

## บทที่ 4

# ผลการทดลองและการวิเคราะห์

### 4.1 การแลกเปลี่ยนไอออน

เนื่องจากหินฟัมมิช มีองค์ประกอบโลหะหลายชนิด ได้แก่ ซิลิกอน อะลูมิเนียม เหล็ก ไททาเนียม แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม โพแทสเซียม แต่โลหะที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ คือ โซเดียม โพแทสเซียม และแคลเซียม [19, 20] เมื่อพิจารณาจากศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะเงินกับโลหะดังกล่าวในหินฟัมมิช ดังแสดงผลในตารางที่ 4.1 พบว่าโลหะเงินน่าจะเกิดปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออนกับไอออนโพแทสเซียมได้ดีที่สุด

ตารางที่ 4.1 ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน ( $E_0$ ) ของปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะเงินกับโลหะบางชนิดในหินฟัมมิช

ปฏิกิริยารีดอกซ์	$E_0$
$K(s) + Ag^+(aq) \leftrightarrow K^+(aq) + Ag(s)$	$0.7996 - (-2.9424) = 3.742$
$Na(s) + Ag^+(aq) \leftrightarrow Na^+(aq) + Ag(s)$	$0.7996 - (-2.7109) = 3.5105$
$Ca(s) + 2Ag^+(aq) \leftrightarrow Ca^+(aq) + 2Ag(s)$	$0.7996 - (-2.87) = 3.6696$

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะในหินฟัมมิชที่แลกเปลี่ยนไอออนแล้ว พบว่าปริมาณโลหะโพแทสเซียม โซเดียมและแคลเซียมลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ร้อยละ สัดส่วนองค์ประกอบโลหะของหินพัมมิชก่อนและหลังการแลกเปลี่ยนไอออน

องค์ประกอบ (%)	ก่อนแลกเปลี่ยนไอออน	หลังแลกเปลี่ยนไอออน
Ca	0.436	0.414
Na	0.409	0.387
K	1.642	1.545
Ag	-	0.138

ดังนั้นโลหะเงินสามารถแลกเปลี่ยนไอออนกับโพแทสเซียมในหินพัมมิชได้มากที่สุดซึ่งสอดคล้องกับค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน สำหรับโลหะแคลเซียมและโซเดียม แม้ว่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของการแลกเปลี่ยนไอออนกับแคลเซียมจะมีค่าสูงกว่าการแลกเปลี่ยนไอออนกับโซเดียม การแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างไอออนที่มีประจุเท่ากันน่าจะเกิดขึ้นได้ง่ายหรือสะดวกกว่าการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุต่างกัน จึงมีผลให้โซเดียมไอออนถูกแลกเปลี่ยนไปในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกับแคลเซียมไอออน

#### 4.1.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายเกลือในเตรตของโลหะเงิน

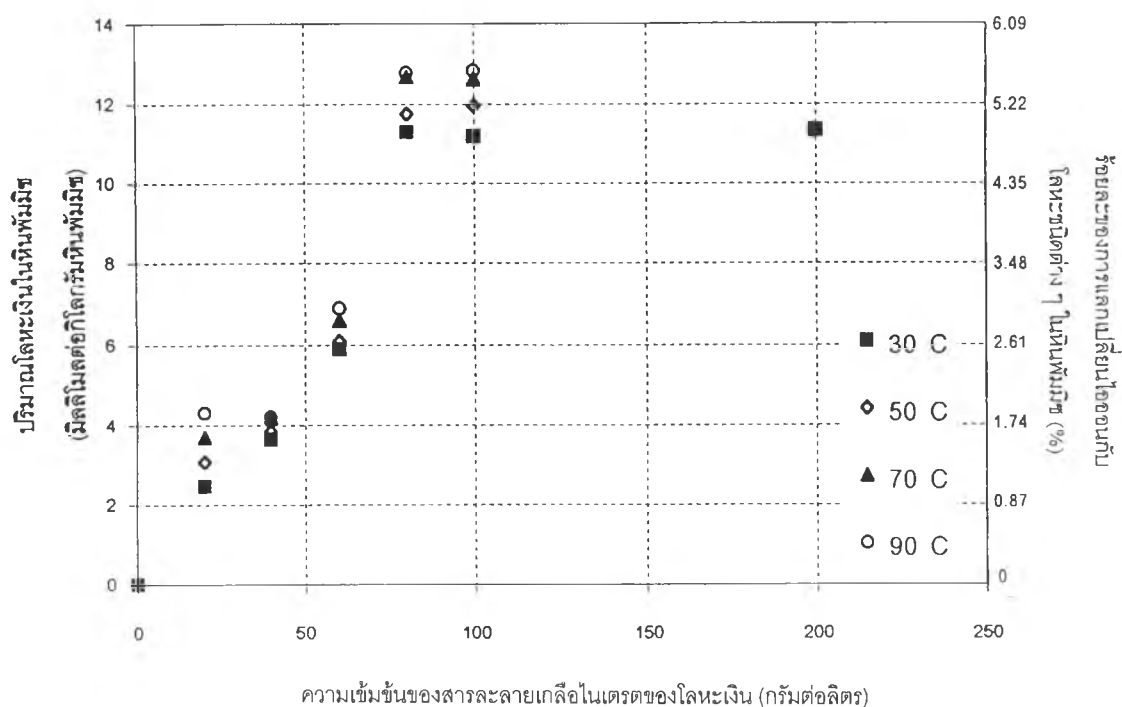
ปริมาณโลหะเงินในหินพัมมิชเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย แต่จะเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยเมื่อความเข้มข้นของสารละลายสูงกว่า 100 กรัมต่อลิตร ณ อุณหภูมิของการแลกเปลี่ยนไอออนที่กำหนดไว้ ดังแสดงในรูปที่ 4.1

โดยอาศัยหลักพลังงานของกิบบ์ (Gibb) พิจารณาที่สมดุลการเปลี่ยนแปลงแบบรีดักชันของระบบ เป็นความสัมพันธ์ตามสมการของเนิร์นสต์ (Nernst equation) [24] คือ



จะได้

$$E = E^0 - \frac{0.059}{n} \log \frac{1}{[Ag^+]} \quad (4.1)$$



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะเงินในหินพัมมิชกับความเข้มข้นของสารละลายเกลือไนเตรตของโลหะเงิน ในการแลกเปลี่ยนไอออนที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เมื่อความเข้มข้นของโลหะเงินเพิ่มขึ้น ทำให้ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของขั้วไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และศักย์ไฟฟ้าของปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างโลหะโพแทสเซียมกับโลหะเงินเพิ่มขึ้นด้วย อธิบายได้ว่า เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นสูง ไอออนในสารละลายย่อมมีจำนวนมาก การส่งผ่านอิเล็กตรอนข้ามผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าย่อมเกิดได้ดีขึ้น ทำให้วัดศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานได้เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดซ์ได้เพิ่มขึ้น ทำให้โลหะเงินเข้าไปแทนที่โลหะโพแทสเซียมในผลึกของของหินพัมมิชได้ง่ายขึ้น จึงทำให้ปริมาณของโลหะเงินที่แลกเปลี่ยนไอออนเพิ่มขึ้นด้วย หรืออธิบายได้ว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับความเข้มข้น ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเกลือไนเตรตของโลหะเงินเพิ่มขึ้น จึงทำให้ปริมาณโลหะเงินที่แลกเปลี่ยนไอออนเพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโลหะเงินไปจนถึง 80 กรัมต่อลิตร ปริมาณของโลหะเงินที่แลกเปลี่ยนไอออนไม่เปลี่ยนแปลงอีก ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สามารถอธิบายได้ว่าปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออนถึงสมดุลแล้วหรือปริมาณของโพแทสเซียม ไฮเดียม และแคลเซียมที่อยู่ในผลึกแลกเปลี่ยนไอออนกับโลหะเงินจนหมดแล้วทำให้ไม่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้อีก ซึ่งจากข้อสรุปนี้สามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์ของผลึกที่อยู่ในหินพัมมิชได้เท่ากับ 5.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหาได้จากสัดส่วนระหว่างปริมาณของโพแทสเซียม ไฮเดียมและแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนไอออนได้กับปริมาณของโพแทสเซียม ไฮเดียม และแคลเซียมทั้งหมดที่มีอยู่ในหินพัมมิช

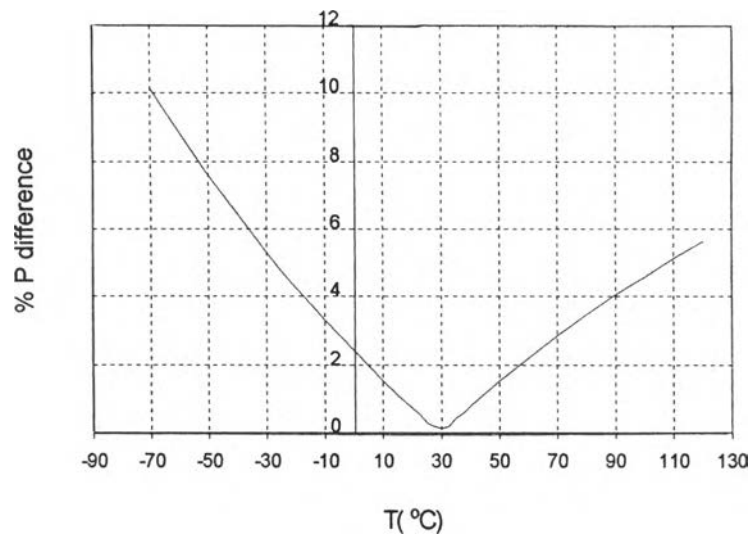
## 4.1.2 ผลของอุณหภูมิของการแลกเปลี่ยนไอออน

การเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออน พบว่ามีผลทำให้ปริมาณของโลหะเงินในหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้นแต่จะเพิ่มขึ้นในลักษณะที่ไม่แตกต่างกันมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.1 เนื่องจากการอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับอัตราการชนอย่างมีประสิทธิภาพของโมเลกุล ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิซึ่งเป็นการเพิ่มความเร็วเฉลี่ย จะมีผลทำให้อัตราการเข้าชนกันเพิ่มขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า การเพิ่มอุณหภูมิมิมีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้นก็เพราะจำนวนครั้งของการชนอย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างโลหะเงินกับโพแทสเซียมได้เพิ่มขึ้นแต่ที่เพิ่มขึ้นในลักษณะที่ไม่แตกต่างกันมากเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออนไม่สูงมากจึงเห็นความแตกต่างไม่ชัดเจน

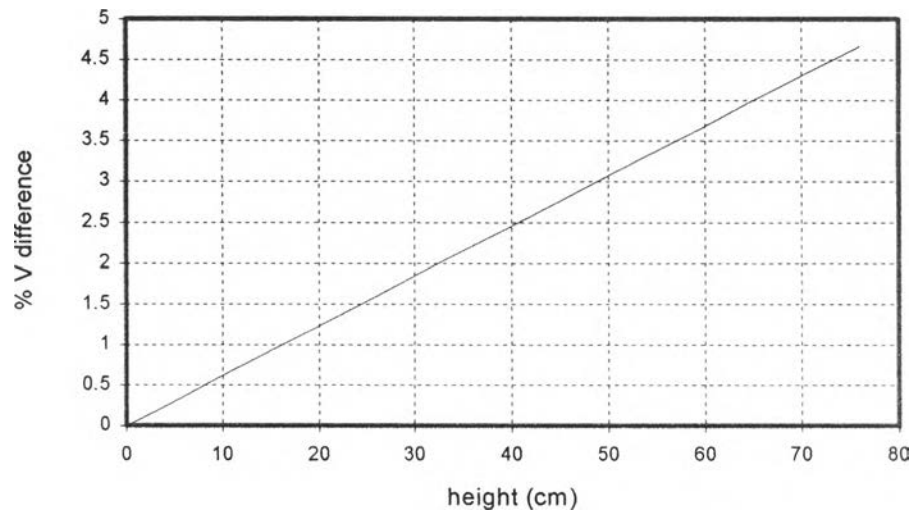
## 4.2 การดูดซับ

เนื่องจากชุดอุปกรณ์สำหรับการดูดซับ มีระบบควบคุมอุณหภูมิของระบบการดูดซับเพียงบริเวณที่บรรจุตัวดูดซับเท่านั้น (ดูรูปที่ 3.1) เมื่อต้องการวัดสมมูลการดูดซับแก๊ส ณ อุณหภูมิอื่น ๆ ที่แตกต่างจากอุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิมสภาพแวดล้อม ความแตกต่างของอุณหภูมิกายในระบบ อาจมีผลต่อความคลาดเคลื่อนของการวัดความดัน เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีความแตกต่างของอุณหภูมิกายในระบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 สำหรับแก๊สอุดมคติ เมื่ออุณหภูมิของการดูดซับต่างจากอุณหภูมิห้อง  $\pm 30$  องศาเซลเซียส ความดันที่อ่านค่าได้คลาดเคลื่อนประมาณร้อยละ 2 เท่านั้น

การวัดความดันด้วยระดับของปรอท ทำให้ปริมาตรรวมของระบบการดูดซับเปลี่ยนแปลงตามระดับของปรอท ทำให้ปริมาตรของระบบการดูดซับลดลง โดยเป็นสัดส่วนกับความสูงของปรอท ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ซึ่งปริมาตรที่นำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณการดูดซับเป็นปริมาตรเฉลี่ย แต่จากการคำนวณพบว่า ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปในการฉีดแต่ละครั้งจะมีผลน้อยมากต่อปริมาตรรวมของระบบ เมื่อระดับปรอทอยู่ที่ความดันสูญญากาศ คือ 76 เซนติเมตรปรอท ปริมาตรที่คำนวณได้คลาดเคลื่อนประมาณร้อยละ 5 เท่านั้น



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนของความดันกับอุณหภูมิ



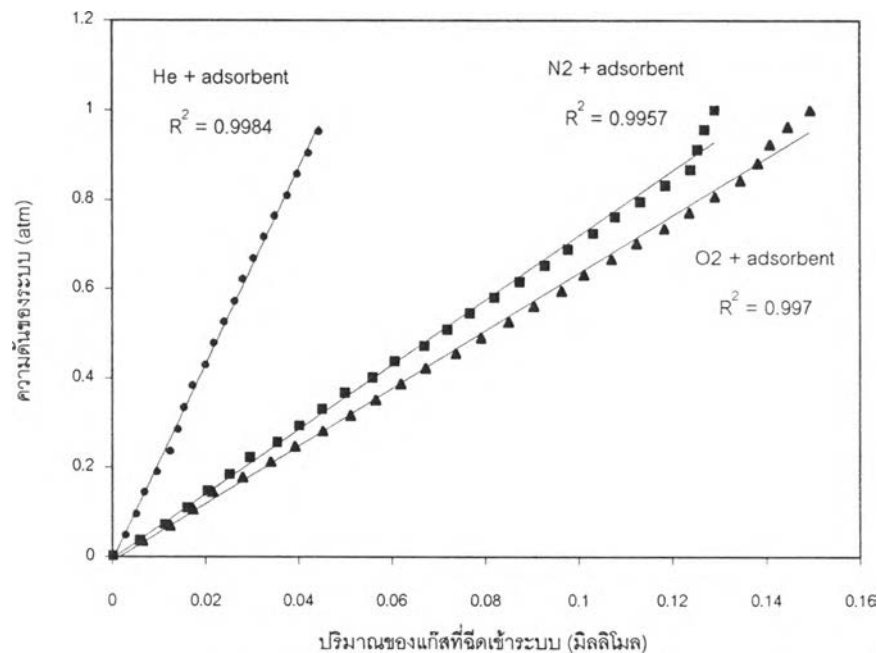
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของระบบการดูดซับลดลงกับความสูงของปรอท

#### 4.2.1 ปริมาณการดูดซับแก๊ส

ปริมาณการดูดซับแก๊สแต่ละชนิด สามารถคำนวณจากการตุลมวลสารของแก๊สที่เติมเข้าระบบกับปริมาณแก๊สที่เหลือในระบบ ซึ่งมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับแก๊สอุดมคติ ความแม่นยำของการคำนวณปริมาณการดูดซับจึงขึ้นกับปริมาตรของระบบ ความดันรวมที่วัดได้ และอุณหภูมิในขณะดูดซับแก๊ส ปริมาตรของชุดอุปกรณ์หลังจากบรรจุก๊าซวัดดูดซับแสดงผลในภาคผนวก ข

#### 4.2.2 สมดุลการดูดซับแก๊สไนโตรเจนและออกซิเจน

ความสัมพันธ์ระหว่างความดันของระบบกับปริมาณแก๊สสะสมที่เติมเข้าสู่ระบบ สำหรับกรณีที่ใช้แก๊สฮีเลียม ไนโตรเจนและออกซิเจน แสดงในรูปที่ 4.4 ความดันของระบบแก๊สไนโตรเจนและออกซิเจนเพิ่มขึ้นได้น้อยกว่าแก๊สฮีเลียม แสดงถึงการดูดซับแก๊สไนโตรเจนและออกซิเจน ตัวดูดซับที่เตรียมได้จากหินพัมมิช สามารถดูดซับแก๊สไนโตรเจนและออกซิเจนได้ เนื่องจากสมดุลการดูดซับแก๊สทั้งสองมีลักษณะคล้ายกัน จึงพิจารณาค่าคงที่สมดุลการดูดซับของสมการแบบจำลองของสมดุลการดูดซับที่สอดคล้องกับผลการทดลอง



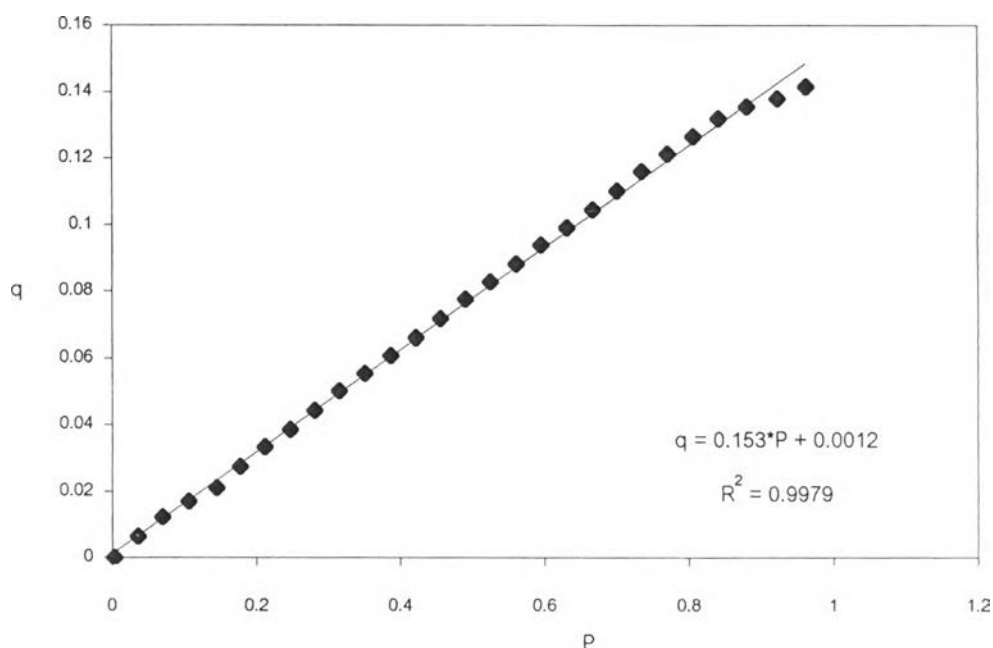
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันของระบบกับปริมาตรของแก๊สที่ฉีดเข้าระบบ

### 4.2.3 แบบจำลองของเฮนรีและแลงเมียร์

จากข้อมูลการดูดซับด้วยวิธีวัดปริมาณแก๊สที่เหลือภายในระบบ มีลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง ดังนั้นจึงสามารถใช้แบบจำลองทั้งของเฮนรีและแลงเมียร์อธิบายได้ โดยในแบบจำลองของเฮนรี อาศัยความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปริมาณการดูดซับและความดันย่อยของตัวถูกละลาย ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$q = K_H P \quad (4.5)$$

ค่าคงที่ของเฮนรี สามารถคำนวณได้จากความชันของกราฟ สำหรับการดูดซับแก๊สไนโตรเจนและแก๊สออกซิเจน ค่าคงที่ของแลงเมียร์แสดงดังภาคผนวก ข

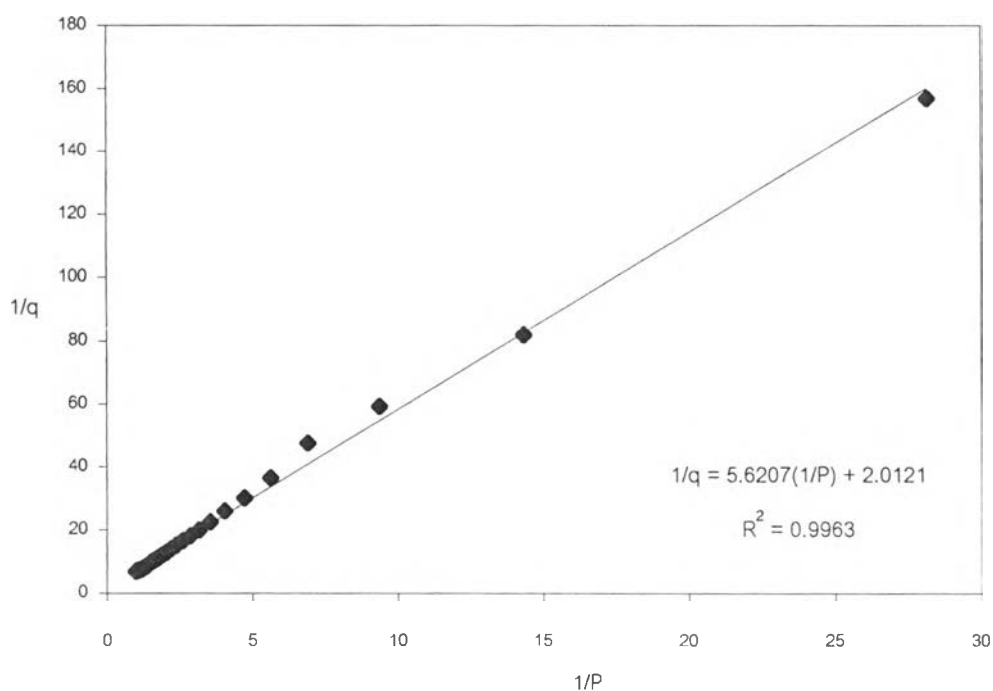


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์เชิงเส้นของสมดุลการดูดซับแก๊สไนโตรเจนบนหินพัมมิชที่แลกเปลี่ยนไอออนกับ  $\text{AgNO}_3$  80 g/L, 70 °C สภาวะอุณหภูมิ 0 °C ของแบบจำลองการดูดซับของเฮนรี

ในแบบจำลองของแลงเมียร์อาศัยความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างส่วนกลับของปริมาณการดูดซับและความดันย่อยของตัวถูกดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_s} + \frac{1}{K_L q_s} \frac{1}{P} \quad (4.6)$$

ปริมาณการดูดซับสูงสุด และค่าคงที่ของแลงเมียร์ สามารถคำนวณได้จากจุดตัดแกนตั้ง และความชันของกราฟ ตามลำดับ สำหรับการดูดซับแก๊สไนโตรเจนและแก๊สออกซิเจน ปริมาณการดูดซับสูงสุดต่อมวลของตัวดูดซับ และค่าคงที่ของแลงเมียร์แสดงในภาคผนวก ข



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์เชิงเส้นของการดูดซับแก๊สไนโตรเจนบนหินพัมมิชที่แลกเปลี่ยนไอออนกับ  $\text{AgNO}_3$  80 g/L, 70 °C สภาวะอุณหภูมิ 0 °C ของแบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์



#### 4.2.4 การอธิบายสมดุลการดูดซับด้วยแบบจำลองสมดุลการดูดซับของแลงเมียร์และแบบจำลองการดูดซับของเฮนรี

สมดุลการดูดซับแก๊สไนโตรเจนและออกซิเจนด้วยตัวดูดซับพัมมิชที่มีโลหะเงิน มีลักษณะโค้งน้อย ๆ จึงน่าจะสอดคล้องกับสมการแบบจำลองสมดุลของเฮนรีและแลงเมียร์ เพื่อความสะดวก ในการเปรียบเทียบสมดุลการดูดซับด้วยพัมมิชที่มีโลหะเงินแตกต่างกัน จึงเลือกพิจารณาเปรียบเทียบค่าคงที่ของสมดุลการดูดซับ และปริมาณการดูดซับบนผิวของพัมมิชดังกล่าว

##### สมดุลการดูดซับของเฮนรี

- ผลของปริมาณซิลเวอร์ที่แลกเปลี่ยนไอออนได้ต่อค่าคงที่ของเฮนรี

สำหรับการดูดซับแก๊สไนโตรเจนบนพัมมิช พบว่าค่าคงที่ของเฮนรีของพัมมิชภายใต้สภาวะในการดูดซับที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพัมมิชที่ยังไม่ได้แลกเปลี่ยนไอออน ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 เนื่องจากผลของปริมาณโลหะเงิน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของโลหะเงินในพัมมิช เนื่องจากการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าบนพื้นผิวของตัวดูดซับกับแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้น เพราะแก๊สไนโตรเจนมีลักษณะสมบัติของการถูกเหนี่ยวนำทำให้เกิดความเป็นขั้ว คือ quadrupole moment ได้ และโลหะเงินที่เข้าไปแทนที่โพแทสเซียมในผลึกของพัมมิช มีรัศมีไอออนน้อยกว่าโพแทสเซียม คือ  $1.15 \text{ \AA}^0$  และ  $1.51 \text{ \AA}^0$  จึงทำให้มีความเข้มของสนามของแรงดึงดูดทางไฟฟ้าระหว่างโลหะเงินกับแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้น เพราะความเข้มของสนามแรงดึงดูดทางไฟฟ้าขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างประจุกับรัศมีของไอออน ดังนั้นเมื่อมีปริมาณของโลหะเงินที่แลกเปลี่ยนไอออนมากขึ้น ทำให้มีบริเวณสนามของแรงดึงดูดทางไฟฟ้าระหว่างโลหะเงินกับแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้น จึงทำให้มีปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้น ค่าคงที่การดูดซับตามแบบจำลองของเฮนรีจึงเพิ่มขึ้นด้วย และสำหรับการดูดซับแก๊สออกซิเจนจะให้ผลในลักษณะเดียวกันกับแก๊สไนโตรเจน

##### สมดุลการดูดซับของแลงเมียร์

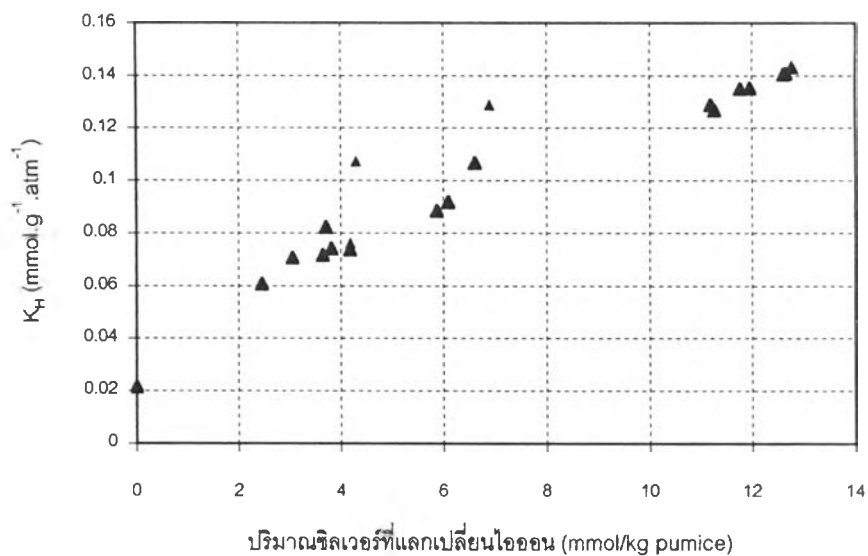
- ผลของปริมาณซิลเวอร์ที่แลกเปลี่ยนไอออนได้ต่อค่าคงที่ของแลงเมียร์

สำหรับการดูดซับแก๊สไนโตรเจนบนพัมมิชภายใต้สภาวะการดูดซับที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส พบว่าค่าคงที่ของแลงเมียร์มีค่าเพิ่มขึ้น ตามปริมาณของโลหะเงินในพัมมิช ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 เนื่องจากโลหะเงินที่เข้าไปแทนที่ของโพแทสเซียมในผลึกของพัมมิชมีรัศมีไอออนน้อยกว่าจึงทำให้มีบริเวณสนามของ

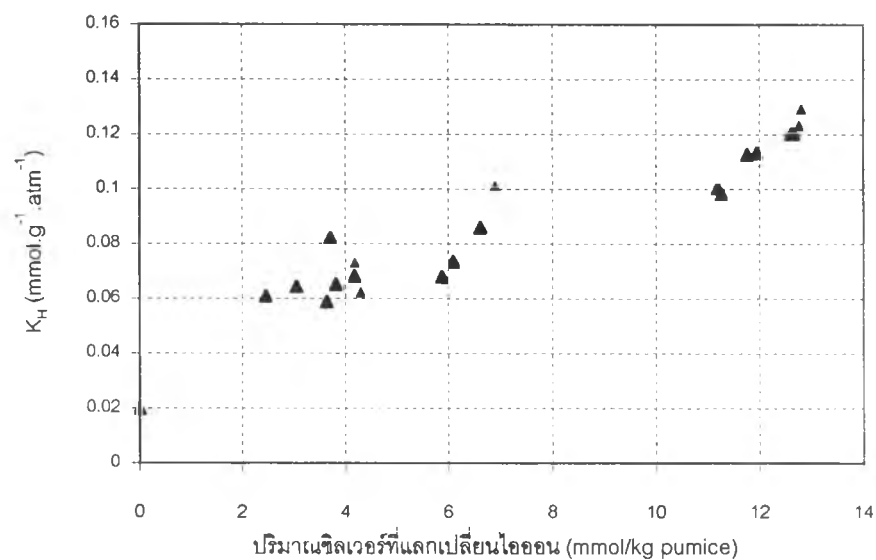
แรงดึงดูดทางไฟฟ้าของโลหะเงินกับแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้น เพราะบริเวณสนามของแรงดึงดูดทางไฟฟ้าขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างประจุกับรัศมีของไอออน และไนโตรเจนมีลักษณะสมบัติของการถูกเหนี่ยวนำทำให้เกิดความเป็นขั้ว คือ quadrupole moment ได้ ดังนั้นเมื่อมีปริมาณของโลหะเงินที่แลกเปลี่ยนไอออนมากขึ้น ทำให้มีบริเวณสนามของแรงดึงดูดทางไฟฟ้าระหว่างโลหะเงินกับแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้น จึงทำให้มีปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้น และสำหรับการดูดซับแก๊สออกซิเจนจะให้ผลในลักษณะเดียวกันกับแก๊สไนโตรเจน

- ผลของปริมาณโลหะเงินต่อปริมาณการดูดซับสูงสุดบนพื้นผิวของหินพัมมิช

สำหรับการดูดซับแก๊สไนโตรเจนบนหินพัมมิชภายใต้สภาวะในการดูดซับที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส พบว่าค่าปริมาณการดูดซับสูงสุดบนพื้นผิวของหินพัมมิช มีค่าเพิ่มขึ้นกับปริมาณของโลหะเงินที่แลกเปลี่ยนไอออนได้แต่จะลู่เข้าสู่ค่าจำกัด ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 ซึ่งอธิบายได้ว่า โลหะเงินที่เข้าไปแทนที่โพแทสเซียมในผลึกของหินพัมมิช มีรัศมีไอออนน้อยกว่าโพแทสเซียม ทำให้ความเข้มของสนามของแรงดึงดูดทางไฟฟ้าระหว่างโลหะเงินกับแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้น จึงทำให้มีปริมาณการดูดซับสูงสุดเพิ่มขึ้นในช่วงที่มีความหนาแน่นของโลหะเงินน้อย แต่เมื่อมีความหนาแน่นของโลหะเงินเพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับสูงสุดต่อมวลจะลู่เข้าสู่ค่าจำกัดค่าหนึ่ง จากสมมติฐานของแลงเมียร์ที่ว่าโมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้แล้วจะไม่มีผลกระทบต่อ การดูดซับของโมเลกุลอื่น ดังนั้นเมื่อมีความหนาแน่นของโลหะเงินเพิ่มขึ้น โมเลกุลของไนโตรเจนที่ถูกดูดซับไว้แล้วจะกีดขวางโมเลกุลของไนโตรเจนตัวอื่นที่เข้าไปจับกับโลหะเงิน จึงทำให้เกิดการดูดซับได้ยากขึ้น ปริมาณการดูดซับสูงสุดจึงลู่เข้าสู่ค่าจำกัดตามปริมาณของโลหะเงิน ซึ่งปริมาณการดูดซับสูงสุดบนพื้นผิวมีประโยชน์สำหรับหาความจุบนตัวดูดซับซึ่งข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองของเฮนรีไม่เพียงพอ และใช้เป็นปัจจัยในการเลือกตัวดูดซับ และสำหรับการดูดซับแก๊สออกซิเจนจะให้ผลในลักษณะเดียวกันกับแก๊สไนโตรเจน

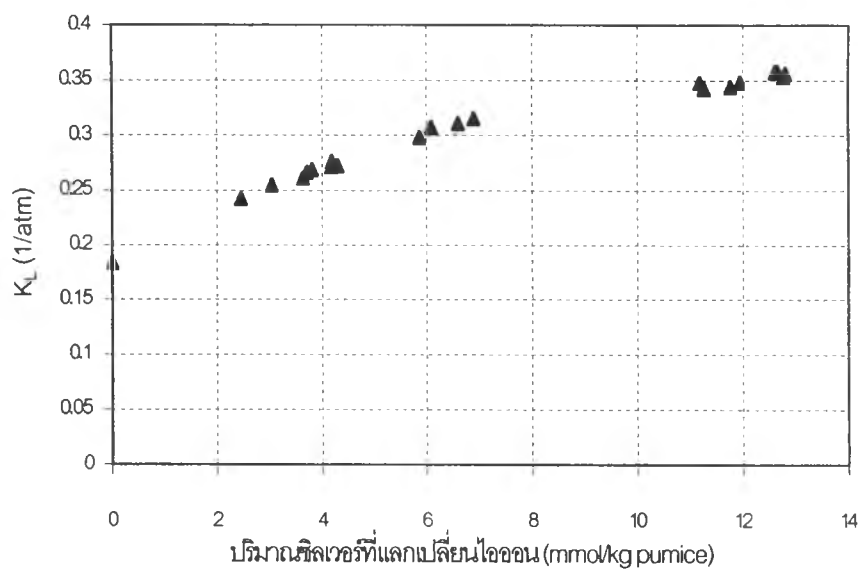


(ก)

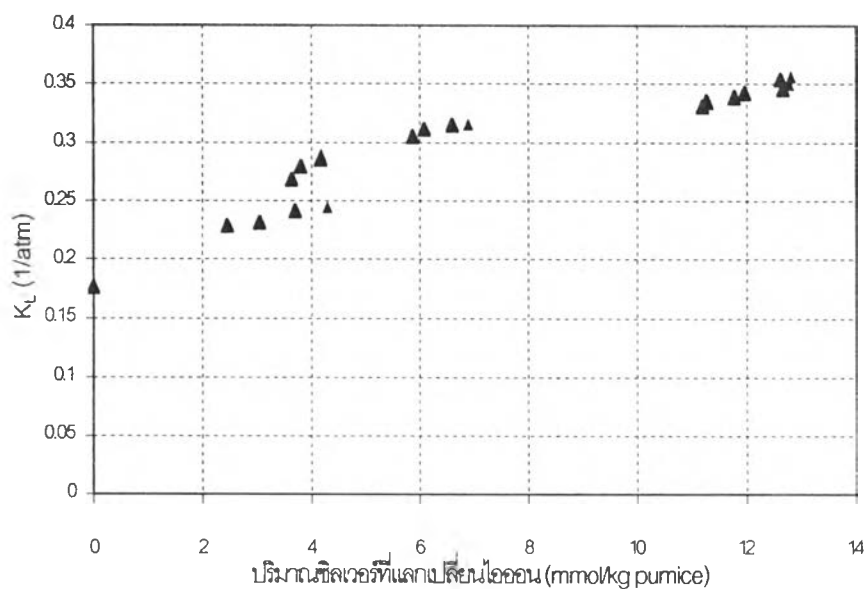


(ข)

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของซิลเวอร์ที่แลกเปลี่ยนไอออนกับค่าคงที่ของเฮนรี่ของการดูดซับ (ก) ในไตรเจน (ข) ออกซิเจน ที่อุณหภูมิห้อง ที่อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออนต่างๆ

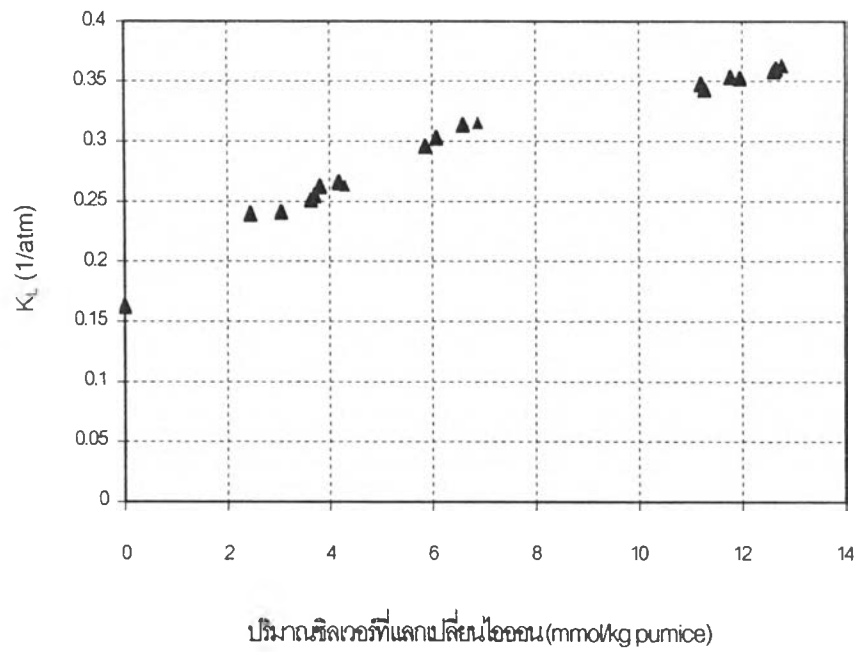


(ก)

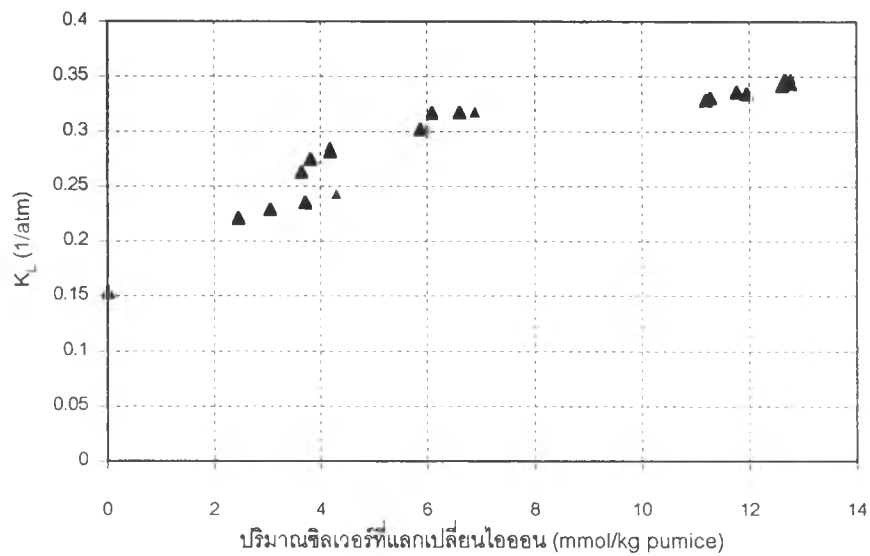


(ข)

รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของซิลเวอร์ที่แลกเปลี่ยนไอออนกับค่าคงที่แลงเมียร์ของการดูดซับ (ก) ในไตรเจน (ข) ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออนต่าง ๆ

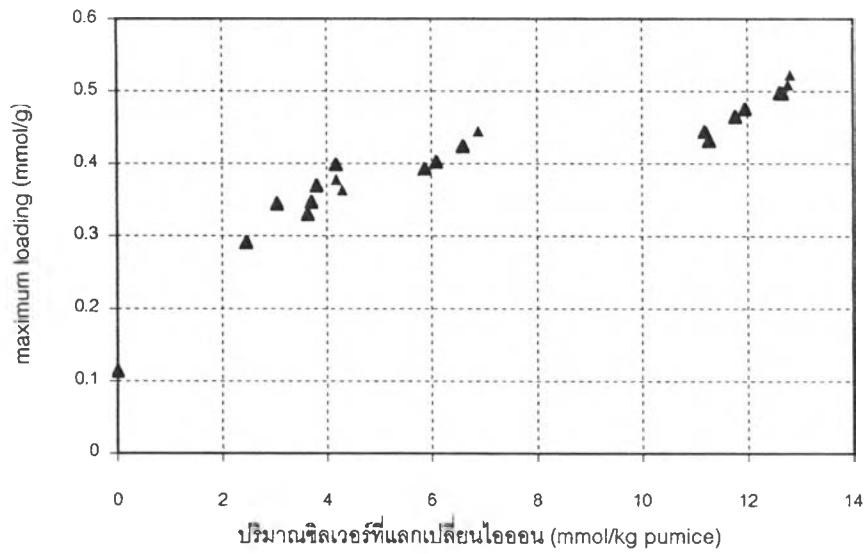


(ก)

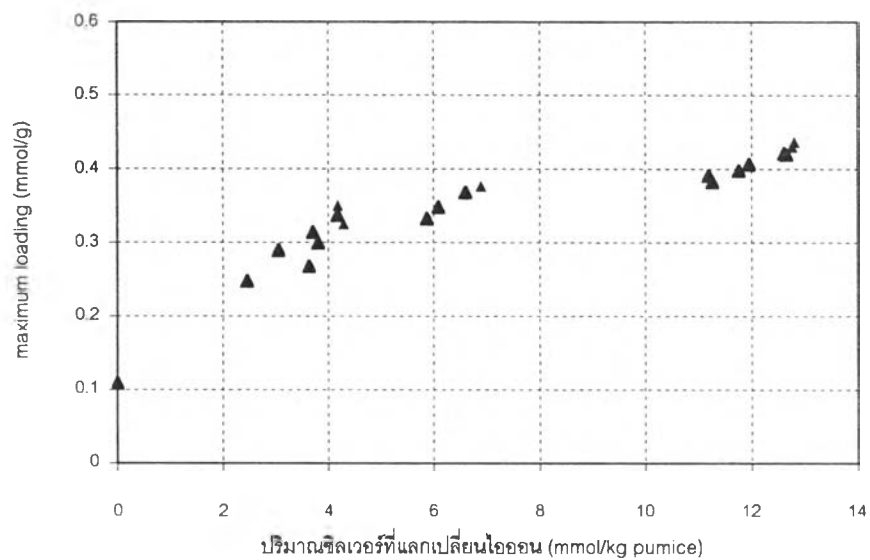


(ข)

รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของซิลเวอร์ที่แลกเปลี่ยนไอออนกับค่าคงที่แลงเมียร์ของการดูดซับ (ก) ไนโตรเจน (ข) ออกซิเจน ที่อุณหภูมิห้อง ที่อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออนต่าง ๆ

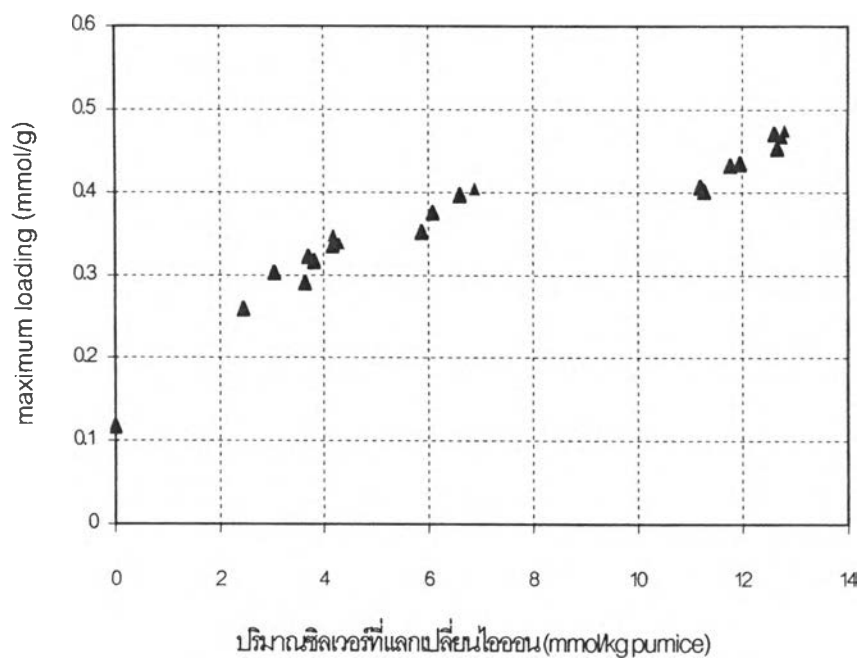


(ก)

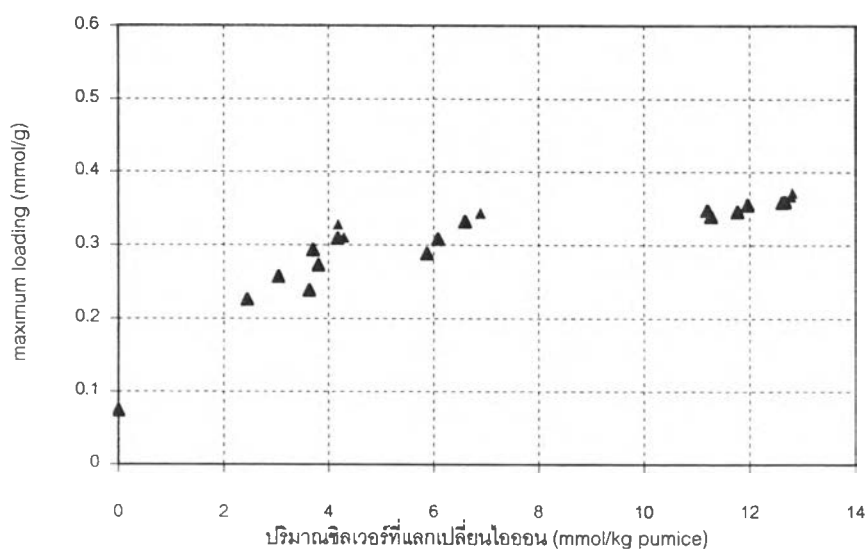


(ข)

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของซิลเวอร์ที่แลกเปลี่ยนไอออนกับค่าปริมาณการดูดซับสูงสุดบนพื้นผิวของการดูดซับ (ก) ไนโตรเจน (ข) ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออนต่าง ๆ



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของซิลเวอร์ที่แลกเปลี่ยนไอออนกับค่าปริมาณการดูดซับสูงสุดบนพื้นผิวของการดูดซับ (ก) ไนโตรเจน (ข) ออกซิเจน ที่อุณหภูมิห้อง ที่อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออนต่าง ๆ

#### 4.2.5 การเปรียบเทียบผลกับงานวิจัยอื่น

การเปรียบเทียบไอโซเทิร์มการดูดซับแก๊สไนโตรเจนและแก๊สออกซิเจนบนหินพัมมิชที่ยังไม่ได้แลกเปลี่ยนไอออนและแลกเปลี่ยนไอออนกับสารละลายเกลือไนเตรตของโลหะเงินเข้มข้น 100 กรัมต่อลิตร , อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการดูดซับที่ 0 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิห้องกับตัวดูดซับชนิดอื่น ๆ ในอุตสาหกรรม ดังแสดงในรูปที่ 4.13 – 4.17

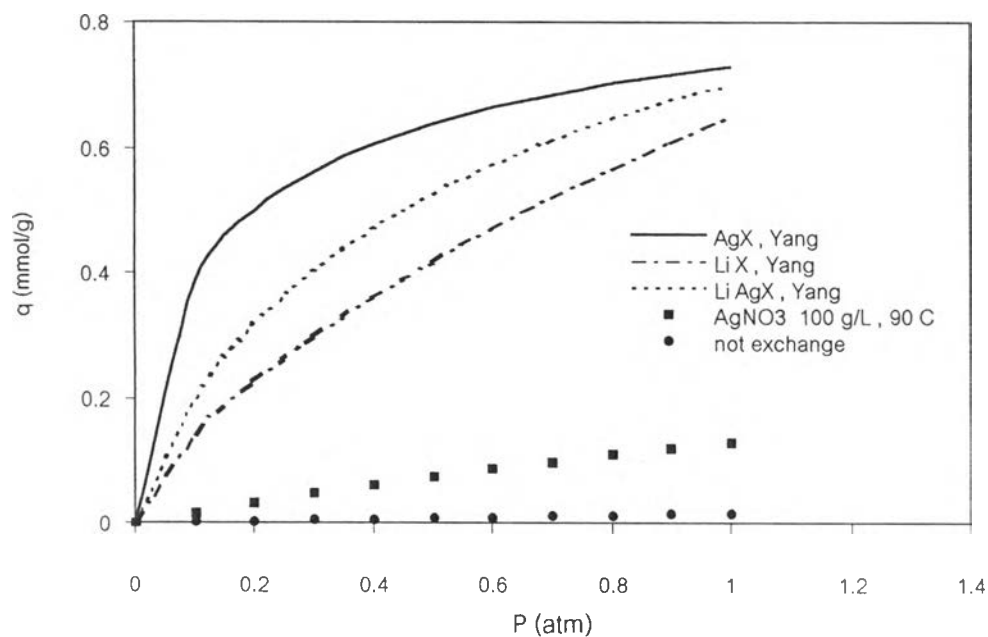
จากรูปที่ 4.13 เป็นการเปรียบเทียบแบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์ของการดูดซับแก๊สไนโตรเจนบนหินพัมมิชที่ยังไม่ได้แลกเปลี่ยนไอออนและแลกเปลี่ยนไอออนกับสารละลายเกลือไนเตรตของโลหะเงินเข้มข้น 100 g/L 90 °C กับตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์ AgX , LiX และ LiAgX ของ R.T. Yang ณ สภาวะอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส จากลักษณะของไอโซเทิร์มที่ได้จะเห็นว่าหินพัมมิชจากการทดลองสามารถดูดซับแก๊สไนโตรเจนได้ดีกว่าตัวดูดซับซีโอไลต์ชนิด AgX LiX และ LiAgX เพราะหินพัมมิชมีผลึกเพียง 5.55 เปอร์เซ็นต์แต่ถ้าคิดว่าหินพัมมิชเป็นผลึกทั้งหมดจะสามารถดูดซับแก๊สไนโตรเจนได้ดีกว่าตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์

จากรูปที่ 4.14 และรูปที่ 4.15 เป็นการเปรียบเทียบแบบจำลองการดูดซับของเฮนรีของการดูดซับแก๊สไนโตรเจนบนหินพัมมิชที่ยังไม่ได้แลกเปลี่ยนไอออนและแลกเปลี่ยนไอออนกับสารละลายเกลือไนเตรตของโลหะเงินเข้มข้น 100 g/L 90 °C กับตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์ 13X , 5A และ 4A ของ Douglas M. Rutheven ณ สภาวะอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส จากลักษณะของไอโซเทิร์มที่ได้จะเห็นว่าหินพัมมิชจากการทดลองสามารถดูดซับแก๊สไนโตรเจนได้ดีกว่าตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์ 13X , 5A และ 4A เพราะหินพัมมิชมีผลึกเพียง 5.55 เปอร์เซ็นต์แต่ถ้าคิดว่าหินพัมมิชเป็นผลึกทั้งหมดจะสามารถดูดซับแก๊สไนโตรเจนได้ดีกว่าตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์ และความสามารถในการดูดซับจะลดลง เมื่ออุณหภูมิในการดูดซับเพิ่มขึ้น

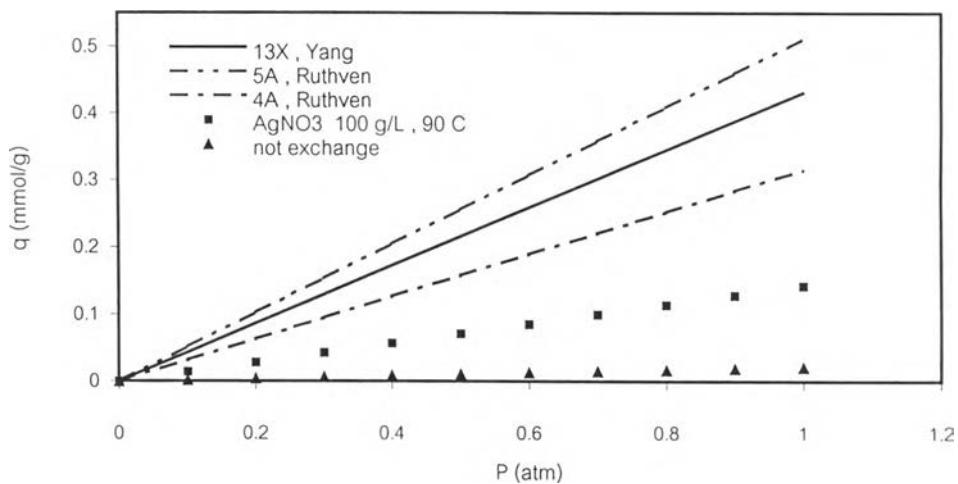
จากรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 เป็นการเปรียบเทียบแบบจำลองการดูดซับของเฮนรีของการดูดซับแก๊สออกซิเจนบนหินพัมมิชที่ยังไม่ได้แลกเปลี่ยนไอออนและแลกเปลี่ยนไอออนกับสารละลายเกลือไนเตรตของโลหะเงินเข้มข้น 100 g/L 90 °C กับตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์ AgX , LiX LiAgX , 13X ของ R.T. Yang ตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์ 5A , 4A ของ Douglas M. Rutheven ณ สภาวะอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส จากลักษณะของไอโซเทิร์มที่ได้จะเห็นว่าหินพัมมิชจากการทดลองสามารถดูดซับแก๊สออกซิเจนได้ดีกว่าตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์ AgX , LiX , LiAgX , 13X , 5A , 4A และเปรียบเทียบแบบจำลองการดูดซับของเฮนรีของการดูดซับแก๊สออกซิเจนบนหินพัมมิช 100 g/L 90 °C กับตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์ 5A , 4A ของ Douglas M. Rutheven ณ สภาวะอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส พบว่าหินพัมมิชจากการทดลองสามารถ



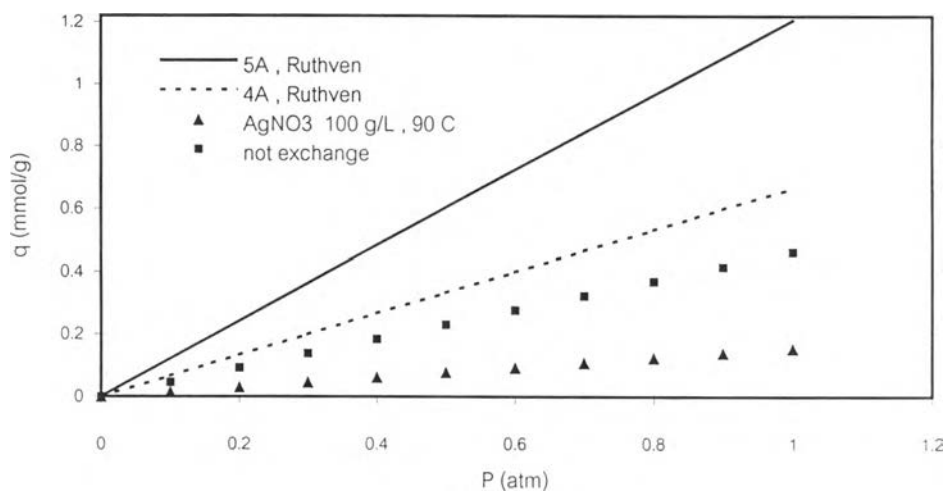
ดูดซับแก๊สออกซิเจนได้ดีกว่าตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์ 5A และ 4A เพราะหินพัมมิชมีผลึกเพียง 5.55 เปอร์เซ็นต์แต่ถ้าคิดว่าหินพัมมิชเป็นผลึกทั้งหมดจะสามารถดูดซับแก๊สไนโตรเจนได้ดีกว่าตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์



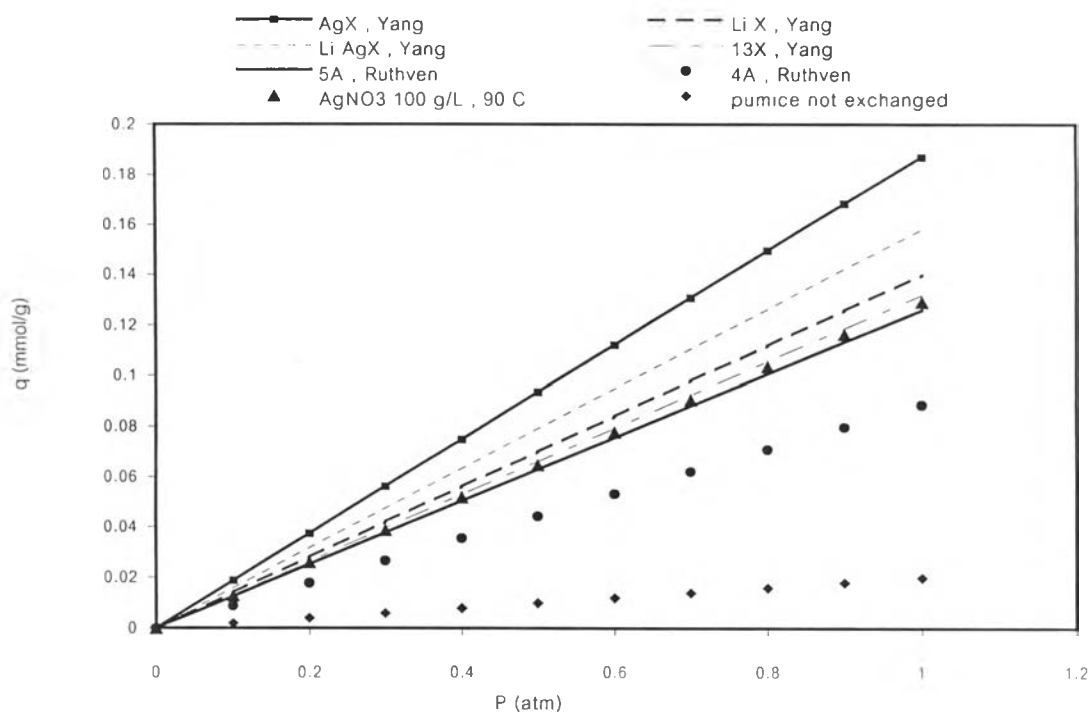
รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบแบบจำลองสมดุลการดูดซับของแลงเมียร์ของแก๊สไนโตรเจนบนหินพัมมิช 100 g/L 90 °C กับตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์ AgX , LiX , LiAgX ณ สภาวะอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส



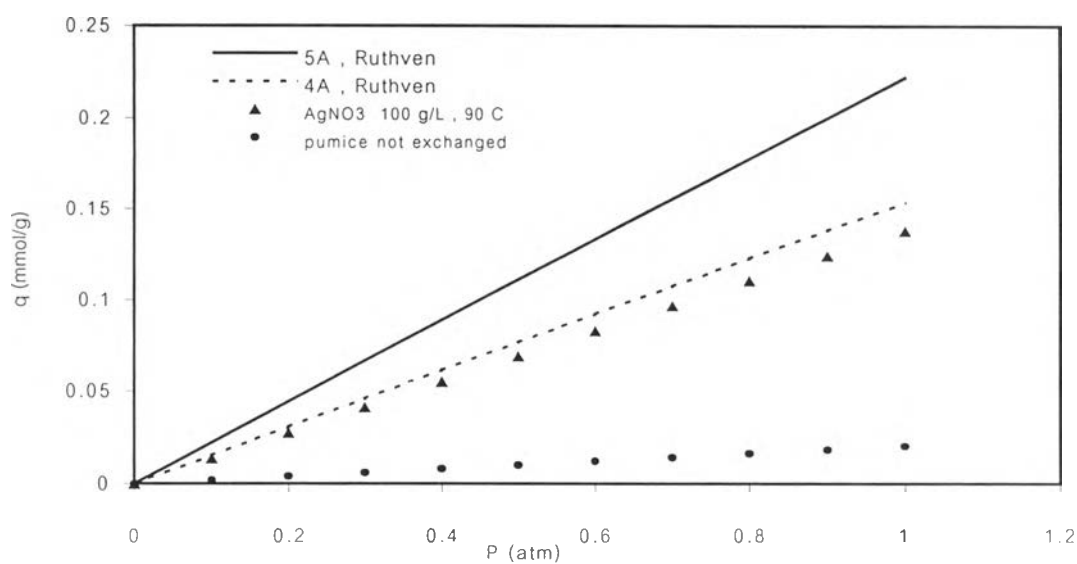
รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบแบบจำลองสมดุลการดูดซับของเฮนรีของแก๊สไนโตรเจนบนหิน พัมมิช 100 g/L 90 °C กับตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์ 13X , 5A , 4A ณ สภาวะอุณหภูมิ 28 องศา เซลเซียส



รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบแบบจำลองสมดุลการดูดซับของเฮนรีของแก๊สไนโตรเจนบนหิน พัมมิช 100 g/L 90 °C กับตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์ 5A , 4A ณ สภาวะอุณหภูมิ 0 องศา เซลเซียส



รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบแบบจำลองสมดุลการดูดซับของเฮนรีของแก๊สออกซิเจนบนหินพัมมิช 100 g/L 90 °C กับตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์ AgX , LiX , LiAgX , 13X , 5A , 4A ณ สภาวะอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบแบบจำลองสมดุลการดูดซับของเฮนรีของแก๊สออกซิเจนบนหินพัมมิช 100 g/L 90 °C กับตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์ 5A , 4A ณ สภาวะอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส