

บทที่ 4

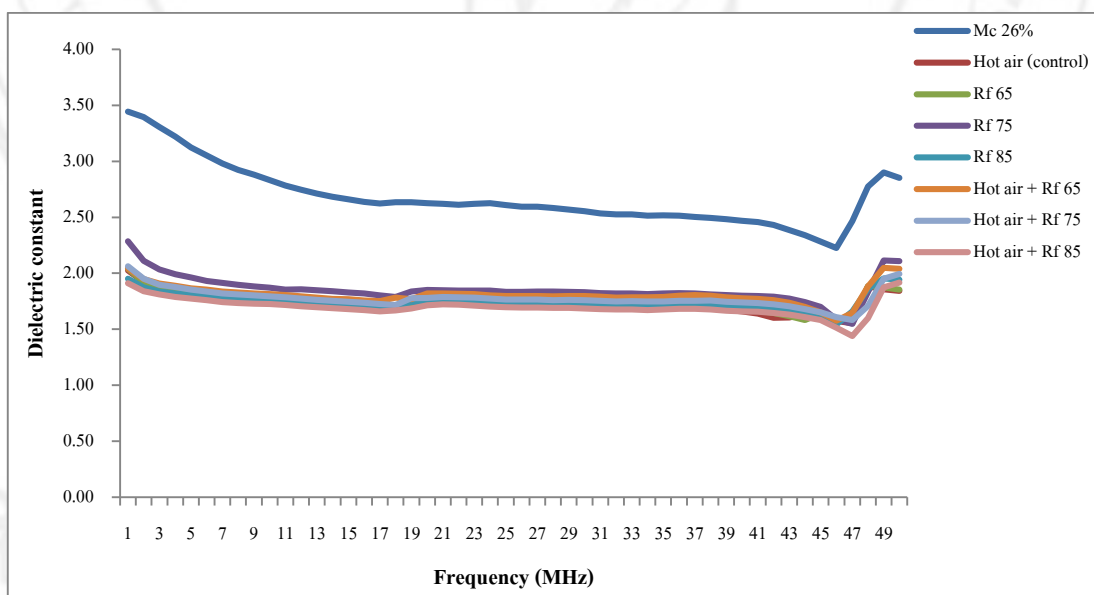
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการวัดคุณสมบัติไดอิเล็กทริก

4.1.1 การวัดคุณสมบัติไดอิเล็กทริก

4.1.1.1 Dielectric constant

ผลการทดสอบคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของเมล็ดข้าวพันธุ์ทุมธานี 1 ที่ระดับความชื้นเริ่มต้นจากแปลง 26 เปอร์เซ็นต์ ใช้ช่วงความถี่ 1-50 MHz ที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส พบว่า เมล็ดข้าวที่มีความชื้นเริ่มต้น 26 เปอร์เซ็นต์ มี dielectric constant อยู่ในช่วง $2.23-3.45 \pm 0.03$ เมื่อทำการวัดค่า dielectric constant ใน 3 ช่วงความถี่ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ในการศึกษาทางวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz พบว่า ค่า dielectric constant มีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้น โดยมีค่า dielectric constant เท่ากับ 2.71, 2.59 และ 2.47 ตามลำดับ แต่มีการตอบสนองต่อความถี่คลื่นที่ 49 MHz มีค่า dielectric constant สูงสุดเท่ากับ 2.89 (ภาพที่ 4.1)



ภาพที่ 4.1 ค่า Dielectric constant ของเมล็ดข้าวที่ความชื้นเริ่มต้น 26 เปอร์เซ็นต์ และการลดความชื้นด้วยกรรมวิธีต่างๆ โดยใช้คลื่นความถี่ 1-50 MHz

เมื่อทำการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเวลา 10 ชั่วโมงต่อด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเวลา 3 ชั่วโมงต่อด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเวลา 3 ชั่วโมงต่อด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเวลา 3 ชั่วโมงและ ต่อด้วยอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสเวลา 3 ชั่วโมงตามลำดับจนเมล็ดมีความชื้น ประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ (ชุดควบคุม)มี dielectric constant อยู่ในช่วง 1.55-2.03±0.01 เมื่อทำการวัดค่า dielectric constant ใน 3 ช่วงความถี่ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz พบว่าค่า dielectric constant มีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้น โดยมีค่า dielectric constant เท่ากับ 1.74, 1.73 และ 1.65 ตามลำดับ แต่มีการตอบสนองต่อความถี่คลื่นที่ 48 MHz มีค่า dielectric constant สูงสุดเท่ากับ 1.88

การให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ให้ระดับความชื้นลดลงเหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ มี dielectric constant อยู่ในช่วง 1.58-2.04±0.01 เมื่อทำการวัดค่า dielectric constant ใน 3 ช่วงความถี่ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz พบว่า ค่า dielectric constant มีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้น โดยมีค่า dielectric constant เท่ากับ 1.73, 1.72 และ 1.67 ตามลำดับ แต่มีการตอบสนองต่อความถี่คลื่นที่ 48 MHz มีค่า dielectric constant สูงสุดเท่ากับ 1.88

การให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ให้ระดับความชื้นลดลงเหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ มี dielectric constant อยู่ในช่วง 1.55-2.29±0.01 เมื่อทำการวัดค่า dielectric constant ใน 3 ช่วงความถี่ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz พบว่า ค่า dielectric constant มีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้น โดยมีค่า dielectric constant เท่ากับ 1.84, 1.83 และ 1.80 ตามลำดับ แต่มีการตอบสนองต่อความถี่คลื่นที่ 48 MHz มีค่า dielectric constant สูงสุดเท่ากับ 1.83

การให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ให้ระดับความชื้นลดลงเหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ มี dielectric constant อยู่ในช่วง 1.54-1.95±0.01 เมื่อทำการวัดค่า dielectric constant ใน 3 ช่วงความถี่ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz พบว่า ค่า dielectric constant มีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้น โดยมีค่า dielectric constant เท่ากับ 1.73, 1.72 และ 1.70 ตามลำดับ แต่มีการตอบสนองต่อความถี่คลื่นที่ 49 MHz มีค่า dielectric constant สูงสุด เท่ากับ 1.95 และการให้ความร้อนด้วยการอบลมร้อนร่วมกับคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ให้ระดับความชื้นลดลงเหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ มี dielectric constant อยู่ในช่วง 1.58-2.05±0.01 เมื่อทำการวัดค่า dielectric constant ใน 3 ช่วงความถี่ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz พบว่า ค่า dielectric constant มีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้น โดยมีค่า dielectric constant เท่ากับ 1.79, 1.78 และ 1.77 ตามลำดับ แต่มีการตอบสนองต่อความถี่คลื่นที่ 49 MHz มีค่า dielectric constant สูงสุดเท่ากับ 2.05

การให้ความร้อนด้วยการอบลมร้อนร่วมกับคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ให้ระดับความชื้นลดลงเหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ มี dielectric constant อยู่ในช่วง 1.58-2.06±0.01 เมื่อทำการวัดค่า dielectric constant ใน 3 ช่วงความถี่ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz พบว่า ค่า dielectric constant มี

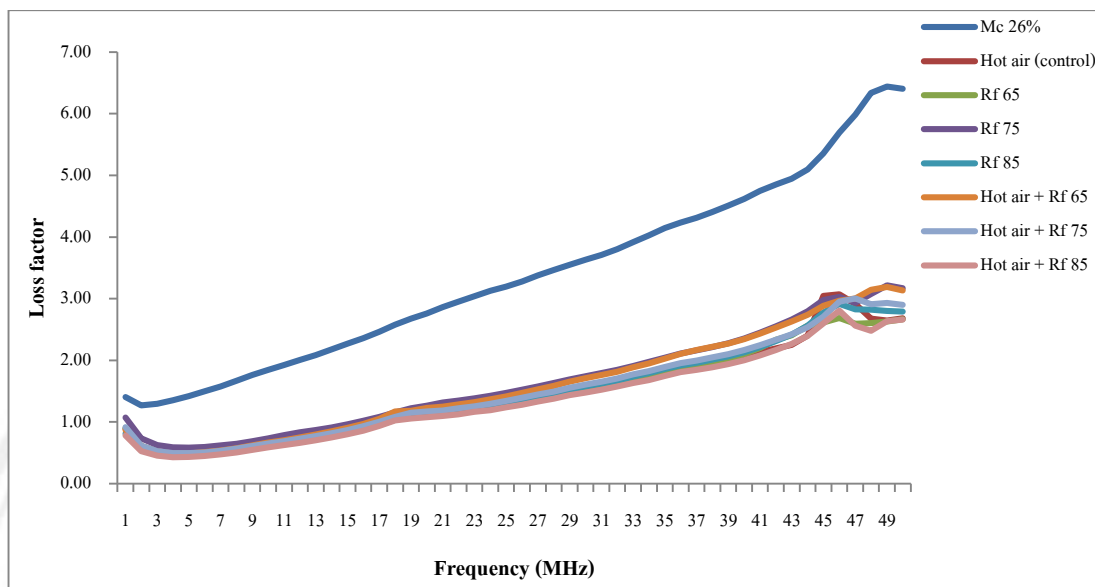
ค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้น โดยมีค่า dielectric constant เท่ากับ 1.77, 1.76 และ 1.73 ตามลำดับ แต่มีการตอบสนองต่อความถี่คลื่นที่ 50 Hz มีค่า dielectric constant สูงสุดเท่ากับ 1.99

การให้ความร้อนด้วยการอบลมร้อนร่วมกับคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ให้ระดับความชื้นลดลงเหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ มี dielectric constant อยู่ในช่วง 1.44-1.92 $\pm$ 0.01 เมื่อทำการวัดค่า dielectric constant ใน 3 ช่วงความถี่ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz พบว่า ค่า dielectric constant มีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้น โดยมีค่า dielectric constant เท่ากับ 1.70, 1.69 และ 1.65 ตามลำดับ แต่มีการตอบสนองต่อความถี่คลื่นที่ 50 Hz มีค่า dielectric constant สูงสุดเท่ากับ 1.91

หลังการลดความชื้นเมล็ดข้าวด้วยกรรมวิธีต่างๆ พบว่า ค่า dielectric constant ของเมล็ดที่มีความชื้นสูง มีค่า dielectric constant สูงกว่าเมล็ดที่มีความชื้นต่ำกว่า แสดงว่า เมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้นสูงมีความสามารถในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ได้ดีกว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้นต่ำ และค่า dielectric constant มีค่าลดลงเมื่อมีความถี่เพิ่มขึ้น แสดงว่าเมื่อเพิ่มความถี่มากขึ้นจะทำให้ความสามารถในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าลดลง สอดคล้องกับ Christoph *et al.* (2000) รายงานว่าในกระบวนการลดความชื้นเมล็ดโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นความถี่วิทยุและไมโครเวฟ ระดับพลังงานที่เกิดจากการให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแก่เมล็ดจะมีความสัมพันธ์อย่างสูงกับปริมาณความชื้นในเมล็ด โดยที่ระดับความชื้นในเมล็ดที่สูงส่งผลให้เมล็ดมีการดูดซับพลังงานและเอื้อต่อการเกิดประสิทธิภาพในการถ่ายเทและนำพาความร้อนในเมล็ดเกิดได้สูง

4.1.1.2 Dielectric loss factor

ค่า ของเมล็ดข้าวที่ความชื้นเริ่มต้นที่ 26 เปอร์เซ็นต์ มีค่า dielectric loss factor อยู่ในช่วง 1.27-6.44 $\pm$ 0.21 เมื่อทำการวัดค่า dielectric loss factor ใน 3 ช่วงความถี่ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ในการศึกษาทางวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz พบว่า ค่า dielectric loss factor มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีความถี่สูงขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 2.08, 3.37 และ 4.61 ทำให้ค่า dielectric loss factor ของเมล็ดที่มีความชื้นสูงมีความสามารถในการกระจายพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อนได้ดีเมื่อมีการเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้น และมีค่า dielectric loss factor สูงสุดเมื่อมีการตอบสนองต่อความถี่ที่ 49 MHz (ภาพที่ 4.2)



ภาพที่ 4.2 ค่า Dielectric loss factor ของเมล็ดข้าวที่ความชื้นเริ่มต้น 26 เปอร์เซ็นต์ และการลดความชื้นด้วยกรรมวิธีต่างๆ โดยใช้คลื่นความถี่ 1-50 MHz

เมื่อทำการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนอุณหภูมิหลายระดับ (ชุดควบคุม) ให้ระดับความชื้นลดลงเหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ มี dielectric loss factor อยู่ในช่วง $0.49-3.07 \pm 0.11$ เมื่อทำการวัดค่า dielectric loss factor ใน 3 ช่วงความถี่ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz เท่ากับ 0.78, 1.43 และ 2.07 ตามลำดับ มีการตอบสนองต่อความถี่คลื่นที่ 46 MHz มีค่า dielectric loss factor สูงสุดเท่ากับ 3.07 และการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ให้ระดับความชื้นลดลงเหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ มี dielectric loss factor อยู่ในช่วง $0.48-2.69 \pm 0.10$ เมื่อทำการวัดค่า dielectric loss factor ใน 3 ช่วงความถี่ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz เท่ากับ 0.74, 1.38 และ 2.10 ตามลำดับ มีการตอบสนองต่อความถี่คลื่นที่ 46 MHz มีค่า dielectric loss factor สูงสุดเท่ากับ 2.68

การให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ให้ระดับความชื้นลดลงเหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ มี dielectric loss factor อยู่ในช่วง $0.58-3.22 \pm 0.11$ เมื่อทำการวัดค่า dielectric loss factor ใน 3 ช่วงความถี่ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz เท่ากับ 0.86, 1.57 และ 2.35 ตามลำดับ มีการตอบสนองต่อความถี่คลื่นที่ 49 MHz มีค่า dielectric loss factor สูงสุดเท่ากับ 3.21

การให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ให้ระดับความชื้นลดลงเหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ มี dielectric loss factor อยู่ในช่วง $0.45-2.92 \pm 0.10$ เมื่อทำการวัดค่า dielectric loss factor ใน 3 ช่วงความถี่ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz เท่ากับ 0.74, 1.41 และ 2.13 ตามลำดับ มีการตอบสนองต่อความถี่คลื่นที่ 46 MHz มีค่า dielectric loss factor สูงสุดเท่ากับ 2.91 และการให้ความร้อนด้วยการอบลมร้อนร่วมกับคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ให้ระดับความชื้นลดลง

เกลือ 14 เปอร์เซ็นต์ มี dielectric loss factor อยู่ในช่วง $0.49-3.19 \pm 0.11$ เมื่อทำการวัดค่า dielectric loss factor ใน 3 ช่วงความถี่ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz เท่ากับ 0.79, 1.53 และ 2.34 ตามลำดับ มีการตอบสนองต่อความถี่คลื่นที่ 49 MHz มีค่า dielectric loss factor สูงสุดเท่ากับ 3.18

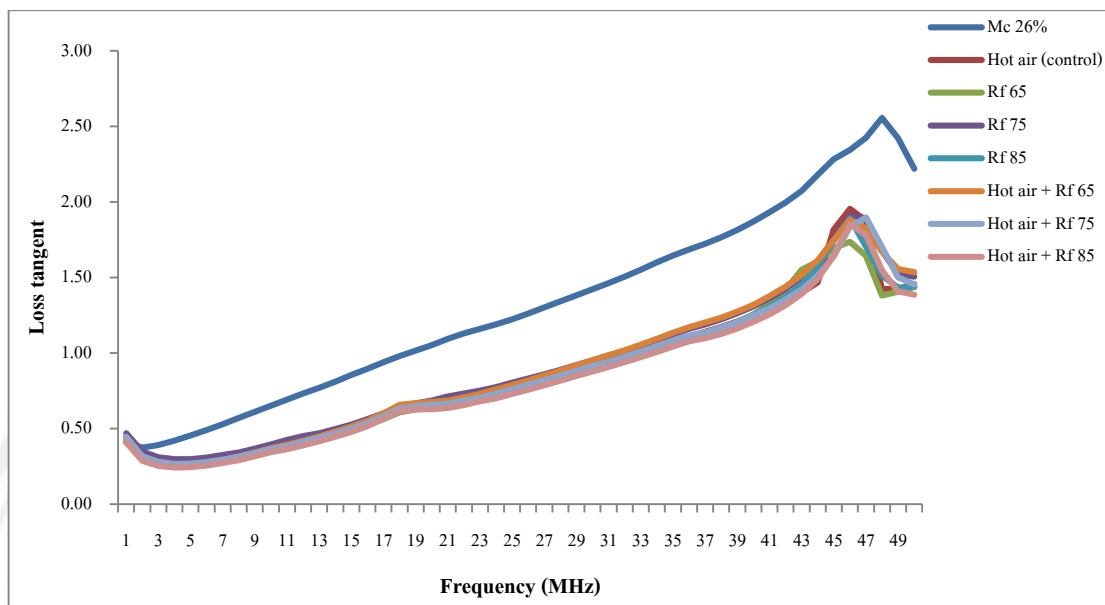
การให้ความร้อนด้วยการอบร้อนร่วมกับคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ให้ระดับความชื้นลดลงเกลือ 14 เปอร์เซ็นต์ มี dielectric loss factor อยู่ในช่วง $0.49-3.00 \pm 0.11$ เมื่อทำการวัดค่า dielectric loss factor ใน 3 ช่วงความถี่ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz เท่ากับ 0.77, 1.44 และ 2.16 ตามลำดับ มีการตอบสนองต่อความถี่คลื่นที่ 47 MHz มีค่า dielectric loss factor สูงสุดเท่ากับ 3.00

การให้ความร้อนด้วยการอบร้อนร่วมกับคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ให้ระดับความชื้นลดลงเกลือ 14 เปอร์เซ็นต์ มี dielectric loss factor อยู่ในช่วง $0.43-2.80 \pm 0.10$ เมื่อทำการวัดค่า dielectric loss factor ใน 3 ช่วงความถี่ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz เท่ากับ 0.70, 1.33 และ 2.00 ตามลำดับ มีการตอบสนองต่อความถี่คลื่นที่ 46 MHz มีค่า dielectric loss factor สูงสุดเท่ากับ 2.80

หลังการลดความชื้นเมล็ดข้าวด้วยกรรมวิธีต่างๆ พบว่า ค่า dielectric loss factor ของเมล็ดที่มีความชื้นสูง มีค่า dielectric constant สูงกว่าเมล็ดที่มีความชื้นต่ำกว่าพบว่า ค่า dielectric loss factor ของเมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้นสูง มีค่าสูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้นต่ำ แสดงว่า เมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้นสูงมีความสามารถที่จะกระจายพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อนได้สูง หรือเกิดได้เร็วกว่า เมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้นต่ำ โดยค่า dielectric loss factor จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีความถี่เพิ่มขึ้น แสดงว่าที่ความถี่เพิ่มขึ้นจะทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวมีความสามารถในการกระจายพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อนได้ดี

4.1.1.3 Loss tangent

เมล็ดข้าวมีความชื้นเริ่มต้นที่ 26 เปอร์เซ็นต์ มีค่า loss tangent อยู่ในช่วง $0.37-2.55 \pm 0.08$ เมื่อทำการวัดค่า loss tangent ใน 3 ช่วงความถี่ที่ได้รับอนุญาตให้ ใช้ในการศึกษาทางวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz พบว่า loss tangent มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความถี่มากขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 0.76, 1.30 และ 1.86 แสดงว่า เมล็ดข้าวที่มีความชื้นสูงมีระดับการทะลุทะลวงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและระดับการกระจายพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อนได้ดีเมื่อความถี่เพิ่มมากขึ้น และตอบสนองได้ดีต่อคลื่นความถี่ที่ 48 MHz (ภาพที่ 4.3)



ภาพที่ 4.3 ค่า Loss tangent ของเมล็ดข้าวที่ความชื้นเริ่มต้น 26 เปอร์เซ็นต์ และการลดความชื้นด้วยกรรมวิธีต่างๆโดยใช้คลื่นความถี่ 1-50 MHz

เมื่อทำการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนอุณหภูมิหลายระดับ (ชุดควบคุม) ให้ระดับความชื้นลดลงเหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ มี loss tangent อยู่ในช่วง $0.26-1.95 \pm 0.06$ เมื่อทำการวัดค่า loss tangent ใน 3 ช่วงความถี่ ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz โดยมีค่าเท่ากับ 0.45, 0.82 และ 1.25 และตอบสนองได้ดีต่อคลื่นความถี่ที่ 46 MHz มีค่า loss tangent สูงสุดเท่ากับ 1.95 และการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ให้ระดับความชื้นลดลงเหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ มี loss tangent อยู่ในช่วง $0.26-1.68 \pm 0.06$ เมื่อทำการวัดค่า loss tangent ใน 3 ช่วงความถี่ ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz โดยมีค่าเท่ากับ 0.43, 0.80 และ 1.25 และตอบสนองได้ดีต่อคลื่นความถี่ที่ 46 MHz มีค่า loss tangent สูงสุดเท่ากับ 1.73

การให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ให้ระดับความชื้นลดลงเหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ มี loss tangent อยู่ในช่วง $0.29-1.90 \pm 0.06$ เมื่อทำการวัดค่า loss tangent ใน 3 ช่วงความถี่ ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz โดยมีค่าเท่ากับ 0.46, 0.85 และ 1.30 และตอบสนองได้ดีต่อคลื่นความถี่ที่ 46 MHz มีค่า loss tangent สูงสุดเท่ากับ 1.90

การให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ให้ระดับความชื้นลดลงเหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ มี loss tangent อยู่ในช่วง $0.24-1.89 \pm 0.06$ เมื่อทำการวัดค่า loss tangent ใน 3 ช่วงความถี่ ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz โดยมีค่าเท่ากับ 0.42, 0.81 และ 1.25 และตอบสนองได้ดีต่อคลื่นความถี่ที่ 46 MHz มีค่า loss tangent สูงสุดเท่ากับ 1.89 และการให้ความร้อนด้วยการอบลมร้อนร่วมกับคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ให้ระดับความชื้นลดลงเหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ มี

loss tangent อยู่ในช่วง $0.25-1.88 \pm 0.06$ เมื่อทำการวัดค่า loss tangent ใน 3 ช่วงความถี่ ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz โดยมีค่าเท่ากับ 0.44, 0.85 และ 1.31 และตอบสนองได้ดีต่อคลื่นความถี่ที่ 46 MHz มีค่า loss tangent สูงสุดเท่ากับ 1.88

การให้ความร้อนด้วยการอบร้อนร่วมกับคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ให้ระดับความชื้นลดลงเหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ มี loss tangent อยู่ในช่วง $0.26-1.89 \pm 0.06$ เมื่อทำการวัดค่า loss tangent ใน 3 ช่วงความถี่ ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz โดยมีค่าเท่ากับ 0.43, 0.81 และ 1.24 และตอบสนองได้ดีต่อคลื่นความถี่ที่ 46 MHz มีค่า loss tangent สูงสุดเท่ากับ 1.89

การให้ความร้อนด้วยการอบร้อนร่วมกับคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ให้ระดับความชื้นลดลงเหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ มี loss tangent อยู่ในช่วง $0.24-1.85 \pm 0.06$ เมื่อทำการวัดค่า loss tangent ใน 3 ช่วงความถี่ ได้แก่ 13, 27 และ 40 MHz โดยมีค่าเท่ากับ 0.41, 0.78 และ 1.20 และตอบสนองได้ดีต่อคลื่นความถี่ที่ 46 MHz มีค่า loss tangent สูงสุดเท่ากับ 1.85

หลังการลดความชื้นเมล็ดข้าวด้วยกรรมวิธีต่างๆ พบว่า ค่า loss tangent จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความถี่มากขึ้น แสดงว่าเมล็ดข้าวจะมีระดับการทะลุทะลวงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและระดับการกระจายพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความถี่มากขึ้น โดยค่า loss tangent แสดงถึงระดับการทะลุทะลวงของสนามไฟฟ้าและระดับการกระจายพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าวัตถุจะเกิดความร้อนได้ดีขึ้น และค่า loss tangent สามารถใช้ประมาณความยาวคลื่นและความลึกในการทะลุทะลวงภายในวัตถุได้ ความยาวคลื่นภายในวัตถุจะลดลงหากวัตถุมีค่า dielectric loss factor และค่า dielectric loss factor เพิ่มขึ้น หากค่า dielectric loss factor และค่า loss tangent ของวัตถุมีค่ามากจะส่งผลให้การดูดซับพลังงานจากคลื่นความถี่วิทยุและปริมาณความร้อนเกิดขึ้นมากขึ้นตาม แต่ถ้าวัดค่า dielectric loss factor และค่า loss tangent มีค่าน้อย คลื่นความถี่วิทยุจะทะลุผ่านวัตถุได้อิเล็กทริกได้น้อยตาม แสดงว่า เมล็ดที่มีความชื้นสูงจะมีระดับการทะลุทะลวงของสนามไฟฟ้าและระดับการกระจายพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน สอดคล้องกับ Harris and Taras (1984) กล่าวว่า ความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญในการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุ และการให้ความร้อนในแบบอื่นๆ ด้วย กาญจนา สิริกุลรัตน์ และคณะ (2552) ได้ทำการทดสอบสมบัติไดอิเล็กทริกของข้าวเปลือกเหนียวพันธุ์สันป่าดง 1 ที่เก็บเกี่ยวในช่วงอายุต่างกัน ตั้งแต่ 1 สัปดาห์ หลังจากต้นข้าวตั้งท้องจนกระทั่งข้าวแก่จัด ถู้นำไปวัดสมบัติไดอิเล็กทริก ในช่วงคลื่น 100Hz - 1MHz พบว่า dielectric constant (ϵ') ของรวงข้าวที่เก็บเกี่ยวทุกช่วงอายุและเมล็ดข้าวเปลือกมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณความชื้นในรวงข้าวและเมล็ดข้าวเปลือก เมื่อตัวอย่างรวงข้าวมีความชื้นลดลง dielectric constant (ϵ') ของรวงข้าวมีค่าลดลงในทุกช่วงอายุ

4.2 ผลการลดความชื้นต่อคุณภาพข้าวเปลือก

4.2.1 ผลของการใช้คลื่นความถี่วิทยุในการลดความชื้นเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

การลดความชื้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่มีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 26 เปอร์เซ็นต์ ทำการลดความชื้นเมล็ดข้าวด้วยการอบลมร้อนอุณหภูมิหลายระดับ (ชุดควบคุม), การลดความชื้นด้วยการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ และการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ ที่อุณหภูมิ 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส มีความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 14 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมล็ดข้าวมีความชื้นลดลงอย่างต่อเนื่อง และแต่ละวิธีมีการใช้ระยะเวลาในการลดความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนอุณหภูมิหลายระดับ (ชุดควบคุม) ใช้ระยะเวลานานที่สุด คือ 600 นาที (ตารางที่ 4.1) มีอัตราการลดความชื้นเท่ากับ 1.20 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง การลดความชื้นด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ที่อุณหภูมิ 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาน้อยที่สุดคือ 30, 20 และ 15 นาที ตามลำดับ มีอัตราการลดความชื้น เท่ากับ 23.3, 35.1 และ 46.9 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ และการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ ที่อุณหภูมิ 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการลดความชื้นเท่ากับ 308, 305 และ 303 นาที ตามลำดับ มีอัตราการลดความชื้น เท่ากับ 2.2, 2.3 และ 2.4 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ

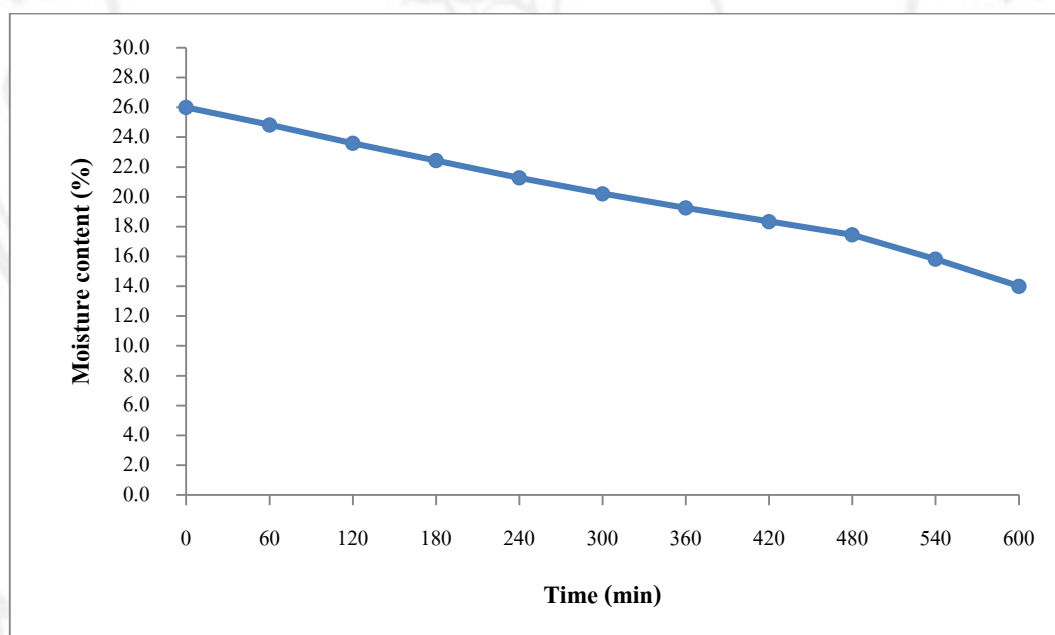
ระยะเวลาและอัตราการลดความชื้นที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและวิธีที่ใช้ในการลดความชื้นด้วย การลดความชื้นด้วยเครื่องอบลมร้อนนั้นมีการใช้ระยะเวลานานที่สุด จากการศึกษาของบุญมี สิริ และคณะ (2546) พบว่า การลดความชื้นข้าวเปลือก ด้วยการใช้เครื่องลดความชื้นชนิดลมแห้ง พบว่า เครื่องลดความชื้นชนิดลมร้อนที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 70 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลา 9, 9 และ 8 ชั่วโมงตามลำดับ โดยลดความชื้นจาก 28 เปอร์เซ็นต์ ลดลงเหลือ 12-14 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการตากแดดต้องใช้เวลาจนถึง 54 ชั่วโมง โดยมีอัตราการลดลงของความชื้นเป็น 0.19 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง สอดคล้องกับการลดความชื้นข้าวปทุมธานี 1 ด้วยการลดความชื้นด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 38 และ 40 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลานานที่สุดคือ 28 และ 23 ชั่วโมง มีอัตราการลดความชื้นเท่ากับ 0.6 และ 0.7 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง (จิตรกานต์ ภควัฒนะ, 2556)

เมื่อเทียบกับการใช้การให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุและการลดความชื้นด้วยเครื่องอบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ สามารถลดระยะเวลาการลดความชื้นได้ เป็นเพราะการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกโดยการใช้คลื่นความถี่วิทยุ เป็นการสร้างความร้อนอย่างรวดเร็วภายในของผลิตภัณฑ์ (Tang *et al.*, 2000) สามารถทำให้เกิดอุณหภูมิสูงและระยะเวลาสั้น โดยทำให้ความร้อนเกิดขึ้นภายในวัสดุ (inside out) และมีการกระจายความร้อนเป็นไปอย่างสม่ำเสมอทั่วถึงภายในเนื้อวัสดุพร้อม ๆ กัน มีความสามารถในการถ่ายเทพลังงานมีประสิทธิภาพสูง และลดระยะเวลาการให้ความร้อน (Birla *et al.*, 2004) ส่งผลให้ช่วยลดการใช้พลังงาน (Wang *et al.*,

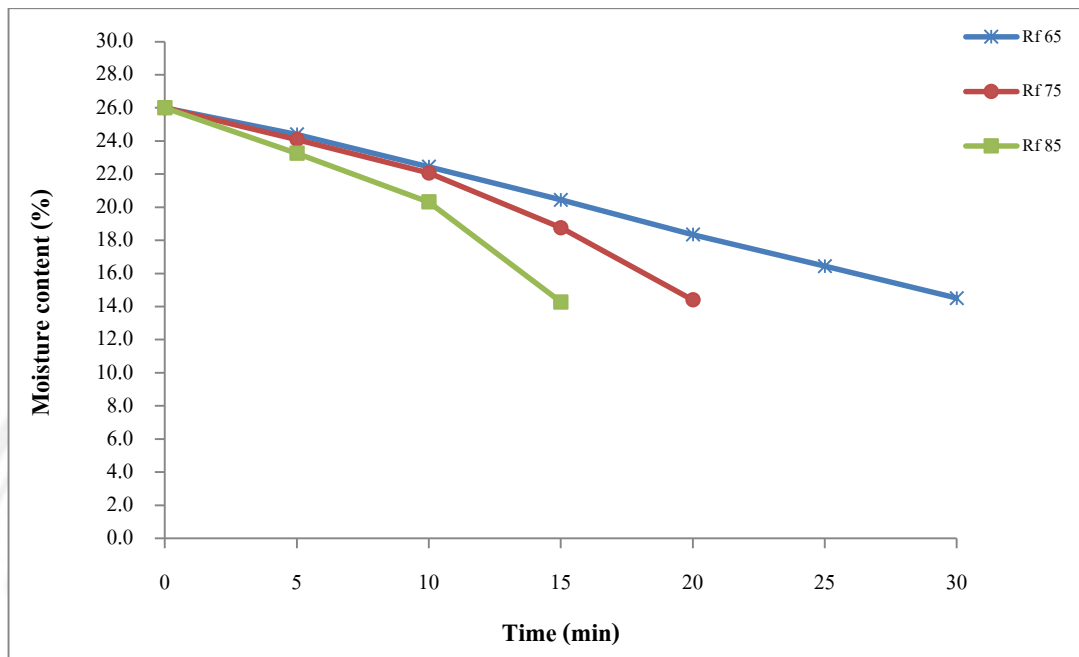
ตารางที่ 4.1 ผลของระยะเวลาการลดความชื้นของเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ด้วยกรรมวิธีต่างๆ

กรรมวิธี	ระยะเวลาลดความชื้น (min) ¹
Hot air (control)	600 a
RF 65°C	30 e
RF 75°C	20 f
RF 85°C	15 g
Hot air + RF 65°C	308 b
Hot air + RF 75°C	305 c
Hot air + RF 85°C	303 d
F-test	*
LSD _{0.05}	0.25
CV (%)	0.16

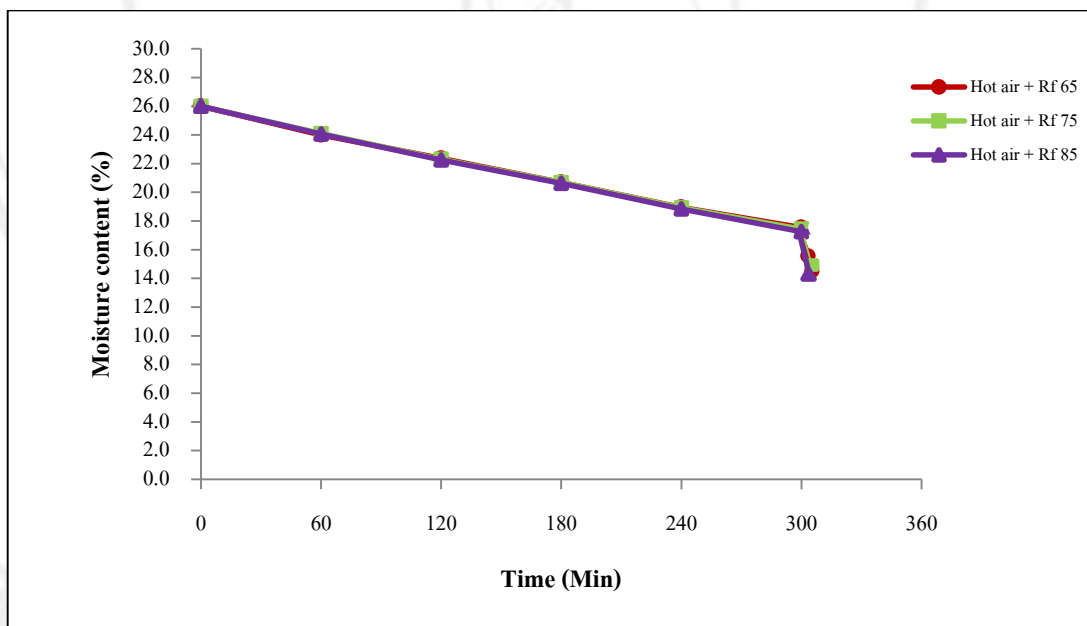
¹ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเฉลี่ยด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.4 ผลของการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อน (Hot Air)



ภาพที่ 4.5 ผลของการลดความชื้นด้วยการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ (RF) ที่อุณหภูมิ 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.6 ผลของการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อน(Hot Air) ร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ (RF) ที่อุณหภูมิ 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส

4.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 หลังผ่านการลดความชื้นด้วยกรรมวิธีต่างๆ

4.3.1 สีของเมล็ดข้าว

การตรวจสอบคุณภาพสีของเมล็ดข้าวหลังผ่านการลดความชื้นด้วยกรรมวิธีต่างๆ จนมีความชื้นเหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ แสดงผลเป็นค่า L^* และ b^* โดยค่า L^* แสดงค่าความสว่าง และค่า b^* แสดงค่าสีเหลือง พบว่า ค่าความขาวของเมล็ดข้าวในแต่ละวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการลดความชื้นด้วยการใช้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เท่ากับ 49.85 และ 49.37 ตามลำดับ มีค่าความขาวของข้าวใกล้เคียงกับชุดควบคุมคือ 50.62 ขณะที่การใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส มีค่าความขาวของข้าวสารต่ำสุด เท่ากับ 45.19 รองลงมาคือการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียสและการใช้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 48.89, 47.15 และ 46.81 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2)

การเปลี่ยนแปลงค่าความเหลืองของเมล็ดข้าว พบว่า ค่าความเหลืองของข้าวในแต่ละกรรมวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนอุณหภูมิหลายระดับ (ชุดควบคุม) มีค่าความเหลืองของข้าวเพิ่มขึ้นสูงสุด เท่ากับ 9.43 รองมาคือการใช้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสและการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส โดยมีค่าความเหลือง เท่ากับ 9.24 และ 9.15 ตามลำดับ และการใช้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสมีค่าความเหลืองของข้าวสารน้อยสุด เท่ากับ 8.01 (ตารางที่ 4.2) การใช้ลมร้อนทำให้ค่าความเหลืองของข้าวเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากปฏิกิริยา *malillard reaction* ที่ทำให้เมล็ดข้าวมีการเปลี่ยนแปลงสีของข้าวสารจากสีของเปลือกข้าวและรำข้าวเข้าสู่ภายในเมล็ดข้าวสาร (Yap *et al.*, 1988; Inprasit and Noomhorm, 2001) ซึ่งสอดคล้องกับบุญมี ศิริ และคณะ (2546) พบว่า การให้ความร้อนด้วยลมร้อนแก่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ทำให้ความขาวของข้าวสารลดลงและความเหลืองของข้าวสารเพิ่มขึ้น โดยแสดงผลในรูปแบบของดัชนีความขาวลดลงใกล้เคียงกับวิธีการตากแดด เมื่อทำการเก็บรักษาข้าวเปลือกไว้นานขึ้นทำให้ดัชนีความขาวของข้าวสารลดลงทุกกรรมวิธี นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับพัศกร (2546) เมื่อเก็บรักษาข้าวเปลือกเป็นระยะเวลานานจะทำให้ความขาวของข้าวสารลดลง ซึ่งเกิดจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และส่งผลต่อความเหลืองของข้าวสารทำให้ข้าวสารเกิดความเหลืองได้เร็วขึ้น ส่วนการใช้ RF ที่ระดับอุณหภูมิสูง ทำให้ค่าความขาวของข้าวลดลง ทำให้ข้าวมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น เมล็ดข้าวสารจะมีสีคล้ำขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากข้าวได้รับความร้อนนานเกินระหว่างกระบวนการอบโดยลมร้อน ส่งผลทำให้การยึดเกาะกันระหว่างโมเลกุลภายในน้ำตาลหลุดออกจากกัน กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลต่ำและเกิดเป็นสารประกอบคีโตน (ketone) ซึ่งทำให้

ข้าวสารมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น (สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2540) สอดคล้องกับรายงานผลการศึกษาของ ใจทิพย์ วานิชขัง และผดุงศักดิ์ วานิชขัง (2547); พลากร ลำลีราษฎร์ และคณะ (2550); Wiset *et al.* (2005) พบว่า การให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิสูงกับข้าวเปลือกทำให้เมล็ดข้าวมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.2 ผลของค่าเฉลี่ยของการวัดค่าสี ค่าความสว่าง (L*) และ ค่าความเหลือง (b*) ของเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 หลังผ่านการลดความชื้นด้วยกรรมวิธีต่างๆ

กรรมวิธี	การวัดค่าสีของเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ¹	
	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าความเหลือง (b*)
Hot air (control)	50.62 a	9.43 a
RF 65°C	49.85 b	8.01 g
RF 75°C	46.81 f	8.59 f
RF 85°C	45.19 g	9.24 b
Hot air + RF 65°C	49.37 c	8.83 d
Hot air + RF 75°C	48.89 d	8.68 e
Hot air + RF 85°C	47.15 e	9.15 c
F-test	*	*
LSD _{0.05}	0.006	0.019
CV (%)	0.02	0.26

¹ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแนวดังนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละกรรมวิธีตามแนวนอน เมื่อเฉลี่ยด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.4 เปอร์เซ็นต์การแตกตัวของเมล็ด

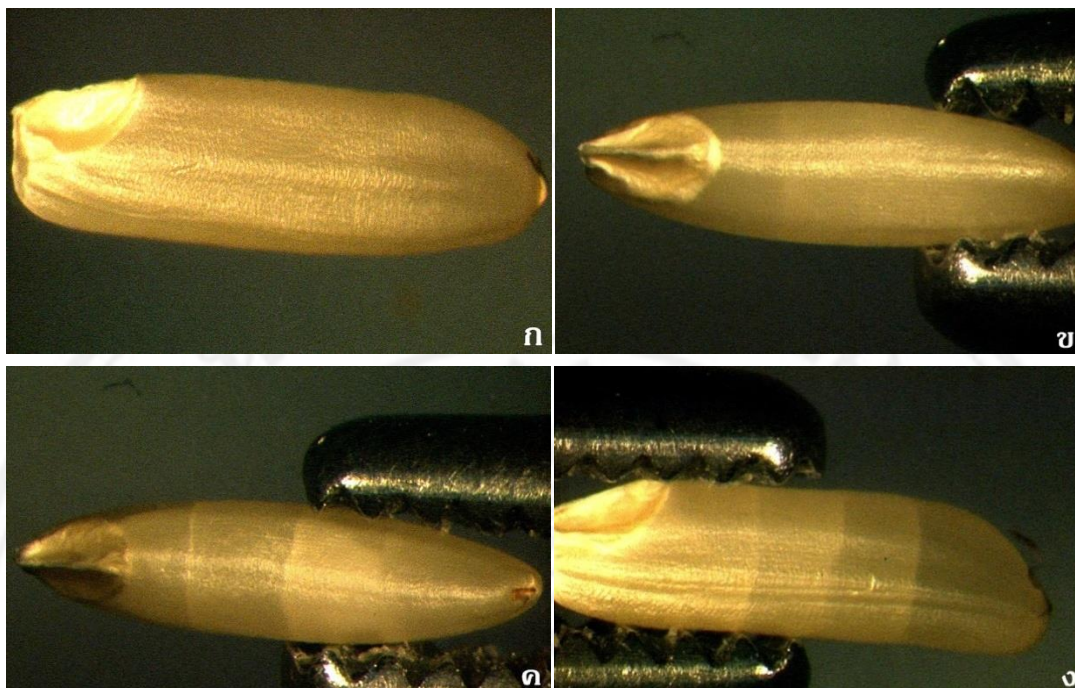
การแตกตัวของเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ผ่านการลดความชื้นในกรรมวิธีต่างๆ พบว่า ในทุกกรรมวิธีการลดความชื้นของเมล็ดข้าวพันธุ์นี้มีผลต่อการแตกตัวของเมล็ด โดยกรรมวิธีการลดความชื้นด้วยการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส ส่งผลต่อการแตกตัวของเมล็ด สูงสุด มีค่าเท่ากับ 67.25 และ 70.75 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รองลงมาคือการลดความชื้นเมล็ด โดยกรรมวิธีการลดความชื้นด้วยการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 55.25 และ 40.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 และ 75 องศาเซลเซียส และการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนอุณหภูมิหลายระดับ (ชุดควบคุม) ส่งผลต่อการแตกตัวของเมล็ดน้อยที่สุดเท่ากับ 33.75, 36.00 และ 32.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3)

การเพิ่มการแตกร้าวของเมล็ดมีปริมาณมากขึ้นเนื่องจากการสูญเสียไนโตรเจนในเมล็ดเพิ่มมากขึ้น จะทำให้บริเวณผิวของเมล็ดพืชสูญเสียความชื้นอย่างต่อเนื่องทำให้ผิวแข็งตัว และหดตัว โดยแยกตัว ออกจากผิวที่แข็ง ซึ่งอาจมีผลทำให้เกิดรอยร้าว แยก แดก ปริ หรือหักในเมล็ดพืชได้ ด้วยหลักการการ เกิดความร้อนอย่างรวดเร็วในวัตถุจากคลื่นความถี่วิทยุ ทำให้เกิดการระเหยของความชื้นในเมล็ดและ เมื่อเมล็ดได้รับความร้อนมากเกินไป ทำให้เกิดรอยร้าว แตกร้าว (Orsat, 1999) โดย Dong and Mao (2003) ศึกษาโครงสร้างโมเลกุลของเมล็ดข้าวหลังผ่านการตากแดด พบว่า ส่วนของเอนโดสเปิร์ม เมล็ดข้าวได้รับความเสียหายเกิดรอยร้าวขึ้น โดยเกิดขึ้นบริเวณใจกลางของเนื้อเยื่อเอนโดสเปิร์มก่อน แล้วแพร่กระจายไปตามขอบของเมล็ดแป้งและผ่านผนังเซลล์เนื้อเยื่อเอนโดสเปิร์ม การใช้การให้ความ ร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุต่อการกำจัดเชื้อรา *Aspergillus flavus* และผลต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมี ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้อุณหภูมิ 80, 85 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 และ 3 นาที พบว่า ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 3 นาทีสามารถกำจัดเชื้อรา *A. flavus* ได้อย่างสมบูรณ์ แต่มี ผลต่อการแตกร้าวของข้าวโพด โดยเพิ่มจากเดิม 25.1 เป็น 38.9 เปอร์เซนต์ (กุลธิดา ไชยสถิตวานิช, 2553)

ตารางที่ 4.3 ผลของเปอร์เซ็นต์การร้าวของเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 หลังการลดความชื้นด้วย กรรมวิธีต่างๆ

กรรมวิธี	การแตกร้าว (%) ¹
Hot air (control)	32.00 d
RF 65°C	55.25 b
RF 75°C	67.25 a
RF 85°C	70.75 a
Hot air + RF 65°C	33.75 cd
Hot air + RF 75°C	36.00 cd
Hot air + RF 85°C	40.25 c
F-test	*
LSD _{0.05}	2.87
CV (%)	9.31

¹ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละกรรมวิธีตามแนวนอน เมื่อเฉลี่ยด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



ภาพที่ 4.7 ลักษณะการแตกร้าวของเมล็ดข้าวหลังผ่านกรรมวิธีการลดความชื้นต่างๆ
ก คือ เมล็ดข้าวที่สมบูรณ์ ข, ค, และ ง คือ เมล็ดข้าวที่มีการแตกร้าว

4.5 คุณภาพการหุง

4.5.1 อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก (elongation ratio during cooking)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่า อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกในแต่ละกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่าการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนอุณหภูมิหลายระดับ (ชุดควบคุม) มีอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกเฉลี่ยเท่ากับ 1.1740 และเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกเพิ่มขึ้นด้วย การลดความชื้นโดยการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสและการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 65 และ 85 องศาเซลเซียส มีอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 1.2023, 1.2016 และ 1.2095 ตามลำดับ รองลงมาคือการลดความชื้นโดยการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 65 และ 85 องศาเซลเซียสและการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ซึ่งมีอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกเฉลี่ยเท่ากับ 1.1987, 1.1836 และ 1.1889 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 หลังผ่านการลดความชื้นด้วยกรรมวิธีต่างๆ

กรรมวิธี	การเปลี่ยนแปลงอัตราการยืดตัว (ชม.) ¹
Hot air (control)	1.1740
RF 65°C	1.1987
RF 75°C	1.2023
RF 85°C	1.1836
Hot air + RF 65°C	1.2016
Hot air + RF 75°C	1.1889
Hot air + RF 85°C	1.2095
F-test	ns
CV (%)	1.53

¹ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละกรรมวิธีตามแนวนอน เมื่อเฉลี่ยด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.5.2 ความหนืดข้นของแป้ง (Viscosity)

การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งหลังการลดความชื้นด้วยกรรมวิธีต่างๆ ที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) จะแสดงค่าต่างๆ ได้แก่ ความหนืดสูงสุด (peak) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ค่าความคงทนต่อการกวนของแป้งข้าวหรือความเหนียว (breakdown) ความหนืดจากการคืนตัว (setback) และ ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของความหนืด (pasting temperature)

4.5.2.1 อุณหภูมิเริ่มต้นความหนืด (Pasting temperature)

ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ โดยค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของความหนืดแต่ละกรรมวิธีการลดความชื้นมีความแตกต่างกันมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.5) โดยการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสและการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส มีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นความหนืดเพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 73.51 และ 72.86 องศาเซลเซียส รองลงมาคือการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 65 และ 75 องศาเซลเซียส และการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 65 และ 85 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 71.75, 71.66, 71.78 และ 71.55 RVU ตามลำดับ และการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนอุณหภูมิหลายระดับ (ชุดควบคุม) มีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นความหนืดต่ำที่สุด เท่ากับ 71.34 RVU

4.5.2.2 ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity)

ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของแป้งข้าว พบว่าค่าความหนืดสูงสุดในแต่ละกรรมวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.5) โดยข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นที่ระดับอุณหภูมิสูงมีค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้น โดยการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส มีค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นสูงสุด เท่ากับ 246.28, 237.50 และ 251.06 RVU รองลงมาคือ การให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 234.99, 230.56 และ 227.39 RVU ตามลำดับ และการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนอุณหภูมิหลายระดับ (ชุดควบคุม) มีค่าความหนืดสูงสุดต่ำที่สุด เท่ากับ 224.04 RVU

4.5.2.3 ค่าความคงทนต่อการกวนของแป้ง (Breakdown)

ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่าค่าความคงทนต่อการกวนของแป้งสุกใน แต่ละกรรมวิธีการลดความชื้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.5) โดยการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส และการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 65 และ 75 องศาเซลเซียส มีค่าความคงทนต่อการกวนของแป้งสุกสูงสุด เท่ากับ 97.45, 93.68, 97.47, 93.33 และ 90.87 RVU รองลงมาคือ การให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส และการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนอุณหภูมิหลายระดับ (ชุดควบคุม) มีค่าความคงทนต่อการกวนของแป้งสุกต่ำที่สุด เท่ากับ 78.13 และ 79.09 RVU

4.5.2.4 ค่าการคืนตัวของแป้ง (Setback)

ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ โดยแต่ละกรรมวิธีการลดความชื้นมีค่าการคืนตัวของแป้งข้าวเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.5) โดยการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส และการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส มีค่าการคืนตัวของแป้งเพิ่มสูงสุด เท่ากับ 103.17, 105.53 และ 101.87 RVU รองลงมาคือ การลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 100.78 และ 100.31 RVU ตามลำดับ และการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนอุณหภูมิหลายระดับ (ชุดควบคุม) มีค่าการคืนตัวของแป้งต่ำที่สุด เท่ากับ 94.29 และ 96.47 RVU

4.5.2.5 ค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity)

ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่าค่าความหนืดสุดท้ายภายหลังการลดลงของอุณหภูมิแป้งข้าว โดยแต่ละกรรมวิธีการลดความชื้นมีค่าความหนืดสุดท้ายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.5) โดยการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส และการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส มีค่าความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้นสูงสุด เท่ากับ 259.11 และ 251.13 RVU รองลงมาคือการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 65 และ 75 องศาเซลเซียส และการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 245.30, 246.99, และ 245.26 RVU ตามลำดับ และการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนอุณหภูมิหลายระดับ (ชุดควบคุม) มีค่าการคืนตัวของแป้งต่ำที่สุด เท่ากับ 235.96 และ 240.48 RVU

การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าว

การใช้อุณหภูมิสูง ทำให้ค่าความหนืดสูงสุดลดลง เพราะโครงสร้างของเม็ดแป้งมีความแข็งแรงขึ้น จนส่งผลขัดขวางหรือยับยั้งการพองตัวของเม็ดแป้งเป็นผลให้แป้งสุกยากขึ้น (Lawal, 2005 ; Kaur *et al.*, 2002) เช่นเดียวกับค่าอุณหภูมิเริ่มต้นความหนืดที่เพิ่มขึ้น เพราะเมื่อเม็ดแป้งมีความแข็งแรง จึงส่งผลต่อขัดขวางหรือยับยั้งการพองตัวของเม็ดแป้ง ทำให้แป้งสุกยากขึ้น จึงต้องใช้ความร้อนและเวลาเพิ่มขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้อาหารจากข้าวที่ผ่านให้คลื่นความถี่วิทยุเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงจึงมีค่ามากกว่าแป้งข้าวชุดควบคุม สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ ใจทิพย์ วานิชชัง และผดุงศักดิ์ วานิชชัง (2547); พลากร ตำริราษฎร์ และคณะ (2551); Wiset *et al.* (2005) ; Vearasilp *et al.* (2011) และ ณณณิณ ลือชัย (2551) ส่วนค่าความคงทนต่อการกวนของแป้งลดลง แสดงให้เห็นว่าแป้งมีความทนทานต่อความร้อนและการกวนในการหุงต้มได้เพิ่มสูงขึ้น จึงเกิดการแตกสลายของเม็ดแป้งลดลง (ลัดดาวัลย์ ไกรพานนท์, 2550) โดยจะบ่งชี้ถึงความแข็งแรงของแป้งและใช้อธิบายการคืนตัวของแป้งสุกที่เย็นลง ซึ่งสังเกตได้จากการทิ้งข้าวหุงสุกให้เย็นตัวลงข้าวจะแข็งขึ้น

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งของเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 หลังผ่านการลดความชื้นด้วยกรรมวิธีต่างๆ

กรรมวิธี	การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้ง ¹				
	Peak viscosity (RVU)	Final viscosity (RVU)	Pasting temperature (°C)	Breakdown (RVU)	Setback (RVU)
Hot air (control)	224.04 c	240.48 cd	71.34 b	79.09 b	96.47 cd
RF 65°C	234.99 bc	235.96 d	71.78 b	93.33 a	94.29 d
RF 75°C	230.56 c	245.26 bcd	72.86 a	90.87 a	100.31 bc
RF 85°C	227.39 c	251.13 ab	71.55 b	78.13 b	101.87 ab
Hot air + RF 65°C	246.28 ab	245.30 bcd	71.75 b	97.45 a	100.78 b
Hot air + RF 75°C	237.50 abc	246.99 bc	71.66 b	93.68 a	103.17 ab
Hot air + RF 85°C	251.06 a	259.11 a	73.51 a	97.47 a	105.53 a
F-test	*	*	*	*	*
LSD _{0.05}	6.62	4.88	0.48	3.28	1.98
CV (%)	3.97	2.81	0.94	5.16	2.80

¹ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละกรรมวิธีตามแนวนอน เมื่อเฉลี่ยด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.5.3 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก

4.5.3.1 ความแน่นแข็ง (Hardness)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่าเมื่อระดับอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ค่าความแน่นแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบกับค่าลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนอุณหภูมิหลายระดับ (ชุดควบคุม) มีค่าความแน่นแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 147.32 N พบว่าข้าวหลังการลดความชื้นที่ได้รับคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส มีค่าความแน่นแข็งเพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 160.61 และ 161.82 N (ตารางที่ 4.6)

4.5.3.2 ความเหนียวติดกัน (Adhesiveness)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่าความเหนียวติดกันไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนอุณหภูมิหลายระดับ (ชุดควบคุม) ที่มีค่าความเหนียวติดกันเฉลี่ยเท่ากับ -11.20 พบว่าข้าวหลังการลดความชื้นที่ได้รับคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส และการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส มีค่าความเหนียวติดกันเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ -10.38 , -10.70, -10.75, -10.51, -9.87 และ -8.64 ตามลำดับ

4.5.3.3 ความยืดหยุ่น (Springiness)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่าค่าความยืดหยุ่นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบกับค่าความชื้นด้วยการอบลมร้อนอุณหภูมิหลายระดับ (ชุดควบคุม) ที่มีค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 0.6878 พบว่าข้าวหลังการลดความชื้นที่ได้รับคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส มีค่าความยืดหยุ่นสูงสุดเท่ากับ 0.7601 และ 0.8036

4.5.3.4 ความเกาะติดกัน (Cohesiveness)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่าเมื่อระดับอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ค่าความเกาะติดกันเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนอุณหภูมิหลายระดับ (ชุดควบคุม) ที่มีค่าความเกาะติดกันเฉลี่ยเท่ากับ 0.4837 พบว่าข้าวหลังการลดความชื้นที่ได้รับคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส และการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส มีค่าความเกาะติดกันเฉลี่ยเท่ากับ 0.4985, 0.5175, 0.5086, 0.5143, 0.5083 และ 0.5015 ตามลำดับ

4.5.3.5 การเคี้ยว (Chewiness)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่าค่าการเคี้ยวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จากการเปรียบเทียบกับค่าความชื้นด้วยการอบลมร้อนอุณหภูมิหลายระดับ (ชุดควบคุม) ที่มีค่าความแน่นแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 53.50 พบว่าข้าวหลังการลดความชื้นที่ได้รับคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 65 และ 85 องศาเซลเซียส และการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส มีค่าการเคี้ยวสูงสุดเท่ากับ 66.80, 58.72 และ 60.63 ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของข้าวสุก

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกที่ได้รับการให้คลื่นความถี่วิทยุ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็ง และ ค่าการเกาะติดกันเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเหนียวติดกันลดลง สอดคล้องกับพลากร ลำลีราษฎร์ และคณะ (2551) พบว่าการใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาเพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้นและความเหนียวติดของข้าวสุกลดลงได้ โดยความร้อนส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าว ซึ่งเป็นเหตุให้มีการยับยั้งการพองตัวของเมล็ดแป้ง เนื้อสัมผัสของข้าวจึงแข็งร่วนและเกาะติดกันมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความเหนียวติดกับของเมล็ดข้าวจึงลดลงด้วย (Sodhi and Singh, 2003) เช่นเดียวกับ Gujral and Kumar (2003) ที่เมื่อเพิ่มความร้อนและระยะเวลา แล้ววัดลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าค่าความแข็ง, ค่าความร่วน และค่าความยืดหยุ่นของข้าวสุกเพิ่มขึ้น และค่าความเหนียวติดกันของข้าวสุกลดลง Pisithkul *et al.* (2006) รายงานว่า เมื่อเพิ่มความ

ร้อนในการเร่งความเก่า ทำให้ค่าความแน่นแข็ง ความยืดหยุ่น ความเกาะติดกัน และค่าของการบดเคี้ยว จะมีค่าที่เพิ่มขึ้นขณะที่ความเหนียวติดกันของข้าวสุกจะลดลง โดย Inprasit and Noomhorm (2001) กล่าวว่าการใช้อุณหภูมิสูงอบข้าวเปลือกส่งผลให้ค่าอัตราส่วนระหว่างความแข็งและความนุ่มเหนียวของข้าวสุกมีค่าลดลง และความแข็งของข้าวสุกเพิ่มขึ้น Juliano (1985) พบว่าค่าความร่วนนี้เป็นตัวชี้ถึงความเหนียวของเมล็ดข้าวสุก ส่วนค่าความแข็ง การคงสภาพของเมล็ด การยืดหยุ่นสู่สภาพเดิม และค่าของแรงที่ใช้บดเคี้ยวเพิ่มขึ้น ขณะที่ลักษณะความเหนียวติดของข้าวสุกลดลง เมื่อให้ความร้อนในการเร่งความเก่าข้าวเปลือก (งามชื่น คงเสรี, 2547; ไกรสิทธิ์ พิสิทธิ์กุล และคณะ, 2549)

ตารางที่ 4.6 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 หลังผ่านการลดความชื้นด้วยกรรมวิธีต่างๆ

กรรมวิธี	การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis) ¹				
	Hardness (N)	Adhesiveness (N)	Springiness index	Cohesiveness index	Chewiness (N)
Hot air (control)	147.32 b	-11.20	0.6878 c	0.4837	53.50 b
RF 65°C	147.40 b	-10.38	0.7125 bc	0.4985	66.80 a
RF 75°C	160.61 a	-10.70	0.7601 ab	0.5175	54.26 b
RF 85°C	161.82 a	-10.75	0.8036 a	0.5086	58.72 ab
Hot air + RF 65°C	158.74 a	-10.51	0.6917 c	0.5143	60.63 ab
Hot air + RF 75°C	155.45 ab	-9.87	0.7292 bc	0.5083	54.63 b
Hot air + RF 85°C	155.19 ab	-8.64	0.7427 abc	0.5015	53.99 b
F-test	*	ns	*	ns	*
LSD _{0.05}	4.89	-	0.03	-	4.13
CV (%)	4.46	-10.88	6.30	2.93	10.15

¹ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละกรรมวิธีตามแนวนอน เมื่อเฉลี่ยด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.5.4 การวิเคราะห์พลังงาน

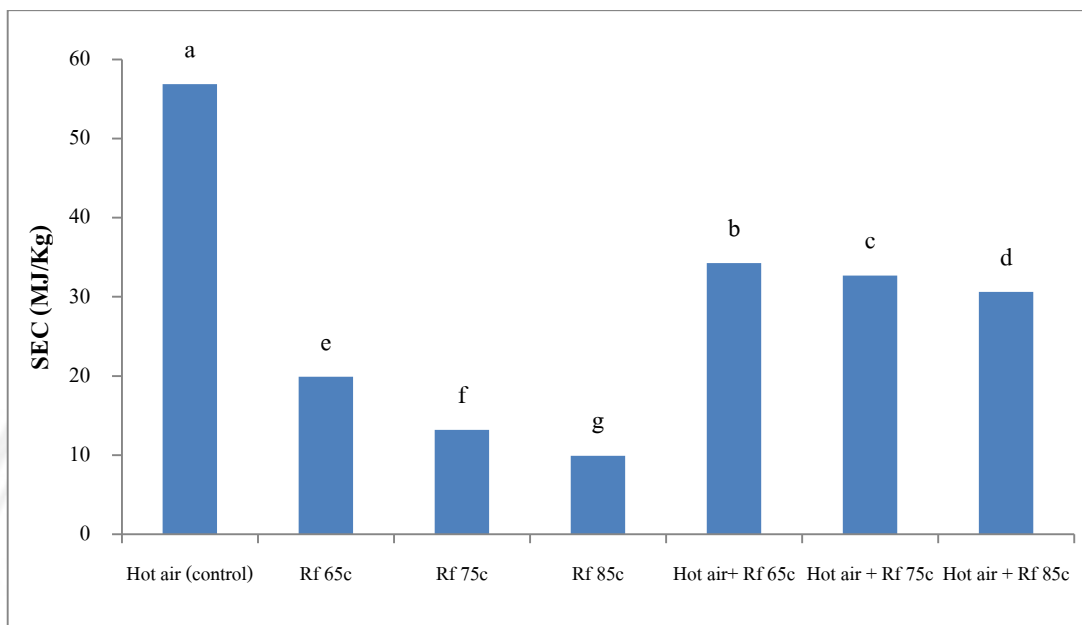
ขณะทำการลดความชื้นในกรรมวิธีต่างๆ มีการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้โดยทำการวัดค่าพลังงานของ Specific energy consumption (SEC) และ Specific moisture extraction ratio (SMER) เพื่อนำไปเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานในแต่ละกระบวนการลดความชื้น โดยค่า SER โดยเฉลี่ยในการลดความชื้นเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ผลการทดลองพบว่า การลดความชื้นด้วยการอบลม

ร้อนอุณหภูมิหลายระดับ (ชุดควบคุม) มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานปฐุมภูมิ โดยเฉลี่ยสูงสุดโดยมีค่าเท่ากับ 56.91 MJ/kg_{water} รองลงมาได้แก่การลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ ที่อุณหภูมิ 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานปฐุมภูมิ โดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 34.26, 32.70 และ 30.63 MJ/kg_{water} ตามลำดับ และการลดความชื้นด้วยการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ ที่อุณหภูมิ 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานปฐุมภูมิน้อยที่สุดคือ 19.91, 13.16 และ 9.92 MJ/kg_{water} ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7)

ตารางที่ 4.7 ผลของการวิเคราะห์ค่า Specific energy consumption ที่ใช้ในขณะทำการลดความชื้นเมล็ดข้าวปทุมธานี 1

กรรมวิธี	ค่าพลังงาน ^{1/}
	SEC (MJ/kg _{water})
Hot air (control)	56.91 a
RF 65°C	19.91 e
RF 75°C	13.16 f
RF 85°C	9.92 g
Hot air + RF 65°C	34.26 b
Hot air + RF 75°C	32.70 c
Hot air + RF 85°C	30.63 d
F-test	*
LSD _{0.05}	0.54
CV (%)	2.69

^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแนวนองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละกรรมวิธีตามแนวนอน เมื่อเฉลี่ยด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.8 ผลของการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ค่าความสิ้นเปลืองพลังงาน (Specific energy consumption; SEC) ของเมล็ดข้าว ขณะทำการลดความชื้นด้วยกรรมวิธีต่างๆ

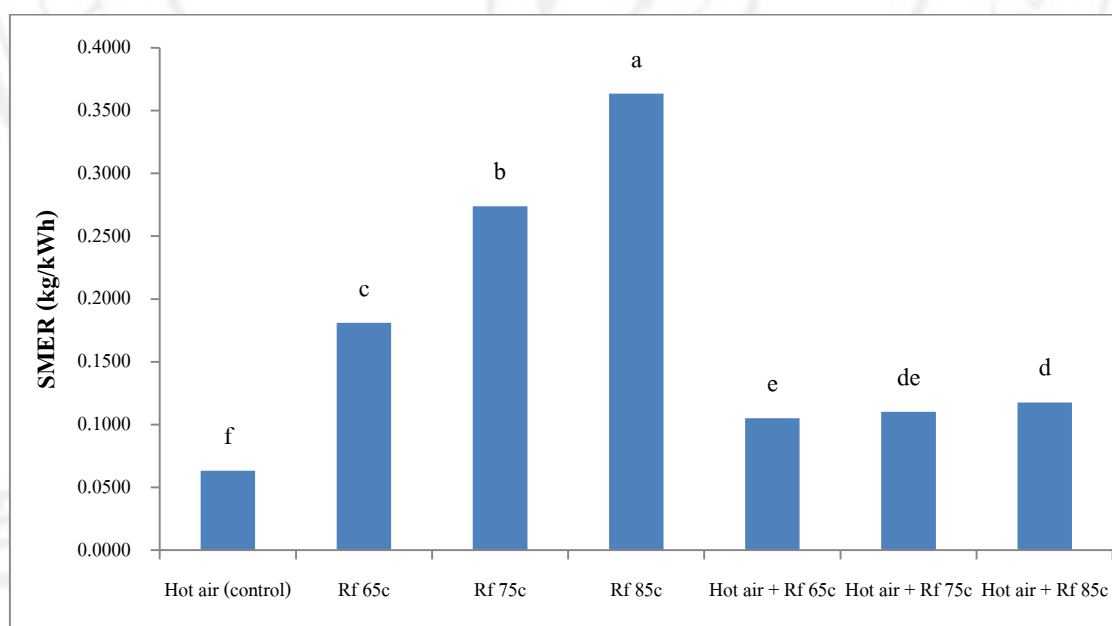
ในการเปรียบเทียบค่า Specific moisture extraction ratio (SMER) หรืออัตราการระเหยน้ำจำเพาะ โดยเฉลี่ยในการลดความชื้นข้าวปทุมธานี 1 ผลการทดลองพบว่า การลดความชื้นด้วยการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส มีอัตราการระเหยน้ำจำเพาะสูงที่สุดเท่ากับ $0.3634 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{kW h}$ รองลงมาคือการลดความชื้นด้วยการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 และ 75 องศาเซลเซียส มีอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ เท่ากับ 0.1809 และ $0.2737 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{kW h}$ และอัตราการระเหยน้ำที่น้อยที่สุดคือการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส และชุดควบคุม มีค่าเท่ากับ 0.1052, 0.1101, 0.1176 และ $0.0633 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{kW h}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8)

ในกรรมวิธีการลดความชื้นที่เหมือนกันนั้น การใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าจะมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานปทุมภูมิน้อยกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ สอดคล้องกับ อำไพศักดิ์ และ ศักดิ์ชัย (2553) กล่าวว่า ที่เงื่อนไขการลดความชื้นเดียวกัน ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง โดยการอบแห้งซึ่งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 40 องศาเซลเซียส เพราะการเพิ่มอุณหภูมิช่วยเพิ่มความสามารถในการการระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลง ทำให้ใช้พลังงานน้อยลง

ตารางที่ 4.8 ผลของการวิเคราะห์หาค่า Specific moisture extraction ratio ที่ใช้ในขณะทำการลดความชื้นเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

กรรมวิธี	ค่าพลังงาน ^{1/}
	SMER (kg _{water} /kW h)
Hot air (control)	0.0633 f
RF 65°C	0.1809 c
RF 75°C	0.2737 b
RF 85°C	0.3634 a
Hot air + RF 65°C	0.1052 e
Hot air + RF 75°C	0.1101 de
Hot air + RF 85°C	0.1176 d
F-test	*
LSD _{0.05}	0.005
CV (%)	4.36

^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละกรรมวิธีตามแนวนอน เมื่อเฉลี่ยด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.9 ผลของการเปรียบเทียบการวิเคราะห์อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific moisture extraction ratio; SMER) ของเมล็ดข้าว ขณะทำการลดความชื้นด้วยกรรมวิธีต่างๆ