ผลของระดับการคั่วต่อคุณภาพด้านกายภาพและประสาทสัมผัสของกาแฟคั่วโดยใช้เครื่องคั่วสเปาเตดเบด

Effect of degree of roast on roasted coffee physical and sensory qualities using spouted bed roaster

กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์[1*], สุชน ทรัพย์สิงห์[2], เอกภูมิ บุญธรรม[3], ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์[4]
Kittisak Witinantakit[1*], Suchon Supsing[2], Eakpoom Boonthum[3], Chaiyong Taechapairoj[4]

Received: 9 October 2019 ; Revised: 29 November 2019 ; Accepted: 7 January 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการคั่วกาแฟด้วยเครื่องคั่วสเปาเตดเบด เพื่อศึกษาระดับการคั่วต่อคุณภาพด้านกายภาพและประสาทสัมผัสของกาแฟคั่ว ด้วยกาแฟสายพันธุ์อราบิกาที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแบบเปียก และนำมาคั่วที่อุณหภูมิอากาศร้อน 255 258 261 และ 264 องศาเซลเซียส ที่ระดับการคั่ว city(-), city, full city, และ Italian ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่า คุณภาพด้านกายภาพของกาแฟคั่วที่ระดับการคั่วเข้มขึ้น ความหนาแน่นปรากฏ ความหนาแน่นจริง และสีของกาแฟมีค่าลดลง แต่การสูญเสียมวลและการสูญเสียมวลแห้งจะมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า เมื่อระดับการคั่วเข้มขึ้น ค่า aroma, clean cup, acidity และ flavor จะลดลง ในขณะที่ระดับการคั่ว city จะมีค่า sweetness, mouth feel, aftertaste และ balance สูงที่สุด และมีรสชาติของกาแฟดีที่สุด

คำสำคัญ: กาแฟ การคั่ว ระดับการคั่ว สเปาเตดเบด

Abstract

This research studied the on physical and sensory qualities of roasting coffee using a spouted bed. The arabica coffee bean samples were treated by wet processing and roasting temperatures of 255, 258, 261 and 264 °C (degree of roast were called city(-), city, full city and Italian, respectively). The results demonstrated that changes in physical quality with increased degree of roasted were true density, bulk density and color of roast coffee decreased but roast loss and organic roast loss were increased. In addition, studies of sensory quality found that aroma, clean cup, acidity and flavor were decreased. While, degree of roast “city” showed that sweetness, mouth feel, aftertaste and balance were highest and the best coffee flavor.

Keywords: Coffee, Roasting, Degree of roast, Spouted bed

---

[1] อาจารย์, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20110
[2] นักศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20110
[3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชภัฏพิบูลสงคราม อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000
[4] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000
[1] Lecturer, Energy Technology Department, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Sriracha District, Choburi 20110, Thailand
[2] Graduate Student, Energy Technology Department, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Sriracha District, Choburi 20110, Thailand
[3] Assist. Prof., Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang District, Phitsanulok 65000, Thailand
[4] Assist. Prof., Department of Biotechnology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Sanamchadra Palace Campus, Muang District, Nakhon Pathom 73000 Thailand
* Corresponding author ; Kittisak Witinantakit, Energy Technology Department, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Sriracha District, Choburi 20110, Thailand. k_yong28@hotmail.com

บทนำ

กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมทั่วโลก ทำให้มีความต้องการเมล็ดกาแฟเพิ่มมากขึ้น ในปี พ.ศ. 2560 ซึ่งประเทศไทยมีความต้องการเมล็ดกาแฟในอุตสาหกรรมประมาณ 90,000 ตัน คิดเป็นมูลค่าสูงกว่า 10,000 ล้านบาท[1] กาแฟอราบิก้า (Arabica) เป็นกาแฟสายพันธุ์หนึ่งที่นิยมปลูกและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ เจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่สูงที่มีอากาศเย็น จึงนิยมปลูกในจังหวัดทางภาคเหนือของประเทศไทย เช่น เชียงราย และเชียงใหม่ เป็นต้น กาแฟ อราบิก้ามีกลิ่นหอม รสชาติกลมกล่อม และมีปริมาณคาเฟอีนต่ำ การดื่มกาแฟช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง โรคอัลไซเมอร์ โรคซึมเศร้า และโรคหัวใจ เป็นต้น[1] การแปรรูปผลกาแฟอราบิก้าเป็นเมล็ดกาแฟดิบหรือสารกาแฟ นิยมใช้วิธีการแปรรูปแบบเปียก แล้วนำมาคัดทำความสะอาดให้ได้สารกาแฟที่มีคุณภาพก่อนเข้าสู่กระบวนการคั่ว

เครื่องคั่วกาแฟทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนให้กับเมล็ดกาแฟดิบเพื่อเปลี่ยนเป็นกาแฟคั่วที่ให้สี และกลิ่นที่หลากหลายตามความต้องการ เครื่องคั่วมีหลายแบบอาทิ เช่น เครื่องคั่วแบบถังหมุนแนวนอนและแนวตั้งเป็นเครื่องคั่วแบบดั้งเดิมที่ได้รับความนิยม จะติดตั้งใบกวนเพื่อทำหน้าที่คลุกเคล้าเมล็ดกาแฟขณะคั่ว ให้ได้รับความร้อนจากการนำผ่านผนังของถังคั่ว[2] ซึ่งการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำจะช้ากว่าการถ่ายเทความร้อนด้วยการพา และเมล็ดกาแฟอาจจะได้รับความร้อนไม่สม่ำเสมอ ส่วนเครื่องคั่วแบบฟลูอิไดซ์เบดและเครื่องคั่วแบบสเปาเตดเบดจะอาศัยการถ่ายเทความร้อนจากอากาศร้อนโดยการพาเป็นหลัก[3, 4] ซึ่งมีข้อดี คือ อากาศร้อนจะคลุกเคล้ากับเมล็ดได้อย่างทั่วถึง อัตราการถ่ายเทความร้อนสูง ทำให้ใช้ระยะเวลาในการคั่วสั้น[4] และเครื่องคั่วแบบสเปาเตดเบดสามารถประยุกต์ใช้กับวัสดุที่มีขนาดใหญ่ และมีรูปทรงที่ไม่เป็นเรขาคณิตได้ดี[5] การคั่วเป็นขั้นตอนที่เพิ่มมูลค่าของกาแฟ และเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่ส่งผลต่อรสชาติ และกลิ่นของกาแฟที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับเครื่องคั่วและเทคนิคเฉพาะรายของโรงคั่ว สอดคล้องกับผู้บริโภคในปัจจุบันที่นิยมดื่มกาแฟสดหรือกาแฟคั่วบดแทนกาแฟสำเร็จรูป ทำให้มีธุรกิจร้านกาแฟอิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งแต่ละร้านจะมีกลิ่นและรสชาติของกาแฟแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดกาแฟ วิธีการคั่ว และแหล่งเพาะปลูก[1] เป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่ชื่นชอบกลิ่น และรสชาติของกาแฟที่แปลกใหม่

การคั่วกาแฟโดยใช้เครื่องคั่วที่ถ่ายเทความร้อนด้วยการพา ซึ่งมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง จะทำให้ใช้เวลาในการคั่วสั้น และเมล็ดกาแฟได้รับความร้อนสม่ำเสมอทุกเมล็ด โดยเฉพาะเครื่องคั่วแบบสเปาเตดเบดที่เหมาะกับวัสดุขนาดใหญ่และรูปทรงไม่เป็นเรขาคณิต[4] และเครื่องคั่วที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง จะสามารถปรับเปลี่ยนโปรไฟล์การคั่วได้หลากหลาย ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพทั้งด้านกายภาพและประสาทสัมผัสของกาแฟคั่ว ดังนั้น งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการคั่วกาแฟสายพันธุ์อราบิก้า (จากจังหวัดเชียงใหม่) โดยใช้เครื่องคั่วสเปาเตดเบด ทดลองคั่วกาแฟที่ระดับการคั่วอ่อนถึงคั่วเข้ม เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการคั่ว (ระดับการคั่ว) ต่อคุณภาพด้านกายภาพของกาแฟคั่ว[6] เช่น สี การสูญเสียมวล ความหนาแน่น และคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของกาแฟคั่ว

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

เครื่องคั่วสเปาเตดเบด

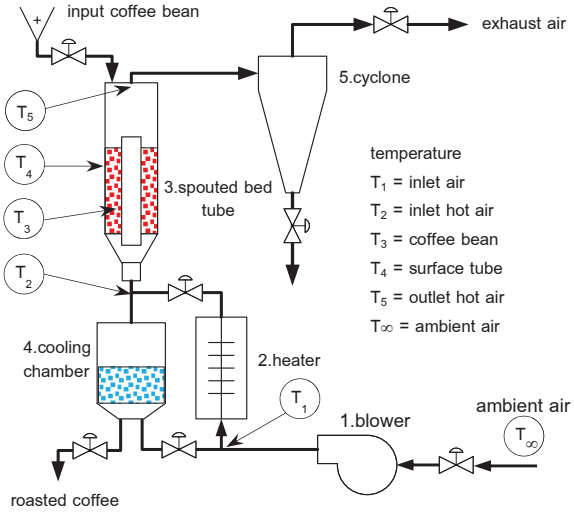


Figure 1 Diagram of spouted bed roaster

เครื่องคั่วสเปาเตดเบด (spouted bed roaster) เป็นเครื่องคั่วต้นแบบระดับห้องปฏิบัติการ ดัง Figure 1 ประกอบด้วย 1) เครื่องเป่าลม (blower) ขนาด 1 แรงม้า ควบคุมด้วยเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์พัดลม 2) ชุดให้ความร้อนขนาด 9 กิโลวัตต์ สำหรับให้ความร้อนแก่อากาศ ความคุมอุณหภูมิโดยใช้ temperature controller 3) ท่อสเปาเตดเบดเป็นหลอดแก้วทนความร้อน (borosilicate glass) เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร ภายในติดตั้งท่อน้ำก๊าซขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร 4) ชุดระบายความร้อนออกจากเมล็ดกาแฟหลังการคั่ว 5) ไซโคลน (cyclone) ดักฝุ่นที่เกิดจากการคั่ว ขณะทำการคั่วจะบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ (T_1, T_2, T_5, T_∞) อุณหภูมิผนังห้องคั่ว (T_4) และอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ (T_3) ดัง Figure 1 ทุก 1 นาที โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ส่งค่าแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (GRAPHTEC midi logger รุ่น GL820) มีความละเอียดในการบันทึกค่า 0.1 °C สำหรับการวัดอุณหภูมิเมล็ดกาแฟจะใช้โพรบวัดอุณหภูมิในช่องดาว์น

คัมเมอร์ ซึ่งเมล็ดกาแฟจะสัมผัสกับโพรบตลอดเวลา และเป็นส่วนที่มีปริมาณเมล็ดกาแฟหนาแน่น แต่มีอากาศแทรกตัวอยู่ระหว่างชั้นเมล็ดกาแฟน้อย จึงประมาณได้ว่าเป็นอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟ

วัตถุดิบ

เมล็ดกาแฟหรือสารกาแฟที่ทดลอง ใช้ผลกาแฟสายพันธุ์อราบิกาจากจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเก็บเกี่ยวในปี พ.ศ. 2560 และผ่านกระบวนการแปรรูปแบบเปียกแล้ว นำมาทำการสีและคัดแยกเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ออก และหาความชื้นของเมล็ดกาแฟตามมาตรฐาน AOAC[7] ซึ่งมีค่าความชื้นของเมล็ดกาแฟก่อนคั่วโดยเฉลี่ยประมาณ 14.29%d.b.

การคั่วกาแฟ

คั่วกาแฟโดยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 255 258 261 และ 264 °C เพื่อให้ได้ระดับการคั่ว city(-), city, full city และ Italian ตามลำดับ ซึ่งเป็นระดับการคั่วอ่อนไปจนถึงระดับการคั่วเข้ม โดยอ้างอิงสีของเมล็ดกาแฟแต่ละระดับการคั่วตามมาตรฐานของ Agtron numbers[8] ที่ 85 75 55 และ 45 ตามลำดับ แสดงดัง Table 1

Table 1 Conditions of coffee roasting at each degree of roast

Roast temperature (°C)	Degree of roast	Roast classification	Agtron numbers
255	city(-)	light	85
258	city	moderately light	75
261	full city	medium	55
264	Italian	moderately dark	45

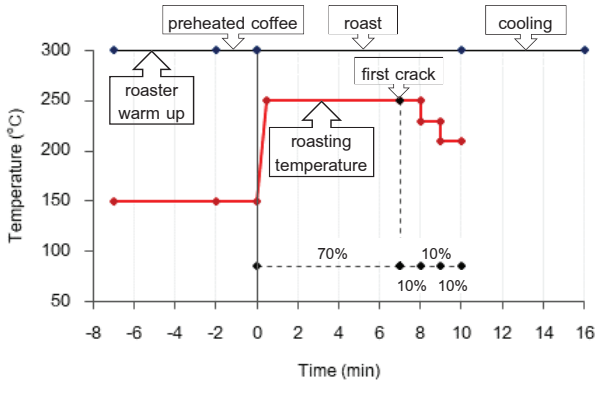


Figure 2 Coffee roasting profile

ทดลองคั่วกาแฟโดยเริ่มจากอุ่นเครื่องคั่วด้วยอากาศร้อนที่อัตราการไหล 2.18 m^3/min อุณหภูมิประมาณ 150 °C เป็นเวลา 5 นาที ใส่เมล็ดกาแฟ 700 กรัม เข้าทางช่องใส่เมล็ดกาแฟด้านบนห้องคั่วดัง Figure 1 อุ่นเมล็ดกาแฟเป็นเวลา 1.5 นาที จากนั้นปรับอุณหภูมิอากาศร้อนตาม Table1 เพื่อคั่วเมล็ดกาแฟตามโปรไฟล์ที่ต้องการศึกษาดัง Figure 2 โดยทำการคั่วและบันทึกเวลาที่เกิดเสียงปริแตกของเมล็ดกาแฟ (first crack) โดยประมาณเวลาที่เกิดเสียงปริแตกเป็นเวลาคั่วร้อยละ 70 ของระยะเวลาการคั่วทั้งหมด เมื่อเวลาการคั่วเป็นร้อยละ 80 ให้ลดอุณหภูมิการคั่วประมาณ 20 °C และเมื่อเวลาการคั่วเป็นร้อยละ 90 ให้พิจารณาสีของเมล็ดกาแฟ ถ้าสีของเมล็ดกาแฟยังไม่ได้ตาม Agtron numbers ใน Table 1 ให้ลดอุณหภูมิการคั่วประมาณ 20 °C แล้วทำการคั่วต่อไปจนได้สีของเมล็ดกาแฟตาม Agtron numbers ใน Table 1 จึงหยุดป้อนอากาศร้อน แล้วปล่อยเมล็ดกาแฟเข้าสู่ห้องระบายความร้อน (cooling chamber) เพื่อเป่าอากาศแวดล้อมระบายความร้อนออกจากเมล็ดกาแฟจนเมล็ดกาแฟมีอุณหภูมิประมาณ 55 °C แล้วเก็บในภาชนะปิดสนิท ส่วนความชื้นของเมล็ดกาแฟหาตามมาตรฐาน AOAC[7] โดยคำนวณดังสมการที่ (1)

$$M_d = \frac{w-d}{d} x100 \quad (1)$$

เมื่อ

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (% d.b.)

w คือ มวลเปียกของวัสดุ (g)

d คือ มวลแห้งของวัสดุ (g)

สัดส่วนช่องว่างอากาศ (void fraction)

นำเมล็ดกาแฟใส่ภาชนะที่ทราบปริมาตร แล้วเติมเฮกเซน (hexane) จนเต็มภาชนะ บันทึกปริมาตรเฮกเซนที่ใช้ จากนั้นคำนวณหาสัดส่วนช่องว่างอากาศตามสมการที่ (2)[9]

$$\varepsilon = \frac{V_h}{V_a} \quad (2)$$

เมื่อ

e คือ สัดส่วนช่องว่างอากาศ (ทศนิยม)

V_h คือ ปริมาตรเฮกเซน (m^3)

V_a คือ ปริมาตรเมล็ดกาแฟรวมช่องว่างอากาศ (m^3)

ความหนาแน่น (density)

นำเมล็ดกาแฟใส่ภาชนะที่ทราบปริมาตรจนเต็ม ชั่งหาน้ำหนักเมล็ดกาแฟ คำนวณหาความหนาแน่นปรากฏ (bulk density) ดังสมการที่ (3) และคำนวณหาความหนาแน่นจริง (true density) ดังสมการที่ (4)[10]

$$\rho_b = \frac{m_r}{V} \quad (3)$$

$$\rho_t = \frac{\rho_b}{1-\varepsilon} \quad (4)$$

เมื่อ ρ_b คือ ความหนาแน่นปรากฏ (kg/m^3)

ρ_t คือ ความหนาแน่นจริง (kg/m^3)

m_r คือ มวลของเมล็ดกาแฟหลังคั่ว (kg)

V คือ ปริมาตรของภาชนะ (m^3)

การสูญเสียมวล (roast loss)

ชั่งน้ำหนักเมล็ดกาแฟก่อนคั่วและหลังคั่ว คำนวณการสูญเสียมวลของเมล็ดกาแฟคั่ว ดังสมการที่ (5)[3]

$$RL = \frac{m_g - m_r}{m_g} \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ RL คือ ค่าสูญเสียมวลของเมล็ดกาแฟคั่ว (ร้อยละ)

m_g คือ มวลของเมล็ดกาแฟก่อนคั่ว (g)

m_r คือ มวลของเมล็ดกาแฟหลังคั่ว (g)

การสูญเสียมวลแห้ง

ชั่งน้ำหนักเมล็ดกาแฟก่อนและหลังคั่ว แล้วนำไปหามวลแห้ง ตามมาตรฐาน AOAC (1990)[6] แล้วคำนวณการสูญเสียมวลแห้ง (organic roast loss) ของเมล็ดกาแฟคั่ว ดังสมการที่ (6)[6]

$$ORL = 100 - (100 - RL)\frac{dm_r}{dm_g} \quad (6)$$

เมื่อ

ORL คือ ค่าสูญเสียมวลแห้งของเมล็ดกาแฟคั่ว (ร้อยละ)

dm_g คือ มวลแห้งของเมล็ดกาแฟก่อนคั่ว (g/100 g, w.b.)

dm_r คือ มวลแห้งของเมล็ดกาแฟคั่ว (g/100 g, w.b.)

สีของผงกาแฟ

บดเมล็ดกาแฟด้วยเครื่องบดมือ แล้วเข้าเครื่องวัดสี Colorimeter N3H รุ่น NR200 บันทึกค่าสีของผงกาแฟคั่วตามมาตรฐาน CIE Lab (international commission on illumination) โดย L แสดงถึงความสว่างมีค่า 0-100 โดยค่า 0 คือ สีดำ และค่า 100 คือ สีขาว ส่วนค่า a* แสดงสีเขียว (-a*) ถึงสีแดง (+a*) และค่า b* แสดงสีน้ำเงิน (-b*) ถึงสีเหลือง (+b*)

วิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส (sensory evaluation) ของกาแฟ โดยการชิมกาแฟจากผู้เชี่ยวชาญด้านกาแฟจำนวน 6 คน ที่ได้รับใบอนุญาต Q Grader จาก CQI (Coffee Quality Institute) ตามมาตรฐานของสมาคมกาแฟพิเศษแห่งอเมริกา SCAA (Specialty Coffee Association of America) ทำการชิมแยกระดับรสชาติและกลิ่นของกาแฟที่คั่วที่ได้จากการทดลองตามระดับการคั่วต่างๆ ซึ่งขั้นตอนการชิมและการบันทึกคะแนนใช้หลักเกณฑ์ตามมาตรฐาน SCAA[11] โดยให้คะแนนการชิมด้านความสะอาดในรสชาติ (clean cup) ความหวาน (sweetness) ความเปรี้ยว (acidity) ความรู้สึกสัมผัสในปาก (mouth feel) กลิ่นรส (flavor) ความรู้สึกหลังการดื่ม (aftertaste) และความสมดุลของกลิ่นและรสชาติ (balance) ในช่วง 0-8 คะแนน ดังนี้ 0=unacceptable, 2=poor, 4=ordinary, 6=fine และ 8=great

ผลการศึกษา

ทดลองคั่วกาแฟที่ระดับการคั่วอ่อนไปคั่วเข้ม หรือที่ระดับการคั่ว city(-), city, full city และ Italian จนได้สีเมล็ดกาแฟที่ใกล้เคียงกับ Agtron numbers 85 75 55 และ 45 ตามลำดับ ได้ผลดังนี้

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศและเมล็ดกาแฟ

จาก Figure 3 เป็นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศและเมล็ดกาแฟขณะคั่วกาแฟที่ระดับการคั่ว city พบว่า อุณหภูมิอากาศร้อนเข้าห้องคั่วจะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงค่าประมาณ 258 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการคั่วตามเงื่อนไขใน Table 1 โดยใช้เวลาประมาณ 1 นาที จากนั้นจะมีอุณหภูมิค่อนข้างคงที่จนถึงช่วงที่เกิดเสียงปริแตกของเมล็ดกาแฟ อุณหภูมิของอากาศจะถูกปรับลดลงตามโปร์ไฟล์ใน Figure 2

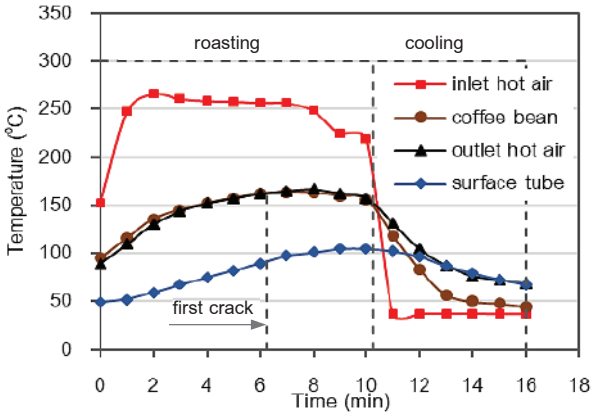


Figure 3 Temperature profile of hot air and coffee bean during roasting at "city" roasting level

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟ พบว่า อุณหภูมิเมล็ดกาแฟจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 4 นาทีแรกของการคั่ว หลังจากนั้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนเกือบคงที่ เมื่อเมล็ดกาแฟเกิดเสียงปริแตกในนาทีที่ 6.25 (ประมาณเวลาเป็นร้อยละ 70 ของระยะเวลาการคั่วทั้งหมด) จะทำการลดอุณหภูมิการคั่ว (258 °C) ตามโปรไฟล์ใน Figure 2 ครั้งละ 20 °C จำนวน 2 ครั้ง ในนาทีที่ 7.14 และนาทีที่ 8.04 ดำเนินการคั่วจนได้สีของเมล็ดกาแฟตาม Agtron numbers 75 ใน Table 1 จึงหยุดการให้ความร้อน (ประมาณนาทีที่ 10.05) แล้วปล่อยเมล็ดกาแฟเข้าสู่ห้องระบายความร้อน จากนั้นเป่าอากาศแวดล้อม (อุณหภูมิประมาณ 37 °C) เข้าไปที่ห้องระบายความร้อนเพื่อระบายความร้อนออกจากเมล็ดกาแฟ ทำให้อุณหภูมิของเมล็ดกาแฟลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 5-6 นาทีสุดท้ายของการทดลอง จนได้อุณหภูมิเมล็ดกาแฟประมาณ 55 °C จึงหยุดการทดลอง แล้วจัดเก็บในภาชนะปิดสนิทเพื่อนำไปทดสอบคุณภาพต่อไป

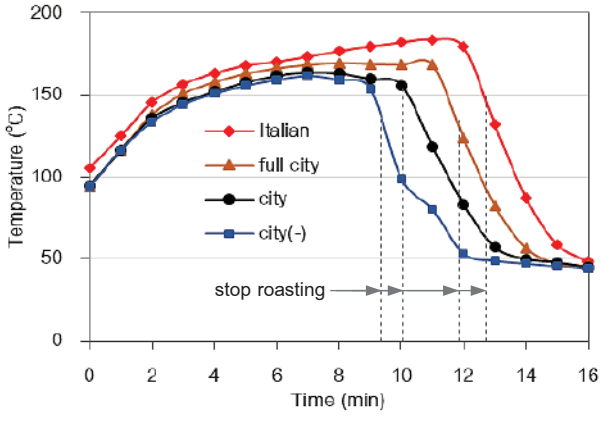


Figure 4 Temperature profile of coffee bean during roasting at different degree of roasting

จาก Figure 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเมล็ดกาแฟที่ระดับการคั่วต่างกัน พบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเมล็ดกาแฟขณะทำการคั่ว มีลักษณะรูปทรงของกราฟแบบโค้งคว่ำคล้ายกันทุกระดับการคั่ว โดยที่ระดับการคั่วเข้มจะมีอุณหภูมิเมล็ดกาแฟสูงกว่า ส่งผลให้อุณหภูมิเมล็ดสูงขึ้นตามไปด้วย และใช้เวลาในการคั่วนานกว่า แสดงว่ามีการใช้พลังงานในการคั่วมากกว่าที่ระดับการคั่วอ่อน เพื่อให้ได้สีของเมล็ดกาแฟหลังคั่วตามเงื่อนไขดัง Table 1

เวลาในการเกิดเสียงปริแตก ระยะเวลาการให้ความร้อน และปริมาณความชื้น

Table 2 First crack, heat duration and moisture content of roasted coffee

Degree of roast	First crack time (min)	Heat duration (min)	Moisture content[ns] (% d.b.)
city(-)	7.25	9.32	1.18±0.97
city	6.25	10.05	1.05±0.52
full city	6.00	11.85	1.42±0.26
Italian	5.50	12.73	1.57±0.27

ns mean that *the data not* statistically *significant* (p>0.05)

จาก Table 2 การเกิดเสียงปริแตกจากการคั่วเมล็ดกาแฟอยู่ในช่วง 5.50-7.25 นาที เมื่อระดับการคั่วเข้มขึ้นระยะเวลาการเกิดเสียงปริแตกจากการคั่วเมล็ดกาแฟสั้นลงอย่างต่อเนื่อง โดยที่ระดับการคั่วเข้มขึ้นจาก city(-) เป็น city ระยะเวลาการเกิดเสียงปริแตกสั้นลงค่อนข้างมากประมาณร้อยละ 13.79 ขณะที่ระดับการคั่วเข้มขึ้นจาก city เป็น full city และ full city เป็น Italian ระยะเวลาการเกิดเสียงปริแตกสั้นลงประมาณร้อยละ 4.00 และ 8.33 ตามลำดับ แต่จะมีระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อระดับการคั่วเข้มขึ้น โดยที่ระดับการคั่ว city(-) เป็น city และ full city เป็น Italian ระยะเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกันประมาณร้อยละ 7.83 และ 7.43 ตามลำดับ ส่วนที่ระดับการคั่ว city เป็น full city ระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นค่อนข้างมากร้อยละ 17.91 และทุกระดับการคั่วมีความชื้นหลังการคั่วใกล้เคียงกันโดยมีค่าประมาณร้อยละ 1.05-1.57 d.b. โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความหนาแน่น

Table 3 Density of the roasted coffee

Degree of roast	Bulk density (kg/m^3)	True density (kg/m^3)	Void fraction (%)
city(-)	414.22±9.46[a]	520.02±9.48[a]	20.35±0.37[a]
city	398.19±8.13[a]	502.15±11.10[a]	20.70±0.13[a]
full city	370.14±3.00[b]	464.83±2.49[b]	20.37±0.22[a]
Italian	332.14±6.96[c]	415.27±7.24[c]	20.02±0.40[a]

a-c in the same column with different superscripts mean that the data significantly different (p<0.05)

จาก Table 3 แสดงค่าความหนาแน่น และสัดส่วนช่องว่างอากาศ พบว่า ความหนาแน่นปรากฏและความหนาแน่นจริงมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะที่ระดับการคั่ว city ถึงระดับ Italian มีความแตกต่างทางสถิติ อย่างชัดเจน ($p<0.05$) โดยความหนาแน่นปรากฏลดลงจาก 414.22 kg/m^3 ที่ระดับการคั่ว city (-) เหลือ 332.14 kg/m^3 ที่ระดับการคั่ว Italian และความหนาแน่นจริงลดลงจาก 520.02 kg/m^3 ที่ระดับการคั่ว city(-) เหลือ 415.27 kg/m^3 ที่ระดับการคั่ว Italian และที่ระดับการคั่วเข้มขึ้นจากระดับการคั่ว city(-) เป็น city, city เป็น full city และ full city เป็น Italian ความหนาแน่นปรากฏมีค่าลดลงร้อยละ 3.87 7.04 และ 10.27 และความหนาแน่นจริงมีค่าลดลง 3.44 7.43 และ 10.66 ตามลำดับ และทุกระดับการคั่วมีสัดส่วนช่องว่างอากาศใกล้เคียงกันโดยมีค่าประมาณร้อยละ 20.02-20.70 และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การสูญเสียมวล

จาก Table 4 แสดงค่าการสูญเสียมวลของเมล็ดกาแฟคั่ว พบว่า การสูญเสียมวลและการสูญเสียมวลแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยการสูญเสียมวลเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 12.86 ที่ระดับการคั่ว city(-) เป็นร้อยละ 17.14 ที่ระดับการคั่ว Italian และการสูญเสียมวลแห้งเพิ่มขึ้นจาก ร้อยละ 1.63 ที่ระดับการคั่ว city(-) เป็นร้อยละ 2.17 ที่ระดับการคั่ว Italian และเมื่อระดับการคั่วเข้มขึ้นจากระดับการคั่ว city (-) เป็น city, city เป็น full city และ full city เป็น Italian การสูญเสียมวลมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.89 11.23 และ 15.34 และการสูญเสียมวลแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.68 11.24 และ 15.43 ตามลำดับ

Table 4 Roast loss and organic roast loss of the roasted coffee

Degree of roast	Roast loss (%)	Organic roast loss (%)
city(-)	12.86	1.63
city	13.36	1.69
full city	14.86	1.88
Italian	17.14	2.17

สีของกาแฟคั่วบด

Table 5 Color of the roasted coffee

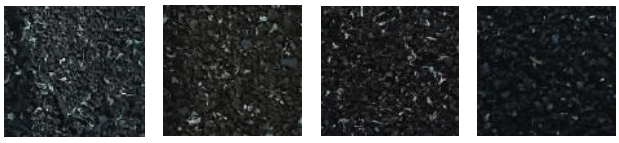
Degree of roast	Color		
	L*	a*	b*
city(-)	39.45±1.04[a]	3.91±0.11[a]	3.88±0.11[a]
city	37.32±0.40[b]	2.75±0.27[b]	2.74±0.43[ab]
full city	36.96±0.57[bc]	2.47±0.29[b]	2.44±0.69[b]
Italian	35.43±0.20[c]	1.61±0.09[c]	1.18±0.09[c]

a-c in the same column with different superscripts mean that the data significantly different (p<0.05)

สีของกาแฟคั่วบดแสดงใน Table 5 พบว่า ที่ระดับการคั่ว city(-), city, full city และ Italian มีค่าความสว่าง สีแดง สีเหลือง อยู่ในช่วง 35.43-39.45 1.61-3.91 และ 1.18-3.88 ตามลำดับ เมื่อระดับการคั่วเข้มขึ้น ค่าความสว่าง ค่าสีแดง ค่าสีเหลืองมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน ยกเว้นที่ระดับการคั่ว city และ full city มีค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลือง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Figure 5 แสดงสีของเมล็ดกาแฟคั่ว และกาแฟคั่วบด ที่ระดับการคั่ว city(-), city, full city และ Italian จากการสังเกตุด้วยสายตา พบว่า เมล็ดกาแฟคั่วและกาแฟคั่วบดมีสีสม่ำเสมอกันทุกระดับการคั่ว และมีสีเข้มขึ้นหรือมีความสว่างน้อยลงตามระดับการคั่วอ่อนไประดับการคั่วเข้ม ซึ่งสอดคล้องกับค่าสีของกาแฟคั่วที่ได้จากเครื่องมือวัดสีใน Table 5

(a) Roasted coffee bean



(b) Ground coffee

Figure 5 Color of the roasted coffee

คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

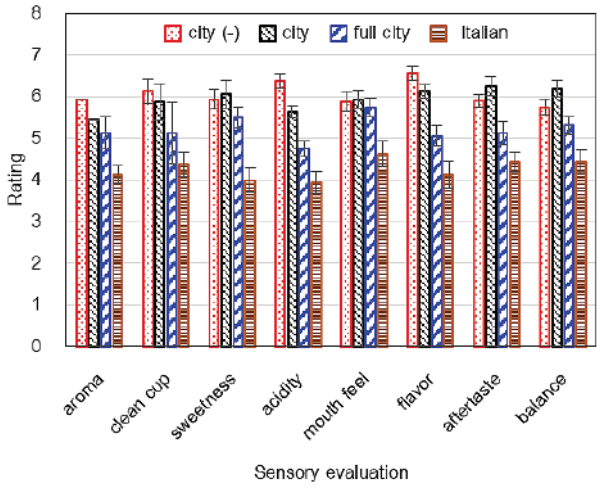


Figure 6 Sensory evaluation of ground coffee

จากการชิมกาแฟคั่วบด (coffee cupping) โดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งผลการทดสอบการชิมจะแบ่งตามคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของเมล็ดกาแฟคั่ว จากผลการทดสอบใน Figure 6 พบว่า เมื่อระดับการคั่วเข้มขึ้น ค่า aroma, clean cup, acidity และ flavor จะลดลง ในขณะที่การคั่วเข้มขึ้นจาก city(-) เป็น city ค่า sweetness, mouth feel, aftertaste และ balance จะมีค่าสูงขึ้น และมีค่าสูงสุดที่ระดับการคั่ว city จากนั้นจะเริ่มลดลงเมื่อระดับการคั่วเข้มขึ้นเป็น full city และ Italian นอกจากนี้ยังพบว่า ที่ระดับการคั่ว city(-) และ city มีคะแนนการชิมทุกค่าสูงกว่าที่ระดับการคั่ว full city และ Italian และที่ระดับการคั่ว full city จะมีคะแนนการชิมทุกค่าสูงกว่าที่ระดับการคั่ว Italian นั่นคือที่ระดับการคั่ว Italian มีคะแนนการชิมทุกค่าต่ำที่สุดอย่างชัดเจน

วิจารณ์ผล

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศและเมล็ดกาแฟ

อากาศร้อนที่เข้าห้องคั่วมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเมล็ดกาแฟค่อนข้างมาก และความเร็วของอากาศที่ค่อนข้างสูงทำให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงตามไปด้วย ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนจากอากาศสู่เมล็ดกาแฟเป็นไปอย่างรวดเร็ว[4] ทำให้อุณหภูมิเมล็ดกาแฟสูงขึ้นตามไปด้วย โดยอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟจะมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิอากาศร้อนที่เข้าห้องคั่วกาแฟ หลังจาก 4 นาทีแรก อุณหภูมิอากาศร้อนค่อนข้างคงที่ตามระดับการคั่ว ในขณะที่อุณหภูมิเมล็ดกาแฟจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และเป็นช่วงที่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีในกระบวนการ pyrolitic และ polymerization ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพ เป็นช่วงสร้างกลิ่นและรสชาติของกาแฟคั่ว[12] เมื่อสีของเมล็ดกาแฟได้ตามเงื่อนไขดัง Table 1 จะหยุดให้ความร้อน และเมล็ดกาแฟจะถูกปล่อยสู่ห้องระบายความร้อน จากนั้นอากาศแวดล้อมจะถูกเป่าเข้าสู่ห้องระบายความร้อน เพื่อระบายความร้อนออกจากเมล็ดกาแฟ ทำให้อุณหภูมิเมล็ดกาแฟลดต่ำอย่างรวดเร็ว เนื่องจากอุณหภูมิอากาศแวดล้อมกับอุณหภูมิเมล็ดกาแฟมีค่าแตกต่างมาก รวมถึงปริมาณอากาศแวดล้อมเข้าห้องระบายความร้อนมีค่ามาก ทำให้สามารถระบายความร้อนออกจากเมล็ดกาแฟได้อย่างรวดเร็วจนถึงระดับอุณหภูมิประมาณ 55 °C ถ้าการระบายความร้อนออกจากเมล็ดกาแฟใช้เวลานานอาจส่งผลต่อคุณภาพของเมล็ดกาแฟ หรืออาจทำให้สีของเมล็ดกาแฟเข้มเกินกว่าระดับที่ต้องการ

เวลาในการเกิดเสียงปริแตก ระยะเวลาการให้ความร้อน และปริมาณความชื้น

เมื่อคั่วกาแฟที่ระดับการคั่วเข้มขึ้นจะใช้เวลาคั่วกาแฟจนเกิดเสียงปริแตกสั้นลง หรือที่ระดับการคั่วเข้มอุณหภูมิในการคั่วมีค่าสูงกว่าที่ระดับการคั่วอ่อน ทำให้เมล็ดกาแฟได้รับความร้อนมากกว่าจึงเกิดเสียงปริแตกเร็วกว่า เนื่องจาก เสียงปริแตกเกิดจากน้ำที่อยู่ในเซลล์ของเมล็ดกาแฟได้รับความร้อนจนเดือดกลายเป็นไอ เมื่อปริมาณไอมากขึ้นจึงสร้างแรงดันที่สูงขึ้นถึง 5-10 bar จนทำให้ผนังเซลล์แตกออก[6] นอกจากนี้ระดับการคั่วเข้มขึ้นจะใช้ระยะเวลาให้ความร้อนมากกว่าที่ระดับการคั่วอ่อน พลังงานความร้อนที่เมล็ดกาแฟได้รับจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ และจะเกิดการก่อตัวของสารระเหยหลากหลายชนิด ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยา Maillard และ Pyrolysis โดยสารระเหยจากกาแฟที่ได้จากการคั่วที่อุณหภูมิต่างๆ จะแตกต่างกันตามระดับการคั่ว[3] ซึ่งที่ระดับการคั่วเข้มต้องการพลังงานความร้อนมากกว่าเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดกาแฟคั่วที่เข้มขึ้นนั่นเอง

ความหนาแน่น

เมื่อระดับการคั่วเข้มขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นปรากฏและความหนาแน่นจริงลดลง[13] เนื่องจาก ที่ระดับการคั่วเข้มขึ้นเมล็ดกาแฟจะได้รับความร้อนเป็นเวลานานกว่าที่ระดับการคั่วอ่อน ทำให้ไอน้ำและก๊าซภายในเมล็ดกาแฟขยายตัวตามอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟที่สูงขึ้น ส่งผลให้เกิดช่องว่างมากขึ้นจากการขยายตัวของผนังเซลล์[6] ส่งผลให้ที่ระดับการคั่วเข้มเมล็ดกาแฟมีการขยายตัวและมีขนาดเพิ่มขึ้น แต่จะมีน้ำหนักลดลงเนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำภายในเมล็ดกาแฟ ซึ่งสัมพันธ์กับความชื้นของเมล็ดกาแฟที่ลดลงจาก 14.29% d.b. เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 1.18-1.57% d.b. นอกจากนั้นมวลของกาแฟบางส่วนก็สูญเสียไปกับแก๊สที่ปล่อยออกจากเมล็ดกาแฟในกระบวนการคั่ว

การสูญเสียมวล

การสูญเสียมวลและการสูญเสียมวลแห้งจะเพิ่มขึ้นตามระดับการคั่วที่เข้มขึ้น เนื่องจาก การสูญเสียมวลส่วนหนึ่งเกิดจากน้ำที่อยู่ในเมล็ดกาแฟระเหยออกไปจากกระบวนการคั่ว ทำให้เมล็ดกาแฟสูญเสียความชื้นจาก 14.29% d.b. เหลือความชื้น 1.18-1.57% d.b. ซึ่งทุกระดับการคั่วมีความชื้นสุดท้ายใกล้เคียงกัน แสดงว่ามีการสูญเสียน้ำไม่แตกต่างกัน แต่ที่ระดับการคั่วเข้มขึ้นหรือใช้อุณหภูมิการคั่วสูงขึ้น และใช้เวลาในการคั่วนานขึ้น ทำให้เกิดการสูญเสียสารระเหย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีในกระบวนการ pyrolitic และ polymerization มากขึ้นด้วย[12]

สีของกาแฟคั่วบด

การคั่วกาแฟที่ระดับการคั่วต่างๆ จะใช้การเทียบสีตามมาตราฐานของ Agtron-numbers เป็นตัวบ่งชี้ว่าเมล็ดกาแฟคั่วได้ระดับสีตาม Table 1 แล้ว โดยที่ระดับการคั่ว city(-), city, full City, และ Italian จะอ้างอิงสีของเมล็ดกาแฟคั่วกับ Agtron numbers 85 75 55 และ 45 ตามลำดับ จากผลการทดลองใน Figure 5 ซึ่งแสดงสีของเมล็ดกาแฟคั่วและกาแฟคั่วบดที่ระดับการคั่ว city(-), city, full city และ Italian จะเห็นว่ามีสีแตกต่างกันชัดเจน และเมื่อนำกาแฟคั่วบดไปทดสอบสีได้ผลดัง Table 5 พบว่า ที่ระดับการคั่ว city(-) กับ city และ full city กับ Italian ค่าความสว่าง สีแดง และสีเหลือง มีแนวโน้มที่แตกต่างกัน แต่ที่ระดับการคั่ว city กับ full city มีสีที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ค่าความสว่าง สีแดง และสีเหลือง มีแนวโน้มลดลงตามระดับการคั่วที่เข้มขึ้น เนื่องจากที่ระดับการคั่วเข้มจะใช้เวลาในการคั่วนานและใช้อุณหภูมิในการคั่วสูงขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา[14] ทำให้ที่ระดับการคั่วเข้ม (Italian) มีค่าความสว่างน้อยกว่าอย่างชัดเจน

คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

เมื่อระดับการคั่วเข้มขึ้นส่งผลให้ระดับคะแนนของค่า aroma, clean cup และ flavor ลดลง เนื่องจากกระบวนการคั่วจะทำให้เกิดสารระเหยที่ส่งผลให้กาแฟคั่วบดมีกลิ่นและรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ โดยเฉพาะสาร pyridine ที่ให้มีรสขม ฝาด และกลิ่นไหม้[3] ส่วนค่า acidity ที่มีระดับคะแนนลดลงเมื่อระดับการคั่วเข้มขึ้น เนื่องจาก กรด citric, malic, lactic, pyruvic และ acetic ซึ่งมีอยู่ในเมล็ดกาแฟ เกิดการสลายเพิ่มมากขึ้นตามระดับการคั่ว ในขณะที่ระดับคะแนนของค่า sweetness มีค่าสูงสุดที่ระดับการคั่ว city และลดลงเมื่อระดับการคั่วเข้มขึ้นเป็น full city และ Italian เนื่องจากที่ระดับการคั่วเข้มจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดมากกว่าที่ระดับการคั่วอ่อน ซึ่งปฏิกิริยาเมลลาร์ดก่อให้เกิดเป็นสารประกอบหลายชนิดที่ให้สีน้ำตาลและอาจเกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์[14] สำหรับค่าacidity ที่ลดลงตามระดับการคั่วเข้มและค่า sweetness ที่สูงที่สุดที่ระดับการคั่ว city เป็นผลให้ระดับคะแนนค่า mouth feel, aftertaste และ balance มีค่าสูงที่สุดที่ระดับการคั่ว city นั่นแสดงว่าที่ระดับการคั่ว city จะมีรสชาติของกาแฟดีที่สุด

สรุปผล

การคั่วกาแฟอราบิกาโดยใช้เครื่องคั่วสเปาเตดเบดทดลองคั่วกาแฟที่ระดับการคั่วอ่อนไปคั่วเข้ม คือ city(-), city, full city และ Italian จากผลการทดลองพบว่า ที่ระดับการคั่วเข้มขึ้นจะเกิดเสียงปริแตกเร็วกว่า สำหรับคุณภาพด้านกายภาพ พบว่า ที่ระดับการคั่วเข้มขึ้น ค่าความสว่าง ค่าสีแดง ค่าสีเหลืองมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน ส่วนความหนาแน่นปรากฏและความหนาแน่นจริงมีค่าลดลง แต่การสูญเสียมวลและการสูญเสียมวลแห้งจะมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า เมื่อระดับการคั่วเข้มขึ้น ค่า aroma, clean cup, acidity และ flavor จะลดลง ในขณะที่ระดับการคั่ว city จะมีค่า sweetness, mouth feel, aftertaste, balance สูงที่สุด และจะมีรสชาติของกาแฟโดยรวมดีที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาโท สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) บริษัท กรีนเนท เอสอี จำกัด ร้านแกลลอรี่ กาแฟดริป และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ช่วยสนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. พรรณนีย์ วิชชาชู, บรรณาธิการ. กาแฟ...จากเกษตรสู่อุตสาหกรรม. พืชสวน 2561 ; 33(2): 4-13.
2. De Azeredo AMC. Coffee roasting: color and aroma-active sulfur compounds. Doctoral dissertation, University of Florida, Florida ; 2011.
3. Wang X, Lim L-T. A Kinetics and modeling study of coffee roasting under isothermal conditions. Food Bioprocess Technol 2014 ; 7: 621-32.
4. Nagaraju VD, Bhattacharya S. Roasting green coffee beans using spouted bed roaster: changes in physical characteristics. J Food Sci Technol 2010 ; 47(6):674-77.
5. โพธิ์ทอง ประณีตพลกรัง, กิตติ สถาพรประสาธน์. การประยุกต์ใช้เทคนิคสเปาต์เต็ดเบดร่วมกับคลื่นอัลตร้าซาวด์สำหรับอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทร วิโรฒ 2560 ; 12(1): 163-75.
6. Schenker S. Investigations on the hot air roasting of coffee beans. Doctoral dissertation, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich ; 2000.
7. AOAC. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 15th ed. Arlington, Virginia ; 1990.
8. Sweet Maria's. Using sight to determine degree of roast. Available from: https://legacy.sweetmarias.com/library/using-sight-to-determine-degree-of-roast Accessed November 1, 2017.
9. บุญคง คำครุฑลาวงษ์, อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์, มารีนา มะหนิ. แบบจำลองการอบแห้งชั้นบางของเมล็ดกาแฟสายพันธุ์คาร์ติมอร์. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 2552 ; 14(2): 70-7.
10. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ; 2540.
11. Maria's S. COE cupping form. Available from: https://legacy.sweetmarias.com/library/coe_ cupping_form/ Accessed November 1, 2017.
12. Alonso-Torres B, Hernández-Pérez JA, Sierra-Espinoza F, Schenker S, Yeretzian C. Modeling and validation of heat and mass transfer in individual coffee beans during the coffee roasting process using computational fluid dynamics (CFD). Chimia 2013 ; 67(4): 291-94.
13. พีระพงศ์ กัทลี, เชาว์ อินทร์ประสิทธิ์. คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดกาแฟโรบัสต้า ก่อนคั่วและหลังคั่ว ในการประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9 ; 6-7 ธันวาคม 2555 ; มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม ; 2555. หน้า 97-104.
14. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, นิธิยา รัตนาปนนท์. ปฏิกิริยาเมลลลาร์ด. สืบค้นจาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0397/maillard-reaction. 3 กันยายน 2562.