บทที่ 6

ผลการทดลองและวิจารณ์

6.1 ความสามารถจับทองแดงไว้ได้สูงสุดของตัวสกัด LIX64N

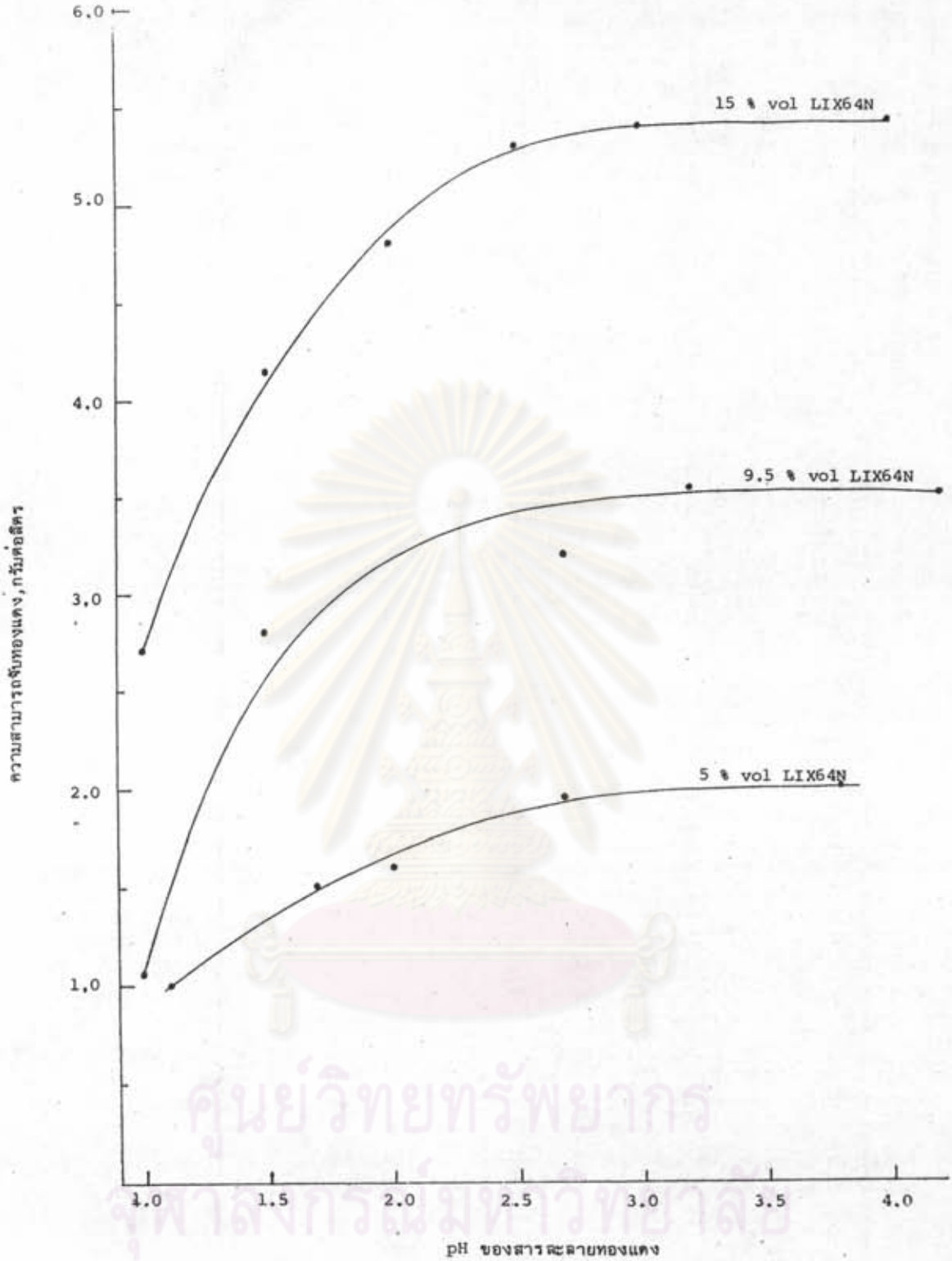
การทดลองหาความสามารถจับทองแดงไว้ได้สูงสุดของตัวสกัด LIX64N มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อความสามารถจับทองแดงของตัวสกัด ได้แก่ความเข้มของ LIX64N ในสารละลายตัวสกัดและความเข้มข้นกรดในสารละลายทองแดง ผลการทดลองจะมีประโยชน์ในการนำไปใช้กำหนดปริมาณความเข้มข้นของ LIX64N ให้เหมาะสมกันกับสภาพของสารละลายทองแดงที่ต้องการสกัด

6.1.1 ผลของค่า pH ของสารละลายทองแดงที่ต้องการสกัด และความเข้มข้นของสารละลายตัวสกัดที่ใช้

รูปที่ 6.1 และตารางที่ 6.1 แสดงผลการจับทองแดงไว้ได้สูงสุดของสารละลายตัวสกัดที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5, 9.5 และ 15 โดยปริมาตรที่ละลายในน้ำมันก๊าดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดของสารละลายทองแดงที่ค่า pH ตั้งแต่ 1.0 ถึง 4.0 ผลการทดลองพบว่าถ้าค่า pH เพิ่มขึ้น ความสามารถจับทองแดงก็จะเพิ่มขึ้นด้วย และปรากฏผลการทดลองเช่นเดียวกันถึงแม้จะใช้สารละลายตัวสกัดที่ความเข้มข้นต่างกัน นอกจากนี้เห็นว่าความสามารถในการจับทองแดงที่ความเข้มข้นของ LIX64N ต่าง ๆ กันจะมีค่าสูงสุดที่ pH ตั้งแต่ 3.0 ขึ้นไป

ตารางที่ 6.2 แสดงผลการทดลองหาความสามารถจับทองแดงไว้ได้สูงสุดของตัวสกัดที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5, 9.5 และ 15 โดยปริมาตร พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของตัวสกัดจะทำให้ความสามารถสกัดทองแดงของตัวสกัดจะเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับร้อยละของความเข้มข้นของตัวสกัดที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือการเพิ่มความเข้มข้นตัวสกัดจากร้อยละ 5 โดยปริมาตรเป็นร้อยละ 15 โดยปริมาตรซึ่งเป็นการเพิ่มความเข้มข้นมากกว่าเดิม 3 เท่า พบว่าความสามารถสกัดทองแดงของตัวสกัดจะเพิ่มจากเดิมประมาณ 3 เท่าเช่นกัน

ในการพิจารณาค่าความสามารถจับทองแดงไว้ได้สูงสุดต่อการใช้สารละลายตัวสกัดความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร พบว่าจะมีค่าลดลงเล็กน้อยถ้าสารละลายตัวสกัดมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นกล่าวคือสำหรับสารละลายตัวสกัดที่มีความเข้มข้นตัวสกัดร้อยละ 5 โดยปริมาตร เมื่อคิดเทียบอัตราส่วนต่อการใช้สารละลายตัวสกัดที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตรจะมีความสามารถจับ



รูปที่ 6.1 แสดงความสามารถจับทองแดงไว้ได้สูงสุด (Maximum loading capacity) ของตัวสกัด LIX64N

ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองหาความสามารถจับทองแดงไว้ได้สูงสุดของสารละลาย LIX64N

ความเข้มข้น LIX64N (ร้อยละโดยปริมาตร)	ค่า pH ของสารละลายทองแดง	ความสามารถจับทองแดง (กรัมต่อลิตร)
5	1.1	1.00
5	1.7	1.50
5	2.0	1.60
5	2.7	1.95
5	3.8	2.00
9.5	1.0	1.05
9.5	1.5	2.81
9.5	2.7	3.20
9.5	3.2	3.55
9.5	4.2	3.50
15	1.0	2.70
15	1.5	4.15
15	2.0	4.80
15	2.5	5.30
15	3.0	5.40
15	4.0	5.42

ตารางที่ 6.2 ผลการทดลองหาความสามารถจับทองแดงไว้ได้สูงสุด เมื่อคิดเทียบเป็นการใช้ตัวสกัด LIX64N ร้อยละ 1 โดยปริมาตร

ความเข้มข้นตัวสกัดLIX64N (ร้อยละโดยปริมาตร)	ความสามารถจับทองแดงได้สูงสุด (กรัมต่อลิตร)	ความสามารถจับทองแดงเมื่อคิดเทียบเป็นการใช้ตัวสกัดร้อยละ 1 โดยปริมาตร (กรัมต่อลิตร)	ค่าเฉลี่ย
5	2.00	0.40	
9.5	3.52	0.38	0.39
15	5.45	0.37	

ทองแดงไว้ได้ 0.40 กรัมต่อลิตร และสำหรับสารละลายตัวสกัดที่มีความเข้มข้นตัวสกัด ร้อยละ 15 โดยปริมาตร เมื่อคิดเทียบเป็นอัตราส่วนต่อการใช้สารละลายตัวสกัดที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร จะมีความสามารถจับทองแดงไว้ได้ 0.37 กรัมต่อลิตร จากการที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวสกัดแล้วความสามารถจับทองแดงต่อการใช้ตัวสกัดร้อยละ 1 จะลดลงเล็กน้อยนั้น Flett และคณะ (1973), Komasawa และคณะ (1980b) พบว่าเนื่องมาจากการรวมตัวกันเองของโมเลกุลตัวสกัด 2 โมเลกุล (dimerization) ทำให้โมเลกุลตัวสกัดดังกล่าวนี้หมดประสิทธิภาพในการจับทองแดง ดังนั้นเห็นได้ว่าการหาค่าความสามารถจับทองแดงไว้ได้สูงสุดของสารละลายตัวสกัด LIX64N ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 ร้อยละ 9.5 และร้อยละ 15 โดยปริมาตร สามารถนำเอาไปเป็นเกณฑ์เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของตัวสกัดที่ลดลงเมื่อนำตัวสกัดไปใช้กับสารละลายที่มีสภาพเป็นกรด

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองหาความสามารถจับทองแดงไว้ได้สูงสุดของตัวสกัด LIX64N ในงานวิจัยนี้กับผลการทดลองของ Attwood และ Miller (1971) ซึ่งหาค่าความสามารถจับทองแดงไว้ได้สูงสุดได้เท่ากับ 0.412 กรัมต่อลิตรต่อการใช้ตัวสกัด LIX64N ร้อยละ 1 โดยปริมาตรใน xylene ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในการวิจัยนี้ซึ่งใช้ตัวสกัด LIX64N ละลายในน้ำมันก๊าดชนิด commercial grade จะสามารถนำไปใช้งานได้โดยมีประสิทธิภาพการทำงานของตัวสกัดใกล้เคียงกับผู้ทดลองรายอื่นซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการนำผลการทดลองต่าง ๆ ในการวิจัยนี้ไปเปรียบเทียบกับผู้วิจัยที่ได้ทำการทดลองใช้ตัวสกัด LIX64N มาก่อนหน้านี้แล้ว

6.1.2 การเลือกใช้ความเข้มข้นของ LIX64N ให้เหมาะสมกับสภาพของสารละลายทองแดงที่ต้องการสกัด

การเลือกใช้ความเข้มข้นของ LIX64N ในสารละลายตัวสกัดเพื่อใช้สกัดทองแดงนั้น Hartlage และ Cronberg (1973) อธิบายว่าขึ้นอยู่กับความเข้มข้นทองแดงในสารละลายที่ต้องการสกัดทองแดงออก และควรเลือกใช้ความเข้มข้นของตัวสกัดให้มีความสามารถจับทองแดงไว้ได้มากกว่าความเข้มข้นทองแดงในสารละลายทองแดงที่ต้องการสกัดประมาณร้อยละ10 ตัวอย่าง เช่นถ้าต้องการสกัดทองแดงจากสารละลายที่มีทองแดง 2.0 กรัมต่อลิตรดังนั้นความเข้มข้นทองแดงที่มีค่ามากกว่าร้อยละ 10 ของความเข้มข้นทองแดงที่ต้องการสกัดจึงมีค่าเท่ากับ 2.2 กรัมต่อลิตร จากผลการทดลองในข้อ 6.1.1 พบว่าที่ค่า pH เท่ากับ 3.0 ตัวสกัด LIX64N มีความสามารถจับทองแดงไว้ได้ 0.39 กรัมต่อลิตร ต่อการใช้ตัวสกัดร้อยละ 1 โดยปริมาตร (ซึ่งเป็นความ

สามารถจับทองแดงไว้ได้สูงสุด) ดังนั้นความเข้มข้นของตัวสกัดที่มีความสามารถจับทองแดงไว้ได้ 2.2 กรัมต่อลิตร จึงคิดได้เป็นร้อยละ 5.64 โดยปริมาตร แต่ในการนำเอาตัวสกัด LIX64N ไปใช้สกัดทองแดงในสารละลายที่มีค่า pH ต่ำกว่า 3.0 ซึ่งความสามารถสกัดทองแดงจะลดลงดังนั้นการใช้สารละลายตัวสกัดให้มีความสามารถจับทองแดงไว้ได้มากกว่าความเข้มข้นทองแดงในสารละลายร้อยละ 10 จึงต้องเพิ่มความเข้มข้นตัวสกัดให้สูงกว่าเดิม กล่าวคือที่ค่า pH เท่ากับ 1.0 ตัวสกัด LIX64Nที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร มีความสามารถจับทองแดงไว้ได้ 0.9 กรัมต่อลิตร ซึ่งคิดเทียบเป็นอัตราส่วนต่อการใช้สารละลายตัวสกัดร้อยละ 1 โดยปริมาตร สามารถจับทองแดงไว้ได้ 0.18 กรัมต่อลิตร ดังนั้นถ้าต้องการนำไปใช้สกัดทองแดงจากสารละลายที่มีทองแดง 2 กรัมต่อลิตร และมีค่า pH เท่ากับ 1.0 จึงต้องใช้ความเข้มข้นของตัวสกัดเพิ่มขึ้นโดยใช้ความเข้มข้นตัวสกัดเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 12.2 โดยปริมาตร

จากการหาความเข้มข้นของ LIX64N ที่มีความสามารถจับทองแดงไว้ได้มากกว่าร้อยละ 10 ของค่าความเข้มข้นของทองแดงที่ต้องการสกัด ที่มีความเข้มข้นทองแดงและค่า pH ต่าง ๆ กันดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.3 จะสามารถนำไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นทองแดงและค่า pH ของสารละลายที่ต้องการสกัดกับความเข้มข้นของตัวสกัดที่สามารถจับทองแดงไว้ได้มากกว่าร้อยละ 10 ของค่าความเข้มข้นของทองแดงที่ต้องการสกัดแสดงไว้ในรูปที่ 6.2 ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการเลือกใช้ความเข้มข้นของตัวสกัดให้เหมาะสมกับสารละลายทองแดงที่ได้จากการละลายแร่ด้วยกรด

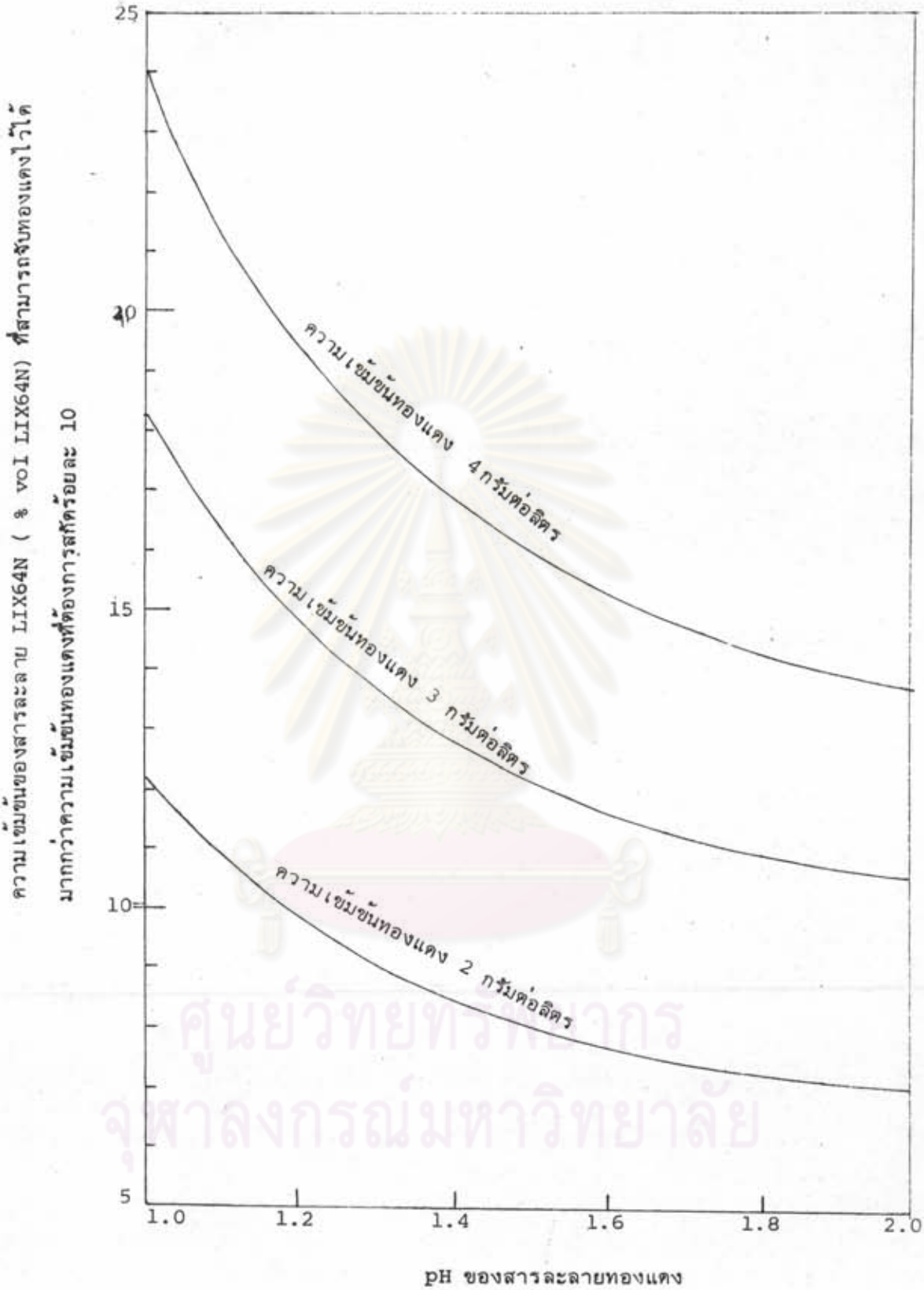
6.2 <u>การหาภาวะสมดุลของปฏิกริยาการสกัดทองแดง</u>

รูปที่ 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8 และ 6.9 แสดงผลการทดลองหาความเข้มข้นทองแดงในสารละลายตัวสกัดกับในสารละลายทองแดงที่ภาวะสมดุลของการสกัดทองแดง โดยในแต่ละรูปมีความเข้มข้นของตัวสกัดและมีค่า pH ของสารละลายทองแดงเมื่อเริ่มต้นคงที่ที่ค่า ๆ หนึ่ง แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นทองแดงเมื่อเริ่มต้น ซึ่งในการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นทองแดงเมื่อเริ่มต้นแต่ละครั้งจะได้เส้นกราฟที่ต่อเนื่องเส้นหนึ่งจากการพิจารณาอิทธิพลของความเข้มข้นทองแดงในสารละลายทองแดงเมื่อเริ่มต้น จะพบว่าเส้นกราฟที่มีความเข้มข้นทองแดงเมื่อเริ่มต้นสูงจะมีตำแหน่งอยู่ต่ำกว่าเส้นกราฟที่มีความเข้มข้นทองแดงเมื่อเริ่มต้นต่ำ แสดงให้เห็นว่าที่ภาวะสมดุลการจับทองแดงของตัวสกัดในกราฟเส้นบนจะสามารถจับทองแดงได้มากกว่าจึงกล่าวได้ว่าการเพิ่มความเข้มข้นทองแดงในสารละลายทองแดงที่ต้องการสกัดจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของตัวสกัดที่ภาวะสมดุลลดลง

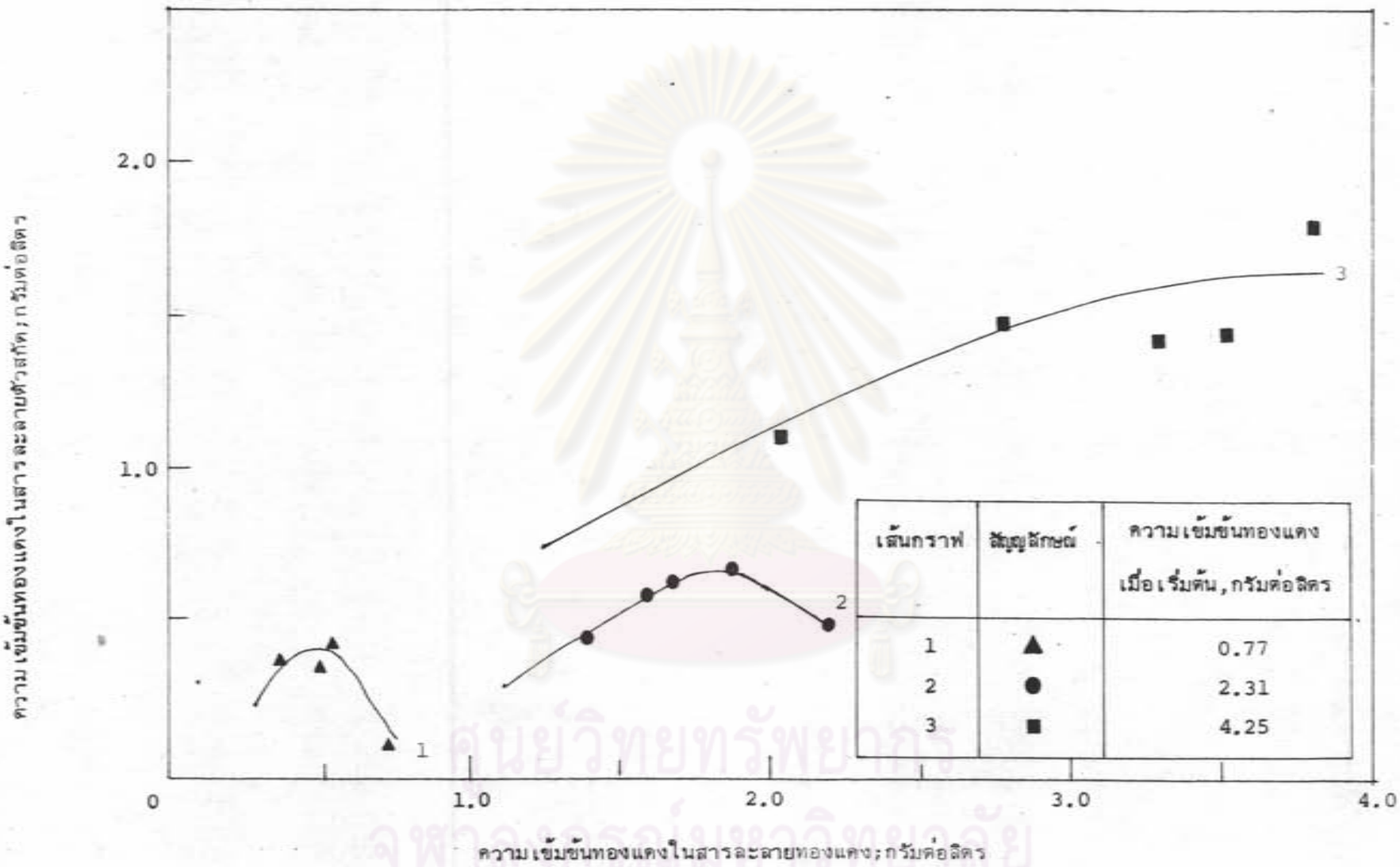
ตารางที่ 6.3 ผลการทดลองหาความเข้มข้นของ LIX64N (% volume) ที่มีความสามารถจับทองแดงได้มากกว่าร้อยละ 10 ของค่าความเข้มข้นของทองแดงที่ต้องการสกัด

pH ของสารละลายทองแดง	ความสามารถจับทองแดงต่อการใช้ตัวสกัดLIX64N ร้อยละ 1 โดยปริมาตร (คิดจากความสามารถจับทองแดงของสารละลายตัวสกัดที่มีความเข้มข้นLIX64N ร้อยละ 5 โดยปริมาตร)	ความเข้มข้นของ LIX64N ร้อยละโดยปริมาตร ที่มีความสามารถจับทองแดงได้มากกว่าร้อยละ 10 ของค่าความเข้มข้นทองแดงที่ต้องการสกัด		
		ความเข้มข้นทองแดงที่ต้องการสกัด 2 กรัมต่อลิตร	ความเข้มข้นทองแดงที่ต้องการสกัด 3 กรัมต่อลิตร	ความเข้มข้นทองแดงที่ต้องการสกัด 4 กรัมต่อลิตร
1.0	0.18	12.2	18.3	24.4
1.2	0.23	9.6	14.4	19.1
1.4	0.26	8.5	12.7	16.9
1.6	0.29	7.6	11.4	15.2
1.8	0.31	7.1	10.6	14.2
2.0	0.32	6.9	10.3	13.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

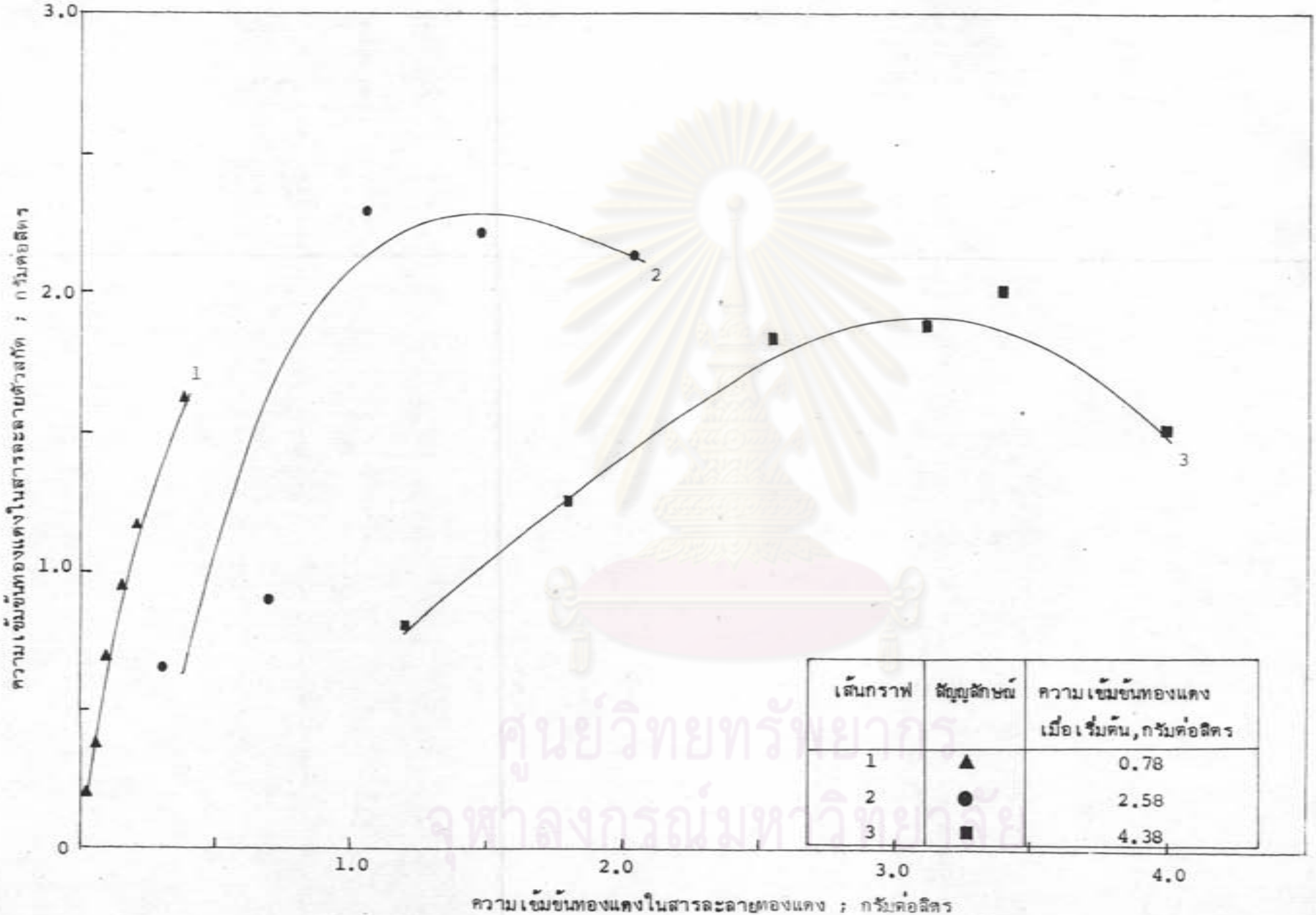


รูปที่ 6.2 อิทธิพลของค่า pH และความเข้มข้นของทองแดงในสารละลายทองแดงที่มีผลต่อการเลือกใช้ความเข้มข้นของสารละลาย LIX64N (% vol LIX64N) ที่มีความสามารถจับทองแดงไว้ได้มากกว่าร้อยละ 10 ของความเข้มข้นทองแดงที่ต้องสกัด



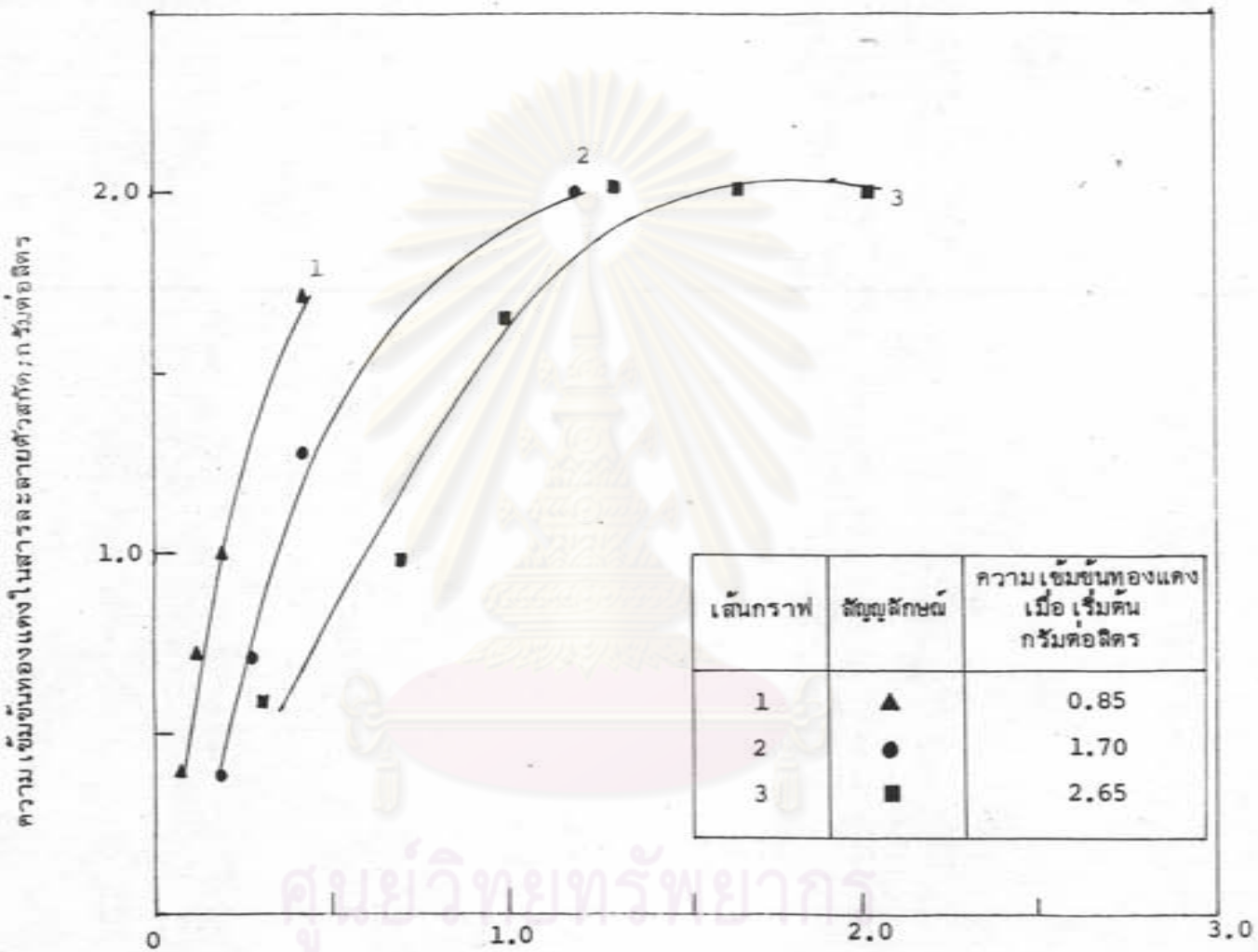
รูปที่ 6.3 ภาวะสมดุลของความเข้มข้นทองแดงในสารละลาย 9.5 % vol LIX64N กับในสารละลายทองแดงซัลเฟตที่มีสภาพเป็นกรดเมื่อเริ่มต้นที่ค่า pH เท่ากับ 1.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



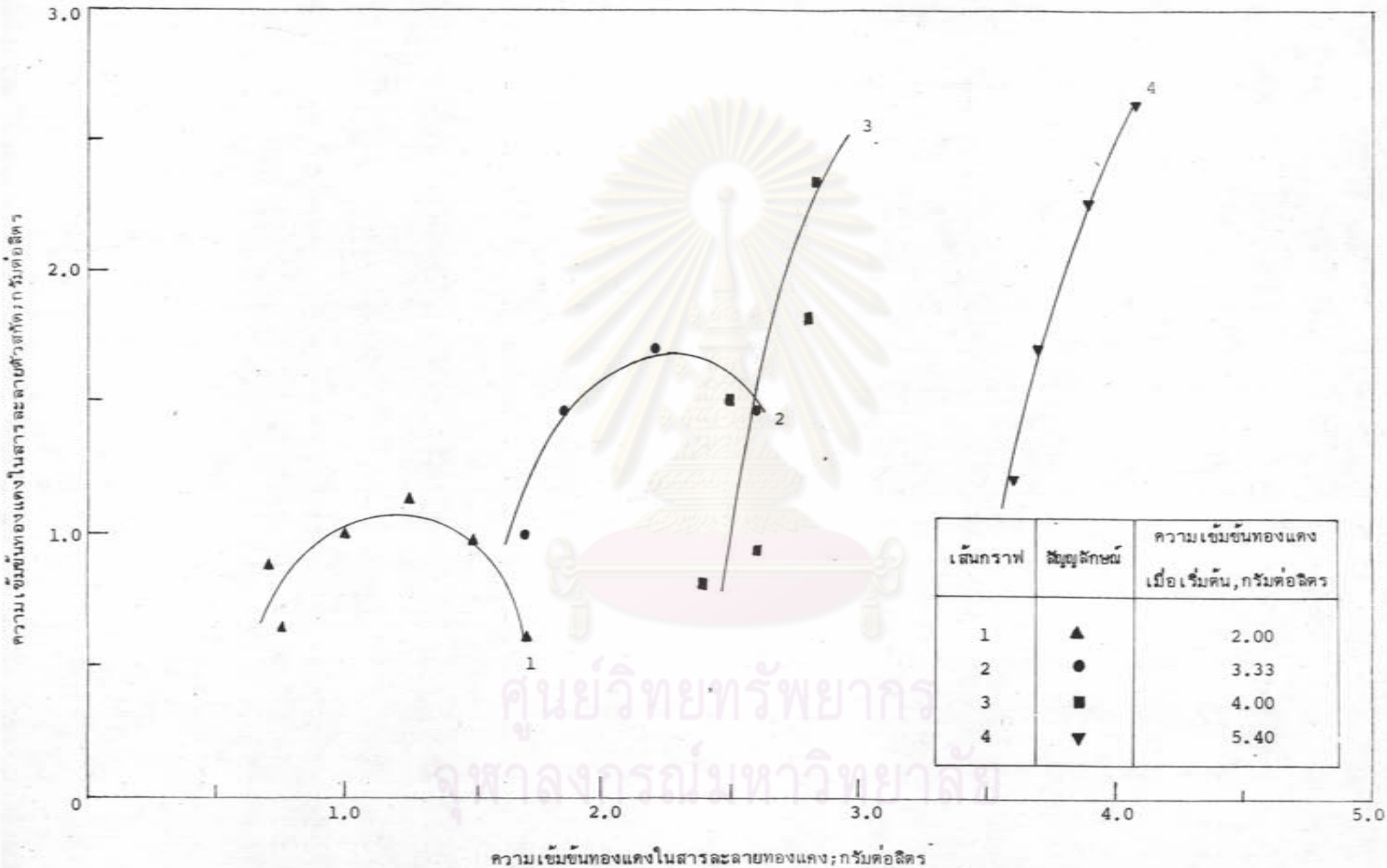
รูปที่ 6.4 ภาวะสมดุลของความเข้มข้นทองแดงในสารละลาย 9.5 % vol LIX64N กับในสารละลายทองแดงซัลเฟตที่มีสภาพความเป็นกรดเมื่อเริ่มต้นที่ค่า pH เท่ากับ 1.40

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



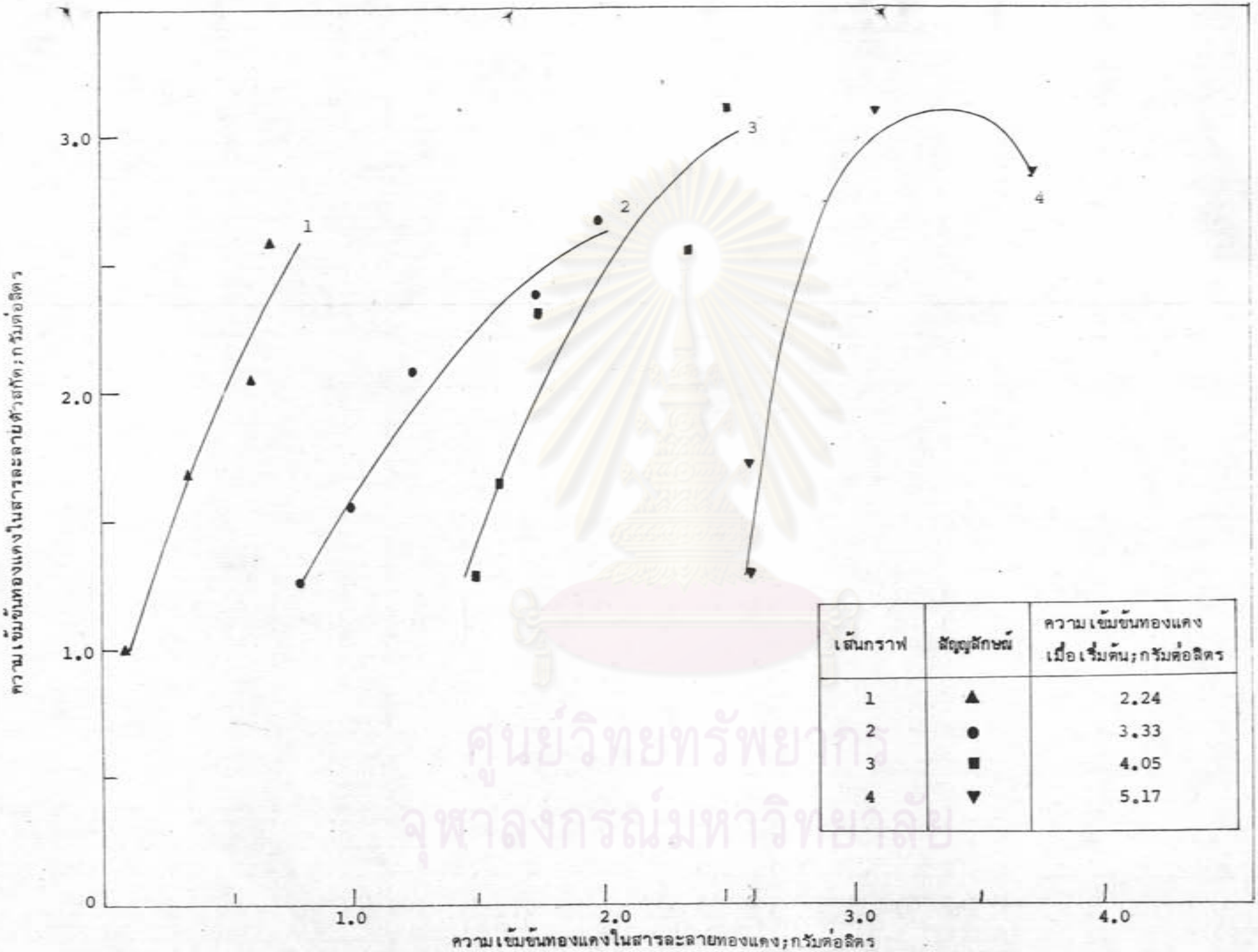
รูปที่ 6.5 ภาวะสมดุลของความเข้มข้นทองแดงในสารละลาย 9.5 % vol LIX64N กับในสารละลายทองแดงซัลเฟต ที่มีสภาพความเป็นกรดเมื่อเริ่มต้นที่ค่า pH เท่ากับ 1.70

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.6 ภาวะสมดุลของความเข้มข้นทองแดงในสารละลาย 15 % vol LIX64N กับในสารละลายทองแดงซัลเฟตที่มีสภาพความเป็นกรดเมื่อเริ่มต้นที่ค่า pH เท่ากับ 1.0

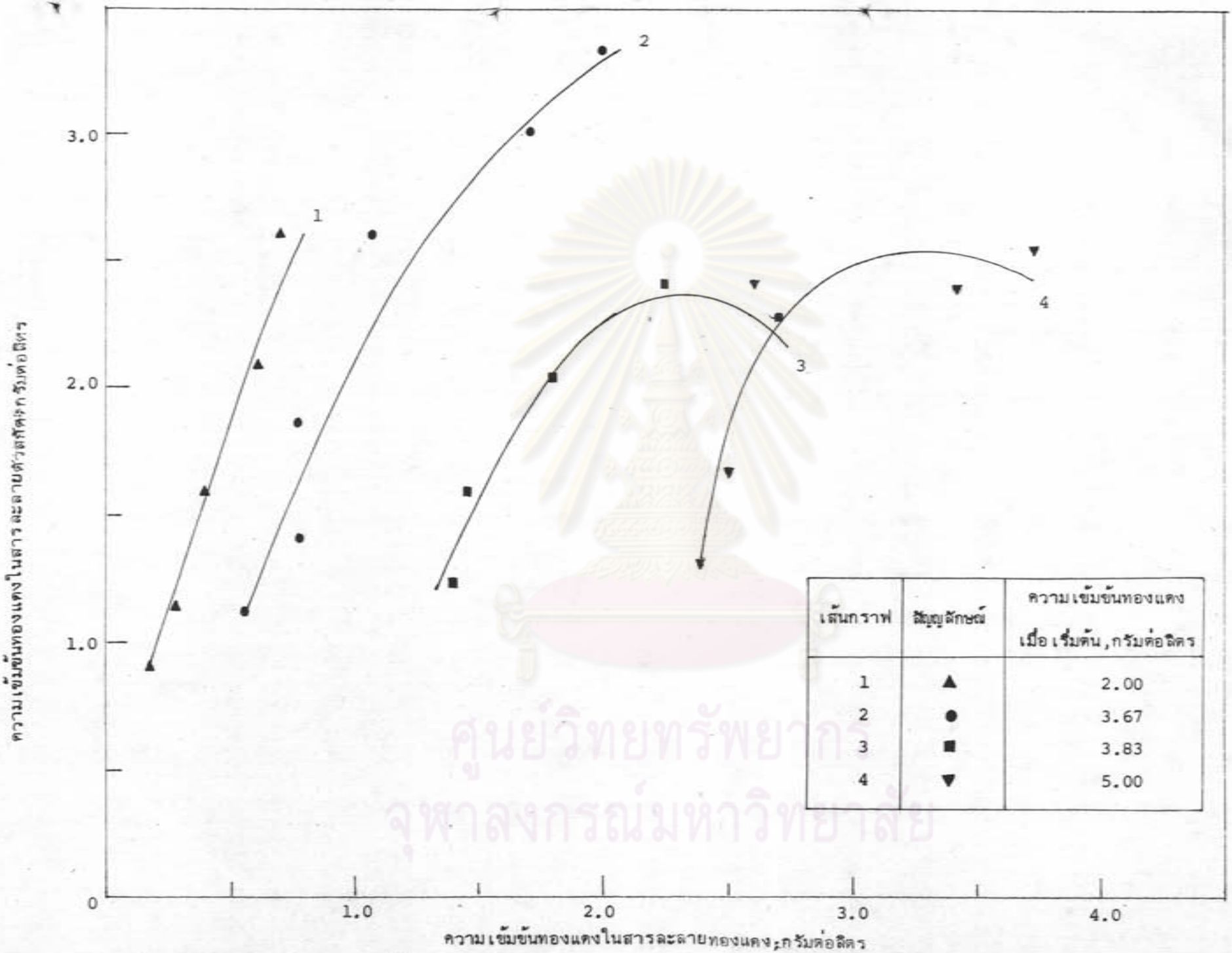
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



เส้นกราฟ	สัญญลักษณ์	ความเข้มข้นทองแดง เมื่อเริ่มต้น; กรัมต่อลิตร
1	▲	2.24
2	●	3.33
3	■	4.05
4	▼	5.17

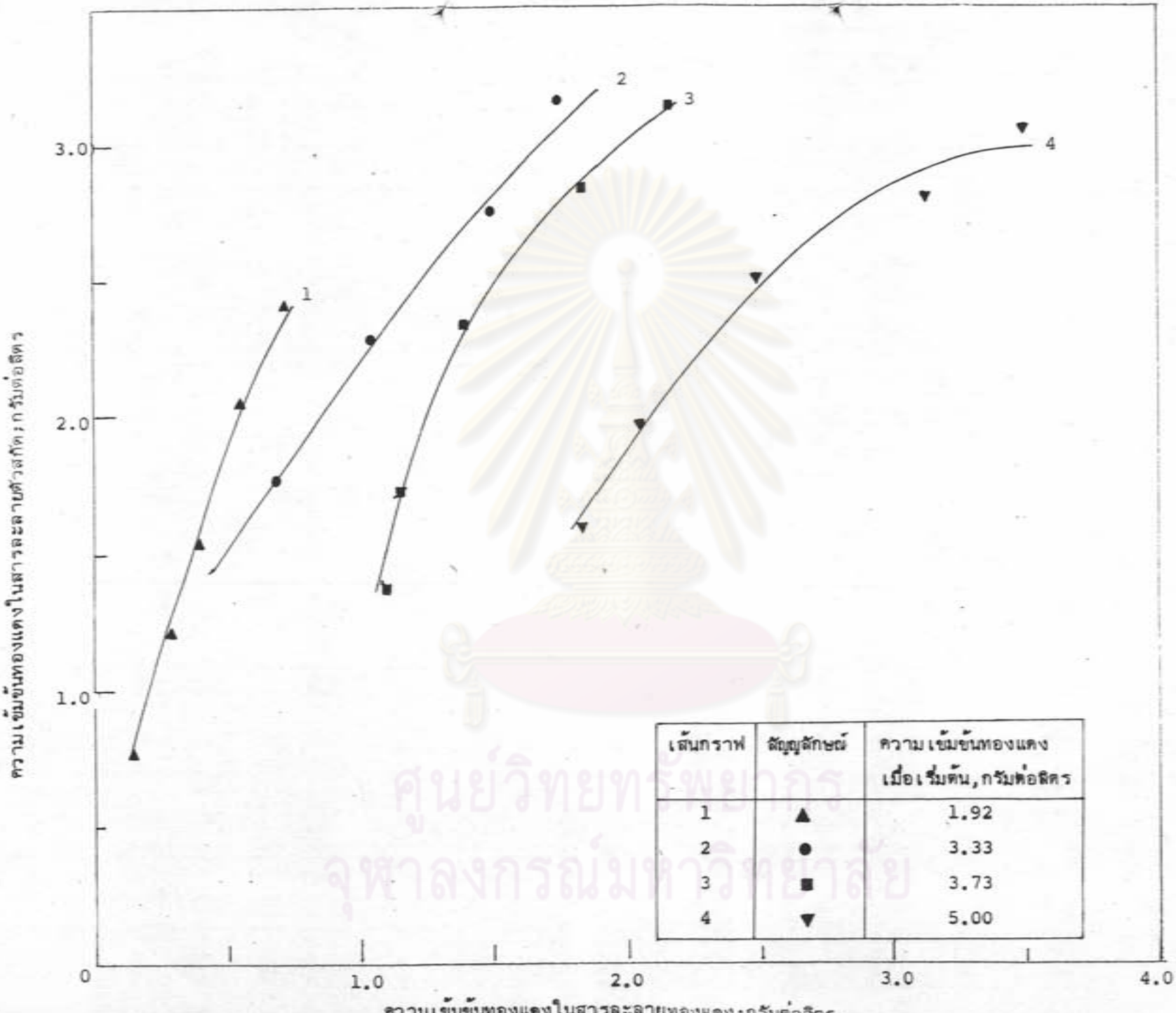
รูปที่ 6.7 ภาวะสมดุลของความเข้มข้นทองแดงในสารละลาย 15% vol LIX 64N กับในสารละลายทองแดงซัลเฟต ที่มีสภาพความเป็นกรดเมื่อเริ่มต้นที่ค่า pH เท่ากับ 1.30

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.8 ภาวะสมดุลของความเข้มข้นทองแดงในสารละลาย 15 % vol LIX64N กับในสารละลายทองแดงซัลเฟตที่มีสภาพความเป็นกรดเมื่อเริ่มต้นมีค่า pH เท่ากับ 1.50

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.9 ภาวะสมดุลของความเข้มข้นทองแดงในสารละลาย 15 % vol LIX64N กับในสารละลายทองแดงซัลเฟตที่มีสภาพความเป็นกรดเมื่อเริ่มต้นที่ค่า pH เท่ากับ 1.70

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 6.10 เปรียบเทียบเส้นกราฟแสดงการจับทองแดงที่ภาวะสมดุลเมื่อมีการใช้ความเข้มข้นของตัวสกัดและความเข้มข้นของทองแดงเมื่อเริ่มต้นให้มีค่าคงที่ที่ค่า ๆ หนึ่ง แต่มีการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารละลายทองแดงเมื่อเริ่มต้น พบว่าเส้นกราฟของสารละลายทองแดงที่มีค่า pH ต่ำจะมีตำแหน่งอยู่ต่ำกว่าเส้นกราฟของการละลายที่มีค่า pH สูง ซึ่งเป็นลักษณะเหมือนกันกับเมื่อมีการใช้สารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้นทองแดงสูง ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการจับทองแดงของตัวสกัด LIX64N จากสารละลายทองแดงที่มีค่า pH ต่ำ จะจับทองแดงได้ลดลงที่ภาวะสมดุล

และจากการพิจารณาลักษณะของเส้นกราฟแสดงภาวะสมดุลของการสกัดทองแดงจะพบว่ามีลักษณะเป็นเส้นโค้งลง และโค้งลงอย่างมากเมื่อใช้สารละลายตัวสกัดกับสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้นทองแดงเมื่อเริ่มต้นสูง หรือเมื่อมีการใช้กับสารละลายทองแดงที่มีค่า pH ต่ำ ดังผลการทดลองในรูปที่ 6.3 และ 6.6 ซึ่งลักษณะของเส้นกราฟที่โค้งลงนี้จะเป็นข้อจำกัดการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดของเครื่องสกัดทองแดง เนื่องจากการเกิดภาวะสมดุลของการสกัดทองแดงเร็วกว่าปกติ

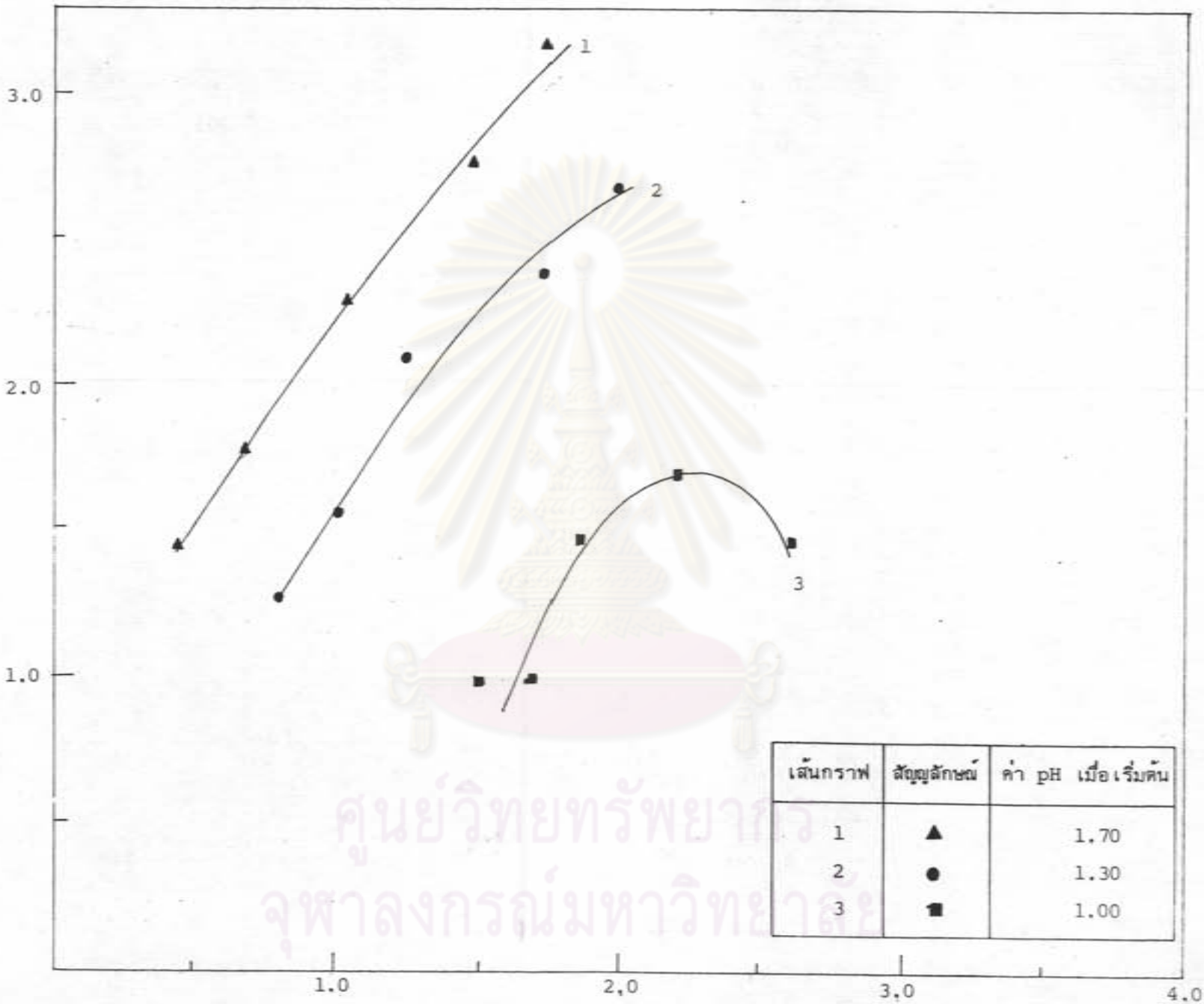
และจากการแสดงเส้นกราฟความเข้มข้นทองแดงของสารละลายที่ภาวะสมดุลเมื่อใช้สารละลายตัวสกัดที่มีความเข้มข้น LIX64N ร้อยละ 9.5 และร้อยละ 15 โดยปริมาตร จะมีประโยชน์ในการนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อเลือกใช้สารละลาย LIX64N ให้เหมาะสมกับสภาพของสารละลายทองแดงและจากการทราบค่าความเข้มข้นทองแดงในสารละลายที่ภาวะสมดุล จะทำให้สามารถกำหนดการทำงานของเครื่องมือ เช่น ความรุนแรงในการกวนสารละลาย และเวลาที่จะใช้กวนสารละลายสองเฟสให้มีการถ่ายเทมวลสารได้มากที่สุด ซึ่งเป็นการถ่ายเทมวลที่ใกล้เคียงกับภาวะสมดุลของการสกัดทองแดง

6.3 <u>การสกัดทองแดงแบบให้สารละลายไหลสวนทางกัน 3 stage</u>

การทดลองสกัดทองแดงแบบให้สารละลายไหลสวนทางกัน 3 stage มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการสกัดทองแดงออกจากสารละลายทองแดง และประสิทธิภาพการทำงานของตัวสกัด โดยประสิทธิภาพทั้งสองนี้มีวิธีการคำนวณ ดังนี้

ประสิทธิภาพการสกัดทองแดง

$$= \frac{\text{ความเข้มข้นทองแดงเมื่อเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นทองแดงหลังการสกัด}}{\text{ความเข้มข้นทองแดงเมื่อเริ่มต้น}} \times 100$$



รูปที่ 6.10 อิทธิพลของค่า pH ของสารละลายทองแดง ที่มีผลต่อความเข้มข้นทองแดงในสารละลายที่ภาวะสมดุล เมื่อใช้สารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้นทองแดงเมื่อเริ่มต้น 3,33 กรัมต่อลิตร และใช้สารละลายตัวสกัด 15 % vol LIX64N

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสิทธิภาพการทำงานของตัวสกัด

$$= \frac{\text{ความเข้มข้นทองแดงในสารละลายตัวสกัดหลังการสกัด}}{\text{ความสามารถจับทองแดงได้สูงสุดของสารละลายตัวสกัด}} \times 100$$

ตารางที่ 6.4 แสดงผลการทดลองสกัดทองแดงแบบให้สารละลายไหลสวนทางกัน 3 stageเมื่อใช้ตัวสกัด LIX64N ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 9.5 โดยปริมาตร และใช้อัตราส่วน O/A เท่ากับ 1/1 และ 2/1 ตามลำดับ ซึ่งจากการพิจารณาผลการทดลองเปลี่ยนแปลงค่า pH เมื่อเริ่มต้นของสารละลายทองแดงตั้งแต่ 0.6 ถึง 1.9 พบว่าการเพิ่มค่า pH จะทำให้ประสิทธิภาพการสกัดทองแดงและประสิทธิภาพการทำงานของตัวสกัดเพิ่มขึ้น

สำหรับการศึกษาอิทธิพลของการเพิ่มอัตราส่วนการใช้ O/A จาก 1/1เพิ่มขึ้นเป็น 2/1พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดทองแดงได้ประมาณร้อยละ 20 ถึง 40 ซึ่งพิจารณาได้จากรูปที่ 6.11 ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพการสกัดทองแดงจะเพิ่มขึ้นก็ตาม ก็ควรพิจารณาประสิทธิภาพการทำงานของตัวสกัดควบคู่กันไปด้วย ซึ่งจากผลการทดลองสกัดทองแดงที่ค่า pH เท่ากับ 1.88 โดยใช้อัตราส่วน O/A เท่ากับ 1/1 พบว่ามีประสิทธิภาพการสกัดทองแดงร้อยละ 75 และมีประสิทธิภาพการทำงานของตัวสกัดร้อยละ 73 แต่เมื่อมีการสกัดทองแดงที่ค่า pH เท่ากับ 1.91 ซึ่งมีค่าเกือบเท่าเดิม โดยใช้อัตราส่วน O/A เพิ่มขึ้นเป็น 2/1พบว่าประสิทธิภาพการสกัดทองแดงเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 97 ในขณะเดียวกันประสิทธิภาพการทำงานของตัวสกัดกลับลดลงเหลือเพียงร้อยละ 52 เท่านั้น แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนการใช้ O/A จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการสกัดทองแดงเพิ่มขึ้น แต่ขณะเดียวกันประสิทธิภาพการทำงานของตัวสกัดกลับลดลง

ตารางที่ 6.5 แสดงผลการทดลองสกัดทองแดงแบบให้สารละลายไหลสวนทางกัน 3 stage เมื่อใช้ตัวสกัด LIX64N ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยปริมาตร ซึ่งจากการพิจารณาผลการทดลองเปลี่ยนแปลงค่า pH เมื่อเริ่มต้นของสารละลายทองแดงตั้งแต่ 0.6 ถึง 1.7 พบว่าการเพิ่มค่า pH จะทำให้ประสิทธิภาพการสกัดทองแดงและประสิทธิภาพการทำงานของตัวสกัดเพิ่มขึ้น

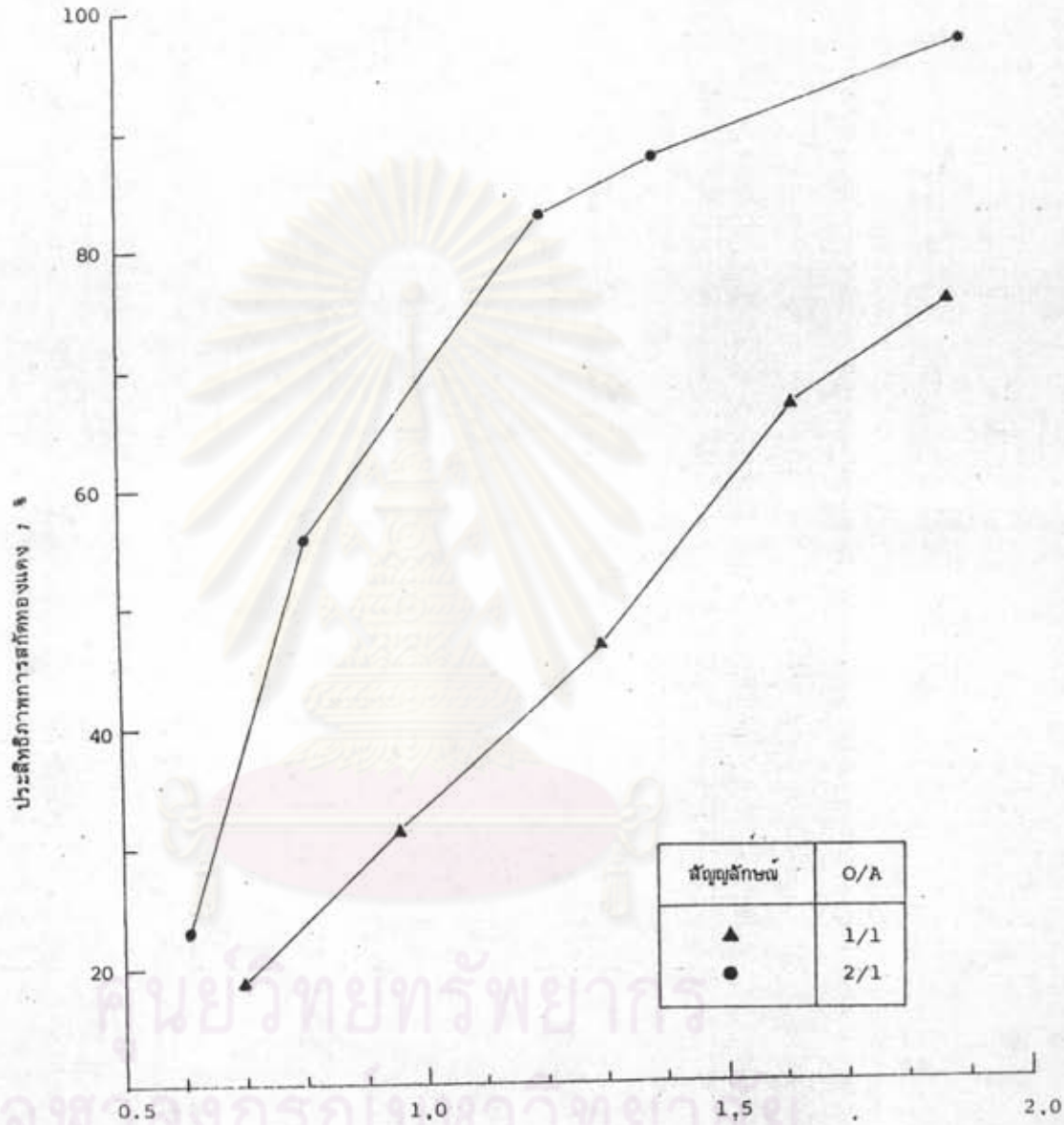
สำหรับการศึกษาอิทธิพลของการเพิ่มอัตราส่วนการใช้ O/A จาก 1/1 เพิ่มขึ้นเป็น 2/1 พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดทองแดงได้ประมาณร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 17 ซึ่งพิจารณาได้จากรูปที่ 6.12 ผลการทดลองสกัดทองแดงที่ค่า pH เท่ากับ 1.70 โดยใช้อัตราส่วน O/A เท่ากับ 1/1 พบว่ามีประสิทธิภาพการสกัดทองแดงร้อยละ 91 และมีประสิทธิภาพการทำงานของตัวสกัดร้อยละ 61 แต่เมื่อมีการสกัดทองแดงโดยใช้อัตราส่วน O/A เพิ่มขึ้นเป็น 2/1 พบว่าประสิทธิภาพการ

ตารางที่ 6.4 แสดงผลการทดลองการสกัดทองแดงแบบให้สารละลายไหลสวนทางกัน 3 stage ของสารละลาย 9.5 % vol LIX64N

สารละลายตัวสกัด (% vol LIX64N)	อัตราส่วนการใช้ O/A	สารละลายทองแดงเมื่อเริ่มต้น			สารละลายทองแดงหลังการสกัด			สารละลายตัวสกัดหลังการสกัดทองแดง (กรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพการทำงานของตัวสกัด (%)	ประสิทธิภาพการสกัดทองแดง (%)
		ทองแดง (กรัมต่อลิตร)	เหล็ก (กรัมต่อลิตร)	pH	ทองแดง (กรัมต่อลิตร)	เหล็ก (กรัมต่อลิตร)	pH			
9.5	1/1	3.20	3.40	0.70	2.60	3.40	0.65	0.58	16.48	18.75
9.5	1/1	3.80	3.75	0.96	2.60	3.75	0.91	0.98	27.84	31.58
9.5	1/1	3.10	3.00	1.30	1.65	3.00	1.11	1.68	67.73	46.77
9.5	1/1	3.20	3.00	1.62	1.06	3.00	1.23	2.68	59.09	66.88
9.5	1/1	3.50	3.15	1.88	0.87	3.15	1.39	2.58	73.30	75.14
9.5	2/1	2.62	2.85	0.61	2.02	2.85	0.60	0.26	7.39	22.90
9.5	2/1	2.88	3.02	0.81	1.28	3.02	0.75	0.80	22.73	55.56
9.5	2/1	2.78	3.22	1.20	0.48	3.22	1.09	0.90	25.56	82.73
9.5	2/1	2.88	3.30	1.40	0.35	3.30	1.32	1.32	37.50	87.85
9.5	2/1	2.92	3.28	1.91	0.08	3.28	1.65	1.84	52.27	97.26

หมายเหตุ ความสามารถจับทองแดงได้สูงสุดของสารละลายตัวสกัด LIX64N เข้มข้นร้อยละ 9.5 โดยปริมาตร มีค่าเท่ากับ 3.52 กรัมต่อลิตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.11 อิทธิพลของ pH ของสารละลายทองแดงและอัตราส่วนการใช้สารละลาย 9.5 % vol LIX64N ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดทองแดง เมื่อใช้เครื่องสกัดแบบให้สารละลายไหลสวนทางกัน 3 stage

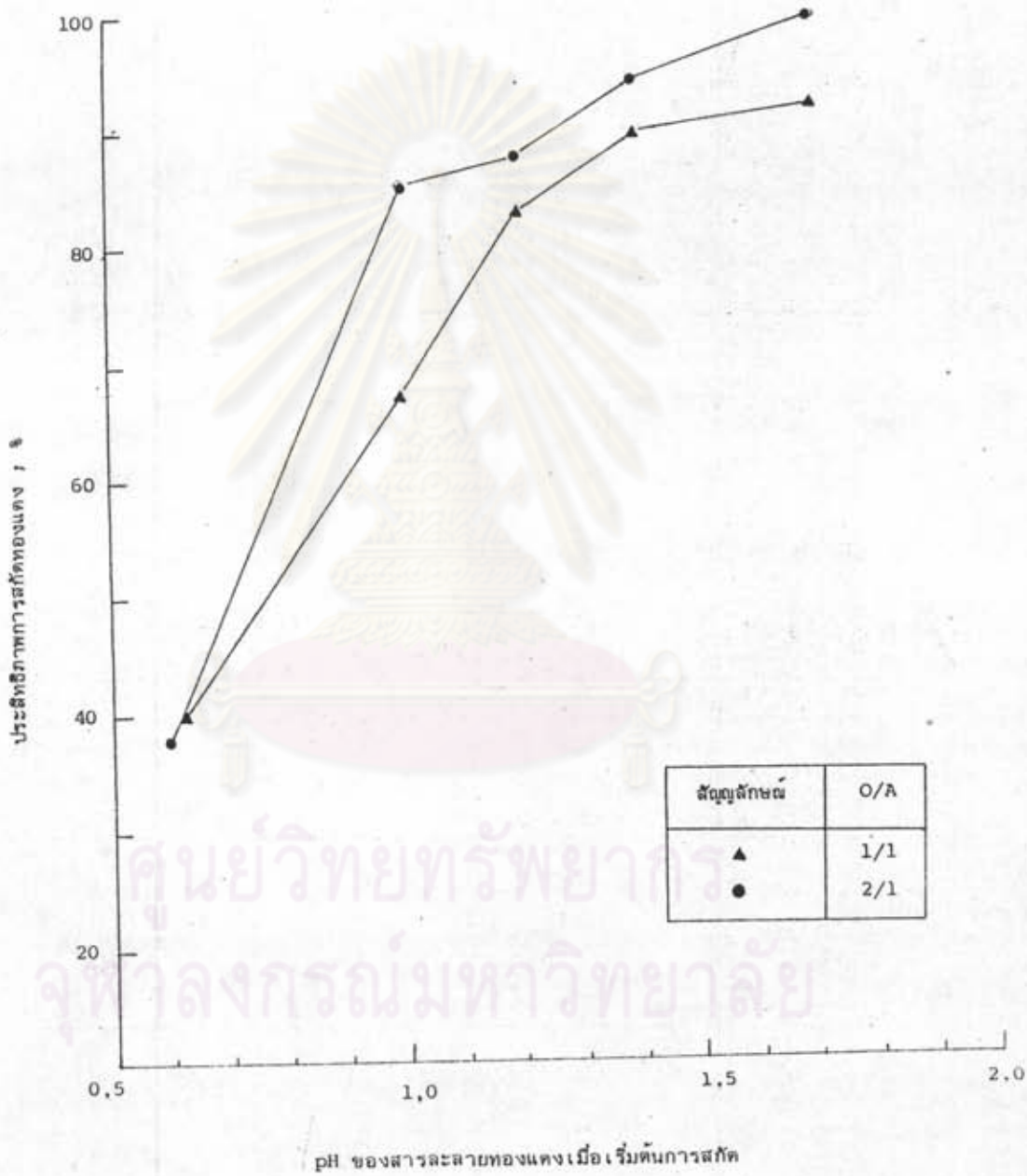
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.5 แสดงผลการทดลอง การสกัดทองแดงแบบให้สารละลายไหลสวนทางกัน 3 stage ของสารละลาย 15 % Vol LIX64N

สารละลาย LIX64N (% vol)	อัตราส่วนการใช้ O/A	สารละลายทองแดงเมื่อเริ่มต้น			สารละลายทองแดงหลังการสกัด			สารละลายตัวสกัดหลังการสกัดทองแดง (กรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพการทำงานของตัวสกัด (%)	ประสิทธิภาพการสกัดทองแดง (%)
		ทองแดง (กรัมต่อลิตร)	เหล็ก (กรัมต่อลิตร)	pH	ทองแดง (กรัมต่อลิตร)	เหล็ก (กรัมต่อลิตร)	pH			
15	1/1	2.95	3.70	0.62	1.80	3.70	0.61	0.56	10.28	38.98
15	1/1	2.90	3.35	1.00	0.95	3.35	0.98	1.48	27.16	67.24
15	1/1	3.05	3.35	1.20	0.60	3.35	1.05	1.92	35.23	80.33
15	1/1	3.12	3.15	1.40	0.33	3.15	1.20	2.50	45.87	89.42
15	1/1	2.70	3.10	1.70	0.22	3.10	1.20	3.36	61.65	91.85
15	2/1	3.12	2.90	0.60	1.95	2.90	0.57	0.36	6.61	37.50
15	2/1	3.05	2.90	1.02	0.45	2.90	1.00	1.20	22.02	85.25
15	2/1	3.25	2.90	1.20	0.40	2.90	1.07	1.26	23.12	87.69
15	2/1	3.12	2.90	1.40	0.18	2.90	1,17	1.36	24.95	99.23
15	2/1	3.05	2.90	1.70	0.02	2.90	1.40	1.44	26.42	99.34

หมายเหตุ ความสามารถจับทองแดงได้สูงสุดสารละลาย LIX64N เข้มข้นร้อยละ 15 โดยปริมาตร มีค่าเท่ากับ 5.45 กรัมต่อลิตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.12 อิทธิพลของ pH ของสารละลายทองแดง และอัตราส่วนการใช้ 15 % vol LIX64N ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดทองแดง เมื่อใช้เครื่องสกัดแบบให้สารละลายสวนทางกัน 3 stage

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การสกัดทองแดง เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 99 แต่ประสิทธิภาพการทำงานของตัวสกัดกลับลดลง เหลือเพียงร้อยละ 26 เท่านั้น แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วน O/A จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการสกัดทองแดงเพิ่มขึ้นแต่ขณะเดียวกันประสิทธิภาพการทำงานของตัวสกัดกลับลดลง ซึ่งผลดังกล่าวนี้เหมือนกับกรณีที่ใช้ความเข้มข้นของ LIX ร้อยละ 9.5 โดยปริมาตร

นอกจากนี้ในการทดลองสกัดทองแดงแบบให้สารละลายไหลสวนทางกัน 3 stage ยังได้พิจารณาการเลือกจับเฉพาะทองแดงออกจากสารละลายที่มีเหล็กเจือปนด้วย ซึ่งพิจารณาได้จากการสกัดทองแดงจากสารละลายทองแดงที่มีเหล็กเจือปน พบว่าความเข้มข้นของเหล็กในสารละลายภายหลังมีการสกัดทองแดงออกไปแล้ว จะมีค่าเท่ากับความเข้มข้นของเหล็กในสารละลายเมื่อเริ่มต้น แสดงให้เห็นว่าตัวสกัด LIX64N จะไม่จับเหล็ก ในสภาพการใช้สารละลายในการทดลองนี้

สำหรับการพิจารณาเพื่อนำเอาตัวสกัด LIX64N ไปใช้ให้เหมาะสมกับสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้นทองแดงประมาณ 3 กรัมต่อลิตร และมีค่า pH ประมาณ 1.9 นั้น เมื่อใช้สารละลาย LIX64N ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยปริมาตร และใช้อัตราส่วน O/A เท่ากับ 1/1 พบว่าสามารถทำการสกัดทองแดงที่ค่า pH เท่ากับ 1.7 โดยมีประสิทธิภาพการสกัดทองแดงร้อยละ 91 และมีประสิทธิภาพการทำงานของตัวสกัดร้อยละ 61 และเมื่อใช้สารละลาย LIX64N ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 9.5 โดยใช้อัตราส่วน O/A เท่ากับ 2/1 พบว่าสามารถสกัดทองแดงที่ค่า pH เท่ากับ 1.9 โดยมีประสิทธิภาพการสกัดร้อยละ 97 และมีประสิทธิภาพการทำงานของตัวสกัดร้อยละ 52 จากการพิจารณาผลการสกัดทองแดงดังกล่าว เห็นได้ว่าการสกัดทองแดงอาจเลือกใช้วิธีการได้ 2 ลักษณะคือ การใช้สารละลายตัวสกัดที่มีความเข้มข้น LIX64N ร้อยละ 15 ทำการสกัดที่อัตราส่วน O/A เท่ากับ 1/1 หรือจะใช้สารละลายตัวสกัดที่มีความเข้มข้นลดลงเหลือร้อยละ 9.5 แต่ใช้อัตราส่วน O/A เพิ่มขึ้นเป็น 2/1 ก็จะสามารถทำการสกัดสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้นประมาณ 3 กรัมต่อลิตร และมีค่า pH ประมาณ 1.9 ให้ได้ประสิทธิภาพการสกัดทองแดงมากกว่าร้อยละ 90 และมีประสิทธิภาพการทำงานของตัวสกัดมากกว่าร้อยละ 50 ซึ่งเป็นลักษณะของการสกัดทองแดงที่มีประสิทธิภาพการสกัดทองแดงที่ค่อนข้างสูง ในขณะที่มีประสิทธิภาพการทำงานของตัวสกัดที่ค่อนข้างสูงเช่นกัน

ดังนั้นเห็นได้ว่าการปรับปรุงการสกัดทองแดงให้ได้ผลดีขึ้นนั้น อาจใช้วิธีการเพิ่มความเข้มข้นของ LIX64N ในสารละลายตัวสกัด หรืออาจใช้วิธีการเพิ่มอัตราส่วนการใช้ O/A ให้มากขึ้น

ก็จะได้ผลทำให้ประสิทธิภาพการสกัดทองแดงเพิ่มขึ้นเช่นกัน

6.4 การสกัดทองแดงโดยใช้เครื่องสกัดแบบคอลัมน์ RDC

6.4.1 ค่าความจุของคอลัมน์

ตารางที่ 6.6 แสดงผลการทดลองการหาอัตราการไหลเข้าสู่คอลัมน์ของน้ำมันก๊าดและน้ำขณะเกิดการ flooding เมื่อใช้ความเร็วรอบใบพัดกวน 420 รอบต่อนาที และ 770 รอบต่อนาทีพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำให้มากขึ้น อัตราการไหลของน้ำมันก๊าดที่จะทำให้เกิดการ flooding มีค่าลดลง ดังได้แสดงในรูปที่ 6.13 และจากการพิจารณาค่าความจุของคอลัมน์ซึ่งแสดงในรูปผลรวมของอัตราการไหลเข้าสู่คอลัมน์ของน้ำและน้ำมันก๊าด ($Q_c + Q_d$) ซึ่งมีผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 6.6 พบว่าค่าความจุของคอลัมน์ที่อัตราส่วนการไหลของน้ำมันก๊าดต่อน้ำเป็น 1 ต่อ 1 และความเร็วรอบใบพัดกวน 420 รอบต่อนาทีมีค่าความจุของคอลัมน์เท่ากับ 635 มิลลิลิตรต่อนาที และเมื่อความเร็วรอบใบพัดกวนเพิ่มขึ้นเป็น 770 รอบต่อนาที ค่าความจุของคอลัมน์จะลดลงเหลือ 525 มิลลิลิตรต่อนาที แสดงให้เห็นว่าถ้าความเร็วรอบใบพัดกวนเพิ่มขึ้นค่าความจุของคอลัมน์จะลดลง

ตารางที่ 6.7 แสดงผลการคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำมันก๊าดและน้ำขณะเกิดการ flooding และค่าความจุของคอลัมน์โดยการคำนวณหาจากสมการของ Logsdail และคณะ (1957) ซึ่งเมื่อเทียบค่าที่ได้จากการทดลองเมื่อใช้อัตราเร็วรอบใบพัดกวน 420 รอบต่อนาที และ 770 รอบต่อนาทีเห็นได้ว่าอัตราการไหลของน้ำและน้ำมันก๊าดที่ได้จากการทดลองจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณประมาณร้อยละ 300 ที่ความเร็วรอบใบพัดกวน 420 รอบต่อนาที และแตกต่างน้อยกว่าประมาณร้อยละ 20 ที่ความเร็วรอบใบพัดกวน 770 รอบต่อนาที

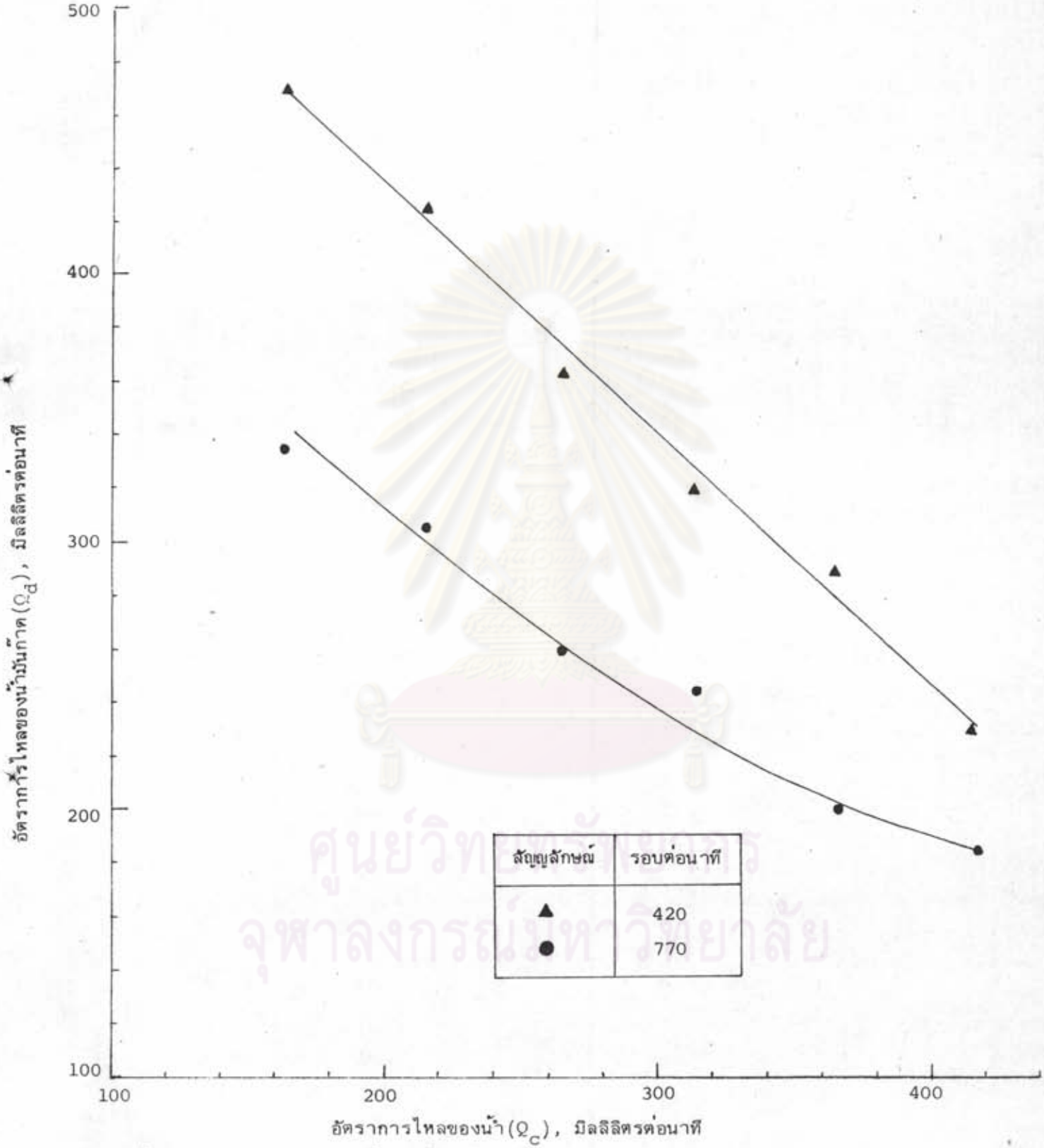
6.4.2 ประสิทธิภาพการสกัดทองแดง

ตารางที่ 6.8 และรูปที่ 6.14 แสดงประสิทธิภาพการสกัดทองแดงในคอลัมน์ RDC ที่ความเร็วรอบใบพัดกวน 770 รอบต่อนาที โดยใช้สารละลายตัวสกัด LIX64N ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยปริมาตรและมีค่าผลรวมอัตราการไหลเข้าสู่คอลัมน์ของสารละลายตัวสกัดและสารละลายทองแดงคิดเทียบกับค่าความจุของคอลัมน์มีค่าประมาณร้อยละ 60 ของค่าความจุคอลัมน์เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการ flooding ในขณะทำการสกัดทองแดง และทำการกวนสารละลายด้วยความเร็วรอบใบพัดกวน 770 รอบต่อนาที ซึ่งคิดเป็นความเร็วที่ 1.7 เท่าของความเร็วรอบใบพัดกวนวิกฤต (ภาคผนวก จ) เพื่อให้เป็นความเร็วรอบใบพัดกวนที่มีความรุนแรงพอที่จะกวนให้สารละลายแตกตัวเป็นหยดเล็ก ๆ

ตารางที่ 6.6 ผลการทดลองการหาค่าความจุของคอลัมน์ของเครื่องสกัดแบบ RDC

อัตราเร็วรอบใบพัดกวน (รอบต่อนาที)	อัตราการไหลของสารละลายเฟสต่อเนื่อง, Q_c (มิลลิลิตรต่อนาที)	อัตราการไหลของสารละลายเฟสกระจาย, Q_d (มิลลิลิตรต่อนาที)	อัตราส่วน Q_d/Q_c	ความจุของคอลัมน์ $Q_c + Q_d$ (มิลลิลิตรต่อนาที)
420	165	470	2.85	635
	215	425	1.98	640
	265	363	1.37	628
	315	320	1.02	635
	365	290	0.80	655
	415	230	0.55	645
770	165	335	2.03	500
	215	305	1.42	520
	265	260	0.98	525
	315	245	0.78	560
	365	200	0.55	565
	415	185	0.45	600

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๖.13 อัตราการไหลของน้ำและน้ำมันก๊าดที่ไหลเข้าสู่คอลัมน์ RDC ขณะเกิดการ flooding

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.7 ผลการคำนวณหาค่าความจุของคอลัมน์ RDC โดยใช้สมการของ Logsdail และคณะ (1957)

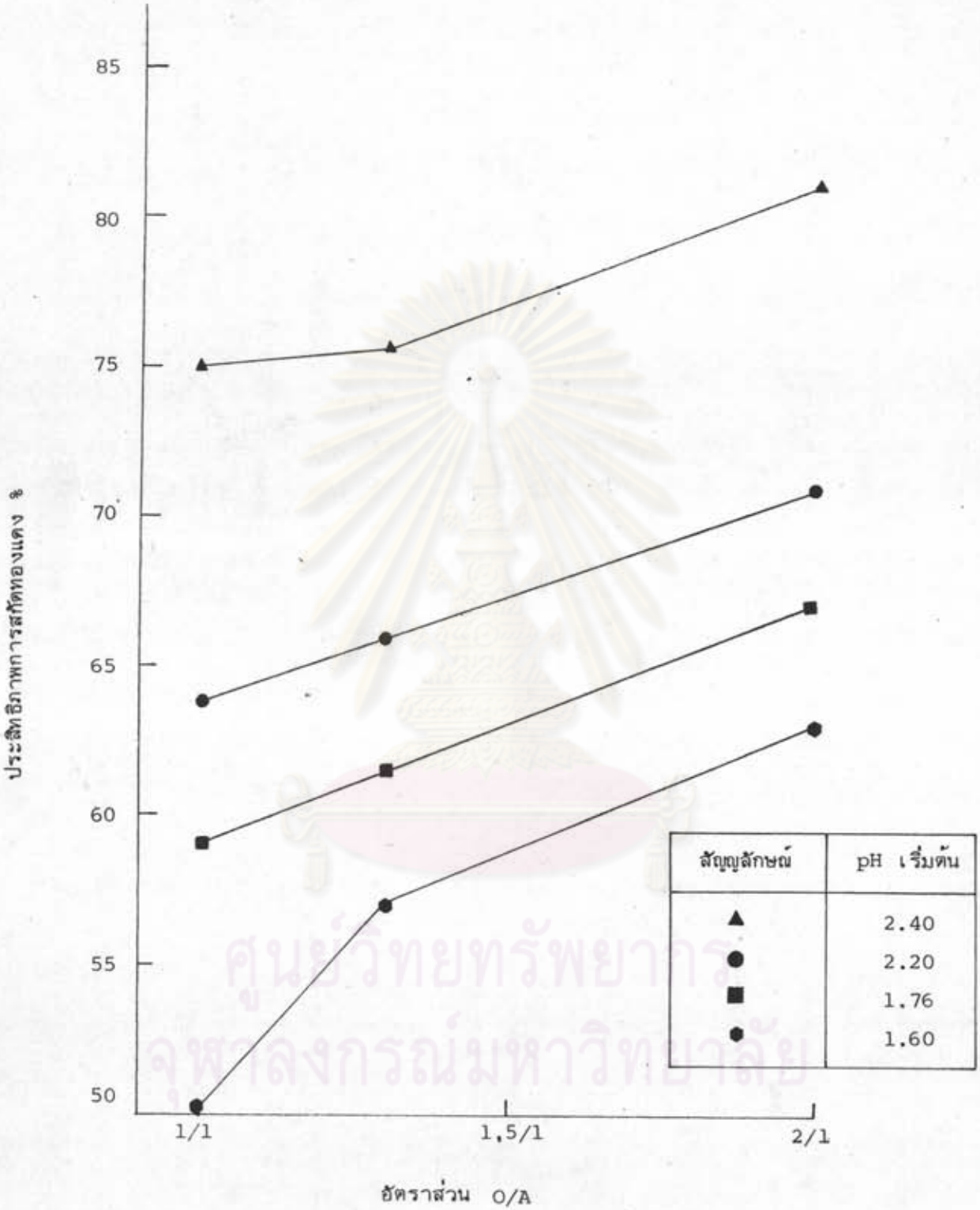
ความเร็วรอบใบพัดกวน (รอบต่อนาที)	อัตราการไหลของน้ำ (มิลลิลิตรต่อนาที)	อัตราการไหลน้ำมันก๊าดค่าจากการคำนวณ (มิลลิลิตรต่อนาที)	อัตราการไหลน้ำมันก๊าด ค่าจากผลการทดลอง (มิลลิลิตรต่อนาที)	ความจุของคอลัมน์ค่าจากการคำนวณ (มิลลิลิตรต่อนาที)	ความจุของคอลัมน์ค่าจากผลการทดลอง (มิลลิลิตรต่อนาที)
420	165	1941	470	2106	635
	215	1882	425	2097	640
	265	1812	363	2077	628
	315	1756	320	2071	635
	365	1694	290	2059	655
	415	1663	230	2078	645
770	165	505	335	670	500
	215	475	305	690	520
	265	435	760	700	525
	315	416	245	731	560
	365	386	200	751	565
	415	424	185	787	600

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.8 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพการสกัดทองแดงโดยใช้เครื่องสกัดแบบคอลัมน์ RDC

ความเข้มข้นตัวสกัด LIX64N (ร้อยละโดยปริมาตร)	อัตราส่วนการใช้สารละลายตัวสกัดต่อสารละลายทองแดง (O/A)	อัตราการไหลสารละลาย (ร้อยละของค่าความจุของคอลัมน์	สารละลายทองแดงเมื่อเริ่มต้น		สารละลายทองแดงหลังการสกัด		ประสิทธิภาพการสกัด (ร้อยละ)
			ทองแดง (กรัมต่อลิตร)	pH	ทองแดง (กรัมต่อลิตร)	pH	
15	1/1	67	3.22	1.60	1.61	1.37	50.00
15	1.3/1	63	3.22	1.60	1.36	1.37	57.76
15	2/1	59	3.22	1.60	1.17	1.33	63.66
15	1/1	67	4.27	1.76	1.75	1.45	59.02
15	1.3/1	63	4.27	1.76	1.65	1.40	61.39
15	2/1	59	4.27	1.76	1.40	1.37	67.21
15	1/1	67	3.34	2.20	1.21	1.75	63.77
15	1.3/1	63	3.34	2.20	1.14	1.73	65.87
15	2/1	59	3.34	2.20	0.97	1.67	70.96
15	1/1	67	4.10	2.40	1.02	1.62	75.12
15	1.3/1	63	4.10	2.40	1.00	1.59	75.61
15	2/1	59	4.10	2.40	0.78	1.55	80.98

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6. 14 อิทธิพลของ pH ของสารละลายทองแดง และอัตราส่วนการใช้สารละลาย 15 % vol LIX64N (O/A) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดทองแดงของเครื่องสกัดแบบคอลัมน์ RDC ที่มีความเร็วรอบใบพัดกวน 770 รอบต่อนาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการทดลองเมื่อทำการสกัดโดยใช้สารละลายทองแดงที่ค่า pH เท่ากับ 1.6 และมีอัตราส่วนการใช้ O/A เท่ากับ 1/1 จะมีประสิทธิภาพการสกัดทองแดงได้เพียงร้อยละ 50 การปรับปรุงประสิทธิภาพการสกัดทองแดงให้เพิ่มขึ้นมากกว่านี้ถ้าทำโดยการเพิ่มอัตราส่วนการใช้ O/A เป็น 2/1 จะให้ประสิทธิภาพการสกัดทองแดงเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 50 เป็นร้อยละ 63 หรือการเพิ่มค่า pH เป็น 2.4 จะทำให้ประสิทธิภาพการสกัดเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 50 เป็นร้อยละ 75 จะเห็นได้ว่าการปรับปรุงประสิทธิภาพการสกัดทองแดงโดยวิธีเพิ่มค่าอัตราส่วน O/A หรือค่า pH อย่างใดอย่างหนึ่งยังไม่อาจทำให้ประสิทธิภาพการสกัดทองแดงของคอลัมน์เพิ่มขึ้นไม่มากพอกับความต้องการ ดังนั้นการปรับปรุงประสิทธิภาพการสกัดทองแดงโดยเพิ่มอัตราส่วน O/A จาก 1/1 เป็น 2/1 พร้อมทั้งเพิ่มค่า pH จาก 1.6 เป็น 2.4 ควบคู่กันไปจะทำให้ประสิทธิภาพการสกัดทองแดงของคอลัมน์ RDC มีค่าสูงถึงร้อยละ 80 ซึ่งเป็นค่าประสิทธิภาพการสกัดทองแดงที่ค่อนข้างสูงพอสมควร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย