

การผลิตทองแดงจากแร่ทองแดงเปอร์เซนต์ดำ

โดยกรรมวิธีทางไฮโดรเมทัลลอย



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2526


ISBN 974-562-556-6

007896

18191600

COPPER PRODUCTION FROM LOW GRADE COPPER ORE

BY HYDROMETALLURGY PROCESS



MR. ANUGOON WATTHANASUK

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1983

ISBN 974-562-556-6







Thesis Title      Copper Production from Low Grade Copper Ore by  
Hydrometallurgy Process  
Name                Mr. Anugoon Watthanasuk  
Thesis Advisor    Lursuang Mekasut, Dr. Ing  
Department        Chemical Technology  
Academic           1983



ABSTRACT

The extraction of copper from aqueous solution using the extractant LIX64N in kerosene diluent has been studied. The experimental work consists of determination of maximum loading capacity, equilibrium condition, 3 ideal stage countercurrent extraction and the extraction of copper in an RDC column

The experimental results show that the value of maximum loading capacity is about 0.39 g/l based on 1 % by volume of the extractant. The equilibrium curves have been altered by initial concentration as well as pH of aqueous copper solution. The result obtained from 3 ideal stage countercurrent extraction by varying concentration (9.5 and 15 % by volume), pH (0.6 to 1.9) and organic to aqueous phase ratio (O/A : 1/1 and 2/1) shows that the extraction efficiency can reach the value as high as 99 %. In the extraction of copper in an RDC operating at 770 rpm using the extractant concentration of 15 % by volume, the maximum extraction efficiency was found to be about 81 % at the values of O/A and pH equal to 2/1 and 2.40, respectively.



กิติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ท่านอาจารย์เลอสรวง เมขสุด ที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือ  
ทางด้านวิชาการเป็นอย่างดี

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คุณประโชติ สุวรรณรัฐ คุณไพสิน วีโรทัย ที่ให้ความช่วย  
เหลือในด้านการใช้เครื่องมือและห้องปฏิบัติการของกองโลหกรรม กรมทรัพยากรธรณี

ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณภัทรารมย์ สุมันตกุล ที่ช่วยให้กำลังใจเพื่อทำงาน จนสำเร็จ  
ลุล่วงด้วยดี

ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณกรรณิกา ชูปัญญา คุณสุนทรพย์ คงจันทร์ และคุณพันทิภา  
อัคเดชเดชาพาณิชย์ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการพิมพ์และขอขอบคุณที่ ๆ นื่อง ๆ ทุกคนที่  
ให้ความช่วยเหลือต่าง ๆ ในการทำวิจัยนี้

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณพ่อและแม่ ที่คอยให้กำลังใจ และสนับสนุนให้ทำงานวิจัยนี้  
มาโดยตลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





บทคัดย่อภาษาไทย..... ง  
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ  
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ  
รายการตารางประกอบ..... ญ  
รายการรูปประกอบ..... ฎ

บทที่

1. กรรมวิธีการแยกทองแดงจากแร่ทองแดงโดยวิธีทางไฮโดรเมทัลลurgy..... 1  
1.1 บทนำ..... 1  
1.2 ขั้นตอนการผลิตทองแดงด้วยวิธีทางไฮโดรเมทัลลurgy..... 1  
1.3 การละลายแร่ด้วยกรด..... 2  
1.4 การทำสารละลายทองแดงให้บริสุทธิ์โดยวิธีสกัดทองแดงด้วยตัวสกัด... 5  
1.5 เทคนิคการผลิตทองแดงในโรงงานที่ใช้วิธีสกัดทองแดงด้วยตัวสกัด.... 7  
2. ชนิดของตัวสกัดและตัวทำละลาย..... 11  
2.1 ชนิดของตัวสกัด LIX..... 11  
2.2 คุณสมบัติในการทำงานของตัวสกัด..... 13  
2.3 คุณสมบัติของdiluent ที่ใช้ละลายตัวสกัด..... 14  
2.4 ประเภทของ diluent และชื่อทางการค้า..... 20  
3. ภาวะสมดุลและจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาการสกัดทองแดง..... 22  
3.1 การศึกษาภาวะสมดุลของปฏิกิริยาการสกัดทองแดง..... 22  
3.2 การศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาการสกัดทองแดง..... 29  
4. เครื่องสกัดแบบคอลัมน์ RDC..... 33  
4.1 ลักษณะและการทำงานของคอลัมน์ RDC..... 33  
4.2 ค่าความจุของคอลัมน์ RDC..... 34  
4.3 การถ่ายเทมวลสารในคอลัมน์แบบ RDC..... 38  
5. การดำเนินการทดลอง เครื่องมือและวิธีการทดลอง..... 44



5.1	ขอบเขตการวิจัย การดำเนินการวิจัย และประโยชน์ที่จะได้รับ.....	44
5.2	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	46
5.3	วิธีทดลอง.....	47
6.	ผลการทดลองและวิจารณ์.....	54
6.1	ความสามารถจับทองแดงไว้ได้สูงสุดของตัวสักรัด LIX64N.....	54
6.2	การหาภาวะสมดุลของปฏิกิริยาการสกัดทองแดง.....	58
6.3	การสกัดทองแดงแบบให้สารละลายไหลสวนทางกัน 3 stage....	68
6.4	การสกัดทองแดงโดยใช้เครื่องสกัดแบบคอลัมน์ RDC.....	76
7.	สรุปและเสนอแนะ.....	83
	เอกสารอ้างอิง.....	86
	ภาคผนวก.....	91
	ก. ผลการทดลองหาความสามารถจับทองแดงไว้ได้สูงสุดของตัวสักรัด LIX64N	91
	ข. ผลการทดลองหาภาวะสมดุลของปฏิกิริยาการสกัดทองแดง.....	93
	ค. ผลการทดลองการสกัดทองแดงแบบให้สารละลายไหลสวนทางกัน	
	3 stage .....	101
	ง. ผลการทดลองการสกัดทองแดงโดยใช้เครื่องสกัดแบบคอลัมน์ RDC.....	122
	จ. ตัวอย่างการคำนวณค่าความเร็วรอบใบพัดกวนวิกฤต และความจุของ	
	คอลัมน์ RDC.....	135
	ประวัติ.....	141

ศูนย์วิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รายงานการดำเนินงานประจำปี 2564



ตารางที่		หน้า
1.1	รายละเอียดกรรมวิธีการผลิตทองแดงของโรงงานที่ใช้วิธีสกัดทองแดงด้วยตัวสกัด	9
1.2	รายละเอียดการแยกทองแดงด้วยไฟฟ้าจากสารละลายทองแดงซัลเฟตที่ได้จากการสกัดทองแดงด้วยตัวสกัด	10
2.1	ชนิดและโครงสร้างทางเคมีของตัวสกัด LIX Reagent	11
2.2	ความสามารถจับประจุทองแดงไว้ได้สูงสุดของตัวสกัด LIX ชนิดต่าง ๆ ต่อการใช้สารละลายตัวสกัดที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตรละลายใน xylene	13
2.3	ผลของปริมาณ aromatic hydrocarbon ใน diluent ที่มีต่อจุดอิ่มตัวในการละลายตัวสกัด LIX64N	16
2.4	ค่า pH ของสารละลายทองแดงที่ตัวสกัดสามารถสกัดทองแดงออกได้ร้อยละ 50 เมื่อใช้ตัวสกัดละลายใน diluent ชนิดต่าง ๆ กัน	18
2.5	ผลของปริมาณ aromatic hydrocarbon ใน diluent ที่มีต่อคุณสมบัติของ diluent และการทำงานของตัวสกัด	19
2.6	ประเภทของ commercial diluent ชื่อทางการค้าและบริษัทผู้จัดจำหน่าย	20
6.1	ผลการทดลองหาความสามารถจับทองแดงไว้ได้สูงสุดของสารละลาย LIX64N	56
6.2	ผลการทดลองหาความสามารถจับทองแดงไว้ได้สูงสุดเมื่อคิดเทียบเป็นการใช้ตัวสกัด LIX64N ร้อยละ 1 โดยปริมาตร	56
6.3	ผลการทดลองหาความเข้มข้นของ LIX64N (% volume) ที่มีความสามารถจับทองแดงได้มากกว่าร้อยละ 10 ของค่าความเข้มข้นของทองแดงที่ต้องการสกัด	59

ตารางที่



- |     |   |    |
|-----|---|----|
| 6.4 | ผลการทดลองการสกัดทองแดงแบบสารละลายไหลสวนทางกัน 3 stage ของสารละลาย 9.5 % vol LIX64N       | 71 |
| 6.5 | ผลการทดลองการสกัดทองแดงแบบสารละลายไหลสวนทางกัน 3 stage ของสารละลาย 15 % vol LIX64N        | 73 |
| 6.6 | ผลการทดลองการหาค่าความจุของคอสมันของเครื่องสกัดแบบ RDC                                    | 77 |
| 6.7 | ผลการคำนวณหาค่าความจุของคอสมันของเครื่องสกัดแบบ RDC โดยใช้สมการของ Logsdail และคณะ (1957) | 79 |
| 6.8 | ผลการทดลองหาประสิทธิภาพการสกัดทองแดงโดยใช้เครื่องสกัดแบบคอสมัน RDC                        | 80 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รายการประกอบ

รูปที่		หน้า
1.1	ขั้นตอนการทำเหมืองการผลิตทองแดงจากแร่ทองแดง เกรตดำ โดยกรรมวิธีทางไฮโดรเมทัลลurgy	3
1.2	คุณลักษณะของสารละลายทองแดงและสารละลายตัวสกัดที่ใช้ในขบวนการสกัดทองแดงด้วยตัวสกัด	6
1.3	การจัดลำดับการผลิตและการจัด เครื่องมือของโรงงานผลิตทองแดงด้วยวิธีสกัดทองแดงด้วยตัวสกัด	8
2.1	ค่า $pH_{50}$ ของตัวสกัด LIX63, LIX64, LIX64N, และ LIX70	15
3.1	รูปแสดงการจับประจุทองแดง	24
3.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของทองแดงในสารละลายตัวสกัดกับสารละลายทองแดง กับค่า $pH$ ของสารละลายทองแดง	24
3.3	อิทธิพลของความเป็นกรด และความเข้มข้นของตัวสกัดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของทองแดงในสารละลายตัวสกัดกับสารละลายทองแดง	27
4.1	แสดงรายละเอียดภายในคอมโวนันต์ RDC	33
4.2	อิทธิพลของความเร็วยรอบใบพัดกวนที่มีผลต่อ characteristic velocity	36
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์เพื่อหา characteristic velocity ในกรณีไม่มีการถ่ายเทมวลระหว่าง เฟส	36
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์เพื่อหา characteristic velocity ในกรณีที่มีการถ่ายเทมวลสารระหว่าง เฟส $d \rightarrow c$	39
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์เพื่อหา characteristic velocity ในกรณีที่มีการถ่ายเทมวลสารระหว่าง เฟส $c \rightarrow d$	39
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์เพื่อหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารรวม ในกรณีที่ความเร็วรอบใบพัดกวนเร็วกว่าความเร็วรอบใบพัดกวนวิกฤต	41





รูปที่		
4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์เพื่อหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารรวม ในกรณีที่มีความเร็วรอบใบพัดกว่นช้ากว่าความเร็วรอบใบพัดกว่นวิกฤต	41
4.8	อิทธิพลของความเร็วยรอบใบพัดกว่นและอัตราส่วนสารละลายเฟสกระจาย ที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารรวม	42
5.1	เครื่องกว่นแบบกังหันใบพัดสี่ใบและขนาดของใบพัดกว่น	46
5.2	ขนาดของคอลลัมน์ RDC	48
5.3	การทำงานของเครื่องสกัดแบบคอลลัมน์ RDC	49
5.4	แผนภูมิการสกัดแบบให้สารละลายไหลสวนทางกัน 3 stage	52
6.1	แสดงความสามารถจับทองแดงไว้ได้สูงสุด (Maximum loading capacity) ของตัวสกัด LIX64N	55
6.2	อิทธิพลของค่า pH และความเข้มข้นของทองแดงในสารละลายทองแดง ที่มีผลต่อการเลือกใช้ความเข้มข้นของสารละลาย LIX64N (% volume LIX64N) ที่มีความสามารถจับทองแดงได้มากกว่าร้อยละ 10ของความเข้มข้นทองแดงที่ต้องการสกัด	60
6.3	ภาวะสมดุลของความเข้มข้นทองแดงในสารละลาย 9.5 % vol LIX64N กับในสารละลายทองแดงซัลเฟตที่มีสภาพความเป็นกรดเมื่อเริ่มต้น ที่ค่า pH เท่ากับ 1.0	61
6.4	ภาวะสมดุลของความเข้มข้นทองแดงในสารละลาย 9.5 % vol LIX64N กับในสารละลายทองแดงซัลเฟตที่มีสภาพความเป็นกรดเมื่อเริ่มต้น ที่ค่า pH เท่ากับ 1.40	62
6.5	ภาวะสมดุลของความเข้มข้นทองแดงในสารละลาย 9.5 % vol LIX64N กับในสารละลายทองแดงซัลเฟตที่มีสภาพความเป็นกรดเมื่อเริ่มต้น ที่ค่า pH เท่ากับ 1.70	63
6.6	ภาวะสมดุลของความเข้มข้นทองแดงในสารละลาย 15 % vol LIX64N กับในสารละลายทองแดงซัลเฟตที่มีสภาพความเป็นกรดเมื่อเริ่มต้น	



รูปที่	ที่ค่า pH เท่ากับ 1.0	
6.7	ภาวะสมดุลของความเข้มข้นทองแดงในสารละลาย 15 % vol LIX64N กับในสารละลายทองแดงซิลิเกตที่มีสภาพความเป็นกรดเมื่อเริ่มต้น ที่ค่า pH เท่ากับ 1.30	65
6.8	ภาวะสมดุลของความเข้มข้นทองแดงในสารละลาย 15 % vol LIX64N กับในสารละลายทองแดงซิลิเกตที่มีสภาพความเป็นกรดเมื่อเริ่มต้น ที่ค่า pH เท่ากับ 1.50	66
6.9	ภาวะสมดุลของความเข้มข้นทองแดงในสารละลาย 15 % vol LIX64N กับในสารละลายทองแดงซิลิเกตที่มีสภาพความเป็นกรดเมื่อเริ่มต้น ที่ค่า pH เท่ากับ 1.70	67
6.10	อิทธิพลของค่า pH ของสารละลายทองแดงที่มีผลต่อความเข้มข้นทองแดง ในสารละลายที่ภาวะสมดุล เมื่อใช้สารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น ทองแดงเมื่อเริ่มต้น 3.33 กรัมต่อลิตร และใช้สารละลายตัวสกัด 15 % vol LIX64N	69
6.11	อิทธิพลของ pH ของสารละลายทองแดงและอัตราส่วนการใช้สารละลาย 9.5 % vol LIX64N ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดทองแดง เมื่อใช้ เครื่องสกัดแบบให้สารละลายไหลสวนทางกัน 3 stage	72
6.12	อิทธิพลของ pH ของสารละลายทองแดงและอัตราส่วนการใช้ 15 % vol LIX64N ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดทองแดง เมื่อใช้ เครื่องสกัดแบบให้สารละลายไหลสวนทางกัน 3 stage	74
6.13	อัตราการไหลของน้ำและน้ำมันก๊าด ที่ไหลเข้าสู่คอลัมน์ RDC ขณะเกิดการ flooding	78
6.14	อิทธิพลของ pH ของสารละลายทองแดงและอัตราส่วนการใช้สารละลาย 15% vol LIX64N (O/A) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดทองแดงของ เครื่องสกัดแบบคอลัมน์ RDC ที่มีความเร็วรอบใบพัดกวน 770 รอบต่อนาที	81

สัญลักษณ์ใช้แทนข้อความ



- A = ปริมาตรสารละลายเฟสต่อเนื่อง
- a = พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเฟส
- C = ค่าคงที่ในสมการที่ 4.5
- $Cu^{2+}$  = ประจุทองแดง
- $d_{av}$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของหยดสารละลายเฟสกระจาย
- $d_R$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดกวน
- $d_S$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดของชั้นกั้นวงแหวน
- $d_T$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์ RDC
- D = อัตราส่วนการกระจายทองแดงในสารละลายตัวสกัดกับในสารละลายทองแดงซึ่งคิดความเข้มข้นทองแดงจากความเข้มข้นของประจุทองแดงในสารละลาย  
 (  $= \frac{[CuR_2]}{[Cu^{2+}]}$  )
- D' = อัตราส่วนการกระจายทองแดงในสารละลายตัวสกัดกับในสารละลายทองแดงซึ่งคิดความเข้มข้นทองแดงจากความเข้มข้นทองแดงทั้งหมดในสารละลาย  
 (  $= \frac{[CuR_2]}{[Cu^{2+}]_{total}}$  )
- D'' = อัตราส่วนการกระจายทองแดงในสารละลายตัวสกัดกับในสารละลายทองแดงซึ่งคิดความเข้มข้นทองแดงในลักษณะของค่า activity ของทองแดงที่ทำปฏิกิริยากัน
- $D_c, D_d$  = ค่า diffusivity ของประจุทองแดงในสารละลายเฟสต่อเนื่องและในสารละลายเฟสกระจาย
- $E_c, E_d$  = ค่า axial dispersion coefficient ของประจุทองแดงในสารละลายเฟสต่อเนื่องและในสารละลายเฟสกระจาย
- $G_f$  = ค่า Geometry factor ของคอลัมน์ RDC  
 =  $(z_c/d_R)^{0.9} (d_S/d_R)^{2.1} (d_R/d_T)^{2.4}$
- g = acceleration gravity
- $g_c$  = gravity constant
- $H^+$  = ประจุไฮโดรเจน
- $(HTU)_{oc}$  = ค่า overall height of transfer unit ของสารละลายเฟสต่อเนื่อง



- (HTU)<sub>d</sub> = ค่า individual film height of transfer unit ของเฟสกระจาย
- k = ค่าคงที่ในสมการที่ 4.14
- k<sub>c</sub>, k<sub>d</sub> = ค่า individual area-based mass transfer coefficient
- K = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร
- K<sub>a</sub> = ค่า acid dissociation constant ของตัวสกัด
- K<sub>b</sub> = ค่า distribution constant ของ copper complex
- K<sub>d</sub> = ค่า distribution constant ของ monomer extractant
- K<sub>ex</sub> = ค่า extraction constant เมื่อคิดความเข้มข้นของทองแดงจากประจุทองแดงในสารละลาย  $([D][H^+]^2 / [RH]^2)$
- K'<sub>ex</sub> = ค่า extraction constant เมื่อคิดความเข้มข้นของทองแดงจากความเข้มข้นของทองแดงทั้งหมดในสารละลาย  $([D][H^+]^2 / [RH]^2)$
- K''<sub>ex</sub> = ค่า extraction constant เมื่อคิดความเข้มข้นของทองแดงจาก activity ของทองแดงในสารละลายตัวสกัดและในสารละลายทองแดง
- K<sub>f</sub> = ค่า overall formation constant ของการเกิดปฏิกิริยา copper complex
- K<sub>oc</sub> · a = ค่า overall volumetric mass transfer coefficient ของสารละลายเฟสต่อเนื่อง
- K<sub>od</sub> · a = ค่า overall volumetric mass transfer coefficient ของสารละลายเฟสกระจาย
- n = ค่าคงที่ในสมการที่ 4.5
- n<sub>c</sub> = จำนวนชั้นของ compartment ใน RDC
- N = ความเร็วรอบใบพัดกวน (รอบต่อวินาที)
- N<sub>r</sub> = อัตราเร็วของปฏิกิริยาการสกัดทองแดง
- N<sub>Pe</sub> = ค่า Peclet number,  $\frac{U_c Z_T}{E_c (1-x)}$ ,  $\frac{U_d Z_T}{E_d \cdot x}$
- N<sub>Sc</sub> = ค่า Schmidt number,  $\mu / \rho D_c$ ,  $\mu / \rho D_d$
- O = ปริมาตรของสารละลายเฟสกระจาย
- Q<sub>c</sub>, Q<sub>d</sub> = อัตราการไหลเข้าคอลัมน์ของสารละลายเฟสต่อเนื่องและเฟสกระจาย
- RH = ตัวสกัด
- R<sub>2</sub>Cu = สารประกอบตัวสกัดกับประจุทองแดง



ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- $\bar{u}_o$  = characteristic velocity
- $U_c, U_d$  = Superficial velocity ของสารละลายเฟสต่อเนื่อง และสารละลายเฟสกระจาย
- $U_s$  = Slip velocity ระหว่างสารละลายเฟสต่อเนื่องและเฟสกระจาย
- $x$  = ค่าอัตราส่วนผสมของสารละลายเฟสกระจายในสารละลายผสมสองเฟส
- $Z_T$  = effective height ของคอลัมน์ RDC
- $Z_c$  = Compartment height

สัญลักษณ์ภาษากรีก

- $\alpha$  = ค่า activity coefficient
- $\beta$  = ค่าคงที่ในสมการที่ 4.8
- $\beta'$  = ค่าคงที่ในสมการที่ 4.14
- $\phi$  = ฟังก์ชันของ schmidt number,  $[(N_{sc})_c^{1/2} + D(N_{sc})_d^{1/2}]^{1/2}$
- $\psi$  = ฟังก์ชันสมบัติทางกายภาพของสารละลาย,  $(\frac{\gamma^3 \rho}{\mu_c^4 g})(\frac{\Delta \rho}{\rho_c})^{3/5}$
- $\gamma$  = ค่าแรงตึงผิวระหว่างเฟส
- $\mu$  = ค่า viscosity ของสารละลาย
- $\rho$  = ค่าความหนาแน่นของสารละลาย
- $\Delta \rho$  = ค่าความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างเฟส

สัญลักษณ์ได้ข้อความ

- app = ค่าที่รวมอิทธิพลของการไหลย้อนกลับของสารละลาย
- av = ค่าเฉลี่ย
- c = สารละลายเฟสต่อเนื่อง
- d = สารละลายเฟสกระจาย
- e = ภาวะสมดุล
- f = ภาวะการเกิด flooding ในคอลัมน์
- o = สารละลายเฟส organic
- plug = ค่าที่ไม่รวมอิทธิพลของการไหลย้อนกลับของสารละลาย

สัญลักษณ์เหนือข้อความ

- = organic phase species