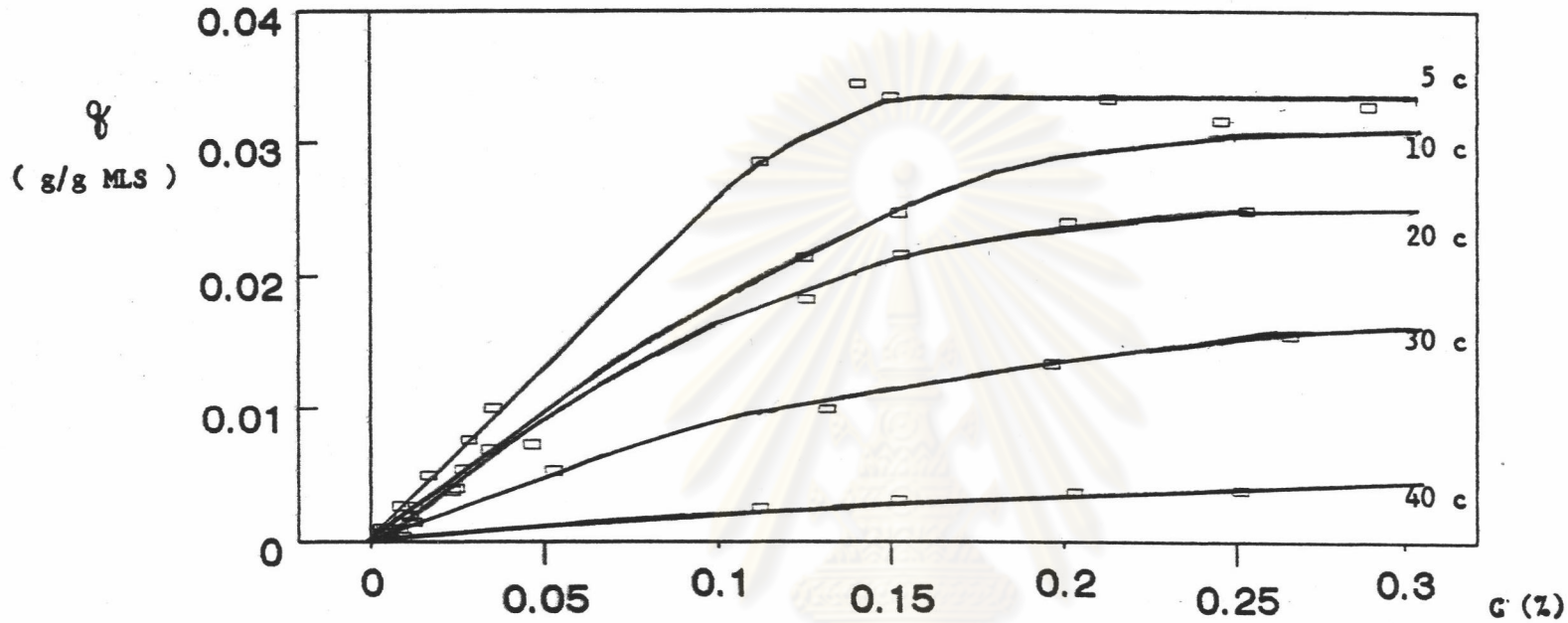
บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 วิจารณ์ผลการทดลองเพื่อหาสมดุลการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน เมื่อแปรเปลี่ยนอุณหภูมิ

การทดลองเพื่อหาสมดุลการดูดซับความชื้นโดยวิธีการป้อนอะซิโตนผ่านหอดูดซับที่บรรจุสารดูดซับโมเลคูลาร์ ซีฟ ชนิดสามเอที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว อะซิโตนที่ใช้ทดลองในแต่ละชุดการทดลองจะแปรค่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นโดยการเติมน้ำกลั่น เมื่ออะซิโตนผ่านเข้าหอดูดซับแล้ว จะนำกลับมาผสมกับอะซิโตนในเครื่องปฏิกรณ์และทำการป้อนกลับเข้าหอดูดซับอีกอย่างต่อเนื่องเป็นวงจร (Cycle) การทดลองในแต่ละชุดการทดลองใช้เวลาในการทดลอง 2 ชั่วโมง แล้วทำการเก็บตัวอย่างอะซิโตน เพื่อตรวจสอบหาปริมาณความชื้นในอะซิโตน หลังจากนั้นให้อะซิโตนผ่านเข้าหอดูดซับอีกเพื่อตรวจสอบหาปริมาณความชื้นในอะซิโตนเป็นระยะจนกว่าปริมาณความชื้นจะคงที่ จึงเปลี่ยนชุดการทดลอง ในแต่ละชุดการทดลองจะทำการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผลการทดลองที่อุณหภูมิการทดลองเดียวกัน

การทดลองดังกล่าวข้างต้นเป็นวิธีหนึ่งของการหาสมดุลการดูดซับที่เรียกว่าวิธี Uptake Rate Experiment โดยทำการดูดซับอย่างต่อเนื่อง การทดลองได้แปรเปลี่ยนปริมาณความชื้นเริ่มต้น โดยค่าปริมาณความชื้นที่ใช้เริ่มแรกจะน้อยกว่าร้อยละ 0.1 จนกระทั่งไม่เกินร้อยละ 0.4 ซึ่งเป็นปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่กำหนดไว้สำหรับอะซิโตนที่จะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตยาปฏิชีวนะ จากผลการทดลองเมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับปริมาณการดูดซับที่อุณหภูมิการทดลอง 5, 10, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส ดังแสดงไว้ในกราฟความสัมพันธ์ที่ 5.1.1 จะเห็นได้ว่าทุกกราฟในแต่ละอุณหภูมิเป็นกราฟความสัมพันธ์แบบที่ 2 นั่นคือเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับก็จะเพิ่มขึ้น และจะคงที่ที่ปริมาณการดูดซับค่าหนึ่ง หลังจากนั้นถ้าเพิ่มปริมาณความชื้น ปริมาณการดูดซับก็จะไม่เพิ่มขึ้นตาม จากกราฟที่อุณหภูมิการทดลองที่ 5 องศาเซลเซียส ปริมาณการดูดซับ



กราฟรูปที่ 5.1.1 แสดงกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับกับปริมาณความชื้น ของสมดุลการดูดซับที่อุณหภูมิ 5, 10, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ประมาณ 0.032 กรัมต่อกรัมสารดูดซับ ซึ่งใกล้เคียงกันมาก จึงกล่าวได้ว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส ปริมาณการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน 0.032 กรัมต่อกรัมสารดูดซับ จากกราฟจะพบว่าเมื่ออุณหภูมิการทดลองเพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับที่คงที่จะต่ำลง ซึ่งอาจอธิบายได้ว่า กระบวนการดูดซับความชื้นจากอะซิโตนเป็นกระบวนการของปฏิกิริยาคายความร้อน เมื่อทำการทดลองลดอุณหภูมิ ปฏิกิริยาจะดำเนินไปข้างหน้า นั่นคือ การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีขึ้น และจากการทดลองทำการดูดซับที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงอุณหภูมิจุดเดือดของอะซิโตนคือ 56.2 องศาเซลเซียส ปริมาณการดูดซับที่คงที่จะต่ำมาก คือ 0.0045 กรัมต่อกรัมสารดูดซับ ซึ่งแทบไม่เกิดการดูดซับเลยที่อุณหภูมิสูง แต่จากกราฟการทดลองได้ทำการทดลองที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้นไม่เกินร้อยละ 0.4 เมื่อเพิ่มปริมาณความชื้นเริ่มต้นมากกว่า 0.4 อาจทำให้ลักษณะกราฟที่ปริมาณความชื้นสูงๆ ไม่เป็นไปตามกราฟที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองได้นำอะซิโตนที่ปรับอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ออกมาผ่านเข้าหอดูดซับที่ไม่มีส่วนที่สัมผัสกับอุปกรณ์ให้อุณหภูมิ ซึ่งเมื่อทำการทดลองวัดอุณหภูมิภายในหอดูดซับเมื่อผ่านอะซิโตนที่ปรับอุณหภูมิแล้ว ข้อมูลการทดลองเป็นดังนี้

อุณหภูมิอะซิโตน	5 ^{o}c	อุณหภูมิภายในหอดูดซับเฉลี่ย	5.211 ^{o}c
อุณหภูมิอะซิโตน	10 ^{o}c	อุณหภูมิภายในหอดูดซับเฉลี่ย	11.670 ^{o}c
อุณหภูมิอะซิโตน	20 ^{o}c	อุณหภูมิภายในหอดูดซับเฉลี่ย	20.763 ^{o}c
อุณหภูมิอะซิโตน	30 ^{o}c	อุณหภูมิภายในหอดูดซับเฉลี่ย	32.005 ^{o}c
อุณหภูมิอะซิโตน	40 ^{o}c	อุณหภูมิภายในหอดูดซับเฉลี่ย	44.030 ^{o}c

จะพบว่าเกิดการแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่อุณหภูมิสูงๆ ทำให้ผลการทดลองเกิดการควบคุมอุณหภูมิคลาดเคลื่อน กราฟการทดลองจึงเป็นกราฟสมดุลการดูดซับที่อุณหภูมิต่างจากอุณหภูมิที่อะซิโตนเริ่มต้นประมาณ 2 องศาเซลเซียส จากการทดลองได้ใช้ Formula of least square Method หาค่าคงที่เพื่อสร้างสมการสมดุลการดูดซับ เมื่อคำนวณค่าปริมาณการดูดซับที่ค่าปริมาณความชื้นจากการทดลอง ดังแสดงค่าเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 5.1.1 จะพบว่า ปริมาณการดูดซับที่ปริมาณความชื้นต่ำๆ จะไม่ให้ค่าแตกต่างกัน ซึ่งสมการสมดุลการดูดซับความชื้นที่ได้ จึงใช้คำนวณได้

อุณหภูมิ	5 องศาเซลเซียส			10 องศาเซลเซียส			20 องศาเซลเซียส			30 องศาเซลเซียส			40 องศาเซลเซียส		
การทดลองที่	C_S การทดลอง (%)	q การทดลอง (g/g MLS)	q การคำนวณ (g/g MLS)	C_S การทดลอง (%)	q การทดลอง (g/g MLS)	q การคำนวณ (g/g MLS)	C_S การทดลอง (%)	q การทดลอง (g/g MLS)	q การคำนวณ (g/g MLS)	C_S การทดลอง (%)	q การทดลอง (g/g MLS)	q การคำนวณ (g/g MLS)	C_S การทดลอง (%)	q การทดลอง (g/g MLS)	q การคำนวณ (g/g MLS)
1	0.0031	0.0009	0.0010	0.0035	0.0006	0.0006	0.0042	0.0009	0.0010	0.0055	0.0007	0.0007	0.0062	0.0002	0.0002
2	0.0088	0.0026	0.0029	0.0092	0.0015	0.0016	0.0096	0.0020	0.0022	0.0088	0.0010	0.0011	0.0096	0.0004	0.0004
3	0.0170	0.0049	0.0053	0.0116	0.0019	0.0020	0.0125	0.0026	0.0028	0.0125	0.0015	0.0016	0.1125	0.0025	0.0026
4	0.0286	0.0076	0.0085	0.0246	0.0040	0.0041	0.0268	0.0054	0.0056	0.0236	0.0039	0.0028	0.1527	0.0031	0.0031
5	0.0355	0.0100	0.0102	0.0465	0.0073	0.0074	0.0346	0.0069	0.0070	0.0526	0.0054	0.0056	0.2033	0.0037	0.0035
6	0.1125	0.0285	0.0237	0.1257	0.0182	0.0175	0.1255	0.0213	0.0179	0.1315	0.0100	0.0107	0.2513	0.0038	0.0038
7	0.1406	0.0344	0.0270	0.1533	0.0215	0.0204	0.1526	0.0247	0.0199	0.1963	0.0134	0.0134	0.3013	0.0042	0.0040
8	0.1500	0.0334	0.0280	0.2458	0.0316	0.0288	0.2013	0.0240	0.0229	0.2659	0.0155	0.0155	0.3125	0.0043	0.0041
9	0.2130	0.0332	0.0333	0.3025	0.0324	0.0329	0.2531	0.0249	0.0254	0.3266	0.0171	0.0169	0.3524	0.0041	0.0042
10	0.2890	0.0327	0.0379	0.3266	0.0322	0.0345	0.3103	0.0248	0.0275	0.3424	0.0173	0.0172	0.3865	0.0042	0.0043

ตารางที่ 5.1.1 แสดงค่าเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับจากการทดลองกับค่าที่คำนวณจากสมการสมดุลการดูดซับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความชื้นในอะซิโตนยังเป็นปัญหาในกระบวนการผลิต แต่จากผลการทดลองหาปริมาณการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน โดยปริมาณความชื้นที่ร้อยละ 0.3 เมื่อคำนวณปริมาณการดูดซับจากสมการการดูดซับจะให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองมาก ดังนั้นสมการการดูดซับที่หาจาก Formula of least square Method สามารถใช้ได้สำหรับการหาปริมาณการดูดซับความชื้นจากอะซิโตนเพื่อใช้ในการผลิตยาปฏิชีวนะ

5.2 <u>วิจารณ์ผลการทดลองเพื่อหาความยาวของเขตของการถ่ายเทมวลสารในหอดูดซับที่บริบัติการในสายการผลิตเมื่อแปรเปลี่ยนอัตราการป้อนอะซิโตนจาก 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที</u>

การทดลองได้ขยายขนาดของหอดูดซับให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อนำมาต่อเข้ากับสายการผลิต โดยนำอะซิโตนที่จะใช้ในกระบวนการผลิตมาทำการทดลอง หอดูดซับที่ขยายขนาดเป็นหอดูดซับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว และสูง 60 เซนติเมตร โดยติดตั้งวาล์วเพื่อเก็บตัวอย่าง ห่างจากปลายด้านบน 10 เซนติเมตร และติดวาล์วอีก 4 ตัว โดยห่างกันตัวละ 10 เซนติเมตร เพื่อเก็บตัวอย่างอะซิโตนตามระยะต่างๆกัน อะซิโตนที่จะนำมาผ่านหอดูดซับได้ทำการปรับอุณหภูมิให้คงที่ด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยจากการทดลองได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และจะควบคุมอุณหภูมิการทดลองให้คงที่ตลอดการทดลอง

การทดลองได้ทำการแปรเปลี่ยนอัตราการป้อนจาก 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที โดยทำการเก็บตัวอย่างอะซิโตนที่ผ่านหอดูดซับที่ระยะต่างๆ 5 ระยะ ห่างกันระยะละ 10 เซนติเมตร ทุกทุก 5 นาทีเป็นเวลา 120 นาที การเก็บตัวอย่างในแต่ละระยะจะเก็บตัวอย่างพร้อมๆกัน จากข้อมูลการทดลองจะเห็นได้ว่า ปริมาณความชื้นในอะซิโตนจะลดลงเมื่อระยะของการดูดซับเพิ่มขึ้น จนกระทั่งเกิดการดูดซับมากที่สุดและไม่เกิดการดูดซับเลยเป็นระยะของการอิ่มตัวเนื่องจากการดูดซับ ในขณะที่ระยะของการดูดซับดำเนินไปตลอดความยาวของหอดูดซับ ระยะของการอิ่มตัวเนื่องจากการดูดซับก็จะดำเนินตามมาตลอดความยาวของหอดูดซับเช่นเดียวกัน โดยจะสังเกตได้จากเมื่อการดูดซับดำเนินไปนาน 120 นาที ที่ระยะหนึ่งๆ เมื่อเก็บตัวอย่างอะซิโตนเพื่อตรวจหาปริมาณความชื้น พบว่าปริมาณความชื้นที่ได้ใกล้เคียงกับปริมาณความชื้นเริ่มต้น

การทดลองได้เตรียมอะซิโตนในถังเก็บอะซิโตนสองครั้ง แต่ปริมาณความชื้นเริ่มต้นใกล้เคียงกัน โดยอุปสรรคในระหว่างการทดลองต้องควบคุมอุณหภูมิของอะซิโตนให้คงที่ที่ 20 องศาเซลเซียสตลอดเวลา ในขณะทำการทดลองเมื่ออุณหภูมิของอะซิโตนเกินกว่า 22 องศาเซลเซียสจะทำการปั๊มผ่านเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งใช้น้ำเกลือ (Brine) ที่ 0 องศาเซลเซียส ผ่านแลกเปลี่ยนความร้อน และปริมาณอะซิโตนที่ผ่านออกจากหอดูดซับจำลอง จะนำไปเก็บไว้ในถังเก็บอะซิโตนอีกใบหนึ่งเพื่อรอการนำไปใช้ในการผลิตยาปฏิชีวนะ จากผลการทดลองสามารถจะแยกวิเคราะห์ถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการดูดซับความชื้นออกจากอะซิโตนได้เป็นข้อๆ ดังนี้

5.2.1 ระยะการดูดซับ

การเก็บตัวอย่างของอะซิโตนที่ระยะต่างๆกัน 5 ระยะโดยที่แต่ละระยะห่างกัน 10 เซนติเมตร เพื่อให้ทราบถึงระยะของการดูดซับ จากการทดลอง เมื่อพิจารณาที่ระยะห่างจากการป้อน 10 เซนติเมตร พบว่าปริมาณความชื้นในอะซิโตนจะน้อยกว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นในช่วงแรก และจะสูงขึ้นจนใกล้เคียงกับปริมาณความชื้นเริ่มแรกอย่างรวดเร็วเนื่องจากระยะการดูดซับจำกัด แต่เป็นระยะที่เกิดเขตของการอิ่มตัวของการดูดซับได้ก่อนระยะอื่นๆ ทำให้ทราบเวลาที่เกิดการดูดซับอิ่มตัวเริ่มแรกในหอดูดซับ ความยาวของเขตของการถ่ายเทมวลสารในหอดูดซับพบว่าเป็นความยาวเกินกว่าระยะของหอดูดซับ เป็นเพราะความหนาแน่นของเบดต่ำ เพียง 0.7965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรทำให้ได้หลักของการออกแบบหอดูดซับ ในบริมาตรภายในหอดูดซับจะต้องบรรจุสารดูดซับให้มาก ดังนั้นบริมาตรภายในหอดูดซับจะเพิ่มได้ทางหนึ่งโดยขยายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง แต่เมื่อหอดูดซับมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากขึ้น การดูดซับในเชิงกระจายรัศมีจะต้องนำมาพิจารณาคำนวณด้วย จากการทดลองในงานวิจัยนี้ให้การดูดซับในเชิงกระจายรัศมีมีอิทธิพลน้อยที่สุด เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของหอดูดซับจึงประมาณ 4 นิ้ว ทำให้ความหนาแน่นของเบดต่ำ ความยาวของเขตของการถ่ายเทมวลสารจึงต้องเป็นระยะที่ยาวกว่าหอดูดซับ

5.2.2 อัตราการป้อนอะซิโตน

อัตราการป้อนอะซิโตนเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการสัมผัสระหว่างอะซิโตนกับสารดูดซับหรืออัตราการถ่ายเทความชื้นสู่สารดูดซับ ซึ่งเป็นเรื่องของเวลาในการดูดซับ จากการทดลองได้แปรเปลี่ยนอัตราการป้อนอะซิโตนเป็น 4 อัตรา คือ 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที ให้ผลการทดลองต่อปัจจัยอื่นๆ ดังต่อไปนี้

5.2.2.1 ผลต่อเวลาของเขตของการถ่ายเทมวลสาร

เวลาของเขตของการถ่ายเทมวลสารเป็นเวลาที่การดูดซับเกิดขึ้นจนทำให้ปริมาณความชื้นเป็น 0.1 เท่าของปริมาณความชื้นเริ่มต้น จนถึงเวลาที่การดูดซับเกิดขึ้นจนทำให้ปริมาณความชื้นเป็น 0.9 เท่าของปริมาณความชื้นเริ่มต้น จากการทดลองพบว่าในหอดูดซับที่ขยายขนาดแต่ปฏิบัติการที่สายการผลิตต้องใช้เวลามากกว่า 1 ชั่วโมง โดยที่อัตราการป้อนอะซิโตน 5 และ 10 ลิตรต่อนาทีจะใช้เวลาของเขตของการถ่ายเทมวลสาร 60 และ 63 นาทีตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนอะซิโตนเป็น 15 ลิตรต่อนาที เวลาของเขตของการถ่ายเทมวลสารจะเพิ่มขึ้นประมาณครึ่งชั่วโมง จากการทดลองพบว่าประมาณ 96 นาที และเมื่ออัตราการป้อนอะซิโตนเป็น 20 ลิตรต่อนาที พบว่าต้องใช้เวลาของเขตของการถ่ายเทมวลสารเพิ่มถึง 144 นาที จะเห็นได้ว่า หากจะใช้อะซิโตนผ่านเข้าหอดูดซับดังกล่าว จะได้อะซิโตนที่มีปริมาณความชื้นต่ำเพียงพอในการผลิตยาปฏิชีวนะได้ภายในเวลาประมาณ 1 - 2 ชั่วโมงที่อัตราการป้อนไม่เกิน 20 ลิตรต่อนาที

5.2.2.2 ผลต่อความเร็วของเขตของการถ่ายเทมวลสาร

ความเร็วของเขตของการถ่ายเทมวลสารเป็นอัตราวัดการเคลื่อนที่ของของกราฟ Breakthrough Curve ซึ่งจากสมการที่ 4.5 จะพบว่าขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเบด,ปริมาณความชื้นเริ่มต้นและปริมาณการดูดซับจากการทดลองค่าทั้งสามเตรียมไว้ให้คงที่ ความเร็วของเขตของการถ่ายเทมวลสารจึงขึ้นอยู่กับอัตราการป้อนอะซิโตนโดยตรง จากการทดลองจะเห็นได้ว่าความเร็วของเขตของการถ่ายเทมวลสารจะเพิ่มขึ้น 7.49 เซนติเมตรต่อนาทีทุกๆการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนอะซิโตน 5 ลิตรต่อนาที

5.2.2.3 ผลต่อความยาวของเขตของการถ่ายเทมวลสาร

ความยาวของเขตของการถ่ายเทมวลสารขึ้นอยู่กับความเร็วของเขตของการถ่ายเทมวลสารและเวลาของเขตของการถ่ายเทมวลสาร จากผลของอัตราการป้อนที่มีกับทั้งสองปัจจัยข้างต้น ทำให้อัตราการป้อนอะซิโรตนมีผลโดยตรงกับความยาวของเขตของการถ่ายเทมวลสาร จากตารางผลการทดลองที่ 4.2.2 แสดงให้เห็นว่า ความยาวของเขตของการถ่ายเทมวลสารมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะที่อัตราการป้อนอะซิโรตนเปลี่ยนจาก 10 ลิตรต่อนาทีมาเป็น 15 ลิตรต่อนาที และเพิ่มขึ้นเป็น 20 ลิตรต่อนาที คือประมาณสองเท่าของความยาวของเขตของการถ่ายเทมวลสารเดิม นั่นมาจากการเพิ่มขึ้นของเวลาของเขตของการถ่ายเทมวลสาร มากกว่าความเร็วของเขตของการถ่ายเทมวลสาร จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราการป้อนอะซิโรตนเพิ่มขึ้นระยะที่จะได้อะซิโรตนที่มีความชื้นน้อยจะมากขึ้นประมาณสองเท่าของระยะเดิม เมื่ออัตราการป้อนอะซิโรตนเพิ่มขึ้น 5 ลิตรต่อนาที

5.2.2.4 ผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารรวม

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารรวมจะลดลงเมื่ออัตราการป้อนอะซิโรตนเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มที่จะลดลงอย่างคงที่ โดยพิจารณาได้จากกราฟรูปที่ 4.2.16 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารรวมเป็นค่าคงที่เพื่อการคำนวณหาอัตราของการเปลี่ยนแปลงปริมาณการดูดซับต่อเวลาตามกลไกของการเกิดแรงผลักดันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารรวมที่คำนวณได้จากการทดลองในงานวิจัยนี้ จึงเป็นค่าคงที่ที่จะนำไปคำนวณหาอัตราของการเปลี่ยนแปลงปริมาณการดูดซับต่อเวลาได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย