

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองเพื่อหาสมดุลการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน เมื่อแปรเปลี่ยน อุณหภูมิ

ผลการทดลองหาสมดุลการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ 5 อุณหภูมิ คือ 5, 10, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส ปริมาตรของอะซิโตนเริ่มต้นที่ 500 มิลลิลิตร ก่อนการทดลองได้เก็บตัวอย่างอะซิโตนเพื่อตรวจหาปริมาณความชื้นเริ่มต้น และหาความหนาแน่นที่อุณหภูมิการทดลองนั้นๆ ข้อมูลทั้งสองนำมาคำนวณหาน้ำหนักของความชื้นในอะซิโตนที่อุณหภูมิ 5, 10, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส ข้อมูลการทดลองแสดงไว้ในภาคผนวก ก. ในตารางที่ ก.1, ก.2, ก.3, ก.4 และ ก.5 สำหรับทั้ง 5 อุณหภูมิตามลำดับ การทดลองได้ผ่านอะซิโตนเข้าหลอดดูดซับจำลองเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยอะซิโตนที่ผ่านเข้าสู่จากหลอดดูดซับจำลองจะนำเข้าสู่ผสมกับอะซิโตนในเครื่องปฏิกรณ์และผ่านออกมาจากหลอดดูดซับใหม่เป็นวงจร หลังจากการทดลองผ่านไป 2 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจหาปริมาณความชื้น และทำการทดลองต่อเนื่องไปอีก โดยเก็บตัวอย่างอะซิโตนทุกๆ 5 นาที เพื่อตรวจสอบหาปริมาณความชื้น จนกระทั่งปริมาณความชื้นของอะซิโตนในเครื่องปฏิกรณ์ไม่เปลี่ยนแปลง จึงทำการเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจสอบหาปริมาณความชื้นที่คงที่และความหนาแน่นของอะซิโตน ข้อมูลการทดลองแสดงถึงปริมาณความชื้นที่คงที่และความหนาแน่นที่อุณหภูมิการทดลอง 5, 10, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส แสดงไว้ในภาคผนวก ก. ในตารางที่ ก.6, ก.7, ก.8, ก.9 และ ก.10 ตามลำดับ

ปริมาณความชื้นที่คงที่ภายหลังจากการดูดซับ ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ C_S และปริมาณความชื้นเริ่มต้น แทนด้วยสัญลักษณ์ C_0 เมื่อนำมาคำนวณเป็นน้ำหนักของความชื้นในอะซิโตนที่คงที่ภายหลังการดูดซับและน้ำหนักของความชื้นเริ่มต้นในอะซิโตน ซึ่งแทนค่าด้วยสัญลักษณ์ M_S และ M_0 ตามลำดับ ค่าตัวแปรต่างๆ

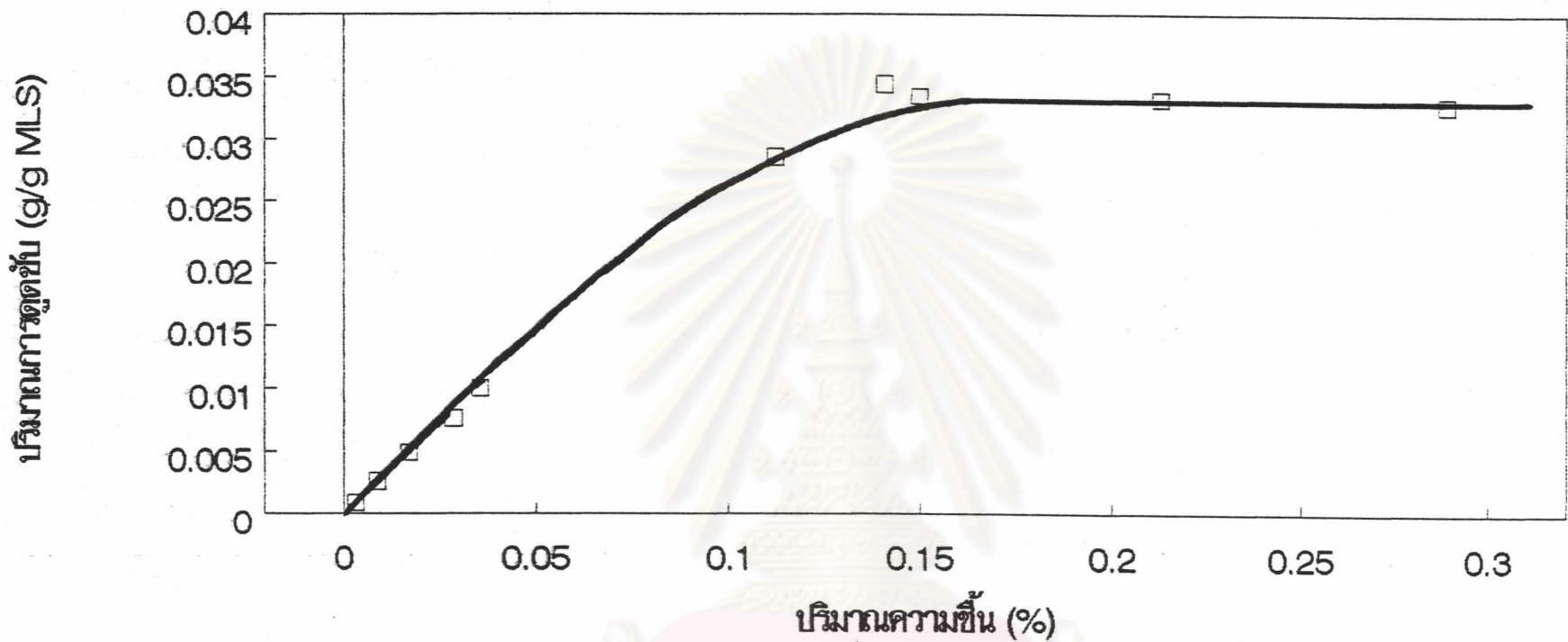
ข้างต้น สามารถนำมาคำนวณหาปริมาณการดูดซับความชื้นในอะซิโตนโดยเทียบเป็นน้ำหนักของความชื้นที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับ แทนสัญลักษณ์ของปริมาณการดูดซับด้วย q ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 4.1

$$q = [M_o - M_s] / M_a \quad \dots 4.1$$

โดยที่ M_a แทนน้ำหนักของสารดูดซับ (กรัม)

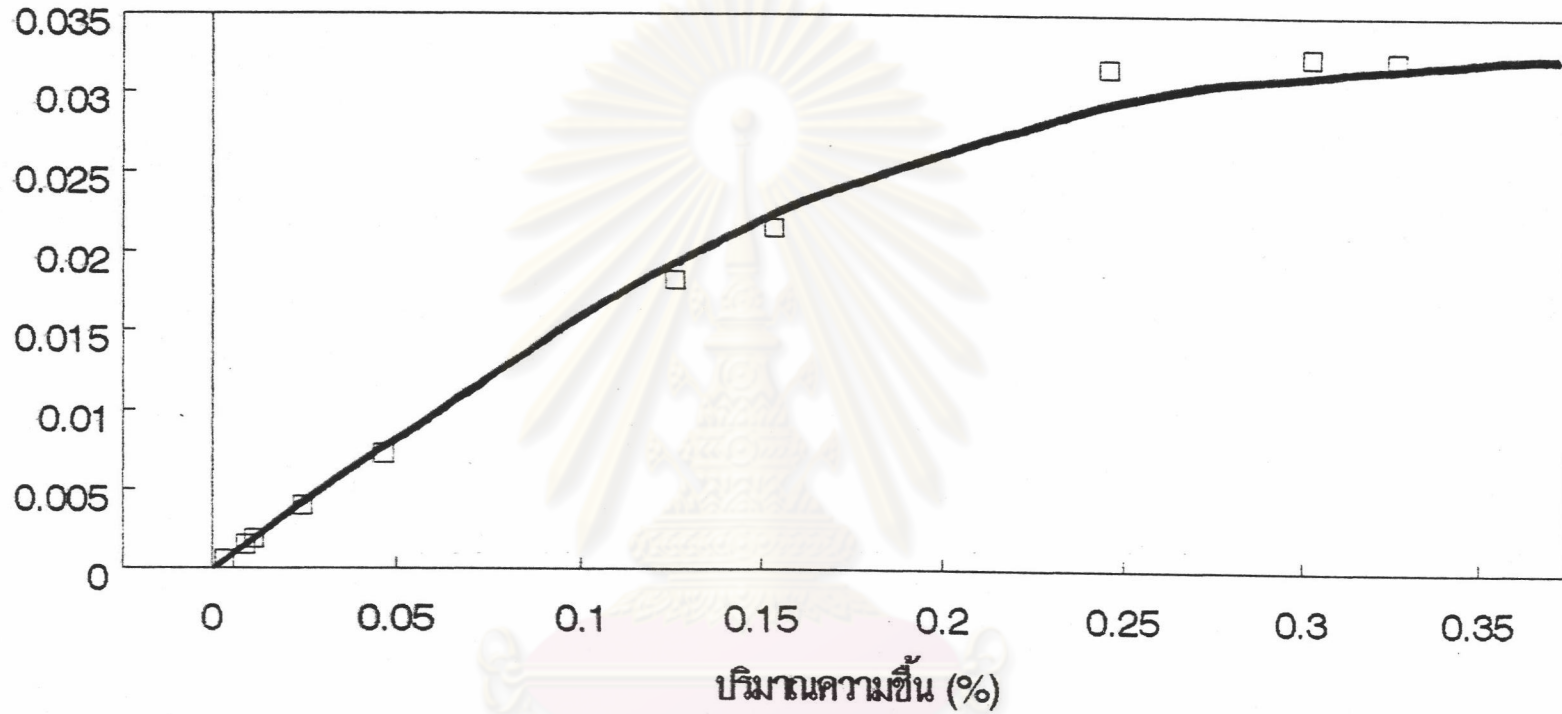
จากข้อมูลการทดลอง ได้นำมาคำนวณหาปริมาณการดูดซับ และแสดงค่าปริมาณการดูดซับความชื้นและค่าปริมาณความชื้นที่คงที่ภายหลังการดูดซับที่อุณหภูมิการทดลอง 5, 10, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก. ในตารางที่ ก.11, ก.12, ก.13, ก.14 และ ก.15 ตามลำดับ และจากข้อมูลข้างต้น เมื่อนำปริมาณการดูดซับมาสร้างกราฟความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นที่คงที่ ภายหลังจากการดูดซับ จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังแสดงไว้ในกราฟที่ 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3, 4.1.4 และ 4.1.5 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ที่อุณหภูมิการทดลองที่ 5, 10, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

จากผลการทดลอง ปริมาณความชื้นเริ่มต้นจะทำการแปรค่าจากค่าเริ่มต้น ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 0.1 ไปจนถึงค่ามากที่สุดไม่เกินกว่าร้อยละ 0.4 ซึ่งปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่แปรค่า จากการทดลองได้ใช้วิธีการเติมน้ำกลั่นลงในอะซิโตนและเมื่อผ่านการดูดซับในหลอดดูดซับจำลอง การดูดซับจะดำเนินไปจนกระทั่งเกิดการอิ่มตัว ซึ่งจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับและปริมาณความชื้น จะเห็นได้ว่า เมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตาม จนกระทั่งคงที่ที่ปริมาณความชื้นค่าหนึ่ง ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณความชื้นต่อไป ปริมาณการดูดซับจะคงที่ไม่เพิ่มตาม กราฟความสัมพันธ์เช่นนี้ เป็นกราฟสมดุลการดูดซับแบบที่ 2 (ประเภทของกราฟสมดุลการดูดซับแบบต่างๆ แสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ข.) กราฟสมดุลการดูดซับแบบที่ 2 สามารถหาสมการความสัมพันธ์ของสมดุลการดูดซับ ได้จากการนำข้อมูลการทดลองปริมาณการดูดซับและปริมาณความชื้นที่คงที่ภายหลังการดูดซับ ได้จากการนำข้อมูลการทดลอง ปริมาณการดูดซับและปริมาณความชื้นที่คงที่ ภายหลังการดูดซับ มาหาสมการความสัมพันธ์ด้วยวิธี Formula of least square Method ซึ่งข้อมูลการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก. ในตารางที่ ก.16, ก.17,



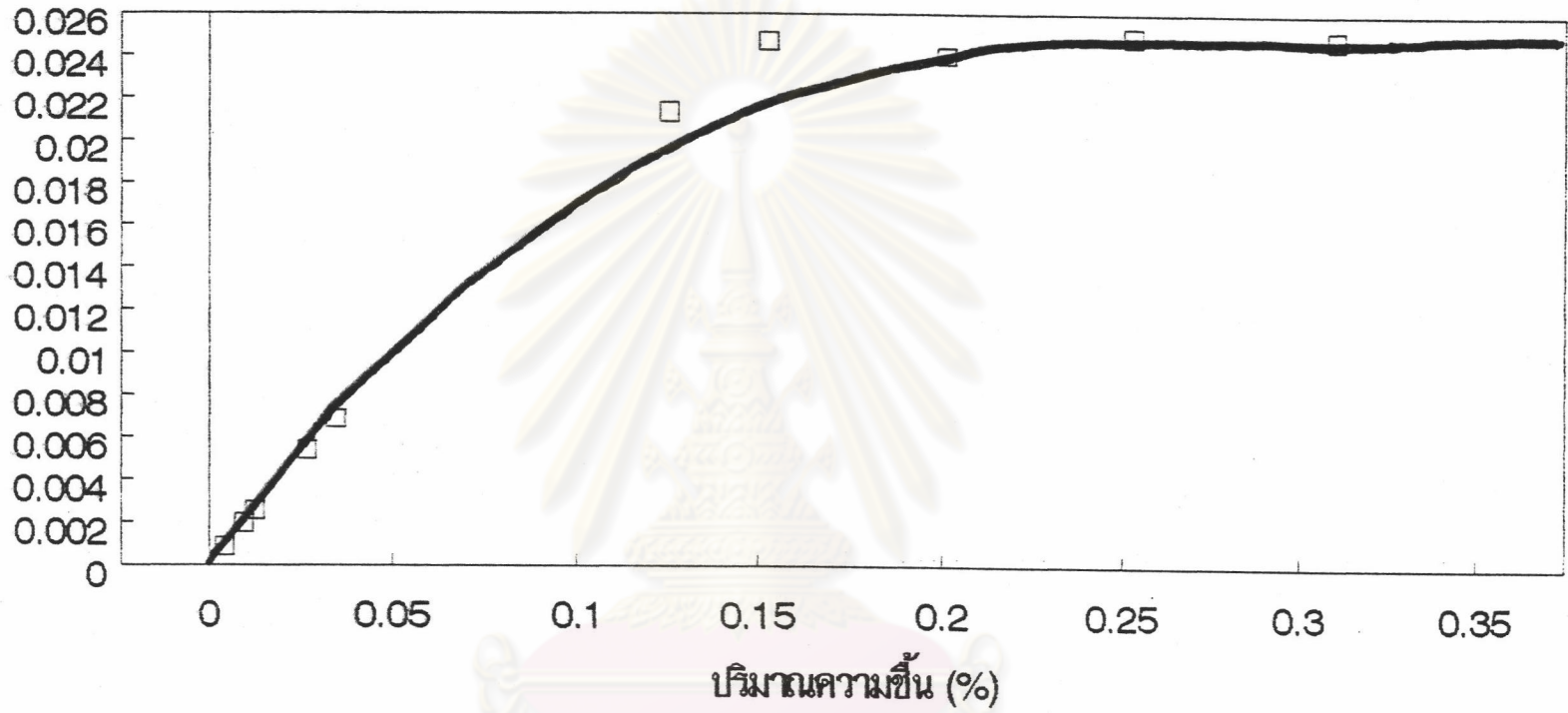
กราฟรูปที่ 4.1.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน กับปริมาณความชื้น ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ปริมาณการดูดซับ (g/g MLS)



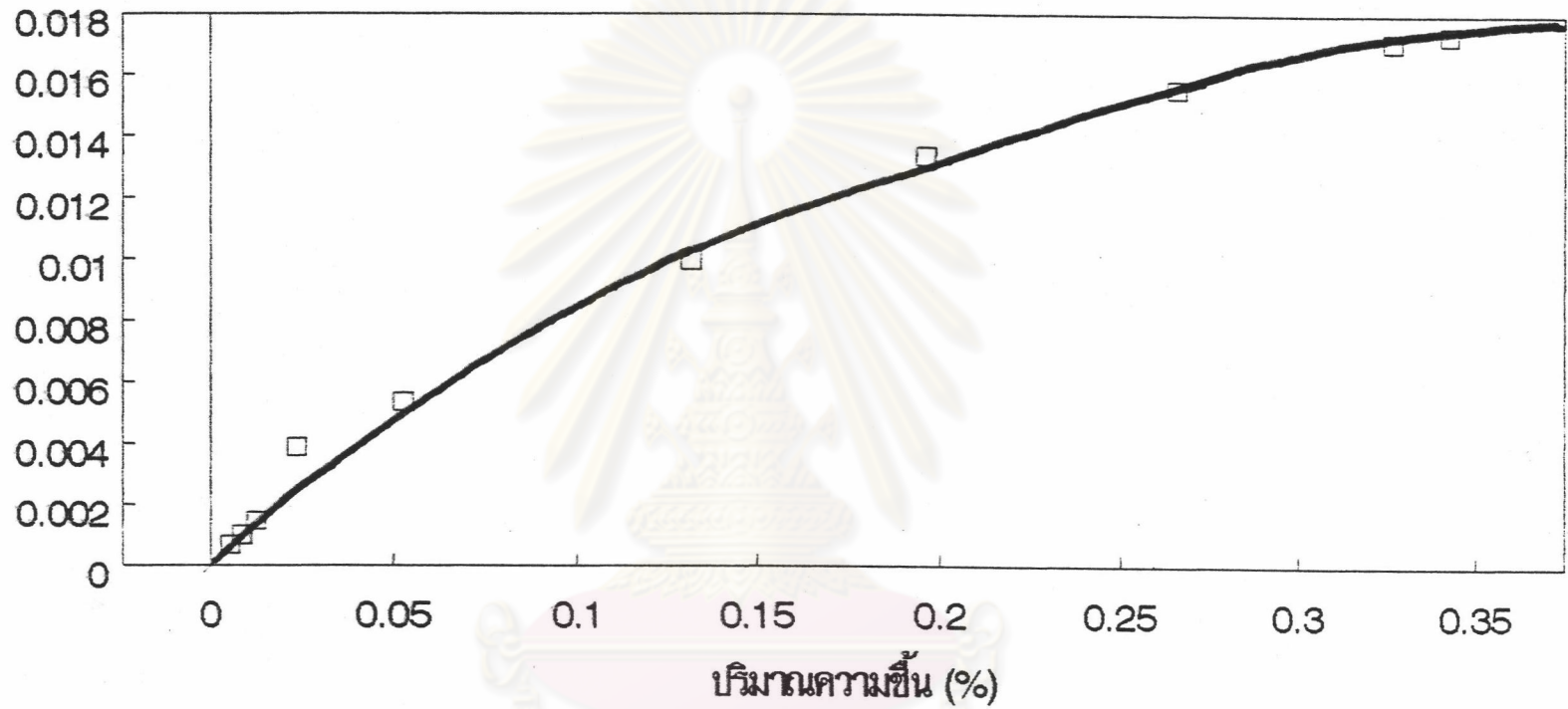
กราฟรูปที่ 4.1.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน
กับปริมาณความชื้น ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ปริมาณการดูดซับ (g/g MLS)

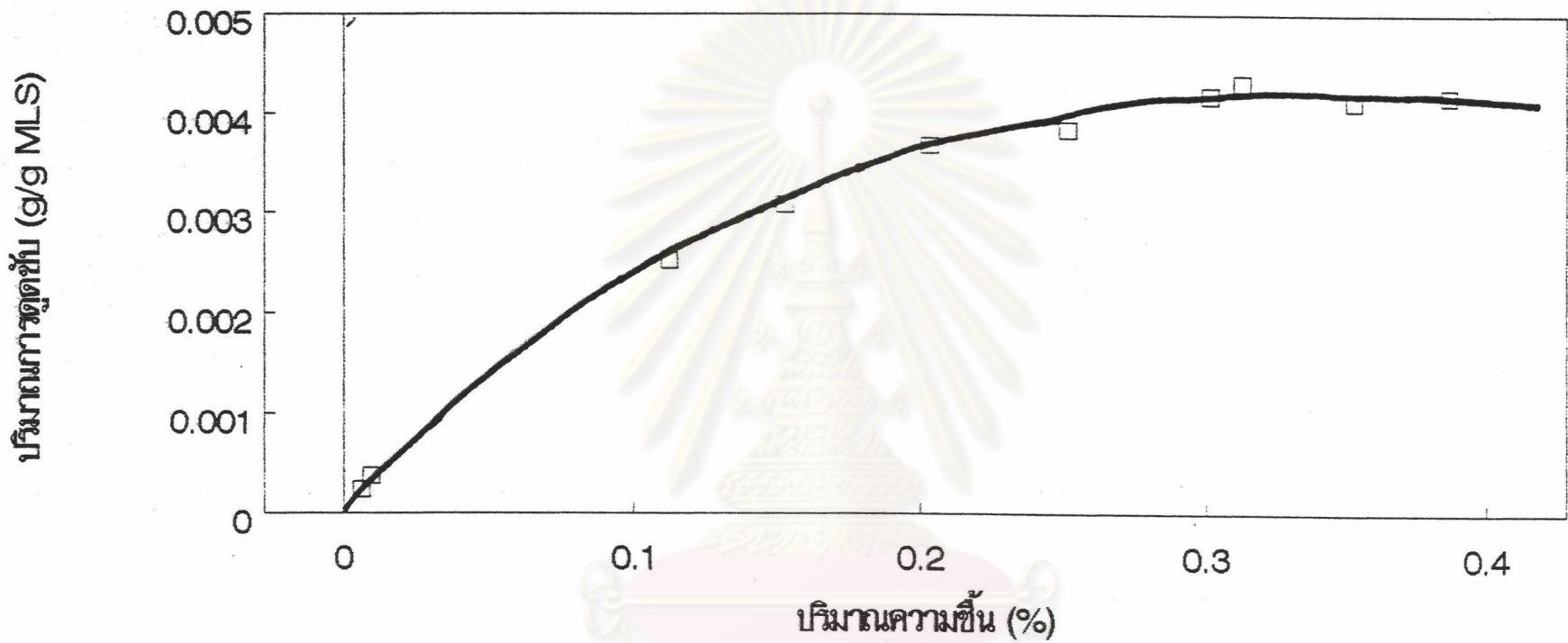


กราฟรูปที่ 4.1.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน กับปริมาณความชื้น ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ปริมาณการดูดซับ (g/g MLS)



กราฟรูปที่ 4.1.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน
กับปริมาณความชื้น ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



กราฟรูปที่ 4.1.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน
กับปริมาณความชื้น ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ก.18, ก.19 และ ก.20 ตามสภาวะการทดลองที่อุณหภูมิการทดลอง 5, 10, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

สมการสมดุลการดูดซับของแลงเมียร์แสดงรูปสมการในสมการที่ 4.2

$$q = q_e KC / (1 + KC) \quad \dots 4.2$$

q แทน ปริมาณการดูดซับ (กรัมต่อกรัมสารดูดซับ)

q_e แทน ปริมาณการดูดซับที่เกิดการดูดซับอิ่มตัว (กรัมต่อกรัมสารดูดซับ)

K แทน ค่าคงที่ของการดูดซับ

C แทน ปริมาณความชื้น (ร้อยละของความชื้นในอะซิโตน)

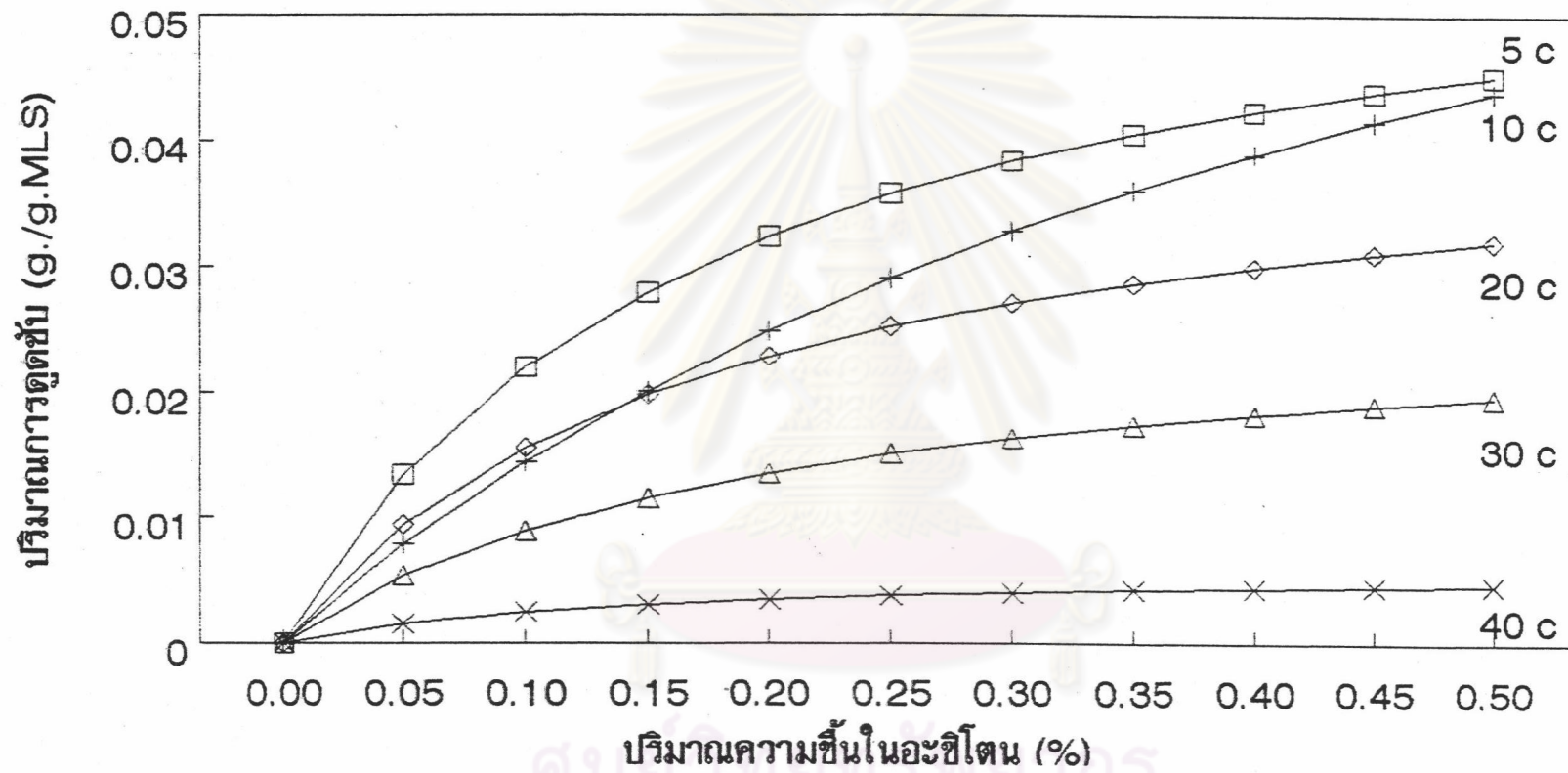
จากการคำนวณด้วย Formula of least square Method ให้ค่าคงที่ 2 ค่าคือ q_e และ K สำหรับสมการสมดุลการดูดซับในแต่ละอุณหภูมิ แสดงค่าคงที่ดังกล่าวไว้ในตารางที่ 4.1.1 จะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณการดูดซับที่เกิดจากการดูดซับอิ่มตัวจะลดลง โดยที่อุณหภูมิต่ำในการทดลอง จะได้ปริมาณการดูดซับที่เกิดจากการดูดซับอิ่มตัวจะให้ค่าสูง และเมื่อนำสมการสมดุลการดูดซับที่ทั้ง 5 อุณหภูมิ มาสร้างกราฟความระหว่างปริมาณการดูดซับกับปริมาณความชื้น ดังแสดงไว้ในกราฟความสัมพันธ์ที่ 4.1.6 จะเห็นว่ากราฟของการทดลองที่ 5 องศาเซลเซียส จะอยู่สูงที่สุด และกราฟของการทดลองที่ 40 องศาเซลเซียส กราฟอยู่ต่ำสุด

4.2 ผลการทดลองเพื่อหาความยาวของเขตของการถ่ายเทมวลสารในหลอดดูดซับที่ปฏิบัติการในสายการผลิตเมื่อแปรเปลี่ยนอัตราการป้อนอะซิโตนจาก 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที

การทดลองในสายการผลิต ได้เตรียมอะซิโตนในถังเก็บอะซิโตน ที่มีขนาดความจุ 5,000 ลิตร ทำการปรับอุณหภูมิของอะซิโตน โดยการผ่านอะซิโตนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จนกว่าอุณหภูมิของอะซิโตน 20 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิการทดลอง (องศาเซลเซียส)	q_0	K
5	0.0612	5.6180
10	0.0891	1.9383
20	0.0433	5.5976
30	0.0278	4.7491
40	0.0059	7.1069
อุณหภูมิการทดลอง (องศาเซลเซียส)	สมการสมดุลการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน $q = q_0 K C / (1 + K C)$	
5	$q = 0.34 C / (1 + 5.62 C)$	
10	$q = 0.17 C / (1 + 1.94 C)$	
20	$q = 0.24 C / (1 + 5.60 C)$	
30	$q = 0.13 C / (1 + 4.75 C)$	
40	$q = 0.04 C / (1 + 7.11 C)$	

ตารางที่ 4.1.1 แสดงค่าคงที่และสมการสมดุลการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน
ที่อุณหภูมิการทดลอง 5, 10, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส



กราฟรูปที่ 4.1.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน กับปริมาณความชื้น ที่อุณหภูมิต่างๆ จากสมการสมดุลการดูดซับ

เก็บตัวอย่างอะซิโตนเพื่อตรวจหาปริมาณความชื้นเริ่มต้นและความหนาแน่น ซึ่งผลการทดลอง เป็นดังนี้

ที่อัตราการป้อน 5 และ 10 ลิตรต่อนาที

ปริมาณความชื้นเริ่มต้น ร้อยละ 0.3025

ความหนาแน่น 0.7921 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ที่อัตราการป้อน 15 และ 20 ลิตรต่อนาที

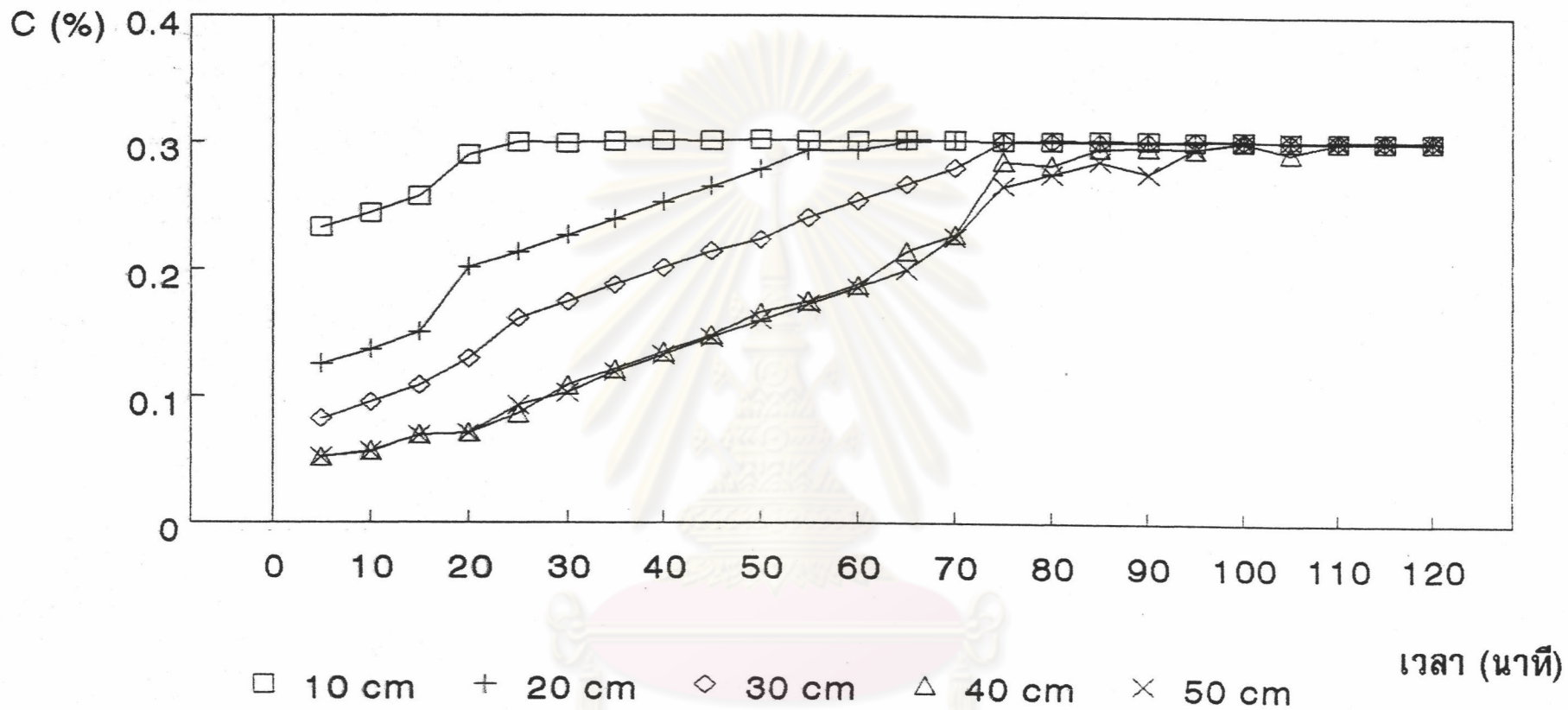
ปริมาณความชื้นเริ่มต้น ร้อยละ 0.3027

ความหนาแน่น 0.7923 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

การทดลองในแต่ละชุดของอัตราการป้อน ได้เตรียมสารดูดซับความชื้นโม่เลกูลาร์ ซีฟ ชนิดสามเอานุ่มทุกครั้ง โดยทำการชั่งและเติมลงในตะแกรงเพื่อบรรจุในหอดูดซับ ข้อมูลการทดลองในการเตรียมสารดูดซับแสดงในตารางที่ ก.21 ในภาคผนวก ก.

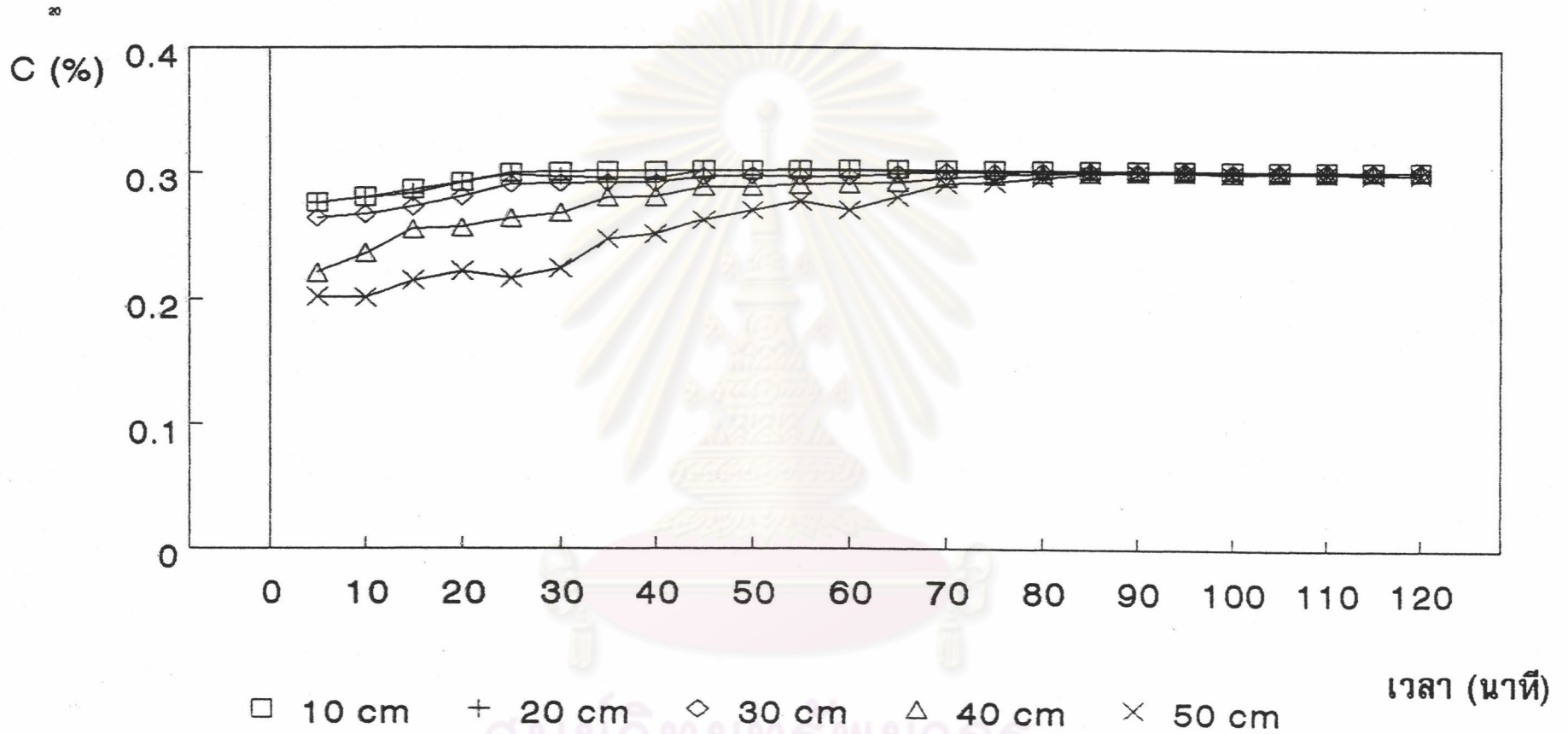
การทดลองได้ใช้ลมร้อนแห้งเป่าผ่านมาตรวัดอัตราการป้อน เพื่อตั้งระยะวาล์วของอัตราการป้อนนั้นๆ และทำการผ่านอะซิโตน โดยป้อนผ่านมาตรวัดอัตราการป้อนเข้าสู่หอดูดซับ ทำการเก็บตัวอย่างตามระยะการดูดซับที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 เซนติเมตร ทุกๆ 5 นาที พร้อมๆกันทุกระยะตัวอย่างอะซิโตนนำไปหาปริมาณความชื้น การทดลองในแต่ละชุดการทดลองดำเนินไปเป็นเวลา 120 นาที

สำหรับข้อมูลการทดลองที่อัตราการป้อน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที แสดงไว้ในตารางที่ ก.22, ก.23, ก.24 และ ก.25 ในภาคผนวก ก. จากข้อมูลการทดลอง ถ้านำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในแต่ละระยะการเก็บตัวอย่าง 10, 20, 30, 40 และ 50 เซนติเมตรของหอดูดซับ กับเวลาที่ผ่านไป ดังแสดงให้เห็นในกราฟความสัมพันธ์ที่ 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3 และ 4.2.4 สำหรับอัตราการป้อน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ากราฟทุกรูปจะมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน นั่นคือ ที่ระยะการเก็บตัวอย่างหนึ่งๆ เมื่อเวลาผ่านไป ปริมาณความชื้นจะเพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเมื่อเปรียบเทียบกับ ขณะเวลาใดเวลาหนึ่ง ปริมาณความชื้นจะลดลงเมื่อระยะของ

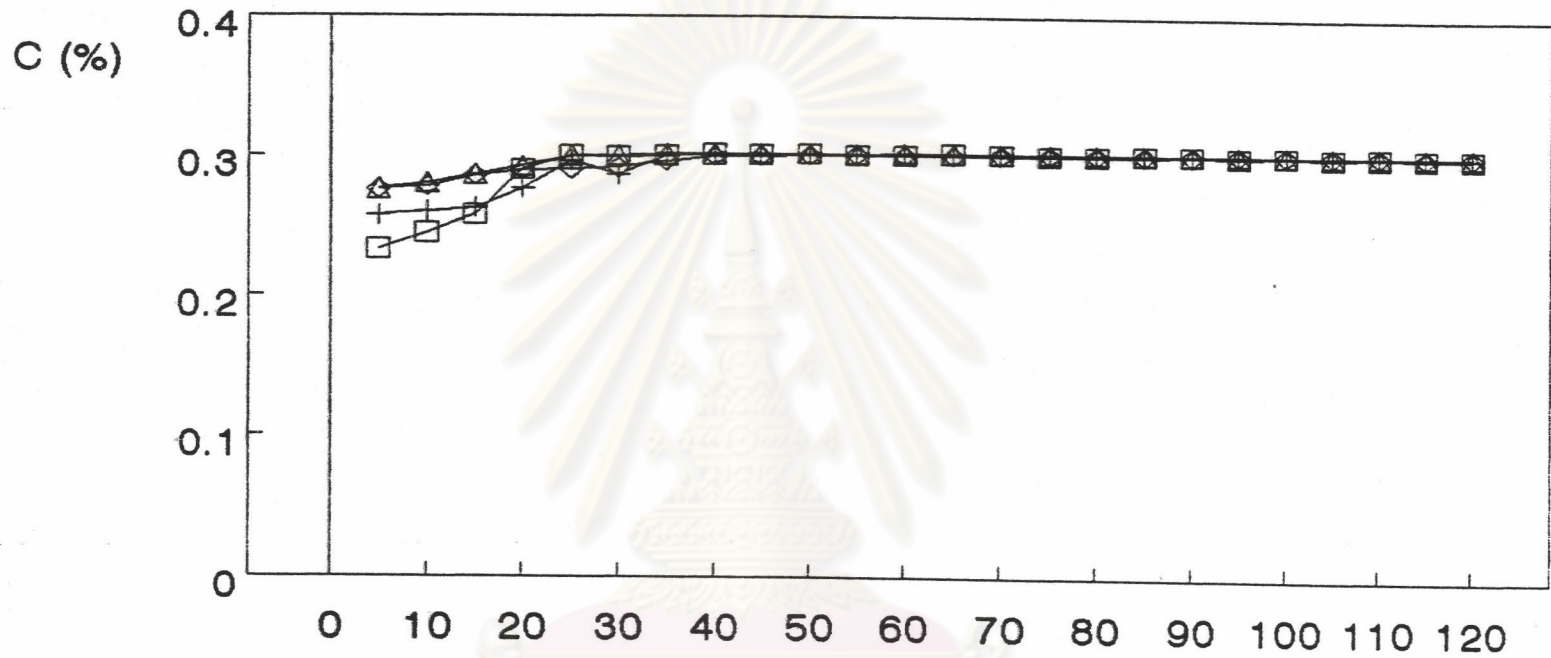


ภาพรูปที่ 4.2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่ผ่านออกมาจากระยะ 10, 20, 30, 40 และ 50 เซนติเมตรในหลอดซึบ กับเวลา (นาท) ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 5 ลิตรต่อนาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



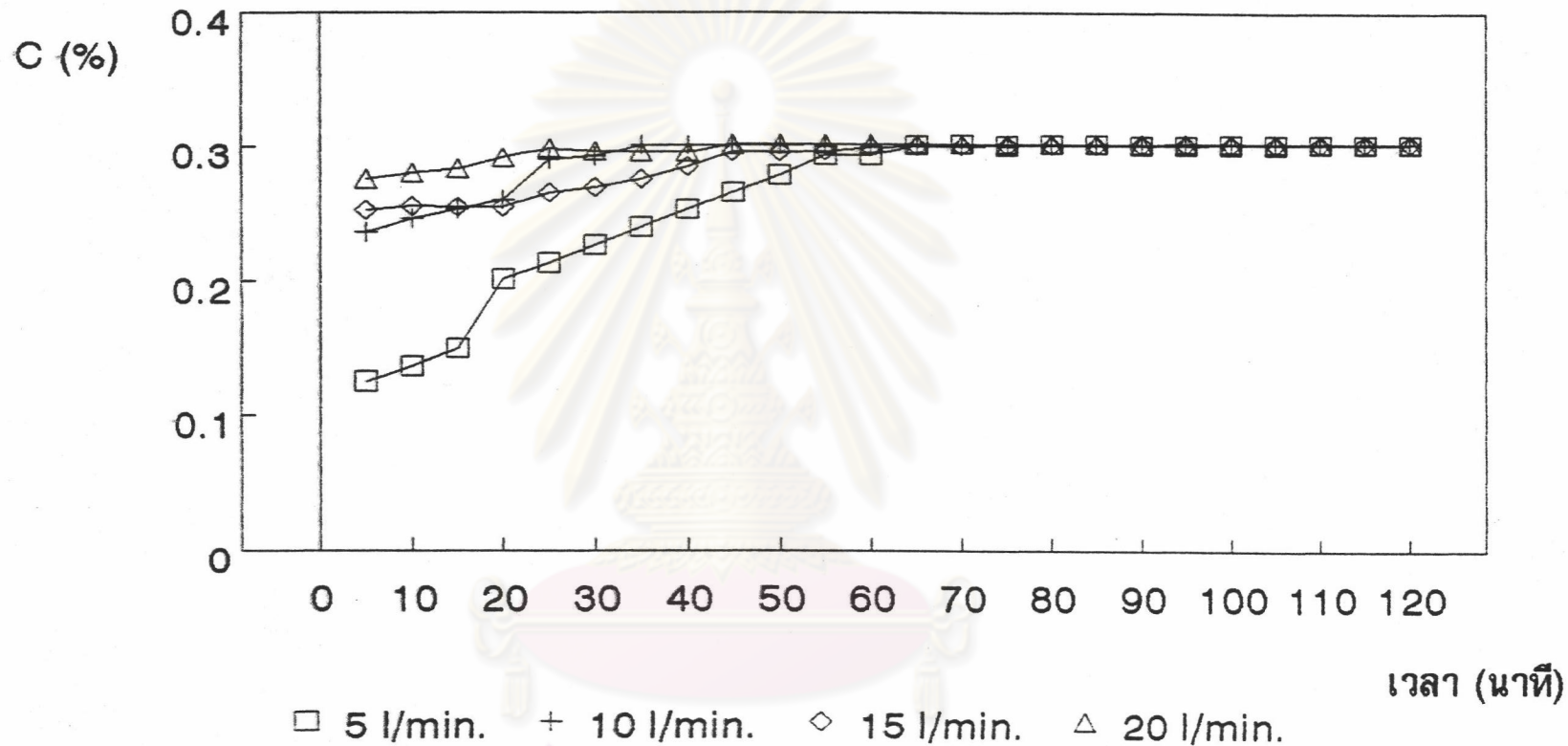
ภาพรูปที่ 4.2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่ผ่านออกมาจากระยะ 10, 20, 30, 40 และ 50 เซนติเมตรในหลอดซึบ กับเวลา (นาท) ที่อัตราการไอน้ำ 20 ลิตรต่อนาที



□ 5 l/min. + 10 l/min. ◇ 15 l/min. △ 20 l/min. เวลา (นาที)

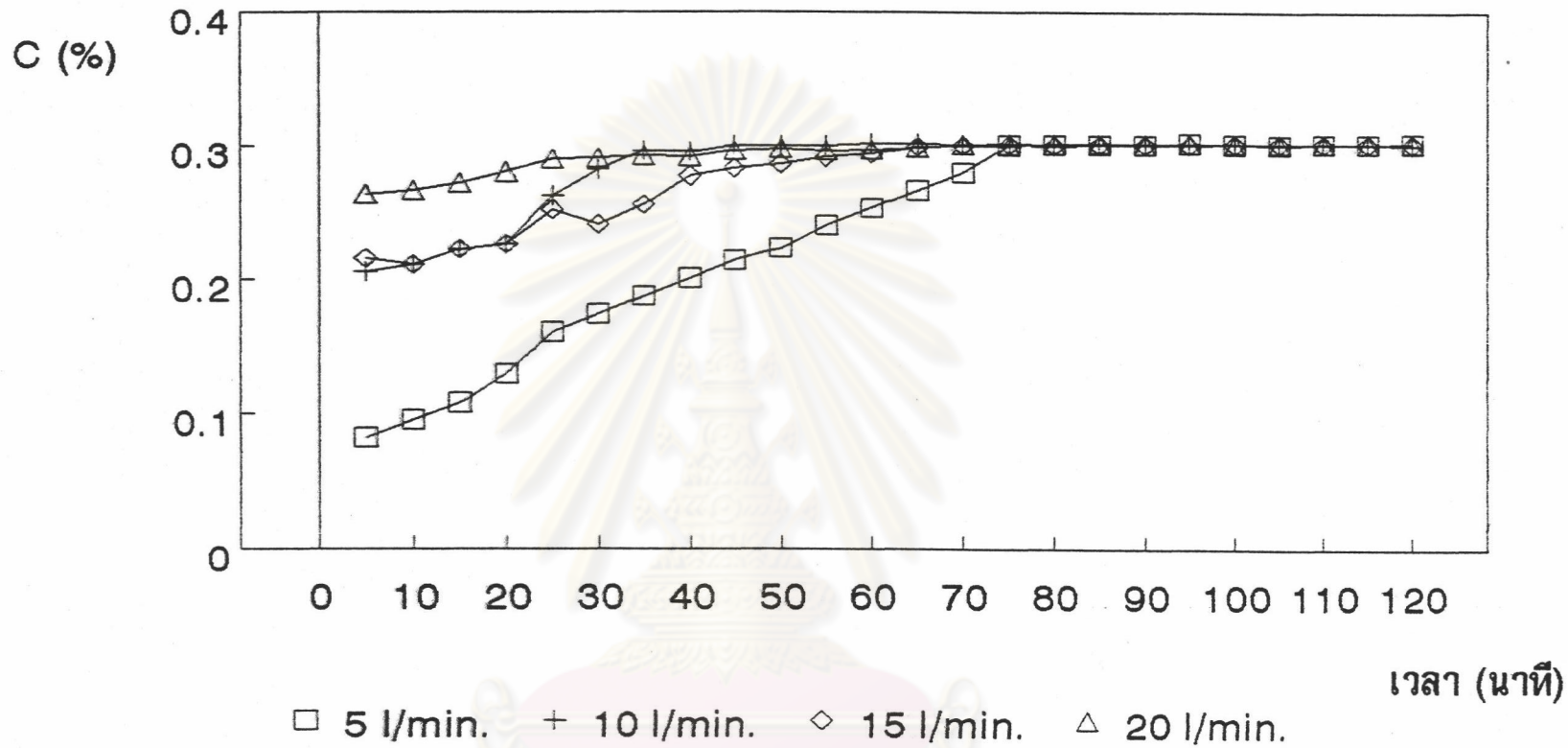
กราฟรูปที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่ผ่านออกมาจากระยะ 10 เซนติเมตรในหลอดซึบกับเวลา (นาที) ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



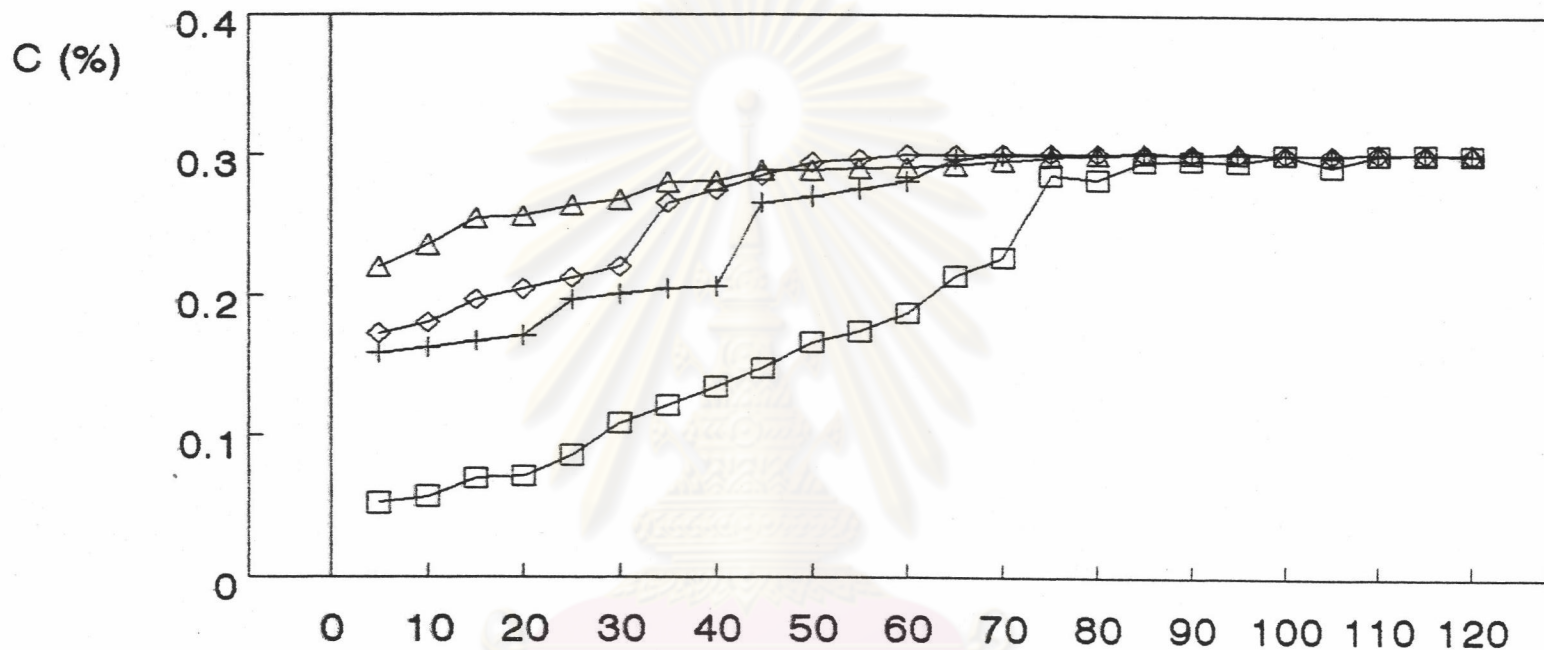
กราฟรูปที่ 4.2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนที่ผ่านออกมาจากกระชัง 20 เซนติเมตรในหอ
ดูดซับกับเวลา (นาที) ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กราฟรูปที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่ผ่านออกมาจากระยะ 30 เซนติเมตรในหอ
ดูดซับกับเวลา (นาท) ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

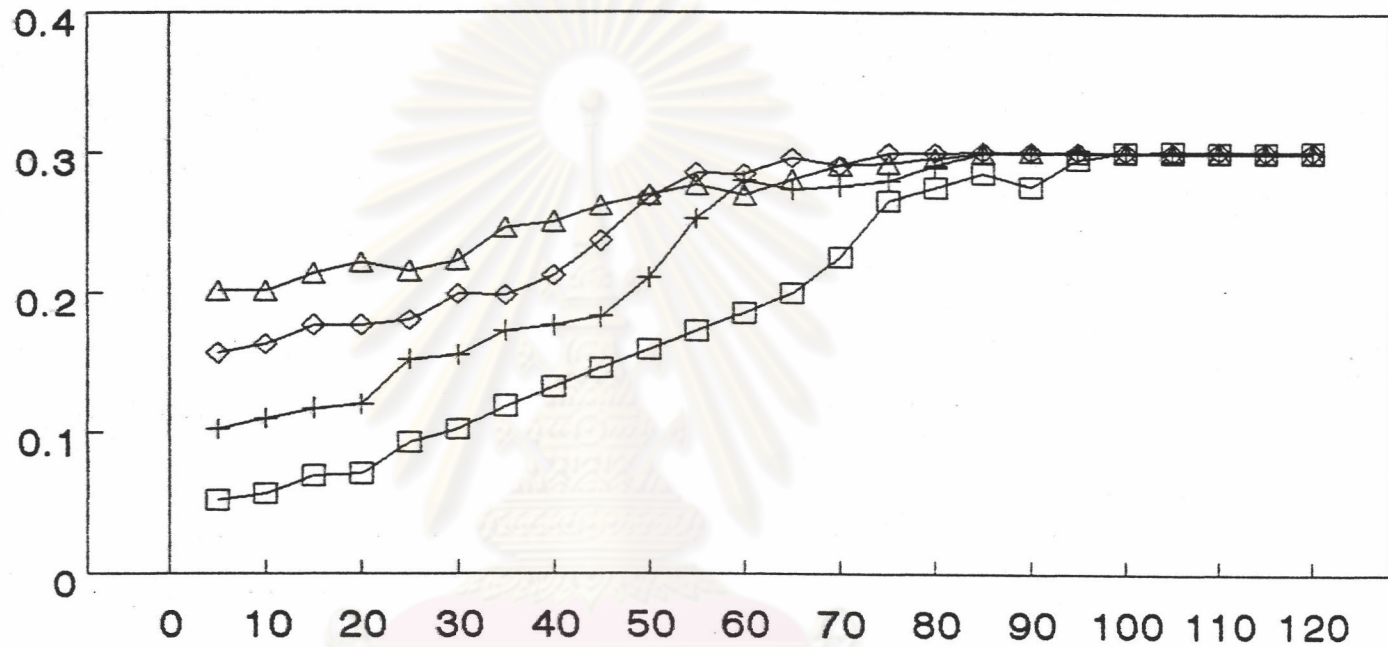


□ 5 l/min. + 10 l/min. ◇ 15 l/min. △ 20 l/min. เวลา (นาที)

กราฟรูปที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่ผ่านออกมาจากกระยะ 40 เซนติเมตรในหลอดซึบกับเวลา (นาที) ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

C (%)



เวลา (นาที)

□ 5 l/min. + 10 l/min. ◇ 15 l/min. △ 20 l/min.

ภาพรูปที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่ผ่านออกมาจากกระยะ 50 เซนติเมตรในหลอดซึ้กับเวลา (นาที) ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การดูดซับเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบผลของอัตราป้อนอะซิโตนเข้าสู่หอดูดซับ กับปริมาณความชื้นที่ระยะการดูดซับ 10, 20, 30, 40 และ 50 เซนติเมตร ดังแสดงในกราฟความสัมพันธ์ที่ 4.2.5, 4.2.6, 4.2.7, 4.2.8 และ 4.2.9 จะเห็นได้ว่า ที่อัตราการป้อนคงที่ค่าหนึ่งๆ เมื่อระยะของการดูดซับมากขึ้น เวลาของการเข้าสู่ภาวะการอิ่มตัวของการดูดซับจะเพิ่มขึ้น จากกราฟจะเห็นได้ว่า ที่ระยะการดูดซับ 10 เซนติเมตร จากการป้อนอะซิโตนเข้าสู่หอดูดซับ อัตราการป้อนอะซิโตนที่ 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที จะใช้เวลาเข้าสู่การอิ่มตัวของการดูดซับใกล้เคียงกัน คือ 30 นาที หลังจากการเกิดการดูดซับ ในขณะที่ระยะการดูดซับที่ 50 เซนติเมตร ที่ทุกอัตราการป้อน จะใช้เวลาในการเข้าสู่การอิ่มตัวของการดูดซับ 65 นาที จากกราฟความสัมพันธ์จะเห็นได้ว่า ที่อัตราการป้อน 5 ลิตรต่อนาที จะใช้เวลาของการเข้าสู่การอิ่มตัวของการดูดซับมากที่สุด ในขณะที่ที่อัตราการป้อน 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที เวลาของการเข้าสู่การอิ่มตัวของการดูดซับจะใกล้เคียงกัน แต่แนวโน้มจากกราฟจะพบว่า ที่ระยะของการดูดซับต่างๆ เช่นที่ระยะ 10 เซนติเมตร สารดูดซับความชื้นมีน้อย การดูดซับเกิดขึ้นได้และอิ่มตัวอย่างรวดเร็ว ปริมาณความชื้นในอะซิโตนที่เก็บตัวอย่างที่ระยะนี้ จะให้ค่าใกล้เคียงกับปริมาณความชื้นเริ่มต้น โดยจากกราฟการทดลองรูปที่ 4.2.5 จะพบว่าเวลาที่ 20 นาทีภายหลังการป้อนอะซิโตน ปริมาณความชื้นที่ระยะ 10 เซนติเมตรจะให้ค่าใกล้เคียงกับปริมาณความชื้นเริ่มต้น เมื่อระยะของการดูดซับเพิ่มมากขึ้น สารดูดซับมีมากขึ้น เกิดการดูดซับได้มากขึ้น ปริมาณความชื้นในอะซิโตนที่เก็บตัวอย่างได้จะพบว่า มีปริมาณน้อย ผลของอัตราการป้อนอะซิโตนที่เวลาคงที่จะพบว่า เมื่อระยะของการดูดซับมากขึ้น ที่อัตราการป้อน 5 ลิตรต่อนาที จะเกิดการดูดซับมากกว่าที่อัตราการป้อนสูงขึ้นไป เนื่องจากเวลาที่ความชื้นได้สัมผัสสารดูดซับเพื่อให้เกิดการดูดซับมีมากกว่า ในขณะที่ระยะของการดูดซับความชื้นต่างๆ ที่เวลาคงที่ อัตราการป้อนมีผลต่อการดูดซับน้อยกว่าที่ระยะของการดูดซับสูงๆ

จากกราฟการทดลองรูปที่ 4.2.5 ขณะเกิดการดูดซับที่เวลา ก่อน 20 นาที อัตราการป้อนทุกค่าจะให้ผลปริมาณความชื้นที่ระยะ 10 เซนติเมตรใกล้เคียงกัน ที่ระยะ 20 เซนติเมตร กราฟรูปที่ 4.2.6 พบว่าอัตราการป้อน 5 ลิตรต่อนาที จะให้ผลการทดลองแตกต่างจากที่อัตราการป้อนค่าอื่นๆ นั่นคือใช้เวลาในการอิ่มตัวมากขึ้น

และเมื่อระยะเวลาการดูดซับมากขึ้น อัตราการป้อนอะซิโตนที่อัตราค่าต่างๆ จะแตกต่างกันมากขึ้น ดังจะเห็นได้ว่าที่ระยะ 50 เซนติเมตร ปริมาณความชื้นที่ออกมาในระยะนี้ที่เวลาคงที่ค่าหนึ่งๆจะต่ำลง ถ้าอัตราการป้อนน้อยลง

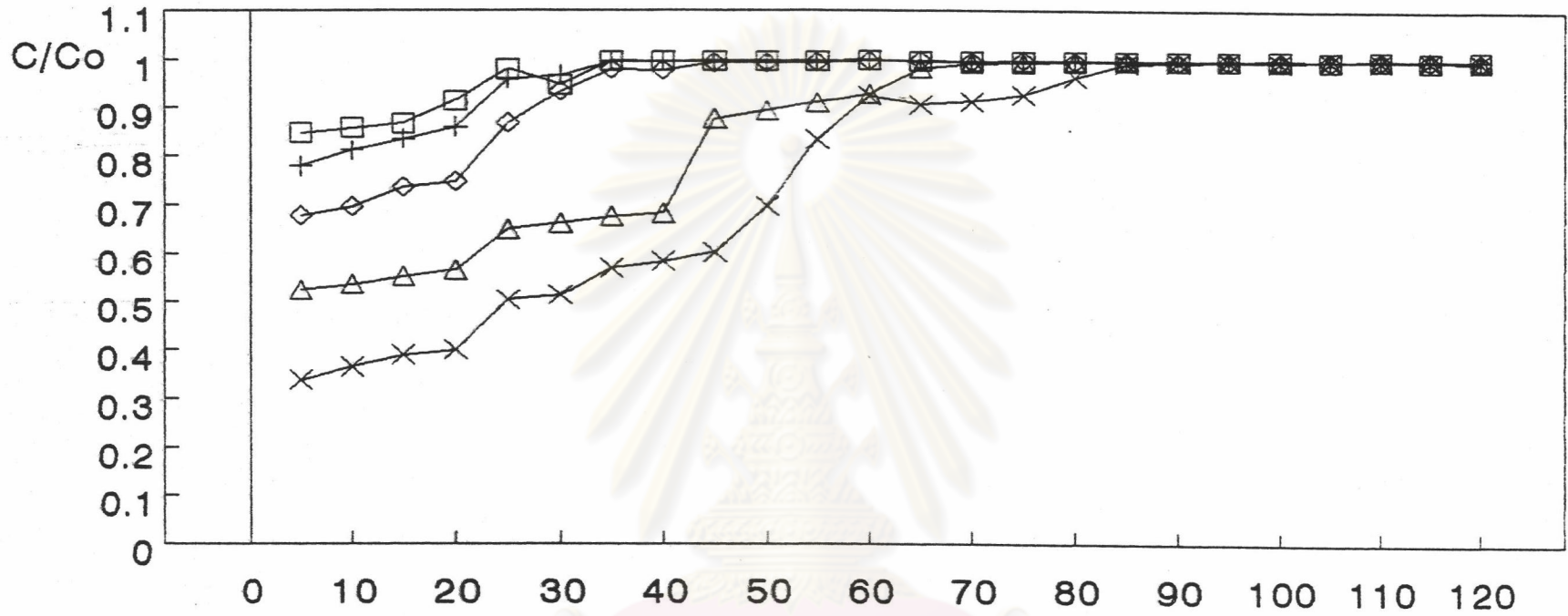
สัดส่วนของปริมาณความชื้นที่เวลาใดเวลาหนึ่งกับปริมาณความชื้นเริ่มต้น เมื่อนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์กับเวลา ดังแสดงไว้ในกราฟความสัมพันธ์ที่ 4.2.10, 4.2.11, 4.2.12 และ 4.2.13 ซึ่งเรียกกราฟดังกล่าวว่า Breakthrough Curve ที่อัตราการป้อน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที ซึ่งกราฟจะมีลักษณะตัวเอส (S) เมื่อเวลาผ่านไป จะเป็นการเคลื่อนที่ของกราฟตัวเอส หมายถึง เขตของการดูดซับในหอดูดซับ ถ้ากำหนดค่าที่ ความยาวของเขตของการถ่ายเทมวลสารในหอดูดซับ เริ่มจากการดูดซับจนปริมาณความชื้นลดลงเป็น 0.1 เท่าของปริมาณความชื้นเริ่มต้น หรือปริมาณความชื้นบี (C_B) ดังแสดงในสมการที่ 4.3

$$C_B = 0.1 C_0 \quad \dots 4.3$$

$$C_E = 0.9 C_0 \quad \dots 4.4$$

และเวลาขณะที่มีปริมาณความชื้นบีเป็นเวลาที่บี (t_B) ไปจนถึงปริมาณความชื้นที่เกิดการดูดซับแล้ว 0.9 เท่าของปริมาณความชื้นเริ่มต้น หรือปริมาณความชื้นอี (C_E) ดังสมการที่ 4.4 และเวลาขณะที่มีปริมาณความชื้นอี เป็นเวลาที่อี (t_E) ดังนั้น เวลาของเขตของการถ่ายเทมวลสารในหอดูดซับ จากกราฟ Breakthrough Curve จึงเป็นผลต่างของเวลาที่อีและเวลาที่บี

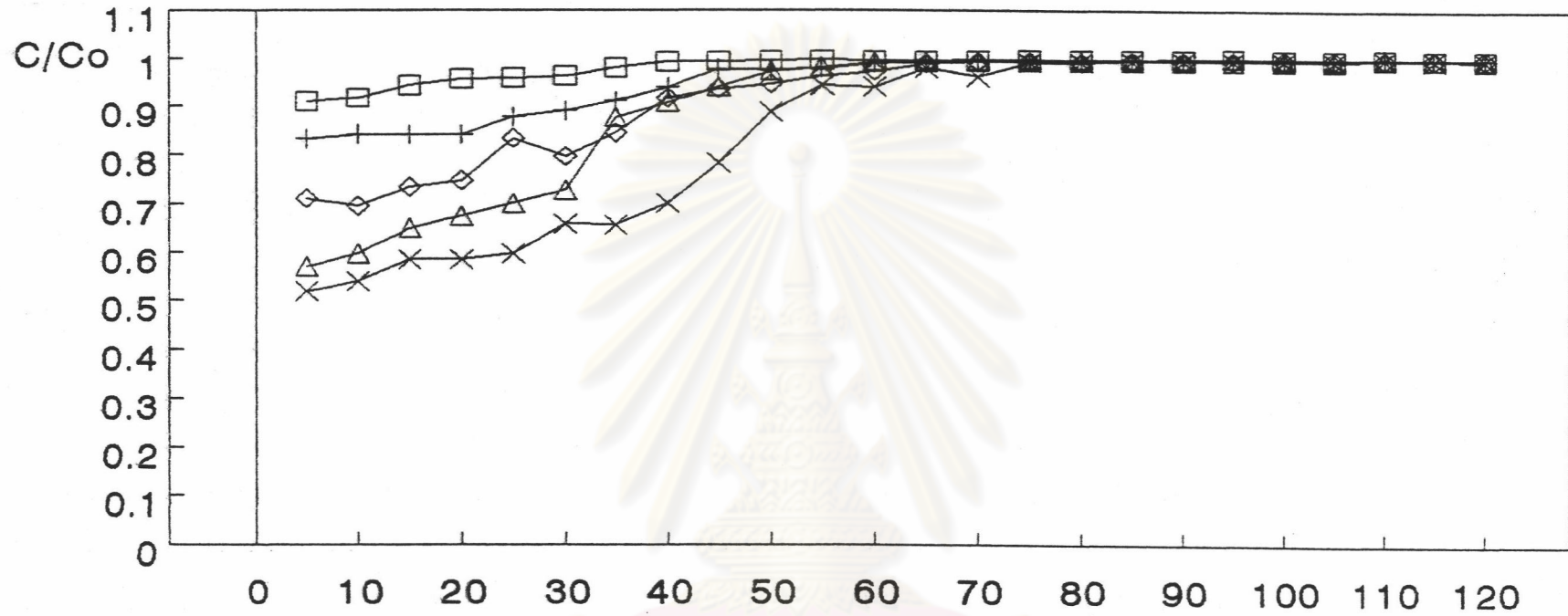
จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ที่ระยะเวลาการดูดซับต่างๆ เช่นที่ 10, 20 เซนติเมตร ปริมาณความชื้นที่ออกมาจะให้ค่าสูงกว่าปริมาณความชื้นที่ค่า C_B จึงทำให้ไม่สามารถนำเวลามาคำนวณหาเวลาของเขตของการถ่ายเทมวลสารได้ เนื่องจากที่ระยะดังกล่าวเป็นช่วงหนึ่งของการถ่ายเทมวลสาร การทดลองในครั้งนี้จึงเลือกนำค่าปริมาณความชื้นที่ออกมาที่ระยะ 50 เซนติเมตรเป็นตัวแทนของการถ่ายเทมวลสารในหอดูดซับที่อัตราการป้อนค่าหนึ่งๆ และจากกราฟรูปตัวเอส ค่อนข้างที่จะสมมาตร จึงำช้ตำแหน่งที่ปริมาณความชื้นเป็น 0.5 เท่าของปริมาณความชื้นเริ่มต้น จนถึงปริมาณความชื้นที่ C_E นำมาคำนวณหาเวลาของเขตของการถ่ายเทมวลสาร นั่นคือเป็นสองเท่าของเวลาช่วงดังกล่าว สำหรับที่อัตราการป้อน 20 ลิตรต่อนาที เวลาของเขต



□ 10 cm + 20 cm ◇ 30 cm △ 40 cm × 50 cm เวลา (นาท)

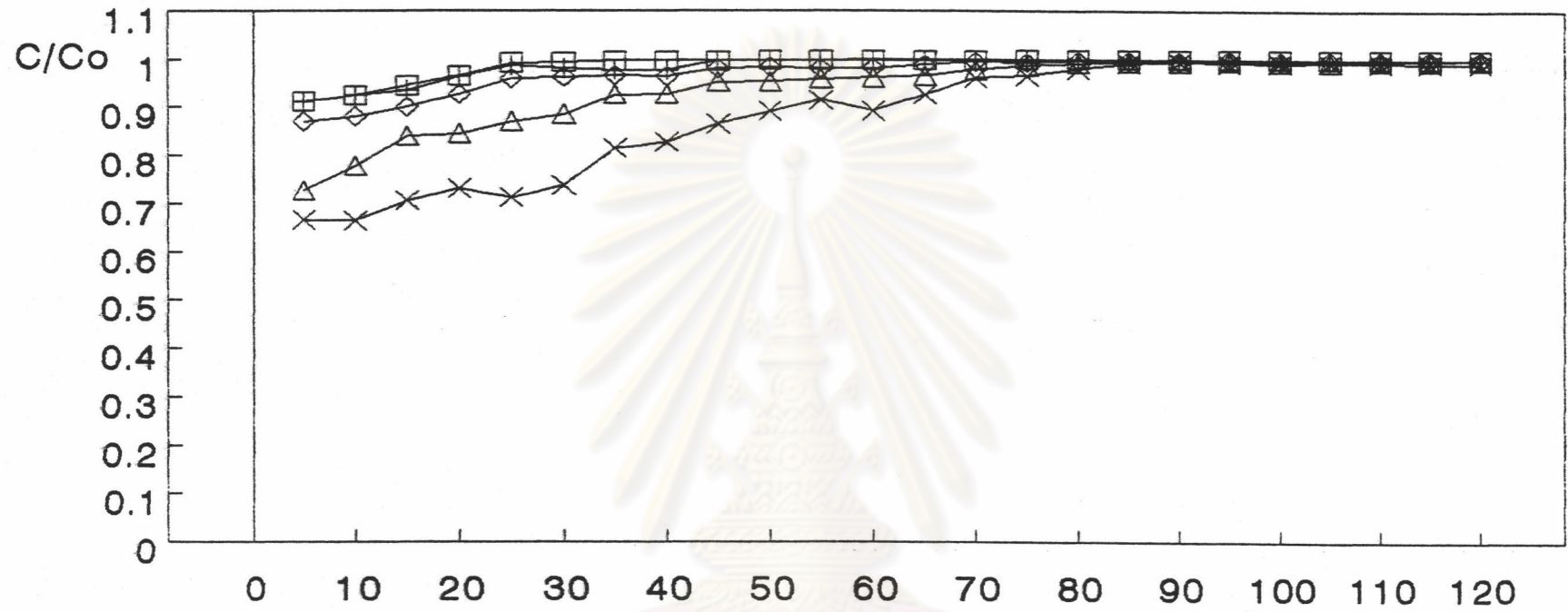
ภาพรูปที่ 4.2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของปริมาณความชื้นที่ผ่านออกมาจากระยะ 10, 20, 30, 40 และ 50 เซนติเมตรในหอคูลูบับ ขณะเวลาใด ต่อปริมาณความชื้นเริ่มต้น กับเวลา (นาท) ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 10 ลิตรต่อนาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



□ 10 cm + 20 cm ◇ 30 cm △ 40 cm × 50 cm เวลา (นาฬิกา)
 ภาพรูปที่ 4.2.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของปริมาณความชื้นที่ผ่านออกมาจากระยะ 10, 20, 30, 40 และ 50 เซนติเมตรในหลอดดูดซับ ขณะเวลาใด ต่อปริมาณความชื้นเริ่มต้น กับเวลา (นาฬิกา) ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 15 ลิตรต่อนาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



□ 10 cm + 20 cm ◇ 30 cm △ 40 cm × 50 cm เวลา (นาท)

ภาพรูปที่ 4.2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของปริมาณความชื้นที่ผ่านออกมาจากระยะ 10, 20, 30, 40 และ 50 เซนติเมตรในหลอดขับ ขณะเวลาใด ต่อปริมาณความชื้นเริ่มต้น กับเวลา (นาท) ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 20 ลิตรต่อนาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ของการถ่ายเทมวลสารเป็นสี่เท่าของเวลาที่ปริมาณความชื้นเป็น 0.7 เท่าของปริมาณความชื้นเริ่มต้น จนถึงเวลาที่ C_E กราฟ Breakthrough Curve ที่ระยะดูดซับต่างๆ จะคล้ายคลึงกัน และเป็นการดำเนินไปในเวลาต่างๆกัน สำหรับเวลาของเขตของการถ่ายเทมวลสารในหอดูดซับที่อัตราการป้อน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที แสดงไว้ในตารางที่ 4.2.1

อัตราการป้อนอะซิโตน (ลิตรต่อนาที)	เวลาของเขตของการถ่ายเทมวลสาร (นาที)
5	60
10	63
15	96
20	144

ตารางที่ 4.2.1 แสดงเวลาของเขตของการถ่ายเทมวลสาร ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที

จากผลการทดลอง ถ้าวิเคราะห์กราฟ Breakthrough Curve ในขณะที่ทำการทดลองที่ 20 องศาเซลเซียส จะให้ข้อมูลของปริมาณการดูดซับจากกราฟสมดุลการดูดซับที่ทำการทดลองในครั้งแรกเพื่อนำมาคำนวณหาความยาวของเขตของการถ่ายเทมวลสาร โดยพิจารณาที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ทดลอง คือ ร้อยละ 0.3025 และ ร้อยละ 0.3027 แล้วนำมาคำนวณหาค่า adsorption parameter เพื่อนำมาคำนวณหาจำนวนของหน่วยการถ่ายเท (NTU) ตามสมการที่ 2.23 ซึ่งแสดงไว้ใน บทที่ 2 ค่าที่คำนวณได้นี้ จะนำไปคำนวณหาความยาวของเขตของการถ่ายเทมวลสารต่อไป

คุณสมบัติของช่วงของการดูดซับสั้นๆ โดยไม่พิจารณาการดูดซับในเชิงกระจายรัศมี (Axial dispersion) จะได้ดังสมการที่ 2.13 บทที่ 2 การดำเนินไปของกราฟ Breakthrough Curve ระยะเวลาหนึ่งๆ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความเข้มข้นที่ถูกดูดซับ หรืออาจกล่าวได้ว่าเกิดจากแรงผลักดันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น (The Concentration driving force) ซึ่งความเร็วของการดำเนินไปของกราฟ คือ ความเร็วของเขตของการถ่ายเทมวลสารในหอดูดซับ $V(C)$ คำนวณได้จากสมการที่ 4.5

$$V(C) = u/[p_b(q_0/C_0)] \quad \dots 4.5$$

ความยาวของเขตการถ่ายเทมวลสารในหอดูดซับ คำนวณได้จากผลคูณของความเร็วของเขตของการถ่ายเทมวลสารในหอดูดซับและเวลาของเขตของการถ่ายเทมวลสาร ดังสมการที่ 4.6

$$Z_a = V(C) \cdot (t_E - t_B) \quad \dots 4.6$$

ผลการทดลอง เมื่อคำนวณหาความยาวของขอบเขตของการถ่ายเทมวลสารในหอดูดซับ ที่อัตราการป้อน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที เป็นไปในตารางที่ 4.2.2

อัตราการป้อนอะซิโตน (L./min.)	$V(C)$ (cm./min.)	$t_E - t_B$ (min.)	Z_a (cm.)
5	7.48	60.00	448.91
10	14.95	63.00	942.11
15	22.48	96.00	2,157.80
20	29.97	144.00	4,315.60

ตารางที่ 4.2.2 แสดงความยาวของขอบเขตของการถ่ายเทมวลสารในหอดูดซับ ที่อัตราการป้อน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2.2 พบว่า อัตราการป้อนอะซิโตนมีผลต่อความเร็วของเขตของการถ่ายเทมวลสารในหอดูดซับ เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนอะซิโตนกับความเร็วของเขตของการถ่ายเทมวลสารในหอดูดซับ แสดงไว้ในกราฟรูปที่ 4.2.14 จะได้กราฟเส้นตรง เมื่ออัตราการป้อนอะซิโตนเพิ่มขึ้น ความเร็วของเขตของการถ่ายเทมวลสารในหอดูดซับจะเพิ่มขึ้นตาม จากสมการความเร็วของเขตของการถ่ายเทมวลสารในหอดูดซับจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาแน่นของเบต แต่ในการทดลองความหนาแน่นของเบตเตรียมไว้ใกล้เคียงกัน ทำให้ปัจจัยแปรเปลี่ยนของความเร็วของเขตของการถ่ายเทมวลสารขึ้นอยู่กับอัตราการป้อนอะซิโตน เพียงอย่างเดียว

สำหรับความยาวของเขตของการถ่ายเทมวลสารในหอดูดซับ จากการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่ออัตราการป้อนมากขึ้น ความยาวของเขตของการถ่ายเทมวลสารจะเพิ่มขึ้นตาม และเมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนอะซิโตนกับความยาวของเขตของการถ่ายเทมวลสารในหอดูดซับ ดังแสดงไว้ในกราฟรูปที่ 4.2.15 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า เมื่ออัตราการป้อนอะซิโตนสูงขึ้น จะต้องใช้ระยะเวลาการดูดซับเพื่อให้ปริมาณความชื้นเป็น 0.1 เท่าของปริมาณความชื้นเริ่มต้น และปริมาณความชื้นเป็น 0.9 เท่าของปริมาณความชื้นเริ่มต้นยาวนาน กราฟความสัมพันธ์เป็นกราฟโค้งขึ้น หมายถึงเมื่ออัตราการป้อนอะซิโตนมากขึ้น ความยาวของเขตของการถ่ายเทมวลสารจะเพิ่มขึ้น ตามปัจจัยสำคัญ ประการหนึ่งที่มีผลต่อความยาวของเขตของการถ่ายเทมวลสารในหอดูดซับที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความหนาแน่นของเบตด้วยเช่นกัน การทดลองกระทำที่ความหนาแน่นของเบตเฉลี่ย 0.7965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จึงต้องใช้ระยะทางในการดูดซับมาก

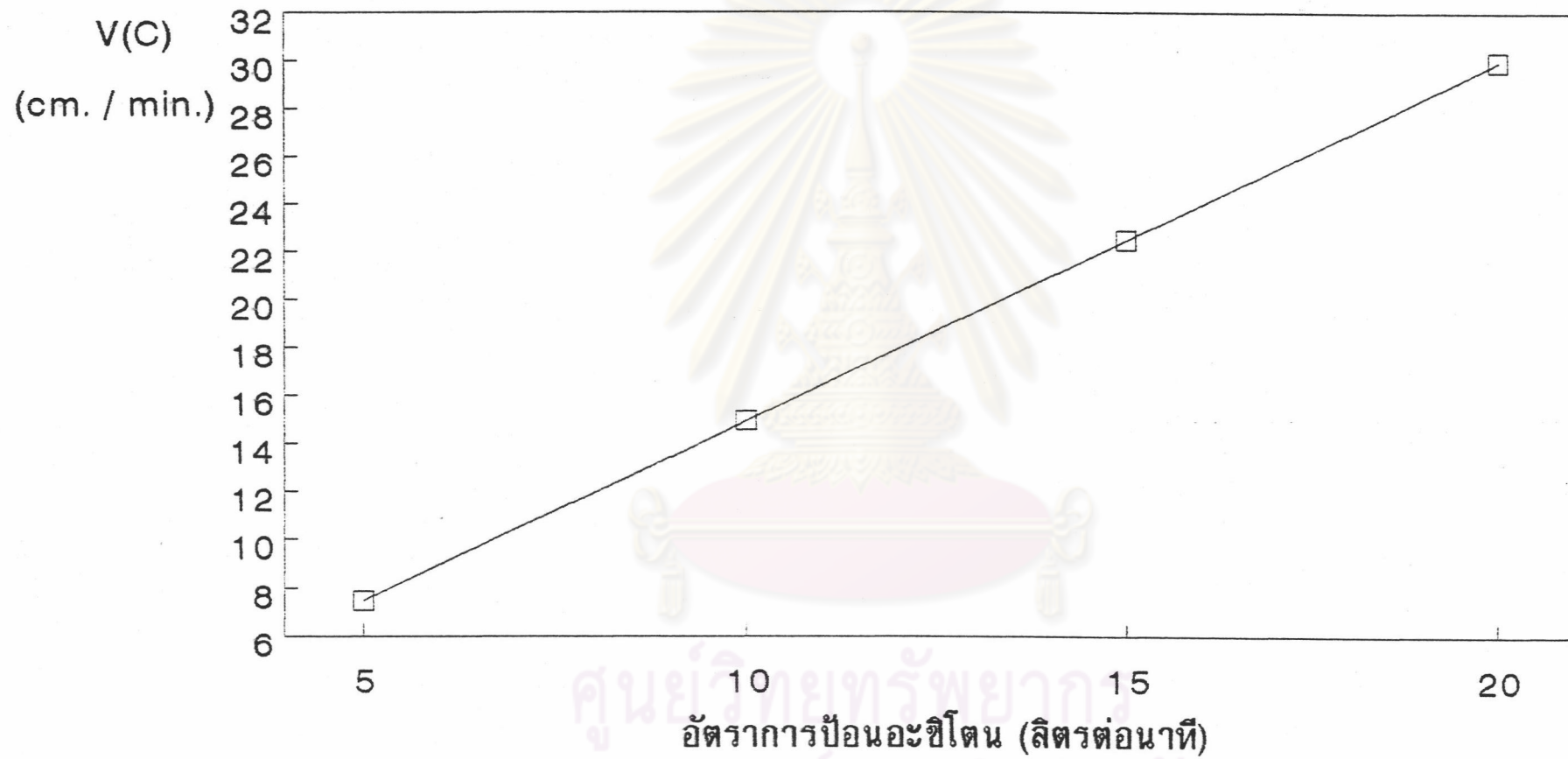
และจากผลการทดลองที่ได้ สามารถจะนำเอาความยาวของเขตของการถ่ายเทมวลสารในหอดูดซับมาคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารรวม (K_{Fav}) โดยที่จำนวนของหน่วยการถ่ายเทมวลสาร (NTU) โดยนำปริมาณการดูดซับสำหรับปริมาณความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 0.3025 และร้อยละ 0.3027 ที่อุณหภูมิการทดลอง 20 องศาเซลเซียส จากกราฟสมดุลการดูดซับที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งทำการทดลองไว้ในตารางทดลองแรก

การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารรวมและจำนวนของหน่วยการถ่ายเทมวลสาร ที่การทดลองอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส อัตราการป้อน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที แสดงไว้ในตารางที่ 4.2.3

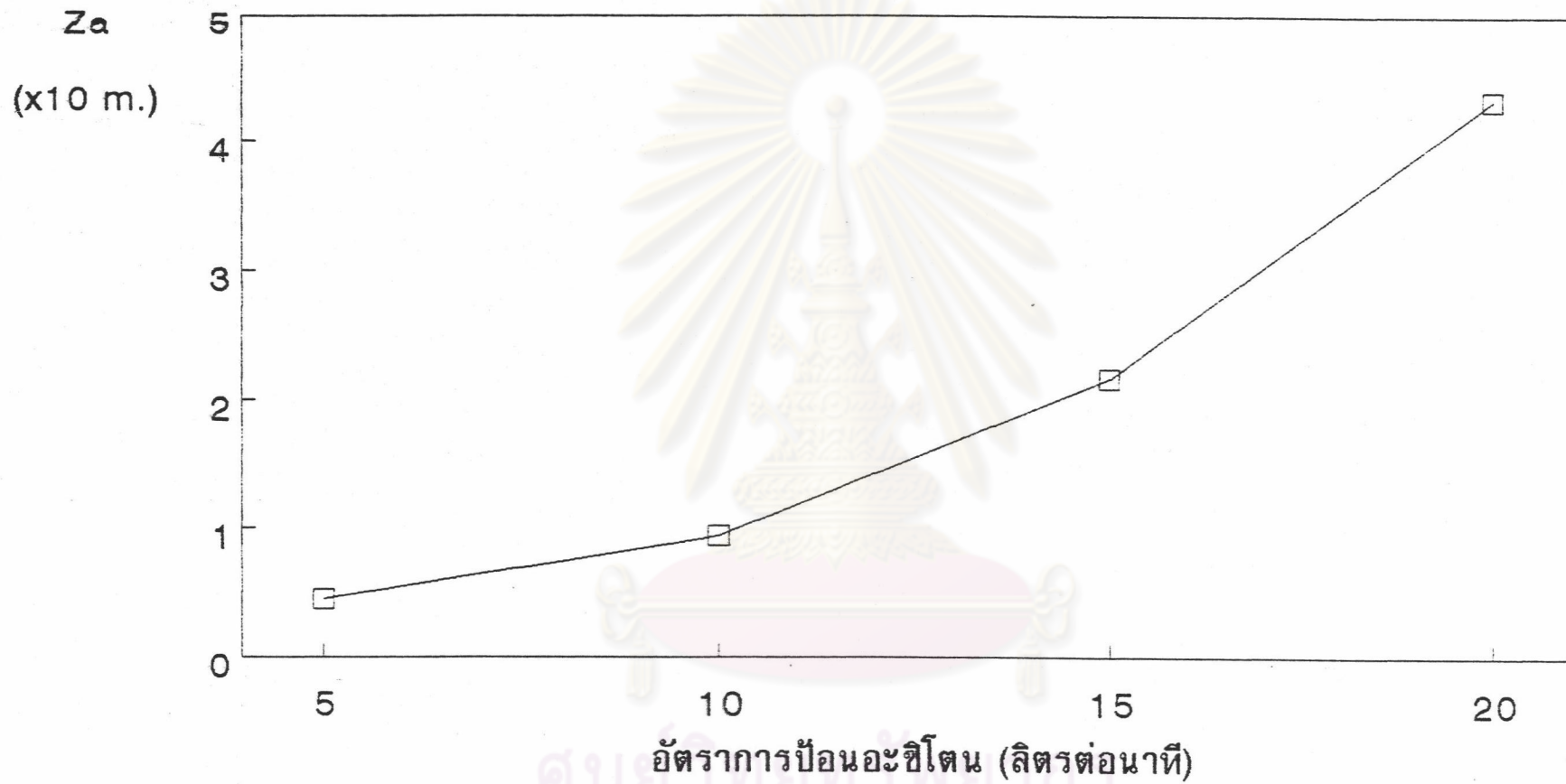
อัตราการป้อนอะซิโตน (ลิตรต่อนาที)	จำนวนของหน่วยการถ่ายเท มวลสาร (NTU)	สัมประสิทธิ์การ ถ่ายเทมวลสารรวม (นาท) ⁻¹
5	511.66	70.27
10	511.66	66.96
15	511.66	43.85
20	511.66	29.24

ตารางที่ 4.2.3 แสดงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารรวมและจำนวนของหน่วยการถ่ายเทมวลสาร ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที

จากตารางการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารรวม พบว่าเมื่ออัตราการป้อนอะซิโตนเพิ่มขึ้น สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารรวมจะมีค่าลดลงเนื่องมาจากเกิดการดูดซับได้น้อยลง และเพื่อให้เห็นแนวโน้มของการลดลงของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารรวม จึงสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารรวมกับอัตราการป้อนอะซิโตน ดังกราฟรูปที่ 4.2.16



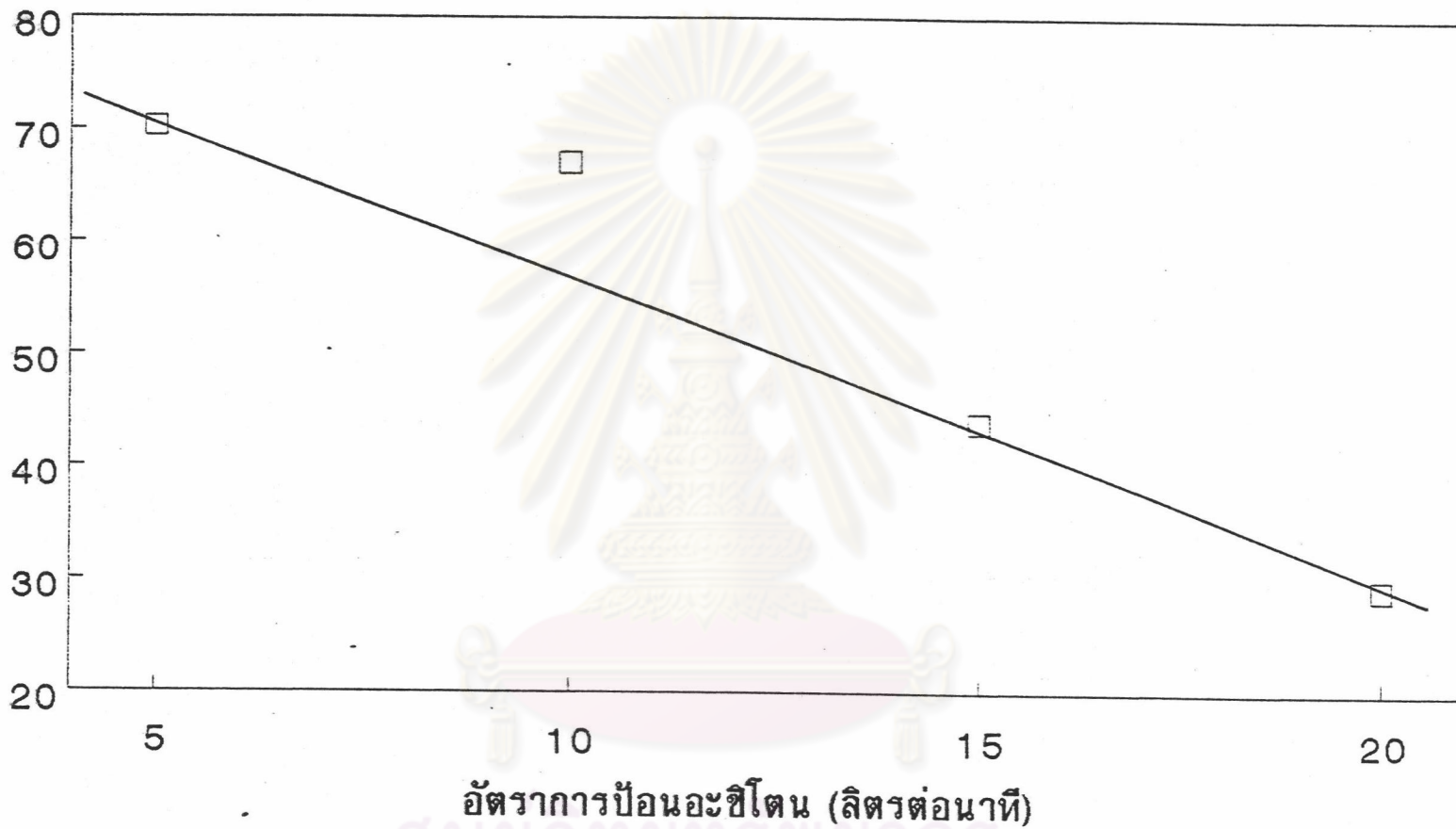
กราฟรูปที่ 4.2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของขอบเขตของการถ่ายเทมวลสาร กับอัตราการป้อนอะซิโตน



กราฟรูปที่ 4.2.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของขอบเขตของการถ่ายเทมวลสาร กับอัตราการใช้ปุ๋ยยูเรีย

สัมประสิทธิ์การถ่ายเท

มวลสารรวม (นาท)



กราฟรูปที่ 4.2.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารรวม กับอัตราการป้อนอะซิโตน