

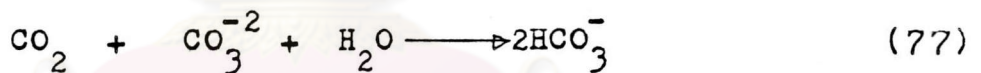
ผลการทดลอง วิเคราะห์และวิจารณ์

4.1 คำนำ

คงได้กล่าวมาในบทที่ 2 แล้วว่าปรากฏการณ์การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นปฏิกิริยา pseudo-first order สมการที่ไฮโดรเจนไอออนการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในสารละลายคาร์บอนเนตคือ

$$J_A = R \cdot d = d(C^* - C_b) \sqrt{\frac{k_L^2 + D}{k_{As}^2 + k_{OH}^2}} \quad (76)$$

ในขณะที่ปฏิกิริยาค่าเป็นไปนั้น สารละลายตัวอย่างที่เก็บมาหาปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนเนตที่ลดลงสมมูลกับปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดูดซับทั้งหมด



เมื่อเอาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดูดซับมาหาความสัมพันธ์กับเวลา ความชันของเส้นแสดงความสัมพันธ์ที่อัตราส่วนบีเฟอ์ เท่ากับหนึ่งคืออัตราการดูดซับต่อปริมาตร (J_A) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลต่อปริมาตรกำหนดได้จากอัตราการดูดซับทั้งหมดในภาคผนวก ก.

ในการทดลองกำหนดให้อัตราการไหลของก๊าซ 0.003 ลูกบาศก์เมตร ต่อวินาทีหรือความเร็วไหลผ่าน 0.15 เมตร ต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วไหลผ่านที่ต่ำมากในการที่หมุนเวียนสารละลาย 0.006 ลูกบาศก์เมตร เวลาที่สารละลายอยู่ภายในคอลัมน์ 86 วินาที หากต้องการทดลองให้สารละลายมีปริมาตร 0.032 ลูกบาศก์เมตรก็ต้องใช้เวลาในการหมุนถ่ายสารละลาย 457.6 วินาที ความเข้มข้นของตัวเร่งคือไฮโดรเจนไอออนในทั้งที่มีผลต่อการดูดซับก๊าซมากเหมือนกัน Alper และคณะ (1980) ได้ศึกษาอัตราการดูดซับก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้สารละลายบัพเพอร์คาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต ในระบบดังกล่าว เขาพบว่า ถ้าความเข้มข้นของอาร์เซไนต์ 0.15 โมลต่อลิตร จะทำให้อัตราการดูดซับลดลง ความสามารถในการแพร่กระจายลดน้อย สารละลายมีความหนืดมากขึ้น และถ้าใช้ความเร็วรอบของไบพัตค่า 50 ถึง 120 รอบต่อนาที จะทำให้เงื่อนไขของปฏิกิริยาไม่เป็นไปตามวิธีการของ Danckwerts เขาได้เสนอแนะความเข้มข้นของอาร์เซไนต์ที่เหมาะสมที่สุดคือ 0.019 โมลต่อลิตร เป็นช่วงที่อัตราการดูดซับสูง เป็นแนวแน่นอนไม่กระจัดกระจายเหมือนที่ความเข้มข้นสูงๆ ความเข้มข้นของอาร์เซไนต์ต่ำๆ ใช้ได้กับทุกความเร็วไบพัต

4.2 ผลของอัตราการไหลของก๊าซ

จากผลการทดลองในตาราง ข. 8 และ ข. 9 แสดงความสัมพันธ์การถ่ายเทมวลต่อปริมาตรกับอัตราการไหลของก๊าซเมื่อผ่านก๊าซเข้าสู่สารละลายในคอลัมน์ โดยที่ความสูงของสารละลาย 0.32 และ 1.77 เมตร เมื่อนำเอาค่าเหล่านี้ไปแสดงความสัมพันธ์ในกราฟจึงปรากฏว่า เมื่อความสูงของสารละลาย 0.32 เมตร ก๊าซไหลผ่านด้วยความเร็วไม่เกิน 0.005 เมตรต่อวินาที สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลต่อปริมาตรเฉลี่ย 0.003 ต่อวินาที หากความสูงของสารละลายเป็น 1.77 เมตร ก๊าซไหลผ่านด้วยความเร็วไม่เกิน 0.015 เมตรต่อวินาที สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลต่อปริมาตรเฉลี่ย 0.025 วินาที ทั้งนี้ความเร็วไหลผ่านก๊าซไม่เกิน 0.015 เมตรต่อวินาที สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลต่อปริมาตรไม่ขึ้นกับความเร็วไหลผ่านของก๊าซ

4.3 ผลของความเข้มข้นของก๊าซที่ไหลเข้าสู่คอลัมน์ฟองก๊าซและคอลัมน์เครื่องผสมสถิตย

จากรูปที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลต่อปริมาตรกับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซผสมตั้งแต่ร้อยละ 1 ถึง 16 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อสัมประสิทธิ์

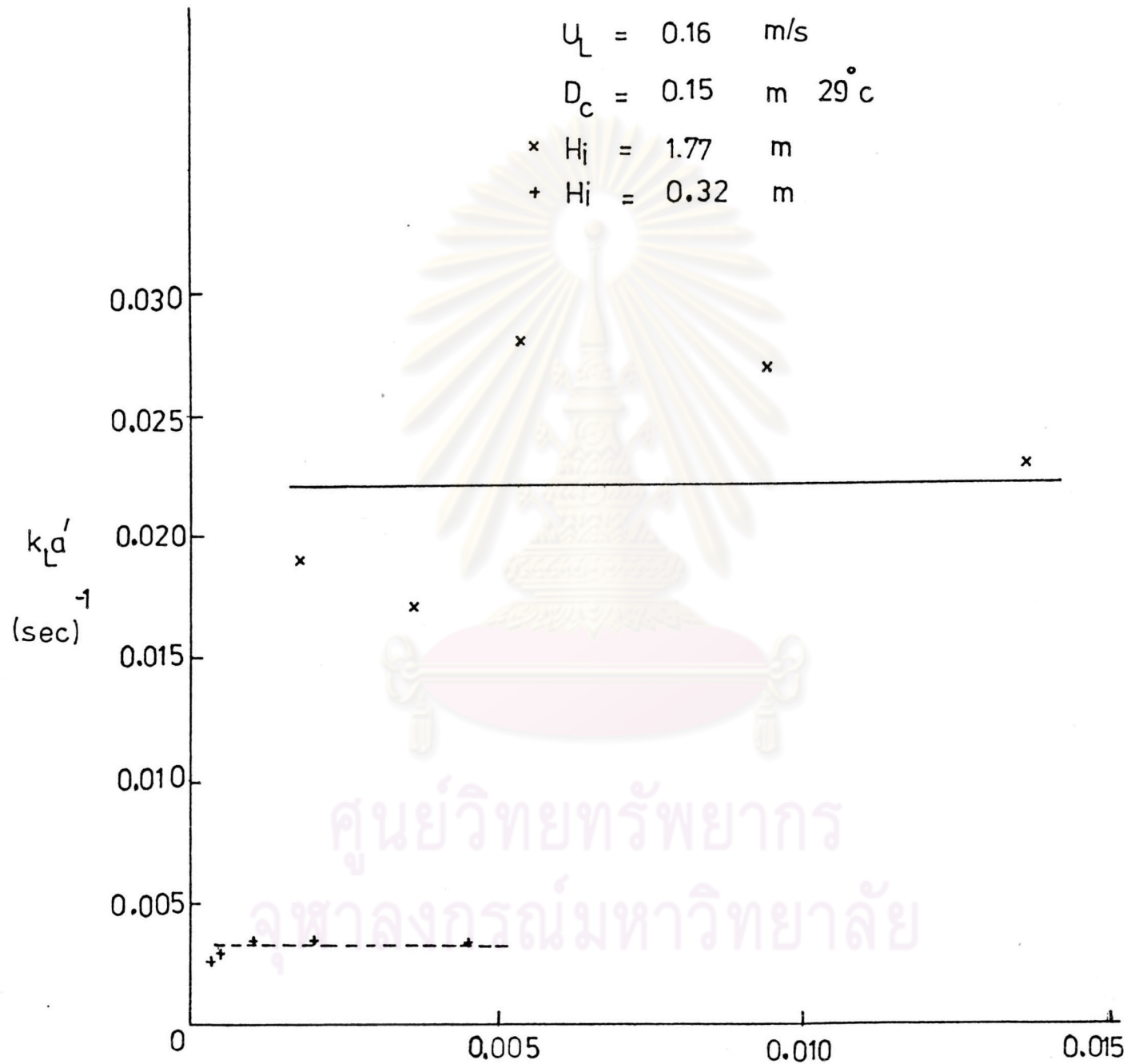
Gas Orifice = 0.5 mm

$U_L = 0.16$ m/s

$D_c = 0.15$ m 29°C

x $H_i = 1.77$ m

+ $H_i = 0.32$ m



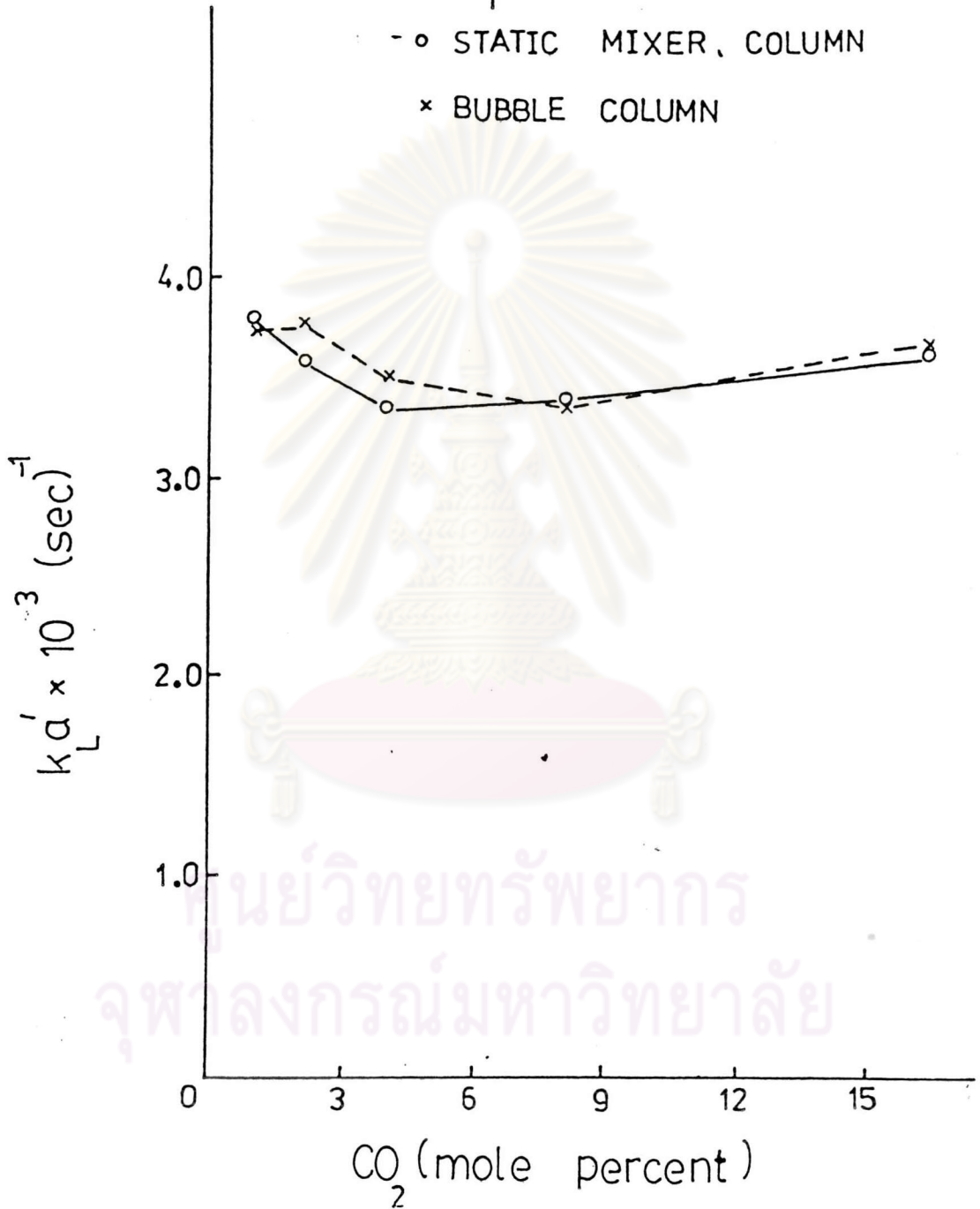
รูปที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลต่อปริมาตรกับ
ความเร็วไหลผ่านของก๊าซ

$$U_G = 0.10 \times 10^{-1} \text{ m/s}$$

$$U_L = 0.16 \text{ m/s}$$

$$D_c = 0.15 \text{ m. } 29^\circ \text{ c}$$

$$H_i = 0.32 \text{ m}$$



รูปที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล
 ต่อปริมาตรกับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์

การถ่ายเทมวลต่อปริมาตร เมื่อความเข้มข้นร้อยละ 1 ถึง 4 หากความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่านี้จะไม่เกิดต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลต่อปริมาตร

เนื่องจากความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในฟองก๊าซมีมาก ย่อมมีการถ่ายเทมวลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ชั้นของพื้นผิวสัมผัส (interface) ที่คั่นระหว่างฟองก๊าซกับเนื้อของเหลวมากกว่า แต่ความเข้มข้นของโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ในเนื้อของเหลวนั้นน้อย ทำให้ความเข้มข้นของโมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นของพื้นผิวสัมผัสแตกต่างกับความเข้มข้นในเนื้อของเหลว ความแตกต่างของความเข้มข้นนี้เรียกว่าแรงขับ (driving force) ถ้าแรงขับมีมากทำให้อัตราส่วนของ absorption flux (J) ต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลคงที่ (Astarita และ Savage, 1980)

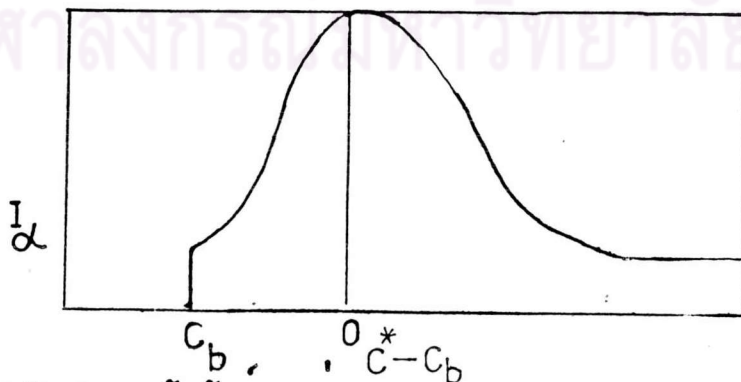
Astarita และ Savage (1980) กำหนดให้ I_α เป็นโอกาสของโมเลกุลก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดการดูดซึม (enhancement factor) จากชั้นของพื้นผิวสัมผัสเข้าสู่เนื้อของเหลวจะได้

$$J = I_\alpha k_L (C^* - C_b)$$

เมื่อ $C^* - C_b$ = แรงขับ (driving force)
 J = absorption flux

I_α = โอกาสถูกดูดซึมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
 Astarita ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงขับกับโอกาสการถูก

ดูดซึมคือ



รูปที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง enhancement factor กับ $C^* - C_b$

จากรูปจะเห็นว่า เมื่อแรงขับเคลื่อนมากโอกาสการถูกคุมขังโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นพื้นผิวสัมผัสเข้าสู่เนื้อของเหลวมีน้อย ถ้าแรงขับเคลื่อนมากๆแล้วโอกาสการถูกคุมขังจะคงที่

รูปที่ 15 ยังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลต่อปริมาตรกับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เปรียบเทียบผลที่ได้จากฟองก๊าซจะใกล้เคียงและเหมือนกับเส้นแสดงความสัมพันธ์ของคอลัมน์เครื่องผสมสตีคีย ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลเฉพาะในช่วงร้อยละ 1 ถึง 4 เหมือนกัน นั่นคือในสภาพการทดลองที่สารละลายไม่มีโซเดียมคาร์บอเนตที่เมทิลเซลลูโลสผลของการใช้เครื่องผสมสตีคียไม่ได้แตกต่างจากการใช้คอลัมน์ฟองก๊าซ

4.4 ผลของการใช้ของเหลวกักตัวคุมขังก๊าซในคอลัมน์ฟองก๊าซกับคอลัมน์เครื่องผสมสตีคีย

จากรูปที่ 17 แสดงผลของการศึกษาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลต่อปริมาตรในสถานะของเหลวกับความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตที่เมทิลเซลลูโลสในคอลัมน์ฟองก๊าซกับคอลัมน์เครื่องผสมสตีคีย จะเห็นว่าเส้นกราฟทั้งสองมีความชันเป็นลบ แสดงว่าค่าปริมาณความเข้มข้นของสารกักตัวน้อยจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลต่อปริมาตรสูง แต่ค่าความเข้มข้นของเหลวกักตัวมากขึ้นจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลต่อปริมาตรลดลง

เปรียบเทียบความชันของเส้นกราฟของคอลัมน์ทั้งสองชนิด ความชันของผลที่ได้จากคอลัมน์ฟองก๊าซมีความชันน้อยกว่าความชันที่ได้จากการทดลองกับคอลัมน์เครื่องผสมสตีคีย แสดงว่าผลของความเข้มข้นของของเหลวกักตัวที่มีต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลต่อปริมาตรในคอลัมน์เครื่องผสมสตีคียมีมากกว่าคอลัมน์ฟองก๊าซ โดยเฉพาะในช่วงของความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตที่เมทิลเซลลูโลสร้อยละ 2 ถึง 2.5 จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลต่อปริมาตรมาก ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตที่เมทิลเซลลูโลส 0.5 ถึง 1.5 ลักษณะของฟองก๊าซเป็น

+ BUBBLE COLUMN

o STATIC MIXER COLUMN

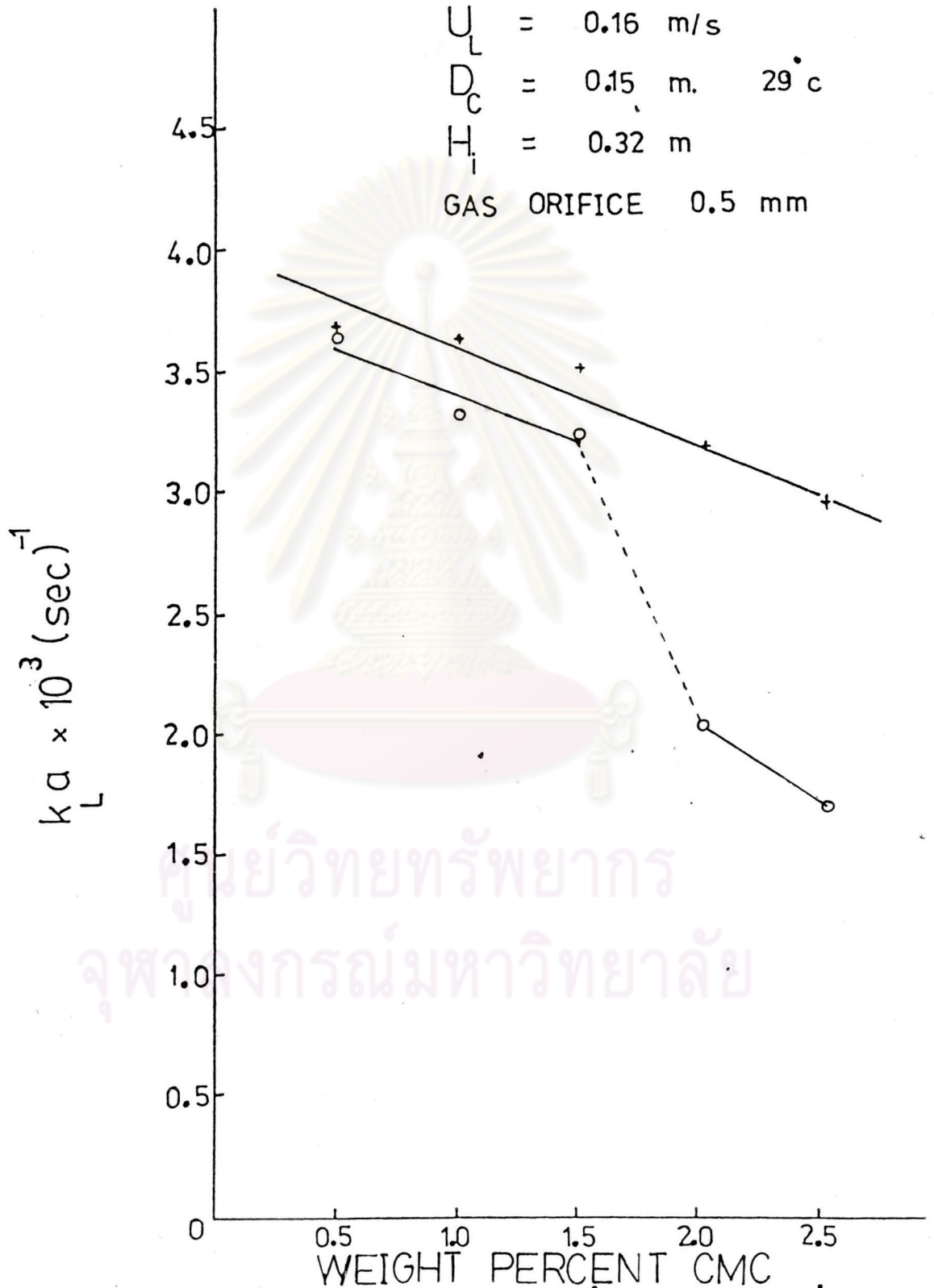
$$U_G = 0.10 \times 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$U_L = 0.16 \text{ m/s}$$

$$D_C = 0.15 \text{ m. } 29^\circ \text{ c}$$

$$H_i = 0.32 \text{ m}$$

GAS ORIFICE 0.5 mm



รูปที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล
ต่อปริมาตรกับความเข้มข้นของ CMC

ฟองเล็กมีรูปร่างกลมรี กึ่งรูปที่ 3 ก. ฟองลักษณะนี้ทำให้การถ่ายเทมวลของก๊าซจากฟองก๊าซเข้าสู่ฟิล์มบางๆของพื้นผิวสัมผัสโคคี้ (Calderbank, 1967)

เมื่อความเข้มข้นของของเหลวถูกกำลังในสารละลายมีมากขึ้น 2 ถึง 2.5 ลักษณะของฟองก๊าซไม่ใช่เป็นทรงกลมรีแต่มีการรวมตัวกันของฟองก๊าซเป็นฟองใหญ่รูปทรงหมวกแก๊ปกึ่งรูปที่ 3 ข. ฟองก๊าซมีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยสูง จึงทำให้มีการถ่ายเทมวลน้อย

สาเหตุที่ทำให้ความชื้นของเส้นกราฟที่ไคจากคอลัมน์เครื่องผสมสติดียมีมากกว่าคอลัมน์ฟองก๊าซเนื่องจากในคอลัมน์เครื่องผสมสติดียมีฟองก๊าซที่เกิดขึ้นจะลอยตัวเข้าปะทะกับส่วนโค้งของแผ่นผสมสติดีย ทำให้รูปทรงของฟองก๊าซเปลี่ยนแปลงไปควย มีการรวมตัวของฟองก๊าซเป็นฟองใหญ่ ทำให้พื้นที่ผิวของฟองก๊าซลดลง

จากรูปที่ 19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลต่อปริมาตรกับความหนืดปรากฏ จะเห็นว่าความชื้นมีการเปลี่ยนแปลงมากเมื่อความหนืดปรากฏ 120 และ 407 กิโลกรัม/เมตร.วินาที ซึ่งเป็นค่าความหนืดปรากฏของโซเดียมคาร์บอเนตซีเมตติลเซลลูโลสเข้มข้นร้อยละ 2 และ 2.5 ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตซีเมตติลเซลลูโลสร้อยละ 2 และ 2.5 รูปทรงของฟองก๊าซเป็นทรงหมวกแก๊ปขนาดใหญ่ซึ่งมีความหนาของชั้นผิวสัมผัสมากเป็นสาเหตุให้แข็งแรงขึ้นมากควย

รูปที่ 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลต่อปริมาตรกับคณีกำลังของของเหลวถูกกำลัง จะพบว่าเมื่อกำลังของของเหลวมากมีผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลต่อปริมาตรมาก แต่เมื่อคณีกำลังของของเหลวน้อยจะมีผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลต่อปริมาตรน้อย

เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของของเหลวถูกกำลังต่อของเหลวนิวโตเนียนกับอัตราส่วนของความหนืดปรากฏต่อความหนืดของของเหลวนิวโตเนียน กับการนำอัตราส่วนสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลต่อปริมาตรที่ไคจากการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนต

ซีเมทิลเซลลูโลสในคอลิมน์ฟองก๊าซกับคอลิมน์เครื่องผสมสติกซ์ต่อ
 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลต่อปริมาตรที่ได้จากความเร็วไหลผ่านของก๊าซ 0.001
 เมตรต่อวินาที เขียนกราฟกับอัตราส่วนของความหนืดปรากฏต่อความหนืดของสาร
 ละลายที่ไม่มีซีเดียมคาร์บอเนตซีเมทิลเซลลูโลสจะได้

$$\frac{(k_L a)_P}{(k_L a)_N} \approx \frac{\mu_a}{\mu_N}$$

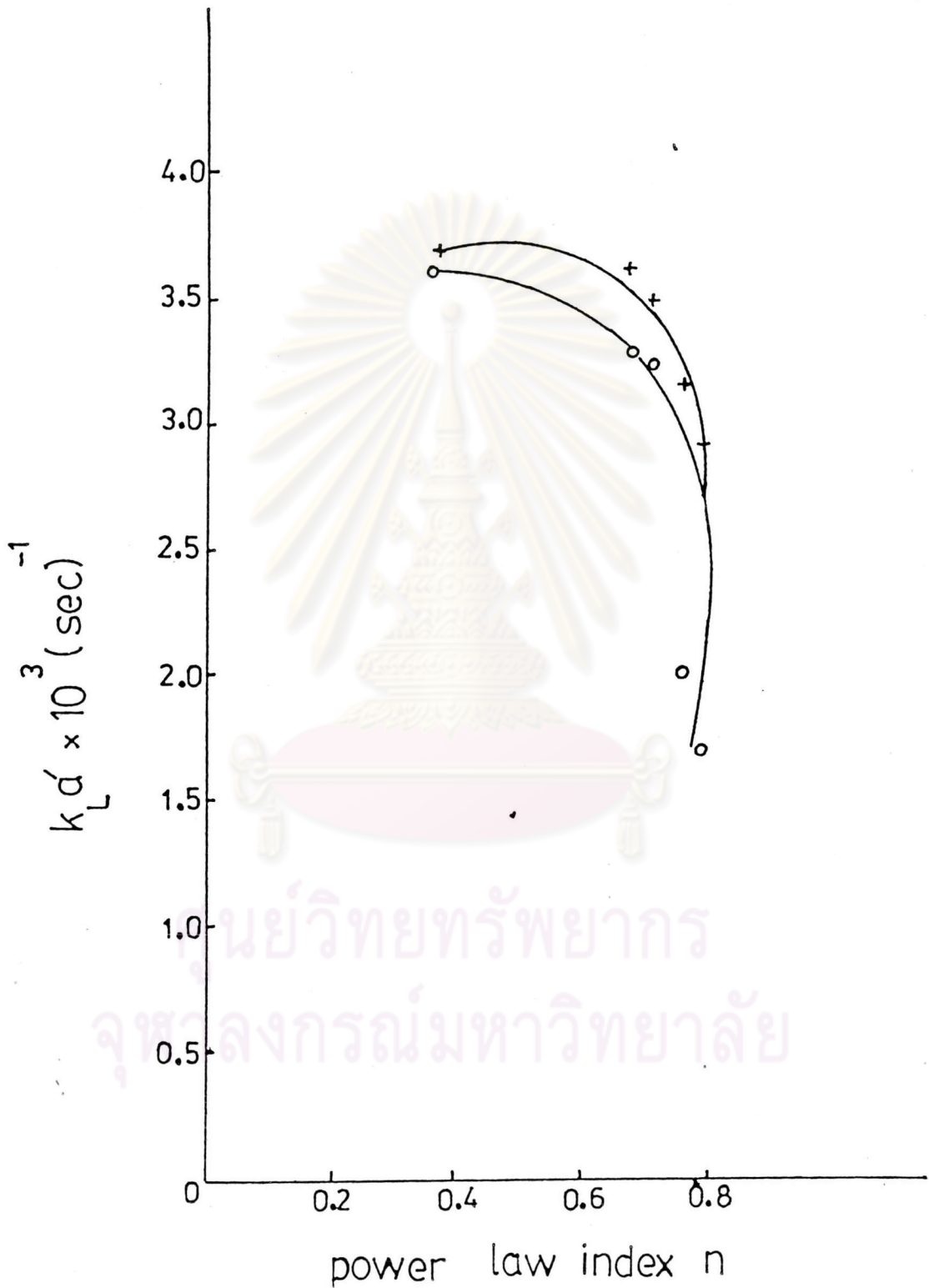
ซึ่งแสดง ไว้ในรูปที่ 20 นั่นคือ non-Newtonian มีผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่าย
 เหวมวลต่อปริมาตรน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับของเหลวนิวโตเนียน



ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

× BUBBLE COLUMN

○ STATIC MIXER COLUMN

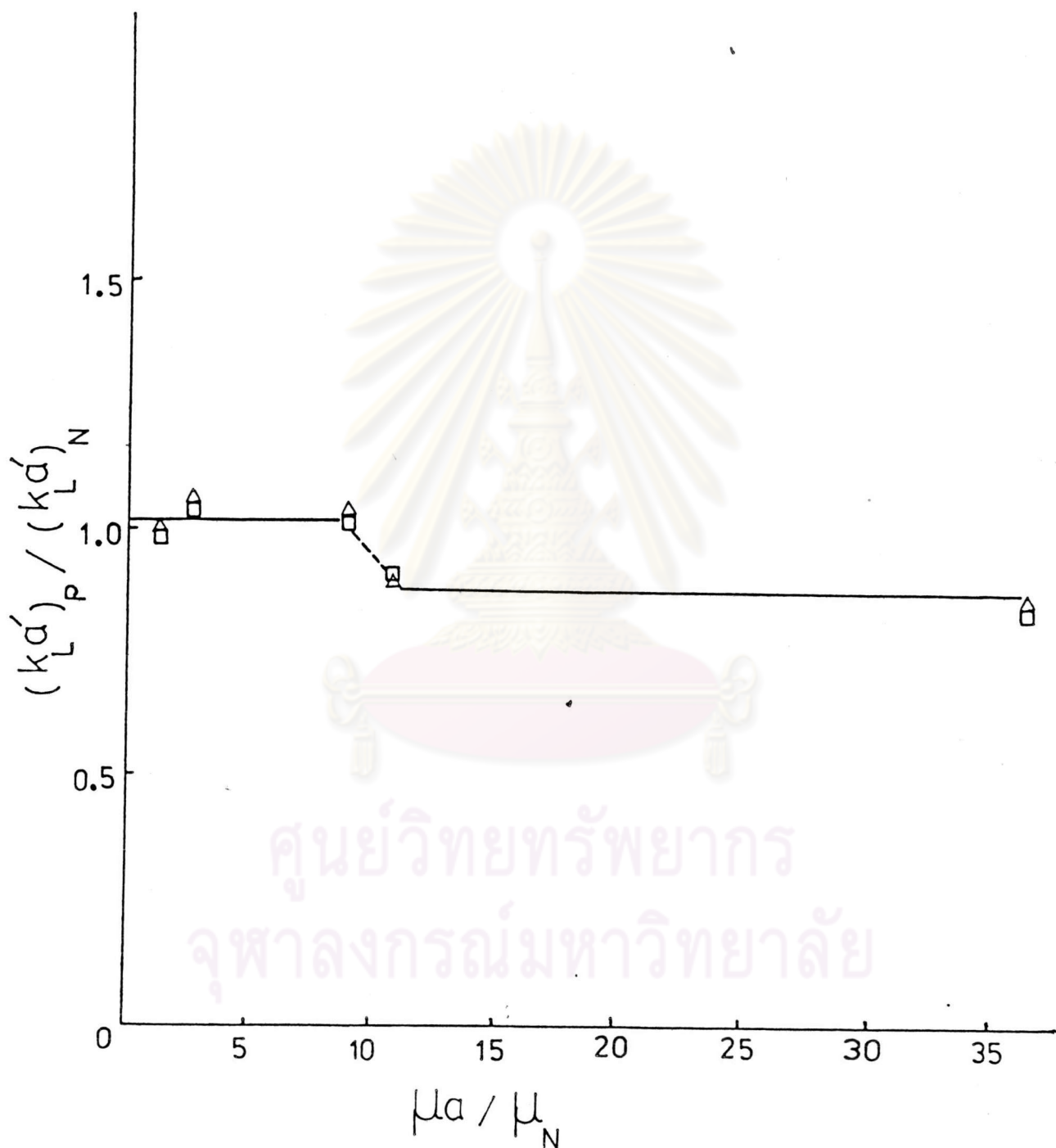


รูปที่ 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล
 ต่อปริมาตรกับดัชนีกำลัง

รูปที่ ๑๘ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรกับความหนืดปรากฏ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลต่อ ปริมาตร กับอัตราส่วนของความหนืด