การแยกโลหะดีบุกจากสารละลายที่สกัดจากตะกอนดีบุกด้วยวิธีไฟฟ้า

(Electrowinning of Tin from Leach Solution of Tin Sludge)

โกสีย์ นวลเส่ห์*
สงบ คำค้อ*
ชาคร จารุพิสิฐธร
อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโลหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้ได้ทดลองแยกโลหะดีบุกจากสารละลายที่สกัดจากตะกอนดีบุกด้วยวิธีไฟฟ้า โดยได้ศึกษาอัตราการไหลของสารละลาย อุณหภูมิของสารละลายในช่วง 70-90 °C ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 0.5-2.0 แอมป์/ตารางเดซิเมตร และความเข้มข้นของเหล็กที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้กระแสไฟฟ้า พบว่าประสิทธิภาพการใช้กระแสไฟฟ้าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิของสารละลายสูงขึ้น ที่อุณหภูมิ 90 °C และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.5 แอมป์ / ตารางเดซิเมตร จะได้ประสิทธิภาพการใช้กระแสไฟฟ้าประมาณ 92-95% ปริมาณเหล็กในสารละลายที่มากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการใช้กระแสไฟฟ้าลดลง

บทนำ

วิธีการสกัดดีบุกจากตะกอนดีบุกซึ่งเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมผลิตแผ่นเหล็กเคลือบดีบุกด้วยไฟฟ้าได้เคยบรรยายไว้แล้วในบทความวิจัย[1] วิธีดังกล่าวประกอบด้วยการละลายตะกอนดีบุกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยสามารถละลายดีบุกออกมาได้ถึง 90% ที่อุณหภูมิห้อง และสารละลายที่ได้มีดีบุกประมาณ 25 กรัม/ลิตร การแยกดีบุกออกจากสารละลายดังกล่าวกระทำได้หลายวิธี เช่น การตกตะกอนเป็นโลหะดีบุกโดยวิธีซีเมนเตชัน และการแยกเป็นโลหะดีบุกด้วยวิธีไฟฟ้า (electrowinning)

Pearson และคณะ[2] ได้ศึกษาการแยกดีบุกจากสารละลายซัลเฟตที่มีฤทธิ์เป็นกรด ซึ่งมีดีบุกในสารละลาย 14-17 กรัมต่อลิตร ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเริ่มต้น 0.80 แอมป์/ตารางเดซิเมตร พบว่าประสิทธิภาพของกระแสไฟที่ได้อยู่ในช่วง 60-86% และประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าลดลงเมื่อความเข้มข้นของกรดปริมาณเหล็กในสารละลายสูงขึ้น

Pommier และ Escalera[3] ได้ศึกษาการแยกดีบุกจากสารละลายผสมระหว่าง NaOH และ Na_2S โดยวิธีไฟฟ้า พบว่าที่อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส เมื่อใช้เหล็กกล้าเป็นขั้วคาโทดและอาโนด ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าอยู่ในช่วง 85-98% ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.5-2.0 แอมป์/ตารางเดซิเมตร โดยประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น นอกจากนี้โลหะดีบุกที่ได้มีความบริสุทธิ์อยู่ในเกรด AAA

---

* นิสิตปริญญาโทภาควิชาวิศวกรรมโลหการ

สำหรับการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้สารละลายที่ได้จากการสกัดตะกอนดีบุกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดีบุกในสารละลายอยู่ในรูป Sn^{4+} ซึ่งเมื่อนำมาผ่านไฟฟ้ากระแสตรงแล้ว จะเกิดก๊าซออกซิเจนขึ้นที่ขั้วอาโนด ในขณะที่ขั้วคาโทดจะมีโลหะดีบุกเกาะและอาจเกิดก๊าซไฮโดรเจนได้ตามสมการ

ปฏิกิริยาอาโนด

$$4OH^- = 2H_2O + O_2 + 4e^- \quad (1)$$

ปฏิกิริยาคาโทด

$$SnO^{2-} + 3H_2O + 4e^- = Sn + 6OH^- \quad (2)$$

$$4H_2O + 4e^- = 2H_2 + 4OH^- \quad (3)$$

นอกจากนี้สารละลายที่ผ่านการแยกดีบุกด้วยไฟฟ้าแล้วจะมีปริมาณ NaOH เพิ่มขึ้นด้วย ทำให้สามารถนำสารละลายที่ได้กลับไปละลายตะกอนดีบุกได้อีก แต่หากมีปฏิกิริยาที่ (3) เกิดขึ้นมากก็จะสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในการทำให้เกิดไฮโดรเจนมาก มีผลให้ประสิทธิภาพการใช้กระแสไฟฟ้าในการทำ electrowinning ต่ำลง การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำ electrowinning เพื่อแยกโลหะดีบุกจากสารละลายดังกล่าว

การทดลอง

ในขั้นแรกได้เตรียมสารละลายดีบุกที่จะใช้ในการทำ electrowinning โดยการละลายตะกอนดีบุกด้วยสารละลาย NaOH ที่มีความเข้มข้น 3 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้อัตราส่วนของตะกอน 100 กรัมต่อสารละลาย 1 ลิตร จากนั้นจึงกรองตะกอนออกจนได้สารละลายใสเพื่อใช้ทำ electrowinning สารละลายดังกล่าวมีดีบุก 22.0 กรัม/ลิตร

รูปที่ 1 แสดงการจัดอุปกรณ์ที่ใช้ทำ electrowinning เซลล์ประกอบด้วยขั้วอาโนด 2 ขั้ว และขั้วคาโทด 1 ขั้ว วางอยู่กึ่งกลางระหว่างขั้วอาโนดทั้งสอง ระยะห่างระหว่างขั้วคาโทดและขั้วอาโนดเท่ากับ 15 มิลลิเมตร ขั้วทั้งหมดทำด้วยแผ่นเหล็กกล้า แต่ละขั้วมีขนาด 4 ซ.ม. x 6 ซ.ม. ปริมาณสารละลายที่ใช้ 560 มิลลิลิตร รักษาอุณหภูมิของสารละลายด้วย Thermostatic bath IKA รุ่น TER2 และหมุนเวียนสารละลายดังกล่าวด้วยปั๊มสารละลาย IKA รุ่น PA-SF2 ตลอดเวลาที่ทดลองซึ่งส่วนใหญ่ใช้เวลา 3 ชั่วโมง

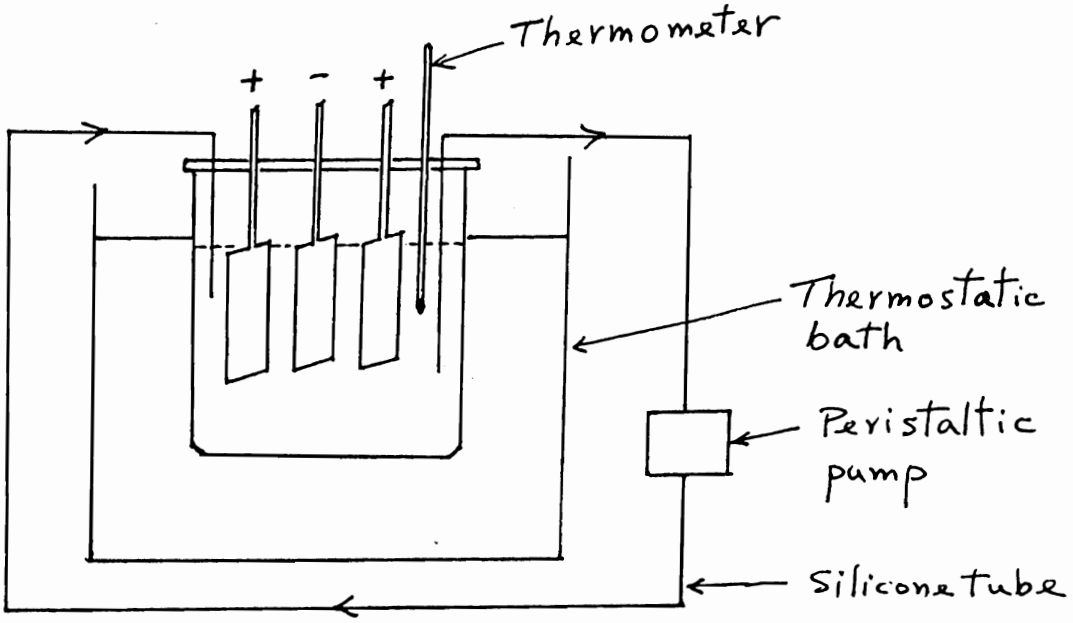
น้ำหนักของดีบุกที่เกาะที่ขั้วคาโทดหาจากน้ำหนักของคาโทดที่เพิ่มขึ้นหลังทำ electrowinning วัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ด้วยแอมป์มิเตอร์และคำนวณประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าจากสมการที่ (4)

$$\% \text{ Current efficiency} = \frac{WnF}{It(MW)} \quad (4)$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักดีบุกที่ได้ (กรัม)
I คือ กระแสไฟฟ้าที่ใช้ (แอมแปร์)
t คือ เวลาที่ใช้ (วินาที)
n คือ จำนวนอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้อง(n=4)
F คือ ค่าคงที่ฟาราเดย์ (= 96500 คูลอมป์/โมล)
MW คือ มวลโมเลกุล (ดีบุก=118.69 กรัม/โมล)

ผลการทดลอง

การทดลองนี้ได้ศึกษาตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อัตราการไหลของสารละลาย อุณหภูมิของสารละลายความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และความเข้มข้นของเหล็กในสารละลายต่อประสิทธิภาพการใช้กระแสไฟฟ้า



รูปที่ 1 แสดงการจัดอุปกรณ์ที่ใช้ทำ electrowinning

อัตราการไหลของสารละลาย

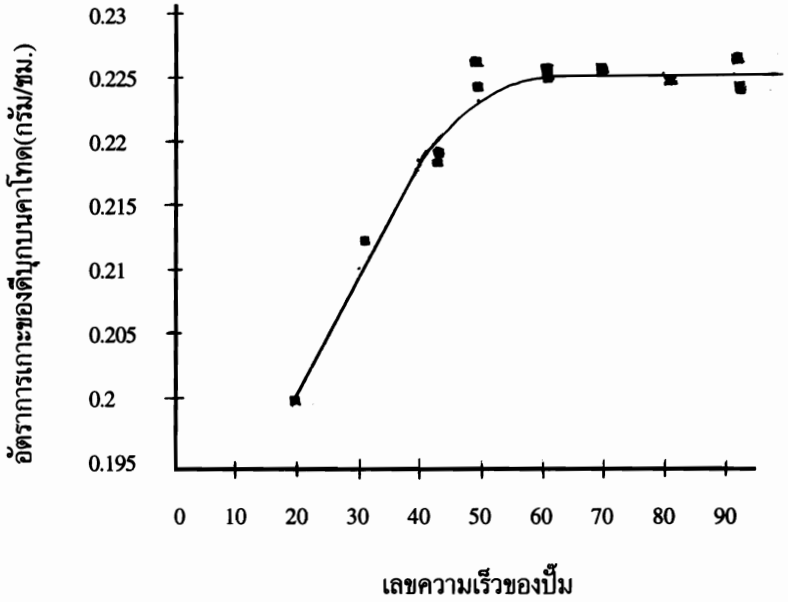
การทดลองนี้ได้ศึกษาผลของอัตราการไหลของสารละลายอิเล็กโตรไลต์ต่ออัตราการเกาะของดีบุกบนขั้วคาโทด โดยแปรเปลี่ยนอัตราการไหลของสารละลายตั้งแต่ 170-750 มิลลิลิตร/นาที ที่อุณหภูมิ 80 °C ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.5 แอมป์/ตร.ดม. เป็นเวลา 1 ชั่วโมงผลที่ได้แสดงเป็นกราฟดังรูปที่ 2 จากกราฟชี้ให้เห็นว่า อัตราการเกาะของดีบุกจะสูงขึ้นตามอัตราการไหลของสารละลาย และที่อัตราเร็วในการไหลตั้งแต่ 500 มิลลิลิตร/นาที (เลขความเร็ว 60) ขึ้นไป อัตราการเกาะของดีบุกเริ่มคงที่ กล่าวคืออัตราเร็วในการไหลของสารละลายไม่มีผลต่ออัตราการเกาะของดีบุกอีกต่อไป ดังนั้นในการทดลองครั้งต่อไปจึงได้กำหนดอัตราเร็วในการไหลของสารละลายให้คงที่ที่ 500 มิลลิลิตร/นาที โดยตลอด

อุณหภูมิและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า

ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการใช้กระแสไฟฟ้า โดยแปรเปลี่ยนอุณหภูมิตั้งแต่ 70-90 °C และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 0.5-2.0 แอมป์/ตร.ดม. ที่อัตราการไหลของสารละลาย 500 มิลลิลิตร/นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ผลการทดลองปรากฏตามตารางที่ 1 และ 2 ซึ่งนำมาเฉลี่ยเป็นค่าประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยและแสดงไว้ในตารางที่ 3 และพล็อตเป็นกราฟดังรูปที่ 3

ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าใดๆ เมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้นจะได้ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น ในขณะที่ที่อุณหภูมิใดๆ ถ้าใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าจะลดลง กล่าวคือในสภาวะที่ทดลองที่อุณหภูมิ 90 °C ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.5 แอมป์/ตร.ดม. จะได้ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าดีที่สุดประมาณ 92-95% ที่อุณหภูมิ 70 ° C และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 2.0 แอมป์/ตร.ดม. จะได้ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าต่ำสุด 36-40%

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าในการทำ electrowinning จำเป็นต้องอุ่นสารละลายดีบุกให้มีอุณหภูมิสูงถึง 90 °C เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าไม่ต่ำกว่า 90% โลหะดีบุกที่เกาะที่คาโทดมีผิวเรียบเป็นมันและไม่มี dendrite ในการทดลองครั้งนี้มิได้วิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของโลหะที่ได้ การคำนวณ



รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกาะของดีบุกบนคาโทดและเลขความเร็วของปั๊ม

ตารางที่ 1 แสดงผลของอุณหภูมิและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้า (การทดลองครั้งแรก)

เลขที่ทดลอง	สภาวะการทดลอง			น้ำหนักคาโทด		น้ำหนักดีบุกที่ได้	ปริสิทธิภาพกระแส	ปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้า
	Temp	C.D.	Volt.	เริ่มต้น	สิ้นสุด			
	(°C)	(A/dm^2)	(V)	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)	(%)	(KWH/Kg)
1-1	70	0.5	2.1	22.4708	22.9305	0.4597	57.53	3.29
1-2	70	1.0	2.2	22.6708	23.4827	0.8119	50.81	3.90
1-3	70	2.0	2.5	22.7251	23.8872	1.1621	36.36	6.20
1-4	80	0.5	2.0	22.5361	23.1662	0.6301	78.86	2.29
1-5	80	1.0	2.2	22.8187	23.9255	1.1068	69.26	2.86
1-6	80	2.0	2.5	22.3926	23.9324	1.5398	48.18	4.68
1-7	90	0.5	2.1	21.8944	22.6335	0.7391	92.50	2.05
1-8	90	1.0	2.2	22.3722	23.7515	1.3793	86.31	2.30
1-9	90	2.0	2.5	22.5794	24.8934	2.3140	72.40	3.31

สภาวะ อัตราการไหลของสารละลาย 500 มิลลิลิตร/นาที เวลา 3 ชั่วโมง

หาประสิทธิภาพการใช้กระแสไฟฟ้าจึงได้สมมุติว่าโลหะดีบุกที่ได้มีความบริสุทธิ์ 100% โดยอนุโลมซึ่งคงไม่คลาดเคลื่อนนักเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองของ Pommier และ Escalera[3] อย่างไรก็ตามผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าครั้งนี้ไม่สอดคล้องกับผลการทดลองของ Pommier และ Escalera ซึ่งประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าดีขึ้นเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น กล่าวคือเมื่อแปรเปลี่ยนความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าจาก 0.5 ถึง 2.0 แอมป์/ตร.ดม. จะได้ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้า 85.42% ถึง 98.42% ตามลำดับ เป็นที่น่าสังเกตว่า Pommier และ Escalera ไม่ได้ระบุปริมาณของเหล็กในสารละลายอิเล็กโตรไลต์ที่ใช้ ซึ่งมีอยู่จำนวนหนึ่งในสารละลายที่ได้จากการสกัดตะกอนดีบุก

ตารางที่ 2 แสดงผลของอุณหภูมิและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้า (การทดลองครั้งที่ 2)

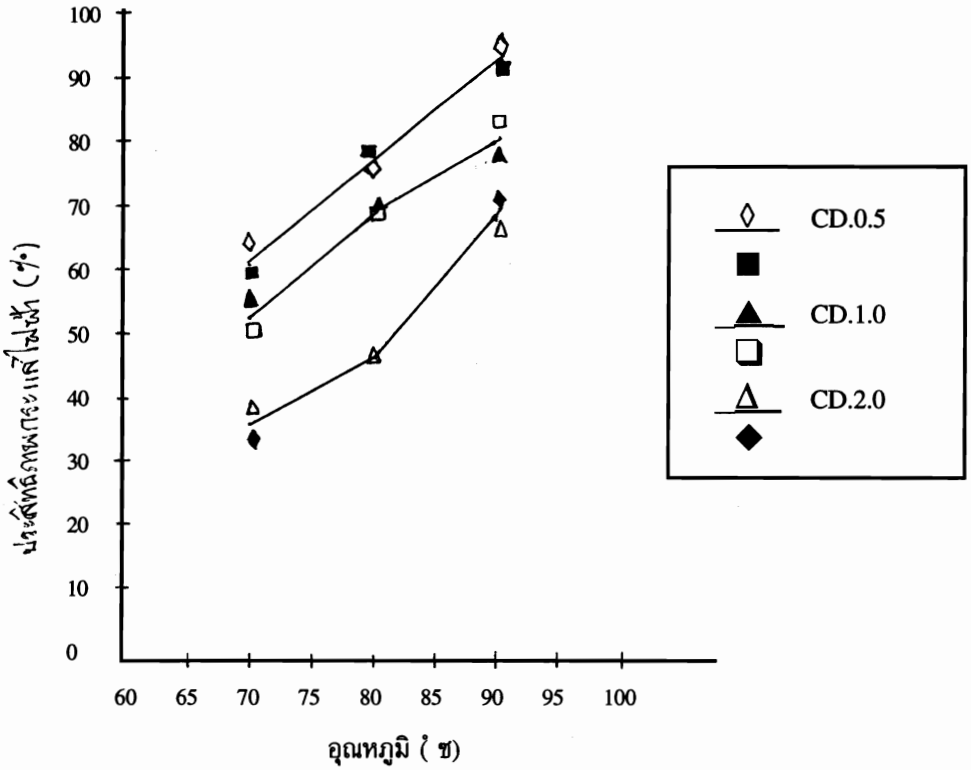
เลขที่ทดลอง	สภาวะการทดลอง			น้ำหนักคาโทด		น้ำหนักดีบุกที่ได้	ปริสิทธิภาพกระแส	ปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้า
	Temp	C.D.	Volt.	เริ่มต้น	สิ้นสุด			
	(°C)	(A/dm^2)	(V)	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)	(%)	(KWH/Kg)
2-1	70	0.5	2.0	23.2508	23.7438	0.4930	61.70	2.92
2-2	70	1.0	2.2	22.7839	23.6525	0.8686	54.36	3.65
2-3	70	2.0	2.5	23.0500	24.3300	1.2800	40.05	5.63
2-4	80	0.5	2.0	22.8902	23.4992	0.6090	76.22	2.37
2-5	80	1.0	2.1	23.3032	24.4330	1.1298	70.70	2.68
2-6	80	2.0	2.5	23.0607	24.6252	1.5645	48.95	4.60
2-7	90	0.5	2.0	22.8092	23.5656	0.7564	94.67	1.90
2-8	90	1.0	2.2	22.7195	24.0177	1.2982	81.24	2.44
2-9	90	2.0	2.5	22.5560	24.7760	2.2200	69.46	3.24

สภาวะ อัตราการไหลของสารละลาย 500 มิลลิลิตร/นาที เวลา 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 3 แสดงประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่อุณหภูมิและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ

อุณหภูมิ	ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้า(%)		
(° C)	0.5 แอมป์/ตร.ดม.	1.0 แอมป์/ตร.ดม.	2.0 แอมป์/ตร.ดม.
70	59.6	52.6	38.2
80	77.5	70.0	48.6
90	93.6	83.8	70.9

สภาวะ อัตราการไหลของสารละลาย 500 มิลลิลิตร/นาที เวลา 3 ชั่วโมง



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย

ผลกระทบของเหล็กที่มีต่อประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้า

การศึกษาผลของเหล็กต่อประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้า ได้กระทำที่อุณหภูมิ 80 °C ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 0.5, 1.0 และ 2.0 แอมป์/ตร.ดม. เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยเพิ่มเหล็กในสารละลายให้มากขึ้นจากเดิมที่มีเหล็กในสารละลายเป็น 442 มิลลิกรัม/ลิตร และ 884 มิลลิกรัม/ลิตร เหล็กที่ใช้อยู่ในรูป Potassium Ferricyanide ($K_3[Fe(CN)_6]$) ผลการทดลองปรากฏตามตารางที่ 4 และแสดงเป็นกราฟในรูปที่ 4 และ 5 จะเห็นว่าประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าลดลงเมื่อปริมาณเหล็กในสารละลายมีมากขึ้นที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า

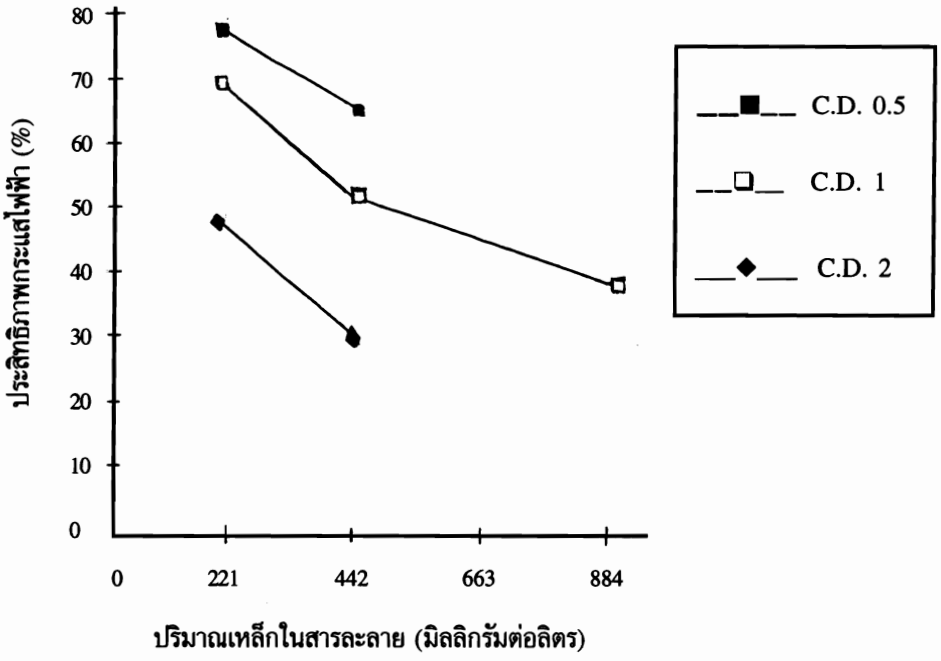
ใดๆ และประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้ายังคงลดลงเมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น การที่ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าลดลงเนื่องจากปรากฏการณ์ Chemical short circuiting[4]

จากข้อมูลที่ได้ชี้ให้เห็นว่าเหล็กมีผลต่อประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าค่อนข้างมาก กล่าวคือที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 1.0 แอมป์/ตร.ดม. ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าลดลงจาก 70% เมื่อในสารละลายมีปริมาณเหล็ก 221 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือ 51% เมื่อในสารละลายมีปริมาณเหล็ก 442 มิลลิกรัม/ลิตร ในทางปฏิบัติเมื่อแยกดีบุกออกจากสารละลายอิเล็กโตรไลต์แล้วจะต้องหมุนเวียน Spent electrolyte เพื่อใช้ละลายตะกอนดีบุกอีก ปริมาณเหล็กที่ละลายจากตะกอนดีบุกจะสะสมตัวมากขึ้นซึ่งจะมีผลเสียต่อประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าดังได้กล่าวมาแล้ว การขจัดเหล็กออกจากสารละลายจึงเป็นสิ่งจำเป็นมิฉะนั้นอาจต้องใช้ Diaphragm cell ในการแยกดีบุกเพื่อการแก้ปัญหาการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าเนื่องจาก Chemical short circuiting

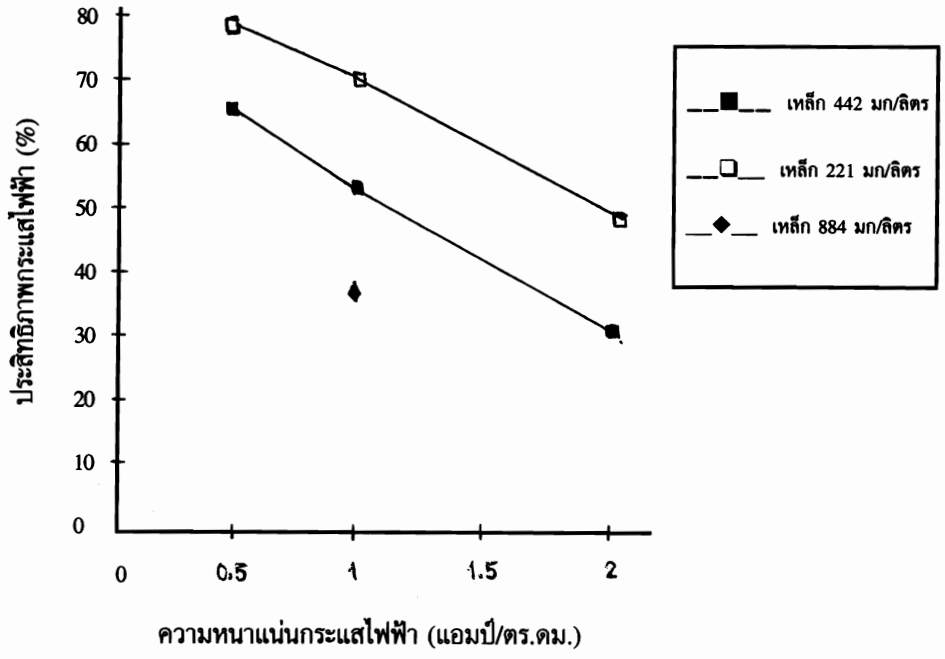
ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทดลองผ่านกระแสไฟฟ้านานขึ้นหนึ่งการทดลองปรากฏว่าในการทำ Electrowinning ที่อุณหภูมิ 80 °C ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 1 แอมป์/ตร.ดม. เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าลดลงเหลือเพียง 57.58% ชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นของดีบุกและ NaOH ในสารละลายมีผลต่อประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้า ในทางปฏิบัติจะต้องแยกดีบุกออกจากสารละลายให้เหลือน้อยที่สุดก่อนที่จะหมุนเวียน Spent electrolyte ดังนั้นประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าจะต่ำกว่า 57.58% อย่างไรก็ตามผลการทดลองครั้งนี้ชี้ว่าการสกัดดีบุกจากตะกอนดีบุกด้วยสารละลาย NaOH และแยกเป็นโลหะบริสุทธิ์ด้วยวิธี Electrowinning มีความเป็นไปได้ รูปที่ 6 เป็น Flow sheet แสดงกรรมวิธีที่เสนอในการ Recover ดีบุกจากตะกอนดีบุกด้วยวิธี Leaching และ Electrowinning

ตารางที่ 4 แสดงผลของปริมาณเหล็กในสารละลายต่อประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้า ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ อุณหภูมิ 80°C เวลา 3 ชั่วโมง

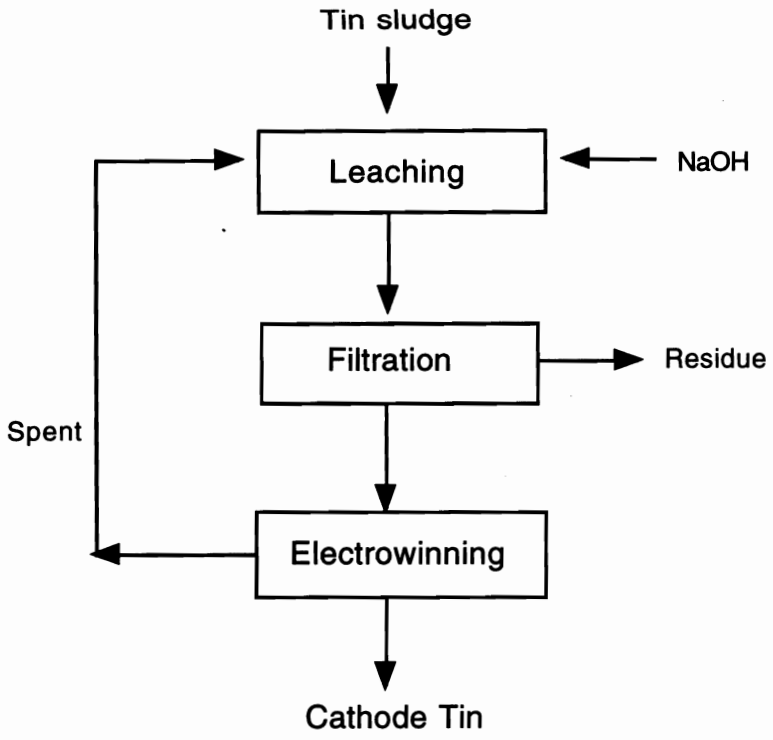
ปริมาณเหล็กในสารละลาย (มก./ลิตร)	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า แอมป์/ตร.ดม.	น้ำหนักคาโทด		น้ำหนักดีบุก (กรัม)	ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้า (%)
		เริ่มต้น (กรัม)	สิ้นสุด (กรัม)		
221	0.5	22.7132	23.3321	0.6195	77.5
	1.0	23.0580	24.1793	1.1213	70.0
	2.0	22.7267	24.2788	1.5521	48.6
442	0.5	23.0162	23.5324	0.5162	64.6
	1.0	22.4549	23.2689	0.8140	51.0
	2.0	22.4218	23.3486	0.9268	29.0
884	0.5				
	1.0	22.6447	23.2631	0.6184	38.7
	2.0				



รูปที่ 4 กราฟแสดงประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้ากับปริมาณเหล็กในสารละลายที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ



รูปที่ 5 กราฟแสดงประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้ากับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ปริมาณเหล็กต่างๆ



รูปที่ 6 กรรมวิธี Recover โลหะดีบุกจากตะกอนดีบุกด้วยวิธี Leaching และ Electrowinning

สรุป

1. ในการทดลองได้ละลายตะกอนดีบุกด้วยสารละลาย NaOH แล้วนำสารละลายที่ได้มาแยกสกัดดีบุกด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นคาโทดและอาโนด

2. ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าใดๆ เมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้นจะได้ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น ในขณะที่ที่อุณหภูมิใดๆ ถ้าใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าจะลดลง

3. ในสภาวะที่ทดลองที่อุณหภูมิ 90 °C ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.5 แอมป์/ตร.ดม. จะได้ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าดีที่สุดประมาณ 92-95% ที่อุณหภูมิ 70 °C และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 2.0 แอมป์/ตร.ดม. จะได้ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าต่ำสุด 36-40%

4. ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าลดลงเมื่อปริมาณเหล็กในสารละลายมีมากขึ้นที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าใดๆ และประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าที่ได้ยังคงต่ำลงเมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น

5. ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 1.0 แอมป์/ตร.ดม. ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าลดลงจาก 70% เมื่อมีปริมาณเหล็กในสารละลาย 221 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือ 51% เมื่อมีปริมาณเหล็กในสารละลาย 442 มิลลิกรัม/ลิตร

6. โลหะดีบุกที่เกาะที่คาโทดมีลักษณะเรียบเป็นมันและไม่มี dendrite

7. จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่ากรรมวิธี leaching และ electrowinning สามารถใช้ recover ดีบุกจากตะกอนดีบุกได้ โดยจะได้โลหะดีบุกที่คาโทดในขั้น electrowinning และสามารถหมุนเวียน spent electrolyte ซึ่งมี NaOH เพิ่มขึ้นไปใช้ในขั้นตอน leaching ได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณฝ่ายวิชาการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทุนโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ และขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเจ้าหน้าที่วิเคราะห์ของภาควิชาวิศวกรรมโลหการสำหรับความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ตัวอย่างทางเคมี

เอกสารอ้างอิง

1. ชาคร จารุพิสิฐธร และคณะ, การสกัดดีบุกจากตะกอนดีบุกโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์, วารสารโลหะ วัสดุ และแร่ ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 ธันวาคม 2538, หน้า 59-63

2. D. Pearson, D.G.Winter and P.C.Newdick, Development of a Hydrometallurgical Process for Tin Recovery from Low-grade Concentrates : 2-Recovery of Tin from Solution by Electrowinning, Trans. Instn Min. Metall. (Sect.C : Mineral Proces. Extr.Metall.), vol. 86,1977, C 175-186

3. L.W.Pommier and S.J.Escalera, Processing of Tin from Impure Raw Materials, Journal of Metals, April,1979, P.10-12.

4. T. Rosenqvist, Principles of Extractive Metallurgy, 2nd edition, Mc Graw-Hill Inc., 1983, P 442.