การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17
15-17 ตุลาคม 2546 จังหวัดปราจีนบุรี

Drying Characteristic of Coffee Bean with Fluidized bed dryer
การศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งเมล็ดกาแฟด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

วรเมธ ทัดทอง[1] สมิทธ์ เอี่ยมสอาด[2] พงษ์เจต พรหมวงศ์[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทร 66(2) 326-4197 โทรสาร 66(2) 326-4198 E-mail: woramate@mut.ac.th, kppongje@kmitl.ac.th
[2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ถนนเชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530
โทร 66(2) 988-3666 ต่อ 241 โทรสาร 66(2) 988-3666 ต่อ 241 E-mail: woramate@mut.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดสำหรับการอบแห้งเมล็ดกาแฟสดให้มีคุณภาพของผลผลิตดีขึ้น เทคนิคนี้จะช่วยลดเวลาการอบแห้งของเมล็ดกาแฟสดลงจากปกติ 2 อาทิตย์ เหลือเพียง 5 ชั่วโมง ในชุดการทดลองหอทดลองฟลูอิดไดซ์เบดทำจากท่ออะคริลิกใสที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 140 มิลลิเมตร และมีความสูง 1,000 มิลลิเมตร ขณะที่แผ่นการกระจายอากาศจะถูกวางไว้ที่ปลายทางเข้าของหอทดลองฟลูอิดไดซ์เบดโดยมีสัดส่วนพื้นที่ว่างของลมที่ออกจากแผ่นกระจายอากาศเป็น 60 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของแผ่นการกระจายอากาศ ในการทดลองจะทำการอบที่ความจุ 0.6 ถึง 1.2 กิโลกรัมของเมล็ดกาแฟสด ซึ่งอากาศที่เข้าชุดฟลูอิดไดซ์เบดจะถูกให้ความร้อนจากชุดฮีทเตอร์ขนาด 3 กิโลวัตต์ เป็นเวลา 30 นาที จนกระทั่งได้อุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าได้ตามความต้องการในการทดลองจะควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ไว้ที่ 50 ถึง 90 องศาเซลเซียส, ค่าอัตราการไหลของอากาศจำเพาะ และความเร็วลมที่ทางเข้าชุดฟลูอิดไดซ์เบด 2 ถึง 4 เมตรต่อวินาที ซึ่งตัวแปรทั้งหมดได้ถูกนำมาศึกษาผลกระทบต่อการลดลงของความชื้นของเมล็ดกาแฟสด จากผลการทดลองสามารถที่จะลดความชื้นของเมล็ดกาแฟสดจาก 68 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 14 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลา 5 ถึง 7 ชั่วโมง และพบว่าในช่วง 1 ถึง 2 ชั่วโมงแรกจะเกิดการลดลงของความชื้นของเมล็ดกาแฟอย่างมาก

คำสำคัญ; เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด, อัตราการลดความชื้น, ความเร็วในฟลูอิดไดซ์เบด, อัตราการไหลของอากาศจำเพาะ

Abstract

This paper presents application of fluidized bed technique for drying the coffee beans to increase the coffee productivity with better quality. This technique will enable the coffee producers to reduce drying time from some 2 weeks of natural drying to about 5 hours. In the experiments, the fluidized bed dryer is a cylindrical vessel (bed) made of an acrylic material with 140-mm in diameter and 1000-mm in height. It is operated at capacity of 0.6 - 1.2 kg of green coffee beans. A distributor plate was placed at the entry of the bed with fractional free area of 60%. The fluidized bed is pre-heated first by 3 kW electric heaters for 30 minutes to reach a required bed temperature and kept constant for drying period. Then, the effect of inlet hot air temperatures in a range of 50 to 90°C, specific air flow rate, and superficial air velocity of 2-4 m/s on the reduction of moisture content of coffee beans is investigated. During the experiments, a temperature of various positions such as bed temperature and temperatures at the outlet and inlet were measured with type-K thermocouples. The experiments are carried out to dry coffee from 68% moisture content to 14% moisture content in 5-7 hours. Experimental results indicate that the evaporation rate is fast during the first 1-2 hours and the drying rate hastened thereafter.

Keywords; fluidized bed dryer, drying rate, superficial air velocity, specific air flow rate

1. บทนำ

โดยทั่วไปต้นกาแฟมีอยู่ประมาณ 50 ชนิด แต่กาแฟที่นิยมดื่มแพร่หลายในปัจจุบันมีด้วยกัน 2 ชนิด คือ Coffee arebica Linn หรือ อะราบีกา และ Coffee canephora Linn หรือ โรบัสต้า [1] สำหรับในประเทศไทยได้มีการปลูกกันมากทางภาคใต้ และในบางจังหวัดทางภาคเหนือ โดยแบ่งเป็นพันธุ์โรบัสตาร้อยละ 95 และกาแฟพันธุ์อะราบิการ้อยละ 5 ในปี พ.ศ. 2539 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกาแฟทั้งสิ้น

Corresponding author: วรเมธ ทัดทอง

ประมาณ 440,000 ไร่ ผลผลิตเฉลี่ยปีละประมาณ 80,000-85,000 ตัน (เฉลี่ยประมาณ 190-200 กก. ต่อไร่) ทำรายได้ให้แก่ประเทศไทยปีละประมาณ 4,000-5,000 ล้านบาท แต่กาแฟเป็นพืชที่ผลิตแล้วส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศถึง ร้อยละ 70 ของผลผลิตทั้งหมด บริโภคภายในประเทศเพียง ร้อยละ 30 เท่านั้น จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ต้องแข่งขันกับตลาดคู่แข่ง ที่มีการผลิตกาแฟ แต่ในปัจจุบันกาแฟไทยมีคุณภาพต่ำลง ไม่สามารถที่จะแข่งขันในตลาดโลกได้ ดังนั้นจึงต้องทำการหาวิธีในการปรับปรุงคุณภาพกาแฟให้ดีขึ้น ซึ่งในการทำสวนกาแฟเมื่อเกษตรกรทำการเก็บเกี่ยวเมล็ดกาแฟสดแล้ว เกษตรกรจะนำเมล็ดกาแฟสดที่เก็บเกี่ยวได้ ไปตากแดดจนกว่าเมล็ดกาแฟจะแห้ง โดยต้องตากแดดประมาณ 15-20 วัน ในวันที่มีแสงแดดจ้าทั้งวัน โดยส่วนมากเกษตรกรจะนำเมล็ดกาแฟสดที่ได้ไปตากไว้บนพื้นดินดังแสดงในรูปที่ 1 หรือ พื้นคอนกรีต แล้วรอจนกว่าเมล็ดกาแฟจะแห้ง แล้วจึงนำไปทำการสี ซึ่งเป็นขั้นตอนต่อไป ปัญหาที่พบส่วนมากคือ เมื่อนำเมล็ดกาแฟไปทำการสีจะพบว่ามีเมล็ดเสียเกิดขึ้นมากทำให้เกษตรกรขายกาแฟได้ในราคาที่ต่ำ ซึ่งเมล็ดที่เสียส่วนมากจะมีผลมาจากขั้นตอนการลดความชื้นซึ่งก็คือขั้นตอนการตากนั้นเอง ซึ่งเมล็ดเสียที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการตาก เกิดจากในช่วงการตากมีฝนตกลงมา ถ้าเกษตรกรเก็บไม่ทัน เมล็ดกาแฟส่วนที่เปียกจะเกิดการหมักขึ้นซึ่งจะทำให้เกิด รา ทำให้เมล็ดกาแฟมีกลิ่นราติดมาด้วย และในบางส่วนสารกาแฟจะเกิดเป็นสีดำหลังทำการสี เกษตรกรบางรายทำการตากกาแฟบนพื้นดิน ซึ่งเมื่อเมล็ดกาแฟแห้งเปลือกของเมล็ดกาแฟจะมีความไวต่อการดูดกลิ่นทำให้มีกลิ่นดินติดไปด้วย และปัญหาที่พบอีกอย่างในการตากบนลานดินก็คือมีสิ่งแปลกปลอมติดมาด้วยเช่น กรวด หิน ดิน และเศษโลหะต่างๆ ซึ่งจะเห็นว่าปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นมาจากการขั้นตอนการตากเมล็ดกาแฟทั้งสิ้นทำให้ทั้ง สี กลิ่น และ รสชาติ ของกาแฟที่ได้ไม่เป็นไปตามที่ตลาดต้องการ

รูปที่ 1 การตากเมล็ดกาแฟสดบนลานดิน

จากปัญหาที่พบดังกล่าว ถ้าเราสามารถลดขั้นตอนการตากเมล็ดกาแฟลงได้ ปัญหาดังกล่าวก็จะลดลงด้วย ซึ่งในการคงคุณภาพของเมล็ดกาแฟไว้นั้น หลังจากการเก็บเกี่ยวเกษตรกรควรทำให้เมล็ดกาแฟแห้งโดยเร็วที่สุด

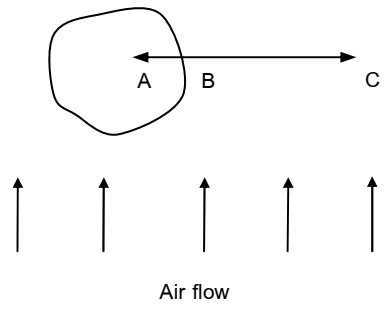
ในปัจจุบันได้มีการนำเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดมาใช้ในการลดความชื้นสำหรับผลผลิตทาง การเกษตรกรรมอย่างมากมาย เช่น ข้าวเปลือกและข้าวโพด เนื่องจากการใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดสามาลดความชื้นได้ในเวลาอันสั้น มีการกระจายอุณหภูมิในการอบอย่างสม่ำเสมอ มีพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของแข็งและของเหลวมาก [2] ทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานที่สูง ในอดีตถึงปัจจุบันได้มีนักวิจัยนำเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดมาลดความชื้นในผลผลิตการเกษตรไม่ว่าจะเป็น Mulet et al. [3], Berna et al. [4,5] และ Rossello et al. [6] ซึ่งส่วนใหญ่จะสนใจผลกระทบของความเร็วของลมร้อนต่อกลไกการลดความชื้น โดยส่วนใหญ่จะระบุว่าที่ความเร็วของอากาศร้อนที่ 1-1.5 m/s จะมีผลกระทบต่อการลดความชื้นอย่างมาก ต่อมา Kiranoudis et al. [7] ได้เสนอว่าความเร็วของอากาศร้อนมีผลกระทบต่อการอบแห้งไม่มากนักเมื่อเทียบกับอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ทางเข้าและความหนาของชั้นผิวในการอบแห้ง

ในโครงงานได้นำเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดมาอบเมล็ดกาแฟสดเพื่อแก้ไขและรักษาคุณภาพเมล็ดกาแฟให้ดีขึ้น การอบแห้งเมล็ดกาแฟโดยใช้เครื่องอบฟลูอิดไดซ์เบดเป็นวิธีที่ช่วยลดความเสียหายของเมล็ดกาแฟสดที่มีความชื้นสูง, ยืดเวลาในการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้น และลดเวลาการตากแห้งเพื่อช่วยลดปัญหาคุณภาพของกาแฟเมื่อเทียบกับใช้วิธีตากแห้งตามธรรมชาติ โดยในบทความฉบับนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความเร็วลม (superficial air velocity) ภายในเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด, อุณหภูมิอากาศทางเข้า และค่าอัตราการไหลของอากาศจำเพาะในการอบแห้ง (อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศต่อมวลของเม็ดกาแฟแห้ง,SP)

2. ทฤษฎี

2.1 การถ่ายเทความร้อนและมวลในฟลูอิดไดซ์เบด

การอบแห้งเป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลในเวลาเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 2 ความร้อนจะทำให้ความชื้นหรือของเหลวที่อยู่ในเม็ดของแข็งเกิดการระเหยเป็นไอ และเคลื่อนย้ายออกจากเม็ดของแข็งเข้าสู่ตัวกลางในการอบ (อากาศ) ความร้อนถูกเคลื่อนย้ายโดยการพาจากสิ่งแวดล้อม (C) เข้าสู่ผิวของเม็ดของแข็ง (B) และจากผิวของเม็ดของแข็ง (B) ไป (A) โดยการนำความร้อน และความชื้นภายในเม็ดของแข็งถูกเคลื่อนย้ายในทิศทางตรงกันข้าม บนผิวเม็ดของแข็งความชื้นระเหยสู่สิ่งแวดล้อมโดยการพาความร้อน



รูปที่ 2 การถ่ายเทความร้อนและมวลในฟลูอิดไดซ์เบดของเม็ดของแข็ง

2.2 ไฮโดรไดนามิกของก๊าซฟลูอิดไดเซชั่น [8]

ในขณะที่เม็ดของแข็งเริ่มลอยตัวเป็นอิสระอยู่นั้นอาจกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่า เม็ดของแข็งอยู่ในภาวะสมดุลของแรงสองแรงที่เกิดขึ้นบนเม็ดของแข็ง คือแรงที่เกิดจากน้ำหนักของเม็ดของแข็งเองกับแรงพยุงจากการไหลหรือเกิดจากแรงเสียดทานกับแรงต้านของของไหล

แรงพยุง (แรงเสียดทาน+แรงต้าน) = น้ำหนักของเมล็ดของแข็ง (1)

หรือ

(ความดันตกในพื้นที่ภาคตัดขวางของเบด)(พื้นที่ภาคตัดขวางหอของทดลอง) = (ปริมาตรของเบด)(ส่วนของของแข็งในเบด)(ความถ่วงจำเพาะของของแข็ง) (2)

ซึ่งเขียนและจัดรูปใหม่ได้

$$\frac{\Delta p}{L_{mf}} = \left(1-\varepsilon_{mf}\right)\left(\rho_p - \rho_g\right)g \tag{3}$$

โดยการประยุกต์สมการ (3) กับสมการความดันตกของ ERGUN จะได้

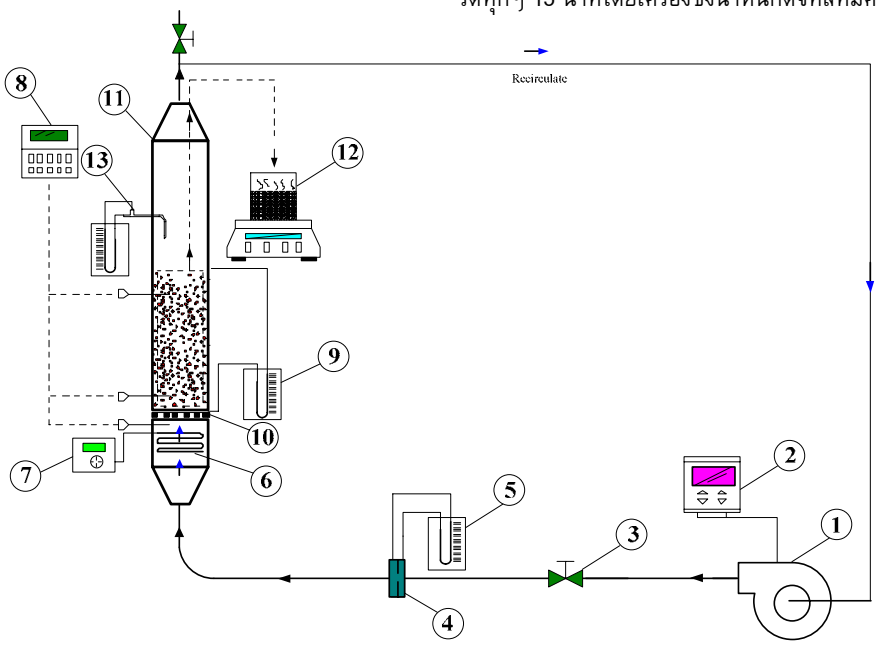
$$\frac{1.75}{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s}\mathrm{Re}_{mf}^2 + \frac{150\left(1-\varepsilon_{mf}\right)}{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s^2}\mathrm{Re}_{mf} = \frac{d_p^3 \rho_g \left(\rho_p - \rho_g\right)g}{\mu_g^2} \tag{4}$$

$$\mathrm{Re}_{mf} = \frac{d_p U_{mf} \rho_g}{\mu_g} \tag{5}$$

เมื่อ Re_{mf} คือ Reynolds number ที่ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชัน

3. การทดลองและวิธีการ

เครื่องมือการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดและอุปกรณ์ต่างๆ ได้ถูกแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยหอทดลองรูปทรงกระบอก ทำจากอะคริลิกใสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 140 มิลลิเมตร และความสูง 1000 มิลลิเมตร ในการทดลองเมล็ดกาแฟจะลอยที่ความสูงระหว่าง 60-120 มิลลิเมตร และขยายตัวถึง 400-800 มิลลิเมตร ในระหว่างเกิดฟลูอิดไดเซชัน ความจุของเมล็ดกาแฟสดอยู่ในช่วง 600-1200 กรัม แผ่นกระจายลมเป็นแบบเจาะตรงซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเท่ากับ 2 มิลลิเมตร และมีจำนวน 100 รู ซึ่งคิดเป็นพื้นที่เปิด 60% กาแฟที่ใช้ทดลองเป็นพันธุ์โรบัสตาขนาดเฉลี่ยประมาณ 10-11 มิลลิเมตร และมีความชื้นเริ่มต้นที่ 68% พัดลมที่ใช้ในการทดลองขนาด 3 แรงม้า ต่อกับชุดควบคุมความเร็วรอบ (inverter) ซึ่งใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของอากาศ ความเร็วของอากาศที่ทางเข้าจะถูกวัดด้วยออริฟิสมิเตอร์ ในการศึกษาพฤติกรรมของความเร็วอากาศในระหว่างการทดลองจะถูกควบคุมโดยโกลบ์วาล์ว ซึ่งมีความเร็วอยู่ในช่วง 4-6 m/s และอัตราการไหลของอากาศจำเพาะอยู่ในช่วง 0.12-0.24 kg/s-kg dry coffee อากาศในเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดจะถูกทำให้ร้อนด้วยขดลวดความร้อนขนาด 3 กิโลวัตต์ ที่ตำแหน่งทางเข้าหอทดลอง ซึ่งจะมีอุณหภูมิของอากาศสูงสุดถึง 120°C ในการทดลองแต่ละครั้งใช้เวลาประมาณ 30 นาที ในการควบคุมอุณหภูมิของอากาศให้มีค่าคงที่ตามที่กำหนด อุณหภูมิทดสอบภายในหอทดลองจะอยู่ในช่วง 50-90°C โดยจะทำการวัดอุณหภูมิภายในเบดด้วยเทอร์โมคัพเปิลชนิด K ในการทดลองเมล็ดกาแฟจะถูกลดความชื้นลงจาก 68% ให้เหลือเพียง 14% และจะทำการวัดความชื้นที่ลดลงจากค่าน้ำหนักเมล็ดกาแฟที่เปลี่ยนไปซึ่งจะทำการวัดทุกๆ 15 นาทีโดยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลที่มีค่าความละเอียด 1 กรัม

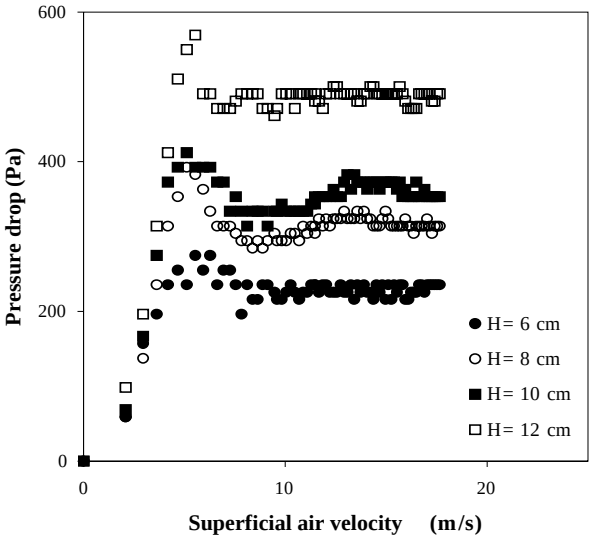


รูปที่ 3 ชุดอุปกรณ์การอบแห้งเมล็ดกาแฟด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด โดยประกอบด้วย (1) พัดลมขนาด 3 แรง, (2) ชุดควบคุมความเร็วรอบ (inverter), (3) โกลบ์วาล์ว, (4) ออริฟิสมิเตอร์, (5) มานอมิเตอร์แบบท่อตัวยู, (6) ขดลวดความร้อน, (7) ชุดควบคุมอุณหภูมิขดลวดความร้อน, (8) ชุดวัดอุณหภูมิ, (9) มานอมิเตอร์แบบท่อตัวยู, (10) แผ่นกระจายอากาศ, (11) หอทดลองรูปทรงกระบอก, (12) ตาชั่งน้ำหนักดิจิทัล และ (13) ท่อปิโตท์

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลกระทบของความลึกเบด

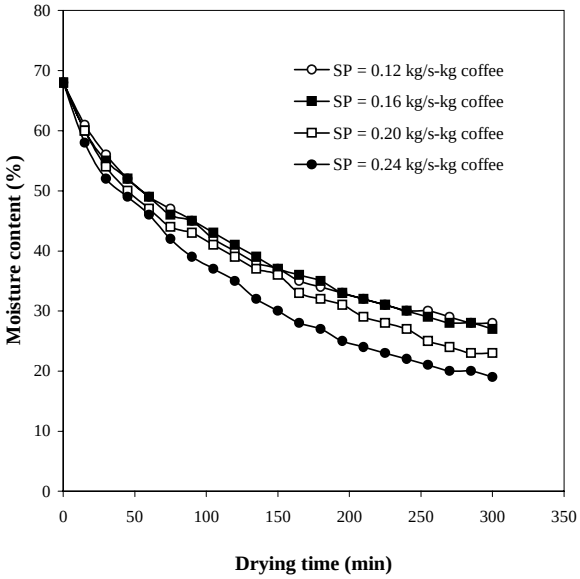
รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง superficial air velocity กับความดันตกคร่อมที่ความลึกของเบด 6 cm, 8 cm, 10 cm และ 12 cm จากกราฟจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความดันตกคร่อมของเมล็ดกาแฟที่ความลึกต่างๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกัน ที่ superficial air velocity จาก 1-5 m/s และมีแนวโน้มลดลงในช่วง 5-6 m/s และหลังจากช่วงนี้ค่า superficial air velocity จะมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ความดันตกคร่อมของเมล็ดกาแฟคงที่ ดังนั้นจุดเริ่มต้นที่ความดันตกคร่อมคงที่คือค่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชัน [8] คือ 5 m/s โดยจะเห็นได้ว่าที่ความสูงของเบดที่มีค่ามาก ค่าความดันตกคร่อมจะมีค่ามากเช่นเดียวกัน และที่ความลึกของเบด 0.12 m พบว่ามีความดันตกคร่อมสูงสุด 570 Pa แต่ที่ความลึกของเบด 0.6 m มีค่าความดันตกคร่อมสูงสุดเพียง 225 Pa



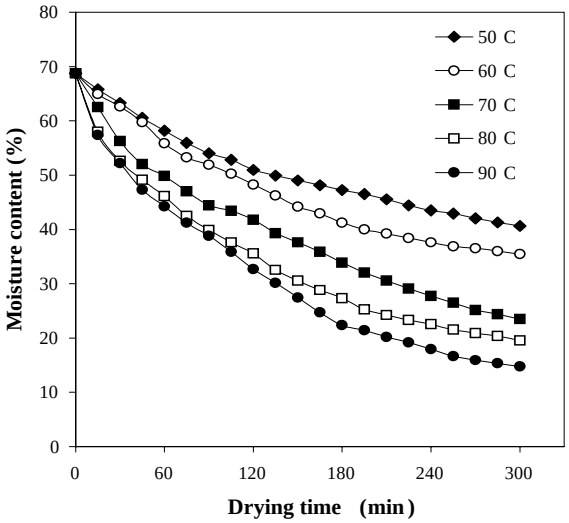
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง superficial air velocity กับความดันตกคร่อมที่ความลึกของเบดต่าง 6-12 ซม.

4.2 ผลกระทบของอัตราการไหลจำเพาะ

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดกาแฟกับเวลาในการอบแห้งที่อัตราการไหลของอากาศจำเพาะต่างๆ ที่ superficial air velocity 5 m/s และอุณหภูมิทางเข้าที่ 90°C จากกราฟการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดกาแฟมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยจะลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 1-2 ชั่วโมงแรกและหลังจากนั้นปริมาณความชื้นจะลดลงอย่างช้าๆ สังเกตุว่าอัตราการลดลงของปริมาณความชื้นที่อัตราการไหลต่ำๆน้อยกว่าอัตราการลดลงของปริมาณความชื้นที่อัตราการไหลสูงๆ เนื่องจากที่อัตราการไหลของอากาศจำเพาะสูงๆ จะเกิดความปั่นป่วนอย่างหนาแน่นระหว่างเมล็ดกาแฟกับอากาศร้อนภายภายในเบด ซึ่งทำให้อัตราการขนถ่ายความร้อนและมวลมาก แต่ที่อัตราการไหลจำเพาะต่ำๆ เมล็ดกาแฟจะหนาแน่นบริเวณเหนือแผ่นกระจายลมจะทำให้อัตราการขนถ่ายความร้อนและมวลระหว่างอากาศร้อนกับเมล็ดกาแฟภายในเบดต่ำลงซึ่งเป็นกลไกของการพาความร้อน



รูปที่ 5 ปริมาณความชื้นของเมล็ดกาแฟกับเวลาในการอบแห้งโดยเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศจำเพาะ



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของเมล็ดกาแฟกับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิทางเข้าหอทดลองต่างๆ

4.3 ผลกระทบของอุณหภูมิทางเข้า

ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดกาแฟกับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิทางเข้าหอทดลอง 50°C, 60 °C, 70 °C, 80 °C และ 90 °C ที่ superficial air velocity 5 m/s และความลึกของเบด 100 mm ถูกแสดงในรูปที่ 6 จากรูปจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเม็ดกาแฟมีแนวโน้มลดลง โดยที่อัตราการลดลงของปริมาณความชื้นที่อุณหภูมิทางเข้าสูงๆ จะมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิทางเข้าต่ำๆ และที่อุณหภูมิทางเข้าสูงปริมาณความชื้นของเมล็ดกาแฟจะเหลือน้อยกว่าที่อุณหภูมิทางเข้าต่ำที่เวลาเดียวกัน เป็นผลมาจากอัตราการขนถ่ายความร้อนสูงระหว่างอากาศร้อนและเมล็ดกาแฟ แนวโน้มของอัตราการลดของความชื้นของเมล็ดกาแฟที่อุณหภูมิ

ทางเข้าต่างๆ มีแนวโน้มเหมือนกันสำหรับที่อัตราการไหลจำเพาะต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 5 อัตราการลดลงของความชื้นจะเร็วในช่วงแรกของเวลาที่ใช้ในการอบเมล็ดกแฟและหลังจากนั้นจะลดลงอย่างช้าๆ การอบแห้งที่อุณหภูมิทางเข้าที่ 90 °C มีอัตราการลดลงของความชื้นจาก 68% เหลือเพียง 14% ภายใน 5 ชั่วโมง

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองการอบแห้งเมล็ดกาแฟสดโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแสดงให้เห็นว่าการควบคุมอุณหภูมิทางเข้าหอทดลองและอัตราการไหลของอากาศจำเพาะ โดยสามารถลดปริมาณความชื้นของเมล็ดกาแฟลงสู่ 14% (ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม) ที่อุณหภูมิทางเข้าหอทดลอง 90 °Cและอัตราการไหลของอากาศจำเพาะเทคนิคนี้สามารถช่วยให้ผู้ผลิตลดเวลาในการตากแห้งเมล็ดกาแฟจาก 15 วัน เหลือเพียง 5 ชั่วโมง

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมการค้าภายใน, กระทรวงพาณิชย์, “การพัฒนาการผลิตและการตลาดกาแฟ”, เอกสารงานจัดการประกวดเมล็ดกาแฟ ปี 2541/42

[2] Nargal MS, Ooraikul B., 1996, “Effect of some physical and chemical pretreatments on improvement of drying characteristics of hash-brown potatoes”, J Food Sci Technol, 33, pp. 436-439.

[3] Mulet A, Berna A, Borrna M, Pinaga F., 1987, “Effect of air flow rate on carrot drying. Drying Technol”, 5:25-258.

[4] Berna A, Rossello C, Canellas J, Mulet A., 1990, “Drying kinetics of apricots. In : Spiess WEL, Schubert H, editors. Engineering and food”, Physical properties and process control. London : Elsevier Applied Science, 1, pp. 628-636.

[5] Berna A, Rossello C, Canellas J, Mulet A., 1991, “Drying kineties of Majorcan seedlessgrape variety”, In: Mulumdar AS, editor. Drying ’91, Amsterdam: Elsevier Science Publishers, pp. 455-462.

[6] Rossello C, Canellas J, Simal S A, 1992, “Simple mathematical model to predict the drying rates of potatoes”, J Agric Food Chem, 40, pp. 2374-2378.

[7] Kiranoudis CT, Maroulis ZB, Marinos-Kouris D., 1992a, “Drying kinetics of onion and green pepper”, Drying Technology, 10, pp. 955-1011.

[8] D. Kunii, O. Levenspiel, “Fluidization Engineering”, John Wiley, New York, 1969

สัญลักษณ์

d_p = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดของแข็ง (เมตร)

g = อัตราเร่งที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก (เมตร/ซม.^{2})

H = ความสูงของเบด (ซม.)

L_{mf} = ความสูงต่ำสุดของเบด (เมตร)

Δp = ความดันต่างของเบด (นิวตัน/เมตร^2)

U_{mf} = ความเร็วต่ำสุดของฟลูอิดไดเซชัน (เมตร/วินาที)

ε_{mf} = สัดส่วนช่องว่างต่ำสุด

μ = ความหนืดของของไหล (กิโลกรัม-เมตร/วินาที)

ρ_g = ความหนาแน่นของก๊าซ (กิโลกรัม/เมตร^3)

ρ_p = ความหนาแน่นของของแข็ง (กิโลกรัม/เมตร^3)

ϕ_s = แฟคเตอร์รูปร่าง