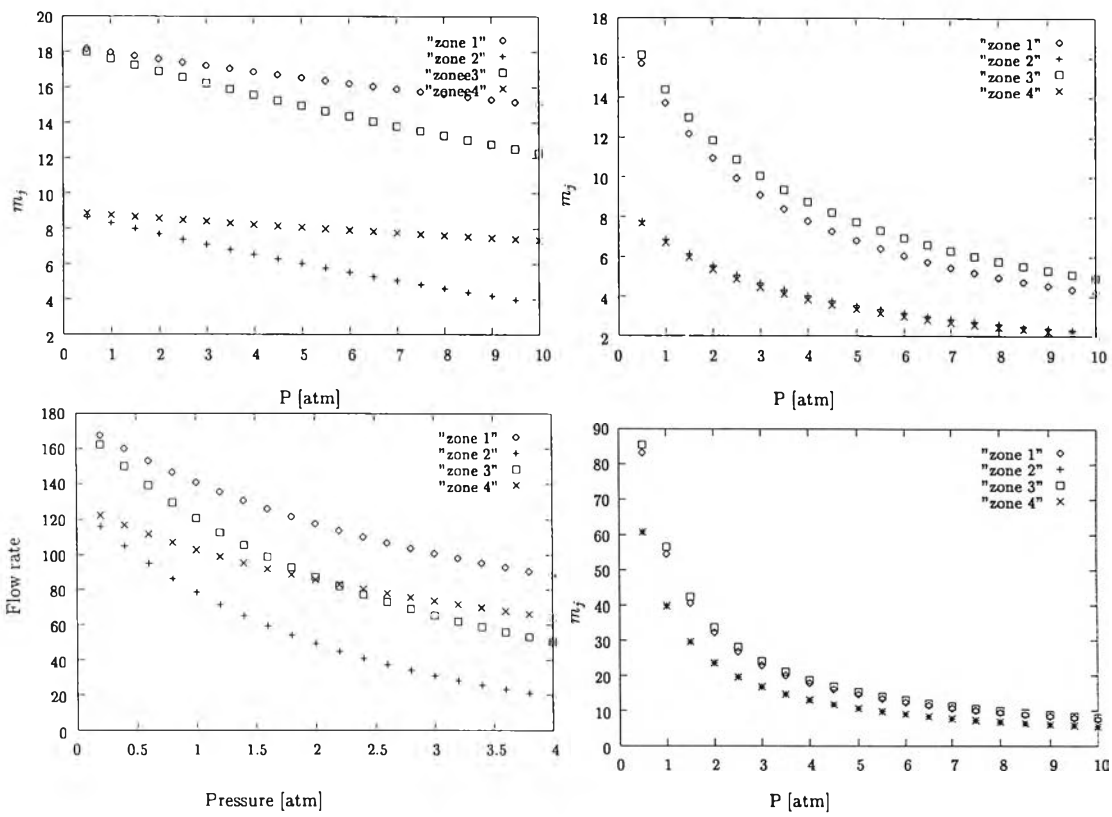
บทที่ 5

ผลการจำลอง และวิจารณ์ผล

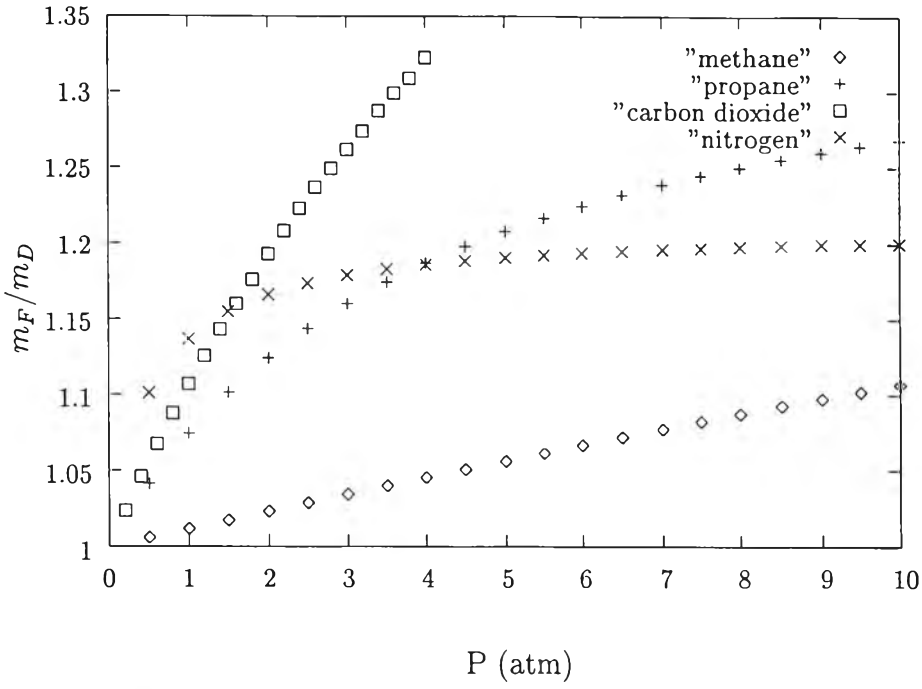
5.1 อิทธิพลของความดันต่อสัดส่วนการไหลในแต่ละโซน



รูปที่ 5.1: แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับค่า m_j เมื่อใช้ระบบตัวดูดซับ-ตัวคายการดูดซับแบบต่างๆ (1): ซิลิกาเจล-มีเทน (2): ซิลิกาเจล-โพรเพน (3): ถ่านกัมมันต์-คาร์บอนไดออกไซด์ (4): ถ่านกัมมันต์-ไนโตรเจน

รูปที่ 5.1 แสดงค่า m_j ที่เหมาะสมในแต่ละโซนที่เปลี่ยนไปตามความดันรวมของระบบ เมื่อใช้ตัวคายการดูดซับเป็น มีเทน โพรเพน คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจนตามลำดับ เมื่อความดันเพิ่มขึ้น ค่า m_j ในทุกๆ โซนจะลดลง แต่อัตราส่วนของ m_F/m_D ในรูปที่ 5.2 มี

แนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้น นั่นคือที่ความดันสูงๆผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความเข้มข้นที่เพิ่มสูง



รูปที่ 5.2: แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับค่า m_F/m_D ของระบบที่ใช้ตัวคายการดูดซับที่ต่างกัน

ขึ้น แม้ว่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของสายป้อนจะลดลง แต่สัดส่วนการลดลงของอัตราการไหลเชิงปริมาตร จะมีค่าที่ต่ำกว่าการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่น ดังนั้นอัตราการไหลเชิงมวลของสายป้อนจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเลือกความดันของระบบที่ใช้ควรเป็นที่ความดันสูงๆ อย่างไรก็ตามความดันของระบบที่ใช้ก็มีผลต่อเสถียรภาพของระบบด้วย นั่นคือเมื่อความดันของระบบสูงอัตราการไหลในแต่ละโซนจะช้าลง ทำให้เงื่อนไขของอัตราการไหลที่ทำให้เกิดการแยกก็จะมีแนวโน้มที่ลดลงด้วย และเป็นผลให้การควบคุมอัตราการไหลในระบบทำได้ยากขึ้น นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดของอัตราการไหลในโซนที่ 3 และโซนที่ 4 ถ้าความดันสูงเกินไป $m_4 > m_3$ ทำให้ m_R มีค่าน้อยกว่าศูนย์ซึ่งไม่เกิดขึ้นในความเป็นจริง ดังกรณีของระบบที่ใช้ดัวดูดซับเป็นถ่านกัมมันต์ และตัวคายการดูดซับเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ความดันที่ใช้จะต้องต่ำกว่า 2 บรรยากาศระบบถึงเป็นจริงได้ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีอิทธิพลต่อการเลือกความดันที่เหมาะสม เช่น ความดันลดคร่อมเบด ซึ่งไม่พิจารณาในงานวิจัยนี้ สำหรับงานวิจัยนี้ เพื่อเปรียบเทียบ ของตัวคายการดูดซับทั้ง 4 แบบ จึงเลือกความดันที่ใช้ทดสอบเป็น 1 บรรยากาศ เพื่อให้ระบบที่ศึกษามีความเสถียรทุกกรณีที่ศึกษา และ

ยังช่วยให้สมมุติฐานของการเป็นแก๊สอุดมคติมีความใกล้เคียงมากขึ้น

5.2 อิทธิพลของสภาวะเริ่มต้นต่อการเข้าสู่สภาวะคงตัว

สภาวะเริ่มต้นที่ใกล้เคียงกับสภาวะคงตัวของระบบมากเท่าไร ก็ยิ่งทำให้เวลาที่ระบบต้องใช้ในการเข้าสู่สภาวะคงตัวมีค่าน้อยลง ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต้อยกว่าที่ต้องการมีปริมาณน้อยลงด้วย สภาวะเริ่มต้นของระบบที่นำมาพิจารณามีอยู่ 2 แบบคือ

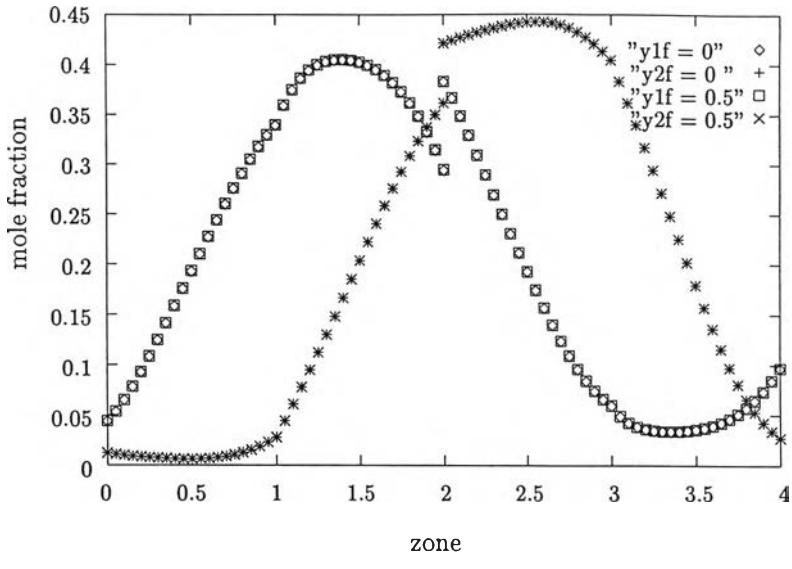
- ป้อนเฉพาะตัวคายการดูดซับให้ไหลเวียนอยู่ในทุกๆ โซนของระบบก่อน
- ป้อนของผสมที่ต้องการแยกให้ไหลเวียนอยู่ในทุกๆ โซนของระบบก่อน

ในกรณีนี้ แนวความคิดของระบบ TMB ไม่สามารถนำมาใช้กับระบบ SMB ได้เนื่องจากในระบบ TMB การพัฒนาลักษณะการกระจายความเข้มข้น จากสภาวะเริ่มต้นไปสู่สภาวะคงตัวจะเกิดแบบขนาน นั่นคือ ในทุกโซนจะเกิดการพัฒนาลักษณะการกระจายความเข้มข้นขึ้นพร้อมๆ กันโดยไม่มีอิทธิพลต่อกัน แต่ทว่าในระบบ SMB การพัฒนาลักษณะการกระจายความเข้มข้นจะเป็นแบบอนุกรม นั่นคือ เริ่มจากตำแหน่งที่มีการป้อนสารเข้าแล้วลักษณะการกระจายความเข้มข้นจะพัฒนาไปยังตำแหน่งข้างเคียง ดังนั้นลำดับของการพัฒนาลักษณะการกระจายความเข้มข้นในแต่ละโซนจึงมีความสำคัญอย่างมาก ลักษณะการกระจายความเข้มข้นของสารที่ต้องการแยกของระบบ SMB โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในโซนที่ 2 และโซนที 3 จากตารางที่ 5.1 ถ้าเริ่มต้นจากสภาวะที่มีแต่ตัวคายการดูด

ตารางที่ 5.1: แสดงจำนวนรอบของการเลื่อนจุดป้อนสารเข้าและจุดดึงสารออกที่ต้องใช้ก่อนที่ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัว

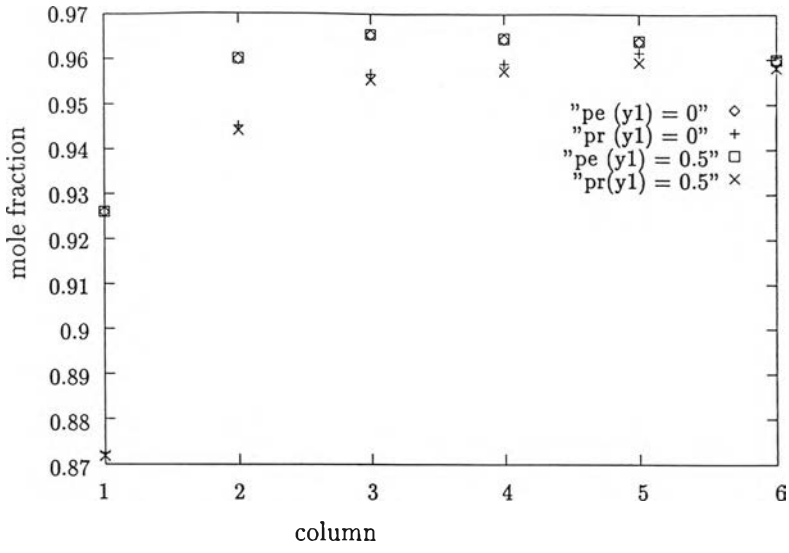
สภาวะเริ่มต้น	จำนวนคอลัมน์	S
$y_i = y_D$	1	24
	3	65
	6	108
$y_i = y_F$	1	26
	3	73
	6	127

ซับ จะใช้เวลาที่สั้นกว่าการเริ่มจากสภาวะที่มีแต่สารป้อน ทั้งนี้เนื่องจากถ้าเริ่มจากสภาวะที่มีแต่ตัว



รูปที่ 5.3: ลักษณะการกระจายความเข้มข้นที่สภาวะคงตัวเมื่อใช้สภาวะเริ่มต้นที่ต่างกัน

คายการดูดซับ การเปลี่ยนแปลงของลักษณะการกระจายความเข้มข้นจะเริ่มต้นจากโซนที่ 3 และโซนที่ 2 จนกระทั่งตลอดทั้ง 2 โซนมีความเข้มข้นของสารป้อนสูงจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงตัว ลักษณะการกระจายความเข้มข้นในโซนที่ 1 และ 4 จึงจะเข้าสู่สภาวะคงตัวในลำดับถัดไป แต่ถ้าเริ่มจากสภาวะที่มีแต่สารป้อนการเปลี่ยนแปลงของลักษณะการกระจายความเข้มข้นจะเริ่มต้นจากโซนที่ 1 และโซนที่ 4 ความเข้มข้นในทั้ง 2 โซนจะค่อย ๆลดลงจนกระทั่งการลดลงของความเข้มข้นมีผลต่อลักษณะการกระจายความเข้มข้นในโซนที่ 3 และโซนที่ 2 จากนั้นความเข้มข้นในโซนทั้งสองจะค่อย ๆลดลงเช่นกันจนกระทั่งทั้งโซน 3 และโซน 2 เข้าสู่สภาวะคงตัวลักษณะการกระจายความเข้มข้นในโซนที่ 1 และ 4 จึงจะเข้าสู่สภาวะคงตัวในลำดับถัดไป ดังนั้นการเริ่มจากสภาวะที่มีแต่สารป้อนจึงต้องพัฒนาลักษณะการกระจายความเข้มข้นในโซนที่ 1 และ 4 ก่อน และต้องใช้เวลามากกว่าในกรณีที่เริ่มจากสภาวะที่มีแต่ตัวคายการดูดซับ และถ้าจำนวนคอลัมน์ในแต่ละโซนยิ่งมากขึ้นก็จะเห็นถึงความแตกต่างของเวลาเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะเริ่มต้นจากสภาวะใดลักษณะการกระจายความเข้มข้นภายในหอดูดซับที่สภาวะคงตัวที่เหมือนกัน ดังรูปที่ 5.3 และความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็มีค่าที่ใกล้เคียงกันดังรูปที่ 5.4 ยืนยันถึงการมีสภาวะคงตัวเพียงสภาวะเดียวของระบบที่ศึกษา



รูปที่ 5.4: ความบริสุทธิของผลิตภัณฑ์ที่ได้ที่สภาวะคงตัวเมื่อใช้สภาวะเริ่มต้นที่ต่างกัน

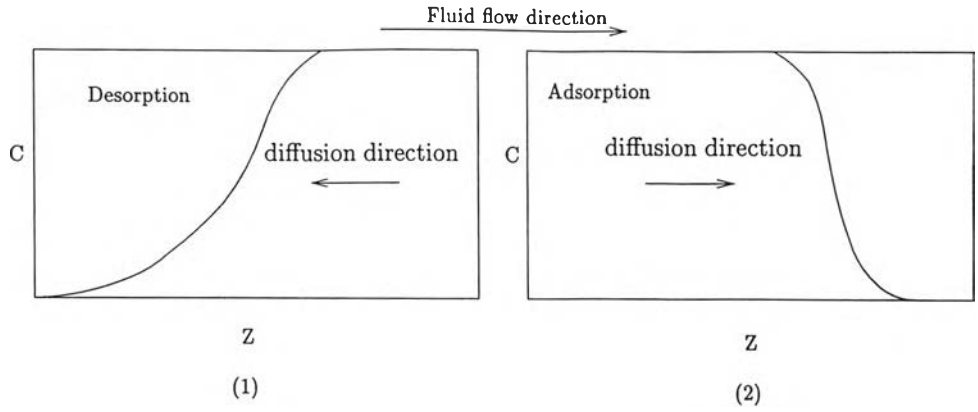
5.3 อิทธิพลของการแพร่ในแนวแกน

ในระบบการดูดซับอุมดมคติที่ไม่มีทั้งความต้านทานการถ่ายโอนมวล และการแพร่ในแนวแกน เมื่อมีการป้อนสารเข้าสู่คอลัมน์ ณ เวลาเริ่มต้น จะเกิดความไม่ต่อเนื่องของความเข้มข้นเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งปลายทางเข้าของคอลัมน์เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นเริ่มต้นกับความเข้มข้น ณ ทางเข้า เมื่อเวลาผ่านไปความไม่ต่อเนื่องของความเข้มข้นที่เกิดขึ้นจะยังคงอยู่และเคลื่อนที่เข้าไปภายในคอลัมน์ ความเร็วของลักษณะการกระจายความเข้มข้นที่ไม่ต่อเนื่องนี้หาได้จากสมการความสัมพันธ์ (Ruthven, 1984)

$$w(C) = \frac{u}{\left[1 + \left(\frac{1-\epsilon}{\epsilon}\right)\frac{dq}{dC}\right]} \tag{5.1}$$

แต่ในคอลัมน์จริงจะไม่พบความไม่ต่อเนื่องของลักษณะการกระจายความเข้มข้นที่เกิดขึ้นในคอลัมน์ เนื่องจากอิทธิพลของการแพร่ในแนวแกน และความต้านทานการถ่ายโอนมวลทำให้ความเข้มข้น ณ ตำแหน่งนั้นแพร่กระจาย กลายเป็นโซนที่มีความเข้มข้นลดลง อย่างต่อเนื่อง ซึ่งเรียกว่า บริเวณการถ่ายโอนมวลสาร(mass transfer zone)

ในสมการดุลมวลสารย่อย ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน, D_L ,จะถูกจัดกลุ่มเป็นตัวแปรไร้หน่วย Pe (Peclet number) ซึ่งบอกให้ทราบถึงอิทธิพลของการพาต่ออิทธิพลของ



รูปที่ 5.5: แสดงโปรไฟล์ความเข้มข้นเมื่อสมดุลเป็นแบบแลงเมียร์ (1 : กรณีของการคายการดูดซับ 2 : กรณีของการดูดซับ)

การแพร่ในแนวแกนของระบบ ไม่ว่าจะเป็นระบบที่เป็นเบดนิ่งหรือระบบที่ของแข็งเกิดการไหลสวนทางกับของไหลอย่างต่อเนื่อง การแพร่ในแนวแกนจะไม่มีอิทธิพลต่อความเร็วและลักษณะรูปร่างของลักษณะการกระจายความเข้มข้นที่เกิดขึ้น ความเร็วและรูปร่างของลักษณะการกระจายจะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสมดุลการดูดซับ (Rhee, 1971) ดังนั้นความเร็วของบริเวณการถ่ายโอนมวลสารที่เคลื่อนที่จะยังคงสามารถหาได้จากสมการ 5.1 แต่การแพร่ในแนวแกนจะส่งผลต่อความกว้างของบริเวณการถ่ายโอนมวลสารที่เกิดขึ้นในระบบ (Zhong, 1996; Peter, 1996) ค่า D_L ยิ่งมีค่ามากบริเวณการถ่ายโอนมวลสารจะยิ่งกว้างมากเหมือนกับกรณีอิทธิพลของความด้านทานการถ่ายโอนมวล

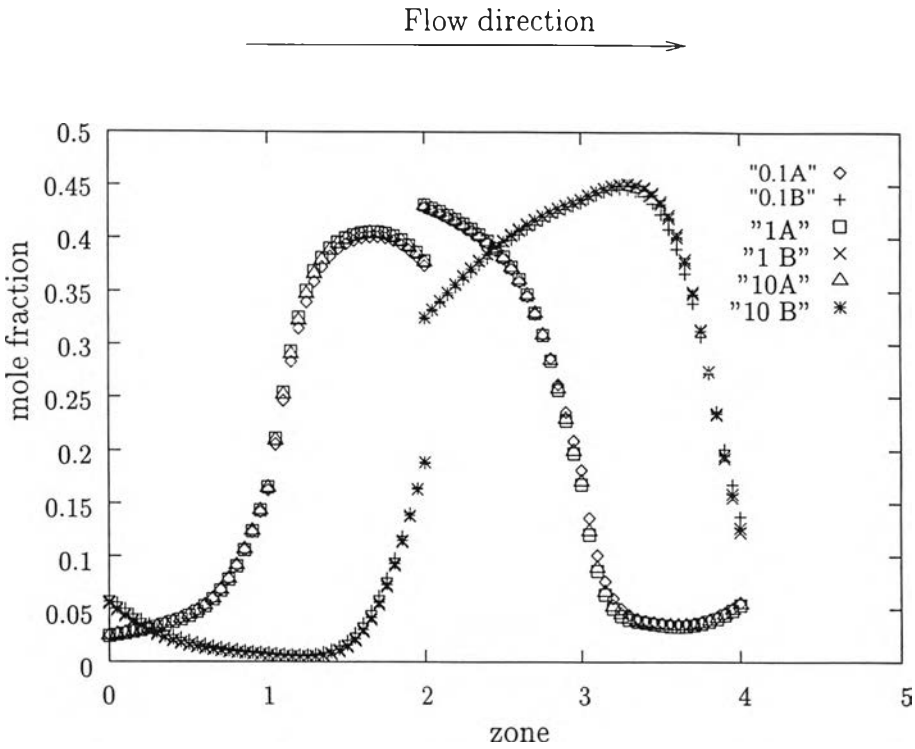
ในการพิจารณารูปร่างของลักษณะการกระจายความเข้มข้นที่เกิดขึ้นในระบบที่มีสมดุลการดูดซับแบบแลงเมียร์ จะเริ่มพิจารณาจากระบบที่ง่ายที่สุด คือ ระบบที่มีองค์ประกอบเดียวซึ่งจะได้

$$\frac{dq}{dC} = \frac{q_s k}{(1 + kC)^2} \tag{5.2}$$

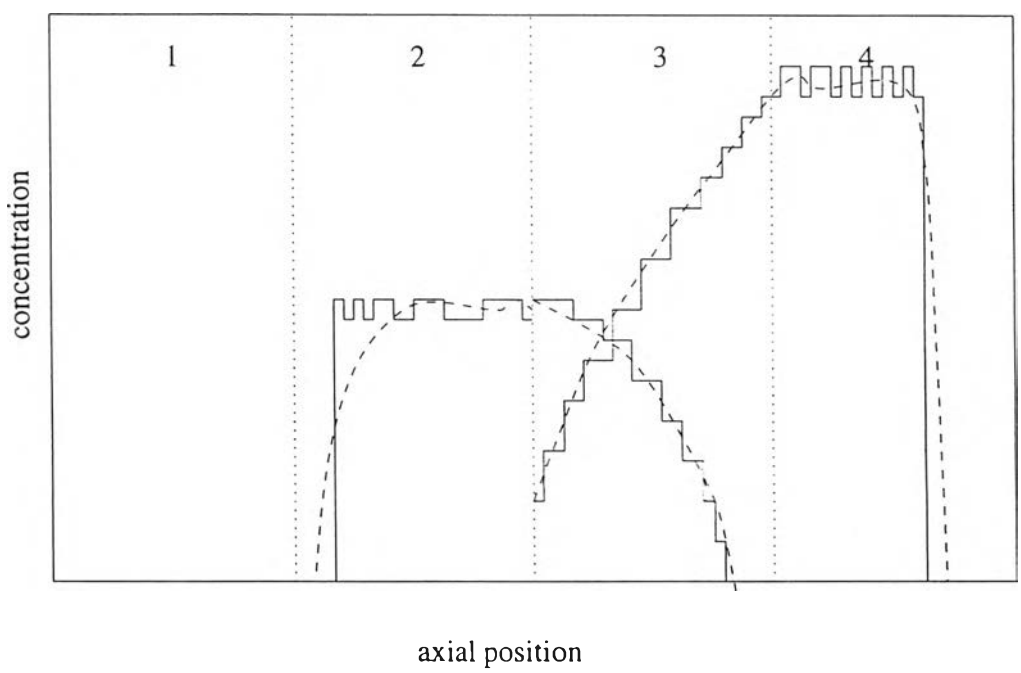
จากสมการ 5.1 และสมการ 5.2 ความเร็วของการเคลื่อนที่ของลักษณะการกระจายความเข้มข้นจะแปรตามความเข้มข้น ตำแหน่งที่มีความเข้มข้นสูงจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าตำแหน่งที่มีความเข้มข้นต่ำ เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการกระจายความเข้มข้นระหว่างกรณีการดูดซับกับกรณีของการคายการดูดซับในรูปที่ 5.5 โดยใช้ทิศการไหลของของไหลเป็นเกณฑ์ ในกรณีการดูดซับบริเวณการถ่ายโอนมวลจะแคบเนื่องจาก การแพร่ในแนวแกนจะเกิดในทิศเดียวกันกับการไหลของของไหล ทำให้ตำแหน่งที่มีความเข้มข้นต่ำเคลื่อนที่ไปอยู่ข้างหน้าตำแหน่งที่มีความเข้มข้นสูง แต่อิทธิพลของ

สมดุลจะทำให้ตำแหน่งที่มีความเข้มข้นสูงเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าตำแหน่งที่มีความเข้มข้นต่ำ ดังนั้นผลของสมดุลจะหักล้างกับผลของการแพร่ในแนวแกน ทำให้ลักษณะลักษณะการกระจายความเข้มข้นที่ปรากฏมีลักษณะชันและแคบ แต่ในกรณีของการคายการดูดซับการแพร่ในแนวแกนจะเกิดในทิศตรงกันข้ามกับการไหลของของไหล ทำให้ตำแหน่งที่มีความเข้มข้นต่ำถอยไปอยู่ข้างหลังตำแหน่งที่มีความเข้มข้นสูง อิทธิพลของสมดุลจะทำให้ตำแหน่งที่มีความเข้มข้นสูงซึ่งอยู่ข้างหน้าเคลื่อนที่ออกห่างจากตำแหน่งที่มีความเข้มข้นต่ำไปมากขึ้น ดังนั้นลักษณะการกระจายความเข้มข้นของกรณีการคายการดูดซับจะมีลักษณะที่ยืดมากกว่าลักษณะการกระจายความเข้มข้นของกรณีการดูดซับ ในระบบ SMB เนื่องจากความเร็วของการไหลไตกต่างกันในแต่ละโซน ดังนั้น ค่า Pe ในแต่ละโซนจะมีค่าไม่เท่ากัน แต่โดยทั่วไปความเร็ว ของของไหลในโซนที่ 1 จะใกล้เคียงกับโซนที่ 3 และโซนที่ 2 จะใกล้เคียงกับโซนที่ 4 และในโซนที่ 1 กับ 2 จะทำหน้าที่ในการคายการดูดซับ และโซนที่ 3 กับ 4 จะทำหน้าที่ในการดูดซับ ดังนั้นลักษณะการกระจายความเข้มข้นในโซนที่ 1 ควรจะยืดกว่าโซนที่ 3 และลักษณะการกระจายความเข้มข้นในโซนที่ 2 ควรจะยืดกว่าในโซนที่ 4 และถ้าเปรียบเทียบในโซนเดียวกัน ถ้า Pe ในโซนนั้นๆเปลี่ยนไป ลักษณะการกระจายความเข้มข้นในโซนนั้นๆควรจะมีความกว้างต่างกัน

แต่จากการศึกษาใน 3 กรณีเมื่อใช้ความเร็วของของแข็งต่างกันกรณีละ 10 เท่า เพื่อให้ค่า D_L มีค่าต่างๆกัน กลับได้ผลดังรูปที่ 5.6 ลักษณะการกระจายความเข้มข้นในทั้ง 3 กรณีซ้อนทับกันพอดี และในโซน 1 และโซน 3 การกระจายความเข้มข้นกลับมีลักษณะที่ยืดออกที่ใกล้เคียงกัน นั่นคือบริเวณการถ่ายโอนมวลที่เกิดขึ้นในแต่ละโซนอาจจะถูกรบกวนโดยอิทธิพลของการเลื่อนตำแหน่งป้อนสารเข้าและดึงสารออก จากงานวิจัยของ Zhong (Zhong, 1996) กรณีที่ระบบมีสมดุลการดูดซับเป็นเส้นตรงและการดูดซับเป็นแบบอุดมคติ ลักษณะการกระจายความเข้มข้นของระบบ SMB จะเป็นแบบขั้นบันไดดังรูป 5.7 โดยแต่ละขั้นบันไดจะเกิดจากการเลื่อนจุดป้อนสารเข้าและดึงสารออกในแต่ละครั้ง ถึงแม้ความเร็วของการเคลื่อนที่ของการกระจายความเข้มข้นจะไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น แต่เนื่องจากแต่ละโซนมีค่าความเร็วของของไหลแตกต่างกัน ทำให้ความกว้างของแต่ละขั้นบันไดไม่เท่ากันทำให้ลักษณะการกระจายความเข้มข้น



รูปที่ 5.6: แสดงลักษณะการกระจายความเข้มข้นในระบบ SMB ของระบบที่ศึกษา เมื่อ D_L ระบบมีค่าต่างๆกัน



รูปที่ 5.7: ลักษณะการกระจายความเข้มข้นภายในคอลัมน์ของระบบ SMB จากงานวิจัยของ Zhong กรณีที่การดูดซับเป็นแบบอุดมคติ(เส้นทึบ) และกรณีที่มีการแพร่ในแนวแกน(เส้นประ)

รวมของระบบไม่สมมาตร โดยลักษณะการกระจายความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับได้มากกว่าจะเบ้ไปทางด้านซ้าย ส่วนลักษณะการกระจายของสารที่ถูกดูดซับได้น้อยกว่าจะเบ้ไปทางด้านขวา ดังรูป 5.7 ทั้งนี้เนื่องจากความเร็วของของไหลในโซนที่ 1 และโซนที่ 4 จะทำให้ทุกองค์ประกอบถูกผลักเข้าไปในโซน 2 และโซน 3 ตามลำดับ แต่ถ้าหากสมดุลการดูดซับเป็นแบบแลงเมียร์หลายองค์ประกอบ ความเร็วของการกระจายความเข้มข้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นด้วย จากแนวคิดของระบบที่เป็นเบดนิ่งดังรูป ?? ลักษณะการกระจายความเข้มข้นในโซนที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นโซนที่ทำหน้าที่คายการดูดซับกรณีสมดุลเป็นแบบแลงเมียร์ควรจะกว้างมากกว่ากรณีที่สมดุลเป็นเส้นตรง และลักษณะการกระจายความเข้มข้นในโซนที่ 3 และ 4 ซึ่งเป็นโซนที่ทำหน้าที่ดูดซับสารก็ควรจะแคบกว่ากรณีที่สมดุลเป็นเส้นตรง ดังนั้นภาพร่างคร่าว ๆของลักษณะการกระจายความเข้มข้นของระบบที่มีสมดุลการดูดซับแบบแลงเมียร์จะมีลักษณะที่สมมาตรมากว่าระบบที่มีสมดุลการดูดซับเป็นเส้นตรง เมื่อเกิดการแพร่ในแนวแกน การแพร่จะทำหน้าที่เพียงเป็นการเฉลี่ยลักษณะการกระจายแบบขั้นบันไดเหล่านี้ให้เรียบและต่อเนื่องกัน ดังนั้นลักษณะการกระจายความเข้มข้นที่ได้จากระบบที่ศึกษาซึ่งมีสมดุลการดูดซับแบบแลงเมียร์จึงมีลักษณะค่อนข้างสมมาตร และเนื่องจากลักษณะการกระจายความเข้มข้นขึ้นอยู่กับความกว้างของขั้นบันได ซึ่งความกว้างนี้ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสมดุลและความเร็วของของไหลในแต่ละโซน ดังนั้นเมื่อเปลี่ยนค่า D_L โดยที่อัตราส่วนของความเร็วในแต่ละโซนไม่เปลี่ยน จึงได้ลักษณะการกระจายความเข้มข้นที่ได้ใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นในระบบ SMB นี้ อิทธิพลของการแพร่ในแนวแกนจะถูกลดให้มีผลน้อยกว่าในระบบเบดนิ่ง

5.4 ความยาวของคอลัมน์

สำหรับระบบการดูดซับแบบไหลสวนทางต่อเนื่องที่มีสมดุลเป็นแบบเส้นตรง และมีความต้านทานการถ่ายโอนมวลสารที่ต่ำมาก ๆ ($St \gg Pe$) คำตอบเชิงวิเคราะห์ของลักษณะการกระจายความเข้มข้นที่สภาวะคงตัวของระบบ TMB จากงานวิจัยของ Ching (Ching ,1985a) จะเป็นดังสมการความสัมพันธ์

- โซนที่มีการดูดซับ และตัวดูดซับที่ป้อนเข้ามายังไม่มีการดูดซับองค์ประกอบนั้นเอาไว้

$$\phi_i = \frac{\gamma e^{Pe_L Z(1-\gamma)} - e^{Pe_L(1-\gamma)}}{\gamma - e^{Pe_L(1-\gamma)}} \tag{5.3}$$

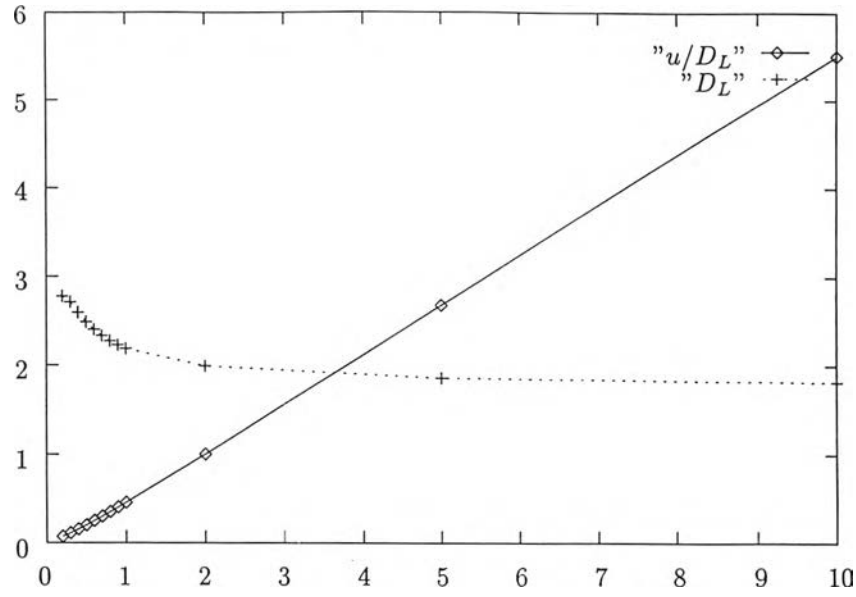
- โซนที่มีการคายดูดซับ และของไหลที่ป้อนเข้ามามีแต่ตัวคายดูดซับ

$$\phi_i = \frac{\gamma - e^{Pe_L Z(1-\gamma)}}{\gamma - e^{Pe_L(1-\gamma)}} \tag{5.4}$$

ถ้าพิจารณาด้านปลายของโซน ($x = L$ สำหรับการดูดซับ และ $x = 0$ สำหรับการคายการดูดซับ) ความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ที่ทางออกจะขึ้นอยู่กับ ตัวแปร Pe และ γ ในหัวข้อนี้กำหนดให้ γ เป็นตำแหน่งที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเข้มข้นมากที่สุด แล้วศึกษาอิทธิพลของ Pe_L ต่อความบริสุทธิของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโซนต่างๆ จากนิยามของ Pe_L ณ โซนที่ j คือ

$$Pe_{Lj} = \frac{u_j L_j}{D_L} \tag{5.5}$$

นั่นคือ Pe_{Lj} ขึ้นอยู่กับตัวแปร 2 กลุ่ม คือ ความยาวของโซน L_j กับ $\frac{u_j}{D_L}$ โดยที่ D_L ขึ้นอยู่กับ u_j ตามสมการที่ 4.1 ที่ใช้ประมาณค่า Pe ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่า u_j กับค่า $\frac{u_j}{D_L}$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.8 ภายใต้เงื่อนไขที่ศึกษา $\frac{u_j}{D_L}$ มีค่าค่อนข้างคงที่ แม้ว่า u_j จะเปลี่ยนไปอย่างมากก็ตาม ดังนั้น u_j ของระบบจึงไม่มีผลต่อค่า Pe_{Lj} มากนัก ต่างจากค่า L_j ซึ่ง Pe_{Lj} จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่า L_j ดังนั้นความยาวของแต่ละโซนที่ใช้จะมีผลต่อความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นอย่างมาก จากการคำนวนตามสมการที่ 5.3 และสมการที่ 5.4 เมื่อใช้ตัวคายการดูดซับเป็นมีเทน และใช้ค่า γ_i ในแต่ละโซนดังตารางที่ 5.2 และได้ความสัมพันธ์ระหว่างความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์แต่ละสาย ณ ปลายทางออกของแต่ละโซนกับค่า Pe_{Lj} ดังรูปที่ 5.9 ถ้ากำหนดความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ในแต่ละโซนดังนี้คือ โซนที่ 1 และ 4 ความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์คือ 0.9999 ($\cong$ 1) โซนที่ 2 คือ 0.9997 (ตามความบริสุทธิ์ของ เอทิลีนที่ต้องการ) และโซนที่ 3 คือ 0.99 (ตามความบริสุทธิ์ของอีเทนที่ต้องการ) จะได้ค่า Pe_{L_j} และความยาวที่ต้องการในแต่ละโซนดังตารางที่ 5.3 แต่เนื่องจากในตอนเริ่มต้นในแต่ละโซนจะมีเพียง 1 คอลัมน์ย่อย ดังนั้นความยาวในทุกโซนจึงต้องมีค่าเท่ากันดังนั้นจึงต้องใช้ความยาว



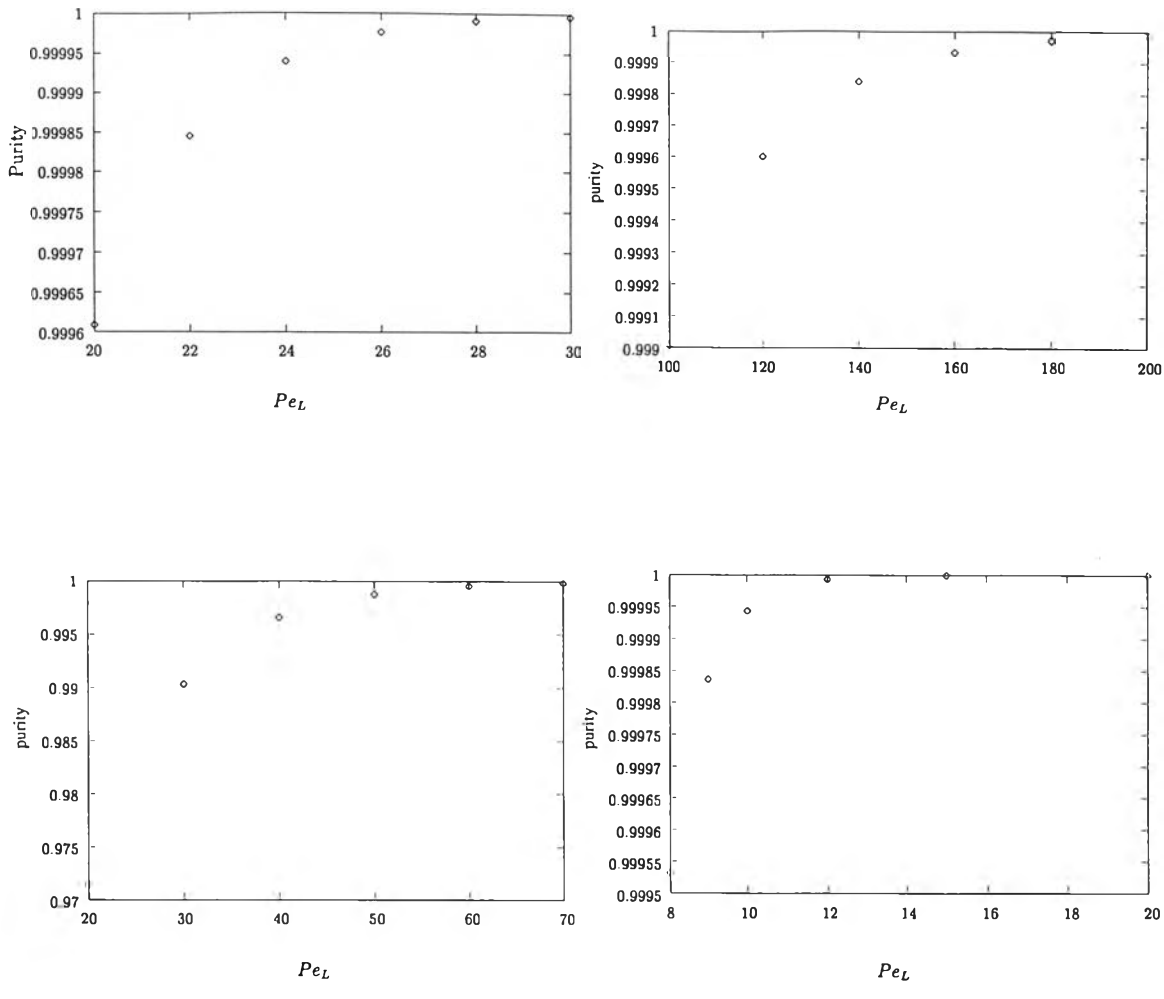
u [cm/s]

รูปที่ 5.8: ความสัมพันธ์ของความเร็วของของไหล (u) ต่อค่า D_L และค่า u/D_L

ตารางที่ 5.2: พารามิเตอร์ของการไหลที่ได้ในแต่ละโซนเมื่อ

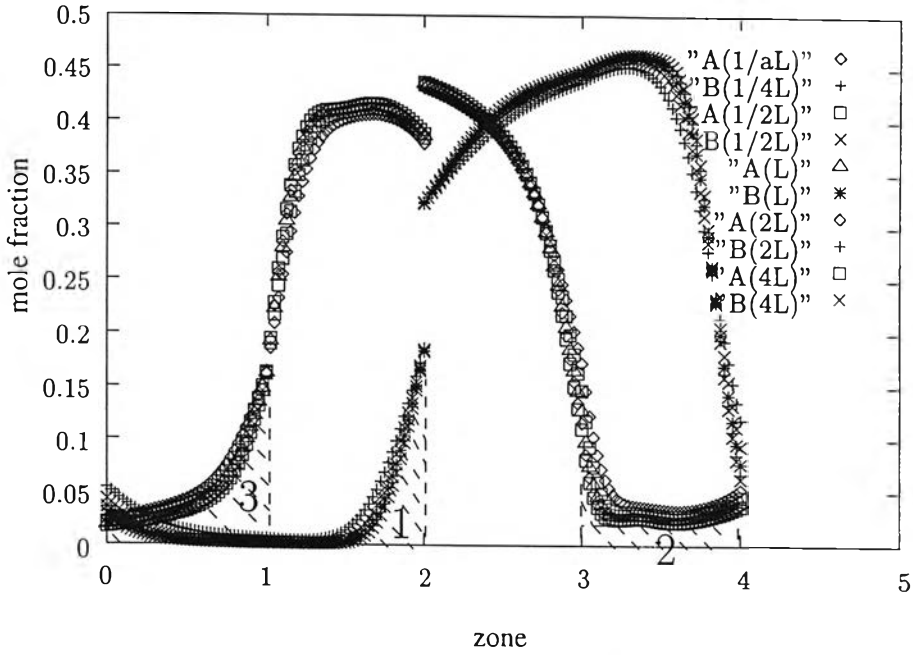
โซน	m_j	u_j	$\frac{u_j}{D_L}$	γ_A	γ_B
1	16.03	1.60	2.44	0.99	0.48
2	8.12	0.81	2.74	1.95	0.95
3	14.34	1.43	2.50	1.10	0.54
4	7.21	0.72	2.70	2.20	1.08

ของโซนที่ยาวที่สุดเป็นหลักนั่นคือโซนที่ 2 ซึ่งจะได้ L_j ในทุกๆโซนมีค่าเท่ากับ 50 เซ็นติเมตร แต่เนื่องจากสมดุลการดูดซับในระบบที่กำลังศึกษา เป็นแบบแลงเมียร์ ซึ่งจะทำให้ลักษณะการกระจายความเข้มข้นที่ได้ต่างจากลักษณะการกระจายความเข้มข้นในระบบที่สมดุลการดูดซับเป็นเส้นตรง ในการทดลองนี้ จึงเลือกศึกษาผลของความยาวในแต่ละโซนคือ 25 50 100 200 และ 400 เซ็นติเมตร ซึ่งลักษณะการกระจายความเข้มข้นที่สภาวะคงตัว ณ เวลาท้ายคาบของการเลื่อนตำแหน่งดึงสารเข้าออกแสดงไว้ในรูปที่ 5.10 จากรูปความยาวที่ใช้ไม่มีผลต่อลักษณะการกระจายความเข้มข้นที่ได้ ยกเว้นแต่บริเวณที่เป็นหางซึ่งจะมีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาถึงความบริสุทธิ์ ของผลิตภัณฑ์ในรูปที่ 5.11 จะพบว่าต่างจากกรณีของระบบ TMB ที่มีสมดุลการดูดซับเป็นเส้นตรงอย่างมาก ถึงแม้แนวโน้มของความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวใน

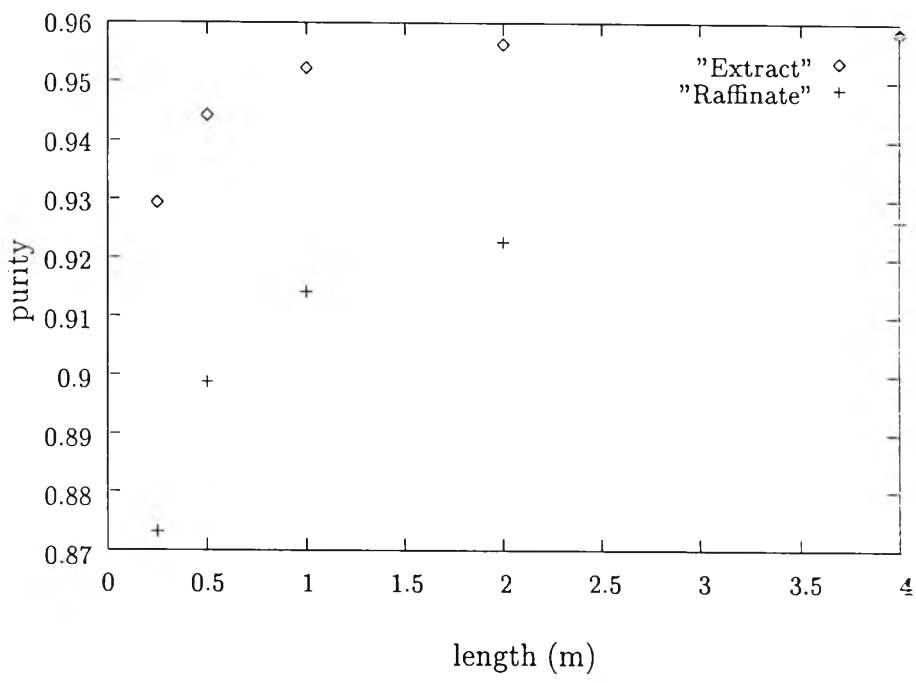


รูปที่ 5.9: แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้กับค่า Pe_L

แต่ละโซนเพิ่มขึ้น แต่ระบบที่มีสมดุลการดูดซับแบบแลงเมียร์จะให้ความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าระบบที่มีสมดุลการดูดซับแบบเป็นเส้นตรงค่อนข้างมาก เมื่อพิจารณาลักษณะการกระจายความเข้มข้นที่สถาวะคงตัว ณ เวลาท้ายคาบของการเลื่อนตำแหน่งดึงสารเข้าออกในรูปที่ 5.10 พื้นที่ใต้กราฟหมายเลข 1 จะทำให้เกิดการปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์เอ็กซ์แทรก ส่วนพื้นที่หมายเลข 2 จะทำให้เกิดการปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ราฟฟิเนท โดยพื้นที่หมายเลข 1 เกิดขึ้นจากการที่โซน 2 ไม่สามารถทำการคายการดูดซับองค์ประกอบที่ถูกดูดซับได้น้อยได้หมด เนื่องจากสมดุลการดูดซับแบบแลงเมียร์ตำแหน่งที่มีความเข้มข้นต่ำจะเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าความเร็วเฉลี่ยของระบบ ดังนั้นพื้นที่หมายเลข 1 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีความเข้มข้นต่ำจึงไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านโซนที่ 2 ไปได้ ดังนั้นเมื่อมีการเลื่อนตำแหน่งป้อนสารเข้าและดึงสารออก พื้นที่หมายเลข 2 นี้ จะถูกเลื่อนเข้าไปในโซนที่ 1 ความ



รูปที่ 5.10: แสดงลักษณะการกระจายความเข้มข้นของระบบ SMB เมื่อใช้ความยาวของโซนต่างๆกัน



รูปที่ 5.11: แสดงความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เมื่อใช้ความยาวของโซนต่างๆกัน

ตารางที่ 5.3: ความยาวต่ำสุดของแต่ละโซนที่ต้องใช้เพื่อให้ได้ความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ตาที่ต้องการ

โซน	Pe_{L_j}	L_j
1	25	10
2	140	50
3	30	12
4	10	4

เข้มข้นส่วนนี้เมื่อเคลื่อนที่ผ่านจุดดึงผลิตภัณฑ์เอ็กซ์แทรก ณ ปลายโซนที่ 1 จะมีบางส่วนที่ถูกดึงออกมาพร้อมกับผลิตภัณฑ์เอ็กซ์แทรก ทำให้ความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ลดลง ในทำนองเดียวกัน พื้นที่แรเงาหมายเลข 3 ซึ่งไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านโซนที่ 1 ไปได้ ก็จะถูกผลักเข้าไปในโซนที่ 4 และมีบางส่วนที่เคลื่อนที่ผ่านโซนที่ 4 ออกมาไม่หมด จะถูกผลักเข้าไปในโซนที่ 3 ความเข้มข้นส่วนนี้เมื่อเคลื่อนที่ผ่านจุดดึงผลิตภัณฑ์ราฟฟิเนทออก ณ ปลายโซนที่ 3 ก็จะมีบางส่วนที่หลุดออกมาพร้อมกับผลิตภัณฑ์ราฟฟิเนท ทำให้ผลิตภัณฑ์ราฟฟิเนทมีความปริสุทธิ์ลดลง พื้นที่หมายเลข 2 จะประกอบไปด้วยส่วนที่มียอดแหลมคล้ายสามเหลี่ยมซึ่งเกิดจากองค์ประกอบที่ถูกดูดซับได้น้อยเคลื่อนที่เกินออกมาจากโซน 3 เนื่องจากอิทธิพลของการแพร่ในแนวแกน กับพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมซึ่งเกิด จากส่วนที่ตกค้างของพื้นที่แรเงาหมายเลข 3 ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่รูปสามเหลี่ยม กับพื้นที่รูปสี่เหลี่ยม พื้นที่รูปสามเหลี่ยมจะมีขนาดเล็กกว่าพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของสมดุลการดูดซับมีผลมากกว่า อิทธิพลของการแพร่ในแนวแกน และจากอิทธิพลของสมดุลการดูดซับที่เกิดขึ้นจึงส่งผลให้ความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ของระบบสมดุลแบบแลงเมียร์น้อยกว่ากรณีของสมดุลแบบเส้นตรง การเพิ่มความยาวของคอลัมน์แม้จะลดอิทธิพลของการแพร่ในแนวแกนไปได้ (พิจารณาได้จากส่วนหางของการกระจายความเข้มข้นที่แคบลง) แต่ไม่ลดอิทธิพลของสมดุลการดูดซับ (พิจารณาได้จากรูปร่างของลักษณะการกระจายความเข้มข้นที่แต่ละความยาวจะเหมือนกันหมด) ซึ่งความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ในสภาวะที่ศึกษานี้ มาจากอิทธิพลของสมดุลการดูดซับเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นการเพิ่มความยาวคอลัมน์เพียงอย่างเดียวจึงไม่สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบริสุทธิ์ตามที่กำหนดได้ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากลักษณะ

การกระจายความเข้มข้นกับความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ส่วนหางของลักษณะการกระจายที่ต่างกันเพียงเล็กน้อยจะส่งผลต่อความบริสุทธิ์ของผลิตภัณ์อย่างมาก ดังนั้นเมื่อต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์มาก จำเป็นต้องใช้ความยาวของโซนที่มากพอเพื่อลดอิทธิพลของตัวแปร Pe_L ซึ่งการปรับอัตราการไหลไม่สามารถลดอิทธิพลของตัวแปรนี้ได้ดี

5.5 เปลี่ยนจำนวนคอลัมน์

รูปแบบการไหลของของแข็งในระบบ TMB จะเป็นการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง แต่ในระบบ SMB ของแข็งไม่ได้เกิดการไหลจริง หากแต่เป็นการเคลื่อนที่เทียมซึ่งสามารถประมาณความเร็วสมมุติจากระยะทางที่เลื่อนตำแหน่งจุดป้อนสารเข้าออกจากระบบหารด้วยช่วงเวลาที่ใช้ใน แต่ละคาบ ดังนั้นทิศการไหลของทุกองค์ประกอบในระบบ SMB จะเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับทิศการไหลของของไหล ต่างกันเพียงแต่ ขนาดความเร็วสัมพัทธ์ขององค์ประกอบที่เป็นผลิตภัณฑ์ราฟฟิเนทเทียบกับความเร็วสมมุติของของแข็งจะมีค่ามากกว่า 1 ส่วนองค์ประกอบที่เป็นผลิตภัณฑ์เอ็กซ์แทรก จะมีค่าน้อยกว่า 1 ถึงแม้สภาวะที่เลือกใช้จะทำให้เกิดการแยกโดยสมบูรณ์ได้ในระบบ TMB ก็ตาม แต่ภายในช่วงเวลาแต่ละคาบของระบบ SMB ทุกองค์ประกอบจะมีทิศการไหลไปในทางเดียวกันหมด ซึ่งจะทำให้บางส่วนขององค์ประกอบที่เป็นผลิตภัณฑ์เอ็กซ์แทรกเคลื่อนที่เข้าไปในช่วงต้นโซน 3 ด้วย ในขณะเดียวกันเมื่อเลื่อนจุดป้อนสารเข้าออกจากระบบ องค์ประกอบที่เป็นผลิตภัณฑ์ราฟฟิเนทจากช่วงต้นของโซนที่ 3 ก็จะถูกเลื่อนเข้าไปอยู่ในโซนที่ 2 ด้วยเช่นกัน ดังนั้นลักษณะการกระจายความเข้มข้นเฉลี่ยของระบบ SMB จะมีรูปร่างต่างไปจากระบบ TMB ซึ่งส่งผลทำให้ค่า m_j เกิดความคลาดเคลื่อนได้ถ้าสมดุลของระบบไม่เป็นเส้นตรง และยังส่งผลต่อการแพร่ในแนวแกนเนื่องจากการเคลื่อนที่ของลักษณะการกระจายความเข้มข้นของระบบ SMB มีค่ามากกว่าในระบบ TMB

ลักษณะการกระจายความเข้มข้นของระบบ SMB อาจมีลักษณะใกล้เคียงกับของระบบ TMB ได้ โดยกำหนดระยะทางการเคลื่อนที่ของลักษณะการกระจายความเข้มข้นในแต่ละคาบมีค่าน้อยที่สุด เพื่อลดการเคลื่อนที่ขององค์ประกอบที่ไม่ต้องการ ในระบบที่การดูดซับเป็นแบบอุดมคติ และสายป้อนเป็นของผสมสององค์ประกอบ อัตราการเคลื่อนที่เฉลี่ยขององค์ประกอบ A ในโซนที่ 3

คำนวนได้จากการดุลมวลสารขององค์ประกอบ A ในช่วงเวลา แต่ละคาบ คือ

$$t_p Q_3 C_{A3} = \varepsilon A L_{A3} C_{A3} + (1-\varepsilon) A L_{A3} q_{A3}$$

$$L_{A3} = \frac{t_p Q_3}{A\left(\varepsilon + (1-\varepsilon)\frac{q_{a3}}{C_{A3}}\right)}$$

แทนค่า

$$t_p = \frac{L_3}{n_3 u_s}, m_3 = \frac{u_3}{u_s}$$

ได้ผลลัพธ์

$$\frac{L_{A3}}{L_3} = \frac{m_3}{n_3 \frac{q_{A3}}{C_{A3}}}$$

ส่วนโซนที่ 2 การเลื่อนตำแหน่งป้อนสารเข้าและดึงสารออก แต่ละครั้ง จะทำให้องค์ประกอบ B ถูกเลื่อนจากจุดป้อนสารเข้า (F) ไปยังโซนที่ 2 เป็นระยะ 1 คอลัมน์ย่อยเสมอ ดังนั้น

$$\frac{L_{B2}}{L_2} = \frac{1}{n_2}$$

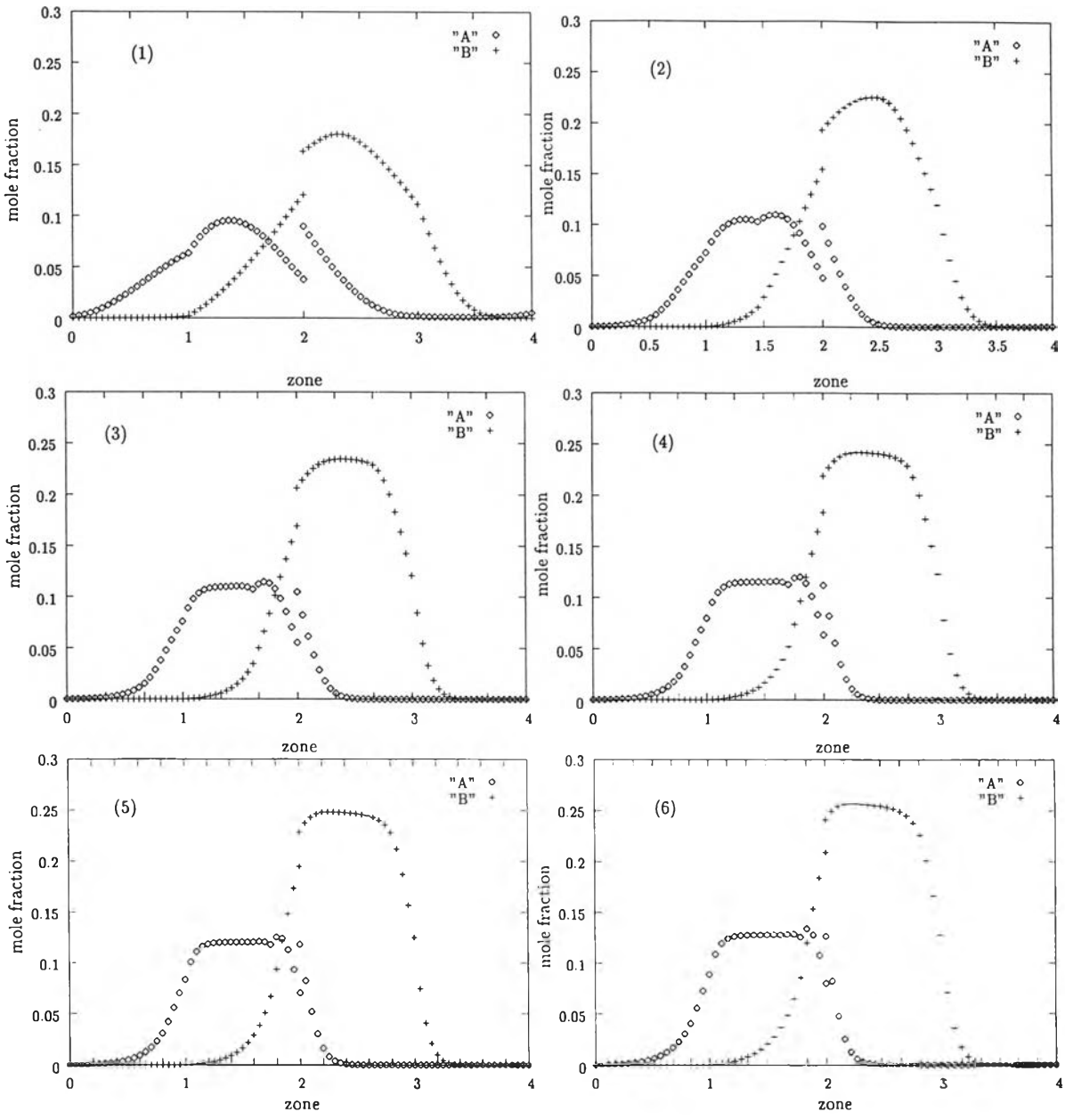
ในทำนองเดียวกันในโซนที่ 1 ความสัมพันธ์คล้ายกับโซนที่ 2 คือ

$$\frac{L_1}{L_1} = \frac{1}{n_1}$$

และในโซนที่ 4 ความสัมพันธ์คล้ายกับโซนที่ 3 คือ

$$\frac{L_{B4}}{L_4} = \frac{m_4}{n_4 \frac{q_{B4}}{C_{B4}}}$$

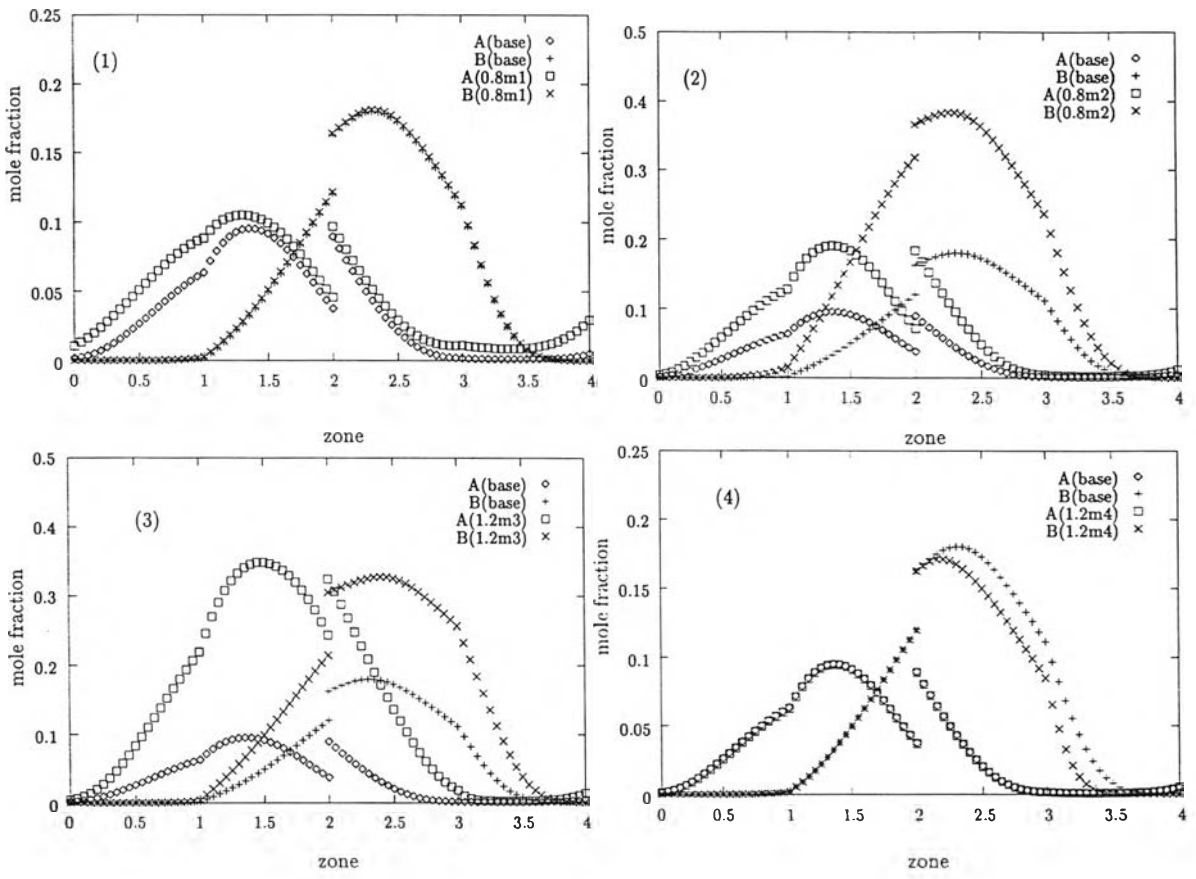
เมื่อพิจารณาจากสมการของโซนที่ 1-4 ในแต่ละโซน $\frac{Lij}{Lj}$ จะเป็นสัดส่วนกับค่า $\frac{1}{n_j}$ นั่นคือ เมื่อ n เพิ่มขึ้น การเหลื่อมของลักษณะการกระจายของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์แทรกเข้าไปในโซนที่ 3 และการเหลื่อมล้ำของลักษณะการกระจายความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ราฟฟิเนทเข้าไปในโซนที่ 2 ควรจะลดลงซึ่งจะให้ลักษณะการกระจายความเข้มข้นเคลื่อนที่แยกออกจากกันได้มากขึ้น จากผลการศึกษาเมื่อใช้จำนวนคอลัมน์ เป็น 1-6 คอลัมน์ต่อ 1 โซน จะได้ลักษณะการกระจายความเข้มข้นดังรูป 5.12 ซึ่งแสดงลักษณะการเหลื่อมล้ำของลักษณะการกระจายความเข้มข้นในแต่ละโซน และซึ่งสอดคล้องกับการคาดคะแนในข้างต้นยกเว้นในโซนที่ 2 ที่ลักษณะการกระจายความเข้มข้นกว้างกว่าผลประมาณการเบื่องต้นอันเป็นผลมาจากสมดุลการดูดซับแบบแลงเมียร์



รูปที่ 5.12: แสดงลักษณะการกระจายความเข้มข้นเมื่อมีคอลัมน์ย่อยต่อ 1 โซนเป็น 1 ถึง 6 คอลัมน์ตามลำดับ

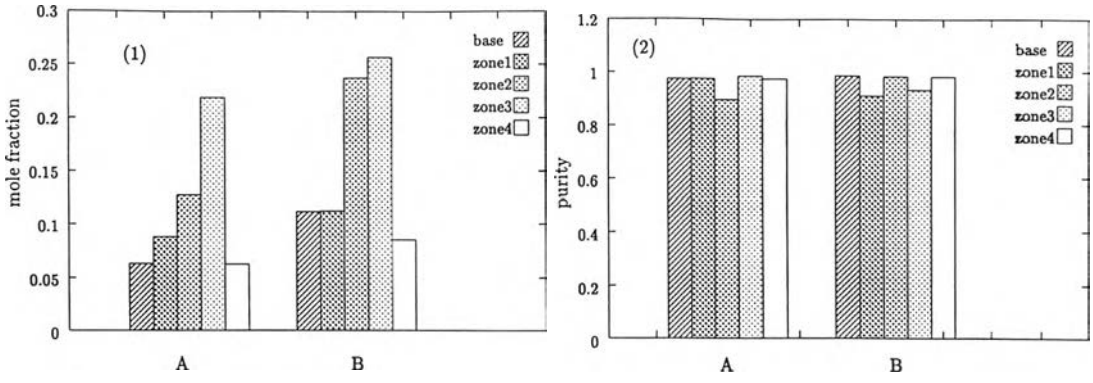
5.6 สัดส่วนอัตราการไหล m_j

สัดส่วนอัตราการไหลของของไหลต่อของแข็ง, m_j ,เป็นตัวแปรที่เราจำเป็นต้องกำหนดค่าก่อนจึงจะสามารถจำลองพฤติกรรมการดูดซับในระบบ SMB ได้ ค่า m_j เริ่มต้นประมาณจากเงื่อนไขของการแยกโดยสมบูรณ์ของระบบไหลสวนทางต่อเนื่อง เนื่องจากทั้ง 4 โซนของระบบ SMB ต่อกันเป็นวง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่า m_j ในโซนใดโซนหนึ่งย่อมส่งผลต่อลักษณะการกระจายความเข้มข้นทั้งระบบ รูปที่ 5.13 แสดงลักษณะของการกระจายความเข้มข้นเฉลี่ยในระบบ SMB ที่เลือกซิลิกาเจลเป็นตัวดูดซับและเลือกใช้มีเทนเป็นตัวคายการดูดซับเมื่อค่า m_j ในโซนต่างๆมีการเปลี่ยนแปลง โดยใช้สภาวะที่ m_j ของระบบสามารถแยกแก๊สผสมได้โดยสมบูรณ์ (1.25 เท่าของค่า m_j



รูปที่ 5.13: แสดงการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายความเข้มข้นในระบบ SMB เมื่อปรับอัตราส่วนอัตราการไหลในแต่ละโซน

ที่ประมาณจากเงื่อนไขการแยกโดยสมบูรณ์ของระบบ TMB) มาเป็นฐาน แล้วทำการปรับลด m_j ในที่ 1 และ2 และเพิ่มm_jที่ 3 และ 4 ให้ต่างจากกรณีที่ใช้เป็นฐาน 20 เปอร์เซ็นต์ โดยทำ



รูปที่ 5.14: แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้เมื่อเปลี่ยน m_j ในโซนต่างๆ (1): ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ (2): ความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์

การเปลี่ยนค่า m_j ทีละ 1 โซนตามลำดับ การลด m_1 ลง มีผลให้ลักษณะการกระจายความเข้มข้นในโซนอื่นๆไม่เปลี่ยนแปลง ส่งผลให้มีเพียงความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์แอ็กซ์แทรกเท่านั้นที่มีค่าเพิ่มขึ้น แต่การลด m_1 จนทำให้ γ_i^1 ต่ำกว่าเงื่อนไขการแยกโดยสมบูรณ์จะทำให้ลักษณะการกระจายความเข้มข้นในโซนที่ 1 ขยายออกจนล้นข้ามไปในโซนที่ 4 ได้ ซึ่งทำให้ความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ราฟฟิเนทลดลง ในทำนองเดียวกันการเพิ่ม m_4 มีผลทำให้ลักษณะการกระจายความเข้มข้นในโซนที่ 4 ซึ่งมีเพียงผลิตภัณฑ์ราฟฟิเนทและตัวคายการดูดซับขยายเพิ่มขึ้น ถ้าการเพิ่ม m_4 โดยไม่ทำให้ γ_i^4 สูงกว่าเงื่อนไขการแยกโดยสมบูรณ์ ก็จะมีเพียงความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ราฟฟิเนทเท่านั้นที่มีค่าเพิ่มสูงขึ้นโดยยังจะไม่ส่งผลกระทบต่อความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์แอ็กซ์แทรก ส่วนการลดค่า m_2 หรือเพิ่มค่า m_3 จะส่งผลให้ลักษณะการกระจายความเข้มข้นในโซนที่ 2 หรือ 3 ซึ่งมีทั้งผลิตภัณฑ์ราฟฟิเนทและผลิตภัณฑ์แอ็กซ์แทรกขยายเพิ่มขึ้น ซึ่งในกรณีนี้ย่อมส่งผลให้ความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ของทั้งระบบเปลี่ยนไป รูปที่ 5.14 จะแสดงถึงความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เมื่อเปลี่ยน m_j การเปลี่ยน m_1 หรือ m_4 จะส่งผลกระทบต่อความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ได้น้อยกว่า การเปลี่ยน m_2 หรือ m_3 ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยน m_2 หรือ m_3 จะส่งผลต่อ m_F ซึ่งการเปลี่ยน m_F ย่อมส่งผลต่อปริมาณของสารป้อนทุกองค์ประกอบที่เข้าสู่ระบบ ซึ่งจะส่งผลให้ลักษณะการกระจายความเข้มข้นขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสายป้อนซึ่งกระจายอยู่ในโซนที่ 2 และ 3 เปลี่ยนไป และส่งผลต่อเนื่องไปถึงปริมาณของสารในสาย

ป้อนที่จะเข้าไปในโซนที่ 1 และ 4 เปลี่ยนไปด้วย ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่า m_2 หรือ m_3 จึงส่งผลกระทบต่อลักษณะการกระจายความเข้มข้น ในระบบ SMB ทั้งระบบ แต่ การเปลี่ยน m_1 หรือ m_4 จะส่งผลต่อ ค่า m_D เท่านั้น เมื่อกำหนดให้ m_F, m_2 และ m_3 คงที่ ลักษณะการกระจายความเข้มข้นในโซนที่ 2 และ 3 ย่อมไม่เปลี่ยนแปลง และเพิ่มค่า m_4 จะมีผลทำให้อัตราการไหลของตัวคายการดูดซับที่ออกจากโซนที่ 4 มีมากขึ้น โดยที่อัตราการไหลของตัวคายการดูดซับที่เข้าสู่โซนที่ 1 ยังคงที่ ดังนั้น การเพิ่มค่า m_4 จะส่งผลทำให้เฉพาะความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ราฟฟิเนทที่เพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกัน ลดค่า m_1 จะมีผลทำให้อัตราการไหลของตัวคายการดูดซับที่เข้าไปโซนที่ 1 มีน้อยขึ้น โดยที่อัตราการไหลของตัวคายการดูดซับที่ออกจากโซนที่ 4 ยังคงที่ ดังนั้น การลดค่า m_1 จะส่งผลทำให้เฉพาะความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์แอ็กซ์แทรกที่เพิ่มขึ้น

5.7 ตัวคายการดูดซับ

จากเงื่อนไขของการทำให้ระบบเกิดการแยกอย่างสมบูรณ์ m_j ที่ใช้จะขึ้นอยู่กับค่า $\frac{q_i}{C_i}$ ในโซนนั้นๆ ในกรณีที่สมดุลการดูดซับของระบบเป็นเส้นตรง $\frac{q_i}{C_i} = K_i$ เป็นค่าคงที่ ในกรณีนี้ตัวคายการดูดซับที่ใช้จะไม่มีผลต่อค่า m_j แต่ในระบบที่มีสมดุลเป็นแบบแลงเมียร์ค่า $\frac{q_i}{C_i}$ จะขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายความเข้มข้นของระบบ ซึ่งระบบ SMB กับระบบ TMB จะมีความแตกต่างกันทั้งในแง่ของขนาดและรูปร่างของลักษณะการกระจายความเข้มข้นในแต่ละโซน ดังนั้นค่า $\frac{q_i}{C_i}$ ของทั้งสองระบบจึงมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งส่งผลให้ค่า m_j ของทั้งสองระบบมีค่าต่างกันด้วย จาก

$$\frac{q_i}{C_i} = \frac{q_{si}K_i}{1 + \sum_{j=1}^{NC} K_j C_j} = \frac{q_{si}K_i}{\delta_j} \tag{5.6}$$

จะเห็นว่า ตัวตั้ง $(q_{si}K_i)$ จะเป็นค่าคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น แต่ตัวหาร (δ_j) จะเป็นตัวที่มีค่าเปลี่ยนตามโปร์ไฟล์ความเข้มข้น ดังนั้นบทบาทของตัวคายการดูดซับในระบบที่มีสมดุลการดูดซับแบบแลงเมียร์ จะมีผลต่อค่า m_j ผ่านทาง ตัวแปร (δ_j) โดยพารามิเตอร์ K_D เท่านั้นที่มีผลต่อค่า m_j ตัวพารามิเตอร์ q_{sD} ไม่ได้ส่งผลต่อค่า m_j ด้วย การพิจารณาบทบาทของตัวคายการดูดซับที่มีผลต่อค่า (δ_j) นั้นจะพิจารณาจากเทอม$\sum K_j C_j$ ซึ่งพิจารณาตามกรณีต่างๆได้ดังนี้

ตารางที่ 5.4: แสดงค่า m_j ของระบบ SMB ในโซนต่างๆ เมื่อใช้ตัวคายการดูดซับต่างๆกัน

ตัวคายการดูดซับ	m_1	m_2	m_3	m_4	$\frac{m_E}{m_D}$	$\frac{m_E}{m_3}$
มีเทน	18.01	7.86	17.27	8.8	1.02	0.54
โพรเพน	13.72	7.01	15.31	6.7	1.18	0.54
ไนโตรเจน	62.88	41.84	74.7	41.81	1.55	0.43
คาร์บอนไดออกไซด์	162.51	78.05	135.08	108.04	1.04	0.42

- กรณีที่ $\sum K_j C_j \ll 1$ การเปลี่ยนแปลงลักษณะการกระจายความเข้มข้นไม่ส่งผลต่อค่า (δ_j) มากนัก ระบบการดูดซับชนิดนี้จะคล้ายกับการณีที่สมดุลเป็นเส้นตรง นั่นคือ $\delta_j \simeq 1$ ซึ่งระบบการดูดซับที่มีลักษณะเช่นนี้คือ ระบบที่ใช้ซิลิกาเจลเป็นตัวดูดซับ และใช้มีเทนเป็นตัวคายการดูดซับ

- กรณีที่ $\sum K_j C_j$ มีค่าใกล้เคียง 1 กรณีเช่นนี้ การเปลี่ยนแปลงลักษณะการกระจายความเข้มข้นจะส่งผลต่อค่า (δ_j) กรณีเช่นนี้จะได้ $\delta_j = 1 + \sum K_j C_j$ ระบบการดูดซับที่มีลักษณะเช่นนี้คือ ระบบที่ใช้ซิลิกาเจลเป็นตัวดูดซับ และใช้โพรเพนเป็นตัวคายการดูดซับ

- กรณีที่ $\sum K_j C_j \gg 1$ กรีเช่นนี้ได้แก่การดูดซับบนถ่านกัมมันต์ซึ่งมีค่า K_i ที่ค่อนข้างสูง กรณีเช่นนี้ $(\delta_j) \simeq \sum K_j C_j$ ความสัมพันธ์ของลักษณะการกระจายความเข้มข้นกับค่า (δ_j) จะขึ้นอยู่กับลำดับความแรงของตัวคายการดูดซับดังนี้

  - ตัวคายการดูดซับเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งให้ค่า K_D ต่ำกว่าองค์ประกอบอื่นๆ กรณีเช่นนี้ ลักษณะการกระจายความเข้มข้นจะส่งผลต่อค่า (δ_j) เป็นอย่างมาก
  - ตัวดูดซับเป็นไนโตรเจนซึ่งมีค่า K_D ใกล้เคียงกับองค์ประกอบอื่น $sum K_j C_j$ จะมีค่าค่อนข้างคงที่ กรณีนี้จะคล้ายกับกรณีที่สมดุลเป็นเส้นตรง นั่นคือ(δ_j) เป็นค่าคงที่

ค่า m_j ของระบบในกรณีต่างๆจะเป็นไปตามตารางที่ 5.4

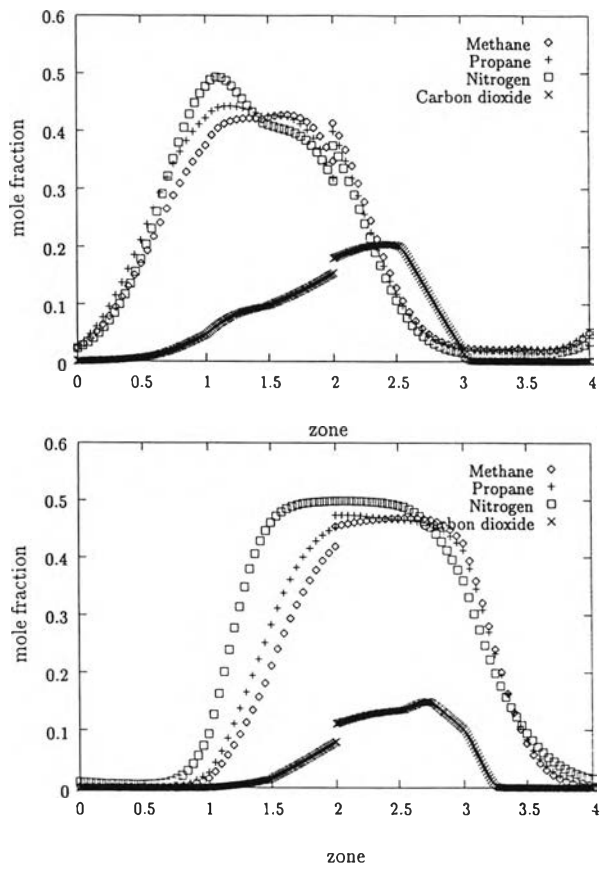
จากตารางจะเห็นว่า ระบบที่ใช้ตัวคายการดูดซับเป็นมีเทนหรือโพรเพน บนตัวดูดซับซิลิกาเจล จะมีความเสถียรมากกว่าระบบที่ใช้ตัวคายการดูดซับเป็น ไนโตรเจน หรือ คาร์บอนไดออกไซด์

ตารางที่ 5.5: แสดงความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ทั้งสองสายเมื่อใช้ตัวคายการดูดซับต่างกัน

ตัวคายการดูดซับ	C_A^E	C_B^E	C_A^R	C_B^R	P_E	P_R
มีเทน	0.3745	0.0162	0.0247	0.4252	0.958535961	0.945098911
โพรเพน	0.4219	0.026	0.025	0.4126	0.941951328	0.942870201
ไนโตรเจน	0.4281	0.0329	0.0074	0.3557	0.928633406	0.979619939
คาร์บอนไดออกไซด์	0.047	0.0007	0.0249	0.101	0.985324948	0.802223987

บนตัวดูดซับถ่านกัมมันต์ ทั้งนี้เนื่องจาก $\frac{m_E}{m_3}$ ที่มีค่ามากกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถปรับค่า m_2 หรือ m_3 ได้ในช่วงที่กว้างกว่าโดยที่ระบบยังไม่หลุดออกไปจากสภาวะที่ทำให้เกิดการแยกโดยสมบูรณ์ สำหรับตัวคายการดูดซับ มีเทน หรือ คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่ง มีค่า K_D ต่ำกว่าองค์ประกอบที่ต้องการแยก จะพบว่า จะให้ค่า $\frac{m_E}{m_D}$ ที่ต่ำกว่า ตัวคายการดูดซับที่เป็น โพรเพน ซึ่งมีค่า K_D ที่สูงกว่าองค์ประกอบที่ต้องการแยก ในขณะที่ตัวคายการดูดซับ ไนโตรเจน ซึ่ง มีค่า K_D ใกล้เคียงกับองค์ประกอบที่ต้องการแยก จะให้ค่า $\frac{m_E}{m_D}$ ที่สูงที่สุด

อย่างไรก็ตามถ้าหากเปรียบเทียบค่า $\frac{m_E}{m_D}$ ของระบบที่มีสมดุลการดูดซับแบบแลงเมียร์ กับระบบที่มีสมดุลการดุลซับแบบเป็นเส้นตรงในกรณีที่เป็นระบบอุดมคติ จะพบว่า ระบบที่มีสมดุลการดูดซับแบบแลงเมียร์ จะให้ค่า $\frac{m_E}{m_D}$ สูงกว่าระบบที่ระบบที่มีสมดุลการดุลซับแบบเป็นเส้นตรง ในทุกกรณี ไม่ว่าตัวคายการดูดซับที่ใช้จะมีค่า K_D เป็นเท่าไร แต่ในระบบจริงอิธิพลของความต้านทานการถ่ายโอนมวลและการแพร่ในแนวแกน ทำให้ไม่สามารถกำหนดสภาวะการดำเนินงานของระบบให้อยู่ในจุดที่มีค่า m_j ตรงที่เหมาะสมที่สุดได้ และอิทธิพลของความต้านทานการถ่ายโอนมวลในระบบที่สมดุลการดูดซับแบบแลงเมียร์จะมีผลมากกว่าระบบที่มีสมดุลการดูดซับเป็นเส้นตรงดังอธิบายในหัวข้อก่อนหน้านี้ ดังนั้นระบบจริงที่ศึกษาจึงมีโอกาศที่จะได้ ค่า $\frac{m_E}{m_D}$ ต่ำกว่า ระบบที่มีสมดุลการดูดซับแบบเป็นเส้นตรง รูปที่ 5.15 แสดงลักษณะการกระจายความเข้มข้นเฉลี่ย ของระบบ SMB ที่มีสมดุลการดูดซับแบบแลงเมียร์ซึ่งใช้ตัวคายการดูดซับที่ต่างกันทั้ง 4 แบบ และความเข้มข้นและความบิสุทธิของผลิตภัณฑ์ทั้งสองสายแสดงไว้ในตารางที่ 5.5 ในระบบจริงดังตารางที่ 5.5 ตัวดูดซับไนโตรเจน ให้



รูปที่ 5.15: แสดงลักษณะการกระจายความเข้มข้นเฉลี่ย ของระบบ SMB ที่มีสมดุลการดูดซับแบบแลงเมียร์ซึ่งใช้ตัวคายการดูดซับที่ต่างกันทั้ง 4 แบบ (1) ลักษณะการกระจายความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์แอ็กซ์แทรก (2) ลักษณะการกระจายความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ราฟฟิเนท

สมรรถนะของระบบได้ไม่ต่างไปจาก ตัวคายการดูดซับมีเทน และให้สมรรถนะของระบบต่ำกว่าโพรเพน ในขณะที่ตัวคายการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งไม่สามารถทำให้เกิดการแยกโดยสมบูรณ์ในผลิตภัณฑ์ทั้งสองสายได้