

## บทที่ 4

## ผลการทดลอง, การวิเคราะห์และวิจารณ์

ในการศึกษาผลของสารชอบผิวที่มีต่ออัตราการถ่ายเทมวลออกซิเจนนั้นได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนคือ ในส่วนแรกจะทำการทดลองการถ่ายเทมวลออกซิเจนในน้ำซึ่งไม่มีสารชอบผิวเพื่อทดสอบเครื่องมือในการวัดค่าต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบผลการทดลองกับผู้ทดลองอื่น ๆ และในส่วนที่สองจะเป็นการทดลองในสารละลายสารชอบผิว

## 4.1 การทดลองในน้ำที่ไม่มีสารชอบผิว

## 4.1.1 สัดส่วนก๊าซค้าง, H

จากรูปที่ 4.1 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนก๊าซค้างต่อกำลังงานจำเพาะ (specific power) ที่ค่าความเร็วไหลผ่านของอากาศต่าง ๆ พบว่าสัดส่วนก๊าซค้างจะมีค่ามากขึ้นเมื่อให้กำลังในการกวนมากขึ้น ซึ่งสามารถสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$H \propto \left(\frac{P}{P_V}\right)^{0.47}, \quad \text{เมื่อ } V_S \text{ คงที่}$$

และเมื่อเพิ่มความเร็วไหลผ่านของอากาศเข้าสู่ถังกวนมากขึ้นจะมีผลทำให้ค่าสัดส่วนก๊าซค้างเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$H \propto V_S^{0.36}, \quad \text{เมื่อ } \frac{P}{P_V} \text{ คงที่}$$

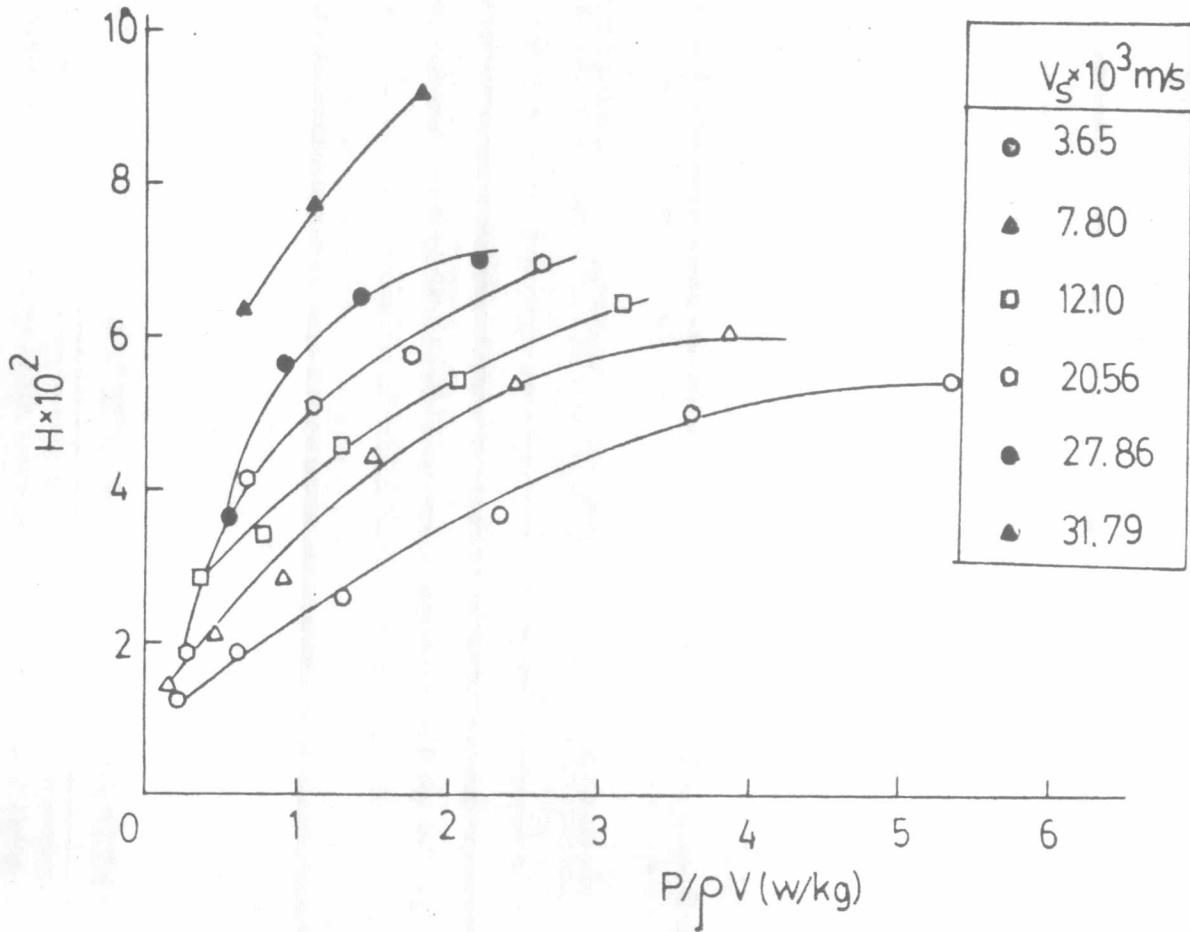
จากความสัมพันธ์ทั้ง 2 นี้สามารถสร้างสมการที่ใช้อธิบายค่าสัดส่วนก๊าซค้าง ดังรูปที่

## 4.2 ดังนี้

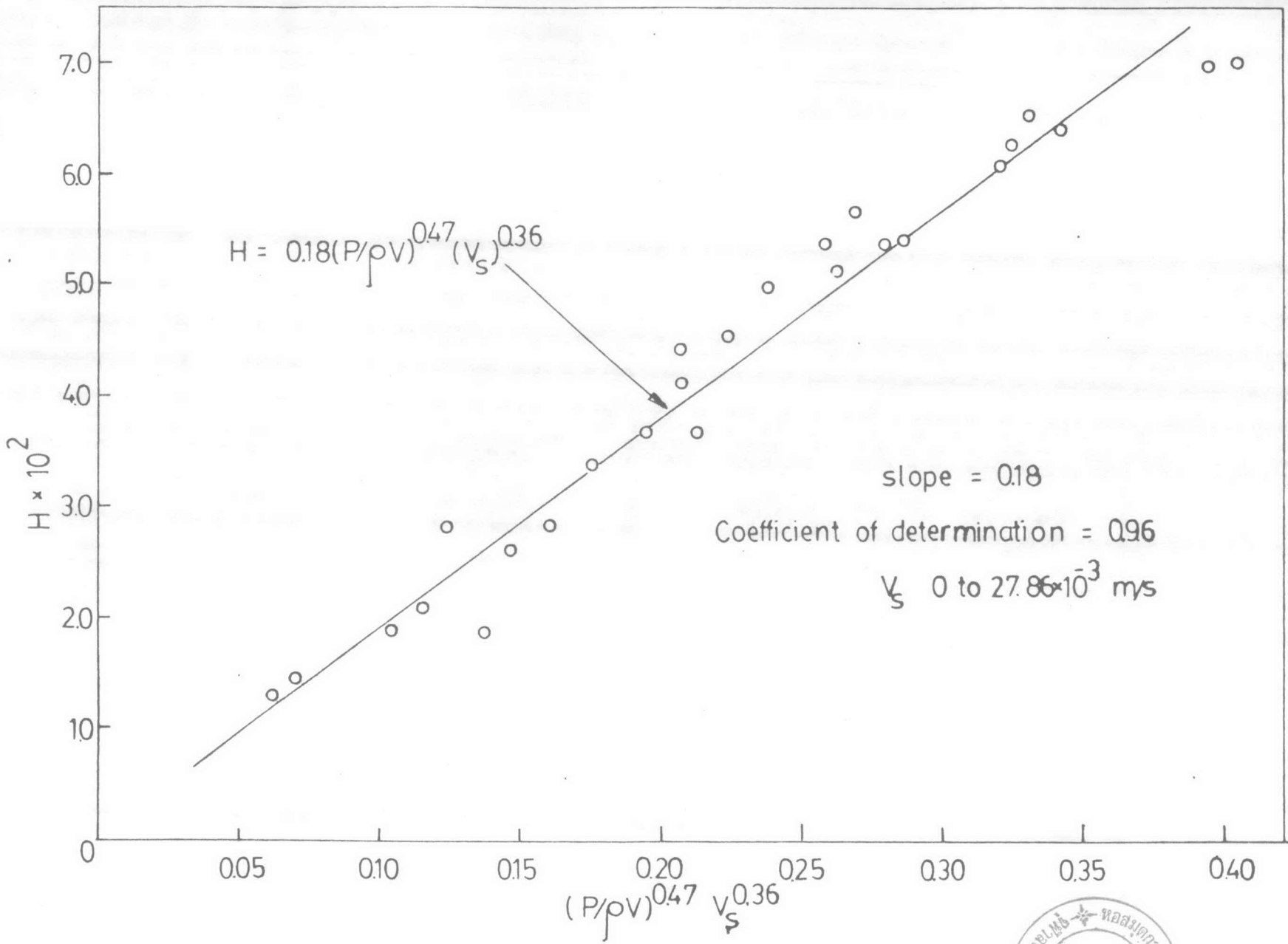
$$H = 0.18 \left(\frac{P}{P_V}\right)^{0.47} V_S^{0.36} \quad (4.1)$$

โดยที่ใช้ได้ในช่วง  $V_S$  0 ถึง  $27.86 \times 10^{-3}$  เมตรต่อวินาที และ P ในช่วง 200 ถึง 5000 วัตต์

ในการสร้างสมการที่ใช้อธิบายสัดส่วนก๊าซค้างนี้ Dickey (12) ได้ทำการทดลองในถังกวนขนาด 2.6 ลบ.ม ได้สมการดังนี้



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $H$  และ  $P/pV$  ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง H และ  $(P/pv)^{0.47} v_s^{0.36}$



$$\text{เมื่อ } \frac{P}{PV} \text{ มีค่าน้อย ๆ, } H = 1.4 \left( \frac{P}{PV} \right) \left( \frac{L}{T} \right)^{1.5} \quad (2.17)$$

$$\text{และเมื่อ } \frac{P}{PV} \text{ มีค่ามาก, } H = 1.8 \left( \frac{P}{PV} \right)^{0.14} V_S^{0.75} \quad (2.18)$$

เนื่องจาก Dickey ได้ทำการทดลองในถังกวนขนาดใหญ่จึงไม่อาจนำสมการที่ได้มาเปรียบเทียบกันในแต่ละตัวเลขของการทดลอง แต่อาจพิจารณาได้ว่า ค่าสัดส่วนก๊าซค้างจะขึ้นกับกำลังที่ใช้ในการกวนต่อน้ำหนักของของเหลวในถังกวนและปริมาณก๊าซที่เข้าสู่ถังกวนเหมือนกัน

#### 4.1.2 กำลังที่ใช้ในการกวน, P

จากรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ของกำลังที่ใช้ในการกวนและอัตราไหลของอากาศเข้าสู่ถังกวน พบว่าเมื่ออัตราการไหลของอากาศเข้าถังกวนเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้กำลังที่ใช้ในการกวนที่ความเร็วรอบของใบพัดกวนหนึ่ง ๆ มีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาที่อัตราไหลของอากาศเข้าสู่ถังกวนคงที่ผลของการเพิ่มจำนวนรอบในการกวนจะทำให้ต้องใช้กำลังในการกวนมากขึ้น จากรูปที่ 4.4 เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Power ratio และ Aeration number ซึ่งสามารถสร้างความสัมพันธ์ในรูปสมการได้ดังนี้

$$Q/NL^3 < \sim 0.04, \quad \frac{P}{Po} = 1.00 - 11.03 Q/NL^3 \quad (4.2)$$

$$Q/NL^3 > \sim 0.04, \quad \frac{P}{Po} = 0.52 - 1.36 Q/NL^3 \quad (4.3)$$

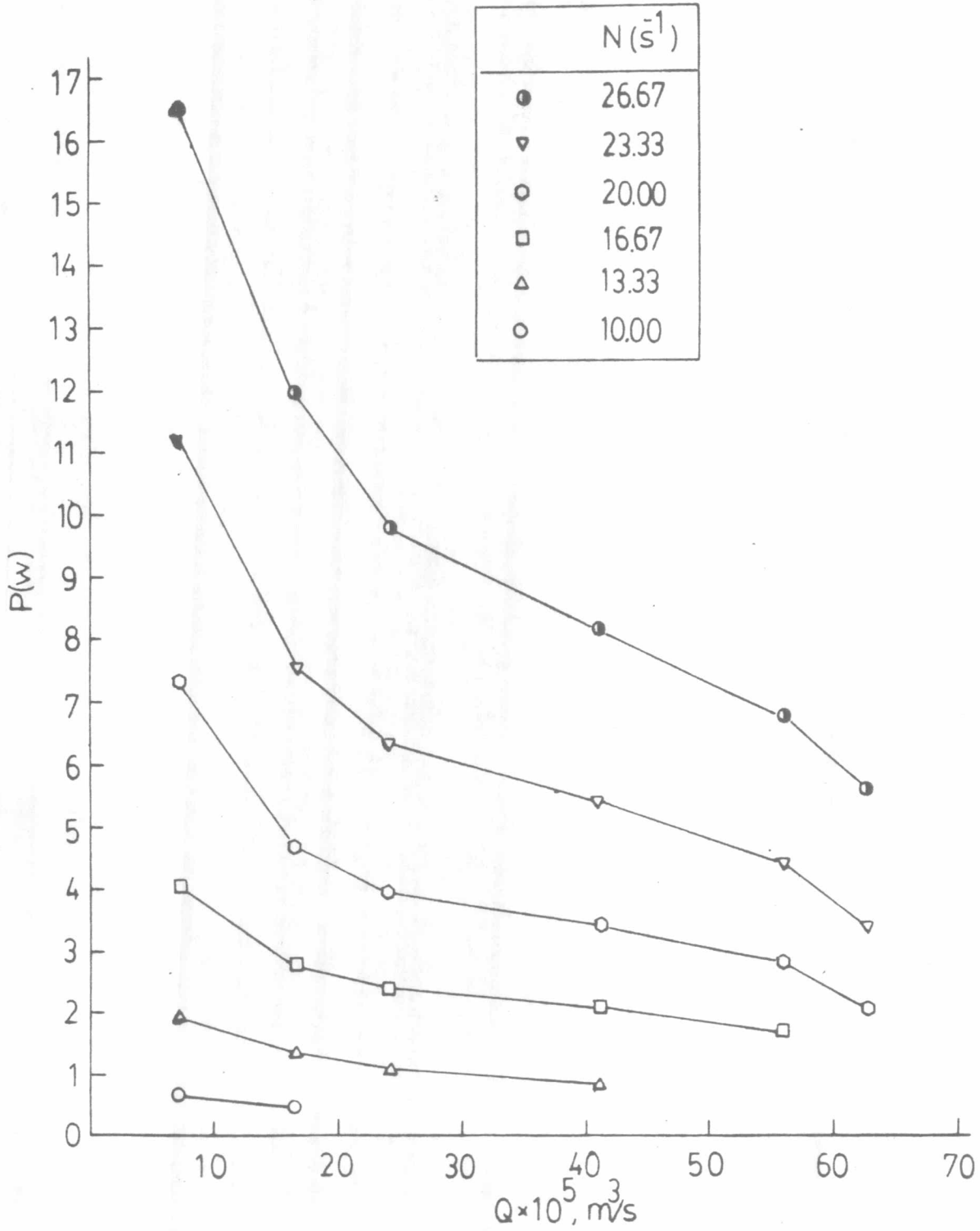
เมื่อเปรียบเทียบสมการทั้ง 2 นี้กับสมการที่ Calderbank ได้สร้างไว้ ดังแสดงในสมการที่ 2.10 และ 2.11 ดังนี้

$$Q/NL^3 < \sim 0.03, \quad \frac{P}{Po} = 1.00 - 12.60 Q/NL^3 \quad (2.10)$$

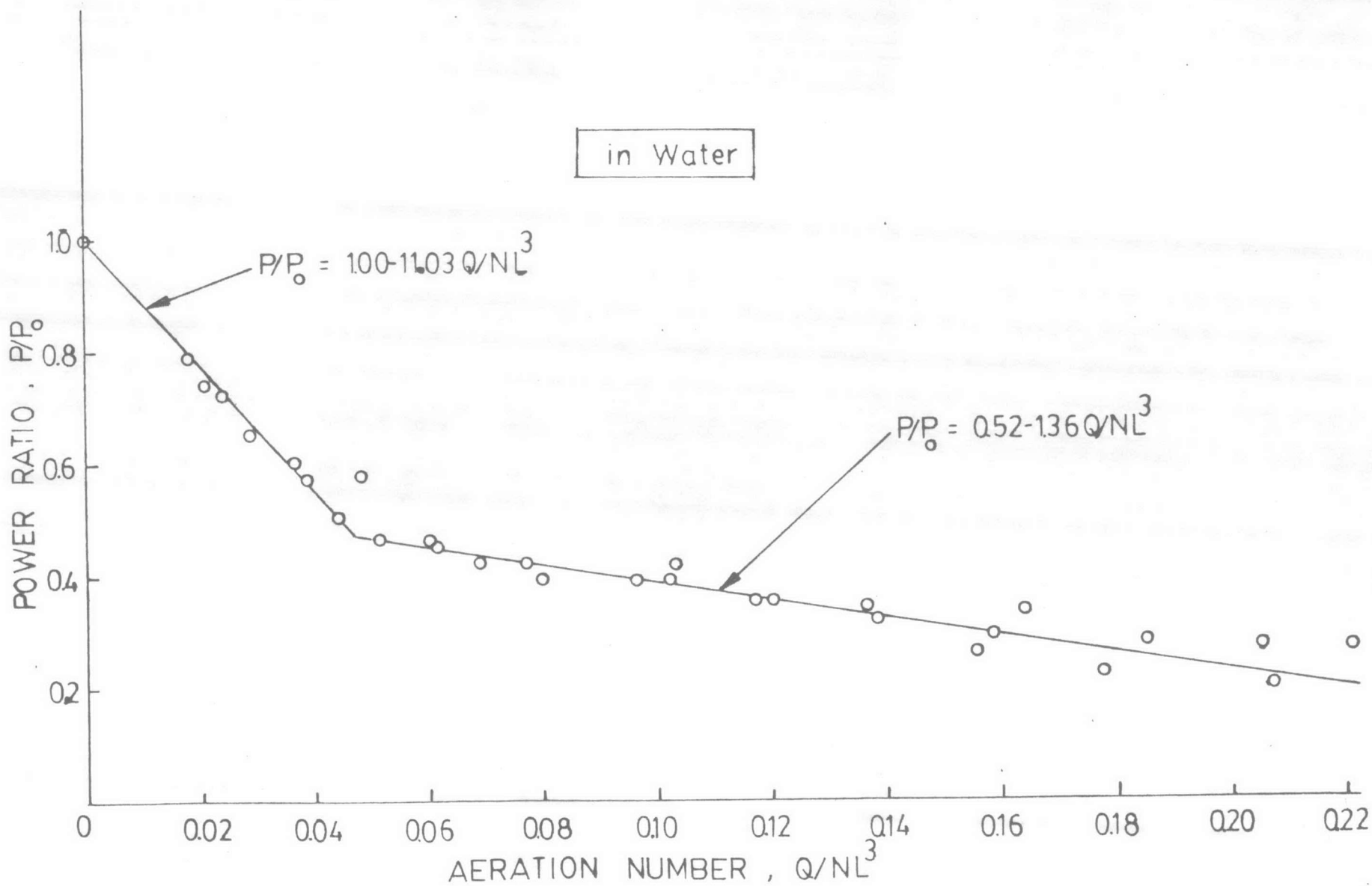
$$Q/NL^3 > \sim 0.03, \quad \frac{P}{Po} = 0.62 - 1.85 Q/NL^3 \quad (2.11)$$

จะเห็นว่าสมการของ Calderbank และสมการที่ได้จากการทดลองมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นการยืนยันว่าผลการทดลองที่ได้มีความถูกต้องมากพอสมควร





รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง P และ Q ที่ความเร็วรอบของใบพัดกวนต่าง ๆ



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $P/P_0$  และ  $Q/NL^3$  ในน้ำ

#### 4.1.3 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร , $K_L A$

ในการศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทมวลออกซิเจนในน้ำโดยมีตัวแปร 2 ตัวคือ อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ถังกวน และความเร็วรอบของใบพัดกวน ผลการทดลองพอสรุปได้ดังนี้

จากรูปที่ 4.5 ซึ่งแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร และความเร็วรอบของใบพัดกวนพบว่าขณะที่ความเร็วรอบของใบพัดกวนเพิ่มขึ้น มีผลทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมต่อหน่วยปริมาตรเพิ่มขึ้นทุก ๆ อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ถังกวน

รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร และอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ถังกวน พบว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมต่อหน่วยปริมาตรจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ถังกวนมากขึ้นจนถึงที่อัตราการไหลของอากาศประมาณ  $40.0 \times 10^{-5}$  ลบ.ม ต่อวินาที หลังจากนั้นจะไม่มีผลทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมต่อหน่วยปริมาตรเพิ่มขึ้น

รูปที่ 4.7 แสดงผลของกำลังที่ใช้ในการกวนต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร พบว่าเมื่อให้กำลังที่ใช้ในการกวนเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมต่อหน่วยปริมาตรเพิ่มขึ้นจนถึงที่อัตราการไหลของอากาศประมาณ  $40.0 \times 10^{-5}$  ลบ.ม ต่อวินาที

ในการสร้างสมการเพื่ออธิบายผลการทดลองนี้และเพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบผลงานของผู้ทดลองอื่น ๆ จึงใช้รูปแบบสมการดังนี้

$$K_L A = \gamma \left(\frac{P}{V}\right)^\alpha (V_S)^\beta \quad (4.4)$$

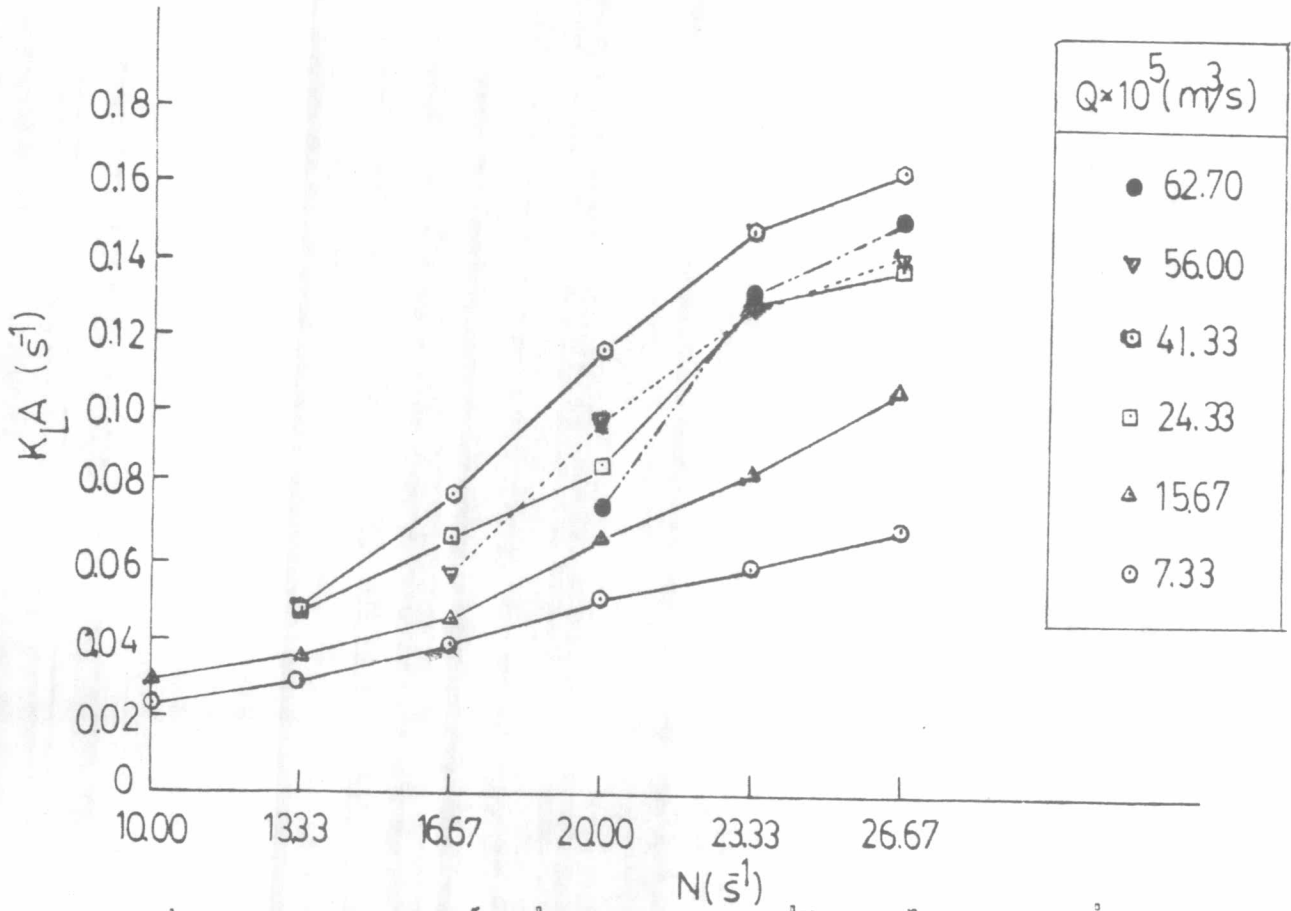
เมื่อ  $V_S$  คงที่ พบว่า  $K_L A$  จะมีความสัมพันธ์กับค่า  $\frac{P}{V}$  ดังนี้

$$K_L A \propto \left(\frac{P}{V}\right)^{0.46}$$

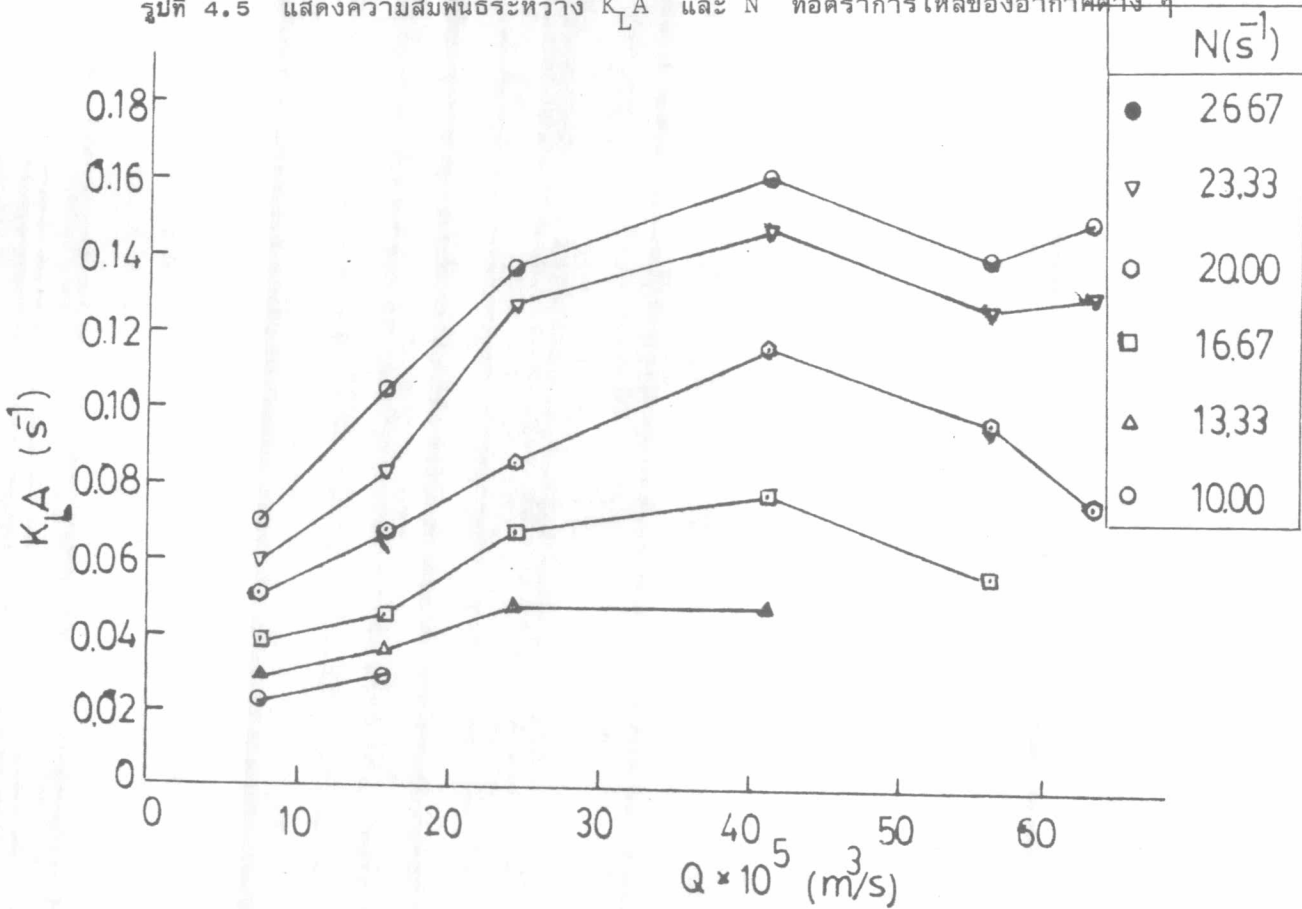
และเมื่อ  $\frac{P}{V}$  คงที่ พบว่า  $K_L A$  จะมีความสัมพันธ์กับค่า  $V_S$  ดังนี้

$$K_L A \propto V_S^{0.62}$$

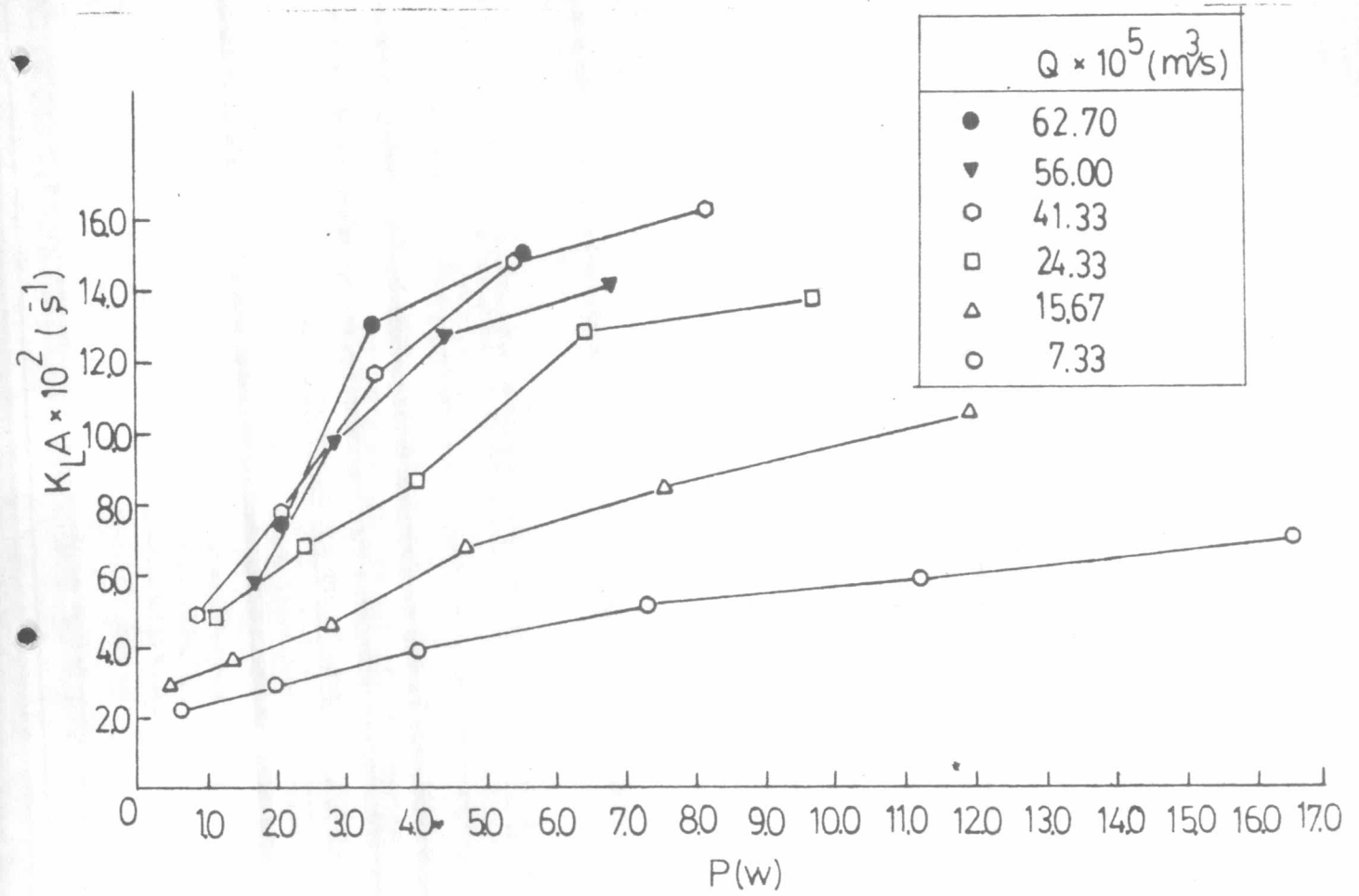
จากรูปที่ 4.8 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $K_L A$  และ  $\left(\frac{P}{V}\right)^{0.46} V_S^{0.62}$  ได้ค่า slope เท่ากับ  $4.94 \times 10^{-2}$  ดังนั้นสมการสมบูรณที่ใช้ในการอธิบายค่าความสัมพันธ์ของ



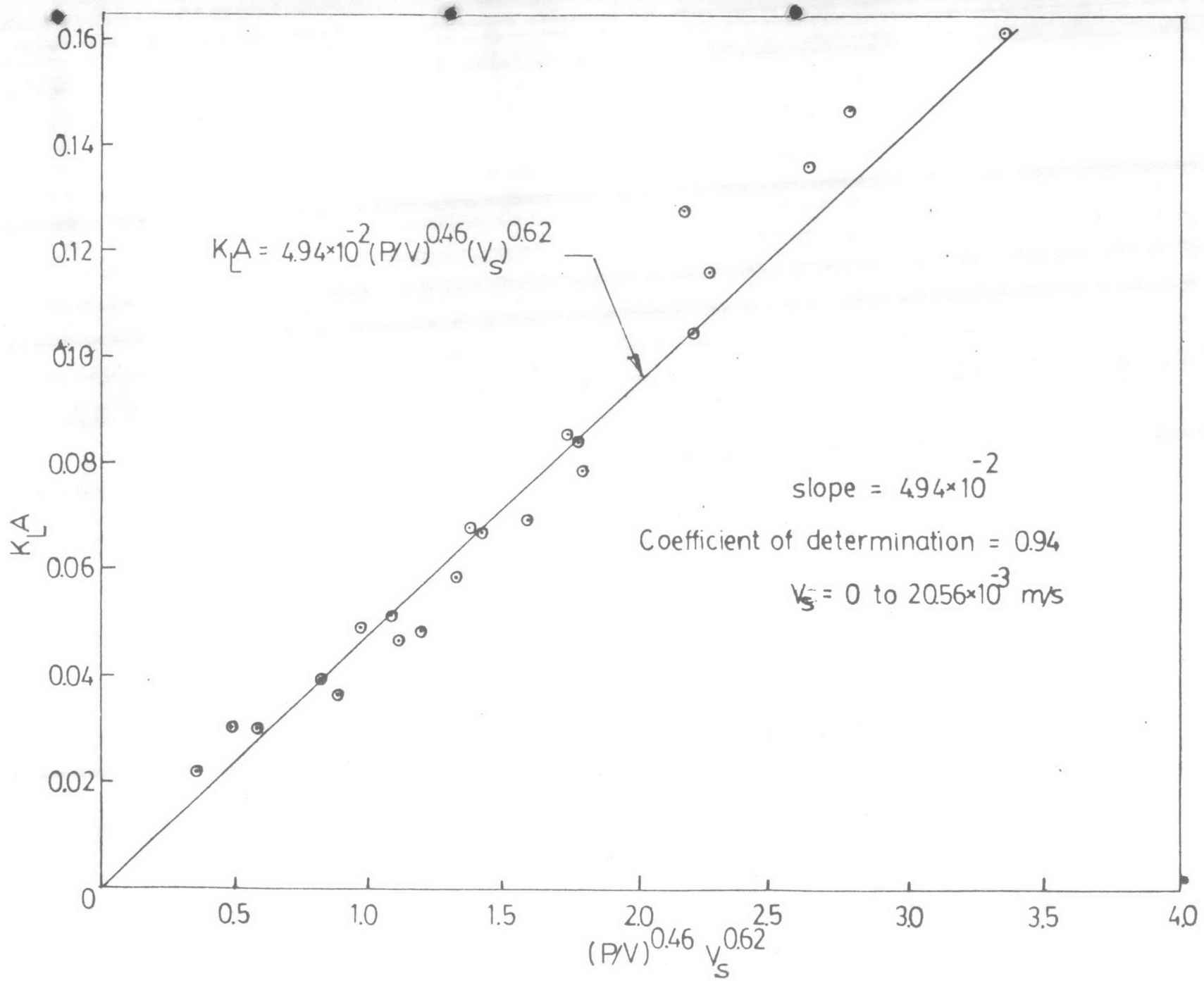
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $K_L A$  และ  $N$  ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $K_L A$  และ  $Q$  ที่ความเร็วรอบของใบพัดกวนต่าง ๆ



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $K_L A$  และ  $P$  ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $K_L A$  และ  $(P/V)^{0.46} v_s^{0.62}$

$K_L A$  ,  $\frac{P}{V}$  และ  $V_S$  จะเป็นดังนี้

$$K_L A = 4.94 \times 10^{-2} \left(\frac{P}{V}\right)^{0.46} V_S^{0.62} \quad (4.5)$$

โดยที่  $V_S$  จะใช้ได้ในช่วง  $0 - 20.56 \times 10^{-3}$  เมตรต่อวินาที

$\frac{P}{V}$  จะใช้ได้ในช่วง  $200-5000$  วัตต์ต่อลบ.ม

ในการสร้างสมการเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร Riet (7)

ได้สร้างสมการไว้ดังนี้

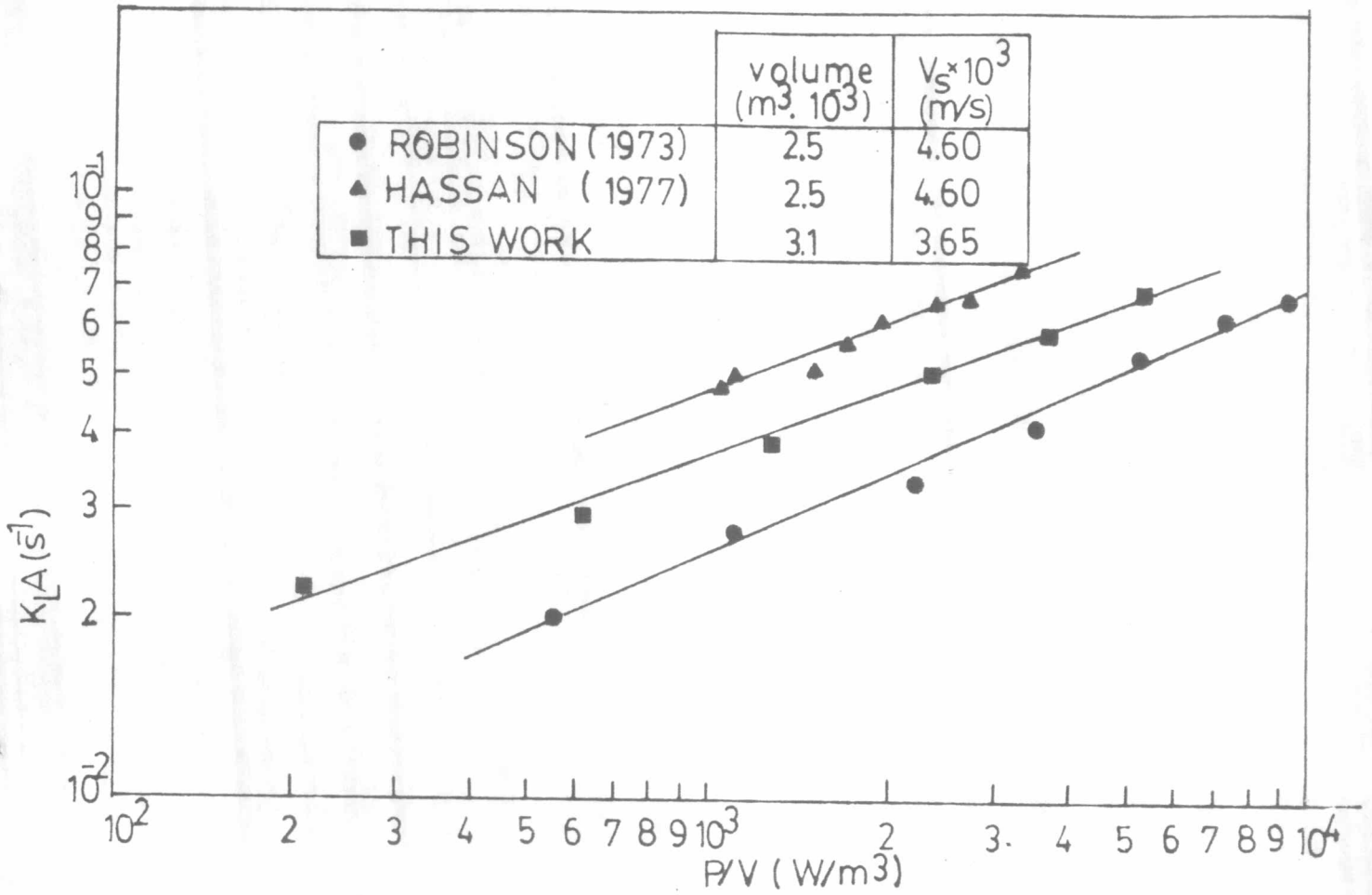
$$K_L A = 26 \times 10^{-2} \left(\frac{P}{V}\right)^{0.4} (V_S)^{0.5} \quad (2.30)$$

สมการที่ Riet ที่สร้างขึ้นนี้ได้จากการรวบรวมข้อมูลผลการทดลองจากผู้ทดลองอื่น ๆ ซึ่งขนาดของถังกวนที่ใช้ในการทดลองมีขนาดตั้งแต่ 2 ถึง 2600 ลิตร และ  $P/V$  อยู่ในช่วง 500 ถึง 10000 วัตต์ต่อลบ.ม และสมการนี้มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 20-40 เปอร์เซ็นต์ แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าข้อมูลส่วนใหญ่ที่ Riet ใช้ในการสร้างสมการนี้มาจากการทดลองสำหรับถังกวนขนาดใหญ่ สำหรับข้อมูลจากถังกวนขนาดเล็กจะเบี่ยงเบนไปจากสมการนี้มาก จากการเปรียบเทียบข้อมูลสำหรับถังกวนขนาดเล็กจากวารสารฉบับเดียวกันนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 พบว่าค่าใกล้เคียงกับผลงานการทดลองนี้ ดังนั้นค่าที่ได้จากการทดลองนี้จึงน่าจะมีความถูกต้อง แม้ว่าสมการที่ได้จะต่างจากสมการของ Riet ก็ตาม

#### 4.1.4 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลในของเหลว , $K_L$

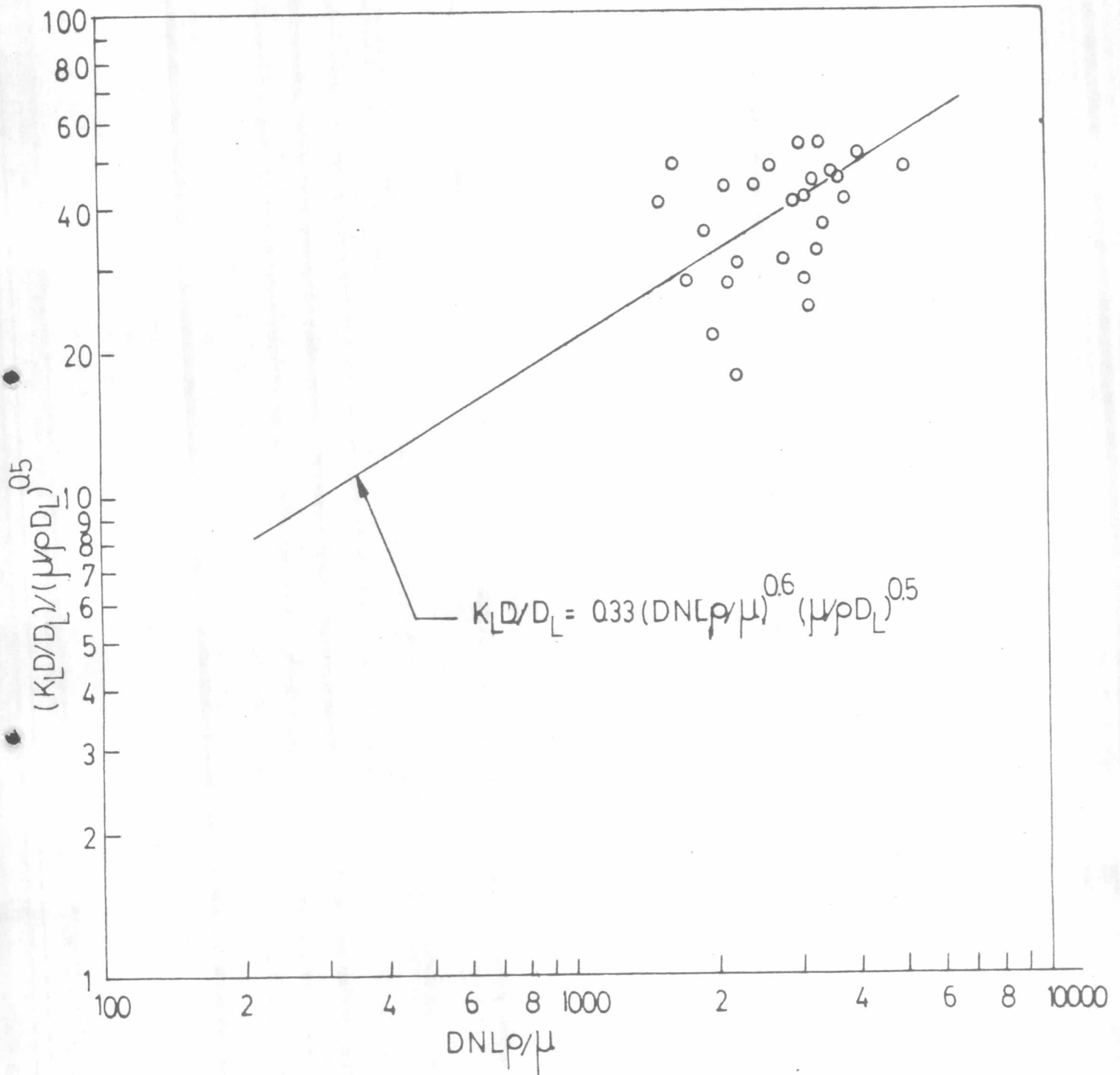
เนื่องจากการทดลองได้ทำในช่วงความปั่นป่วนสูง ข้อมูลที่ได้ไม่เพียงพอในการสร้างสมการ และในการทดลองไม่สามารถวัดค่าพื้นที่ผิวสัมผัสได้โดยตรงจึงต้องใช้สมการซึ่งมีผู้ทดลองและสร้างขึ้นแล้วนำไปใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (ดังตัวอย่างการคำนวณในภาคผนวก)

จากรูปที่ 4.10 แสดงค่า  $K_L$  ที่ได้จากการทดลองนี้ในรูปเลขไร่น้อยกว่าค่าที่ได้จากสมการที่สร้างขึ้นโดย Yoshida et al (6) ได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มไปทางเดียวกัน ดังนั้นค่าพื้นที่สัมผัสซึ่งคำนวณได้จากสมการของ Calderbank ซึ่งได้รับการปรับปรุงโดย Pottor(3) โดยใช้ข้อมูลค่าตัวแปรต่าง ๆ จากการทดลองนี้จึงน่าจะมีความถูกต้องพอสมควร



รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $K_L A$  จากผลการทดลองนี้กับผลการทดลองอื่น ๆ





รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\frac{K_L D}{D_L} / \left(\frac{\mu}{p D_L}\right)^{0.5}$  และ  $\frac{DNL p}{\mu}$

## 4.2 การทดลองในสารละลายสารชอบผิว

สำหรับการทดลองในสารละลายสารชอบผิวนั้น เนื่องจากสารชอบผิวจะมีผลต่อการลดลงของแรงดึงผิวของสารละลายโดยที่คุณสมบัติทางฟิสิกส์ด้านอื่น ๆ ไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นในการสร้างสมการเพื่ออธิบายผลการทดลองจึงได้เพิ่มความสัมพันธ์ของการลดลงของแรงดึงผิว เข้าอยู่ในสมการเดิม

### 4.2.1 ผลของสารชอบผิวต่อค่าสัดส่วนก๊าซค้าง

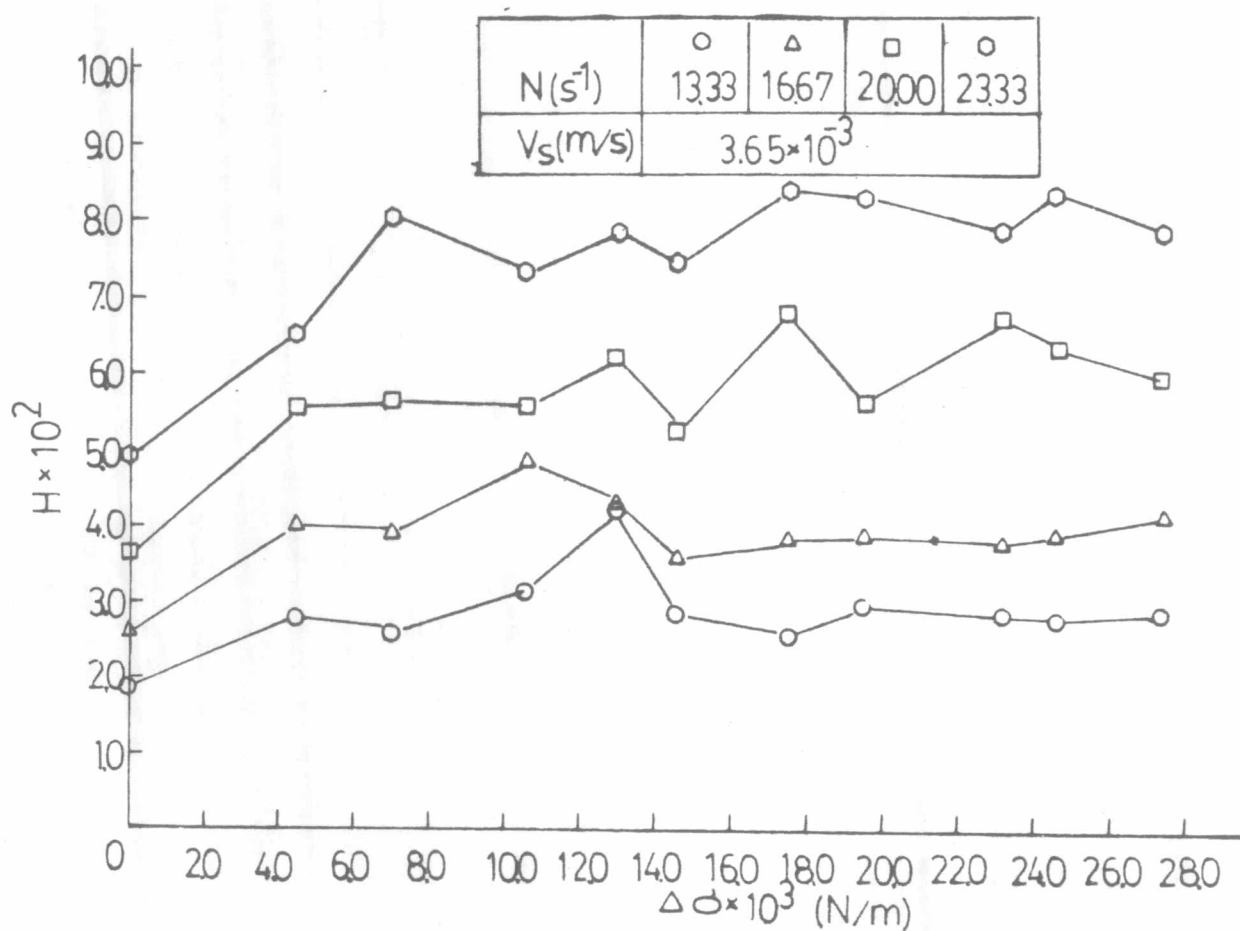
จากรูปที่ 4.11 ถึง 4.14 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนก๊าซค้างและค่าผลต่างแรงดึงผิว พบว่าสัดส่วนก๊าซค้างจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเพิ่มค่าผลต่างแรงดึงผิว หลังจากนั้นจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก การวิเคราะห์ผลเพื่อศึกษาถึงค่าสัดส่วนก๊าซค้างซึ่งเปลี่ยนไปในสารละลายสารชอบผิวได้แสดงในตารางที่ 4.1 จากตารางนี้จะสังเกตเห็นว่าที่ค่า  $\Delta C$  หนึ่ง ๆ ค่า  $H/(P/p_V)^{0.47} V_S^{0.36}$  ไม่แตกต่างกันมากนักจึงได้นำค่าเหล่านี้มาหาค่าเฉลี่ย นอกจากนี้ที่ค่า  $\Delta C$  ต่าง ๆ กันค่าเฉลี่ยของ  $H/(P/p_V)^{0.47} V_S^{0.36}$  ก็ไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งแสดงว่าค่า  $\Delta C$  ไม่มีผลต่อค่า  $H/(P/p_V)^{0.47} V_S^{0.36}$  เมื่อนำค่า  $\Delta C$  และค่าเฉลี่ยของ  $H/(P/p_V)^{0.47} V_S^{0.36}$  มาแสดงในกราฟรูปที่ 4.15 ก็จะได้ชัดเจนเมื่อ  $\Delta C$  มีค่ามากกว่า  $4.5 \times 10^{-3}$  นิวตันต่อเมตรแล้วจะไม่มีผลต่อค่า  $H/(P/p_V)^{0.47} V_S^{0.36}$  เลย

จากผลการทดลองอาจพิจารณาได้ว่าสารชอบผิวจะทำให้ฟองก๊าซมีขนาดเล็กลงจึงทำให้มีช่วงเวลาอยู่ในสารละลายมากขึ้น เป็นผลทำให้ค่าสัดส่วนก๊าซค้างเพิ่มขึ้น แต่เมื่อค่า  $\Delta C$  เพิ่มขึ้น กล่าวคือมีปริมาณสารชอบผิวมากขึ้นถึงแม้ว่าขนาดฟองก๊าซจะเล็กลงและมีจำนวนฟองมากขึ้น ก็ไม่ได้หมายความว่าทำให้ปริมาตรรวมของก๊าซที่ค้างอยู่ในสารละลายเพิ่มขึ้นด้วย หรืออาจกล่าวได้ว่าการเพิ่มปริมาตรก๊าซค้างจะถึงจุดอิ่มตัวเมื่อค่า  $\Delta C$  เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

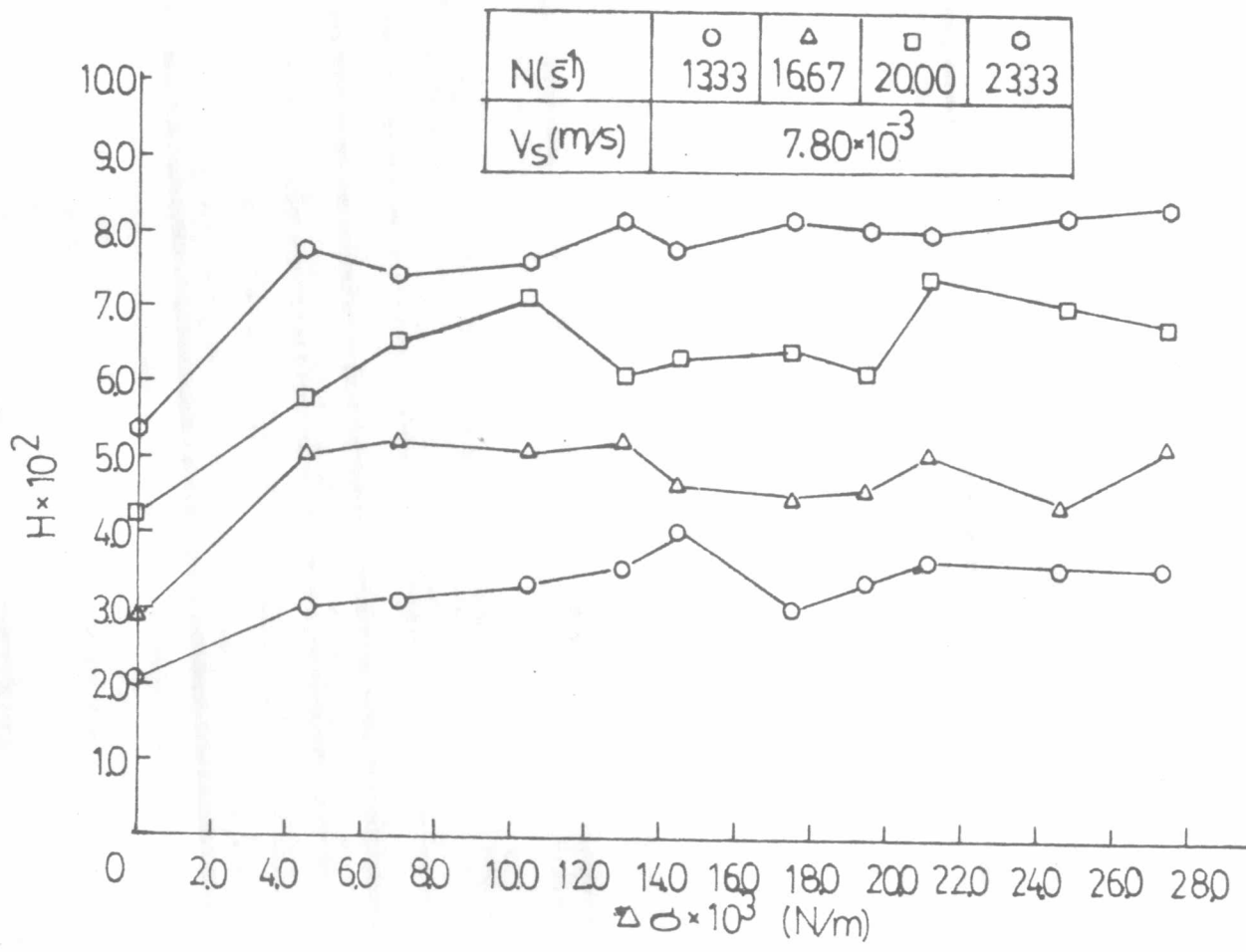
สำหรับสมการที่ใช้อธิบายค่าสัดส่วนก๊าซค้างในกรณีสารละลายสารชอบผิวจะ เขียนได้ดังนี้

$$H = 0.30 \left(\frac{P}{p_V}\right)^{0.47} (V_S)^{0.36} \quad (4.6)$$

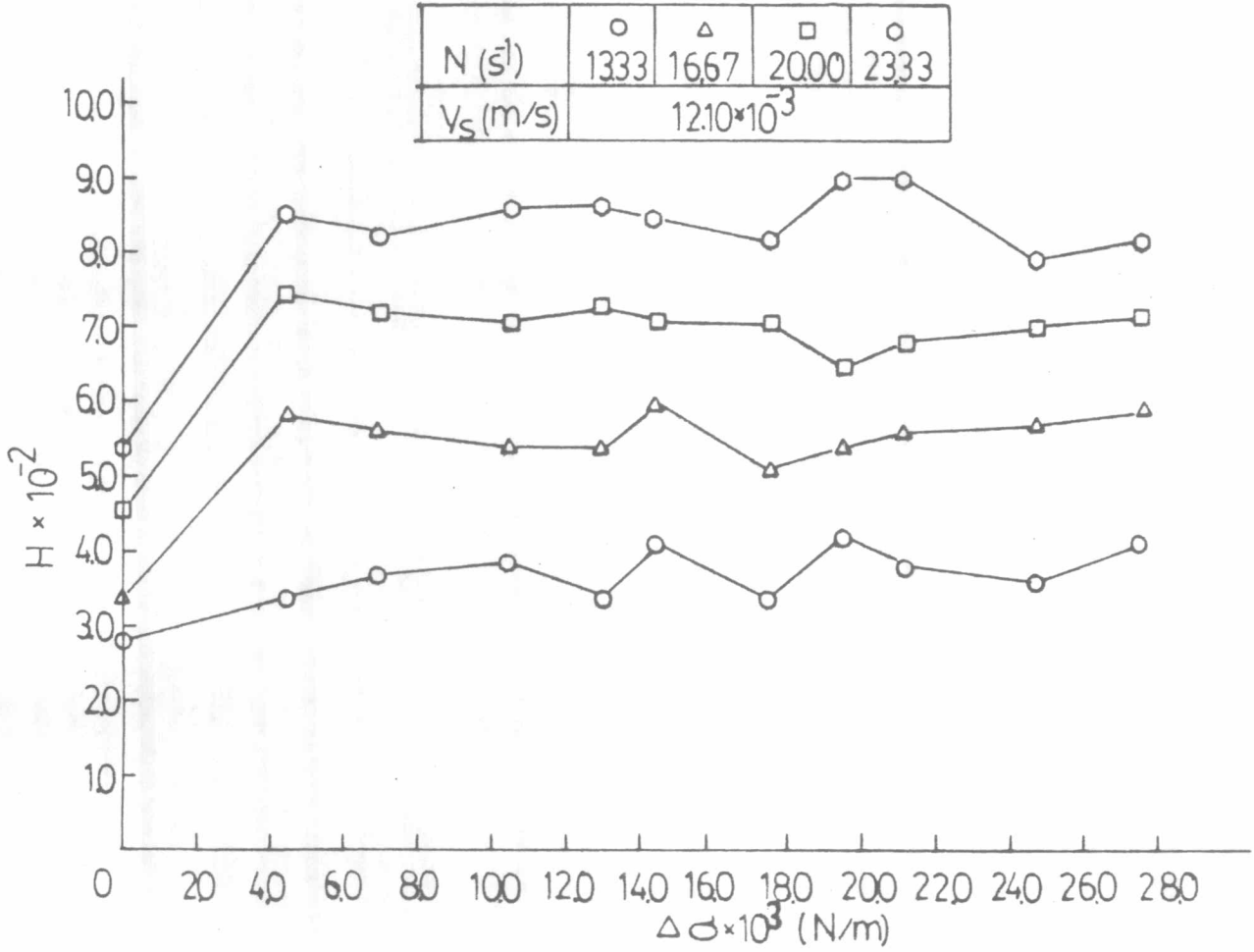
เมื่อเทียบกับสมการที่ 4.1 จะเห็นว่ามีความแตกต่างกันที่ค่าคงที่เท่านั้น ซึ่งอาจสรุปได้ว่าสารชอบผิวจะมีผลต่อค่าสัดส่วนก๊าซค้างเล็กน้อย แต่ไม่แปรผันตรงกับค่าความเข้มข้นของสารชอบผิว



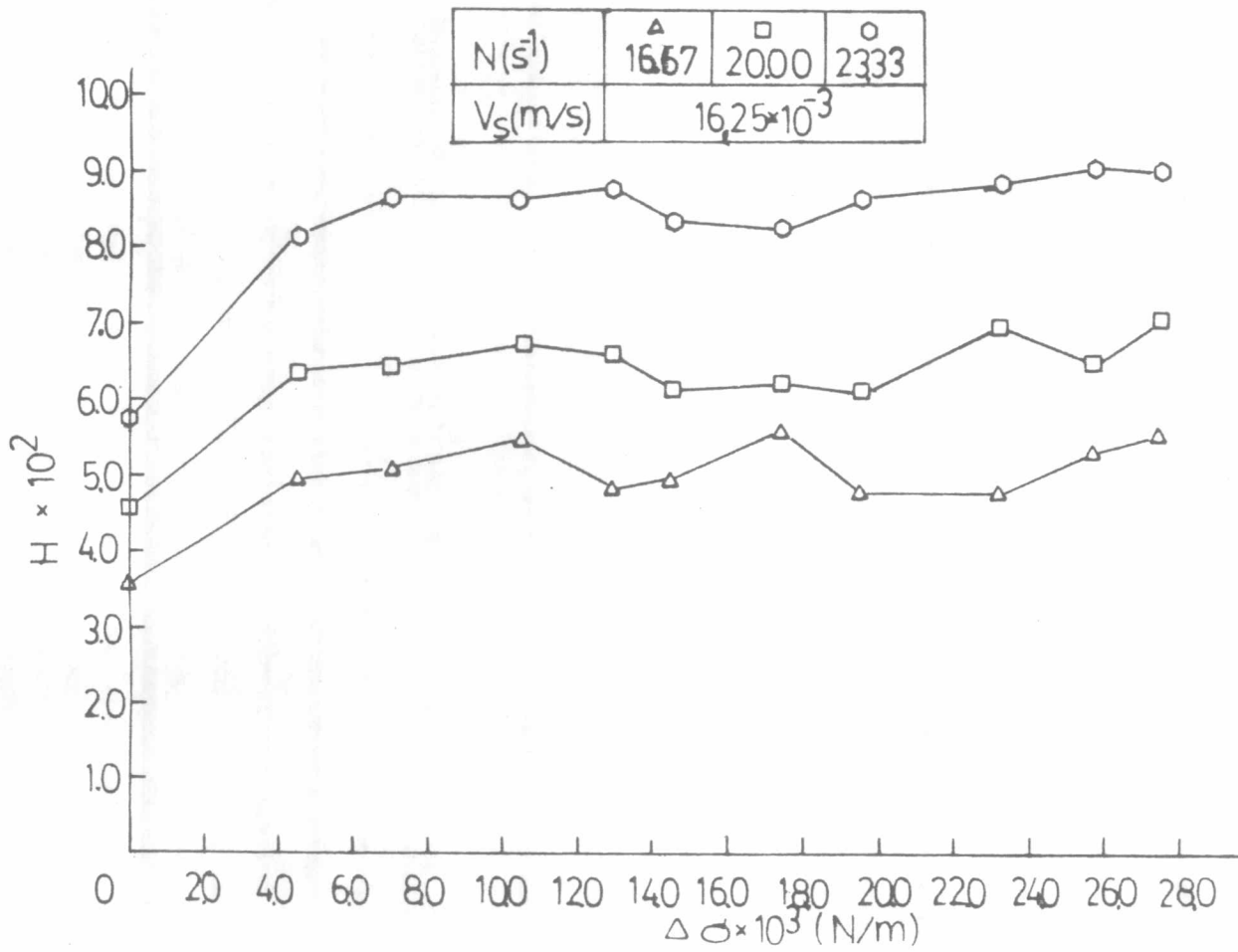
รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $H$  และ  $\Delta\sigma$  ที่  $V_s$  เท่ากับ  $3.65 \times 10^{-3}$  เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบของใบพัดกวนต่าง ๆ



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง H และ Δσ ที่ V<sub>s</sub> เท่ากับ 7.80 × 10<sup>-3</sup> เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบของไบพัตควนต่าง ๆ



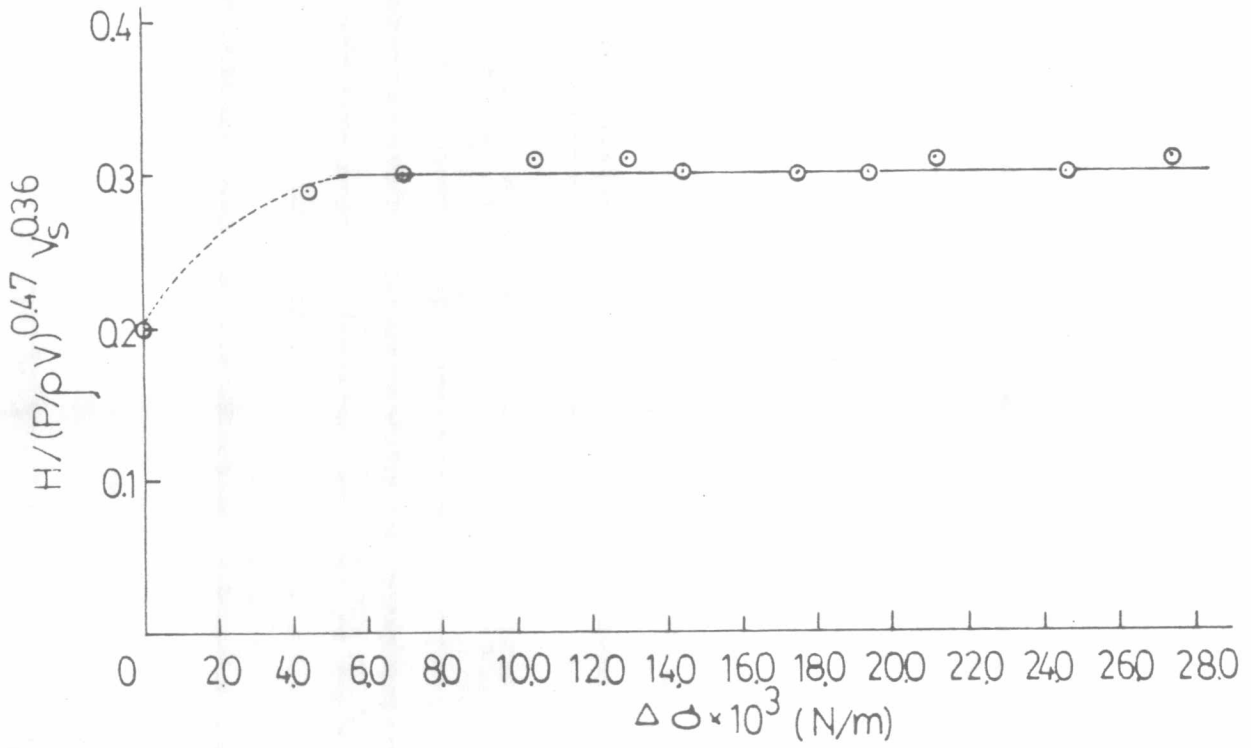
รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง H และ Δσ ที่ V<sub>s</sub> เท่ากับ 12.10 × 10<sup>-3</sup> เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบของใบพัดกวาดต่าง ๆ



รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง H และ  $\Delta\sigma$  ที่  $V_s$  เท่ากับ  $16.25 \times 10^{-3}$  เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบของใบพัดกวาดต่าง ๆ

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า  $H/(P/\rho V)^{0.47} V_s^{0.36}$  ที่ภาวะการทดลองต่าง ๆ

$V_s$ ( $m/s \cdot 10^{-3}$ )	3.65				7.80				12.10				16.25			
$N$ ( $s^{-1}$ ) $\Delta \phi$ ( $N/m \cdot 10^{-3}$ )	13.33	16.67	20.00	23.33	13.33	16.67	20.00	23.33	13.33	16.67	20.00	23.33	16.67	20.00	23.37	
0	0.18	0.18	0.19	0.21	0.18	0.18	0.21	0.21	0.24	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	
4.5	0.27	0.27	0.29	0.28	0.26	0.31	0.28	0.30	0.29	0.34	0.34	0.31	0.26	0.27	0.27	
7.0	0.25	0.27	0.29	0.34	0.27	0.32	0.32	0.28	0.32	0.33	0.33	0.30	0.27	0.28	0.29	
10.5	0.31	0.33	0.28	0.32	0.28	0.32	0.35	0.29	0.33	0.32	0.32	0.31	0.29	0.29	0.29	
13.0	0.42	0.29	0.32	0.33	0.31	0.33	0.30	0.31	0.29	0.32	0.33	0.31	0.25	0.28	0.29	
14.5	0.28	0.24	0.27	0.32	0.35	0.29	0.31	0.30	0.35	0.35	0.32	0.31	0.26	0.26	0.28	
17.5	0.25	0.26	0.35	0.38	0.26	0.28	0.31	0.31	0.29	0.30	0.32	0.30	0.29	0.27	0.28	
19.5	0.29	0.26	0.29	0.35	0.29	0.29	0.30	0.31	0.36	0.32	0.29	0.33	0.25	0.26	0.29	
21.2	0.28	0.26	0.35	0.34	0.31	0.32	0.36	0.31	0.32	0.33	0.31	0.33	0.25	0.30	0.30	
24.7	0.27	0.26	0.33	0.36	0.31	0.28	0.34	0.32	0.30	0.34	0.31	0.29	0.28	0.27	0.30	
27.5	0.28	0.28	0.31	0.34	0.30	0.32	0.33	0.32	0.35	0.35	0.32	0.29	0.29	0.30	0.30	



รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $H/(P/pv)^{0.47} v_s^{0.36}$  เฉลี่ย และ  $\Delta\sigma$



## ในสารละลาย

### 4.2.2 ผลของสารขอบผิวต่อกำลังที่ใช้ในการกวน

จากรูปที่ 4.16 ถึง 4.19 เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่ใช้ในการกวน และค่าผลต่างแรงดึงผิว พบว่าเมื่อค่าผลต่างแรงดึงผิวเพิ่มขึ้นจะไม่ทำให้กำลังที่ใช้ในการกวนเปลี่ยนแปลงมากนัก กำลังที่ใช้ในการกวนจะมีค่าลดลงเล็กน้อยในช่วงต้นของการเพิ่มค่าผลต่างแรงดึงผิว หลังจากนั้นจะมีค่าเกือบจะคงที่ จากรูปที่ 4.20 เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังที่ใช้ในการกวนเฉลี่ย และค่า aeration number ได้ความสัมพันธ์ในรูปสมการเส้นตรง 2 เส้นดังนี้

$$\text{เมื่อ } Q/NL^3 < \sim 0.04, \quad \frac{P}{Po} = 0.97 - 11.50 Q/NL^3 \quad (4.7)$$

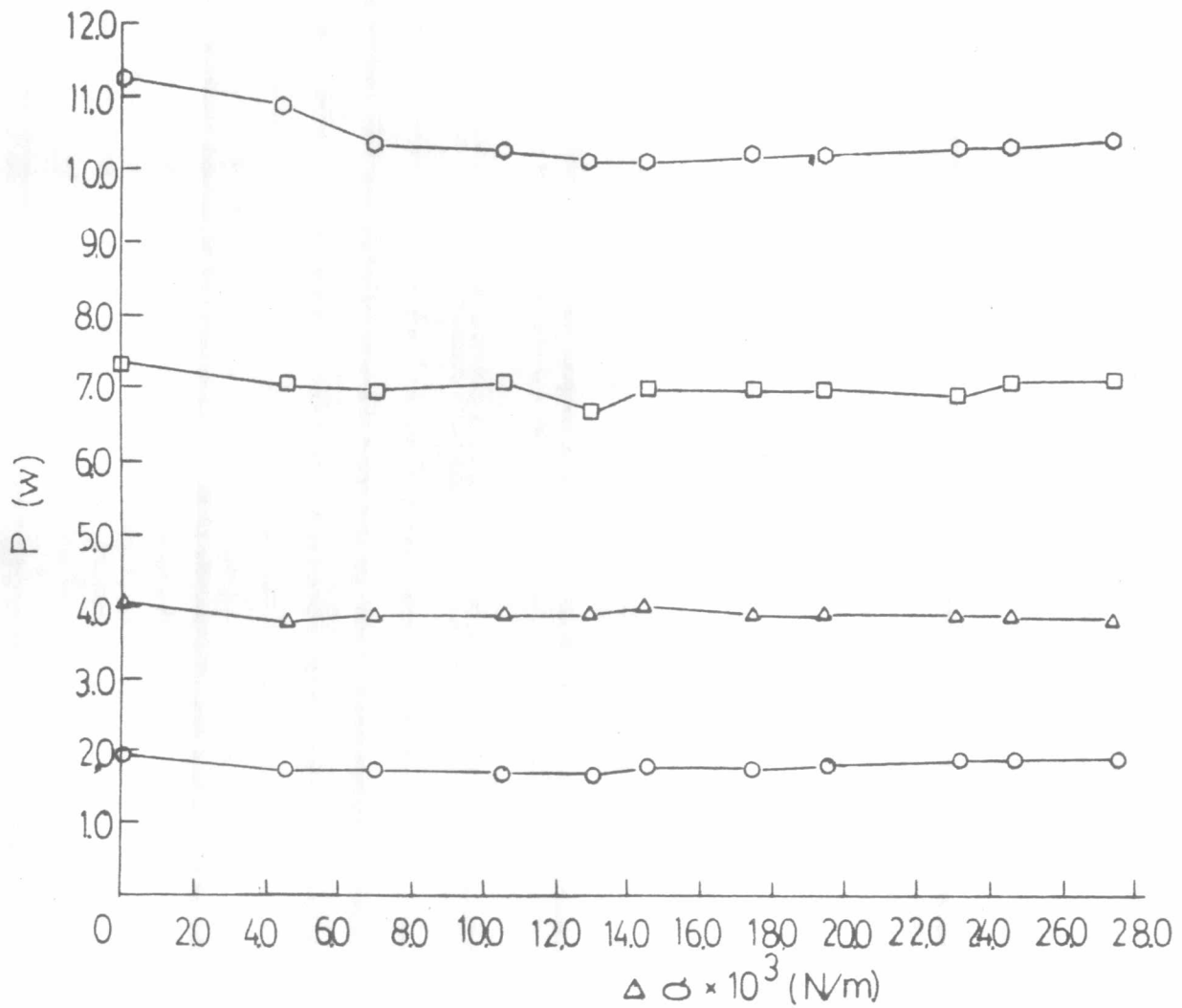
$$\text{และ } Q/NL^3 > \sim 0.04, \quad \frac{P}{Po} = 0.51 - 1.56 Q/NL^3 \quad (4.8)$$

จากสมการทั้ง 2 นี้เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีในน้ำจะมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากำลังที่ใช้ในการกวนจะไม่ขึ้นกับค่าผลต่างแรงดึงผิวที่เพิ่มขึ้นโดยตรง กำลังที่ใช้ในการกวนจะสัมพันธ์ กับค่าสัดส่วนก๊าซค้างหรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า กำลังที่ใช้ในการกวนจะขึ้นกับความหนาแน่นของของเหลวในถังกวน โดยที่การเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซค้างในถังกวนจะมีผลทำให้ความหนาแน่นโดยเฉลี่ยของของเหลวในถังกวนลดลงจึงทำให้ใช้กำลังในการกวนลดลง

### 4.2.3 ผลของสารขอบผิวต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร ( $K_L A$ ) และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลในของเหลว ( $K_L$ )

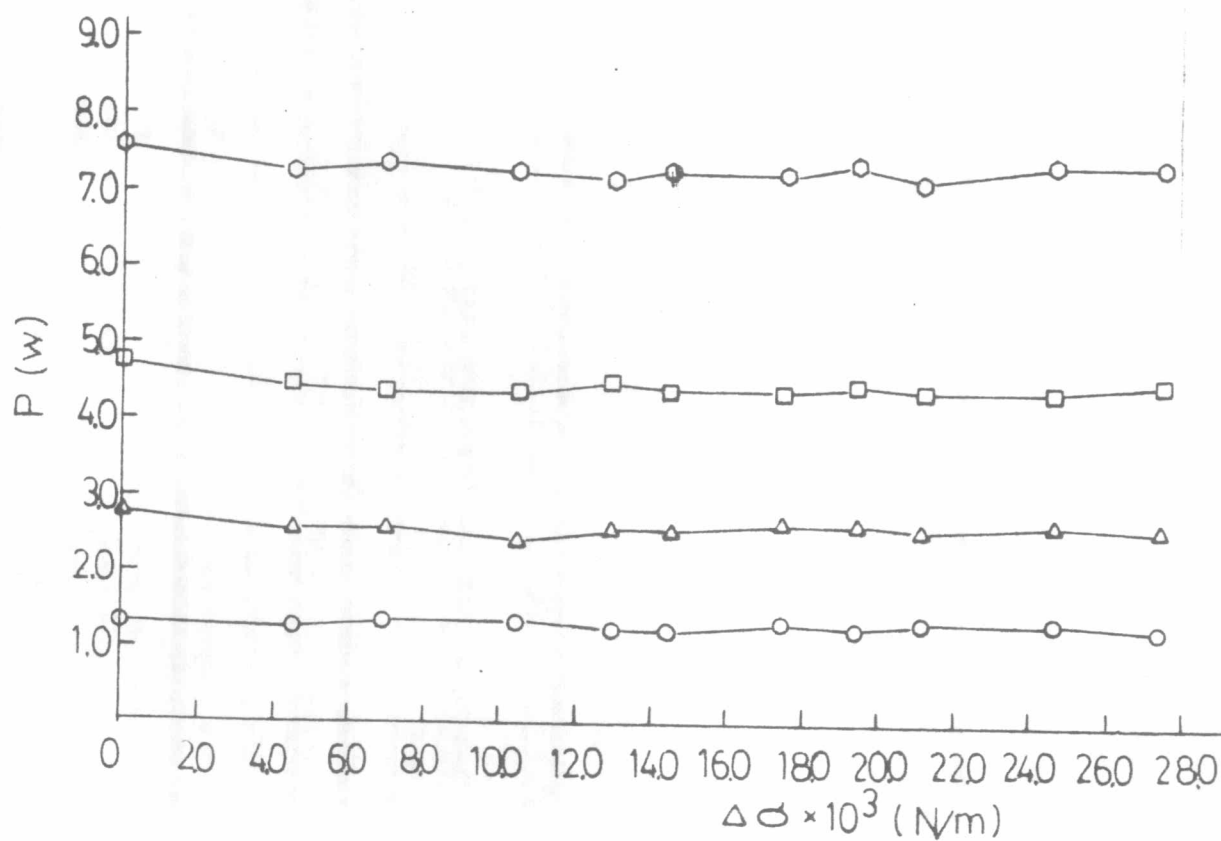
จากรูปที่ 4.21 ถึง 4.24 เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร และผลต่างแรงดึงผิว โดยทั่วไปพบว่าที่ค่าอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ถังกวน และที่ความเร็วรอบของใบพัดกวนค่าหนึ่ง ๆ เมื่อค่าผลต่างแรงดึงผิวเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมต่อหน่วยปริมาตรลดลงเล็กน้อยหรือเกือบจะไม่มีผลเลย กล่าวคือที่ค่าอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ถังกวนน้อย ผลจากการลดลงของแรงดึงผิวแทบจะไม่มีผลต่อการลดลงของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร แต่เมื่ออัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ถังกวนมากขึ้นการลดลงของ

	$N(\bar{s}^{-1})$	$V_s(m/s)$
○	1333	$3.65 \times 10^{-3}$
△	1667	
□	2000	
○	2333	

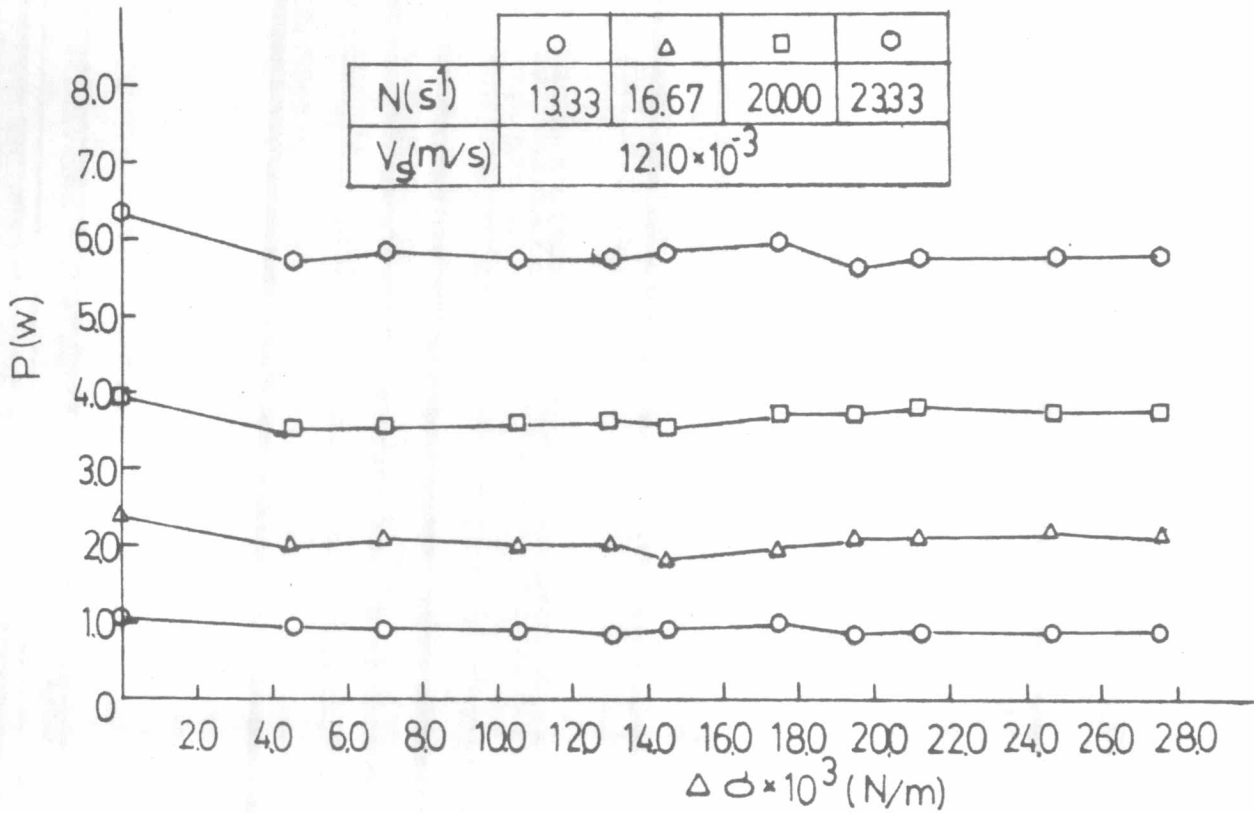


รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $P$  และ  $\Delta \sigma$  ที่  $V_s$  เท่ากับ  $3.65 \times 10^{-3}$  เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบของใบพัดกวนต่าง ๆ

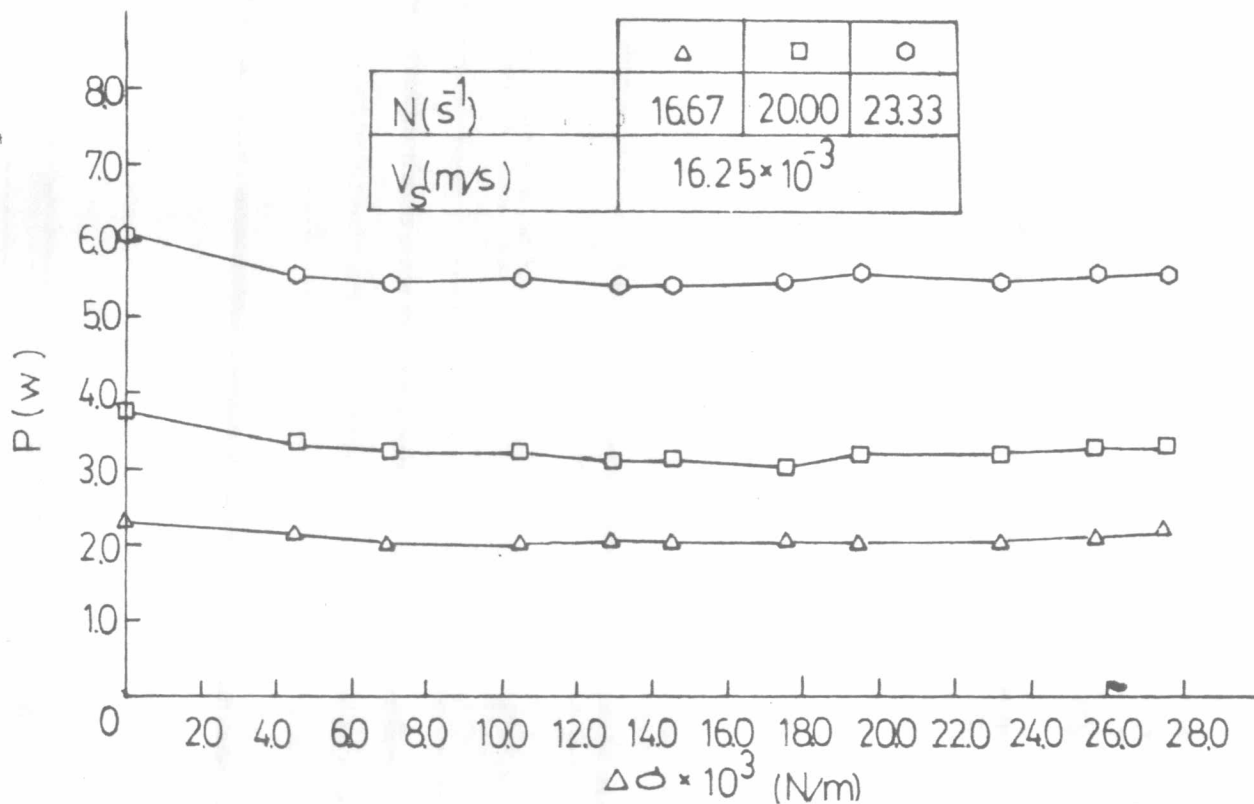
	$N(s^{-1})$	$V_s (m/s)$
○	1333	$7.80 \cdot 10^{-3}$
△	1667	
□	2000	
○	2333	



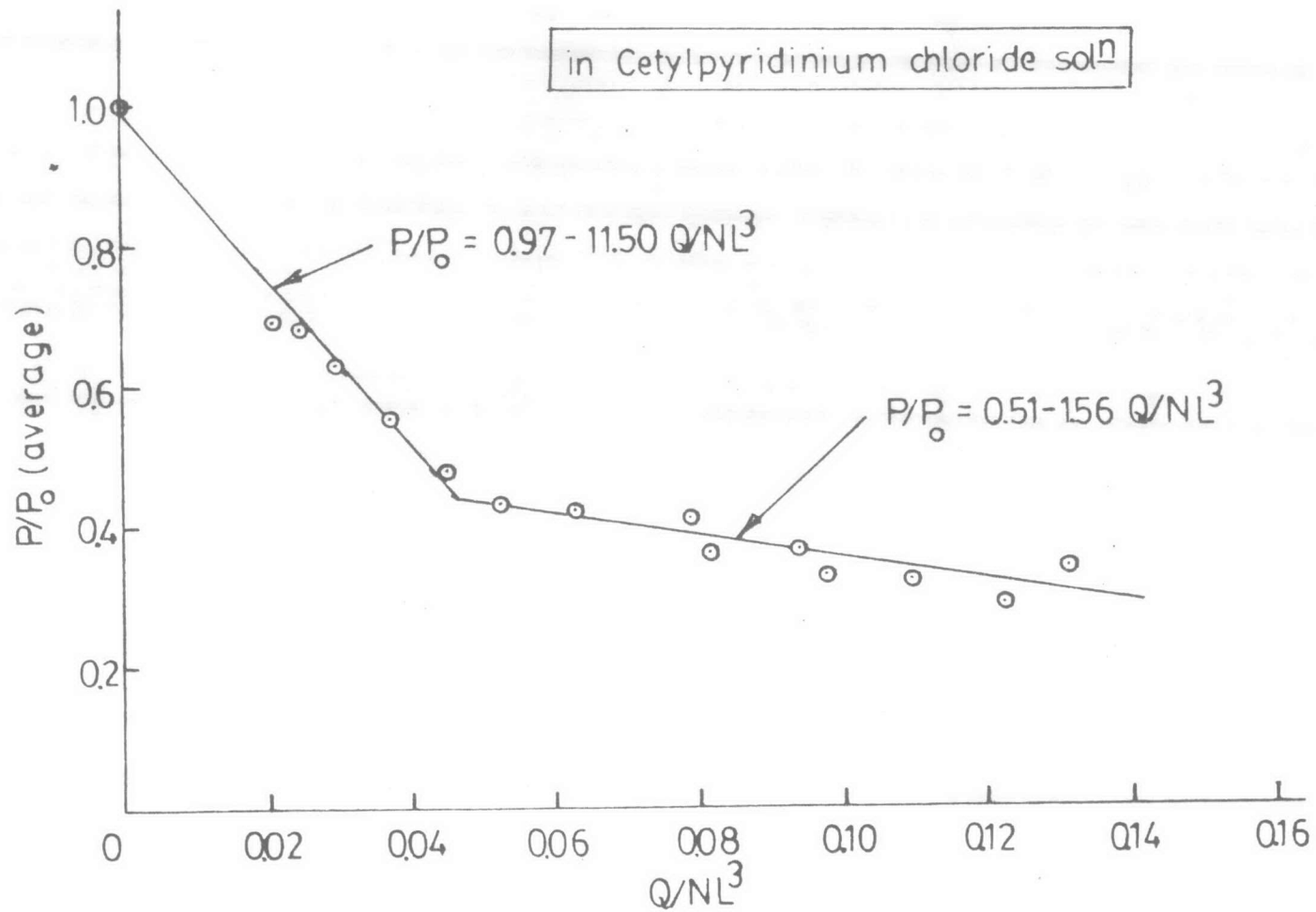
รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $P$  และ  $\Delta\sigma$  ที่  $V_s$  เท่ากับ  $7.80 \times 10^{-3}$  เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบของใบพัดกวนต่าง ๆ



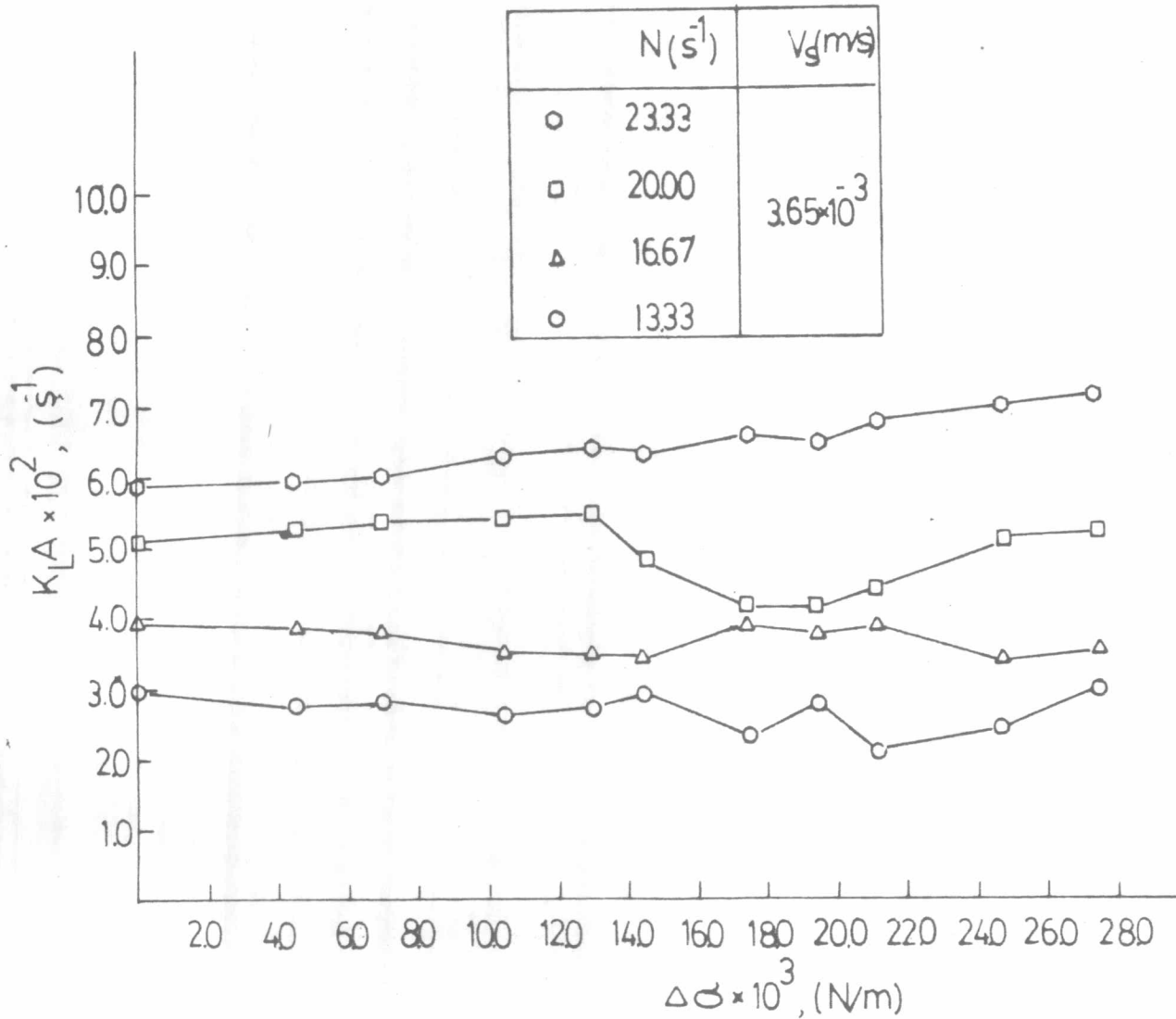
รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $P$  และ  $\Delta\sigma$  ที่  $V_S$  เท่ากับ  $12.10 \times 10^{-3}$  เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบของใบพัดกวนต่าง ๆ



รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $P$  และ  $\Delta\sigma$  ที่  $V_S$  เท่ากับ  $16.25 \times 10^{-3}$  เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบของใบพัดกวนต่าง ๆ

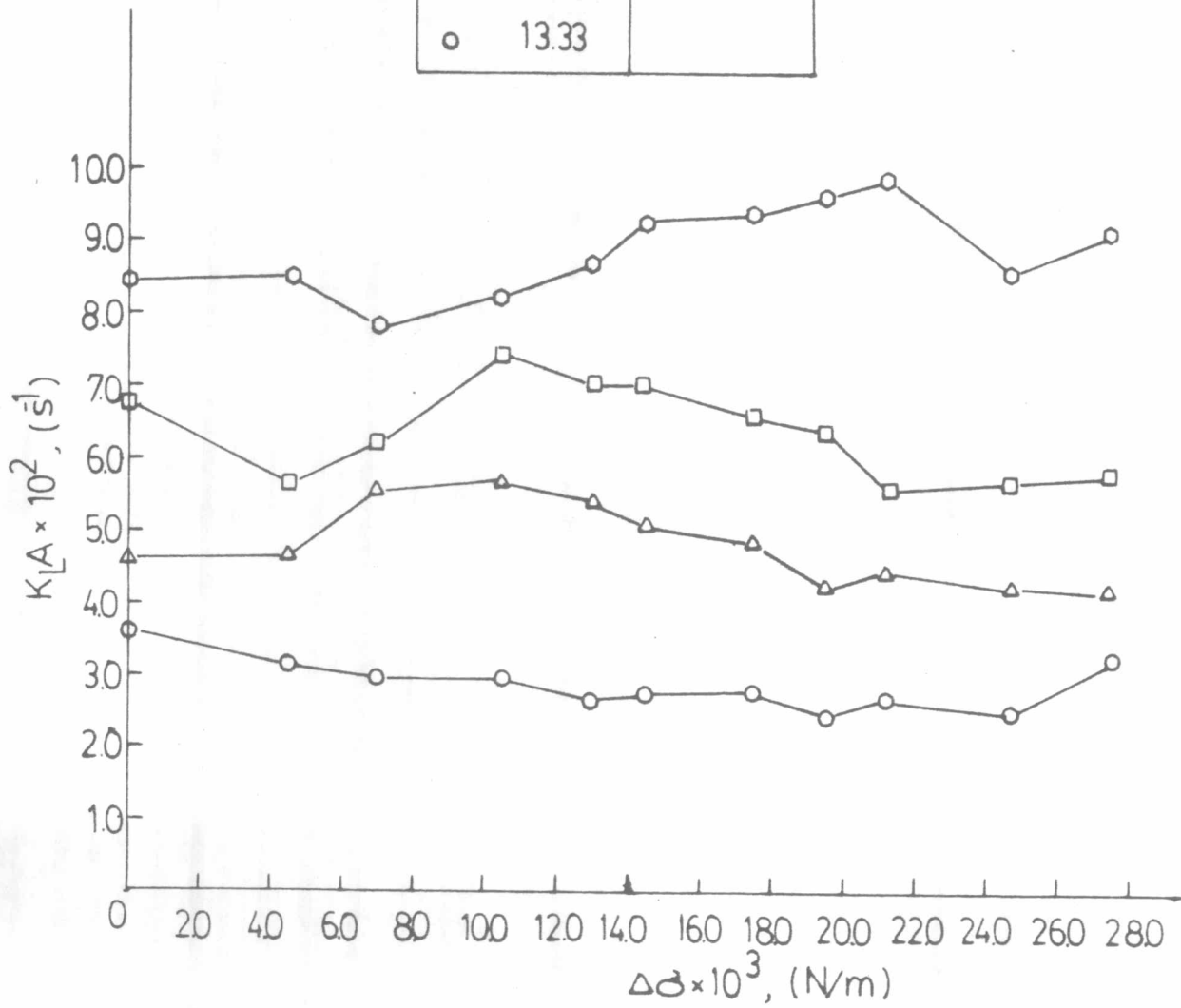


รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $P/P_0$  และ  $Q/NL^3$  ในสารละลาย Cetylpyridinium Chloride



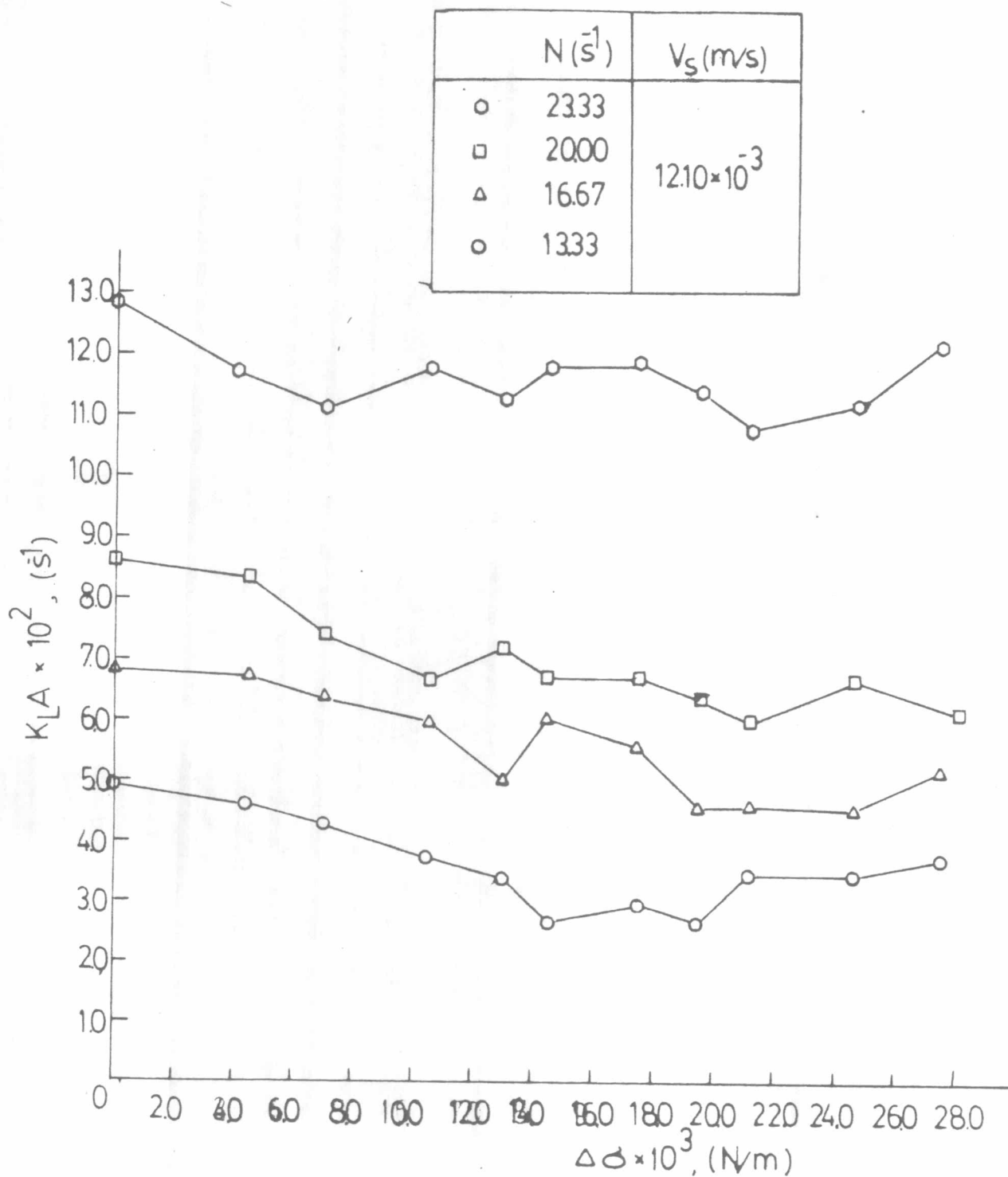
รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $K_L A$  และ  $\Delta\sigma$  ที่  $V_g$  เท่ากับ  $3.65 \times 10^{-3}$  เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบของใบพัดกวนต่าง ๆ

	$N (\bar{s}^{-1})$	$V_S (m/s)$
○	23.33	$7.80 \times 10^{-3}$
□	20.00	
△	16.67	
○	13.33	



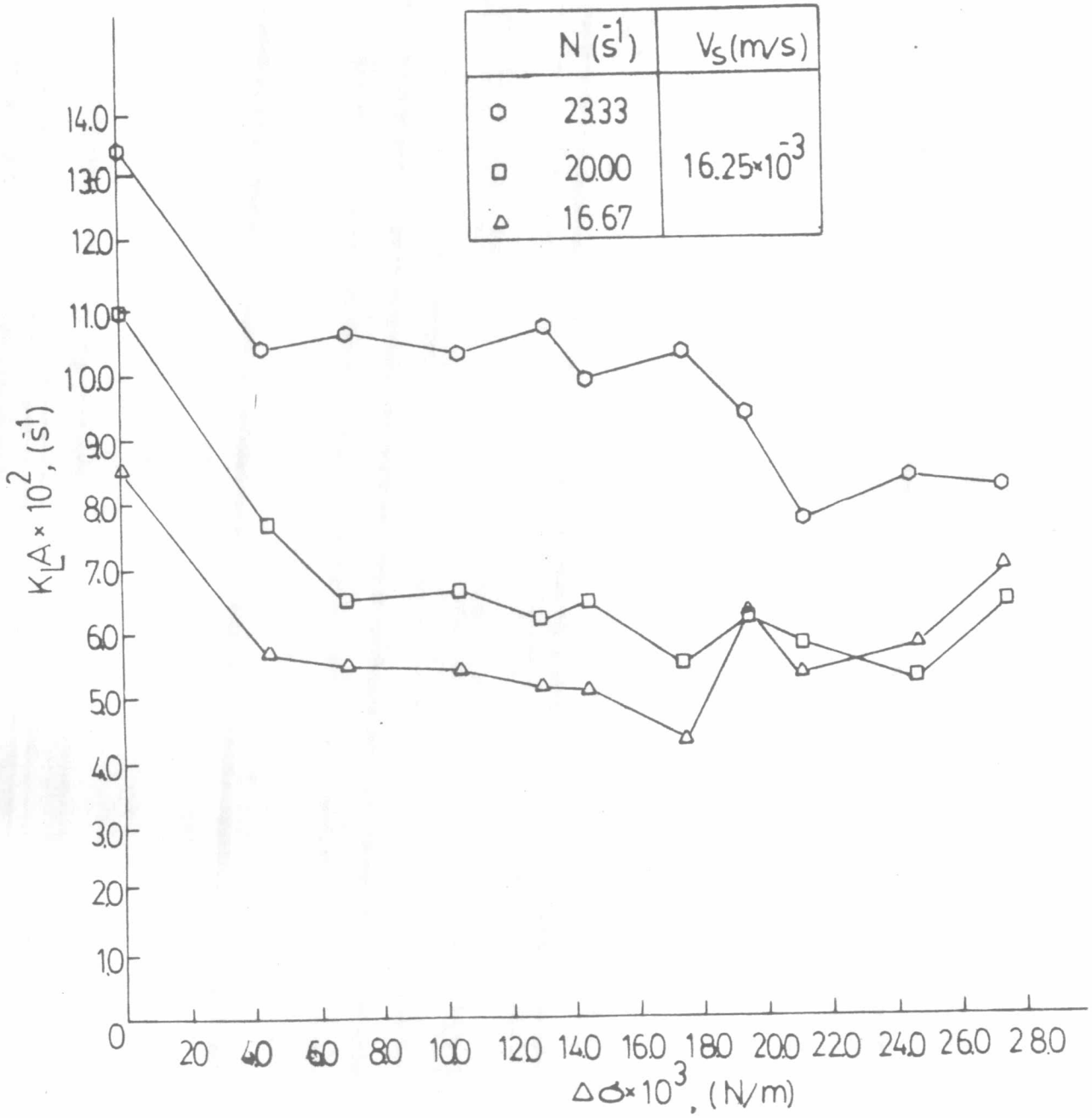
รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $K_L A$  และ  $\Delta\sigma$  ที่  $V_S$  เท่ากับ  $7.80 \times 10^{-3}$  เมตรต่อวินาที

และความเร็วรอบของใบพัดควนต่าง ๆ



รูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $K_{LA}$  และ  $\Delta \sigma$  ที่  $V_s$  เท่ากับ  $12.10 \times 10^{-3}$  เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบของใบพัดกวนต่าง ๆ





รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $K_LA$  และ  $\Delta\sigma$  ที่  $V_S$  เท่ากับ  $16.25 \times 10^{-3}$  เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบของใบพัดกวนต่าง ๆ

สัมประสิทธิ์การถ่าย เทมวลรวมต่อหน่วยปริมาตรจะปรากฏชัดเจน และอัตราการลดลงจะมีค่ามากในช่วงแรกของการลดลงของแรงดึงผิวของสารละลาย

จากตารางที่ 4.2 ซึ่งแสดงค่า  $K_L A / (P/V)^{0.46} V_S^{0.62}$  ที่คำนวณได้จากสภาวะการทดลองต่าง ๆ พบว่าที่ค่าผลต่างแรงดึงผิวหนึ่ง ๆ ค่า  $K_L A / (P/V)^{0.46} V_S^{0.62}$  ที่คำนวณได้ให้ค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นเมื่อนำค่าเหล่านี้มาเฉลี่ย และสร้างความสัมพันธ์กับค่าผลต่างแรงดึงผิว ดังในรูปที่ 4.25 จะได้ความสัมพันธ์ในรูปสมการดังนี้

$$K_L A = [4.73 \times 10^{-2} - 0.30 \Delta \phi] \left(\frac{P}{V}\right)^{0.46} V_S^{0.62} \quad (4.9)$$

จากรูปที่ 4.26 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่าย เทมวลรวมต่อหน่วยปริมาตรที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณโดยใช้สมการที่ 4.19 นี้ พบว่าจากข้อมูลทั้ง 165 ข้อมูลจะมีค่าความ เบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.17

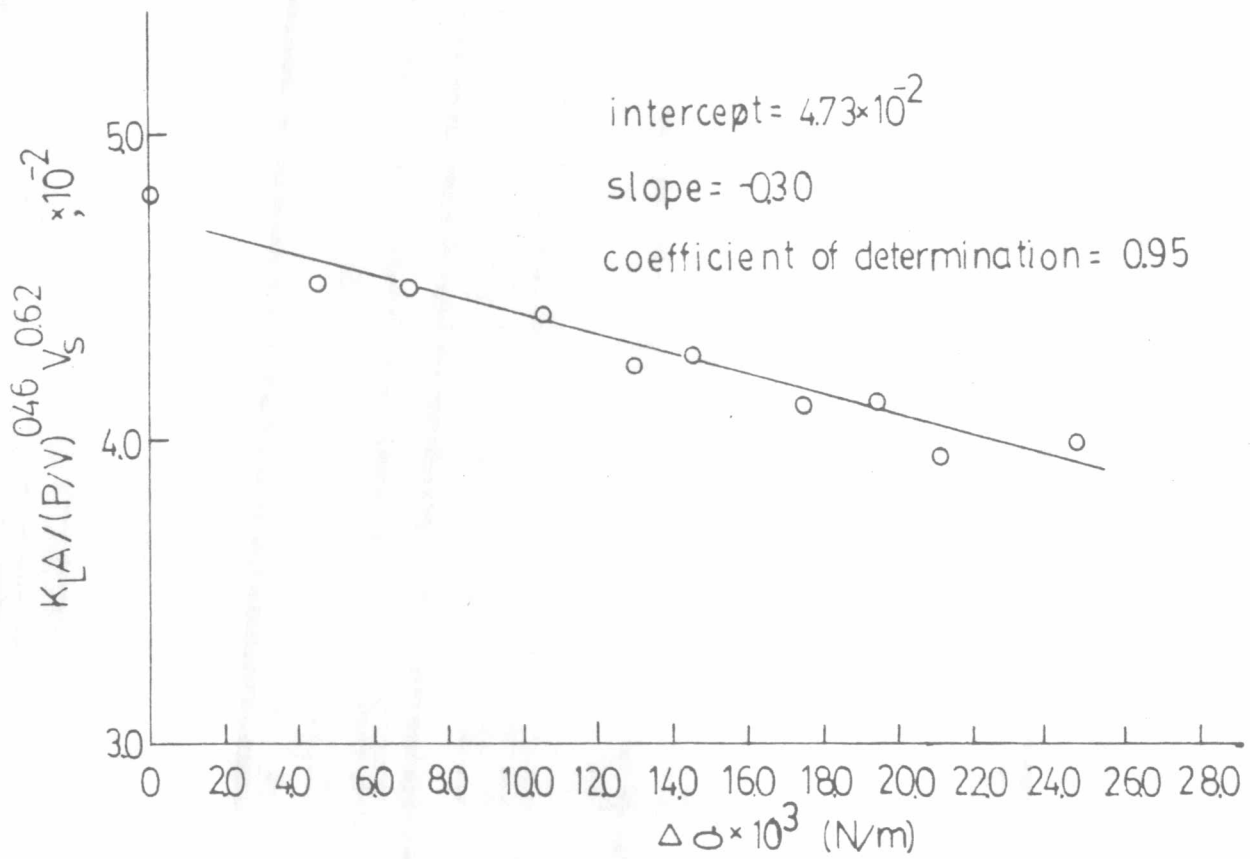
จากสมการที่ 4.19 เมื่อเปรียบเทียบกับสมการที่ 4.5 ซึ่งเป็นสมการที่แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่าย เทมวลรวมต่อหน่วยปริมาตรในน้ำที่ไม่มีสารขอมผิว จะสังเกตเห็นว่าสารขอมผิวจะมีผลทำให้สัมประสิทธิ์การถ่าย เทมวลรวมต่อหน่วยปริมาตรลดลงเล็กน้อย การลดลงของค่าสัมประสิทธิ์การถ่าย เทมวลรวมต่อหน่วยปริมาตรนี้จะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่าย เทมวล และค่าพื้นที่ผิวสัมผัส ดังนั้นในการวิเคราะห์ ผลการทดลองจึงจำเป็นต้องทราบถึงการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การถ่าย เทมวล และพื้นที่ผิวสัมผัสต่อการเปลี่ยนแปลงค่าผลต่างแรงดึงผิวด้วย

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพื้นที่ผิวสัมผัสซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 2.22 โดยใช้ข้อมูลในการคำนวณจากการทดลอง พบว่าค่าพื้นที่ผิวสัมผัสมีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อค่าผลต่างแรงดึงผิวเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากในการวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณอาจมีความคลาดเคลื่อนได้ จึงทำให้การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวสัมผัสที่คำนวณได้ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นในการนำค่าเหล่านี้ไปใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่าย เทมวลจึงต้องปรับค่าที่ เบี่ยงเบนไปให้เข้ามาสู่ค่าในทางทฤษฎี (ตั้งตัวอย่างการคำนวณในภาคผนวก) ให้มากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และเมื่อนำค่าเหล่านี้ไปหารค่าสัมประสิทธิ์การถ่าย เทมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร ก็สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่าย เทมวลได้

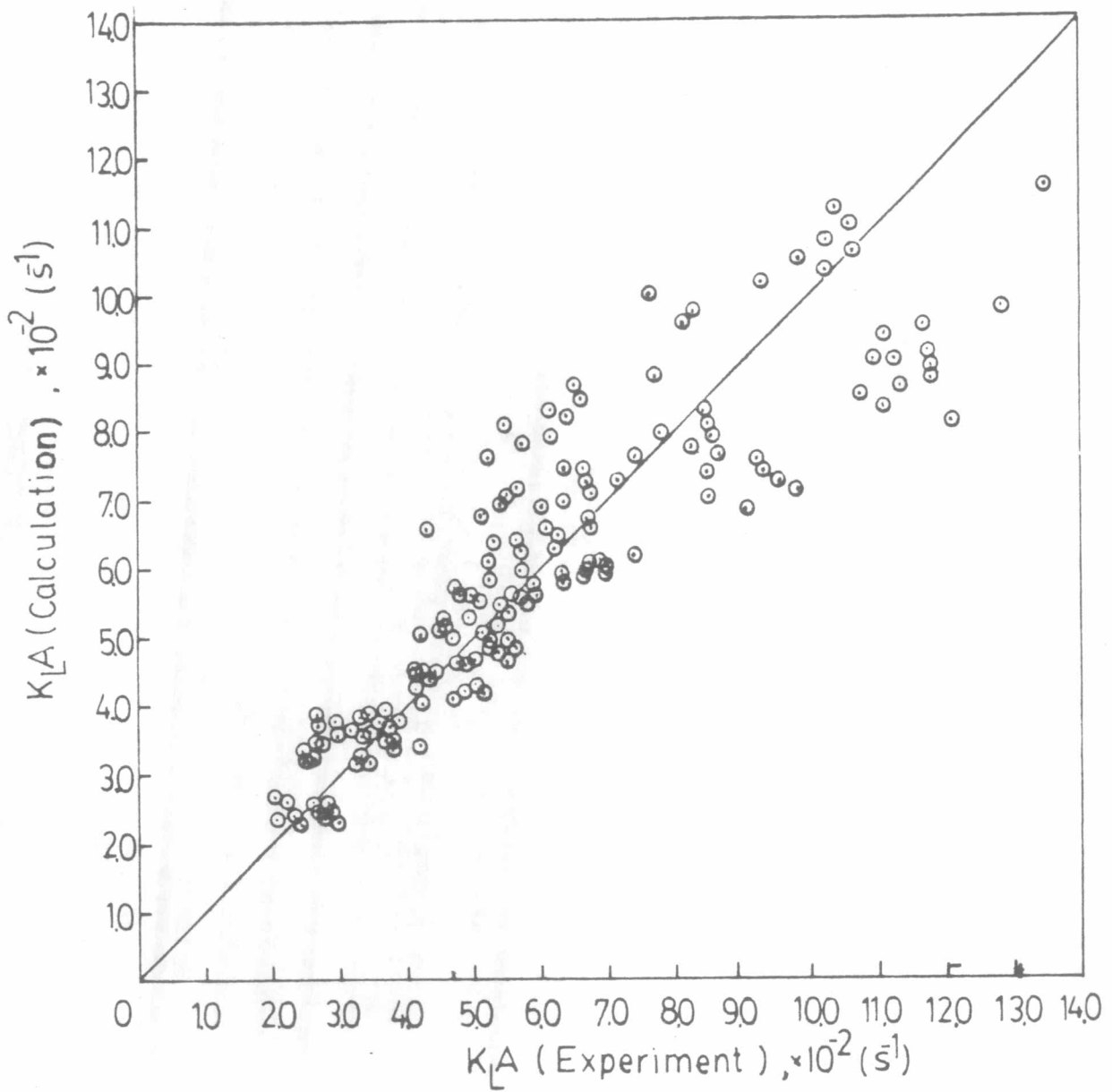
จากรูปที่ 4.27 ถึง 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่าย เทมวล และค่าผลต่างแรงดึงผิว พบว่าทุกสภาวะการทดลองค่าสัมประสิทธิ์การถ่าย เทมวลจะมีแนวโน้มลดลง เมื่อค่าผลต่างแรงดึงผิวเพิ่มขึ้น และการลดลงจะมากขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศ เข้าสู่ถังกวนมากขึ้น

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า  $K_{LA} / (P/V)^{0.46} V_S^{0.62}$  ที่ภาวะการทดลองต่าง ๆ

$V_S$ , ( $m^3/s \cdot 10^{-3}$ )	3.65				7.80				12.10				16.25			
$N$ ( $s^{-1}$ ) $\Delta \phi$ ( $N/m^3 \cdot 10^{-3}$ )	13.33	16.67	20.00	23.33	13.33	16.67	20.00	23.33	13.33	16.67	20.00	23.33	16.67	20.00	23.33	
0	3.56	4.04	3.92	4.04	4.50	4.21	4.85	4.81	5.49	5.24	5.10	6.18	5.45	5.74	5.52	
4.5	3.98	4.37	4.95	4.43	3.95	4.31	4.07	4.85	5.15	5.17	4.95	5.64	3.62	4.02	4.25	
7.0	5.50	4.61	4.96	4.05	3.71	5.08	4.46	4.45	4.76	4.90	4.40	5.37	3.50	3.39	4.34	
10.5	4.60	4.24	5.06	3.67	3.69	5.21	5.32	4.71	4.15	4.58	3.96	5.68	3.44	3.46	4.20	
13.0	3.98	4.21	5.09	3.74	3.35	4.96	5.02	4.95	3.79	3.84	4.26	5.43	3.26	3.21	4.36	
14.5	5.11	4.12	4.46	3.95	3.48	4.65	5.05	5.30	2.97	4.62	3.98	5.70	3.25	3.36	4.04	
17.5	4.07	4.70	3.88	4.18	3.45	4.44	4.75	5.34	3.31	4.27	4.02	5.71	2.74	2.85	4.19	
19.5	4.89	5.16	3.87	4.29	3.05	3.88	4.58	5.47	2.99	3.50	3.79	5.48	4.01	3.23	3.81	
21.2	3.68	4.68	4.11	3.83	3.34	4.09	4.01	5.63	3.85	3.53	3.56	5.20	3.40	3.01	3.14	
24.7	4.28	4.10	4.76	4.16	3.10	3.87	4.09	4.86	3.90	3.50	3.96	5.37	3.66	2.72	3.40	
27.5	5.30	4.28	4.85	4.16	4.04	3.81	4.18	5.19	4.17	3.98	3.63	5.86	4.42	3.33	3.33	



รูปที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $K_L A / (P/V)^{0.46} V_s^{0.62}$  เฉลี่ย และ  $\Delta \sigma$



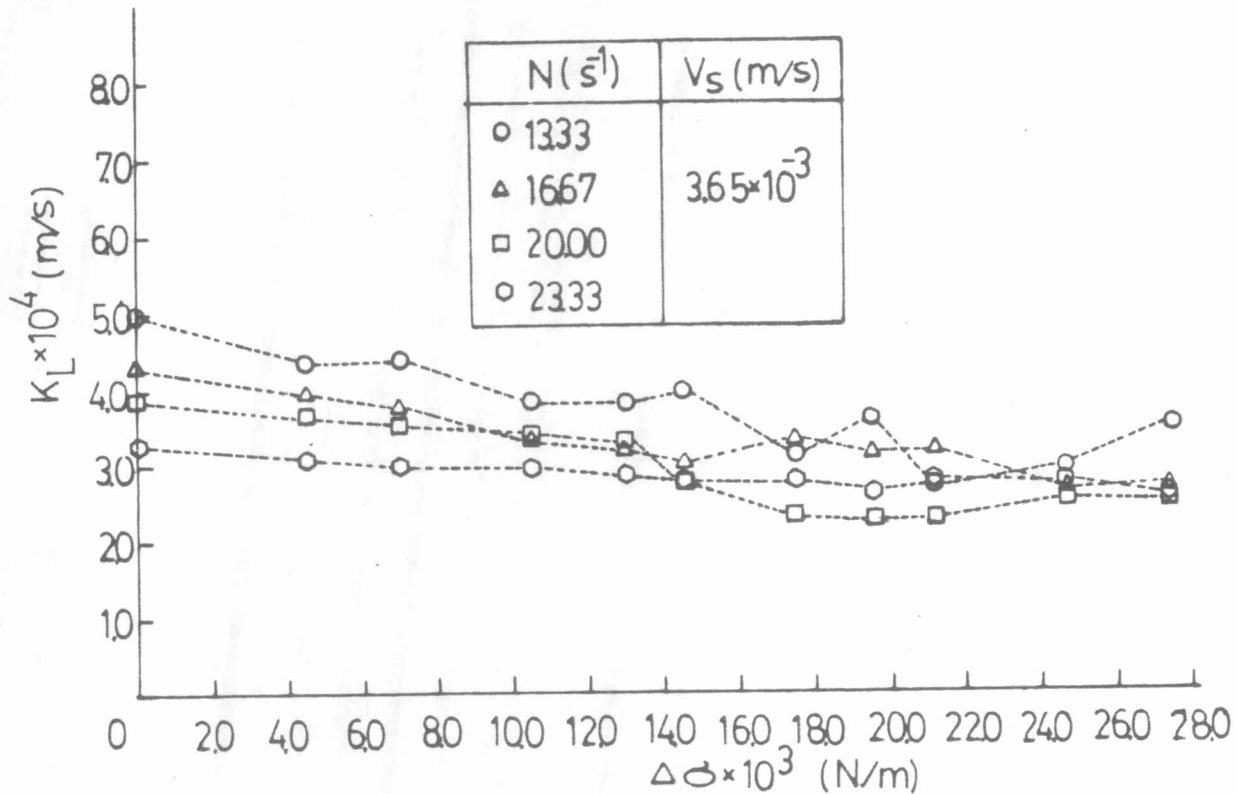
รูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $K_{L,A}$  ที่ได้จากการทดลอง และ  $K_{L,A}$  ที่ได้จากสมการที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพื้นที่ผิวสัมผัสซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 2.22 ที่ภาวะการทดลองต่าง ๆ

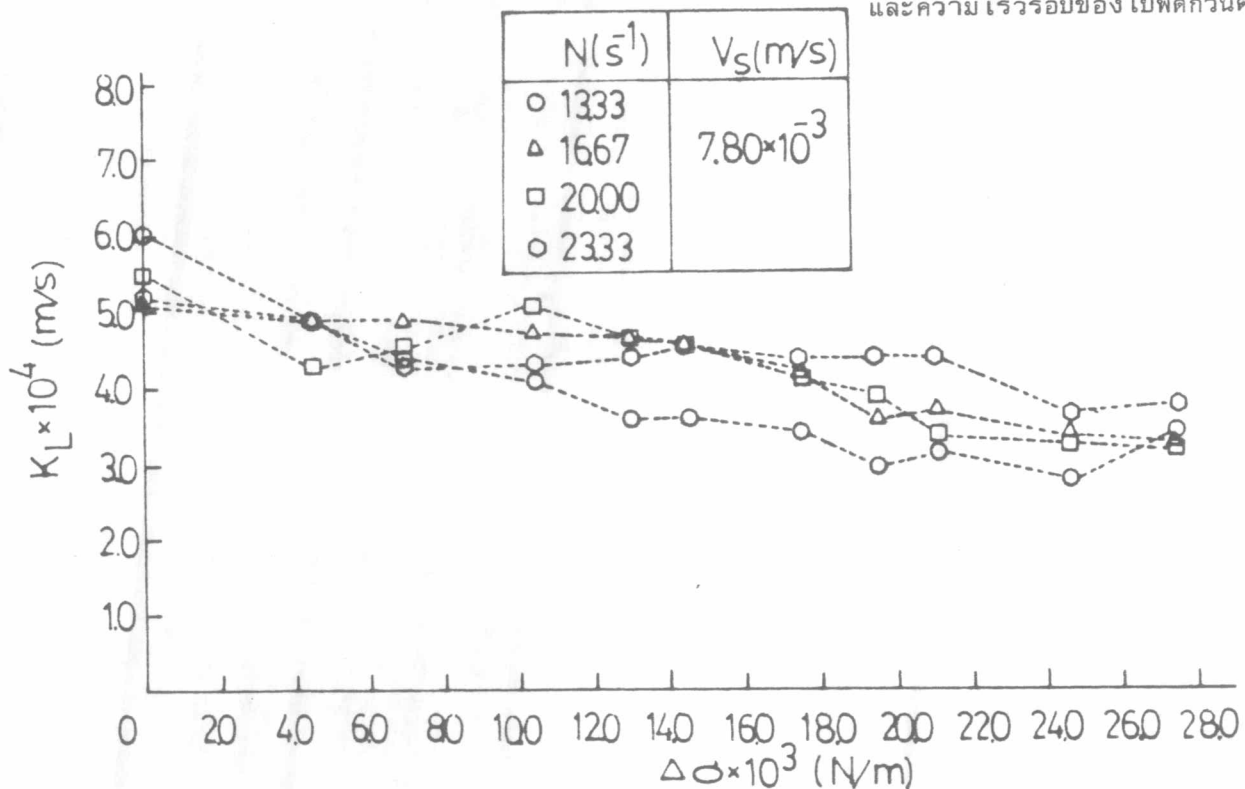
$V_s$ ( $m/s \cdot 10^{-3}$ )	3.65				7.80				12.10				16.25			
$\frac{N}{\Delta \phi}$ ( $\frac{N}{m \cdot 10^{-3}}$ )	13.33	16.67	20.00	23.33	13.33	16.67	20.00	23.33	13.33	16.67	20.00	23.33	16.67	20.00	23.33	
0	52.28	80.71	120.44	165.56	53.78	76.96	112.75	150.03	65.90	84.40	113.37	144.04	90.05	114.71	149.43	
4.5	65.38	102.02	152.22	195.00	65.48	103.78	133.89	184.75	73.72	110.20	155.28	181.87	108.07	137.36	180.23	
7.0	63.39	104.06	156.13	217.67	70.55	107.92	144.84	185.76	78.32	111.92	163.97	184.06	111.85	139.77	188.60	
10.5	71.89	112.57	159.68	214.39	75.01	108.01	156.49	193.62	82.96	112.02	151.10	192.80	119.58	148.49	195.44	
13.0	85.30	114.86	171.50	224.51	77.91	114.85	149.13	204.53	78.98	115.05	157.30	198.34	115.97	148.79	201.43	
14.5	72.45	107.99	161.88	222.25	84.56	109.85	153.05	204.07	89.02	120.69	156.07	200.44	119.59	146.08	198.90	
17.5	70.48	115.09	190.67	244.74	76.92	112.62	160.04	215.81	78.86	115.39	163.44	205.15	131.12	150.15	205.79	
19.5	78.13	117.27	177.54	248.74	80.68	116.47	160.75	217.83	94.38	124.63	159.50	215.54	123.88	156.49	216.38	
21.2	78.71	118.33	196.55	248.25	88.42	123.92	178.76	221.39	91.15	129.08	168.69	221.20	126.32	169.45	222.57	
24.7	81.71	125.61	201.63	267.04	90.89	121.49	181.86	234.12	92.29	138.57	177.02	216.46	140.10	170.86	236.36	
27.5	85.38	132.96	202.20	269.74	93.10	135.38	179.76	243.35	102.96	143.39	185.77	227.85	150.06	185.45	244.42	

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างก๊าซและของเหลวในการละลายสารรอบผิวหลังจากปรับค่าให้ใกล้เคียงกับค่าจากทฤษฎีที่ภาวะการทดลองต่าง ๆ

$V_s$ ( $m/s \cdot 10^{-3}$ )	3.65				7.80				12.10				16.25			
$N$ ( $s^{-1}$ ) $\Delta \phi$ ( $N/m \cdot 10^{-3}$ )	13.33	16.67	20.00	23.33	13.33	16.67	20.00	23.33	13.33	16.67	20.00	23.33	16.67	20.00	23.33	
0	59.00	90.92	132.39	178.92	59.60	90.09	123.13	162.85	68.26	93.99	134.09	162.28	96.19	121.54	160.67	
4.5	63.30	97.30	144.36	194.09	65.16	96.72	132.74	175.65	73.16	101.48	141.72	173.39	103.87	130.66	173.69	
7.0	65.54	100.61	150.57	201.95	68.05	100.15	137.73	182.28	75.70	105.36	145.67	179.15	107.86	135.39	180.44	
10.5	68.94	105.65	160.03	213.93	72.44	105.39	145.32	192.39	79.57	111.27	151.70	187.92	113.92	142.59	190.73	
13.0	71.38	109.27	166.83	222.54	75.60	109.15	150.78	199.65	82.36	115.53	156.03	194.26	118.28	147.77	198.13	
14.5	73.35	112.19	172.30	229.46	78.14	112.18	155.18	205.50	84.59	118.94	159.51	199.30	121.79	151.94	204.08	
17.5	75.90	115.97	179.40	238.44	81.44	116.10	160.87	213.08	87.50	123.38	164.03	205.88	126.34	157.34	211.80	
19.5	77.97	119.04	185.16	245.74	84.12	119.29	165.50	219.24	89.86	126.99	167.70	211.22	130.04	161.73	218.07	
21.2	79.73	121.64	190.04	251.92	86.38	121.99	169.42	224.45	91.85	130.03	170.81	215.75	133.17	165.45	223.37	
24.7	83.44	127.15	200.39	265.02	91.19	127.72	177.73	235.50	96.09	136.50	177.40	225.34	139.81	173.33	234.63	
27.5	86.52	131.72	208.96	275.87	95.18	132.46	184.61	244.67	99.59	141.86	182.86	233.29	145.31	179.86	243.95	

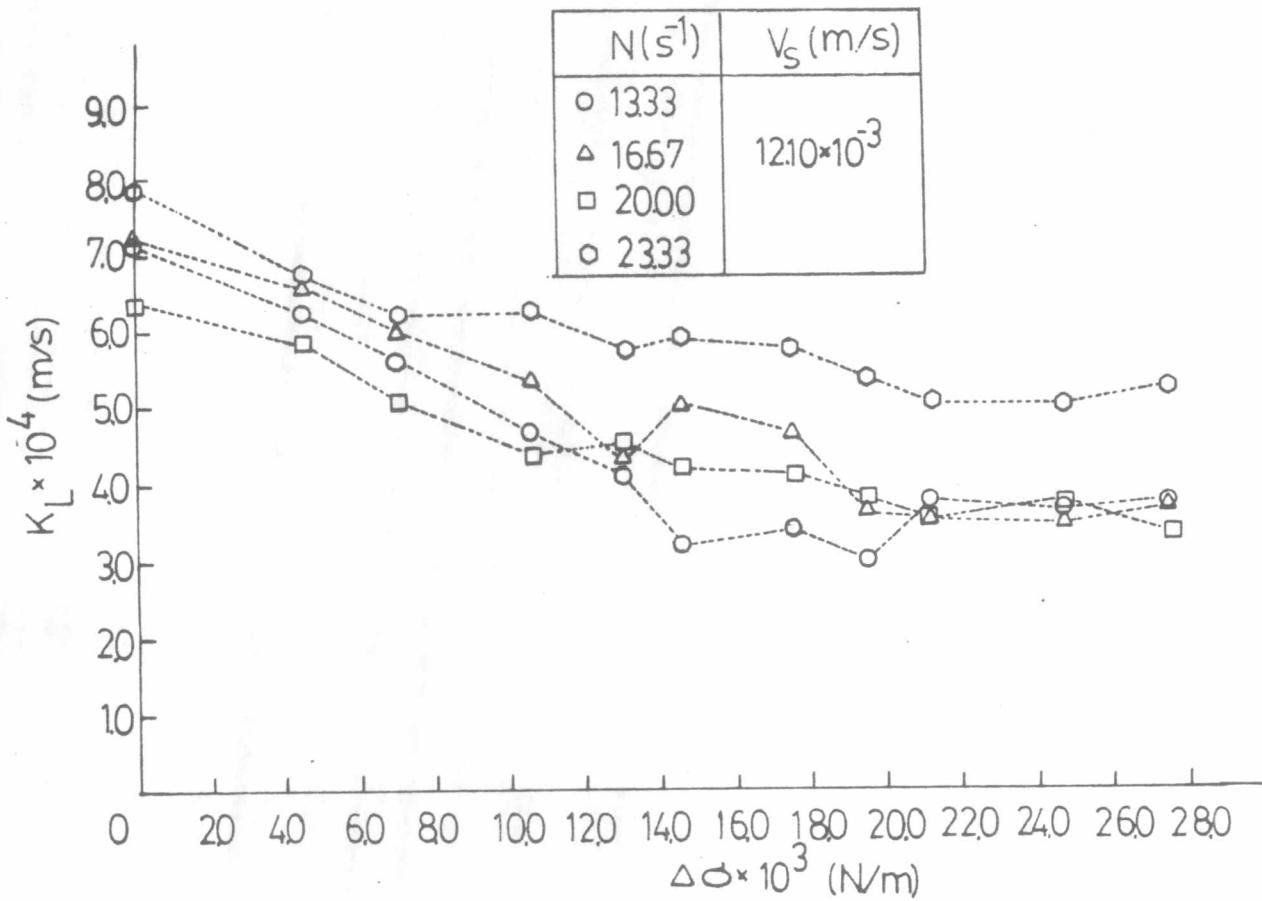


รูปที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $K_L$  และ  $\Delta\sigma$  ที่  $V_s$  เท่ากับ  $3.65 \times 10^{-3}$  เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบของใบพัดกวนต่าง ๆ



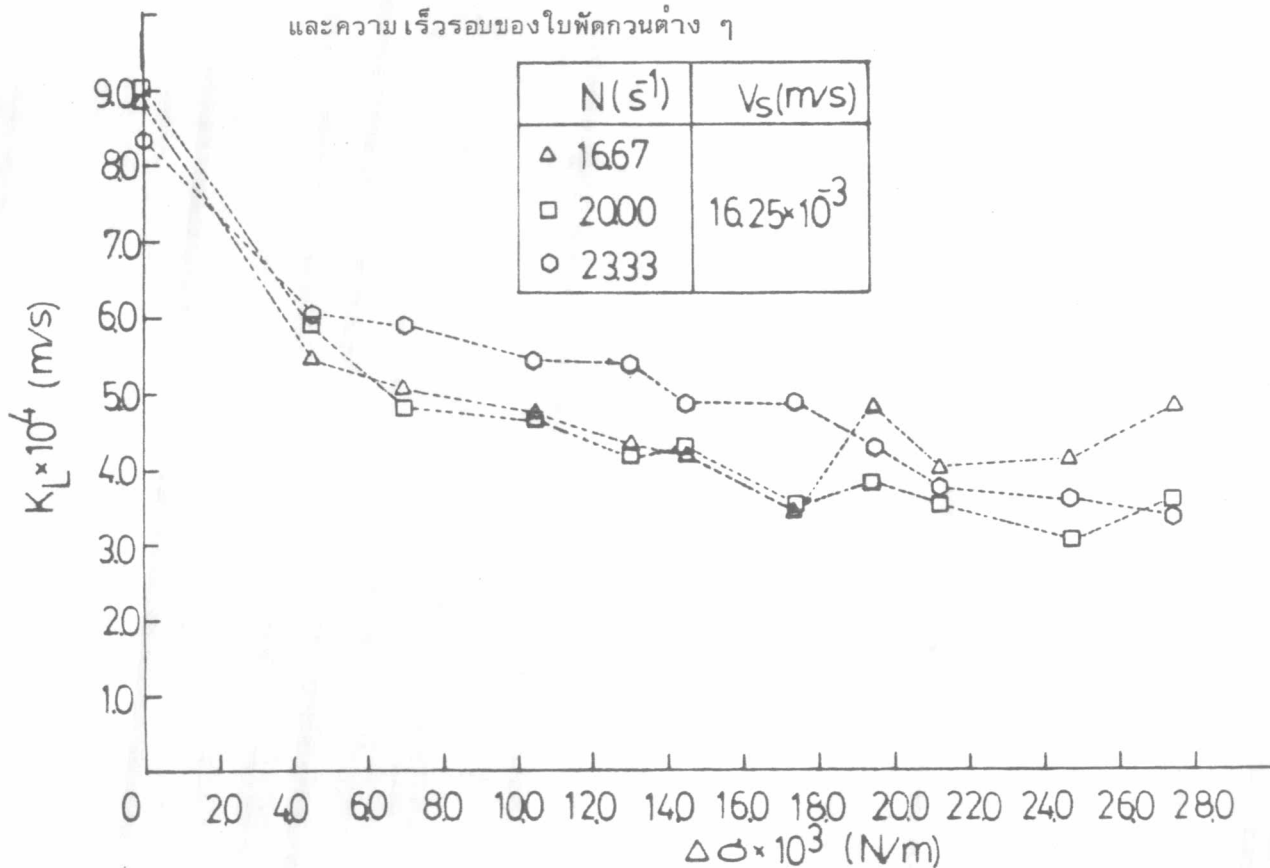
รูปที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $K_L$  และ  $\Delta\sigma$  ที่  $V_s$  เท่ากับ  $7.80 \times 10^{-3}$  เมตรต่อวินาที และความเร็วรอบของใบพัดกวนต่าง ๆ





รูปที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $K_L$  และ  $\Delta\sigma$  ที่  $V_s$  เท่ากับ  $12.10 \times 10^{-3}$  เมตรต่อวินาที

และความเร็วรอบของใบพัดกวนต่าง ๆ



รูปที่ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $K_L$  และ  $\Delta\sigma$  ที่  $V_s$  เท่ากับ  $16.25 \times 10^{-3}$  เมตรต่อวินาที

ในการสร้างสมการเพื่ออธิบายผลการทดลองนี้ มีขั้นตอนในการหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

1. จากตารางที่ 4.5 เมื่อนำค่า  $K_{Lo}/K_S$  มาสร้างความสัมพันธ์กับค่า  $\frac{\Delta\phi}{\phi_0}$  ได้ความสัมพันธ์ในรูปค่ายกกำลังของ  $\frac{\Delta\phi}{\phi_0}$  และเมื่อนำค่ายกกำลังมาเฉลี่ยจะได้รับความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\frac{K_{Lo}}{K_S} \propto \left(\frac{\Delta\phi}{\phi_0}\right)^{0.95}$$

2. นำค่า  $K_{Lo}/K_S$  และ  $\left(\frac{\Delta\phi}{\phi_0}\right)^{0.95}$  มาสร้างความสัมพันธ์จะได้สมการเส้นตรงมีค่า slope ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และเมื่อค่า  $\Delta\phi = 0$  ค่าความชันเนื่องจากสารชอบผิว,  $\frac{1}{K_S}$  จะมีค่าเป็น 0 ดังนั้นค่า intercept = 0 ด้วย สมการที่ได้จะมีรูปแบบเป็น

$$\frac{K_{Lo}}{K_S} = (\text{slope}) \left(\frac{\Delta\phi}{\phi_0}\right)^{0.95} \quad (4.10)$$

3. จากรูปที่ 4.31 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า slope (Y) ที่ได้จากการคำนวณและค่า aeration number พบว่าจะได้ความสัมพันธ์ในลักษณะ exponential ซึ่งจะมีรูปแบบสมการดังนี้

$$Y = a' \cdot \exp(b' N_{Ae}) \quad (4.11)$$

ค่า  $a'$  และ  $b'$  เป็นค่าคงที่เฉพาะค่า  $N_{Ae}$  หนึ่ง ๆ

4. ค่า  $b'$  และ  $a'$  จะมีความสัมพันธ์กับค่า Reynolds number,  $N_{Re}$  ดังแสดงในรูปที่ 4.32 และ 4.33 และสามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$b' = -16.15 + 4.93 \times 10^{-4} N_{Re} \quad (4.12)$$

$$a' = 2.84 - 3.22 \times 10^{-5} N_{Re} \quad (4.13)$$

สมการที่สมบูรณ์จะแสดงได้ดังนี้

$$\frac{K_{Lo}}{K_S} = (2.84 - 3.22 \times 10^{-5} N_{Re}) \exp\{-16.15 + 4.93 \times 10^{-4} N_{Re}\} N_{Ae} \left(\frac{\Delta\phi}{\phi_0}\right)^{0.95} \quad (4.14)$$

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า  $K_{Lo}/K_s$  ในสารละลายสารขบผิวที่สภาวะการทดลองต่าง ๆ

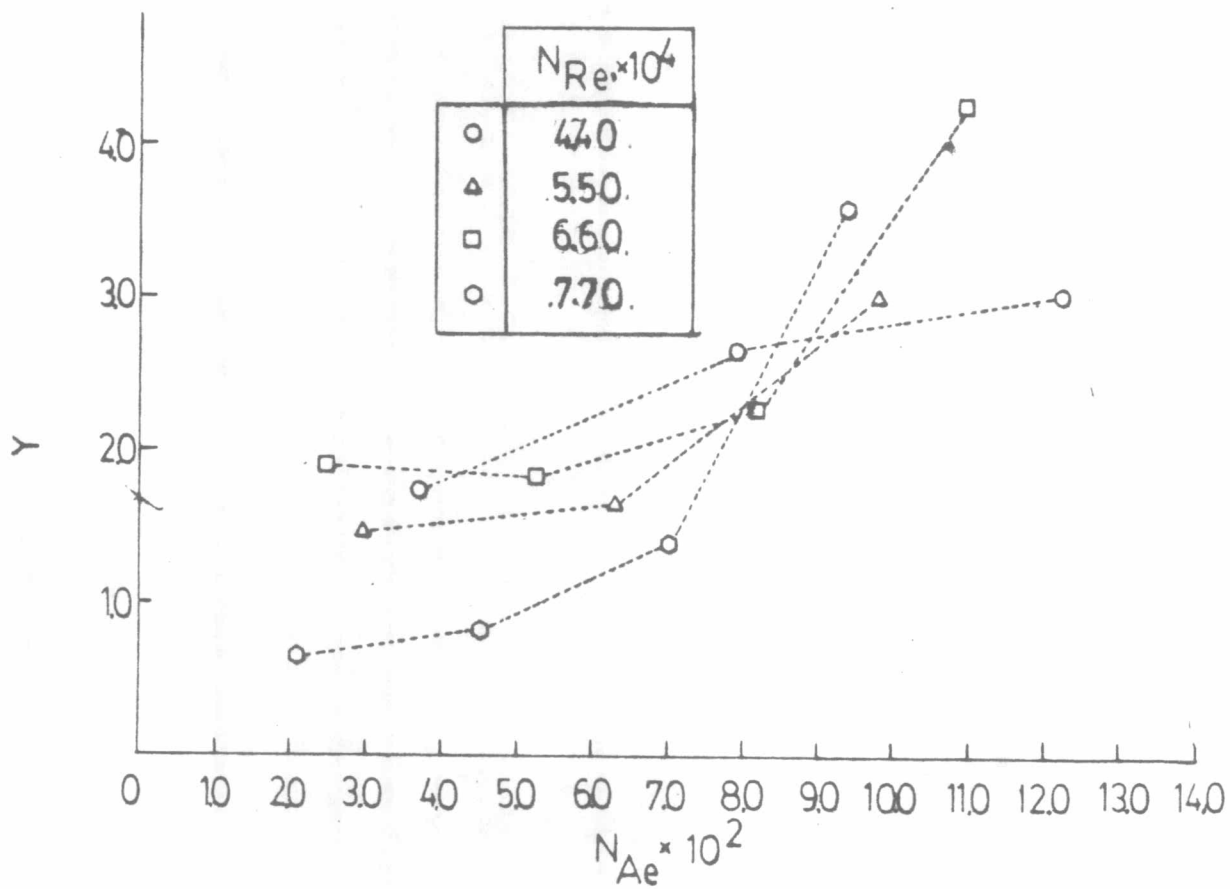
$V_s$ , ( $m/s \cdot 10^{-3}$ )	3.65				7.80				12.10				16.25			
$N$ ( $s^{-1}$ ) $\Delta \phi$ ( $N/m \cdot 10^{-3}$ )	13.33	16.67	20.00	23.33	13.33	16.67	20.00	23.33	13.33	16.67	20.00	23.33	16.67	20.00	23.33	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4.5	0.15	0.08	0.05	0.07	0.24	0.05	0.28	0.07	0.14	0.09	0.09	0.17	0.62	0.53	0.43	
7.0	0.14	0.14	0.09	0.10	0.39	0.05	0.22	0.21	0.28	0.20	0.26	0.27	0.75	0.88	0.43	
10.5	0.32	0.30	0.14	0.11	0.48	0.09	0.07	0.21	0.55	0.35	0.46	0.26	0.87	0.94	0.56	
13.0	0.31	0.35	0.18	0.14	0.71	0.10	0.18	0.19	0.75	0.68	0.39	0.36	1.05	1.17	0.56	
14.5	0.26	0.42	0.39	0.18	0.70	0.13	0.21	0.15	1.29	0.44	0.52	0.33	1.12	1.14	0.74	
17.5	0.63	0.29	0.67	0.19	0.78	0.22	0.33	0.18	1.12	0.54	0.55	0.37	1.65	1.61	0.74	
19.5	0.40	0.37	0.73	0.24	1.08	0.43	0.42	0.18	1.42	1.03	0.68	0.47	0.84	1.37	0.97	
21.2	0.90	0.35	0.67	0.22	0.95	0.39	0.66	0.18	0.92	1.05	0.82	0.58	1.22	1.60	1.27	
24.7	0.72	0.62	0.52	0.25	1.22	0.54	0.71	0.43	0.98	1.07	0.70	0.60	1.16	2.02	1.37	
27.5	0.43	0.61	0.55	0.27	0.78	0.63	0.76	0.39	0.92	0.99	0.92	0.52	0.86	1.55	1.52	

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า slope, intercept และ coefficient of determination

จากการ fit-curve ในรูปสมการ  $K_{Lo}/K_s = \text{intercept} + \text{slope} \left(\frac{\Delta C}{C_0}\right)^{0.95}$

$N_{Re} , \times 10^4$	$N_{Ae} \times 10^2$	slope	intercept	$r^{2*}$
4.40	3.69	1.73	0.01	0.64
4.40	7.90	2.65	0.09	0.82
4.40	12.26	2.98	0.11	0.63
5.50	2.95	1.47	0.00	0.87
5.50	6.31	1.65	-0.11	0.86
5.50	9.80	3.03	-0.07	0.88
5.50	13.16	2.20	0.45	0.44
6.60	2.46	1.91	-0.05	0.74
6.60	5.26	1.82	-0.04	0.76
6.60	8.17	2.27	0.00	0.94
6.60	10.97	4.25	0.04	0.88
7.70	2.11	0.66	0.02	0.96
7.70	4.51	0.81	0.02	0.67
7.70	7.00	1.38	0.06	0.91
7.70	9.41	3.62	0.00	0.94

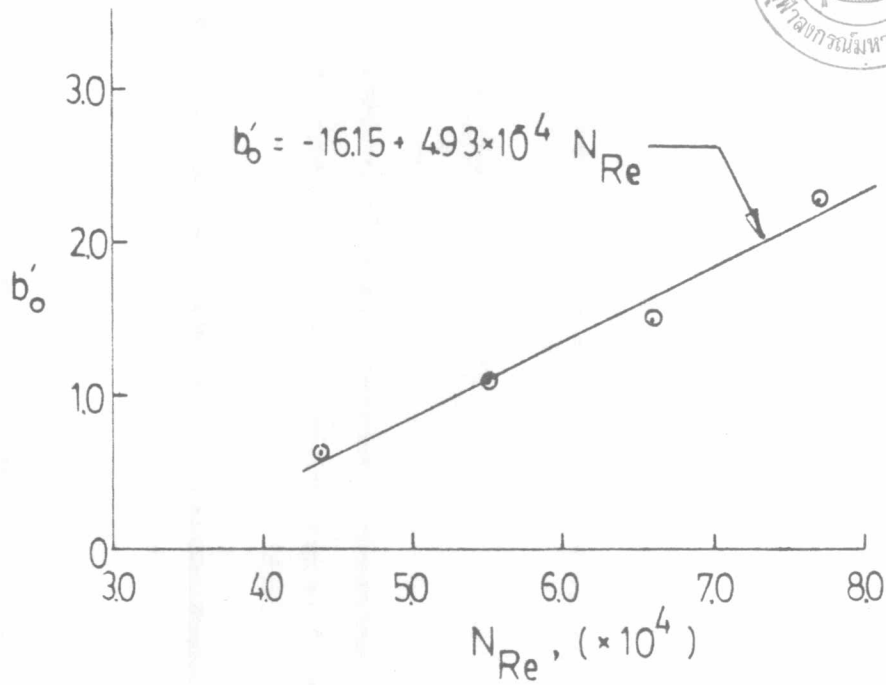
\*  $r^2$  = coefficient of determination



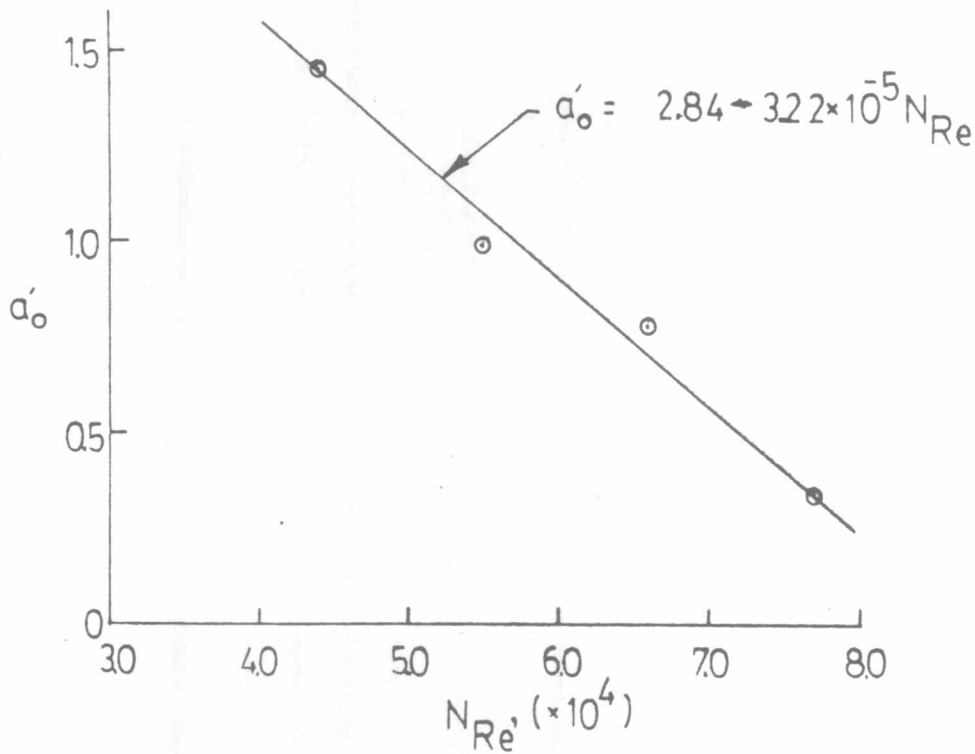
รูปที่ 4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ  $N_{Ae}$

ตารางที่ 4.7 แสดงค่า  $a'_0$  ,  $b'_0$  ที่ได้จากสมการ  $y = a'_0 e^{b'_0 N_{Ae}}$

Y, (slope)	$N_{Ae} \times 10^2$	$a'_0$	$b'_0$	$r^2$
1.73	3.69	1.45	6.32	0.90
2.65	7.90			
2.98	12.26			
1.47	2.95	0.99	10.64	0.88
1.65	6.31			
3.03	9.80			
1.91	2.46	0.78	14.77	0.92
1.82	5.26			
2.27	8.17			
4.25	10.97			
0.66	2.11	0.34	23.02	0.92
0.81	2.45			
1.38	7.00			
3.62	9.41			



รูปที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $b'_o$  และ  $N_{Re}$



รูปที่ 4.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $a'_o$  และ  $N_{Re}$

จากรูปที่ 4.34 แสดงค่า  $\frac{K_{Lo}}{K_S}$  ที่ได้จากการทดลอง เปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จาก

สมการที่ 4.14 พบว่าจากข้อมูลทั้ง 165 ข้อมูล จะมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.39

จากสมการที่ได้สร้างขึ้นจากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ค่า  $\frac{K_{Lo}}{K_S}$  ซึ่งเป็นค่าอัตรา-

ส่วนความต้านทานการถ่ายเทมวล เนื่องจากสารชอบผิวต่อความต้านทานการถ่ายเทมวล เมื่อไม่มีสารชอบผิว จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่าผลต่างแรงดึงผิวเพิ่มขึ้น หรือกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าการเพิ่มปริมาณสารชอบผิวในสารละลายจะมีผลทำให้อัตราส่วนความต้านทานดังกล่าวเพิ่มขึ้น จากสมการที่ 4.14 นี้สามารถหาความต้านทานการถ่ายเทมวลรวมได้ดังนี้

$$\frac{K_{Lo}}{K_S} + 1 = \frac{1/K_S + 1}{1/K_{Lo}} = 1 + (2.84 - 322 \cdot 10^{-5} N_{Re}) \exp\{-16.15 + 4.93 \cdot 10^{-4} N_{Re}\} N_{Ae} \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^{0.95} \quad (4.15)$$

$$1/K_L = \frac{1}{K_{Lo} K_{Lo}} + \frac{1}{K_S} (2.84 - 322 \cdot 10^{-5} N_{Re}) \exp\{-16.15 + 4.93 \cdot 10^{-4} N_{Re}\} N_{Ae} \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^{0.95} \quad (4.16)$$

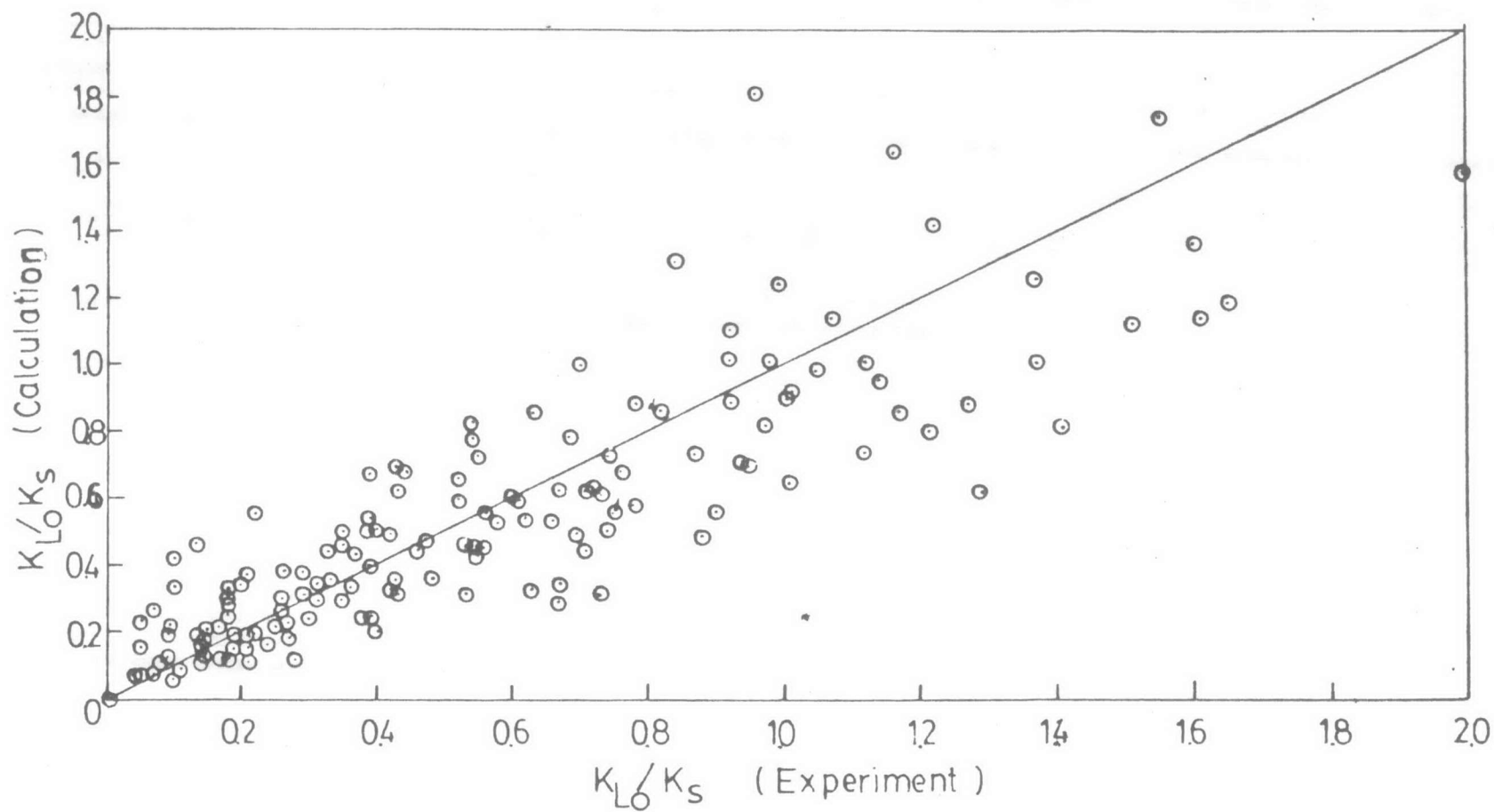
$$1/K_L = 1/K_{Lo} + 1/K_S \quad (4.17)$$

$$\text{หรือ} \quad R_L = R_{Lo} + R_S \quad (4.18)$$

จากสมการที่ได้แสดงมานี้จะเห็นว่า ความต้านทานการถ่ายเทมวลรวมสามารถแยกออกเป็นความต้านทานการถ่ายเทมวลย่อย 2 ส่วนคือ ความต้านทานการถ่ายเทมวลในน้ำซึ่งโดยปกติจะมีค่า ๆ หนึ่งอยู่แล้ว แม้ว่าจะไม่มีสารชอบผิวอยู่ในสารละลายก็ตาม และความต้านทานการถ่ายเทมวลเนื่องจากสารชอบผิวที่ปกคลุมผิวสัมผัส แต่เนื่องจากความต้านทานการถ่ายเทมวล เนื่องจากสารชอบผิวจะมีเทอมความต้านทานในน้ำอยู่ด้วย ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการพิจารณาจึงต้องแยกความต้านทานทั้งสองนี้ออกจากกัน

จากตารางที่ 4.8 ซึ่งแสดงค่า  $K_{Lo}$  ที่ Reynolds number และ Aeration number ต่าง ๆ พบว่าสำหรับค่า Reynolds number ค่าหนึ่ง ๆ ค่า  $K_{Lo}$  และ Aeration number จะมีความสัมพันธ์กันในลักษณะสมการเส้นตรง ดังสมการ





รูปที่ 4.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $K_{Lo}/K_S$  ที่ได้จากการทดลอง และ  $K_{Lo}/K_S$  ที่ได้จากสมการที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง  $K_{Lo}$  และ  $N_{Ae}$  ในรูปสมการ  $K_{Lo} = a'_0 + b'_0 N_{Ae}$

ที่ค่า  $N_{Re}$  ต่าง ๆ

$N_{Re}$ ( $\times 10^4$ )	$N_{Re}$ ( $\times 10^{-2}$ )	$K_{Lo}$ ( $\times 10^{-4}$ )	intercept, ( $\times 10^{-4}$ )	slope, ( $\times 10^{-3}$ )	$r^2$
4.40	3.69	5.00			
4.40	7.90	6.04	4.06	2.52	1.00
4.40	12.26	7.16			
5.50	2.95	4.28			
5.50	6.31	5.09	2.63	4.62	0.98
5.50	9.80	7.19			
5.50	13.16	8.83			
6.60	2.46	3.85			
6.60	5.26	5.47	2.31	5.77	0.96
6.60	8.17	6.38			
6.60	10.97	9.02			
7.70	2.11	3.27			
7.70	4.51	5.17	1.91	7.40	0.95
7.70	7.00	7.88			
7.70	9.41	8.38			

$$K_{Lo} = a'' + b'' N_{Ae} \quad , \quad N_{Re} \text{ คงที่} \quad (4.19)$$

เมื่อ  $a''$  และ  $b''$  เป็นค่าคงที่

และเมื่อค่า Reynolds number เปลี่ยนไป ค่า  $a''$  และ  $b''$  จะเปลี่ยนไปด้วย

ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.35 และ 4.36 และเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$a'' = 9.77 \times 10^{-4} \exp(-2.17 \times 10^{-5} N_{Re}) \quad (4.20)$$

$$b'' = -3.64 \times 10^{-3} + 1.44 \times 10^{-7} N_{Re} \quad (4.21)$$

ดังนั้นสมการสมบูรณที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $K_{Lo}$  และ  $N_{Re}$ ,  $N_{Ae}$  จะแสดงได้ดังนี้

$$K_{Lo} = 9.77 \times 10^{-4} \exp(-2.17 \times 10^{-5} N_{Re}) + (-3.64 \times 10^{-3} + 1.44 \times 10^{-7} N_{Re}) N_{Ae} \quad (4.22)$$

จากรูปที่ 4.37 แสดงค่า  $K_{Lo}$  จากสมการ 4.22 กับค่าที่ได้จากการทดลอง พบว่าจากข้อมูลทั้ง 15 ข้อมูลจะมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.06

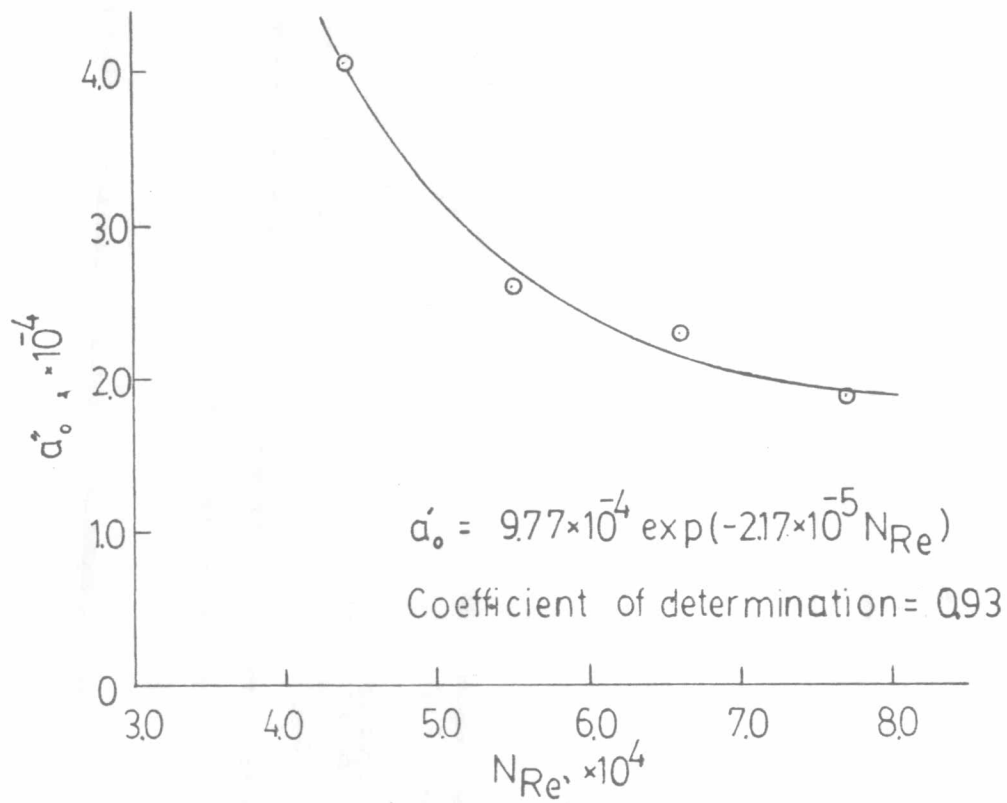
สมการที่แสดงความสัมพันธ์ของค่า  $\frac{1}{K_S}$  และ  $N_{Re}$ ,  $N_{Ae}$  จะแสดงได้ดังนี้

$$\frac{1}{K_S} = \left[ \frac{(2.84 - 3.22 \times 10^{-5} N_{Re}) \exp\{(-16.15 + 4.93 \times 10^{-4} N_{Re}) N_{Ae}\}}{9.77 \times 10^{-4} \exp(-2.17 \times 10^{-5} N_{Re}) + (-3.64 \times 10^{-3} + 1.44 \times 10^{-7} N_{Re}) N_{Ae}} \right] \left(\frac{\Delta \phi}{\phi}\right)^{0.95} \quad (4.23)$$

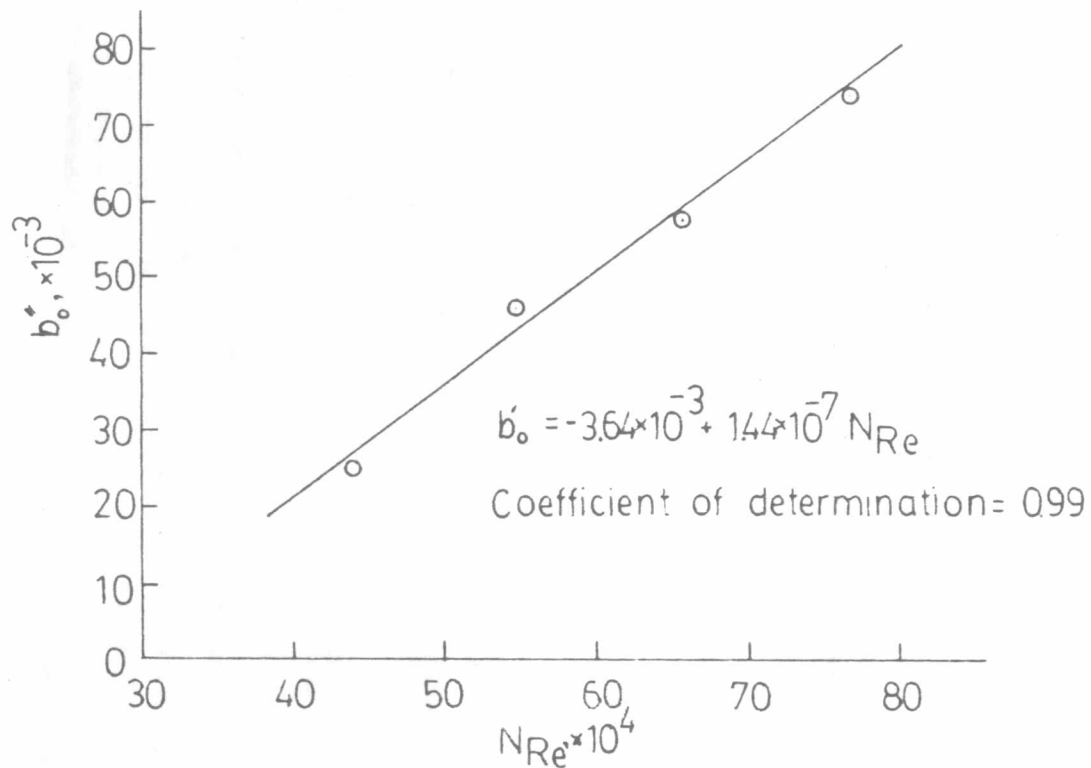
สำหรับความต้านทานการถ่ายเทมวลรวมสามารถแสดงได้ในรูปสมการดังนี้

$$\frac{1}{K_L} = \left[ \frac{1 + (2.84 - 3.22 \times 10^{-5} N_{Re}) \exp\{(-16.15 + 4.93 \times 10^{-4} N_{Re}) N_{Ae}\} \left(\frac{\Delta \phi}{\phi}\right)^{0.95}}{9.77 \times 10^{-4} \exp(-2.17 \times 10^{-5} N_{Re}) + (-3.64 \times 10^{-3} + 1.44 \times 10^{-7} N_{Re}) N_{Ae}} \right] \quad (4.24)$$

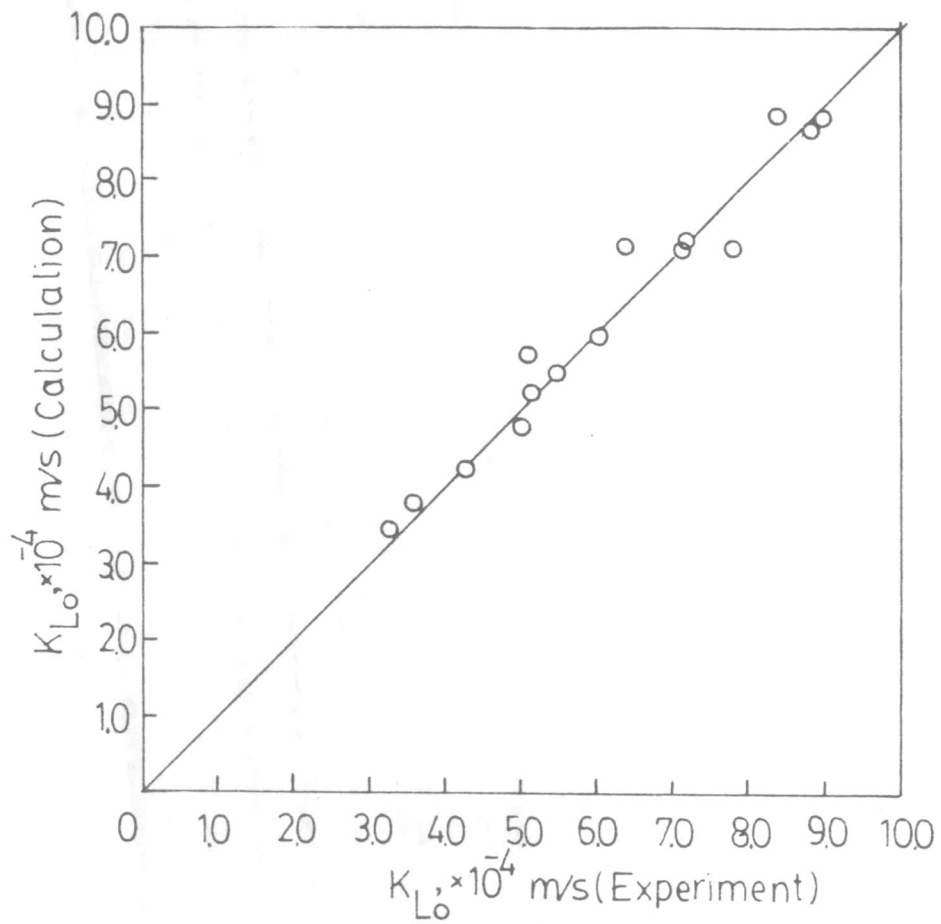
จากสมการที่ 4.24 จะเห็นว่าสำหรับค่า Reynolds number และ Aeration number ค่าหนึ่ง ๆ ความต้านทานการถ่ายเทมวลรวมจะขึ้นกับค่าผลต่างแรงดึงผิวที่เพิ่มขึ้น หรือ ปริมาณสารขอมผิวที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็น เพราะการเพิ่มปริมาณสารขอมผิวจะช่วยเพิ่มปริมาณการดูด



รูปที่ 4.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\alpha_0$  และ  $N_{Re}$



รูปที่ 4.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $b_0$  และ  $N_{Re}$



รูปที่ 4.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $K_{Lo}$  ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณโดยสมการที่สร้างขึ้น

ชัยโม เลกุลของสารชอบผิวที่ผิวสัมผัส ทำให้เกิดความต้านทานต่อการถ่ายเทมวลออกซิเจนจากฟองอากาศเข้าสู่สารละลายเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ปริมาณสารชอบผิวในสารละลายเท่า ๆ กัน หรือที่ผลต่างแรงดึงผิวเท่า ๆ กัน ความต้านทานการถ่ายเทมวลจะขึ้นกับค่า Reynolds number และ Aeration number ด้วย ซึ่งแสดงว่าค่าทั้ง 2 นี้จะมีผลต่อการดูดซับโมเลกุลสารชอบผิวที่บริเวณผิวสัมผัสด้วย แต่กลไกในการดูดซับยังไม่สามารถอธิบายได้จากข้อมูลที่ศึกษามา

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร ที่สังเกตพบว่ามีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อมีสารชอบผิวในสารละลายมากขึ้น สามารถอธิบายได้ว่า สารชอบผิวจะมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลมีค่าลดลง แต่ในขณะเดียวกันก็จะทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น แต่อัตราการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวสัมผัสจะน้อยกว่าอัตราการลดลงของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล จึงทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมต่อหน่วยปริมาตรมีค่าลดลง