

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การศึกษาการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดโดยใช้ฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับไมโครเวฟ

**The study of drying of corn using a combined
microwave/fluidized bed**



โดย

ศิริระ สายสร

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร

RCH
S
415
C6
๘441๘

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 58938

วัน,เดือน,ปี..... 17 ก.พ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไป
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

1126 9012
b.....
i.....

การศึกษาการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดโดยใช้ฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับไมโครเวฟ

บทคัดย่อ

การทดลองการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับไมโครเวฟ ถูกทำขึ้นเพื่อศึกษากลไกของอัตราการอบแห้งของเมล็ดข้าวโพด การทดลองแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกใช้ฟลูอิดไดซ์เบด สำหรับกลุ่มที่สองใช้ฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับไมโครเวฟ การทดลองแต่ละกลุ่มจะทำขึ้นในช่วงอุณหภูมิของอากาศทางเข้า 80 °C ถึง 120 °C ความสูงของเบดจาก 8 cm. ถึง 12 cm. และความเร็วลมจาก 4 m/s ถึง 7 m/s จากการทดลองทั้งสองกลุ่ม พบว่า อัตราการอบแห้งจะขึ้นกับอุณหภูมิของอากาศทางเข้า , ความสูงเบด และความเร็วลม โดยการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับไมโครเวฟ จะได้อัตราการอบแห้งที่ดีกว่า การอบแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดา นอกจากนี้ยังประหยัดพลังงานมากกว่าถึง 47 %

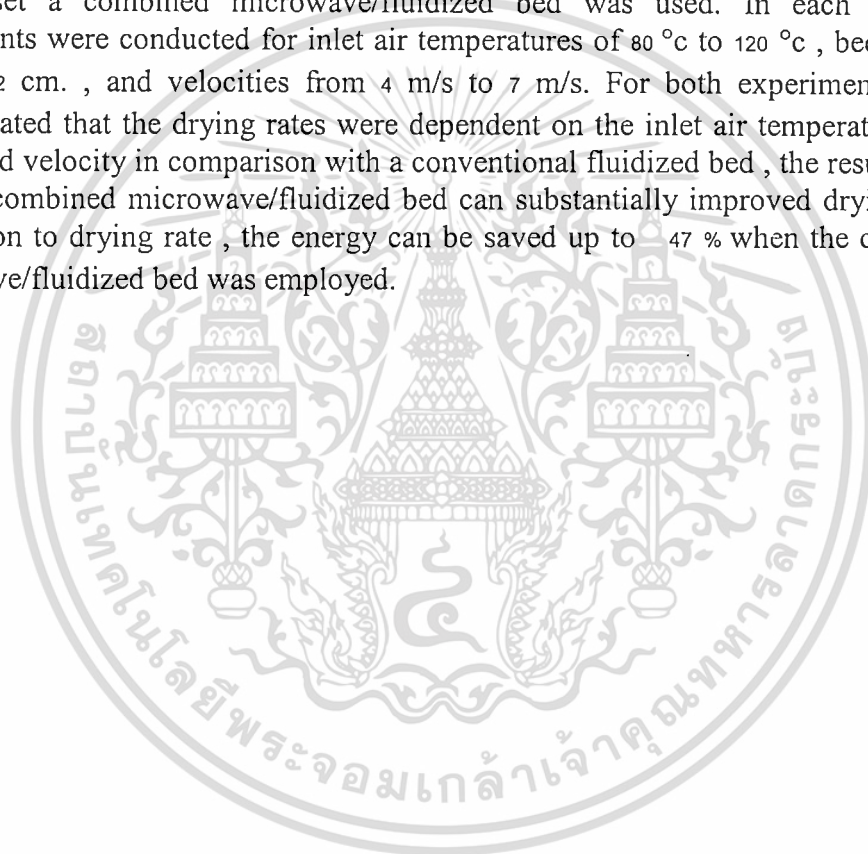


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The study of drying of corn using a combined microwave/fluidized bed

ABSTRACT

Combined microwave/fluidized bed drying was conducted experimentally to study the mechanisms of the drying rate of corn seeds. Two sets of experiments were performed. The first set included experiments using fluidized bed ,where as in the second set a combined microwave/fluidized bed was used. In each case the experiments were conducted for inlet air temperatures of 80 °c to 120 °c , beds from 8 cm. to 12 cm. , and velocities from 4 m/s to 7 m/s. For both experiments , it is demonstrated that the drying rates were dependent on the inlet air temperature , bed height and velocity in comparison with a conventional fluidized bed , the results show that the combined microwave/fluidized bed can substantially improved drying rates. In addition to drying rate , the energy can be saved up to 47 % when the combined microwave/fluidized bed was employed.



กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้จะไม่อาจสำเร็จได้ด้วยดี ถ้าหากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และความร่วมมือจาก หลายนุ่ฝ่าย ซึ่งบุคคลที่มีส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ คุณ ณะศักดิ์ กมลวัฒน์สุนทร, คุณ ปฎิวัติ สุขประเสริฐ และ คุณ ศิริพงษ์ ลาคำ ที่ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด ซึ่งต้องขอขอบพระคุณ เป็นอย่างยิ่ง และอีกท่านหนึ่งซึ่งให้ความช่วยเหลือ แนะนำ คือ อาจารย์วัฒน์ คังคำจันทร์ซึ่งก็ต้อง ขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย และที่ขาดไม่ได้ คือ บริษัท ชัมซุง ที่เอื้อเพื่อให้ยืมอุปกรณ์ตรวจจับคลื่น ไมโครเวฟ อันเป็นประโยชน์อย่างมากในงานวิจัย ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

สุดท้ายขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งเป็นทั้ง สถานศึกษาและสถาบันต้นสังกัดของผู้เขียน ที่ให้โอกาสมาทำงานวิจัยเรื่องนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการทดลอง	2
บทที่ 2 กระบวนการอบแห้ง	3
2.1 การถ่ายเทความร้อนโดยการพา	3
2.2 ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของวัสดุ	3
2.3 ปริมาณความชื้นในวัสดุ	3
2.4 วิธีการหาปริมาณความชื้นในเมล็ดพืชและอาหาร	4
บทที่ 3 ทฤษฎีของไมโครเวฟและฟลูอิดไดซ์เบด	5
3.1 ไมโครเวฟ	5
3.2 การแผ่รังสีของคลื่น	5
3.3 ลักษณะของคลื่นไมโครเวฟ	5
3.4 กลไกการระเหยของน้ำออกจากวัสดุที่จะอบแห้งด้วยไมโครเวฟ	6
3.5 แหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ	6
3.6 แมกนีตรอน	7
3.7 ฟลูอิดไดซ์เบด	11
3.8 ประเภทของฟลูอิดไดซ์เบด	12
3.9 ลักษณะของฟลูอิดไดซ์เบด	12
3.10 การได้เปรียบและเสียเปรียบของฟลูอิดไดซ์เบด	14
3.11 การอบแห้งโดยใช้ฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับไมโครเวฟ	15
3.12 แฟกเตอร์รูปร่าง	16
3.13 การคำนวณหาความดันลดในฟลูอิดไดซ์เบด	16
3.14 การคำนวณหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์	17
3.15 ความเร็ววิกฤตอิสระของเม็ดของแข็งในของไหลอยู่นิ่ง	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.16	ก๊าซฟลูอิดไดเซชั่น	19
บทที่ 4	การคำนวณและการออกแบบ	21
4.1	คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศที่จุดเกิดฟลูอิดไดซ์เบค	21
4.2	คำนวณค่าความดันลดคร่อมเบค	21
4.3	การคำนวณค่าความสูญเสียที่แผ่นกระจายลม	21
4.4	การคำนวณหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เซชั่น	21
4.5	การคำนวณหาความเร็วของของไหลที่ทำให้เม็ดของแข็ง ลอยตัวหลุดออกจากหอคดลอง	22
4.6	การคำนวณความดันสูญเสียในท่อตรงคำนวณ	22
4.7	การคำนวณความดันสูญเสียย่อยต่างๆ เช่น ข้องอ วาล์ว	22
4.8	ปริมาณความร้อนของขดลวดความร้อนจากสมการ	24
4.9	ปริมาณพลังงานของไมโครเวฟ	24
4.10	ปริมาณพลังงานทั้งหมดในระบบ	25
บทที่ 5	อุปกรณ์การทดลอง	26
5.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	26
บทที่ 6	วิธีการทดลองและผลการทดลอง	29
6.1	วิธีการทดลองกรณีที่ใช้ฟลูอิดไดซ์เบค	29
6.2	วิธีการทดลองกรณีที่ใช้ฟลูอิดไดซ์เบคร่วมกับไมโครเวฟ	29
6.3	ผลการทดลอง	30
บทที่ 7	สรุปและข้อเสนอแนะ	63
7.1	สรุป	63
7.2	ข้อเสนอแนะ	63
ภาคผนวก ก.		64
ภาคผนวก ข.		65
บรรณานุกรม		66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 3.1 แสดงทางเดินของอิเล็กตรอนจากแคโทดไปยังแอโนด	8
รูปที่ 3.2 แสดงการวางแม่เหล็กไว้บนแกนไดโอด	8
รูปที่ 3.3 แสดงการวิ่งของอิเล็กตรอนที่โคนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เบี่ยงเบน	9
รูปที่ 3.4 แสดงการเหนี่ยวนำเอาประจุบวกของอิเล็กตรอน	9
รูปที่ 3.5 การเหนี่ยวนำของกระแสกลับในระหว่าง Anode Cavities	10
รูปที่ 3.6 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเป็นกลุ่ม	10
รูปที่ 3.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Depth, Heating degree, Frequency	11
รูปที่ 3.8 Fix bed	13
รูปที่ 3.9 ขณะเริ่มเกิดฟลูอิดไดเซชัน	13
รูปที่ 3.10 เบดสม่ำเสมอ	14
รูปที่ 5.1 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆของเครื่อง	26
รูปที่ 5.2 Blower	27
รูปที่ 5.3 Heater	27
รูปที่ 5.4 แสดงภายในของไมโครเวฟที่ทำการดัดแปลง	28
รูปที่ 5.5 ไมโครเวฟเซอร์เวย์มิเตอร์	28
รูปที่ 6.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟ ที่อุณหภูมิ 120°C ความสูงเบด 8 cm เปลี่ยนค่าความเร็วลม	30
รูปที่ 6.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟ ที่ความสูงเบด 8 cm ความเร็วลม 4 m/s เปลี่ยนค่าอุณหภูมิ	30
รูปที่ 6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟ ที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วลม 4 m/s เปลี่ยนค่าความสูงเบด	31
รูปที่ 6.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟ ที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วลม 7 m/s เปลี่ยนค่าความสูงเบด	31
รูปที่ 6.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟ ที่ความสูงเบด 8 cm ความเร็วลม 7 m/s เปลี่ยนค่าอุณหภูมิ	32
รูปที่ 6.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟ ที่อุณหภูมิ 80°C ความสูงเบด 8 cm เปลี่ยนค่าความเร็วลม	32
รูปที่ 6.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟ ที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วลม 4 m/s เปลี่ยนค่าความสูงเบด	33
รูปที่ 6.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟ	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างมีกับไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C ความสูงเบด 8 cm ความเร็วลม 4 m/s	
รูปที่ 6.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาเมื่อเปรียบเทียบกัน	59
ระหว่างมีกับไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C ความสูงเบด 8 cm ความเร็วลม 7 m/s	
รูปที่ 6.61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาเมื่อเปรียบเทียบกัน	60
ระหว่างมีกับไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C ความสูงเบด 12 cm ความเร็วลม 4 m/s	
รูปที่ 6.62 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาเมื่อเปรียบเทียบกัน	60
ระหว่างมีกับไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C ความสูงเบด 12 cm ความเร็วลม 7 m/s	
รูปที่ 6.63 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาเมื่อเปรียบเทียบกัน	61
ระหว่างมีกับไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C ความสูงเบด 12 cm ความเร็วลม 4 m/s	
รูปที่ 6.64 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาเมื่อเปรียบเทียบกัน	61
ระหว่างมีกับไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C ความสูงเบด 12 cm ความเร็วลม 7 m/s	
รูปที่ 6.65 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ไประหว่างการอบแห้งแบบที่มีไมโครเวฟกับ	62
ไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C ความสูงเบด 12 cm ความเร็วลม 4 m/s	
รูปที่ 6.66 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ไประหว่างการอบแห้งแบบที่มีไมโครเวฟกับ	62
ไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C ความสูงเบด 8 cm ความเร็วลม 7 m/s	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ข้าวโพดเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งนอกเหนือจากข้าวที่ทำรายได้ให้กับประเทศไทย เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกง่ายเหมาะสมกับสภาพดินฟ้าอากาศของประเทศไทย แต่แนวโน้มในอนาคตของข้าวโพดไทยยังไม่แจ่มใสมากนัก เพราะยังมีคุณภาพต่ำ เนื่องจากสารแอลฟาทอกซิลซึ่งเป็นสารพิษอันเกิดจากเชื้อรา คือ แอสเพอร์จิลลัส ฟราวัส และ แอสเพอร์จิลลัส พาราซิติคัส ซึ่งเป็นอันตรายต่อคนและสัตว์ที่บริโภคอาหารที่มีสารนี้อยู่ ดังนั้นเพื่อป้องกันอันตรายจากสารพิษนี้จึงต้องหาวิธีเพื่อทำให้ข้าวโพดเก็บไว้ได้นานโดยไม่เกิดเชื้อราขึ้นได้ในภายหลัง ซึ่งในสมัยก่อนยังอาศัยความร้อนจากแสงแดดเป็นหลักซึ่งไม่สามารถควบคุมสภาวะได้ อีกทั้งยังใช้เวลานานและต้องขึ้นอยู่กับสภาวะดินฟ้าอากาศด้วย ทั้งนี้ในปัจจุบันได้มีการใช้เทคโนโลยีทางด้านการอบแห้งมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากเช่น เครื่องอบแห้งประเภทมร็อนในการไล่ความชื้นเนื่องจากการลงทุนที่ไม่สูงมากนักแล้วผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีคุณภาพดี เนื่องจากรูปร่างของเมล็ดข้าวโพดมีขนาดเล็กและรูปทรงสม่ำเสมอ ดังนั้นการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดให้ได้ปริมาณความชื้นให้ลดลงใกล้เคียงกันทุกเมล็ดนั้น ต้องมีเครื่องอบแห้งที่เหมาะสมกับการอบเมล็ดข้าวโพดโดยเฉพาะ นั่นคือเครื่องอบแห้งต้องมีความเร็วของกระแสอากาศสูง เพื่อที่จะพาเมล็ดข้าวโพดลอยตัวโดยไม่จับกันเป็นก้อนและพาความชื้นที่เมล็ดข้าวโพดออกไปได้ปริมาณมากๆซึ่งเครื่องอบแห้งที่เหมาะสมกับการอบเมล็ดข้าวโพดคือ ฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งเป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้หลักการของฟลูอิดไดเซชัน คือ กระบวนการหรือวิธีการที่ของแข็งซึ่งมีรูปร่างลักษณะเป็นเม็ดหรือชิ้น สัมผัสกับของไหลแล้วเม็ดของแข็งเหล่านี้จะมีคุณสมบัติคล้ายของไหล

ถึงแม้การอบเมล็ดข้าวโพดแบบฟลูอิดไดซ์เบดจะเป็นวิธีการอบแห้งที่เหมาะสมกับการอบเมล็ดข้าวโพด แต่หากมองในเรื่องของเวลาแล้วยังใช้เวลานานในการอบ ซึ่งการใช้เวลานานนี้เป็นวิธีการที่สิ้นเปลืองพลังงานและสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดเพื่อทำการประยุกต์อุปกรณ์ประเภทไมโครเวฟมาใช้ ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูง คลื่นไมโครเวฟจะทะลุทะลวงเข้าไป สั่นโมเลกุลของน้ำภายในเนื้อวัสดุ ทำให้เกิดการระเหยของน้ำในเนื้อวัสดุเท่ากันทั่วทั้งชิ้นและแห้งอย่างรวดเร็ว

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับ ไมโครเวฟ

1.2.2 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ ความเร็วของกระแสลมร็อน และความหนาของชั้นเบด ที่มีผลต่อการอบแห้ง

1.3 ขอบเขตการทดลอง

1.3.1 ศึกษาการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เซชัน ที่ความเร็วลมระหว่าง 4 - 7 m/s ที่อุณหภูมิระหว่าง 80 - 120 °c

1.3.2 ศึกษาการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เซชันร่วมกับไมโครเวฟ ที่ความเร็วลมระหว่าง 4 - 7 m/s ที่อุณหภูมิระหว่าง 80 - 120 °c

1.3.3 ใช้คลื่นไมโครเวฟที่ย่านความถี่ 2450 MHz



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

กระบวนการอบแห้ง

กระบวนการอบแห้ง คือ กระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกจากวัสดุ โดยอาศัยความร้อนที่ได้รับใช้เป็นความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งมักจะขึ้นกับกลไกการถ่ายเทความร้อนว่าเป็นการถ่ายเทความร้อนประเภทใด เช่น การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน โดยทั่วไปมักจะใช้การพาความร้อน

2.1 การถ่ายเทความร้อนโดยการพา

ในกรณีที่อากาศไหลผ่านวัสดุชิ้น ตัวอากาศร้อนจะทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุ และพาไอน้ำออกไปด้วย ถ้าอากาศร้อนนั้นมีอุณหภูมิและความชื้นคงที่จะพบว่า มีกระบวนการอบแห้งเกิดขึ้น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรก อัตราการอบแห้งจะคงที่ และเมื่อต่อไปจนกระทั่งถึงความชื้นค่าหนึ่ง จะพบว่า อัตราการอบแห้งจะเริ่มลดลง เรียกความชื้นที่จุดนี้ว่าความชื้นวิกฤติ ถ้าความชื้นเริ่มต้นต่ำกว่าค่าความชื้นวิกฤติ ในการอบแห้งจะมีเพียงช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ผิวของวัสดุจะมีน้ำเกาะอยู่เป็นจำนวนมาก การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิววัสดุเท่านั้น อัตราการอบแห้งจะถูกควบคุมโดยความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งถ้าสภาวะสิ่งแวดล้อมมีค่าคงที่จะทำให้อัตราการอบแห้งคงที่ด้วย และในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง อิทธิพลของอากาศภายนอกจะลดลงด้วย อัตราการอบแห้งจะถูกควบคุมโดยอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำภายในเนื้อวัสดุ

2.2 ปริมาณความชื้นสมดุลย์ของวัสดุ

ปริมาณความชื้นสมดุลย์ของวัสดุมีความสำคัญอย่างมากต่อการศึกษาระบวนการอบแห้ง เพราะเมื่อทำการอบแห้งโยใช้อากาศที่สภาวะคงที่ ความชื้นของวัสดุจะลดต่ำลงจนถึงจุดๆหนึ่ง ซึ่งวัสดุมีความชื้นคงที่ หรือความชื้นในวัสดุจะมีความดันไอเท่ากับความดันไอของอากาศที่อยู่รอบๆ เรียกความชื้นค่านี้ว่า ปริมาณความชื้นสมดุลย์ ค่าปริมาณความชื้นสมดุลย์ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสมดุลย์และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อุณหภูมิค่าหนึ่ง เรียกว่าเส้นความชื้นสมดุลย์ไอโซเทอร์ม เมล็ดพืชและวัสดุอาหาร โดยส่วนใหญ่มีเส้นความชื้นสมดุลย์ไอโซเทอร์ม

2.3 ปริมาณความชื้นในวัสดุ

ปริมาณความชื้นในวัสดุสามารถหาได้ 2 แบบคือ

2.3.1 ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M_w = (w - d) / w$$

M_w คือปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก

W มวลของของแข็งและน้ำ, kg

d คือมวลของของแข็ง, kg

ปริมาณความชื้นแบบนี้นิยมใช้ในวงการค้า โดยทั่วไปจะพูดกันในรูปของเปอร์เซ็นต์

2.3.2 ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง

$$M_d = (w - d) / d$$

M_d คือปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง

ปริมาณความชื้นแบบนี้นิยมใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎีเพราะ ช่วยให้การคำนวณสะดวกขึ้น ซึ่งเป็นเพราะมวลวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่ตลอดเวลาการอบแห้ง

2.3.3 อัตราการอบแห้ง หากจากน้ำหนักที่ลดลงไปต่อหน่วยเวลา

$$\text{อัตราการอบแห้ง} = (\text{นน.แห้งรวมแรก} - \text{นน.แห้งรวมหลัง}) / \text{เวลา}$$

2.4 วิธีการหาปริมาณความชื้นในเมล็ดพืชและอาหาร

การหาปริมาณความชื้นอาจแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ วิธีตรงและวิธีอ้อม การเก็บตัวอย่างเพื่อหาปริมาณความชื้นเป็นปัญหาที่สำคัญอันดับหนึ่ง เนื่องจากอาจได้ตัวอย่างที่ไม่ได้เป็นตัวแทนที่เหมาะสมของเมล็ดพืชหรืออาหารทั้งหมด ควรเก็บตัวอย่างไว้ในภาชนะที่สามารถป้องกันมิให้เกิดการถ่ายเทความชื้นระหว่างตัวอย่างและอากาศก่อนที่จะทำการหาปริมาณความชื้น

2.4.1 วิธีตรง ได้แก่

2.4.1.1 การใช้ตู้อบ โดยการนำตัวอย่างมาใส่ตู้อบเป็นระยะเวลาจนพอที่จะทำให้ตัวอย่างแห้ง ตัวอย่างที่แห้งแล้วจะถูกนำออกจากตู้อบและเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท เมื่อตัวอย่างเย็นลงแล้วก็ทำการชั่งน้ำหนัก เพื่อใช้ในการหาปริมาณความชื้นต่อไป

2.4.1.2 การกลั่น โดยการใส่ตัวอย่างไว้ในน้ำมันและทำให้ร้อน น้ำที่ระเหยออกมาจะถูกทำให้เย็นลงและควบแน่น น้ำส่วนนี้คือปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร

2.4.2 วิธีอ้อม การหาปริมาณความชื้นของวัสดุอาจกระทำได้โดยการวัดคุณสมบัติวัสดุบางอย่าง ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น เช่น ความต้านทานทางไฟฟ้าหรือคุณสมบัติทางไดอิเล็กตริก วิธีนี้เป็นวิธีที่สามารถทำได้รวดเร็วใช้เวลาเพียง 1 นาทีเท่านั้น ข้อเสียคือ ปริมาณความชื้นที่หาได้อาจจะไม่ถูกต้อง เพราะคุณสมบัติเหล่านี้แปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิและความหนาแน่นของการบรรจุ

บทที่ 3

ทฤษฎีของไมโครเวฟและฟลูอิดไดซ์เบด

3.1 ไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ซึ่งมีอยู่แล้วในในธรรมชาติ ดวงอาทิตย์เป็นผู้ส่งคลื่นนี้ออกมา คลื่นไมโครเวฟมีความถี่ตั้งแต่ 100 MHz – 10 GHz

3.2 การแผ่รังสีของคลื่น

เราสามารถแบ่งการแผ่รังสีของคลื่นตามความถี่ได้เป็น 2 แบบ

3.2.1 การแผ่รังสีแบบไม่ทำให้อะตอมภายในสสารแตกตัว

อันได้แก่ คลื่นวิทยุ ทีวี ไมโครเวฟ เรดาร์ อินฟราเรดและแสงที่ตามองเห็น ซึ่งคลื่นเหล่านี้เป็นอันตรายกับสิ่งมีชีวิตน้อย

3.2.2 การแผ่รังสีแบบทำให้อะตอมของสสารแตกตัว

อันได้แก่ แสงอัลตราไวโอเล็ต รังสีเอ็กซ์ รังสีแกมมา ซึ่งคลื่นเหล่านี้ทำอันตรายกับสิ่งมีชีวิตได้ ถ้าได้รับรังสีในปริมาณมากๆ เช่น การฉายรังสีแกมมาเพื่อกำจัดเซลล์มะเร็ง จะทำให้เซลล์ของสิ่งมีชีวิตเปลี่ยนหรือตายไป

คลื่นไมโครเวฟจัดเป็นคลื่นที่ปลอดภัย ไม่มีสารกัมมันตภาพรังสีตกค้างอยู่บนอาหารหรือคนที่ได้รับคลื่นไมโครเวฟ แต่อย่างไรก็ดี แม้ว่าคลื่นไมโครเวฟจะไม่มีสารกัมมันตภาพรังสีตกค้างอยู่ คลื่นไมโครเวฟก็ยังมีอันตราย หากได้รับคลื่นไมโครเวฟปริมาณมากๆและนานๆอาจจะมีผลต่อสุขภาพและใช้การไม่ได้ ถ้าโดนดวงตา ตาอาจจะบอดได้ หากได้รับคลื่นไมโครเวฟที่มากกว่า 5 mW/cm^2

3.3 ลักษณะของคลื่นไมโครเวฟ

คลื่นไมโครเวฟมีลักษณะประจำอยู่ 3 ลักษณะ คือ

3.3.1 การสะท้อนของคลื่น (Reflection) คลื่นไมโครเวฟเมื่อส่งไปโดนโลหะจะสะท้อนออก คลื่นไม่สามารถทะลุผ่านโลหะไปได้

3.3.2 การทะลุผ่านของคลื่น (Penetration) คลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านวัสดุบางชนิด คล้ายช่องกระจกหน้าต่างที่ยอมให้แสงธรรมดาส่องผ่านตัวมันได้ วัสดุที่รู้จักกันแพร่หลายของการทะลุผ่านของคลื่นคือ แก้วทั่วไป แก้วทนความร้อน เครื่องกระเบื้องเคลือบ เครื่องถ้วยชามเคลือบ กระจก และพลาสติก เป็นต้น ดังนั้นเมื่อนำวัสดุเหล่านี้มาทำเป็นวัสดุบรรจุอาหาร ตัววัสดุเองจะไม่ร้อน จะร้อนเฉพาะอาหารเท่านั้น

3.3.3 การดูดกลืนของคลื่น (Absorption) คลื่นไมโครเวฟสามารถถูกดูดกลืนไว้โดยอาหาร หรือวัสดุที่มีส่วนผสมของน้ำอยู่ ทำให้กำลังงานของคลื่นลดลงไป ซึ่งกำลังงานที่ถูกดูดกลืนไว้จะเปลี่ยนสภาพทำให้วัตถุร้อนขึ้น วัตถุที่ถูกดูดกลืนคลื่น นอกจากจะเป็นอาหารและน้ำยังประกอบด้วยพวกเครื่องปั้นดินเผาที่ไม่ได้เคลือบทั้งหมด เนื่องจากเหตุที่ว่าเครื่องปั้นดินเผาที่ไม่ได้เคลือบ จะมีรูพรุน

มากมาย ทำให้มีความชื้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ มีละอองน้ำแทรกเข้าไปอยู่ในรูพรุนเหล่านั้น เมื่อนำมาใช้ในเตาไมโครเวฟ ตัวละอองน้ำจะร้อนส่งผลให้วัสดุร้อนไปด้วย

3.4 กลไกการระเหยของน้ำออกจากวัสดุที่จะอบแห้งด้วยไมโครเวฟ

ความเร็วในการระเหยน้ำออกจากวัสดุที่จะอบแห้งจะขึ้นอยู่กับ ความแตกต่างของความดันระหว่างน้ำหรือความชื้นภายในวัสดุที่จะอบแห้งกับภายนอก กล่าวคือ ถ้าความดันของน้ำภายในวัสดุสูงกว่าความดันภายนอกวัสดุ การระเหยก็จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุนี้ไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ค่อนข้างสูง จะทะลุทะลวงเข้าไปในเนื้อวัสดุที่จะอบแห้งไปสั่นโมเลกุลของน้ำอย่างรุนแรงด้วยความถี่เท่ากับความถี่ไมโครเวฟ เมื่อสสารกลับตัวไปมาตามความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ 2450 MHz โมเลกุลจะกลับตัวในช่วงคลื่นไมโครเวฟช่วงบวกเข้ามา 2450 ล้านครั้งต่อวินาที และเมื่อช่วงลบของคลื่นไมโครเวฟเข้ามาโมเลกุลจะกลับตัวอีกครั้งเป็นจำนวน 2450 ล้านครั้งต่อวินาที ซึ่งส่งผลก็คือ เกิดการสั่นสะเทือนอย่างรวดเร็วของโมเลกุลของน้ำ ทำให้ได้รับความร้อน เนื่องจากการเสียดสีชนกันของโมเลกุลของน้ำ ส่งผลให้น้ำมีอุณหภูมิและความดันสูงขึ้น และเมื่อมีความดันสูงกว่าภายนอก เป็นเหตุให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็ว

3.5 แหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ

ในธรรมชาติแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟมาจากดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานขนาดใหญ่ แต่มนุษย์เราเองยังไม่สามารถควบคุมกำลังงานไมโครเวฟที่ส่งมาจากดวงอาทิตย์ อันจะนำไปสู่การนำเอาพลังงานไมโครเวฟทางธรรมชาตินี้ไปใช้ได้ ดังนั้นหากจะนำพลังงานไมโครเวฟไปใช้ประโยชน์ มนุษย์จึงต้องสร้างคลื่นไมโครเวฟขึ้นมาใช้เอง ตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟถูกสร้างมาจากอุปกรณ์ 2 แบบ คือ

3.5.1 แบบหลอดสูญญากาศ (Microwave tube) แหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟแบบสูญญากาศนี้ให้กำลังงานคลื่นไมโครเวฟออกมาสูงมากกว่าแบบโซลิดสเตต แม้ว่าจะใช้ในวงจรความถี่สูงๆกำลังงานที่ได้จะตกลงไปไม่มาก สามารถแบ่งหลอดกำเนิดคลื่นไมโครเวฟออกเป็น 3 แบบคือ

3.5.1.1 หลอดไคลสตรอน (Klystron) เป็นหลอดแบบแรกที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้งานในย่านความถี่ไมโครเวฟมีการใช้งานอยู่ 2 แบบคือ ใช้เป็นตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟและเป็นตัวขยายคลื่นใช้ในย่านความถี่ 300 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึงความถี่ 30 กิกะเฮิร์ตซ์ จะใช้หลอดนี้ในภาคขยายสุดท้ายก่อนส่งออกอากาศของสถานีภาคพื้นดินของดาวเทียม

3.5.1.2 หลอดแตรเวลลิ่งเวฟ (Travelling Wave Tube) เป็นหลอดที่พัฒนาขึ้นมาจากหลอดไคลสตรอน อันเนื่องจากว่า ในหลอดไคลสตรอน มีแบนด์วิธ ของคลื่นแคบมาประมาณ 1-8 % เท่านั้น เมื่อพัฒนามาเป็นหลอดแตรเวลลิ่งเวฟ มีแบนด์วิธกว้างขึ้นคือ ตั้งแต่ความถี่ 500 เมกะเฮิร์ตซ์ - 16 กิกะเฮิร์ตซ์ ในเครื่องรับไมโครเวฟในย่านเอ็กซ์แบนด์ ใช้ขยายสัญญาณในสถานีทวนสัญญาณของระบบโทรคมนาคมประเภทเอ็กซ์แบนด์ ใช้ขยายกำลังภาคสุดท้ายในระบบสื่อสารดาวเทียมและเรดาร์

3.5.1.3 หลอดแมกนีตรอน (Magnetron tubes) เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟอีกชนิดหนึ่ง ที่ให้กำลังงาน ออกมาสูงสุด ปัจจุบันหลอดแมกนีตรอนสามารถให้กำลังงานเอาท์พุทได้สูงสุดถึง 40 เมกกะวัตต์เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กะวัตต์ ที่ระดับความต่างศักย์ 50 กิโลโวลต์ ณ ความถี่ 10 กิกะเฮิรตซ์ เนื่องจากแม็กนีตรอนมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา เมื่อเทียบกับประสิทธิภาพที่สูง เช่น ใช้ในเตาไมโครเวฟ และใช้เป็นตัวส่งคลื่นเรดาร์ออกไป

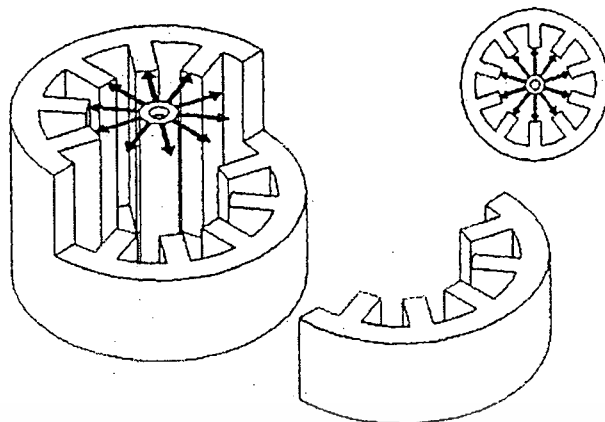
3.5.2 แบบโซลิดสเตท (Solid state microwave sources) เนื่องจากสารกึ่งตัวนำมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา เมื่อมีการพัฒนาจนสามารถใช้งานได้ดีที่ความถี่ไมโครเวฟแล้ว สารกึ่งตัวนำเหล่านี้จึงถูกนำไปแทนที่หลอดไมโครเวฟ ในส่วนที่ใช้กับกำลังงานต่ำจนถึงกำลังงานปานกลาง เช่น ใช้กัณน์ไดโอด (Gunn Diode) เป็นตัวกำเนิดความถี่ไมโครเวฟแทนหลอดไคลสตรอน แต่ให้กำลังออกมาต่ำประมาณ 10 mW – 1 W ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง กัณน์ไดโอดถูกนำไปประยุกต์ใช้เป็นวงจรกำเนิดความถี่ไมโครเวฟ ในการส่งรับคลื่นไมโครเวฟกำลังงานต่ำ ในอุปกรณ์เรดาร์กำลังงานต่ำ เช่น เรดาร์ของตำรวจ เนื่องจากกัณน์ไดโอดมีประสิทธิภาพต่ำ ใช้ในงานที่ต้องการเอาต์พุตสูงไม่ได้ จึงมีการพัฒนาขึ้นมาเป็น อิมแพทไดโอด (Impatt Diode) ทำให้ได้เอาต์พุตสูงถึง 4-5 W ในย่านความถี่เอ็กซ์แบนด์ หลังจากการพัฒนาไดโอดก็มาสู่การพัฒนาทรานซิสเตอร์ที่ใช้งานในย่านไมโครเวฟ ทำให้มีการขยายกำลังงาน ทางด้านเอาต์พุตออกไปได้สูงขึ้นอีก นำไปใช้ในวงจรอื่นๆ ในย่านความถี่ไมโครเวฟได้มากขึ้นเช่น นำไปใช้ในวงจรมอดูเลเตอร์ (Modulator) วงจรดีมอดูเลเตอร์ (Demodulator) วงจรมิกเซอร์ (mixer) วงจรดีเทกเตอร์ (Detector)

3.6 แม็กนีตรอน (Magnetron)

แม็กนีตรอนเป็นตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟชนิดหนึ่ง นิยมใช้กันอยู่ในเตาไมโครเวฟ และเรดาร์ การที่ผู้ผลิตเตาไมโครเวฟทุกยี่ห้อเลือกใช้ แม็กนีตรอนเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ เนื่องจากคุณสมบัติที่ดีหลายประการคือ มีขนาดเล็ก แต่ให้ประสิทธิภาพและกำลังงานสูง มีเสถียรภาพในการทำงานที่ความถี่ที่ต้องการดี ในปัจจุบันเตาไมโครเวฟทุกยี่ห้อ ตัวแม็กนีตรอนจะสร้างควมถี่ 2450 ± 50 MHz เมื่อโหลดมีการดึงกระแสสูงหรือดึงกระแสต่ำมาก ตัวแม็กนีตรอนยังคงสร้างควมถี่ค่อนข้างคงที่ จะเห็นได้ว่าการเกิดคลื่นผิดพลาดน้อยมาก เมื่อเทียบกับส่วนควมถี่หลักที่สร้างขึ้นผิดพลาดเพียง ± 50 MHz เท่านั้น ซึ่งการผิดพลาดของควมถี่นี้มีผลน้อยมากต่อการปรุงอาหาร ข้อดีของแม็กนีตรอนคือ สร้างง่าย ราคาถูก อันเนื่องจากอุปกรณ์ภายในน้อยมาก

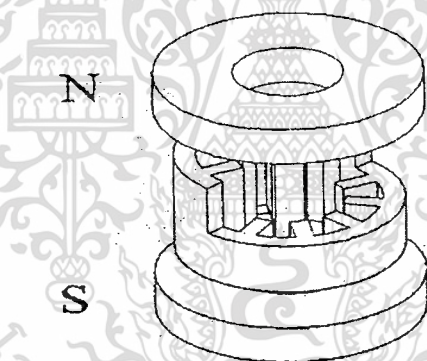
3.6.1 หลักการทำงานของแม็กนีตรอน การทำงานของแม็กนีตรอนเริ่มต้นจากไส้หลอด (Filament) ซึ่งอยู่ตรงกลางของแม็กนีตรอนได้รับแรงไฟฟ้าประมาณ 3.3 โวลต์เอซี ทำให้ไส้หลอดหรือแคโทด (Cathode) นั้นเองร้อนขึ้น ส่งผลให้อิเล็กตรอนอิสระหลุดออกจากแคโทด เนื่องจากขั้วแคโทดต่อกับขั้วลบของแรงดัน ประมาณ 4000 V และขั้วบวกของแรงดัน 4000 V ต่อไว้กับแอนโนด (Anode) ของแม็กนีตรอน ตัวอิเล็กตรอนเองมีประจุเป็นลบ ดังนั้นเมื่อต่อขั้วลบเข้ากับแคโทด จะเกิดการผลักขั้วเหมือนกันออกไป อิเล็กตรอนที่ถูกผลักออกมานี้จะถูกดูดเข้าหาขั้วบวกที่แอนโนด ดังรูปที่ 3.1,3.2,3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



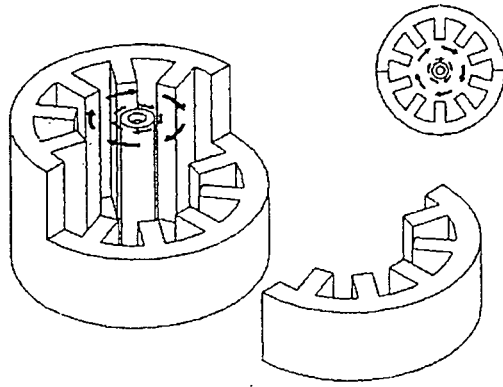
รูปที่ 3.1 แสดงทางเดินของอิเล็กตรอนจากแคโทดไปยังแอโนด

จากรูปที่ 3.1 หัวลูกศรแสดงอิเล็กตรอนซึ่งปกติจะวิ่งออกจากแคโทดเป็นเส้นตรงไปหาแอโนด เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 5600 V ก่อให้เกิดความต่างศักย์ไว้ แต่ในตัวหลอดไดโอดของแม็กนีตรอนยังมีสนามแม่เหล็กมาเกี่ยวข้อง โดยโรงงานจะใส่แม่เหล็กเป็นรูปวงกลมแบนวางที่ด้านบนและล่างร่วมแกนกับหลอดไดโอดดังรูปที่ 3.2



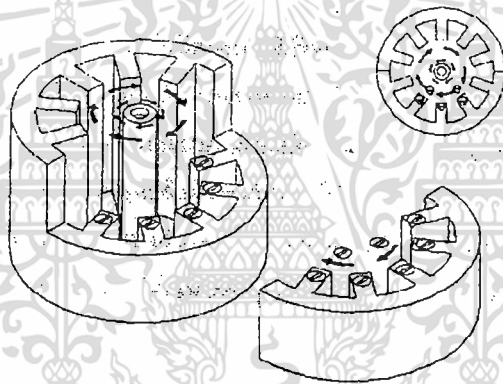
รูปที่ 3.2 แสดงการวางแม่เหล็กร่วมแกนไดโอด

โดยมีขั้วแม่เหล็กระหว่างตัวบนและตัวล่างตรงข้ามกัน เพราะมีสนามแม่เหล็กมาเกี่ยวข้อง อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากแคโทดแทนที่จะวิ่งตรงไปหาแอโนดกลับโดนสนามแม่เหล็กเบี่ยงเบนไปในทิศทางขวาตามกฎของเฟลมมิ่ง คือ กำมือขวาแล้วยกหัวแม่มือขึ้น ถ้าทิศทางของนิ้วชี้ นิ้วกลาง นิ้วนาง นิ้วก้อย ที่ชี้ไปเป็นทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อมีอิเล็กตรอนวิ่งผ่านจะถูกเบี่ยงเบนไปในทิศทางที่นิ้วหัวแม่มือชี้ไป ดังนั้นอิเล็กตรอนในแม็กนีตรอนจึงวิ่งวนไปทางขวา ดังรูปที่ 3.3 ในที่สุดอิเล็กตรอนก็จะวิ่งไปถึงแอโนด



รูปที่ 3.3 แสดงการวิ่งของอิเล็กตรอนที่โคนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เบี่ยงเบน

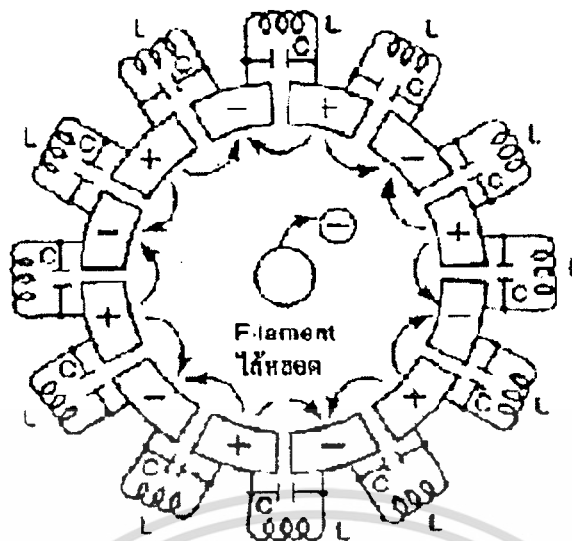
การหมุนวนเป็นวงกลมของอิเล็กตรอนก่อให้เกิดกระแสสลับขึ้นในโพรง Cavity ของแอโนด เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนตัวเข้าใกล้ส่วนใดส่วนหนึ่งระหว่าง 2 Cavity อิเล็กตรอนจะเหนี่ยวนำเอาประจุบวกจากแอโนดเวน (Anode vane) ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงการเหนี่ยวนำเอาประจุบวกของอิเล็กตรอน

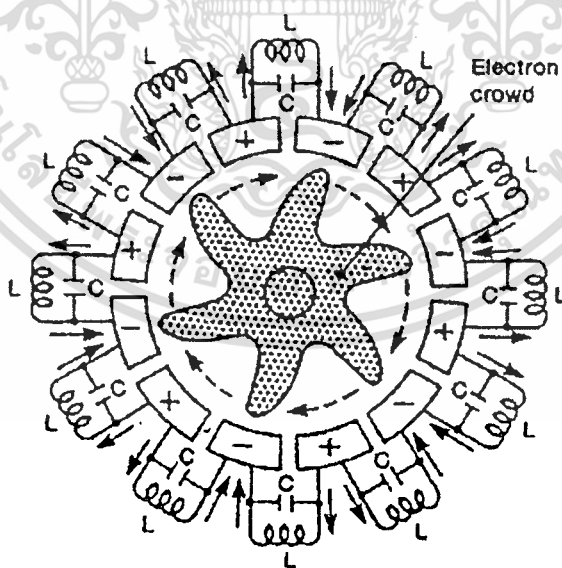
เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ห่างออกไปประจุบวกบนแอโนดเวนจะลดลง ในขณะที่เดียวกับที่อิเล็กตรอนกำลังเหนี่ยวนำประจุบวกในแอโนดเวนอันถัดไปทำให้เกิดขั้วบวกและขั้วลบสลับกันไปเกิดเป็นกระแสสลับขึ้น การเหนี่ยวนำของกระแสสลับในระหว่างแอโนดควิตี้ สามารถอธิบายด้วยการแสดงในรูปของวงจรแท็งก์ (Tank circuit) หรือเรียกวางจรเรโซแนนท์ (Resonant circuit) ที่ความถี่ 2450 MHz ตามรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การเห็นยวนำของกระแสกลับในระหว่าง Anode Cavities

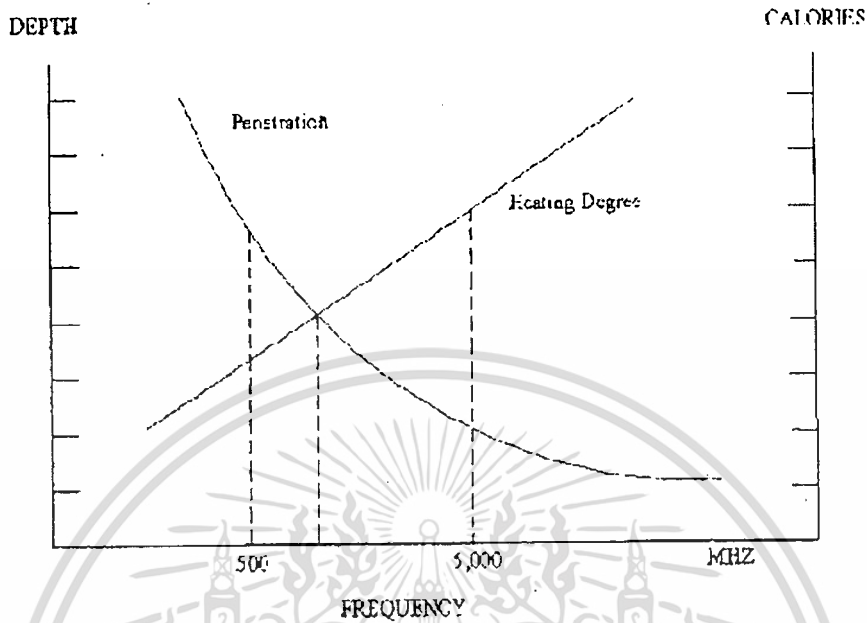
ในการทำงานจริงๆของแม็กนีตรอน อิเล็กตรอนไม่ได้เคลื่อนที่เพียงตัวเดียวแต่จะเคลื่อนที่เป็นกลุ่มเป็นรูปลักษณะการหมุนเป็นวงคล้ายกงจักรดังรูปที่ 3.6 ด้วยอิทธิพลจากความต่างศักย์สูงระหว่างแคโทดและแอโนด และสนามแม่เหล็กกำลังสูง เมื่อกลุ่มอิเล็กตรอนเคลื่อนที่หมุนวนรอบๆแอโนดวนและในที่สุดก็ถึงตัวควีตีส์ส่งผลให้เกิดการกำเนิดความถี่ตามวงจรเรโซแนนท์ ซึ่งความถี่ที่ได้มีกำลังงานสูงถูกนำส่งออกไปจากควีตีส์ภายในแม็กนีตรอน โดยสายอากาศส่งออกสู่ภายนอก แล้วส่งต่อให้เวฟไกด์ (Wave Guide) หรือท่อนำคลื่นไปสู่ห้องปรุงอาหารหรือภายในตู้



รูปที่ 3.6 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเป็นกลุ่ม

คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นที่มีความถี่ตั้งแต่ 300 - 10000 MHz ซึ่งเป็นย่านที่กว้างมาก จากการวิจัยคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ตั้งแต่ 500 - 5000 MHz มีประสิทธิภาพเหมาะสมในการนำมาใช้กำเนิดความร้อน แต่ในเครื่องไมโครเวฟใช้ความถี่ 2450 MHz เนื่องมาจากการวิจัยความถี่นี้สามารถทำให้อาหารส่วนไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใหญ่สุดได้รวดเร็วและลึกเข้าไปถึงภายในระดับความลึกพอดี (Penetration Depth) ดังนั้นในเครื่องไมโครเวฟทั่วไปจึงสร้างให้มีความถี่ 2450 MHz ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Depth, Heating degree, Frequency

จากรูปที่ 3.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของการทะลุผ่านกับระดับของอุณหภูมิของความร้อน และความถี่ พบว่าการที่ความถี่ต่ำจะมีการทะลุผ่านของคลื่นได้ลึกกว่า แต่เวลาปรุงอาหารจะเพิ่มขึ้นอันเนื่องจากความร้อนที่ได้ต่ำ ที่ความถี่สูงกว่าเวลาที่ใช้ในการปรุงอาหารจะเร็วกว่า เนื่องมาจากได้รับความร้อนมากกว่าแต่การทะลุผ่านจะตื้น

3.7 ฟลูอิดไดเซชัน

ฟลูอิดไดเซชัน เป็นนิยามที่ใช้อธิบายกระบวนการ หรือวิธีการที่ของแข็งซึ่งมีรูปร่างลักษณะเป็นเม็ดหรือชิ้น สัมผัสกับของไหลแล้วเม็ดของแข็งเหล่านี้จะมีคุณสมบัติคล้ายของไหล ทั้งนี้เนื่องจากเม็ดหรือชิ้นของแข็งดังกล่าวแรกที่ได้อยู่ถูกวางไว้บนตะแกรงในหอตลอด ที่มีจะมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ปัจจุบันนี้ตัดแปลงให้อยู่ในรูปร่างอยู่ในแนวอนึ่งของไหลที่ใช้คือก๊าซหรือของเหลวเมื่อปล่อยให้ก๊าซหรือของเหลวไหลออกทางส่วนบนของหอตลอด เมื่อเพิ่มความเร็วของไหลมากขึ้นเรื่อยๆ จนในที่สุดจะเห็นเม็ดของแข็งขยับตัว และลอยตัวขึ้นเป็นอิสระไม่เกาะติดกัน ของแข็งที่อยู่ในลักษณะนี้จะมีคุณสมบัติคล้ายของไหล กล่าวคือมีการไหลหมุนเวียนของเม็ดของแข็งภายในเบดหรือภายในหอตลอดหรือระหว่างเบดต่อบีตก็ได้ เราจึงเรียกของแข็งในสถานะนี้ว่า ฟลูอิดไดเซชัน

3.8 ประเภทของฟลูอิดไดเซชัน

ฟลูอิดไดเซชันแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

3.8.1 ฟลูอิดไดเซชันสองสถานะ หมายความว่าในหอตกลงหรือเบดที่ใช้งานจะประกอบด้วยสองสถานะ คือ ของแข็งกับของไหล ของไหลนี้อาจจะเป็นก๊าซหรือของเหลวก็ได้ ดังนั้นฟลูอิดไดเซชันสองสถานะ จึงแบ่งออกได้อีก 2 ประเภท

ก๊าซฟลูอิดไดเซชัน (Gas Fluidization)

ฟลูอิดไดเซชันของเหลว (Liquid Fluidization)

3.8.2 ฟลูอิดไดเซชันสามสถานะ หมายความว่าภายในหอตกลงหรือเบดจะประกอบไปด้วยของสามสถานะอยู่พร้อมกัน คือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ สำหรับฟลูอิดไดเซชันสามสถานะนั้นเป็นกระบวนการที่พัฒนาไปจากฟลูอิดไดเซชันสองสถานะ

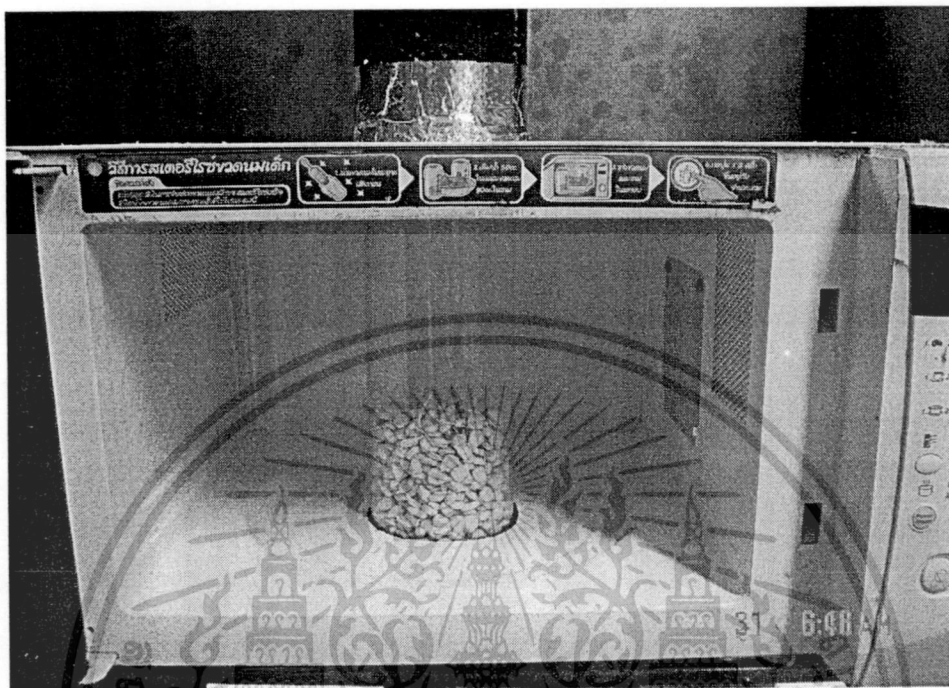
3.9 ลักษณะของฟลูอิดไดซ์เบด

เบด (Bed) หมายถึง อาณาเขตในหอตกลงที่มีปริมาณเม็ดของแข็งบรรจุอยู่ ไม่ว่าเม็ดของแข็งนั้นจะอยู่นิ่งหรือเคลื่อนไหลในหอตกลงจะมีระดับตั้งแต่แผ่นโลหะ ซึ่งทำเป็นตะแกรงรองรับหรือเป็นตัวกระจายของไหล (Distributer) จนถึงระดับสูงสุด คือผิวหน้าของเม็ดของแข็งที่อยู่ในหอตกลง

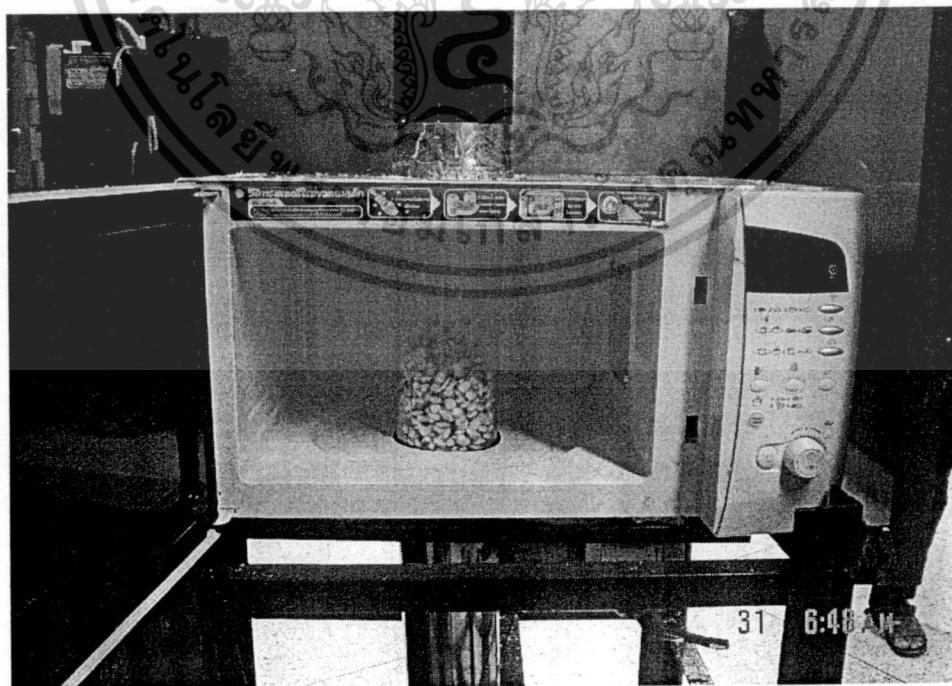
เมื่อบรรจุของแข็งในหอตกลงเรียบร้อยแล้วเริ่มปล่อยของไหลเข้าหอตกลงอย่างช้าๆ ขณะที่ของไหลความเร็วต่ำอยู่ เม็ดของแข็งจะไม่ขยับตัวเลยลักษณะเช่นนี้เรียกว่า เบดนิ่ง (Fixed Bed) เมื่อเพิ่มความเร็วของไหลมากขึ้นทีละน้อยจนถึงความเร็วระดับหนึ่ง เม็ดของแข็งจะเริ่มขยับตัวและจัดตัวอย่างเป็นระเบียบเมื่อความเร็วของไหลเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย เม็ดของแข็งจะหลุดออกจากกันและลอยตัวเป็นอิสระ ลักษณะของปรากฏการณ์นี้เรียกว่า จุดเริ่มฟลูอิดไดเซชันหลังจากจุดนี้ไปแล้วความเร็วของของไหลที่เพิ่มขึ้น จะไปทำให้เบดขยายตัวตามความเร็วของของไหล เม็ดของแข็งยังอยู่ติดกันมากคล้ายกับว่ายังจับกันเป็นกลุ่มก้อนเบดลักษณะนี้เรียกว่าฟลูอิดไดซ์เบดแบบหนาแน่น (Densephase Fluidized Bed) ถ้าความเร็วของไหลมากขึ้นอีก ของไหลก็เกือบจะพาเอาเม็ดของแข็งออกไปจากหอตกลง เบดลักษณะนี้เรียกว่า ฟลูอิดไดซ์เบดเจือจาง (Diluted phase Fluidized Bed) หลังจากนั้นถ้าเพิ่มความเร็วของของไหลอีกเล็กน้อยของแข็งก็จะลอยตัวหลุดออกจากหอตกลงไป

ฟลูอิดไดซ์เบดที่ของไหลเป็นของเหลว การขยายตัว การขยายตัวของเบดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ การลอยตัวและหมุนรอบตัวของเม็ดของแข็งเป็นไปอย่างช้าๆ เราเรียกเบดนี้ว่า เบดสม่ำเสมอ หรือเบดที่เป็นเนื้อเดียว ฟลูอิดไดซ์ที่ของไหลเป็นก๊าซลักษณะของเบดจะแตกต่างจากที่ใช้ของเหลวมากเพราะว่าเมื่อความเร็วของก๊าซสูงกว่าความเร็วที่จะทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบดแล้ว ก๊าซส่วนหนึ่งยังทำหน้าที่ให้เกิดการลอยตัวของเม็ดของแข็งเหมือนเดิม แต่มีอีกส่วนหนึ่งรวมตัวกันแล้วก่อตัวเป็นฟองก๊าซเกิดขึ้น ฟองก๊าซก็จะแทรกตัวเองขึ้นมาอยู่บนผิวหน้าของเบด และแตกตัวเองในที่สุด ขณะที่ฟองก๊าซลอยขึ้นมาจะทำให้เม็ดของแข็งไหลจากส่วนหลังคาของฟองก๊าซลงมาบางส่วนล่างๆ พร้อมกันนั้นยังมีบางส่วนของเม็ด

ของแข็งลอยติดตามฟองก๊าซขึ้นไปด้วยภายในเบด จะเห็นว่าเคลื่อนที่ของเม็ดของแข็งเป็นไปอย่าง
วุ่นวายเบดชนิดนี้เรียกว่า ฟลูอิดไดซ์เบดวุ่นวาย

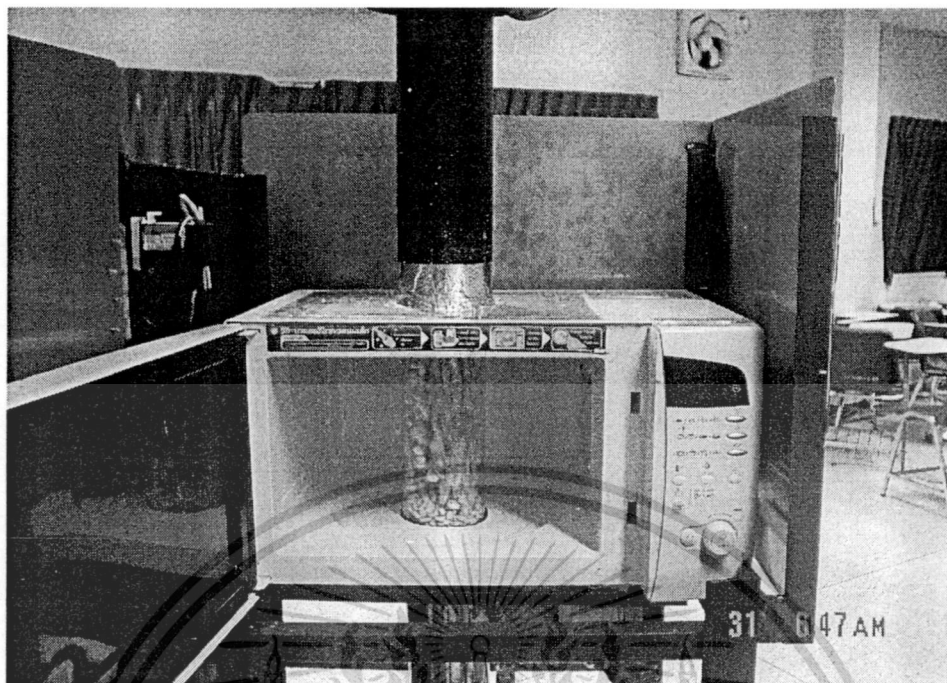


รูปที่ 3.8 Fix bed



รูปที่ 3.9 ขณะเริ่มเกิดฟลูอิดไดซ์ชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 เเบคสมำเสมอ

3.10 การได้เปรียบและเสียเปรียบของฟลูอิดไดเซชัน

ข้อเปรียบเทียบการได้เปรียบและการเสียเปรียบระหว่าง การใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบคกับเทคนิคอื่นๆ ดังมีรายละเอียดดังนี้

3.10.1 ข้อได้เปรียบ

1. เนื่องจากเม็คของแข็งเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาทำให้เกิดการผสมกันอย่างรวดเร็ว และสมำเสมอ อุณหภูมิภายในเบคคังที่ตลอด ซึ่งต่างจากเบคนิ่งหรือเบคบรรจุ อุณหภูมิจะไม่เท่ากันตลอดทั้งเบค
2. มีการจัดเรียงตัวของเม็คของแข็ง เม็คที่มีน้ำหนัคน้อยจะอยู่ส่วนบน เม็คที่มีน้ำหนัมากจะอยู่ส่วนล่าง ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการแยกขนาดของเม็คของแข็งได้ นอกจากนี้แรงเสียดทานต่อการไหลของของไหลมีน้อย

3. จากคุณสมบัติที่คล้ายกับของไหล จึงสามารถทำงานแบบต่อเนื่องได้ คือปล่อยให้ของแข็งไหลออกจากเบค และไหลเติมเข้าไปในเบคได้

4. พื้นที่สัมผัสระหว่างเม็คของแข็งกับของไหลจะมีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเบคนิ่งที่ใช้จำพวกเม็คของแข็งเท่ากัน จึงมีประโยชน์ในการขยายงานที่มีทั้งการถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทมวลสาร

3.10.2 ข้อเสียเปรียบ

1. เวลาของของไหลสัมผัสกับของแข็งสั้นมาก จึงต้องใช้เบคสูงๆ หรือเบคหลายชั้น ซึ่งจะทำให้เปลืองเงินลงทุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. มักเกิดฟองก๊าซในเบดเมื่อทำงานกับก๊าซ ทำให้การสัมผัสไม่ดีเป็นการสูญเสียเปลว ถ้ายังเป็นกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และต้องใช้ตัวเร่งช่วยแล้วให้เป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงลดลง
3. เนื่องจากเกิดการผสมกันอย่างรวดเร็ว บางครั้งเม็ดของของแข็งมีช่วงเวลาอยู่ในเบดสั้นเกินไป เมื่อทำงานแบบต่อเนื่องทำให้ผลิตภัณฑ์เหลวหรือเม็ดของแข็งมีคุณสมบัติทางกายภาพไม่ตรงตามข้อกำหนด
4. การทำงานมีข้อจำกัด เพราะถ้าให้ความเร็วของของไหลสูงเกินไปเม็ดของแข็งก็จะออกจากเบดไปพร้อมกับของไหล
5. ใช้กับเม็ดของแข็งที่เปื่อยหรือเป็นยางไม่ได้ เพราะเกิดการเกาะเป็นก้อนใหญ่ และตกตะกอนมายังส่วนล่างของเบด

3.11 การอบแห้งโดยใช้ฟลูอิดไคซ์เบดร่วมกับไมโครเวฟ

การอบแห้งโดยใช้ฟลูอิดไคซ์เบดเป็นการทำให้วัสดุแห้งโดยอาศัยการพาความร้อนจากผิวนอกไปสู่เนื้อภายในวัสดุโดยอาศัยผลต่างของอุณหภูมิ ซึ่งการที่ความร้อนจะเคลื่อนที่จากเปลือกผิวนอกวัสดุไปสู่แกนกลางนั้น จะทำให้เปลือกวัสดุได้รับความร้อนมากและแห้งก่อน และเป็นผลให้เมื่ออบเสร็จบริเวณที่ผิวหน้าจะไหม้ก่อนเนื้อวัสดุ ทำให้สภาพผิวภายนอกดูซีดและสีไม่สวยเท่าที่ควร นอกจากนี้ผิวส่วนนอกก็จะเกิดการแข็งตัวมากกว่าเนื้อในวัสดุด้วย จากข้อเสียนี้จึงได้นำไมโครเวฟเข้ามาช่วยลดปัญหาโดยกลไกการระเหยของน้ำในไมโครเวฟคือ ระเหยน้ำออกจากวัสดุโดยทำให้ความดันของน้ำภายในวัสดุสูงกว่าความดันภายนอกวัสดุ การระเหยก็จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุนี้ไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ค่อนข้างสูงจะทะลุทะลวงเข้าไปในเนื้อวัสดุที่จะอบแห้ง ไปสั่นโมเลกุลของน้ำอย่างรุนแรงด้วยความถี่เท่ากับ 2450 MHz เมื่อโมเลกุลของสสารกลับตัวไปมาตามความถี่ของคลื่นที่ใช้ 2450 MHz โมเลกุลจะกลับตัวในช่วงคลื่นไมโครเวฟเข้ามาโมเลกุลจะกลับตัวอีกครั้งเป็นจำนวน 2450 ล้านครั้งต่อวินาทีซึ่งผลก็คือการสั่นสะเทือนอย่างรวดเร็วของโมเลกุลของน้ำ 2450 ล้านครั้งต่อวินาที ทำให้ได้รับความร้อนเนื่องจากการเสียดสีชนกันของโมเลกุลของน้ำ ส่งผลให้น้ำมีอุณหภูมิและความดันสูงขึ้น และเมื่อน้ำมีความดันสูงกว่าภายนอกจะทำให้เกิดการระเหยน้ำขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปคลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านอาหารได้ลึกประมาณ 1.3 - 3.8 เซนติเมตร และขึ้นอยู่กับความชื้นของอาหารด้วย ถ้าอาหารมีความชื้นสูงความสามารถในการทะลุผ่านจะลดลงเนื่องจากโมเลกุลของน้ำดูดคลื่นไว้ จะเห็นว่าการระเหยของน้ำของไมโครเวฟจะทำให้ส่วนเนื้อที่อยู่ภายในของเนื้อของวัสดุสุกก่อนที่ผิวดังนั้นการใช้ฟลูอิดไคซ์เบดร่วมกับไมโครเวฟจึงเป็นการแก้ไขข้อเสียของทั้งฟลูอิดไคซ์เบดและไมโครเวฟ ซึ่งผลที่ได้ทำให้น้ำภายในเนื้อในส่วนที่ลึกลงไปจากผิวและน้ำบริเวณผิวสามารถระเหยได้ในเวลาใกล้เคียงกัน ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้แห้งเท่ากันทั้งชิ้น นอกจากนี้จะทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลงเป็นการลดความสูญเสียพลังงานความร้อนและคลื่นไมโครเวฟนั้นจะถูกส่งตรงผ่านเข้าไปสั่นโมเลกุลในเนื้อวัสดุโดยตรง จึงไม่มีการสูญเสียพลังงาน นอกจากนี้ไอน้ำที่ระเหยออกมาจากวัสดุปริมาณมากจากการยิงคลื่นไมโครเวฟจึงถูกอากาศร้อนที่มีความเร็วสูงพัดพาออกไปอย่างรวดเร็ว และข้อจำกัดภายในห้องอบไมโครเวฟที่มีการเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจายของคลื่น ไม่สม่ำเสมอจะถูกแก้ไขโดยกระแสของอากาศจะพาให้วัสดุลอยตัวซึ่งจะทำให้วัสดุได้รับพลังงานไมโครเวฟอย่างทั่วถึง

3.12 แฟกเตอร์รูปร่าง (Shape Factor)

พบกันมากในการศึกษาทางทฤษฎีบางอย่าง เช่น การศึกษาการถ่ายเทมวลหรือการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกไปยังเมล็ดของแข็งหรือจากเมล็ดของแข็งไปยังภายนอก ซึ่งลักษณะรูปร่างของเมล็ดของแข็งเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสาร

แฟกเตอร์รูปร่าง หมายถึง อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวของทรงกลมที่มีปริมาตรเท่าเมล็ดของแข็งต่อพื้นที่ผิวของเมล็ดของแข็งใดๆ

$$\phi_p = \frac{\text{พื้นที่ผิวของทรงกลมปริมาตรเท่า}}{\text{พื้นที่ผิวของเมล็ดของแข็ง}} \quad (3.1)$$

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลมปริมาตรเท่า คือ

$$d_e = (6V_p/\pi)^{1/3} = 1.241V_p^{1/3} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่ผิวทรงกลม} &= \pi(1.241V_p^{1/3})^2 \\ &= 4.87V_p^{2/3} \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$\text{แฟกเตอร์รูปร่าง, } \phi_p = (4.87V_p^{2/3})A_p \quad (3.4)$$

สำหรับในกรณีอนุภาคเป็นทรงกลม ค่าแฟกเตอร์รูปร่างมีค่าเท่ากับหนึ่ง สำหรับในกรณีที่อนุภาคไม่ได้เป็นทรงกลม ค่าแฟกเตอร์รูปร่างอยู่ระหว่าง

$$0 < \phi_p < 1$$

3.13 การคำนวณหาความดันลดในฟลูอิดไดซ์เบด

ในขณะที่เมล็ดของแข็งเริ่มลอยตัว แรงที่เกิดจากความดันย่อมเท่ากับน้ำหนักของเมล็ดของแข็งหักออกด้วยแรงพยุง (Buoyancy Force) ที่กระทำบนเมล็ดของแข็ง โดยของไหล ซึ่งเขียนสมการได้ว่า

$$\Delta P.A = (A.L_{mf})(1 - \epsilon_{mf})(\rho_p - \rho_f)g/g_c$$

จัดสมการใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta P/L_{mf} = (1 - \varepsilon_{mf})(\rho_p - \rho_f)g/g_C \quad (3.5)$$

เมื่อ

ΔP คือ ความดันลด, N/m²

L_{mf} คือ ความสูงที่เกิดฟลูอิดไดซ์เบด, m

g คือ อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก, m/s²

g_C คือ แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยของแรงและน้ำหนัก, kg.m/N-s²

ε_{mf} คือ สัดส่วนช่องว่าง

ρ_p คือ ความหนาแน่นของอนุภาค, kg/m³

ρ_f คือ ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m³

3.14 การคำนวณหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์

จากสมการความดันลดที่ผ่านเบดคงที่ (Fixed Bed) ซึ่ง Ergun ได้หาความสัมพันธ์ไว้ในรูป

$$\Delta P.g_C/L = 150(1 - \varepsilon_{mf})^2 \mu U_o / (\phi_p d_p)^2 \varepsilon_{mf}^3 + 1.75(1 - \varepsilon_{mf}) \rho_f U_o^2 / (\phi_p d_p) \varepsilon_{mf}^3 \quad (3.6)$$

จากสมการ 6 พบว่าความดันในเบดคงที่ที่เกิดเนื่องจากปัจจัย 2 ประการ คือ ความหนืดและพลังงานจลน์ ที่ค่า Reynold number น้อยกว่า 20 พบว่าการสูญเสียเนื่องจากความหนืดมีค่ามากกว่าการสูญเสียเนื่องจากพลังงานจลน์ ดังนั้นสมการที่ 6 สามารถที่จะจัดอยู่ในรูปดังนี้

$$\Delta P.g_C/L = 150(1 - \varepsilon_{mf})^2 \mu U_o / (\varepsilon_p d_p) \varepsilon_{mf}^3 ; \text{Rep} < 20 \quad (3.7)$$

ที่ค่า Reynold number มากกว่า 1000 จะมีการสูญเสียเนื่องจากพลังงานจลน์เพียงอย่างเดียว ดังนั้นสมการที่ 6 จะอยู่ในรูป

$$\Delta P.g_C/L = 1.75(1 - \varepsilon_{mf}) \rho_f U_o^2 / (\phi_p d_p) \varepsilon_{mf}^3 ; \text{Rep} > 1000 \quad (3.8)$$

สำหรับความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เซชันได้จากสมการ 5 กับ 6

$$(1.75/\phi_p \varepsilon_{mf}^3)(\text{Rep}, \text{mf})^2 + 150(1 - \varepsilon_{mf})(\phi_p^2 \varepsilon_{mf}^3)(\text{Rep}, \text{mf}) = d_p^3 \rho_f [(\rho_p - \rho_f)/\mu] \quad (3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแ **58938** และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $Re_{p, mf} = d_p U_{mf} \rho_f / \mu$

สำหรับอนุภาคที่มีค่า Reynold number น้อยกว่า 20 ได้จากการรวมสมการ (3.7) กับสมการ (3.5)

$$U_{mf} = [(\phi_p d_p)^2 / 150][(\rho_p - \rho_f) / \mu] g \mathcal{E}_{mf}^3; \dots Re_{p, mf} < 20 \quad (3.10)$$

สำหรับอนุภาคที่มีค่า Reynold number มากกว่า 1000 ได้จากสมการ (3.8) กับ (3.5)

$$U_{mf}^2 = (\phi_p d_p / 1.75)[(\rho_p - \rho_f) / \rho_f] g \mathcal{E}_{mf}^3; \quad Re_{p, mf} > 1000 \quad (3.11)$$

ในกรณีที่ไม่ทราบค่า \mathcal{E}_{mf} และ ϕ_p Wen and Yu เสนอผลคูณของช่องว่างต่ำสุดและแฟกเตอร์รูปร่างมีค่าคงที่ และสังเกตได้จากผลการทดลองของเขา โดยใช้วัตถุนิตต่างๆบรรจุลงในเบดแล้วสรุปว่า วัตถุอย่างหนึ่งก็มีสัดส่วนช่องว่างอากาศอันหนึ่งซึ่งเขากำหนดไว้ว่า

$$1/\phi_p \mathcal{E}_{mf}^3 = 14 \quad (3.12)$$

$$\text{และ } (1 - \mathcal{E}_{mf}) / \phi_p^2 \mathcal{E}_{mf}^3 = 11 \quad (3.13)$$

แทนค่าสมการ(3.12)และสมการ (3.13) ลงในสมการ (3.9) จะได้สมการ (3.14)

$$Re_{p, mf} = \{(33.7)^2 + 0.0408 d_p^3 \rho_f [(\rho_p - \rho_f) / \mu^2] g\}^{0.5} - 33.7 \quad (3.14)$$

แทนค่าสมการ 3.13 ลงในสมการ 3.10 จะได้สมการ 3.15

$$U_{mf} = d_p^2 (\rho_p - \rho_f) g / (1650 \mu); \quad Re_{p, mf} < 20 \quad (3.15)$$

แทนค่าสมการ (3.12) ลงในสมการ (3.11) จะได้สมการ (3.16)

$$U_{mf}^2 = (d_p / 24.5)[\rho_p - \rho_f] g; \quad Re_{p, mf} > 1000 \quad (3.16)$$

3.15 ความเร็วตกอิสระของเม็ดของแข็งในของไหลอยู่นิ่ง (U_t)

ในฟลูอิดส์เซชันนั้น มีขอบเขตความเร็วของของไหล2อย่างคือ ขอบเขตแรก คือความเร็วต่ำสุดของฟลูอิดส์เซชัน ขอบเขตที่สอง คือ ความเร็วของของไหลที่ทำให้เม็ดของแข็งลอยตัวหลุดออกจากหอ

ทดลองไป ความเร็วนี้จะมีขนาดเท่ากับความเร็วตกอิสระของของแข็งพอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาเกี่ยวกับการไหลของของไหลพบว่า ความเร็วตกอิสระของเม็ดของแข็งในของไหลที่อยู่นิ่งเท่ากับ

$$U_t = [4gd_p(\rho_p - \rho_f)/3\rho_f C_d]^{0.5} \tag{3.17}$$

เมื่อ C_d คือ สัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน
 ค่า Reynold number คือ $Rep = d_p U_t \rho_f / \mu$

$$\text{ดังนั้น } C_d (Rep)^2 = [4gd_p^3 \rho_f (\rho_p - \rho_f) / (3\mu^2)] \dots\dots\dots \tag{3.18}$$

ในกรณีที่อนุภาคมีรูปร่างทรงกลมนั้น สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานจะแปรตามค่า Reynold number(Rep)

$$\text{โดยที่ } C_d = 24/Rep \quad \text{สำหรับ } Rep < 0.4 \quad \dots\dots \tag{3.19}$$

$$C_d = 10/(Rep)^{0.5} \quad \text{สำหรับ } 0.4 < Rep < 500 \quad \dots \dots \tag{3.20}$$

$$C_d = 0.43 \quad \text{สำหรับ } 500 < Rep < 200,000 \tag{3.21}$$

แทนค่าในสมการ 17 ก็จะได้ค่าของ U_t ดังนี้

$$U_t = g[(\rho_p - \rho_f)/18\mu]d_p^2 \quad \text{สำหรับ } Rep < 0.4 \tag{3.22}$$

$$U_t = [4(\rho_p - \rho_f)^2 g^2 / (225 \rho_f \mu)]^{1/3} \quad \text{สำหรับ } 0.4 < Rep < 500 \dots\dots\dots \tag{3.23}$$

$$U_t = \{3.1g[(\rho_p - \rho_f)/\rho_f]d_p\}^{0.5} \quad \text{สำหรับ } 500 < Rep < 200,000 \dots \tag{3.24}$$

3.16 ก๊าซฟลูอิดไดเซชัน

ปรากฏการณ์ของฟลูอิดไดเซชันเบดที่เกิดจากก๊าซมีความซับซ้อนเป็นอย่างมากทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วของก๊าซที่ผ่านเบด ขนาด และรูปร่างของอนุภาคของแข็งที่ใช้เป็นเบด ในขณะที่เบดเริ่มมีลักษณะเป็นฟลูอิดไดเซชันใหม่ๆ จะมีส่วนคล้ายกับลักษณะของเบดที่เกิดขึ้นในฟลูอิดไดเซชันของเหลว แต่ถ้าความเร็วของก๊าซเพิ่มขึ้น จะมีก๊าซบางส่วนรวมตัวกัน ก่อตัวเหมือนถุงอากาศ ซึ่งส่วนนี้จะเรียกว่า ฟองก๊าซ โดยปกติแล้วฟองก๊าซจะเกิดการรวมตัวกันจนมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับขนาดของ column และจะเกิดการแยกชั้นของอนุภาคของแข็งเป็นชั้นๆ ให้เห็นชัดเจน การเคลื่อนที่ของอนุภาคของแข็งจะคล้ายกับการเคลื่อนที่ของลูกสูบ และเมื่อชั้นของอนุภาคของแข็งเคลื่อนที่สูงจนถึงระดับหนึ่ง ก็จะมีการแตกตัวของอนุภาคของแข็งกระจายตกกลับลงมาข้างล่างเหมือนกับฝนตกแล้วปรากฏการณ์ดังกล่าวก็จะเกิดหมุนเวียนสลับไปมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับขนาด และรูปร่างของอนุภาคของแข็ง ความเร็วของก๊าซ และแผ่นกระจายของไหล ลักษณะของฟองก๊าซอาจแบ่งได้ดังนี้

1. **Channelling** เกิดการผ่านไปของก๊าซเป็นช่องๆ โดยที่อนุภาคของแข็งที่อยู่ตรงทางผ่านของก๊าซเท่านั้นที่เคลื่อนที่ แต่บริเวณข้างเคียงจะอยู่กับที่ ไม่มีการเคลื่อนที่

2. **Bubbling** อนุภาคของแข็งในฟลูอิดไคซ์เบดจะเคลื่อนที่ตลอดเวลา และสม่ำเสมอในเบด แต่ถ้าหากบริเวณใดที่มีอนุภาคของแข็งอยู่น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณอื่น หรือไม่มีเลย เราเรียกบริเวณนั้นว่า **Bubbling**

3. **Slugging** การเกิดฟองก๊าซหรือการรวมตัวของฟองก๊าซ จนได้ฟองก๊าซที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ **column** มีการแยกตัวของอนุภาคของแข็งเป็นชั้นๆ ทำให้การถ่ายเทมวลสารหรือความร้อนเกิดอย่างไม่ทั่วถึง เนื่องจากอนุภาคของแข็งสัมผัสกับก๊าซในเวลาสั้นหรือไม่สัมผัสเลยในบางส่วน

4. **Spouted Bed** คือ การที่ก๊าซไหลผ่านเฉพาะบริเวณตรงกลางของกลุ่มของของแข็งเท่านั้นด้วยความเร็วสูงมากทำให้บริเวณตรงกลางมีความหนาแน่นของอนุภาคของแข็งน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณด้านข้าง ลักษณะการไหลแบบนี้คล้ายกับการไหลของน้ำพุ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การคำนวณและการออกแบบ

ในการออกแบบระบบที่ใช้ในการอบแห้งนั้น เราจำเป็นต้องทำการคำนวณหาค่าความเร็วลมเพื่อใช้หาขนาดของ Blower และขนาดของฮีตเตอร์ซึ่งจะมีรายละเอียดและขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

4.1 คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศที่จุดเกิดฟลูอิดไชน์เบด (ε_{mf})

$$L_{mf}/L_o = (1 - \varepsilon_o)/(1 - \varepsilon_{mf})$$

$$\varepsilon_{mf} = 1 - L_o(1 - \varepsilon_o)/L_{mf}$$

$$= 1 - \frac{12(1 - 0.4145)}{2.5}$$

$$\varepsilon_{mf} = 0.719$$

4.2 คำนวณค่าความดันตกคร่อมเบด (ΔP_{bed})

$$\Delta P_{bed} = L_{mf}(1 - \varepsilon_{mf})(\rho_p - \rho_f)(g \cdot g_c)$$

$$= 0.25 \times (1 - 0.719) \times (1219.5 - 1.181) \times 9.81$$

$$= 840 \text{ N/m}^2$$

4.3 การคำนวณค่าความสูญเสียที่แผ่นกระจายลม

ให้ความดันตกคร่อมแผ่นกระจายลม เป็น 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าความดันตกคร่อมเบด

$$\Delta P_{\text{ความดันตกคร่อมแผ่นกระจายลม}} = 84 \text{ N/m}^2$$

4.4 การคำนวณหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไชน์เซชัน

จากสมการของ Ergun

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{1.75}{\phi_s \epsilon_{mf}^3} \left[\frac{D_p U_{mf} \rho_g}{\mu} \right]^2 + \frac{150}{\phi_s^2 \epsilon_{mf}^3} (1 - \epsilon_{mf}) \left[\frac{D_p U_{mf} \rho_g}{\mu} \right] = \frac{D_p^3 \rho_g (\rho_p - \rho_g) g}{\mu^2}$$

$$\frac{1.75}{0.583 \times 0.719^3} \left[\frac{0.00735 \times 1.181}{2 \times 10^{-5}} \right]^2 U_{mf}^2 + \frac{150}{0.583^2 \times 0.719^3} (1 - 0.719) \left[\frac{0.00735 \times 1.181}{2 \times 10^{-5}} \right] U_{mf}$$

$$= \frac{0.00735^3 \times 1.181 \times (1219.5 - 1.181) \times 9.81}{(2 \times 10^{-5})^2}$$

$$U_{mf} = 2.98 \text{ m/s}$$

4.5 การคำนวณหาความเร็วของของไหลที่ทำให้เม็ดของแข็งลอยตัวหลุดออกจากหอตกลง

$$U_t = \left\{ 3.1g \left[(\rho_p - \rho_f) / \rho_f \right] d_p \right\}^{0.5}$$

$$= \left\{ 3.1 \times 9.81 \times \left[(1219.5 - 1.181) / 1.181 \right] \times 0.00735 \right\}^{0.5}$$

$$U_t = 15.81 \text{ m/s}$$

4.6 การคำนวณความดันสูญเสียในท่อตรงคำนวณจากสมการ Darcy-Weisbach คือ

$$\Delta P = f_D (L/D) (V/1.29)^2$$

พิจารณา $Re = \rho V D / \mu$ สำหรับท่อในงานวิจัยเป็นท่อแอสตันเลส เป็นท่อผิวเรียบ

$$Re = \frac{1.181 \times 15.81 \times 0.1}{2 \times 10^{-5}} = 89637.9$$

หาค่า f_D จาก moody diagram, = 0.018

$$\Delta P = 0.018 \left(\frac{1.5}{0.1} \right) \left(\frac{15.18}{1.29} \right)^2$$

$$\Delta P = 37.387 \text{ N/m}^2$$

4.7 การคำนวณความดันสูญเสียย่อยต่างๆ เช่น ข้ออ วาล์ว

-ความดันสูญเสียจากข้ออ; $R/D = 0.5$, $K = 0.9$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\Delta P &= K\left(\frac{V}{1.29}\right)^2 \\ &= 0.9\left(\frac{15.18}{1.29}\right)^2 \\ &= 124.625 \text{ N/m}^2\end{aligned}$$

- ความดันสูญเสียที่วาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly valve) ค่า $K=5.1$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 5.1\left(\frac{15.18}{1.29}\right)^2 \\ &= 706.21 \text{ N/m}^2\end{aligned}$$

- ความดันสูญเสียรวมของระบบทั้งหมด

$$\begin{aligned}\Delta P_t &= 840 + 84 + 37.384 + 124.625 + 706.21 \\ &= 1792.22 \text{ N/m}^2\end{aligned}$$

จากค่า ΔP_t ที่ได้เท่ากับ 1792.22 N/m^2 คิดเป็นกำลังไฟฟ้าของ Blower ที่ใช้ในการวิจัย

$$\begin{aligned}\text{Power, } P &= Q \times \Delta P_t \\ &= \frac{\pi}{4} \times (0.1)^2 \times 15.18 \times 1792.22 \\ &= 213.67 \text{ watt}\end{aligned}$$

และจากค่าความดันสูญเสียรวม ΔP_t คิดเป็นความดันสถิต (Static pressure, P_s) ดังนี้คือ

$$\Delta P_t = P_s + P_v$$

.หรือ $P_s = \Delta P_t - P_v$

จากสมการของ $P_v = \left(\frac{V}{1.29}\right)^2 : V = Ut$ ณ เส้นใยสูงสุดของการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad P_v &= \left(\frac{15.18}{1.29}\right)^2 \\ &= 138.47 \text{ N/m}^2 \\ \text{ดังนั้น} \quad P_s &= 1792.22 - 138.47 \\ &= 1653.747 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

4.8 ปริมาณความร้อนของขดลวดความร้อนหาจากสมการ

$$\begin{aligned} Q_1 &= m C_{p, \text{Air}} (T_2 - T_1) \\ &= \rho V A C_{p, \text{Air}} (T_2 - T_1) \\ &= 1.181 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \times 7 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \times \frac{\pi}{4} (0.1)^2 (\text{m}^2) \times 1,005 \left(\frac{\text{KJ}}{\text{kg.k}}\right) (120 - 27) \\ &= 6,070 \text{ W} \\ \rho_{\text{Air}} &= \text{ความหนาแน่นของอากาศ} \left(1.181 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \\ V &= \text{ความเร็วของอากาศสูงสุดที่เข้าห้องอบ} (7 \text{ m/s}) \\ C_{p, \text{air}} &= \text{ค่าความร้อนจำเพาะอากาศ} \left(1,005 \frac{\text{J}}{\text{kg.k}}\right) \\ T_1 &= \text{อุณหภูมิอากาศโดยรอบ} 27^\circ\text{C} \\ T_2 &= \text{อุณหภูมิเข้าห้องอบสูงสุด} 120^\circ\text{C} \end{aligned}$$

4.9 ปริมาณพลังงานของไมโครเวฟ

เนื่องจากไมโครเวฟที่ใช้คือ Sumsung รุ่น M197DN พลังงาน Input Magnetron 1400 Watt ซึ่งทำให้น้ำที่มีน้ำหนัก 0.18 กิโลกรัม ร้อนขึ้นจากอุณหภูมิ 27.8°C เป็น 95.1 °C ในเวลา 90

วินาที เมื่อค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ $C_{p, \text{water}} = 4,180 \frac{\text{J}}{\text{kg.k}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_2 = \frac{mC_{p,\text{water}} (T_2 - T_1)}{t}$$

$$= \frac{[0.18 \times 4,180 \times (95.1 - 27.8)]}{90}$$

$$= 563 \text{ W}$$

4.10 ปริมาณพลังงานทั้งหมดในระบบ

เนื่องจากพลังงานให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์มี 2 แหล่ง คือ อากาศร้อนและพลังงานคลื่นไมโครเวฟ ดังนั้นพลังงานที่ผลิตภัณฑ์ได้รับเมื่อเปิดพลังงานทั้งหมดได้แก่

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2$$

$$= 6,070 + 563$$

$$= 6633 \text{ W}$$



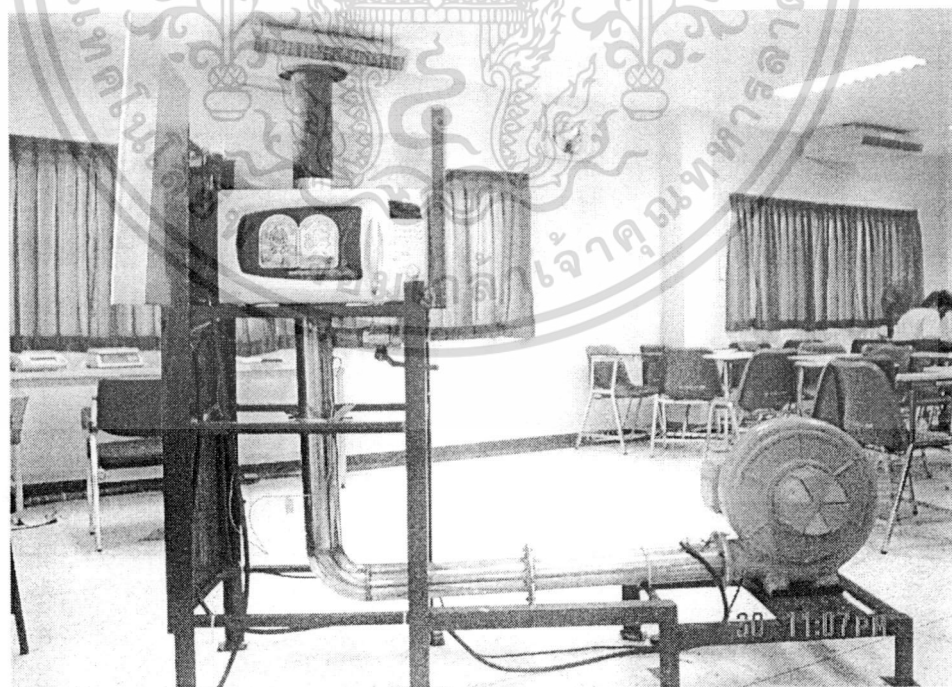
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

อุปกรณ์การทดลอง

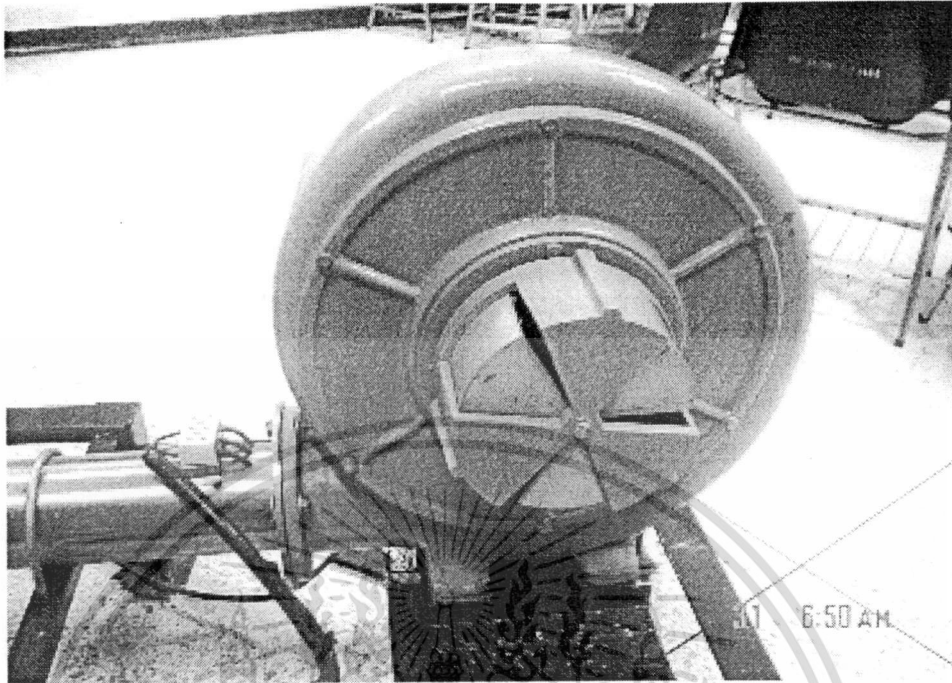
5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1). Thermocouple Type J
- 2). Blower 2 hp
- 3). Heater 15 KW 3 phase
- 4). ไมโครเวฟ 2450 MHz
- 5). หลอดแก้วทนความร้อน เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 cm
- 6). Watt meter 3 phase
- 7). Anemometer
- 8). ไมโครเวฟเซอร์เวย์มิเตอร์
- 9). เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 10). ชุดควบคุมอุณหภูมิ
- 11). ท่อลมร้อน
- 12). Ball valve
- 13). วาล์วบายพาส

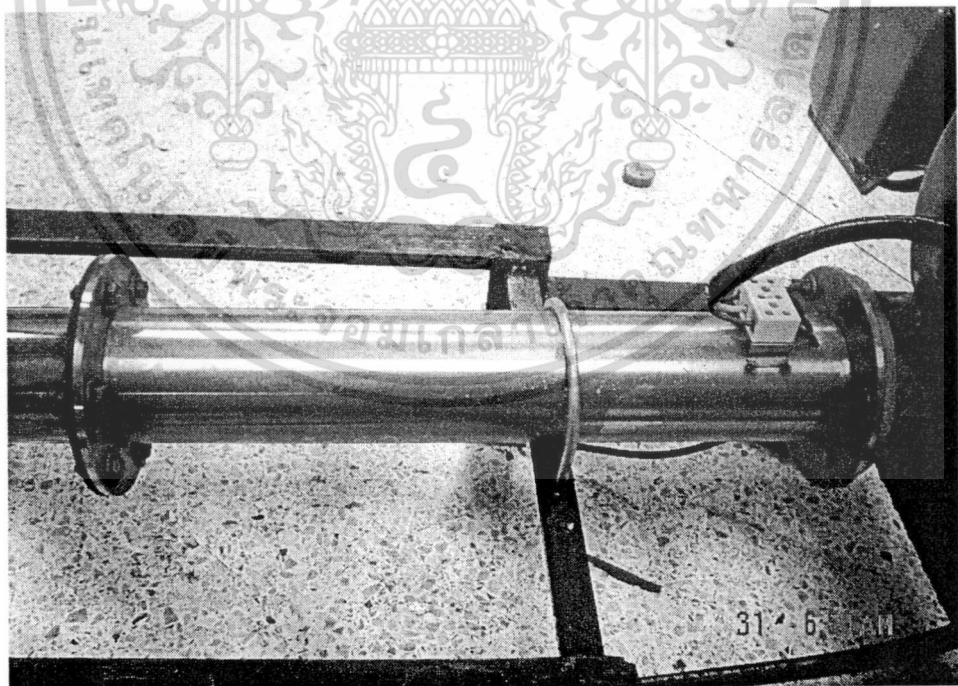


รูปที่ 5.1 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

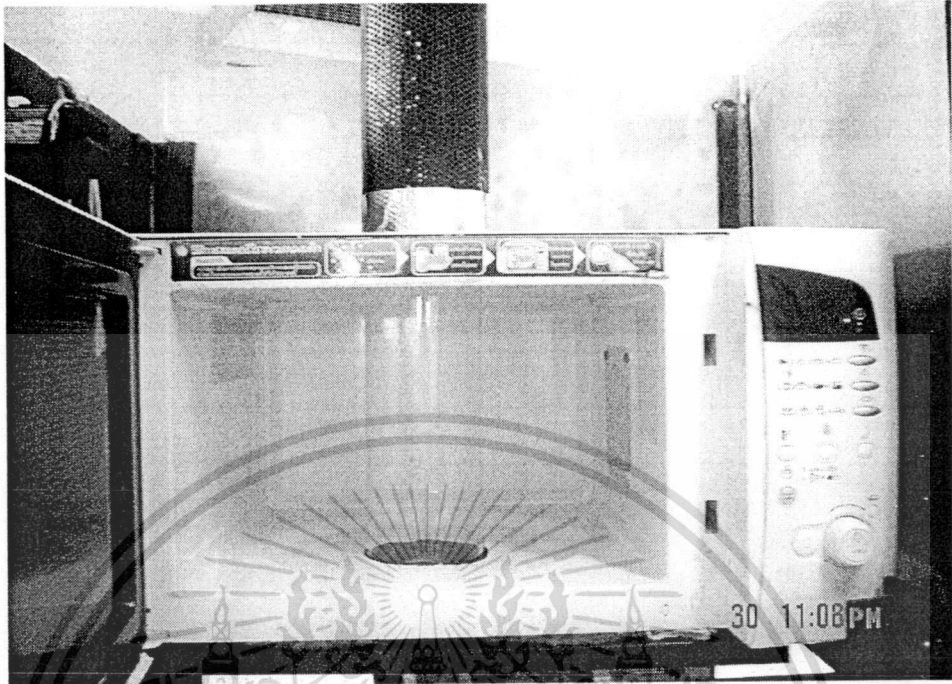


รูปที่ 5.2 Blower

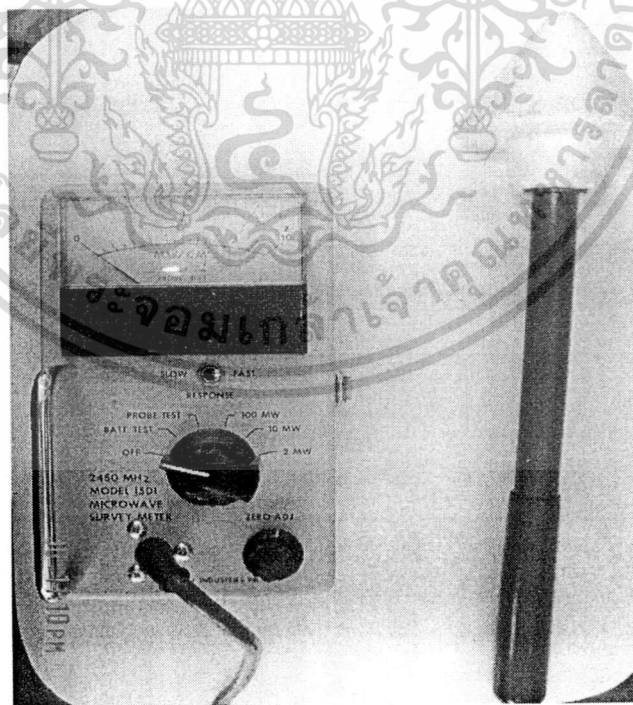


รูปที่ 5.3 Heater

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 แสดงภายในของไมโครเวฟที่ทำการดัดแปลง



รูปที่ 5.5 ไมโครเวฟเซอร์เวย์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

วิธีการทดลองและผลการทดลอง

6.1 วิธีการทดลองกรณีที่ใช้ฟลูอิดไดซ์เบด

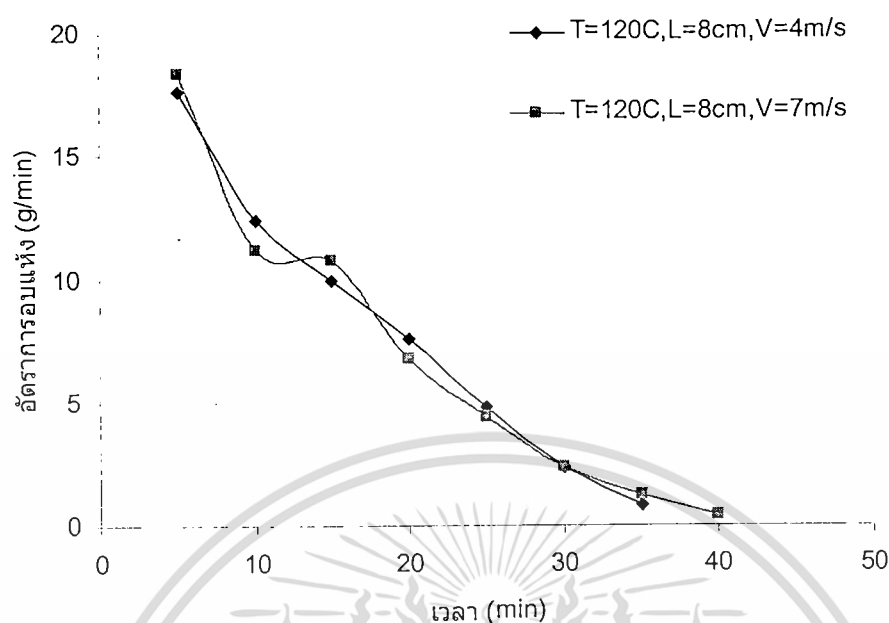
- 1). นำเมล็ดข้าวโพดที่จะทำการทดลองบรรจุลงในหอยทดลอง
- 2). ทำการเปิด blower แล้วทำการควบคุมความเร็วของกระแสลมให้ได้ตามต้องการ
- 3). เปิด heater เพื่อทำการอุ่นลมร้อนให้ได้อุณหภูมิตามต้องการ ในขณะที่เดียวกันจะต้องปิดวาล์วปีกผีเสื้อ เพื่อไม่ให้กระแสลมร้อนผ่านเข้าไปยังหอยทดลอง
- 4). เมื่ออุ่นกระแสลมร้อนได้อุณหภูมิตามที่ต้องการแล้ว ทำการเปิดวาล์วปีกผีเสื้อให้กระแสลมร้อนไหลผ่านเข้าไปยังหอยทดลองซึ่งมีข้าวโพดบรรจุอยู่
- 5). ทำการบันทึกผลการทดลอง ณ ช่วงเวลาและเงื่อนไขต่างๆที่ทำการทดลอง
- 6). นำค่าที่ได้จากการบันทึกไปคำนวณหาค่าต่างๆที่ต้องการ

6.2 วิธีการทดลองกรณีที่ใช้ฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับไมโครเวฟ

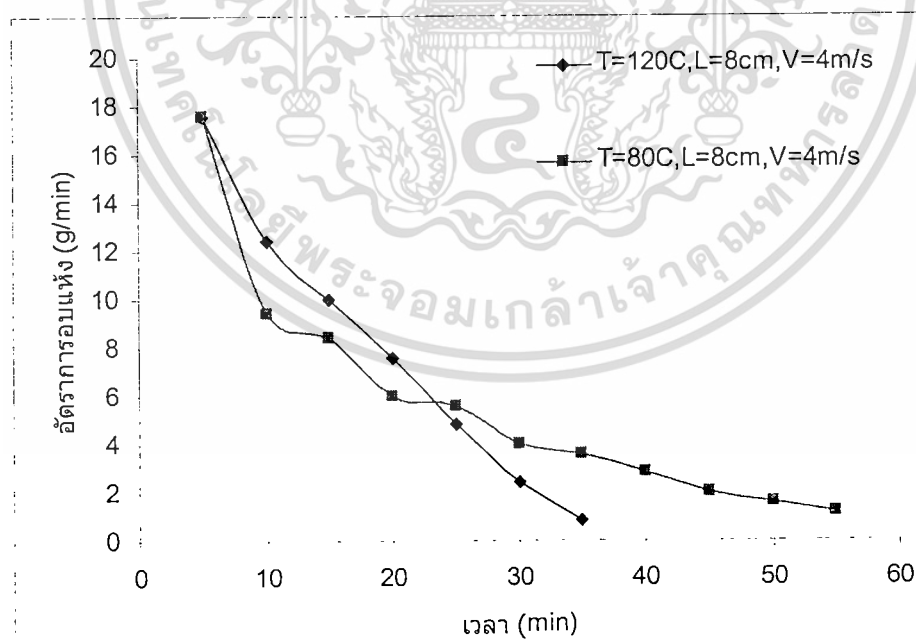
- 1). นำเมล็ดข้าวโพดที่จะทำการทดลองบรรจุลงในหอยทดลอง
- 2). ทำการเปิด blower แล้วทำการควบคุมความเร็วของกระแสลมให้ได้ตามต้องการ
- 3). เปิด heater เพื่อทำการอุ่นลมร้อนให้ได้อุณหภูมิตามต้องการ ในขณะที่เดียวกันจะต้องปิดวาล์วปีกผีเสื้อ เพื่อไม่ให้กระแสลมร้อนผ่านเข้าไปยังหอยทดลอง
- 4). เมื่ออุ่นกระแสลมร้อนได้อุณหภูมิตามที่ต้องการแล้ว ทำการเปิดวาล์วปีกผีเสื้อให้กระแสลมร้อนไหลผ่านเข้าไปยังหอยทดลองซึ่งมีข้าวโพดบรรจุอยู่ พร้อมกันนั้นให้ทำการเปิดไมโครเวฟควบคู่ไปด้วย
- 5). ทำการบันทึกผลการทดลอง ณ ช่วงเวลาและเงื่อนไขต่างๆที่ทำการทดลอง
- 6). นำค่าที่ได้จากการบันทึกไปคำนวณหาค่าต่างๆที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 ผลการทดลอง

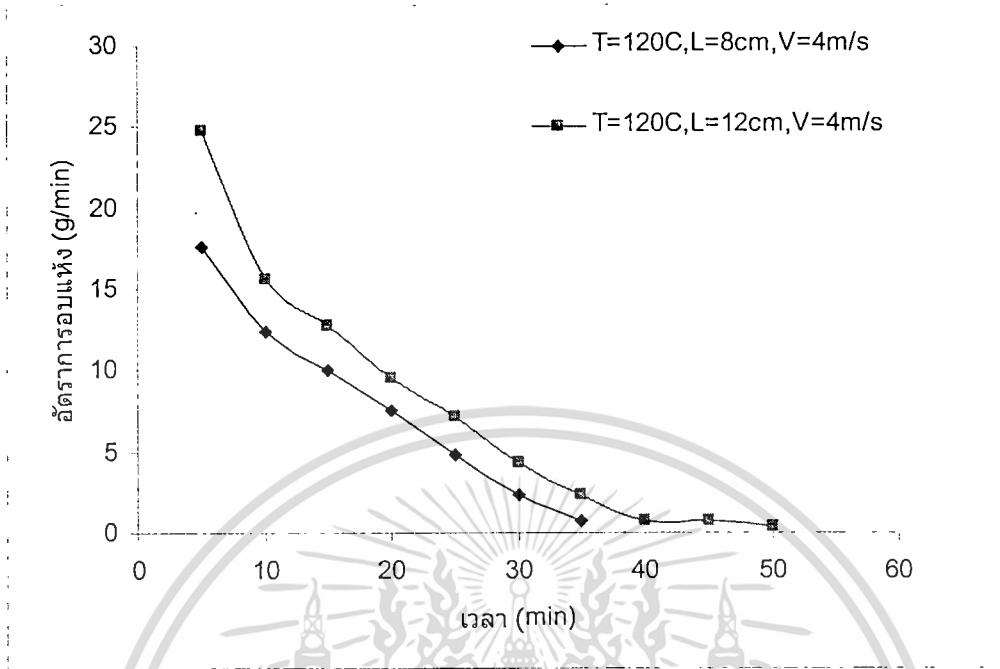


รูปที่ 6.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C ความสูงเบต 8 cm เปลี่ยนค่าความเร็วลม

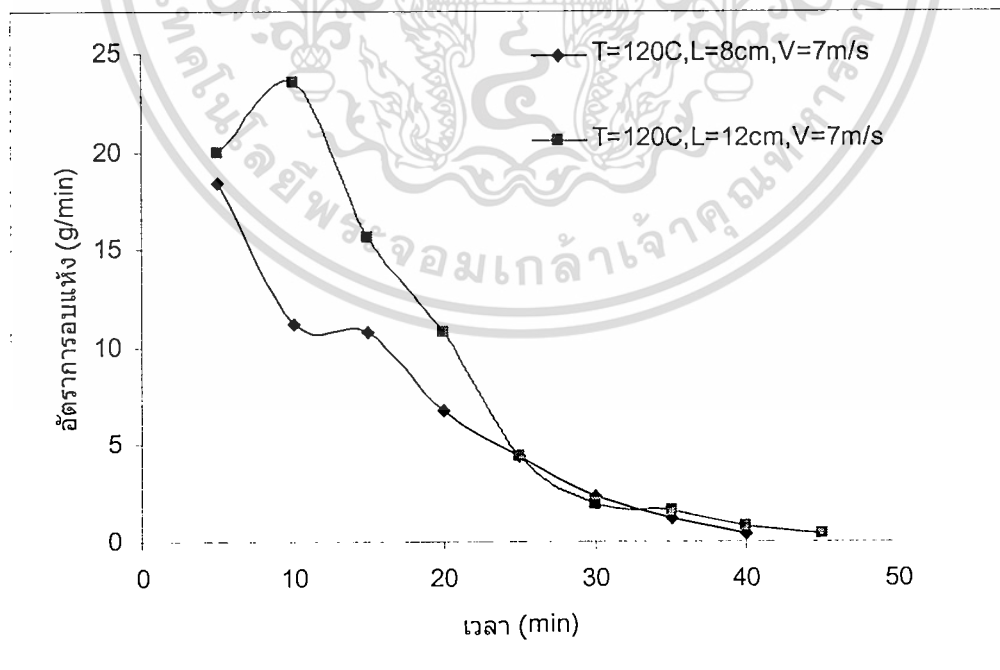


รูปที่ 6.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่ความสูงเบต 8 cm ความเร็วลม 4 m/s เปลี่ยนค่าอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

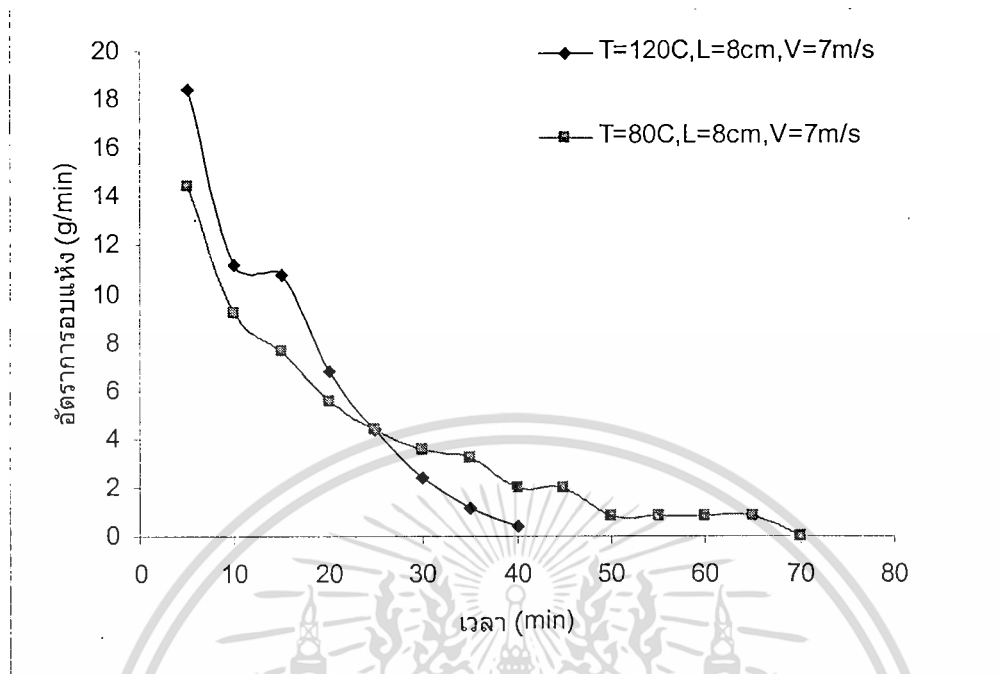


รูปที่ 6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วลม 4 m/s เปลี่ยนค่าความสูงเบด

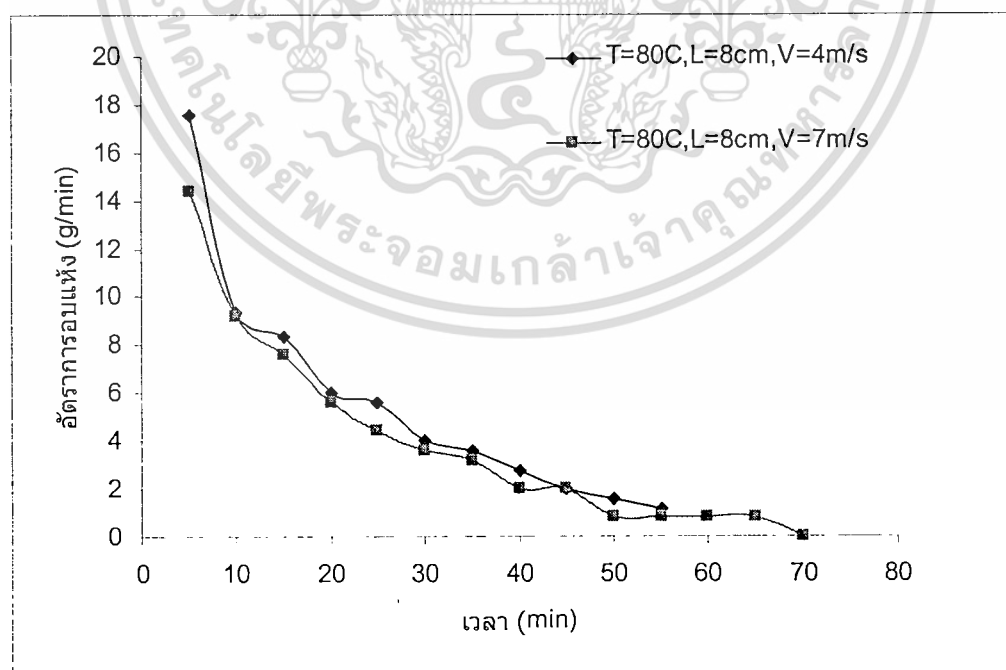


รูปที่ 6.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

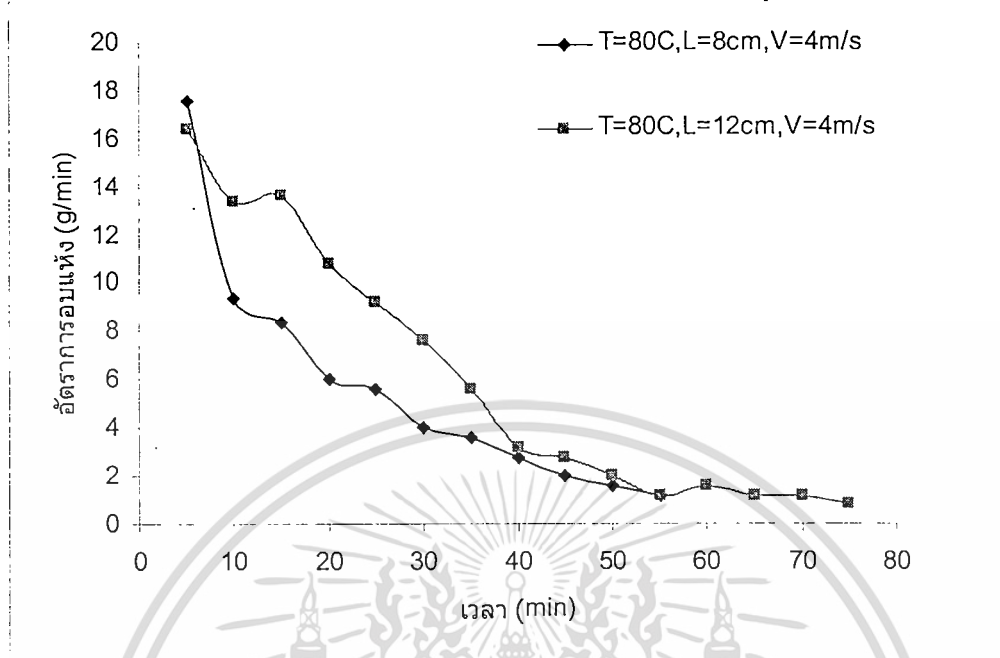


รูปที่ 6.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่มีความสูงเบด 8 cm ความเร็วลม 7 m/s เปลี่ยนค่าอุณหภูมิ

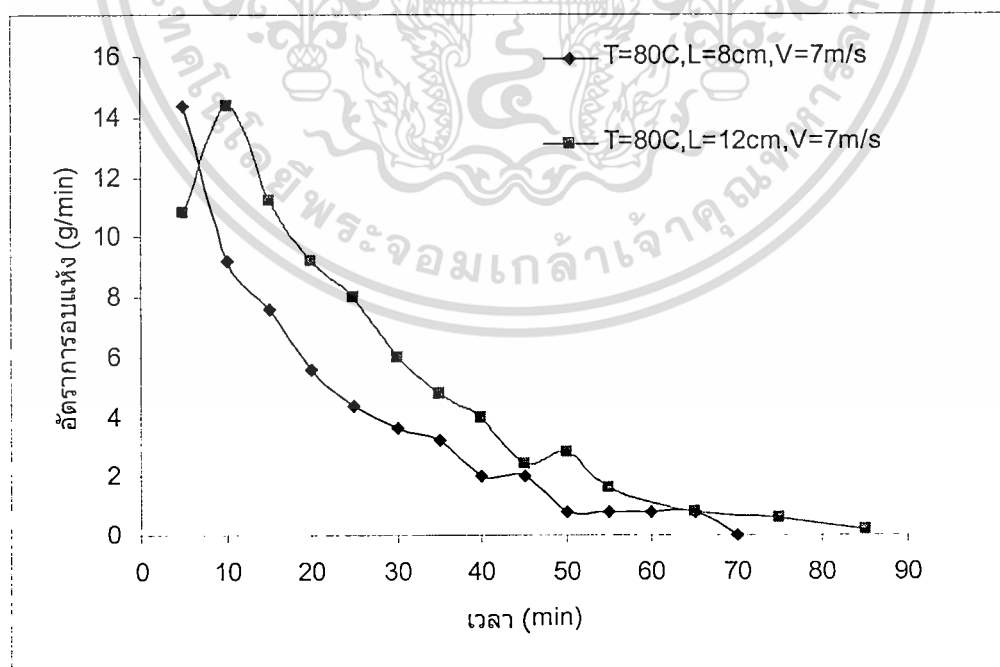


รูปที่ 6.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะงานวิจัยที่ดำเนินการโดยคณะผู้จัดทำเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

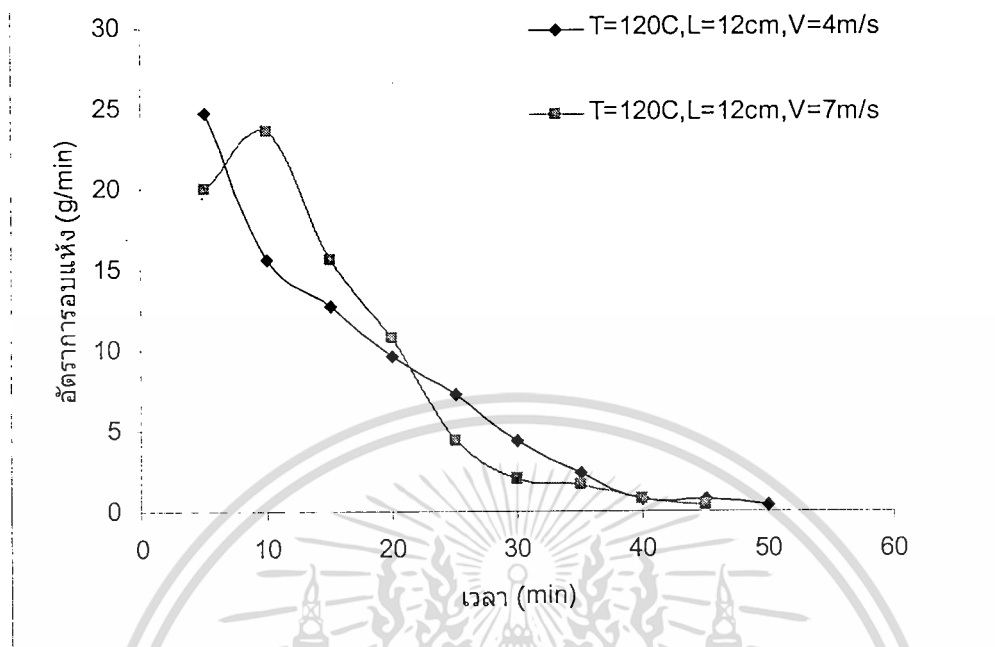


รูปที่ 6.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วลม 4 m/s เปลี่ยนค่าความสูงเบด

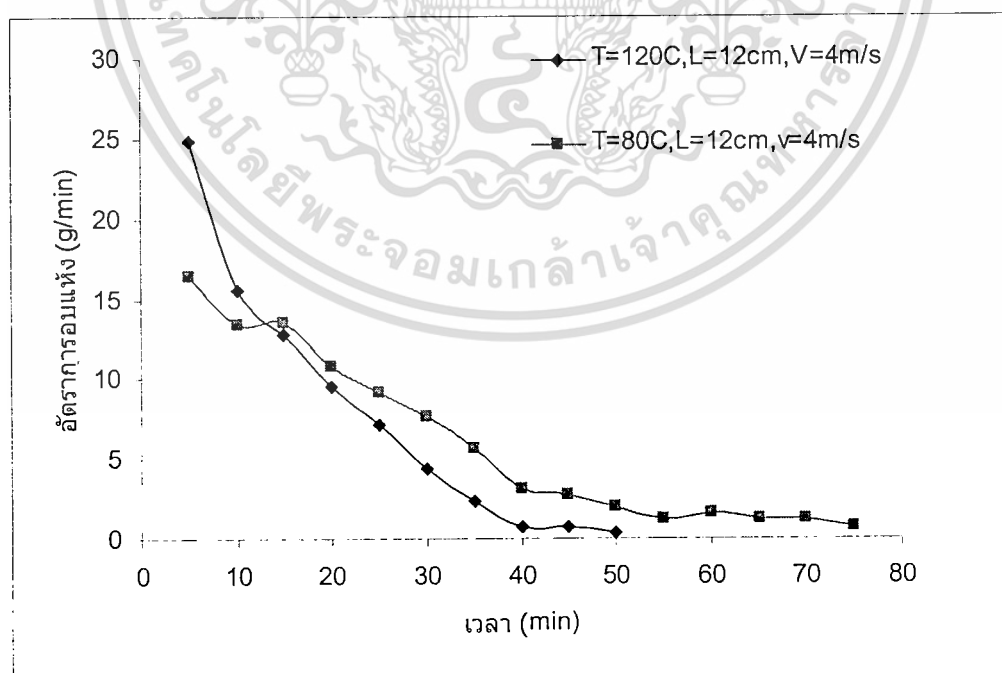


รูปที่ 6.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

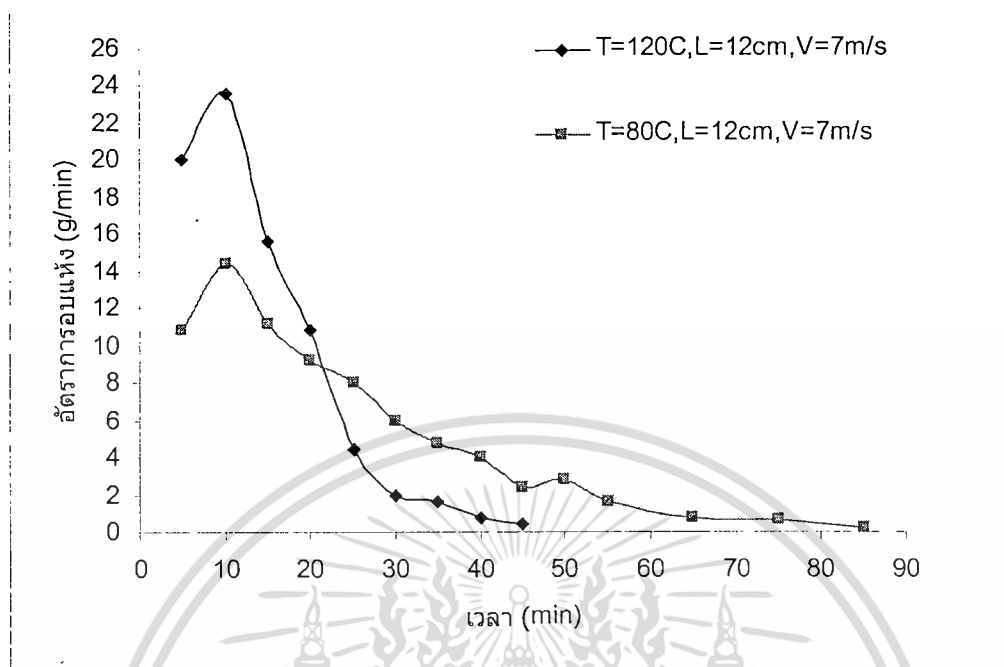


รูปที่ 6.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C ความสูงเบต 12 cm เปลี่ยนค่าความเร็วลม

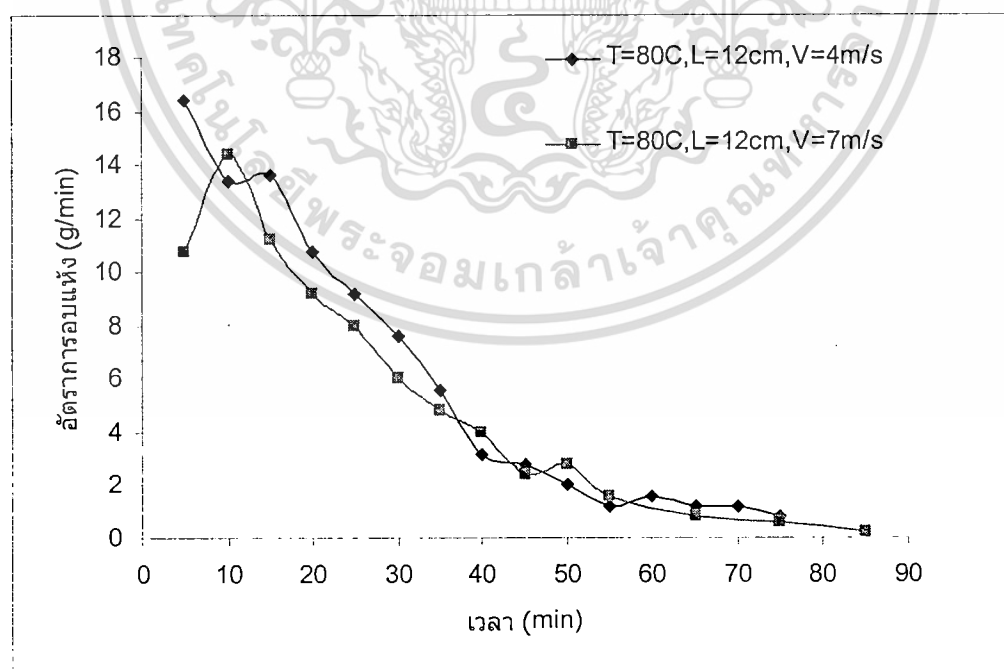


รูปที่ 6.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่ความสูงเบต 12 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับคณาจารย์ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



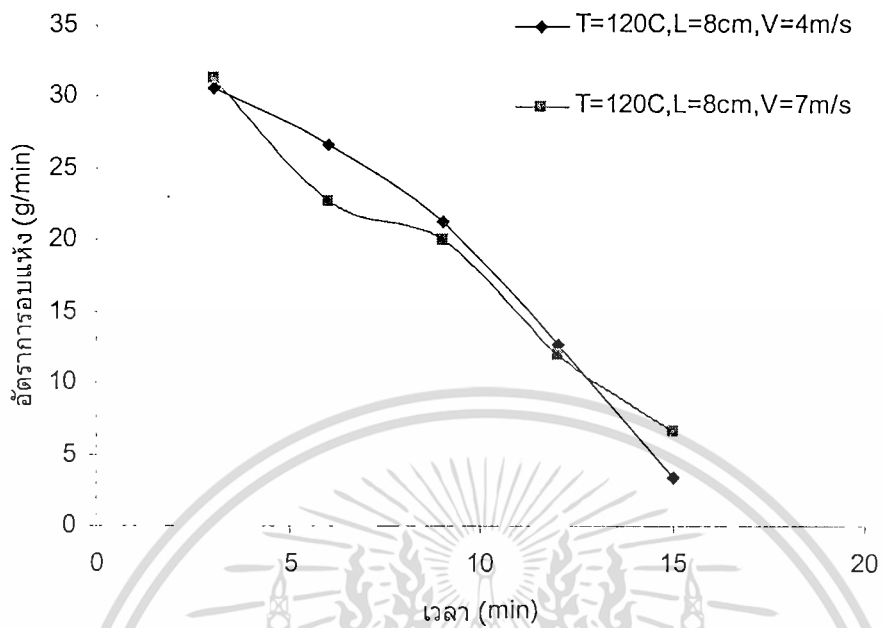
รูปที่ 6.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่ความสูงเบด 12 cm ความเร็วลม 7 m/s เปลี่ยนค่าอุณหภูมิ



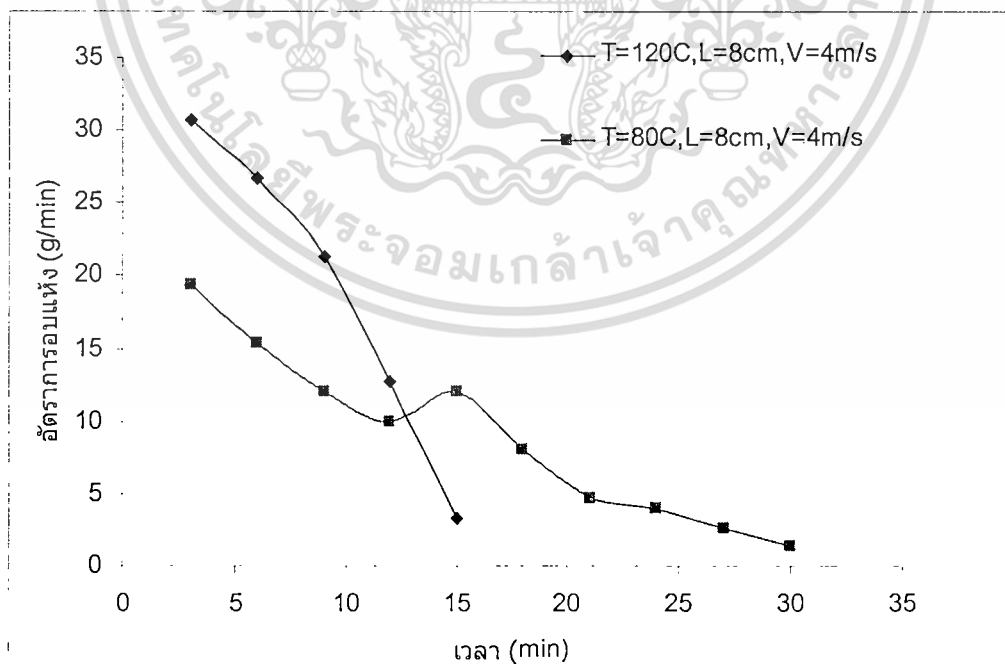
รูปที่ 6.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C

ความสูงเบด 12 cm เปลี่ยนค่าความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

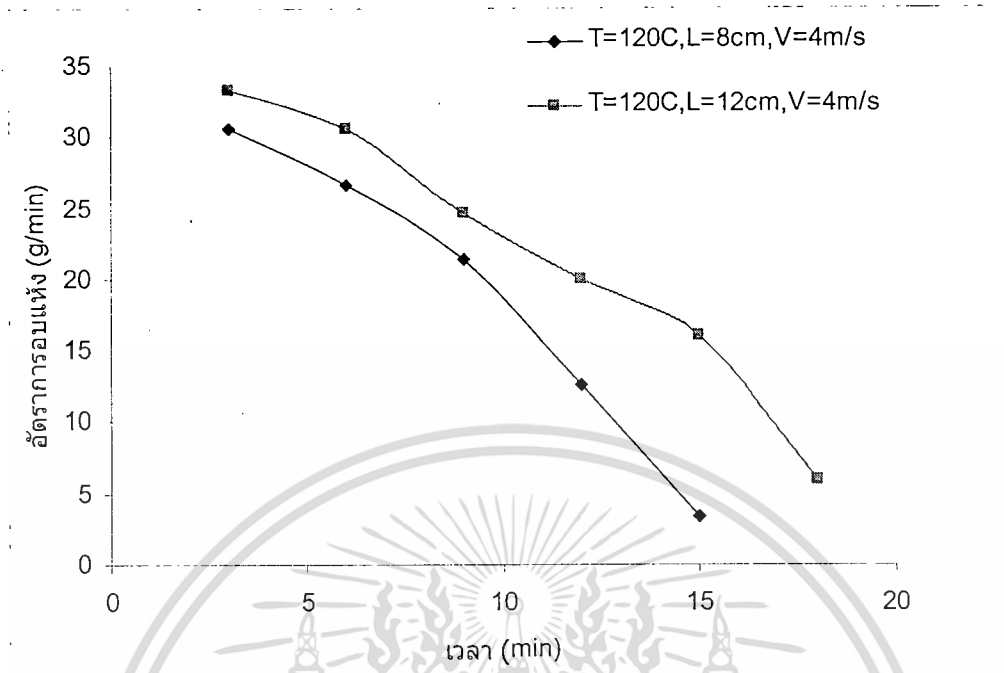


รูปที่ 6.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตกับเวลาที่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C ความสูงเบด 8 cm เปลี่ยนค่าความเร็วลม

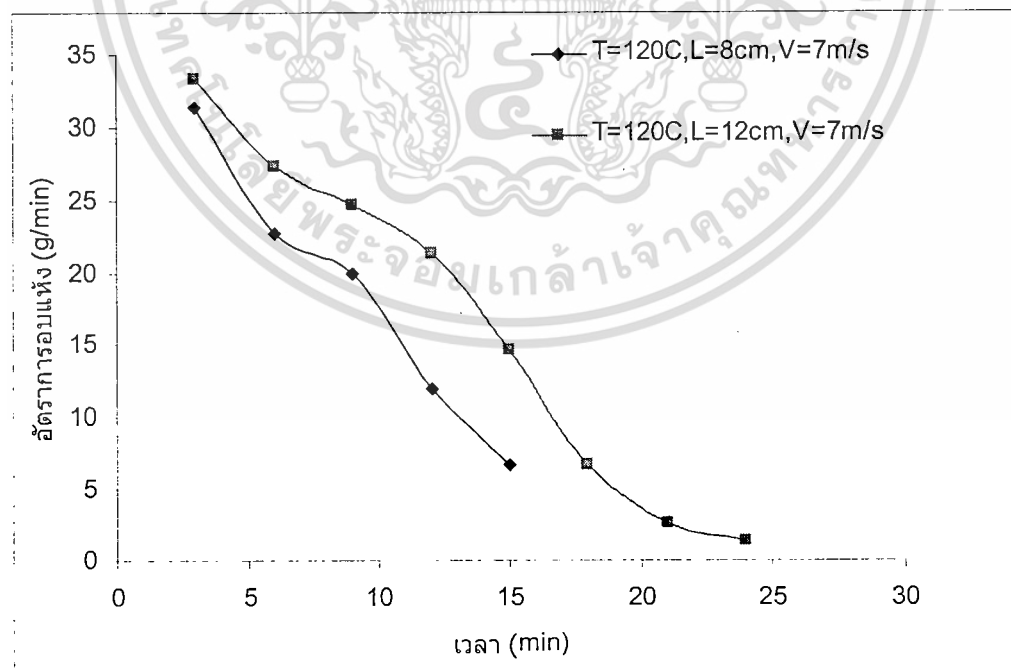


รูปที่ 6.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตกับเวลาที่มีไมโครเวฟที่ความสูงเบด 8 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกึ่งหนึ่งที่มีลิขสิทธิ์สงวนไว้ให้ผู้อื่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

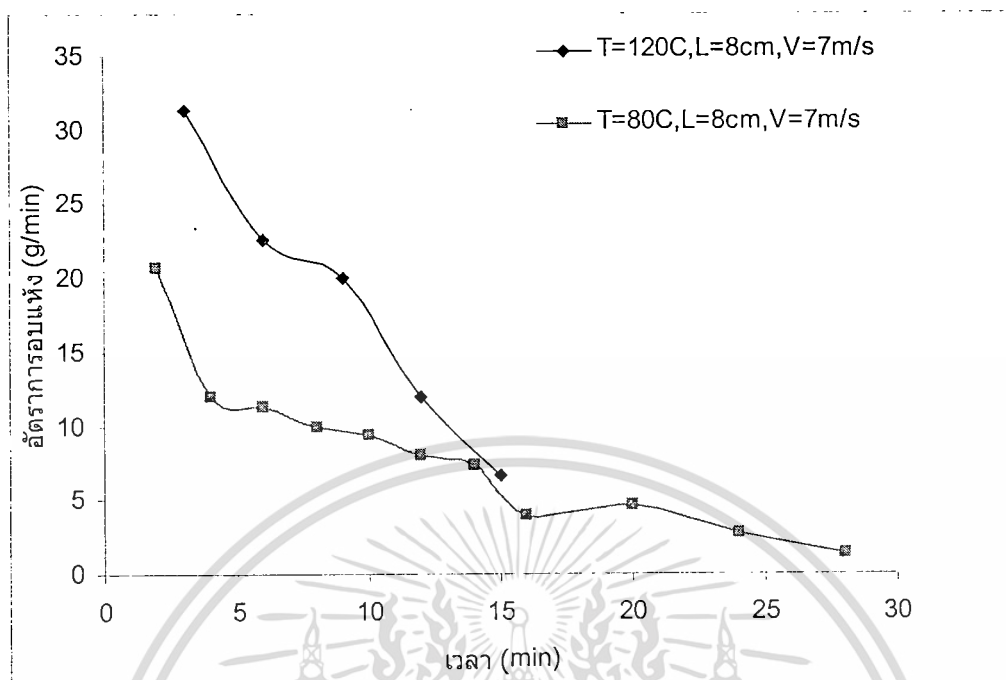


รูปที่ 6.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วลม 4 m/s เปลี่ยนค่าความสูงเบด

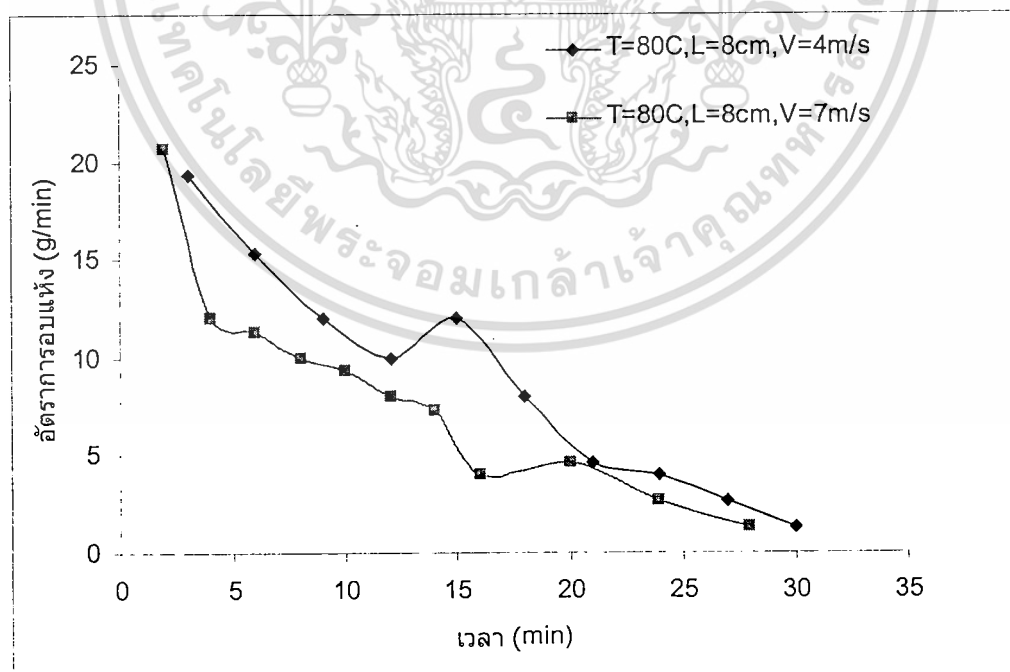


รูปที่ 6.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วลม 7 m/s เปลี่ยนค่าความสูงเบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



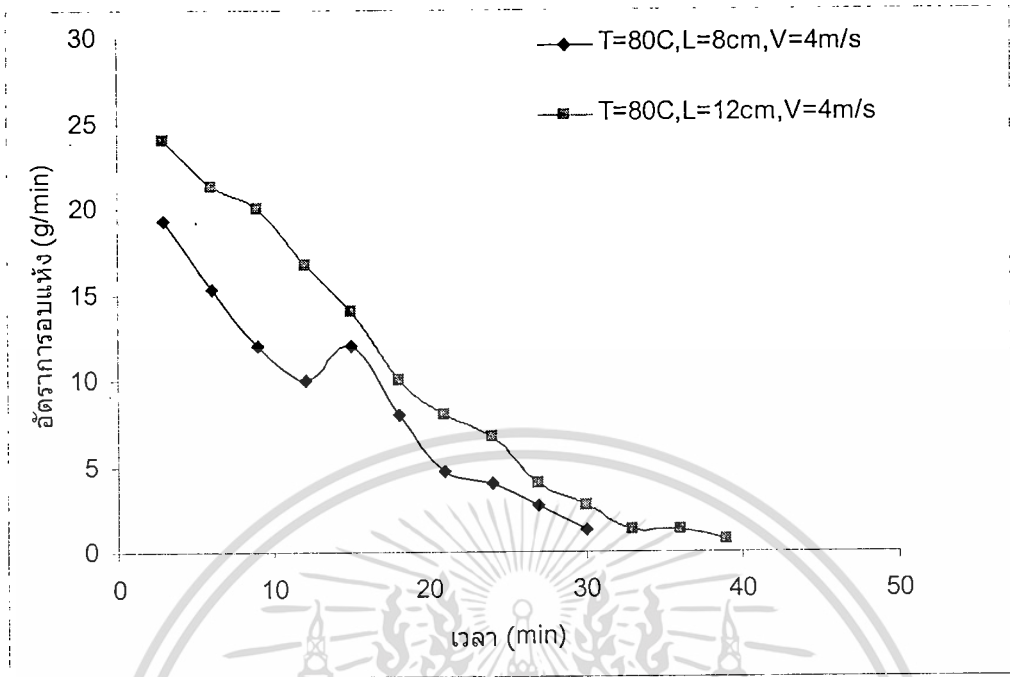
รูปที่ 6.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาไมโครเวฟที่ความสูงเบด 8 cm ความเร็วลม 7 m/s เปลี่ยนค่าอุณหภูมิ



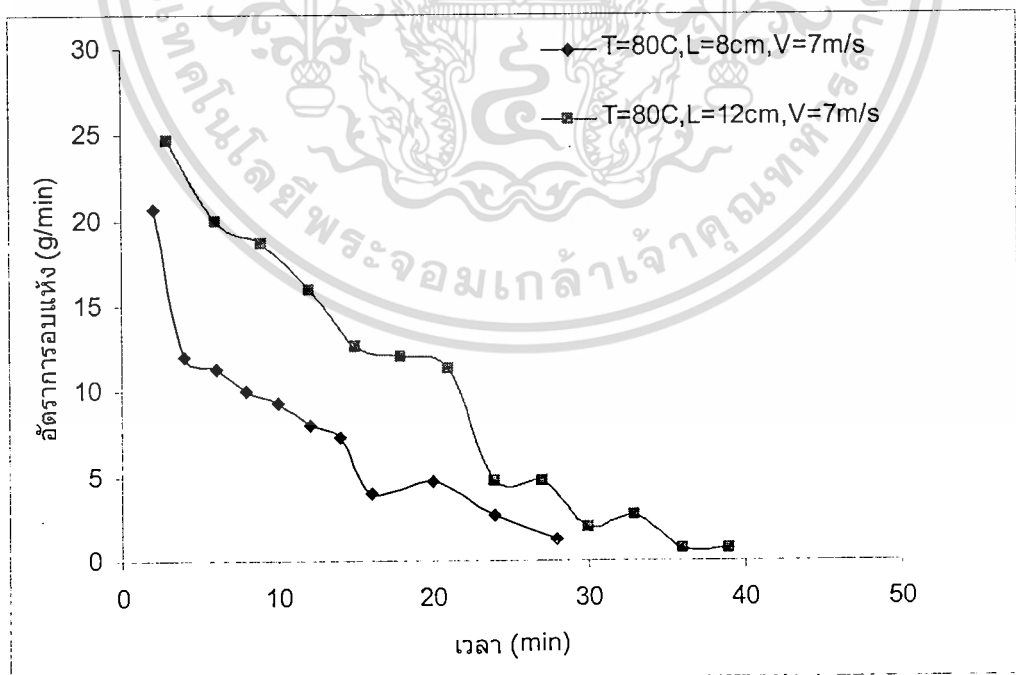
รูปที่ 6.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C

ความสูงเบด 8 cm เปลี่ยนค่าความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

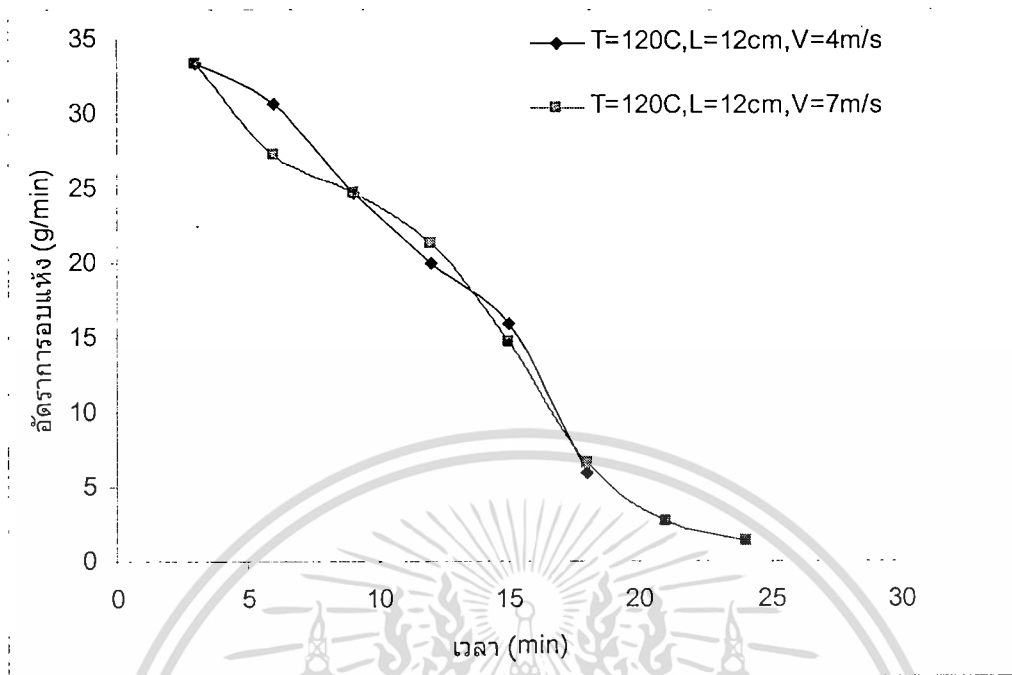


รูปที่ 6.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วลม 4 m/s เปลี่ยนค่าความสูงเบค

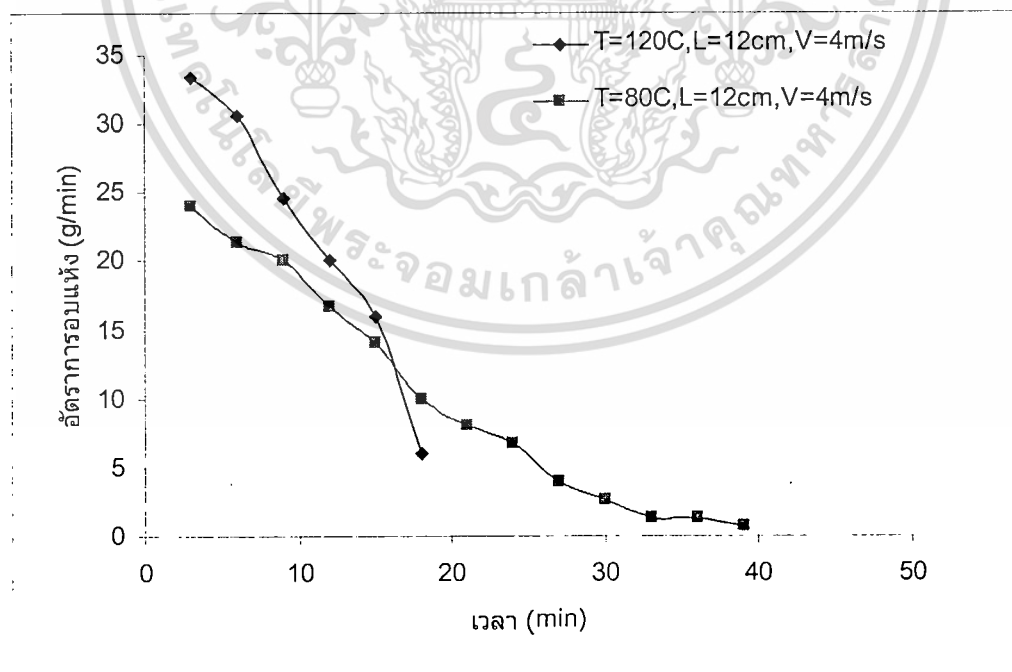


รูปที่ 6.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วลม 7 m/s เปลี่ยนค่าความสูงเบค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



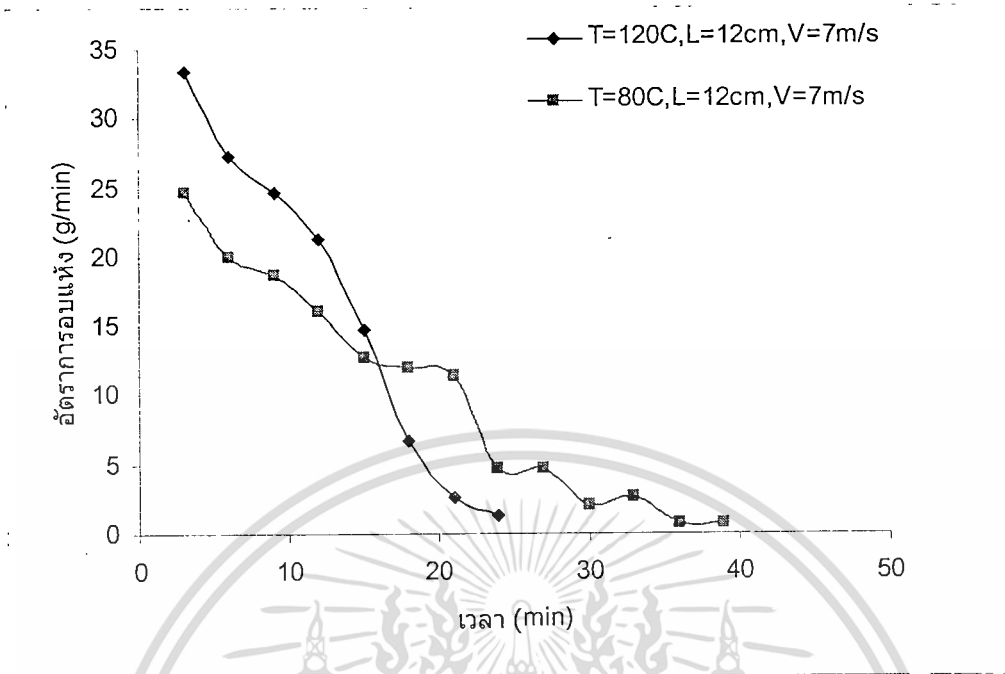
รูปที่ 6.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C ความสูงเบด 12 cm เปลี่ยนค่าความเร็วลม



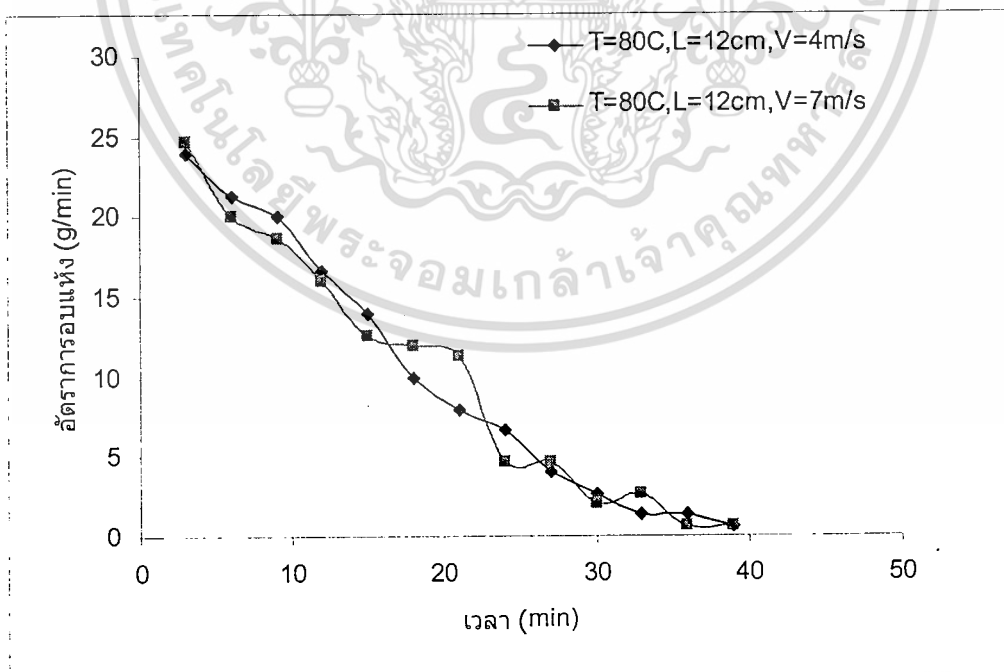
รูปที่ 6.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาไมโครเวฟที่ความสูงเบด 12 cm

ความเร็วลม 4 m/s เปลี่ยนค่าอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

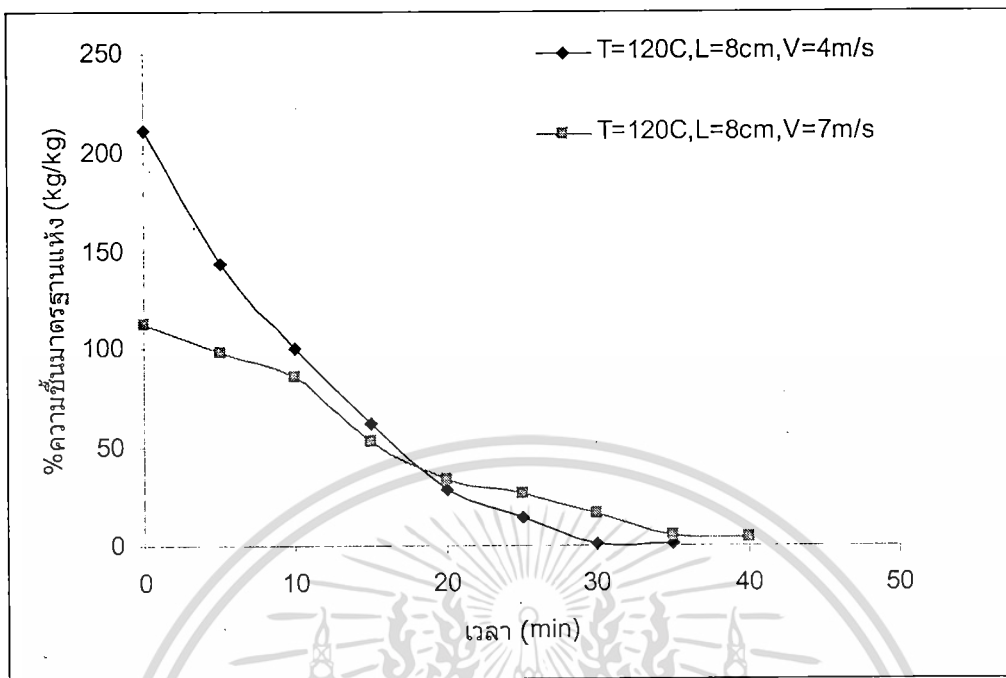


รูปที่ 6.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลามีไมโครเวฟที่ความสูงเบด 12 cm ความเร็วลม 7 m/s เปลี่ยนค่าอุณหภูมิ

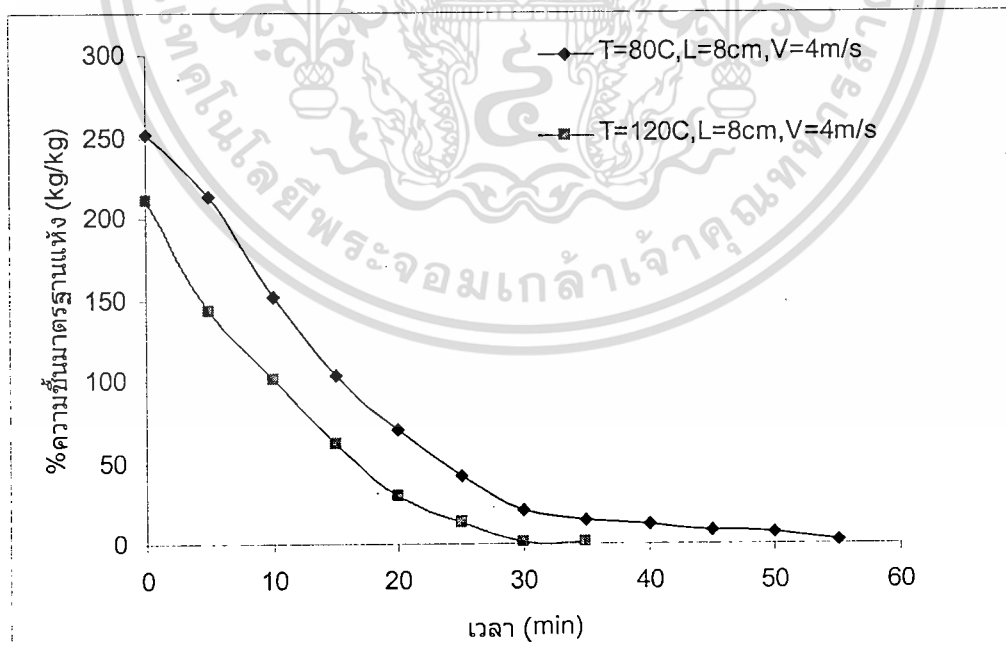


รูปที่ 6.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลามีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C ความสูงเบด 12 cm เปลี่ยนค่าความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

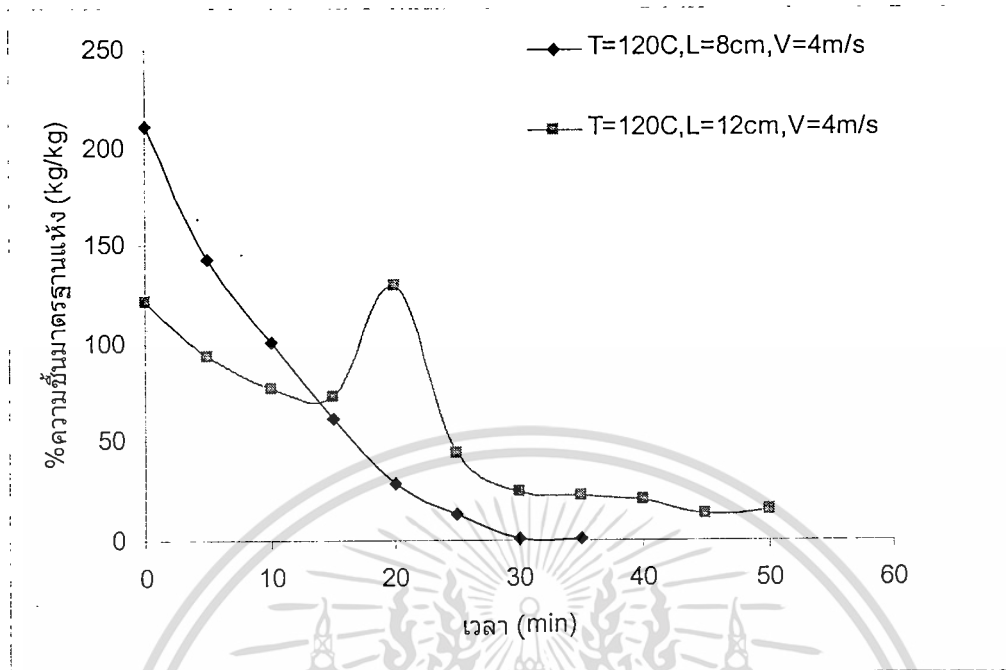


รูปที่ 6.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C ความสูงเบต 8 cm เปลี่ยนค่าความเร็วลม

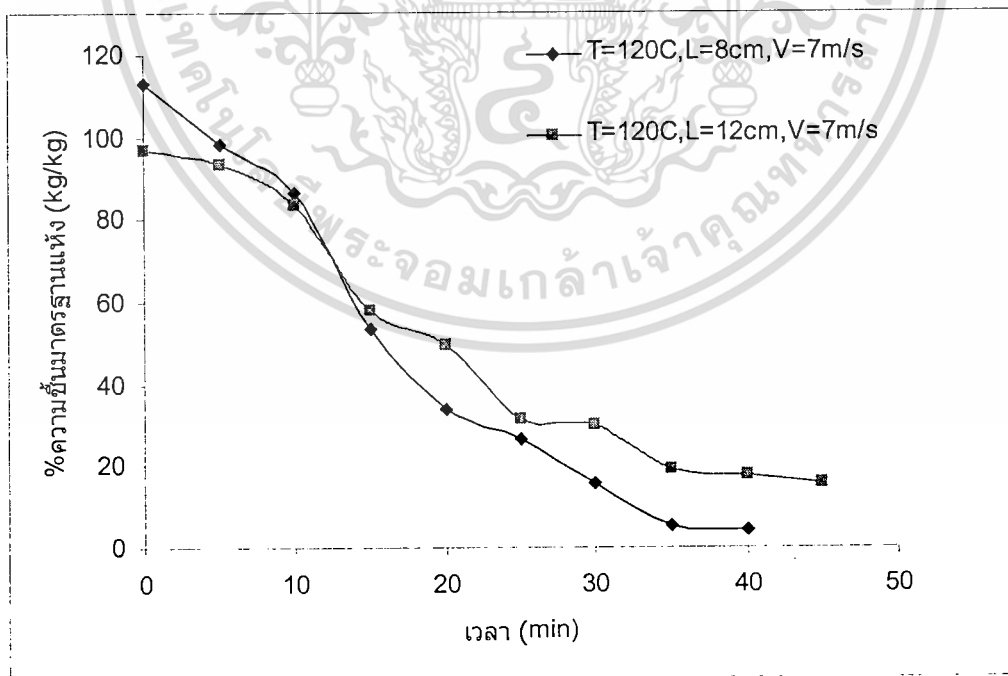


รูปที่ 6.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่ความสูงเบต 8 cm ความเร็วลม 4 m/s เปลี่ยนค่าอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

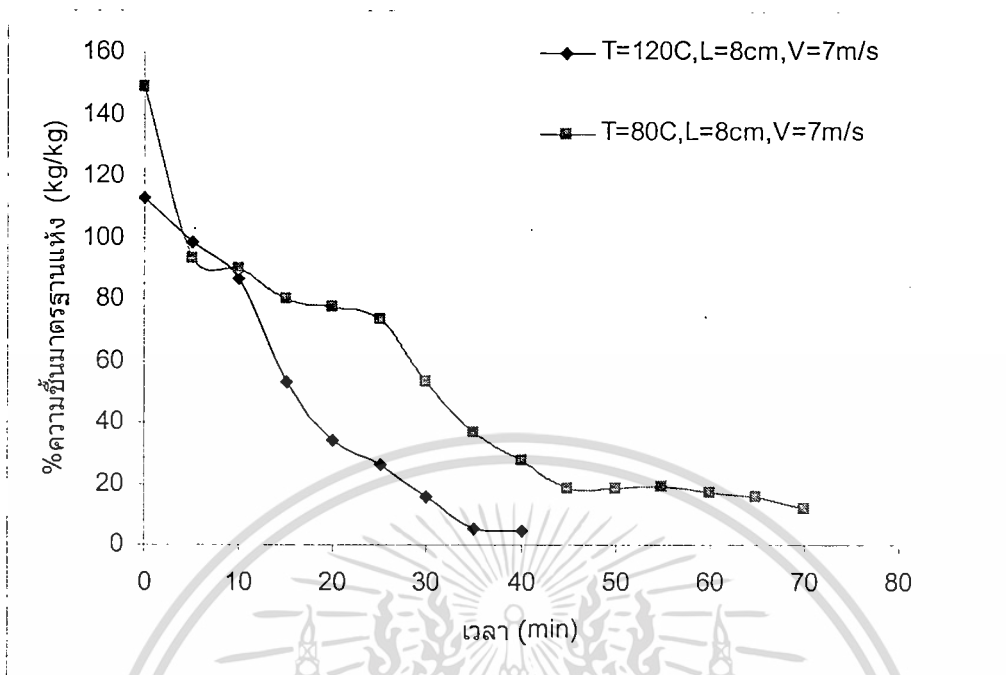


รูปที่ 6.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความขึ้นมาตรฐานแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วลม 4 m/s เปลี่ยนค่าความสูงเบด

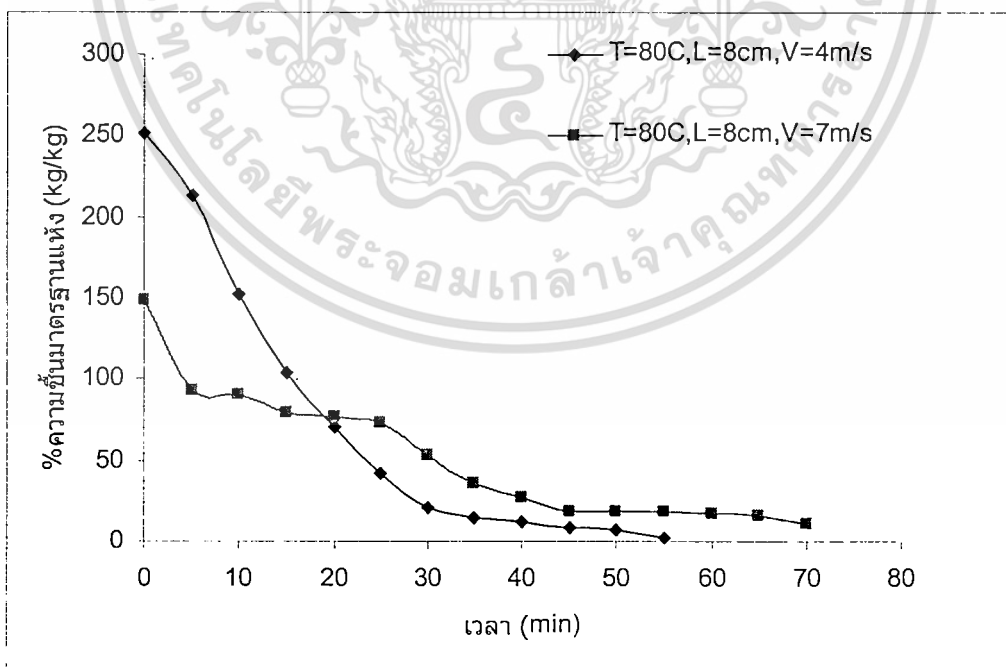


รูปที่ 6.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความขึ้นมาตรฐานแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วลม 7 m/s เปลี่ยนค่าความสูงเบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



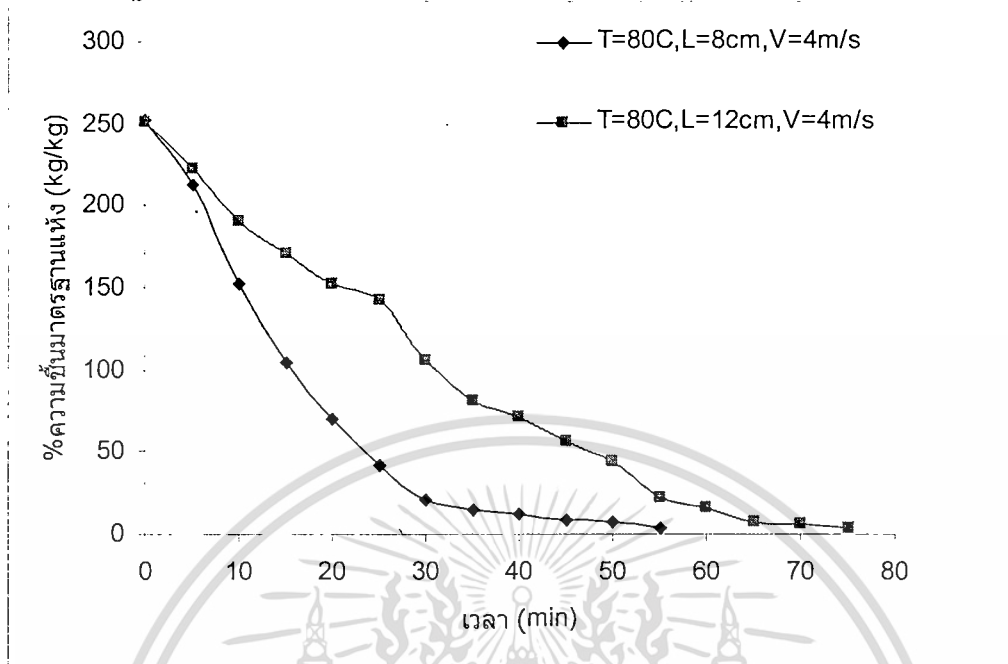
รูปที่ 6.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่ความสูงเบด 8 cm ความเร็วลม 7 m/s เปลี่ยนค่าอุณหภูมิ



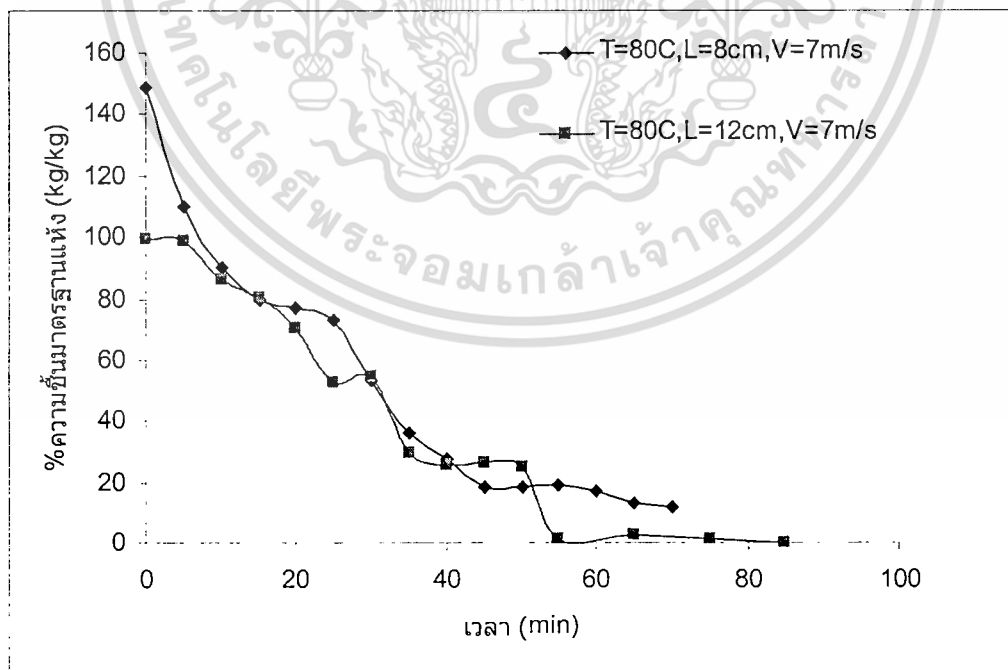
รูปที่ 6.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ

80°C ความสูงเบด 8 cm เปลี่ยนค่าความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

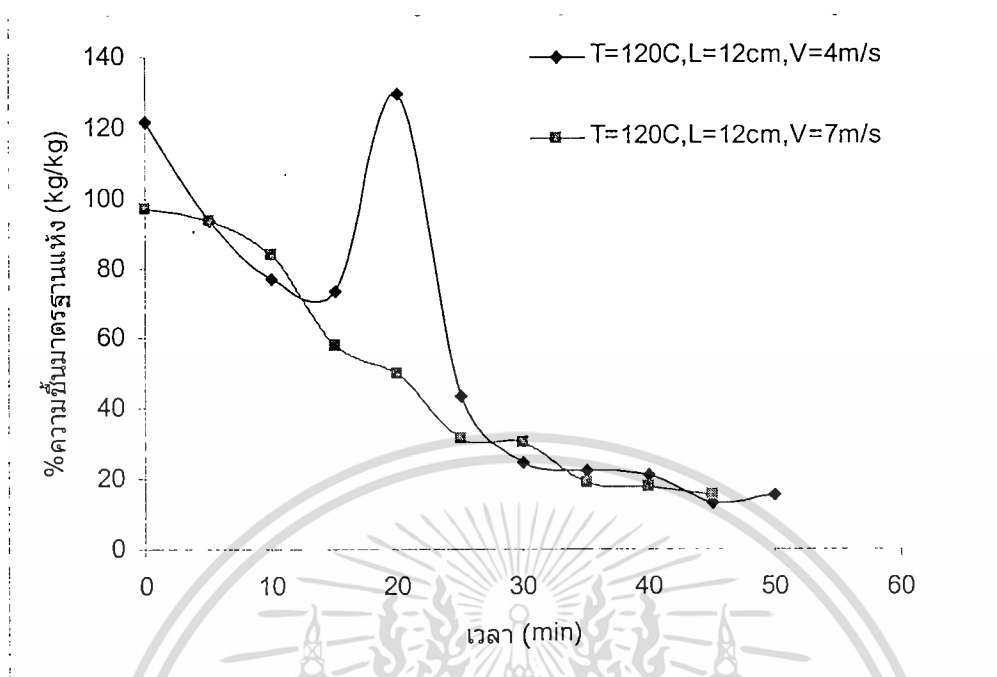


รูปที่ 6.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วลม 4 m/s เปลี่ยนค่าความสูงเบด

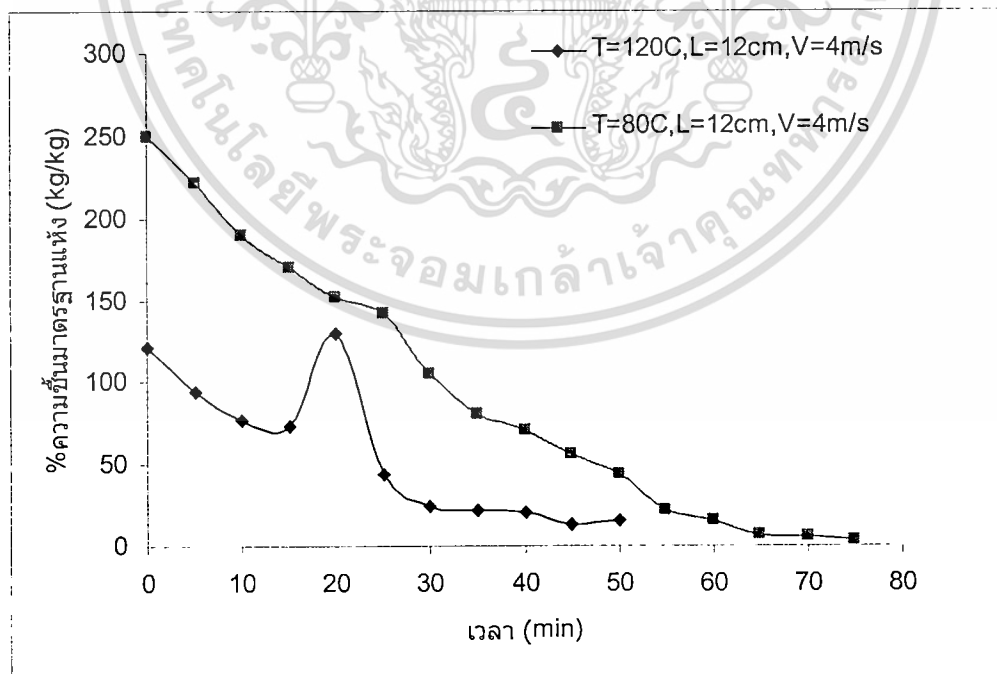


รูปที่ 6.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วลม 7 m/s เปลี่ยนค่าความสูงเบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

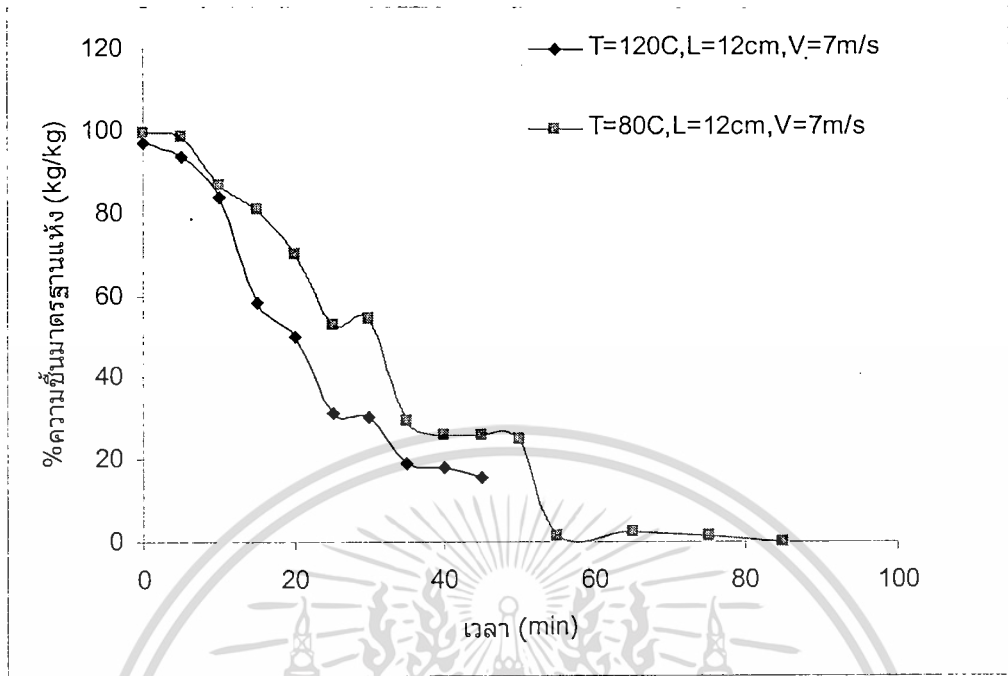


รูปที่ 6.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C ความสูงเบด 12 cm เปลี่ยนค่าความเร็วลม

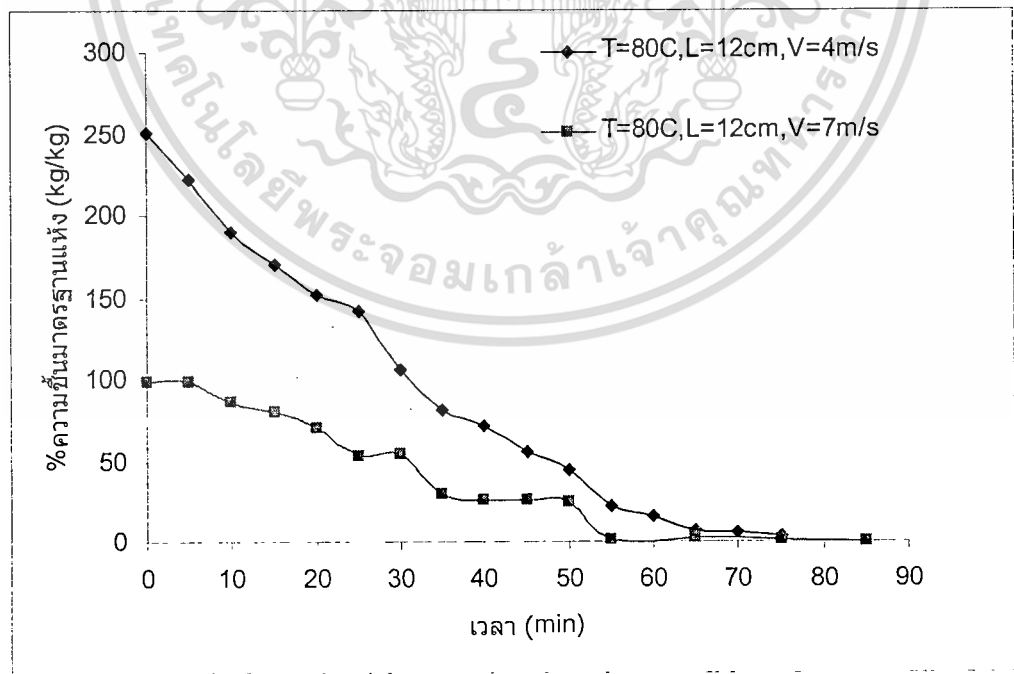


รูปที่ 6.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่ความสูงเบด 12 cm ความเร็วลม 4 m/s เปลี่ยนค่าอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



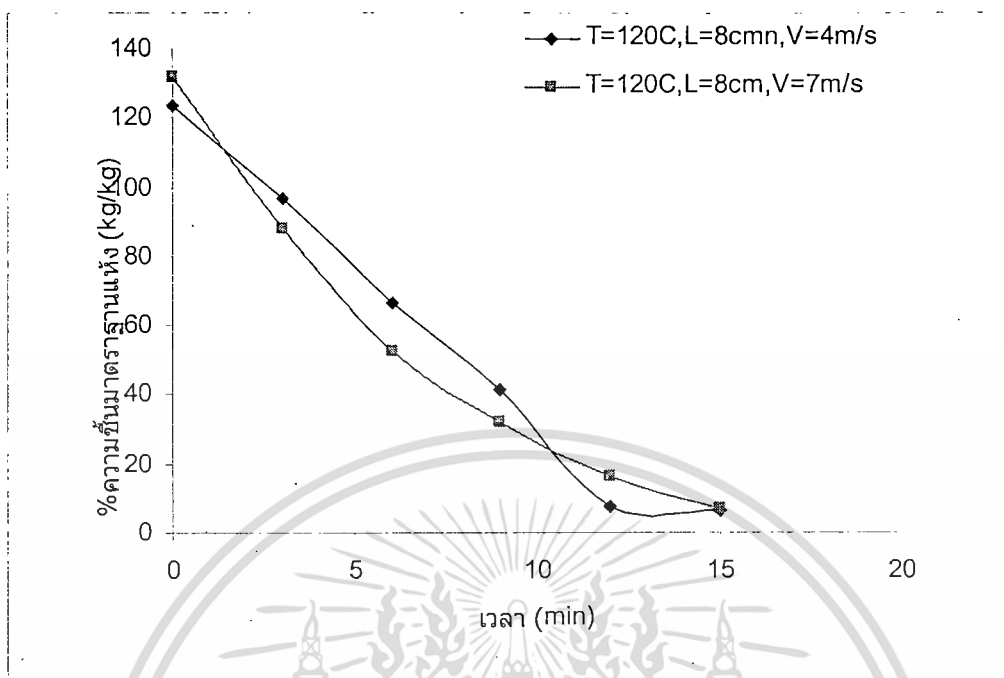
รูปที่ 6.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่ความสูงเบด 12 cm ความเร็วลม 7 m/s เปลี่ยนค่าอุณหภูมิ



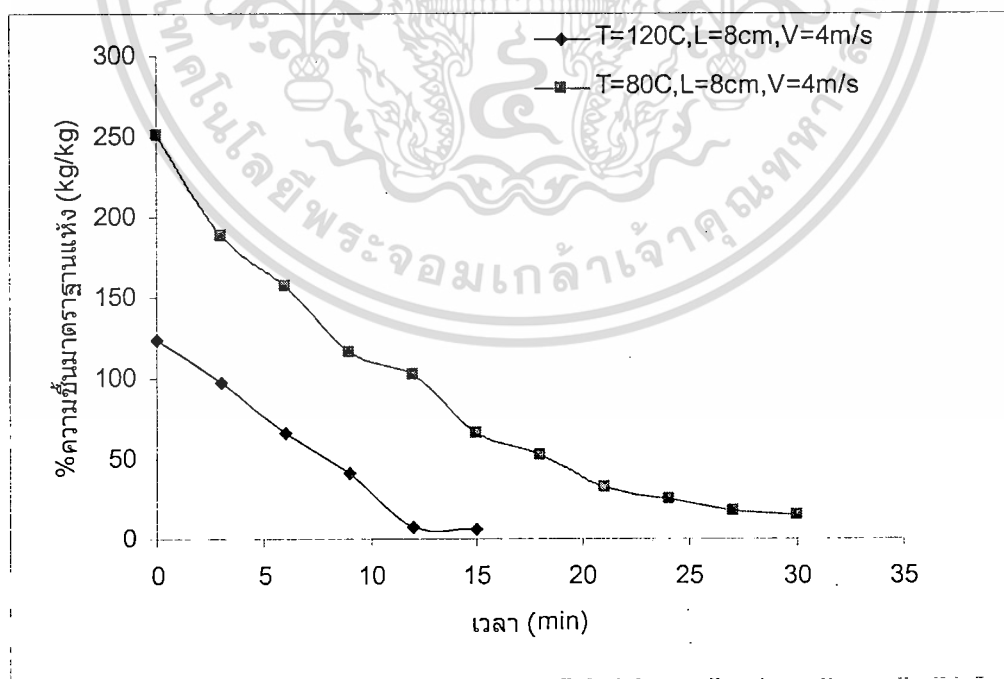
รูปที่ 6.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ

80°C ความสูงเบด 12 cm เปลี่ยนค่าความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

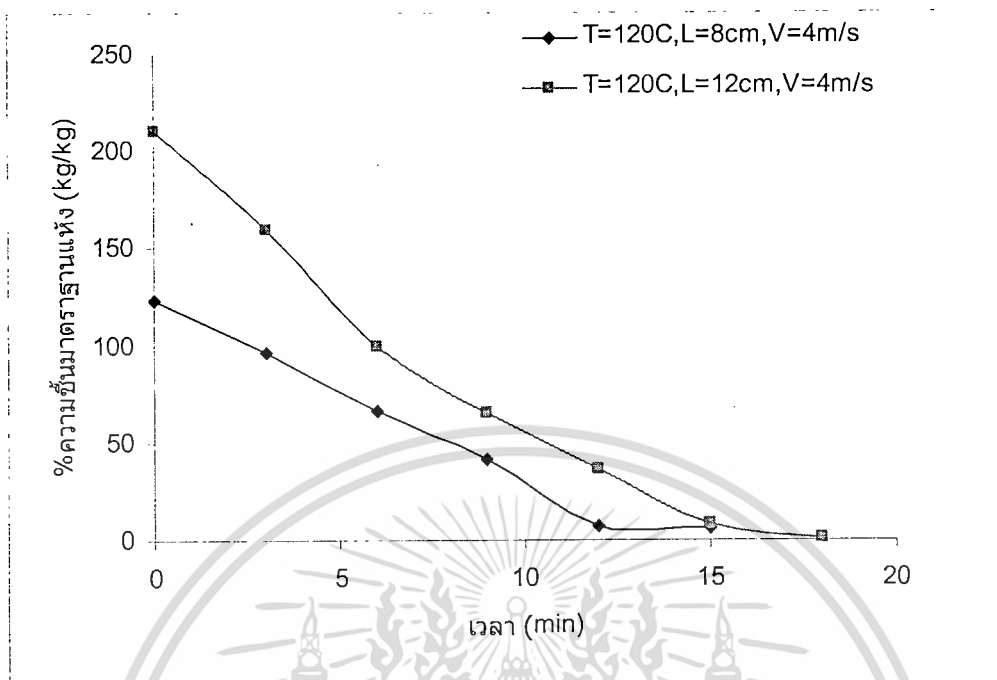


รูปที่ 6.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความขึ้นมาตรฐานแห้งกับเวลาไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°c ความสูงเบด 8 cm เปลี่ยนค่าความเร็วลม

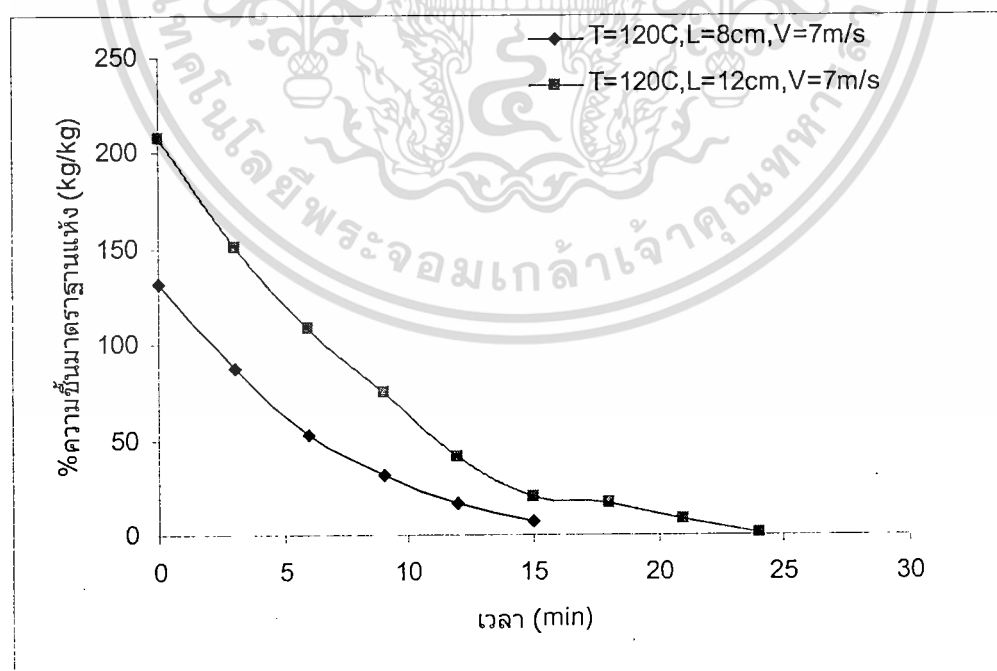


รูปที่ 6.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความขึ้นมาตรฐานแห้งกับเวลาไมโครเวฟที่ความสูงเบด 8 cm ความเร็วลม 4 m/s เปลี่ยนค่าอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในห้องปฏิบัติการเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



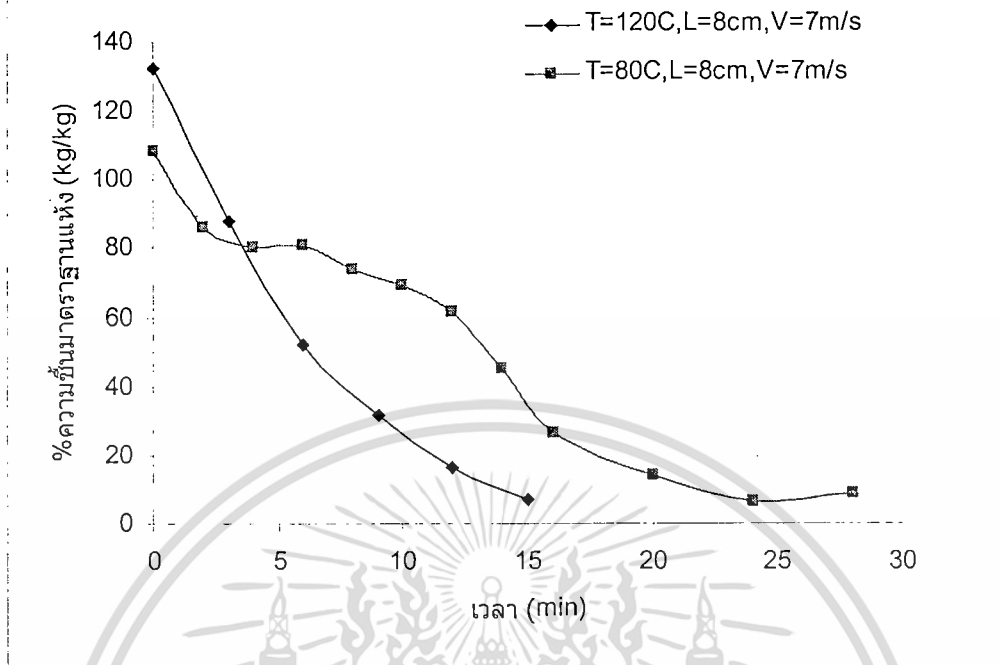
รูปที่ 6.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชันมาตรฐานแห้งกับเวลาที่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วลม 4 m/s เปลี่ยนค่าความสูงเบด



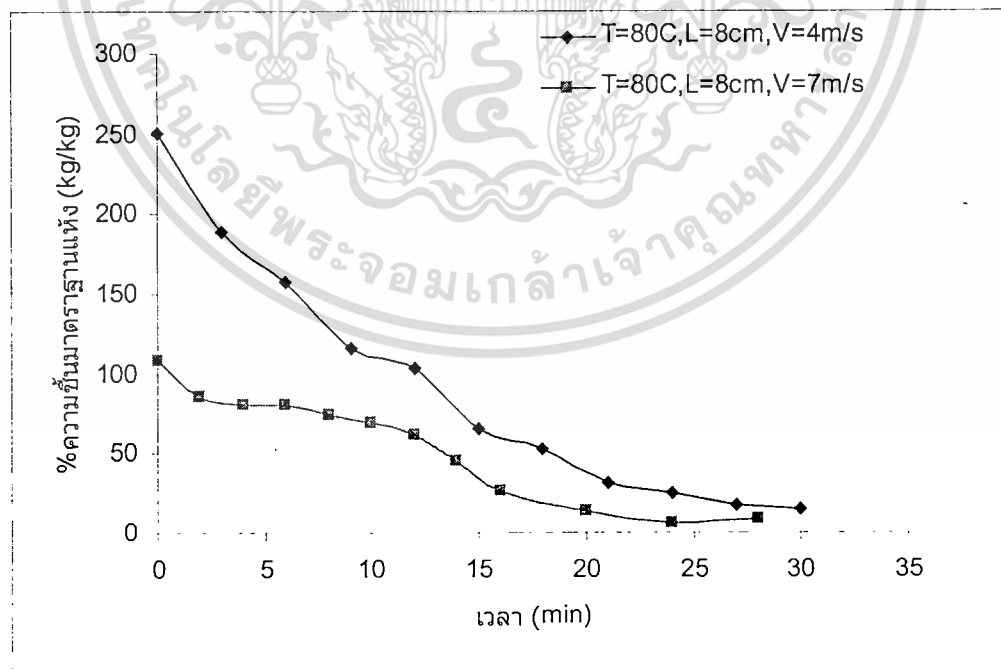
รูปที่ 6.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชันมาตรฐานแห้งกับเวลาที่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ

120°C ความเร็วลม 7 m/s เปลี่ยนค่าความสูงเบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ยัดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



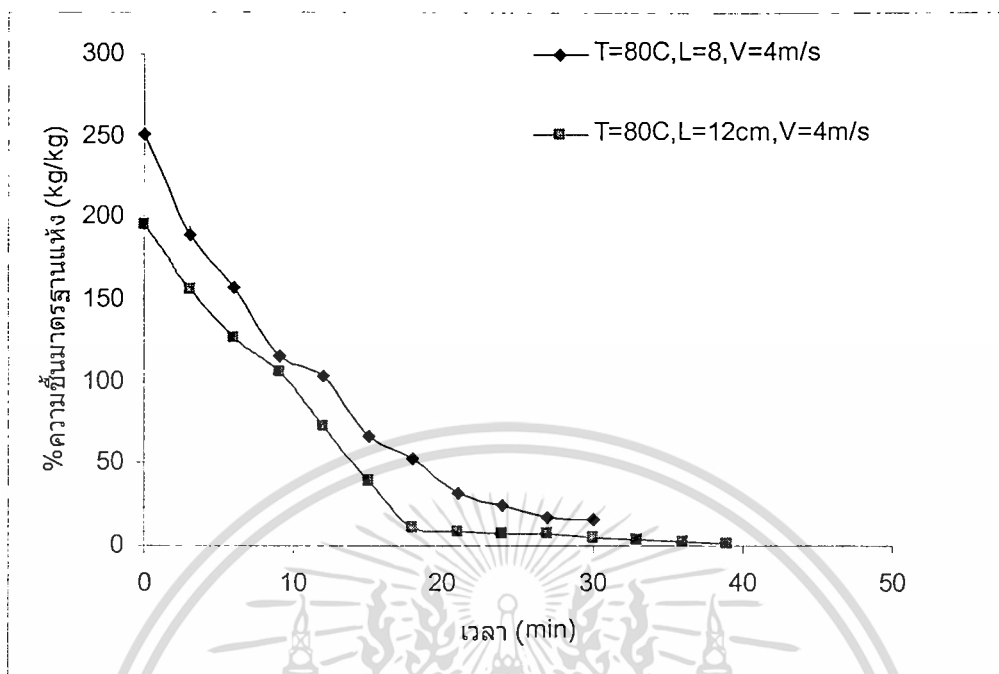
รูปที่ 6.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาไมโครเวฟที่ความสูงเบด 8 cm ความเร็วลม 7 m/s เปลี่ยนค่าอุณหภูมิ



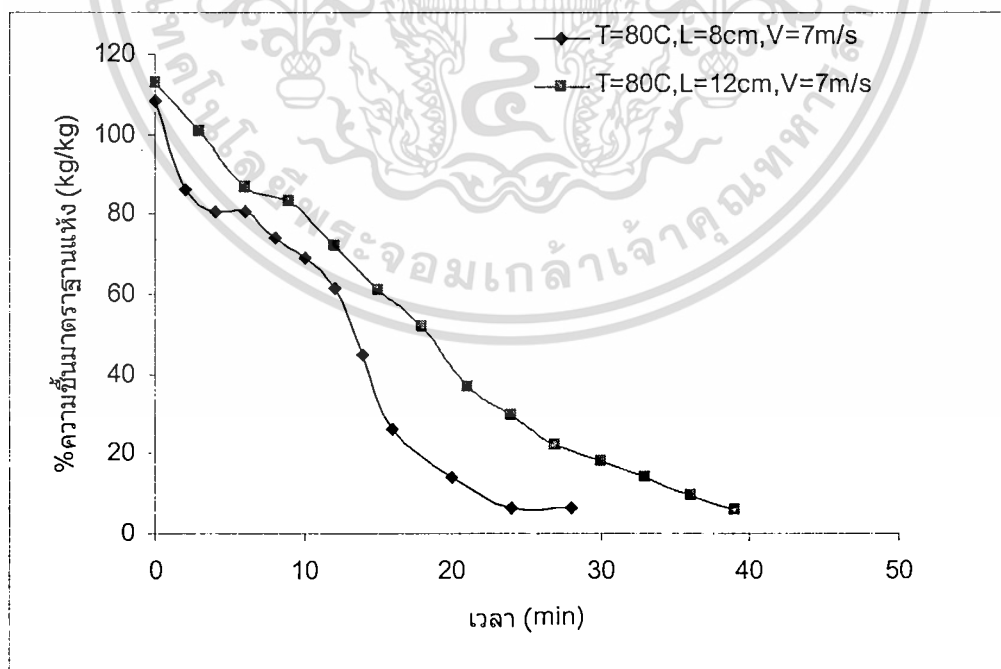
รูปที่ 6.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C

ความสูงเบด 8 cm เปลี่ยนค่าความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

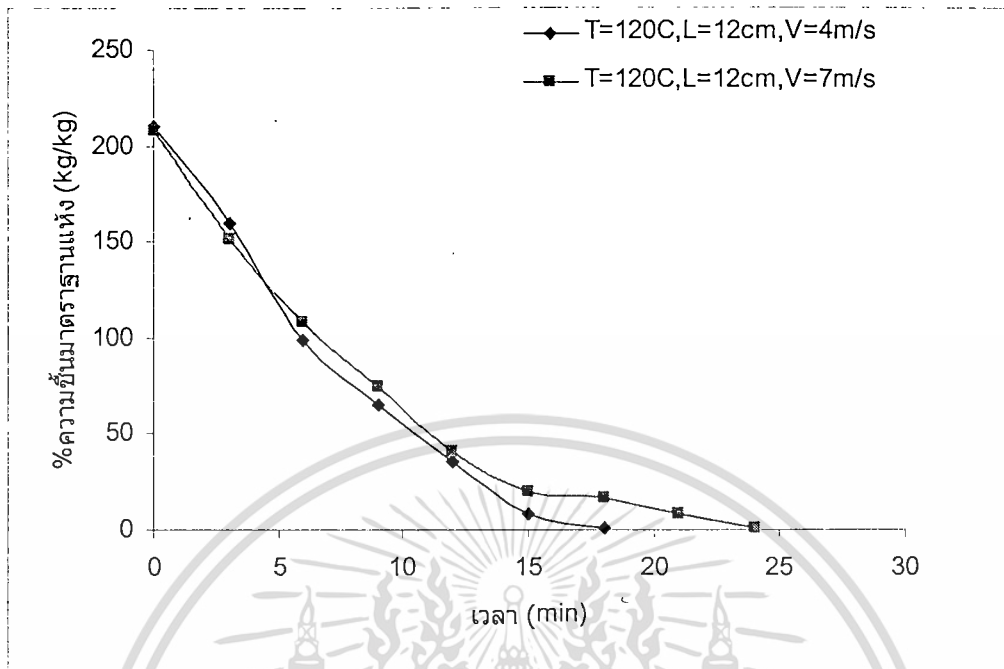


รูปที่ 6.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วลม 4 m/s เปลี่ยนค่าความสูงเบด

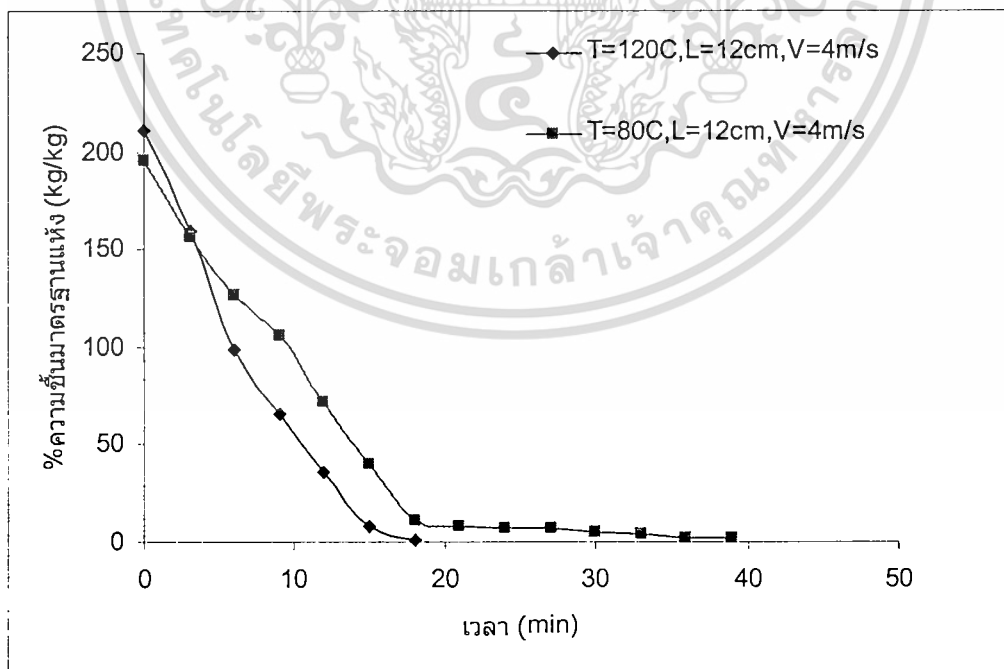


รูปที่ 6.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วลม 7 m/s เปลี่ยนค่าความสูงเบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

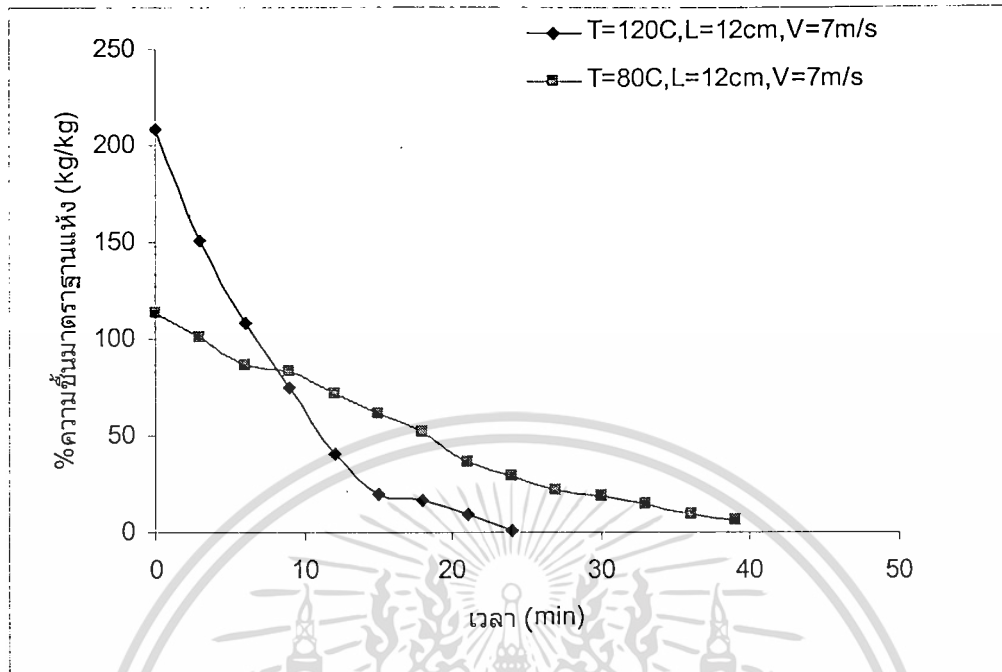


รูปที่ 6.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120 °c ความสูงเบด 12 cm เปลี่ยนค่าความเร็วลม

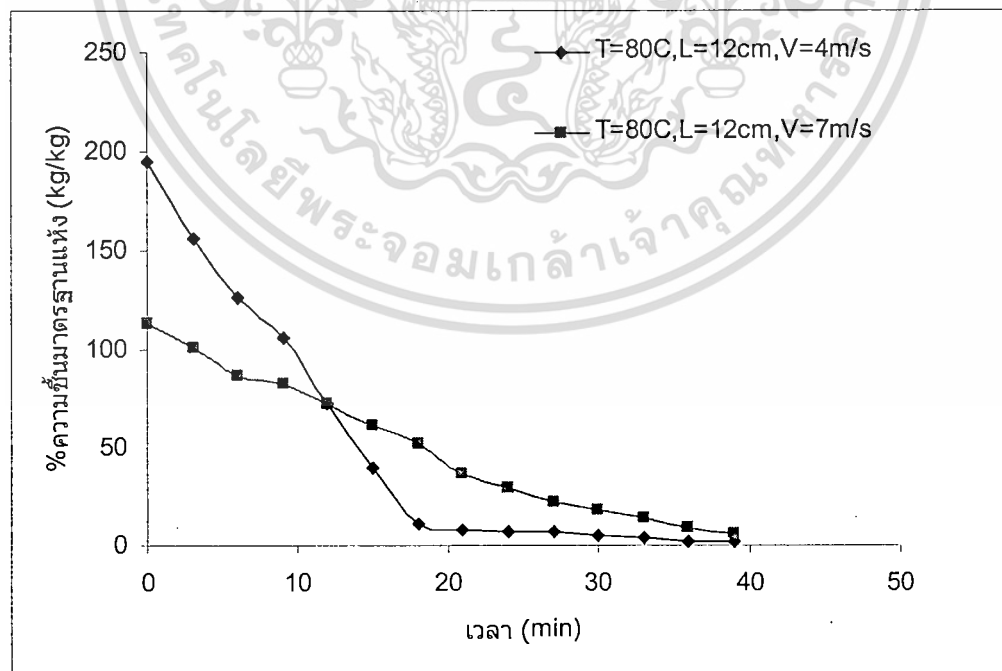


รูปที่ 6.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาไมโครเวฟที่ความสูงเบด

12 cm ความเร็วลม 4 m/s เปลี่ยนค่าอุณหภูมิ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในโครงการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

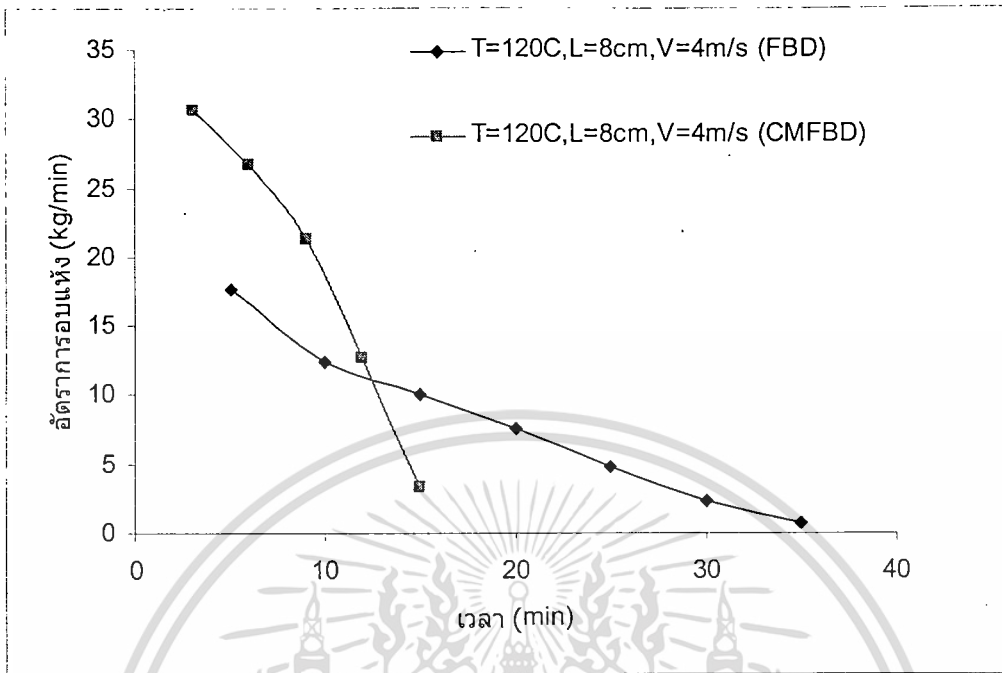


รูปที่ 6.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาที่มีไมโครเวฟที่มีความสูงเบด 12 cm ความเร็วลม 7 m/s เปลี่ยนค่าอุณหภูมิ

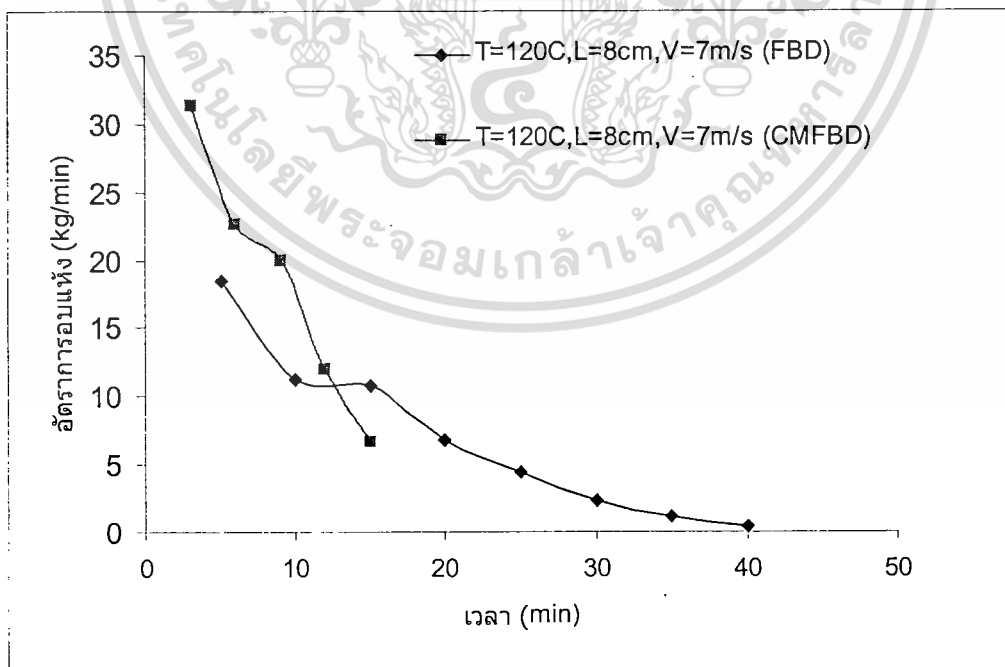


รูปที่ 6.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาที่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับความสูงเบด 12 cm เปลี่ยนค่าความเร็วลม
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

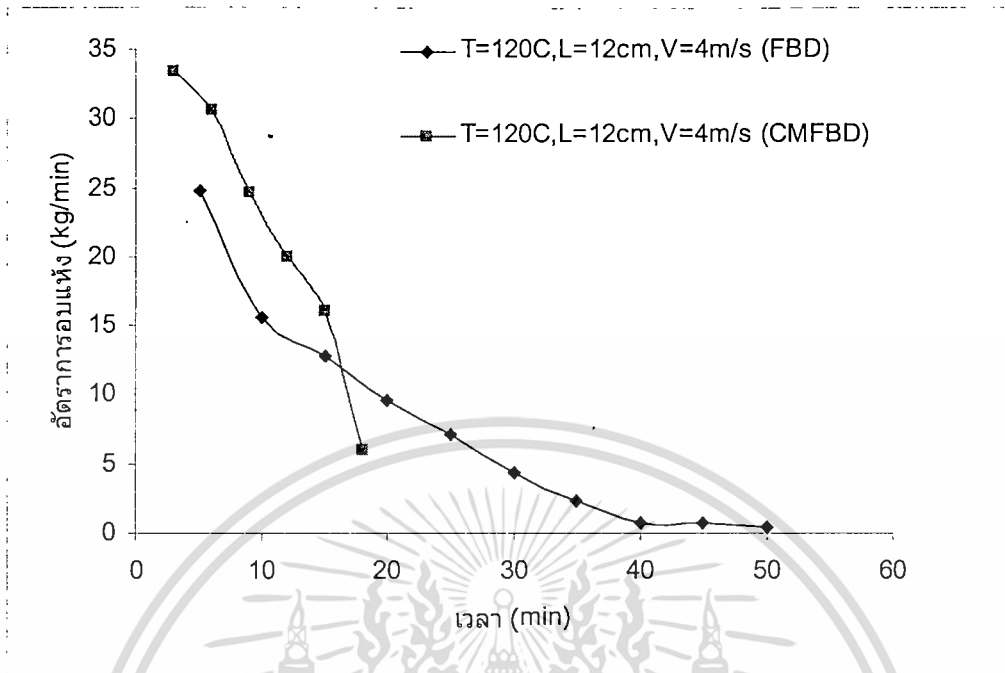


รูปที่ 6.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างมีกับไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C ความสูงเบด 8 cm ความเร็วลม 4 m/s

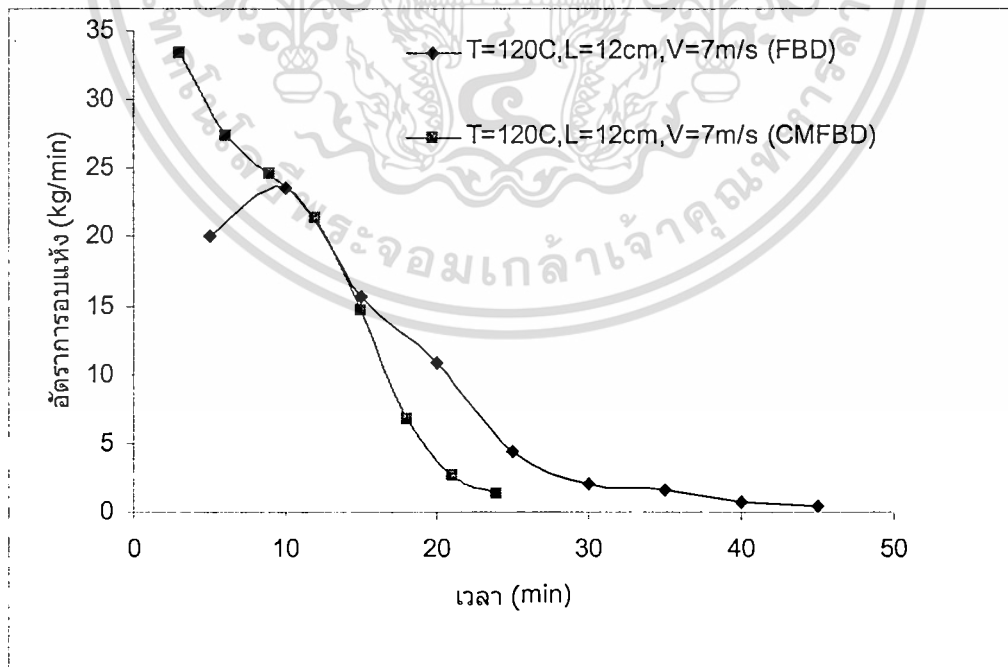


รูปที่ 6.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างมีกับไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

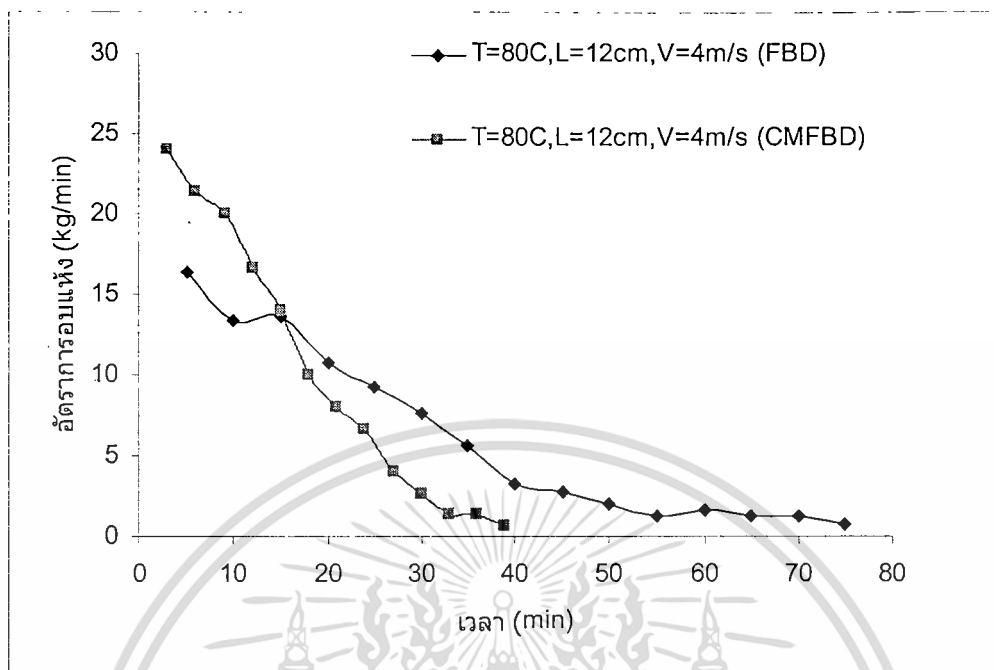


รูปที่ 6.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างมีกับไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C ความสูงเบด 12 cm ความเร็วลม 4 m/s

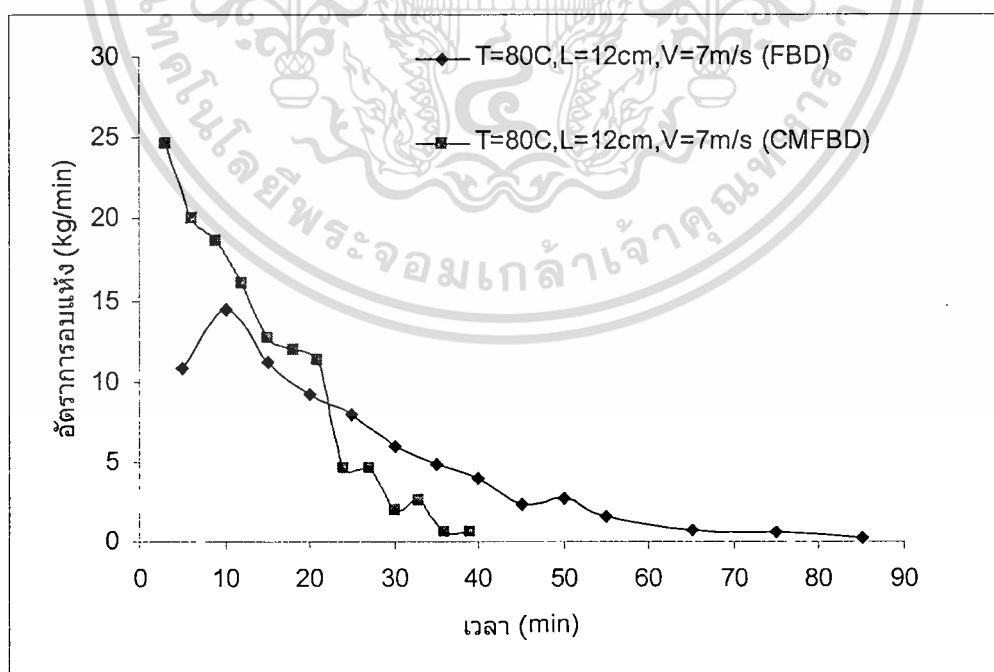


รูปที่ 6.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างมีกับไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C ความสูงเบด 12 cm ความเร็วลม 7 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานเพื่อการวิจัยเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

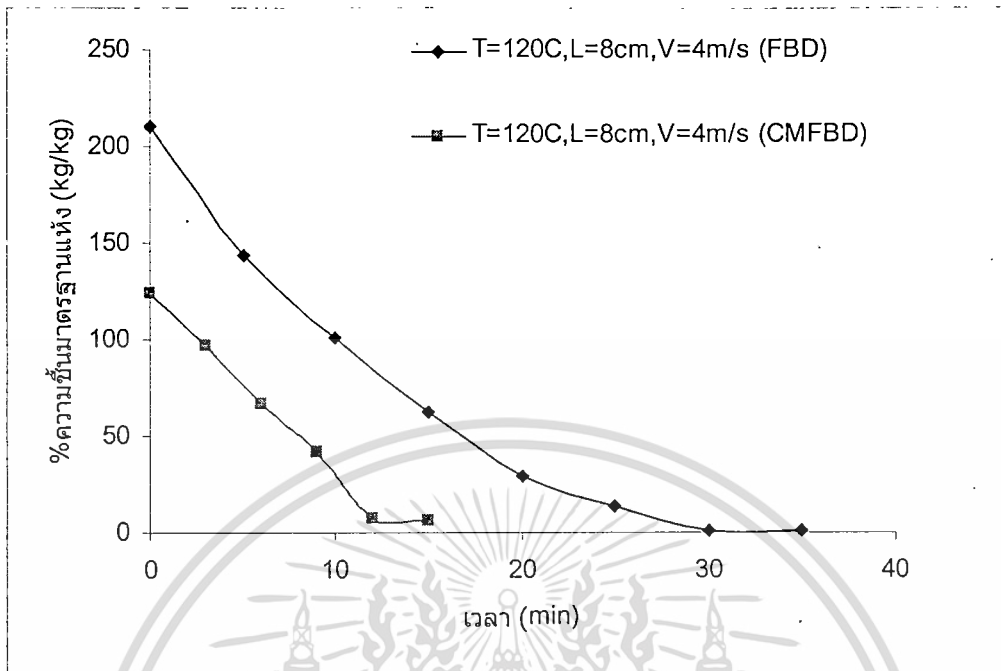


รูปที่ 6.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างมีกับไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C ความสูงเบด 12 cm ความเร็วลม 4 m/s

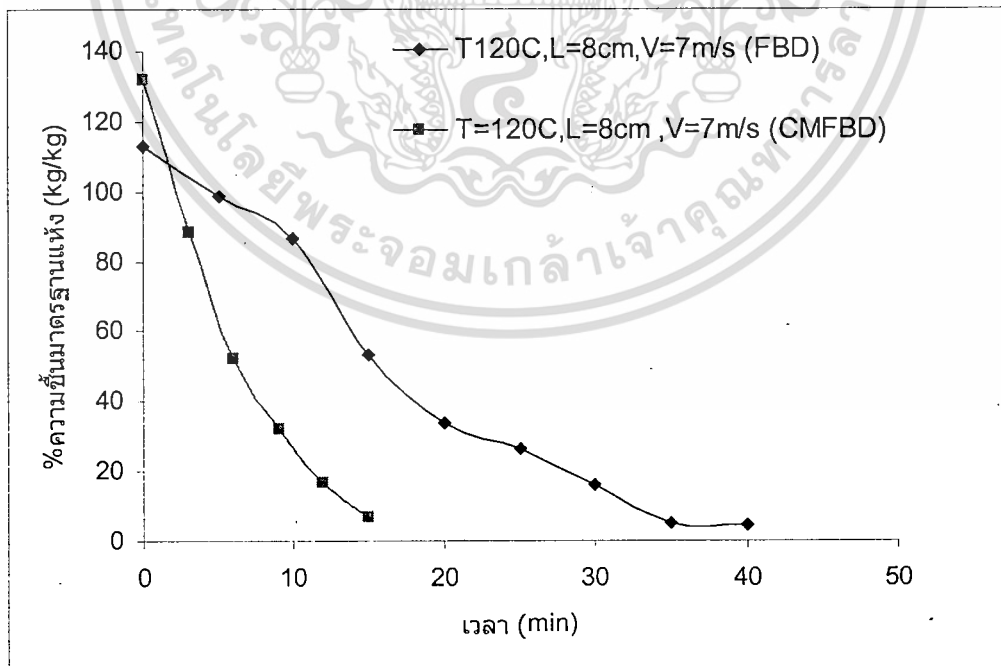


รูปที่ 6.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างมีกับไม่มี

ไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C ความสูงเบด 12 cm ความเร็วลม 7 m/s
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

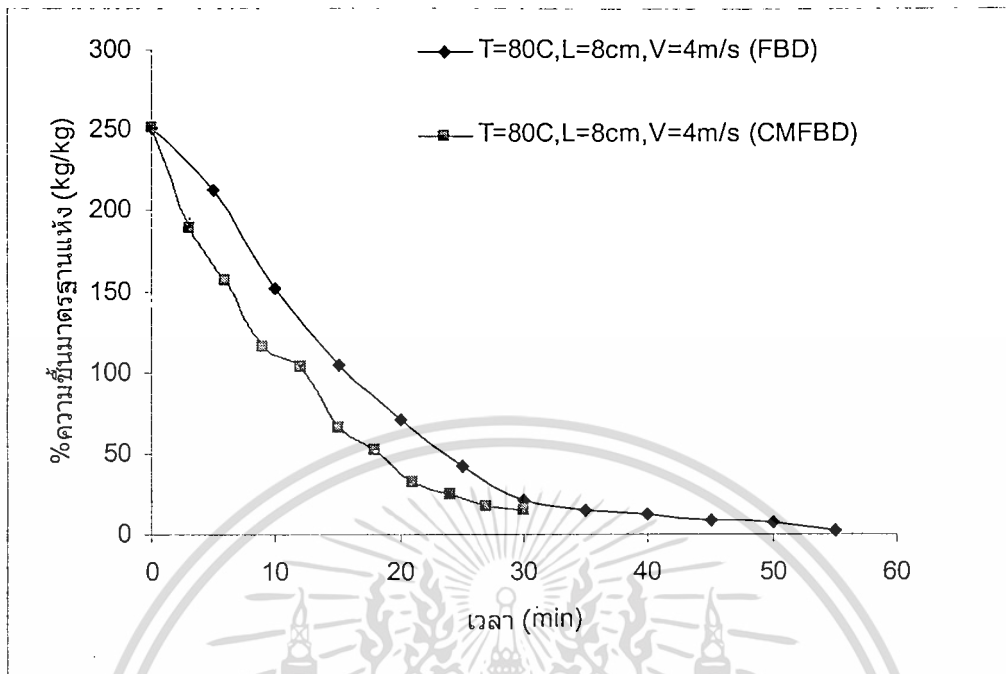


รูปที่ 6.57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างมีกับไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C ความสูงเบด 8 cm ความเร็วลม 4 m/s

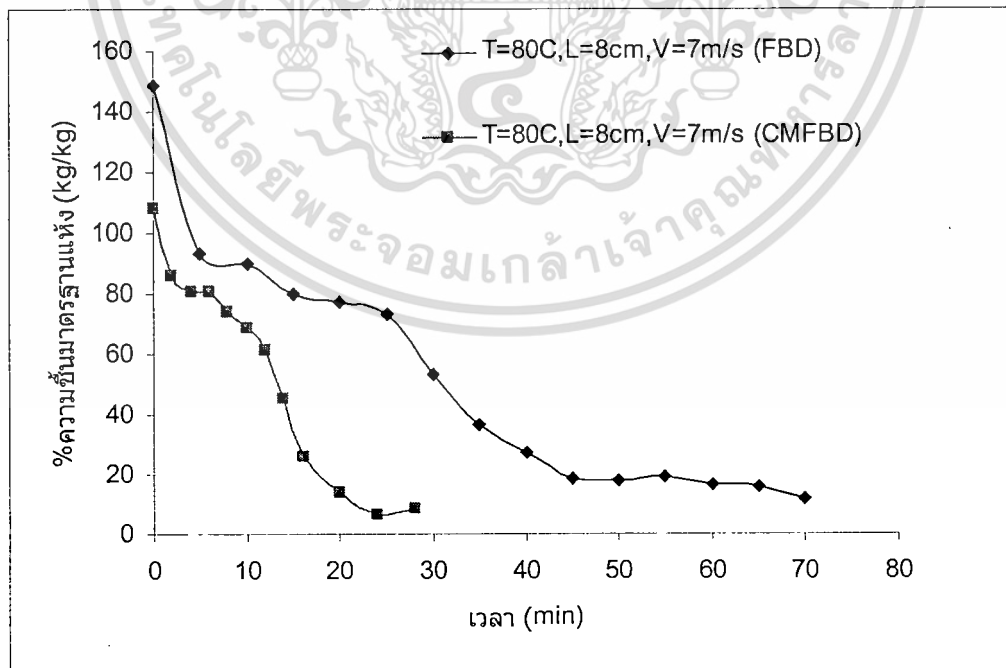


รูปที่ 6.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างมีกับไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C ความสูงเบด 8 cm ความเร็วลม 7 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



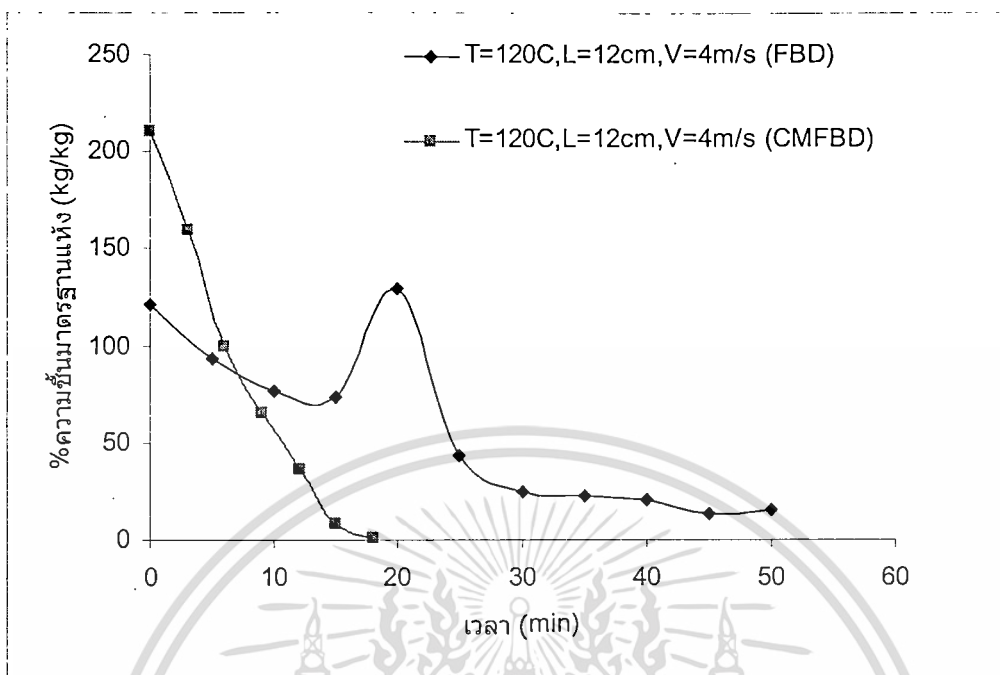
รูปที่ 6.59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างมี กับไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C ความสูงเบด 8 cm ความเร็วลม 4 m/s



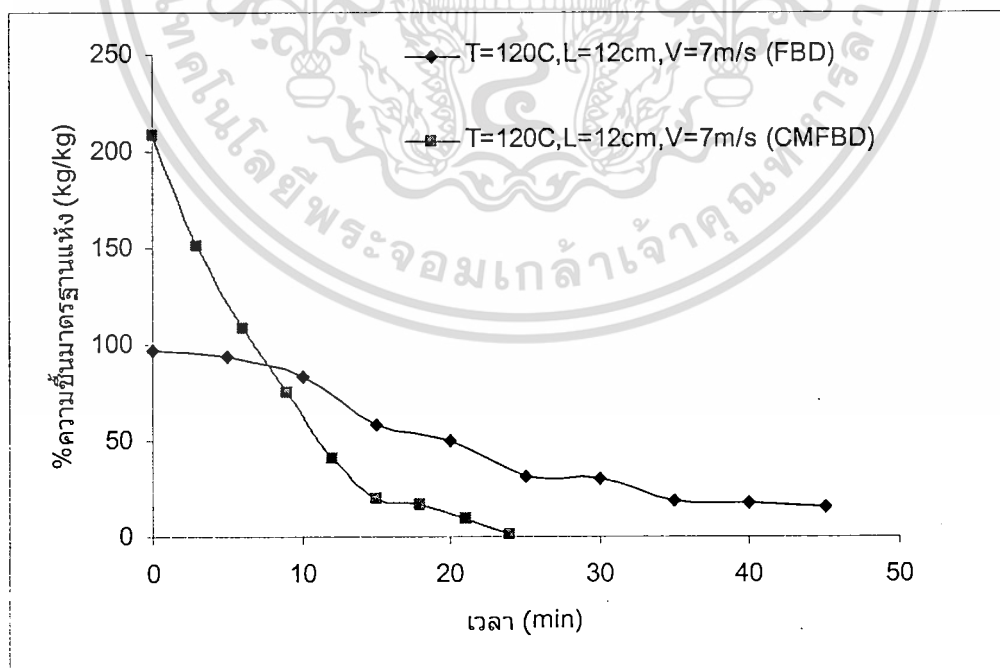
รูปที่ 6.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างมี

กับไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C ความสูงเบด 8 cm ความเร็วลม 7 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

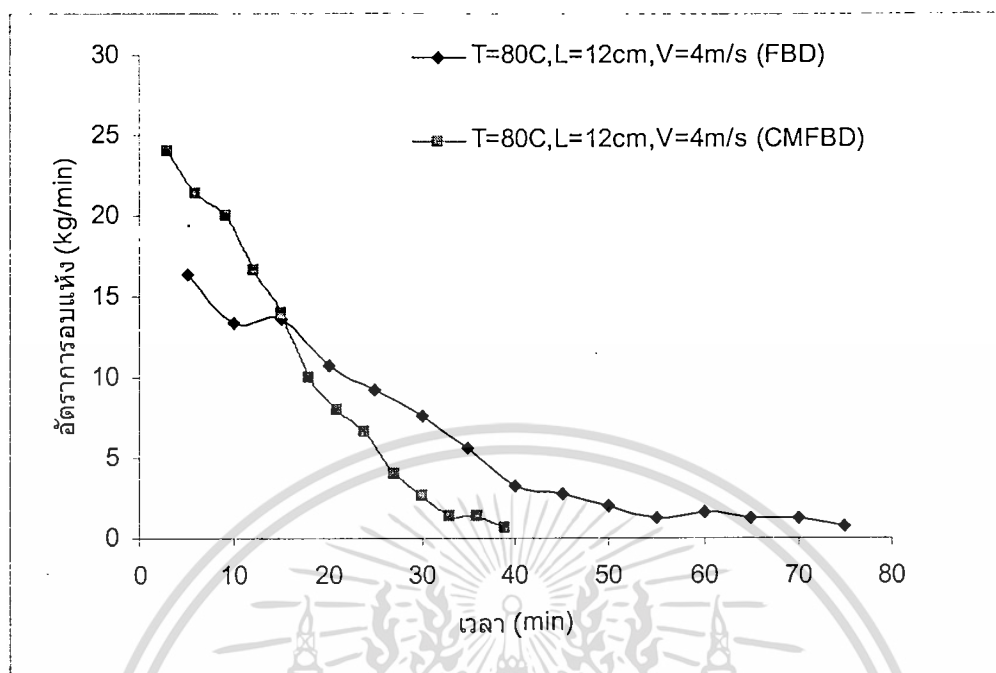


รูปที่ 6.61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างมี กับไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C ความสูงเบด 12 cm ความเร็วลม 4 m/s

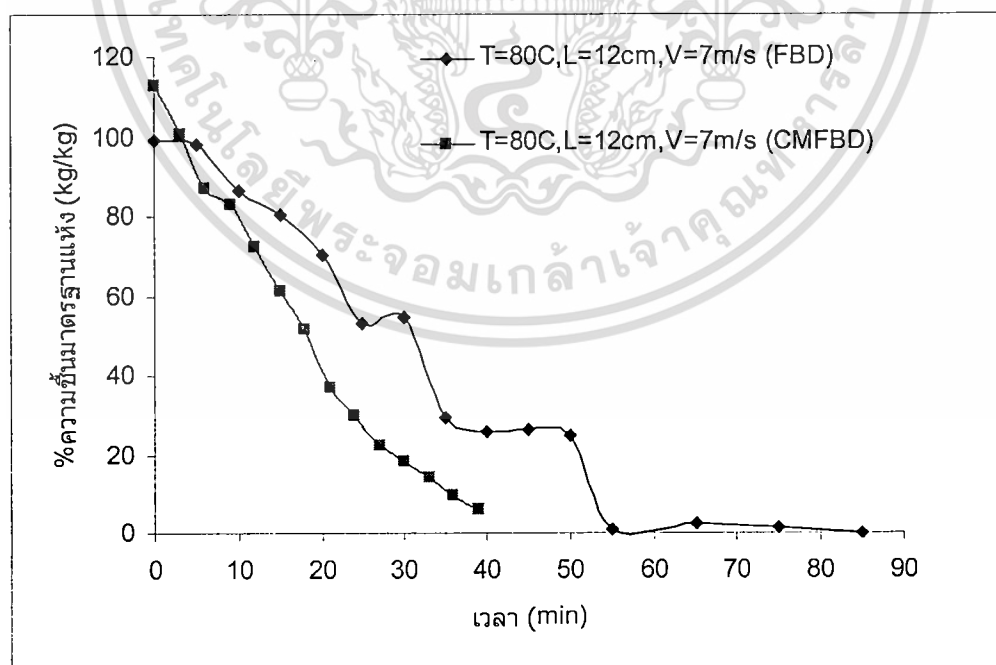


รูปที่ 6.62 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างมี กับไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120°C ความสูงเบด 12 cm ความเร็วลม 7 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

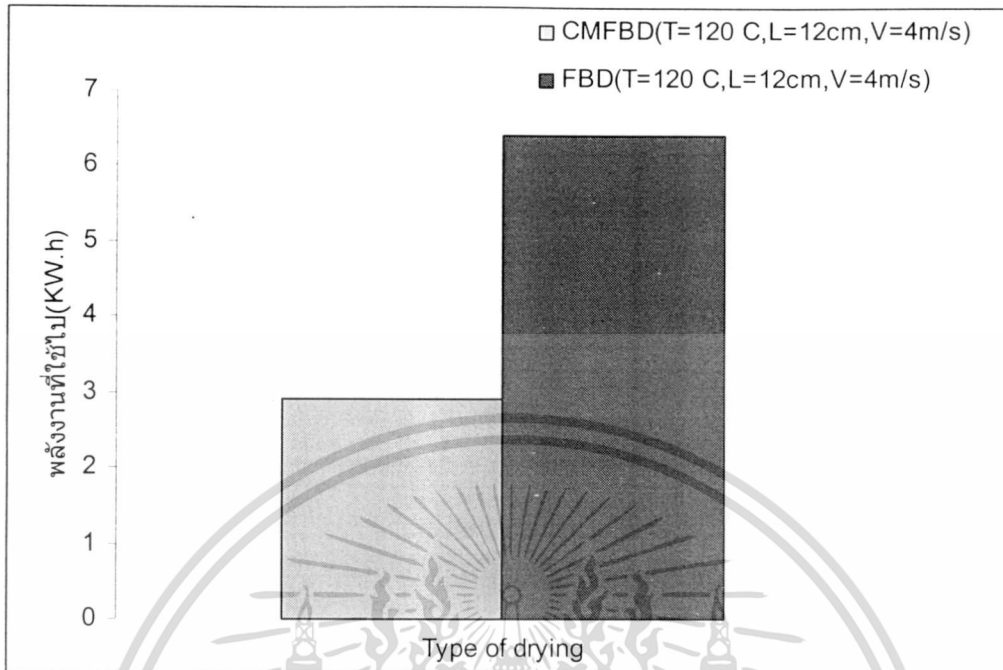


รูปที่ 6.63 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างมี กับไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C ความสูงเบด 12 cm ความเร็วลม 4 m/s

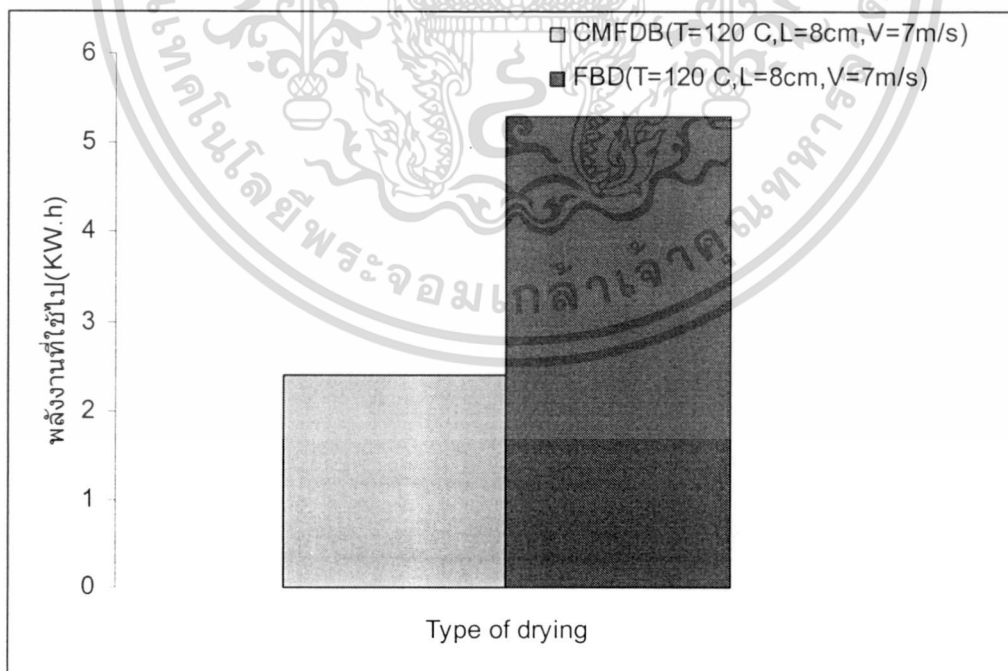


รูปที่ 6.64 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างมี กับไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 80°C ความสูงเบด 12 cm ความเร็วลม 7 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.65 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ไประหว่างการอบแห้งแบบที่มีไมโครเวฟกับไม่มีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120 °c ความสูงเบด 12 cm ความเร็วลม 4 m/s



รูปที่ 6.66 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ไประหว่างการอบแห้งแบบที่มีไมโครเวฟกับไม่มี

ไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 120 °c ความสูงเบด 8 cm ความเร็วลม 7 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุป

จากการทดลองเพื่อศึกษาการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยฟลูอิดไดซ์เบด และ ฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับไมโครเวฟ พบว่าสิ่งที่แตกต่างกันคือความเร็วในการอบแห้ง และการใช้พลังงานที่น้อยกว่า และนอกจากการอบแห้งด้วยฟลูอิดไดซ์เบดและฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับไมโครเวฟที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งแล้วนั้นยังมีปัจจัยอื่นที่สำคัญที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง และการลดลงของเปอร์เซ็นต์ความชื้น ได้แก่ อุณหภูมิอากาศทางเข้าเบด ความสูงเบด และความเร็วลมร้อน ซึ่งสามารถสรุปได้เป็นข้อๆ ดังต่อไปนี้

1. การเปลี่ยนค่าอุณหภูมิอากาศทางเข้า พบว่าเมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น จะให้อัตราการอบแห้งมากขึ้นด้วย ซึ่งอธิบายได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโมเลกุลของน้ำในเมล็ดข้าวโพดได้รับความร้อนมากขึ้น ก็จะมีพลังงานในการเคลื่อนที่สูงขึ้น จึงทำให้น้ำเคลื่อนที่มาสู่ผิวเมล็ดได้เร็วขึ้น การอบแห้งจึงเป็นไปได้เร็วขึ้นนั่นเอง
2. การเปลี่ยนค่าความสูงเบด พบว่า เมื่อความสูงเบดมากขึ้น จะทำให้อัตราการอบแห้งลดลงไปด้วย
3. การเปลี่ยนค่าความเร็วลม พบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วลม จะทำให้อัตราการอบแห้งลดลงด้วยเช่นกัน
4. การอบแห้งโดยฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับไมโครเวฟจะให้อัตราการอบแห้งที่มากกว่า การอบแห้งโดยใช้ฟลูอิดไดซ์เบดจึงทำให้ประหยัดพลังงานมากกว่าครึ่ง และใช้ระยะเวลา ในการอบสั้นกว่าด้วย เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟจะทะลุผ่านเข้าถึงภายในของเมล็ดข้าวโพด และด้านนอกพร้อมๆกัน ทำให้เมล็ดข้าวโพดร้อนเกือบจะพร้อมกันทั้งเมล็ด

7.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มความสูงของหอดทดลองให้มากกว่าเดิมเพราะการกระจายตัวของเมล็ดข้าวโพดจะดีขึ้น
2. ควรใช้เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียดในการวัดได้ถึง 0.0001 g เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ได้มาตรฐาน
3. ควรเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหอดทดลอง เพื่อเพิ่มปริมาณในการอบ

ภาคผนวก ก.

FBD	= fluidized bed
CMFBD	= combined microwave/fluidized bed
T	= เวลาที่ใช้ในการอบ
L	= ความสูงของเบด
V	= ความเร็วลมในการอบ
ΔP	= ความดันลด, N/m^2
L_{mf}	= ความสูงที่เกิดฟลูอิดไดซ์เบด, m
g	= อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก, m/s^2
g_c	= แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยของแรงและน้ำหนัก, $kg \cdot m/N \cdot s^2$
ϵ_{mf}	= สัดส่วนช่องว่าง
ρ_p	= ความหนาแน่นของอนุภาค, kg/m^3
ρ_f	= ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

เนื่องจากงานวิจัยในครั้งนี้ใช้ฮีตเตอร์ขนาด 15 kw. และความเร็วลมสูงสุดที่ใช้ในงานวิจัยเท่ากับ 7 m/s. ดังนั้นฮีตเตอร์สามารถทำให้อุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นเท่ากับ 256 °c ซึ่งให้อุณหภูมิที่สูงจึงสามารถนำไปใช้ในงานทดลองผลิตภัณฑ์อื่นๆ อีกต่อไป

ความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดซ์เบดสำหรับข้าวโพดที่ความสูง 8 cm และความสูง 12 cm มีค่าดังนี้คือ 2.31 และ 2.98 m/s ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบค่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดซ์เบด กับ สมการ Ergun ค่าที่ได้จากสมการใกล้เคียงกันคือ 2.54 และ 3.32 m/s ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] ชานินทร์ ศิวาลัย , สลักเพชร ชูน้ำเที่ยง , 2541 , การอบกึ่งแห้งโดยใช้สะเป้าเต็ดเบด และสะเป้าเต็ดเบดร่วมกับไมโครเวฟ,วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต,ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [2] ศ.ดร.สมชาติ โสภณธณฤทธิ์ “การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท” พิมพ์ครั้งที่ 7,2540 ,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [3] สุรพล สุธีระเวช , 2537 , คู่มือเข้าใจและซ่อมเตาไมโครเวฟ , พิมพ์ครั้งที่ 2 , สำนักพิมพ์ อาร์ตเอจ กราฟฟิค
- [4] อนันต์ พงศ์รกุลพานิช , 2539 , การศึกษาการอบแห้งข้าวโพดโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดเซชัน , วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต , สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [5] อรุณี ผุดผ่อง , 2531 , การศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์และออกแบบการอบแห้งเมล็ดข้าวโพด , วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [6] Bouraoui,M.,Richard, P. and Durance, T., 1994, Microwave and convective drying of potato slices, J.Food Proc.
- [7] Decareau, R.V., 1985,Microwave in the food processing industry, Food Techno.
- [8] Donald B.B,Fred W.B,Carl W.H., “Drying Cereal Grains”,The AVI Publishing Company.Inc,1974.
- [9] Farmer, G.S., Brusewitz, G.H. 1980, Use of home microwave oven for rapid determination of moisture in wet alfalfa.
- [10] Robert W. Fox & Alan T. McDonald “Introduction To Fluid Mechanics”4th Edition,John Wiley & Sons Inc,1992.
- [11] W.Kaensup,S.Wongwises,S.Chutima.1998, Drying of Pepper Seeds Using a Combined Microwave/Fluidized Bed Dryer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้