

ผลของความดัน อุณหภูมิ และความหนาของชั้นคาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลส  
ต่อการอบแห้งแบบสุญญากาศ



นางสาวน้ำฝน นริศราวุธ  
นางสาวศรียุญา เจริญวงศ์  
นางสาวสกุณา พงษากุล

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 33994  
วัน, เดือน, ปี 27 ก.ย. 2542

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A Study of Effects of Pressure, Temperature and the Thickness of  
Carboxymethyl Cellulose on Vacuum Drying**



**A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
For the Degree of Bachelor of Chemical Engineering  
Faculty of Engineering**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง ผลของความดัน อุณหภูมิ และความหนาของชั้นคาร์บอกซีเมทิล

เซลลูโลสต่อการอบแห้งแบบสุญญากาศ

โดย นางสาวน้ำฝน นริศราวุธ

นางสาวศรียุญา เจริญวงศ์

นางสาวสกุณา พงษากุล

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ มงคลอัครวัฒน์<sup>1</sup>

ผศ.ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ<sup>2</sup>

1. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการการตรวจสอบปริญญาานิพนธ์

.....กรรมการ ประธานกรรมการ

(ผศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ)

.....กรรมการ

(อ.บุญชัย โชติวิริยวานิชย์)

.....กรรมการ

(อ.สันติ วัฒนานุสรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง ผลของความดัน อุณหภูมิ และความหนาของชั้นคาร์บอกซีเมทิล  
เซลลูโลสต่อการอบแห้งแบบสุญญากาศ

โดย นางสาวน้ำฝน นริศราวุธ  
นางสาวศรียุภา เจริญวงศ์  
นางสาวสกุณา พงษากุล

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อัญชลีพร วาริทธิสวัสดิ์ หล่อทองคำ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ มงคลอัครวัฒน์<sup>1</sup>  
ผศ.ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ<sup>2</sup>

1. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

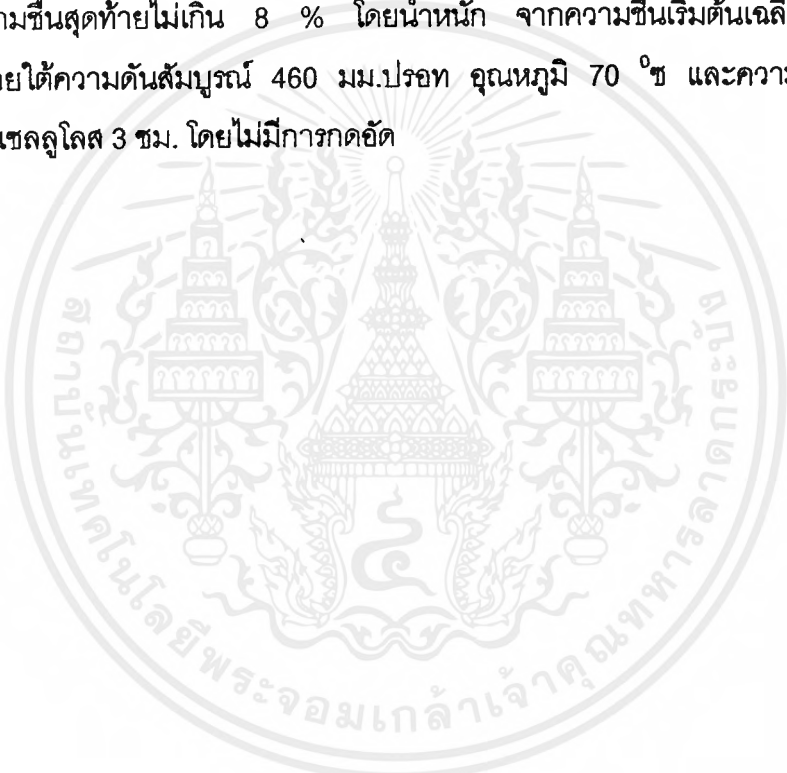
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี  
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของความดัน อุณหภูมิ ความหนาของชั้นคาร์บอกซีเมทิล  
เซลลูโลส และการกดอัดชั้นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการอบแห้งคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่  
สังเคราะห์โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายภายใต้ระบบสุญญากาศ และศึกษาหากำลัง  
การอบแห้งคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสของเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศรูปทรงกระบอก  
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 ซม. ยาว 70 ซม. ซึ่งมีพื้นที่การอบแห้ง 0.55 ตร.ม. และมีปริมาตร  
0.075 ลบ.ม.

จากการทดลองอบแห้งคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 95-120 %  
โดยน้ำหนัก ให้มีความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 8 % โดยน้ำหนัก ที่ความดันสัมบูรณ์ 460 และ 560  
มม.ปรอท อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 °ซ ความหนาของชั้นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 1, 2 และ 3 ซม.  
โดยทำการกดอัดและไม่กดอัด พบว่า เมื่อปริมาณซีเอ็มซีเท่ากัน อบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ 460  
มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 °ซ ความหนาของชั้นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 3 ซม. และไม่มี การกดอัด

จะใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งที่ความดัน 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 และ 60 °ซ ความหนาของชั้นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 1 และ 2 ซม. และมีการกดอัด และพบว่า เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากทุกๆ การทดลองจะมีลักษณะ คล้ายกัน คือ มีเฉพาะช่วงการอบแห้งที่อัตราการอบแห้งลดลงโดยไม่ปรากฏช่วงการอบแห้งที่ อัตราการอบแห้งคงที่ จากการศึกษาหาค่าลังการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศนี้ พบว่า เครื่องอบแห้งมีกำลังการอบแห้งเท่ากับ 5.5 กิโลกรัมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสขึ้นต่อการอบแห้ง 1 ครั้ง โดยใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 15 ชั่วโมง 45 นาทีเพื่อให้ได้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 8 % โดยน้ำหนัก จากความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 110 % โดยน้ำหนัก ภายได้ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 °ซ และความหนาของชั้นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 3 ซม. โดยไม่มีการกดอัด



Report Title A Study of Effects of Pressure, Temperature and the Thickness of Carboxymethyl Cellulose on Vacuum Drying

By Miss Numfon Naritsarawat  
Miss Sarinya Charoenwongsa  
Miss Sakuna Pongsakul

Advisor Asst.Prof.Dr. Anchaleeporn Waritswat Lothongkum

Co-Advisor Asst.Prof.Dr. Theerawat Mongkolausawarat <sup>1</sup>  
Asst.Prof.Dr. Gobboon Lothongkum <sup>2</sup>

1. Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2. Department of Metallurgical Engineer, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

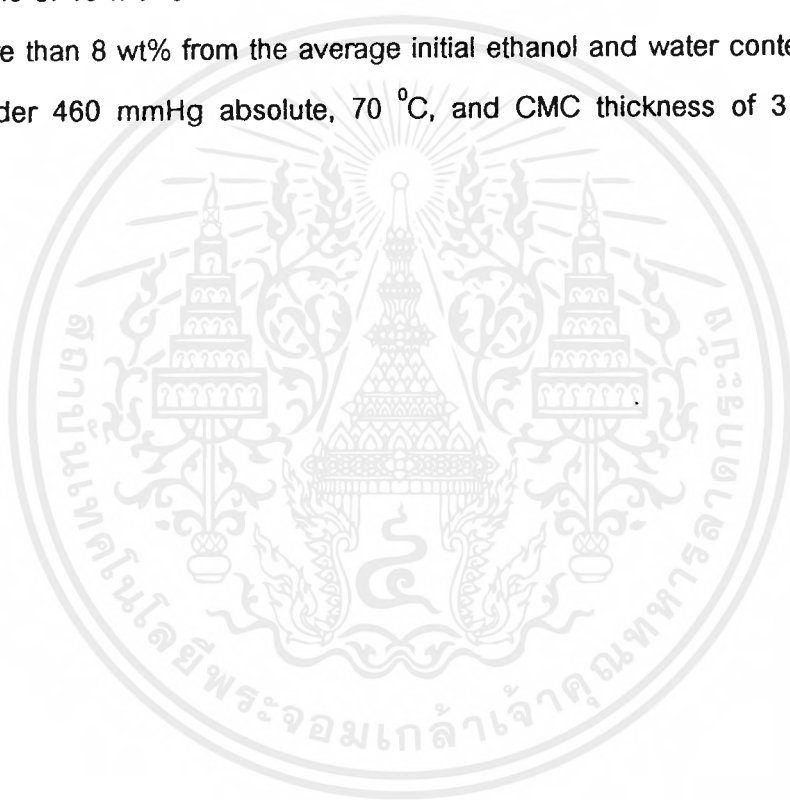
Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering,  
Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

### Abstract

This work is a study of the effects of pressure, temperature, the thickness and the compression of carboxymethyl cellulose (CMC) synthesizing by ethanol as the solvent on the vacuum drying. In addition, the capacity of a cylindrical-shaped vacuum tray dryer with a diameter of 40 cm, length of 70 cm, the drying area of 0.55 m<sup>2</sup> and the drying volume of 0.075 m<sup>3</sup> was determined.

The experiments were carried out under the following drying conditions: the initial ethanol and water contents in CMC were 95-120 wt%; the final ethanol and water contents in CMC 8 wt%; drying pressure were 460 and 560 mmHg absolute; drying temperature were 50, 60 and 70 °C; CMC thickness were 1, 2 and 3 cm with and without

the compression of CMC. It is found that the same amount of CMC drying at 460 mmHg absolute, 70 °C, CMC thickness of 3 cm without compression gave a shorter drying time than those of 560 mmHg absolute, 50 and 60 °C, CMC thickness of 1 and 2 cm with compression. Every drying characteristic curve of CMC from all experiments showed only the decreasing drying rate without the constant drying rate. From the evaluation of the capacity of this vacuum dryer, the capacity was 5.5 kg of moist CMC per batch with the drying time of 15 h and 45 min when the final ethanol and water contents in CMC were not more than 8 wt% from the average initial ethanol and water contents in CMC 110 wt% under 460 mmHg absolute, 70 °C, and CMC thickness of 3 cm without compression.



## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคคลหลายฝ่าย  
คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ

บริษัท ไทยเซลลูโลสโปรดักส์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับการผลิต  
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และนำชมโรงงาน

ดร.ตะวัน สุขน้อย ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาในการทำโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมที่  
ให้การสนับสนุนปริญญานิพนธ์นี้

เจ้าหน้าที่ทุกท่านของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ และภาควิชาวิศวกรรมเคมี  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยอำนวยความสะดวก  
ความสะดวกในระหว่างการทำโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อัญชลีพร วาริทธิสวัสดิ์ หล่อทองคำ  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ มงคลยศวรรัตน์ และผศ.ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขโครงการ ทำให้โครงการฉบับนี้มีความสมบูรณ์  
ยิ่งขึ้น ถ้ามีสิ่งผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำขออภัยและขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

นางสาวน้ำฝน นริศราวุธ  
นางสาวศรียุญา เจริญวงศ์  
นางสาวสกุณา พงษากุล

20 พฤษภาคม 2542

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญ	ฌ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญรูป	ท
สัญลักษณ์	บ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงานของโครงการพิเศษ	3
บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	4
2.1 ปฏิกริยาการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	4
2.2 โครงสร้างของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	5
2.3 คุณสมบัติหลักของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	5
2.4 สมบัติทางกายภาพของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสแห้ง	6
2.5 คุณสมบัติการละลายของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	6
2.6 ประโยชน์ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	7
บทที่ 3 ทฤษฎีและความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการอบแห้ง	9
3.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการอบแห้ง	9
3.2 กลไกการอบแห้ง	11
3.3 ประเภทของเครื่องอบแห้ง	13
3.4 วิธีการเลือกเครื่องอบแห้ง	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ข้อมูลเบื้องต้นของการอบแห้งคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และระบบการอบแห้งภายใต้สุญญากาศ	32
4.1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับซีเอ็มซีและตัวทำละลายเอทานอล	32
4.2 กระบวนการผลิตซีเอ็มซีและการอบแห้งซีเอ็มซี	32
บทที่ 5 การดำเนินการทดลอง	34
5.1 การสังเคราะห์ซีเอ็มซีจากเซลลูโลสผง	34
5.2 การเก็บข้อมูลการอบแห้งซีเอ็มซีด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ	35
บทที่ 6 ผลการทดลอง	40
บทที่ 7 สรุปผลการทดลอง ความคิดเห็น และข้อเสนอแนะ	58
เอกสารอ้างอิง	61
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลอง	63
ภาคผนวก ข กราฟแสดงผลการทดลอง	113
ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคำนวณ	146
ภาคผนวก ง วิธีการคำนวณ Equal-area differentiation	150
ภาคผนวก จ รูปแสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตและอบแห้งซีเอ็มซี	156

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 การเลือกเครื่องอบแห้ง	27
ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีเพื่อให้ได้ปริมาณความชื้น 8 % โดยน้ำหนัก ( $t'$ ) ระหว่างการอบแห้งซีเอ็มซีพร้อมกันทั้ง 3 ชั้น และการอบแห้งซีเอ็มซีเฉพาะชั้นบนเพียงชั้นเดียว ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 °ซ ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม. โดยไม่กดอัดชั้นซีเอ็มซี	45
ตารางที่ 6.2 แสดงปริมาณซีเอ็มซีขึ้นก่อนการอบแห้ง ( $W'$ ) และระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีเพื่อให้ได้ปริมาณความชื้น 8 % โดยน้ำหนัก ( $t'$ ) ของการทดลองกลุ่มที่ 2-4	54
ตารางที่ 6.3 แสดงปริมาณซีเอ็มซีขึ้นก่อนการอบแห้ง ( $W'$ ) และระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีเพื่อให้ได้ปริมาณความชื้น 8 % โดยน้ำหนัก ( $t'$ ) ของการทดลองกลุ่มที่ 5	56
ตารางที่ ก.1 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.1.1	64
ตารางที่ ก.2 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.1.2	65
ตารางที่ ก.3 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.1.3	66
ตารางที่ ก.4 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.2.1	67
ตารางที่ ก.5 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.2.1 (ต่อ)	68
ตารางที่ ก.6 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.2.1 (ต่อ)	69
ตารางที่ ก.7 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.2.2	70
ตารางที่ ก.8 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.2.2 (ต่อ)	71
ตารางที่ ก.9 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.2.2 (ต่อ)	72
ตารางที่ ก.10 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.2.3	73
ตารางที่ ก.11 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.2.3 (ต่อ)	74
ตารางที่ ก.12 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.2.3 (ต่อ)	75
ตารางที่ ก.13 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.3.1	76
ตารางที่ ก.14 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.3.2	77

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ก.15 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.3.3	78
ตารางที่ ก.16 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 2.1.1	79
ตารางที่ ก.17 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 2.1.2	80
ตารางที่ ก.18 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 2.1.3	81
ตารางที่ ก.19 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 2.2.1	82
ตารางที่ ก.20 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 2.2.2	83
ตารางที่ ก.21 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 2.3.1	85
ตารางที่ ก.22 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 2.3.2	86
ตารางที่ ก.23 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 2.3.3	87
ตารางที่ ก.24 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 3.1.1	89
ตารางที่ ก.25 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 3.1.2	90
ตารางที่ ก.26 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 3.1.3	91
ตารางที่ ก.27 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 3.2.1	92
ตารางที่ ก.28 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 3.2.2	93
ตารางที่ ก.29 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 3.2.3	94
ตารางที่ ก.30 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 3.3.1	95
ตารางที่ ก.31 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 3.3.2	96
ตารางที่ ก.32 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 3.3.3	97
ตารางที่ ก.33 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 4.1.1	98
ตารางที่ ก.34 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 4.1.2	100
ตารางที่ ก.35 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 4.1.3	101
ตารางที่ ก.36 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 4.2.1	103
ตารางที่ ก.37 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 4.2.2	104
ตารางที่ ก.38 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 4.2.3	106
ตารางที่ ก.39 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 5	107
ตารางที่ ก.40 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 5 (ต่อ)	109

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ก.41 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 5 (ต่อ)	111
ตารางที่ ค.1 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.1.1	147
ตารางที่ ค.2 แสดงผลการคำนวณค่า $X$ , $\frac{\Delta X}{\Delta t}$ และค่า $\frac{dX}{dt}$ ของการทดลองที่ 1.1.1	149
ตารางที่ ง.1 แสดงข้อมูลการคำนวณเพื่อหาค่าอนุพันธ์โดยใช้วิธี Equal-area differentiation	151
ตารางที่ ง.2 แสดงข้อมูลสำหรับตัวอย่างการคำนวณ ก.	152
ตารางที่ ง.3 แสดงผลการคำนวณค่า $\frac{\Delta f}{\Delta x}$ ของตัวอย่างการคำนวณ ก.	153
ตารางที่ ง.4 แสดงผลการคำนวณการหาอนุพันธ์โดยใช้วิธี Equal-area differentiation ของตัวอย่างการคำนวณ ก.	154
ตารางที่ ง.5 แสดงข้อมูลและผลการคำนวณค่า $\frac{dX}{dt}$ ของผลการทดลองที่ 1.1.1	154

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	5
รูปที่ 3.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมวลและอุณหภูมิกับเวลาในการอบแห้ง	12
รูปที่ 3.2 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง	12
รูปที่ 3.3 เครื่องอบแห้งแบบถาด	14
รูปที่ 3.4 เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์	15
รูปที่ 3.5 เครื่องอบแห้งแบบหมุนแบบทรงกระบอกตั้ง	16
รูปที่ 3.6 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง	17
รูปที่ 3.7 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย	18
รูปที่ 3.8 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไบท์เบด	19
รูปที่ 3.9 เครื่องอบแห้งแบบ Single-Compartment Vacuum Tray Dryer	20
รูปที่ 3.10 เครื่องอบแห้งแบบ Multi-Compartment Vacuum Tray Dryer	21
รูปที่ 3.11 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดบ้อนวัสดุเข้าโดยตรง	22
รูปที่ 3.12 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดมีเครื่องกระจายวัสดุ	22
รูปที่ 3.13 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดมีเครื่อง Disintegrator	23
รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตซีเอ็มซี	33
รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงการอบแห้งซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศ	33
รูปที่ 6.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี ของการทดลองที่ 1.1.1 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม.	41
รูปที่ 6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี ของการทดลองที่ 1.2.1 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม.	42

## สารบัญรูป (ต่อ)

## หน้า

รูปที่ 6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 1.2.2 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม.	43
รูปที่ 6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 1.2.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม.	44
รูปที่ 6.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 2.3.3 และ 3.3.3 อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 3 ซม. ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 และ 460 มม.ปรอท ตามลำดับ	46
รูปที่ 6.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 2.1.3 และ 2.3.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 3 ซม. ที่อุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ	47
รูปที่ 6.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 3.1.3, 3.2.3 และ 3.3.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 3 ซม. ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ	48
รูปที่ 6.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 2.3.1, 2.3.2 และ 2.3.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	49

## สารบัญรูป (ต่อ)

## หน้า

รูปที่ 6.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 3.3.1, 3.3.2 และ 3.3.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	50
รูปที่ 6.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 4.1.1, 4.1.2 และ 4.1.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	51
รูปที่ 6.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 4.2.1, 4.2.2 และ 4.2.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	52
รูปที่ 6.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 3.1.1, 3.1.2 และ 3.1.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	53
รูปที่ 6.13 แสดงเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 3.1.1, 3.1.2 และ 3.1.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	55
รูปที่ 6.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 5 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 3 ซม.	57

## สารบัญรูป (ต่อ)

### หน้า

รูปที่ ข.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 1.1.1 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม.	114
รูปที่ ข.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 1.2.1 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม.	115
รูปที่ ข.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 1.2.2 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม.	116
รูปที่ ข.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 1.2.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	117
รูปที่ ข.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 1.3.1, 1.3.2 และ 1.3.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม. ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ	118
รูปที่ ข.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 2.1.1, 2.1.2 และ 2.1.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	119

## สารบัญญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ข.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี ของการทดลองที่ 2.1.1, 2.1.2 และ 2.1.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	120
รูปที่ ข.8 แสดงเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งซีเอ็มซี ของการทดลองที่ 2.1.1, 2.1.2 และ 2.1.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	121
รูปที่ ข.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี ของการทดลองที่ 2.2.1 และ 2.2.2 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 และ 2 ซม. ตามลำดับ	122
รูปที่ ข.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี ของการทดลองที่ 2.2.1 และ 2.2.2 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 และ 2 ซม. ตามลำดับ	123
รูปที่ ข.11 แสดงเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งซีเอ็มซี ของการทดลองที่ 2.2.1 และ 2.2.2 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 และ 2 ซม. ตามลำดับ	124
รูปที่ ข.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี ของการทดลองที่ 2.3.1, 2.3.2 และ 2.3.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	125

## สารบัญรูป (ต่อ)

### หน้า

รูปที่ ข.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 2.3.1, 2.3.2 และ 2.3.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	126
รูปที่ ข.14 แสดงเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 2.3.1, 2.3.2 และ 2.3.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	127
รูปที่ ข.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 2.3.1, 2.3.2 และ 2.3.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	128
รูปที่ ข.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 2.3.1, 2.3.2 และ 2.3.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	129
รูปที่ ข.17 แสดงเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 2.3.1, 2.3.2 และ 2.3.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	130
รูปที่ ข.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 3.2.1, 3.2.2 และ 3.3.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	131

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ข.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 3.2.1, 3.2.2 และ 3.3.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	132
รูปที่ ข.20 แสดงเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 3.2.1, 3.2.2 และ 3.3.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	133
รูปที่ ข.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 3.3.1, 3.3.2 และ 3.3.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	134
รูปที่ ข.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 3.3.1, 3.3.2 และ 3.3.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	135
รูปที่ ข.23 แสดงเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 3.3.1, 3.3.2 และ 3.3.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	136
รูปที่ ข.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 4.1.1, 4.1.2 และ 4.1.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	137

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ข.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี ของการทดลองที่ 4.1.1, 4.1.2 และ 4.1.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	138
รูปที่ ข.26 แสดงเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งซีเอ็มซี ของการทดลองที่ 4.1.1, 4.1.2 และ 4.1.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	139
รูปที่ ข.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี ของการทดลองที่ 4.2.1, 4.2.2 และ 4.2.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	140
รูปที่ ข.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี ของการทดลองที่ 4.2.1, 4.2.2 และ 4.2.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	141
รูปที่ ข.29 แสดงเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งซีเอ็มซี ของการทดลองที่ 4.2.1, 4.2.2 และ 4.2.3 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ	142
รูปที่ ข.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี ของการทดลองที่ 5 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 3 ซม.	143

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ข.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 5 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 3 ซม.	144
รูปที่ ข.32 แสดงเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 5 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 3 ซม.	145
รูปที่ ง.1 แสดงกราฟ Equal-area differentiation	152
รูปที่ ง.2 แสดงกราฟ Equal-area differentiation ของตัวอย่างการคำนวณ ก.	153
รูปที่ ง.3 แสดงกราฟ Equal-area differentiation ของตัวอย่างการทดลองที่ 1.1.1	155
รูปที่ จ.1 แสดงภาพเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ	157
รูปที่ จ.2 แสดงภาพชั้นวางของเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ	158
รูปที่ จ.3 แสดงภาพระบบท่อ วาล์ว และปั๊มของเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ	159
รูปที่ จ.4 แสดงภาพเครื่องควบคุมการทำงาน และถังปฏิกรณ์เคมี ขนาด 24.7 ลิตรที่ใช้ในการสังเคราะห์ซีเอ็มซี	160
รูปที่ จ.5 แสดงภาพมอเตอร์ และใบกวนแบบ Anchor ของถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร	161

## สัญลักษณ์

A	: พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ม.)
f	: ตัวแปรตาม f
$\frac{\Delta f}{\Delta x}$	: อัตราส่วนระหว่างผลต่างของตัวแปร f กับผลต่างของตัวแปร x
$\frac{df}{dx}$	: อนุพันธ์ของตัวแปร f เทียบกับตัวแปร x
H	: เอนทาลปี (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)
$P_v$	: ความดันไอ (มม.ปรอท)
$P_{vs}$	: ความดันไออิ่มตัว (มม.ปรอท)
R	: อัตราการอบแห้ง (กก./ตร.ม. ชม.)
RH	: ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
T	: อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{do}$	: อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_w$	: อุณหภูมิกระเปาะเปียก ( $^{\circ}\text{C}$ )
t	: เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (นาที)
t'	: เวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีเพื่อให้ได้ความชื้น 8 % โดยน้ำหนัก
v	: ปริมาตรจำเพาะ (ลบ.ม./กก.)
W	: ปริมาณความชื้น (กก.)
W'	: ปริมาณซีเอ็มซีขึ้นก่อนการอบแห้ง (กก.)
$W_s$	: ความชื้นสมดุล (กก.)
$W_s$	: มวลของวัสดุแห้ง (กก.)
X	: อัตราส่วนความชื้น (กก./กก. ผลิตภัณฑ์แห้ง)
$\frac{\Delta X}{\Delta t}$	: อัตราส่วนระหว่างผลต่างของตัวแปร X กับผลต่างของตัวแปร t
$\frac{dX}{dt}$	: อนุพันธ์ของตัวแปร x เทียบกับตัวแปร t
x	: ตัวแปรอิสระ x

## สัญลักษณ์ (ต่อ)

- $y$  : ตัวแปรตาม  $y$
- $\frac{\Delta y}{\Delta x}$  : อัตราส่วนระหว่างผลต่างของตัวแปร  $y$  กับผลต่างของตัวแปร  $x$
- $\frac{dy}{dx}$  : อนุพันธ์ของตัวแปร  $y$  เทียบกับตัวแปร  $x$



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose) หรือซีเอ็มซี (CMC) เป็นสารอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาอีเทอร์ิฟิเคชันระหว่างเซลลูโลสในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับกรดคลอโรอะซิติกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเฟสทรานสเฟอร์ นิยมใช้เป็นวัตถุเติมในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมแก้ว และอุตสาหกรรมการขุดเจาะน้ำมัน เป็นต้น

ในกระบวนการผลิตซีเอ็มซีจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลักๆ ได้แก่ การสังเคราะห์ซีเอ็มซี และการอบแห้งซีเอ็มซี สำหรับการสังเคราะห์ซีเอ็มซีจะใช้เซลลูโลส น้ำ และตัวทำละลายพวกแอลกอฮอล์ เช่น เอทานอลหรือไอโซโพรพานอล และกรดคลอโรอะซิติกเป็นวัตถุดิบสำคัญ ส่วนการอบแห้งซีเอ็มซีจะเป็นการไล่น้ำและแอลกอฮอล์ออกจากซีเอ็มซีให้เหลือปริมาณความชื้นไม่เกิน 8 % โดยน้ำหนัก (คำว่า "ความชื้น" ในที่นี้จะหมายถึง ปริมาณน้ำและแอลกอฮอล์ต่อ น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง) ก่อนการบรรจุเพื่อส่งจำหน่าย ในปัจจุบันการผลิตซีเอ็มซีในเชิงอุตสาหกรรมยังไม่เพียงพอต่อความต้องการภายในประเทศเนื่องจากโรงงานที่สามารถผลิตซีเอ็มซีในประเทศไทยมีเพียงแห่งเดียวคือ บริษัทไทยเซลลูโลสโปรดักส์ จำกัด การศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตซีเอ็มซีจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ โครงการพิเศษที่ผ่านมามีดังนี้

- ศึกษาเพื่อการออกแบบโรงงานต้นแบบในการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยธวัชชัย ศิริพันธ์ ธวัชชัย อธิธิพูนธนกร และนางลัทษณ์ ชินชุมากร (วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2535)

- ศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาการผลิตโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเฟสทรานสเฟอร์ โดยยุพิน อังศุนิตย์ และสมชัย บัทมมงคลชัย (วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2536)

- ศึกษาตัวแปรสำคัญในการขยายขนาดถึงปฏิกรณ์เคมีในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยภัทราวุธ มนต์วิเศษ และวันชนะ ยินสุตร (วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537)

- ศึกษาผลของกำลังบิดต่อปริมาตรที่มีต่อการขยายขนาดของปฏิกรณ์เคมีในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยเดชาวดีเกียรติกุล ประพันธ์ ศรีคุณ และพัฒนพงศ์ สิทธิสาร (วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2538)

- การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบหมุนสำหรับกระบวนการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยจิยาพร จยาวรรณ ไตรรงค์ ชันสาคร และเสาวณีย์ คงมาก (วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539)

- การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศสำหรับกระบวนการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก โดยกานต์ เกตุเอี่ยม ชีรภัทร พนมกิจ และธรรมนุญ อุดมมัน (วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540)

สำหรับโครงการพิเศษนี้เป็นโครงการต่อเนื่องจากโครงการพิเศษปี 2540 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความดัน อุณหภูมิ ความหนาของชั้นซีเอ็มซี และการกอดอัดชั้นซีเอ็มซีต่อการอบแห้งภายใต้ระบบสุญญากาศ และศึกษาหากล้างการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศที่ได้สร้างขึ้นในโครงการพิเศษปี 2540 ในการอบแห้งซีเอ็มซีโดยมีปริมาณความชื้นก่อนและหลังการอบแห้ง 95-120 % และไม่เกิน 8 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1.2.1 ใช้ทฤษฎีของการอบแห้งและความรู้ที่เกี่ยวข้องศึกษาผลของความดัน อุณหภูมิ ความหนาของชั้นซีเอ็มซี และการกอดอัดชั้นซีเอ็มซีต่อการอบแห้งซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศ

1.2.2 ศึกษาหากล้างการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศในการอบแห้งซีเอ็มซีที่ได้จากการผลิตโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย

## 1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

1.3.1 ศึกษาความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับซีเอ็มซีและกระบวนการผลิตซีเอ็มซี

1.3.2 ศึกษาลักษณะของเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรม

เอกสารนี้ 1.3.3 ศึกษาความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเทคโนโลยีสุญญากาศ  
 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.4 ศึกษาผลของความดัน อุณหภูมิ ความหนาของชั้นซีเอ็มซี และการกดอัดชั้นซีเอ็มซีต่อการอบแห้งซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศ

1.3.5 ศึกษาหาค่าล้าการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศในการอบแห้งซีเอ็มซี

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 มีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการผลิตซีเอ็มซีและสามารถสังเคราะห์ซีเอ็มซี

1.4.2 มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะและหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ

1.4.3 เรียนรู้การพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งแบบสุญญากาศ

1.4.4 รู้ผลของตัวแปรต่างๆต่อการอบแห้งซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศ

1.4.5 มีความเข้าใจในการทำงานเกี่ยวกับการเก็บข้อมูลสำหรับการทำวิจัย

#### 1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงานของโครงการพิเศษ

1.5.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ศึกษาลักษณะและหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ

1.5.3 ศึกษาเรื่องเทคโนโลยีสุญญากาศ

1.5.4 ศึกษาสมบัติของซีเอ็มซีและกระบวนการผลิตซีเอ็มซี

1.5.5 สังเคราะห์ซีเอ็มซีเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลการอบแห้ง

1.5.6 ศึกษาผลของความดัน อุณหภูมิ ความหนาของชั้นซีเอ็มซี และการกดอัดชั้นซีเอ็มซีต่อการอบแห้งซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศ

1.5.7 คำนวณความชื้น อัตราการอบแห้ง และสร้างเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง

1.5.8 คำนวณค่าล้าการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศในการอบแห้งซีเอ็มซี

1.5.9 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

## บทที่ 2

### ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

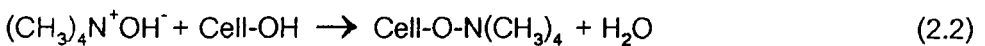
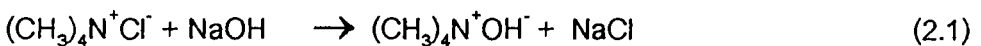
#### 2.1 ปฏิริยาการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส [ 1 ]

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสสามารถสังเคราะห์ได้ตามขั้นตอนปฏิริยาดังนี้

2.1.1 ปฏิริยาระหว่างเซลลูโลส (Cellulose, Cell-OH) ในวัฏภาคตัวทำละลายอินทรีย์ซึ่งในที่นี้คือเอทานอล (Ethanol, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodiumhydroxide, NaOH) ในวัฏภาคน้ำ โดยมีตัวเร่งปฏิริยาคือ เตตราเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (Tetramethyl ammonium chloride, ((CH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>N<sup>+</sup>Cl)) เป็นสารนำพาระหว่างสองวัฏภาค แสดงดังสมการที่ 2.1 และ 2.2

2.1.2 ปฏิริยาการเกิดอีเทอร์ระหว่างเซลลูโลสกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ สารละลายกรดคลอโรอะซิติก (Chloroacetic acid , ClCH<sub>2</sub>COOH) ในเอทานอล หลังจากนั้นทำให้เป็นกลางด้วยกรดอะซิติกเข้มข้นเพื่อยุติปฏิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose, Cell-OCH<sub>2</sub>COOH) โดยมีโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไกลโคลเวต เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากปฏิริยา จากนั้นจึงนำคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ได้ไปทำให้บริสุทธิ์ โดยใช้เมทานอล เอทานอล หรืออะซีโตนเป็นตัวสกัดเพื่อแยกเกลือโซเดียมออก แสดงดังสมการที่ 2.3

ก. ปฏิริยาเฟสทรานเฟอร์ (Phase transfer reactions)

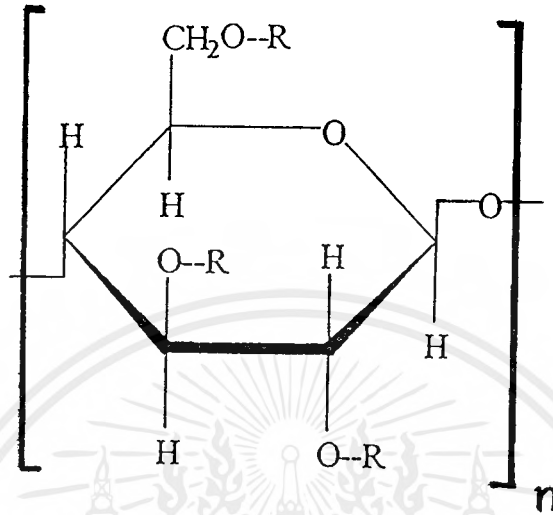


ข. ปฏิริยาการเกิดอีเทอร์ (Etherification)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 โครงสร้างของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส [ 2 ]

$n$  : ความยาวโมเลกุลของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

$R$  : H หรือ  $\text{CH}_2\text{COO}^-\text{Na}^+$

ค่าความสามารถในการแทนที่ (Degree of Substitution) หรือค่าดีเอส (DS) ของกลุ่มไฮเดียมคาร์บอกซีเมทิล ( $\text{CH}_2\text{COO}^-\text{Na}^+$ ) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.3-3.0 ขึ้นอยู่กับจำนวนไฮเดียมคาร์บอกซีเมทิลที่เข้าไปแทนที่หมู่ไฮดรอกซิล ( $\text{OH}$ ) ต่อหนึ่งหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (Anhydroglucose unit) โดยทั่วไปซีเอ็มซีจะมีค่าดีเอสอยู่ระหว่าง 0.6-0.9 ซึ่งค่าดีเอสนี้จะบอกถึงความสามารถในการละลายของซีเอ็มซีในน้ำ หรือสารละลายเบส เช่น ถ้าซีเอ็มซีที่มีค่าดีเอสต่ำกว่า 0.3 จะไม่ละลายน้ำ แต่จะละลายได้ดีในด่าง ส่วนซีเอ็มซีที่มีค่าดีเอสสูงกว่า 0.45 จะสามารถละลายน้ำได้ เป็นต้น นอกจากนี้ค่าดีเอสยังบอกถึงเสถียรภาพ (Stability) ของซีเอ็มซีต่อสภาพอากาศ ความชื้น แสงแดด ความร้อน เอนไซม์ และมลภาวะต่างๆ ซีเอ็มซีที่มีค่าดีเอสสูงๆ จะยังมีเสถียรภาพสูง [ 3 ]

## 2.3 คุณสมบัติหลักของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส [ 4 ]

### 2.3.1 เป็นสารละลายที่เพิ่มความหนืดและช่วยในการยึดเกาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ละลายได้ทั้งในน้ำเย็นและน้ำร้อน ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ น้ำมัน และ ไซ สามารถละลายในสารละลายผสมระหว่างน้ำกับตัวทำละลายอินทรีย์ที่ละลายน้ำ เช่น เอทานอล หรืออะซีโตน ได้สารละลายที่มีความหนืด

2.3.3 ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีอันตราย ไม่เป็นพิษ และไม่ระคายเคืองผิวหนัง

2.3.4 มีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 6.5-8.0

2.3.5 ไม่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติแม้จะเก็บไว้เป็นเวลานาน

2.3.6 ทำหน้าที่เป็นสารคงสภาพ (Stabilizer) สารช่วยในการแขวนลอย (Suspending aid) สารเพิ่มความหนืด (Thickener) สารช่วยในการกระจายอนุภาค (Dispersing aid) และสารยึด (Binder) ได้ดี

2.3.7 มีความคงทนต่อสารเคมีและเชื้อจุลินทรีย์สูงกว่าสารธรรมชาติ

2.3.8 มีความสามารถในการดูดและเก็บน้ำได้ดี

2.3.9 ความหนืดลดลงเมื่อถูกแรงเขือนและการกวนสารละลาย

2.3.10 เป็นสารเพิ่มเนื้อสำหรับอาหารและเครื่องดื่มแคลอรีต่ำ

#### 2.4 สมบัติทางกายภาพของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสแห้ง [ 4 ]

2.4.1 ความบริสุทธิ์ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (% โดยน้ำหนัก)	72 - 99.5 %
2.4.2 ความชื้น (%โดยน้ำหนัก)	7 - 8 %
2.4.3 อุณหภูมิที่ทำให้เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (Browning temperature, °ซ)	180 - 225
2.4.4; อุณหภูมิที่ทำให้เป็นถ่าน (Charring temperature, °ซ)	210 - 250
2.4.5 ความหนาแน่น (Bulk density, กรัม/มิลลิลิตร)	0.65 - 0.75
2.4.6 บีโอดี (Biological Oxygen Demand, กรัม/มิลลิลิตร )	10,000 - 18,000

#### 2.5 คุณสมบัติการละลายของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส [ 5 ]

การประยุกต์ใช้ซีเอ็มซีส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปการละลายในน้ำ ดังนั้นขั้นตอนการละลายจึงถือว่าสำคัญที่สุด เนื่องจากซีเอ็มซีมีแนวโน้มจะจับตัวเป็นก้อนที่เรียกว่า Lump ในบางครั้งอาจละลายซีเอ็มซีโดยใช้ตัวทำละลายอื่นๆ เช่น เอทานอล แล้วเติมน้ำภายหลังเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด Lump สำหรับส่วนผสมอื่นๆ ที่ต้องการผสมกับซีเอ็มซีให้ผสมกันขณะแห้งก่อนแล้วจึงละลายน้ำ ในการผสมแบบแห้งควรใช้ซีเอ็มซีน้อยกว่า 20 % โดยน้ำหนัก และการพ่นไอน้ำลงในภาชนะขณะละลายจะช่วยให้ซีเอ็มซีละลายได้ดีขึ้น

## 2.6 ประโยชน์ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส [ 5 ]

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นสารที่นิยมใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น

### 2.6.1 อุตสาหกรรมอาหาร

- ใช้เป็นสารป้องกันการตกผลึกในไอศกรีม น้ำตาลปน (Icing) และน้ำเชื่อม
- ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดในน้ำสลัด เครื่องดื่ม และอาหารสัตว์
- ใช้เป็นสารช่วยในการแขวนลอยในผลิตภัณฑ์ นม และน้ำผลไม้
- ใช้เป็นสารทำให้เป็นก้อนในเยลลี่ และขนมพุดดิ้ง (Pudding)
- ใช้เป็นสารทำให้ขึ้นฟูในไอศกรีม (Whipping cream)

### 2.6.2 อุตสาหกรรมยา

- ใช้เคลือบเม็ดยาเพื่อให้คงตัว และใช้เป็นสารควบคุมการออกฤทธิ์ของยาเนื่องจากซีเอ็มซีไม่ละลายในสภาวะที่เป็นกรด เช่น ในกระเพาะอาหาร แต่ละลายในสภาวะที่เป็นด่าง เช่น ในลำไส้

- ใช้เป็นสารป้องกันการแยกตัวของยาที่มีส่วนผสมของสารแขวนลอยหรืออิมัลชัน

### 2.6.3 อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง

- ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารช่วยในการแขวนลอย และสารก่อกฟิล์มในผลิตภัณฑ์พวกครีม โลชั่น แชมพู เจล และยาสีฟัน

### 2.6.4 อุตสาหกรรมผงซักฟอก

- ใช้ผสมในผงซักฟอกเพื่อป้องกันไม่ให้สิ่งสกปรกที่หลุดออกจากผ้าติดบนเนื้อผ้าอีก

### 2.6.5 อุตสาหกรรมสีและวานิช

- ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารช่วยในการแขวนลอยของผงสี และสารก่อกฟิล์มในวานิช

### 2.6.6 อุตสาหกรรมพอลิเมอร์

- ใช้เป็นสารป้องกันการแยกตัว และสารช่วยในการแขวนลอยในปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของไวนิลคลอไรด์

### 2.6.7 อุตสาหกรรมสิ่งทอ

- ใช้เป็นสารที่ช่วยทำให้ด้ายดิบมีความแข็งแรง ทน เรียบ และมีน้ำหนัก
- ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดในสีพิมพ์ผ้า

### 2.6.8 อุตสาหกรรมกาว

- ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดในกาวสูตรน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.6.9 อุตสาหกรรมกระดาษ

- ใช้เป็นสารเคลือบกระดาษเพื่อให้การพิมพ์หมึกดีขึ้น และไม่ดูดซึมน้ำมัน

#### 2.6.10 อุตสาหกรรมน้ำมัน

- ใช้เป็นสารผสมทำน้ำโคลน (Mud) สำหรับหล่อชิ้นเครื่องขุดเจาะน้ำมัน เนื่องจากซีเอ็มซีอุ้มน้ำได้ในปริมาณสูงจึงช่วยให้การแขวนลอยของน้ำโคลนมีความคงตัว

#### 2.6.11 อุตสาหกรรมเซรามิก

- ใช้เป็นสารช่วยทำให้ขึ้น และสารช่วยในการแขวนลอยในส่วนผสมของดิน

#### 2.6.12 อุตสาหกรรมยาฆ่าแมลง

- ใช้เป็นสารช่วยในการแขวนลอยในยาฆ่าแมลงจำพวกสูตรน้ำ



## บทที่ 3

### ทฤษฎีและความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการอบแห้ง

#### 3.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการอบแห้ง (Drying fundamentals) [ 7 ]

การอบแห้ง คือ กระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้นเพื่อไล่ความชื้นโดยการระเหย ความร้อนที่วัสดุชิ้นได้รับนี้จะนำไปเป็นความร้อนแฝงของการระเหย ในกระบวนการอบแห้งจะเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของอากาศชื้น ดังนั้นจึงควรที่จะมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณสมบัติของอากาศชื้น ดังนี้

##### 3.1.1 ความดันไอ (Vapor pressure, $P_v$ ) [ 8 ]

ความดันไอ คือ ความดันของสารบริสุทธิ์ ณ จุดสมดุลที่อุณหภูมิใดๆ ถ้าอากาศชื้นอิ่มตัวด้วยไอน้ำจะเรียกความดันไอนี้ว่า ความดันไออิ่มตัว (Saturated vapor pressure,  $P_{vs}$ ) ค่าความดันไออิ่มตัวนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูง ความดันไออิ่มตัวก็จะมีค่าสูงขึ้นด้วย

##### 3.1.2 ความชื้นสมดุล (Equilibrium humidity, $W_e$ ) [ 7 ]

ความชื้นสมดุล คือ ปริมาณความชื้นในวัสดุชิ้นที่มีปริมาณเท่ากับความชื้นของบรรยากาศภายนอก ทำให้ไม่มีการแพร่เข้าและออกของความชื้นเข้าไปในวัสดุชิ้น เมื่อทิ้งไว้ที่บรรยากาศภายนอก

##### 3.1.3 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity, RH) [ 7 ]

ความชื้นสัมพัทธ์ คือ ความชื้นที่มีอยู่ในอากาศโดยคิดจากสัดส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริง ณ อุณหภูมินั้นต่อสัดส่วนของปริมาณไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิ และความดันบรรยากาศเดียวกัน ค่าความชื้นสัมพัทธ์มักจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ และมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์

##### 3.1.4 ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume, $v$ ) [ 7 ]

ปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น คือ ปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของอากาศแห้ง

### 3.1.5 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry-bulb temperature, $T$ ) [ 7 ]

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง คือ อุณหภูมิของอากาศชั้นภายในห้องที่ทำการวัดในขณะนั้นโดยนำเทอร์โมมิเตอร์ไปแขวนอย่างอิสระที่ใดที่หนึ่ง

### 3.1.6 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-bulb temperature, $T_w$ ) [ 7 ]

อุณหภูมิกระเปาะเปียก คือ อุณหภูมิของอากาศชั้นที่ทำการวัดในขณะที่กระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์ถูกหุ้มด้วยผ้าก๊อตหรือสำลีเปียกและมีลมพัดผ่านกระเปาะเปียกนี้ด้วยความเร็วอย่างน้อย 4.6 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิที่ได้จากการวัดโดยวิธีนี้เรียกว่า อุณหภูมิกระเปาะเปียกเชิงไซโครเมตริก

อุณหภูมิกระเปาะเปียกสามารถวัดได้อีกแบบหนึ่งโดยการพ่นละอองน้ำภายในสถานที่ที่จะวัดโดยหุ้มฉนวนอย่างดี น้ำจะระเหยเข้าไปในชั้นบรรยากาศจนอากาศอิ่มตัว อุณหภูมิที่ได้จากการวัดโดยวิธีนี้เรียกว่า อุณหภูมิกระเปาะเปียกเชิงเทอร์โมไดนามิกส์

อุณหภูมิกระเปาะเปียกที่ได้จากการวัดโดยวิธีทั้งสองนี้มีค่าใกล้เคียงกันมาก ในทางปฏิบัตินิยมใช้ค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกเชิงไซโครเมตริกในการคำนวณ เนื่องจากทำการวัดได้ง่ายกว่าการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกเชิงเทอร์โมไดนามิกส์

### 3.1.7 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew-point temperature, $T_{do}$ ) [ 7 ]

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง คือ อุณหภูมิที่ไอน้ำในอากาศเริ่มควบแน่นเมื่ออากาศนั้นถูกทำให้เย็นลงที่อัตราส่วนความชื้นและความดันบรรยากาศคงที่

### 3.1.8 เอนทัลปี (Enthalpy, $H$ ) [ 7 ]

เอนทัลปีของอากาศชื้น คือ ค่าปริมาณความร้อนของอากาศชื้นที่สูงกว่าอุณหภูมิอ้างอิงที่กำหนดขึ้นต่อหนึ่งหน่วยมวลของอากาศแห้ง ในทางปฏิบัตินิยมใช้อุณหภูมิอ้างอิงของน้ำ 32 °ฟ และของอากาศแห้ง 0 °ฟ (ในระบบอังกฤษ) และอุณหภูมิอ้างอิงของน้ำและอากาศแห้งเท่ากับ 0 °ซ (ในระบบเมตริกและระบบสากล) ในการคำนวณความแตกต่างของเอนทัลปีของอากาศชื้นนิยมใช้อุณหภูมิอ้างอิงของระบบอังกฤษหรือระบบสากล แต่สามารถกำหนดอุณหภูมิอ้างอิงใดๆ ก็ได้เพื่อความสะดวกในการคำนวณ

### 3.1.9 อัตราส่วนความชื้น [ 7 ]

อัตราส่วนความชื้นของอากาศ คือ มวลของไอน้ำที่อยู่ในอากาศแห้งต่อหนึ่งหน่วยมวลของอากาศแห้ง

โดยทั่วไปจะนิยามปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุอบแห้ง ดังนี้

$X$  = อัตราส่วนความชื้น (Moisture content) แสดงมวลของวัสดุแห้งเป็นมาตรฐานในการคำนวณหาความชื้น

$W$  = ปริมาณความชื้น (Moisture) แสดงมวลของวัสดุเปียกซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

$W_s$  = มวลของวัสดุแห้ง

ดังนั้นจึงนิยมใช้มวลของวัสดุแห้งเป็นมาตรฐานในการคำนวณหาความชื้น

$X$  มีความสัมพันธ์กับ  $W$  ดังนี้

$$X = \left( \frac{W - W_s}{W_s} \right) \quad (3.1)$$

### 3.1.10 อัตราการอบแห้ง (Rate of drying, R)

อัตราการอบแห้งจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant rate of drying) และ ช่วงอัตราการอบแห้งที่ลดลง (Decreasing rate of drying) โดยที่อัตราการอบแห้งทั้งสองช่วงนี้สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$R = - \left( \frac{W_s}{A} \right) \times \left( \frac{dX}{dt} \right) \quad (3.2)$$

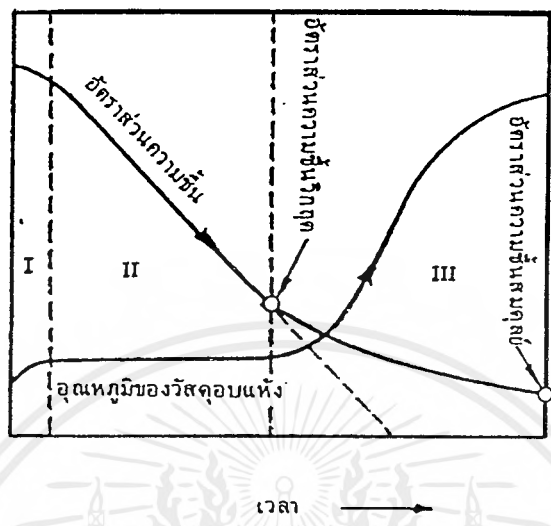
## 3.2 กลไกการอบแห้ง [ 7 ]

เงื่อนไขการอบแห้ง แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

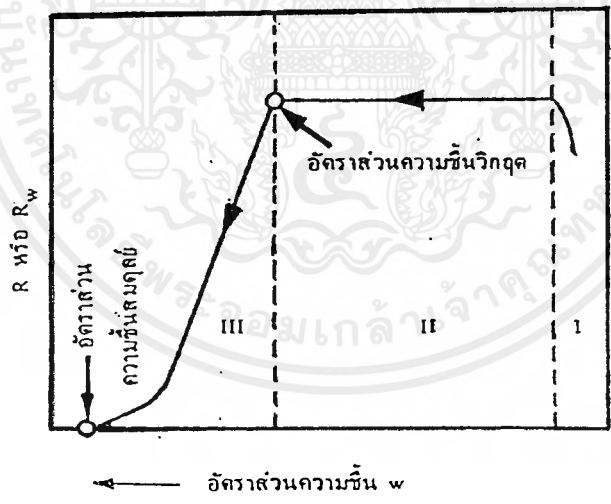
3.2.1 เงื่อนไขภายนอกวัสดุ เช่น วิธีถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุ วิธีกำจัดความชื้นที่ระเหยออกมาจากวัสดุ ความชื้นอิ่มตัวของอากาศร้อน ความดัน และอุณหภูมิของการอบแห้ง เป็นต้น

3.2.2 เงื่อนไขภายในวัสดุ เช่น ความพรุนของของแข็ง การนำความร้อนของวัสดุขึ้น อุณหภูมิของวัสดุขึ้น อัตราส่วนความชื้น และอัตราส่วนความชื้นสมดุล เป็นต้น

ในการอบแห้งวัสดุเปียกชื้นจะกระทำภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งที่คงที่ เช่น ความชื้น ความเร็วลม อุณหภูมิ ความดัน ฯลฯ ถ้าทำการทดลองวัดการเปลี่ยนแปลงมวลและอุณหภูมิของวัสดุอบแห้งกับเวลาจะได้เส้นกราฟมีลักษณะดังรูปที่ 3.1 หรือวัดอัตราการอบแห้งกับอัตราส่วนความชื้นจะได้เส้นกราฟที่เรียกว่า "เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง" แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมวลและอุณหภูมิจากเวลาในการอบแห้ง [ 7 ]



รูปที่ 3.2 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง [ 7 ]

จากรูปที่ 3.1 และ 3.2 พบว่า การอบแห้งแบ่งออกเป็น 3 ช่วงใหญ่ๆ ดังนี้

- ก. ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ
- ข. ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วคงที่
- ค. ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วลดลง

ดังรายละเอียดต่อไปนี้

### ก. ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ

ที่ผิวของวัสดุขึ้นความชื้นจะอยู่ในรูปของเหลว ถ้านำวัสดุขึ้นนี้มาอบภายใต้สภาวะการอบแห้งคงที่ อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของกระแสลมร้อน ช่วงเวลาที่วัสดุใช้เพื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึงค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกนี้คือ ช่วงที่ I แสดงดังรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2

### ข. ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วคงที่

เนื่องจากความร้อนที่ถ่ายเทจากอากาศมายังวัสดุขึ้น ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลขึ้นพร้อมกัน ในช่วงนี้ความร้อนทั้งหมดที่วัสดุได้รับจะถูกใช้ในการระเหยน้ำ หรือของเหลวออกจากวัสดุขึ้น ความร้อนที่วัสดุได้รับในช่วงนี้คือ ความร้อนแฝงในการระเหยนั่นเอง อัตราการอบแห้งในช่วงนี้จึงไม่ขึ้นกับเงื่อนไขภายในวัสดุ แต่ขึ้นกับเงื่อนไขภายนอกวัสดุที่ใช้ในการอบแห้ง ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วคงที่ คือ ช่วงที่ II แสดงดังรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2

### ค. ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วลดลง

ในขั้นตอนนี้เมื่อความชื้นที่อยู่ในรูปของเหลวในวัสดุจะระเหยหมดเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนของของเหลวจากส่วนในของวัสดุเกิดขึ้นไม่ทันกับการระเหยของของเหลวหรือน้ำจากผิวของวัสดุจะทำให้อัตราการอบแห้งในวัสดุลดลง และเรียกอัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนจากช่วงของการอบแห้งที่ความเร็วคงที่เป็นช่วงการอบแห้งที่ความเร็วลดลงว่า "อัตราส่วนความชื้นวิกฤติ" หลังจุดนี้วัสดุจะแห้งและอุณหภูมิของวัสดุจะเริ่มสูงขึ้นจนสมดุลกับอากาศเข้า เรียกอัตราส่วนความชื้นที่จุดสมดุลนี้ว่า "อัตราส่วนความชื้นสมดุล" ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วลดลง คือ ช่วงที่ III แสดงดังรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2

## 3.3 ประเภทเครื่องอบแห้ง [ 7 ]

เครื่องอบแห้งที่ใช้กันในระดับอุตสาหกรรม แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

- ก. เครื่องอบแห้งที่ระบบการทำงานแบบต่อเนื่อง (Continuous dryer)
- ข. เครื่องอบแห้งที่ระบบการทำงานแบบครั้ง (Batch dryer)

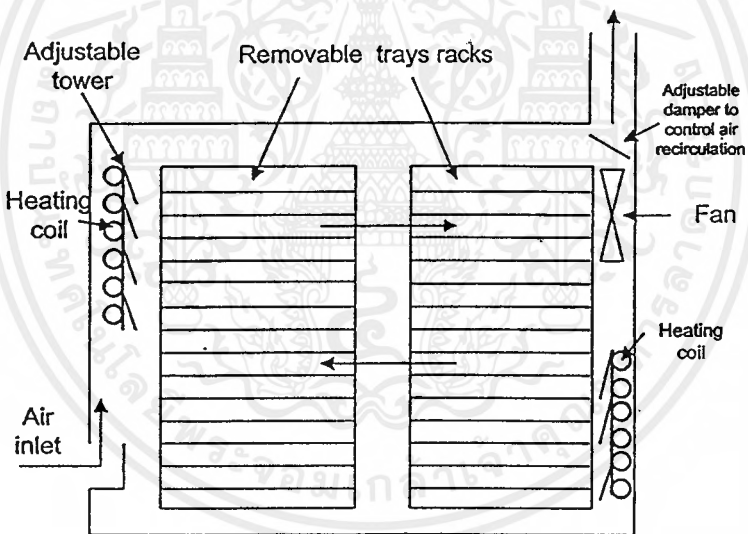
เมื่อแบ่งตามลักษณะการทำงานของเครื่องอบแห้ง สามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

### 3.3.1 เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryer)

เครื่องอบแห้งแบบนี้เหมาะสำหรับวัสดุชิ้น ที่ไม่สามารถอบแห้งแบบกองรวมกันในปริมาณมากๆ ได้ วัสดุชิ้นที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งประเภทนี้ เช่น ยางผง ขนมหวานต่างๆ เครื่องหนัง ยาสมุนไพร และเซรามิก เป็นต้น

#### หลักการทำงาน

ทำให้อากาศร้อนโดยขดลวดแล้วให้ไหลผ่านวัสดุชิ้นในเครื่องอบแห้ง อากาศร้อนจะไประเหยของเหลวออกจากวัสดุชิ้น การไหลของอากาศร้อนจะขนานกับถาดบรรจุวัสดุชิ้น หรือตั้งฉากกับตัวถาดก็ได้แล้วแต่การออกแบบ รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องอบแห้งแบบถาด ข้อเสียของเครื่องอบแห้งแบบถาด คือ การกระจายของลมร้อนไม่ทั่วถึงทำให้วัสดุชิ้นที่จุดต่างๆ แห้งไม่เท่ากัน โดยวัสดุชิ้นที่อยู่บริเวณทางเข้าของอากาศร้อนจะแห้งมากกว่าวัสดุชิ้นที่อยู่บริเวณทางออกของอากาศร้อน



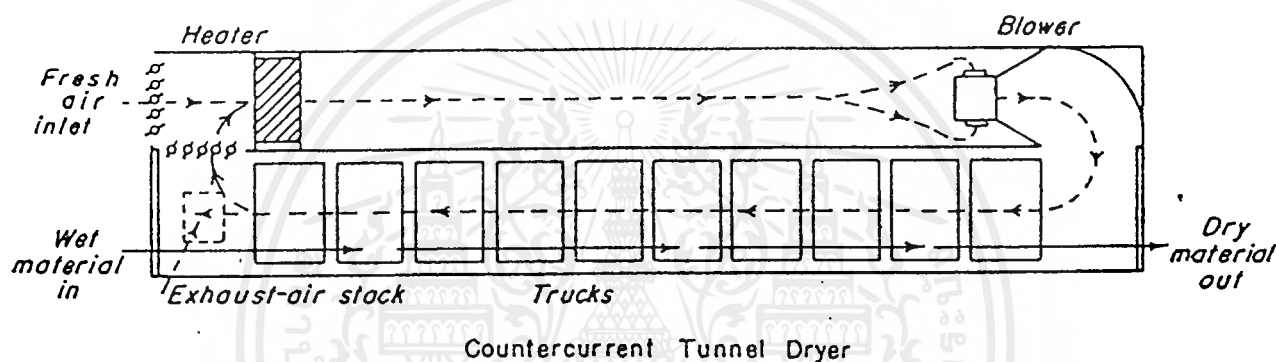
รูปที่ 3.3 เครื่องอบแห้งแบบถาด [ 7 ]

### 3.3.2 เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ (Tunnel dryer)

#### หลักการทำงาน

วัสดุชิ้นจะอยู่บนสายพานแล้วให้สายพานเลื่อนเข้าไปในอุโมงค์ที่มีอากาศร้อนไหลสวนทางกับการเคลื่อนที่ของสายพาน หรือจะให้อากาศร้อนไหลขนานในทิศทางเดียวกับวัสดุก็ได้ ขึ้นอยู่กับว่าต้องการอัตราการอบแห้งที่เร็ว และการทนต่ออุณหภูมิสูงๆ ของวัสดุชิ้นได้มากเพียงใด เครื่องอบแห้งแบบนี้มักใช้ในอุตสาหกรรมไม้อัด อุตสาหกรรมเส้นไหม อุตสาหกรรมรองเท้า และ อุตสาหกรรมกระดาษฟอกหนัง สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ควบคุมเครื่องมือหรือผู้ออกแบบเครื่องอบแห้งประเภทนี้จะต้องคำนวณหรือพิจารณาตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องให้รอบคอบเพราะถ้าพิจารณาไม่ดีจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานตามที่ต้องการ ตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่ เวลาที่สายพานเคลื่อนที่ในอุโมงค์ ปริมาณของวัสดุชิ้นที่อยู่ในสายพาน ปริมาณความชื้นในวัสดุ ความชื้นของอากาศในวันที่ทำการอบแห้ง และความเร็วของอากาศร้อน เป็นต้น ซึ่งจะต้องมีความสัมพันธ์กันอย่างเหมาะสมจึงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตรงตามมาตรฐาน รูปที่ 3.4 แสดงเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์



รูปที่ 3.4 เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ [ 9 ]

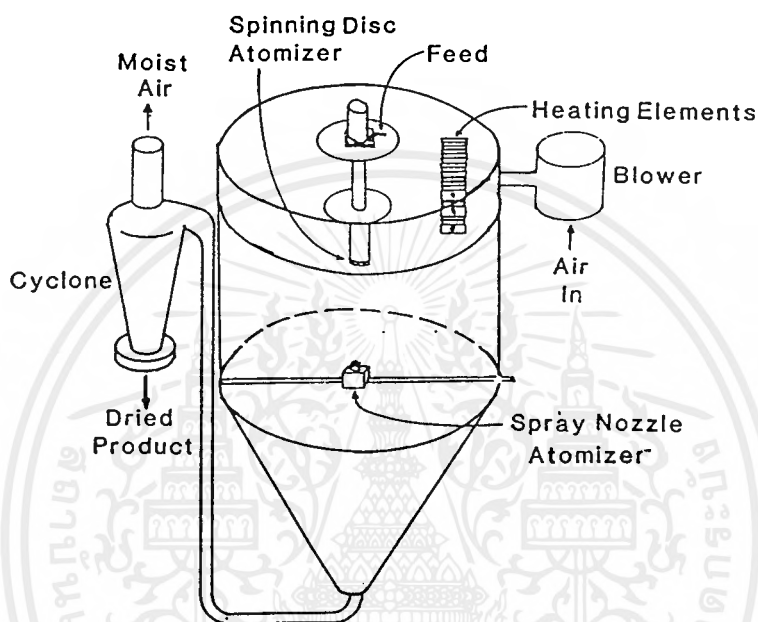
### 3.3.3 เครื่องอบแห้งแบบหมุน (Rotary dryer)

#### หลักการทำงาน

มีลักษณะเป็นทรงกระบอกหมุนได้ ทำให้วัสดุชิ้นที่อยู่ในมีการพลิกตัวเองอย่างสม่ำเสมอ ทุกส่วนของวัสดุชิ้นได้สัมผัสกับอากาศร้อนอย่างทั่วถึง ทรงกระบอกนี้อาจจะวางแนวตั้งหรือนอนก็ได้ขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบ และสามารถหมุนได้ด้วยแรงขับของมอเตอร์ สำหรับทรงกระบอกแนวตั้ง วัสดุชิ้นจะถูกป้อนเข้าสู่ทรงกระบอกทางด้านบน แล้วค่อยๆ กลิ้งลงมาตามการหมุนของทรงกระบอก วัสดุที่แห้งแล้วจะออกทางด้านล่าง อากาศร้อนจะออกทางด้านบน สำหรับทรงกระบอกนอนจะวางในลักษณะข้างหนึ่งสูงข้างหนึ่งต่ำ วัสดุชิ้นจะถูกป้อนเข้าสู่ทรงกระบอกด้านบนก่อนแล้วค่อยๆ กลิ้งลงตามการหมุนของทรงกระบอก วัสดุที่แห้งแล้วจะออกทางด้านต่ำ อากาศร้อนจะออกทางด้านสูง นอกจากนี้ภายในเครื่องอบแห้งสามารถติดตั้งครีบทหรือก้างปลาไว้ภายในเพื่อช่วยให้วัสดุเคลื่อนที่ขึ้นลงและกลับตัวเองได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอบแห้งแบบนี้สามารถใช้ได้กับวัสดุที่มีความชื้นสูงถึง 70 % โดยน้ำหนัก และลดปริมาณความชื้นลงเหลือต่ำกว่า 10 % โดยน้ำหนัก เครื่องอบแห้งแบบนี้มักใช้ในอุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ อุตสาหกรรมถลุงแร่ และอุตสาหกรรมเคมี รูปที่ 3.5 แสดงเครื่องอบแห้งแบบหมุนแบบทรงกระบอกตั้ง



รูปที่ 3.5 เครื่องอบแห้งแบบหมุนแบบทรงกระบอกตั้ง [ 10 ]

### 3.3.4 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum dryer)

#### หลักการทำงาน

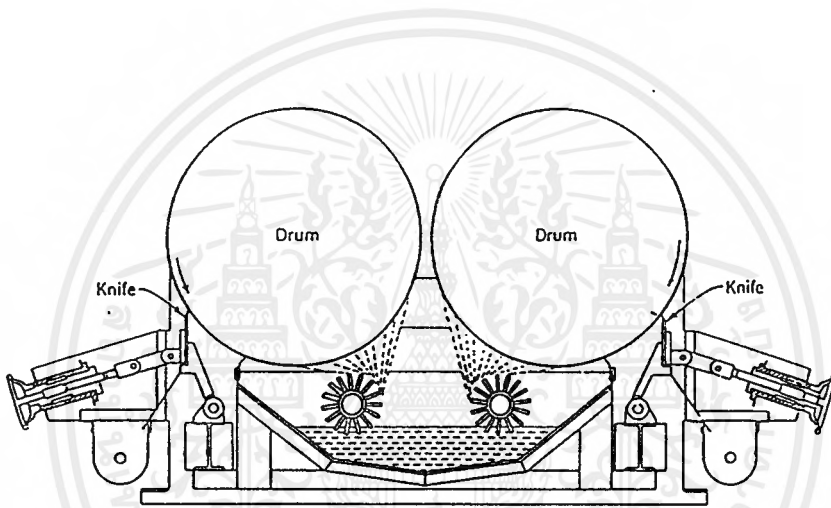
เครื่องอบแห้งนี้เหมาะสำหรับวัสดุที่เป็นแผ่นหรือถูกทำให้เป็นแผ่นพร้อมกับการทำให้แห้ง โดยใช้ลูกกลิ้งขนาดใหญ่ตรงแกนด้านหนึ่งมีไอน้ำเป็นแหล่งให้ความร้อนเข้าสู่ภายในลูกกลิ้งและไอน้ำจะไหลออกอีกทางด้านหนึ่ง ความร้อนจะผ่านผนังลูกกลิ้งไปถ่ายเทให้กับฟิล์มของของเหลวที่ติดกับผนังลูกกลิ้งด้านนอกที่หมุนช้าๆ พอลมรอบวัสดุชั้นจะเป็นแผ่นของแข็งพอดี ทางด้านล่างของลูกกลิ้งจะมีแผ่นโลหะลักษณะคล้ายใบมีดวางติดกับลูกกลิ้งเพื่อให้ชุดของแข็งที่เป็นแผ่นให้ลอกออกจากผนังลูกกลิ้ง

เครื่องอบแห้งนี้ใช้งานได้ทั้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยวและแบบลูกกลิ้งคู่ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของวัสดุที่จะใช้ ดังนี้

ก. เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยว มักใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมยา

ข. เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ใช้ได้ดีกับอุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ และอุตสาหกรรมยาง

ในการใช้งานของเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งเพื่อให้การใช้งานเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ต้องคำนึงถึงความเร็วลูกกลิ้ง ปริมาณความร้อนจากไอน้ำ ชนิดของผนังลูกกลิ้ง และความหนาของชั้นฟิล์ม รูปที่ 3.6 แสดงเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง



Twin-drum dryer with splash feed. Splashing the feed onto the drum aids in making it adhere to the drums and produces a dense coating. (Courtesy of Blaw-Knox Food & Chemical Equipment, Inc., Buflovak Division, One of the WCI Industries.)

รูปที่ 3.6 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง [ 11 ]

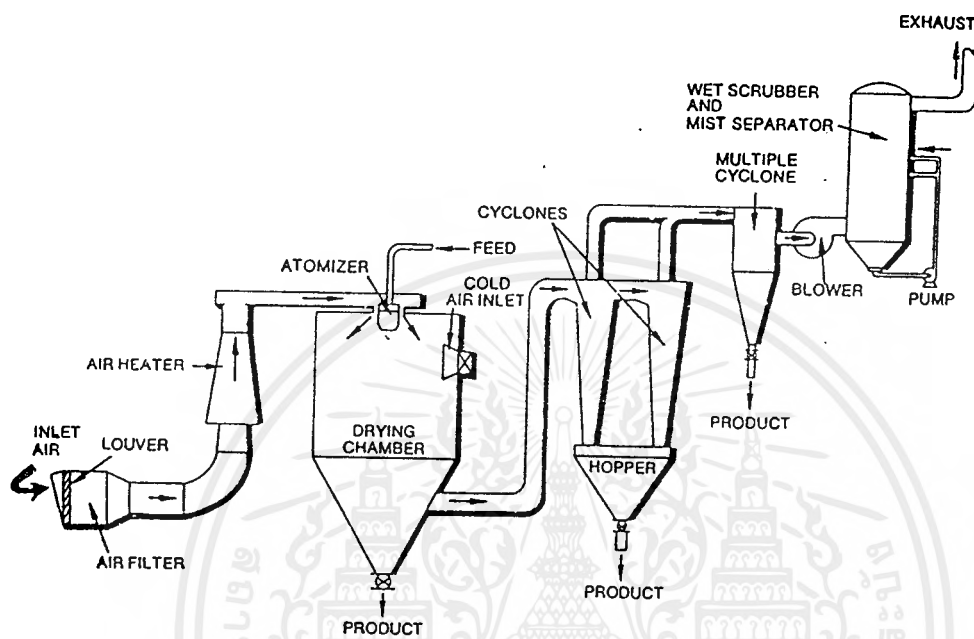
### 3.3.5 เครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดพ่นฝอย (Spray dryer)

#### หลักการทำงาน

ป้อนวัสดุขึ้นเข้าไปในเครื่องพ่นหัวฉีดซึ่งหมุนด้วยความเร็วสูงประมาณ 10,000 รอบต่อนาที จะทำให้ของเหลวเป็นผงได้ในเวลาไม่นาน จุดประสงค์ของการทำงานผ่านหัวฉีดคือ ต้องการให้วัสดุขึ้นกลายเป็นละอองเล็กๆ ลอยอยู่ในเครื่องอบแห้งที่มีอากาศร้อนไหลสวนทางขึ้นมา ความร้อนของอากาศร้อนจะทำให้ของเหลวระเหยอย่างรวดเร็ว เมื่อละอองของวัสดุขึ้นลอยมาถึงส่วนล่างของเครื่องอบแห้ง วัสดุขึ้นจะกลายเป็นผงเล็กๆ และถูกดูดออกจากเครื่องด้วยพัดลมดูดอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอบแห้งแบบนี้มีต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการทำงานสูง สินค้าที่จะใช้  
เครื่องอบแห้งแบบนี้จึงมีราคาแพง ส่วนมากมักใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น กาแฟผงสำเร็จรูป  
ไข่ผง และนมผง รูปที่ 3.7 แสดงเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดพ่นฝอย



รูปที่ 3.7 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย [ 11 ]

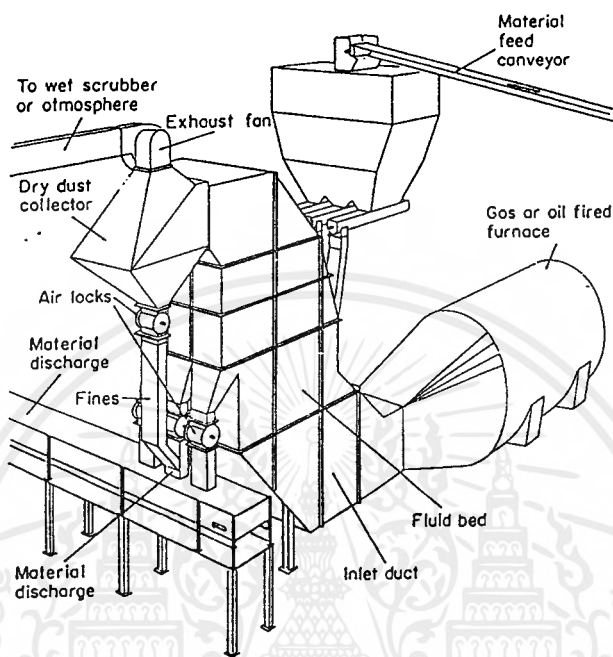
### 3.3.6 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไธซ์เบด (Fluidized bed dryer)

#### หลักการทํางาน

มีลักษณะเป็นหอหรือถังซึ่งภายในบรรจุด้วยอนุภาคของวัสดุขึ้น บริเวณพื้นของถัง  
จะมีแผ่นรองรับที่เจาะเป็นรูพรุน เพื่อให้สามารถเป่าอากาศร้อนผ่านวัสดุขึ้นจากด้านล่าง  
ถ้าความเร็วถึงระดับหนึ่งวัสดุขึ้นจะเคลื่อนไหว การเคลื่อนไหวของวัสดุขึ้นมีลักษณะเหมือนกำลัง  
แขวนลอย เรียก "Fluidized" ซึ่งเป็นสภาพกึ่งกลางระหว่างสภาพเบดนิ่ง (Fixed bed) และสภาพ  
ถูกพัดพาด้วยอากาศ (Pneumatic conveyor) กล่าวคือ เม็ดของแข็งจะกระจัดกระจายในลักษณะ  
แขวนลอยและมีคุณสมบัติในการไหลคล้ายของเหลว เมื่อมองจากภายนอกจะเห็นว่าที่ผิวของ  
ฟลูอิดไธซ์เบดนั้นจะมีลักษณะคล้ายของเหลวที่กำลังเดือด เนื่องจากการเคลื่อนไหวของเม็ดของแข็ง  
มีลักษณะคล้ายของเหลว

อุตสาหกรรมที่นิยมใช้เครื่องอบแห้งแบบนี้ส่วนมากลักษณะของผลิตภัณฑ์จะเป็น  
เม็ดหรือผงละเอียด เช่น อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ อุตสาหกรรมน้ำตาลทราย

อุตสาหกรรมเมล็ดพืช และอุตสาหกรรมพลาสติก เป็นต้น รูปที่ 3.8 แสดงเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไบทเบด



รูปที่ 3.8 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไบทเบด [ 12 ]

### 3.3.7 เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum dryer) [ 13 ]

เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศเป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้ในการอบแห้งภายใต้สภาวะความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศโดยให้ความร้อนในการอบแห้งทางอ้อม เหมาะสำหรับ การอบแห้งวัสดุเปียก (Liquid slurry หรือ Paste) ตัวอย่างเครื่องอบแห้งแบบนี้ เช่น เครื่องอบแห้งแบบ Vacuum shelf dryer และ Agitator pan dryer หรือ Agitated vacuum dryer

Vacuum shelf dryer เป็นเครื่องอบแห้งแบบให้ความร้อนโดยอ้อม ประกอบด้วย ส่วนที่เป็น Vacuum tight chamber, Heated chamber, Supporting shelf และเครื่องควบแน่น (Condenser) เครื่องอบแห้งแบบนี้ใช้ในการอบแห้งวัสดุที่ใช้ในทางเภสัชกรรม วัสดุที่ถูก ออกซิไดส์ได้ง่าย และวัสดุที่ต้องการนำตัวทำละลายที่มีราคาแพงกลับมาใช้ใหม่

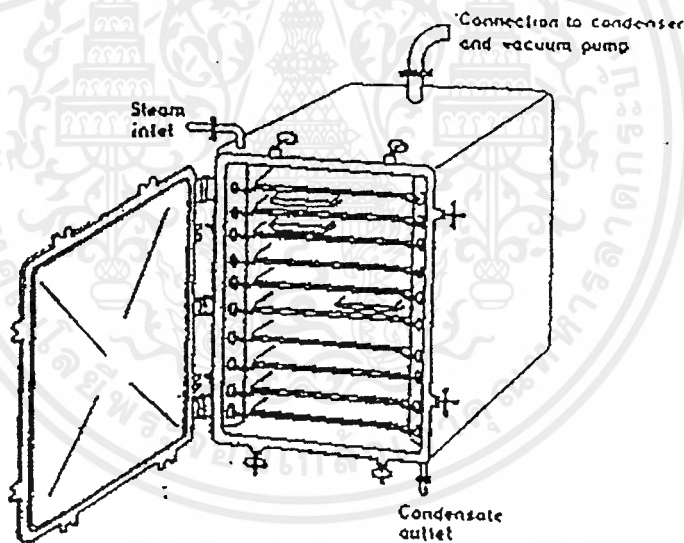
Agitator pan dryer หรือ Agitated vacuum dryer เครื่องอบแห้งแบบนี้เป็นแบบไม่ต่อเนื่องใช้ในการอบแห้งวัสดุประเภทของเหลวและสเลอรี

เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

### ก. Single-Compartment Vacuum Tray Dryer (SVT)

เครื่องอบแห้งแบบ SVT เป็นเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศที่ง่ายที่สุด แสดงดังรูปที่ 3.9 ส่วนใหญ่มักออกแบบให้มีจำนวนชั้น 14-20 ชั้น แต่ละชั้นจะมีภาตไส่วัสดุชั้น 2-8 ภาตชั้นอยู่กับขนาดของชั้น วัสดุที่ใช้ทำเครื่องอบแห้งมักทำจาก Mild steel หรืออาจทำจากสแตนเลส และ Treated mild steel เปลือกหุ้มและประตูมักทำจาก Cast iron และ Mild steel

โดยทั่วไปจะอบแห้งที่ความดัน 0.067-0.027 บาร์ ให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำหรือน้ำร้อน อุณหภูมิที่ใช้ขึ้นอยู่กับความไวต่อความร้อนของวัสดุที่อบแห้ง การอบแห้งโดยใช้ไอน้ำเหมาะสำหรับการอบแห้งที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 60 °ซ ส่วนการอบแห้งโดยใช้น้ำร้อนจะเหมาะสำหรับการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 40-70 °ซ ความจุของเครื่องอบแห้งแบบนี้จะอยู่ในช่วงประมาณ 10-35 กิโลกรัมวัสดุชั้นต่อตารางเมตร



รูปที่ 3.9 เครื่องอบแห้งแบบ Single-Compartment Vacuum Tray Dryer [ 13 ]

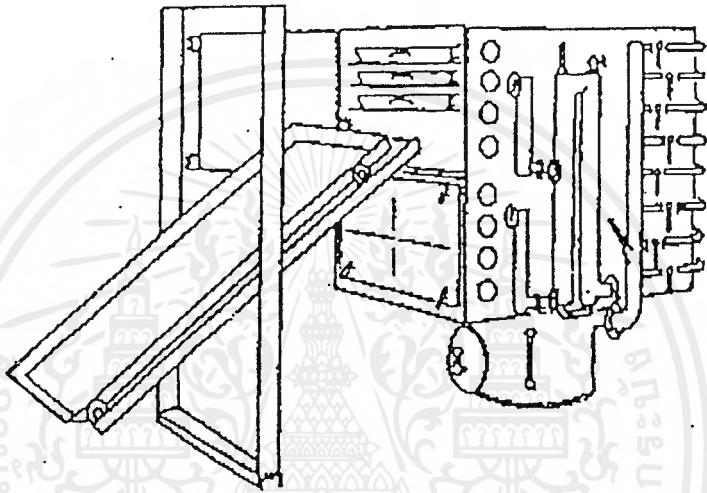
### ข. Multi-Compartment Vacuum Tray Dryer (MCVT)

เครื่องอบแห้งแบบ MCVT เป็นเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศที่ออกแบบให้มีหลายห้องในเครื่องเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 3.10 เครื่องอบแห้งแบบนี้จะมีโครงสร้างที่ซับซ้อนมากกว่าแบบ SVT

การอบแห้งจะทำให้ความดันสุญญากาศและอุณหภูมิไม่สูงมากนัก ให้ความร้อน

โดยใช้ไอน้ำซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 35-95 °ซ ผ่านเข้าสู่ชั้นที่บรรจุวัสดุชั้น นอกจากนี้อาจออกแบบเอกลักษณะใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้อุณหภูมิในเปลือกหุ้มได้โดยใช้ปั๊มสุญญากาศดูดไอน้ำและน้ำที่ควบแน่นออกจากเครื่องอบแห้ง ความจุของเครื่องอบแห้งแบบนี้จะมีค่าประมาณ 25 กิโลกรัมวัสดุขึ้นต่อตารางเมตร ข้อควรระวัง เมื่ออบแห้งเสร็จแล้วถ้าภายในเครื่องอบแห้งไม่เป็นสุญญากาศไอน้ำหรือไอน้ำที่ควบแน่นจะทำให้วัสดุที่อบแล้วมีความชื้นเพิ่มขึ้น ดังนั้นก่อนหยุดทำสุญญากาศควรดึงไอน้ำและไอน้ำที่ควบแน่นออกให้หมดเสียก่อน



รูปที่ 3.10 เครื่องอบแห้งแบบ Multi-Compartment Vacuum Tray Dryer [ 13 ]

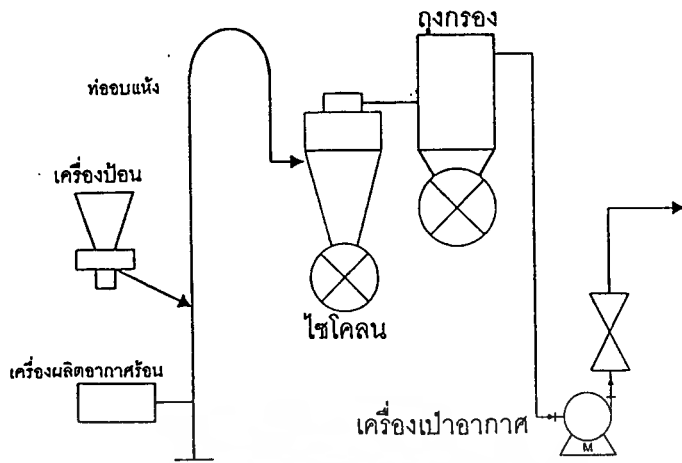
### 3.3.8 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม (Pneumatic conveying dryer)

ประเภทเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมแบ่งตามวิธีป้อนวัสดุขึ้นเข้าเครื่องอบแห้งได้ดังนี้

#### ก. ชนิดป้อนวัสดุเข้าโดยตรง (Direct feed type)

เครื่องอบแห้งชนิดนี้ไม่ใช้เครื่องกระจายวัสดุ (Dispenser) ในการป้อนวัสดุเปียกเข้าเครื่องอบแห้ง วัสดุถูกป้อนโดยตรงผ่านชู้ท (Chute) เข้าไปในท่อเร่งความเร็ว (Acceleration tube) อากาศร้อนไหลผ่านด้วยความเร็ว 20-40 เมตรต่อวินาที การกระจายวัสดุจะเกิดจากแรงปะทะกับอากาศร้อน เครื่องอบแห้งชนิดนี้จึงเหมาะสำหรับวัสดุผงที่ง่ายต่อการกระจายตัว

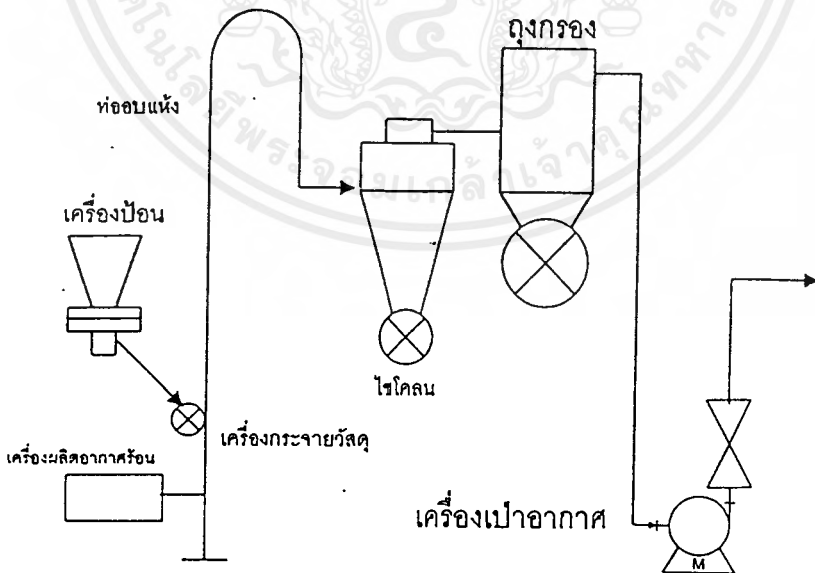
รูปที่ 3.11 แสดงเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดป้อนวัสดุเข้าโดยตรง



รูปที่ 3.11 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดป้อนวัสดุเข้าโดยตรง [ 7 ]

ข. ชนิดมีเครื่องกระจายวัสดุ (Disperser-attached type)

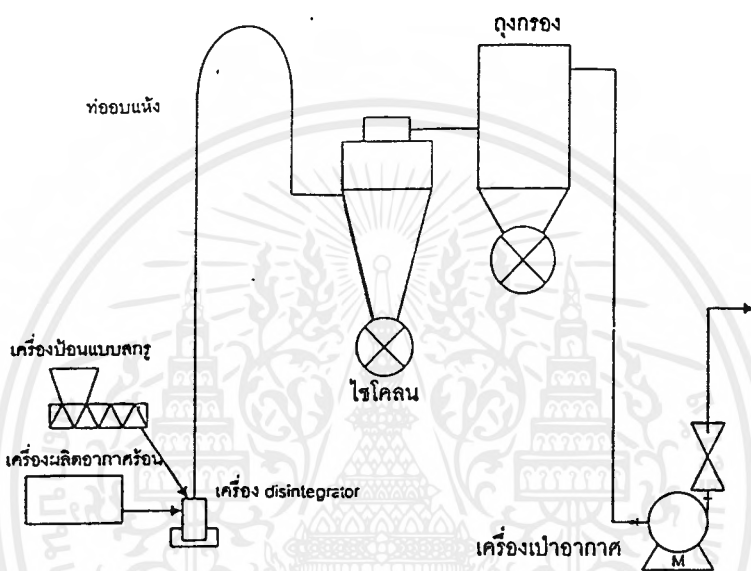
เครื่องอบแห้งชนิดนี้ วัสดุจะถูกป้อนผ่านเครื่องกระจายวัสดุเข้าไปในกระแสมร่อน เครื่องกระจายวัสดุทำหน้าที่กระจายวัสดุผงที่รวมตัวเป็นก้อนเนื่องจากความชื้น และวัสดุที่ไม่สามารถกระจายได้โดยปะทะกับกระแสมร่อนเพียงอย่างเดียว รูปที่ 3.12 แสดงเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดมีเครื่องกระจายวัสดุ



รูปที่ 3.12 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดมีเครื่องกระจายวัสดุ [ 7 ]

### ค. ชนิดมีเครื่อง Disintegrator (Disintegrator-attached type)

เครื่องอบแห้งชนิดนี้จะใช้เครื่อง Disintegrator ในการทำให้วัสดุก้อนที่ค่อนข้างนิ่มแตกกระจาย และเป็นการกวนวัสดุให้เข้ากับอากาศร้อนได้เป็นอย่างดี สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงมาก และสามารถลดความชื้นได้ประมาณ 50-80 % โดยน้ำหนักของความชื้นทั้งหมด รูปที่ 3.13 แสดงเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดมีเครื่อง Disintegrator



รูปที่ 3.13 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดมีเครื่อง Disintegrator [ 7 ]

### 3.4 วิธีการเลือกเครื่องอบแห้ง [ 14 ]

#### 3.4.1 การพิจารณาก่อนทำการเลือกประเภทเครื่องอบแห้ง

ก. คุณภาพของวัสดุก่อนการอบแห้ง ตัวอย่างสิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ

##### 1. คุณสมบัติอบแห้งของวัสดุเปียกชื้น

เพื่อตั้งเงื่อนไขของการอบแห้งสำหรับวัสดุเปียกจำเป็นต้องรู้คุณสมบัติอบแห้งของวัสดุนั้น โดยเฉพาะเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งมีความสำคัญสำหรับการประเมินเวลาที่ต้องใช้ในการอบแห้ง และอัตราส่วนความชื้นวิกฤติของน้ำ เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งยังขึ้นอยู่กับลักษณะการสัมผัสระหว่างวัสดุกับลมร้อน (ลักษณะการสัมผัสนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของเครื่องอบแห้ง) และขนาดรูปทรงของเครื่องอบแห้ง

ยกตัวอย่างกรณีของวัสดุที่เป็นอนุภาค ถ้าอนุภาคทุกชิ้นอยู่อย่างกระจัดกระจายในระหว่างการอบแห้ง เช่น เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม หรือแบบหมุน นอกจากจะทำให้พื้นที่ของการอบแห้งเพิ่มขึ้นแล้ว โดยทั่วไปยังทำให้อัตราส่วนความชื้นวิกฤติมีค่าน้อยลงด้วย จึงทำให้เวลาที่ใช้ในการอบแห้งลดลง ในทางตรงกันข้าม ถ้าวัสดุเหล่านี้ถูกวางกองรวมกันเพื่ออบแห้งโดยการเป่าลมร้อนขนานกับผิวด้านบน อัตราส่วนความชื้นวิกฤติจะมีค่าสูงขึ้นและความเร็วของการอบแห้งจะลดลงอย่างมาก ถ้าไม่สามารถทำการทดลองในเครื่องอบแห้งจริงเพื่อหาค่าอัตราส่วนความชื้นวิกฤติและเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งได้ ควรทำการทดลองเพื่อหาข้อมูลเหล่านี้โดยกำหนดให้สภาพการสัมผัสระหว่างวัสดุกับลมร้อนใกล้เคียงกับสภาวะการปฏิบัติงานจริง

##### 2. คุณสมบัติการเกาะติดของวัสดุอบแห้ง

ในส่วนของ การขนถ่ายวัสดุในเครื่องอบแห้งควรพิจารณาถึงคุณสมบัติการเกาะติดของวัสดุอบแห้งด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของเครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่องซึ่งมักจะเกิดปัญหาเนื่องจากการเกาะติดและการรวมตัวเป็นก้อนของวัสดุบนผนังของเครื่องอบแห้ง

##### 3. การขับน้ำออกจากวัสดุก่อนนำมาอบแห้ง

โดยทั่วไปแล้วค่าใช้จ่ายของการขับน้ำออกจากวัสดุโดยเครื่องมือเชิงกลจะต่ำกว่าค่าใช้จ่ายสำหรับการเดินเครื่องอบแห้ง ในกรณีที่มีกระบวนการขับน้ำออกจากวัสดุก่อนเข้าสู่กระบวนการอบแห้ง ควรหาวิธีขับน้ำออกให้มากที่สุด ถึงแม้จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูงขึ้นก็ตาม

#### ข. คุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง

##### 1. การเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื่องจากความร้อน

การพิจารณาความไวของวัสดุต่อความร้อน สามารถกำหนดอุณหภูมิสูงสุดของวัสดุที่ยอมรับได้ในระหว่างการอบแห้ง อุณหภูมินี้เป็นเงื่อนไขการออกแบบในการกำหนดอุณหภูมิเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของลมร้อน (อุณหภูมิของแหล่งจ่ายความร้อน) โดยทั่วไปแล้วขีดจำกัดของการเสื่อมคุณภาพของวัสดุจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัสดุในระหว่างอบแห้งและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง บางกรณีการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงแต่ช่วงเวลาสั้น จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำแต่ใช้เวลานาน สรุปแล้วเงื่อนไขของการอบแห้งที่ได้จากการทดลอง ควรถือเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาการเลือกเครื่องอบแห้ง

## 2. รูปทรง คุณภาพ และคุณค่าทางการค้าของผลิตภัณฑ์

ในกรณีของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง คุณภาพและคุณค่าทางการค้ามักจะขึ้นอยู่กับรูปทรงและคุณสมบัติเชิงเทคโนโลยีอนุภาค (Powder technology) ของผลิตภัณฑ์อบแห้ง เช่น ในกรณีของการอบแห้งน้ำมัน ผงซักฟอก และผลิตภัณฑ์อื่นๆ โดยวิธีการพ่นฝอย โดยทั่วไปคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนไปตามเงื่อนไขที่ใช้ในการพ่นฝอยและอบแห้ง เป็นต้น

## 3. การเกิดการปนเปื้อน (Contamination)

การเกิดการปนเปื้อนเป็นปัญหาสำคัญสำหรับบริโภคภัณฑ์และเวชภัณฑ์ ปัญหาของการเกิดการปนเปื้อนระหว่างกระบวนการอบแห้งตลอดจนการทำสเตอริไลเซชัน (Sterilization) และการฆ่าเชื้อโรคของตัวเครื่องอบแห้งเป็นเรื่องที่ควรมีการศึกษาไว้ล่วงหน้า ในกรณีของบริโภคภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อนอาจมีกลิ่นเหม็นไหม้ เนื่องจากวัสดุที่เกาะติดกับผนังหรือตกค้างอยู่ในเครื่องอบแห้งเป็นเวลานานซึ่งอาจทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ลดลง

เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการกลั่น การระเหย หรือการดูดซึมก๊าซ ซึ่งเกี่ยวข้องกับก๊าซหรือของเหลวแล้วจะเห็นว่าลักษณะเด่นของกระบวนการอบแห้งนั้น คือ เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับของแข็งเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้น

### 3.4.2 พื้นฐานการเลือกเครื่องอบแห้ง คือ

#### ก. การพิจารณารูปทรงของวัสดุอบแห้ง

วัสดุอบแห้งที่อยู่ในความสนใจมีตั้งแต่เครื่องสุขภัณฑ์เซรามิก ฉนวนไฟฟ้าแรงดันสูงแบบหล่อไม้ขนาดใหญ่ตลอดจนวัสดุรูปแผ่น วัสดุเป็นเส้น วัสดุเป็นเม็ด วัสดุเป็นสเลอรี หรือของเหลว จึงต้องมีเครื่องอบแห้งหลายๆ ประเภทสำหรับอบแห้งวัสดุแต่ละชนิดอย่างมีประสิทธิภาพ

ตัวอย่างการเลือกประเภทเครื่องอบแห้งขึ้นอยู่กับลักษณะของวัสดุที่จะนำมาอบแห้งซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

ก. สารละลายและสเลอรี

ข. วัสดุที่แช่แข็ง เช่น ยา อาหารผง เป็นต้น

ค. วัสดุคล้ายแป้งเปียก

ง. วัสดุที่เป็นผงและเม็ด

จ. วัสดุที่เป็นก้อน

ฉ. วัสดุที่เป็นสะเก็ด

ช. วัสดุที่เป็นเส้นใยสั้น

ข. วัสดุที่มีขนาดคงที่

ฅ. วัสดุที่เป็นแผ่นยาว

ญ. สีและของเหลวที่ใช้ทา

วัสดุตั้งแต่ลำดับที่ ก-ง จะมีสภาพเป็นเม็ด ผง หลังจากอบแห้ง ส่วนลำดับที่ จ ขึ้นไป จะไม่เปลี่ยนรูปร่างเมื่อแห้ง

ตารางที่ 3.1 การเลือกเครื่องอบแห้ง จำแนกเครื่องอบแห้งตามความเหมาะสมกับรูปแบบของวัสดุเปียก ปกติแล้วควรเลือกประเภทเครื่องที่เหมาะสมจากรายชื่อที่ปรากฏใน A ส่วนรายชื่อใน B จะเลือกใช้ในกรณีพิเศษเท่านั้น

#### ข. การพิจารณาคอนสมบัติอบแห้งของวัสดุ

คุณสมบัติอบแห้งของวัสดุแต่ละประเภทโดยทั่วไปจะแตกต่างกันแม้รูปทรงจะเหมือนกัน คุณสมบัติอบแห้งของวัสดุจะขึ้นกับคุณสมบัติของน้ำที่มีอยู่ในเนื้อวัสดุนั้น เช่น คุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilicity) หรือไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) ของวัสดุ รวมทั้งโครงสร้างรูพรุนซึ่งมีความสำคัญในการกำหนดคุณสมบัติการอบแห้ง และถึงแม้จะเป็นวัสดุประเภทเดียวกันอาจจะมีคุณสมบัติอบแห้งต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ถ้ารูปทรงไม่เหมือนกัน

#### ค. การพิจารณาทางวิศวกรรมเครื่องกลของวัสดุอบแห้ง

เนื่องจากรูปทรงของวัสดุมีหลายชนิดจึงจำเป็นต้องพิจารณาทางด้านวิศวกรรมเครื่องกลซึ่งเกี่ยวข้องกับการป้อน การขนส่ง และการถ่ายวัสดุแต่ละชนิดควบคู่กันไป การดำเนินการอบแห้งจะมีประสิทธิภาพหรือไม่ขึ้นอยู่กับการทำงานของหน่วยปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องและระดับเทคโนโลยีของหน่วยปฏิบัติการเหล่านี้ อาจกล่าวได้ว่า กระบวนการอบแห้งเป็น "เทคโนโลยีรวม (Overall technology)" ยกตัวอย่างเช่น เครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดพ่นฝอย การทำงานเกี่ยวข้องซึ่งกันและกันระหว่างกระบวนการอบแห้ง และกระบวนการทางวิศวกรรมเคมีหรือวิศวกรรมแขนงอื่น เช่น การเคลื่อนย้ายสเลอรี เทคโนโลยีการพ่นฝอย การแพร่กระจายของลมร้อนในการอบแห้ง เตาเผาไหม้ที่ใช้ น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตลมร้อนที่อุณหภูมิสูง เทคโนโลยีของการป้องกันเสียงรบกวนและอื่นๆ ล้วนเกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องอบแห้งประเภทนี้ทั้งสิ้น เป็นต้น

นอกจากนี้การพิจารณาเลือกเครื่องอบแห้งจะต้องคำนึงถึงขนาดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 การเลือกเครื่องอบแห้ง [ 14 ]

สภาวะของวัสดุเปียก	ตัวอย่างของวัสดุ	แบบของการปฏิบัติการ	ประเภทของเครื่องอบแห้งที่เหมาะสม	
			A (กรณีทั่วไป)	B (กรณีเฉพาะ)
ก. สารละลายและสเลอรี	สารละลายเกลือ, สารสกัดจากพืช, ผงซักฟอก, สารละลายของเรซิน, นานม	แบบต่อเนื่องปริมาณมาก	a. แบบพ่นฝอย (Spray)	
		แบบต่อเนื่องปริมาณน้อย	b. แบบดรัม (Drum)	
ข. วัสดุที่แข็ง	ยา, อาหาร (ก้อน, ผง)	แบบไม่ต่อเนื่อง (Batch) ปริมาณน้อย	a. แบบ Freeze dry	
		แบบกึ่งต่อเนื่อง (Semibatch) ปริมาณมาก		
ค. วัสดุคล้ายแป้งเปียก	สีย้อม, Silica gel, แป้ง, ดินเหนียว, ออกไซด์แดง, สีผง, ไซเทเนียมขาว, ผงถ่าน, น้ำกระรอก, ตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนต	แบบต่อเนื่องปริมาณมาก	a. แบบพาหะลม (Pneumatic conveying) b. แบบแบนด์ไหลผ่าน (Through flow band) หรืออุโมงค์ (Tunnel)	c. แบบอุโมงค์ไหลขนาน d. แบบพ่นฝอย
		แบบต่อเนื่องปริมาณน้อย	e. แบบทรงกระบอกนำความร้อน และแบบรางกวนนำความร้อน f. แบบดรัม (ตรัมสุญญากาศ)	
	แบบไม่ต่อเนื่องปริมาณน้อย	g. แบบทรงกระบอกนำความร้อน และแบบรางกวนนำความร้อน (รวมสุญญากาศ) h. แบบกล่องไหลผ่าน (Through flow chamber type)	i. แบบกล่องไหลขนาน (Parallel-flow box type) j. แบบกล่องสุญญากาศ	

ตารางที่ 3.1 การเลือกเครื่องอบแห้ง [ 14 ]

สภาวะของวัสดุเปียก	ตัวอย่างของวัสดุ	แบบของการปฏิบัติการ	ประเภทของเครื่องอบแห้งที่เหมาะสม	
			A (กรณีทั่วไป)	B (กรณีเฉพาะ)
วัสดุที่เป็นผงและมีเม็ด	ยิปซัม, limenite, ช้ำว, ช้ำวโพต ยาสังเคราะห์ของพีวีซี และอื่นๆ, ถ่านกัมมันต์, ทราย, ฟูเยเคมี	แบบต่อเนื่องปริมาณมาก	a. แบบพาหะลม b. แบบขวางกวนใช้อากาศร้อน (Air-heated agitated through) c. แบบหมุน (Rotary) d. แบบหมุนและมีท่อไอน้ำ e. แบบฟลูอิดไคต์เบต f. แบบไหลผ่านชนิดหมุน (Through flow rotary) และ แบบไหลผ่านชนิดตั้ง (Through - flow vertical type)	g. แบบแบนคี่ไหลผ่าน h. แบบจานหลายชั้น (Multi-disk) i. แบบกึ่งหัน (เทอริเบ)
		แบบต่อเนื่องปริมาณน้อย	j. แบบทรงกระบอกนำความร้อนและ แบบขวางกวนนำความร้อน k. แบบฟลูอิดไคต์เบต.	

ตารางที่ 3.1 การเลือกเครื่องอบแห้ง [ 14 ]

สภาวะของวัสดุเปียก	ตัวอย่างของวัสดุ	แบบของการปฏิบัติการ	ประเภทของเครื่องอบแห้งที่เหมาะสม	
			A (กรณีทั่วไป)	B (กรณีเฉพาะ)
		แบบไม่ต่อเนื่องปริมาณน้อย	i. แบบฟลูอิดิเซปด ก. แบบทรงกระบอกนำความร้อนและแบบรางวนนำความร้อน (รวมสูญญากาศ)	ก. แบบกลองไหลผ่าน o. แบบแบนตีไหลผ่าน
จ. วัสดุที่เป็นก้อน	ถ่านบดย่อย, ใต็ก, แร่, ตะกอน, เค้กกรองบางประเภท	แบบต่อเนื่องปริมาณมาก	a. แบบหมุน b. แบบไหลผ่านชนิดหมุน แบบไหลผ่านชนิดตั้ง c. แบบหมุนและมีท่อไอน้ำ	d. แบบอุโมงค์ไหลขนาน e. แบบแบนตีไหลผ่าน
ฉ. วัสดุที่เป็นสะเก็ด	ใบยาสูบ, ถั่วเหลืองอัดแบน, ขึ้นมันฝรั่งทอด	แบบไม่ต่อเนื่องปริมาณน้อย		f. แบบกลองไหลขนาน g. แบบกลองไหลผ่าน
ช. วัสดุเส้นใยสั้น	เส้นใยสั้น, เส้นแบ่ง, เซลลูโลสชนิดเอซีเทรตและไมเตรต	แบบต่อเนื่องปริมาณมาก	a. แบบแบนตีไหลผ่าน b. แบบหมุนและมีท่อไอน้ำ c. แบบไหลผ่านชนิดแบน	d. แบบอุโมงค์ไหลขนาน
		แบบไม่ต่อเนื่องปริมาณน้อย	e. แบบกลองไหลผ่าน	
		แบบต่อเนื่องปริมาณมาก	a. แบบแบนตีไหลผ่าน b. แบบกลองไหลผ่าน	
		แบบต่อเนื่องปริมาณน้อย	b. แบบกลองไหลผ่าน	

ตารางที่ 3.1 การเลือกเครื่องอบแห้ง (ต่อ) [ 14 ]

สภาวะของวัสดุเปียก	ตัวอย่างของวัสดุ	แบบของการปฏิบัติการ	ประเภทของเครื่องอบแห้งที่เหมาะสม	
			A (กรณีทั่วไป)	B (กรณีเฉพาะ)
ข. วัสดุที่มีขนาดคงที่	ใบยาสูบ, เครื่องใช้เซรามิก, เส้นไหม, กระดาษผนัง, เครื่องสุขภัณฑ์เซรามิก, ผนังฟอก, ไม้อัด, เสาไม้, กระดาษชนิดหนาและบาง	แบบต่อเนื่องปริมาณมาก แบบไม่ต่อเนื่องปริมาณมากหรือน้อย แบบไม่ต่อเนื่องปริมาณน้อย	a. แบบฉุกเฉินคือหลอดนาน c. แบบกลองไหลขนาน	b. แบบฉุกเฉินคือไหลผ่าน d. แบบ Dielectric e. แบบกลองไหลผ่าน
ณ. วัสดุที่เป็นแนวยาว	ผ้าทอ, กระดาษ, กระดาษพิมพ์	แบบต่อเนื่องปริมาณมาก	a. แบบฉีดพ่น (Nozzle jet) b. แบบไหลขนาน c. แบบทรงกระบอกหลายลูก (Multicylinder)	
ญ. สีและของเหลวที่ใช้ทา		แบบต่อเนื่องปริมาณน้อย แบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง	d. แบบทรงกระบอกลูกเดียวหรือหลายลูก a. แบบฉีดพ่น (Nozzle jet) b. แบบฉีดพ่น (Nozzle jet)	e. แบบรังสีอินฟราเรด c. แบบไหลขนาน

### ง. การพิจารณาสภาพทำเลที่ตั้งของเครื่องอบแห้ง

ในการเลือกทำเลที่ตั้งของเครื่องอบแห้ง ควรพิจารณาถึงเงื่อนไขทางเศรษฐกิจและเงื่อนไขทางสภาพแวดล้อมประกอบกันไป โดยที่เงื่อนไขทางเศรษฐกิจส่วนใหญ่มักเกี่ยวข้องกับแหล่งพลังงานความร้อน และการนำความร้อนทิ้ง (Exhaust heat) กลับมาใช้ประโยชน์ ส่วนเงื่อนไขทางสภาพแวดล้อมมักจะเกี่ยวข้องกับปัญหาทางสภาพแวดล้อมที่เกิดจากก๊าซพิษ กลิ่นเหม็น และฝุ่นละอองที่ออกมาพร้อมกับลมร้อนที่ทิ้ง และเสียงรบกวนต่างๆ ที่เกิดขึ้น ซึ่งจะต้องมีการพิจารณาเงื่อนไขทั้งสองนี้อย่างถี่ถ้วนก่อนเลือกประเภทเครื่องอบแห้ง

### จ. การพิจารณามาตรการประหยัดพลังงาน

การอบแห้งต้องใช้พลังงานความร้อนเพื่อระเหยความชื้นออกจากวัสดุอบแห้ง ดังนั้นการศึกษาวิธีเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้งและวิธีการใช้ความร้อนที่สูญเสียไปให้เป็นประโยชน์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานจึงเป็นสิ่งสำคัญมาก



## บทที่ 4

### ข้อมูลเบื้องต้นของการอบแห้งคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และระบบการอบแห้งภายใต้ระบบสุญญากาศ

ในการเลือกเครื่องอบแห้งเพื่อใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีนั้นจะต้องพิจารณาคุณสมบัติของซีเอ็มซีที่จะเข้าและออกจากกระบวนการอบแห้งและสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งตัวแปรที่สำคัญคือ อุณหภูมิ ซีเอ็มซีที่ได้จากกระบวนการผลิตจะมีปริมาณความชื้นสูง และความชื้นที่อยู่ในซีเอ็มซีนอกจากน้ำยังมีเอทานอลซึ่งมีความไวต่อการลุกติดไฟมาก สิ่งที่ต้องระวังคือ อาจเกิดการระเบิดในระหว่างการอบแห้งได้ อันเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งสูงเกินไปและไอของเอทานอลมีความไวต่อการลุกติดไฟมาก หรือมีปริมาณไอของเอทานอลในช่วงการระเบิด และซีเอ็มซีซึ่งเป็นสารอนุพันธ์ของเซลลูโลสและมีลักษณะเป็นผง อาจเกิดการระเบิดของอนุภาค (Dust explosion) ได้ ในทางอุตสาหกรรมจึงนิยมใช้เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศในการอบแห้งซีเอ็มซีเพื่อให้ได้ปริมาณความชื้นตามต้องการ

#### 4.1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับซีเอ็มซีและตัวทำละลายเอทานอล

##### 4.1.1 สมบัติของซีเอ็มซีแห้ง

ดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 2.4

##### 4.1.2 สมบัติของตัวทำละลายเอทานอลที่เกี่ยวข้องกับการลุกติดไฟและการระเบิด [ 3 ]

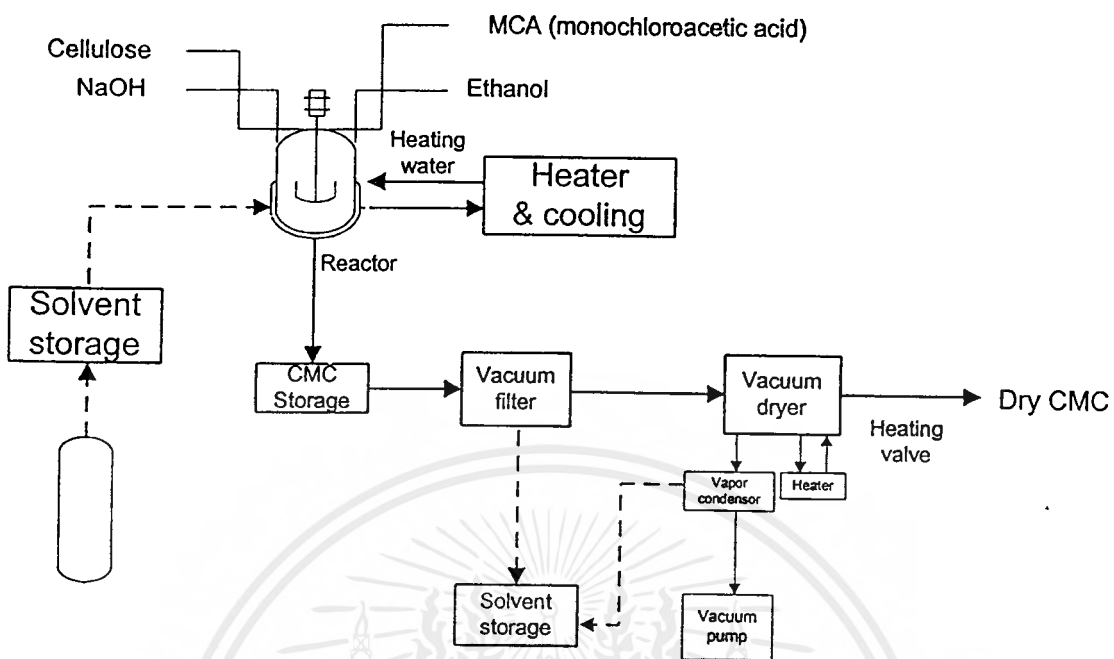
ก. ช่วงการระเบิด (Explosion limit, เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในอากาศ)	4.3-19.0
ข. จุดวาบไฟ (Flash point, °ซ)	14
ค. จุดเดือด (Boiling point, °ซ)	78.32
ง. อุณหภูมิลุกติดไฟ (Autoignition temperature, °ซ)	423.0

#### 4.2 กระบวนการผลิตซีเอ็มซี

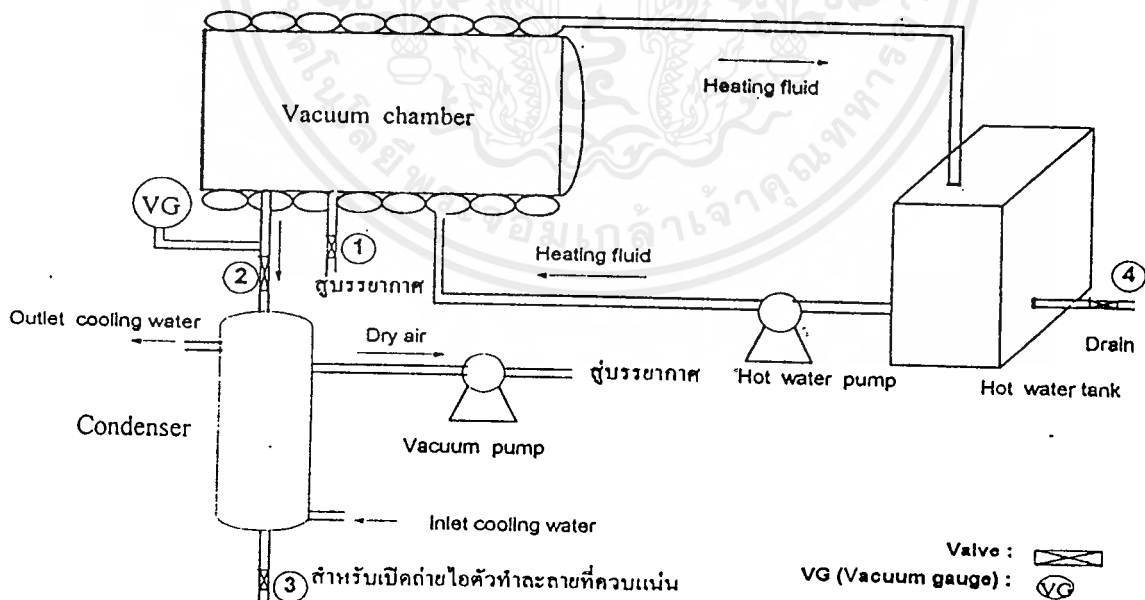
กระบวนการผลิตซีเอ็มซี และการอบแห้งซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศ แสดงดังรูปที่ 4.1

และ 4.2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตซีเอ็มซี [ 15 ]



รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงการอบแห้งซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศ [ 15 ]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### การดำเนินการทดลอง

ขั้นตอนการทดลอง แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ

- ก. การสังเคราะห์ซีเอ็มซีจากเซลลูโลสชนิดผง (Powdered cellulose) ด้วยเครื่องปฏิกรณ์ ขนาดความจุ 24.7 ลิตร
- ข. การเก็บข้อมูลการอบแห้งซีเอ็มซีด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ

#### 5.1 การสังเคราะห์ซีเอ็มซีจากเซลลูโลสชนิดผง [ 15 ]

##### 5.1.1 อุปกรณ์ในการสังเคราะห์ซีเอ็มซี

- ก. เครื่องปฏิกรณ์เคมีขนาดความจุ 24.7 ลิตร
- ข. มอเตอร์กระแสสลับขนาด 1.5 กิโลวัตต์
- ค. เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ชนิด K
- ง. ชุดกรองสารแบบสุญญากาศและกระดาษกรอง
- จ. เทอร์โมมิเตอร์ที่วัดอุณหภูมิได้ในช่วง 0-100 °ซ
- ฉ. เครื่องทำน้ำร้อน
- ช. เครื่องทำน้ำเย็น
- ซ. ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 80 °ซ
- ฌ. เครื่องควบคุมมอเตอร์และแสดงค่าอุณหภูมิแบบ PID (PID Controller)
- ญ. นาฬิกาจับเวลา
- ฎ. กระดาษลิตมัส

##### 5.1.2 สารเคมี

- ก. กรดคลอโรอะซีติก ( $\text{ClCH}_2\text{COOH}$ )
- ข. กรดอะซีติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )
- ค. เซลลูโลสชนิดผง (Powdered cellulose)
- ง. โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ. เตตราเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์  $((\text{CH}_3)_4\text{N}^+\text{Cl})$

ฉ. เอทานอล ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ )

ช. น้ำกลั่น (Distilled water)

### 5.1.3 ขั้นตอนการเตรียมซีเอ็มซี

ก. ใส่เซลลูโลส 1,286 กรัม เตตราเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ 10.32 กรัม และเอทานอล 12.8 ลิตร ลงในเครื่องปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร

ข. กวนของผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนเชิงกลโดยใช้ใบพัดแบบ Anchor ค่อยๆ เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 36 % โดยน้ำหนัก (ซึ่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 777.6 กรัม นำไปละลายในน้ำกลั่น 1.38 ลิตร) ลงในเครื่องปฏิกรณ์เคมีให้หมดภายใน 15 นาที

ค. กวนที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที จากนั้นเริ่มให้ความร้อน รอจนอุณหภูมิของของผสมขึ้นถึงอุณหภูมิในช่วง  $70-80^\circ\text{C}$  กวนต่ออีก 20 นาที

ง. ใส่สารละลายกรดคลอโรอะซิติก (ซึ่งกรดคลอโรอะซิติก 881.76 กรัม นำไปละลายในเอทานอล 2 ลิตร) กวนต่ออีก 60 นาที หลังจากนั้นเปิดเครื่องทำความเย็นเพื่อหยุดปฏิกิริยา โดยทำให้อุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ต่ำกว่า  $10^\circ\text{C}$

จ. ปรับสภาพให้เป็นกลางด้วยกรดอะซิติกเข้มข้นโดยใช้กระดาษลิตมัสเป็นตัวบ่งชี้ (Indicator) แล้วจึงกรองซีเอ็มซีที่ผลิตได้ด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศเพื่อแยกเอทานอลออก จะได้ซีเอ็มซีที่มีความชื้นประมาณ 95-120 % โดยน้ำหนัก

## 5.2 การเก็บข้อมูลการอบแห้งซีเอ็มซีด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ

### 5.2.1 ตัวแปรที่ศึกษา

ก. ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460 และ 560
ข. อุณหภูมิ ( $^\circ\text{C}$ )	50 , 60 และ 70
ค. ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1 , 2 และ 3
ง. การกดอัดชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1 , 2 และ 3

### 5.2.2 ขั้นตอนการอบแห้งซีเอ็มซี

ก. เริ่มเดินเครื่องอบแห้งตามขั้นตอนดังนี้ [ 15 ]

1. จ่ายกระแสไฟฟ้าให้ระบบไฟฟ้าของเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ ซึ่งประกอบด้วย บัมพ์น้ำร้อน บัมพ์สุญญากาศ เครื่องทำน้ำร้อน และเครื่องทำน้ำเย็น

2. ต่อเครื่องทำน้ำเย็นเข้ากับเครื่องควบแน่นไอ

3. เติมน้ำสะอาดลงในเครื่องทำน้ำร้อน จากนั้นเปิดสวิทช์ให้ความร้อนแก่น้ำที่เติมลงไป เมื่อน้ำร้อนมีอุณหภูมิประมาณ  $80^{\circ}\text{C}$  จึงเปิดบิ๊มน้ำร้อนเพื่อให้ความร้อนแก่ห้องสุญญากาศ การเปิดสวิทช์เครื่องทำน้ำร้อนจะทำให้ตัวควบคุมอุณหภูมิทำงานโดยอัตโนมัติ

4. วัดอุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศจากชุดควบคุมอุณหภูมิและเทอร์โมมิเตอร์ เมื่ออุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศถึงอุณหภูมิที่ต้องการจึงเริ่มทำการอบแห้งซีเอ็มซี

#### ข. การอบแห้งซีเอ็มซีภายใต้ความดันสุญญากาศ

1. ชั่งน้ำหนักภาต จากนั้นบรรจุซีเอ็มซีขึ้นที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมซีเอ็มซีลงในภาต โดยปริมาณซีเอ็มซีที่บรรจุลงไปในภาต ความสูงของภาตที่ใช้ การกดอัดชั้นซีเอ็มซี และ ตำแหน่งชั้นที่วางภาตขึ้นอยู่กับแต่ละการทดลอง

2. ชั่งน้ำหนักซีเอ็มซีขึ้นและภาต แล้วจึงนำภาตที่บรรจุซีเอ็มซีขึ้นไปวางบนชั้นของเครื่องอบแห้ง และวางเทอร์โมมิเตอร์บนซีเอ็มซีขึ้นเพื่อวัดอุณหภูมิที่แท้จริงของห้องสุญญากาศ ขณะอบแห้งเปรียบเทียบกับชุดควบคุมอุณหภูมิ

3. ปิดฝาของเครื่องอบแห้ง และปิดวาล์วที่ 1 ซึ่งมีหน้าที่รักษาความดันพร้อมทั้งปิดวาล์วที่ 3 ซึ่งเป็นวาล์วที่ใช้สำหรับถ่ายไอตัวทำละลายออกจากเครื่องควบแน่น ดังแสดงในรูปที่ 4.2

4. เปิดสวิทช์ให้บิ๊มสุญญากาศทำงานและเริ่มจับเวลา เมื่อความดันสุญญากาศถึงค่าที่ต้องการแล้วจึงปรับวาล์วที่ 1 เพื่อรักษาความดันสุญญากาศให้คงที่

5. เมื่อครบ 30 นาที ปิดบิ๊มสุญญากาศ เปิดวาล์วที่ 1 และเปิดฝาเครื่องอบแห้ง นำภาตที่บรรจุซีเอ็มซีมาชั่งน้ำหนักพร้อมจดบันทึกน้ำหนัก และอ่านค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์ ว่ามีค่าเท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการทำการทดลองหรือไม่

6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 5 จนกว่าน้ำหนักซีเอ็มซีที่ชั่งได้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

7. นำภาตที่บรรจุซีเอ็มซีที่ได้จากข้อ 6 ไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ  $80^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำภาตที่บรรจุซีเอ็มซีมาชั่งน้ำหนักเพื่อนำน้ำหนักแห้งของซีเอ็มซี

#### 5.2.3 การทดลอง แบ่งออกเป็น 5 กลุ่มการทดลอง คือ

ก. การทดลองกลุ่มที่ 1 ศึกษาการอบแห้งซีเอ็มซีในแต่ละชั้นของเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม. สำหรับการทดลองที่ 1.1 และ 1.2 จะวางภาตที่ชั้นบน ชั้นกลาง และชั้นล่าง ส่วนการทดลองที่ 1.3 จะวางภาตเฉพาะชั้นบนเท่านั้น

การทดลองที่ 1.1 ทดลองที่ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท

- การทดลองที่ 1.1.1 อุณหภูมิ 50 °ซ

**การทดลองที่ 1.2** ทดลองที่ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท

- การทดลองที่ 1.2.1 อุณหภูมิ 50 °ซ

- การทดลองที่ 1.2.2 อุณหภูมิ 60 °ซ

- การทดลองที่ 1.2.3 อุณหภูมิ 70 °ซ

**การทดลองที่ 1.3** ทดลองที่ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท

- การทดลองที่ 1.3.1 อุณหภูมิ 50 °ซ

- การทดลองที่ 1.3.2 อุณหภูมิ 60 °ซ

- การทดลองที่ 1.3.3 อุณหภูมิ 70 °ซ

**ข. การทดลองกลุ่มที่ 2** ศึกษาผลของอุณหภูมิ และความหนาของชั้นซีเอ็มซี ที่ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท ตำแหน่งที่วางถาดคือ ชั้นบน

**การทดลองที่ 2.1** ทดลองที่อุณหภูมิ 50 °ซ

- การทดลองที่ 2.1.1 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม.

- การทดลองที่ 2.1.2 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 2 ซม.

- การทดลองที่ 2.1.3 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 3 ซม.

**การทดลองที่ 2.2** ทดลองที่อุณหภูมิ 60 °ซ

- การทดลองที่ 2.2.1 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม.

- การทดลองที่ 2.2.2 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 2 ซม.

**การทดลองที่ 2.3** ทดลองที่อุณหภูมิ 70 °ซ

- การทดลองที่ 2.3.1 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม.

- การทดลองที่ 2.3.2 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 2 ซม.

- การทดลองที่ 2.3.3 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 3 ซม.

**ค. การทดลองกลุ่มที่ 3** ศึกษาผลของอุณหภูมิ และความหนาของชั้นซีเอ็มซี ที่ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท ตำแหน่งที่วางถาดคือ ชั้นบน

**การทดลองที่ 3.1** ทดลองที่อุณหภูมิ 50 °ซ

- การทดลองที่ 3.1.1 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม.

- การทดลองที่ 3.1.2 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 2 ซม.

- การทดลองที่ 3.1.3 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 3 ซม.

**การทดลองที่ 3.2** ทดลองที่อุณหภูมิ 60 °ซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทดลองที่ 3.2.1 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม.
  - การทดลองที่ 3.2.2 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 2 ซม.
  - การทดลองที่ 3.2.3 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 3 ซม.
- การทดลองที่ 3.3 ทดลองที่อุณหภูมิ 70 °ซ*
- การทดลองที่ 3.3.1 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม.
  - การทดลองที่ 3.3.2 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 2 ซม.
  - การทดลองที่ 3.3.3 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 3 ซม.

ง. การทดลองกลุ่มที่ 4 ศึกษาผลของความดัน และการกดอัดชั้นซีเอ็มซีต่อการอบแห้งซีเอ็มซีที่ปริมาณซีเอ็มซีขึ้นเริ่มต้นคงที่ 576.85 กรัม ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 50 °ซ ตำแหน่งที่วางภาคคือ ชั้นบน

*การทดลองที่ 4.1 ทดลองที่ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท*

- การทดลองที่ 4.1.1 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม.
- การทดลองที่ 4.1.2 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 2 ซม.
- การทดลองที่ 4.1.3 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 3 ซม.

*การทดลองที่ 4.2 ทดลองที่ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท*

- การทดลองที่ 4.2.1 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม.
- การทดลองที่ 4.2.2 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 2 ซม.
- การทดลองที่ 4.2.3 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 3 ซม.

จ. การทดลองกลุ่มที่ 5 ศึกษาหากำลังการอบแห้งซีเอ็มซีของเครื่องอบแห้งแบบสูญญากาศ ตำแหน่งที่วางภาคคือ ชั้นบน ชั้นกลาง และชั้นล่าง

*การทดลองที่ 5 ทดลองที่ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 °ซ*

ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 3 ซม. โดยไม่กดอัดชั้นซีเอ็มซี

#### 5.2.4 สร้างกราฟความสัมพันธ์จากข้อมูลการอบแห้งซีเอ็มซี

- ก. นำข้อมูลการอบแห้งซีเอ็มซีมาคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นและอัตราการอบแห้ง
- ข. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้
  - กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี
  - กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดอกเบี้ยกับเปอร์เซ็นต์ความขึ้น (เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งซีเอ็มซี)



## บทที่ 6

### ผลการทดลอง

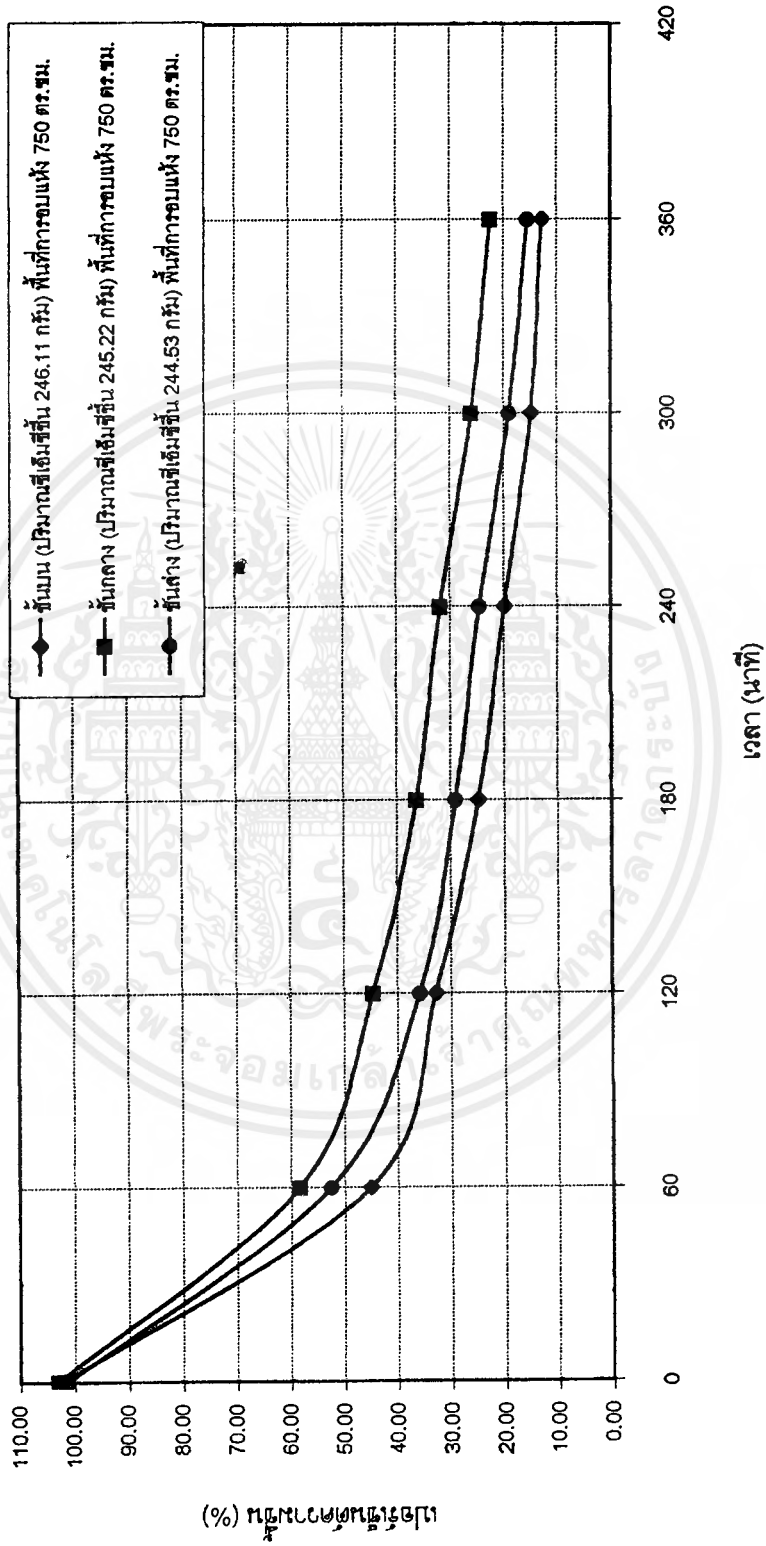
เนื่องจากมีผลการทดลองค่อนข้างมากดังนั้น ในบทนี้จึงแสดงเฉพาะผลการทดลอง และผลการวิเคราะห์ที่สำคัญที่นำไปสู่ข้อสรุปตามวัตถุประสงค์ของแต่ละการทดลอง และเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายจึงนำเสนอในรูปของตารางและกราฟ สำหรับผลการทดลองทั้งหมดที่แสดงในรูปตารางจะอยู่ในภาคผนวก ก และที่แสดงในรูปกราฟจะอยู่ในภาคผนวก ข

#### 6.1 ผลการทดลองกลุ่มที่ 1 ศึกษาการอบแห้งของซีเมนต์ในแต่ละชั้นของเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ

จากรูปที่ 6.1, 6.2, 6.3 และ 6.4 จะเห็นว่า เมื่ออบแห้งซีเมนต์พร้อมกันทั้ง 3 ชั้น (พื้นที่การอบแห้งของแต่ละชั้นเท่ากับ 750 ตร.ซม.) ที่ความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยของซีเมนต์เท่ากันคือ ประมาณ 100 % โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 50 °ซ ความหนาของชั้นซีเมนต์ 1 ซม. โดยอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ 560 และ 460 มม.ปรอท โดยไม่ก่อดัดชั้นซีเมนต์ และการอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 60 และ 70 °ซ ความหนาของชั้นซีเมนต์ 1 ซม. โดยไม่ก่อดัดชั้นซีเมนต์ จะได้ผลเป็นไปในทำนองเดียวกันกล่าวคือ เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง พบว่า ชั้นที่ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดคือชั้นบน รองมาคือชั้นล่างและชั้นกลาง ตามลำดับ

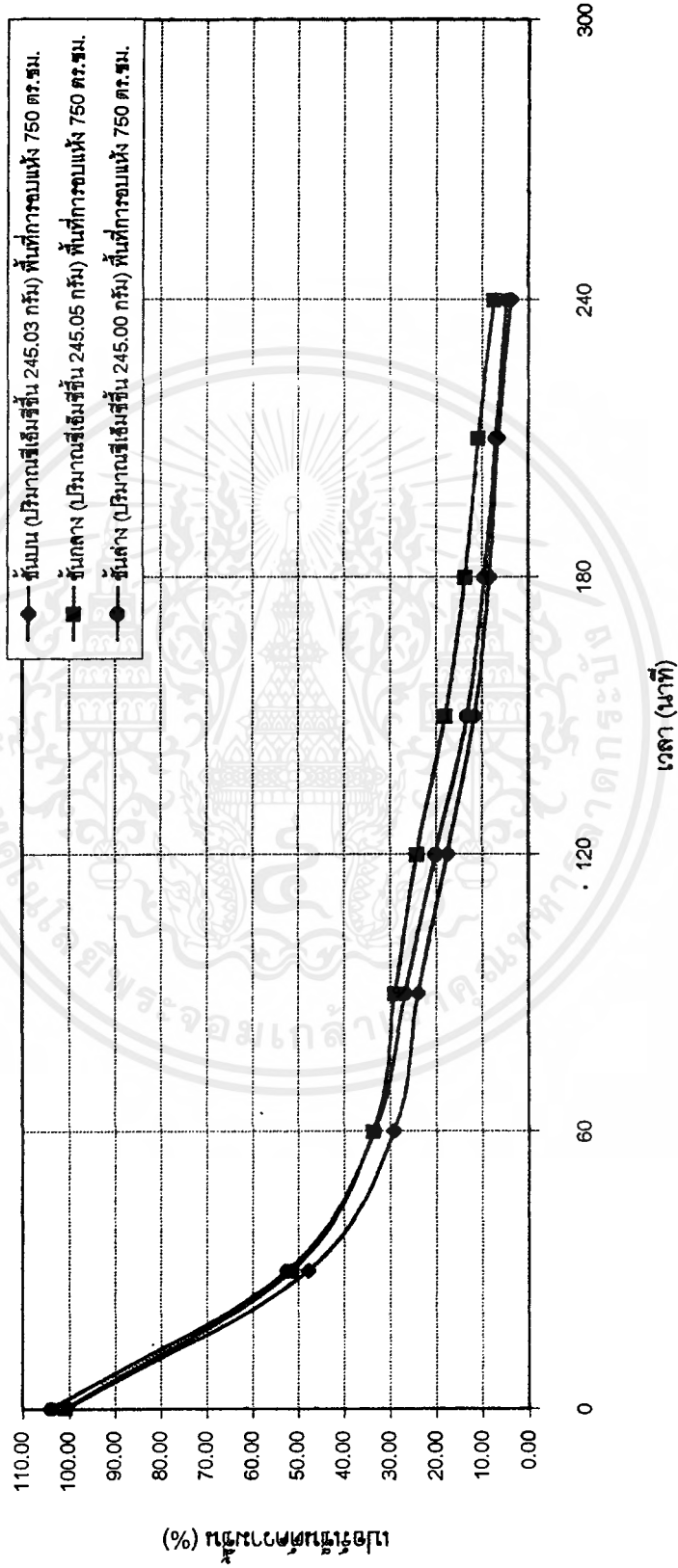
และเนื่องจากการทดลองกลุ่มที่ 2-4 เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลของความดัน อุณหภูมิ ความหนาของชั้นซีเมนต์ และการก่อดัดชั้นซีเมนต์ต่อการอบแห้งซีเมนต์ภายใต้ระบบสุญญากาศ จึงเลือกอบแห้งซีเมนต์โดยใช้เฉพาะชั้นที่ใช้เวลาน้อยที่สุดคือ ชั้นบนในการอบแห้งเพื่อให้ได้ซีเมนต์ที่มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 8 % โดยน้ำหนัก นอกจากจะเป็นการลดระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสำหรับการทำการทดลองในกลุ่มที่ 2-4 แล้วยังเป็นการลดปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลองอีกด้วย การตรวจสอบผลของการอบแห้งซีเมนต์พร้อมกันทั้ง 3 ชั้น (การทดลองกลุ่มที่ 1.2) และการอบแห้งเฉพาะชั้นบน (การทดลองกลุ่มที่ 1.3) ดูได้จากตารางที่ 6.1 (รูปที่ 6.2, 6.3 และ 6.4 ซึ่งมีปริมาณซีเมนต์ชั้นประมาณ 245 กรัมเท่ากัน) พบว่า การอบแห้งพร้อมกันทั้ง 3 ชั้น เมื่อพื้นที่การอบแห้งของแต่ละชั้นเท่ากับ 750

รูปที่ 6.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซึ่งเอมซีของการทดลองที่ 1.1.1  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นที่เอมซี 1 ซม.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

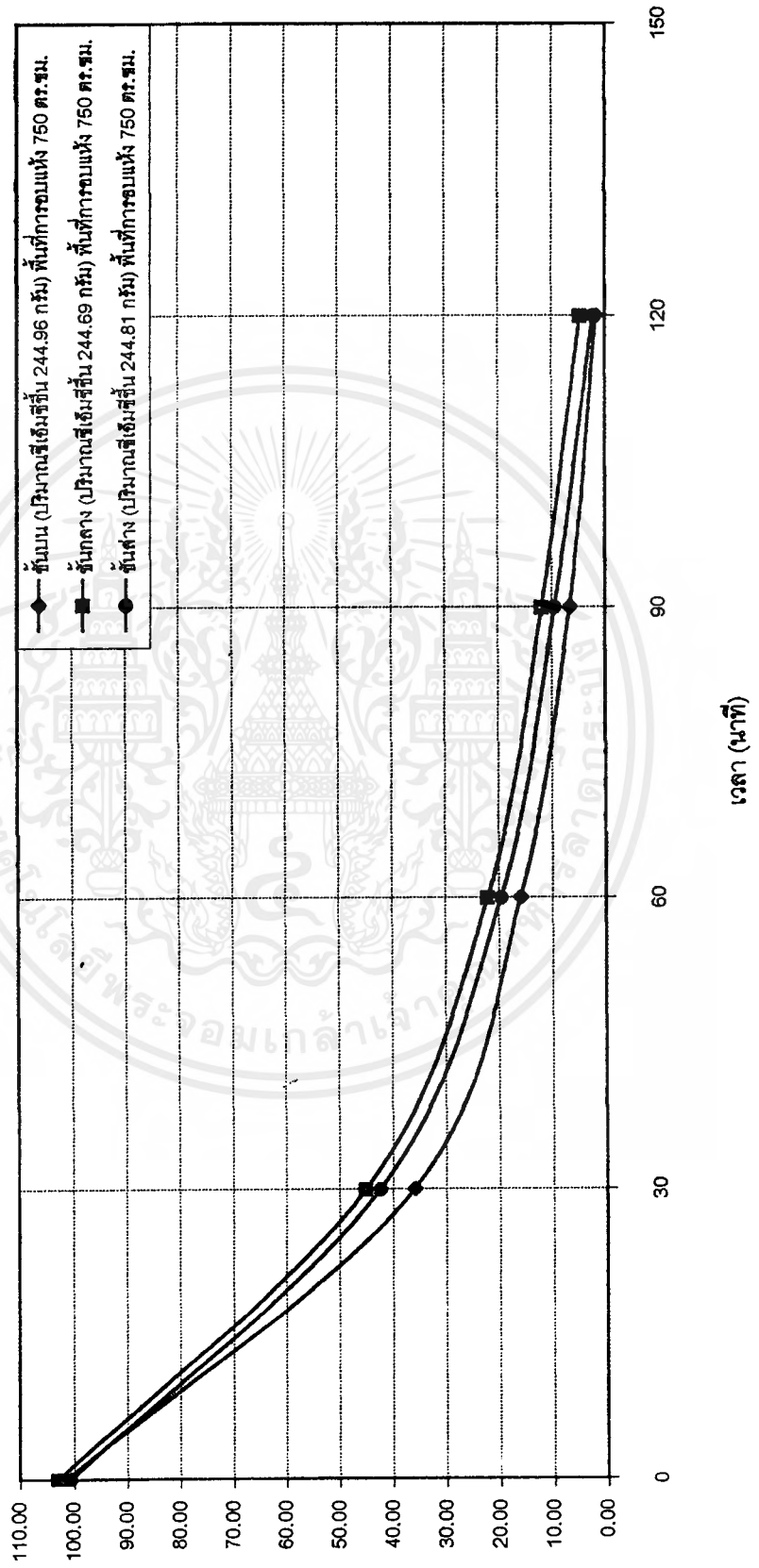
รูปที่ ข.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิของอากาศตลอดทั้ง 1.2.1  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในแต่ละภาค ที่ความหนาของชั้นซีเมนต์ 1 ซม.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเมนต์ซีเมนต์ของสารทดลองที่ 1.2.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเมนต์ 1 ซม.



ตร.ชม. และความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม. จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งซีเอ็มซีเพื่อให้ได้ซีเอ็มซีที่มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 8 % โดยน้ำหนัก ตามที่ต้องการไม่ต่างกับการอบแห้งเฉพาะชั้นบนมากนัก เพราะฉะนั้นในการทดลองกลุ่มที่ 2-4 จึงทำการทดลองอบแห้งซีเอ็มซีเฉพาะชั้นบน

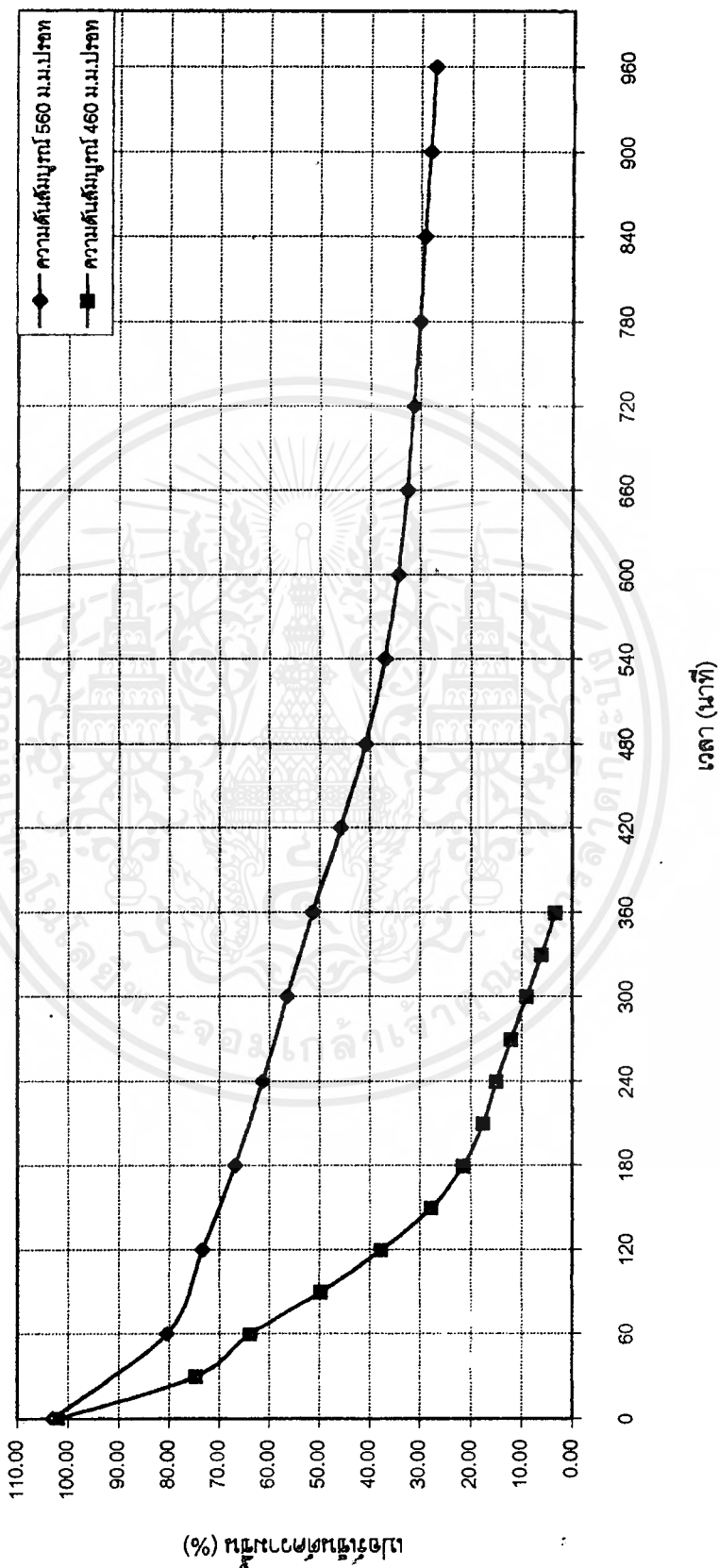
ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีเพื่อให้ได้ปริมาณความชื้น 8 % โดยน้ำหนัก ( $t'$ ) ระหว่างการอบแห้งซีเอ็มซีพร้อมกันทั้ง 3 ชั้น และการอบแห้งซีเอ็มซีเฉพาะชั้นบนเพียงชั้นเดียว ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 °ซ ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม. โดยไม่ก่อดัดชั้นซีเอ็มซี

ตำแหน่งที่วางถาด	$t'$ (นาที)		
	50 °ซ	60 °ซ	70 °ซ
อบซีเอ็มซีพร้อมกันทั้ง 3 ชั้น			
ชั้นบน	190	128	90
ชั้นกลาง	235	153	106
ชั้นล่าง	198	140	96
อบซีเอ็มซีเฉพาะชั้นบน			
ชั้นบน	175	120	90

6.2 ผลการทดลองกลุ่มที่ 2-4 ศึกษาผลของความดัน อุณหภูมิ ความหนาของชั้นซีเอ็มซี และการก่อดัดชั้นซีเอ็มซีต่อการอบแห้งซีเอ็มซีภายใต้ระบบสูญญากาศ

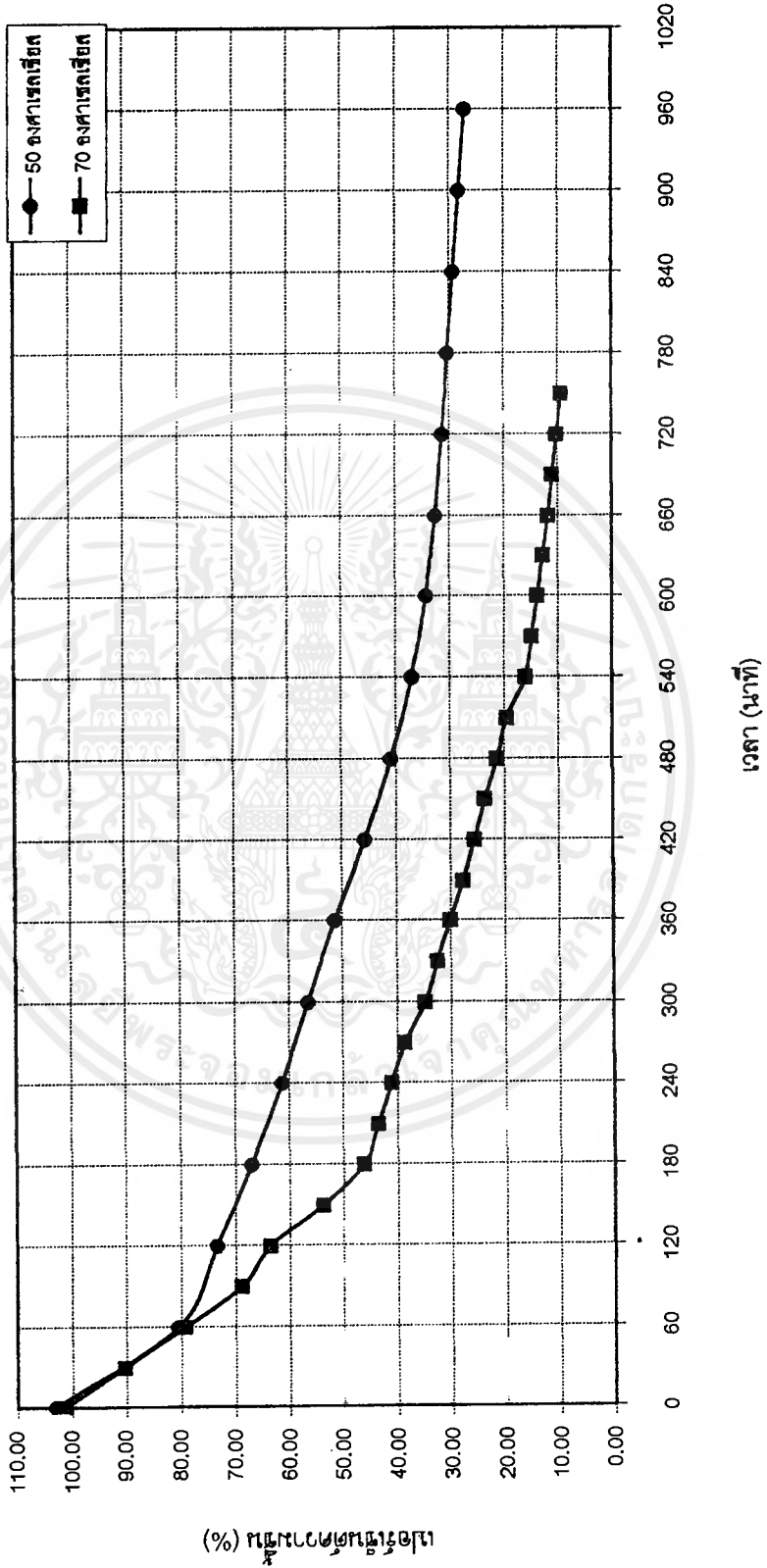
จากรูปที่ 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10 และ 6.11 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี พบว่า ความดัน อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ความหนาของชั้นซีเอ็มซี และการก่อดัดชั้นซีเอ็มซีมีผลต่อการอบแห้งซีเอ็มซี นั่นคือ เมื่อปริมาณซีเอ็มซีขึ้นเท่ากัน อบแห้งที่ความดัน 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 °ซ ความหนา 3 ซม. และไม่ก่อดัดชั้นซีเอ็มซี จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งซีเอ็มซีเพื่อให้ได้ซีเอ็มซีที่มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 8 % โดยน้ำหนัก น้อยกว่าการอบแห้งซีเอ็มซีที่ความดัน 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 และ 60 °ซ ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 และ 2 ซม. และมีการก่อดัดชั้นซีเอ็มซี

รูปที่ 6.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 2.3.3 และ 3.3.3 อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความหนาของชิ้นเนื้อซี่ 3 ซม. ณ ความชื้นสัมบูรณ์ 560 และ 460 มม.ปรอท ตามลำดับ



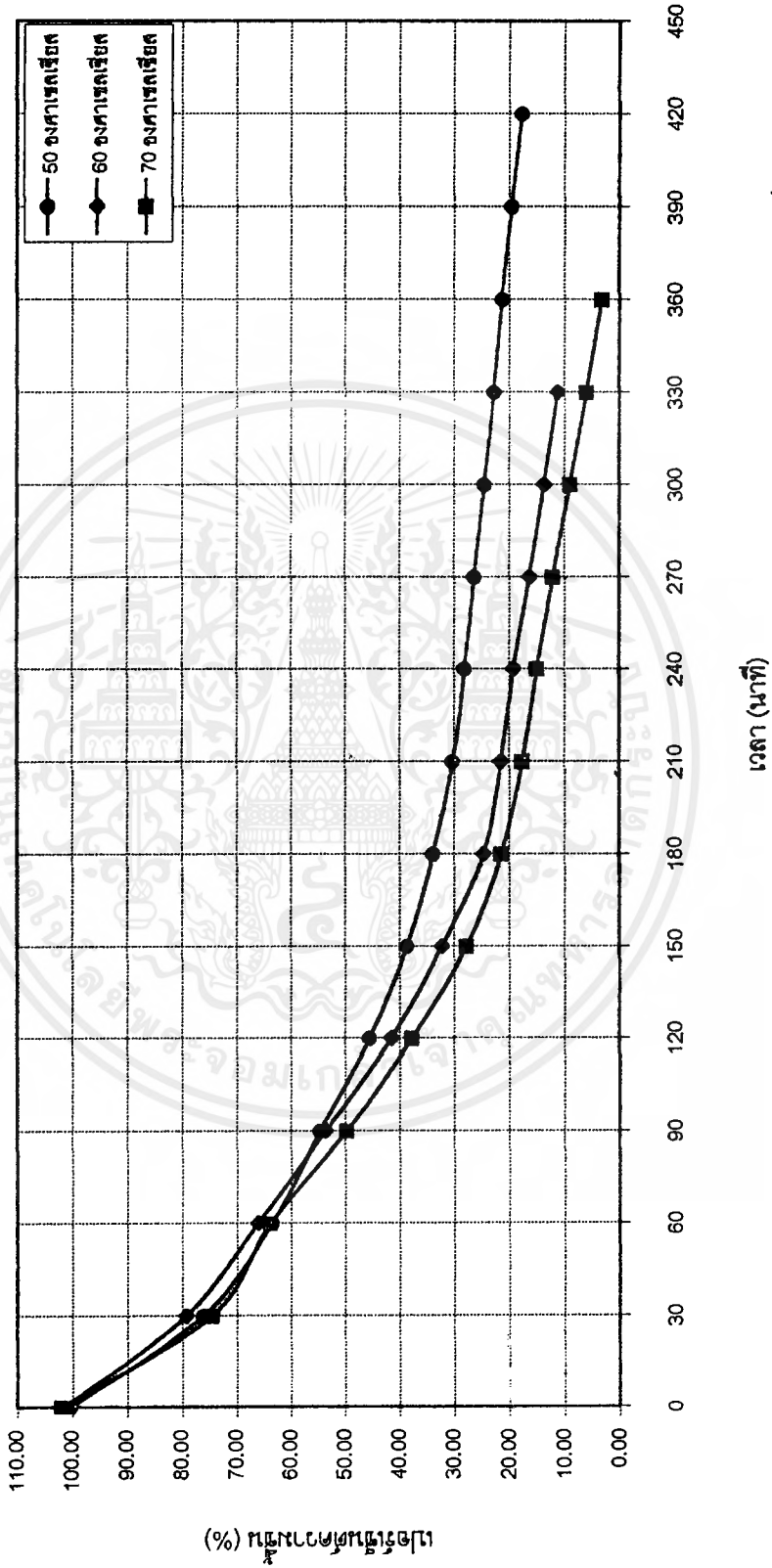
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซึ่งเริ่มขึ้นของการทดลองที่ 2.1.3 และ 2.3.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท ความหนาของชั้นที่เริ่มที่ 3 ซม. ที่อุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



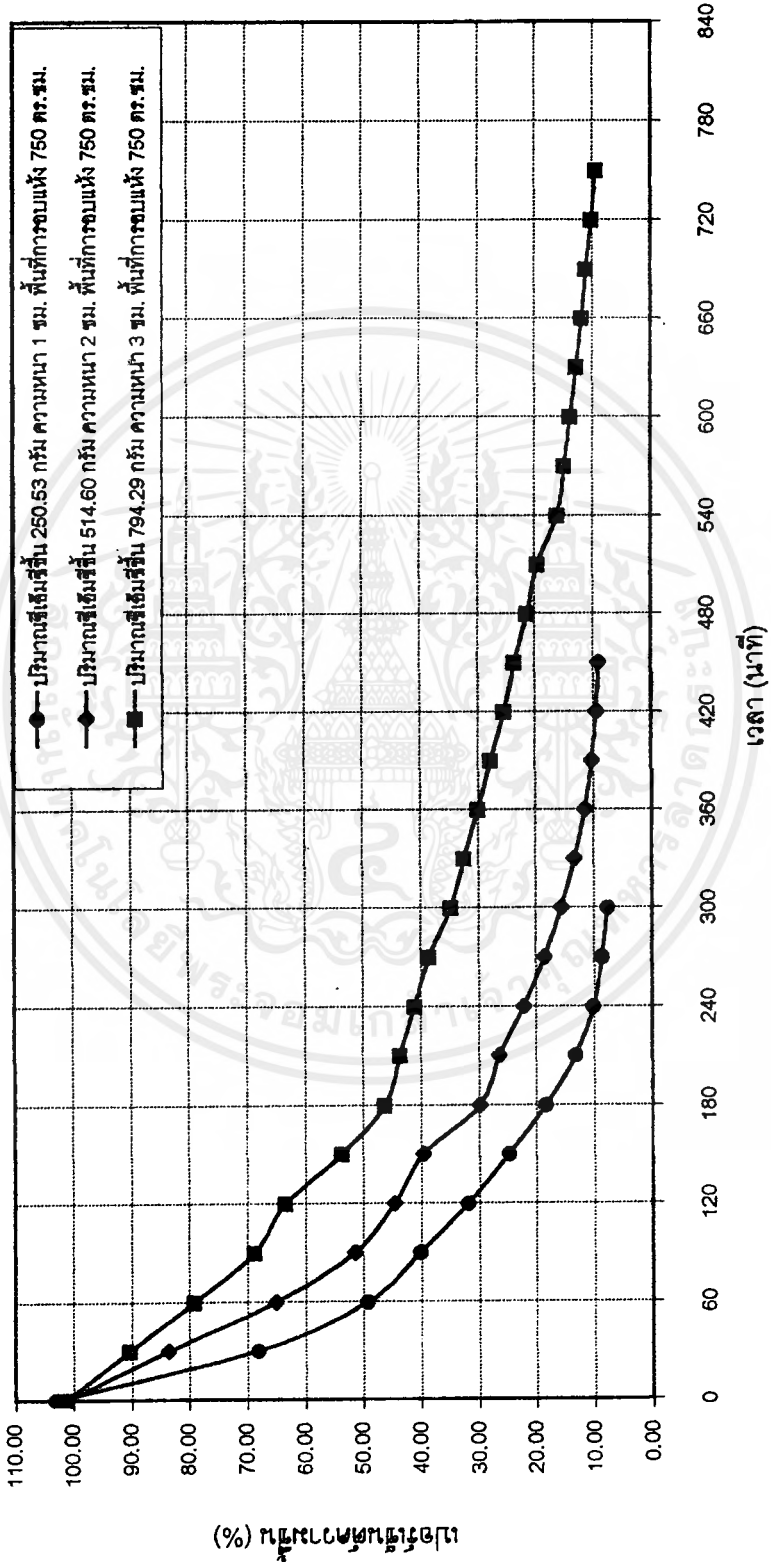
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิของอากาศทดลองที่ 3.1.3, 3.2.3 และ 3.3.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท ความหนาของชิ้นซีเมนต์ 3 ซม. ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



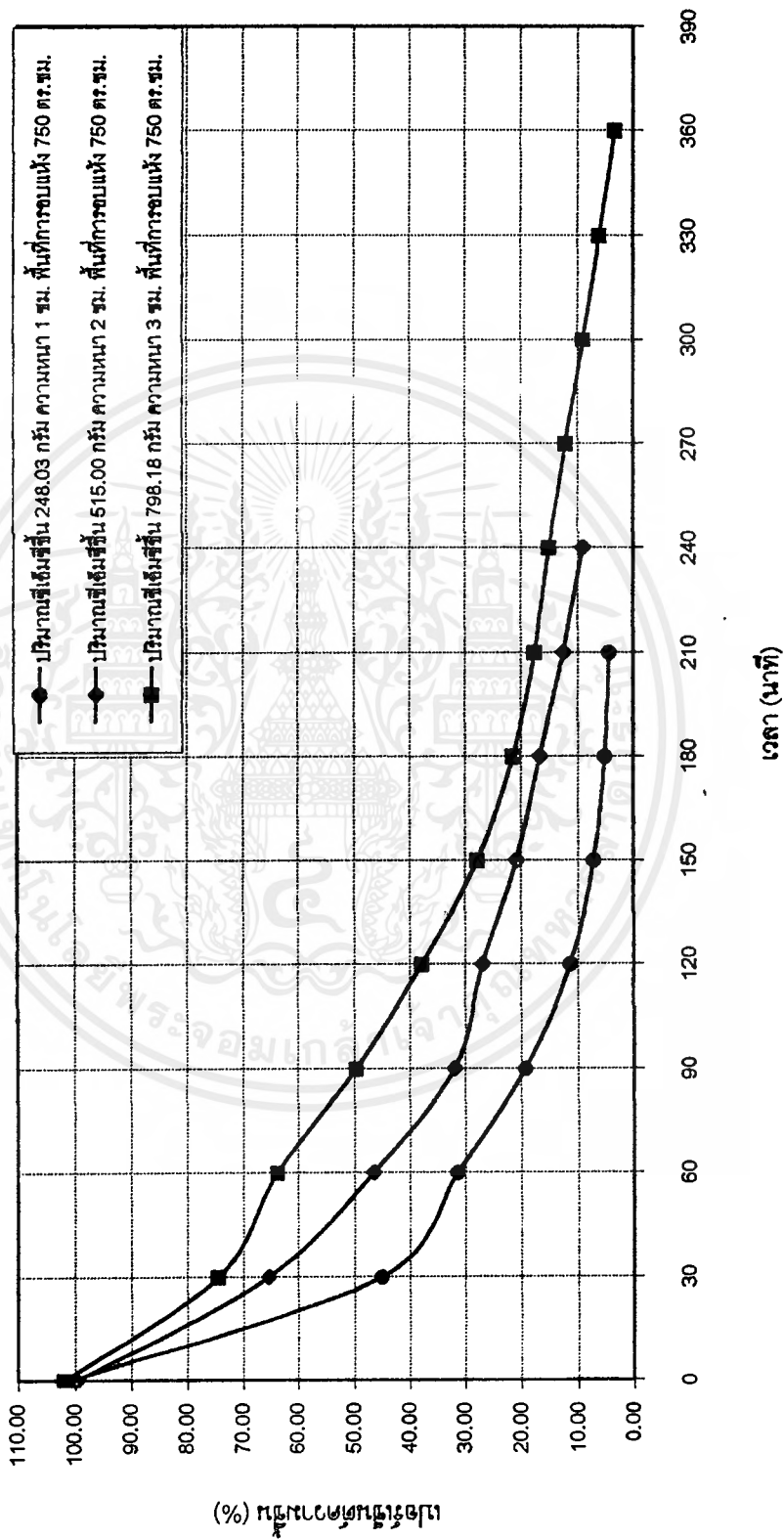
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของกาทดลองที่ 2.3.1, 2.3.2 และ 2.3.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ

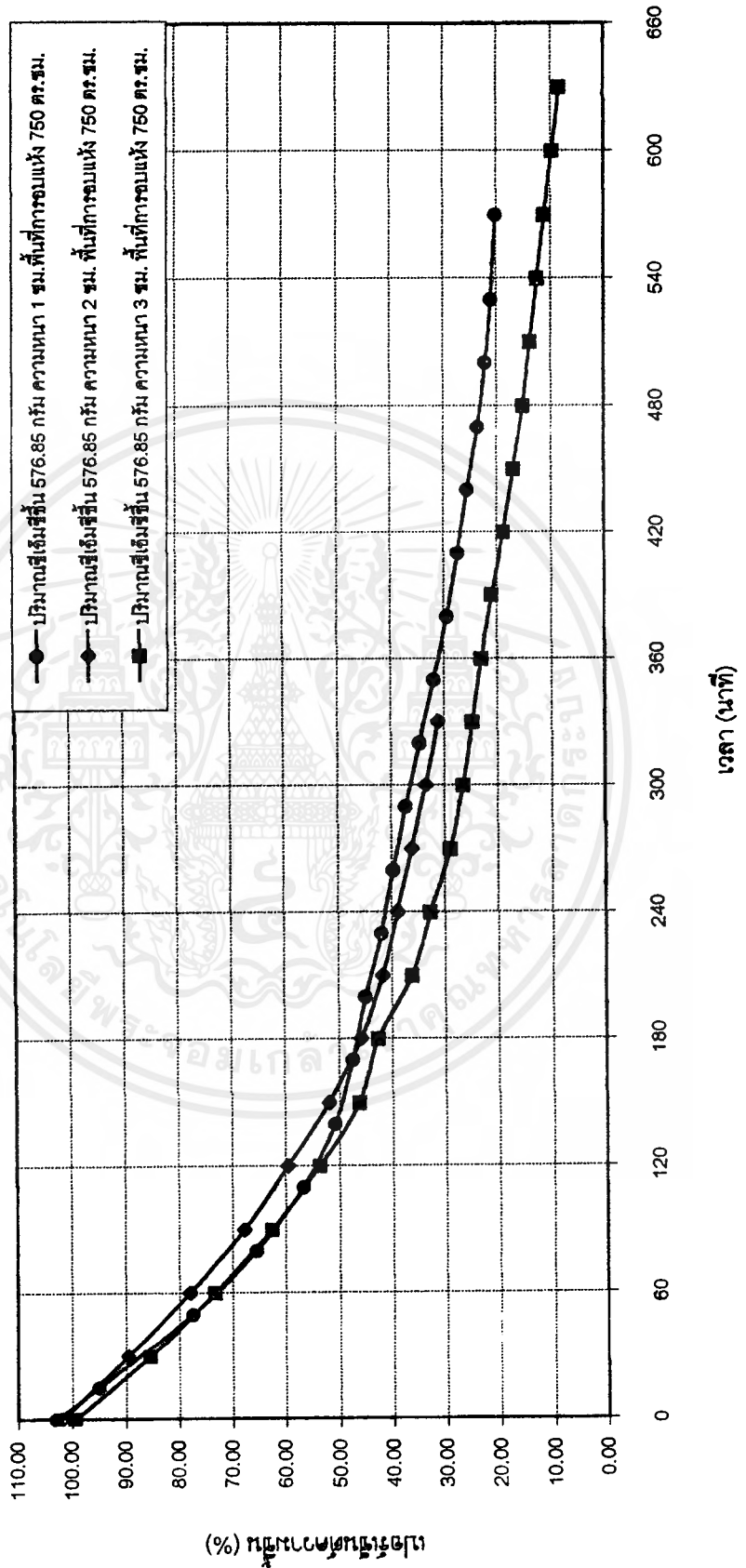


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซึ่งสัมพันธ์ของกราฟทดลองที่ 3.3.1, 3.3.2 และ 3.3.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มที 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ

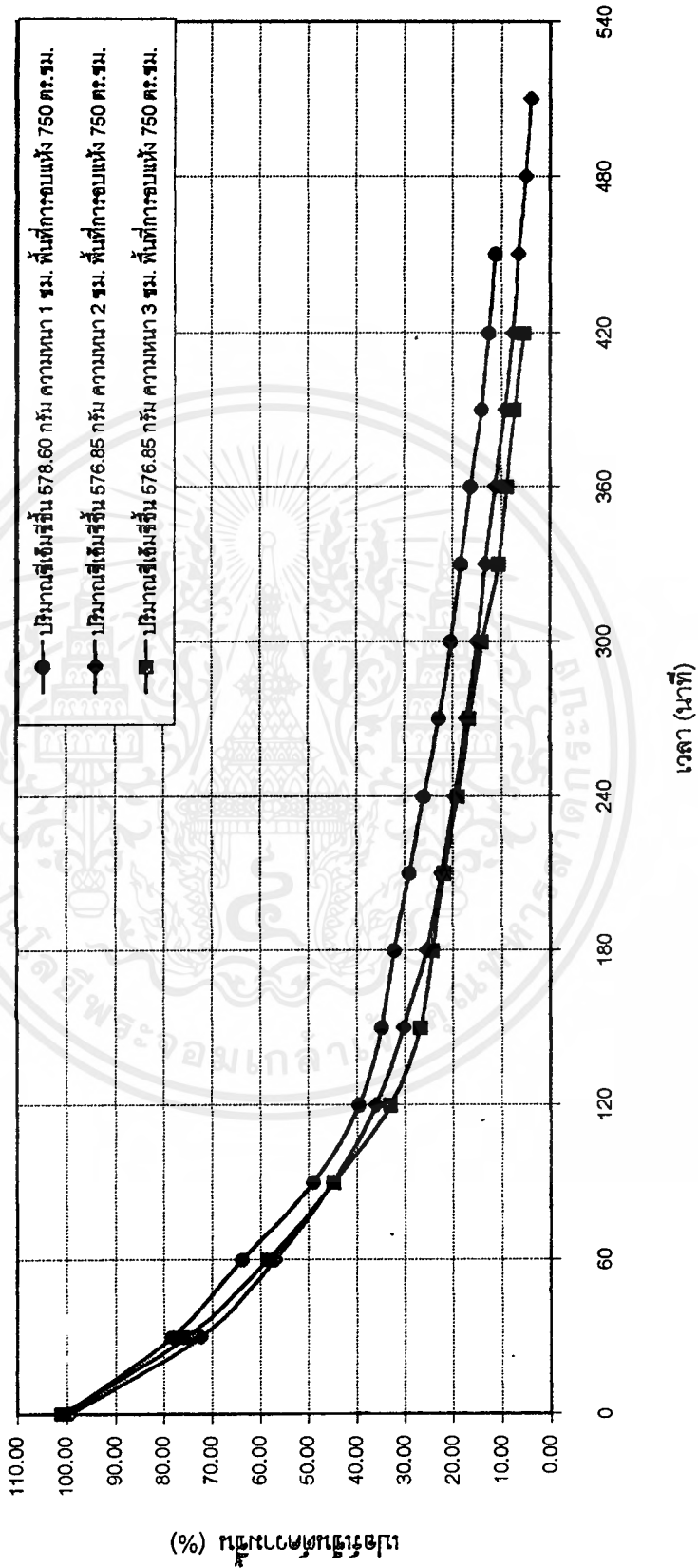


รูปที่ 6.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชิ้นเนื้อ 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ



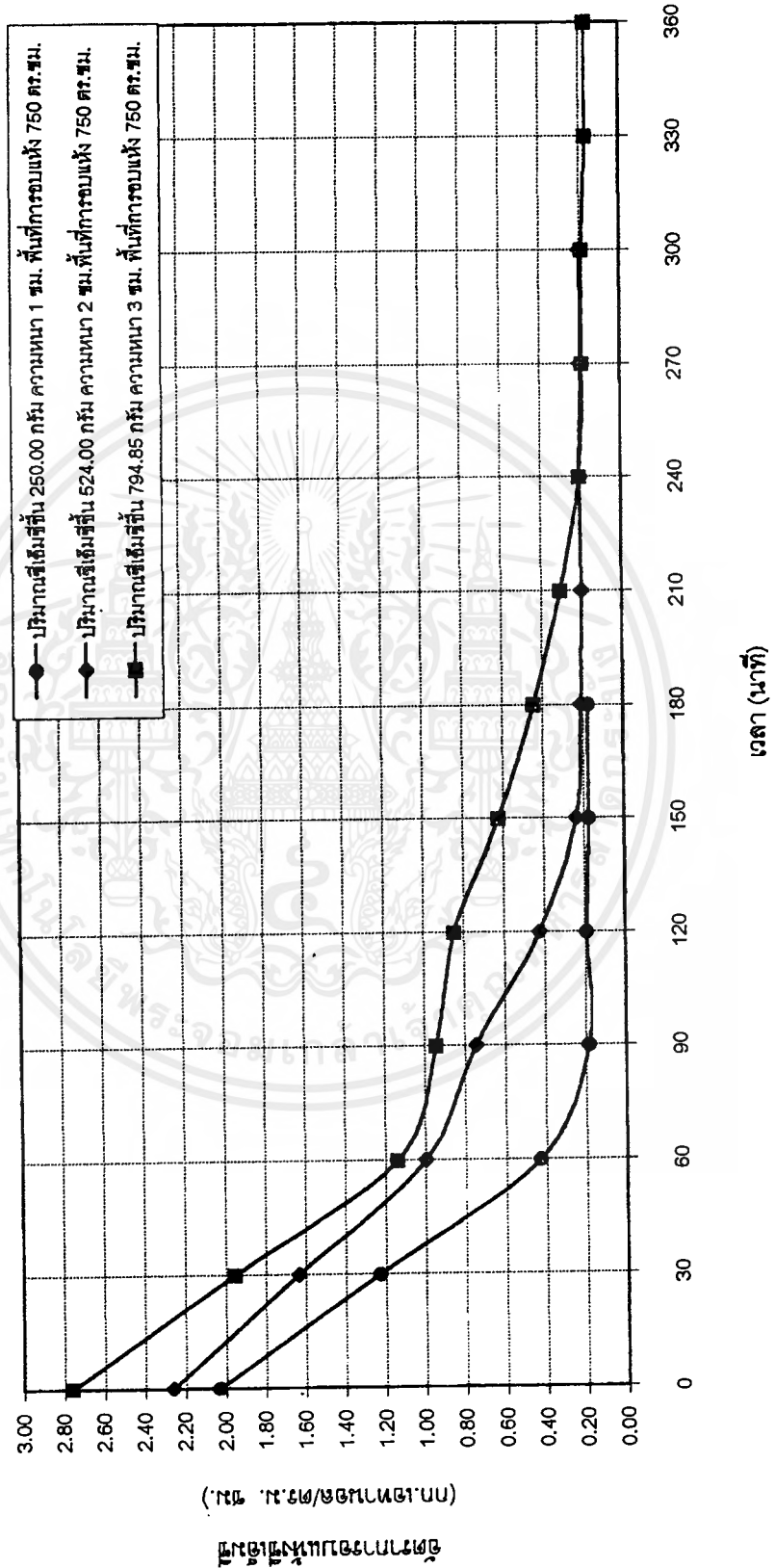
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่ 4.2.1, 4.2.2 และ 4.2.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นที่เริ่มต้นที่ 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในกาอบแห้งซีเมนต์ซีมของการทดลองที่ 3.1.1, 3.1.2 และ 3.1.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของซีเมนต์ซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

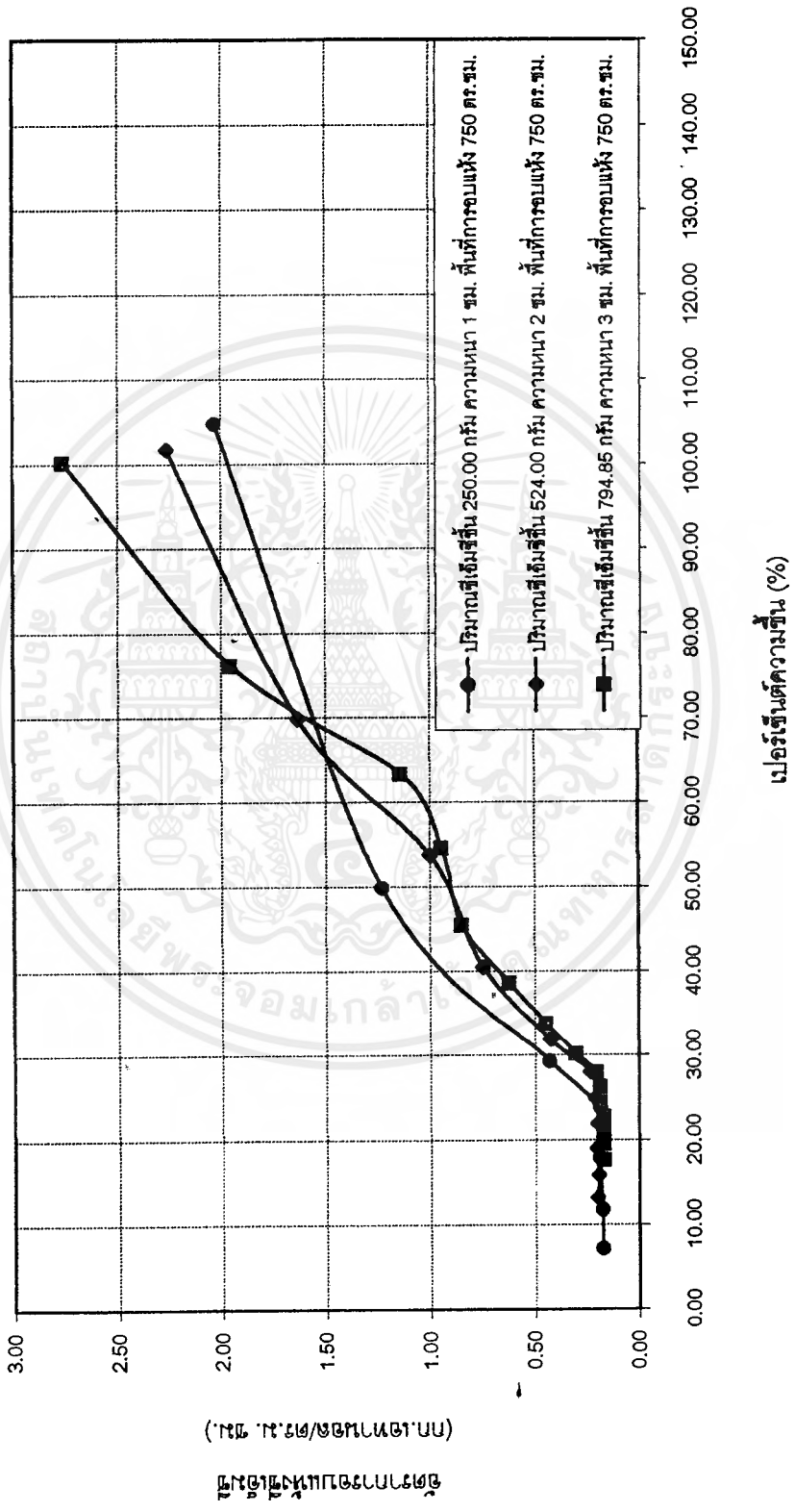
จากรูปที่ 6.12 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองกลุ่มที่ 3.1 พบว่า ในช่วงเริ่มต้นของการอบแห้งจะมีอัตราการอบแห้งมากที่สุด และจะลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่ทุกๆ ความหนาของชั้นซีเอ็มซี และจากรูปที่ 6.13 ซึ่งเป็นเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองกลุ่มที่ 3.1 พบว่า อัตราการอบแห้งมีแนวโน้มลดลงตามเปอร์เซ็นต์ความชื้นของซีเอ็มซีที่ลดลง โดยแบ่งอัตราการอบแห้งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่อัตราการอบแห้งลดลงอย่างรวดเร็ว และช่วงที่อัตราการอบแห้งค่อยๆ ลดลง (ช่วงที่ความชื้นเข้าใกล้ค่าความชื้นสมดุล) สำหรับการทดลองอื่นๆ พบว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี และเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งซีเอ็มซีจะมีลักษณะคล้ายกัน

ตารางที่ 6.2 แสดงปริมาณซีเอ็มซีขึ้นก่อนอบแห้ง ( $W'$ ) และระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีเพื่อให้ได้ปริมาณความชื้น 8 % โดยน้ำหนัก ( $t'$ ) ของการทดลองกลุ่มที่ 2-4

การทดลองที่	$W'$ (กรัม)	$t'$ (นาที)	$W'/t'$ (กรัม/นาที)	การทดลองที่	$W'$ (กรัม)	$t'$ (นาที)	$W'/t'$ (กรัม/นาที)
2.1.1	250.36	460.92	0.5432	3.2.1	250.99	156.24	1.6064
2.1.2	521.40	810.63	0.6432	3.2.2	515.00	334.97	1.5375
2.1.3	803.17	2032.96	0.3951	3.2.3	795.18	369.19	2.1539
2.2.1	252.90	360.63	0.7013	3.3.1	248.03	149.98	1.6538
2.2.2	513.89	817.50	0.6286	3.3.2	515.00	249.09	2.0675
2.3.1	250.33	280.88	0.8912	3.3.3	798.18	309.85	2.5760
2.3.2	514.60	500.17	1.0289	4.1.1	576.85	1,136.05	0.5078
2.3.3	794.29	797.36	0.9961	4.1.2	576.85	616.24	0.9361
3.1.1	250.23	174.86	1.4310	4.1.3	576.85	627.52	0.9193
3.1.2	515.00	360.69	1.4278	4.2.1	578.60	522.23	1.1079
3.1.3	794.85	572.51	1.3884	4.2.2	576.85	375.44	1.5365
				4.2.3	576.85	412.36	1.3989

จากตารางที่ 6.2 จะเห็นว่าการทดลองที่เหมาะสมในการอบแห้งเพื่อให้ได้ปริมาณซีเอ็มซีแห้งมากที่สุดและใช้เวลาให้น้อยที่สุด (การทดลองที่มีค่า  $W'/t'$  มากที่สุด) คือ การทดลองที่ 3.3.3 ซึ่งเป็น การทดลองที่ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 °ซ ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 3 ซม. โดยไม่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.13 แสดงเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งที่เริ่มตีของกาทตลอดที่ 3.1.1, 3.1.2 และ 3.1.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ



กดอัดชั้นซีเอ็มซี จึงจะใช้สภาวะนี้เป็นสภาวะในการทดลองกลุ่มที่ 5 ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อหาค่าลังการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศต่อไป

### 6.3 ผลการทดลองกลุ่มที่ 5 ศึกษาหาค่าลังการอบแห้งซีเอ็มซีของเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ

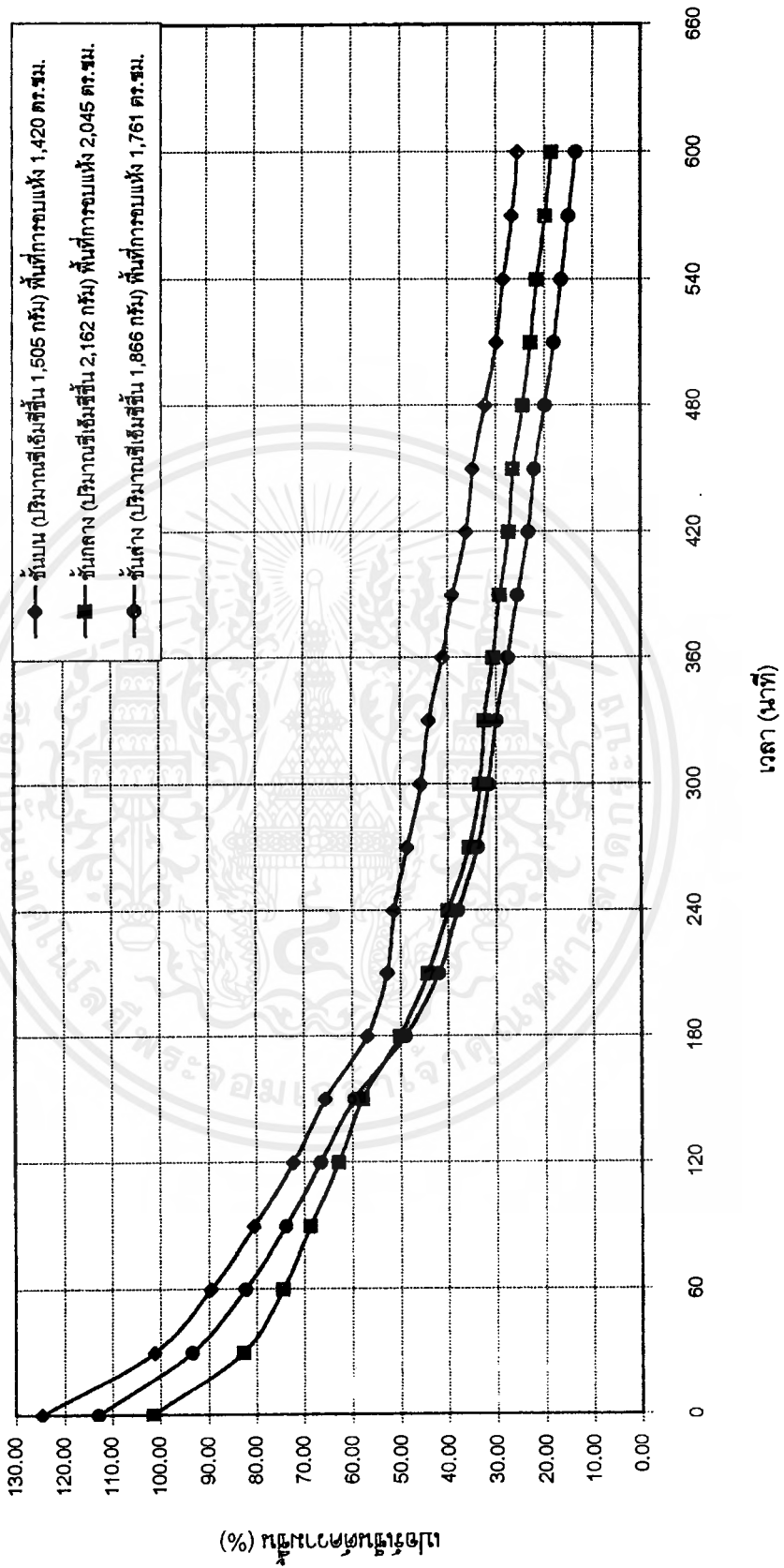
จากรูปที่ 6.14 จะเห็นว่า เมื่ออบแห้งซีเอ็มซีเต็มกำลังการอบแห้งของเครื่องอบแห้ง โดยทำการอบแห้งซีเอ็มซีพร้อมกันทั้ง 3 ชั้น ซึ่งถาดในแต่ละชั้นจะมีพื้นที่ในการอบแห้งไม่เท่ากัน กล่าวคือ ถาดชั้นบน ถาดชั้นกลาง และถาดชั้นล่าง จะมีพื้นที่การอบแห้งเท่ากับ 1,420, 2,045 และ 1,761 ตร.ซม. ตามลำดับ (รวมพื้นที่การอบแห้งทั้งหมดเท่ากับ 5,226 ตร.ซม. หรือประมาณ 0.5226 ตร.ม.) พบว่า เวลาในการอบแห้งเพื่อให้ได้ซีเอ็มซีที่มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 8 % โดยน้ำหนัก ในถาดแต่ละชั้นไม่เท่ากัน โดยชั้นล่างจะใช้เวลาน้อยที่สุด รองมาคือชั้นกลางและชั้นบน ตามลำดับ ทั้งนี้ ปริมาณซีเอ็มซีขึ้นก่อนการอบแห้งในถาดแต่ละชั้นจะเป็นสัดส่วนกับพื้นที่การอบแห้งที่ไม่ทำให้เกิดการกดอัดชั้นซีเอ็มซี แสดงดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 แสดงปริมาณซีเอ็มซีขึ้นก่อนอบแห้ง ( $W'$ ) และระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีเพื่อให้ได้ปริมาณความชื้น 8 % โดยน้ำหนัก ( $t'$ ) ของการทดลองกลุ่มที่ 5

ตำแหน่งที่วางถาด	$W'$ (กรัม)	$t'$ (นาที)
ชั้นบน	1,505	946
ชั้นกลาง	2,167	807
ชั้นล่าง	1,866	709

จากตารางที่ 6.3 จะเห็นว่า เมื่อทำการอบแห้งซีเอ็มซีเต็มกำลังการอบแห้งของเครื่องอบแห้งใน 1 ครั้ง จะสามารถอบซีเอ็มซีซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 95-120 % โดยน้ำหนัก ได้ 5.5 กิโลกรัม และใช้เวลาในการอบแห้งซีเอ็มซีเพื่อให้ได้ซีเอ็มซีที่มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 8 % โดยน้ำหนัก ตามต้องการในเวลา 15 ชั่วโมง 45 นาที (ดูจากชั้นบนซึ่งเป็นชั้นที่ใช้ระยะเวลานานที่สุดในการอบแห้งซีเอ็มซี) ซึ่งคือ กำลังการอบแห้งซีเอ็มซีของเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศนี้

รูปที่ 6.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นที่ 3 มม. อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท จุดหมุมมี 70 องศาเซลเซียส ชั้นที่ 3 มม.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### สรุปผลการทดลอง ความคิดเห็น และข้อเสนอแนะ

#### 7.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการอบแห้งซีเอ็มซีที่สังเคราะห์ได้จากเครื่องปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเริ่มต้นของซีเอ็มซีประมาณ 95-120 % โดยน้ำหนัก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ โดยศึกษาผลของความดัน อุณหภูมิ ความหนาของชั้นซีเอ็มซีและการกดอัดชั้นซีเอ็มซีต่อการอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ 560 และ 460 มม.ปรอท และศึกษากำลังการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ สรุปได้ว่า

7.1.1 ความดัน และอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี กล่าวคือ ถ้าความดันมีค่าน้อยและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีมีค่ามาก เวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีให้มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 8 % โดยน้ำหนัก จะน้อยลง

7.1.2 ความหนาของชั้นซีเอ็มซี และการกดอัดชั้นซีเอ็มซีมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี กล่าวคือ ถ้าความหนาของชั้นซีเอ็มซีมีค่ามาก นั่นคือ ปริมาณซีเอ็มซีมาก หรือเมื่อมีการกดอัดชั้นซีเอ็มซีในกรณีที่มีปริมาณซีเอ็มซีเท่ากัน เวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีให้มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 8 % โดยน้ำหนัก จะมากขึ้น

7.1.3 อัตราการอบแห้งซีเอ็มซีจะมีค่ามากที่สุดในช่วงเริ่มต้นการอบแห้ง และจะลดลงเมื่อเวลาในการอบแห้งซีเอ็มซีมากขึ้น

7.1.4 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งซีเอ็มซีที่ความดันสัมบูรณ์ 560 และ 460 มม.ปรอท ระหว่างอุณหภูมิ 50-70 °C มีเฉพาะช่วงอัตราการอบแห้งที่ลดลง โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่อัตราการอบแห้งลดลงอย่างรวดเร็ว และช่วงที่อัตราการอบแห้งค่อยๆ ลดลง (ช่วงที่ความชื้นเข้าใกล้ค่าความชื้นสมดุล) ซึ่งลักษณะของเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งที่ได้นี้คล้ายกับกรณีการอบแห้งสารที่สามารถอุ้มน้ำได้ เช่น เซลลูโลส และอลูมินา ในบรรยากาศปกติ [ 9, 13 ]

7.1.5 สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งซีเอ็มซีด้วยใช้เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศนี้ คือ ที่ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 °ซ ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 3 ซม. โดยไม่กดอัดชั้น ซีเอ็มซี

7.1.6 กำลังการอบแห้งซีเอ็มซีของเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศนี้เท่ากับ 5.5 กิโลกรัมซีเอ็มซีขึ้น (95-120 % โดยน้ำหนัก) ต่อการอบแห้ง 1 ครั้ง ซึ่งจะใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 15 ชั่วโมง 45 นาที เพื่อให้ได้ซีเอ็มซีที่มีความชื้นไม่เกิน 8 % โดยน้ำหนัก โดยอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 °ซ ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 3 ซม. และไม่กดอัดชั้นซีเอ็มซี

## 7.2 ความคิดเห็น

7.2.1 จากผลการทดลองกลุ่มที่ 1 (ดูรูปที่ 6.1-6.4) พบว่า เมื่ออบแห้งซีเอ็มซีพร้อมกันทั้ง 3 ชั้น (พื้นที่การอบแห้ง เท่ากับ 750 ตร.ซม.) ชั้นที่ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดคือ ชั้นบน รองมาคือชั้น ล่าง และชั้นกลาง ตามลำดับ สาเหตุอาจเป็นเพราะ ชั้นบนอยู่ใกล้แหล่งให้ความร้อนมากที่สุด ทำให้มี การถ่ายเทความร้อนดีกว่าชั้นอื่นๆ ส่วนชั้นล่างนั้นอยู่ใกล้บริเวณดูดอากาศออก จึงใช้เวลาในการอบ แห้งน้อยกว่าตาตกลาง ซึ่งอยู่ห่างจากแหล่งให้ความร้อนและบริเวณที่ดูดอากาศออก ทำให้ต้องใช้เวลา ในการอบแห้งเพื่อให้ได้ซีเอ็มซีที่มีความชื้นไม่เกิน 8 % โดยน้ำหนัก มากกว่าชั้นบนและชั้นล่าง

7.2.2 จากผลการทดลองกลุ่มที่ 5 (ดูรูปที่ 6.14) พบว่า เมื่ออบแห้งซีเอ็มซีพร้อมกันทั้ง 3 ชั้น (พื้นที่การอบแห้ง เท่ากับ 5226 ตร.ซม.) ชั้นที่ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดคือ ชั้นล่าง รองมาคือ ชั้นกลาง และชั้นบน ตามลำดับ สาเหตุอาจเป็นเพราะ การทดลองกลุ่มนี้เป็นการอบแห้งซีเอ็มซีเต็ม กำลังการอบแห้งของเครื่องอบแห้งซึ่งจะใช้ที่ความสูง 3 ซม.ในการทดลอง ทำให้เหลือช่องว่าง ระหว่าง Heated chamber กับซีเอ็มซีน้อย ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนบริเวณนี้ไม่ดีเท่าที่ควร อีกทั้ง ชั้นนี้ยังอยู่ห่างจากบริเวณดูดอากาศมากกว่าชั้น และเวลาที่ชั้นล่างใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด อาจ เป็นเพราะอยู่ใกล้บริเวณดูดอากาศมากที่สุด

อย่างไรก็ตาม ความคิดเห็นเหล่านี้เป็นเพียงการสมมติฐานเพื่ออธิบายผลของการทดลองเท่านั้น และเนื่องจากตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้งซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศมีหลายตัวแปร เพื่อให้ทราบ สาเหตุที่แน่นอนอาจต้องศึกษาปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้โดยการทำ Simulation โดยใช้โปรแกรม สำเร็จรูป เช่น Computational Fluid Dynamics ในการศึกษา Temperature profile และ Pressure profile เป็นต้น

### 7.3 ข้อเสนอแนะ

ข้อมูลทั้งหมดในงานนี้สามารถที่จะใช้เป็นข้อมูลต้นแบบเพื่อการออกแบบขยายขนาดเครื่องอบแห้งลักษณะเดียวกันนี้ให้เหมาะสมกับการผลิตซีเอ็มซีปริมาณต่างๆ หรือเพื่อการออกแบบเครื่องอบแห้งซีเอ็มซีแบบสูญญากาศที่เป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง และยังเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับผู้ที่ต้องการศึกษาการอบแห้งซีเอ็มซี ซึ่งมีการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง หรือวัสดุอื่นที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับซีเอ็มซี



## เอกสารอ้างอิง

1. เดชา วลีเกียรติกุล ประพันธ์ ศรีคุณ และพัฒน์พงศ์ สิทธิสาร. การศึกษาผลของกำลังต่อ ปริมาตรที่มีผลต่อการขยายขนาดของปฏิกรณ์เคมีในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิล เซลลูโลส. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2538.
2. จิยาพร จยาวรรณ ไตรรงค์ ชันสาคร และเสาวณีย์ คงมาก. การออกแบบเครื่องอบแห้ง แบบหมุนสำหรับกระบวนการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส. วิทยานิพนธ์ ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539.
3. Encyclopedia of Chemical Technology. Vol.9. 4<sup>th</sup> ed. New York : John Wiley & Sons, Inc., 1994.
4. มนต์รี รัตนวิจิตร. ปรากฏการณ์ซีเอ็มซี (Sodium Carboxy Methyl Cellulose). TTIS TEXTILE DIGEST (พฤษภาคม 2537).
5. เกศรินทร์ เขียรกานนท์ และวัจน่า พิลหาเวสส. รายงานการฝึกงานที่บริษัทไทยเซลลูโลส โปรดัคส์ จำกัด. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540.
6. ภัทราวุธ มนต์วิเศษ และวันชนะ ยินสุตร. การศึกษาตัวแปรสำคัญในการขยายขนาดของ ปฏิกรณ์เคมีในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537.
7. วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล. คู่มืออุปกรณ์การผลิตในอุตสาหกรรมเคมี. ศูนย์หนังสือ กรุงเทพฯ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) , 2533.
8. David M. Himmelblau. Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering. 6<sup>th</sup> ed. London : Prentice-Hall International, Inc., 1996.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

9. Perry, R.H., and Green, D.W. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. 6<sup>th</sup> ed. New York : McGraw-Hill Book Company, 1985.
10. Romeo T. Toledo. **Fundamentals of Food Process Engineering**. 2<sup>th</sup> ed. New York : Van Nostrand Reinhold, 1991.
11. Alan S. Foust. **Principles of Unit Operations**. 2<sup>nd</sup> ed. New York : John Wiley & Sons, Inc., 1980.
12. Philips A.Schweitzer editor-in-chief. **Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers**. 2<sup>th</sup> ed. New York : McGraw-Hill Book Company, 1988.
13. Nonhebel, G., and Moss, A.A.H. **Drying of Solids in the Chemical Industry**. 1<sup>st</sup> ed. London : Butterworth & Co. Ltd., 1971
14. เรียวโซ โทเอ. **อุปกรณ์อบแห้งอุตสาหกรรม**: แปลโดย วิวัฒน์ ดัชนีฑะพานิชกุล. สำนักพิมพ์ กรุงเทพฯ, 2529.
15. กานต์ เกตุเอี่ยม อธิภัทร พนมกิจ และธรรมบุญ อุดมมัน. **การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบสูญญากาศสำหรับกระบวนการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540.
16. Fogler H. Scott. **Elements of Chemical Reaction Engineering**. 2<sup>nd</sup> ed. New Jersey : Prentice-Hall International, Inc., 1992.

# ภาคผนวก ก

## ข้อมูลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### ข้อมูลการทดลอง

#### ผลการทดลองที่ 1.1.1

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	560
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	50
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1
น้ำหนักถาด (กรัม)	479.27
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	601.10
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	121.83
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00
ตำแหน่งที่วางถาด	ชั้นบน

ตารางที่ ก.1 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.1.1

เวลา (นาท)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	725.38	246.11	102.01	0.96
60	655.97	176.70	45.04	0.56
120	641.14	161.87	32.87	0.16
180	631.27	152.00	24.76	0.11
240	625.22	145.95	19.80	0.08
300	619.14	139.87	14.81	0.08
360	616.73	137.46	12.83	0.08

### ผลการทดลองที่ 1.1.1 (ต่อ)

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	560
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	50
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1
น้ำหนักถาด (กรัม)	477.46
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	598.27
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	120.81
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00
ตำแหน่งที่วางถาด	ชั้นกลาง

### ตารางที่ ก.2 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.1.1 (ต่อ)

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเอ็มซีชื้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีชื้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	722.68	245.22	102.98	0.76
60	668.70	191.24	58.30	0.47
120	652.17	174.71	44.62	0.18
180	642.21	164.75	36.37	0.10
240	636.70	159.24	31.81	0.08
300	629.65	152.19	25.97	0.08
360	625.32	147.86	22.39	0.08

### ผลการทดลองที่ 1.1.1 (ต่อ)

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	560
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	50
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1
น้ำหนักถาด (กรัม)	477.42
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	598.96
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	121.54
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00
ตำแหน่งที่วางถาด	ชั้นล่าง

### ตารางที่ ก.3 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.1.1 (ต่อ)

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	721.95	244.53	101.19	0.87
60	662.77	185.35	52.50	0.53
120	642.62	165.20	35.92	0.19
180	634.29	156.87	29.07	0.09
240	628.78	151.36	24.54	0.08
300	621.94	144.52	18.91	0.07
360	617.65	140.23	15.38	0.15

### ผลการทดลองที่ 1.2.1

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	50
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1
น้ำหนักถาด (กรัม)	481.02
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	603.03
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	122.01
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00
ตำแหน่งที่วางถาด	ชั้นบน

ตารางที่ ก.4 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.2.1

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	726.05	245.03	100.83	1.93
30	661.40	180.38	47.84	1.16
60	638.69	157.67	29.23	0.39
90	632.18	151.16	23.89	0.19
120	624.47	143.45	17.57	0.20
150	617.21	136.19	11.62	0.15
180	613.27	132.25	8.39	0.08
210	610.88	129.86	6.43	0.07
240	607.70	126.68	3.83	0.07

### ผลการทดลองที่ 1.2.1 (ต่อ)

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	50
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1
น้ำหนักถาด (กรัม)	477.76
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	606.89
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	121.92
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00
ตำแหน่งที่วางถาด	ชั้นกลาง

### ตารางที่ ก.5 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.2.1 (ต่อ)

เวลา (นาท)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	722.81	245.05	100.99	1.83
30	662.39	184.63	51.44	1.10
60	640.68	162.92	33.63	0.37
90	634.95	157.19	28.93	0.15
120	629.25	151.49	24.25	0.18
150	621.66	143.90	18.03	0.17
180	616.38	138.62	13.70	0.12
210	612.85	135.09	10.80	0.10
240	608.81	131.05	7.49	0.10

### ผลการทดลองที่ 1.2.1 (ต่อ)

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	50
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1
น้ำหนักถาด (กรัม)	479.96
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	600.07
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	120.11
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00
ตำแหน่งที่วางถาด	ชั้นล่าง

ตารางที่ ก.6 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.2.1 (ต่อ)

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	724.96	245.00	103.98	1.85
30	663.00	183.04	52.39	1.13
60	640.18	160.22	33.39	0.41
90	632.13	152.17	26.69	0.21
120	624.18	144.22	20.07	0.21
150	616.02	136.06	13.28	0.17
180	611.47	131.51	9.49	0.10
210	608.47	128.51	6.99	0.08
240	605.75	125.79	4.73	0.08

### ผลการทดลองที่ 2.1.2

ความดันสัมบูรณ์ (ม.ม.ปรอท)	560
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	50
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	2
น้ำหนักถาด (กรัม)	479.27
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด(กรัม)	737.39
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	258.12
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.8 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 2.1.2

เวลา (นาท)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	1062.40	521.40	102.00	1.08
30	1028.80	487.80	88.98	0.96
60	990.20	449.20	74.03	0.84
90	966.00	425.00	64.65	0.63
120	943.20	402.20	55.82	0.49
150	929.30	388.30	50.43	0.35
180	916.95	375.95	45.65	0.25
210	910.22	369.22	43.04	0.17
240	904.49	363.49	40.82	0.14
270	900.05	359.05	39.10	0.13
300	894.84	353.84	37.08	0.13
330	890.36	349.36	35.35	0.12
360	885.70	344.70	33.54	0.18
390	877.20	336.20	30.25	0.17
420	873.04	332.04	28.64	0.12
450	868.45	327.45	26.86	0.11
480	864.88	323.88	25.48	0.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผลการทดลองที่ 1.2.2 (ต่อ)

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	60
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1
น้ำหนักถาด (กรัม)	478.93
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	600.44
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	121.51
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00
ตำแหน่งที่วางถาด	ชั้นกลาง

### ตารางที่ ก.8 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.2.2 (ต่อ)

เวลา (นาท)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	723.93	245.00	101.63	1.84
30	661.65	182.72	50.37	1.14
60	638.68	159.75	31.47	0.44
90	628.68	149.75	23.24	0.27
120	618.29	139.36	14.69	0.24
150	610.87	131.94	8.58	0.24

### ผลการทดลองที่ 1.2.2 (ต่อ)

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	60
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1
น้ำหนักถาด (กรัม)	480.85
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	602.42
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	121.57
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00
ตำแหน่งที่วางถาด	ชั้นล่าง

ตารางที่ ก.9 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.2.2 (ต่อ)

เวลา (นาท)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	725.85	245.00	101.53	1.89
30	660.46	179.44	47.60	1.17
60	637.96	157.11	29.23	0.45
90	626.19	145.34	19.55	0.29
120	616.29	135.44	11.41	0.22
150	609.87	129.02	6.13	0.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผลการทดลองที่ 1.2.3

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	70
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1
น้ำหนักถาด (กรัม)	477.67
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	599.19
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	121.52
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00
ตำแหน่งที่วางถาด	ชั้นบน

ตารางที่ ก.10 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.2.3

เวลา (นาท)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	722.63	244.96	101.58	2.31
30	642.84	165.17	35.92	1.39
60	618.47	140.80	15.87	0.47
90	607.26	129.59	6.64	0.23
120	601.21	123.54	1.66	0.11

### ผลการทดลองที่ 1.2.3 (ต่อ)

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	70
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1
น้ำหนักถาด (กรัม)	479.57
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	601.35
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	121.78
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00
ตำแหน่งที่วางถาด	ชั้นกลาง

ตารางที่ ก.11 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.2.3 (ต่อ)

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม.·ซม.)
0	724.26	244.69	102.93	2.08
30	654.44	174.87	45.02	1.31
60	626.72	147.15	22.04	0.54
90	614.37	134.80	11.79	0.28
120	605.75	126.18	4.64	0.19

### ผลการทดลองที่ 1.2.3 (ต่อ)

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	70
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1
น้ำหนักถาด (กรัม)	480.94
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	602.91
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	121.97
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00
ตำแหน่งที่วางถาด	ชั้นล่าง

### ตารางที่ ก.12 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.2.3 (ต่อ)

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	725.75	244.81	100.71	2.31
30	654.44	173.50	42.25	1.32
60	626.72	145.78	19.52	0.53
90	614.37	133.43	9.40	0.28
120	605.75	124.81	2.33	0.28

### ผลการทดลองครั้งที่ 1.3.1

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	50
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1
น้ำหนักถาด (กรัม)	477.30
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด(กรัม)	597.98
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	120.68
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.13 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.3.1

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	732.17	245.00	100.54	2.05
30	665.16	183.22	49.97	1.28 *
60	639.98	158.04	29.36	0.53
90	633.00	151.06	23.65	0.28
120	626.01	144.07	17.93	0.23
150	618.61	136.67	11.87	0.19
180	612.91	130.97	7.20	0.17

### ผลการทดลองครั้งที่ 1.3.2

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	60
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1
น้ำหนักถาด (กรัม)	479.27
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด(กรัม)	601.06
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	121.79
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.14 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.3.2

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	722.30	245.00	101.17	1.97
30	653.93	176.63	45.03	1.20
60	627.08	149.78	22.98	0.50
90	614.93	137.63	13.01	0.31
120	608.89	131.59	8.05	0.22
150	605.12	127.82	4.95	0.18

### ผลการทดลองครั้งที่ 1.3.3

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	70
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1
น้ำหนักถาด (กรัม)	477.30
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด(กรัม)	598.66
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	121.36
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.15 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.3.3

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	722.43	245.13	98.57	1.87
30	658.30	169.47	39.64	1.26
60	641.43	145.47	19.87	0.57
90	626.57	131.14	8.06	0.42
120	616.72	127.56	5.11	0.33
150	611.63	125.24	3.20	0.24

## ผลการทดลองที่ 2.1.1

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	560
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	50
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1
น้ำหนักถาด (กรัม)	479.27
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	601.99
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	122.72
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.16 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 2.1.1

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	729.63	250.36	104.01	0.98
60	658.30	179.03	45.88	0.57
120	643.60	164.33	33.91	0.16
180	633.80	154.53	25.92	0.11
240	626.80	147.42	20.13	0.08
300	622.10	142.83	16.39	0.05
360	618.70	139.45	13.63	0.05

## ผลการทดลองที่ 2.1.2

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	560
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	50
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	2
น้ำหนักถาด (กรัม)	479.27
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	737.39
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	258.12
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.17 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 2.1.2

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	1,062.40	521.40	102.00	1.08
30	1,028.80	487.80	88.98	0.96
60	990.20	449.20	74.03	0.84
90	966.00	425.00	64.65	0.63
120	943.20	402.20	55.82	0.49
150	929.30	388.30	50.43	0.35
180	916.95	375.95	45.65	0.25
210	910.22	369.22	43.04	0.17
240	904.49	363.49	40.82	0.14
270	900.05	359.05	39.10	0.13
300	894.84	353.84	37.08	0.13
330	890.36	349.36	35.35	0.12
360	885.70	344.70	33.54	0.18
390	877.20	336.20	30.25	0.17
420	873.04	332.04	28.64	0.12
450	868.45	327.45	26.86	0.11
480	864.88	323.88	25.48	0.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผลการทดลองที่ 2.1.3

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	560
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	50
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	3
น้ำหนักถาด (กรัม)	591.60
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	987.27
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	395.67
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.18 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 2.1.3

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+ น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ชม.)
0	1,394.77	803.17	102.99	1.65
60	1,305.82	714.22	80.51	0.88
120	1,277.69	686.09	73.40	0.41
180	1,251.97	660.37	66.90	0.36
240	1,229.70	638.10	61.27	0.31
300	1,210.31	618.71	56.37	0.30
360	1,190.21	598.61	51.29	0.32
420	1,168.29	576.69	45.75	0.31
480	1,148.78	557.18	40.82	0.26
540	1,133.43	541.83	36.94	0.19
600	1,123.18	531.58	34.35	0.13
660	1,116.14	524.54	32.57	0.09
720	1,111.00	519.40	31.27	0.07
780	1,106.60	515.00	30.16	0.06
840	1,102.77	511.17	29.19	0.06
900	1,098.37	506.77	28.08	0.06
960	1,094.34	502.74	27.06	0.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผลการทดลองที่ 2.2.1

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	560
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	60
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1
น้ำหนักถาด (กรัม)	477.42
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	600.75
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	123.33
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.19 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 2.2.1

เวลา (นาท)	น้ำหนักซีเอ็มซีชั้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีชั้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	730.32	252.90	105.06	0.79
30	701.35	223.93	81.57	0.69
60	678.65	201.23	63.16	0.56
90	659.68	182.26	47.78	0.37
125	651.07	173.65	40.80	0.21
155	642.98	165.56	34.24	0.26
185	631.84	154.42	25.21	0.24
215	625.06	147.64	19.71	0.12
245	622.70	145.28	17.80	0.08
275	619.00	141.58	14.80	0.11
305	614.74	137.32	11.34	0.07
335	613.48	136.06	10.32	0.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผลการทดลองที่ 2.2.2

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	560
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	60
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	2
น้ำหนักถาด (กรัม)	541.00
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	794.13
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	253.13
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.20 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 2.2.2

เวลา (นาท)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	1,054.89	513.89	103.01	1.17
30	1,010.90	469.90	85.64	1.04
60	977.10	436.10	72.28	0.83
90	948.30	407.30	60.91	0.66
120	927.44	386.44	52.66	0.44
150	915.58	374.58	47.98	0.25
180	908.60	367.60	45.22	0.18
210	902.41	361.41	42.78	0.17
240	895.74	354.74	40.14	0.17
270	889.53	348.53	37.69	0.17
300	883.35	342.35	35.25	0.17
330	876.99	335.99	32.73	0.17
360	870.73	329.73	30.26	0.16
390	865.00	324.00	28.00	0.15
420	859.20	318.20	25.71	0.15
450	853.98	312.98	23.64	0.14
480	848.85	307.85	21.62	0.12

ตารางที่ ก.20 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 2.2.2 (ต่อ)

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเมนต์ขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเมนต์ขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ชม.)
510	844.70	303.70	19.98	0.11
540	840.80	299.80	18.44	0.10
570	837.10	296.10	16.98	0.09
600	834.15	293.15	15.81	0.07
630	831.62	290.62	14.81	0.07



### ผลการทดลองที่ 2.3.1

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	560
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	70
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1
น้ำหนักถาด (กรัม)	477.46
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	600.87
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	123.41
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.21 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 2.3.1

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	727.99	250.53	103.01	1.73
30	684.96	207.50	68.14	1.43
60	661.62	184.16	49.23	0.50
90	650.31	172.85	40.06	0.31
120	640.15	162.69	31.83	0.27
150	631.39	153.93	24.73	0.24
180	623.60	146.14	18.42	0.20
210	617.14	139.68	13.18	0.15
240	613.43	135.97	10.18	0.08
270	611.46	134.00	8.58	0.04
300	610.40	132.94	7.72	0.04

## ผลการทดลองที่ 2.3.2

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	560
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	70
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	2
น้ำหนักถาด (กรัม)	541.00
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	796.87
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	255.87
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.22 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 2.3.2

เวลา (นาท)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	1,055.60	514.60	101.12	1.36
30	1,010.74	469.74	83.59	1.23
60	963.40	422.40	65.08	1.10
90	928.48	387.48	51.44	0.70
120	910.76	369.76	44.51	0.41
150	898.10	357.10	39.56	0.50
180	873.10	332.10	29.79	0.45
210	864.27	323.27	26.34	0.26
240	853.65	312.65	22.19	0.27
270	844.20	303.20	18.50	0.22
300	836.83	295.83	15.62	0.18
330	830.76	289.76	13.25	0.14
360	826.08	285.08	11.42	0.10
390	823.15	282.15	10.27	0.07
420	821.11	280.11	9.47	0.04
450	820.07	279.07	9.07	0.04

## ผลการทดลองที่ 2.3.3

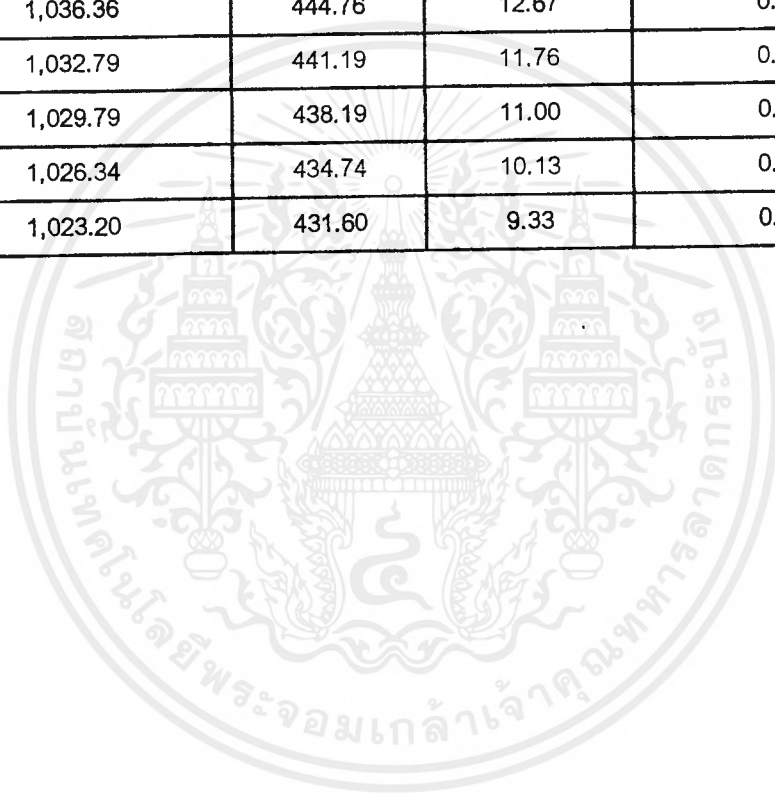
ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	560
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	70
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	3
น้ำหนักถาด (กรัม)	591.60
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	986.36
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	394.76
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.23 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 2.3.3

เวลา (นาทีก)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	1,385.89	794.29	101.21	1.73
30	1,342.90	751.30	90.32	1.43
60	1,298.80	707.20	79.15	1.13
90	1,258.11	666.51	68.84	0.83
120	1,236.85	645.25	63.45	0.80
150	1,198.38	606.78	53.71	0.91
180	1,168.76	577.16	46.21	0.54
210	1,158.20	566.60	43.53	0.27
240	1,148.26	556.66	41.01	0.26
270	1,138.47	546.87	38.53	0.33
300	1,123.66	532.06	34.78	0.32
330	1,114.34	522.74	32.42	0.25
360	1,104.68	513.08	29.97	0.25
390	1,095.67	504.07	27.69	0.24
420	1,086.52	494.92	25.37	0.22
450	1,079.17	487.57	23.51	0.22
480	1,070.32	478.72	21.27	0.21
510	1,063.06	471.46	19.43	0.28

ตารางที่ ก.23 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 2.3.3 (ต่อ)

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเมนต์+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเมนต์ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ชม.)
540	1,049.57	457.97	16.01	0.24
570	1,044.91	453.31	14.83	0.12
600	1,040.81	449.21	13.79	0.11
630	1,036.36	444.76	12.67	0.11
660	1,032.79	441.19	11.76	0.09
690	1,029.79	438.19	11.00	0.09
720	1,026.34	434.74	10.13	0.09
750	1,023.20	431.60	9.33	0.09



### ผลการทดลองที่ 3.1.1

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	50
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1
น้ำหนักถาด (กรัม)	481.20
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	603.37
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	122.17
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.24 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 3.1.1

เวลา (นาท)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	732.17	250.23	104.82	2.03
30	665.16	183.22	49.97	1.23
60	639.98	158.04	29.36	0.43
90	633.00	151.06	23.65	0.19
120	626.01	144.07	17.93	0.19
150	618.61	136.67	11.87	0.17
180	612.91	130.97	7.20	0.18

### ผลการทดลองที่ 3.1.2

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	50
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	2
น้ำหนักถาด (กรัม)	540.00
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	795.23
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	255.23
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.25 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 3.1.2

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	1,055.00	515.00	101.78	2.26
30	973.57	433.57	69.87	1.63
60	932.55	392.55	53.80	1.00
90	898.64	358.64	40.52	0.75
120	876.55	336.55	31.86	0.42
150	866.85	326.85	28.06	0.24
180	858.81	318.81	24.91	0.21
210	851.03	311.03	21.86	0.20
240	843.75	303.75	19.01	0.21
270	835.63	295.63	15.83	0.20
300	829.02	289.02	13.24	0.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผลการทดลองที่ 3.1.3

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	50
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	3
น้ำหนักถาด (กรัม)	599.46
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	996.29
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	396.83
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.26 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 3.1.3

เวลา (นาท)	น้ำหนักซีเอ็มซีชื้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีชื้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	1,394.31	794.85	100.30	2.76
30	1,298.73	699.27	76.21	1.95
60	1,247.75	648.29	63.37	1.14
90	1,213.25	613.79	54.67	0.94
120	1,177.01	577.55	45.54	0.85
150	1,149.69	550.23	38.66	0.62
180	1,130.40	530.94	33.80	0.44
210	1,116.41	516.95	30.27	0.30
240	1,107.58	508.12	28.04	0.21
270	1,100.86	501.40	26.35	0.19
300	1,093.52	494.06	24.50	0.19
330	1,086.81	487.35	22.81	0.17
360	1,080.83	481.37	21.30	0.17
390	1,074.14	474.68	19.62	0.17
420	1,066.56	467.10	17.71	0.17

### ผลการทดลองที่ 3.2.1

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	60
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1
น้ำหนักถาด (กรัม)	479.27
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	604.06
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	124.79
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

### ตารางที่ ก.27 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 3.2.1

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	731.31	250.99	101.13	1.97
30	666.20	186.93	49.80	1.18
60	641.60	162.33	30.08	0.48
90	629.86	150.59	20.67	0.27
120	621.66	142.39	14.10	0.19
150	615.35	136.08	9.05	0.15

### ผลการทดลองที่ 3.2.2

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	60
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	2
น้ำหนักถาด (กรัม)	540.20
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	802.00
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	261.80
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.28 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 3.2.2

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	1,055.20	515.00	96.72	2.30
30	978.41	438.21	67.38	1.75
60	924.02	383.82	46.61	1.20
90	888.60	348.40	33.08	0.65
120	875.10	334.90	27.92	0.33
150	864.20	324.00	23.76	0.27
180	854.60	314.40	20.09	0.25
210	845.20	305.00	16.50	0.23
240	837.13	296.93	13.42	0.20
270	830.12	289.92	10.74	0.11
300	828.84	288.64	10.25	0.08
330	823.79	283.59	8.32	0.08

### ผลการทดลองที่ 3.2.3

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	60
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	3
น้ำหนักถาด (กรัม)	600.31
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	994.95
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	394.64

ตารางที่ ก.29 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 3.2.3

เวลา (นาท)	น้ำหนักซีเอ็มซีชื้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีชื้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	1,394.47	795.18	101.50	2.61
30	1,306.79	707.50	79.28	1.86
60	1,254.63	655.34	66.06	1.35
90	1,205.60	606.31	53.64	1.29
120	1,157.88	558.59	41.54	1.13
150	1,121.13	521.84	32.23	0.89
180	1,091.00	491.71	24.60	0.57
210	1,078.62	479.33	21.46	0.28
240	1,069.69	470.40	19.20	0.27
270	1,058.49	459.20	16.36	0.29
300	1,048.06	448.77	13.72	0.27
330	1,038.30	439.01	11.24	0.27

### ผลการทดลองที่ 3.3.1

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	70
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1
น้ำหนักถาด (กรัม)	479.27
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	602.72
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	123.45
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.30 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 3.3.1

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	727.30	248.03	100.92	1.86
30	658.30	179.03	45.02	1.14
60	641.43	162.16	31.36	0.42
90	626.57	147.30	19.32	0.33
120	616.72	137.45	11.34	0.20
150	611.63	132.36	7.22	0.10
180	609.14	129.87	5.20	0.05
210	608.09	128.82	4.35	0.05

### ผลการทดลองที่ 3.3.3

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	70
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	3
น้ำหนักถาด (กรัม)	599.46
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	994.69
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	395.23
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.32 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 3.3.3

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ชม.)
0	1,397.64	798.18	101.95	2.71
30	1,289.21	689.75	74.52	2.01
60	1,246.81	647.35	63.79	1.31
90	1,190.96	591.50	49.66	1.37
120	1,143.87	544.41	37.75	1.16
150	1,104.28	504.82	27.73	0.86
180	1,079.36	479.90	21.42	0.54
210	1,064.08	464.62	17.56	0.34
240	1,053.88	454.42	14.98	0.29
270	1,042.40	442.94	12.07	0.32
300	1,029.96	430.50	8.92	0.32
330	1,018.41	418.95	6.00	0.30
360	1,007.46	408.00	3.23	0.30

## ผลการทดลองครั้งที่ 4.1.1

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	560
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	50
ปริมาณซีเอ็มซีขึ้นเริ่มต้น (กรัม)	576.85
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1
น้ำหนักถาด (กรัม)	481.02
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	765.19
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	284.17
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.33 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 4.1.1

เวลา (นาท)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ชม.)
0	1,057.87	576.85	102.99	2.92
15	1,035.06	554.04	94.97	1.94
50	985.30	504.28	77.46	0.96
80	951.09	470.07	65.42	0.79
110	926.19	445.17	56.66	0.56
140	909.28	428.26	50.71	0.35
170	899.80	418.78	47.37	0.22
200	892.86	411.84	44.93	0.21
230	884.32	403.30	41.92	0.20
260	877.90	396.88	39.66	0.18
290	870.90	389.88	37.20	0.19
320	863.63	382.61	34.64	0.20
350	855.84	374.82	31.90	0.20
380	848.68	367.66	29.38	0.17
410	843.00	361.98	27.38	0.15
440	837.77	356.75	25.54	0.15
470	832.03	351.01	23.52	0.13

ตารางที่ ก.33 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 4.1.1 (ต่อ)

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเมนต์รีน+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเมนต์รีน (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ชม.)
500	827.76	346.74	22.02	0.09
530	824.94	343.92	21.03	0.07
570	822.52	341.50	20.17	0.06



### ผลการทดลองครั้งที่ 4.1.2

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	560
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	50
ปริมาณซีเอ็มซีขึ้นเริ่มต้น (กรัม)	576.85
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	2
น้ำหนักถาด (กรัม)	540.56
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	826.12
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	285.56
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.34 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 4.1.2

เวลา (นาท)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ชม.)
0	1,117.41	576.85	102.01	1.02
30	1,081.56	541.00	89.45	0.92
60	1,048.61	508.05	77.91	0.82
90	1,019.71	479.15	67.79	0.70
120	996.05	455.49	59.51	0.61
150	974.29	433.73	51.89	0.52
180	956.93	416.37	45.81	0.39
210	945.03	404.47	41.64	0.26
240	937.21	396.65	38.90	0.21
270	929.29	388.73	36.13	0.21
300	921.82	381.26	33.51	0.19
330	914.90	374.34	31.09	0.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผลการทดลองที่ 4.1.3

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	560
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	50
ปริมาณซีเอ็มซีขึ้นเริ่มต้น (กรัม)	576.85
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	3
น้ำหนักถาด (กรัม)	599.64
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	1767.76
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	289.24
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.35 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 4.1.3

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ชม.)
0	1,176.49	576.85	99.44	1.14
30	1,135.66	536.02	85.32	1.01
60	1,100.64	501.00	73.21	0.88
90	1,069.73	470.09	62.53	0.76
120	1,043.85	444.21	53.58	0.63
150	1,022.49	422.85	46.19	0.43
180	1,011.90	412.26	42.53	0.39
210	993.48	393.84	36.16	0.38
240	983.62	383.98	32.75	0.28
270	972.36	372.72	28.86	0.24
300	965.50	365.86	26.49	0.16
330	960.01	360.37	24.59	0.13
360	955.45	355.81	23.02	0.14
390	949.56	349.92	20.98	0.16
420	943.30	343.66	18.81	0.16
450	937.91	338.27	16.95	0.14
480	932.73	333.09	15.16	0.12

ตารางที่ ก.35 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 4.1.3 (ต่อ)

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเมนต์ขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเมนต์ขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ชม.)
510	928.78	329.14	13.79	0.10
540	924.92	325.28	12.46	0.10
570	920.91	321.27	11.07	0.11
600	916.70	317.06	9.62	0.11
630	912.83	313.19	8.28	0.11



### ผลการทดลองที่ 4.2.1

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	50
ปริมาณซีเอ็มซีขึ้นเริ่มต้น (กรัม)	578.60
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1
น้ำหนักถาด (กรัม)	479.27
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	782.57
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	288.65
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.36 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 4.2.1

เวลา (นาท)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ชม.)
0	1,057.87	578.60	100.45	1.69
30	993.77	514.50	78.24	1.41
60	951.96	472.69	63.76	1.13
90	909.19	429.92	48.94	0.94
120	881.71	402.44	39.42	0.55
150	868.23	388.96	34.75	0.28
180	860.79	381.52	32.17	0.22
210	851.62	372.35	29.00	0.24
240	842.86	363.59	25.96	0.24
270	833.60	354.33	22.75	0.22
300	826.59	347.32	20.33	0.17
330	820.68	341.41	18.28	0.16
360	814.85	335.58	16.26	0.17
390	808.14	328.87	13.93	0.15
420	803.80	324.53	12.43	0.11
450	800.05	320.78	11.13	0.11

### ผลการทดลองที่ 4.2.2

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	50
ปริมาณซีเอ็มซีขึ้นเริ่มต้น (กรัม)	576.85
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	2
น้ำหนักถาด (กรัม)	599.59
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	888.70
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	289.11
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.37 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 4.2.2

เวลา (นาท)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	1,176.44	576.85	99.53	2.22
30	1,097.95	498.36	72.38	1.64
60	1,053.40	453.81	56.97	1.06
90	1,018.30	418.71	44.83	0.81
120	992.66	393.07	35.96	0.56
150	976.26	376.67	30.29	0.41
180	962.15	362.56	25.41	0.31
210	953.22	353.63	22.32	0.23
240	945.04	345.45	19.49	0.20
270	938.28	338.69	17.15	0.18
300	931.86	332.27	14.93	0.15
330	927.03	327.44	13.26	0.14
360	921.14	321.55	11.22	0.16
390	915.30	315.71	9.20	0.14
420	910.65	311.06	7.59	0.11
450	907.17	307.58	6.39	0.10

ตารางที่ ก.37 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 4.2.2 (ต่อ)

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเมนต์รีซิ่น+น้ำหนักภาค (กรัม)	น้ำหนักซีเมนต์รีซิ่น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ชม.)
480	903.03	303.44	4.96	0.10
510	899.99	300.40	3.91	0.10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผลการทดลองที่ 4.2.3

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	50
ปริมาณซีเอ็มซีขึ้นเริ่มต้น (กรัม)	576.85
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	3
น้ำหนักถาด (กรัม)	540.86
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	827.79
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	286.93
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00

ตารางที่ ก.38 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 4.2.3

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	1,117.71	576.85	101.04	2.07
30	1,043.49	502.63	75.18	1.61
60	995.37	454.51	58.40	1.15
90	955.73	414.87	44.59	0.96
120	922.14	381.28	32.88	0.68
150	904.32	363.46	26.67	0.33
180	897.26	356.40	24.21	0.18
210	890.34	349.48	21.80	0.20
240	882.16	341.30	18.95	0.20
270	875.20	334.34	16.52	0.19
300	867.47	326.61	13.83	0.23
330	857.79	316.93	10.46	0.19
360	853.26	312.40	8.88	0.12
390	848.35	307.49	7.17	0.14
420	842.97	302.11	5.29	0.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผลการทดลองที่ 5

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	70
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	3
น้ำหนักถาด (กรัม)	751.90
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	1,422.00
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	670.10
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	1,420.00
ตำแหน่งที่วางถาด	ชั้นบน

ตารางที่ ก.39 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 5

เวลา (นาท)	น้ำหนักซีเอ็มซีชื้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีชื้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	2,257.10	1,505.20	124.62	2.71
30	2,100.12	1,348.22	101.20	1.84
60	2,021.62	1,269.72	89.48	1.09
90	1,960.72	1,208.82	80.39	0.91
120	1,905.67	1,153.77	72.18	0.78
150	1,860.70	1,108.80	65.47	0.81
180	1,802.72	1,050.82	56.82	0.67
210	1,775.27	1,023.37	52.72	0.29
240	1,765.10	1,013.20	51.20	0.23
270	1,746.19	994.29	48.38	0.30
300	1,727.28	975.38	45.56	0.23
330	1,716.67	964.77	43.97	0.24
360	1,696.98	945.08	41.04	0.27
390	1,682.83	930.93	38.92	0.26
420	1,663.58	911.68	36.05	0.23
450	1,653.81	901.91	34.59	0.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.39 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 5

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเมนต์+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเมนต์ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ชม.)
480	1,637.03	885.13	32.09	0.26
510	1,621.04	869.14	29.70	0.20
540	1,611.89	859.99	28.34	0.17
570	1,599.55	847.65	26.50	0.16
600	1,591.86	839.96	25.35	0.14



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผลการทดลองที่ 5 (ต่อ)

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	70
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	3
น้ำหนักถาด (กรัม)	1,044.74
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	2,120.69
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	1,075.95
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	2,044.80
ตำแหน่งที่วางถาด	ชั้นกลาง

ตารางที่ ก.40 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 5 (ต่อ)

เวลา (นาท)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	3,212.22	2,167.48	101.45	2.71
30	3,010.51	1,965.77	82.70	1.41
60	2,921.89	1,877.15	74.46	0.73
90	2,859.26	1,814.52	68.64	0.61
120	2,795.60	1,750.86	62.73	0.56
150	2,743.19	1,698.45	57.86	0.66
180	2,658.93	1,614.19	50.02	0.72
210	2,595.38	1,550.64	44.12	0.53
240	2,550.21	1,505.47	39.92	0.45
270	2,503.17	1,458.43	35.55	0.35
300	2,478.98	1,434.24	33.30	0.17
330	2,469.15	1,424.41	32.39	0.14
360	2,449.39	1,404.65	30.55	0.17
390	2,434.42	1,389.68	29.16	0.17
420	2,413.43	1,368.69	27.21	0.14
450	2,404.68	1,359.94	26.39	0.15

ตารางที่ ก.40 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 5 (ต่อ)

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเมนต์+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเมนต์ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ชม.)
480	2,382.80	1,338.06	24.36	0.19
510	2,365.54	1,320.80	22.76	0.15
540	2,351.58	1,306.84	21.46	0.16
570	2,333.23	1,288.49	19.75	0.16
600	2,319.25	1,274.51	18.45	0.16



ตารางที่ ก.41 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 5 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	น้ำหนักซีเมนต์ซีริน+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเมนต์ซีริน (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ชม.)
480	1,980.54	1,049.70	19.78	0.21
510	1,964.00	1,033.16	17.89	0.18
540	1,951.07	1,020.23	16.42	0.16
570	1,937.61	1,006.77	14.88	0.16
600	1,925.00	994.16	13.44	0.15



### ผลการทดลองที่ 5 (ต่อ)

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	70
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	3
น้ำหนักถาด (กรัม)	930.84
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	1,807.18
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	876.34
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	1,760.80
ตำแหน่งที่วางถาด	ชั้นล่าง

ตารางที่ ก.41 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 5 (ต่อ)

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเอ็มซีรีน+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีรีน (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	2,797.29	1,866.45	112.98	2.40
30	2,625.83	1,694.99	93.42	1.61
60	2,528.75	1,597.91	82.34	1.03
90	2,454.28	1,523.44	73.84	0.83
120	2,390.43	1,459.59	66.56	0.75
150	2,328.47	1,397.63	59.48	0.92
180	2,236.26	1,305.42	48.96	0.92
210	2,174.40	1,243.56	41.90	0.58
240	2,138.93	1,208.09	37.86	0.43
270	2,102.73	1,171.89	33.73	0.33
300	2,083.05	1,152.21	31.48	0.20
330	2,069.17	1,138.33	29.90	0.21
360	2,047.68	1,116.84	27.44	0.23
390	2,030.93	1,100.09	25.53	0.22
420	2,010.84	1,080.00	23.24	0.19
450	1,999.11	1,068.27	21.90	0.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

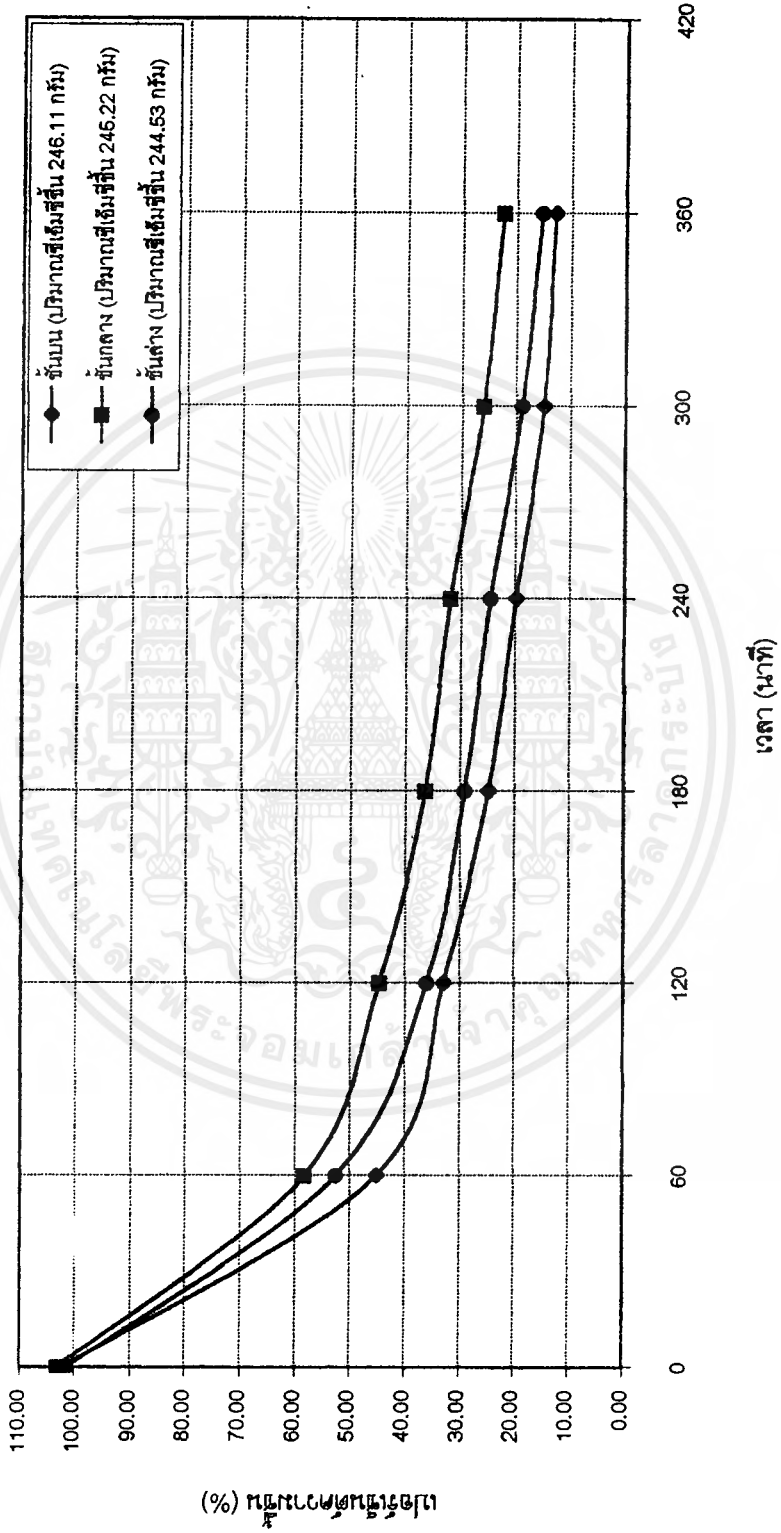
# ภาคผนวก ข

## กราฟแสดงผลการทดลอง



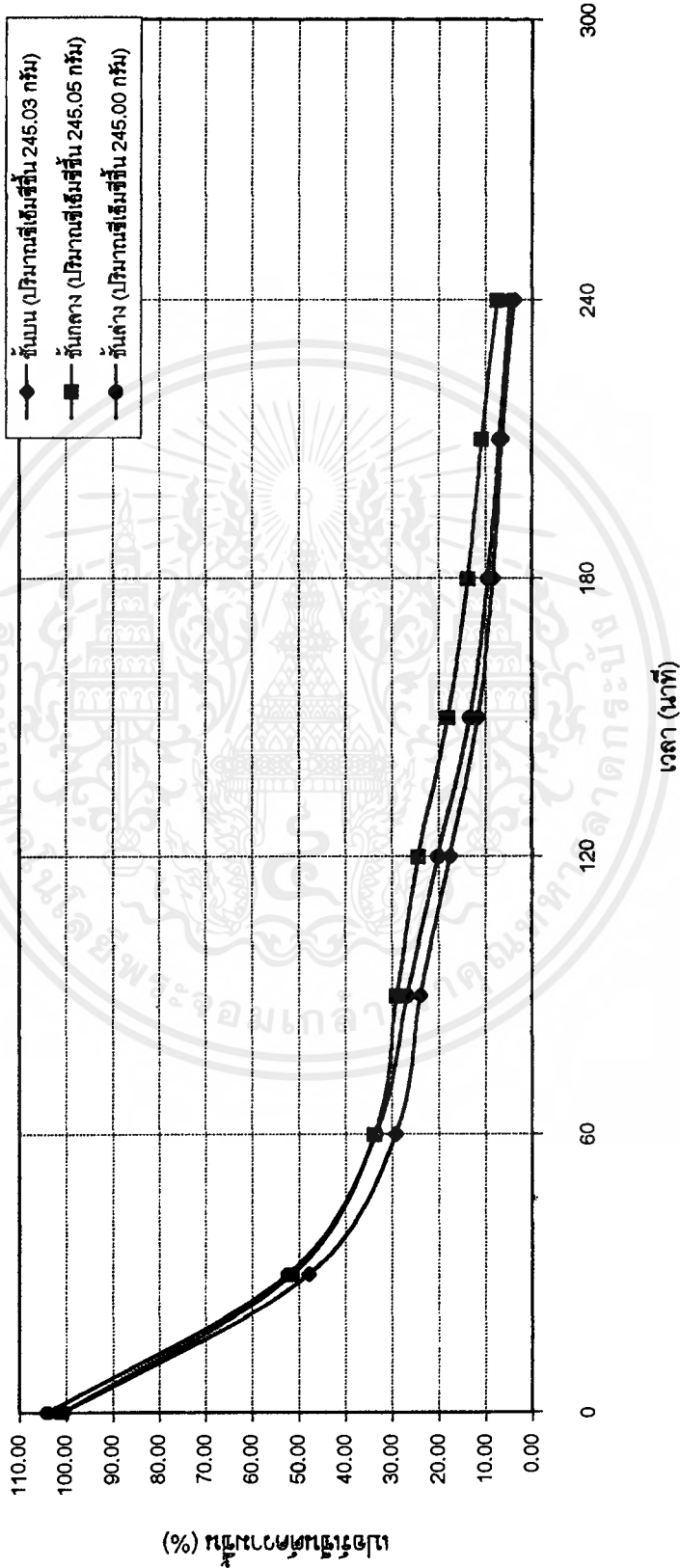
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ๓.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซึ่งเอมซีของการทดลองที่ 1.1.1  
 ภาแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นเอมซี 1 ซม.



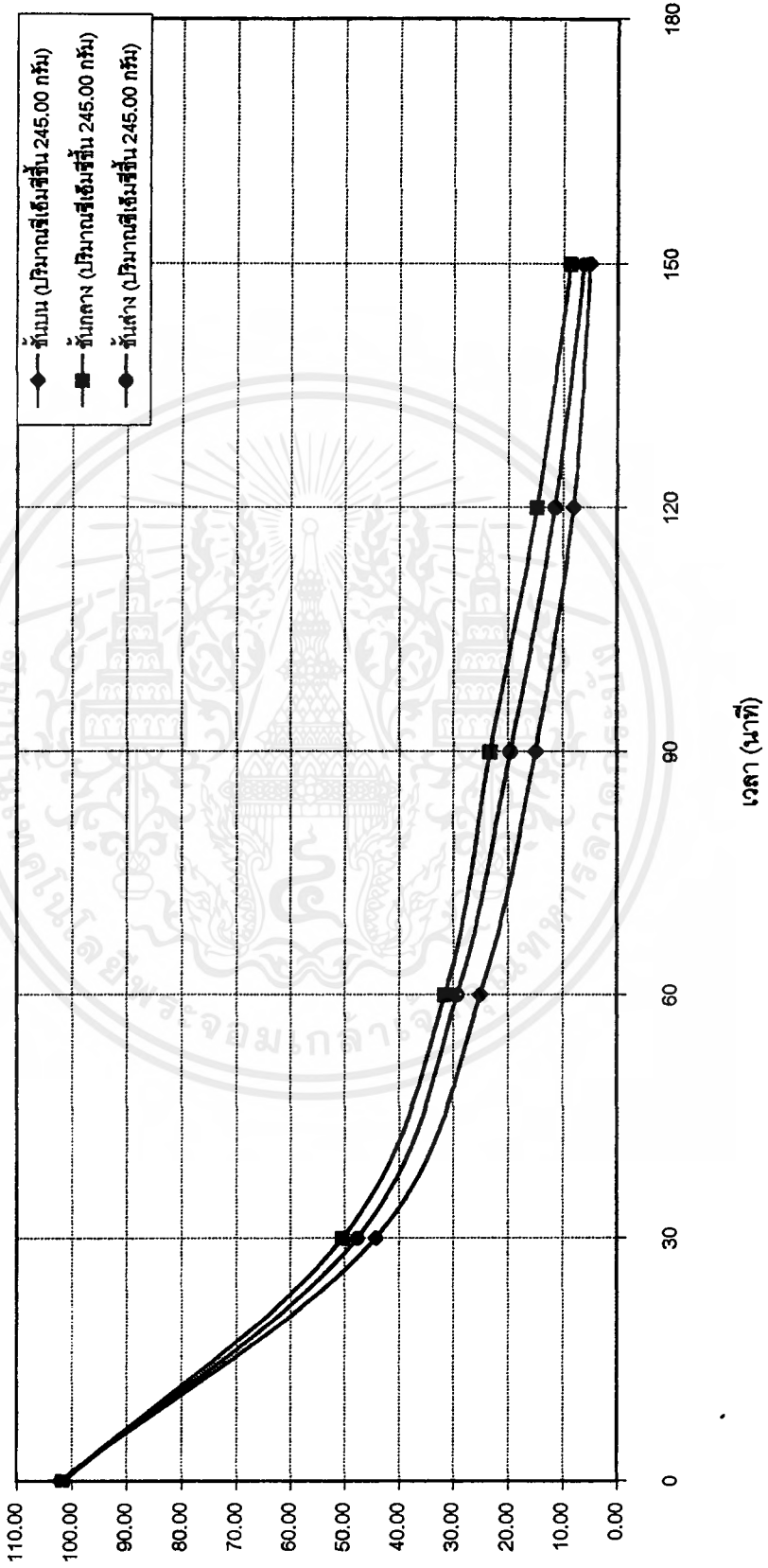
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิคงที่ 1.2.1  
อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในแต่ละภาค ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม.



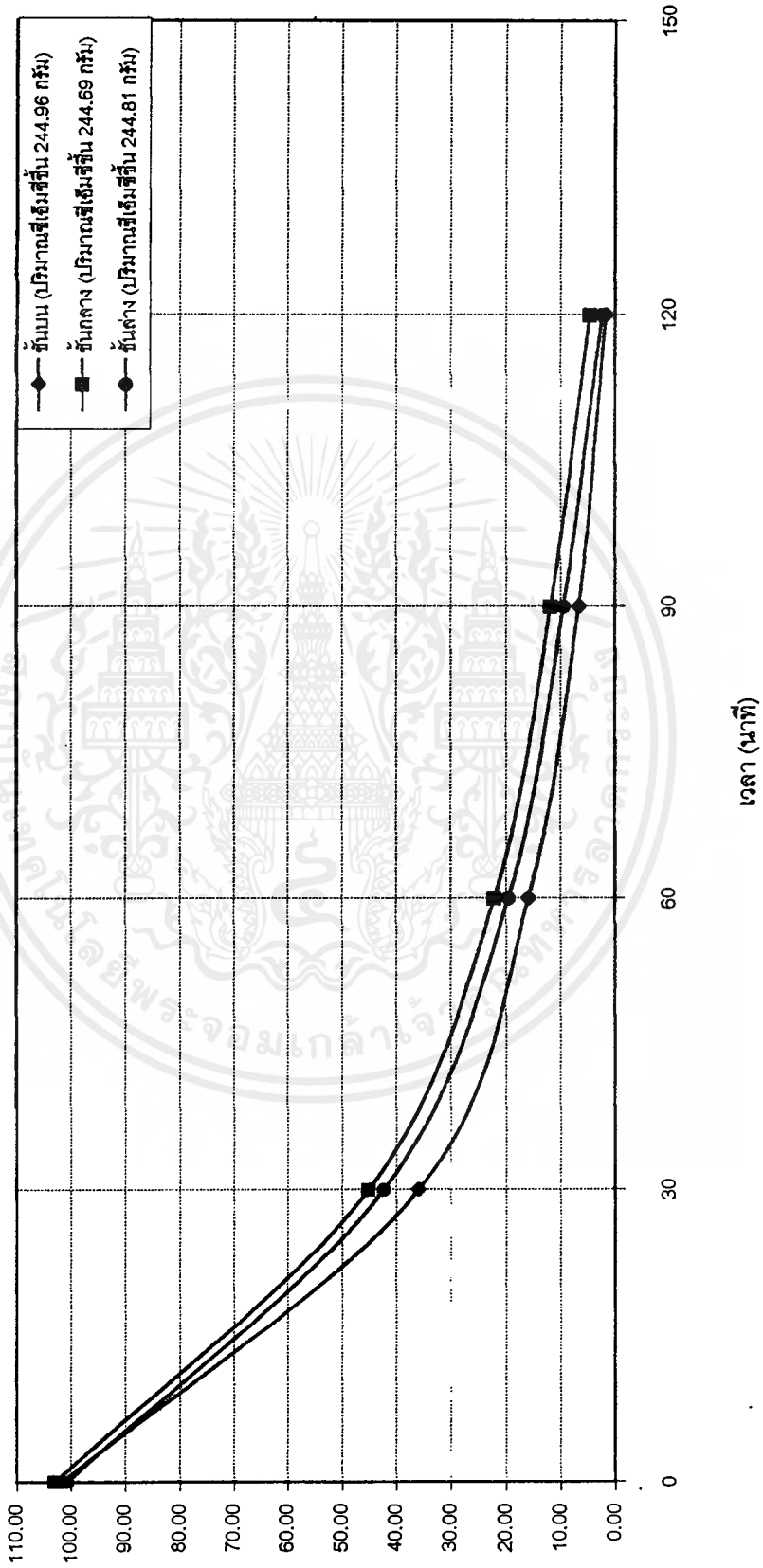
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเมนต์ของการทดลองที่ 1.2.2  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเมนต์ 1 ซม.



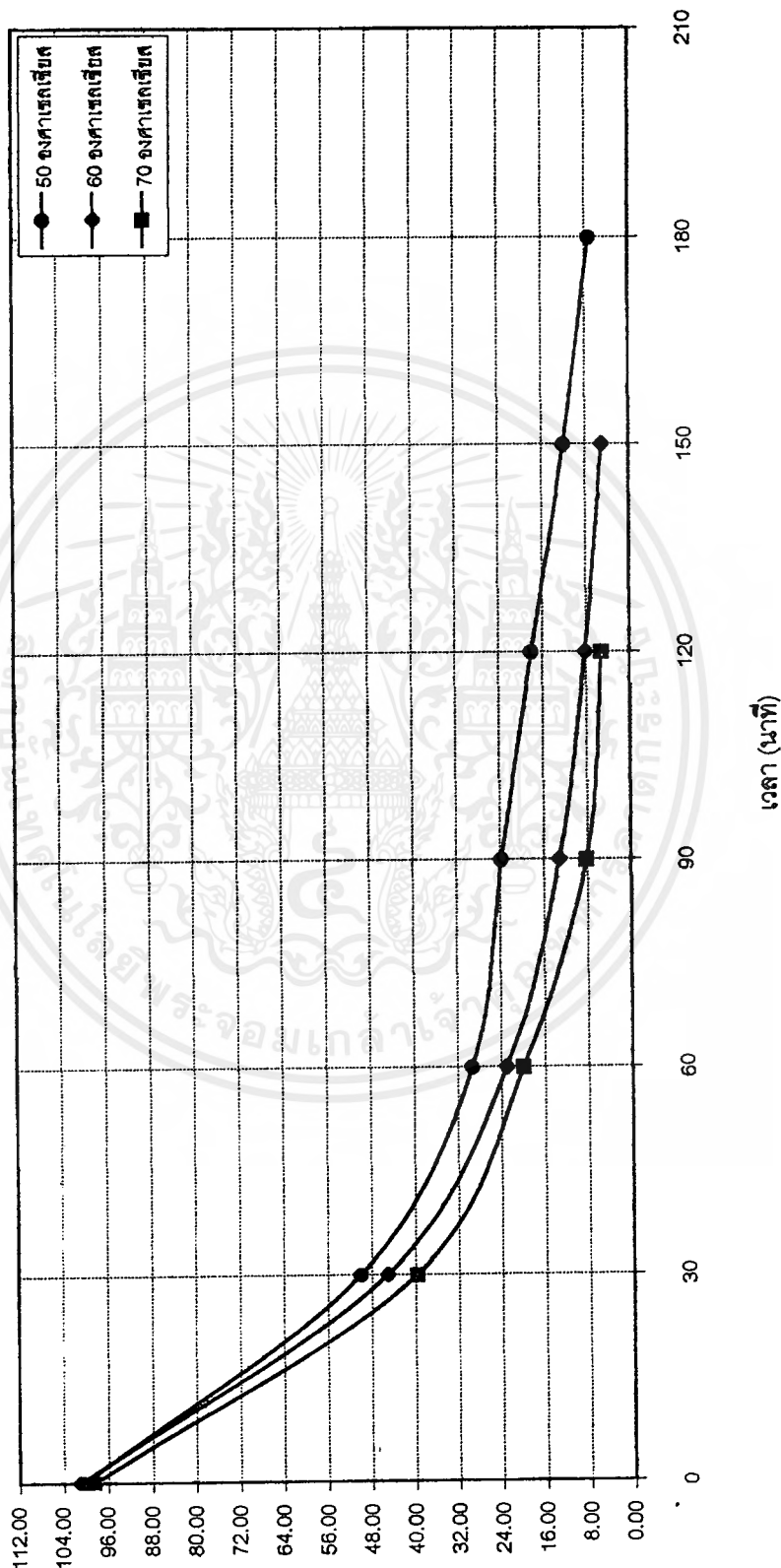
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเชิงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเมนต์ของการทดลองที่ 1.2.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเมนต์ 1 ซม.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะที่การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

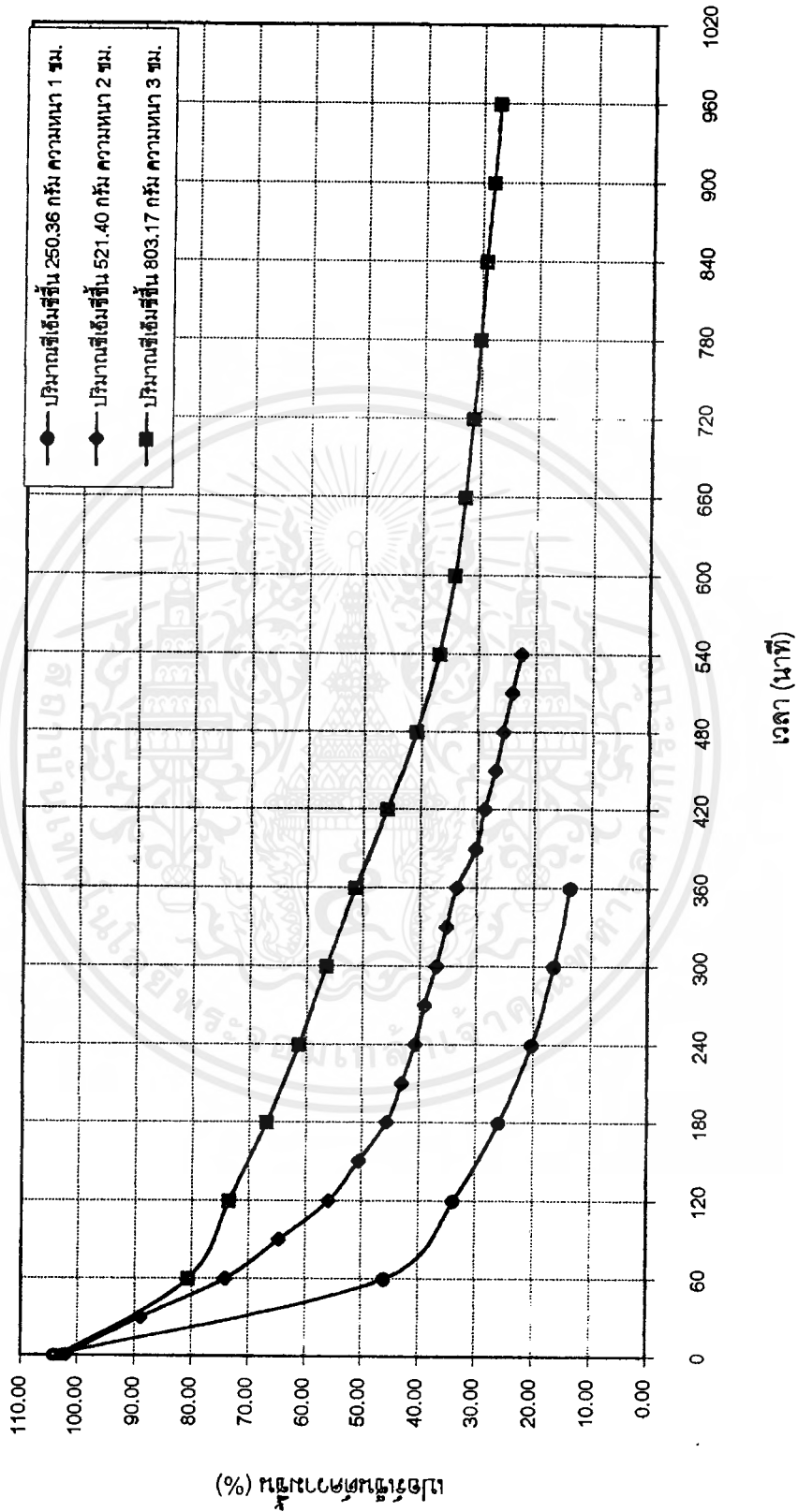
รูปที่ ข.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้น้ำการอบแห้งที่เริ่มขึ้นของการทดลองที่ 1.3.1, 1.3.2 และ 1.3.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท ความหนาของชั้นเนื้อซี่ 1 ซม. ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



(%) เนื้อเยื่อที่เหลือ

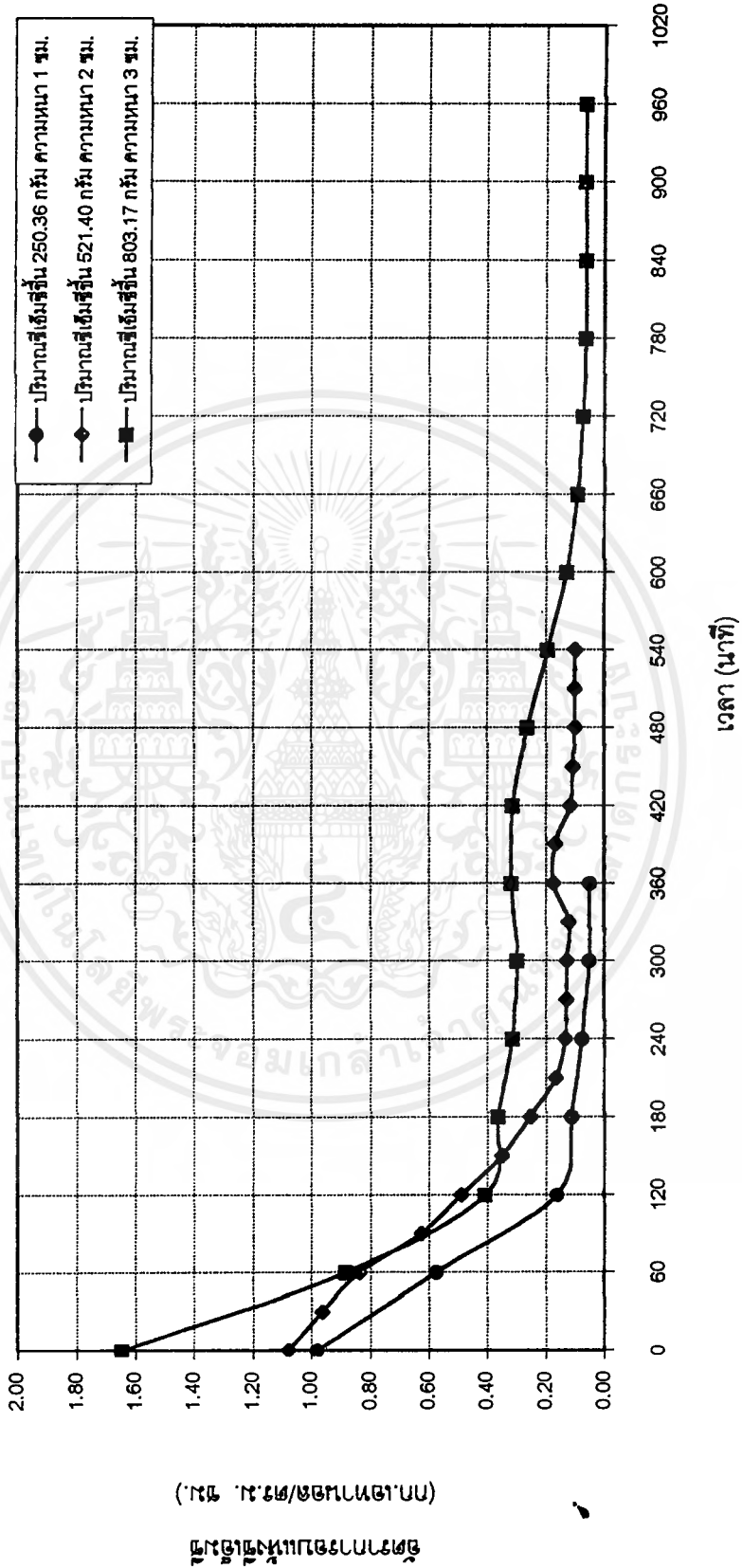
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของกาทดลองที่ 2.1.1, 2.1.2 และ 2.1.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ

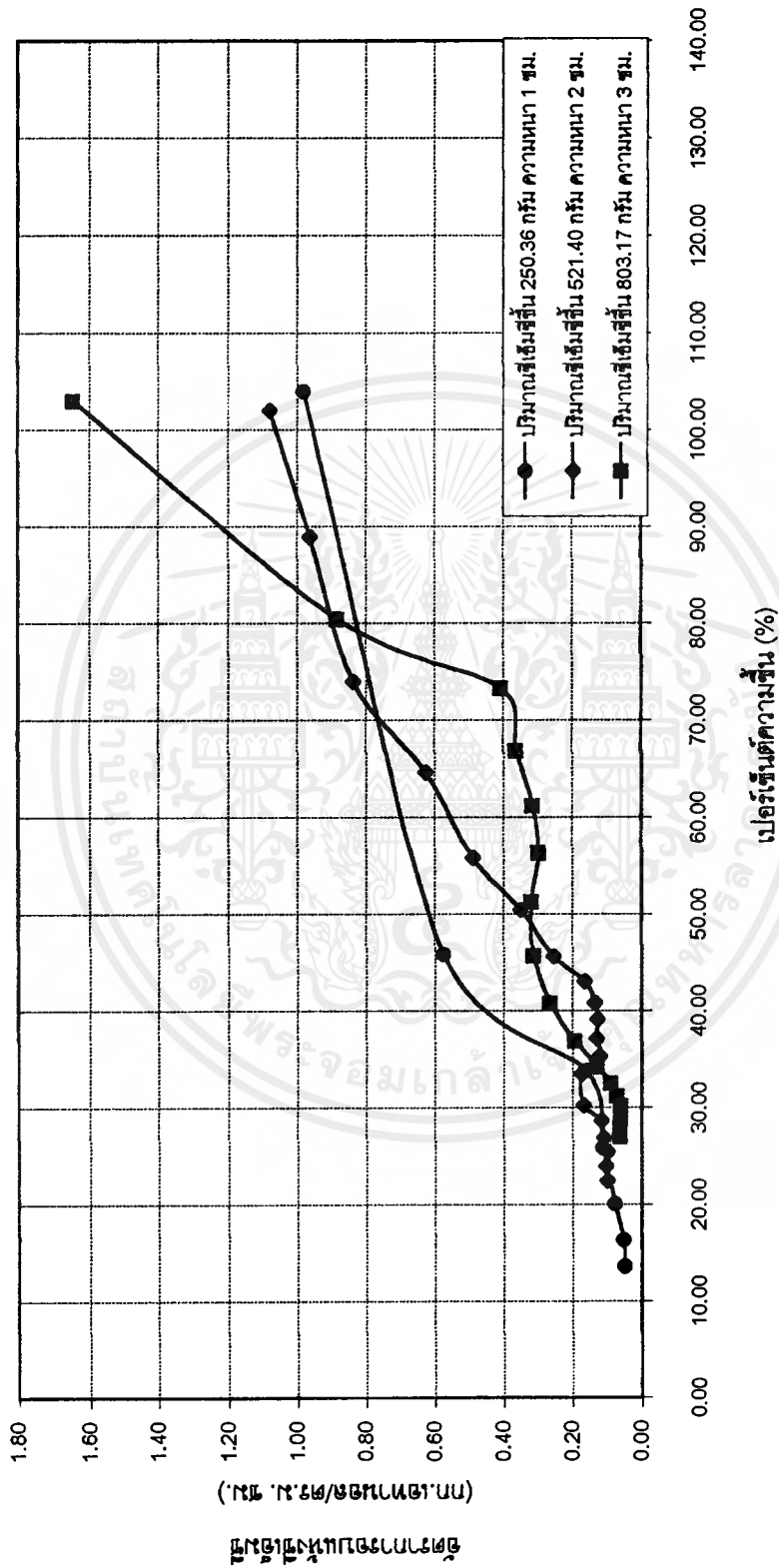


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

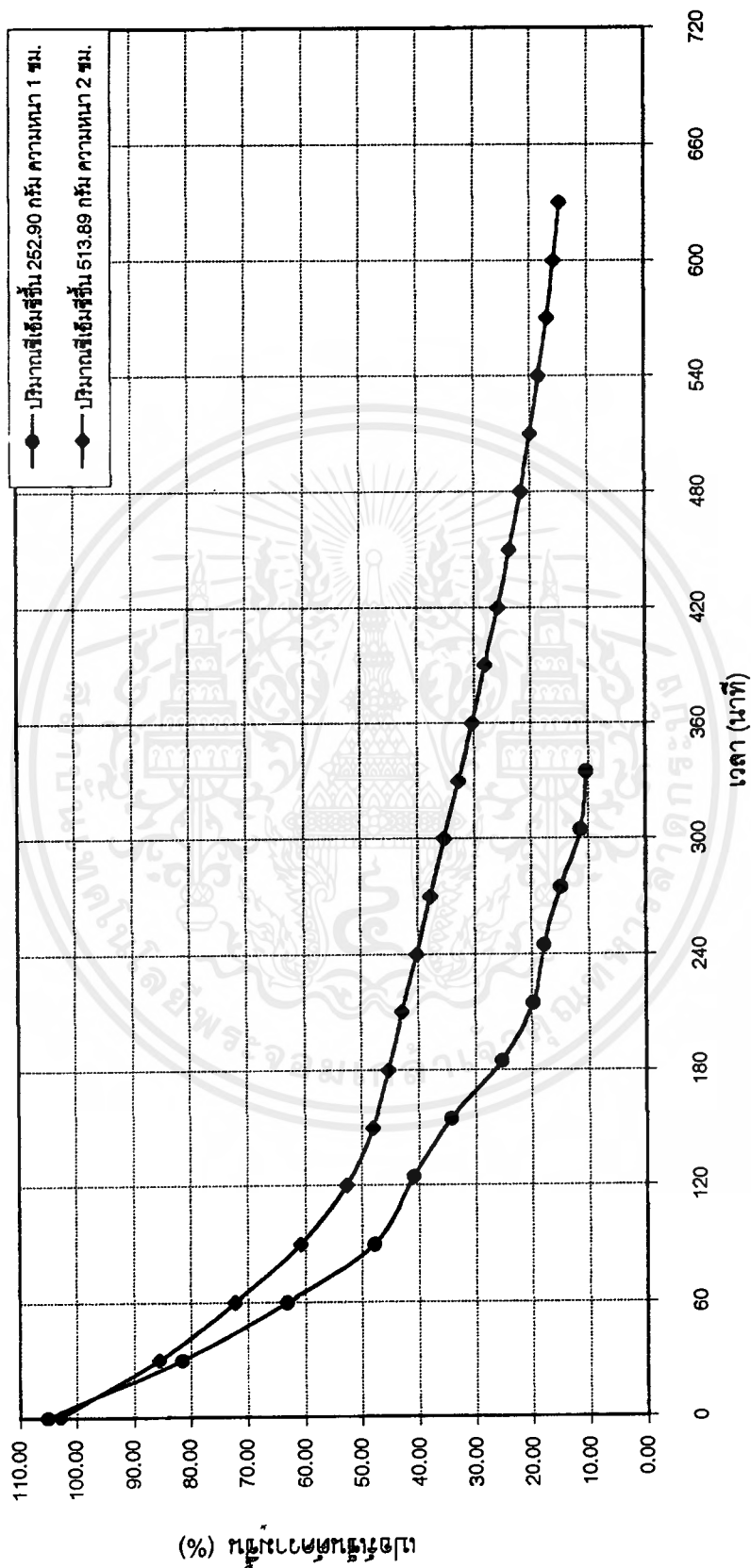
รูปที่ ข.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเมนต์ของภาสดลองที่ 2.1.1, 2.1.2 และ 2.1.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเมนต์ที่ 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ



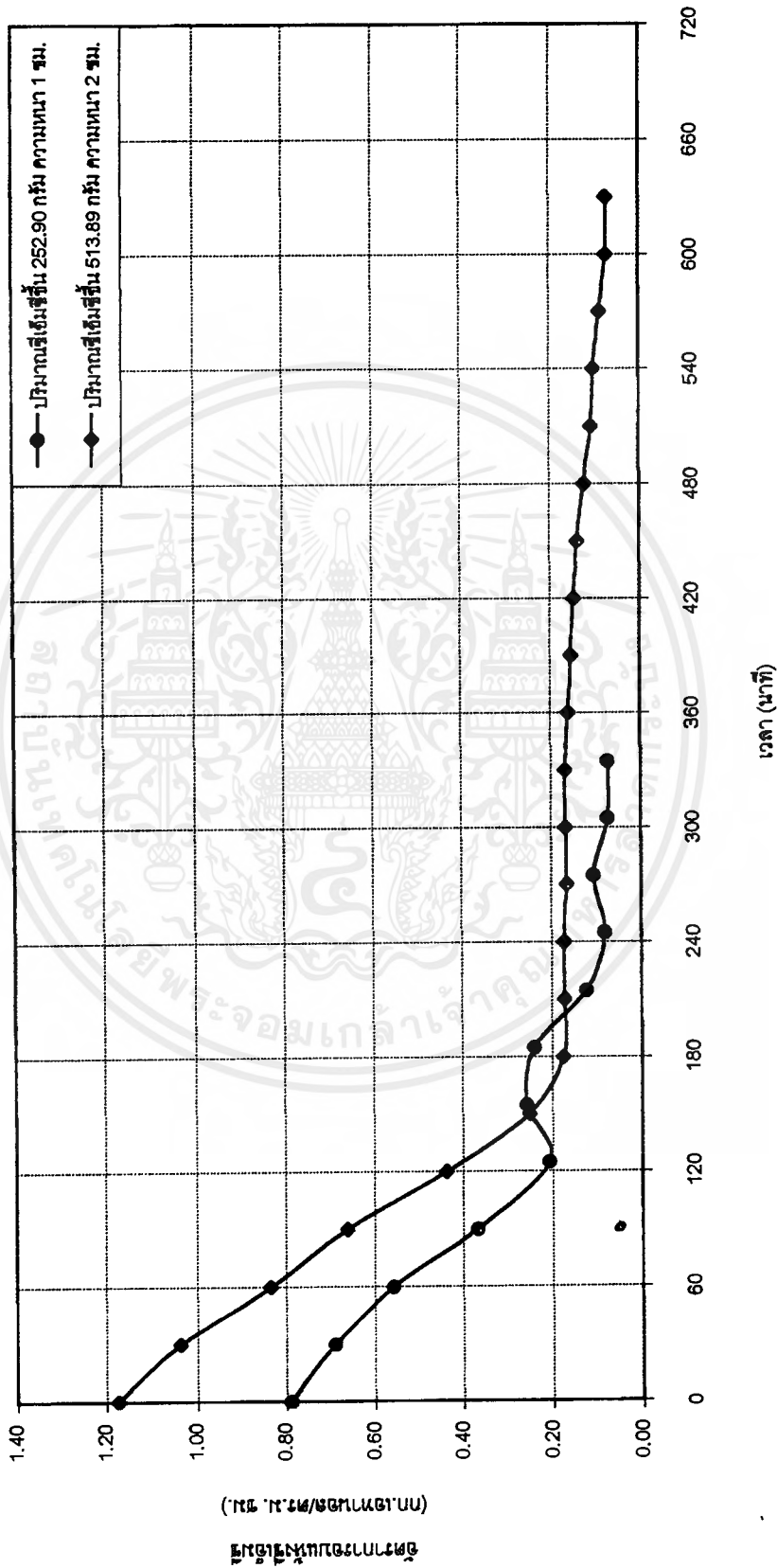
รูปที่ ๖.8 แสดงเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งที่เริ่มที่ของกาหลดองที่ 2.1.1, 2.1.2 และ 2.1.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ



รูปที่ ข.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิของอากาศทดลองที่ 2.2.1 และ 2.2.2  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชิ้นเนื้อเนื้อซี่ 1 และ 2 ซม. ตามลำดับ

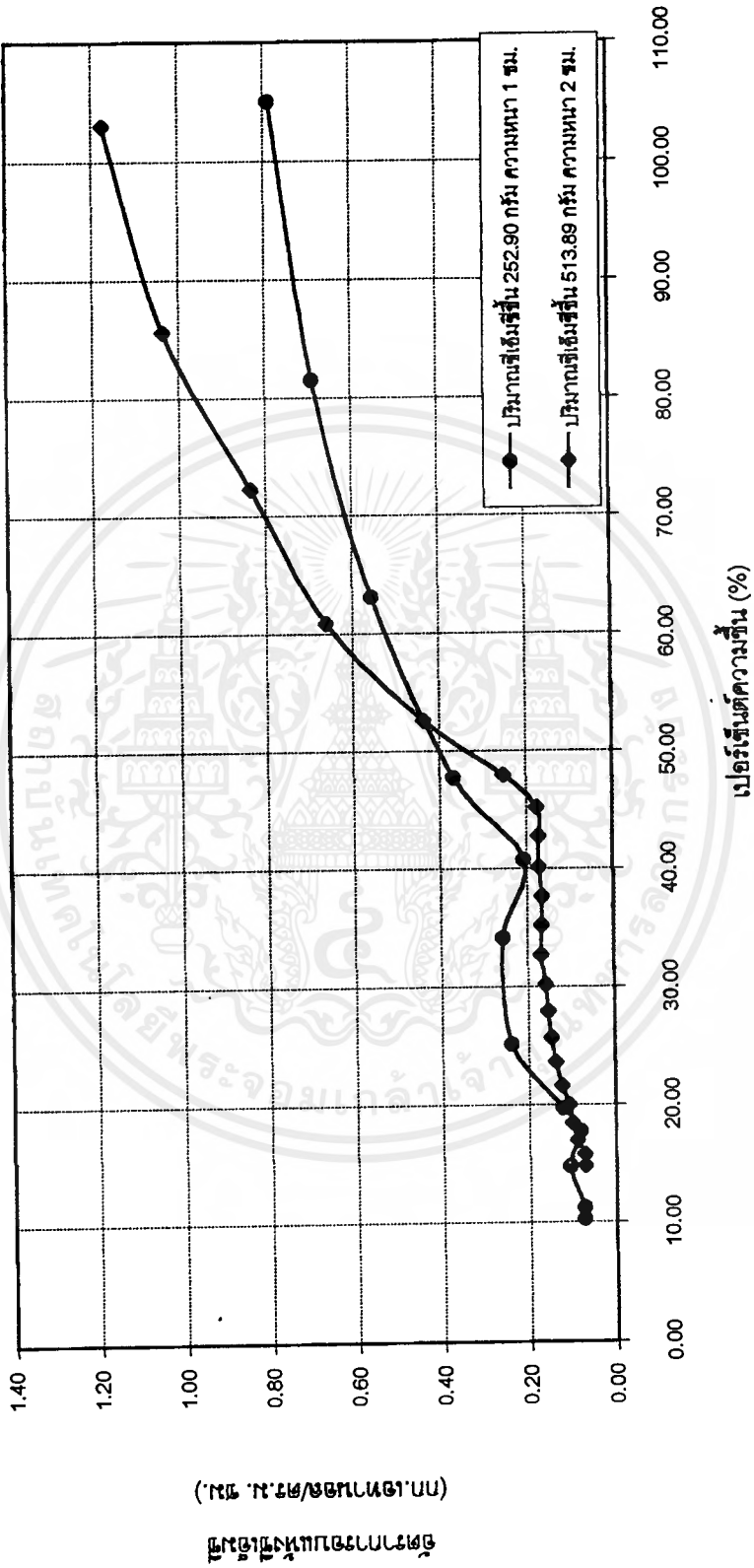


รูปที่ ข.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิแห้งที่เริ่มขึ้นของการทดลองที่ 2.2.1 และ 2.2.2  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท จุดหมุ่มี 60 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นที่เริ่มที่ 1 และ 2 ซม. ตามลำดับ



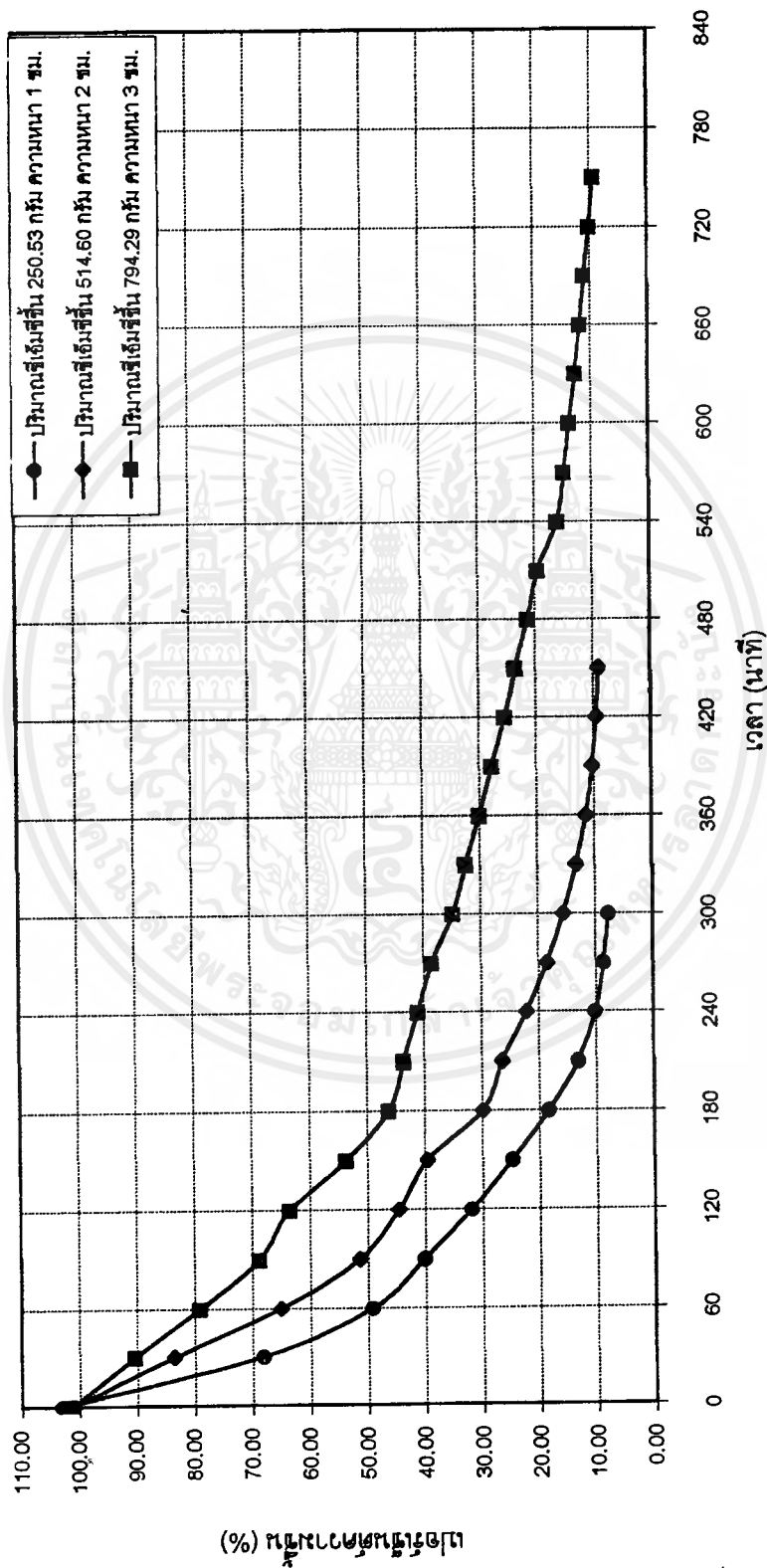
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.11 แสดงเส้นโค้งเฉพาะของกาบแห้งซีเอ็มซีของกาบทดลองที่ 2.2.1 และ 2.2.2  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 และ 2 มม. ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

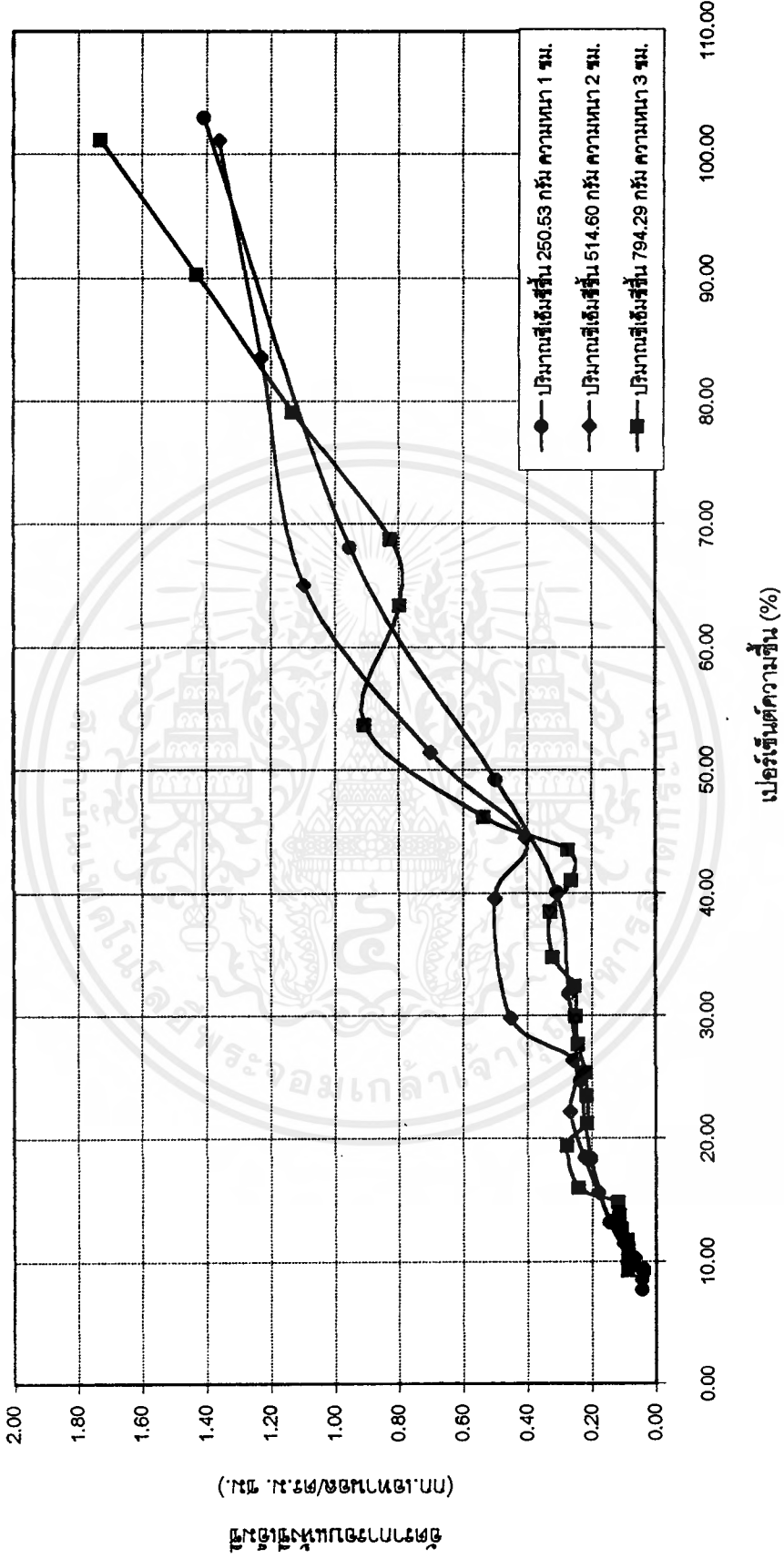
รูปที่ ข.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชิ้นเนื้อ 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

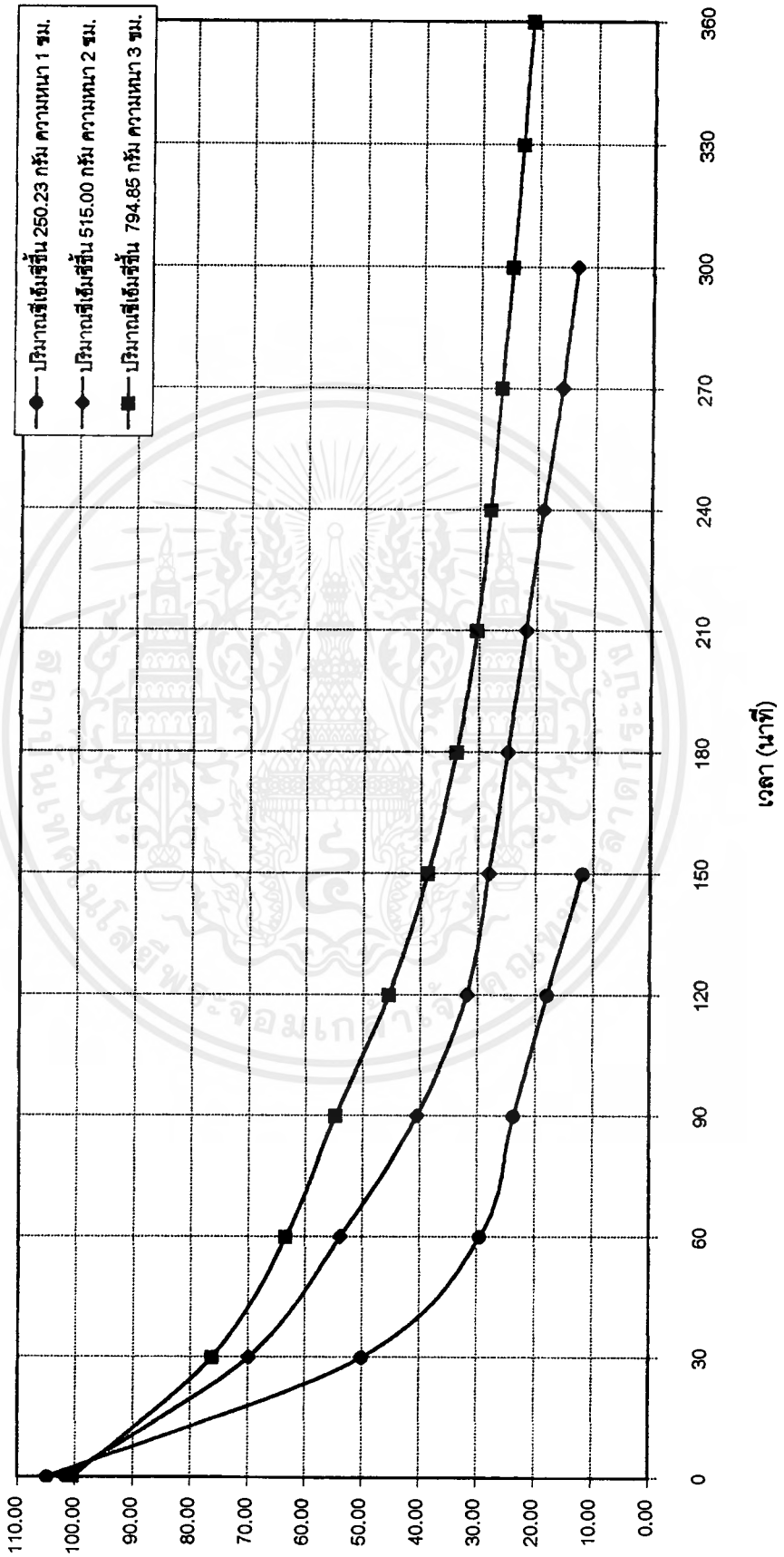


รูปที่ ข.14 แสดงเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งที่เริ่มขึ้นของการทดลองที่ 2.3.1, 2.3.2 และ 2.3.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นเริ่มต้นที่ 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ.



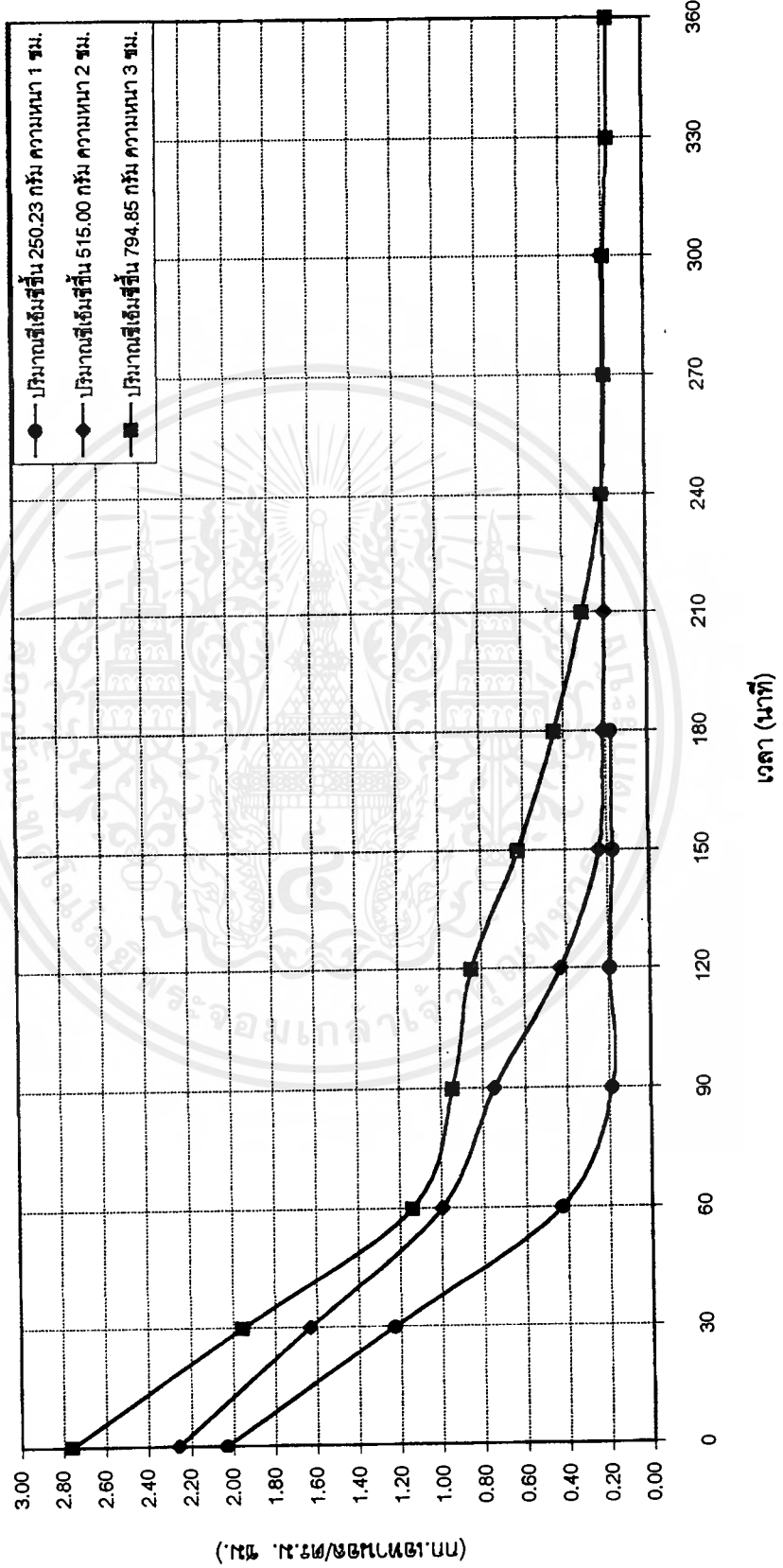
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซึ่งเริ่มที่ของอากาศตลอดทั้งที่ 3.1.1, 3.1.2 และ 3.1.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นที่เริ่มที่ 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ



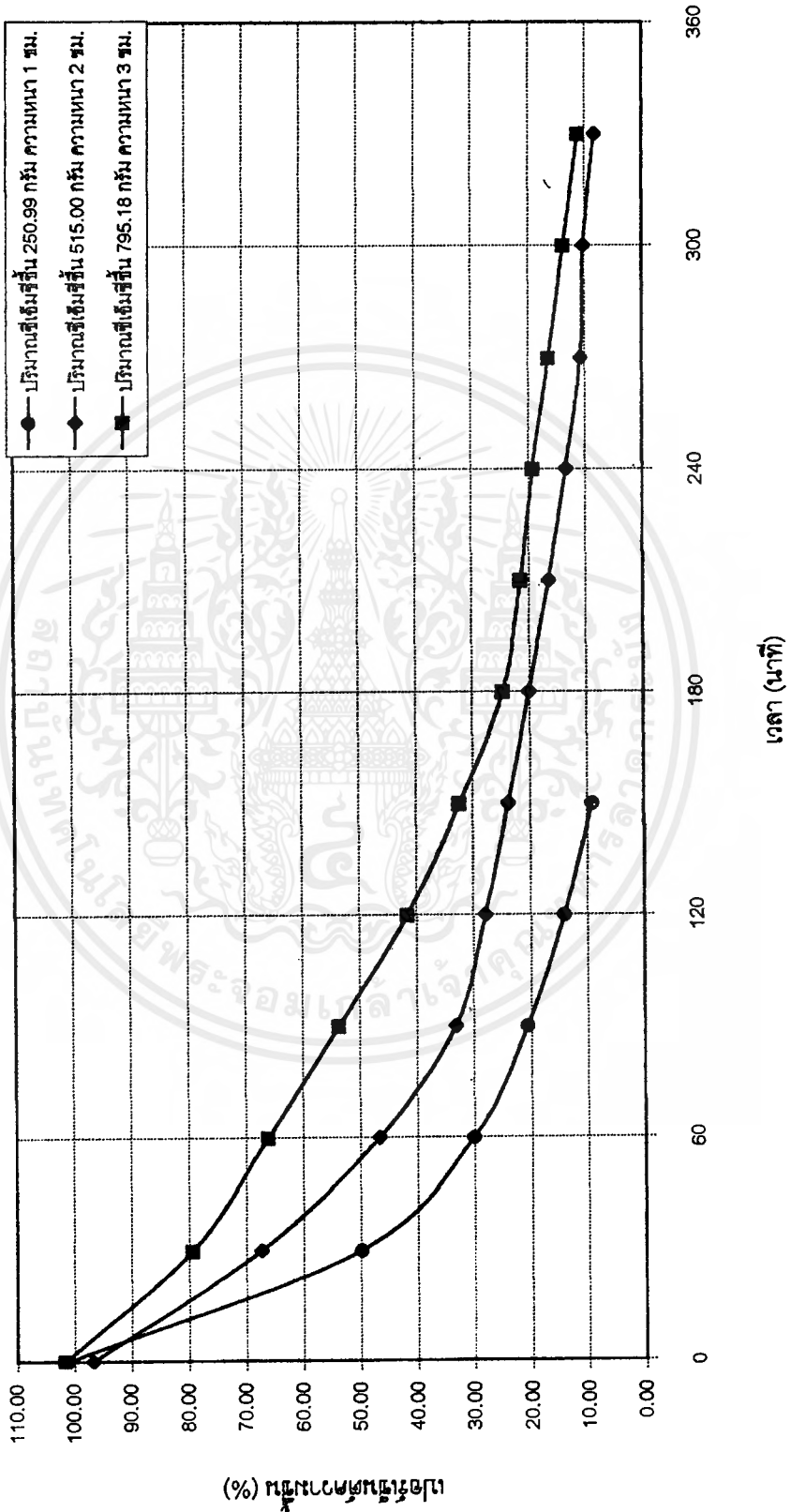
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ (%) ~~ที่เผยแพร่สู่สาธารณะ~~ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งซึ่งสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซึ่งสัมพันธ์ของกราฟทดลองที่ 3.1.1, 3.1.2 และ 3.1.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเมนต์ที่ 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ



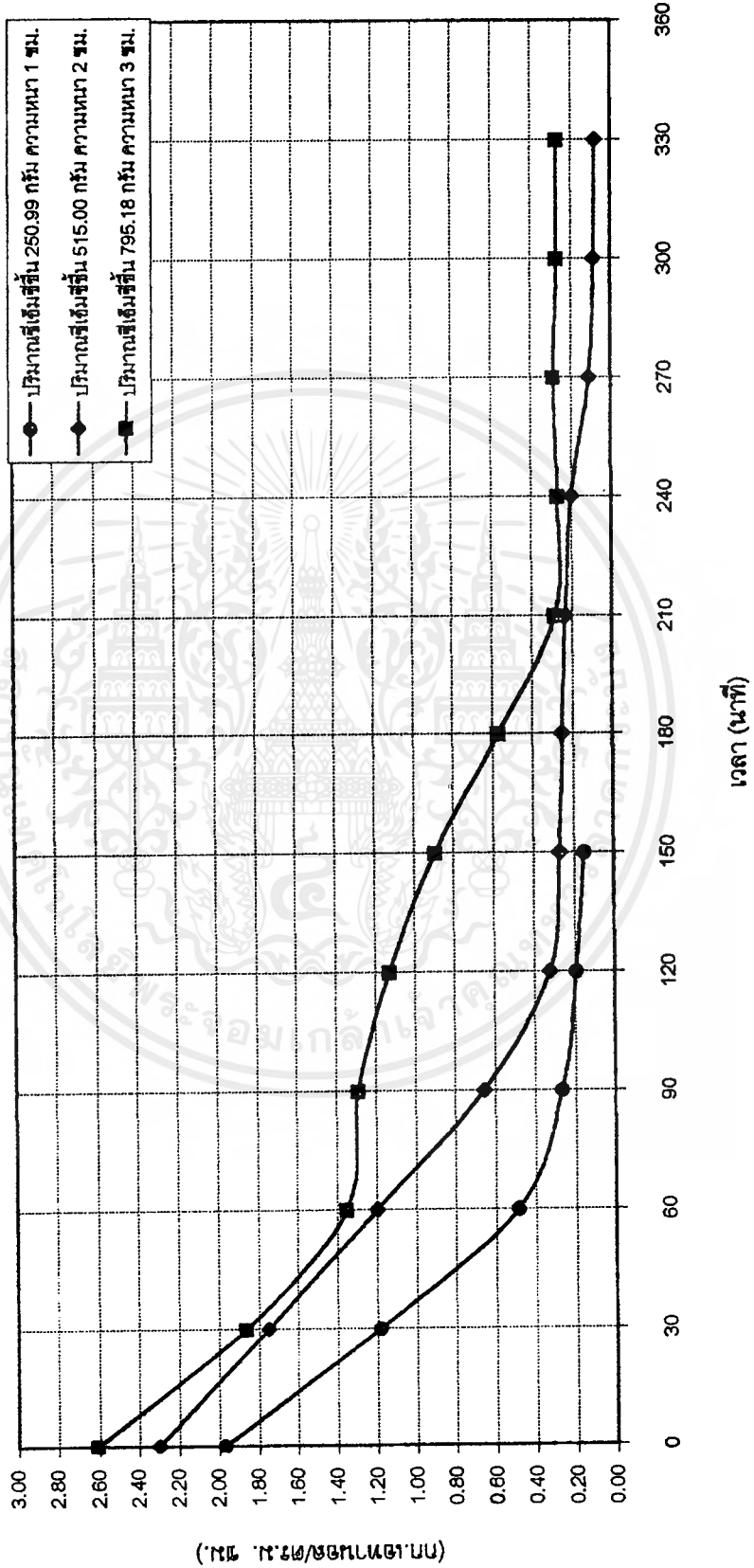


รูปที่ ข.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่เริ่มขึ้นของการทดลองที่ 3.2.1, 3.2.2 และ 3.2.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นเนื้อที่ 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ

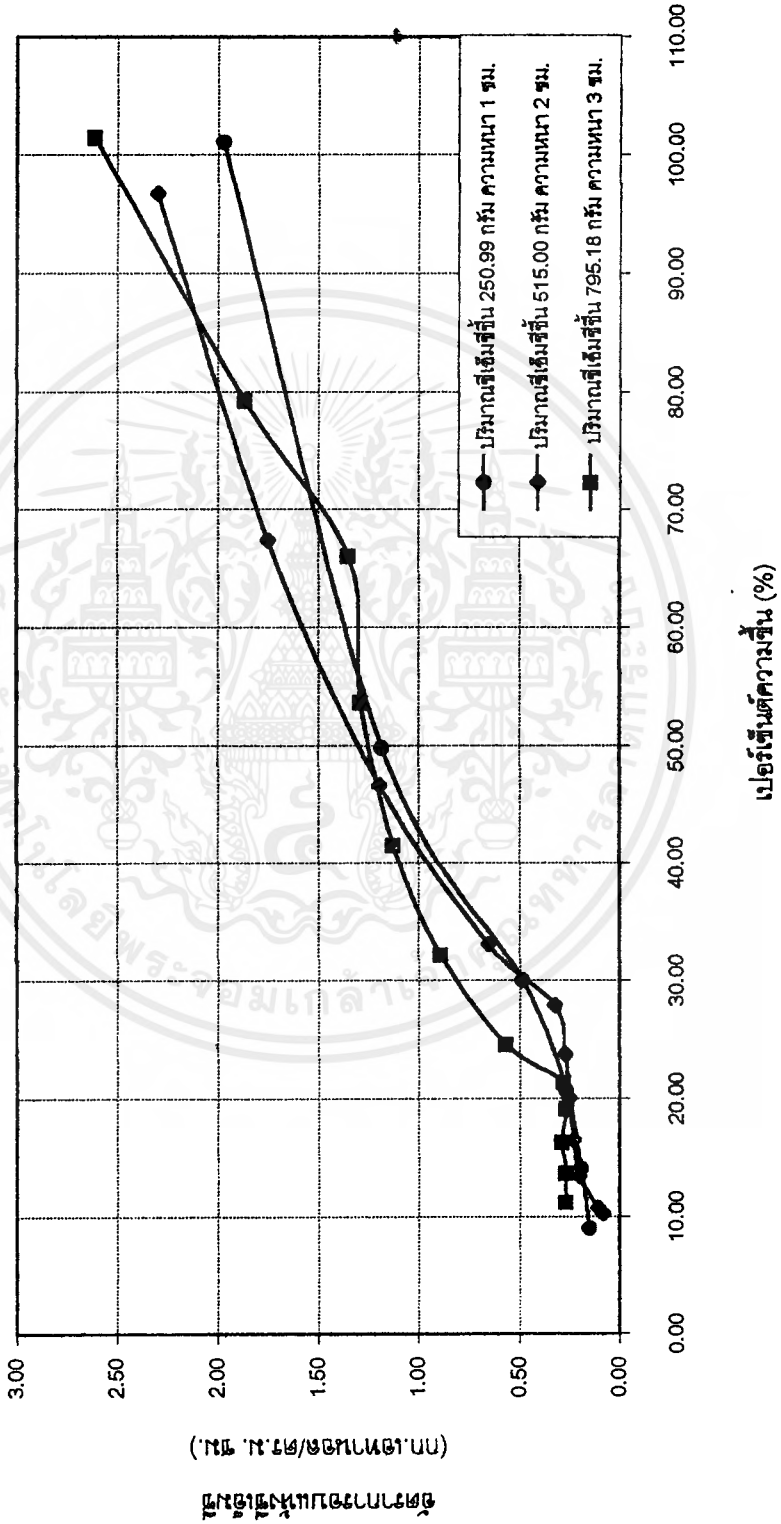


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งที่เพิ่มขึ้ของกราฟทดลองที่ 3.2.1, 3.2.2 และ 3.2.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท จุดบนทงมี 60 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นที่เอมีซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ.

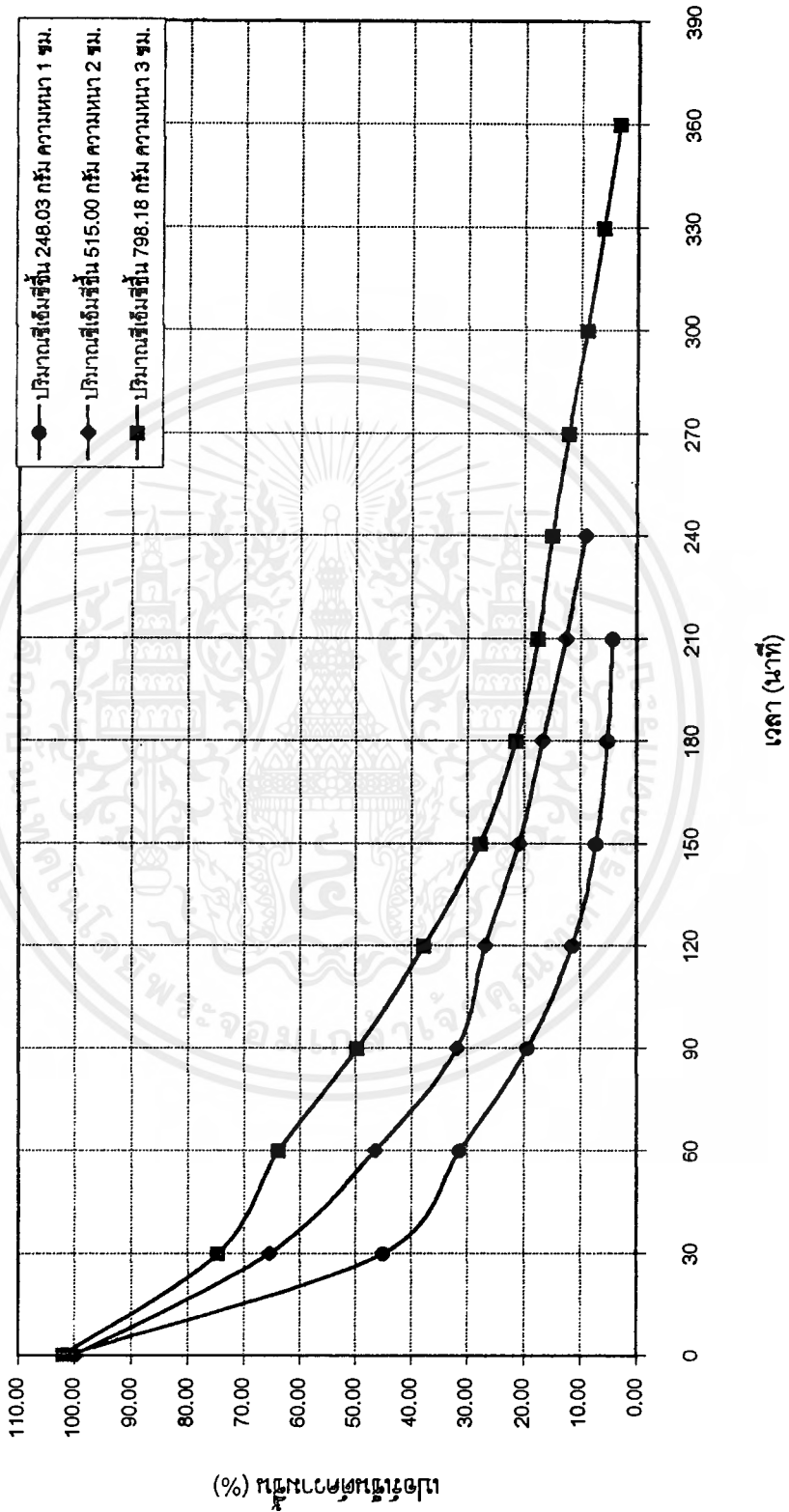


รูปที่ ข.20 แสดงเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งซีเมนต์ซีของกาารทดลองที่ 3.2.1, 3.2.2 และ 3.2.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของซีเมนต์ซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ



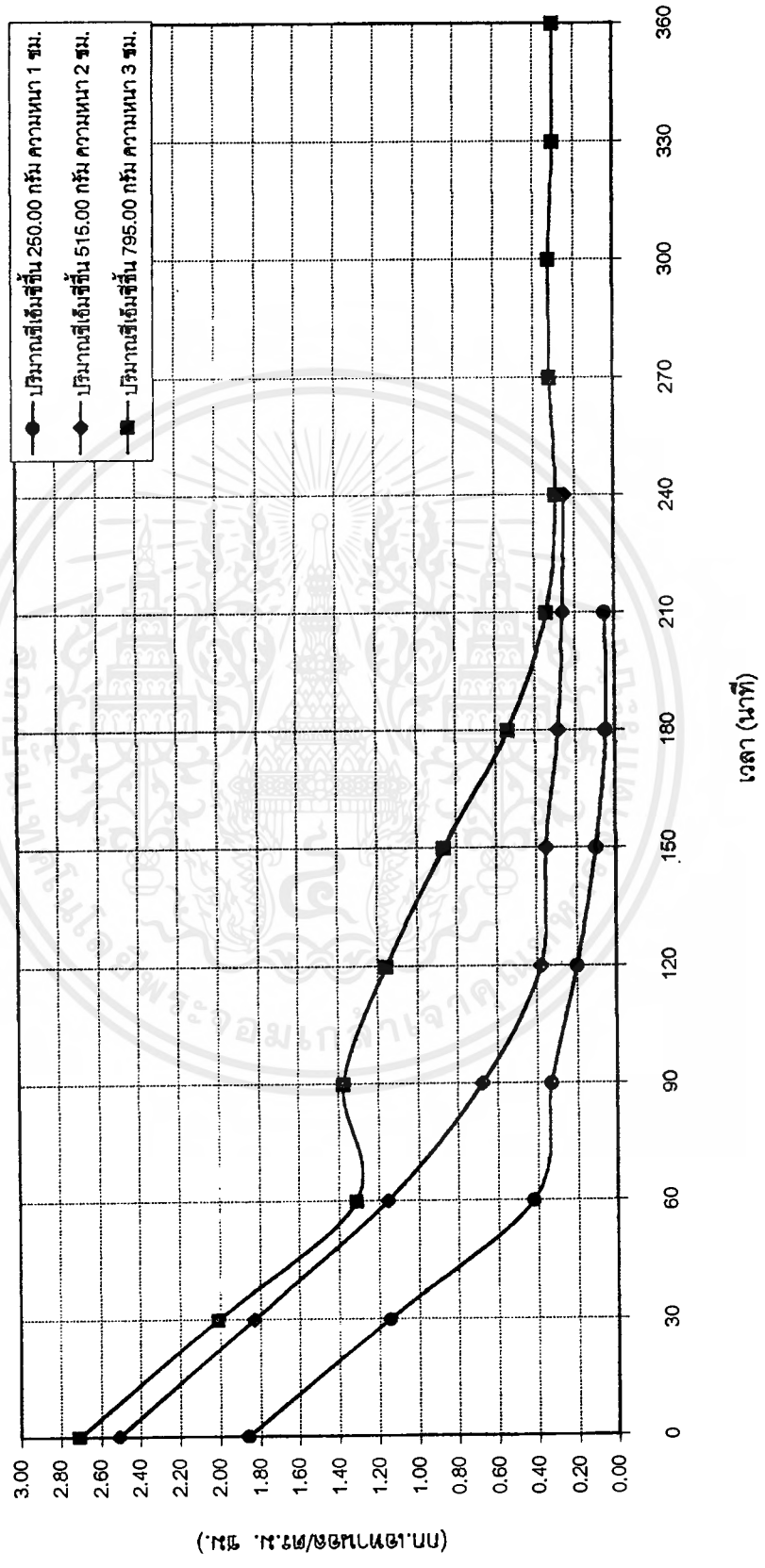
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่เพิ่มขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นที่เริ่มต้นที่ 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ

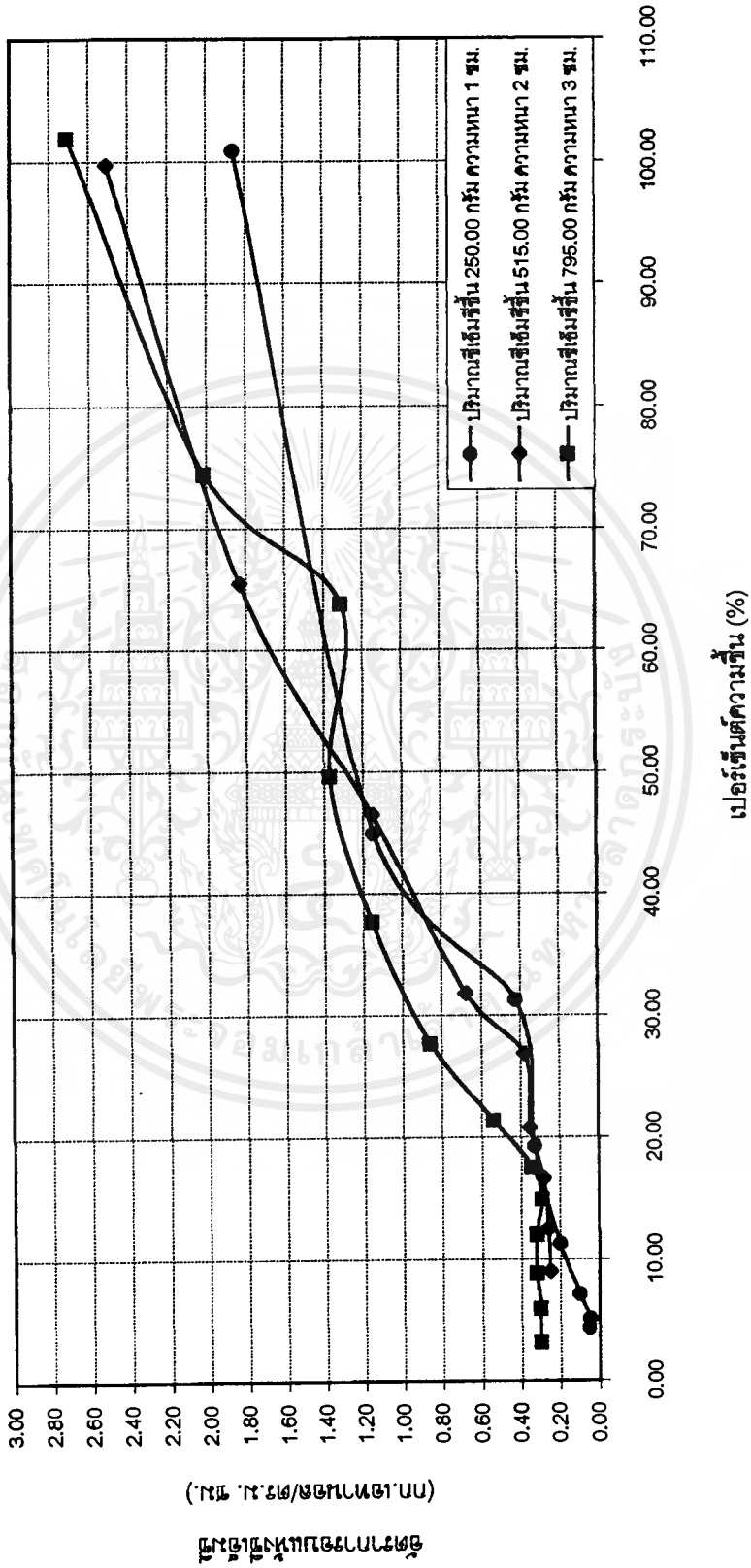


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

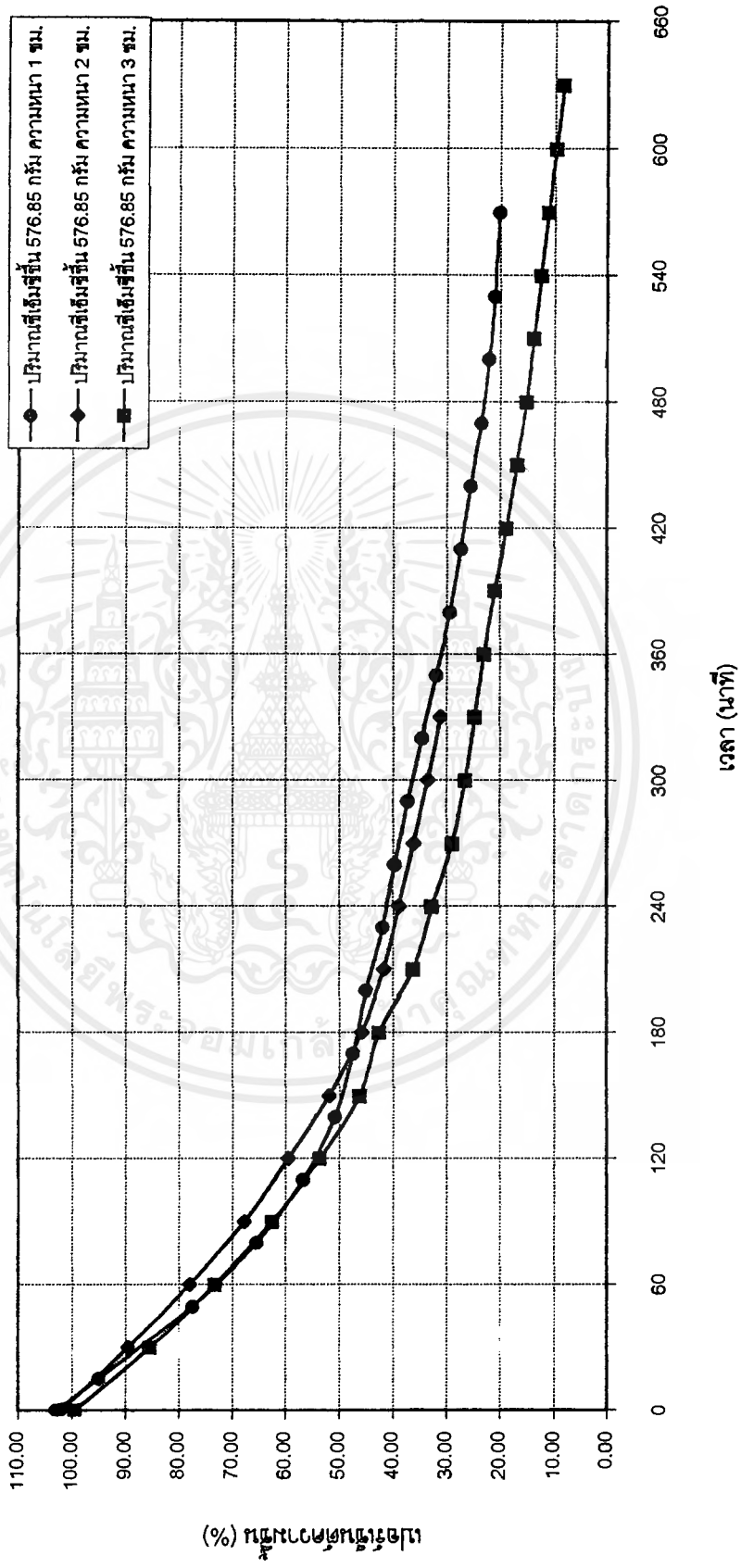
รูปที่ ข.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเมนต์ของการทดลองที่ 3.3.1, 3.3.2 และ 3.3.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเมนต์ที่ 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ



รูปที่ ข.23 แสดงเส้นลักษณะเฉพาะของกราฟบัพพื้นที่เสริมที่ขอบการทดลองที่ 3.3.1, 3.3.2 และ 3.3.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเมนต์ที่ 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ



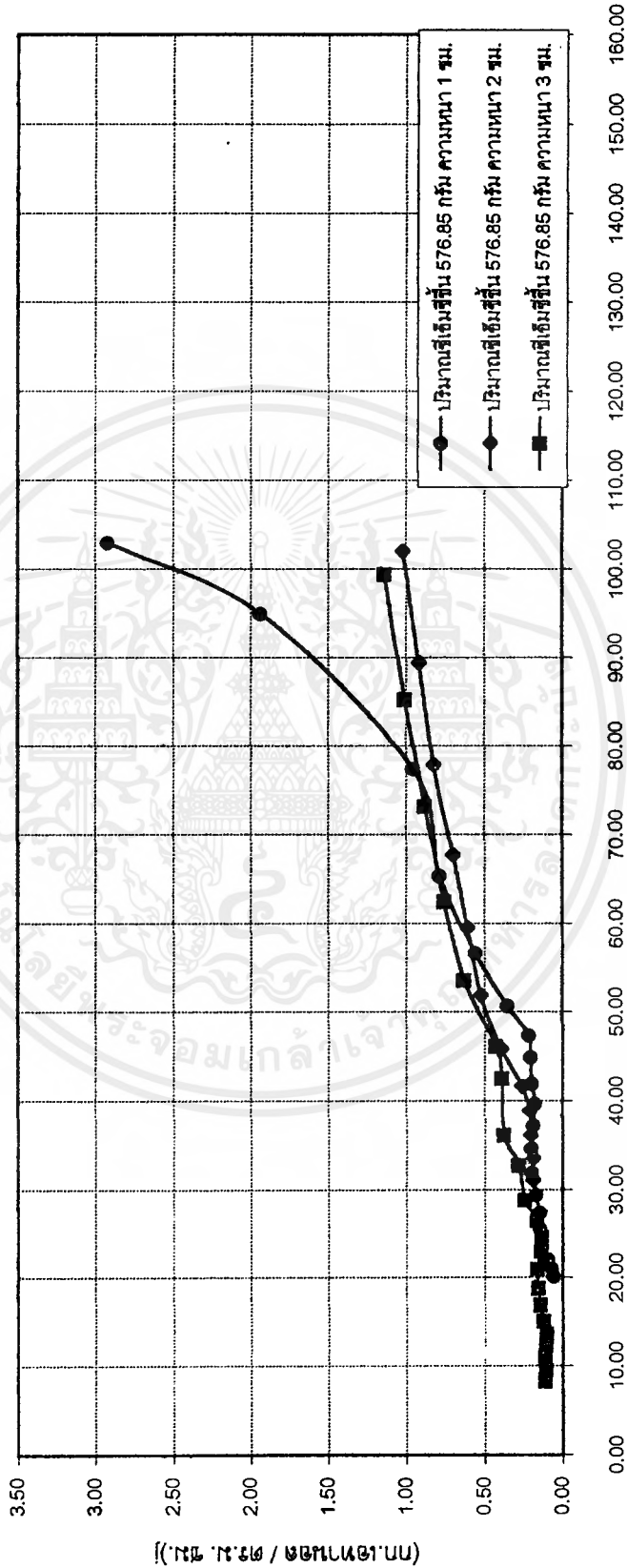
รูปที่ ข.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีของกาทดลองที่ 4.1.1, 4.1.2 และ 4.1.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



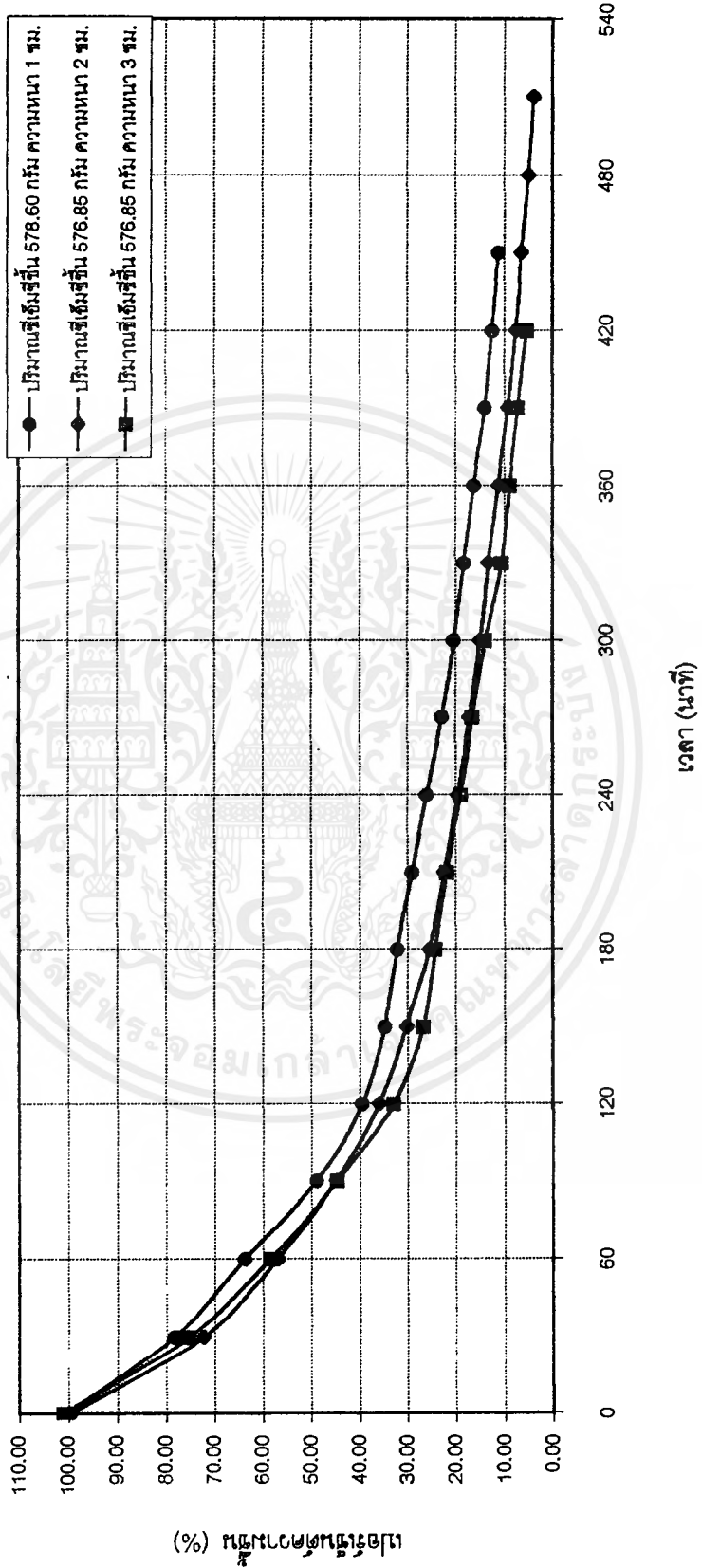
รูปที่ ข.26 แสดงเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งซึ่งเริ่มขึ้นของการทดลองที่ 4.1.1, 4.1.2 และ 4.1.3  
 ขบแห้ง แคนความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นที่เริ่มที่ 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ



เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)

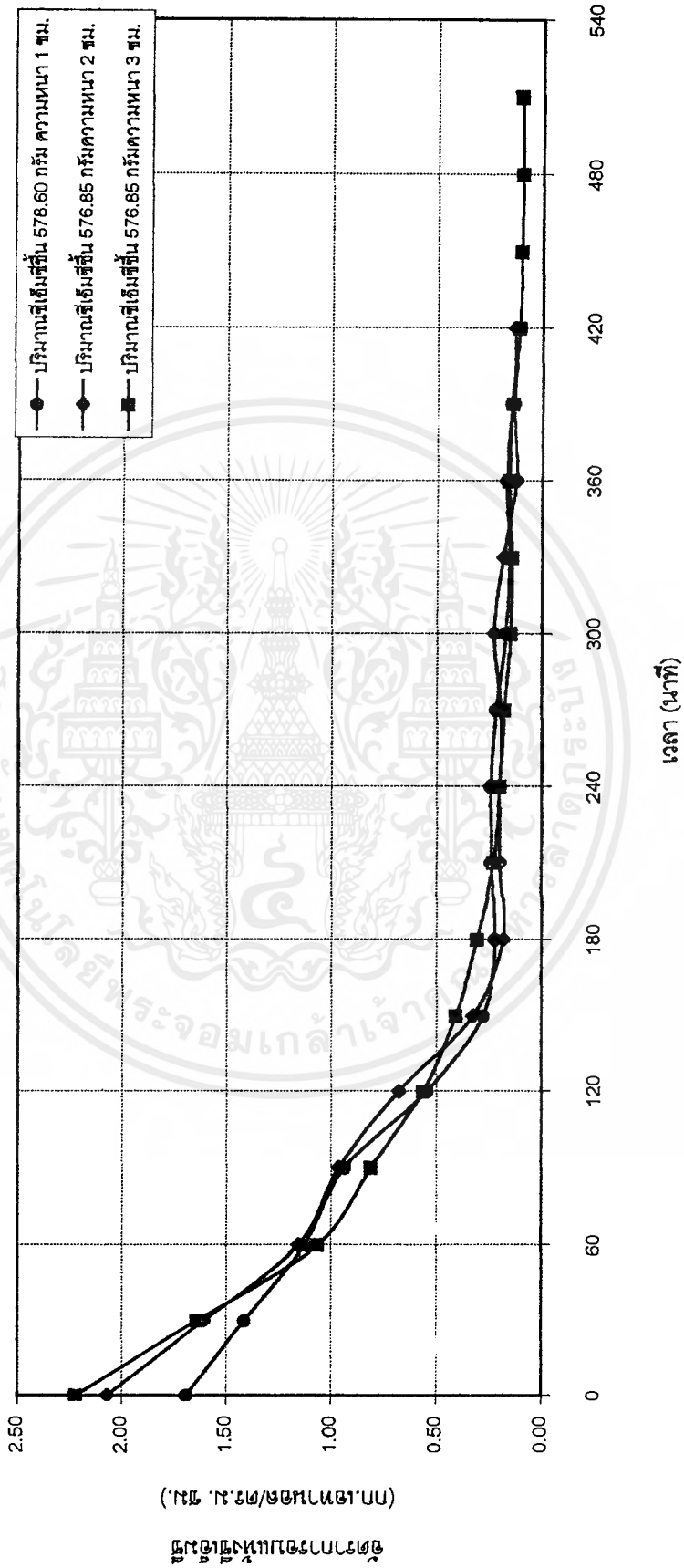
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 4.2.1, 4.2.2 และ 4.2.3  
อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นที่ 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ



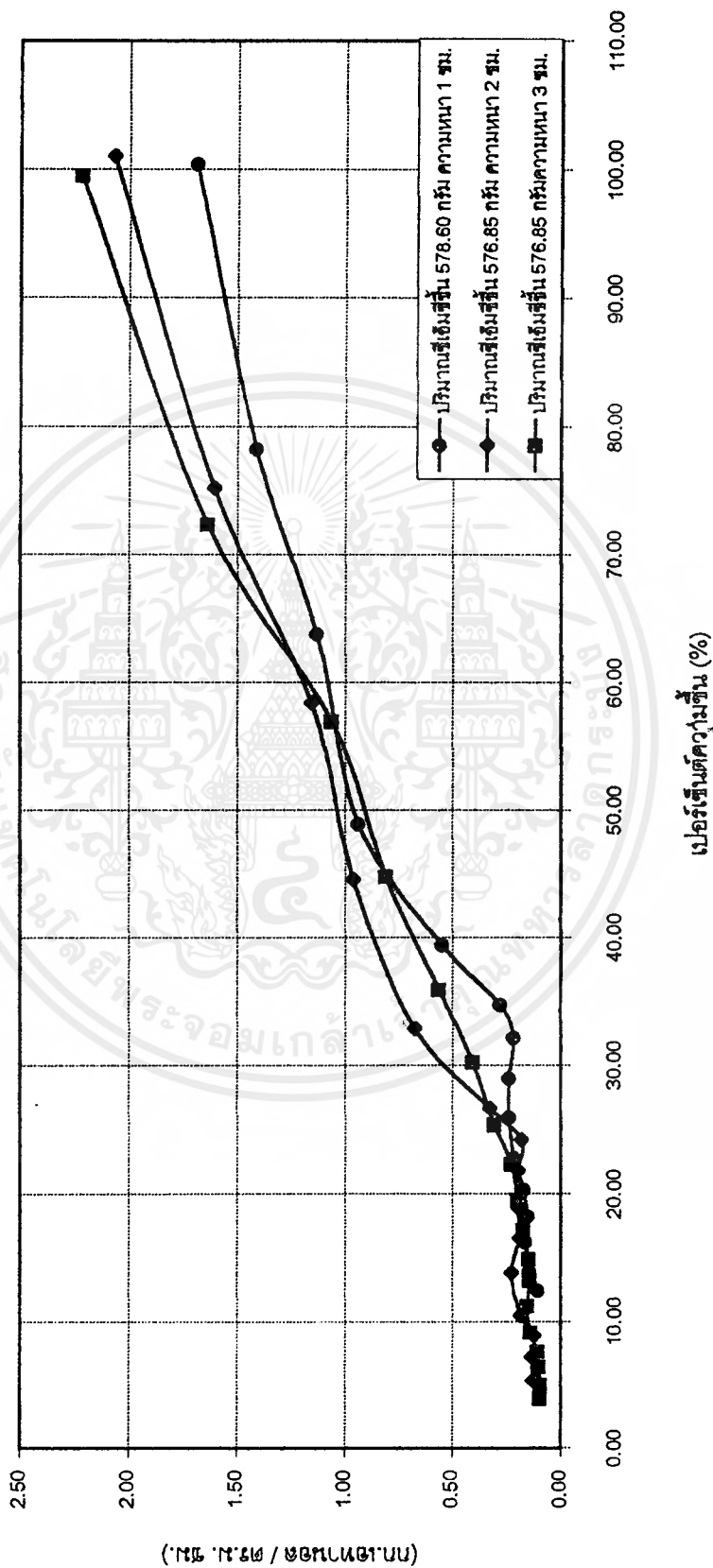
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซึ่งสัมพันธ์กับการทดลองที่ 4.2.1, 4.2.2 และ 4.2.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นมีซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ

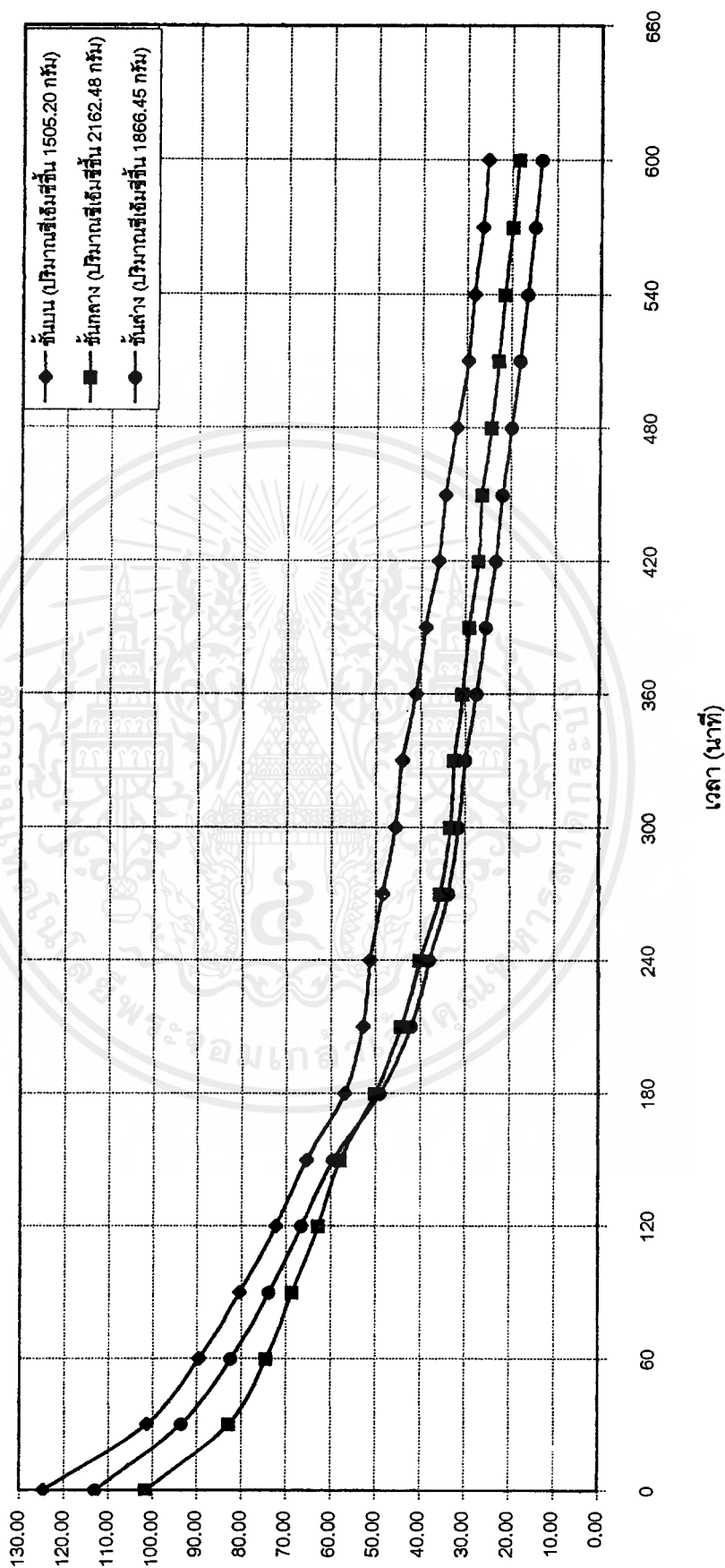


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.29 แสดงเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งซีเอ็มซีของการทดลองที่ 4.2.1, 4.2.2 และ 4.2.3  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของซีเอ็มซี 1, 2 และ 3 ซม. ตามลำดับ

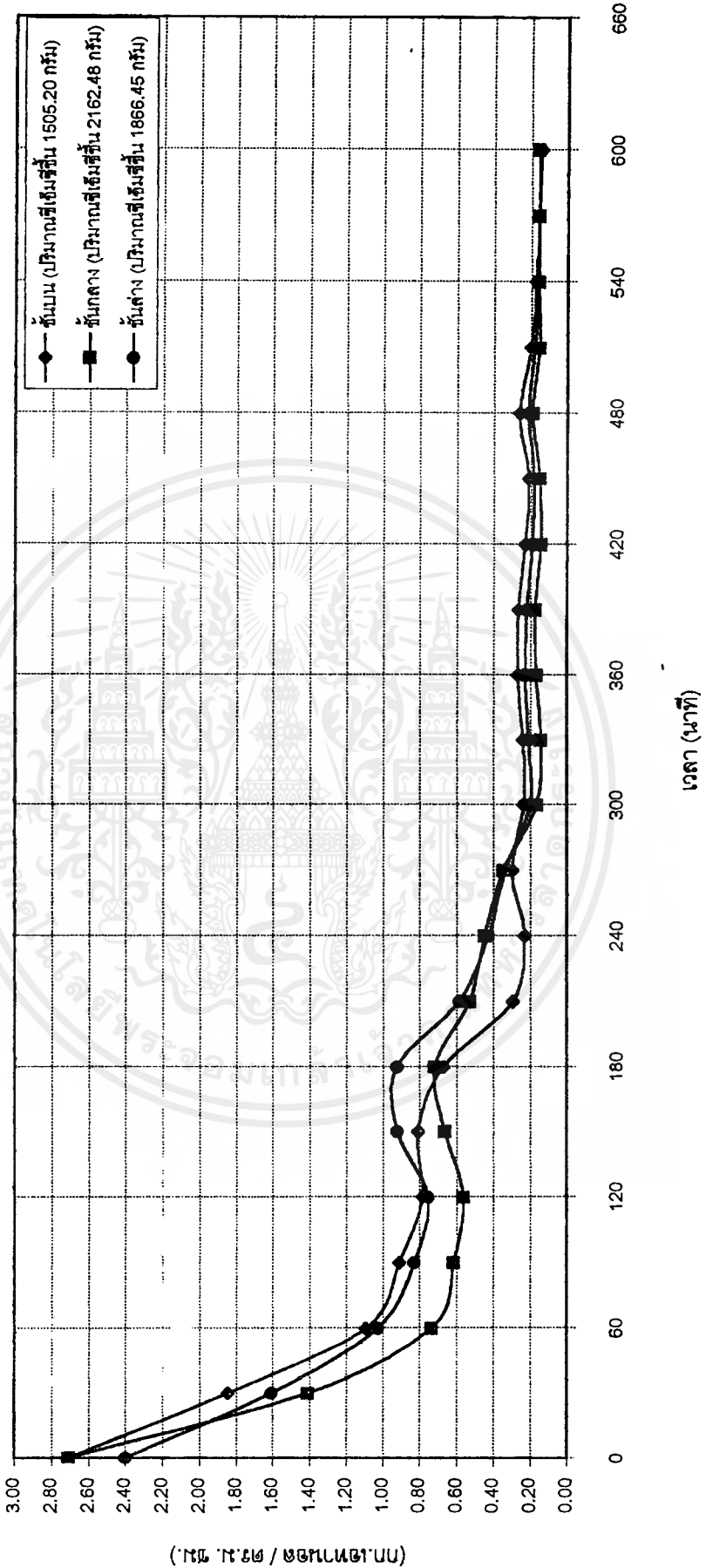


รูปที่ ข.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเมนต์ซีของภากรทดลองกลุ่มที่ 5  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเมนต์ 3 ซม.



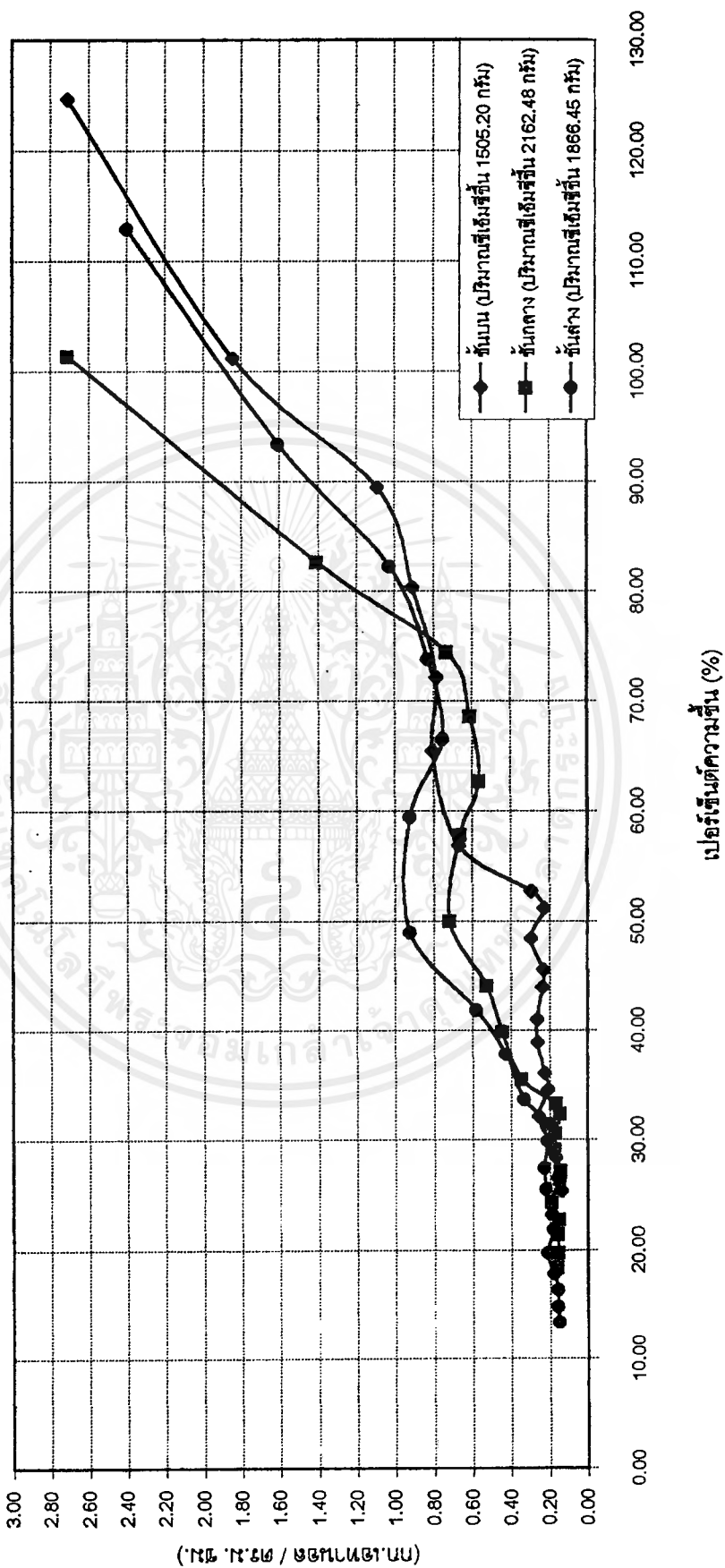
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน (%) ห้ามเผยแพร่ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเมนต์ซีของการทดลองกลุ่มที่ 5  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเมนต์ 3 ซม.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า...  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.32 แสดงเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งซีเมนต์ของการทดลองกลุ่มที่ 5  
 อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความหนาของชั้นซีเมนต์ที่ 3 ซม.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ค

## ตัวอย่างการคำนวณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### ตัวอย่างการคำนวณ

#### ผลการทดลองที่ 1.1.1

ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	560
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	50
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี (ซม.)	1
น้ำหนักถาด (กรัม)	479.27
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด (กรัม)	601.10
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง (กรัม)	121.83
พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ซม.)	750.00
ตำแหน่งที่วางถาด	ชั้นบน

ตารางที่ ค.1 แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณของการทดลองที่ 1.1.1

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	725.38	246.11	102.01	0.96
60	655.97	176.70	45.04	0.56
120	641.14	161.87	32.87	0.16
180	631.27	152.00	24.76	0.11
240	625.22	145.95	19.80	0.08
300	619.14	139.87	14.81	0.08
360	616.73	137.46	12.83	0.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ ที่เวลาการอบแห้ง 60 นาที

ก. เปอร์เซ็นต์ความชื้น

$$= \left( \frac{W - W_s}{W_s} \right) \times 100 = \left( \frac{176.70 - 121.83}{121.83} \right) \times 100$$

$$= 45.04 \%$$

ข. อัตราส่วนความชื้น (X)

$$= \left( \frac{W - W_s}{W_s} \right) = \left( \frac{176.70 - 121.83}{121.83} \right)$$

$$= 0.4504 \text{ กรัมเอทานอล / (กรัมซีเอ็มซีแห้ง นาที)}$$

ค. ค่า  $\frac{\Delta X}{\Delta t}$

$$= \left( \frac{0.4504 - 1.0201}{60 - 0} \right)$$

$$= -0.0095$$

ง. ค่า  $\frac{dX}{dt}$  จะคำนวณโดยใช้วิธี Equal-area differentiation [ 16 ]

(รายละเอียดการคำนวณอยู่ในภาคผนวก ง)

$$= -0.0058$$

จ. อัตราการอบแห้ง

$$= - \left( \frac{W_s}{A} \right) \times \left( \frac{dX}{dt} \right)$$

$$= - \left( \frac{121.83}{750} \right) \times \left( \frac{-0.0058 \times 60 \times 10000}{1000} \right)$$

$$= 0.56 \text{ กก.เอทานอล / ตร.ม. ชม.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 แสดงผลการคำนวณค่า  $X$ ,  $\frac{\Delta X}{\Delta t}$  และค่า  $\frac{dX}{dt}$  ของการทดลองที่ 1.1.1

เวลา, t (นาที)	อัตราส่วนความชื้น, X (กรัมเอทานอล/กรัมซีเอ็มซีแห้ง)	$\frac{\Delta X}{\Delta t}$	$\frac{dX}{dt}$
0	1.0201	-	-0.0099
60	0.4504	-0.0095	-0.0058
120	0.3287	-0.0020	-0.0017
180	0.2476	-0.0014	-0.0011



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ง

## วิธีการคำนวณ Equal-area differentiation



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

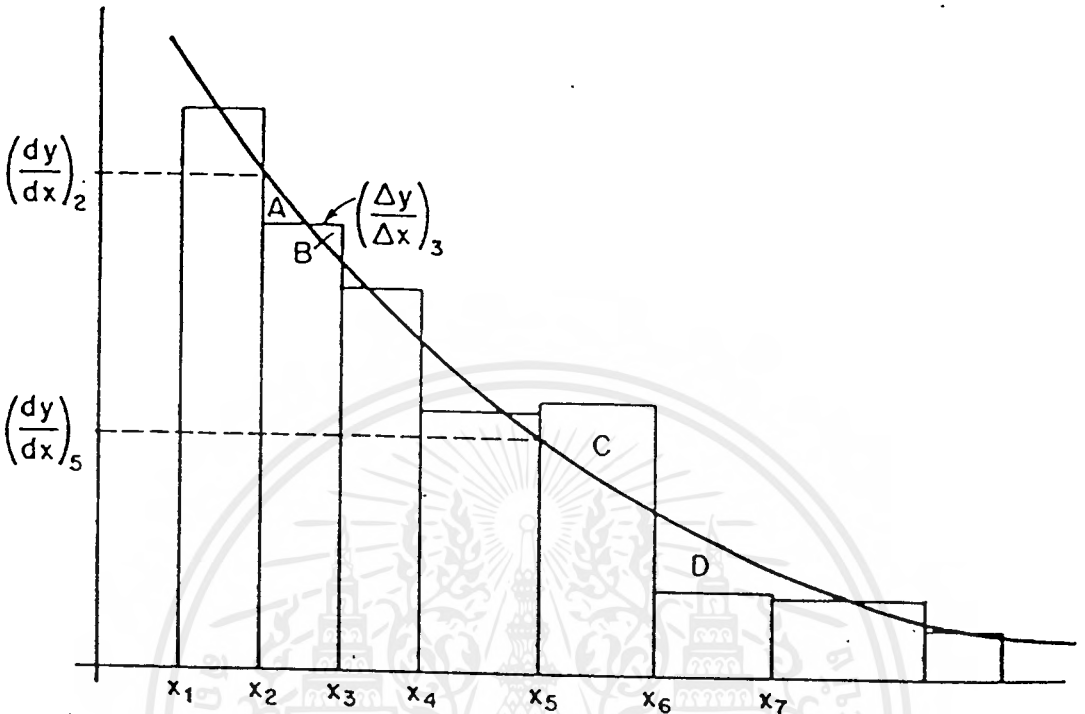
### วิธีการคำนวณ Equal-area differentiation [ 16 ]

วิธีการคำนวณ Equal-area differentiation เป็นวิธีที่ใช้ในการคำนวณหาอนุพันธ์ของตัวแปรตาม (y) เทียบกับตัวแปรอิสระ (x) มีขั้นตอนในการคำนวณ ดังนี้

1. สร้างตารางแสดงค่า x และ y
2. คำนวณผลต่างของค่า x คือ  $\Delta x$  และผลต่างของค่า y คือ  $\Delta y$  ในแต่ละช่วงจาก  $\Delta x_n = x_n - x_{n-1}$  และ  $\Delta y_n = y_n - y_{n-1}$  ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ ง.1
3. คำนวณค่า  $\frac{\Delta y_n}{\Delta x_n}$  ซึ่งค่าที่ได้นี้คือค่าความชันเฉลี่ยในช่วง  $x_{n-1}$  ถึง  $x_n$  แสดงดังตารางที่ ง.1
4. พล็อตฮิสโตแกรมระหว่างค่า  $\frac{\Delta y_n}{\Delta x_n}$  กับ  $x_i$  และลากเส้นประมาณพื้นที่ใต้กราฟ (Equal-area curve) แสดงดังรูปที่ ง.1

ตารางที่ ง.1 แสดงข้อมูลการคำนวณเพื่อหาค่าอนุพันธ์โดยใช้วิธี Equal-area differentiation

$x_i$	$y_i$	$\Delta x$	$\Delta y$	$\frac{\Delta y}{\Delta x}$	$\frac{dy}{dx}$
$x_1$	$y_1$	$x_2 - x_1$	$y_2 - y_1$	$\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)_2$	$\left(\frac{dy}{dx}\right)_2$
$x_2$	$y_2$	$x_3 - x_2$	$y_3 - y_2$	$\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)_3$	$\left(\frac{dy}{dx}\right)_3$
$x_3$	$y_3$	$x_4 - x_3$	$y_4 - y_3$	$\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)_4$	$\left(\frac{dy}{dx}\right)_4$
$x_4$	$y_4$	etc.			



รูปที่ ง.1 แสดงกราฟ Equal-area differentiation [ 16 ]

ตัวอย่างการคำนวณ ก. [ 16 ]

ข้อมูลและผลการคำนวณการหาอนุพันธ์โดยใช้วิธี Equal-area differentiation แสดงดังตารางที่ ง.2, ง.3, ง.4 และรูปที่ ง.2

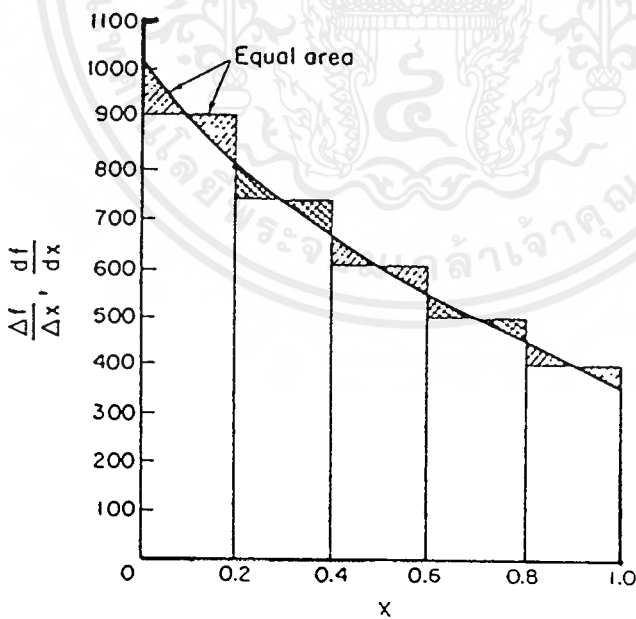
ตารางที่ ง.2 แสดงข้อมูลสำหรับตัวอย่างการคำนวณ ก. [ 16 ]

x	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
f(x)	c	182	330	451	551	631

คำนวณค่า  $\frac{\Delta f}{\Delta x}$  และพล็อตค่าที่ได้กับค่า x ดังตารางที่ ง.3 และรูปที่ ง.2 ตามลำดับ

ตารางที่ ง.3 แสดงผลการคำนวณค่า  $\frac{\Delta f}{\Delta x}$  ของตัวอย่างการคำนวณ ก. [ 16 ]

x	f(x)	$\frac{\Delta f}{\Delta x}$
0	0	(182-0)/(0.2-0.0) = 910
0.2	182	(330-182)/(0.4-0.2) =740
0.4	330	
etc..		



รูปที่ ง.2 แสดงกราฟ Equal-area differentiation ของตัวอย่างการคำนวณ ก. [ 16 ]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.4 แสดงผลการคำนวณการหาอนุพันธ์โดยใช้วิธี Equal-area differentiation ของตัวอย่างการคำนวณ ก. [ 16 ]

x	f(x)	$\frac{\Delta f}{\Delta x}$	$\frac{df}{dx}$	Actual $\frac{df}{dx}$
0	0	-	1010	1000
0.2	182	910	805	818
0.4	330	740	670	670
0.6	451	605	550	548
0.8	551	500	450	449
1.0	631	400	360	368

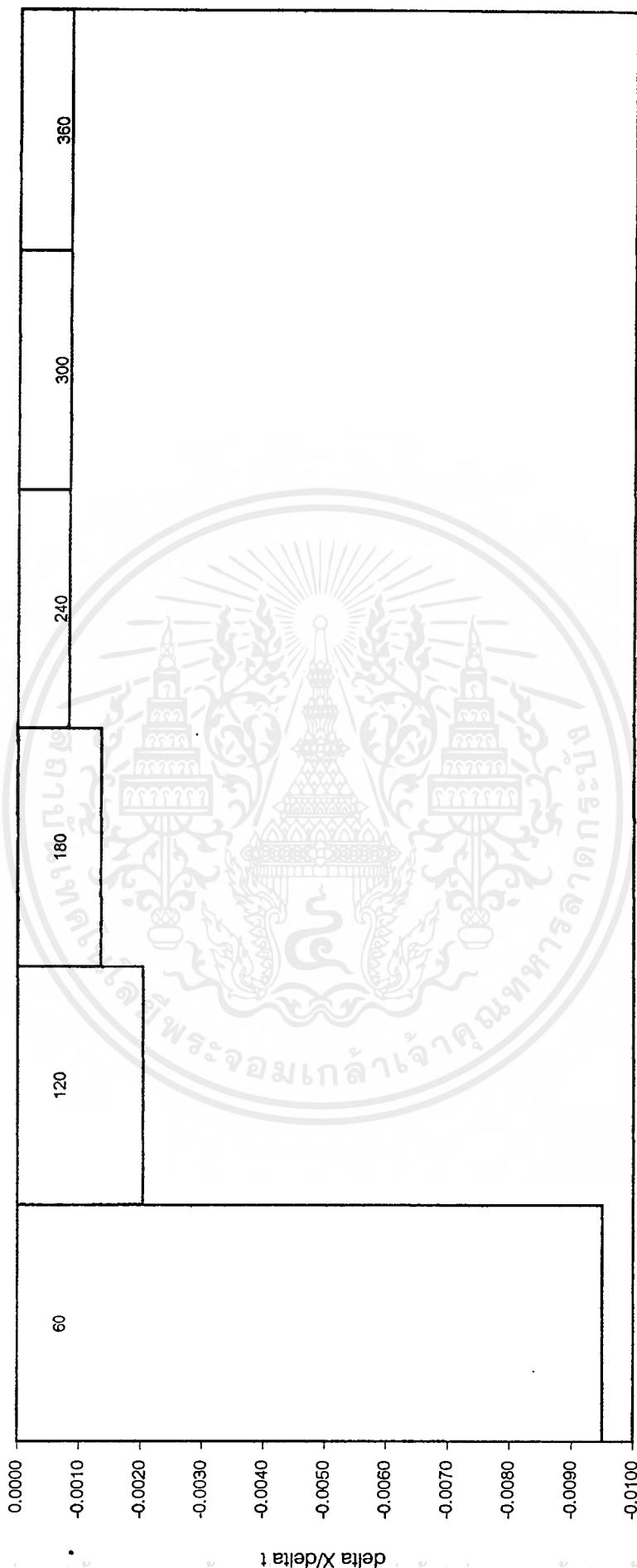
ตัวอย่างการคำนวณ ข.

การคำนวณค่าอนุพันธ์ของ X เมื่อเทียบกับ t โดยใช้วิธีการคำนวณ Equal-area differentiation ของผลการทดลองที่ 1.1.1 แสดงข้อมูลและผลการคำนวณค่า  $\frac{dX}{dt}$  ดังตารางที่ ง.5 และแสดงกราฟ Equal-area differentiation ดังรูปที่ ง.3

ตารางที่ ง.5 แสดงข้อมูลและผลการคำนวณค่า  $\frac{dX}{dt}$  ของผลการทดลองที่ 1.1.1

เวลา, t (นาท)	อัตราส่วนความชื้น, X (กรัมเอทานอล/กรัมซีเอ็มซีแห้ง)	$\frac{\Delta X}{\Delta t}$	$\frac{dX}{dt}$
0	1.0201	-	-0.0099
60	0.4504	-0.0095	-0.0058
120	0.3287	-0.0020	-0.0017
180	0.2476	-0.0014	-0.0011
240	0.1980	-0.0008	-0.0008
300	0.1481	-0.0008	-0.0008
360	0.1283	-0.0008	-0.0008

รูปที่ 1.3 แสดงกราฟ Equal-area differentiation ของการทดลองที่ 1.1.1



เวลา (นาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

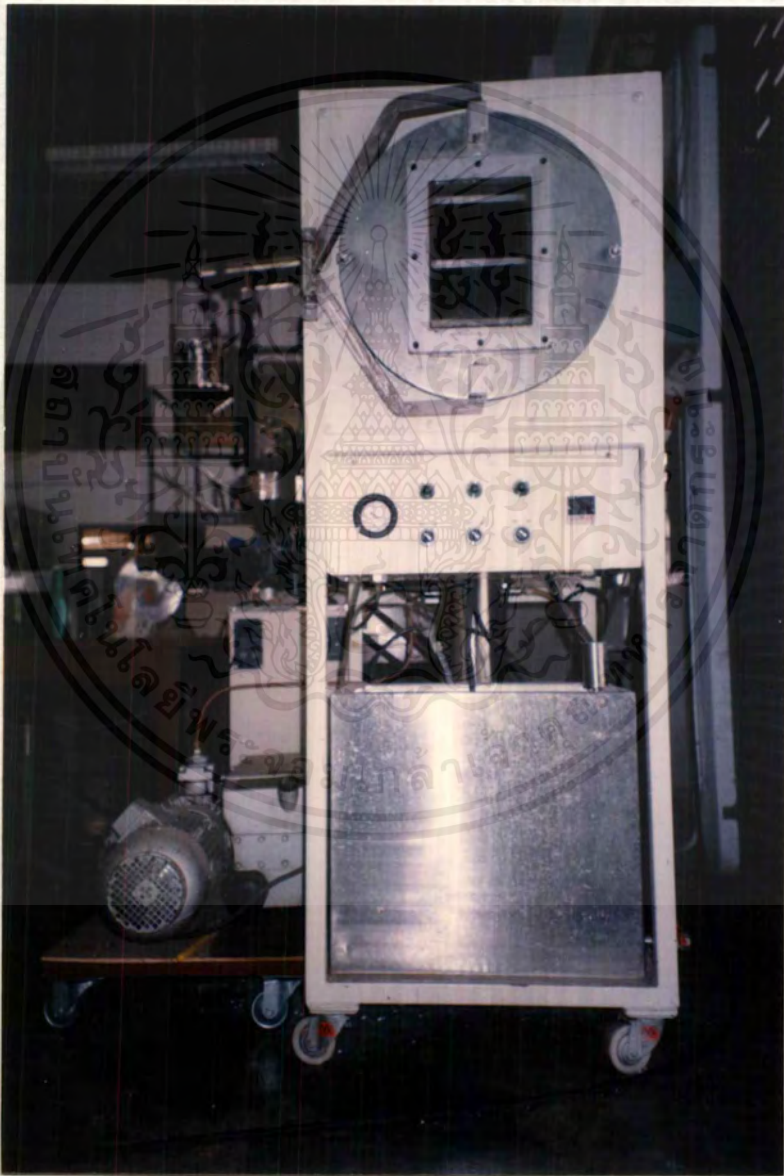
# ภาคผนวก จ

## รูปแสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตและอบแห้งซีเอ็มซี



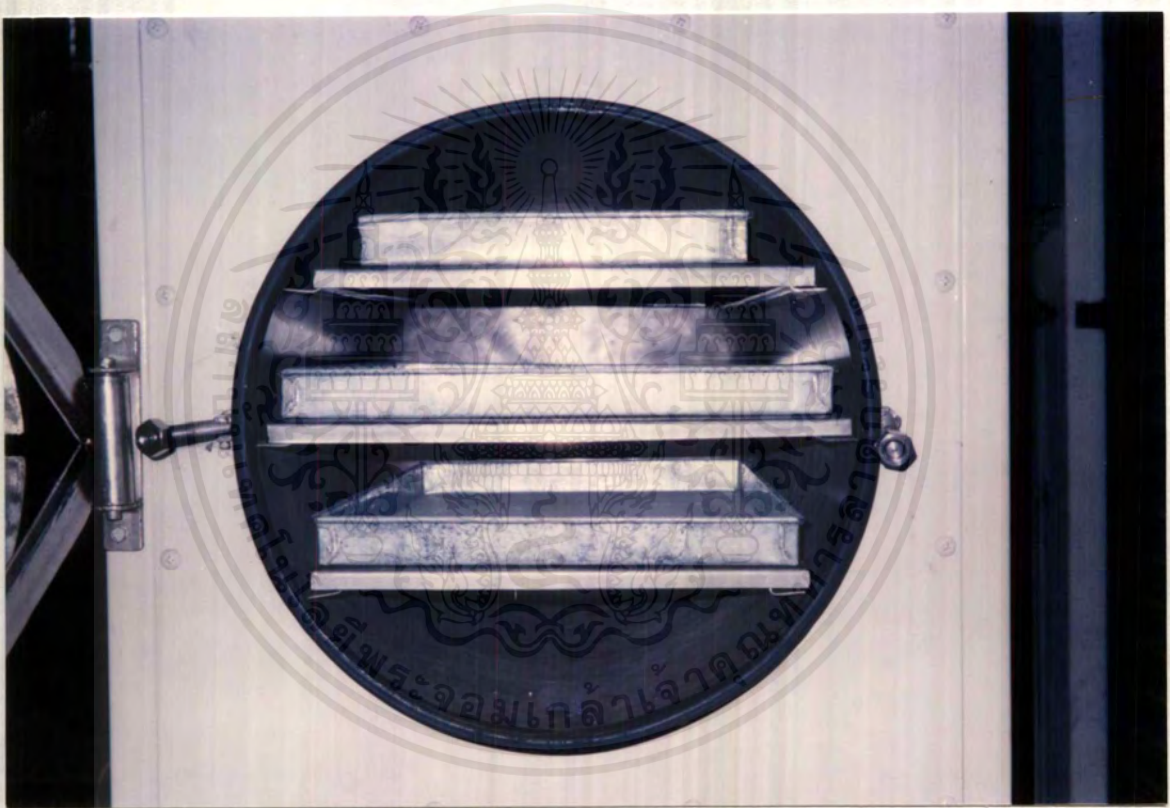
## ภาคผนวก จ

### เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ



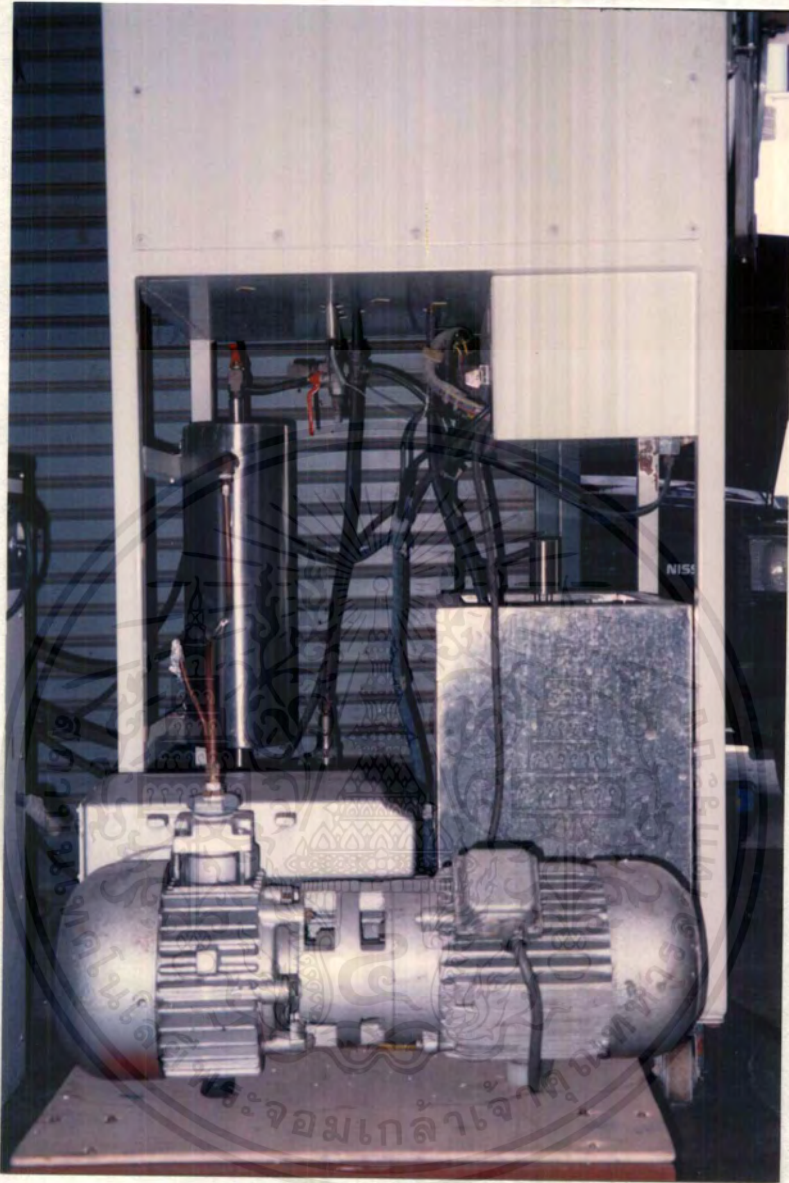
รูปที่ จ.1 แสดงภาพเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

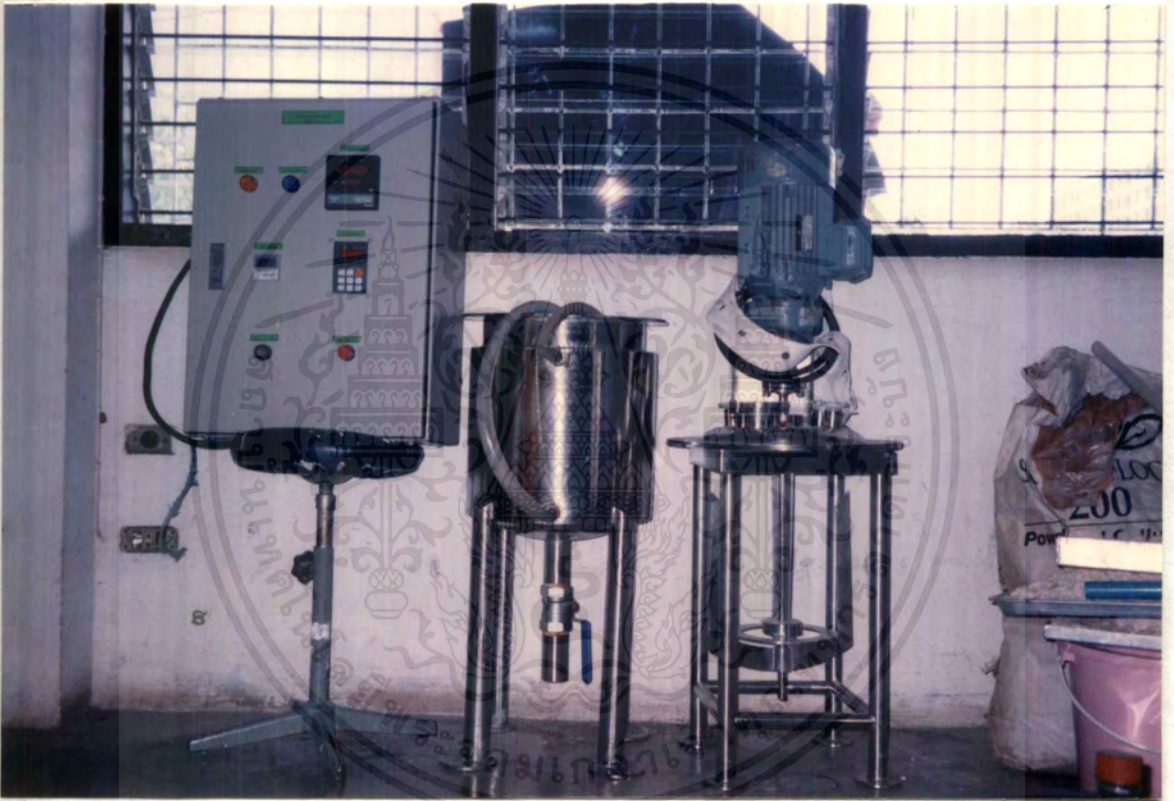


รูปที่ ๑.๒ แสดงภาพชั้นวางของเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑.๓ แสดงภาพระบบท่อ วาล์ว และปั๊มของเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ



รูปที่ ๑.5 แสดงภาพเครื่องควบคุมการทำงาน และถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร  
ที่ใช้ในการสังเคราะห์ซีเอ็มซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑.5 แสดงภาพมอเตอร์ และใบกวนแบบ Anchor ของถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร