

## รายการอ้างอิง

1. Smith W. L. and Harriott Macabe. Unit Operation of Chemical Engineering. McGraw – Hill , 4 th edition , 1985.
2. King C. J., Separation Process. New York : McGraw – Hill. 2 nd edition, 1980.
3. Mentall C. L., Adsorption. New York : McGraw – Hill. 2 nd edition, 1951.
4. Yang R. T., Gas Adsorption by Adsorption Process. Boston : Butterworths , 1987.
5. สิโรตม์ ศัลยพงษ์, สารปรับปรุงดินจากหินภูเขาประเภทพัมมิช (pumice) พัมมิชไซด์ (pumicite) และพัมมิเชียสทัฟฟ์ (pumiceous tuff) จากลพบุรี. การประชุมเชิงปฏิบัติการ และสัมมนาวิชาการ. กรมทรัพยากรธรณี, 2541.
6. วรวรรณ นรสุชา, การหาการดูดซับไอของโทลูอินและอะซิโตนบนหินภูเขาไฟเพอร์ไลต์และพัมมิชโดยเทคนิคทางโครมาโทกราฟี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
7. สง่า ตั้งชวาล, แร่วิทยาสำหรับวิศวกร. ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523.
8. Ruthven D. M., Sorption of Oxygen Nitrogen Carbonmonoxide Methane and These Gases in 5A Zeolite. AIChE. Vol. 22. No. 6, 1996

9. Shivaji Sircar, Separation of Multicomponent Gas Mixtures with Ca and/or Sr exchanged Zeolite. U.S. Patent No. 31,014, 1983.
10. Chao C. C., Process for Separating Nitrogen from Mixtures Thereof with Less Polar Substance. U.S. Patent No. 4,859,217, 1989.
11. Sherman J. T., Mixed Ion-Exchanged Zeolites and Process for the Use in Gas Separation. U.S. Patent No. 5,174,979, 1992.
12. Coe C. G., Nitrogen Adsorption with a Ca and/or Sr Exchanged Zeolite. U.S. Patent No. 5,152,813, 1992.
13. Kirner J. F., Nitrogen Adsorption with highly Lithium Exchanged X-Zeolites with Low Si/Al ratio. U.S. Patent No. 5,268,023, 1993.
14. Yang R. T., Zeolites Containing Mixed Cations for Air Separation by Weak Chemisorption-Assisted Adsorption. Ind. Eng. Chem. Res. 35, 3093-3099, 1996.
15. Huston N. D., Mixed Cation Zeolites: LiAg-X as a Superior Adsorbent for Air Separation. AIChE. Vol. 45, No. 4, 1999.
16. เกียรติศักดิ์ กิตติพิมาน, การดูดซับออกซิเจนและไนโตรเจนด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลามะพร้าวโดยการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
17. Ruthven D.M., Principle of Adsorption and Adsorption Process. John Wiley&Sons, 1984.
18. Anthony C. T., Nature of earth materials. Prentice – Hall. 2 nd edition, 1982.

19. Johnston S. J., Minerals for the chemical and allied industries. John Wiley & Son, 1954.
20. Chris Pellant and Helen Pellant, Rock & Minerals. New York, 1996.
21. Bruce Velde, Origin and mineralogy of clays. Clay and the Environment. Berlin Heidelberg, 1995.
22. Françoise Rouquerol, Adsorption by powders and porous Solids principles .Methodology and applications. New York.
23. บวรพงษ์ พรขุติ , ชัยยุทธ ยงรัตนา และปิยะศักดิ์ บุญนคร, การศึกษามอดูลการดูดซับภายใต้สภาวะความดันต่ำกว่าบรรยากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
24. ทบวงมหาวิทยาลัยตามโครงการปรับปรุงหลักสูตรวิทยาศาสตร์ระดับมหาวิทยาลัย, เคมี 1. บริษัทอักษรเจริญทัศน์. พิมพ์ครั้งที่ 8, 2538.
25. ASTM, Standard test method for chemical analysis of cadmium E 396 - 72a. 1993.
26. Cengel Y. A., An Engineering Approach Thermodynamics. McGraw-Hill. 2 nd edition, 1994.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

# ตัวอย่างการคำนวณ

### ก.1 การย่อยหินพัมมิช [25]

การหาปริมาณของโลหะเงินที่แลกเปลี่ยนไอออนได้ ทำได้โดยการนำเอาหินพัมมิชมาทำให้อยู่ในรูปสารละลายก่อน โดยการใช้วิธีย่อย จากนั้นจึงนำมาหาปริมาณของโลหะเงินโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ คือ อะตอมมิกแอบซอร์ปชัน (Atomic Absorbion) ตามขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งตัวดูดซับให้มีน้ำหนัก 500 มิลลิกรัม นำมาใส่ในถ้วยกระเบื้อง (crucible)
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร สารละลายกรดซัลฟูริก 10 มิลลิลิตร สารละลายกรดไนตริก ปริมาตร 10 มิลลิลิตร สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในถ้วยกระเบื้องที่มีตัวดูดซับบรรจุอยู่
3. นำถ้วยกระเบื้องไปตั้งบนอุปกรณ์ให้ความร้อนพร้อมทั้งกวนสารละลายอย่างสม่ำเสมอ (ตัวดูดซับจะละลายในกรดก่อน จากนั้นจึงตกตะกอนหลังจากกรดระเหยไปจนหมด)
4. ยกถ้วยกระเบื้องลงจากอุปกรณ์ให้ความร้อน จากนั้นจึงทำให้เย็นจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง
5. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 19 % ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3 % ปริมาตร 30 มิลลิลิตร
7. ปิดถ้วยกระเบื้องด้วยกระจกนาฬิกา จากนั้นจึงนำถ้วยกระเบื้องไปตั้งบนอุปกรณ์ให้ความร้อนและให้ความร้อนกับสารละลายไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งตะกอนละลายหมด
8. หลังจากตะกอนละลายหมดแล้ว ยกถ้วยกระเบื้องลงจากอุปกรณ์ให้ความร้อน และทำให้เย็นจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง
9. นำสารละลายที่ได้มาเจือจางกับน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร และเก็บไว้ให้ขาดพอลิเอทธิลีนก่อนนำไปตรวจสอบด้วยเครื่องมือวิเคราะห์

## ก.2 วิธีการคำนวณหาปริมาณการดูดซับ

ภายใต้สภาวะของการศึกษาวิจัยที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น ทั้งแก๊สไนโตรเจนและแก๊สออกซิเจนมีพฤติกรรมเป็นแก๊สอุดมคติ ดังที่แสดงผลในตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ค่า compressibility factor (Z) ที่สภาวะต่างๆ ในการทดลอง [26]

Pressure (kPa)	Temperature (K)	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
0	273	$Z \cong 1$	$Z \cong 1$
	301	$Z \cong 1$	$Z \cong 1$
101.325	273	$Z \cong 1$	$Z \cong 1$
	301	$Z \cong 1$	$Z \cong 1$

### การคำนวณโดยใช้ค่าความดันและอุณหภูมิที่วัดได้

จากการทดลอง เราย่นำค่าความดันและอุณหภูมิแต่ละครั้งที่เข้าสมดุล มาคำนวณหาปริมาณโมลของแก๊สที่สมดุลอยู่ภายในอุปกรณ์วัดสมดุลการดูดซับ ก็คือปริมาณโมลของแก๊สที่ไม่ถูกดูดซับนั่นเอง โดยใช้สมมติฐานว่าเป็นแก๊สอุดมคติ (Ideal gas) เนื่องจากในการทดลองใช้สภาวะความดันและอุณหภูมิต่ำ และคำนวณค่า compressibility factor ดังแสดงในตารางที่ ก.1 หลังจากนั้นนำปริมาณโมลของแก๊สที่ไม่ถูกดูดซับที่คำนวณได้ที่ความดันสมดุลแต่ละครั้ง มาหาปริมาณโมลของแก๊สที่ไม่ถูกดูดซับที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการฉีดแก๊สเพิ่มในแต่ละครั้ง (จากค่าความดันระบบค่าหนึ่งไปยังค่าความดันระบบค่าถัดไป) แล้วนำปริมาณโมลของแก๊สที่เพิ่มขึ้นนี้มาลบจากปริมาณโมลของแก๊สที่ฉีดเข้าไปในเครื่องดูดซับแต่ละครั้ง โดยถือว่าอุณหภูมิที่ฉีดแต่ละครั้งคงที่ที่อุณหภูมิห้อง (28 °C) ค่าที่ได้ก็คือ ปริมาณโมลของแก๊สที่ถูกดูดซับในการฉีดแก๊สเพิ่มในแต่ละครั้ง นำค่าที่คำนวณได้ในการฉีดแต่ละครั้งมารวมกัน จะได้ปริมาณโมลที่ถูกดูดซับทั้งหมดในการทดลองแต่ละครั้ง

ดังนั้น ความดันของระบบจึงสัมพันธ์กับปริมาณแก๊สที่เหลือในระบบ ดังนี้  
แก๊สอุดมคติ

$$PV = nRT$$

ตัวอย่าง	ความดัน	อุณหภูมิ	ปริมาณโมลของแก๊สที่ไม่ถูกดูดซับ ณ. จุดที่ความดันเข้าสู่สมดุล
	$P_1$	$T_1$	$n_1 = P_1V / RT_1$
	$P_2$	$T_2$	$n_2 = P_2V / RT_2$

โดย  $V =$  ปริมาตรของอุปกรณ์วัดสมดุลการดูดซับที่หักปริมาตรของตัวดูดซับที่อยู่ภายใน  
อุปกรณ์วัดสมดุลการดูดซับออก

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณโมลของแก๊สที่ไม่ถูกดูดซับที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการฉีดแก๊สเพิ่มในแต่ละครั้ง} \\ = n_2 - n_1 \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาณของแก๊สที่ฉีดเข้าสู่ระบบในแต่ละครั้ง} = P_s V_s / RT = n_s$$

โดย  $P_s =$  ความดันภายในเข็มฉีด  $= 1 \text{ atm}$

$V_s =$  ปริมาตรในการฉีดแต่ละครั้ง

$T =$  อุณหภูมิของแก๊สที่ฉีด

$$\text{ปริมาณโมลของแก๊สที่ถูกดูดซับที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการฉีดแก๊สเพิ่มในแต่ละครั้ง} = n_s - (n_2 - n_1)$$

### ก.3 การตรวจสอบอุปกรณ์วัดสมดุลการดูดซับ

1. ภายใต้สภาวะความดันต่ำกว่าบรรยากาศ
  - 1.1 ประกอบเครื่องมือโดยไม่ต้องใส่ตัวดูดซับในเครื่องมือ
  - 1.2 เปิดเครื่องปั๊มอากาศ ดูดอากาศในเครื่องมือเพื่อให้อยู่ในสภาวะความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ (2 มิลลิเมตรปรอท)
  - 1.3 จากนั้นปิดวาล์วหยุดการดูดอากาศแล้วปิดปั๊ม
  - 1.4 จดค่าความดันจากเครื่องตรวจวัดความดัน
  - 1.5 จากนั้นทิ้งไว้ดูความเปลี่ยนแปลง โดยให้ระยะเวลา 2 วัน
  - 1.6 ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงก็ถือว่าไม่มีการรั่วซึม
2. ภายใต้สภาวะความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ
  - 2.1 เตรียมน้ำสบู่
  - 2.2 เตรียมปั๊มที่สามารถเพิ่มความดันได้

- 2.3 ประกอบปั๊มต่อกับอุปกรณ์วัดสมดุลการดูดซับ
- 2.4 เดินเครื่องปั๊มเพื่อเพิ่มความดัน
- 2.5 นำน้ำสบู่อะโรมาบริเวณข้อต่อ และจุดเชื่อมต่อของเครื่องมือ
- 2.6 สังเกตฟองสบู่ที่บริเวณข้อต่อ ถ้ามีฟองเกิดขึ้น แสดงว่าบริเวณนั้นเกิดรูรั่วหรือจุดรั่วขึ้น



## ภาคผนวก ข

### ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ปริมาณโลหะเงินที่อยู่ในหินพัมมิช (มิลลิโมลต่อกิโลกรัมของหินพัมมิช)

อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน	30 °C	50 °C	70 °C	90 °C
ความเข้มข้นของ AgNO <sub>3</sub>				
20 g/L	2.45	3.05	3.70	4.30
40 g/L	3.64	3.81	4.17	4.18
60 g/L	5.87	6.09	6.60	6.90
80 g/L	11.27	11.77	12.66	12.77
100 g/L	11.19	11.95	12.61	12.81

ตารางที่ ข.2 พื้นที่ผิวของหินพัมมิช (ตารางเซนติเมตรต่อกรัมหินพัมมิช)

อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน	30 °C	50 °C	70 °C	90 °C
ความเข้มข้นของ AgNO <sub>3</sub>				
20 g/L	7.14	7.99	8.42	8.47
40 g/L	7.31	9.06	8.65	9.95
60 g/L	9.50	9.32	9.18	10.59
80 g/L	10.12	9.58	9.65	10.65
100 g/L	10.93	9.90	9.85	11.10
หินพัมมิชที่ยังไม่ได้แลกเปลี่ยนไอออน	8.44			

ตารางที่ ข.3 มวลของตัวดูดซับ (กรัม)

อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน	30 °C	50 °C	70 °C	90 °C
ความเข้มข้นของ AgNO <sub>3</sub>				
20 g/L	20.0035	20.0023	20.0081	20.0059
40 g/L	19.9947	20.0074	19.9929	19.9987
60 g/L	19.9995	20.0063	19.9937	20.0137
80 g/L	19.9993	20.0163	20.0063	20.0136
100 g/L	20.0023	20.0236	20.0031	20.0013
หินพัมมิชที่ยังไม่ได้แลกเปลี่ยนไอออน	20.0084			

ตารางที่ ข.4 ปริมาตรของชุดอุปกรณ์การทดลองหลังจากบรรจุตัวดูดซับ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน	30 °C	50 °C	70 °C	90 °C
ความเข้มข้นของ AgNO <sub>3</sub>				
20 g/L	190.29	191.37	190.17	190.27
40 g/L	191.80	190.06	191.34	191.69
60 g/L	190.85	190.08	190.61	189.88
80 g/L	191.10	190.10	191.80	189.85
100 g/L	190.09	190.18	191.91	191.08
หินพัมมิชที่ยังไม่ได้แลกเปลี่ยนไอออน	189.35			

ตารางที่ ข.5 ค่าคงที่ของเฮนรีของการดูดซับแก๊สไนโตรเจน โดยการดูดซับด้วยวิธีวัดปริมาณแก๊สที่เหลือในระบบ ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (มิลลิโมลต่อกรัมต่อบรรยากาศ)

อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน	30 °C	50 °C	70 °C	90 °C
ความเข้มข้นของ AgNO <sub>3</sub>				
20 g/L	0.0663	0.0841	0.0900	0.1012
40 g/L	0.0851	0.0886	0.0953	0.0963
60 g/L	0.0802	0.1072	0.1301	0.1311
80 g/L	0.1270	0.1464	0.1514	0.1481
100 g/L	0.1286	0.1471	0.1515	0.1546
หีนพัมมิชที่ยังไม่ได้แลกเปลี่ยนไอออน	0.0256			

ตารางที่ ข.6 ค่าคงที่ของเฮนรีของการดูดซับแก๊สไนโตรเจน โดยการดูดซับด้วยวิธีวัดปริมาณแก๊สที่เหลือในระบบ ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส (มิลลิโมลต่อกรัมต่อบรรยากาศ)

อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน	30 °C	50 °C	70 °C	90 °C
ความเข้มข้นของ AgNO <sub>3</sub>				
20 g/L	0.0607	0.0708	0.0822	0.1073
40 g/L	0.0717	0.0743	0.0738	0.0762
60 g/L	0.0885	0.0918	0.1067	0.1288
80 g/L	0.1267	0.1349	0.1408	0.1439
100 g/L	0.1288	0.1206	0.1406	0.1427
หีนพัมมิชที่ยังไม่ได้แลกเปลี่ยนไอออน	0.0216			

ตารางที่ ข.7 ค่าคงที่ของเฮนรีของการดูดซับแก๊สออกซิเจน โดยการดูดซับด้วยวิธีวัดปริมาณแก๊สที่เหลือในระบบ ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (มิลลิโมลต่อกรัมต่อบรรยากาศ)

อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน	30 °C	50 °C	70 °C	90 °C
ความเข้มข้นของ AgNO <sub>3</sub>				
20 g/L	0.0659	0.0656	0.0808	0.0847
40 g/L	0.0738	0.0708	0.0748	0.0873
60 g/L	0.0953	0.0906	0.0976	0.1035
80 g/L	0.1102	0.1206	0.1269	0.1294
100 g/L	0.1113	0.1213	0.1217	0.1378
หีนพัมมิชที่ยังไม่ได้แลกเปลี่ยนไอออน	0.0205			

ตารางที่ ข.8 ค่าคงที่ของเฮนรีของการดูดซับแก๊สออกซิเจน โดยการดูดซับด้วยวิธีวัดปริมาณแก๊สที่เหลือในระบบ ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส (มิลลิโมลต่อกรัมต่อบรรยากาศ)

อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน	30 °C	50 °C	70 °C	90 °C
ความเข้มข้นของ AgNO <sub>3</sub>				
20 g/L	0.0607	0.0644	0.0822	0.0823
40 g/L	0.0588	0.0651	0.0681	0.0731
60 g/L	0.0679	0.0734	0.0860	0.1011
80 g/L	0.0983	0.1127	0.1201	0.1234
100 g/L	0.1004	0.1133	0.1201	0.1294
หีนพัมมิชที่ยังไม่ได้แลกเปลี่ยนไอออน	0.0199			

ตารางที่ ข.9 ค่าคงที่ของแลงเมียร์ของการดูดซับแก๊สไนโตรเจน โดยการดูดซับด้วยวิธีวัด ปริมาณแก๊สที่เหลือในระบบ ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (ต่อบรรยากาศ)

อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน	30 °C	50 °C	70 °C	90 °C
ความเข้มข้นของ AgNO <sub>3</sub>				
20 g/L	0.2407	0.2514	0.2563	0.2638
40 g/L	0.2416	0.2586	0.2608	0.2662
60 g/L	0.2917	0.2974	0.3009	0.3050
80 g/L	0.3174	0.3380	0.3480	0.3482
100 g/L	0.3220	0.3443	0.3473	0.3506
หีนพัมมิชที่ยังไม่ได้แลกเปลี่ยน ไอออน	0.1838			

ตารางที่ ข.10 ค่าคงที่ของแลงเมียร์ของการดูดซับแก๊สไนโตรเจน โดยการดูดซับด้วยวิธีวัด ปริมาณแก๊สที่เหลือในระบบ ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส (ต่อบรรยากาศ)

อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน	30 °C	50 °C	70 °C	90 °C
ความเข้มข้นของ AgNO <sub>3</sub>				
20 g/L	0.2390	0.2409	0.2455	0.2527
40 g/L	0.2407	0.2550	0.2556	0.2614
60 g/L	0.2755	0.2709	0.2860	0.2951
80 g/L	0.3527	0.3532	0.3599	0.3642
100 g/L	0.3730	0.3732	0.3778	0.3823
หีนพัมมิชที่ยังไม่ได้แลกเปลี่ยน ไอออน	0.1627			

ตารางที่ ข.11 ค่าคงที่ของแลงเมียร์ของการดูดซับแก๊สออกซิเจน โดยการดูดซับด้วยวิธีวัด ปริมาณแก๊สที่เหลือในระบบ ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (ต่อบรรยากาศ)

อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน	30 °C	50 °C	70 °C	90 °C
ความเข้มข้นของ AgNO <sub>3</sub>				
20 g/L	0.2287	0.2314	0.2411	0.2468
40 g/L	0.2651	0.2688	0.2754	0.2829
60 g/L	0.2680	0.2713	0.2848	0.2915
80 g/L	0.3107	0.3187	0.3251	0.3297
100 g/L	0.3152	0.3225	0.3239	0.3266
หินพัมมิชที่ยังไม่ได้แลกเปลี่ยน ไอออน	0.1768			

ตารางที่ ข.12 ค่าคงที่ของแลงเมียร์ของการดูดซับแก๊สออกซิเจน โดยการดูดซับด้วยวิธีวัด ปริมาณแก๊สที่เหลือในระบบ ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส (ต่อบรรยากาศ)

อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน	30 °C	50 °C	70 °C	90 °C
ความเข้มข้นของ AgNO <sub>3</sub>				
20 g/L	0.2005	0.2085	0.2149	0.2230
40 g/L	0.2328	0.2344	0.2451	0.2465
60 g/L	0.2517	0.2565	0.2596	0.2676
80 g/L	0.2948	0.3085	0.3174	0.3189
100 g/L	0.3004	0.3145	0.3218	0.3224
หินพัมมิชที่ยังไม่ได้แลกเปลี่ยน ไอออน	0.1530			

ตารางที่ ข.13 ปริมาณที่ถูกดูดซับสูงสุดของการดูดซับแก๊สไนโตรเจน โดยการดูดซับด้วยวิธีวัด ปริมาณแก๊สที่เหลือในระบบ ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (มิลลิโมลต่อกรัม)

อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน	30 °C	50 °C	70 °C	90 °C
ความเข้มข้นของ AgNO <sub>3</sub>				
20 g/L	0.2911	0.3440	0.3464	0.3533
40 g/L	0.3301	0.3690	0.3982	0.3773
60 g/L	0.3924	0.4023	0.4239	0.4444
80 g/L	0.4311	0.4651	0.4970	0.5095
100 g/L	0.4440	0.4753	0.4982	0.5228
หินพัมมิชที่ยังไม่ได้แลกเปลี่ยน ไอออน	0.2233			

ตารางที่ ข.14 ปริมาณที่ถูกดูดซับสูงสุดของการดูดซับแก๊สไนโตรเจน โดยการดูดซับด้วยวิธีวัด ปริมาณแก๊สที่เหลือในระบบ ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส (มิลลิโมลต่อกรัม)

อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน	30 °C	50 °C	70 °C	90 °C
ความเข้มข้นของ AgNO <sub>3</sub>				
20 g/L	0.2592	0.3030	0.3223	0.3272
40 g/L	0.2900	0.3168	0.3359	0.3482
60 g/L	0.3521	0.3755	0.3966	0.4044
80 g/L	0.4014	0.4328	0.5527	0.4668
100 g/L	0.4067	0.4346	0.4711	0.4751
หินพัมมิชที่ยังไม่ได้แลกเปลี่ยน ไอออน	0.1172			

ตารางที่ ข.15 ปริมาณที่ถูกดูดซับสูงสุดของการดูดซับแก๊สออกซิเจน โดยการดูดซับด้วยวิธีวัด ปริมาณแก๊สที่เหลือในระบบ ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (มิลลิโมลต่อกรัม)

อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน	30 °C	50 °C	70 °C	90 °C
ความเข้มข้นของ AgNO <sub>3</sub>				
20 g/L	0.2481	0.2895	0.3139	0.3186
40 g/L	0.2682	0.2989	0.3369	0.3503
60 g/L	0.3324	0.3481	0.3680	0.3762
80 g/L	0.3823	0.3977	0.4195	0.4304
100 g/L	0.3910	0.4064	0.4211	0.4369
หีนพัมมิชที่ยังไม่ได้แลกเปลี่ยนไอออน	0.0786			

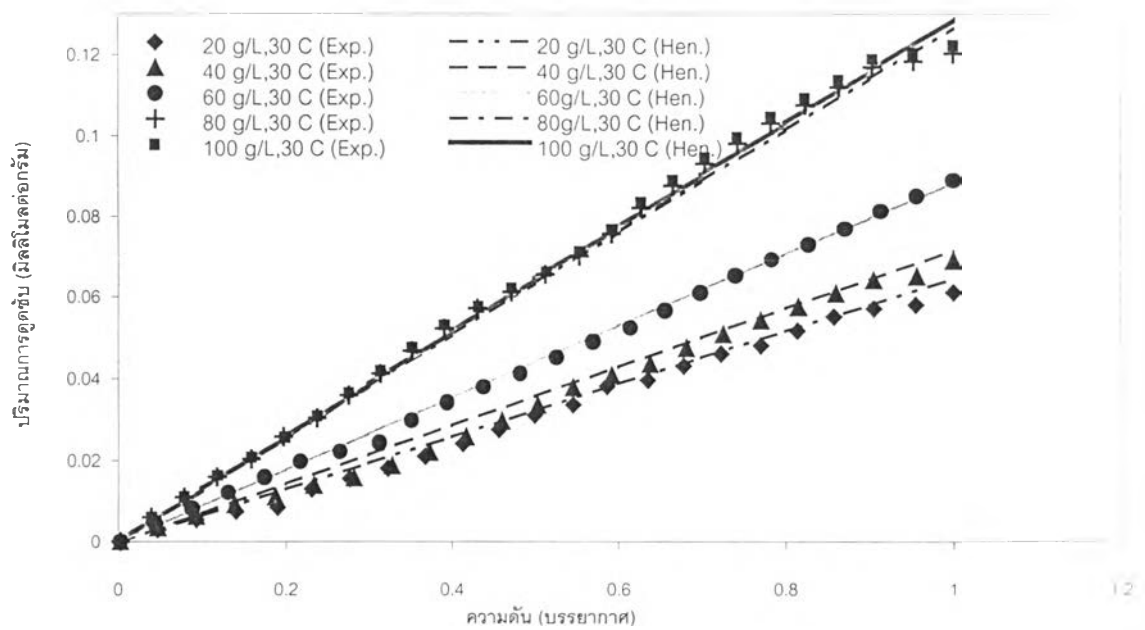
ตารางที่ ข.16 ปริมาณที่ถูกดูดซับสูงสุดของการดูดซับแก๊สออกซิเจน โดยการดูดซับด้วยวิธีวัด ปริมาณแก๊สที่เหลือในระบบ ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส (มิลลิโมลต่อกรัม)

อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน	30 °C	50 °C	70 °C	90 °C
ความเข้มข้นของ AgNO <sub>3</sub>				
20 g/L	0.2257	0.2567	0.2932	0.3044
40 g/L	0.2385	0.2724	0.3088	0.3281
60 g/L	0.2883	0.3084	0.3322	0.3440
80 g/L	0.3392	0.3457	0.3591	0.3665
100 g/L	0.3476	0.3551	0.3585	0.3718
หีนพัมมิชที่ยังไม่ได้แลกเปลี่ยนไอออน	0.0744			

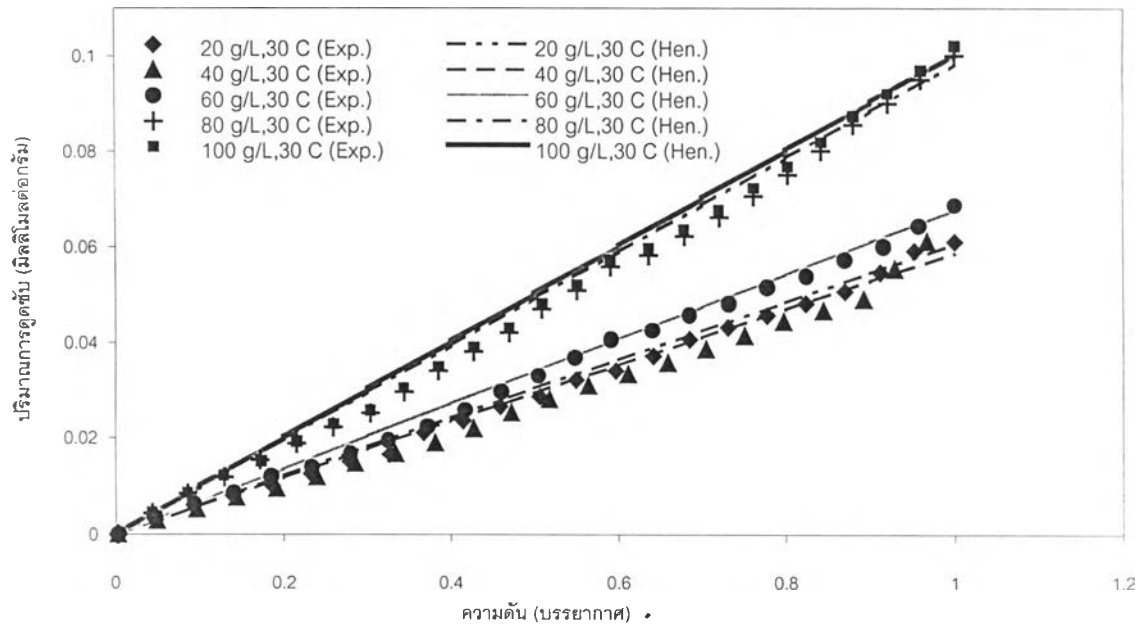


## ภาคผนวก ค

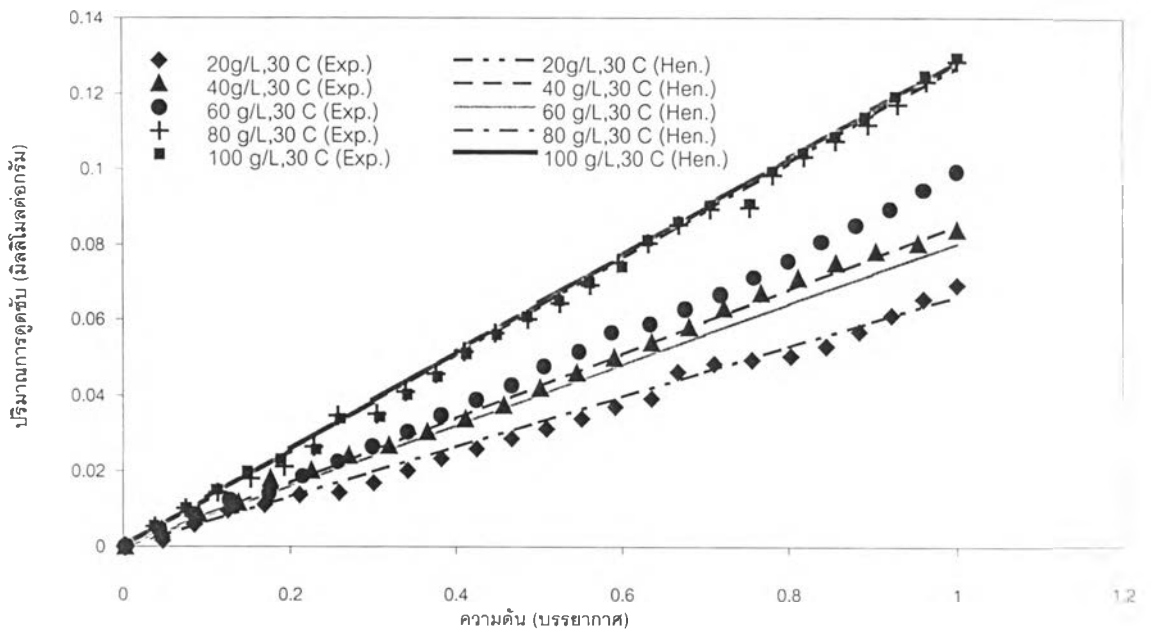
### ไอโซเทอมการดูดซับ



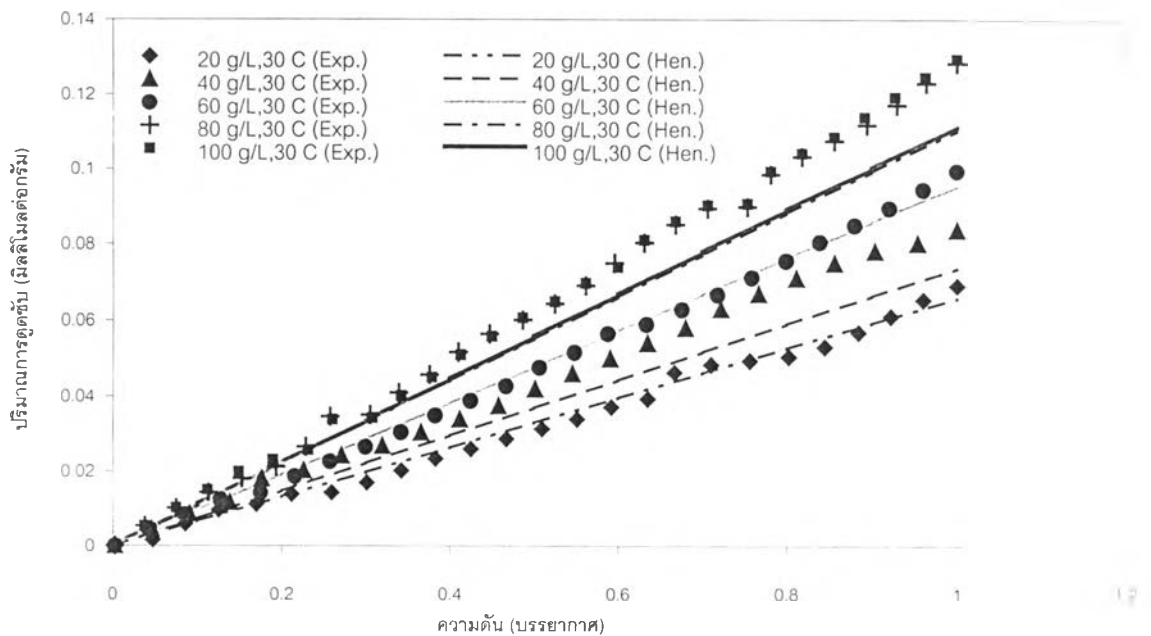
รูปที่ ค.1 สมดุลการดูดซับด้วยหินพัมมิชซึ่งแลกเปลี่ยนไอออนกับเงินในอัตราส่วนต่าง ๆ อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน 30 °C โดยวิธีวัดปริมาณแก๊สที่เหลือในระบบ ณ อุณหภูมิ 28 °C แก๊สไนโตรเจน



รูปที่ ค.2 สมดุลการดูดซับด้วยหินพัมมิชซึ่งแลกเปลี่ยนไอออนกับเงินในอัตราส่วนต่าง ๆ อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน 30 °C โดยวิธีวัดปริมาณแก๊สที่เหลือในระบบ ณ อุณหภูมิ 28 °C แก๊สออกซิเจน



(ก)

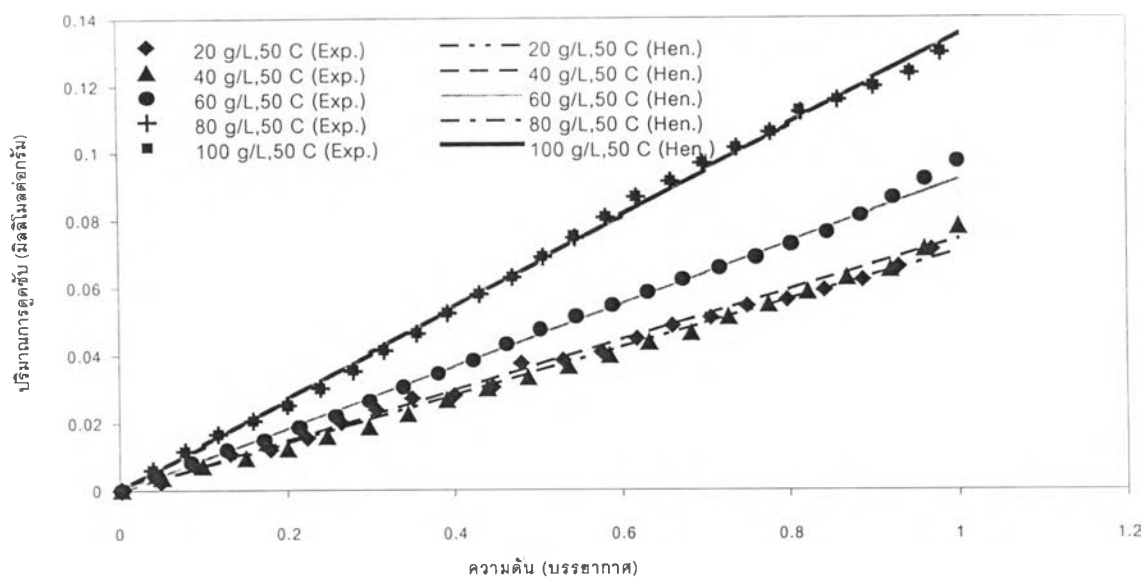


(ข)

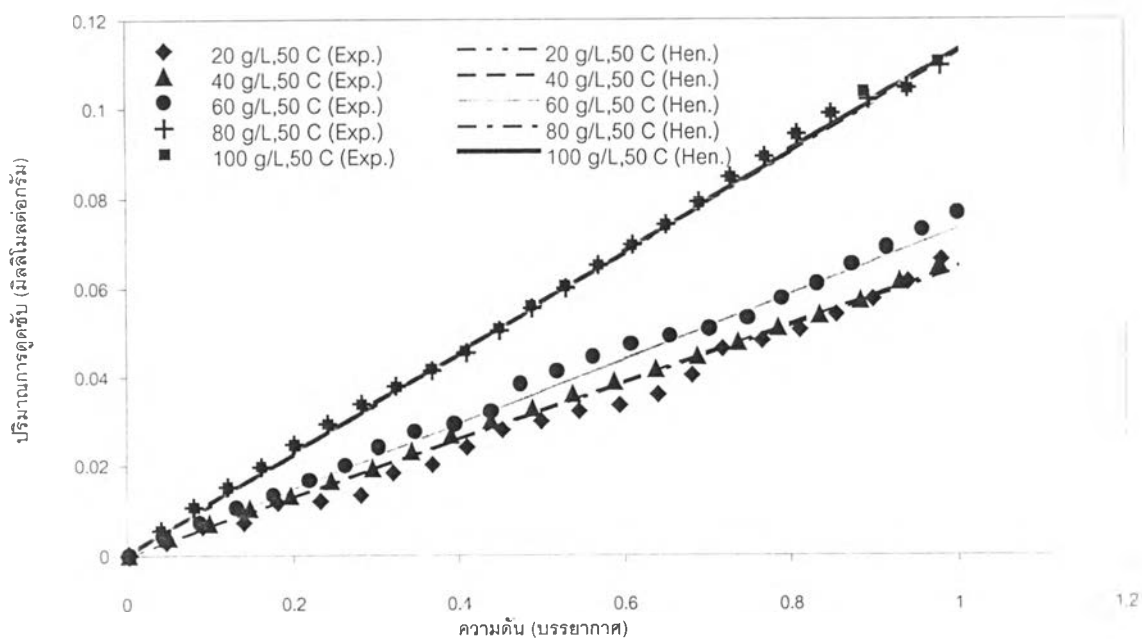
รูปที่ ค.3 สมดุลการดูดซับด้วยหินพัมมิชซึ่งแลกเปลี่ยนไอออนกับเงินในอัตราส่วนต่าง ๆ

อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน 30 °C โดยวิธีเชิงปริมาตร ณ อุณหภูมิ 0 °C

(ก) แก๊สไนโตรเจน (ข) แก๊สออกซิเจน

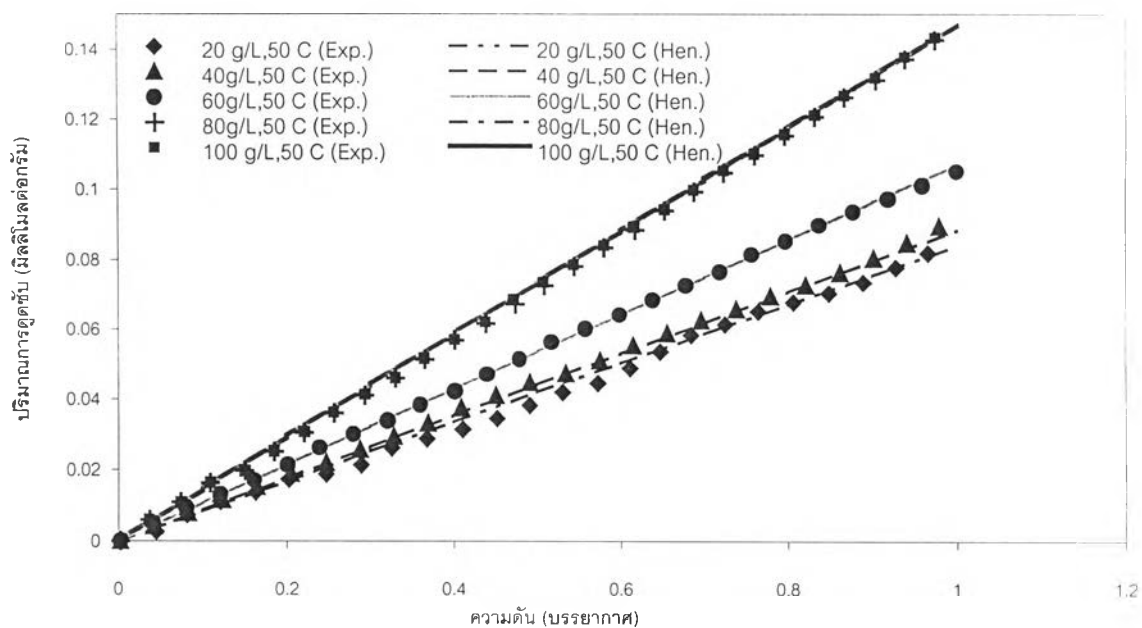


(ก)

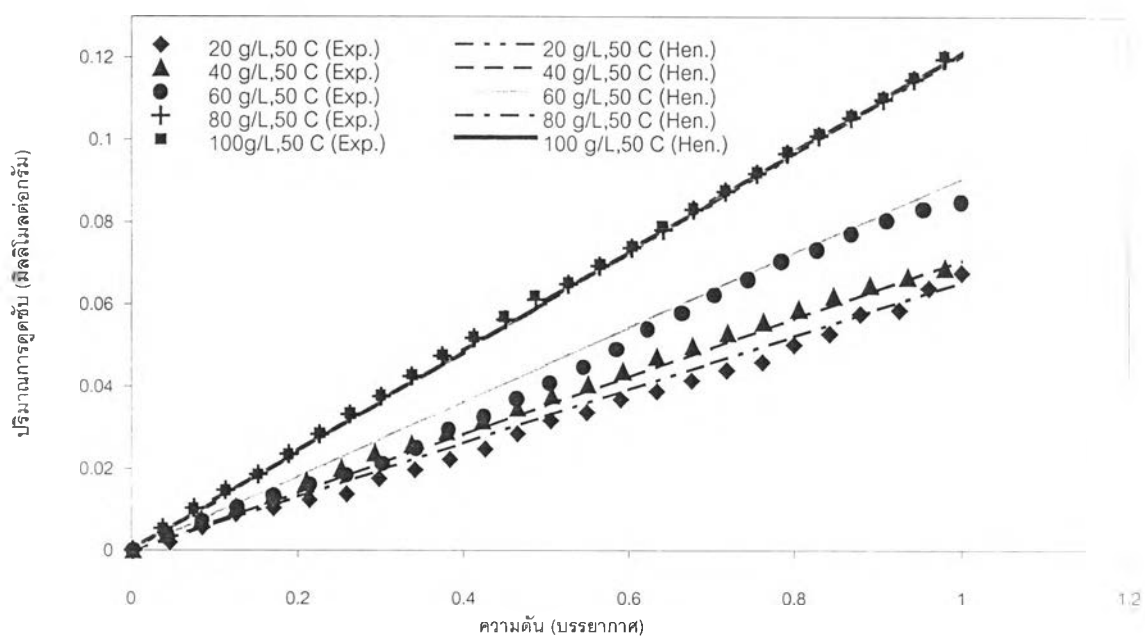


(ข)

รูปที่ ค.4 สมดุลการดูดซับด้วยหินพัมมิทซึ่งแลกเปลี่ยนไอออนกับเงินในอัตราส่วนต่าง ๆ อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน 50 °C โดยวิธีวัดปริมาณแก๊สที่เหลือในระบบ ณ อุณหภูมิ 28 °C  
(บน) แก๊สไนโตรเจน (ล่าง) แก๊สออกซิเจน



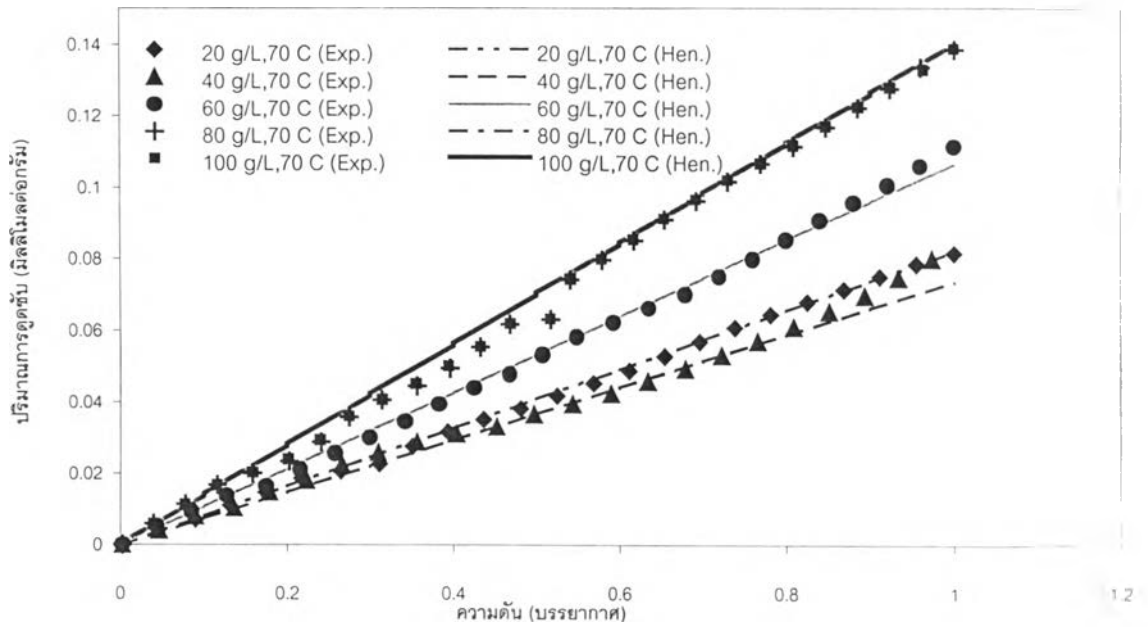
(ก)



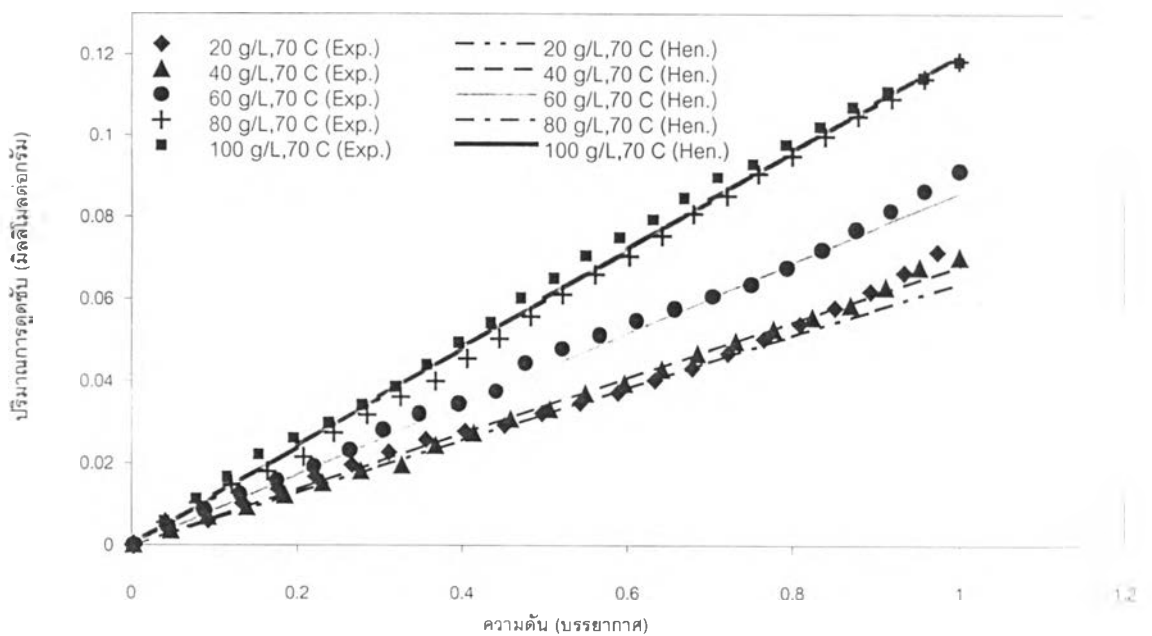
(ข)

รูปที่ ค.5 สมดุลการดูดซับด้วยหินพัมมิชซึ่งแลกเปลี่ยนไอออนกับเงินในอัตราส่วนต่าง ๆ อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน 50 °C โดยวิธีวัดปริมาณแก๊สที่เหลือในระบบ ณ อุณหภูมิ 0 °C

(ก) แก๊สไนโตรเจน (ข) แก๊สออกซิเจน



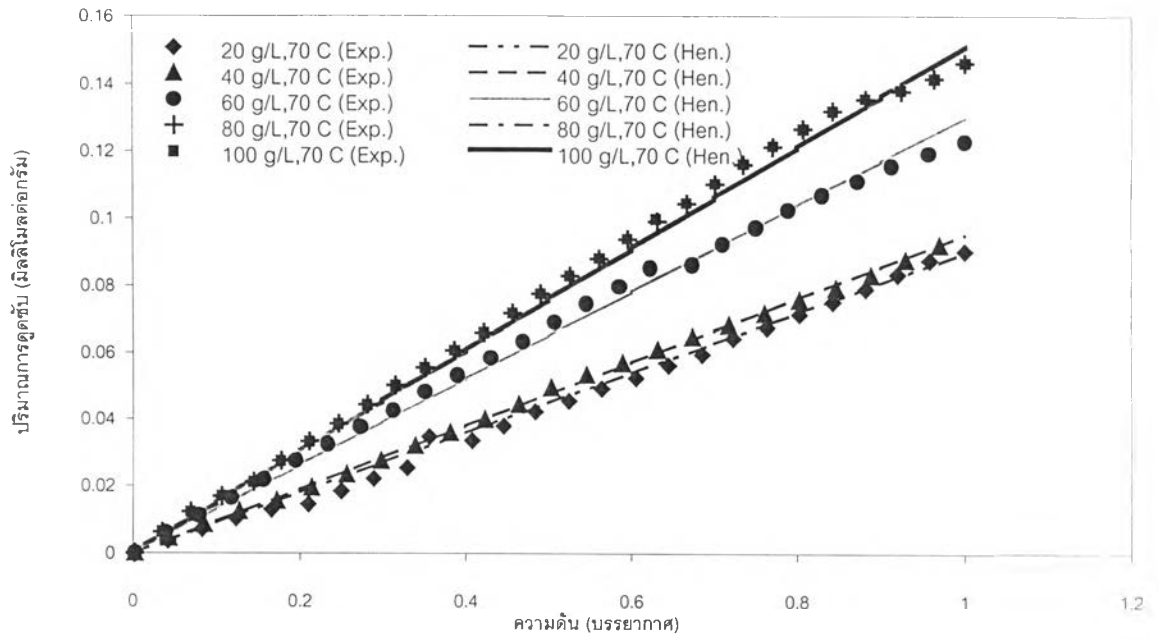
(ก)



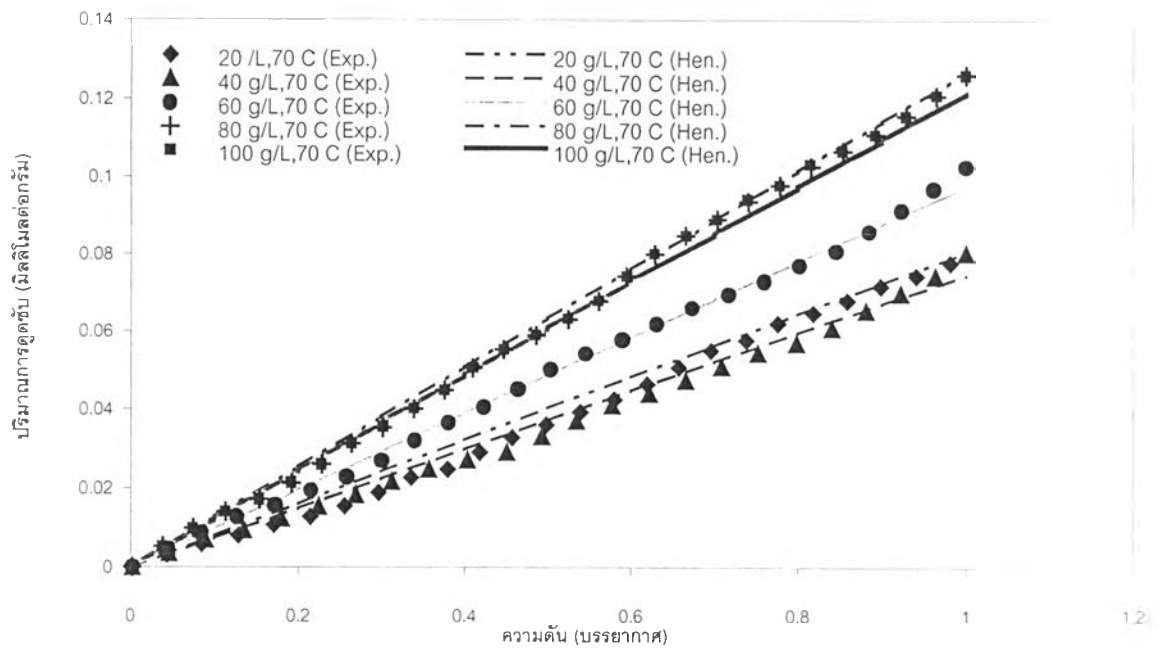
(ข)

รูปที่ ค.6 สมดุลการดูดซับด้วยหินพัมมิชซึ่งแลกเปลี่ยนไอออนกับเงินในอัตราส่วนต่าง ๆ อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน 70 °C โดยวิธีวัดปริมาณแก๊สที่เหลือในระบบ ณ อุณหภูมิ 28 °C

(ก) แก๊สไนโตรเจน (ข) แก๊สออกซิเจน



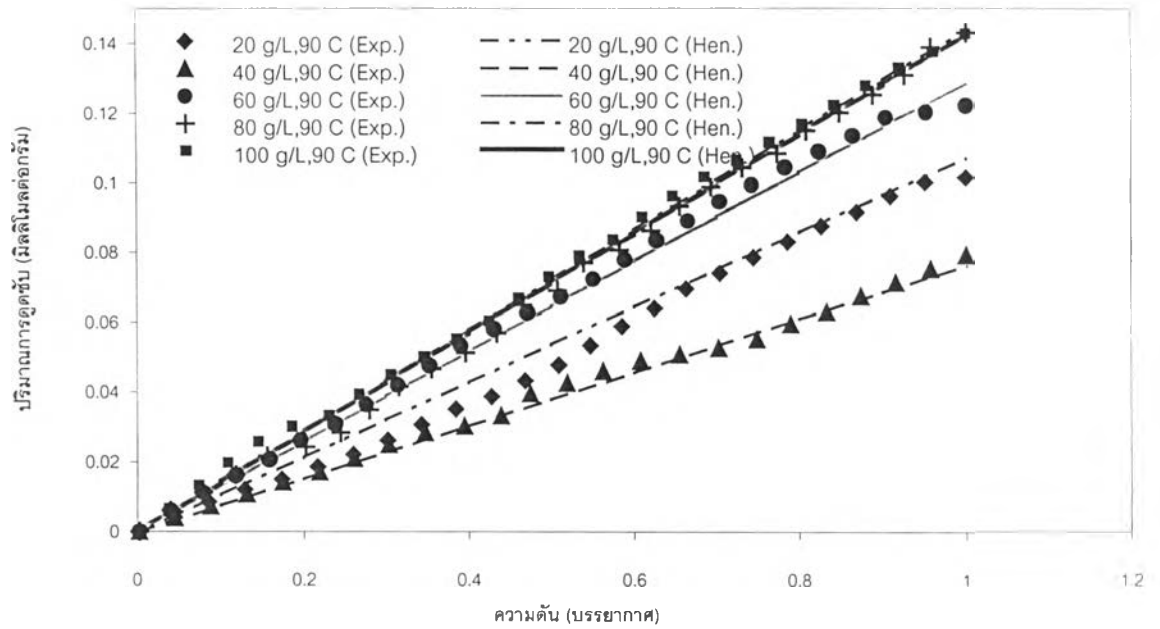
(ก)



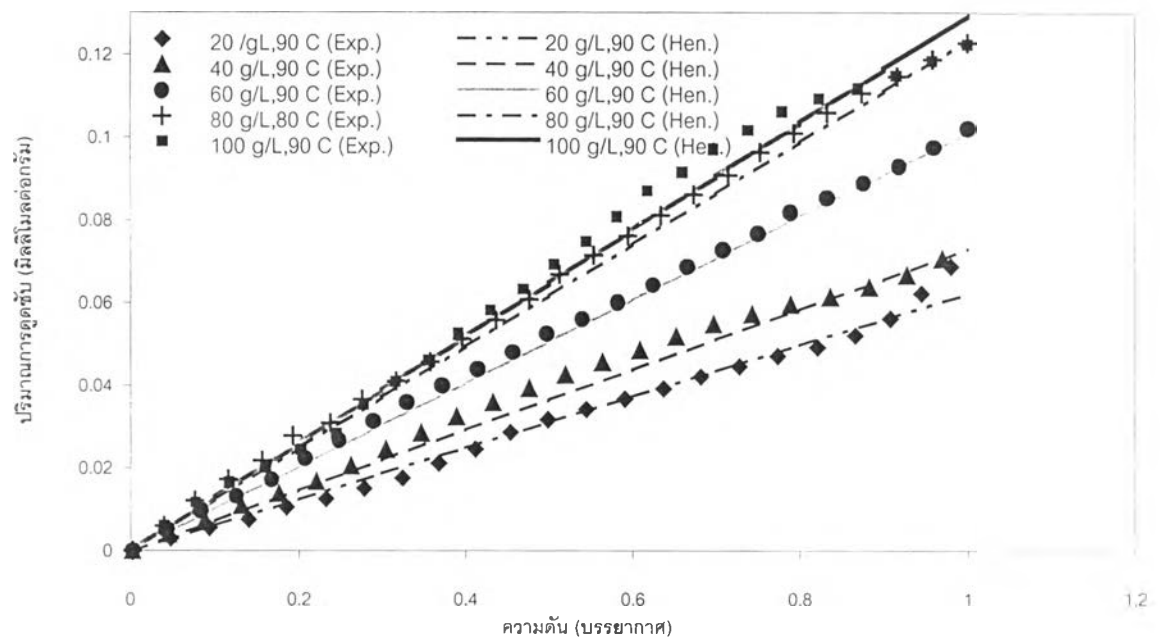
(ข)

รูปที่ ค.7 สมดุลการดูดซับด้วยหินพัมมิชซึ่งแลกเปลี่ยนไอออนกับเงินในอัตราส่วนต่าง ๆ อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน 70 °C โดยวิธีวัดปริมาณแก๊สที่เหลือในระบบ ณ อุณหภูมิ 0 °C

(ก) แก๊สไนโตรเจน (ข) แก๊สออกซิเจน



(ก)

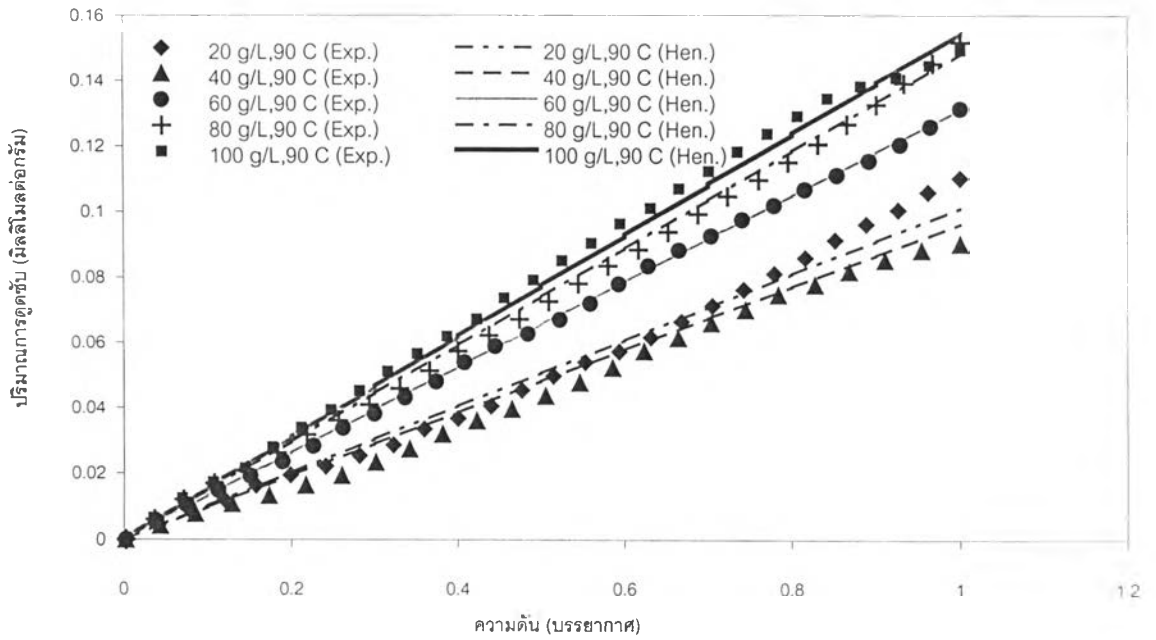


(ข)

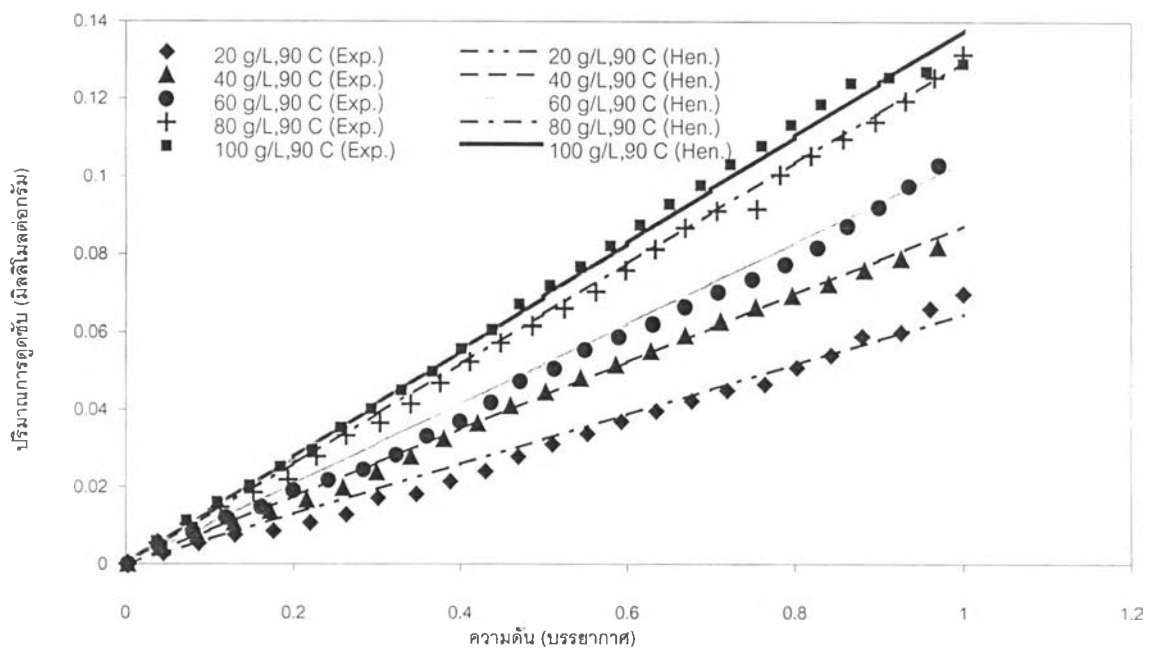
รูปที่ ค.8 สมดุลการดูดซับด้วยหินพัมมิชซึ่งแลกเปลี่ยนไอออนกับเงินในอัตราส่วนต่าง ๆ อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน 90 °C โดยวิธีวัดปริมาณแก๊สที่เหลือในระบบ ณ อุณหภูมิ 28 °C

(ก) แก๊สไนโตรเจน (ข) แก๊สออกซิเจน





(ก)

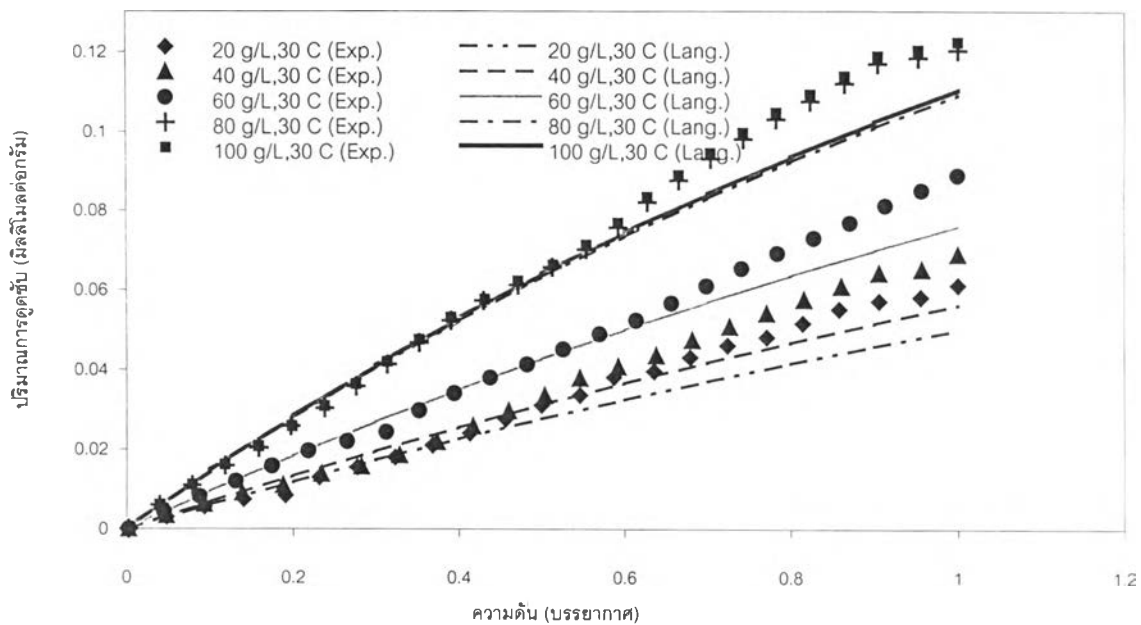


(ข)

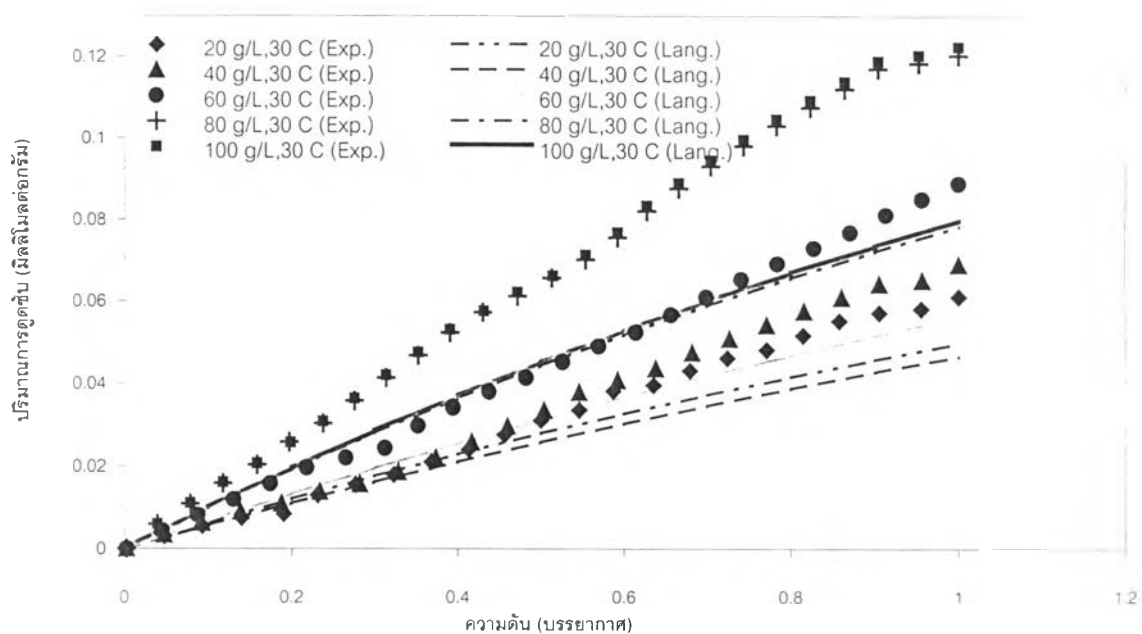
รูปที่ ค.9 สมดุลการดูดซับด้วยหินพัมมิชซึ่งแลกเปลี่ยนไอออนกับเงินในอัตราส่วนต่าง ๆ

อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน 90 °C โดยวิธีเชิงปริมาตร ณ อุณหภูมิ 0 °C

(ก) แก๊สไนโตรเจน (ข) แก๊สออกซิเจน



(ก)

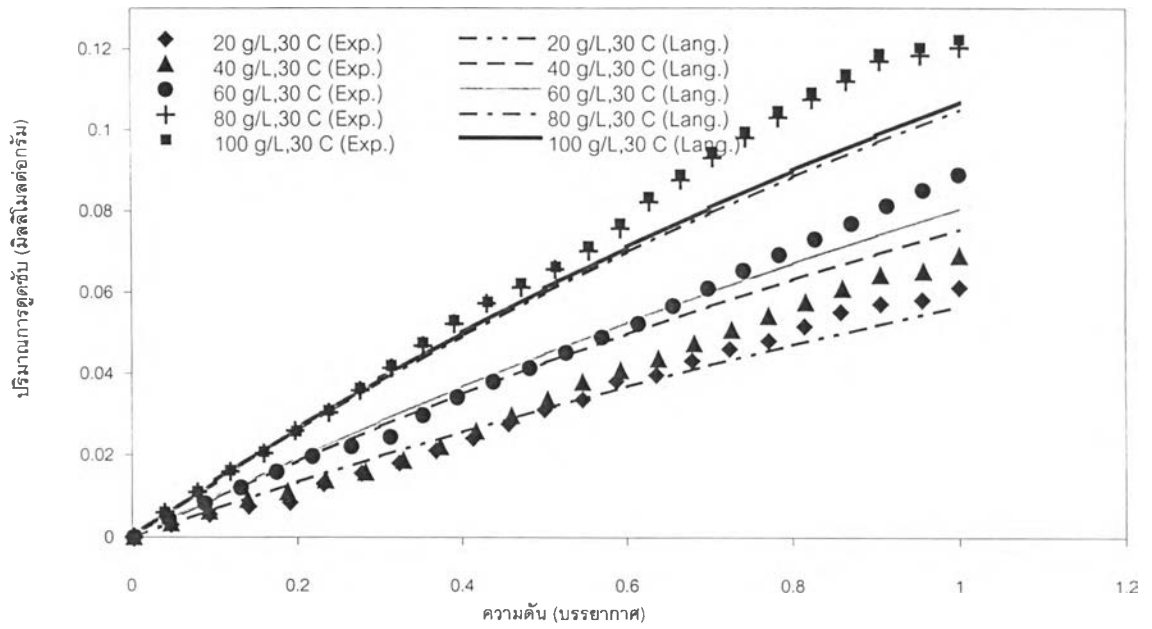


(ข)

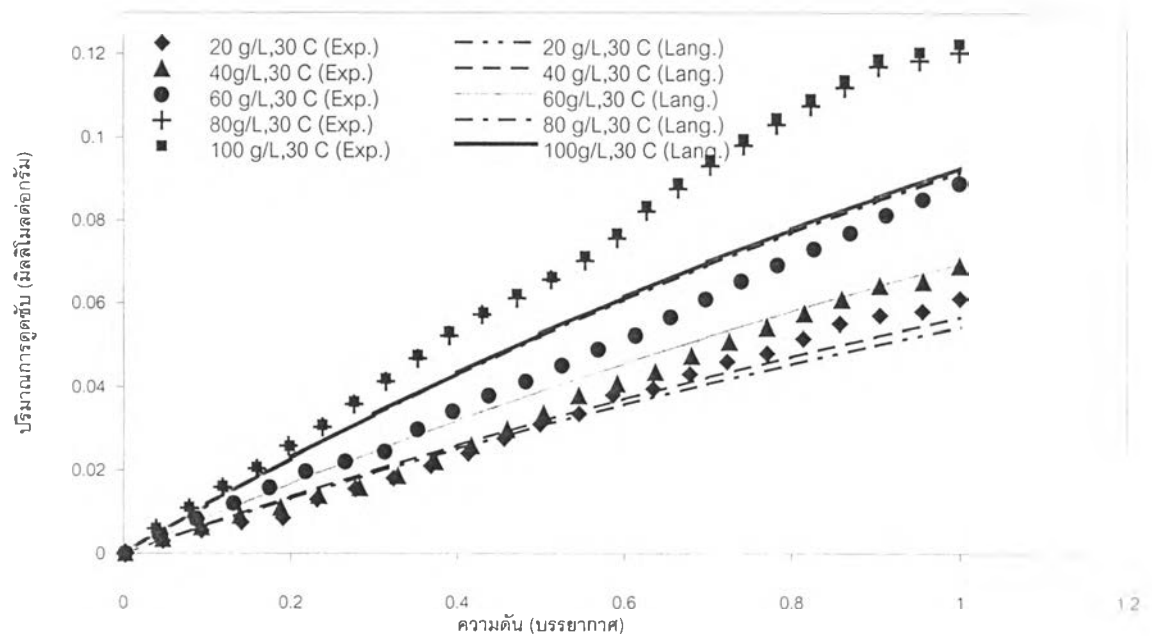
รูปที่ ค.10 สมดุลการดูดซับด้วยหินพัมมิชซึ่งแลกเปลี่ยนไอออนกับเงินในอัตราส่วนต่าง ๆ

อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน 30 °C โดยวิธีเชิงปริมาตร ณ อุณหภูมิ 28 °C

(ก) แก๊สไนโตรเจน (ข) แก๊สออกซิเจน



(ก)

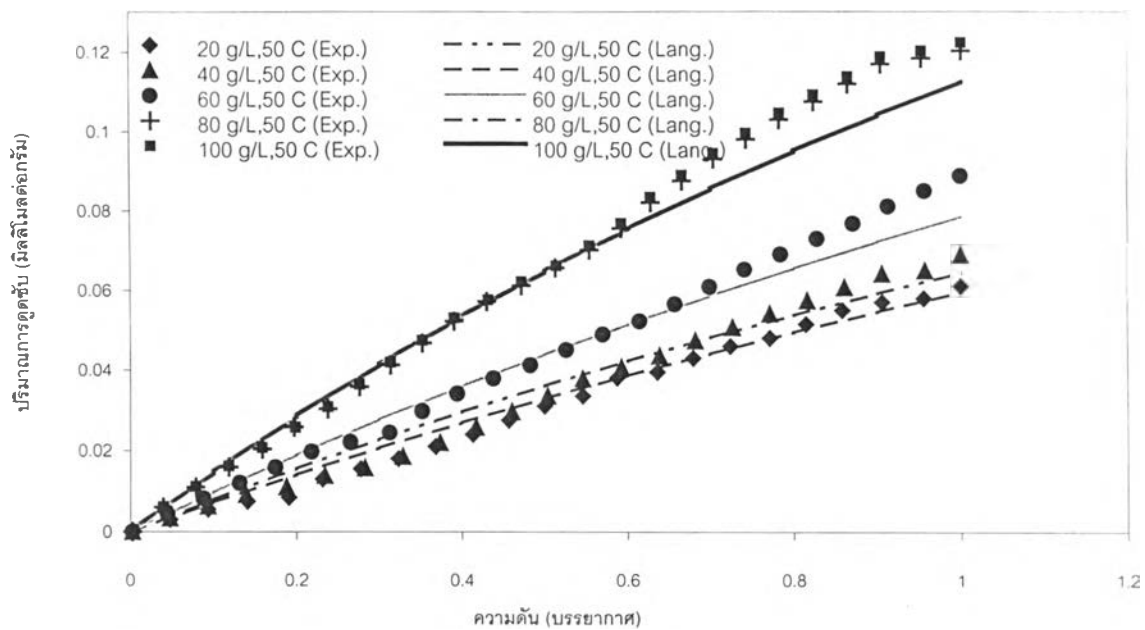


(ข)

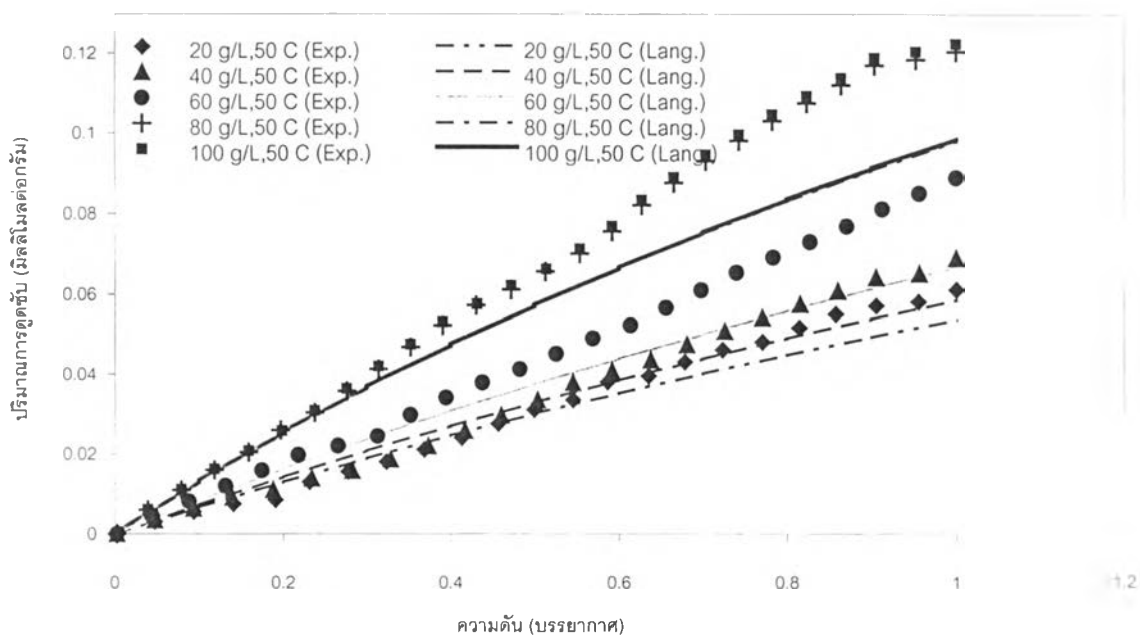
รูปที่ ค.11 สมดุลการดูดซับด้วยหินพัมมิชซึ่งแลกเปลี่ยนไอออนกับเงินในอัตราส่วนต่าง ๆ

อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน 30 °C โดยวิธีเชิงปริมาตร ณ อุณหภูมิ 0 °C

(ก) แก๊สไนโตรเจน (ข) แก๊สออกซิเจน



(ก)

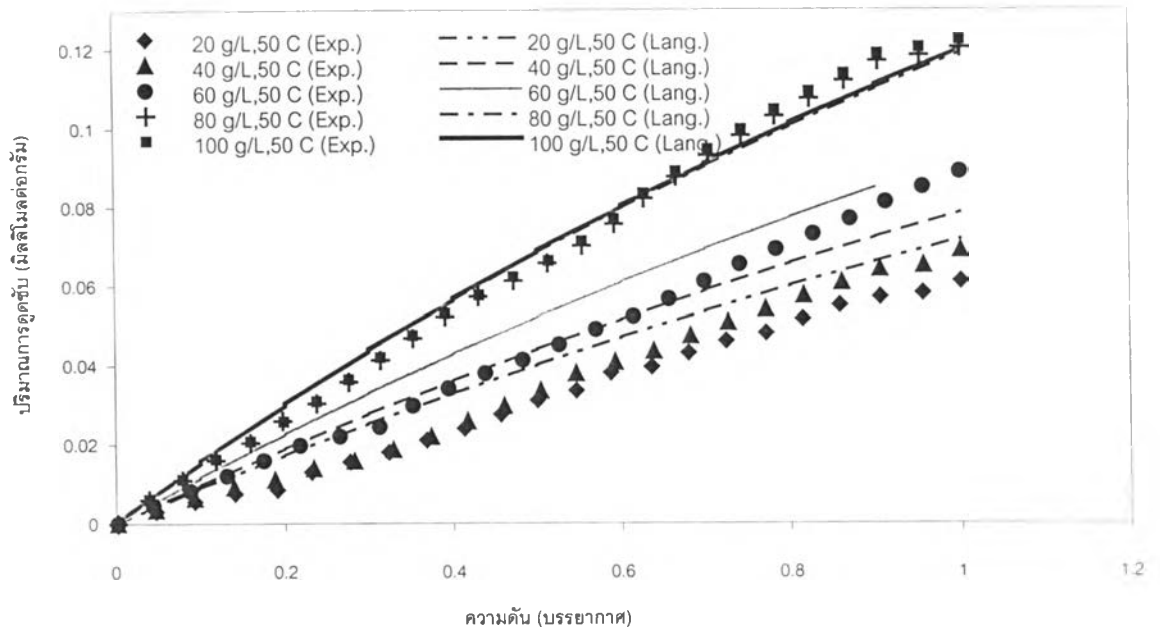


(ข)

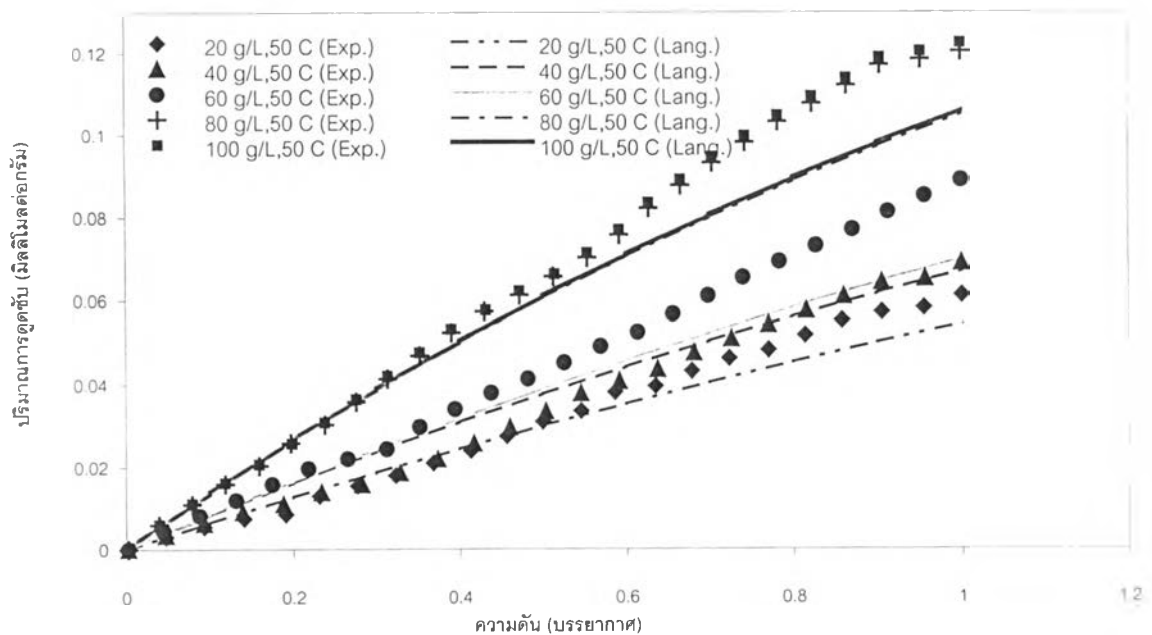
รูปที่ ค.12 สมดุลการดูดซับด้วยหินพัมมิชซึ่งแลกเปลี่ยนไอออนกับเงินในอัตราส่วนต่าง ๆ

อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน 50 °C โดยวิธีเชิงปริมาตร ณ อุณหภูมิ 28 °C

(ก) แก๊สไนโตรเจน (ข) แก๊สออกซิเจน

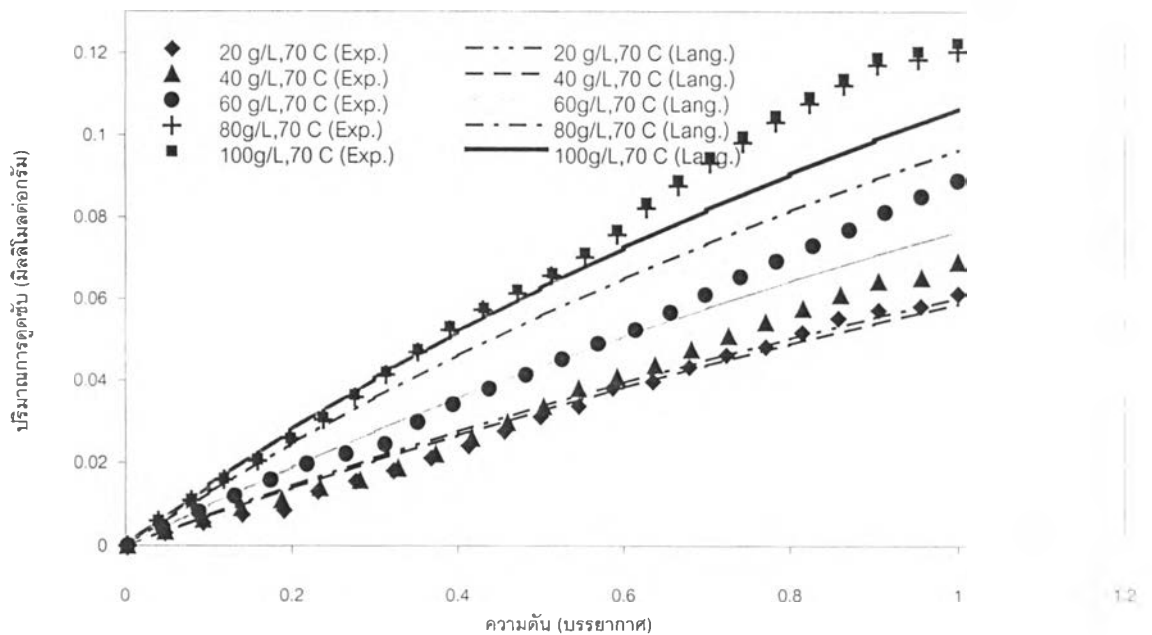
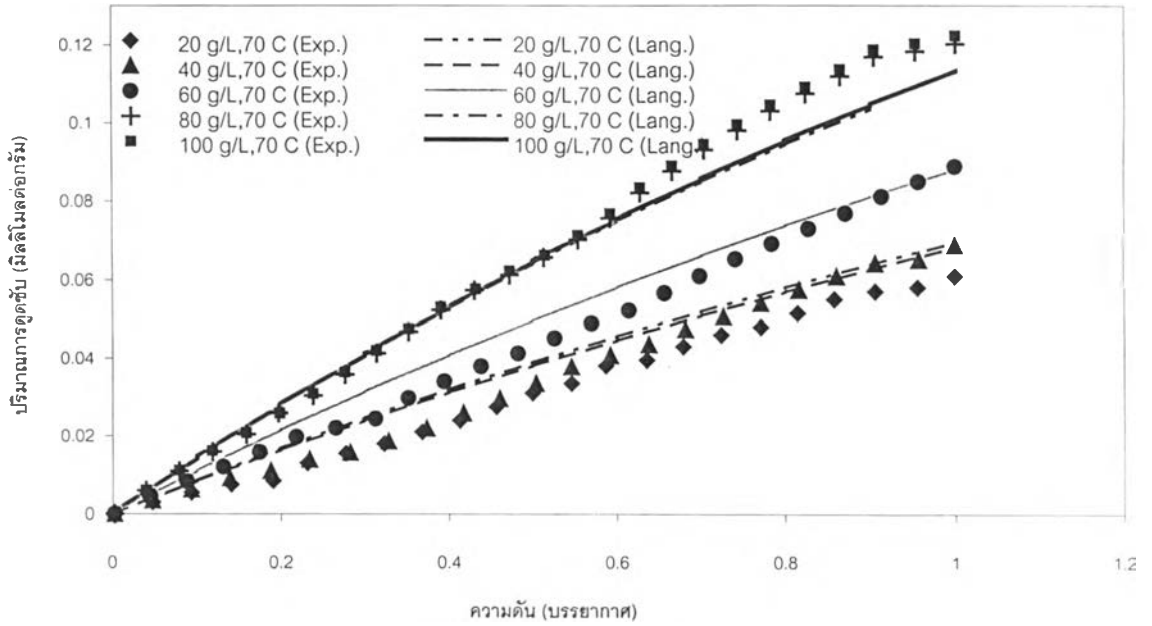


(ก)



(ข)

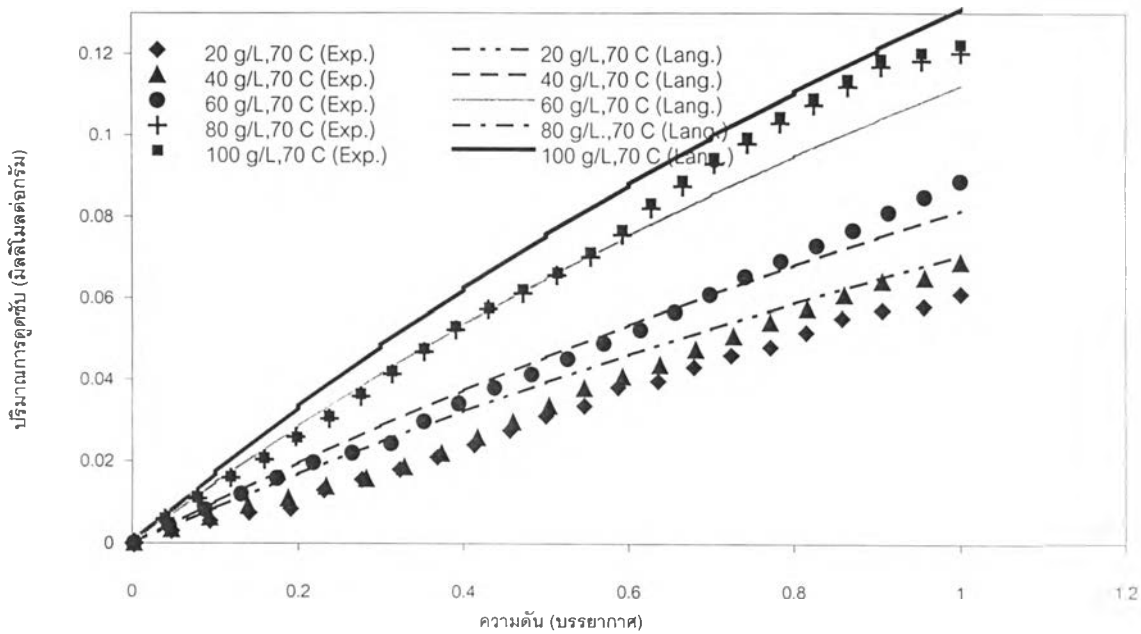
รูปที่ ค.13 สมดุลการดูดซับด้วยหินพัมมิชซึ่งแลกเปลี่ยนไอออนกับเงินในอัตราส่วนต่าง ๆ  
 อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน 50 °C โดยวิธีเชิงปริมาตร ณ อุณหภูมิ 0 °C  
 (ก) แก๊สไนโตรเจน (ข) แก๊สออกซิเจน



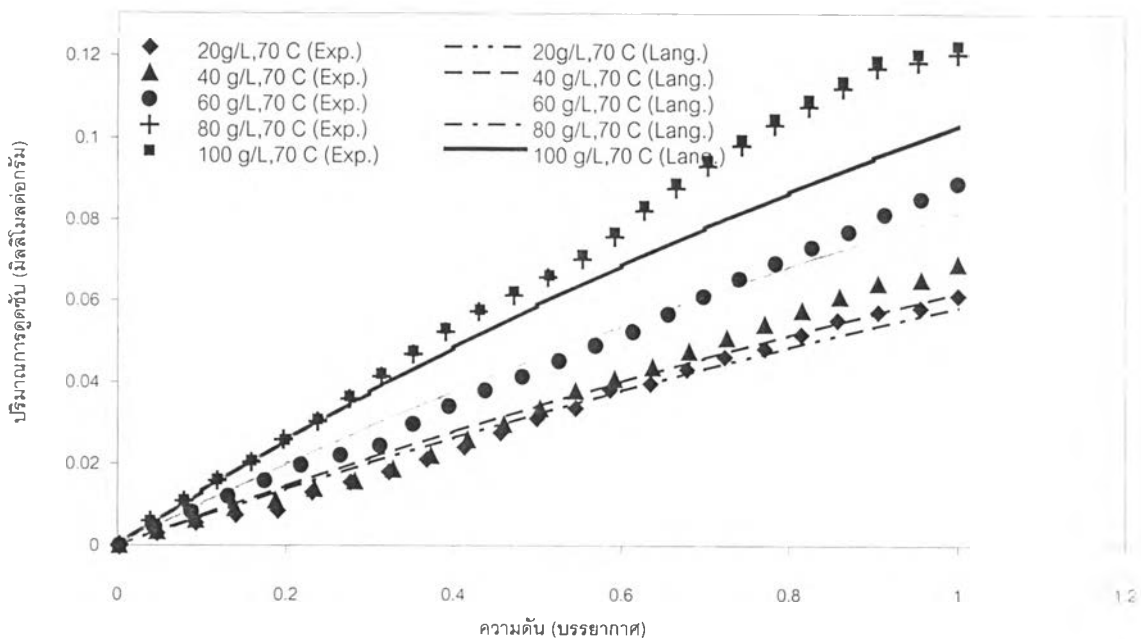
รูปที่ ค.14 สมดุลการดูดซับด้วยหินพัมมิชซึ่งแลกเปลี่ยนไอออนกับเงินในอัตราส่วนต่าง ๆ

อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน 70 °C โดยวิธีเชิงปริมาตร ณ อุณหภูมิ 28 °C

(ก) แก๊สไนโตรเจน (ข) แก๊สออกซิเจน



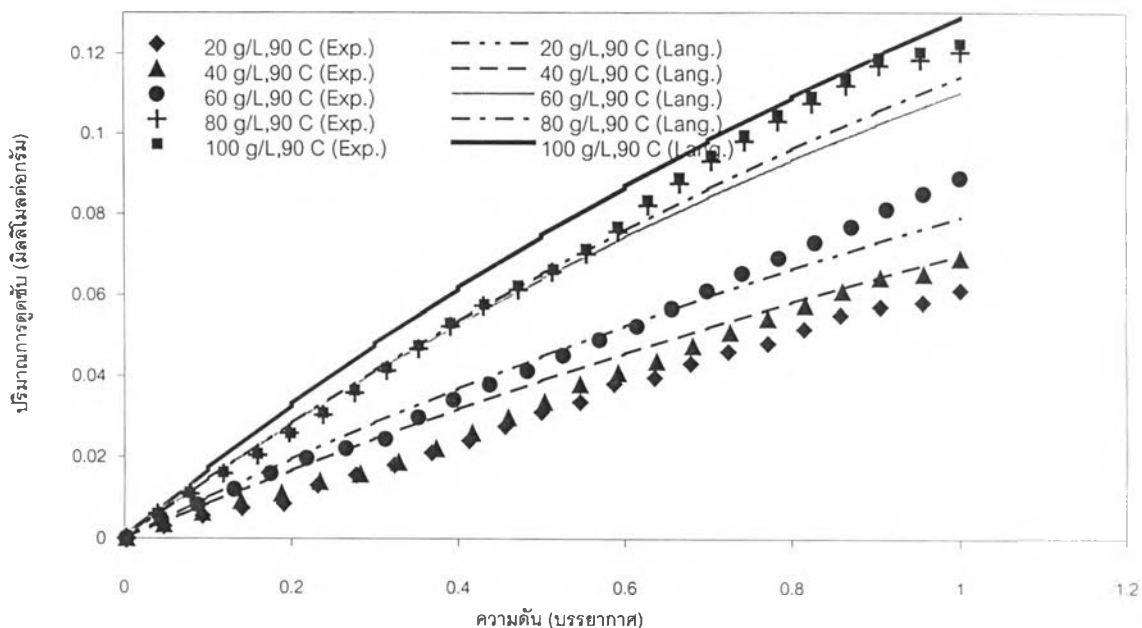
(ก)



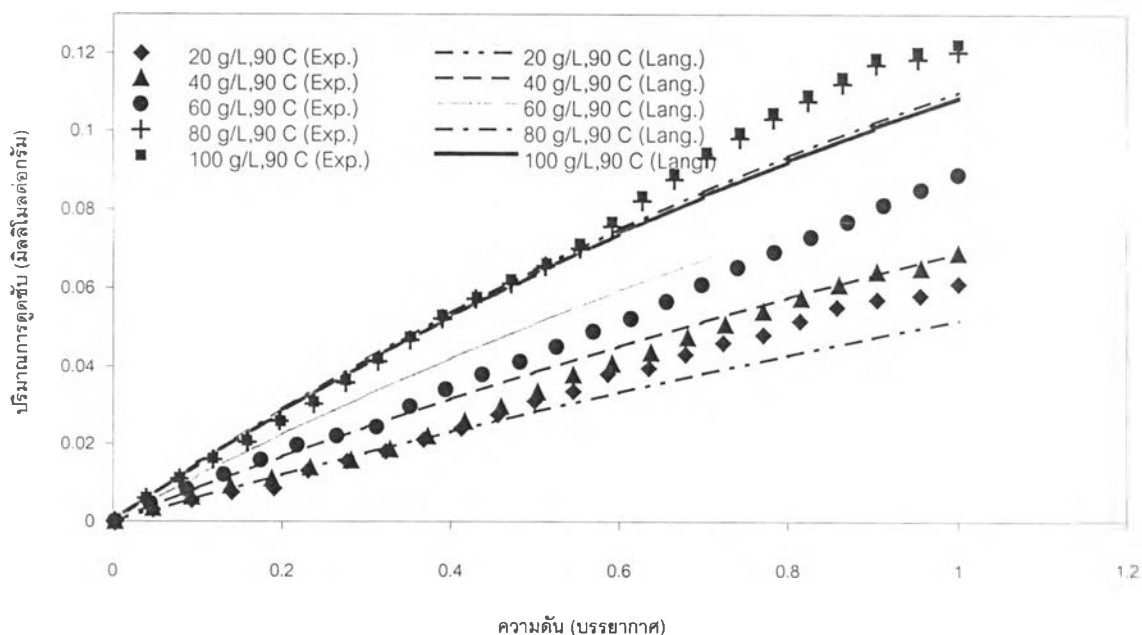
(ข)

รูปที่ ค.15 สมดุลการดูดซับด้วยหินพัมมิชซึ่งแลกเปลี่ยนไอออนกับเงินในอัตราส่วนต่าง ๆ  
 อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน 70 °C โดยวิธีเชิงปริมาตร ณ อุณหภูมิ 0 °C

(ก) แก๊สไนโตรเจน (ข) แก๊สออกซิเจน



(ก)

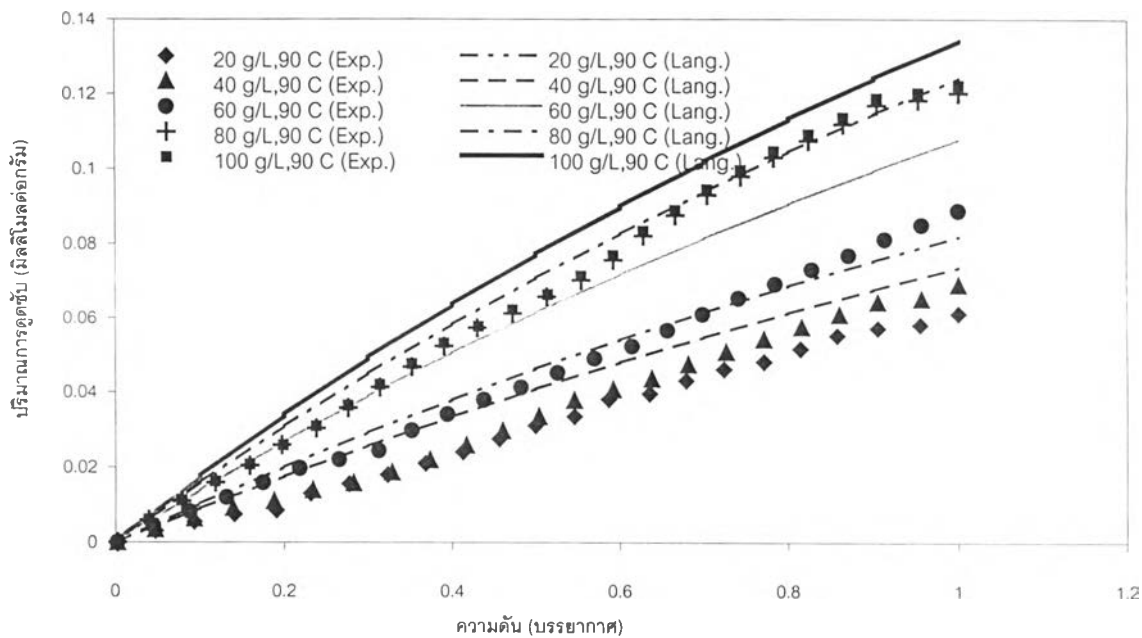


(ข)

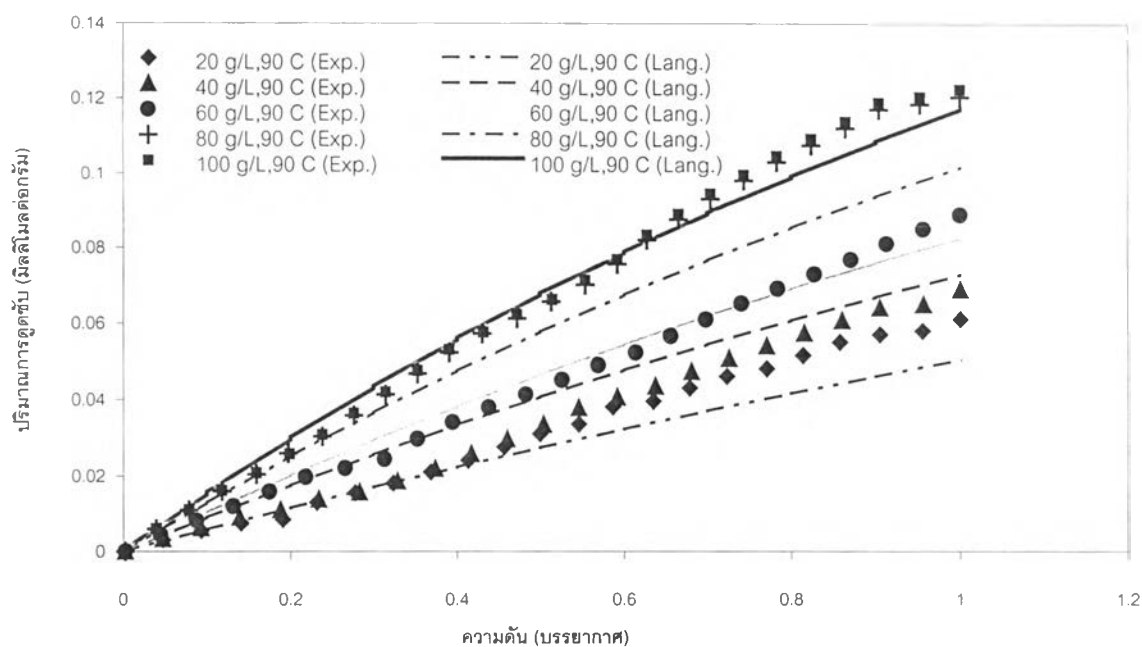
รูปที่ ค.16 สมดุลการดูดซับด้วยหินพัมมิชซึ่งแลกเปลี่ยนไอออนกับเงินในอัตราส่วนต่าง ๆ  
 อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน 90 °C โดยวิธีเชิงปริมาตร ณ อุณหภูมิ 28 °C

(ก) แก๊สไนโตรเจน (ข) แก๊สออกซิเจน





(ก)



(ข)

รูปที่ ค.17 สมดุลการดูดซับด้วยหินพัมมิชซึ่งแลกเปลี่ยนไอออนกับเงินในอัตราส่วนต่าง ๆ

อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนไอออน 90 °C โดยวิธีเชิงปริมาตร ณ อุณหภูมิ 0 °C

(ก) แก๊สไนโตรเจน (ข) แก๊สออกซิเจน

# ประวัติผู้เขียน

นางสาวอัญชลี จันทไช้ เกิดในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดอุดรดิตถ์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนอุดรดิตถ์ดรุณี ในปีการศึกษา 2538 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในปีการศึกษา 2542 และเข้าศึกษาต่อในภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

