคั่ว

2.12.2 การบด [1]

การบดที่ไม่ละเอียดเป็นการบ่งบอกถึงรสชาติและกลิ่นของกาแฟที่ปรากฏออกมาช้าหรือเร็ว ในระหว่างการชง (Brewing) ความหยาบของการบดจะต้องเหมาะสมกับกรรมวิธีและปริมาณในการชง การบดถูกแบ่งโดยค่าเฉลี่ยของการแยก โดยตะแกรงกาแฟบดที่ผ่านตัวปรับแยกเพื่อไปชงควรมีขนาดที่สม่ำเสมอการที่เครื่องบดไม่สามารถปรับขนาดของเมล็ดกาแฟบดได้นั้น บ่งบอกให้เห็นว่าควรบำรุงรักษาเครื่องบดได้แล้ว

2.12.3 อุณหภูมิของการคั่ว [1]

อุณหภูมิของการคั่ว (Degree of Roast) สามารถแบ่งแยกได้โดยตรงจากสีของกาแฟที่คั่วเสร็จซึ่งความแตกต่างของสีนั้นไม่สามารถแบ่งแยกอย่างละเอียดด้วยตาเปล่าได้ จึงจำเป็นต้องมีเครื่องวัด เช่น เครื่อง Agron E10-CP Agron No. สามารถแยกลักษณะองศาของการคั่วได้ดังนี้

ตารางที่ 2.2 แสดง MAJESTIC ROAST STANDARDS [1]

Roast Designation	Roast Description	E10 - CP Agron No.
Overdeveloped	Too Dark	Under 18
Acadian	Extremely Dark	18.0 - 23.0
Italian	Very Dark	23.1 - 28.0
French	Dark	28.1 - 33.0
Vienna	Dark Medium	33.1 - 38.0
Full City	Medium Dark	38.1 - 43.0
City	Medium	43.1 - 48.0
American	Medium Ligth	48.1 - 53.0

Cinnamon	Ligth Medium	53.1 - 58.0
Scandinavian	Ligth	58.1 - 63.0
Finnish	Very Light	63.1 - 68.0
Straw	Extremely Light	68.1 - 73.0
Underdeveloped	Too Light	Over 73.0

ในการคำนวณหาค่าความร้อนที่ใช้คั่วกาแฟเราจะให้อุณหภูมิกาแฟเริ่มต้น $T_s = 30^\circ\text{C}$ และให้อุณหภูมิกาแฟสุดท้าย $T_f = 110^\circ\text{C}$ ซึ่งการคำนวณหาปริมาณความร้อนที่อากาศต้องการเพื่อใช้ในการคั่วกาแฟ เนื่องจากต้องใช้ความร้อนในการอุ่นอากาศจากอุณหภูมิ 30°C ถึง 187.15°C เพื่อใช้ในการคั่วกาแฟ เมื่อ

T อุณหภูมิในหน่วยเป็นเคลวิน, K
 \bar{C}_p ค่าความจุความร้อนจำเพาะมีหน่วยเป็น, kJ/kmol K
 เนื่องจาก Molar mass ของอากาศเท่ากับ 28.97 kg / kmol
 ความหนาแน่นของอากาศ (ρ_a) เฉลี่ยเท่ากับ 0.9 kg / m³
 อัตราการไหลของอากาศ (\dot{V}_a) เท่ากับ 0.022 m³ / s

ความร้อนจากการแผ่รังสี (Radiant Heat)

เครื่องคั่วกาแฟที่ใช้การให้ความร้อนโดยตรงต่ออากาศ (Direct Firing) ไร้อากาศที่ได้รับความร้อนนี้ จะถูกส่งไปถ่ายเทความร้อนให้กับเมล็ดกาแฟที่กำลังถูกคั่วอยู่ซึ่งความร้อนนี้จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนหลักได้แก่ ความร้อนที่ส่งผ่านไปยังเมล็ดโดยการสัมผัสกับอากาศร้อนโดยตรง (GAS CONTACT) ส่วนย่อยได้แก่ ความร้อนที่ได้จากการนำหรือการสัมผัสกันโดยตรงของผนังโลหะและเมล็ดกาแฟที่มีอุณหภูมิต่างกัน ความร้อนส่วนน้อยหรือเพียงเล็กน้อยก็ยังถูกส่งไปยังเมล็ดกาแฟโดย

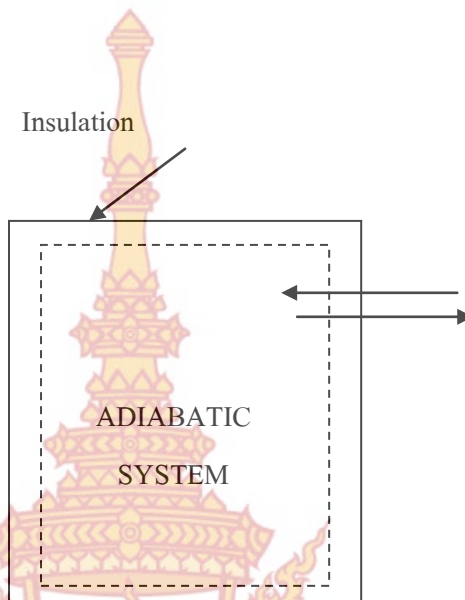
การแผ่รังสีจากผนังและจาก Hot Gas ที่ 500-600 ° F (260-316 ° C) การให้ความร้อนโดยการแผ่รังสีนี้ขึ้นอยู่กับค่าการแผ่รังสี (Emissivity) ของ gas ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงต่ออุณหภูมิสัมบูรณ์ เมื่อ Gases ในเครื่องคั่วมีปริมาณ O₂ รวมกับ N₂ เท่ากับ 90 % ค่าความร้อนจากการแผ่รังสีของ Gas ต่างๆ ในเครื่องคั่ว จะมีผลต่อการส่งผ่านความร้อนแล้วค่าความร้อนสามารถซึมซับรังสีความร้อนก็จะเป็นตัวบอกความสามารถในการรับความร้อน โดยถ้าเป็นกาแฟดิบ (Green Coffee) มันจะสามารถรับพลังงานได้ถึง 80 %

2.13 อุณหภูมิความร้อน

การถ่ายเทความร้อน

ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่งถ่ายเทระหว่างระบบกับระบบอื่นหรือระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม การถ่ายเทความร้อนระหว่างวัตถุสองชิ้นใดๆจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อวัตถุทั้งสองนั้นมีอุณหภูมิแตกต่างกัน ดังนั้นพลังงานที่ถือว่าเป็นพลังงานความร้อนทางเทอร์โมไดนามิกส์จะหมายถึงพลังงานที่ถ่ายเทระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมโดยมีสาเหตุมาจากความแตกต่างของอุณหภูมินอกจากนี้พลังงานที่เรียกว่าความร้อนนั้นจะหมายถึงเฉพาะในขณะที่พลังงานนั้นกำลังเดินทางข้ามขอบเขตของระบบเท่านั้น และเมื่อพลังงานนั้นได้เดินทางข้ามขอบเขตไปแล้วไม่ว่าจะอยู่ในระบบหรือสิ่งแวดล้อมก็จะถือว่าเป็นพลังงานที่เปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานรูปอื่นไม่ใช่ความร้อนอีกต่อไป กล่าวอย่างง่าย ๆ ก็คือความร้อนเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นที่ขอบเขต (Boundary phenomena) เท่านั้น นอกจากนี้แล้วในเมื่อความร้อนเกิดขึ้นที่ขอบเขตแล้วเปลี่ยนรูปไปที่อื่นเมื่อข้ามขอบเขตไปแล้ว ความร้อนจึงไม่สามารถกำหนดสถานะของระบบได้ หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือความร้อนไม่เป็นคุณสมบัติของระบบ

สำหรับกระบวนการใดๆที่เกิดขึ้นโดยที่ไม่มีถ่ายเทความร้อนเลยจะเรียกว่ากระบวนการแอดิยาบติก (adiabatic process ; $Q = 0$) โดยวิธีการที่จะทำให้เกิดกระบวนการเช่นนี้ขึ้นได้มีอยู่สองวิธีวิธีแรกคือการหุ้มฉนวนระบบอย่างดีเพื่อทำให้ไม่สามารถเกิดการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบต่างๆ ได้ ดังนั้นในปัญหาที่จะได้พบต่อไปหากได้มีการกำหนดว่าระบบได้รับการหุ้มฉนวนอย่างดีหมายความว่า จะไม่เกิดการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม ส่วนวิธีที่สองคือการทำให้ระบบและสิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิเท่ากันเพราะเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นต่อเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเท่านั้น เนื่องจากความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่ง ดังนั้นความร้อนจึงมีมิติเป็นมิติของพลังงาน (หรืองาน) นั่นคือมีมิติเป็นมิติของแรงคูณกับมิติของระยะทาง



รูปที่ 2.3 แสดงระบบแอดิยาเบติกหรือระบบที่ไม่มีการถ่ายโอนความร้อน

ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่ง ดังนั้นความร้อนจึงมีหน่วยเหมือนพลังงานรูปอื่นๆ โดยในระบบหน่วย SI ความร้อนมีหน่วยมาตรฐานเป็น kJ (โดย $1 \text{ kJ} = 1 \text{ kN}\cdot\text{m}$) ส่วนในระบบอังกฤษมีหน่วยเป็น Btu ปริมาณการถ่ายโอนความร้อนในกระบวนการใช้สัญลักษณ์เป็น Q สำหรับปริมาณความร้อนต่อหนึ่งหน่วยมวลของระบบ ใช้สัญลักษณ์เป็น q



รูปที่ 2.4 แสดงเครื่องหมายของงานและความร้อน

การนำความร้อน

การนำความร้อนเป็นวิธีการที่มีความร้อนเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำภายในตัวกลางเดียวกันหรือระหว่างตัวกลางต่างชนิดที่ติดกันอยู่ ซึ่งการถ่ายโอนความร้อนเกิดจากผลของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลภายในตัวกลาง

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาการนำความร้อนถูกเสนอขึ้นในปี ค.ศ.1822 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสชื่อ โจเซฟ ฟูรีเยร์ (Joseph Fourier)

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.2)$$

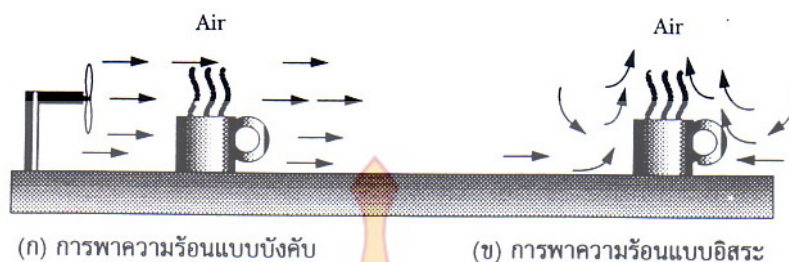
เมื่อ

\dot{Q}_{cond}	อัตราการนำความร้อน, W
k	ค่าการนำความร้อน(thermal conductivity), W/m.K
A	พื้นที่ในการถ่ายโอนความร้อน, m ²
T	อุณหภูมิ, °C
x	ระยะทางในการเคลื่อนที่ของความร้อน

การพาความร้อน

การพาความร้อนเป็นการถ่ายโอนความร้อนระหว่างผิวของของแข็งกับของไหลที่มีการเคลื่อนที่ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการพาความร้อนที่เกิดขึ้นจากผลของการนำความร้อนรวมกับการเคลื่อนที่ของของไหล การพาความร้อนแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ

1. การพาความร้อนแบบบังคับ (forced convection) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงภายนอกมาบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่ผ่านผิววัตถุที่ร้อนกว่าหรือเย็นกว่า เช่น การใช้พัดลมเป่าอากาศให้เกิดการเคลื่อนที่ผ่านถ้วยกาแฟร้อนดังแสดงในรูปที่ (2.5)
2. การพาความร้อนแบบอิสระ (free convection) เกิดขึ้นเมื่อของไหลเกิดการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงลอยตัว(buoyancy force) ของของไหลและแรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล อันเป็นผลแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของของไหล ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่(2.5)โดยความร้อนจากถ้วยกาแฟจะทำให้อากาศมีความหนาแน่นต่ำลง (เบา) จึงเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน ขณะเดียวกันอากาศที่เย็นกว่า (มีความหนาแน่นสูงกว่าสูงกว่าหรือหนักกว่าจะเคลื่อนที่มาแทนที่)



รูปที่ 2.5 แสดงการพาความร้อนแบบบังคับและแบบอิสระ

สำหรับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเป็นสมบัติที่ได้จากการทดลอง ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีหลายอย่าง เช่น รูปร่างของวัตถุ ลักษณะการไหลของของไหล และสมบัติของของไหล เป็นต้น

การแผ่รังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายโอนความร้อนโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง ความร้อนจากการแผ่รังสีจะเคลื่อนที่ไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) การแผ่รังสีความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดีในบริเวณที่เป็นสุญญากาศ เช่น การถ่ายโอนความร้อนจากดวงอาทิตย์มายังโลก

อัตราการแผ่รังสีความร้อนจากผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิสัมบูรณ์เท่ากับ T_s เป็นไปตามกฎของสเติฟาน-โบลทซ์มันน์ (Stefan-Boitzmann low) ดังนี้

$$\dot{Q}_{emit,max} = \sigma AT_s^4 \tag{2.3}$$

เมื่อ

- σ ค่าคงที่สเติฟาน-โบลทซ์มันน์ (Stefan-Boitzmann low) มีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$
- A พื้นที่ผิวของวัตถุที่แผ่รังสีความร้อน, m^2
- T อุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุแผ่รังสีความร้อน, K

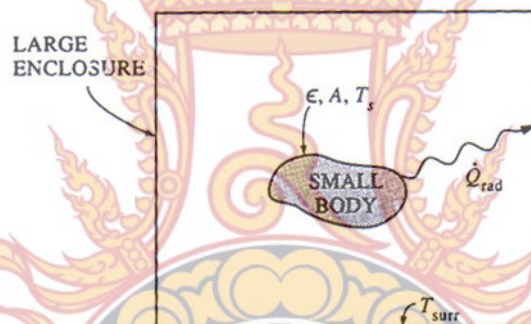
พื้นที่ผิวของวัตถุอุดมคติ (Idealized surface) ที่สามารถแผ่รังสีได้สูงสุดซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (2.3) เรียกว่าวัตถุดำ (black body) สำหรับวัตถุที่มีอยู่ทั่วไปจะแผ่รังสีได้น้อยกว่าวัตถุอุดมคติ โดยมีอัตราการแผ่รังสีความร้อนเป็นไปตามสมการนี้

$$\dot{Q}_{rad} = \epsilon \sigma A T_s^4 \quad (2.4)$$

เมื่อ ϵ = ค่าการแผ่รังสี (emissivity) ซึ่งเป็นปริมาณที่แสดงถึงประสิทธิภาพการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุที่สามารถแผ่รังสีความร้อนได้สูงสุด (วัตถุดำดำ), $0 \leq \epsilon \leq 1$

เมื่อพิจารณาการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างวัตถุใดๆ ที่มีพื้นผิว A และมีค่าการแผ่รังสีความร้อนเท่ากับ ϵ กับวัตถุที่ครอบคลุม (enclosure) วัตถุที่แผ่รังสีอยู่ เมื่อวัตถุที่แผ่รังสีมีอุณหภูมิ T_s และวัตถุที่ครอบคลุมนี้อุณหภูมิ T_{surr} เราสามารถเขียนสมการแลกเปลี่ยนความร้อนสุทธิของวัตถุทั้งสองได้ดังนี้

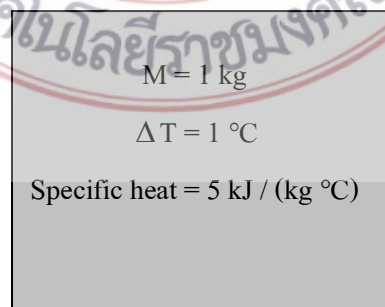
$$\dot{Q}_{rad} = \epsilon \sigma A (T_s^4 - T_{surr}^4) \quad (2.5)$$



รูปที่ 2.6 แสดงการแผ่รังสีความร้อนระหว่างวัตถุกับพื้นผิวนขนาดใหญ่ที่ครอบคลุมวัตถุ

ความร้อนจำเพาะ

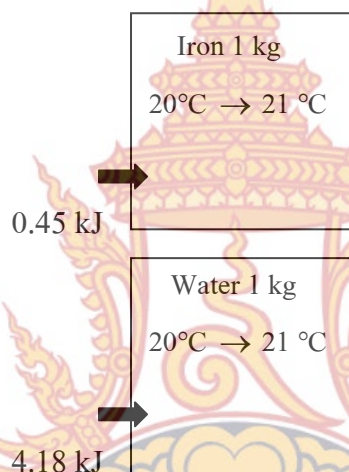
ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heats) คือ พลังงานที่ให้กับสารหนึ่งหน่วยมวลแล้วส่งผลให้อุณหภูมิของสารนั้นเพิ่มขึ้น 1 หน่วยอุณหภูมิ เช่น ความร้อนจำเพาะของสารทำงานที่แสดงในรูปเท่ากับ 5 kJ/kg.K



5 kJ

รูปที่ 2.7 แสดงความร้อนจำเพาะ

ความร้อนจำเพาะเป็นสมบัติเฉพาะตัวของสารแต่ละชนิด เช่น การทำให้เหล็ก 1 kg มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C ต้องการพลังงานเพียง 0.45 kJ ในขณะที่หากต้องการทำให้น้ำที่เป็นของเหลว 1 kg มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C จะต้องการพลังงานสูงกว่าเหล็ก คือ 4.18 kJ

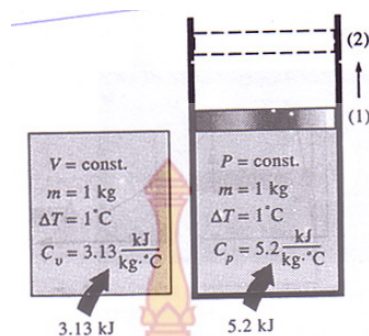


รูปที่ 2.8 แสดงความร้อนจำเพาะเป็นสมบัติเฉพาะตัวของสารแต่ละชนิด

ค่าความร้อนจำเพาะแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือความร้อนจำเพาะโดยปริมาตรคงที่ (C_v) และความร้อนจำเพาะโดยความดันคงที่ (C_p)

1. ความร้อนจำเพาะโดยปริมาตรคงที่ (C_v) หมายถึงพลังงานที่ให้กับสารหนึ่งหน่วยมวลแล้วส่งผลให้อุณหภูมิของสารนั้นเพิ่มขึ้น 1 หน่วยอุณหภูมิ ตามกระบวนการปริมาตรคงที่
2. ความร้อนจำเพาะโดยความดันคงที่ (C_p) หมายถึงพลังงานที่ให้กับสารหนึ่งหน่วยมวลแล้วส่งผลให้อุณหภูมิของสารนั้นเพิ่มขึ้น 1 หน่วยอุณหภูมิ ตามกระบวนการความดันคงที่

ความร้อนจำเพาะ C_p จะมีค่ามากกว่าความร้อนจำเพาะ C_v เสมอ เนื่องจากในกระบวนการความดันคงที่ จะต้องมีการใช้พลังงานส่วนหนึ่งเพื่อทำให้ระบบเกิดการขยายตัว ในขณะที่กระบวนการปริมาตรคงที่ ไม่มีความต้องการพลังงานส่วนนี้ การเปรียบเทียบค่า C_p และ C_v เป็นดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.9 การเปรียบเทียบค่า C_p และ C_v

การพิจารณาค่าความร้อนจำเพาะในเทอมของสมบัติในทางเทอร์โมไดนามิกส์ สามารถอธิบายได้โดยอาศัยกฎข้อที่หนึ่งๆ สำหรับกรณีแรกจะเป็นการศึกษากระบวนการที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ($W_b = 0$) และไม่มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์เป็นพลังงานศักย์ (ระบบไม่เกิดการเคลื่อนที่) จะได้

$$\delta q - \delta w_{\text{other}} = du \quad (2.6)$$

ด้านซ้ายของสมการเป็นเทอมของพลังงานที่เกิดการถ่ายโอนผ่านขอบเขตของระบบ ($\delta q - \delta w_{\text{other}}$) และจากความหมายของความร้อนจำเพาะจะได้ว่าพลังงานในด้านขวามือของสมการจะเท่ากับ $C_v dT$ เมื่อ dT เท่ากับค่าดิฟเฟอเรนเชียลของอุณหภูมิ นั่นคือ

$$C_v dT = du$$

หรือ
$$C_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v \quad (2.7)$$

ในลักษณะเดียวกันสำหรับค่าความร้อนจำเพาะ โดยความดันคงที่จะได้จากการพิจารณากระบวนการความดันคงที่ ($W_b + \Delta u = \Delta h$) ดังนั้น จะได้

$$C_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p \quad (2.8)$$

จากสมการจะเห็นว่า C_v จะสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน และ C_p สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี ซึ่งสามารถนิยามได้ว่า C_v เป็นการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในจำเพาะต่อการ

เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหนึ่งหน่วย ในทำนองเดียวกันจะได้ว่า C_p เป็นการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีจำเพาะต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหนึ่งหน่วย

หาค่าความร้อนที่ใช้ทำความเย็น

$$Q_c = mC_p (T_f - T_s) \quad (2.9)$$

เมื่อ

m น้ำหนักกาแฟ, kg

C_p ค่าความจุความร้อนจำเพาะ, °C

T_s อุณหภูมิกาแฟเริ่มต้น, °C

T_f อุณหภูมิกาแฟสุดท้าย, °C

หาพื้นที่ผิวของเมล็ดกาแฟ

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.10)$$

เมื่อ

ρ ความหนาแน่น, N/m²

m น้ำหนักกาแฟ, kg

V ปริมาตร, cm³

การหาปริมาตรของเมล็ดกาแฟ

$$V = \frac{1}{6} \pi d_{av}^3 \quad (2.11)$$

เมื่อ

V ปริมาตร, cm³

d_{av} เส้นผ่านศูนย์กลางเมล็ดกาแฟเฉลี่ย, mm

หาอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้ในการทำความเย็น

$$\frac{Q_c}{t} = U \times A \times \Delta T_m \quad (2.12)$$

เมื่อ

- Q_c ปริมาณความร้อน, kW
 U สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
 A พื้นที่ผิวของเมล็ดกาแฟทั้งหมด, cm^2
 ΔT_m ผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ย, $^\circ C$

หาปริมาณของอากาศที่ใช้ในการคั่วกาแฟ

$$V_a = \frac{m}{\rho_a} \quad (2.13)$$

เมื่อ

- V_a ปริมาตรอากาศ, cm^3
 m น้ำหนักกาแฟ, kg
 ρ_a ความหนาแน่นของอากาศเฉลี่ย, kg/m^3

หาปริมาณความร้อนที่อากาศต้องการเพื่อใช้ในการคั่วกาแฟ

$$Q_a = m_a \bar{C}_p \Delta T \quad (2.14)$$

เมื่อ

- \bar{C}_p ค่าความจุความร้อนจำเพาะมีหน่วยเป็น, $kJ/kmol \cdot K$
 ΔT ผลต่างของอุณหภูมิ, $^\circ C$

2.14 หลักการออกแบบชิ้นส่วน

2.14.1 เพลาส่งกำลัง

ข้อพิจารณาในการออกแบบเพลลา

เพลลาอาจจะรับแรงดึง แรงกด หรือแรงตัด หรือแรงหลายแรงรวมกันก็ได้ ดังนั้นการคำนวณจึงต้องใช้

ความเค้นผสมเข้าช่วยแรงเหล่านี้ยังอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลาทำให้เพลาสีหาย เพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะต่าง ๆ นอกจากนี้เพลายังจะต้องมีความแข็งแกร่ง (Rigidity) เพียงพอเพื่อลดมุมบิดภายในเพลาลให้อยู่ในขีดจำกัด ที่พอเหมาะ ถึงแม้ว่าจะไม่มีมาตรฐานสำหรับพิกัดมุมบิดของเพลาก็ตามในทางปฏิบัติแล้ว มักจะให้ มุมบิดของเพลาของเครื่องจักรกลทั่วไปไม่เกิน 0.3 องศา ต่อความยาว 20 เท่า [6]ของขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางระยะโคง (Deflection) ของเพลาก็เป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดเพลา เช่นเดียวกัน เพราะถ้ามีระยะโคงมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุนทำให้ความเร็ววิกฤต (Critical Speed) ของเพลาลดลงซึ่งอาจทำให้ เพลามีการสั่นอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็วของเพลาเข้าใกล้ความเร็ว วิกฤตนี้ได้ระยะโคงนี้ยังมีผลต่อการเลือกชนิดของที่รองรับเพลา ซึ่งอาจเป็นแบร์ริงธรรมดาหรือ แบร์ริงแบบปรับแนวได้เอง (Self-aligning Bearing) ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับค่าระยะโคงเป็นสำคัญ สำหรับเพลา เครื่องจักรกลทั่วไป ระยะโคงระหว่าง ระยะจุดที่รองรับด้วยแบร์ริงควรจะไม่เกิน 0.08 มิลลิเมตร/เมตร

สูตรหาความเร็วรอบของปลูเลย์

$$n_2 = \frac{d_1 \times n_1}{d_2} \quad (2.15)$$

เมื่อ

- d_1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปลูเลย์ตัวขับ, mm.
 n_1 ความเร็วรอบของปลูเลย์ตัวขับ, rpm
 d_2 ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของปลูเลย์ตัวตาม, mm.
 n_2 ความเร็วรอบของปลูเลย์ตัวตามของ, rpm

สูตรการหาอัตราทด

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.16)$$

เมื่อ

- n_1 ความเร็วรอบของปลูเลย์ตัวขับ, rpm
 n_2 ความเร็วรอบของปลูเลย์ตัวตามของ, rpm

สูตรการคำนวณหาอัตราทดของปลูเลย์ทั้งหมดจากมอเตอร์จนถึงถึงตัว

$$i = \frac{n_1 \times n_3 \times n_5}{n_2 \times n_4 \times n_6} \quad (2.17)$$

เมื่อ

- n_1 ความเร็วรอบของพลาเลย์ตัวขับของ d_1 , rpm
 n_2 ความเร็วรอบของพลาเลย์ตัวตามของ d_2 , rpm
 n_3 ความเร็วรอบของพลาเลย์ตัวขับของ d_3 , rpm
 n_4 ความเร็วรอบของพลาเลย์ตัวตามของ d_4 , rpm
 n_5 ความเร็วรอบของพลาเลย์ตัวขับของ d_5 , rpm
 n_6 ความเร็วรอบของพลาเลย์ตัวตามของ d_6 , rpm

2.14.2 แบริ่ง (Bearing) [6]

ในเครื่องคั่วกาแฟรับแรงโคจรอาศัยชิ้นส่วนของแบริ่งที่มีลักษณะเป็นผิวสัมผัสแบบกลิ้ง (Rolling Contact) แทนที่จะเป็นผิวสัมผัสแบบเลื่อน (Sliding Contact) เนื่องจากแบริ่งมีความเสียดทานน้อยมาก ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งที่นิยมใช้กันทั่วไป ในวงการอุตสาหกรรมว่า แอนติฟริคชั่นแบริ่ง (Anti Friction Bearing) เช่น บอลแบริ่ง (Ball Bearing) หรือดัดลับลูกปืน

ความเสียดทานของโรลลิงแบริ่ง

ความเสียดทานในโรลลิงแบริ่งส่วนใหญ่เกิดจากการเสียดสีกันระหว่างลูกกลิ้งและราวบนวงแหวน ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสำหรับแบริ่งบางชนิดดูจากตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแบริ่ง

ชนิดของแบริ่ง	ขณะเริ่มทำงาน		ขณะเริ่มทำงาน	
	ในแนวรัศมี (mm.)	ในแนวแกน (mm.)	ในแนวรัศมี (mm.)	ในแนวแกน (mm.)
Ball Bearing	0.0025	0.006	0.0015	0.004
Spherical Roller Bearing	0.003	0.12	0.0018	0.008
Cylindrical Roller Bearing	0.002	-	0.0011	-

โดยปกติค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ แรงความเร็ว การหล่อลื่นและชิ้นของแบร์ริง (Bearing Seal)

ถึงแม้ว่าค่าความเสียดทานนี้จะมีความสำคัญน้อยมากสำหรับงานทั่วไป แต่สมการทางทฤษฎีที่ใช้สำหรับคำนวณกำลังงานที่สูญเสียไป เนื่องจากความเสียดทานที่ควรทราบไว้คือ

$$W_p = \frac{2nT}{60} = \frac{fFr \times dn}{6} \quad (2.18)$$

$$W = \frac{fFa \times dn}{6} \quad (2.19)$$

เมื่อ

W	กำลังงาน, Watt
T	โมเมนต์ (Moment) บิดเนื่องจากความเสียดทาน, Nm
n	ความเร็วรอบของเพลา, rpm
d	ขนาดรูสวม (Bore) ของแบร์ริง, mm
Fr	แรงที่กระทำกับแบร์ริงในแนวรัศมี, N
Fa	แรงที่กระทำกับแบร์ริงในแนวแกน, N
f	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

2.14.3 สายพานและล้อสายพาน

สายพานแบ่งออกเป็นสี่ชนิดตามลักษณะหน้าตัดของสายพาน คือ

2.13.4.1 สายพานแบน (Flat belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

2.13.4.2 สายพานลิ้ม (V-belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

2.13.4.3 สายพานกลม (Ropes) มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม

2.13.4.4 ไทม์มิ่งเบิ้ลท์ (Timing belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู แต่จะทำร่องคล้ายฟันเพื่อสอดความยาวของสายพาน

ในการเลือกใช้สายพานมีสิ่งที่จะต้องพิจารณาหลายประการด้วยกัน คือ

1. ความตึงสายพาน สายพานต้องเหนียวพอที่จะทนแรงตึงได้ ขณะที่มอเตอร์ขับสายพานจะเกิดความตึง ขึ้นบนสายพานเนื่องจากแรงต้านทานหลายอย่างคือ

1.1 น้ำหนักของวัสดุที่บรรทุกอยู่บนสายพาน

1.2 น้ำหนักของสายพานเอง โดยเฉพาะสายพานที่ขนถ่ายขึ้นเป็นมุมชัน

1.3 แรงเสียดทานของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ตั้งกราดทำความสะอาดสายพาน ความ เสียดทาน ของลูกกลิ้ง ความเสียดทานระหว่างสายพานกับที่กั้นของตก (Skirt Board) แรงดึงสายพานนี้สามารถ คำนวณได้ เมื่อได้ค่าความตึงสายพานแล้วจึงจะสามารถ เลือกผ้าใบ (Caracas) ของสายพานว่าจะใช้ วัสดุอะไร จำนวนกี่ชิ้นจึงจะทนแรงดึงได้

2. สภาพแวดล้อม สภาพแวดล้อมมีผลกระทบต่อโดยตรงกับเนื้อยาง ที่เป็นแผ่นยาง (Cover) ของสายพาน ในแต่ละสภาพแวดล้อมจะต้องเลือกแผ่นยางให้เหมาะสมสภาพแวดล้อมที่จะต้องนำมาพิจารณาคือ

2.1 สภาพแวดล้อมวัสดุที่มีความคมซึ่งจะทำให้สายพานเกิดการสึกหรอมากขนาดไหน

2.2 สภาพของวัสดุที่มีไขน้ำมัน เช่น น้ำมันจากแร่ธาตุ (Mineral Oil) ไขมันสัตว์ (Animal Fat) น้ำมันพืช (Vegetable Oil)

2.3 ความร้อน ความเย็นจัด

2.4 สารเคมี

ลักษณะการขับด้วยสายพาน

เนื่องจากคุณสมบัติในการอ่อนตัวของสายพาน จึงอาจจัดลักษณะการขับของสายพานได้ต่าง ๆ กัน ลักษณะทั่วไปที่นิยมใช้ในการขับด้วยสายพานดูได้จากรูปที่ 2.10



(ก) ไอพินไดรฟ์

(ข) ครอสไดรฟ์

(ค) ควอเตอร์เทอนไดรฟ์

(ง) มิวส์ไดรฟ์

(จ) แสดงการขับโดยใช้ล้อช่วย

(ฉ) ริเวอส์ไดรฟ์

รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะการขับด้วยสายพาน

บทที่ 3

การออกแบบและการคำนวณ

3.1 แนวความคิดในการออกแบบเครื่องคว่ำกาแฟอัตโนมัติ

ในการออกแบบสร้างเครื่องคว่ำกาแฟอัตโนมัติ มีแนวความคิดที่จะออกแบบและสร้างเครื่องให้มีรูปแบบการทำงานในลักษณะดังนี้

3.1.1 ชุดตั้งคว่ำกาแฟ จะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกและปลายถึงจะเป็นทรงกรวยวางในลักษณะแนวนอนสามารถคว่ำได้ครั้งละ 5 กิโลกรัม โดยใช้ความเร็วรอบประมาณ 30 รอบต่อนาที

3.1.2 มีชุดวัดอุณหภูมิความร้อนในขณะทำการคว่ำเมล็ดกาแฟภายในถัง

3.1.3 มีชุดให้ความร้อนอยู่ด้านล่างถึงคว่ำ โดยมีตลอดแนวยาวเท่ากับตั้งคว่ำกาแฟเพื่อใช้ในการให้ความร้อน ให้ทั่วถึงในขณะทำการคว่ำ

3.1.4 มีพัดดูดความชื้นออกจากถังขณะทำการคว่ำ

3.1.5 มีชุดถาดรองรับเมื่อคว่ำกาแฟเสร็จภายในถาดนี้จะมีใบพัดทำหน้าที่กระจายเพื่อระบายความร้อน ของเมล็ดกาแฟและจะมีพัดลมดูดอีก 1 ตัวทำหน้าที่ระบายความร้อนและดูดเปลือกของเมล็ดกาแฟเพื่อไม่ให้เกิดการฟุ้งกระจาย

3.1.6 มีสวิตซ์ไฟฟ้าควบคุมการทำงานของมอเตอร์ที่ใช้ในการขับตั้งคว่ำ 1 ตัว มอเตอร์ของพัดลมดูดอากาศ 2 ตัว และมอเตอร์ที่ใช้ในการระบายความร้อนของเมล็ดกาแฟ 1 ตัว เพื่อสะดวกในการควบคุมการทำงาน

3.2 แนวคิดและหลักการการทำงานของเครื่องคว่ำกาแฟอัตโนมัติ

เครื่องคว่ำกาแฟแบบอัตโนมัติทำงานโดยนำเอาเมล็ดกาแฟใส่ทางกรวยด้านบน หลังจากนั้นทำการปิดฝาของเครื่องคว่ำตรงฝาจะมีชุดมิเตอร์วัดอุณหภูมิเพื่อเช็คระดับของความร้อนภายในถึงคว่ำแล้วเปิดสวิตซ์ให้เครื่องทำงานเมื่อได้สีของเมล็ดกาแฟตามที่ต้องการ เสร็จแล้วก็เทเมล็ดกาแฟลงในถาดตะแกรงเพื่อระบายความร้อนของเมล็ดกาแฟ ซึ่งภายในถาดจะมีชุดพัดลมดูดอากาศเพื่อแยกเปลือกออกจากเมล็ดกาแฟแล้วพัดลมก็จะดูดเปลือกของเมล็ดกาแฟลงข้างล่างเพื่อไม่ให้เกิดการฟุ้งกระจายของเปลือกของเมล็ดกาแฟ

3.3 องค์ประกอบหลักของเครื่องคว่ำกาแฟอัตโนมัติ

แนวคิดในการเลือกใช้กลไกต่างๆ ของเครื่องคว่ำกาแฟอัตโนมัติ มีการพิจารณาในการเลือกใช้กลไก อยู่ 4 ส่วน คือ

3.3.1 ชุดโครงสร้างฐานรองรับ

3.3.2 ชุดถังคว่ำ

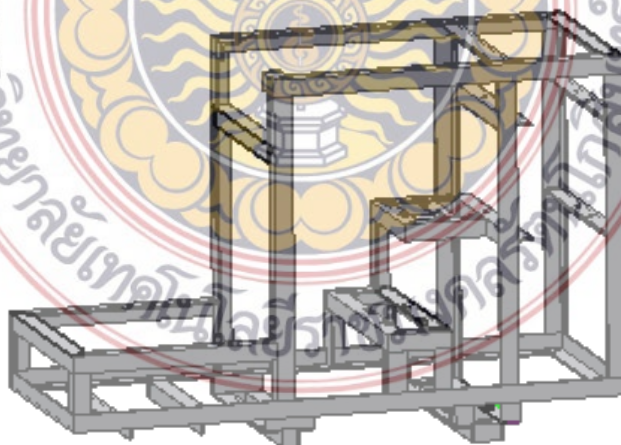
3.3.3 ชุดส่งกำลัง

3.3.4 ระบบระบายความชื้นและความร้อนของเมล็ดกาแฟ

ในการออกแบบมีความคิดและศึกษาความเป็นไปได้ของการทำงานในระบบต่างๆ รวมไปถึงได้ออกแบบหลักการทำงานของเครื่องให้มีหลักการทำงานที่ง่ายและมีประสิทธิภาพ จึงได้เลือกหลักการทำงานไว้พิจารณา ดังนี้

3.3.1 การออกแบบชุดโครงสร้างฐานรองรับ

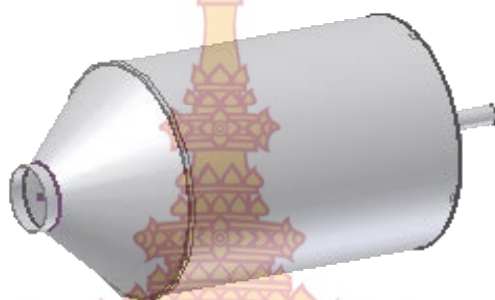
โครงสร้างฐานรองรับเป็นส่วนที่ต้องรับภาระ จากชิ้นส่วนต่างๆที่นำมาจับยึดหรือประกอบเข้าเป็นตู้เครื่อง ดังนั้นโครงสร้างฐานรองรับจะต้องมีความแข็งแรงสูง และได้พิจารณาโครงสร้างฐานรองรับ และความเหมาะสมรวมถึงรูปทรง ของเครื่องที่ออกแบบมา สามารถที่จะถอดประกอบชิ้นส่วนได้อย่างเหมาะสมและสะดวกในการถอดประกอบชิ้นส่วนต่างๆ จึงเลือกใช้เหล็กฉากมาเป็นวัสดุในการผลิต ซึ่งสามารถหาซื้อได้ง่าย



รูปที่ 3.1 แสดงชุดโครงสร้างฐานรองรับ

3.3.2 ชุดถังคั่ว

แนวความคิดในการออกแบบถังคั่วควรจะทำมาจากแผ่นสแตนเลส (Stainless;304)หนา 0.3 mm. เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคและให้มีลักษณะการวางเป็นแบบแนวนอนเพื่อที่จะให้ความร้อนกระจายไปทั่วถึงในขณะที่กำลังหมุนเพื่อป้องกันการไหม้ของเมล็ดกาแฟ



รูปที่ 3.2 แสดงชุดถังคั่ว

3.3.3 การออกแบบชุดส่งกำลัง

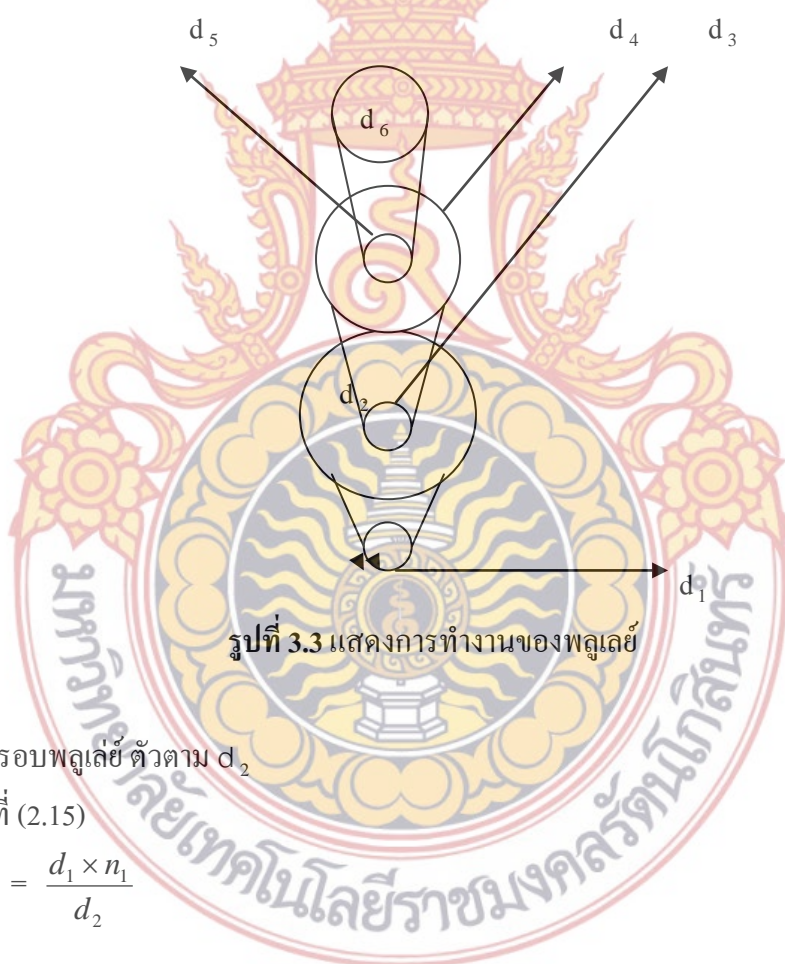
หลังจากกำหนดเงื่อนไขในการออกแบบและสร้างชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องแล้ว ก็จะต้องคำนึงถึงระบบส่งกำลังด้วยว่าควรออกแบบอย่างไรเพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานของเครื่อง เพื่อให้เครื่องได้รับกำลังจากการทำงานอย่างเหมาะสม จึงกำหนดการส่งกำลังของเครื่องโดยอาศัยกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าตัวที่ 1 ทำหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อนถังใช้มอเตอร์ขนาด 1/2 Hp มอเตอร์ไฟฟ้าตัวที่ 2 ทำหน้าที่ดูดความชื้นของเมล็ดกาแฟในถังใช้มอเตอร์ขนาด 1/3 Hp มอเตอร์ไฟฟ้าตัวที่ 3 ทำหน้าที่ดูดกากเมล็ดกาแฟและระบายความร้อนของเมล็ดกาแฟหลังจากที่ทำการคั่วเสร็จแล้วใช้มอเตอร์ขนาด 1/3 Hp มอเตอร์ไฟฟ้าตัวที่ 4 ทำหน้าที่หมุนควงเพื่อให้เมล็ดกาแฟกระจายเพื่อช่วยให้ระบายความร้อนหลังจากที่ทำการคั่วของเมล็ดกาแฟเสร็จแล้วได้เร็วยิ่งขึ้นใช้มอเตอร์ขนาด 1/3 Hp

3.3.4 การออกแบบระบบระบายความชื้นและความร้อนของเมล็ดกาแฟ

การออกแบบระบบระบายความชื้นและความร้อนของเมล็ดกาแฟ ในถังคั่วมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความชื้นขณะที่ทำการคั่ว

3.4 กำหนดหาขนาดของพูลเลย์

ในการออกแบบเครื่องคว่ำกาแฟนี้ ต้องการความเร็วรอบที่มีประสิทธิภาพพอที่จะทำให้เมล็ดกาแฟ ลอยตัวได้และเกิดการหมุนวน เพื่อให้เมล็ดกาแฟได้รับความร้อนที่ผ่านเข้ามาอย่างสม่ำเสมอ และทั่วถึงกันทุกเมล็ด โดยได้ทำการเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าที่มีความเร็วรอบประมาณ 1440 rpm และมีประสิทธิภาพในการทำงานโดยได้เลือกใช้พูลเลย์เป็นตัวลดความเร็วรอบจากมอเตอร์มีขนาดดังต่อไปนี้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์บนเพลามอเตอร์ตัวขับ $d_1 = 50.8$ mm. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวตาม $d_2 = 406.4$ mm. เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวขับ $d_3 = 76.2$ mm. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวตาม $d_4 = 254$ mm. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองทดบนเพลากวนหมุนตัวขับ $d_5 = 114.3$ mm. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองทดตัวตามที่ติดกับแกนถังคว่ำ $d_6 = 254$ mm.



หาความเร็วรอบพูลเลย์ตัวตาม d_2

จากสมการที่ (2.15)

$$n_2 = \frac{d_1 \times n_1}{d_2}$$

$$n_2 = \frac{50.8 \times 1440}{406.4}$$

$$n_2 = 180 \text{ rpm.}$$

หาอัตราทด d_2

จากสมการ (2.16)

$$i = \frac{n_1}{n_2}$$

$$= \frac{1440}{180} = 8.0$$

เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของพลูเลย์ตัวตาม

$$d_2 = d_1 \times i$$

$$= 50.8 \times 8.0 = 406.4 \text{ mm.}$$

เลือกจากราง $d_2 = 400 \text{ mm.}$

หาความเร็วรอบพลูเลย์ ตัวขับ d_3

จากสมการ (2.15)

$$n_3 = \frac{d_2 \times n_2}{d_3}$$

$$n_3 = \frac{400 \times 180}{76.2}$$

$$n_3 = 944.88 \text{ rpm.}$$

หาอัตราทด d_3

จากสมการที่ (2.16)

$$i = \frac{n_2}{n_3}$$

$$= \frac{180}{944.88} = 0.19$$

เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของพลูเลย์ตัวตาม

$$d_3 = d_2 \times i$$

$$= 400 \times 0.19 = 76 \text{ mm.}$$

เลือกจากราง $d_3 = 75 \text{ mm.}$

หาความเร็วรอบพลูเลย์ตัวตาม d_4

จากสมการที่ (2.15)

$$n_4 = \frac{d_3 \times n_3}{d_4}$$

$$n_4 = \frac{75 \times 944.88}{254}$$

$$n_4 = 279 \text{ rpm.}$$

หาอัตราทด d_4

จากสมการที่ (2.16)

$$i = \frac{n_3}{n_4}$$

$$= \frac{944.88}{275} = 3.38$$

เส้นผ่านศูนย์กลางของพลูเลย์ตัวตาม

$$d_4 = d_3 \times i$$

$$= 75 \times 3.38 = 253.50 \text{ mm.}$$

เลือกจากราง $d_4 = 250 \text{ mm.}$

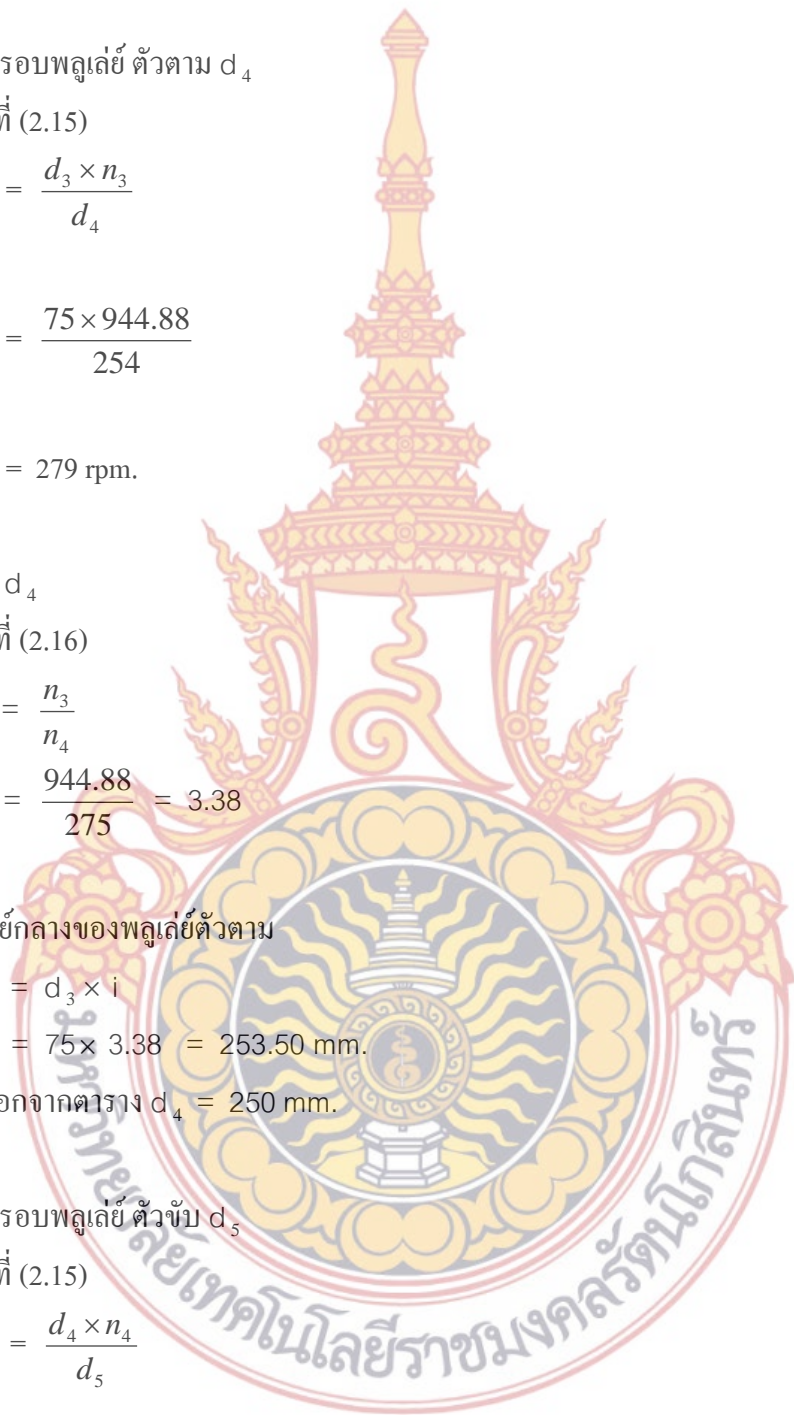
หาความเร็วรอบพลูเลย์ตัวขับ d_5

จากสมการที่ (2.15)

$$n_5 = \frac{d_4 \times n_4}{d_5}$$

$$n_5 = \frac{250 \times 275}{114.3}$$

$$n_2 = 610.24 \text{ rpm.}$$



หาอัตราทด d_5

จากสมการ (2.16)

$$i = \frac{n_4}{n_5}$$

$$= \frac{279}{610.24} = 0.45$$

เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของพลูเลย์ตัวตาม

$$d_5 = d_4 \times i$$

$$= 250 \times 0.45 = 112.5 \text{ mm.}$$

เลือกจาดตาราง $d_5 = 112 \text{ mm.}$

หาความเร็วรอบพลูเลย์ตัวตาม d_6

จากสมการที่ (2.15)

$$n_6 = \frac{d_5 \times n_5}{d_6}$$

$$n_6 = \frac{112 \times 610.24}{254}$$

$$n_6 = 265 \text{ rpm.}$$

หาอัตราทด d_6

จากสมการที่ (2.16)

$$i = \frac{n_5}{n_6}$$

$$= \frac{610.24}{265} = 2.26$$

เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของพลูเลย์ตัวตาม

$$d_6 = d_5 \times i$$

$$= 112 \times 2.26 = 253 \text{ mm.}$$

จากเลือกตาราง $d_2 = 250 \text{ mm.}$

หาอัตราทดของพลูเลย์ทั้งหมดจากมอเตอร์จนถึงตัว

จากสมการที่ (2.17)

$$i = \frac{n_1 \times n_3 \times n_5}{n_2 \times n_4 \times n_6}$$

$$i = \frac{1440 \times 944.88 \times 610.24}{180 \times 279 \times 269}$$

$$i = \frac{830309142.5}{13509180}$$

$$= 61 \text{ rpm.}$$

3.5 คำนวณหาค่าความร้อนที่ใช้ทำความเย็น

กำหนดเครื่องทำความเย็นได้ครั้งละ 5 kg

จากข้อมูลคุณสมบัติของกาแฟสด แนะนำให้ใช้ค่าความจุความร้อนจำเพาะ [1]

$$C_p = 0.513 \text{ kCal/kg } ^\circ\text{C}$$

จากสมการที่ (2.9)

$$Q_c = mC_p (T_f - T_s)$$

$$Q_c = 5 \times 0.513 \times (110 - 30)$$

$$Q_c = 205.2 \text{ kCal}$$

∴ ความร้อนที่กาแฟได้รับ 205.2 kCal

3.6 คำนวณหาอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้ในการทำความเย็น

เนื่องจาก จากข้อมูลของกาแฟ แนะนำให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม [1]

$$U = 1.24 \text{ cal/h cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

เวลาที่ใช้ในการทำความเย็น $t = 5$ นาที หรือ 0.083 ชั่วโมง

3.6.1 หาพื้นที่ผิวของเมล็ดกาแฟ

จากข้อมูลของกาแฟ [1] ให้ความหนาแน่นของกาแฟเท่ากับ 1.25 kg/l และการคั่วแต่ละครั้งใช้กาแฟ 5 kg ดังนั้น

จากสมการที่ (2.10)

$$\rho = \frac{m}{v}$$

เพราะฉะนั้น

$$V_t = \frac{m}{\rho_c}$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} V_t &= \frac{5 \text{ kg}}{1.25 \text{ kg/l}} \\ &= 4 \text{ l} = 4000 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

สมมติให้ เมล็ดกาแฟมีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย $d_{av} = 0.6 \text{ cm}$ ดังนั้น [1]

จากสมการที่ (2.11)

กาแฟ 1 เมล็ด มีปริมาตร

$$V = \frac{1}{6} \pi d_{av}^3$$

$$= \frac{1}{6} \pi (0.6)^3$$

$$= 0.113 \text{ cm}^3$$

และพื้นที่ผิว

$$A = \pi d_{av}^2$$

$$= \pi (0.6)^2$$

$$= 1.131 \text{ cm}^2$$

หาจำนวนเมล็ดกาแฟทั้งหมด 5 kg $\frac{4000}{0.113} = 35,398$ เมล็ด

มีพื้นที่ผิวรวม

$$A_t = 35,398 \times 1.131 = 40035 \text{ cm}^2$$

3.6.2 หาอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้ในการคั่วกาแฟ

จากสมการที่ (2.12)
$$\frac{Q_c}{t} = U \times A \times \Delta T_m$$

$$\Delta T_m = \frac{T_r - T_f}{2}$$

จากสมการจะได้
$$\Delta T_m = \frac{Q_c}{U \times A_t \times t}$$

เพราะฉะนั้นจะได้
$$\frac{T_r - T_f}{2} = \frac{Q_c}{U \times A_t \times t}$$

แทนค่า
$$\frac{T_r - 110}{2} = \frac{205.2 \times 10^3}{1.24 \times 40035 \times 0.083}$$

\therefore อุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้ในการคั่วกาแฟเท่ากับ $T_r = 209.6 \text{ } ^\circ\text{C}$

3.7 คำนวณหาปริมาณของอากาศที่ใช้ในการคั่วกาแฟ

จากการสำรวจข้อมูล [1] ค่าที่แนะนำคือ อากาศ 1.2 กิโลกรัมต่อปริมาณกาแฟ 1 กิโลกรัม เนื่องจากต้องการคั่วกาแฟ 5 กิโลกรัม ดังนั้นปริมาณของอากาศที่ต้องใช้คือ 6 กิโลกรัม

ความหนาแน่นอากาศเฉลี่ย (ρ_a) = $0.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

จากสมการที่ (2.13)
$$V_a = \frac{m}{\rho_a}$$

หาปริมาตรอากาศ
$$V_a = \frac{6\text{kg}}{0.9\text{kg}/\text{m}^3}$$

$$= 6.667 \text{ m}^3$$

ดังนั้น อัตราการไหล (\dot{V}_a) ของอากาศเท่ากับ

$$\begin{aligned}\dot{V}_a &= \frac{6.667 m^3}{300 s} = 0.022 \frac{m^3}{s} \\ &= 47.08 \text{ CFM}\end{aligned}$$

3.8 คำนวณหาปริมาณความร้อนที่อากาศต้องการเพื่อใช้ในการทำความเย็น

เนื่องจากต้องใช้ความร้อนในการอุ่นอากาศจากอุณหภูมิ 30°C ถึง 187.15°C เพื่อใช้ในการทำความเย็นจากข้อมูลคุณสมบัติของอากาศ [1] จะมีค่าความจุความร้อนจำเพาะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ดังนั้นจึงใช้ค่าของ \bar{C}_p ที่เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ คือ

$$\bar{C}_p = 28.11 + (0.1967 \cdot 10^{-2} T + 0.4802 \cdot 10^{-5} T^2 - 1.966 \cdot 10^{-9} T^3)$$

จากสมการที่ (2.14) $Q_a = \dot{m}_a \bar{C}_p \Delta T$

ดังนั้น จะได้ $Q_a = \frac{\rho \cdot V}{28.97^{303}} (28.11 + 0.1967 \cdot 10^{-2} T + 0.4802 \cdot 10^{-5} T^2 - 1.966 \cdot 10^{-9} T^3) dT$

$$Q_a = 5.904 \text{ kW}$$

∴ ปริมาณความร้อนที่อากาศต้องการเพื่อใช้ในการทำความเย็นเท่ากับ 5.904 kW

บทที่ 4

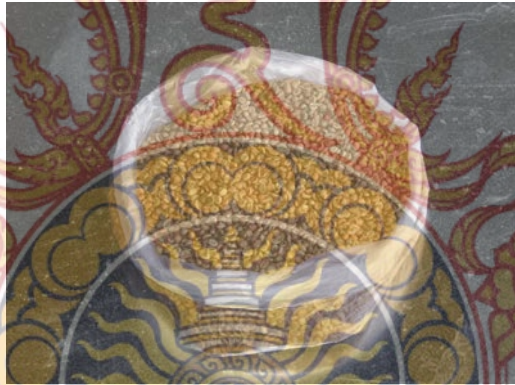
ผลการทดลอง

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 4.1.1 เครื่องแก้วกาแฟ
- 4.1.2 เมล็ดกาแฟ
- 4.1.3 ตาชั่ง
- 4.1.4 แก๊ส LPG
- 4.1.5 นาฬิกาจับเวลา

4.2 วิธีการทดลอง

4.2.1 เมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้า



รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างเมล็ดกาแฟก่อนทำการคั่วพันธุ์ อาราบิก้า

เตรียมเมล็ดกาแฟที่ได้จากการสีเป็นสารกาแฟมาทำการชั่งน้ำหนักที่ 5 กิโลกรัมเพื่อใช้ในการคั่วต่อครั้ง



รูปที่ 4.2 แสดงการเทเมล็ดกาแฟลงในถัง

การเทเมล็ดกาแฟลงในถังจะตกลงทางด้านหน้าของเครื่องคั่วกาแฟที่ได้ทำเป็นทรงกรวยเพื่อความสะดวกและความรวดเร็วในการเทเมล็ดกาแฟ



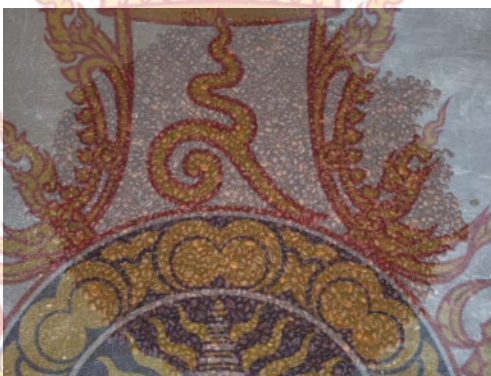
รูปที่ 4.3 แสดงเมล็ดกาแฟขณะทำการคั่วที่อุณหภูมิ 100 °C เวลา 5 นาที

เมื่อทำการคั่วเมล็ดกาแฟควรจะตักเมล็ดกาแฟออกมาดูอย่างสม่ำเสมอ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของสีเมล็ดกาแฟว่าสีที่ได้ตามต้องการหรือไม่ ถ้าคั่วเมล็ดกาแฟนานอาจทำให้รสชาติที่ไม่ดี



รูปที่ 4.4 แสดงการระบายความร้อนของเมล็ดกาแฟ หลังจากที่คั่วเสร็จแล้ว

เมื่อคั่วเมล็ดกาแฟเสร็จเมล็ดกาแฟจะถูกเทออกมาจากถังคั่วลงในตะแกรงที่อยู่ด้านล่าง เพื่อทำการระบายความร้อนในเมล็ดกาแฟอย่างรวดเร็วคงไว้ซึ่งรสชาติพร้อมแยกกากออกจากเมล็ดกาแฟ



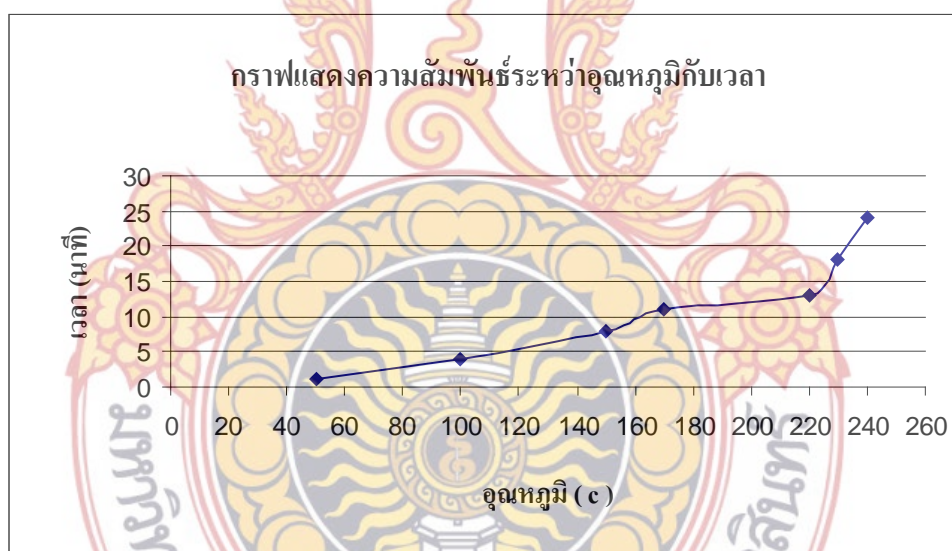
รูปที่ 4.5 แสดงตัวอย่างของเมล็ดกาแฟ ที่ได้จากการคั่ว

ลักษณะของเมล็ดกาแฟหลังจากที่ทำการคั่วเสร็จเรียบร้อยแล้ว

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลขณะทำการคั่วเมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้า ครั้งที่ 1

อุณหภูมิ °C	เวลา (นาที)
35	0
50	1
100	4
150	8
170	11
220	13
230	18
240	24

กราฟแสดงผลการทดลองคั่วเมล็ดกาแฟในแต่ละครั้ง



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาโดยเริ่มจากอุณหภูมิ 30 °C ถึง 240 °C

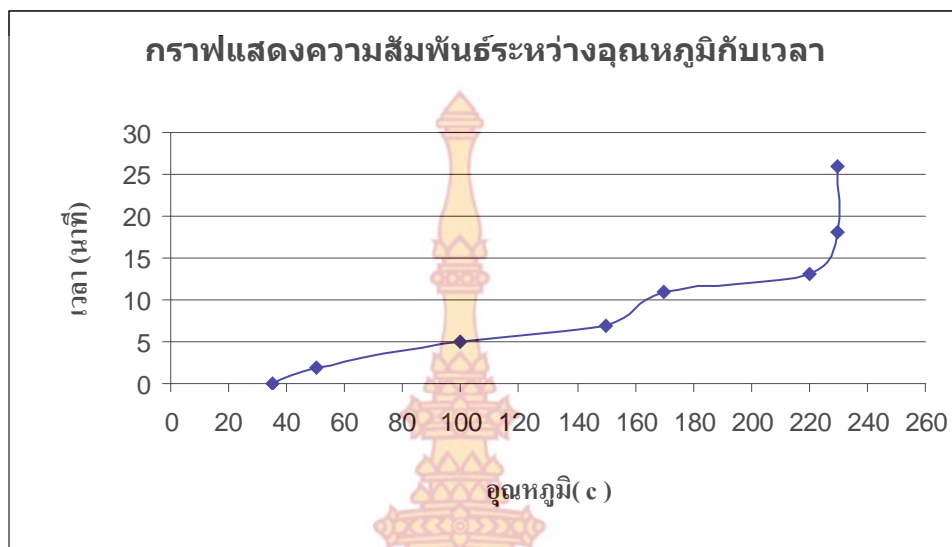
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการคั่วเมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้า ครั้งที่ 1

ลำดับที่	อุณหภูมิ (°C)	สีของกาแฟ	ลักษณะของเมล็ดกาแฟ
1	35 – 50	สีอ่อนมาก	เมล็ดกาแฟยังค่อนข้างเหนียว มีสีน้ำตาลอ่อน
2	50 – 100	สีอ่อน	เมล็ดกาแฟมีสีน้ำตาลอ่อนทั่วทั้งเมล็ด
3	100 – 170	สีน้ำตาล	เมล็ดกาแฟเริ่มที่จะมีสีน้ำตาลเข้มทั้งเมล็ด
4	170 – 220	สีน้ำตาลเข้ม	เมล็ดกาแฟจะมีสีน้ำตาลเข้มทั้งเมล็ด
5	220 - 240	สีดำ	เมล็ดกาแฟเริ่มไหม้ เปราะ และมีสีเข้มเป็นสีดำ

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลขณะทำการคั่วเมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้า ครั้งที่ 2

อุณหภูมิ °C	เวลา (นาที)
35	0
50	2
100	5
150	7
170	11
220	13
230	18
230	26

กราฟแสดงผลการทดลองคั่วเมล็ดกาแฟในแต่ละครั้ง



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาโดย เริ่มจากอุณหภูมิ 35°C ถึง 230°C

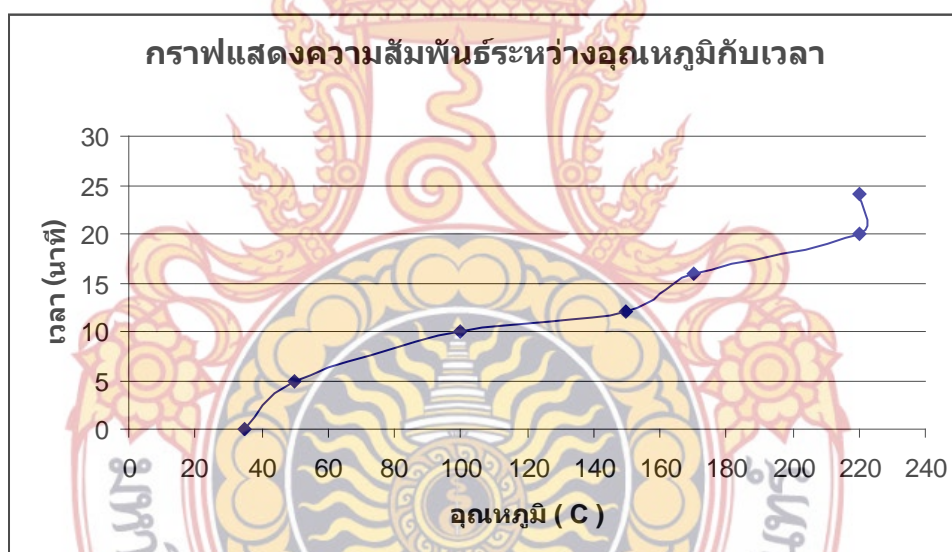
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการคว่ำเมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้า ครั้งที่ 2

ลำดับที่	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	สีของกาแฟ	ลักษณะของเมล็ดกาแฟ
1	35 – 50	สีอ่อนมาก	เมล็ดกาแฟยังเป็นสีน้ำตาล และไม่มีกลิ่น
2	50 – 100	สีอ่อน	เมล็ดกาแฟเริ่มมีการเปลี่ยนสีของผิวด้านนอกแต่ยังไม่มีกลิ่น
3	100 – 170	สีน้ำตาล	เมล็ดกาแฟเริ่มที่จะมีสีน้ำตาลเข้มทั้งเมล็ด
4	170 – 220	สีน้ำตาลเข้ม	เมล็ดกาแฟจะมีสีน้ำตาลเข้มทั้งเมล็ด ผิวด้านนอกเริ่มไหม้ และเริ่มมีกลิ่นหอม
5	220 - 230	สีน้ำตาลเข้ม	เมล็ดกาแฟเริ่มไหม้ และมีสีเข้มเป็นสีน้ำตาลเข้ม และมีกลิ่นหอม

ตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูลขณะทำการคว่ำเมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้า ครั้งที่ 3

อุณหภูมิ °C	เวลา (นาท)
35	0
50	5
100	10
150	12
170	16
220	20
220	24

กราฟแสดงผลการทดลองการต้มลีสต์กาเฟอีนแต่ละครั้ง



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาโดยเริ่มจากอุณหภูมิ 35 °C ถึง 220 °C

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการต้มลีสต์กาเฟอีนธูอาราบิก้า ครั้งที่ 3

ลำดับ ที่	อุณหภูมิ (°C)	สีของกาแฟ	ลักษณะของเมล็ดกาแฟ
1	35 - 50	สีอ่อนมาก	เมล็ดกาแฟยังเป็นสีน้ำตาล และยังไม่มีการกลั่น
2	50 - 100	สีอ่อน	เมล็ดกาแฟเริ่มมีการเปลี่ยนสีของผิวด้านนอกแต่ยังไม่มีการกลั่น
3	100 - 150	สีน้ำตาล อ่อน	เมล็ดกาแฟเริ่มมีการเปลี่ยนสีของผิวด้านนอกและเริ่มมีการกลั่น
4	150 - 170	สีน้ำตาลเข้ม	เมล็ดกาแฟเริ่มเป็นสีน้ำตาล และเริ่มมีการกลั่นหอม
5	170 - 220	สีน้ำตาลเข้ม	เมล็ดกาแฟเป็นสีน้ำตาลสม่ำเสมอทั่วทั้งเมล็ด และมีการกลั่น หอม

จากผลการทดลองที่อุณหภูมิความร้อนที่ใช้ในการคั่วกาแฟที่ 220 °C จะทำให้เมล็ดกาแฟสุกสม่ำเสมอทั่วทั้งเมล็ด ซึ่งทำให้มีสีเป็นสีเดียวกันทั้งเมล็ดด้วย และที่สำคัญที่อุณหภูมิความร้อนในระดับนี้ จะให้กลิ่นกาแฟที่หอม ดังนั้นจึงใช้อุณหภูมิที่ 220 °C ในการคั่ว

4.2.2 เมล็ดกาแฟพันธุ์โรบัสต้า



รูปที่ 4.9 แสดงตัวอย่างเมล็ดกาแฟก่อนทำการคั่วพันธุ์โรบัสต้า

เตรียมเมล็ดกาแฟที่ได้จากการสีเป็นสารกาแฟมาทำการชั่งน้ำหนักที่ 5 กิโลกรัมเพื่อใช้ในการคั่วต่อครั้ง



รูปที่ 4.10 แสดงการเทเมล็ดกาแฟในถังคั่ว

การเทเมล็ดกาแฟในถังคั่วจะเทลงทางด้านหน้าของเครื่องคั่วกาแฟที่ได้ทำเป็นทรงกรวยเพื่อความสะดวกและความรวดเร็วในการเทเมล็ดกาแฟ



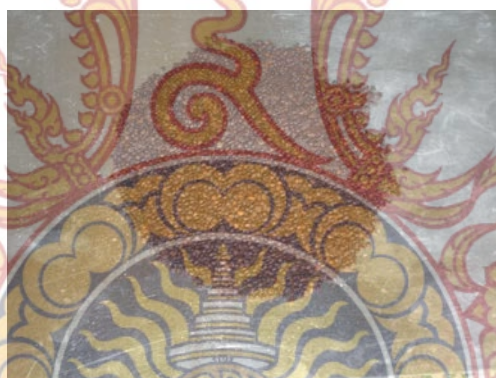
รูปที่ 4.11 แสดงเมล็ดกาแฟขณะทำการคั่วที่อุณหภูมิ 120°C เวลา 10 นาที

เมื่อทำการคั่วเมล็ดกาแฟควรจะตักเมล็ดกาแฟออกมาดูอย่างสม่ำเสมอ เพื่อการเปลี่ยนแปลงของสีเมล็ดกาแฟว่าสีที่ได้ตามต้องการหรือไม่ ถ้าคั่วเมล็ดกาแฟนานอาจทำให้รสชาติที่ไม่ดี



รูปที่ 4.12 แสดงการระบายความร้อนของเมล็ดกาแฟหลังจากที่คั่วเสร็จแล้ว

เมื่อคั่วเมล็ดกาแฟเสร็จเมล็ดกาแฟจะถูกเทออกมาจากถังคั่วลงในตะแกรงที่อยู่ด้านล่าง เพื่อทำการระบายความร้อนในเมล็ดกาแฟอย่างรวดเร็วคงไว้ซึ่งรสชาติพร้อมแยกกากออกจากเมล็ดกาแฟ



รูปที่ 4.13 แสดงตัวอย่างของเมล็ดกาแฟที่ได้จากการคั่ว

ลักษณะของเมล็ดกาแฟหลังจากที่ทำการคั่วเสร็จเรียบร้อยแล้ว

ตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูลขณะทำการคั่วเมล็ดกาแฟพันธุ์โรบัสต้า ครั้งที่ 1

อุณหภูมิ °C	เวลา (นาที)
35	0
50	1
100	6
120	10
140	18
160	29
160	36

กราฟแสดงผลการทดลองคั่วเมล็ดกาแฟในแต่ละครั้ง



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา โดยเริ่มจากอุณหภูมิ 35 °C ถึง 160 °C

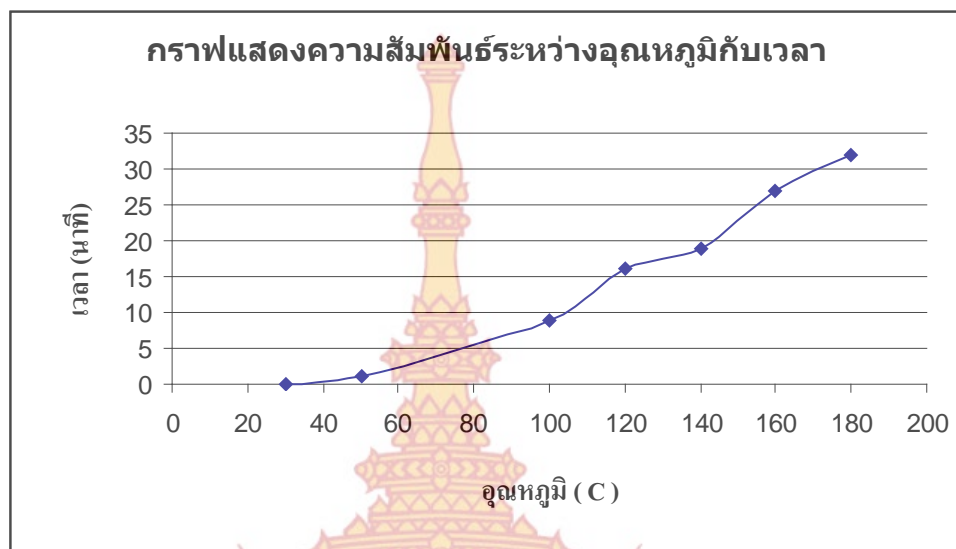
ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการคั่วเมล็ดกาแฟพันธุ์โรบัสต้า ครั้งที่ 1

ลำดับที่	อุณหภูมิ(°C)	สีของกาแฟ	ลักษณะของเมล็ดกาแฟ
1	35 – 50	สีอ่อน	กาแฟ มีสีน้ำตาลอ่อนมาก และยังไม่มีการคั่ว
2	50 – 100	สีน้ำตาลอ่อน	เมล็ดกาแฟเริ่มมีสีน้ำตาล และยังไม่มีการคั่ว
3	100 – 120	สีน้ำตาลอ่อน	เมล็ดกาแฟมีการเปลี่ยนสีเข้มที่ผิวด้านนอก ส่วนเนื้อด้านใน ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง
4	120 – 140	สีน้ำตาล	ผิวด้านนอกของเมล็ดกาแฟเริ่มเป็นสีน้ำตาลเล็กน้อยและเริ่มมีการคั่ว
5	140 – 160	สีน้ำตาล	ผิวด้านนอกของเมล็ดกาแฟเริ่มเป็นสีน้ำตาล และเริ่มมีการคั่ว
6	160	สีน้ำตาลเข้ม	ผิวด้านนอกของเมล็ดกาแฟเป็นสีน้ำตาล และเริ่มมีการคั่ว

ตารางที่ 4.9 แสดงข้อมูลขณะทำการคั่วเมล็ดกาแฟพันธุ์โรบัสต้า ครั้งที่ 2

อุณหภูมิ °C	เวลา (นาที)
35	0
50	1
100	9
120	16
140	19
160	27
180	32

กราฟแสดงผลการทดลองการต้มเมล็ดกาแฟในแต่ละครั้ง



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาโดย
เริ่มจากอุณหภูมิ 35 °C ถึง 180 °C

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองการต้มเมล็ดกาแฟพันธุ์โรบัสต้า ครั้งที่ 2

ลำดับที่	อุณหภูมิ(°C)	สีของกาแฟ	ลักษณะของเมล็ดกาแฟ
1	35 – 50	สีน้ำตาลอ่อน	เมล็ดกาแฟยังคงเหนียวมีสีน้ำตาลอ่อนๆ และไม่มีกลิ่น
2	50 – 100	สีน้ำตาลอ่อน	เมล็ดกาแฟมีสีน้ำตาลอ่อน และยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง
3	100 – 120	สีน้ำตาลเข้ม	เมล็ดกาแฟเริ่มเป็นสีน้ำตาลเข้มเล็กน้อย และเริ่มมีกลิ่นหอม
4	120 – 140	สีน้ำตาลเข้ม	ผิวด้านนอกของเมล็ดกาแฟเริ่มเป็นสีน้ำตาลที่เข้มขึ้นและมีการเปลี่ยนแปลง
5	140 – 160	สีน้ำตาลเข้ม	ผิวด้านนอกของเมล็ดกาแฟเริ่มเป็นสีน้ำตาลค่อนข้างเข้ม สม่ำเสมอทั่วทั้ง เมล็ด และมีการเปลี่ยนแปลง
6	160 - 180	สีน้ำตาลเข้ม	ผิวด้านนอกของเมล็ดกาแฟเป็นสีน้ำตาลเข้มสม่ำเสมอทั้ง เมล็ด และมีการเปลี่ยนแปลง

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิความร้อนที่ใช้ในการคั่วกาแฟพันธุ์ โรบัสต้าที่อุณหภูมิ 180°C จะทำให้เมล็ดกาแฟสุกสม่ำเสมอทั่วทั้งเมล็ด ซึ่งทำให้มีสีเป็นสีเดียวกันทั้งเมล็ด และที่สำคัญที่อุณหภูมิความร้อนในระดับนี้จะทำให้เมล็ดกาแฟมีหอม ดังนั้นจึงใช้อุณหภูมิที่ 180°C ในการคั่ว



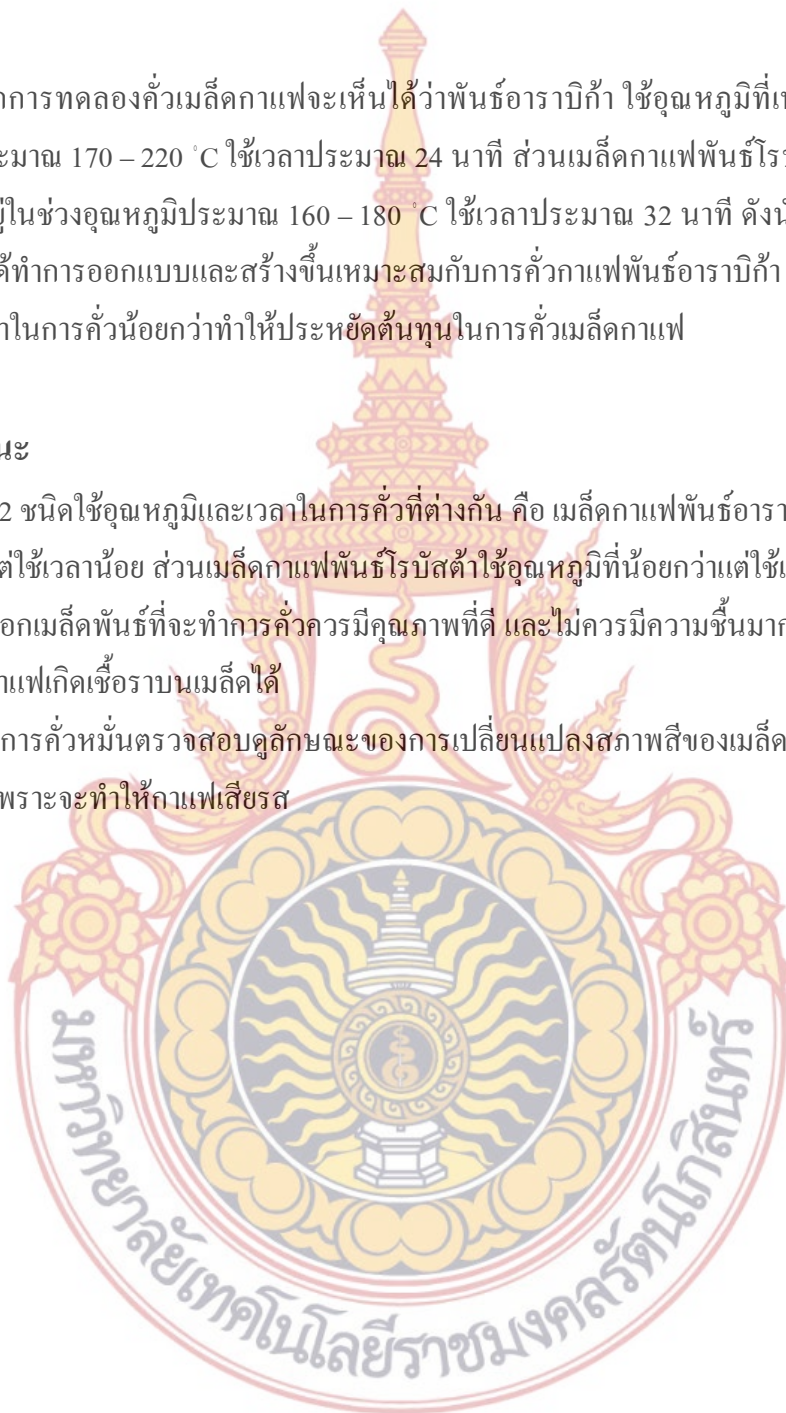
บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองคั่วเมล็ดกาแฟจะเห็นได้ว่าพันธุ์อาราบิก้า ใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 170 – 220 °C ใช้เวลาประมาณ 24 นาที ส่วนเมล็ดกาแฟพันธุ์โรบัสต้าใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 160 – 180 °C ใช้เวลาประมาณ 32 นาที ดังนั้นสรุปได้ว่าเครื่องคั่วกาแฟที่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นเหมาะสมกับการคั่วกาแฟพันธุ์อาราบิก้า เพราะใช้อุณหภูมิที่สูงแต่ใช้เวลาในการคั่วน้อยกว่าทำให้ประหยัดต้นทุนในการคั่วเมล็ดกาแฟ

ข้อเสนอแนะ

1. กาแฟทั้ง 2 ชนิดใช้อุณหภูมิและเวลาในการคั่วที่ต่างกัน คือ เมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้าใช้อุณหภูมิที่มากกว่าแต่ใช้เวลาน้อย ส่วนเมล็ดกาแฟพันธุ์โรบัสต้าใช้อุณหภูมิต่ำกว่าแต่ใช้เวลานานกว่า
2. ควรคัดเลือกเมล็ดพันธุ์ที่จะทำการคั่วควรมีคุณภาพที่ดี และไม่ควรมีความชื้นมากเกินไปเพราะจะทำให้เมล็ดกาแฟเกิดเชื้อราบนเมล็ดได้
3. ขณะที่ทำการคั่วหมั่นตรวจสอบดูลักษณะของการเปลี่ยนแปลงสภาพสีของเมล็ดเพื่อไม่ให้เมล็ดเกิดการไหม้เพราะจะทำให้กาแฟเสียรส



เอกสารอ้างอิง

1. ฐริพงษ์ ศรีจันทร์, ชัชชัย แซ่ตั้ง, สาคร แก้วกล้า, 2544. เครื่องคั่วกาแฟ, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร.
2. นงนภา วงศ์วารีย์, 2548, เดอะ คอฟฟี่ เลิฟเวอร์ส, (The Coffee Lovers), กรุงเทพมหานคร.
3. อมร ทวีชื่นสกุล, ชลธิชา ลมจิต, 2545, การพัฒนาเครื่องคั่วกาแฟสด, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.
4. สมพงษ์ พิเชษฐภิญโญ, 2532, การศึกษา ออกแบบ และสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ, เอกสารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
5. สมศักดิ์ ดำรงเลิศ, 2528, ฟลูอิดซ์เซชั่น, ใน ภาวนิตย์ จินะวงษ์, การอบแห้งเมล็ดพันธุ์โดยเทคนิคสะเป้าเต็ดเบด, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
6. มานพ ต้นตระกูลบัณฑิตย์, สำลี แสงห้าว, สุทิน จิตรเจริญ, 2542, ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น).



ภาคผนวก ก.

ข้อมูลประกอบการคำนวณ



แฟกเตอร์ต่างๆ ใช้แปลงหน่วย

ปริมาณทางฟิสิกส์	สัญลักษณ์	เปลี่ยนจากระบบ SI ไปเป็นระบบ อังกฤษ	เปลี่ยนจากระบบอังกฤษไป เป็น SI
ความยาว	L	1m = 3.2808 ft	1 ft = 0.3048 m
พื้นที่	A	1m ² = 10.7639 ft ²	1 ft ² = 0.092903 m ²
ปริมาตร	V	1m ³ = 35.3134 ft ³	1 ft ³ = 0.028317 m ³
ความเร็ว	v	1m / s = 3.2808 ft/s	1 ft/s = 0.3048 m/s
ความหนาแน่น	ρ	1kg/m ³ = 0.06243 lb _m / ft ³	1lb _m / ft ³ = 16.018 kg/m ³
แรง	F	1N = 0.2248 lb _f	1lb _f = 4.4482 N
มวล	m	1kg = 2.20462 lb _m	1lb _m = 0.45359237 kg
ความดัน	p	1N/m ² = 1.45038 x 10 ⁻⁴ lb _f /in ²	1lb _f /in ² = 6894.76 N/m ²
พลังงาน ความร้อน	q	1 W = 0.94783 Btu	1 Btu = 1.05504 kJ
การไหลของความร้อน	q	1 W = 3.4121 Btu/h	1 Btu/h = 0.29607 W
ฟลักซ์ความร้อนต่อ หนึ่งหน่วยพื้นที่	q/A	1 W/m ² = 0.317 Btu/h . ft ²	1 Btu/h . ft ² = 3.154 W/m ²
ฟลักซ์ความร้อนต่อ หนึ่งหน่วยความยาว	q/L	1 W/m = 1.0403 Btu/h . ft	1 Btu/h . ft = 0.9613 W/m
แหล่งกำเนิดความร้อนต่อหนึ่งหน่วย ปริมาตร	\dot{q}	1 W / m ³ = 0.096623 Btu/h . ft ³	1 Btu/h . ft ³ = 10.35 W/m ³
พลังงานต่อหนึ่ง หน่วยมวล	q/m	1kJ/kg = 0.4299 Btu/ lb _m	1 Btu/ lb _m = 2.326 kJ/kg
ความร้อนจำเพาะ	c	1kJ/kg . °C = 0.23884 Btu/ lb _m . °F	1 Btu/ lb _m . °F = 4.1869 kJ/kg . °C
ค่าสภาพการนำ ความร้อน	k	1 W / m . °C = 0.5778 Btu/h . ft . °F	1 Btu/h . ft . °F = 1.7307 W / m . °C

แฟกเตอร์ต่างๆ ใช้แปลงหน่วย (ต่อ)

สัมประสิทธิ์ของ การถ่ายเทความร้อน ด้วยการพา	h	$1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} = 0.1761 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$	$1 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} = 5.6782 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
ความหนืดพลวัต	μ	$1 \text{ kg/m} \cdot \text{s} = 0.672 \text{ lb}_m / \text{ft} \cdot \text{s}$ $= 2419.2 \text{ lb}_m / \text{ft} \cdot \text{h}$	$1 \text{ lb}_m / \text{ft} \cdot \text{s} = 1.4881 \text{ kg/m} \cdot \text{s}$
ความหนืดไคนีเมติก แพร่กระจายทาง ความร้อน	ν, α	$1 \text{ m}^2 / \text{s} = 10.7639 \text{ ft}^2 / \text{s}$	$1 \text{ ft}^2 / \text{s} = 0.092903 \text{ m}^2 / \text{s}$



