

## บทที่ 5

### ผลการทดลองและวิจารณ์



#### 5.1 วิเคราะห์ลักษณะน้ำเสีย

น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

- น้ำเสียจากการชุบทองแดง
- น้ำเสียจากการชุบนิกเกิล
- น้ำเสียจากการชุบโครเมียม และ
- น้ำเสียรวม

ลักษณะของน้ำเสียแสดงไว้ในตารางที่ 5.1

- 1) **น้ำเสียจากการชุบทองแดง** มีพีเอชเป็นกรด ความเข้มข้นทองแดงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 550 มก./ล. และยังตรวจพบโลหะหนักอื่น ได้แก่ เหล็ก และสังกะสี ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ
- 2) **น้ำเสียจากการชุบนิกเกิล** มีพีเอชเป็นกลาง ความเข้มข้นนิกเกิลจากการเก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยต่างกันมากคือเท่ากับ 130 และ 345 มก./ล.ตามลำดับ และยังมีทองแดง โครเมียม เจือปนในปริมาณต่ำ
- 3) **น้ำเสียจากการชุบโครเมียม** มีพีเอชเป็นกรด ความเข้มข้นโครเมียมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1460 มก./ล. นอกจากนี้มีทองแดงและนิกเกิลเจือปนมากกว่า 100 มก./ล.
- 4) **น้ำเสียรวม** มีพีเอชเป็นกรด และมีโลหะหนักต่าง ๆ เจือปนในปริมาณมาก โดยมีนิกเกิลมากที่สุดความเข้มข้นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1660 มก./ล.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.1 ลักษณะของน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัย

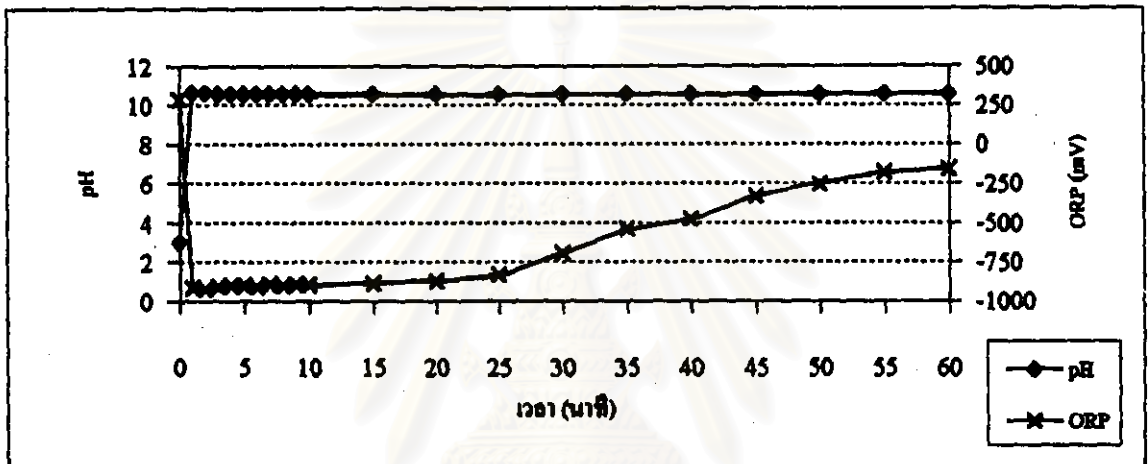
ประเภทน้ำเสีย	พีเอช โคชเฉลี่ย	ไออาร์พี โคชเฉลี่ย (mV)	ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสียโคชเฉลี่ย (มก./ล.)				
			ทองแดง	นิกเกิล	โครเมียม	เหล็ก	สังกะสี
น้ำเสียจากการชุบทองแดง	2.24	540	550	0	0	0.47	6.64
น้ำเสียจากการชุบนิกเกิล							
# เก็บครั้งที่ 1	6.90	180	0.02	130	0.37	0	0
# เก็บครั้งที่ 2	7.37	430	0.10	345	0.40	0	0
น้ำเสียจากการชุบโครเมียม	2.42	670	145	180	1460	7.57	90
น้ำเสียรวม	1.55	680	770	1660	250	140	160

5.2 การหาผลภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของโลหะหนัก

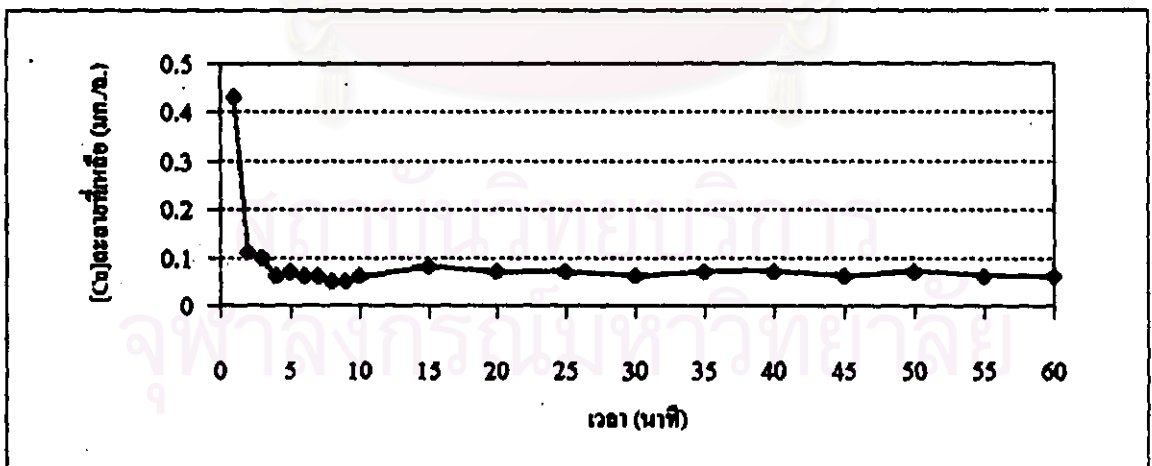
5.2.1 การใช้ SBH เพียงอย่างเดียว

1) น้ำเสียทองแดง

นำน้ำเสียทองแดง 500 มล. ซึ่งมีค่าพีเอชและโออาร์พีเริ่มต้นเท่ากับ 3.02 และ 285 mV ตามลำดับ เติม SBH 3 เท่าของจำนวนสตอยชิโอเมตริก กวนเร็วเป็นเวลา 60 นาที ได้ผลการทดลองที่เวลาต่าง ๆ ดังรูป 5.1 และ 5.2



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้กวนกับค่าพีเอชและโออาร์พี



รูปที่ 5.2 ความเข้มข้นทองแดงที่เหลือที่เวลาต่าง ๆ

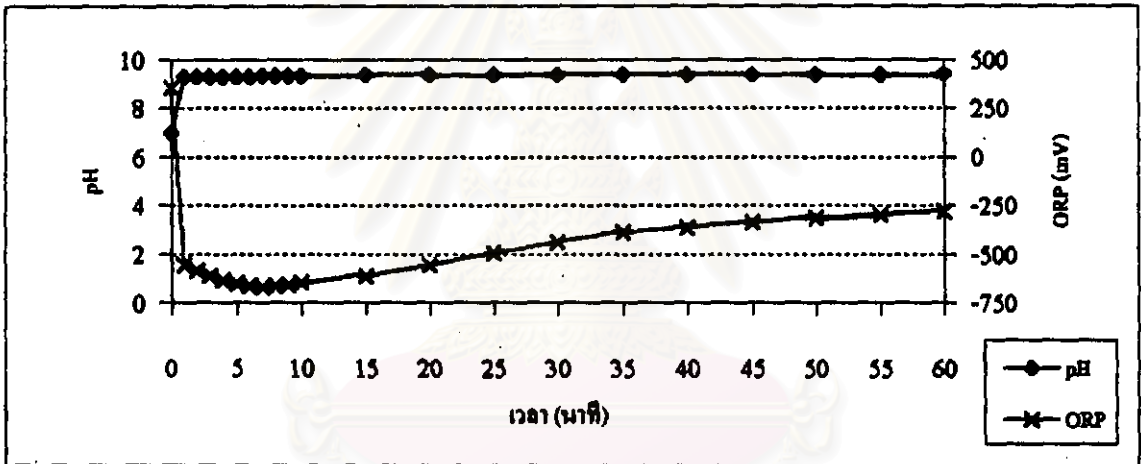
จากกราฟ 5.1 จะเห็นได้ว่าโออาร์พีมีค่าลดลงเหลือประมาณ -900 mV ทันทีหลังจากเติม SBH แต่เมื่อเวลาผ่านไป 15 นาทีโออาร์พีก็กลับมีค่าเป็นบวกเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งจะมีค่ามากกว่า -200 mV เมื่อสิ้นสุดการกวน 60 นาที

ส่วนที่เอชของน้ำหลังเดิม SBH แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นทันทีและคงที่ที่ 10.57 ความเข้มข้นทองแดง  
ละลายที่เหลือจะต่ำกว่า 0.1 มก./ล. หลังกวนนาน 3 นาที

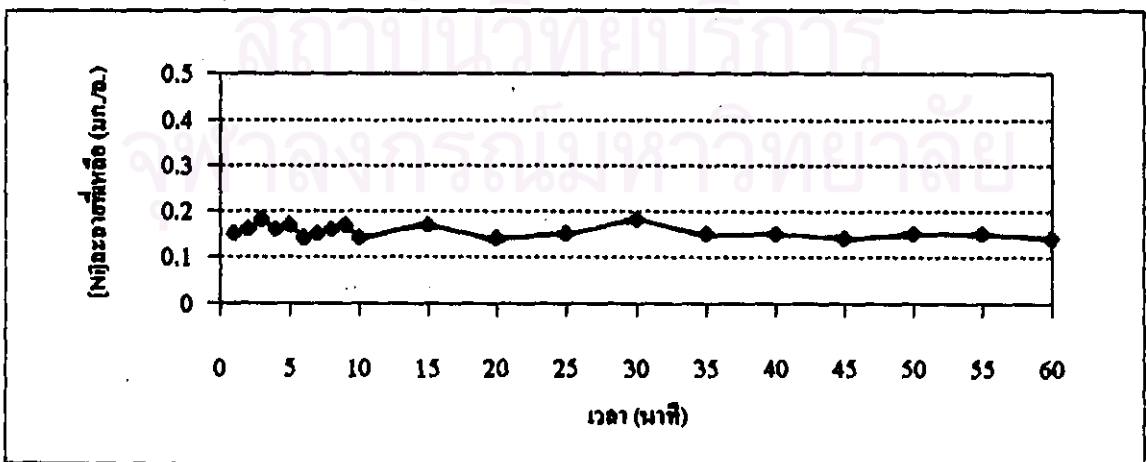
จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมในการกวนสำหรับน้ำเสียนอกแดงควรมี  
ค่าอย่างต่ำ 20 นาทีเพื่อให้ SBH ทำปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงกำหนด  
เวลาในการกวน 30 นาที และพบว่าการควบคุมการทดลองสามารถใช้ค่าพีเอชได้ดีเนื่องจากมีค่าคงที่

2) น้ำเสียนิกเกิล

นำน้ำเสียนิกเกิล 500 มล. ซึ่งมีค่าพีเอชและโออาร์พีเริ่มต้นเท่ากับ 7 และ 353 mV ตามลำดับ  
เติม SBH 1 เท่าของจำนวนสตอซโซอิมดริก กวนเร็วเป็นเวลา 60 นาที ได้ผลการทดลองที่เวลาต่าง ๆ  
ดังรูป 5.3 และ 5.4



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้กวนกับค่าพีเอชและ โออาร์พี



รูปที่ 5.4 ความเข้มข้นนิกเกิลที่เหลือที่เวลาต่าง ๆ

จากกราฟ 5.3 แสดงให้เห็นว่าไออาร์ทีมีค่าลดลงจนค่อนข้างคงที่ประมาณ  $-650$  mV ในช่วง 10 นาทีแรก และหลังจากนั้นจะกลับเพิ่มเป็นบวกมากขึ้นเรื่อย ๆ จนมีค่าเท่ากับ  $-280$  mV เมื่อสิ้นสุดการกวน 60 นาที

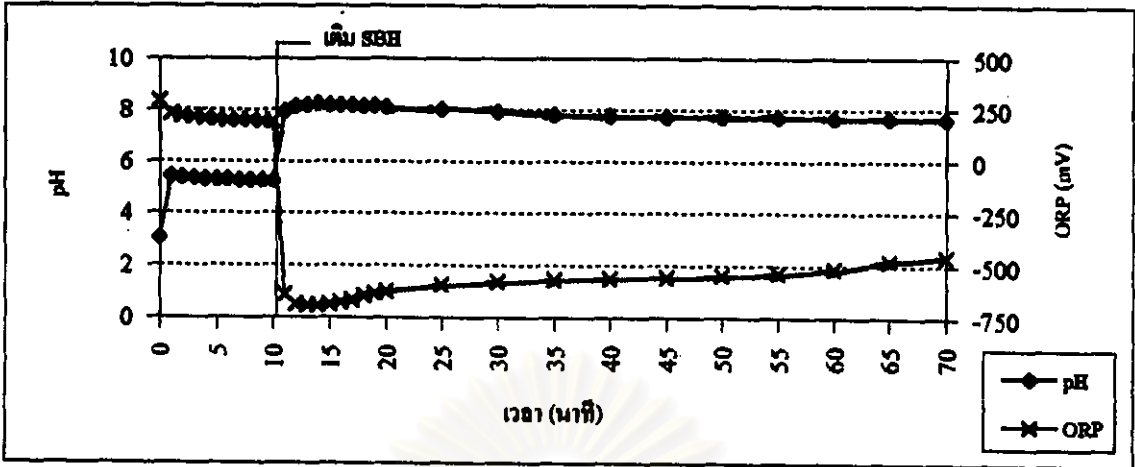
ส่วนพีเอชของน้ำหลังเติม SBH แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นและคงที่ที่ 9.39 ความเข้มข้นนิกเกิลละลายที่เหลือมีค่าประมาณ 0.15 มก./ล. หลังจากเริ่มกวน

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าการใช้ SBH กำจัดนิกเกิลออกจากน้ำเสียควรรใช้เวลากวนไม่ต่ำกว่า 10 นาที ซึ่งในการทดลองต่อไปจะกำหนดเวลาในการกวนเท่ากับ 20 นาที และสามารถใช้ค่าพีเอชเป็นตัวควบคุมการทดลองได้เช่นกันเนื่องจากมีค่าคงที่

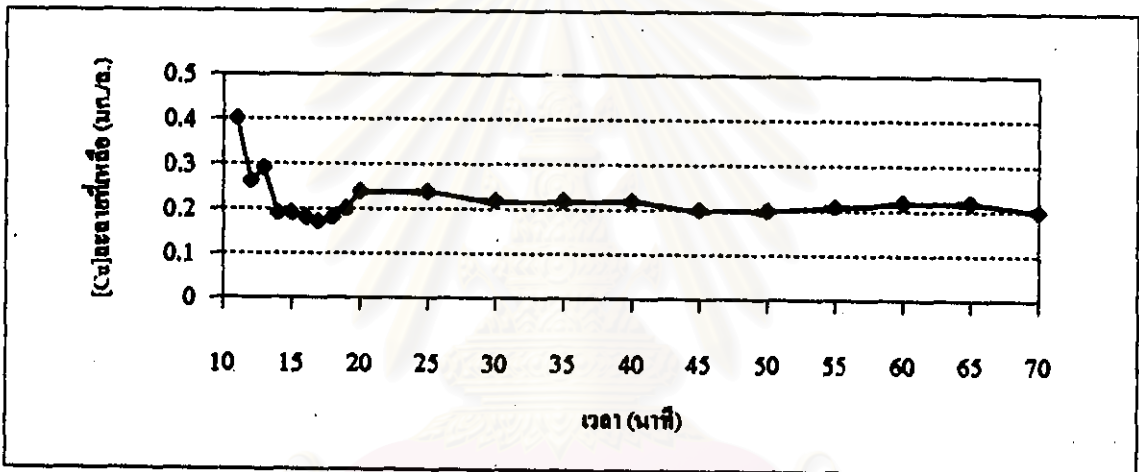
### 5.2.2 การให้ SBH ร่วมกับ $\text{NaHSO}_3$

#### 1) น้ำเสียทองแดง

นำน้ำเสียทองแดง 500 มล. ซึ่งมีค่าพีเอชและไออาร์ทีเริ่มต้นเท่ากับ 3.05 และ 290 mV ตามลำดับ เติม  $\text{NaHSO}_3$  5 เท่าของปริมาณทองแดง กวนเร็ว 10 นาที แล้วจึงเติม SBH 3 เท่าของจำนวนสตอซซิโอมेटริก กวนเร็วเป็นเวลา 60 นาที ได้ผลการทดลองที่เวลาต่าง ๆ ดังรูป 5.5 และ 5.6



รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้กวนกับค่าพีเอชและโออาร์พี



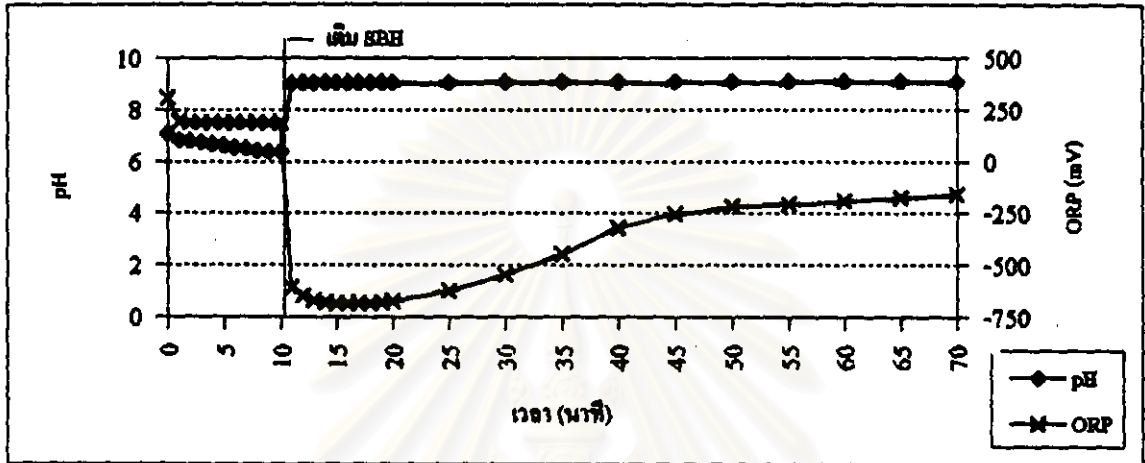
รูปที่ 5.6 ความเข้มข้นของแคงที่เหลือที่เวลาต่าง ๆ หลังจากเติม SBH

จากกราฟ 5.5 จะเห็นได้ว่าค่าโออาร์พีหลังจากเติม  $\text{NaHSO}_3$  จะลดลงเป็น 200 mV และก่อนข้างคงที่ตลอดเวลาที่กวน 10 นาที ส่วนพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 5.2 และมีค่าคงที่เช่นกัน

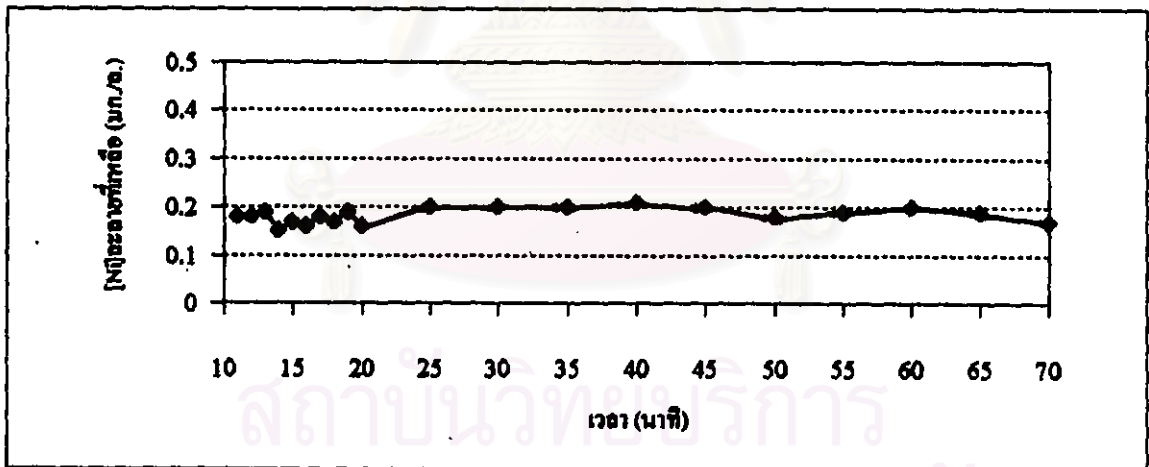
หลังจากเติม SBH โออาร์พีมีค่าลดลงและคงที่ที่ -700 mV แต่หลังจากกวนไปได้ 10 นาทีจะกลับมีค่าเป็นบวกเพิ่มขึ้น แสดงว่าปฏิกิริยาจะเกิดสมบูรณ์ในเวลา 10 นาที ส่วนพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 8 และลดลงเล็กน้อยหลังกวน 10 นาทีเช่นกัน ความเข้มข้นของแคงที่เหลือในน้ำประมาณ 0.2 มก./ล.

## 2) น้ำเสียนิกเกิล

นำน้ำเสียนิกเกิล 500 มล. ซึ่งมีค่าพีเอชและโออาร์ทีเริ่มต้นเท่ากับ 7.08 และ 308 mV ตามลำดับ เติม  $\text{NaHSO}_3$  1 เท่าของปริมาณนิกเกิล กวนเร็ว 10 นาที แล้วจึงเติม SBH 1 เท่าของจำนวนสตอซซิโอมเมตริก กวนเร็วเป็นเวลา 60 นาที ได้ผลการทดลองที่เวลาต่าง ๆ ดังรูป 5.7 และ 5.8



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้กวนกับค่าพีเอชและโออาร์ที



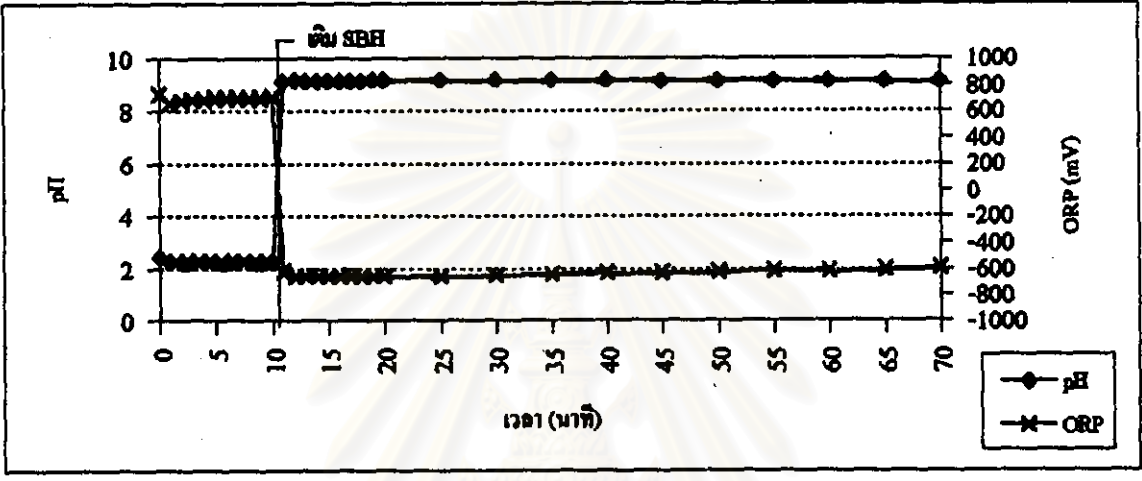
รูปที่ 5.8 ความเข้มข้นนิกเกิลที่เหลือที่เวลาต่าง ๆ หลังจากเติม SBH

จากกราฟ 5.7 จะเห็นได้ว่าหลังจากเติม  $\text{NaHSO}_3$  ค่าโออาร์ทีจะตกลงเป็น 190 mV และก่อนข้างกวนที่ตลอดเวลาที่กวน ค่าพีเอชตกลงจากเริ่มต้นเล็กน้อยเป็น 6.4

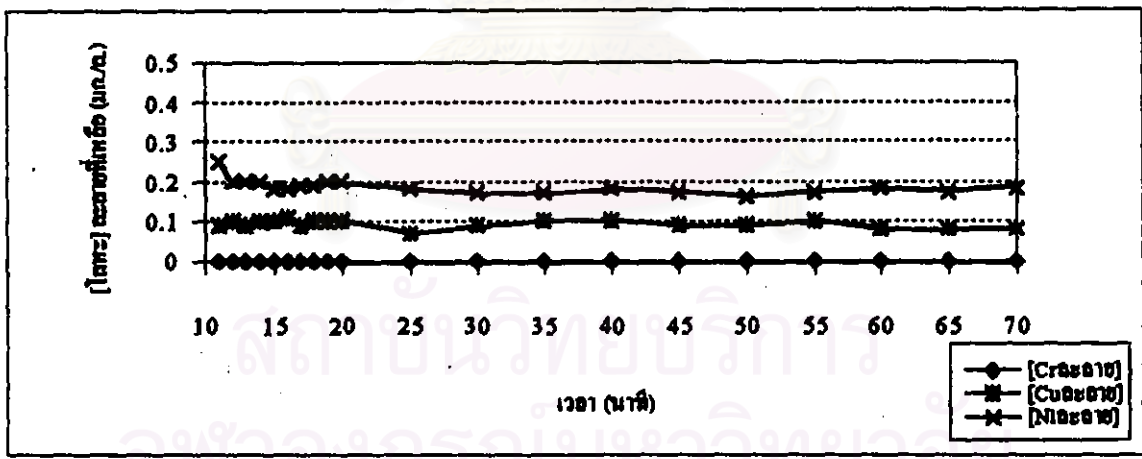
เมื่อเติม SBH มีผลให้ค่าโออาร์ทีตกลงเป็น -680 mV แต่หลังจากกวนไปได้ 10 นาทีจะกลับมีค่าเป็นบวกเพิ่มขึ้น แสดงว่าปฏิกิริยาจะเกิดสมบูรณ์ในเวลา 10 นาที ส่วนพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 9 และเหลือนิกเกิลในน้ำประมาณ 0.2 มก./ล.

### 3) น้ำเสียโครเมียม

นำน้ำเสียโครเมียม 600 มล. ซึ่งมีค่าพีเอชและโออาร์ทีเริ่มต้นเท่ากับ 2.41 และ 730 mV ตามลำดับ มาเติม  $\text{NaHSO}_3$  2 เท่าของปริมาณโครเมียม กวนเร็ว 10 นาทีระหว่างนั้นควบคุมพีเอชไว้ที่ 2.5 แล้วจึงเติม SBH 0.4 เท่าของปริมาณโครเมียม กวนเร็วเป็นเวลา 60 นาที ได้ผลการทดลองที่เวลาต่าง ๆ ดังรูป 5.9 และ 5.10



รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้กวนกับค่าพีเอชและโออาร์ที



รูปที่ 5.10 ความเข้มข้นโครเมียมที่เหลือที่เวลาต่าง ๆ หลังจากเติม SBH

จากกราฟ 5.9 จะเห็นได้ว่าหลังจากเติม  $\text{NaHSO}_3$  ค่าโออาร์ทีจะลดลงเป็น 690 mV และค่อนข้างคงที่ตลอดเวลาการกวน 10 นาที ส่วนพีเอชคงไว้ที่ 2.5-2.6

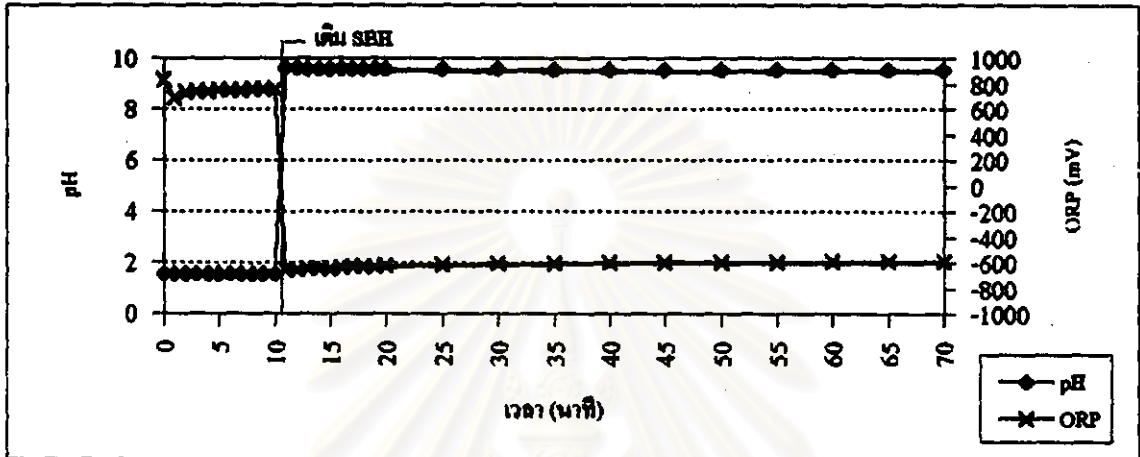
เมื่อเติม SBH มีผลให้ค่าโออาร์ทีลดลงเป็น -650 mV และจะมีค่าเป็นบวกเพิ่มขึ้นหลังจากกวน 25 นาที ส่วนพีเอชมีค่าคงที่ 9.7 และสามารถกำจัดโครเมียมที่ละลายให้เหลือ 0 มก./ล. ได้



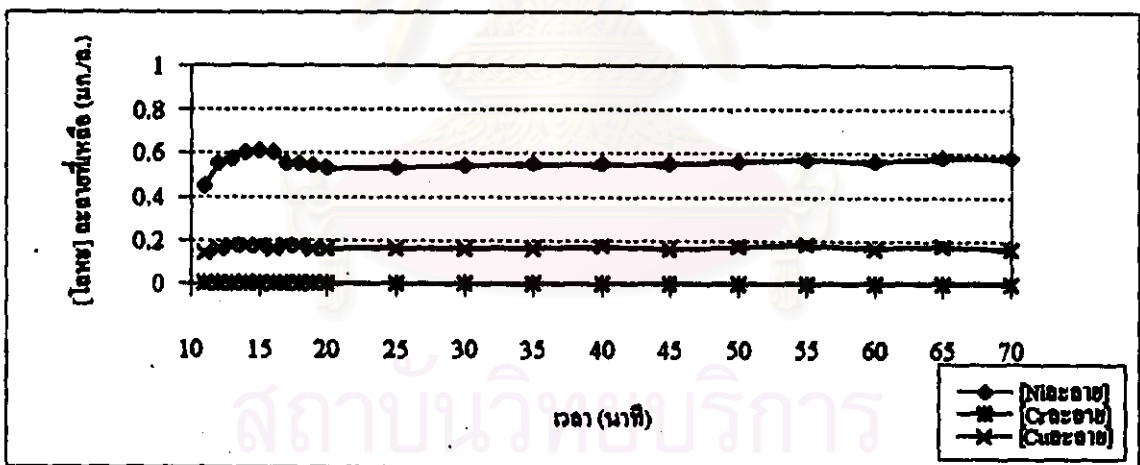


#### 4. น้ำเสียรวม

นำน้ำเสียรวม 700 มล. ซึ่งมีค่าพีเอชและโออาร์ทีเริ่มต้นเท่ากับ 1.55 และ 831 mV ตามลำดับ มาเติม  $\text{NaHSO}_3$  1 เท่าของปริมาณโครเมียม กวนเร็ว 10 นาที แล้วจึงเติม SBH เพื่อให้ได้พีเอชสุดท้าย 9.5 กวนเร็วเป็นเวลา 60 นาที ได้ผลการทดลองที่เวลาต่าง ๆ ดังรูป 5.11 และ 5.12



รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้กวนกับค่าพีเอชและโออาร์ที



รูปที่ 5.12 ความเข้มข้นโลหะที่เหลือที่เวลาต่าง ๆ หลังจากเติม SBH

จากกราฟ 5.11 จะเห็นได้ว่าหลังจากเติม  $\text{NaHSO}_3$  ค่าโออาร์ทีจะลดลงเป็น 740 mV และค่อนข้างคงที่ตลอดเวลาที่กวน ค่าพีเอชประมาณ 1.5-1.6

หลังจากเติม SBH มีผลให้ค่าโออาร์ทีลดลงเป็น -640 mV และจะกลับเพิ่มขึ้นหลังกวนไปได้ 10 นาที ส่วนพีเอชมีค่าคงที่ที่ 9.5 และมีอัตราจวดโลหะที่เหลือในน้ำ ณ เวลาต่าง ๆ พบว่า มีนิกเกิลละลายและทองแดงละลายเหลือประมาณ 0.55 และ 0.16 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนโครเมียมละลายตรวจไม่พบ

### 5.3 ผลการที่หมาะตามในการกำจัดโลหะหนัก

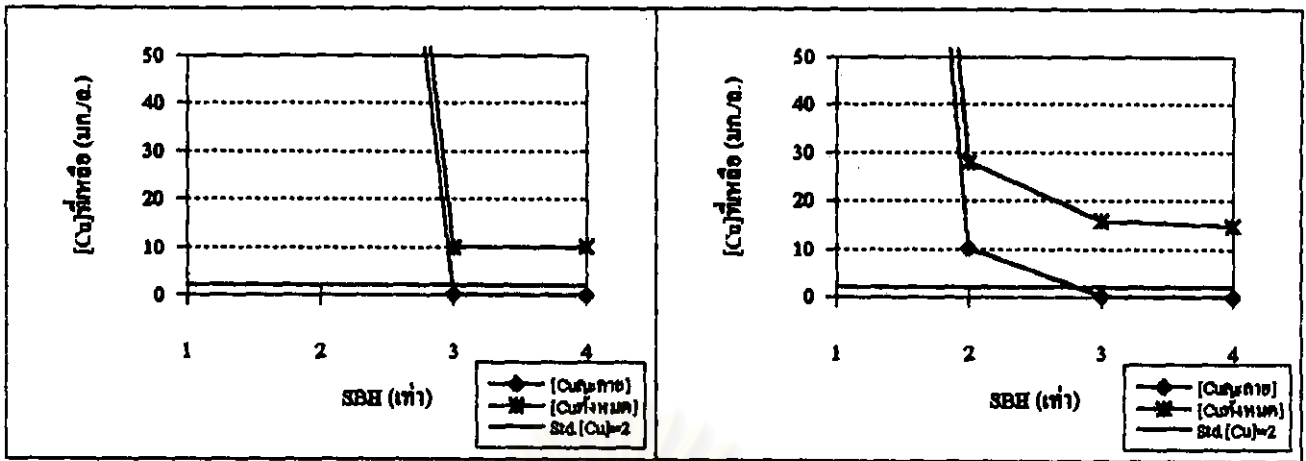
#### 5.3.1 น้ำเสียจากการชุบทองแดง

##### 5.3.1.1 การใช้ SBH อย่างเดียว

น้ำเสียทองแดงมีค่าพีเอชและไออาร์ที่โดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.24 และ 540 mV ตามลำดับ มีความเข้มข้นทองแดง 550 มก./ล. ทำการทดลองโดยปรับเปลี่ยนพีเอชของน้ำเสียตั้งแต่ 2.24-6 ด้วย NaOH และแปรปริมาณ SBH 1-4 เท่าของจำนวนสต่อยซีโอมคริก หลังจากกวนเร็ว 30 นาทีและปล่อยให้ตกตะกอนจึงเก็บน้ำส่วนบนมาวิเคราะห์ปริมาณทองแดงละลายและทองแดงทั้งหมดที่เหลือ วัดปริมาณตะกอนที่เวลา 30 นาทีและลักษณะตะกอนที่สังเกตเห็น ซึ่งผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5.13 5.14 และ 5.15 ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

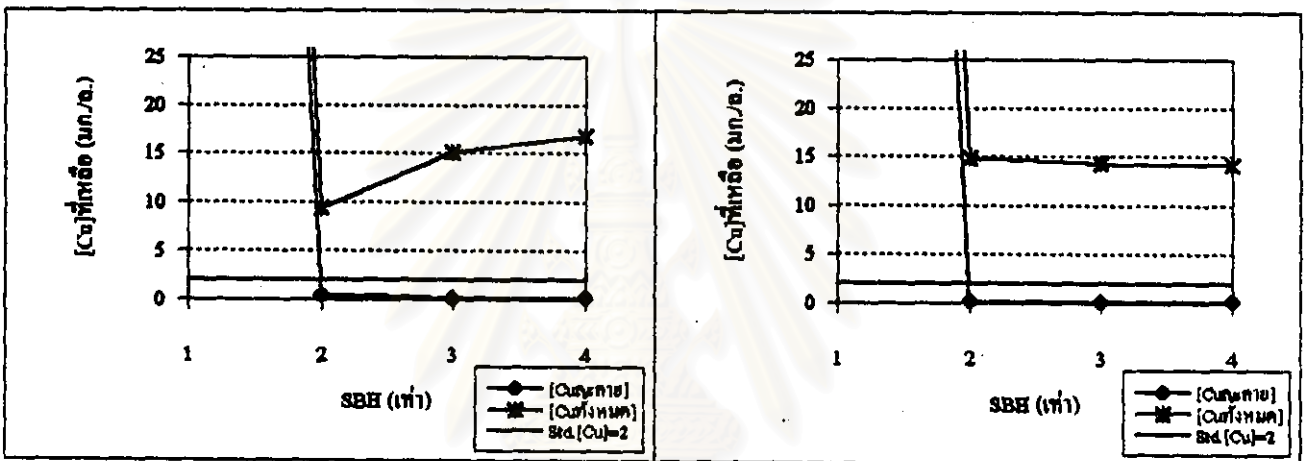
#### ก. ผลวิเคราะห์น้ำส่วนบน

- 1) ที่พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 2.24 และแปรปริมาณ SBH 1-4 เท่าของจำนวนสต่อยซีโอมคริก พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ SBH ขึ้นจะทำให้พีเอชของน้ำเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งมีผลให้ทองแดงที่เหลือในน้ำมีค่าลดลง โดยปริมาณ SBH ที่เหมาะสมคือ 3 เท่าจะสามารถกำจัดให้เหลือทองแดงละลายในน้ำเท่ากับ 0.19 มก./ล. ส่วนทองแดงทั้งหมดมีค่าสูงถึง 10 มก./ล. พีเอชและไออาร์มีค่าเท่ากับ 8.5 และ -116 mV ตามลำดับ ปริมาณตะกอนเท่ากับ 20 มล./ล.
- 2) ปรับพีเอชน้ำเสียเท่ากับ 3 และแปรค่า SBH 1-4 เท่าของจำนวนสต่อยซีโอมคริก พบว่าได้ผลการทดลองคล้ายกับการทดลองที่พีเอชน้ำเสียเริ่มต้น ปริมาณ SBH ที่เหมาะสมคือ 3 เท่า
- 3) ปรับพีเอชน้ำเสียเท่ากับ 4 และ 5 และแปรค่า SBH 1-4 เท่าของจำนวนสต่อยซีโอมคริก พบว่า ปริมาณ SBH 2 เท่าจะสามารถกำจัดให้เหลือทองแดงละลายในน้ำได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง แต่ทองแดงทั้งหมดเกินค่ามาตรฐาน ที่การปรับพีเอชน้ำเสียเท่ากับ 4 จะทำให้พีเอชและไออาร์ที่หลังเติม SBH 2 เท่า มีค่าเท่ากับ 7.5 และ 10 mV ตามลำดับ ปริมาณตะกอนเท่ากับ 20 มล./ล.
- 4) ปรับพีเอชน้ำเสียเท่ากับ 6 และ 7 พบว่าปริมาณ SBH เพียง 0.5 เท่าของจำนวนสต่อยซีโอมคริก จะสามารถทำให้ทองแดงละลายที่เหลือในน้ำออกมามีค่าน้อยกว่า 0.2 มก./ล. ได้ อันเนื่องมาจากพีเอชเริ่มต้นมีค่าสูงอยู่แล้วดังนั้นปริมาณ SBH เพียง 0.5 เท่าจึงสามารถทำให้พีเอชสุดท้ายของน้ำออกสูงกว่า 9 ได้ แต่จะเกิดตะกอนแขวนลอยจำนวนมากทำให้ทองแดงทั้งหมดในน้ำออกมามีค่ามากกว่า 20 มก./ล.



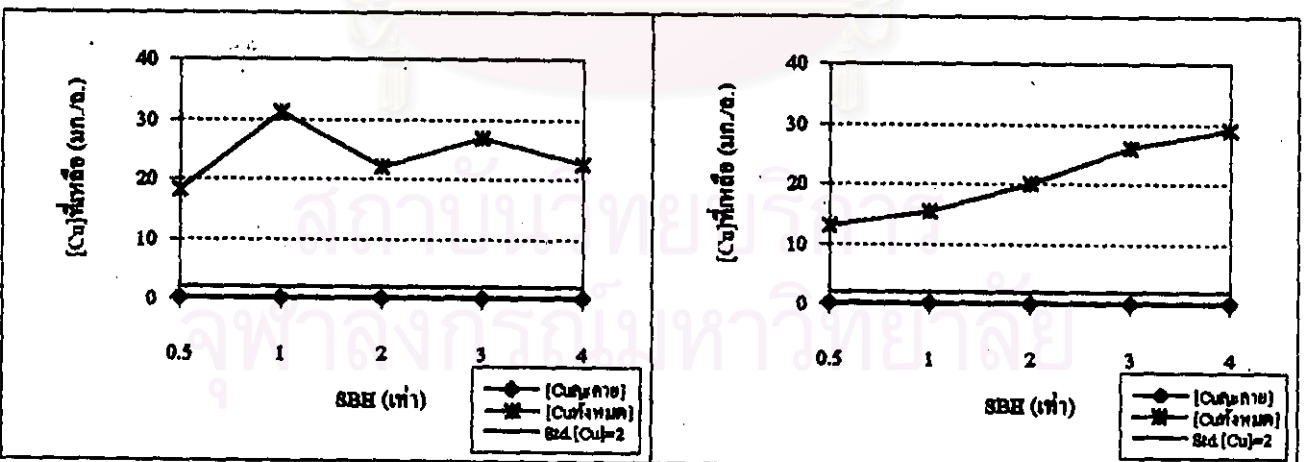
(a) pH = 2.24

(b) pH = 3



(c) pH = 4

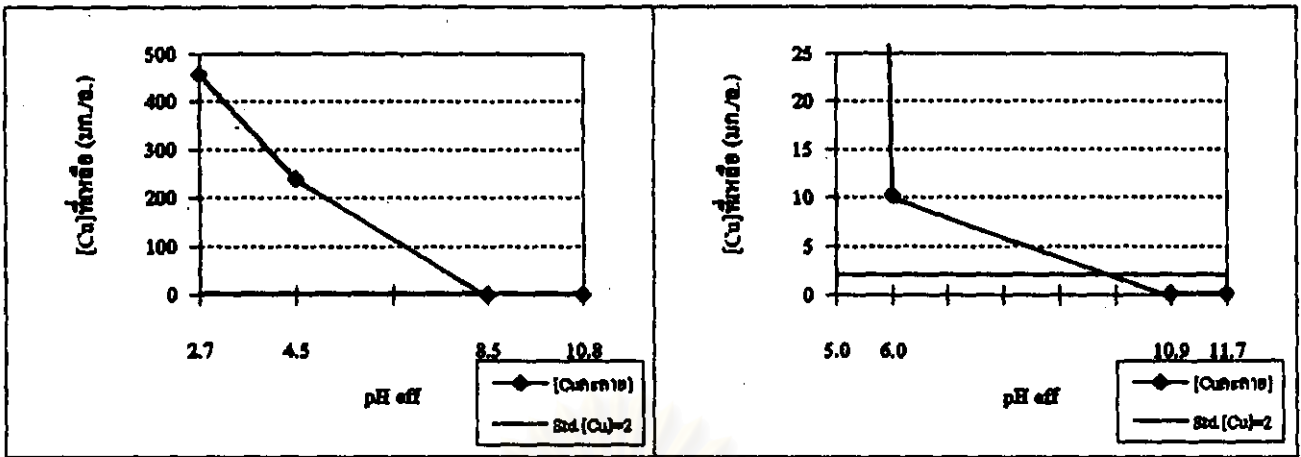
(d) pH = 5



(e) pH = 6

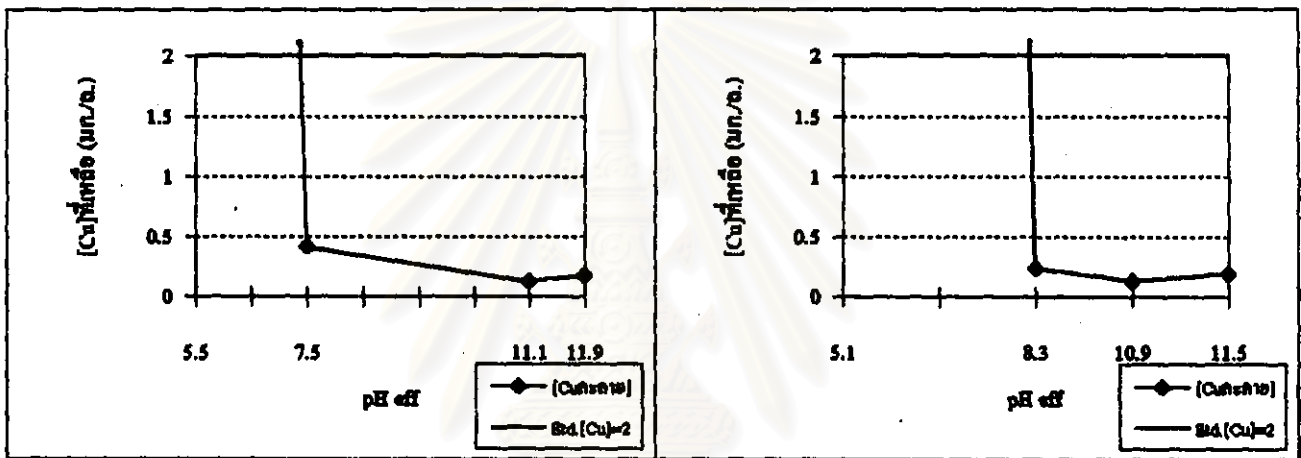
(f) pH = 7

รูปที่ 5.13 ความเข้มข้นของแดงที่เหลือกับปริมาณ SBH ที่ใช้ ณ พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียต่าง ๆ กับ ความเข้มข้นของแดงเริ่มต้น 550 มก./ล.



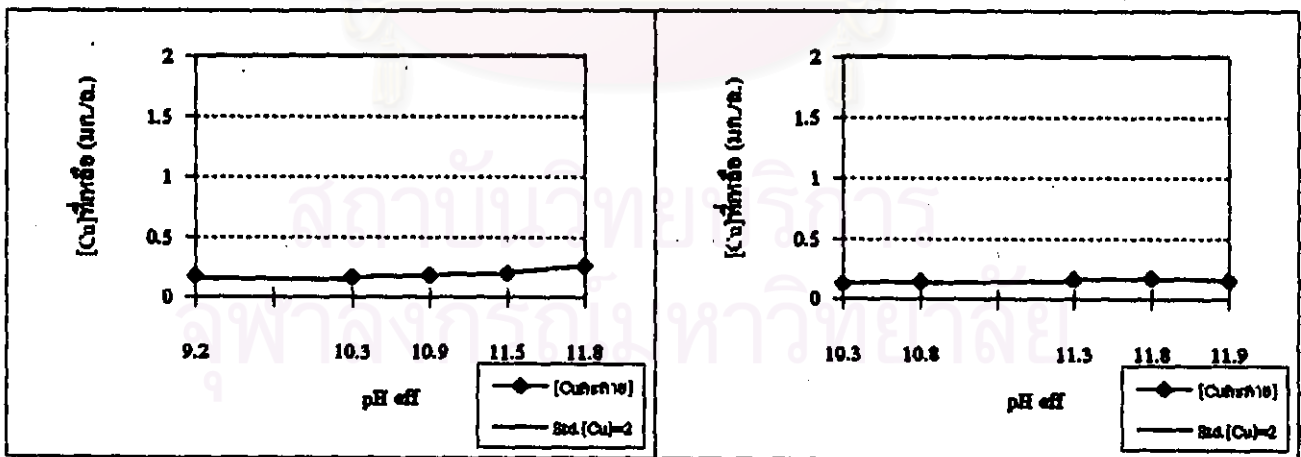
(a) pH = 2.24

(b) pH = 3



(c) pH = 4

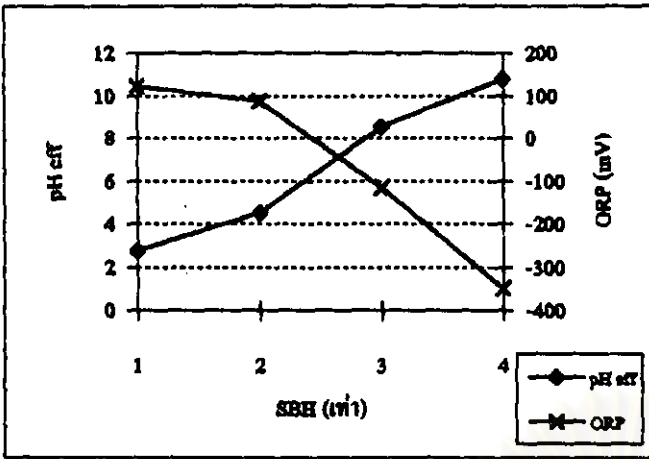
(d) pH = 5



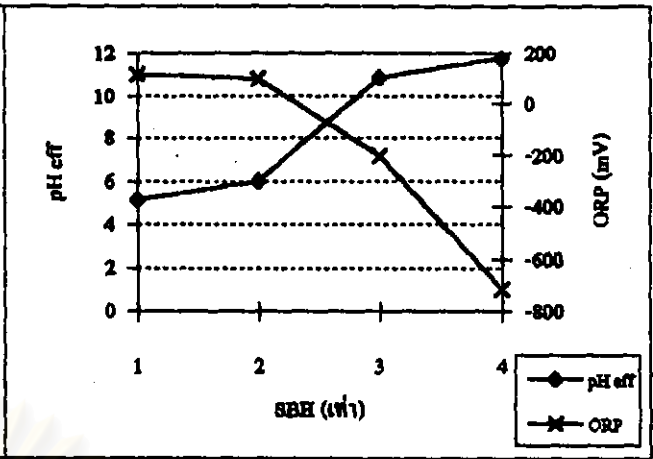
(e) pH = 6

(f) pH = 7

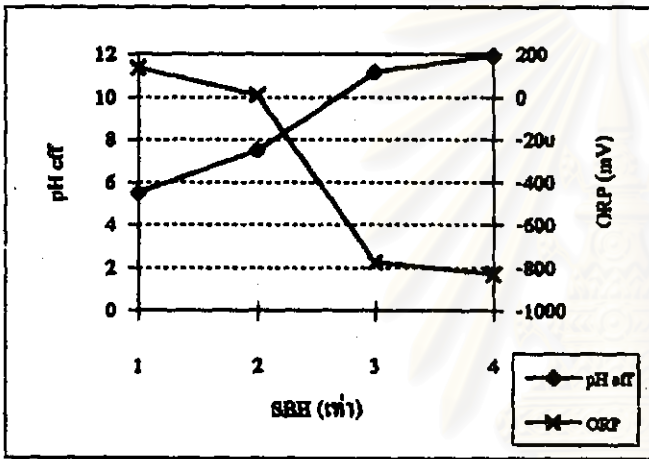
รูปที่ 5.14 ความเข้มข้นของแดงที่เหลือกับพีเอชสุดท้ายของน้ำ ณ พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียต่าง ๆ กัน ความเข้มข้นของแดงเริ่มต้น 550 มก./ล.



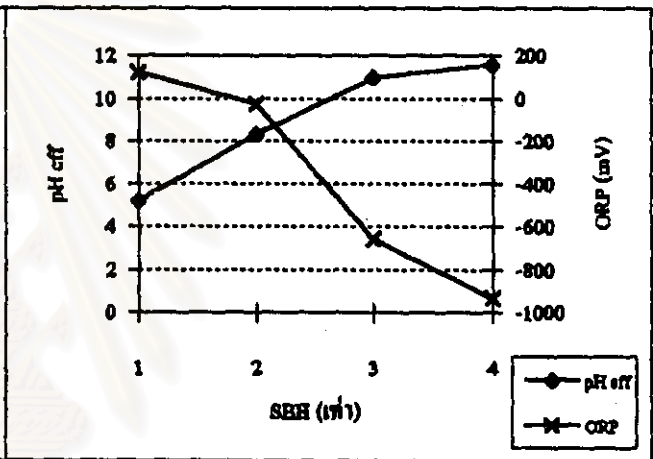
(a) pH = 2.24



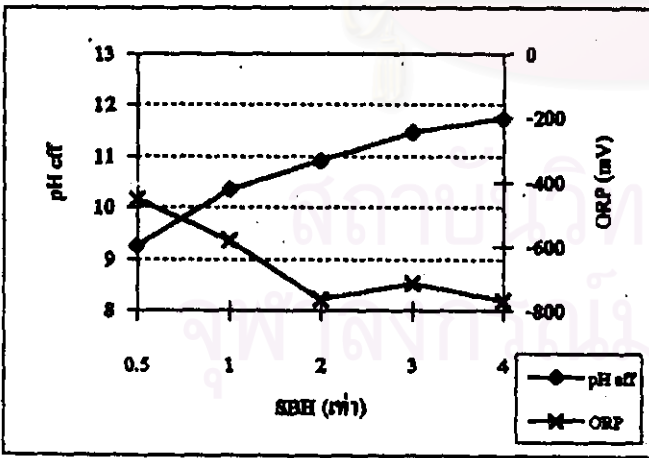
(b) pH = 3



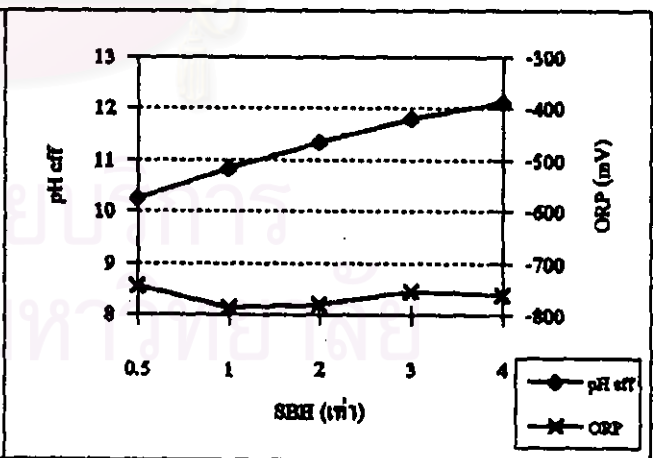
(c) pH = 4



(d) pH = 5



(e) pH = 6



(f) pH = 7

รูปที่ 5.15 ศีลหตุทหำของน่ำและค่าโออาร์พีกับปรลมาณ SBH ที่ใช้ ณ ศลหตุรลนค่นค่าง ๆ ก่น

ตารางที่ 5.2 สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองใช้ SBH กับน้ำเสียบทองแดงที่พีเอชเริ่มต้นต่าง ๆ

pH เริ่มต้น	ปริมาณ SBH (แพ่งของตพอย)	น้ำส่วนบน						ตะกอน			
		pH	ORP (mV)	Cu ละลาย (มก./ล.)	Cu ทั้งหมด (มก./ล.)	% การกำจัด Cu ละลาย	% การกำจัด Cu ทั้งหมด	ปริมาณ (มล./ล.)	% Cu	ลักษณะ	องค์ประกอบ
2.24	3	8.5	-116	0.19	9.88	99.97	98.27	20	78	ตะกอนสีดำ	CuO
3	3	10.85	-203	0.15	15.7	99.97	97.25	65	72.4	ตะกอนสีดำ	CuO
4	2	7.51	-10	0.41	9.27	99.93	98.37	20	83.6	ตะกอนสีน้ำตาลดำ	CuO
5	2	8.28	-28	0.23	14.8	99.96	97.40	55	79.6	ตะกอนสีดำเขียว	CuO+Cu(OH) <sub>2</sub>
6	0.5	9.24	-456	0.17	18.2	99.97	96.81	90	51.6	ตะกอนสีเทาเขียว	CuO+Cu(OH) <sub>2</sub>
7	0.5	10.24	-746	0.13	13	99.97	96.81	135	52	ตะกอนสีเทาเขียว	CuO+Cu(OH) <sub>2</sub>

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่า ค่าพีเอชสุดท้ายของน้ำและไออาร์พีที่เหมาะสมในการบำบัด คือ 7.5 และ  $-300 \text{ mV}$  ตามลำดับ ตารางที่ 5.2 แสดงสถานะที่เหมาะสมจากการทดลองใช้ SBH กับน้ำเสียทองแดงที่พีเอชเริ่มต้นต่าง ๆ

#### ข. ผลวิเคราะห์ตะกอน

ตะกอนทองแดงที่ได้จากสถานะการบำบัดต่าง ๆ พบว่ามีลักษณะแตกต่างกันดังตัวอย่างในรูปที่ 5.16 เป็นการทดลองโดยใช้ปริมาณ SBH 1-4 เท่าของจำนวนสโตยซิโอมคริก ที่พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย 2.24 สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1) ตะกอนละเอียดสีทองแดง ซึ่งเกิดจากการใช้ SBH 1 เท่าที่พีเอชเริ่มต้น 2.24-5 และ SBH 2 เท่าที่พีเอชเริ่มต้น 2.24-3 เมื่อวิเคราะห์ตะกอนด้วยวิธี XRD พบว่าองค์ประกอบของตะกอนเป็นคอปเปอร์(I)ออกไซด์ ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ง.1

2) ตะกอนสีน้ำตาลดำหรือสีดำ ลักษณะเป็นผงขนาดใหญ่ เกิดจากการใช้ SBH 2-4 เท่า เมื่อวิเคราะห์ตะกอนด้วยวิธี XRD พบว่าองค์ประกอบของตะกอนเป็นคอปเปอร์(II)ออกไซด์ ( $\text{CuO}$ ) ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ง.2 ตะกอนอบแห้งมีปริมาณทองแดงทั้งหมด 70-85 เปอร์เซ็นต์

3) ตะกอนสีเทาเขียว เกิดจากการปรับพีเอชเริ่มต้นเป็น 6 ตะกอนอบแห้งมีปริมาณทองแดงทั้งหมดประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.16 ลักษณะของตะกอนทองแดงที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเติม SBH จำนวน 1, 2, 3 และ 4 เท่าของจำนวนสโตยซิโอมคริก ที่พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย 2.24

### ก. ปฏิกริยาที่เกิดขึ้น

1) ที่พีเอชน้ำเสียเริ่มต้น 2.24-5 หลังเติม SBH 1-2 เท่าของจำนวนสคอชชีโอมคริก จะทำให้พีเอชของน้ำเพิ่มขึ้นแต่ไม่เกิน 6 ซึ่งทองแดงส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไอออนที่ละลายน้ำ Lindsay และ Heckman (1985) กล่าวว่าไบโรไฮไดรด์ที่เติมลงไปจะรีดิวซ์คอปเปอร์ไอออนให้เป็นโลหะทองแดงได้ตามสมการ 5.1

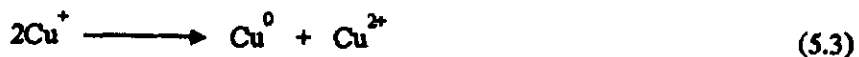


แต่จากผลการวิเคราะห์ตะกอนที่ได้จากการทดลองด้วยวิธี XRD พบว่าสารประกอบที่เด่นชัดของตะกอนเป็นคอปเปอร์(I)ออกไซด์ ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) ซึ่งสันนิษฐานได้ว่าไบโรไฮไดรด์ไอออน ( $\text{BH}_4^-$ ) ไม่สามารถรีดิวซ์  $\text{Cu}^{2+}$  ให้เป็นโลหะทองแดง ( $\text{Cu}^0$ ) ได้หรืออาจรีดิวซ์ได้เพียงบางส่วน เนื่องจากน้ำเสียมีความเข้มข้นทองแดงสูงมาก (550 มก./ล.) โดย  $\text{Cu}^{2+}$  จะถูกรีดิวซ์เปลี่ยนเลขออกซิเดชันเป็นเพียง  $\text{Cu}^+$  เท่านั้น ซึ่งสถานะที่คอปเปอร์มีออกซิเดชันเลข +1 จะไม่เสถียรในสารละลาย ประกอบกับถ้าในสารละลายมีแอนไอออนอยู่ร่วมด้วย  $\text{Cu}^+$  จะสามารถตกตะกอนในรูปของสารประกอบคอปเปอร์(I)ได้ ซึ่งจากการทดลองเมื่อทำการเติม SBH ลงในน้ำเสียความเป็นไปได้ที่เกิดขึ้นคือ  $\text{Cu}^+$  ส่วนใหญ่จะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออน ( $\text{OH}^-$ ) ที่ได้จากการเติม SBH ( $\text{NaBH}_4$  1.2 % ใน  $\text{NaOH}$  4 %) เกิดเป็น  $\text{Cu}_2\text{O}$  ตามสมการที่ 5.2 (Lockie และ Davis III, 1980) โดยที่พีเอชของน้ำต้องไม่เกิน 6



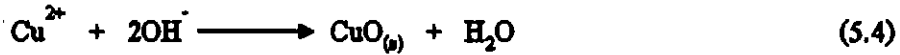
แต่สถานะนี้ยังไม่สามารถกำจัดทองแดงละลายได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง

2) เมื่อเติม SBH มากกว่า 1 เท่าของจำนวนสคอชชีโอมคริก หรือที่พีเอชสุดท้ายของน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่า 7 จะเกิดตะกอนของคอปเปอร์(II)ออกไซด์ ( $\text{CuO}$ ) เป็นส่วนใหญ่ สันนิษฐานว่าการที่คอปเปอร์ไอออนตกตะกอนในรูปของ  $\text{CuO}$  จะมีกลไกการเกิดปฏิกิริยา คือ เมื่อเติม SBH ลงในน้ำเสียทองแดง  $\text{BH}_4^-$  จะรีดิวซ์  $\text{Cu}^{2+}$  ให้กลายเป็น  $\text{Cu}^+$  และบางส่วนเป็น  $\text{Cu}^0$  แต่เนื่องจากสถานะที่คอปเปอร์มีออกซิเดชันเลข +1 จะไม่เสถียร สามารถเกิด disproportionation กลายเป็น  $\text{Cu}^{2+}$  และโลหะทองแดงได้ หรือเรียกว่าเกิด self oxidation reduction (วีโรจัน, 2523) ดังสมการ 5.3





ประกอบด้วยเมื่อเติม SBH เพิ่มขึ้นจนที่เอชของน้ำสูงกว่า 7 จะทำให้  $\text{Cu}^{2+}$  ที่เกิดขึ้นสามารถตกตะกอนในรูปของคอปเปอร์(II)ออกไซด์ได้ตามสมการที่ 5.4 (Lockie และ Davis III, 1980)



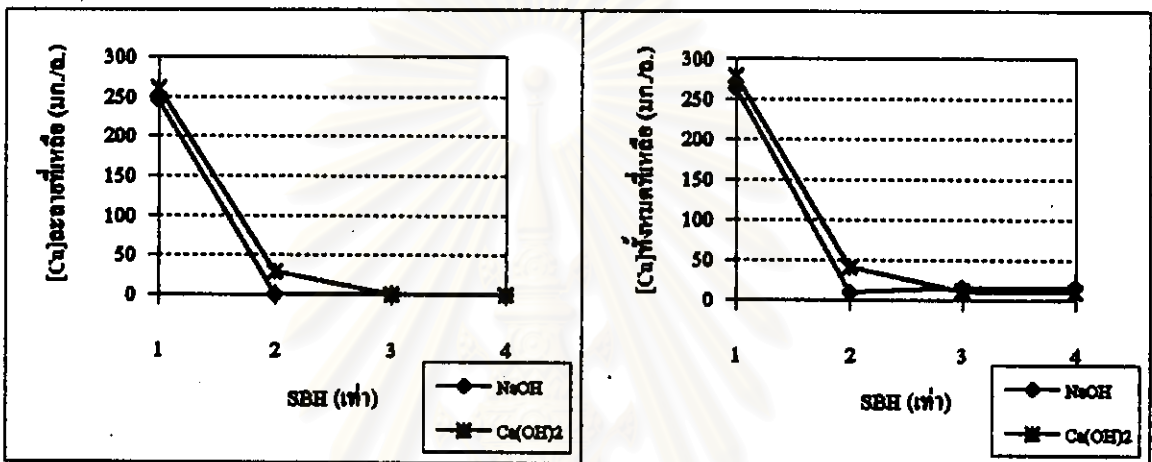
ตะกอนที่เกิดขึ้นสามารถตกตะกอนได้เร็วและอัดตัวแน่นกว่าการตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ เนื่องจากคอปเปอร์(II)ออกไซด์มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 6.3 มากกว่าคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์ที่มีความถ่วงจำเพาะ 3.3

3) ที่พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียมากกว่า 5 คอปเปอร์ไอออนบางส่วนจะตกตะกอนในรูปของคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์ ดังนั้นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นหลังการเติม SBH จึงทำให้เกิดตะกอนทั้งของคอปเปอร์ออกไซด์และคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้ยังมีผลให้น้ำออกมีสีขุ่นและมีตะกอนแขวนลอยจำนวนมาก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

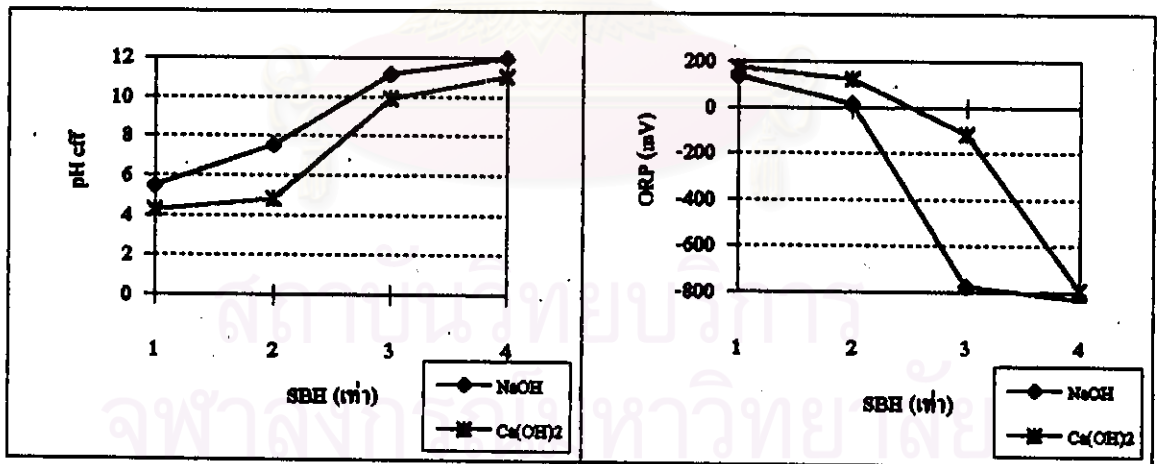
### ง. การใช้ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ปรับพีเอชแทน $\text{NaOH}$

พบว่าการใช้  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ปรับพีเอชน้ำเสียให้เป็น 4 จะสามารถกำจัดทองแดงออกจากน้ำเสียได้มากกว่าการใช้  $\text{NaOH}$  ปรับพีเอชอยู่ประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ที่ปริมาณ SBH เท่ากัน ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5.17 แต่สภาวะดังกล่าวทองแดงทั้งหมดที่เหลือในน้ำยังคงมีค่าเกินมาตรฐานน้ำทิ้งซึ่งสรุปได้ว่า การใช้  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ไม่มีส่วนช่วยให้การตกตะกอนดีขึ้น



(a)

(b)



(c)

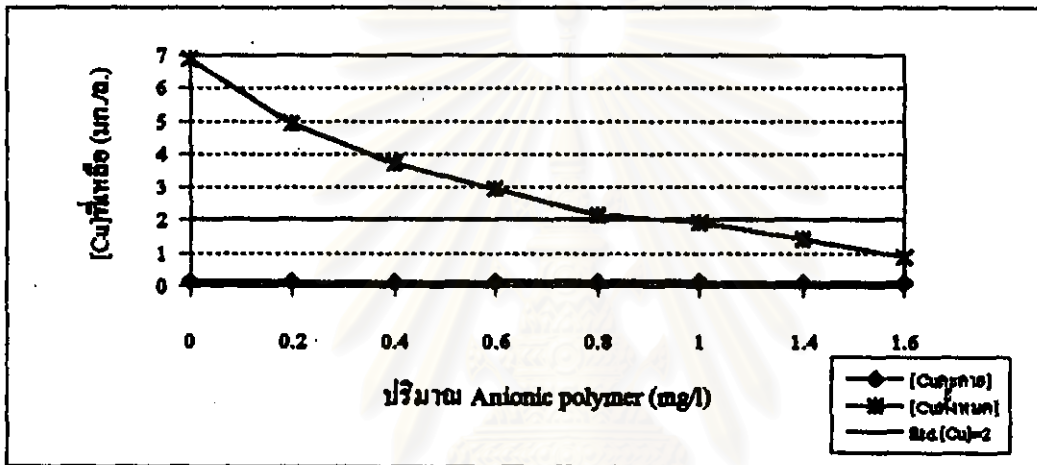
(d)

รูปที่ 5.17 เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการปรับพีเอชเริ่มต้นเป็น 4 ด้วย  $\text{NaOH}$  และ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

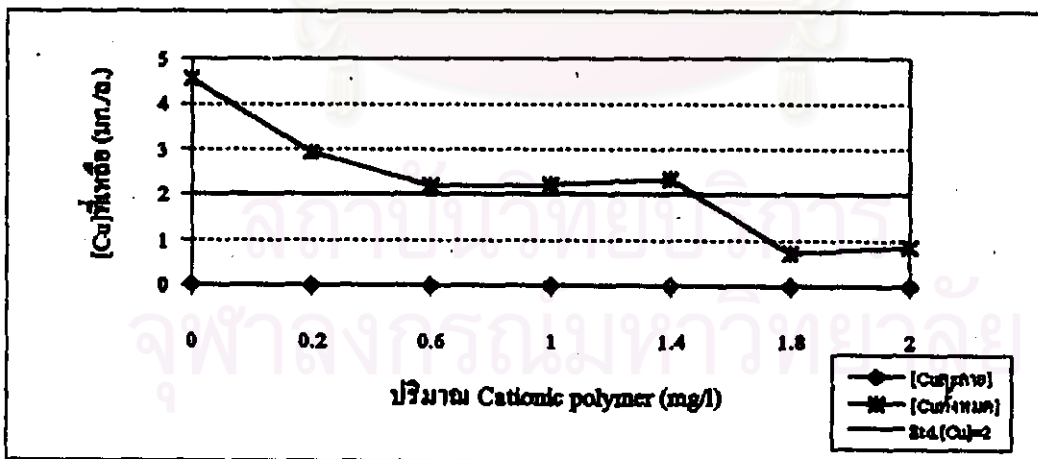
- (a) ความเข้มข้นทองแดงละลายที่เหลือ, (b) ความเข้มข้นทองแดงทั้งหมดที่เหลือ,  
(c) พีเอชสุดท้ายของน้ำออก, (d) ค่าโออาร์พี

### จ. การใช้ SBH ร่วมกับ โพลีเมอร์

เนื่องจากการทดลองใช้ SBH เพียงอย่างเดียวไม่สามารถกำจัดโลหะทั้งหมดให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งได้ ดังนั้นจึงทดลองใช้โพลีเมอร์แบบประจุลบและบวกร่วมด้วย โดยแปรค่าโพลีเมอร์ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จากผลการทดลองพบว่า การใช้โพลีเมอร์สามารถช่วยกำจัดทองแดงทั้งหมดให้ได้มาตรฐานน้ำทิ้งได้ โดยกรณีที่ใช้ SBH 3 เท่าของจำนวนสตอซซิโอมตรีก ร่วมกับโพลีเมอร์แบบประจุลบและบวกเท่ากับ 1 และ 1.8 มก./ล.ตามลำดับจะสามารถกำจัดทองแดงทั้งหมดได้ตามมาตรฐานดังแสดงในรูปที่ 5.18 และวัดปริมาณตะกอนได้ 45 และ 80 มก./ล.ตามลำดับ



(a)



(b)

รูปที่ 5.18 ทองแดงที่เหลือกับปริมาณโพลีเมอร์ที่ใช้ ณ สภาวะการกำจัดโดยใช้ SBH 3 เท่าของจำนวนสตอซซิโอมตรีก

### จ. สรุปผลการทดลองใช้ SBH

สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดทองแดงออกจากน้ำเสียให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งคือ การใช้ SBH 3 เท่าของจำนวนสตออกซิโอมคริกร่วมกับโทลิเมอร์แบบประจุลบ 1 มก./ล. แต่ถ้าปรับพีเอชของน้ำเสียเป็น 4 จะสามารถลดปริมาณ SBH ให้เหลือเพียง 2 เท่าของจำนวนสตออกซิโอมคริกได้ ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นเท่ากับ 45 มล./ล. และมีทองแดงเป็นองค์ประกอบ 85 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมีปริมาณมากพอที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ถ้าปรับพีเอชน้ำเสียเท่ากับ 6 จะใช้ SBH เพียง 0.5 เท่าของจำนวนสตออกซิโอมคริก ก็สามารถกำจัดทองแดงละลายได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง แต่ตะกอนจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 90 มล./ล. และมีทองแดงเป็นองค์ประกอบ 51.6 เปอร์เซ็นต์

#### 5.3.1.2 การใช้ SBH ร่วมกับ $\text{NaHSO}_3$

ทำการทดลองโดยปรับเปลี่ยนพีเอชของน้ำเสียตั้งแต่ 2.24-6 ด้วย  $\text{NaOH}$  ใช้  $\text{NaHSO}_3$  5 และ 10 เท่าของทองแดงในน้ำเสีย และแปรปริมาณ SBH 1-4 เท่าของจำนวนสตออกซิโอมคริก หลังจากกวนและปล่อยให้ตกตะกอนจึงเก็บน้ำส่วนบนมาวิเคราะห์ปริมาณทองแดงละลายและทองแดงทั้งหมดที่เหลือ วัดปริมาณตะกอนที่เวลา 30 นาทีและลักษณะตะกอนที่สังเกตเห็น ซึ่งผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5.19 5.20 และ 5.21 ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

#### ก. ผลวิเคราะห์น้ำส่วนบน

1) ที่ปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  5 เท่าของทองแดงในน้ำเสีย และพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 2.33 พบว่าปริมาณ SBH ที่เหมาะสมคือ 4 เท่าของจำนวนสตออกซิโอมคริก แต่ถ้าปรับพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 3-5 จะใช้ SBH ลดลงเป็น 3 เท่า ซึ่งสามารถกำจัดทองแดงออกจากน้ำเสียได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งทั้งทองแดงละลายและทองแดงทั้งหมด พีเอชและโออาร์ซีมีค่าอยู่ในช่วง 7 ถึง 7.6 และ -500 ถึง -640 mV ตามลำดับ วัดปริมาณตะกอนได้ 20 มล./ล. ตะกอนอบแห้งมีทองแดงทั้งหมด 80 เปอร์เซ็นต์

2) ที่ปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  10 เท่าของทองแดง และพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 2.33 พบว่าปริมาณ SBH ที่เหมาะสมคือ 3 เท่าของจำนวนสตออกซิโอมคริก แต่ถ้าปรับพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 3-5 จะใช้ SBH ลดลงเป็น 2 เท่า ซึ่งสามารถกำจัดทองแดงทั้งหมดออกจากน้ำเสียได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง พีเอชและโออาร์ซีมีค่าอยู่ในช่วง 6.4 ถึง 6.7 และ -450 ถึง -550 mV ตามลำดับ วัดปริมาณตะกอนได้ 35 มล./ล. ตะกอนอบแห้งมีทองแดงทั้งหมด 80 เปอร์เซ็นต์

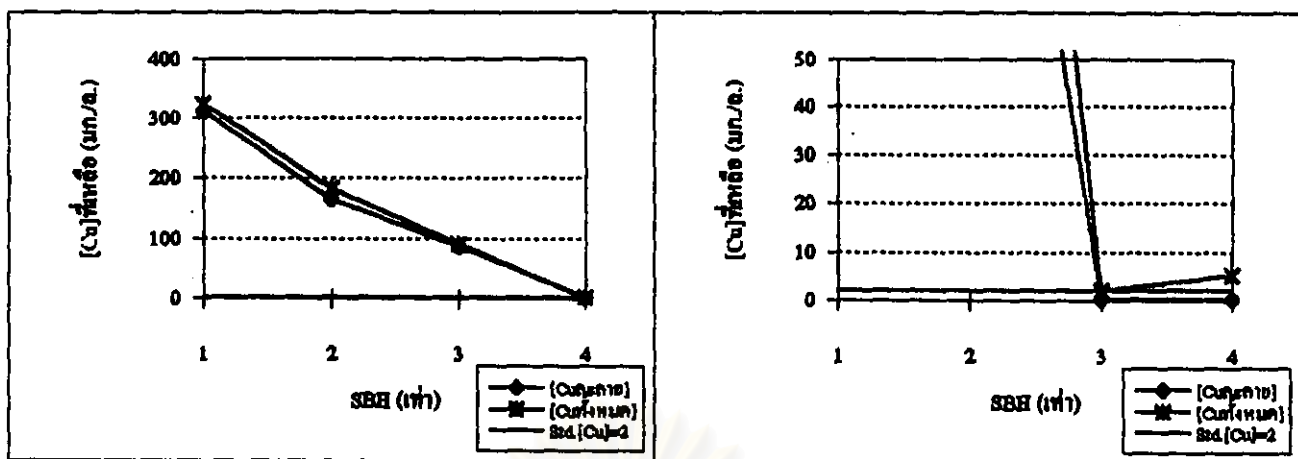
3) ปรับพีเอชน้ำเสียเท่ากับ 6 พบว่า เมื่อใช้ปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  5 เท่าของทองแดง และ SBH 3-4 เท่าของจำนวนตะกอนซีโอแมตริก จะทำให้ทองแดงละลายที่เหลือในน้ำออกมีค่าน้อยกว่า 1 มก./ล. ได้ แต่ทองแดงทั้งหมดกลับมีค่ามากกว่า 10 มก./ล. เนื่องจากมีตะกอนแขวนลอยจำนวนมาก และพีเอชสุดท้ายสูงถึง 11 วัดปริมาณตะกอนได้ 45 มก./ล. ตะกอนอบแห้งมีทองแดงทั้งหมด 50 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่า ค่าพีเอชสุดท้ายของน้ำและไออาร์ทีที่เหมาะสมในการบำบัดคือ 7 และ  $-600 \text{ mV}$  ตามลำดับ ตารางที่ 5.3 แสดงสถานะที่เหมาะสมจากการทดลองใช้ SBH ร่วมกับ  $\text{NaHSO}_3$  กับน้ำเสียทองแดงที่พีเอชเริ่มต้นต่าง ๆ

สรุปได้ว่า การใช้  $\text{NaHSO}_3$  ร่วมกับ SBH จะสามารถกำจัดทองแดงทั้งหมดในน้ำเสียได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง และสามารถลดปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นได้ดีกว่าการใช้ SBH เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้การใช้  $\text{NaHSO}_3$  10 เท่าของทองแดงจะให้ผลการกำจัดที่ดี และสามารถควบคุมคุณภาพน้ำทิ้งได้อย่างสม่ำเสมอ

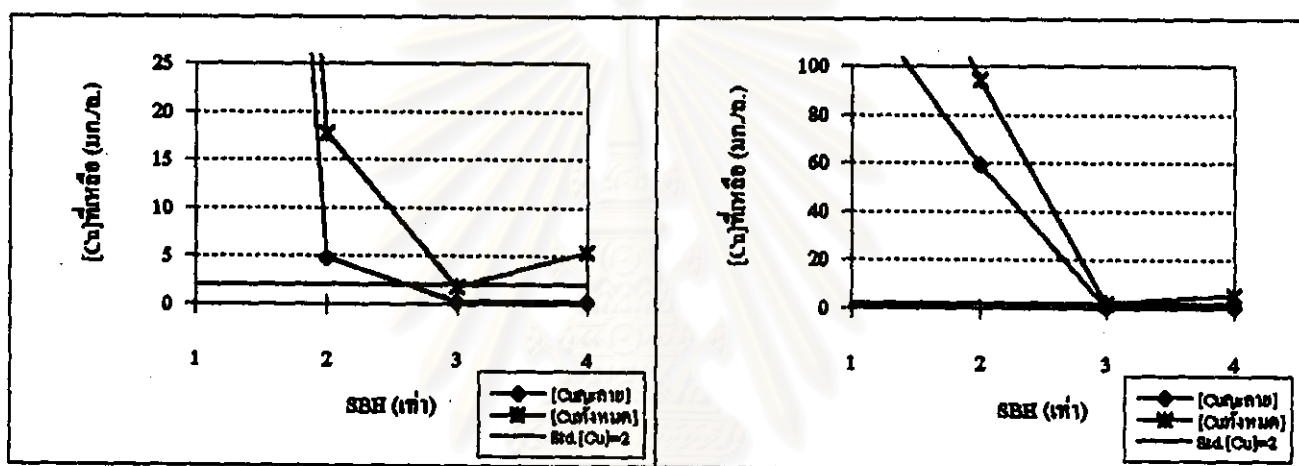


สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



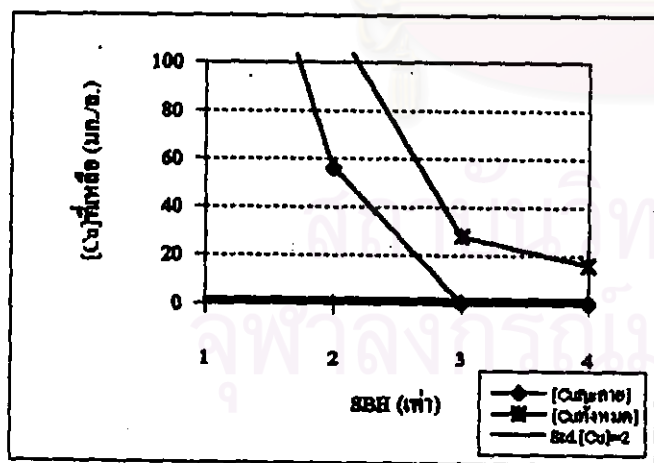
(a) pH = 2.24

(b) pH = 3



(c) pH = 4

(d) pH = 5

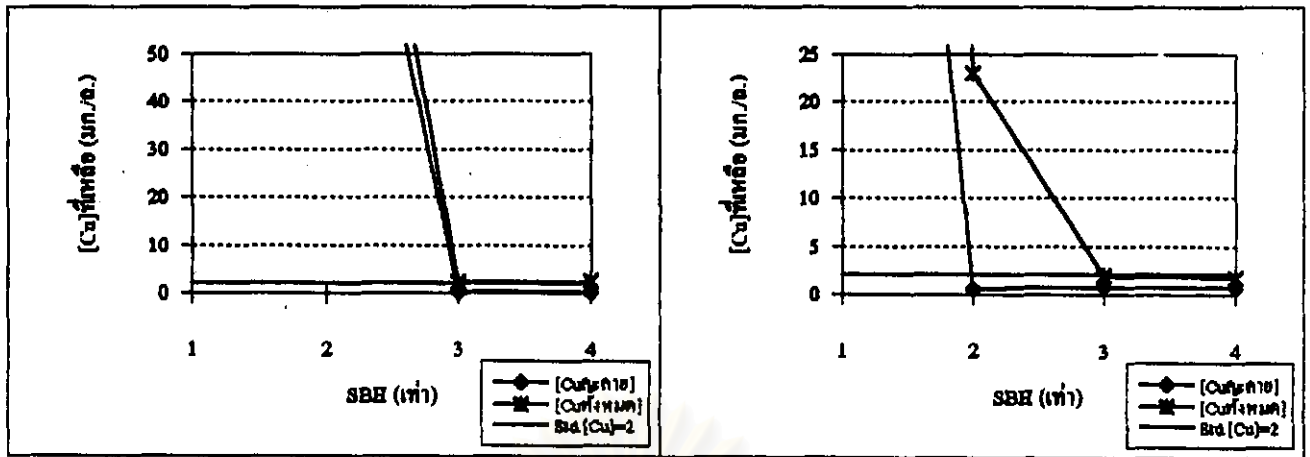


(e) pH = 6

รูปที่ 5.19 ความเข้มข้นของแดงที่เหลือกับปริมาณ SBH ที่ใช้ ณ พีเอชเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

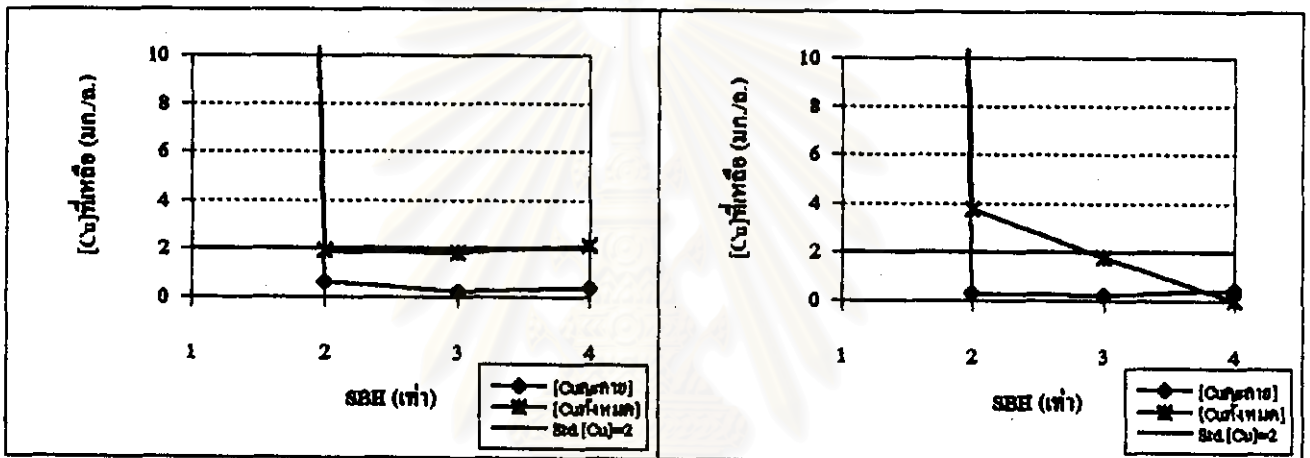
NaHSO<sub>3</sub> = 5 เท่าของ Cu

ความเข้มข้นของแดงเริ่มต้น 550 มก./ล.



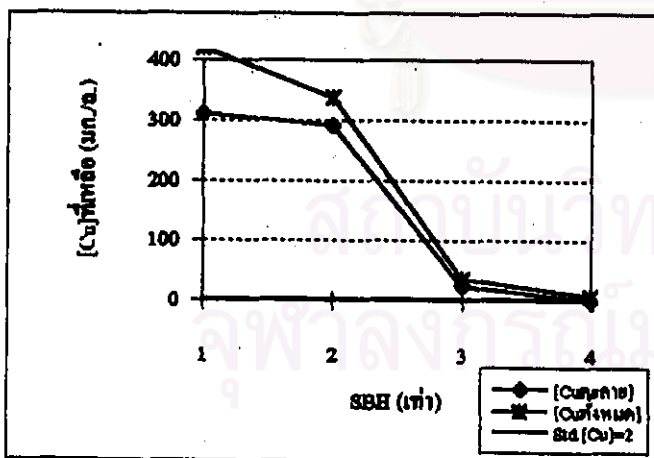
(a) pH = 2.24

(b) pH = 3



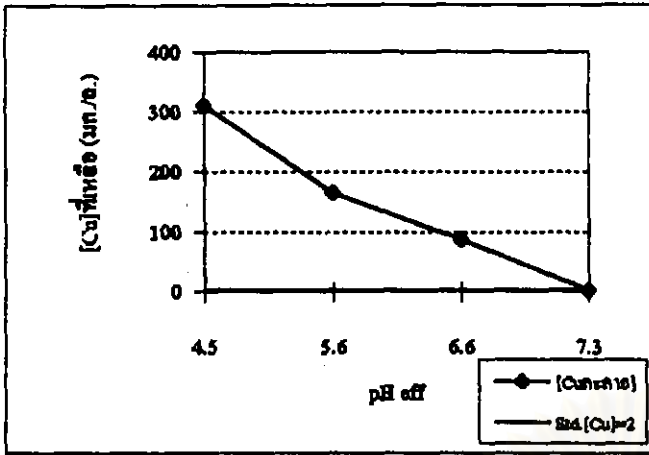
(c) pH = 4

(d) pH = 5

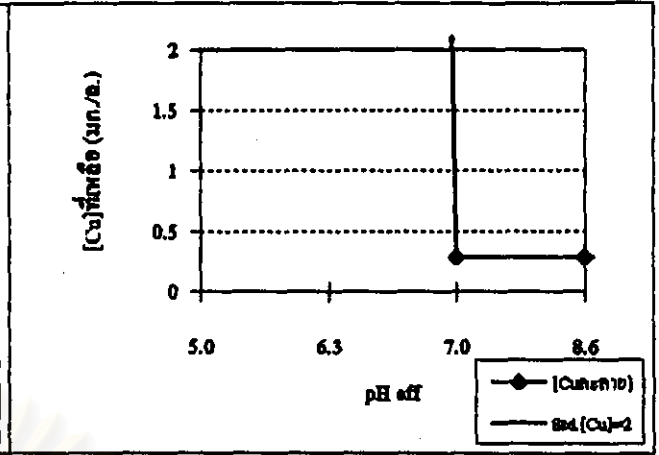


(e) pH = 6

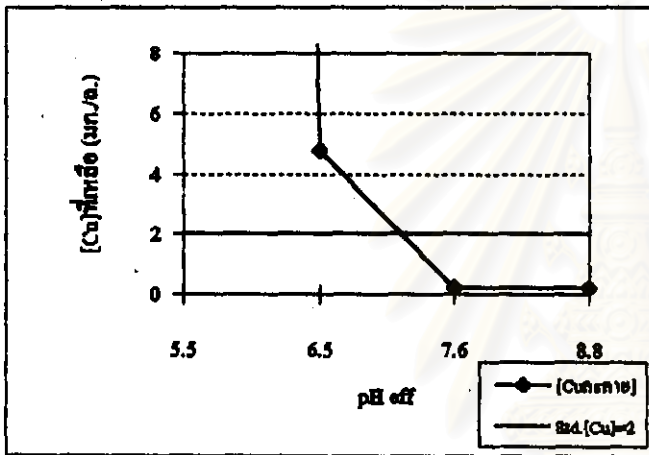
รูปที่ 5.19 ความเข้มข้นของแดงที่เกิดกับปริมาณ SBH ที่ใช้ ณ พีเอชเริ่มต้นต่าง ๆ กัน  
 $\text{NaHSO}_3 = 10$  เท่าของ Cu (ต่อ) ความเข้มข้นของแดงเริ่มต้น 550 มก./ล.



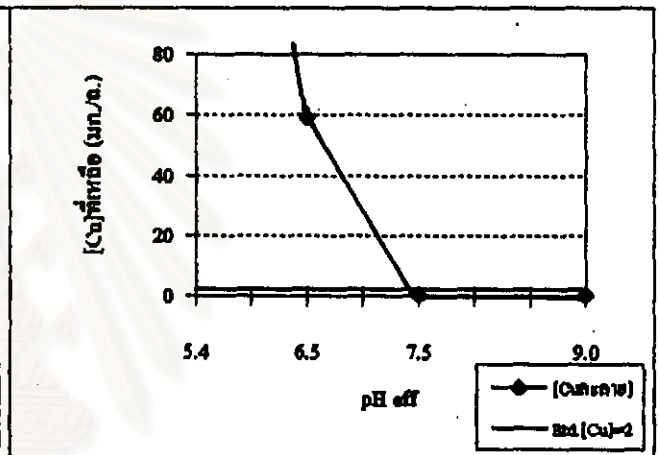
(a) pH = 2.24



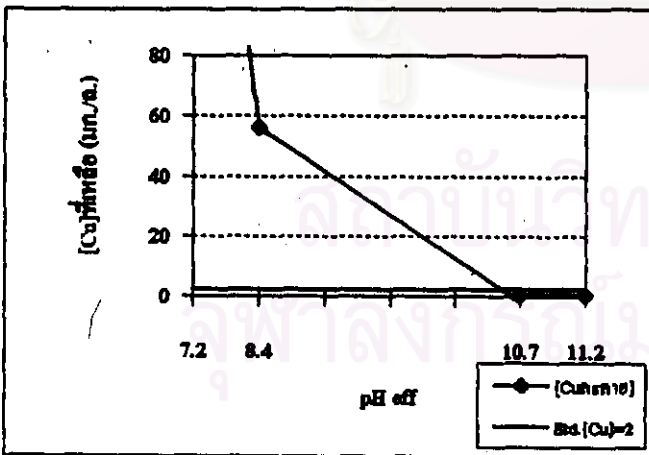
(b) pH = 3



(c) pH = 4



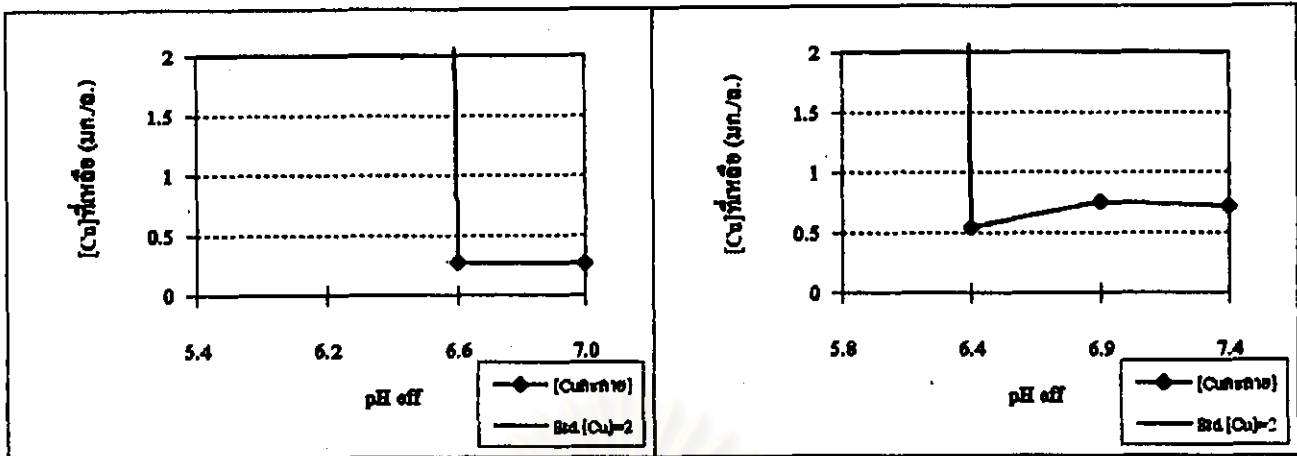
(d) pH = 5



(e) pH = 6

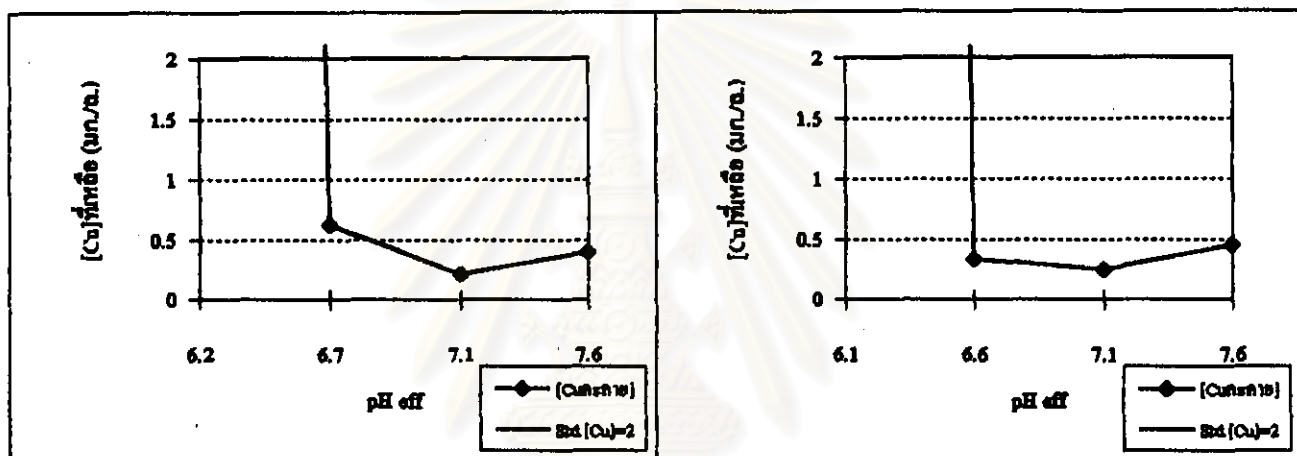
รูปที่ 5.20 ความเข้มข้นทองแดงที่เหลือกับพีเอชสุดท้ายของน้ำ ณ พีเอชเริ่มต้นต่าง ๆ กัน  
 $\text{NaHSO}_3 = 5$  เท่าของ Cu ความเข้มข้นทองแดงเริ่มต้น 550 มก./ล.





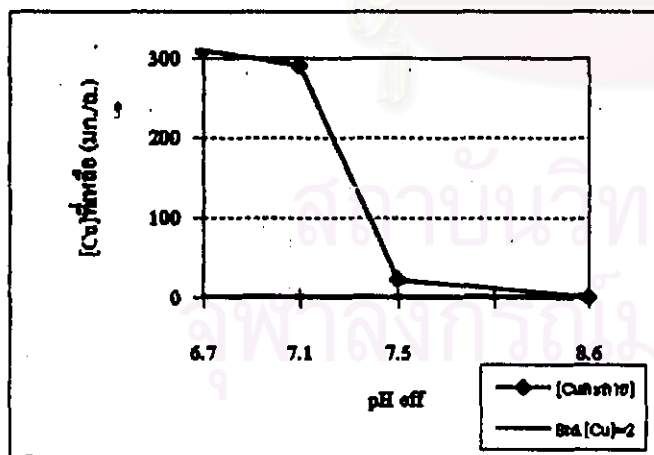
(a) pH = 2.24

(b) pH = 3



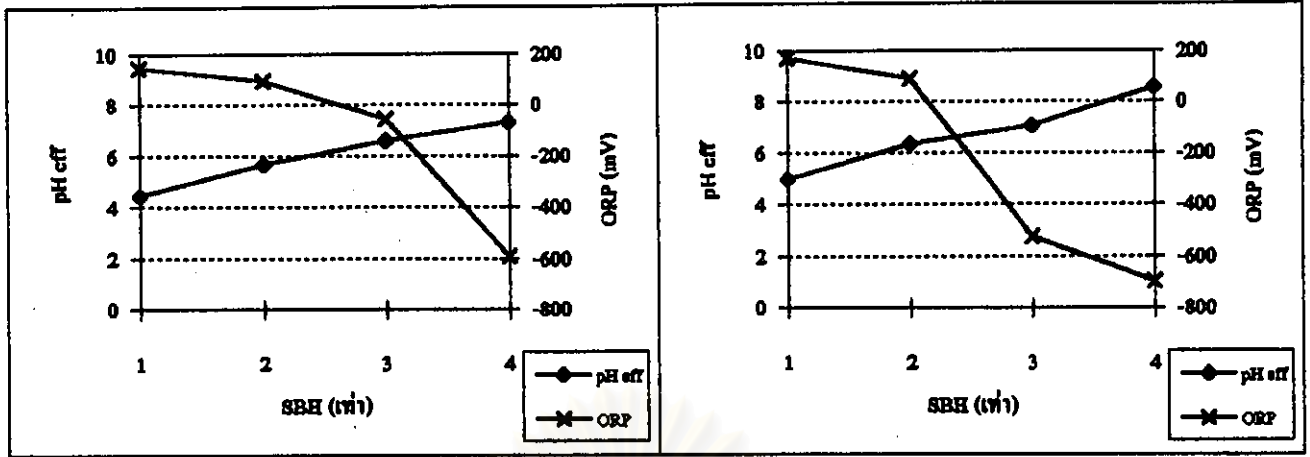
(c) pH = 4

(d) pH = 5



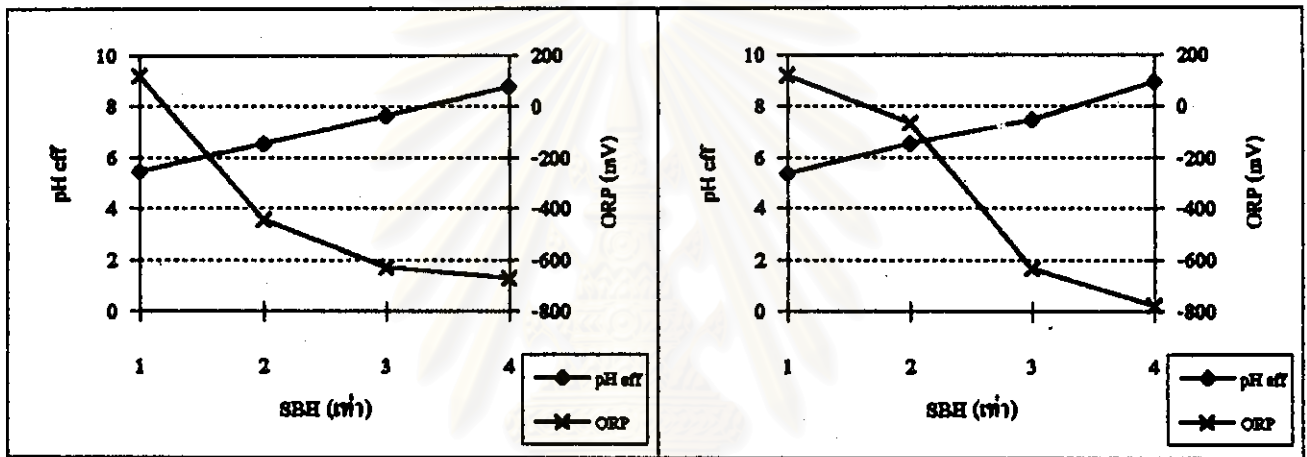
(e) pH = 6

รูปที่ 5.20 ความเข้มข้นทองแดงที่เหลือกับพีเอชสุดท้ายของน้ำ ณ พีเอชเริ่มต้นต่าง ๆ กัน  
 $\text{NaHSO}_3 = 10$  เท่าของ Cu (ต่อ) ความเข้มข้นทองแดงเริ่มต้น 550 มก./ล.



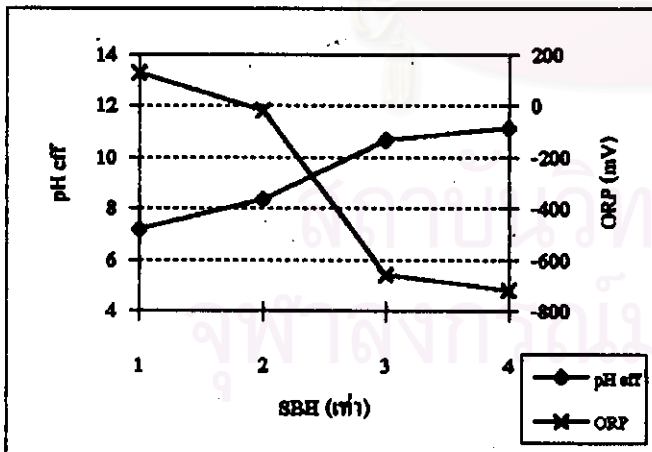
(a) pH = 2.24

(b) pH = 3



(c) pH = 4

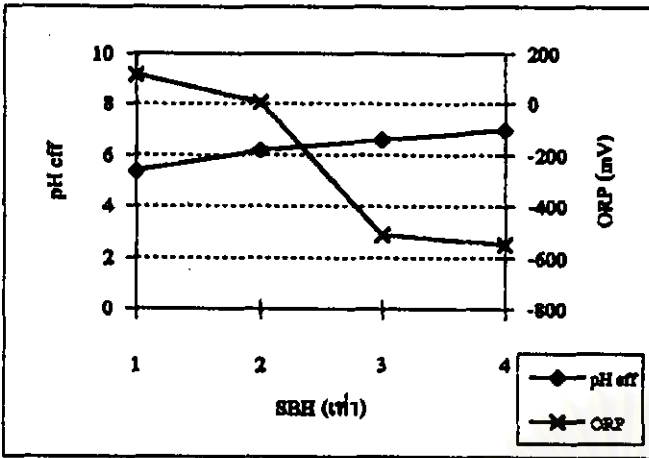
(d) pH = 5



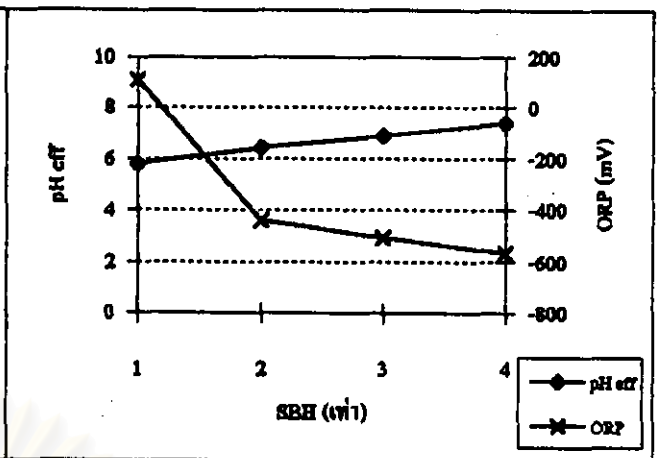
(e) pH = 6

รูปที่ 5.21 พิเออร์ชุดทำของน้ำและค่าโออาร์พีกับปริมาณ SBH ที่ใช้ ณ พิเออร์เริ่มต้นต่าง ๆ กัน

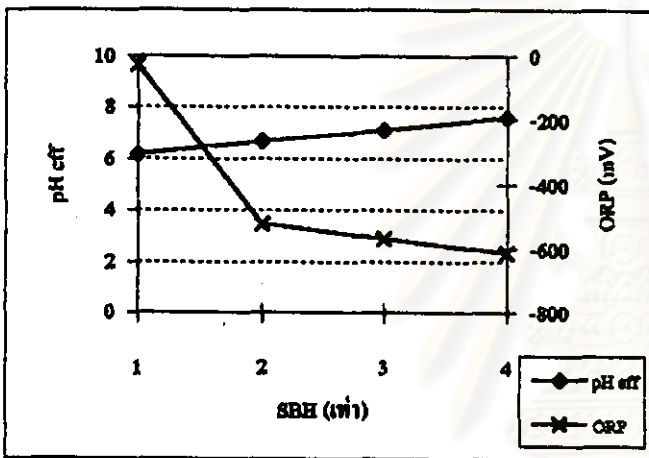
$\text{NaHSO}_3 = 5$  เท่าของ Cu



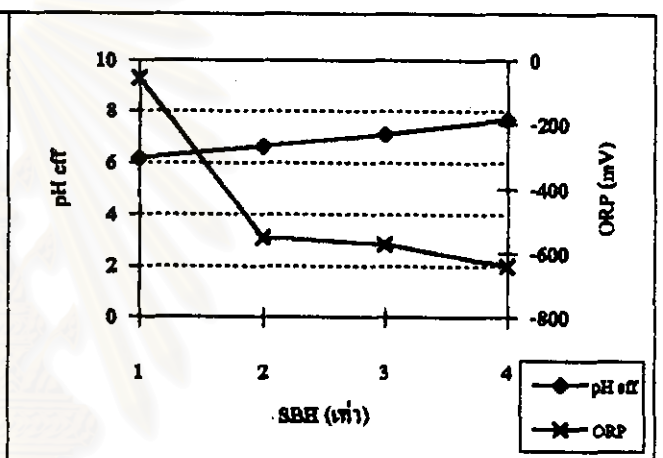
(a) pH = 2.24



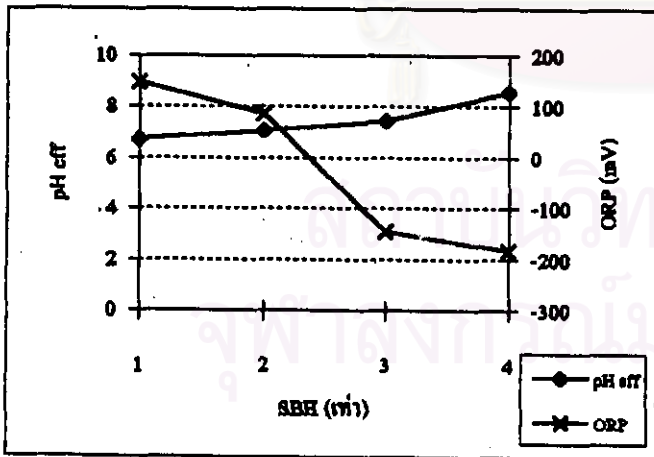
(b) pH = 3



(c) pH = 4



(d) pH = 5



(e) pH = 6

รูปที่ 5.21 ที่เอชสุดท้ายของน้ำและค่าไออาร์ที่กับปริมาณ SBH ที่ใช้ ณ ที่เอชเริ่มต้นต่าง ๆ กัน  
 $\text{NaHSO}_3 = 10$  เท่าของ Cu (ต่อ)

ตารางที่ 5.3 สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองใช้ SBH ร่วมกับ NaHSO<sub>3</sub> กับน้ำเสียทองแดงที่พีเอชเริ่มต้นต่าง ๆ

ปริมาณ NaHSO <sub>3</sub> (เท่ากับ Cu)	pH เริ่มต้น	ปริมาณ SBH (เท่ากับสคอบ)	น้ำส่วนบน						ตะกอน			
			pH	ORP (mV)	Cu ละลาย (มก./ล.)	Cu ทั้งหมด (มก./ล.)	% การกำจัด Cu ละลาย	% การกำจัด Cu ทั้งหมด	ปริมาณ (มก./ล.)	% Cu	ลักษณะ	องค์ประกอบ
5	2.33	4	7.31	-595	1.27	1.83	99.78	99.68	10	76.8	ตะกอนสีดำ	CuO
	3	3	7.06	-525	0.28	2.10	99.95	99.63	10	78.4	ตะกอนสีดำ	CuO
	4	3	7.64	-633	0.23	1.84	99.96	99.68	20	74	ตะกอนสีดำ	CuO
	5	3	7.45	-636	0.46	1.82	99.92	99.86	20	78	ตะกอนสีดำ	CuO
	6	3	10.68	-661	0.39	28	99.93	95.09	45	51.2	ตะกอนสีดำ	CuO
	10	2.33	3	6.57	-515	0.27	2.22	99.95	99.61	10	80.4	ตะกอนสีดำ
10	3	2	6.41	-443	0.54	2.30	99.90	99.60	20	80.4	ตะกอนสีดำ	CuO
	4	2	6.86	-522	0.62	1.91	99.89	99.66	20	80	ตะกอนสีดำ	CuO
	5	2	6.64	-552	0.33	3.75	99.94	99.34	20	80.4	ตะกอนสีดำ	CuO
	6	4	8.57	-183	0.84	6.28	99.85	98.90	35		ตะกอนสีดำ	CuO

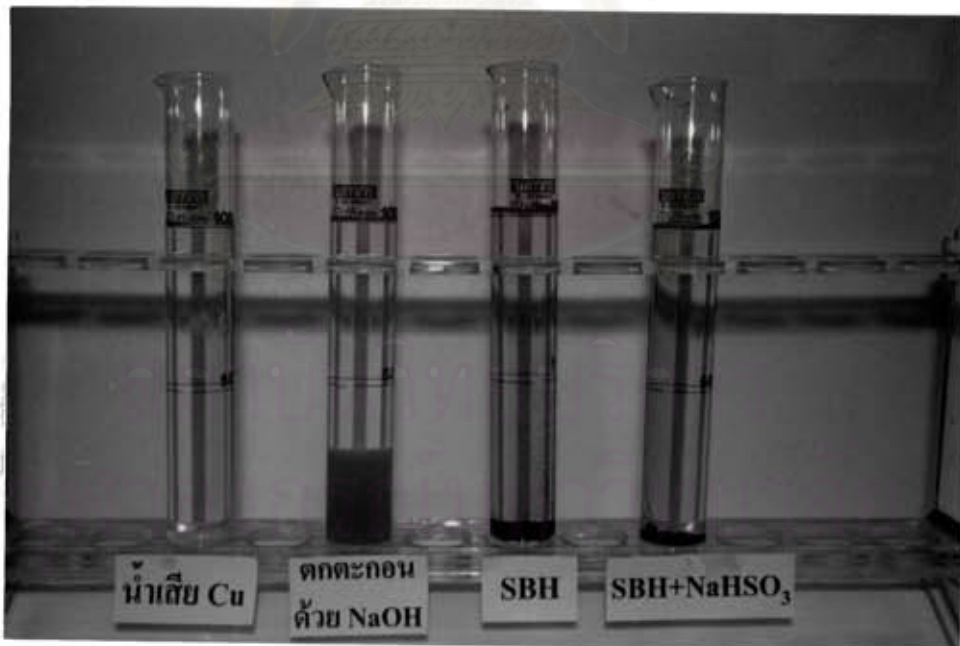
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### ข. ผลวิเคราะห์ตะกอน

ตะกอนทองแดงที่ได้จากสภาวะการบำบัดต่าง ๆ พบว่ามีลักษณะแตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ เช่นเดียวกับการใช้ SBH เพียงอย่างเดียว

- 1) ตะกอนละเอียดสีทองแดง ซึ่งเกิดจากการใช้ SBH 1 เท่าของจำนวนสโตยซิโอมตริก ที่พีเอชเริ่มต้น 2.33-5 องค์ประกอบของตะกอนเป็นคอปเปอร์(I)ออกไซด์ ( $Cu_2O$ )
- 2) ตะกอนสีดำ ลักษณะเป็นผงขนาดใหญ่หรือเป็นเม็ดกลม เกิดจากการใช้ SBH 2-4 เท่าของจำนวนสโตยซิโอมตริก ที่พีเอชเริ่มต้น 2.33-6 ดังตารางที่ 5.3 เมื่อวิเคราะห์ตะกอนด้วยวิธี XRD พบว่า องค์ประกอบของตะกอนเป็นคอปเปอร์(II)ออกไซด์ ( $CuO$ ) ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก 3 ตะกอนอบแห้งมีปริมาณทองแดงทั้งหมด 70-80 เปอร์เซ็นต์
- 3) ตะกอนสีเทาเขียว เกิดจากการปรับพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 6 ใช้  $NaHSO_3$  5 เท่าของทองแดง และ SBH 1-2 เท่าจำนวนสโตยซิโอมตริก



รูปที่ 5.22 เปรียบเทียบลักษณะตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียทองแดงด้วยวิธีการต่าง ๆ

### ก. ปฏิกริยาที่เกิดขึ้น

1) ที่พีเอชน้ำเสียเริ่มต้น 2.33-5 หลังเติม SBH 1 เท่าของจำนวนสคอบซิโอมตริก จะทำให้พีเอชของน้ำเพิ่มขึ้นแต่ไม่เกิน 6 ซึ่งทองแดงส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไอออนที่ละลายน้ำ Lindsay และ Hackman (1985) กล่าวว่ากลไกที่เกิดขึ้นหลังจากเติมโซเดียมไบซัลไฟต์และโซเดียมโบโรไฮไดรด์ซึ่งจะทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นโซเดียมไดซัลไอน์ ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ) ดังสมการ 5.5



ไดซัลไอน์ที่เกิดขึ้นบางส่วนจะรีดิวซ์  $\text{Cu}^{2+}$  เป็น  $\text{Cu}^+$  ดังสมการ 5.5



โบโรไฮไดรด์จะรีดิวซ์  $\text{Cu}^+$  ให้เป็น  $\text{Cu}^0$  ดังสมการ 5.6 ซึ่งปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว



แต่จากผลการวิเคราะห์ตะกอนที่ได้พบว่าองค์ประกอบของตะกอนเป็นคอปเปอร์(I)ออกไซด์ ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) ซึ่งสนับสนุนได้ว่า  $\text{Cu}^+$  ที่เกิดขึ้นตามสมการ 5.6 อาจจะถูกรีดิวซ์ต่อด้วย  $\text{NaBH}_4$  ให้กลายเป็นโลหะทองแดง ( $\text{Cu}^0$ ) เพียงบางส่วนเท่านั้น เนื่องจากน้ำเสียมีความเข้มข้นทองแดงสูงมาก (550 มก/ล.) ดังนั้นความเป็นไปได้ที่เกิดขึ้นคือ  $\text{Cu}^+$  ส่วนใหญ่ที่ไม่ได้ถูกรีดิวซ์ต่อจะทำปฏิกิริยากับ  $\text{OH}^-$  ที่ได้จากการเติม SBH เกิดเป็น  $\text{Cu}_2\text{O}$  ตามสมการ 5.2

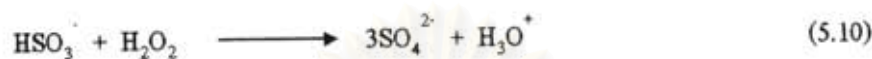
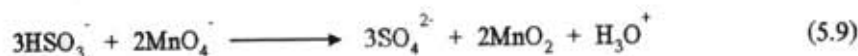
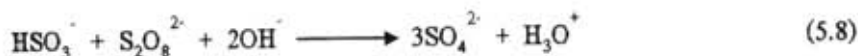
2) เมื่อเติม SBH 2-4 เท่าของจำนวนสคอบซิโอมตริก จนทำให้พีเอชของน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่า 7 ซึ่งจะเกิดตะกอนของคอปเปอร์ออกไซด์เช่นเดียวกับกรณีที่บำบัดน้ำเสียด้วย SBH เพียงอย่างเดียว

3) การปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 6 ใช้  $\text{NaHSO}_3$  5 เท่าของทองแดง และ SBH 1-2 เท่าของจำนวนสคอบซิโอมตริก คอปเปอร์ไอออนจะตกตะกอนทั้งในรูปคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์และคอปเปอร์ออกไซด์ร่วมกัน

4) ผลของ  $\text{NaHSO}_3$  ต่อการกำจัดทองแดงออกจากน้ำเสีย

นอกเหนือจาก  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  ที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง  $\text{NaHSO}_3$  กับ  $\text{NaBH}_4$  จะทำหน้าที่รีดิวซ์  $\text{Cu}^{2+}$  ให้เป็น  $\text{Cu}^+$  แล้ว  $\text{NaHSO}_3$  ยังมีหน้าที่หลักในการรีดิวซ์หรือนิวทรัลไลซ์ (neutralization) สารออกซิไดซิง (oxidizing agents) ที่มีอยู่ในน้ำเสีย เช่น ไฮโครเจนเพอซเฟตซึ่งเป็นส่วนประกอบของน้ำยาล้างล้างงานด้วยด่าง (alkaline cleaning) หรือเปอร์ซัลเฟต เปอร์แมงกานेट เปอร์ออกไซด์ออกซิเจน เป็นต้น ดังปฏิกิริยาตามสมการที่ 5.8-5.10 (Lindsay และ Hackman, 1985) เพราะสารออก

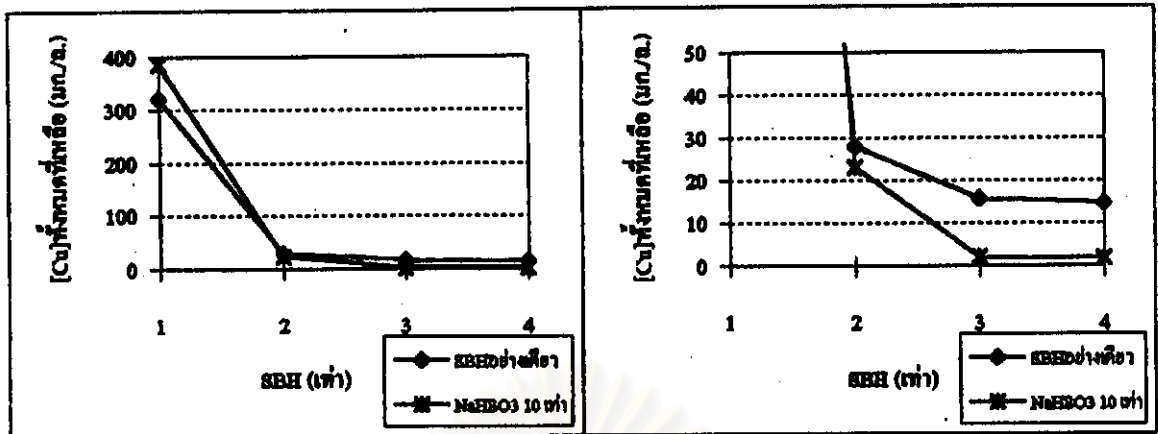
ที่ขึงเหล่านี้จะสามารถออกซิไดซ์โลหะ ( $M^0$ ) ที่เกิดขึ้นแล้วให้กลับมาเป็นโลหะไอออนที่ละลายน้ำได้



นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่า การเติม  $\text{NaHSO}_3$  จะช่วยให้ตะกอนที่เกิดขึ้นสามารถรวมตัวเป็นเม็ดและตกตะกอนได้ดีขึ้นกว่ากรณีใช้ SBH อย่างเดียว ดังรูปที่ 5.23 แสดงลักษณะตะกอนคอปเปอร์ไดออกไซด์ที่ได้จากการใช้ SBH ร่วมกับ  $\text{NaHSO}_3$  เป็นผลให้ทองแดงทั้งหมดที่เหลือในน้ำมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้ง รูปที่ 5.24 เปรียบเทียบระหว่างการใช้ SBH ร่วมกับ  $\text{NaHSO}_3$  10 เท่าของทองแดง กับการใช้ SBH เพียงอย่างเดียวที่พีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 3 จะเห็นได้ว่าการใช้ SBH เพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้ทองแดงทั้งหมดที่เหลือในน้ำได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง แต่ทั้งนี้อัตราส่วนระหว่าง  $\text{NaHSO}_3$  กับ SBH จะต้องไม่มากเกินไปเพราะจะทำให้ตะกอนที่เกิดขึ้นไม่สามารถตกตะกอนได้หรือเกิดตะกอนขนาดเล็ก (pin floc) แขนวนลอยขึ้นแทน



รูปที่ 5.23 ลักษณะของตะกอนที่เกิดจากการใช้ SBH ร่วมกับ  $\text{NaHSO}_3$



ภาพขยาย

รูปที่ 5.24 เปรียบเทียบความเข้มข้นของแคงทั้งหมดที่เหลือระหว่างการใช้ SBH ร่วมกับ NaHSO<sub>3</sub>=10 เท่าของ Cu กับการใช้ SBH อย่างเดียว ที่ที่เอชเริ่มต้นเท่ากับ 3

สรุปหน้าที่ของ NaHSO<sub>3</sub> ต่อการกำจัดทองแดงนอกจากน้ำเสีย คือ

- HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> จะทำหน้าที่รีดิวซ์สารออกซิไดซ์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสียก่อนเติม SBH เพราะปฏิกิริยาของ SBH จะเป็นสภาวะรีดักชัน
- HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> ที่เหลือจากปฏิกิริยาขั้นต้นและบางส่วนที่ได้กลับคืนมาจากการทำปฏิกิริยากับ SBH ตามสมการ 5.4 และ 5.5 จะช่วยป้องกันไม่ให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วถูกสารออกซิไดซ์ที่มีอยู่ในแหล่งรองรับน้ำทิ้งมาออกซิไดซ์ตะกอนโลหะที่ปนอยู่ในน้ำออกให้กลับเป็นโลหะไอออนที่ละลายน้ำได้อีก
- ช่วยให้ตะกอนที่เกิดขึ้นรวมตัวกันได้ดี เกิดตะกอนขนาดใหญ่ ปริมาตรตะกอนลดลงเมื่อเทียบกับการใช้ SBH อย่างเดียวประมาณ 3-5 เท่า

ศูนย์บริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### จ. การใช้ $\text{Ca(OH)}_2$ ปรับพีเอชแทน $\text{NaOH}$

การทดลองใช้  $\text{Ca(OH)}_2$  ปรับพีเอชของน้ำเสียให้เป็น 3 และ 4 ร่วมกับการใช้  $\text{NaHSO}_3$  และ SBH ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5.4 ซึ่งสรุปได้ว่า การปรับพีเอชเริ่มต้นด้วย  $\text{Ca(OH)}_2$  จะช่วยลดปริมาณการใช้ SBH ลง และยังช่วยลดความเข้มข้นของตะกอนทั้งหมดในน้ำออกลงเมื่อเทียบกับการใช้  $\text{NaOH}$  โดยปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากกลไกการตกผลึกร่วม (coprecipitation) โดยผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) ที่เกิดจากการใช้  $\text{Ca(OH)}_2$  ปรับพีเอช จะสามารถดูดซับ (adsorb) กับตะกอน  $\text{CuO}$  ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำทำให้สามารถตกตะกอนได้ดีขึ้น แต่จะมีข้อเสียคือน้ำเป็นฝ้าขาวและเปอร์เซ็นต์ของทองแดงในตะกอนอบแห้งมีค่าน้อยลง เนื่องจากการเกิดตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตทำให้น้ำหนักตะกอนที่เกิดขึ้นโดยรวมเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบระหว่างการปรับพีเอชของน้ำเสียด้วย  $\text{NaOH}$  กับ  $\text{Ca(OH)}_2$

ปรับ pH เป็น	$\text{NaHSO}_3$ (เท่าของ Cu)	SBH (เท่าของตะกอน)	[Cu] ละลายที่เหลือ (mg/l)		[Cu] ทั้งหมดที่เหลือ (mg/l)		% Cu ในตะกอน	
			$\text{NaOH}$	$\text{Ca(OH)}_2$	$\text{NaOH}$	$\text{Ca(OH)}_2$	$\text{NaOH}$	$\text{Ca(OH)}_2$
3	5	1	224	212	230	224		
		2	170	96	248	142		
		3	0.28	0.51	2.10	0.94	78.4	71.6
		4	0.28	0.25	5.07	0.27		
4	5	1	131	26	385	66		
		2	0.54	0.32	23	0.93		
		3	0.75	0.34	1.56	0.53		
		4	0.71	0.22	1.70	0.60		
4	10	1	183	179	198	207		
		2	4.77	0.21	17.7	0.97		
		3	0.23	0.23	1.84	0.67	74	63.6
		4	0.21	0.18	5.4	0.97		
4	10	1	187	22	204	50		
		2	0.62	0.22	1.91	0.52		
		3	0.21	0.24	1.86	0.58	80	67.6
		4	0.40	0.26	2.16	0.39		

### จ. ผลของการทดลองใช้ SBH ร่วมกับ $\text{NaHSO}_3$

1) สภาพที่เหมาะสมในการกำจัดทองแดงทั้งหมดออกจากน้ำเสียให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งคือ ใช้ปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  5 เท่าของทองแดงในน้ำเสีย และ SBH 4 เท่าของจำนวนสคอซซีโอมตริก แต่ถ้าปรับพีเอชเริ่มต้นเป็น 4 ด้วย  $\text{NaOH}$  และใช้  $\text{NaHSO}_3$  10 เท่าของทองแดง จะสามารถลดปริมาณ SBH ลงเหลือ 3 เท่าจำนวนสคอซซีโอมตริกได้ ลักษณะตะกอนที่เกิดขึ้นจะรวมตัวเป็นเม็ดตกตะกอนได้ดีโดยไม่ต้องใช้โพลีเมอร์

2) การใช้  $\text{Ca(OH)}_2$  ปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นแทน  $\text{NaOH}$  พบว่า สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงให้ดีขึ้น และลดการใช้ SBH ลงได้ สภาพการกำจัดที่เหมาะสมคือ ปรับพีเอชเป็น 4 ด้วย  $\text{Ca(OH)}_2$  เติม  $\text{NaHSO}_3$  5 เท่าของทองแดง และ SBH 2 เท่าจำนวนสคอซซีโอมตริก จะสามารถกำจัดทองแดงทั้งหมดในน้ำให้เหลือต่ำกว่า 1 มก./ล.

3) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ SBH เพียงอย่างเดียวจะมีข้อดีกว่าตรงที่

- ทองแดงทั้งหมดที่ตกอยู่ในน้ำหลังการบำบัดจะได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งโดยไม่ต้องใช้โพลีเมอร์ร่วม

- เกิดตะกอนในปริมาณที่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของการใช้ SBH เพียงอย่างเดียว

4) การปฏิบัติงานจริงอาจจะควบคุมการเติม SBH โดยใช้ค่าพีเอชและไออาร์ที่แทนการคำนวณตามสมการการเกิดปฏิกิริยา ดังมีขั้นตอนต่อไปนี้

- ปรับพีเอชของน้ำเสียเป็น 4 ด้วย  $\text{Ca(OH)}_2$

- เติม  $\text{NaHSO}_3$  จนไออาร์ที่มีค่าประมาณ 160 mV กวนประมาณ 10 นาที น้ำเสียจะเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสีเหลือง ควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วง 4.5-5

- ค่อย ๆ เติม SBH จนพีเอชมีค่าประมาณ 6.5-7 หรือไออาร์ที่มีค่าประมาณ -600 mV ถ้าไออาร์ที่กลับมีค่าเป็นบวกเพิ่มขึ้น ให้เติม SBH อีกจนมีค่าก่อนข้างคงที่ น้ำเสียจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและสีดำในที่สุด กวนประมาณ 20 นาทีจนกระทั่งตะกอนรวมตัวเป็นเม็ด

- ปล่อยให้ตกตะกอนประมาณ 30 นาที

### 5.3.2 นำเอชจากอารซูนิกเกิด

#### 5.3.2.1 อรใช้ SBH อย่างเดียว

น้ำเสียนิกเกิดมีค่าพีเอชและโออาร์ทีโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6.90 และ 180 mV ตามลำดับ มีความเข้มข้นนิกเกิด 130 มก./ล. ทำการทดลองโดยปรับเปลี่ยนพีเอชของน้ำเสียดังแต่ 6-11 ด้วย NaOH และ  $H_2SO_4$  แปรปริมาณ SBH 0.5-4 เท่าของจำนวนสตอซซิโอมตริก หลังจากกวนเร็ว 20 นาทีและปล่อยให้ตกตะกอนจึงเก็บน้ำส่วนบนมาวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิดละลายและนิกเกิดทั้งหมดที่เหลือ วัดปริมาณตะกอนที่เวลา 30 นาทีและลักษณะตะกอนที่สังเกตเห็น ซึ่งผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5.25 5.26 และ 5.27 คังมีรายละเอียดต่อไปนี้

#### ก. ผลวิเคราะห์น้ำส่วนบน

1) ที่พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียดังกับ 6-8 พบว่า ต้องเติม SBH ตั้งแต่ 1 เท่าของจำนวนสตอซซิโอมตริกขึ้นไปจึงจะทำให้นิกเกิดละลายที่เหลือในน้ำมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้ง แต่ความเข้มข้นทั้งหมดยังคงเกินค่ามาตรฐานที่ทุกสภาวะ กรดใช้ SBH 1 เท่าจะทำให้ได้พีเอชสุดท้าย 8.85-9.1 และโออาร์ทีมีค่า -300 ถึง -380 mV ปริมาณตะกอนเท่ากับ 90-110 มก./ล.

2) ที่พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียดังกับ 9-11 เมื่อใช้ SBH เพียง 0.5 เท่าของจำนวนสตอซซิโอมตริก จะสามารถกำจัดนิกเกิดให้เหลือความเข้มข้นที่ละลายน้อยกว่า 1 มก./ล. แต่นิกเกิดทั้งหมดยังคงเกินค่ามาตรฐานที่ทุกสภาวะ พีเอชสุดท้ายสูงกว่า 10 และโออาร์ทีมีค่าประมาณ -300 mV ปริมาณตะกอนเท่ากับ 20 มก./ล.

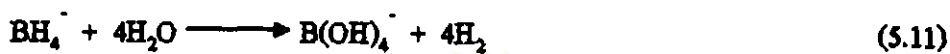
จากผลการทดลองข้างต้นพบว่า ค่าพีเอชสุดท้ายของน้ำและโออาร์ทีที่เหมาะสมในการบำบัดคือ 9 และ -300 mV ตามลำดับ ตารางที่ 5.5 แสดงสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองใช้ SBH กับน้ำเสียนิกเกิดที่พีเอชเริ่มต้นต่าง ๆ

#### ข. ผลวิเคราะห์ตะกอน

ตะกอนนิกเกิดที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นปุ๋ยสีขาวเขียว จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี XRD พบว่า องค์ประกอบของตะกอนเป็น  $Ni(OH)_2$  ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในภาคผนวก ง.4 วัดปริมาณนิกเกิดในตะกอนอบแห้งได้ 35-40 เปอร์เซ็นต์

### ก. ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

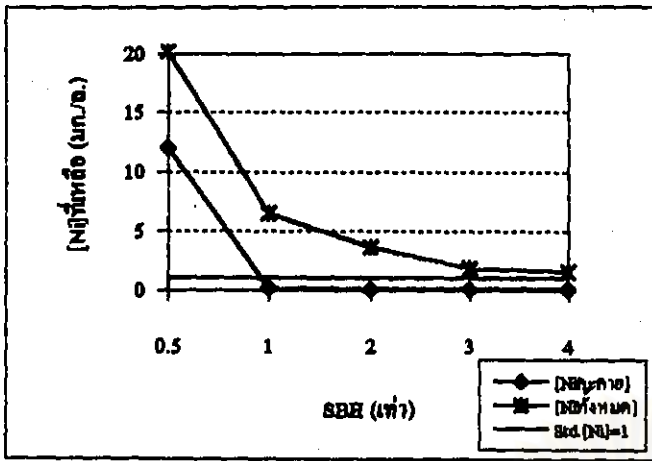
การบำบัดน้ำเสียชนิดเกิดด้วย SBH ผลที่เกิดขึ้นจะเหมือนกับการตกตะกอนทางเคมีด้วยไฮดรอกไซด์ และจากปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้เกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนพาให้ตะกอนแขวนลอย เนื่องจาก  $\text{NaBH}_4$  ทำปฏิกิริยากับน้ำดังสมการ 5.11 (Julia, 1977)



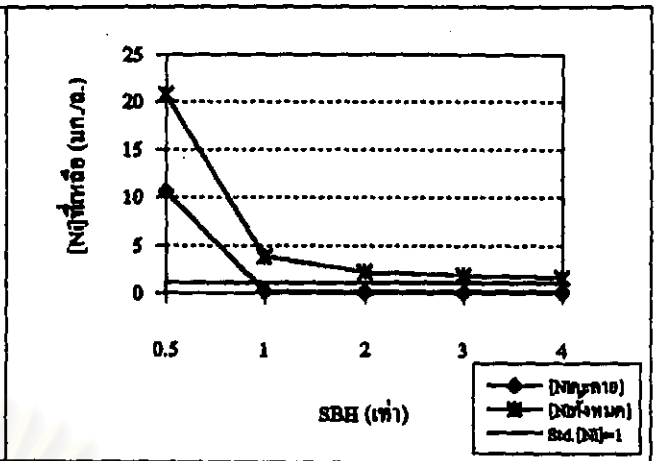
ซึ่งปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรดหรือเป็นกลาง



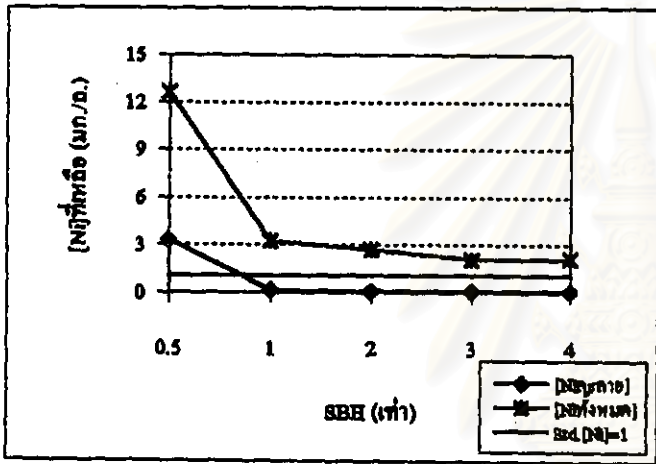
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



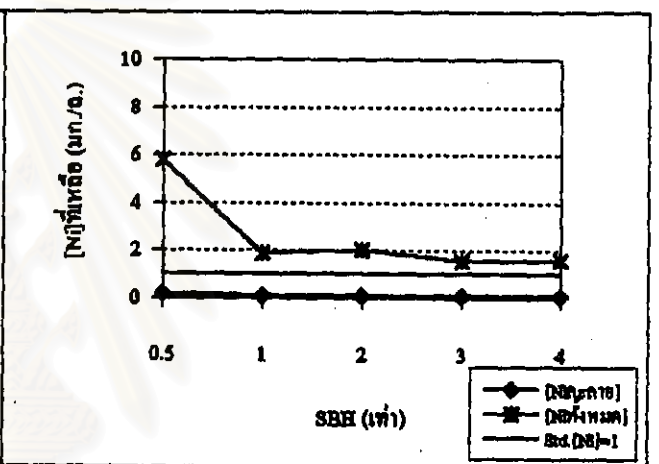
(a) pH = 6



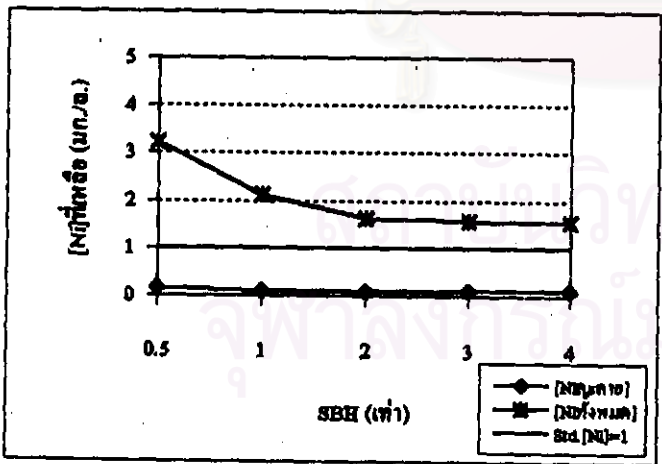
(b) pH = 7



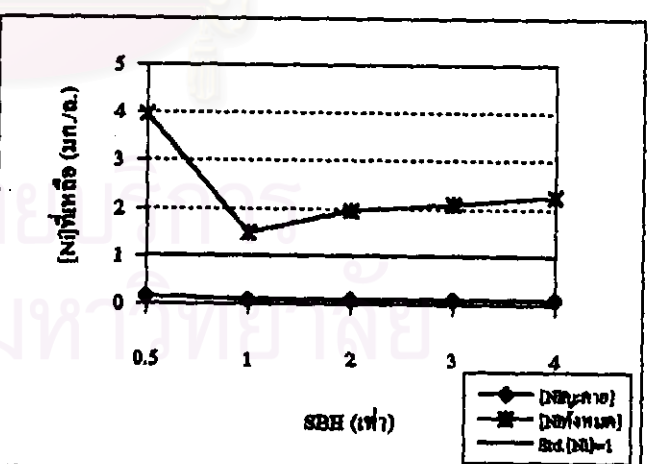
(c) pH = 8



(d) pH = 9

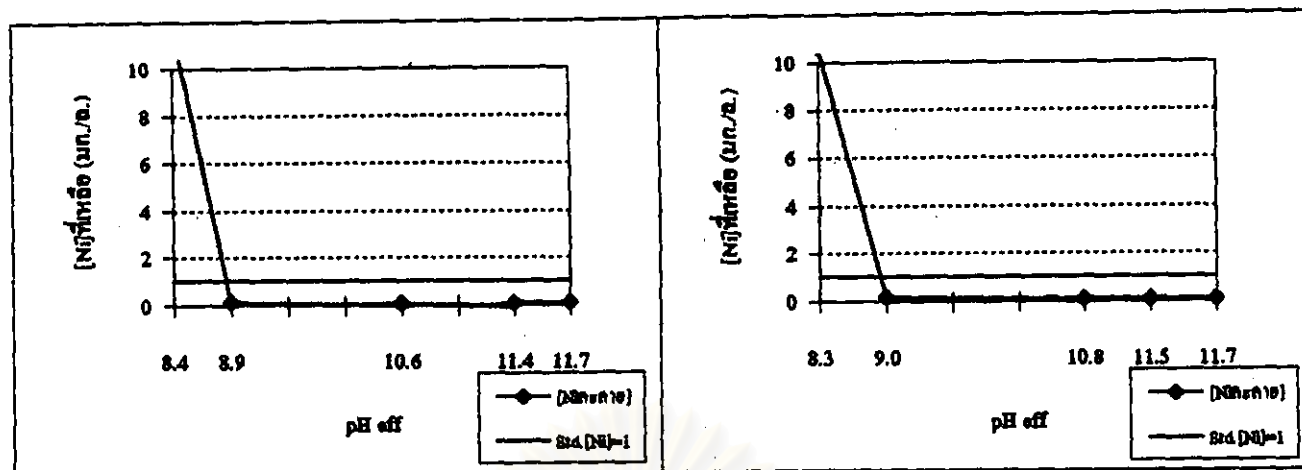


(e) pH = 10



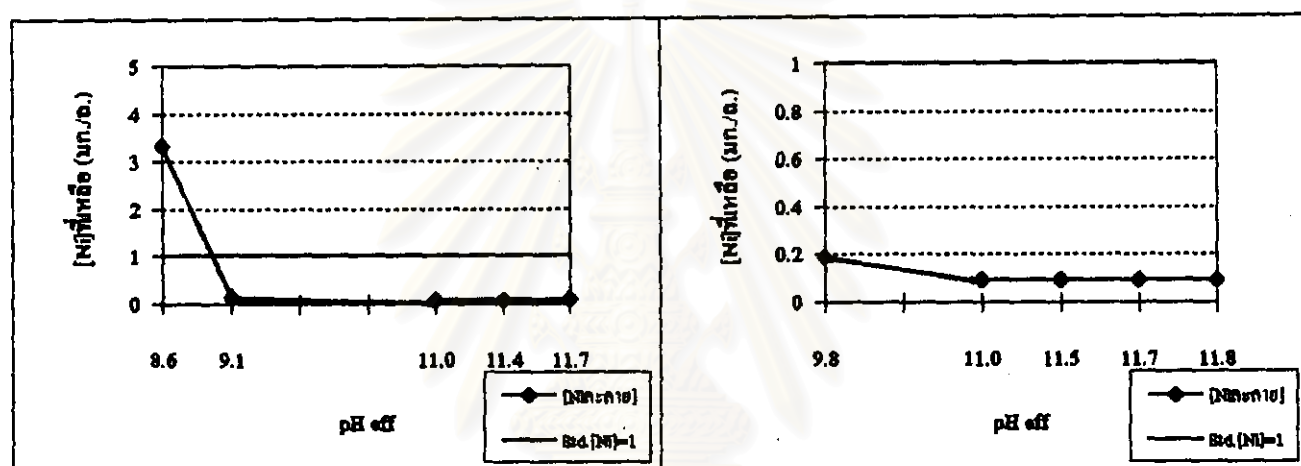
(f) pH = 11

รูปที่ 5.25 ความเข้มข้นนิกเกิลที่เหลือนับกับปริมาณ SBH ที่ใช้ ณ พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียต่าง ๆ กัน ความเข้มข้นนิกเกิลเริ่มต้น 130 มก./ล.



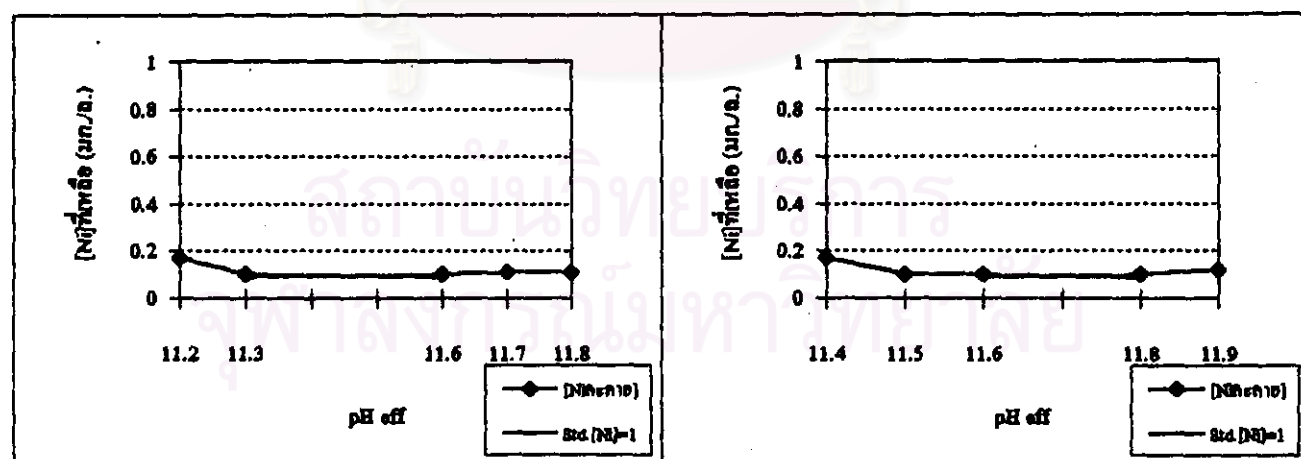
(a) pH = 6

(b) pH = 7



(c) pH = 8

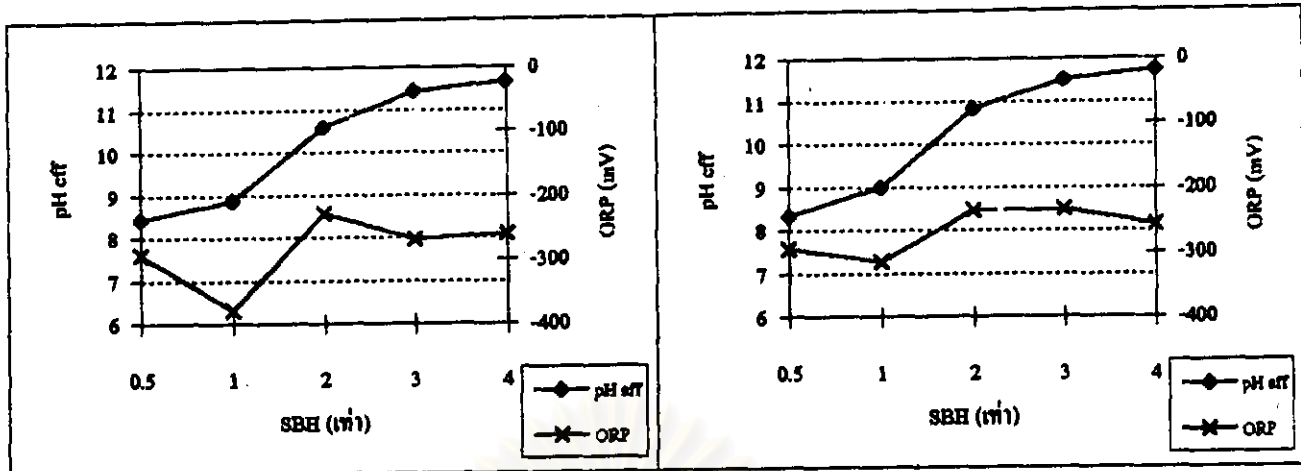
(d) pH = 9



(e) pH = 10

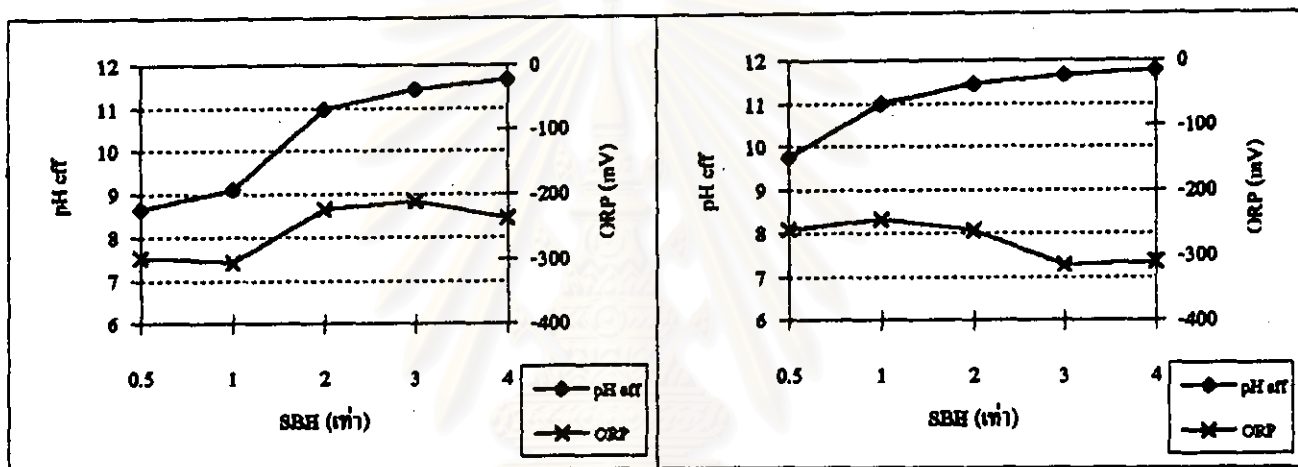
(f) pH = 11

รูปที่ 5.26 ความเข้มข้นนิกเกิลที่ผลิตกับพีเอชสุดท้ายของน้ำ ณ พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียต่าง ๆ กัน  
ความเข้มข้นนิกเกิลเริ่มต้น 130 มก./ล.



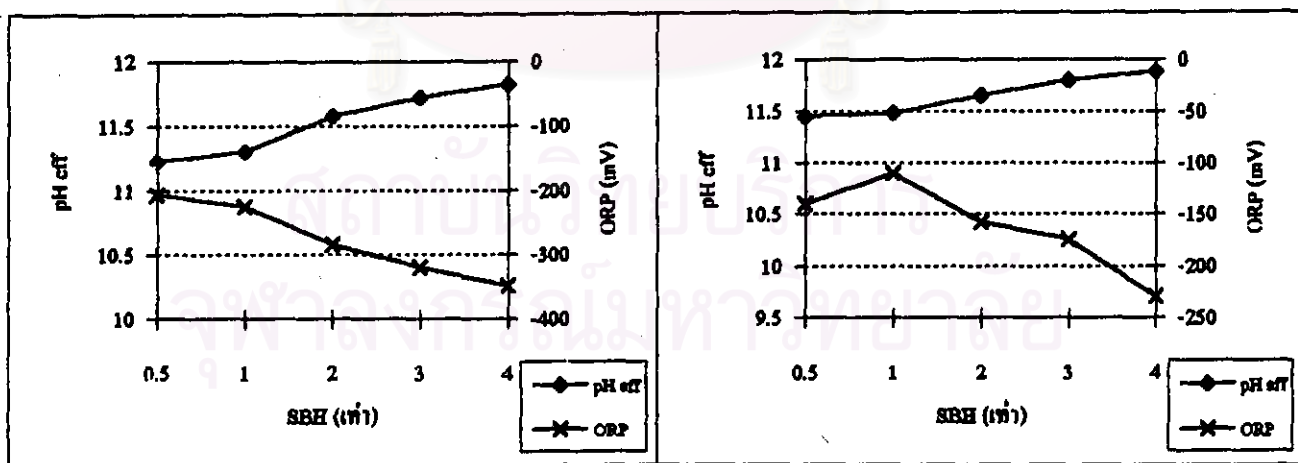
(a) pH = 6

(b) pH = 7



(c) pH = 8

(d) pH = 9



(e) pH = 10

(f) pH = 11

รูปที่ 5.27 พิเอชสุดท้ายของน้ำและค่าโออาร์พีกับปริมาณ SBH ที่ใช้ ณ พิเอชเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 5.5 สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองใช้ SBH กับน้ำเสียนิกเกิลที่พีเอชเริ่มต้นต่าง ๆ

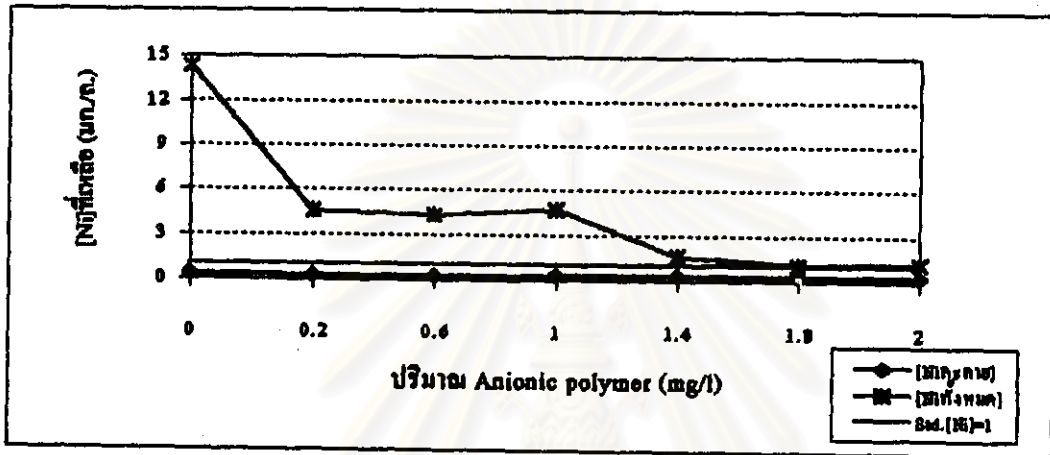
pH เริ่มต้น	ปริมาณ SBH (เทปของสต่อย)	น้ำส่วนบน						ตะกอน			
		pH	ORP (mV)	Ni ละลาย (มก./ล.)	Ni ทั้งหมด (มก./ล.)	% การกำจัด Ni ละลาย	% การกำจัด Ni ทั้งหมด	ปริมาณ (มล./ล.)	% Ni	ลักษณะ	องค์ประกอบ
6	1	8.85	-380	0.15	6.41	99.88	95.07	100	35	ตะกอนสีขาวขุ่น	$\text{Ni(OH)}_2$
7	1	9.00	-315	0.18	3.76	99.90	97.11	110	37	ตะกอนสีขาวขุ่น	$\text{Ni(OH)}_2$
8	1	9.09	-306	0.14	3.21	99.89	97.53	110		ตะกอนสีขาวขุ่น	$\text{Ni(OH)}_2$
9	0.5	9.75	-320	0.19	5.77	99.85	95.56	45		ตะกอนสีขาวขุ่น	$\text{Ni(OH)}_2$
10	0.5	11.22	-286	0.17	3.21	99.87	97.53	45		ตะกอนสีขาวขุ่น	$\text{Ni(OH)}_2$
11	0.5	11.45	-286	0.17	3.95	99.87	96.96	45		ตะกอนสีขาวขุ่น	$\text{Ni(OH)}_2$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

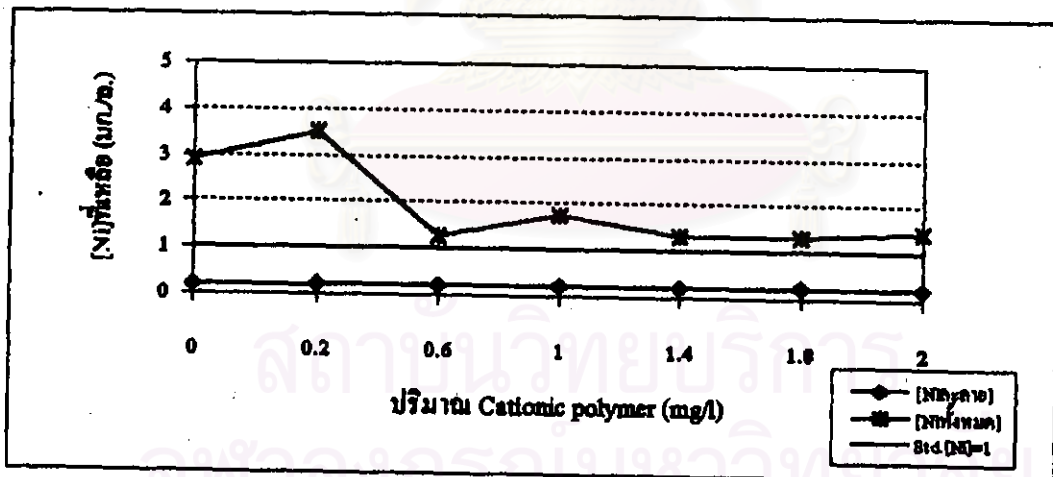


### จ. การใช้ SBH ร่วมกับโพลีเมอร์

เนื่องจากการทดลองใช้ SBH เพียงอย่างเดียวไม่สามารถกำจัดโลหะทั้งหมดให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งได้ ดังนั้นจึงทดลองใช้โพลีเมอร์แบบประจุลบและบวกร่วมกับการใช้ SBH 1 เท่าของจำนวนสคอดีไอออนบวก ที่พีเอชน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 7 พบว่าโพลีเมอร์ประจุลบปริมาณ 1.8 มก./ล. สามารถช่วยกำจัดนิกเกิลให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งได้ ผลการทดลองดังแสดงในรูป 5.28



(a)



(b)

รูปที่ 5.28 นิกเกิลที่เหลือกับปริมาณโพลีเมอร์ที่ใช้ ณ สภาวะการกำจัดพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 7 โดยใช้ SBH 1 เท่าของจำนวนสคอดีไอออนบวก

## จ. ผลการทดลองใช้ SBH

สถานะที่เหมาะสมในการกำจัดนิกเกิลออกจากน้ำเสียให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งคือ การใช้ SBH 1 เท่าของจำนวนสโตยซีโอมตริกร่วมกับโพลิเมอร์แบบประจุลบ 1.8 มก./ล. ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นเท่ากับ 20 มล./ล. และมีนิกเกิลเป็นองค์ประกอบ 37 เปอร์เซ็นต์

### 5.3.2.2 การใช้ SBH ร่วมกับ $\text{NaHSO}_3$

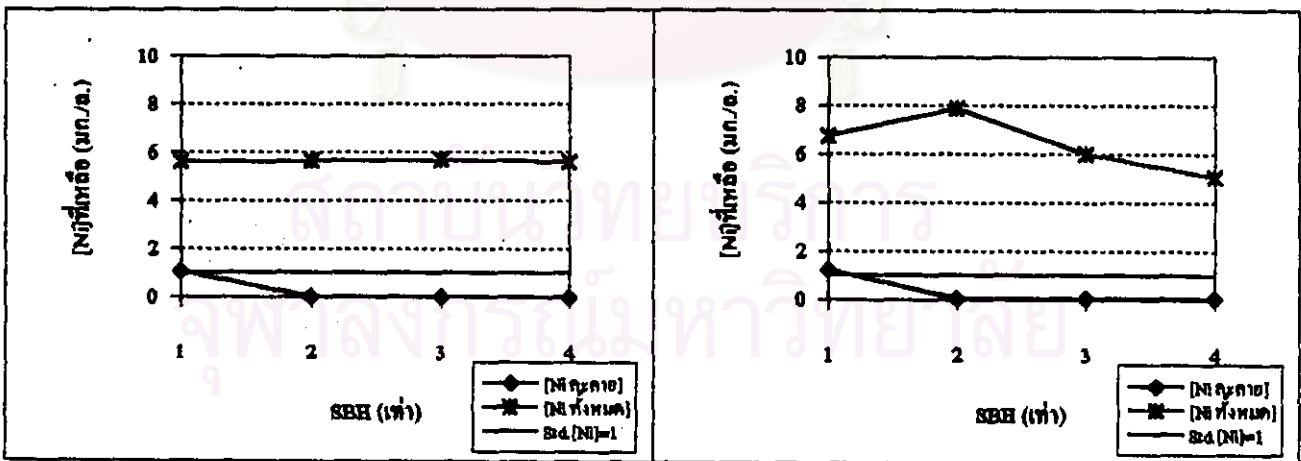
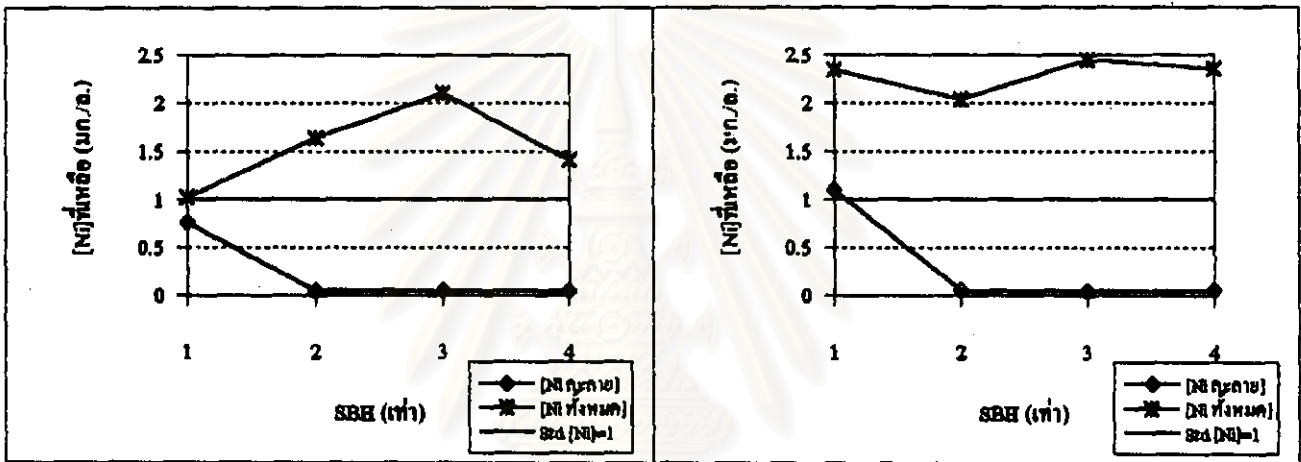
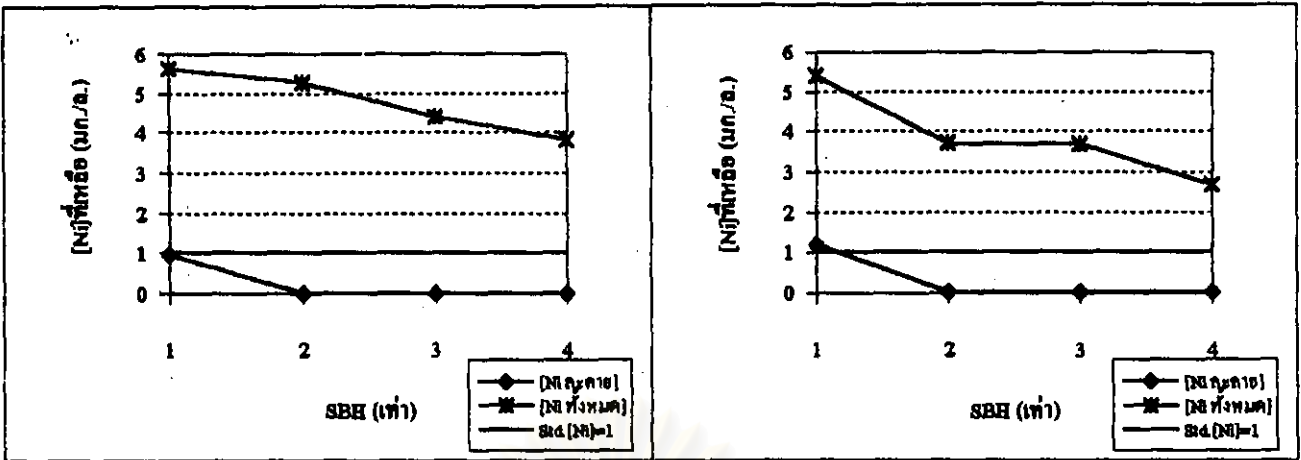
ทำการทดลองโดยปรับเปลี่ยนพีเอชของน้ำเสียตั้งแต่ 5-8 ด้วย  $\text{NaOH}$  และ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ใช้  $\text{NaHSO}_3$  0.5-10 เท่าของนิกเกิลในน้ำเสีย แปรปริมาณ SBH 1-4 เท่าของจำนวนสโตยซีโอมตริก หลังจากวนและปล่อยให้ตกตะกอนจึงเก็บน้ำส่วนบนมาวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิลละลายและนิกเกิลทั้งหมดที่เหลือ วัดปริมาณตะกอนเป็นเวลา 30 นาทีและลักษณะตะกอนที่สังเกตเห็น ซึ่งผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5.29 5.30 และ 5.31 ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

### ก. ผลวิเคราะห์น้ำส่วนบน

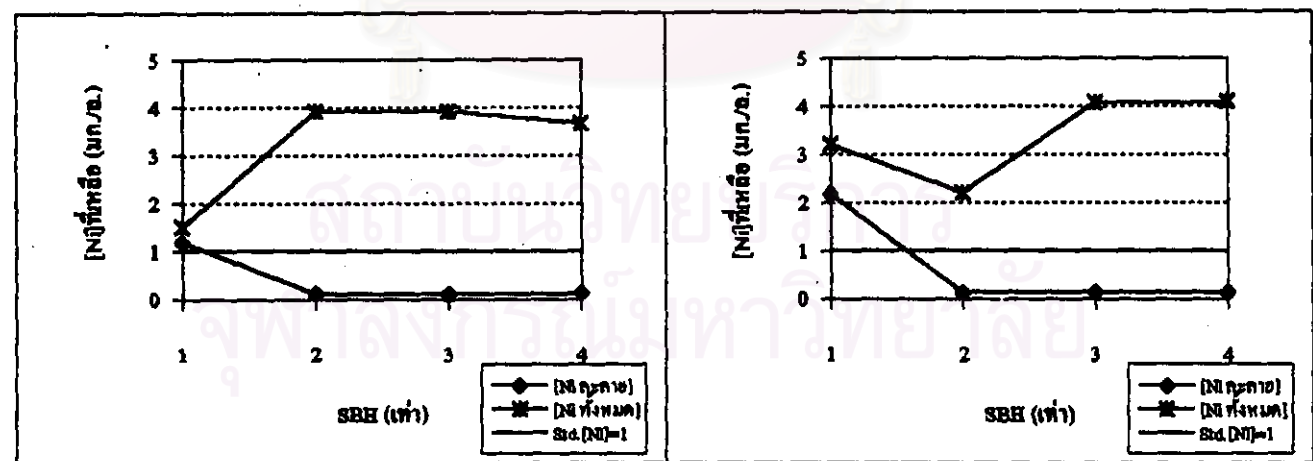
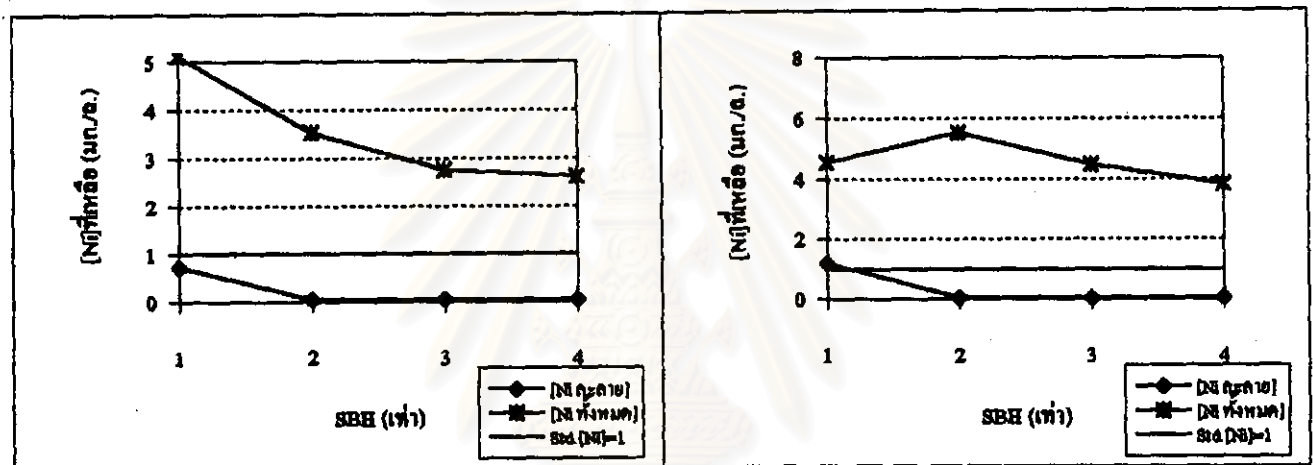
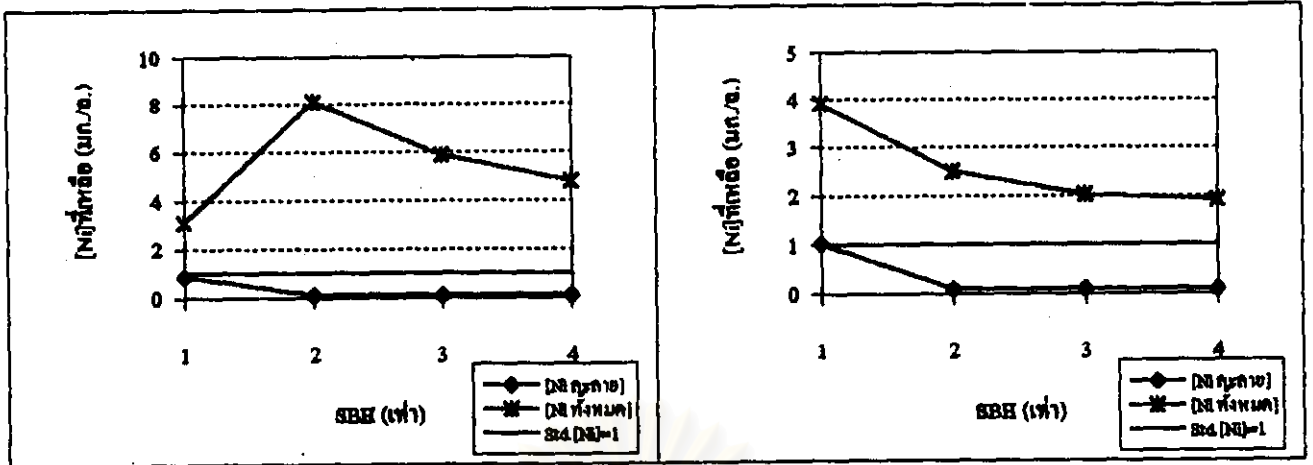
1) ที่พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 5-8 ใช้  $\text{NaHSO}_3$  0.5 เท่าของนิกเกิลในน้ำเสีย และ SBH 1 เท่าของจำนวนสโตยซีโอมตริก จะสามารถกำจัดให้เหลือความเข้มข้นนิกเกิลละลายในน้ำ 0.85-1.05 มก./ล. ส่วนนิกเกิลทั้งหมดเกินค่ามาตรฐานทุกสถานะ พีเอชสุดท้ายอยู่ในช่วง 8.95-9.26 และโออาร์ทีมีค่า -450 ถึง -650 mV ปริมาณตะกอน 10-20 มล./ล.

2) ที่พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 5-8 ใช้  $\text{NaHSO}_3$  0.5-10 เท่าของนิกเกิล SBH 1 เท่าของจำนวนสโตยซีโอมตริกและได้พีเอชสุดท้ายของน้ำประมาณ 8.8-9 พบว่า สามารถกำจัดนิกเกิลละลายได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง และมีปริมาณตะกอนต่ำมาก (10 มล./ล.) โดยต่ำกว่าการใช้ SBH อย่างเดียวถึง 6-8 เท่า โออาร์ทีมีค่า -500 ถึง -740 mV

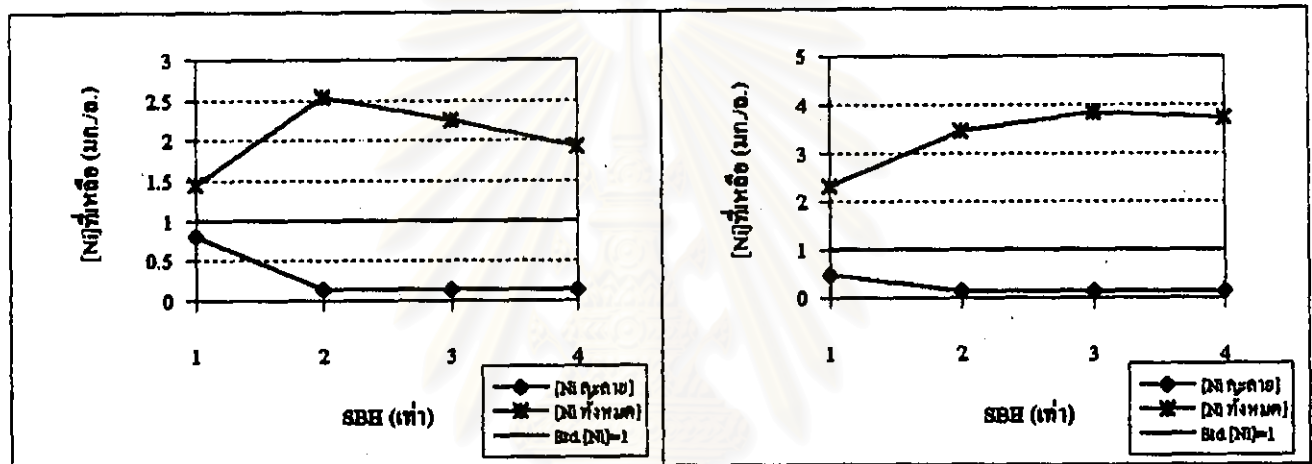
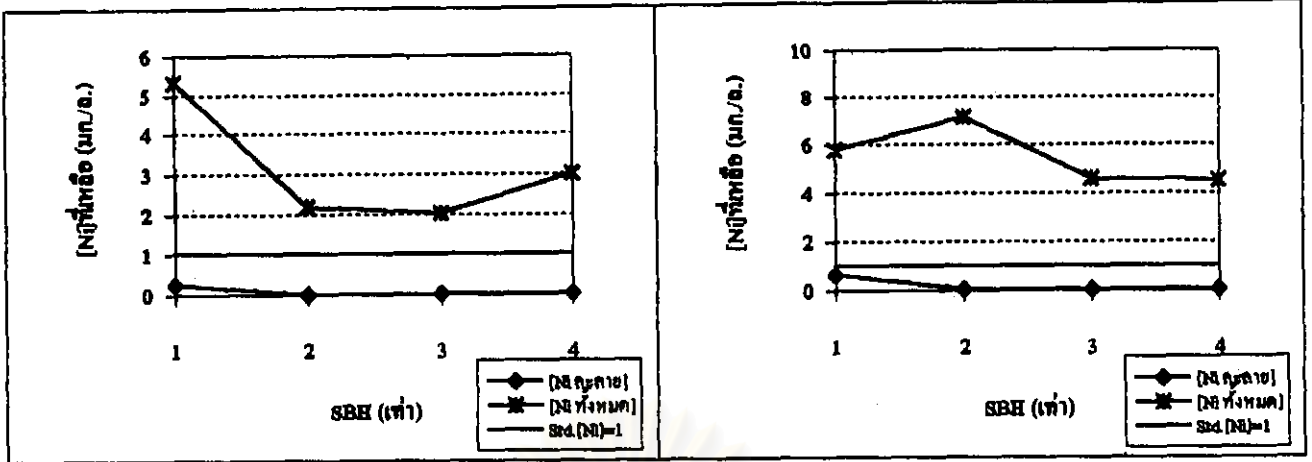
จากผลการทดลองข้างต้นพบว่า ค่าพีเอชสุดท้ายของน้ำและโออาร์ทีที่เหมาะสมในการบำบัดคือ 9 และ -600 mV ตามลำดับ ตารางที่ 5.6 แสดงสถานะที่เหมาะสมจากการทดลองใช้ SBH ร่วมกับ  $\text{NaHSO}_3$  กับน้ำเสียนิกเกิลที่พีเอชเริ่มต้นต่าง ๆ



รูปที่ 5.29 ความเข้มข้นนิกเกิลที่เกิดที่เหลือนกับปริมาณ SBH ที่ใช้ ณ ที่เอชเริ่มต้นและปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  ต่าง ๆ กัน ความเข้มข้นนิกเกิลเริ่มต้น 130 มก./ล.

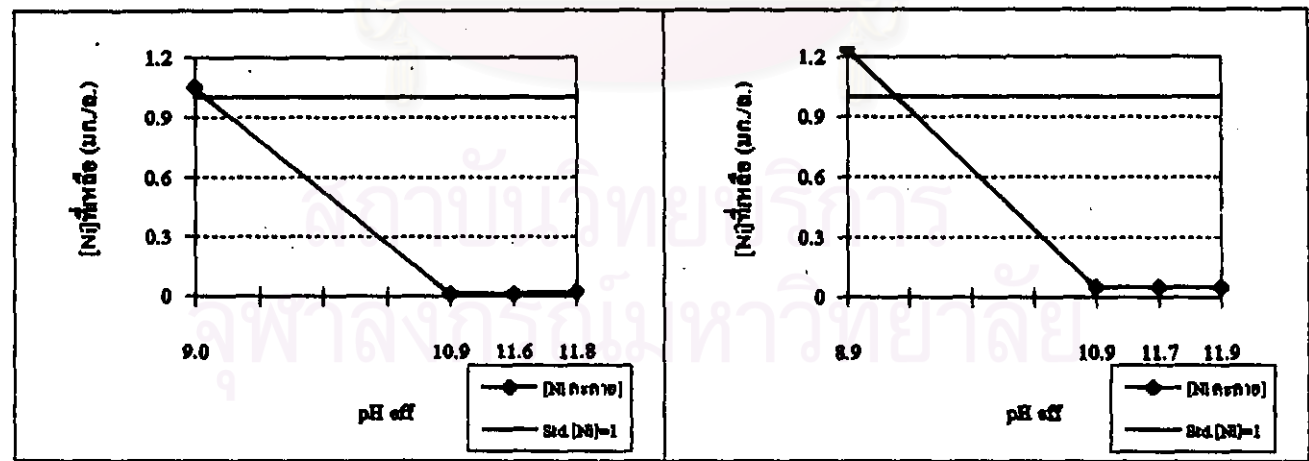
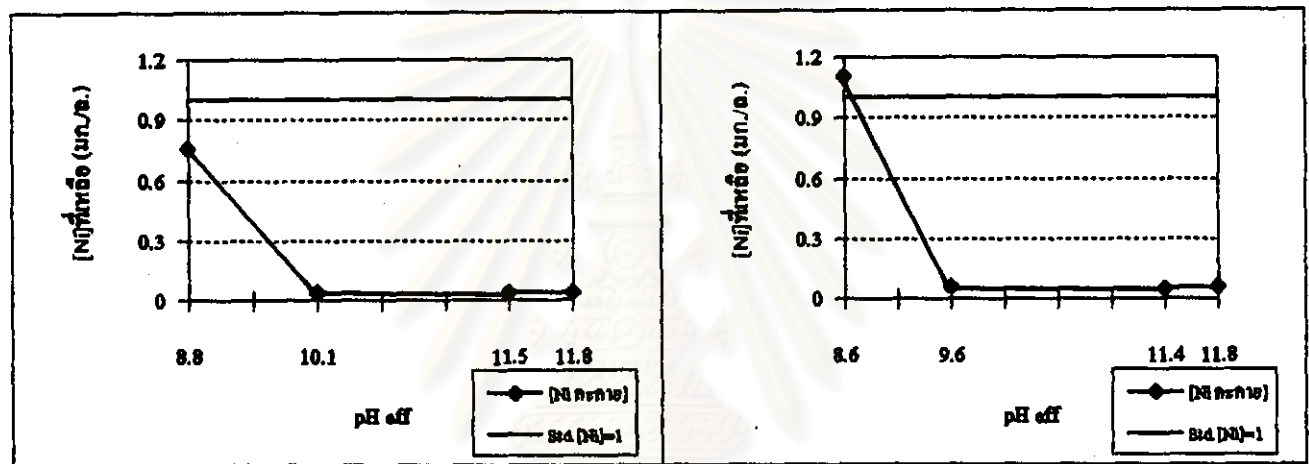
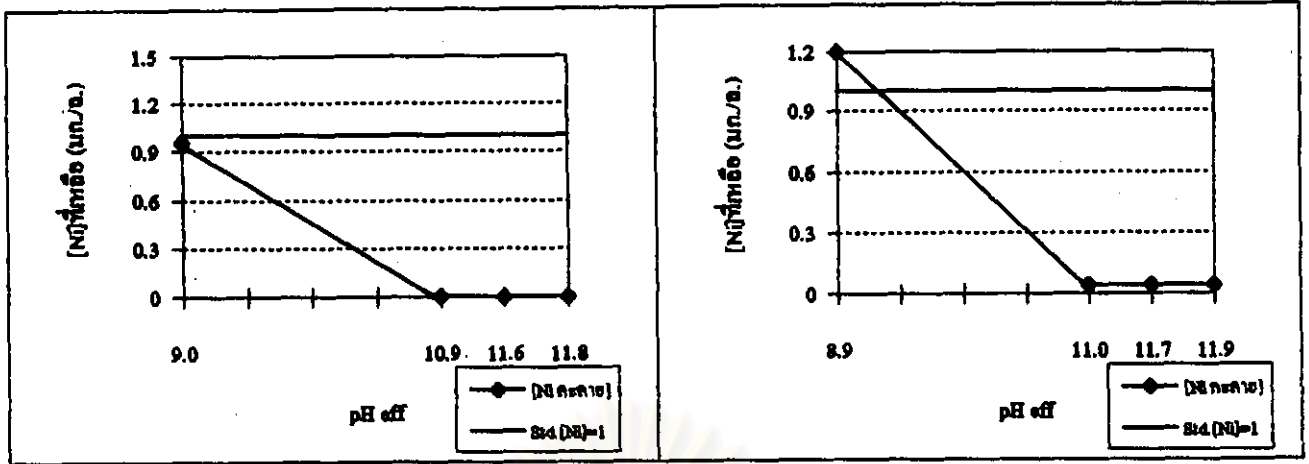


รูปที่ 5.29 ความเข้มข้นนิกเกิลที่เหลือกับปริมาณ SBH ที่ใช้ ณ พีเอชเริ่มต้นและปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  ต่าง ๆ กัน (ต่อ) ความเข้มข้นนิกเกิลเริ่มต้น 130 มก./ล.

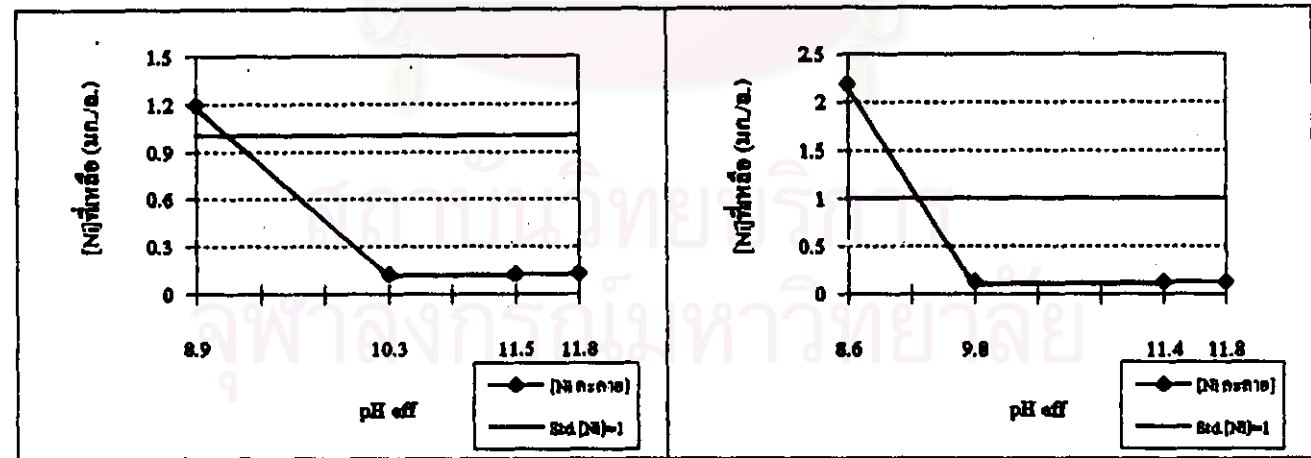
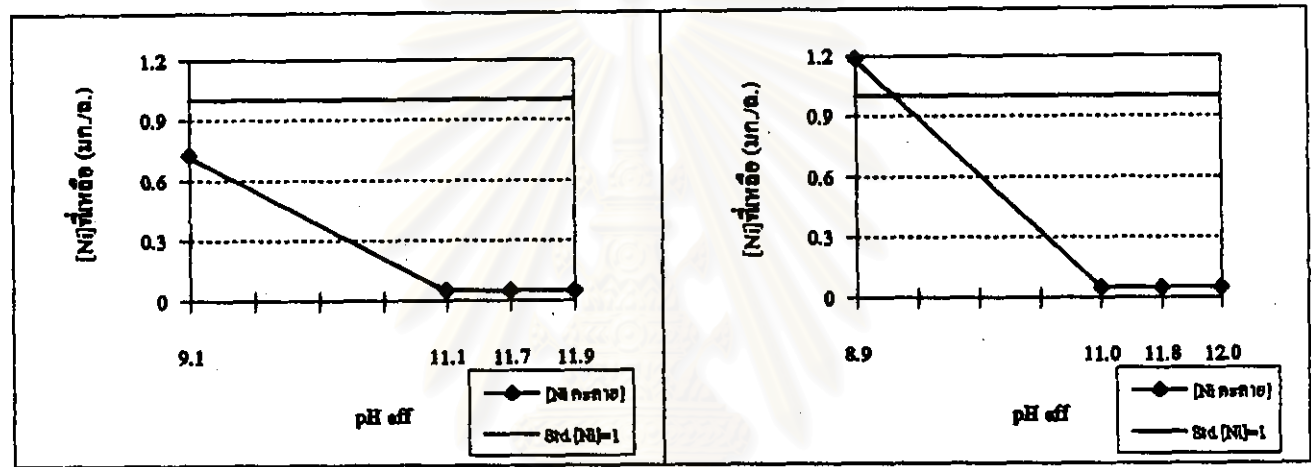
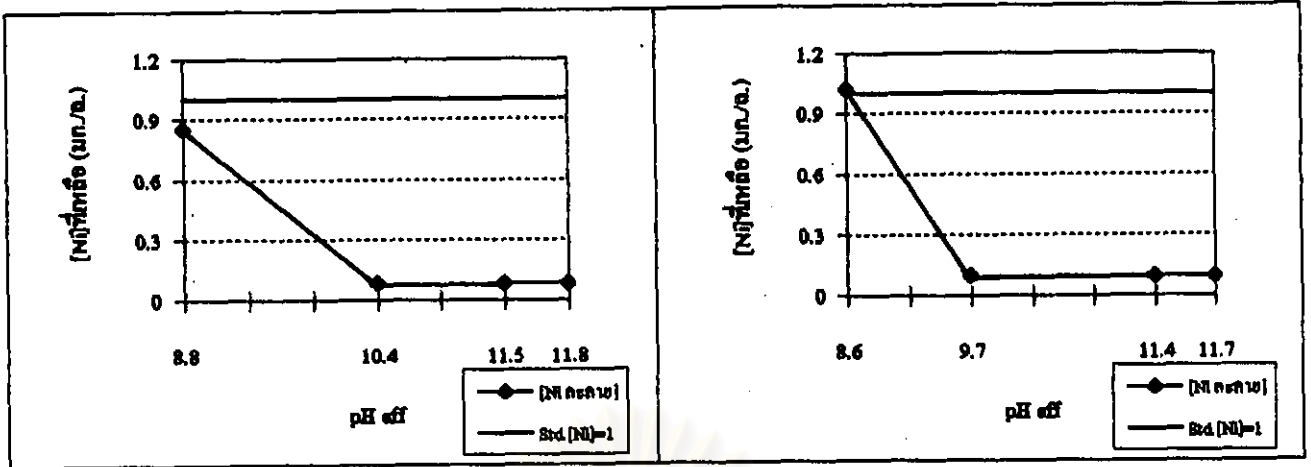


รูปที่ 5.29 ความเข้มข้นนิกเกิลที่เกิดที่เหล็กกับปริมาณ SBH ที่ใช้ ณ พีเอชเริ่มต้นและปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  ต่าง ๆ กัน (ต่อ) ความเข้มข้นนิกเกิลเริ่มต้น 130 มก./ล.

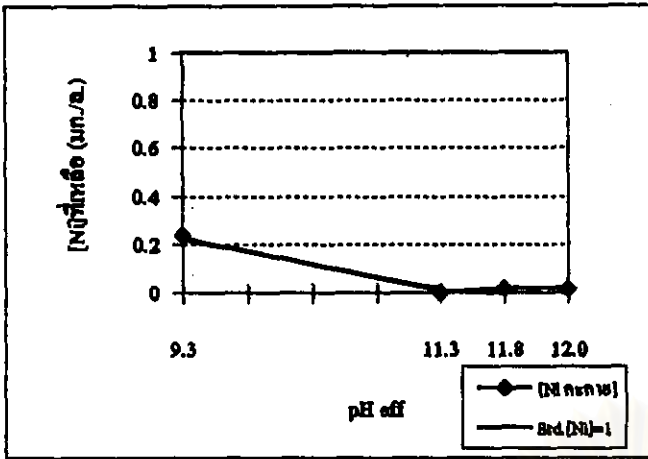
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



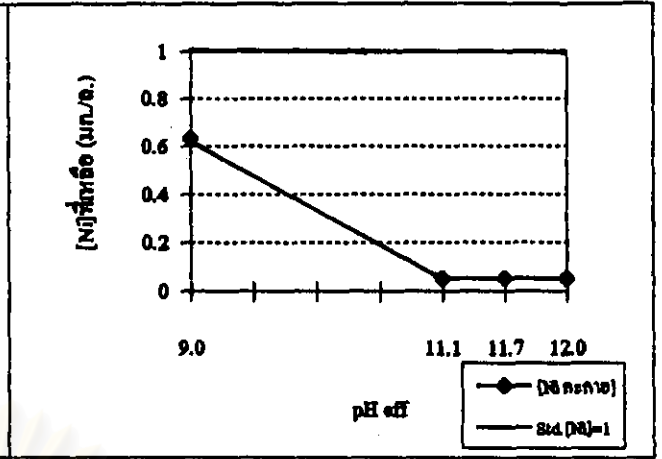
รูปที่ 5.30 ความเข้มข้นนิกเกิลที่เหลือกับพีเอชสุดท้ายของน้ำ ณ พีเอชเริ่มต้นและปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  ต่าง ๆ กัน ความเข้มข้นนิกเกิลเริ่มต้น 130 มก./ล.



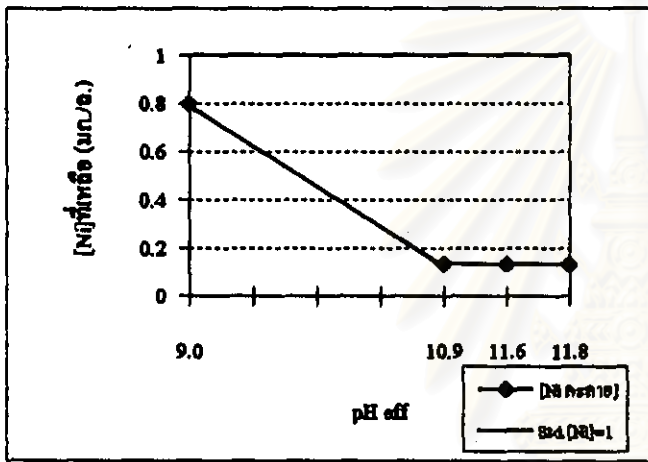
รูปที่ 5.30 ความเข้มข้นนิกเกิลที่เหลือกับพีเอชสุดท้ายของน้ำ ณ พีเอชเริ่มต้นและปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  ต่าง ๆ กัน (ต่อ) ความเข้มข้นนิกเกิลเริ่มต้น 130 มก./ล.



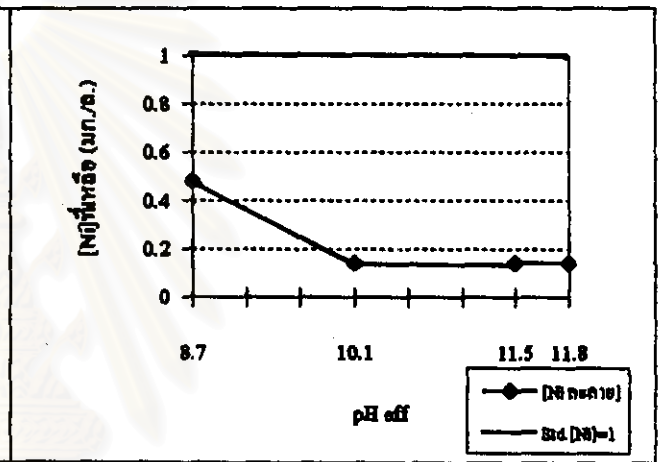
(d1)  $\text{NaHSO}_3 = 0.5$  เท่าของ Ni      pH = 8



(d2)  $\text{NaHSO}_3 = 1$  เท่าของ Ni



(d3)  $\text{NaHSO}_3 = 5$  เท่าของ Ni      pH = 8

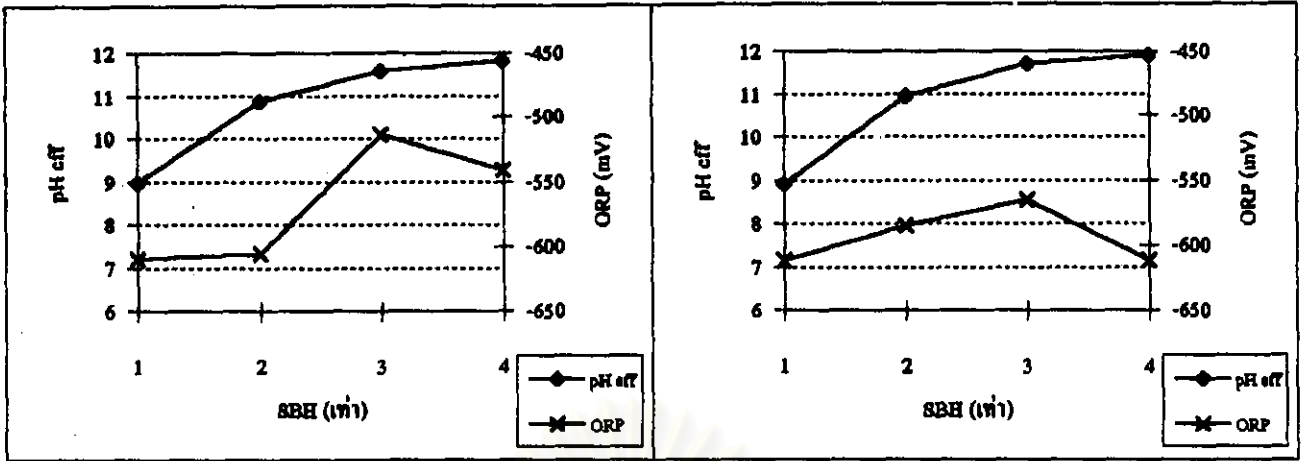


(d4)  $\text{NaHSO}_3 = 10$  เท่าของ Ni

รูปที่ 5.30 ความเข้มข้นนิกเกิลที่เหลือที่เทียบกับพีเอชสุดท้ายของน้ำ ณ พีเอชเริ่มต้นและปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  ต่าง ๆ กัน (ต่อ) ความเข้มข้นนิกเกิลเริ่มต้น 130 มก./ล.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

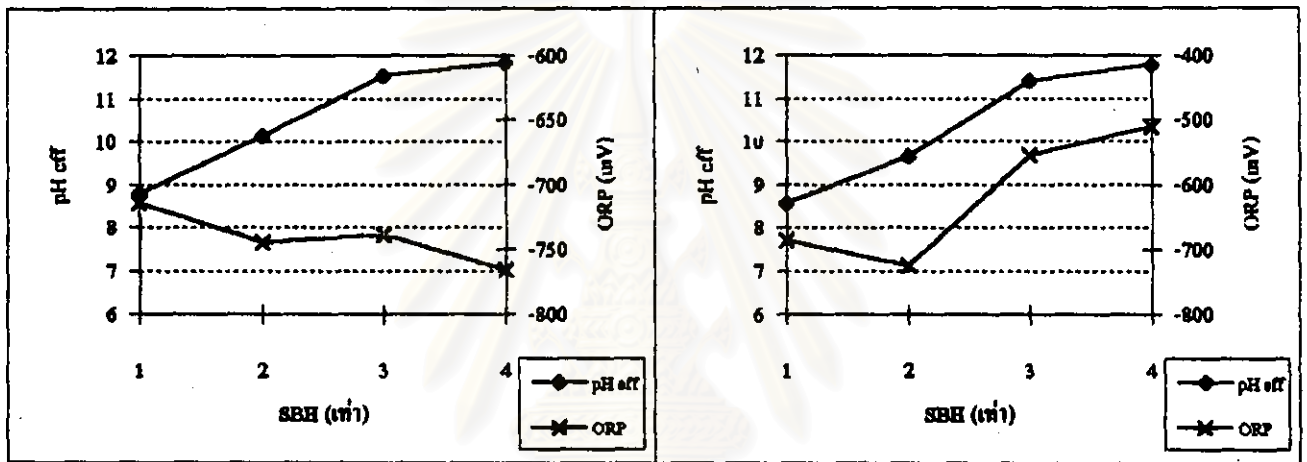




(a1) NaHSO<sub>3</sub> = 0.5 เท่าของ Ni

pH = 5

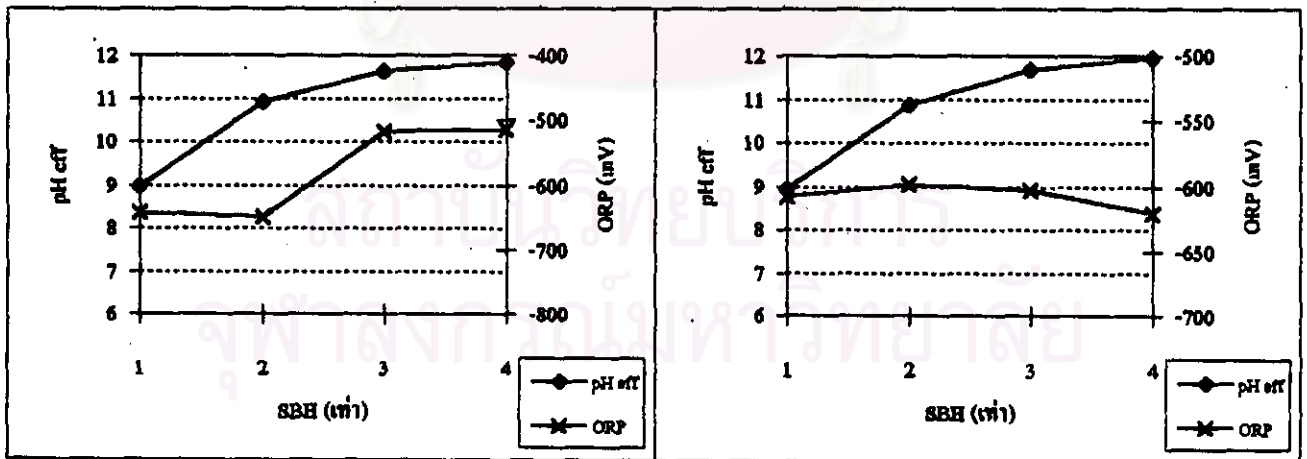
(a2) NaHSO<sub>3</sub> = 1 เท่าของ Ni



(a3) NaHSO<sub>3</sub> = 5 เท่าของ Ni

pH = 5

(a4) NaHSO<sub>3</sub> = 10 เท่าของ Ni

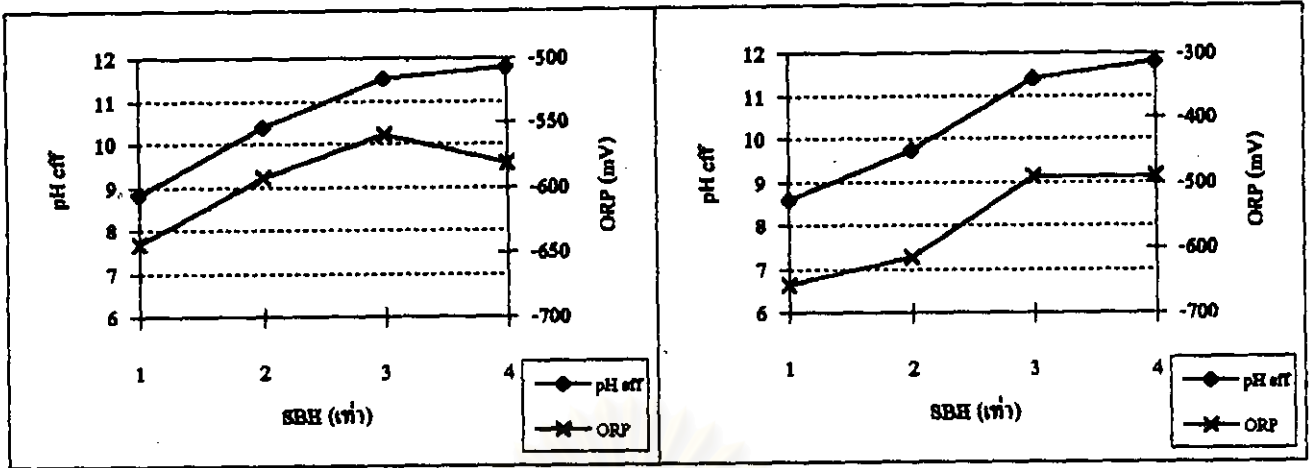


(b1) NaHSO<sub>3</sub> = 0.5 เท่าของ Ni

pH = 6

(b2) NaHSO<sub>3</sub> = 1 เท่าของ Ni

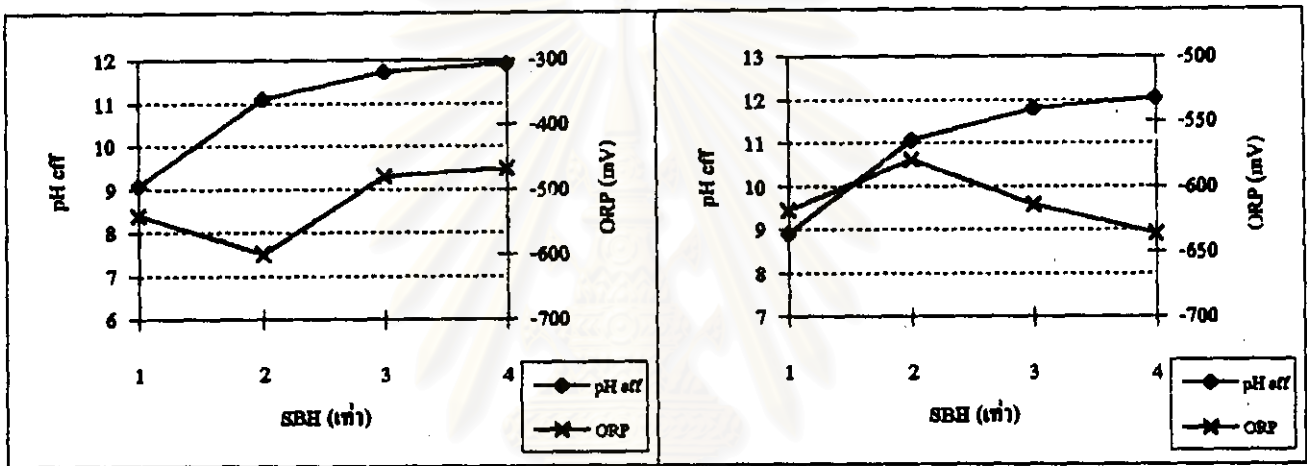
รูปที่ 5.31 ที่ออกฤทธิ์ของน้ำและค่าไออาร์ที่กับปริมาณ SBH ที่ใช้ ณ ที่เข้เริ่มต้นและปริมาณ NaHSO<sub>3</sub> ต่าง ๆ กัน



(b3) NaHSO<sub>3</sub> = 5 เท่าของ Ni

pH = 6

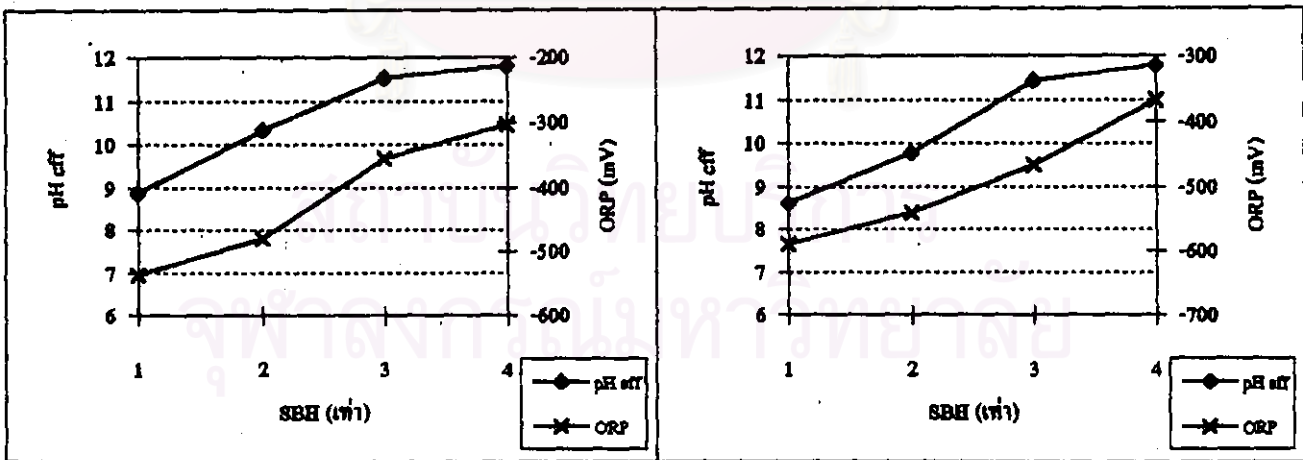
(b4) NaHSO<sub>3</sub> = 10 เท่าของ Ni



(c1) NaHSO<sub>3</sub> = 0.5 เท่าของ Ni

pH = 7

(c2) NaHSO<sub>3</sub> = 1 เท่าของ Ni

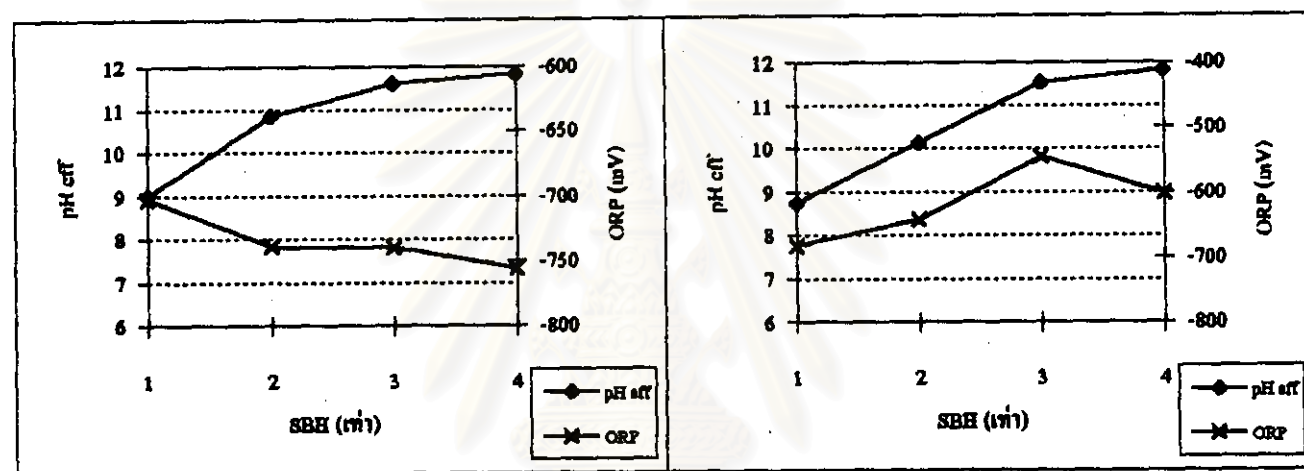
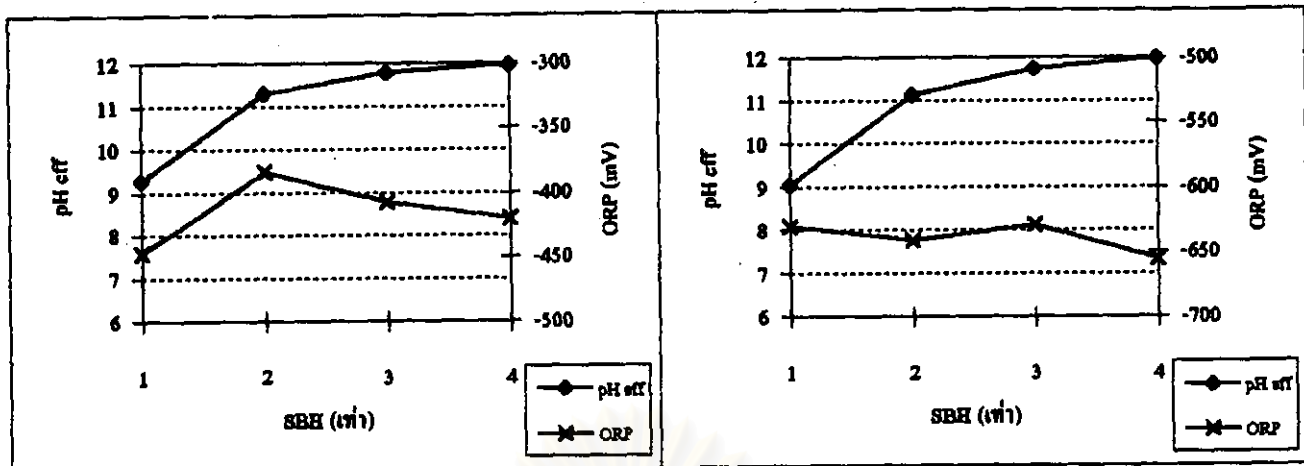


(c3) NaHSO<sub>3</sub> = 5 เท่าของ Ni

pH = 7

(c4) NaHSO<sub>3</sub> = 10 เท่าของ Ni

รูปที่ 5.31 พิเออร์สุดท้ายของน้ำและค่าโออาร์พีกับปริมาณ SBH ที่ใช้ ณ พิเออร์เริ่มต้นและปริมาณ NaHSO<sub>3</sub> ต่าง ๆ (ต่อ)



รูปที่ 5.31 พิเออร์สุททำขของน้ำและค่าโออาร์พีกับปริมาณ SBH ที่ใช้ ณ พิเออร์เริ่มต้นและปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  ต่าง ๆ (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.6 สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองใช้ SBH ร่วมกับ NaHSO<sub>3</sub> กับน้ำเสียนิกเกิลที่เกิดขึ้นเริ่มต้นต่าง ๆ

ปริมาณ NaHSO <sub>3</sub> (เท่ากับ Ni)	pH เริ่มต้น	ปริมาณ SBH (เท่ากับสตอ)	น้ำส่วนบน						ตะกอน		
			pH	ORP (mV)	Ni ละลาย (มก./ล.)	Ni ทั้งหมด (มก./ล.)	% การกำจัด Ni ละลาย	% การกำจัด Ni ทั้งหมด	ปริมาณ (มก./ล.)	% Ni	ลักษณะ
0.5	5	1	8.96	-610	0.96	5.62	99.26	95.68	10		ตะกอนสีดำ
	6	1	8.95	-643	1.05	5.60	99.19	95.69	10		ตะกอนสีดำ
	7	1	9.07	-542	0.73	5.11	99.44	96.07	10		ตะกอนสีดำ
	8	1	9.26	-448	0.24	5.31	99.81	95.91	45		ตะกอนสีขาวเขียว
1	5	2	10.94	-585	0.04	3.72	99.97	97.14	65		ตะกอนสีเทา
	6	2	10.85	-599	0.05	7.87	99.96	93.95	100		ตะกอนสีขาวเขียว
	7	2	11.04	-580	0.05	5.51	99.96	95.76	45	50	ตะกอนสีเทา
	8	1	9.03	-631	0.63	5.76	99.51	95.57	10	56	ตะกอนสีดำ
5	5	1	8.78	-715	0.76	1.02	99.41	99.21	10		ตะกอนสีดำ
	6	1	8.80	-644	0.85	3.07	99.35	97.64	10		ตะกอนสีดำ
	7	2	10.33	-480	0.12	3.90	99.91	97.00	10		ตะกอนสีดำ
	8	1	8.99	-703	0.80	1.45	99.38	98.88	10		ตะกอนสีดำ
10	5	2	9.64	-725	0.06	2.03	99.95	98.44	10		ตะกอนสีดำ
	6	1	8.57	-102	3.92	2.50	99.21	96.98	10		ตะกอนสีดำ
	7	2	9.76	-542	0.13	2.20	99.90	98.31	10		ตะกอนสีดำ
	8	1	8.74	-683	0.48	2.32	99.63	98.21	10		ตะกอนสีดำ

### ข. ผลวิเคราะห์ตะกอน

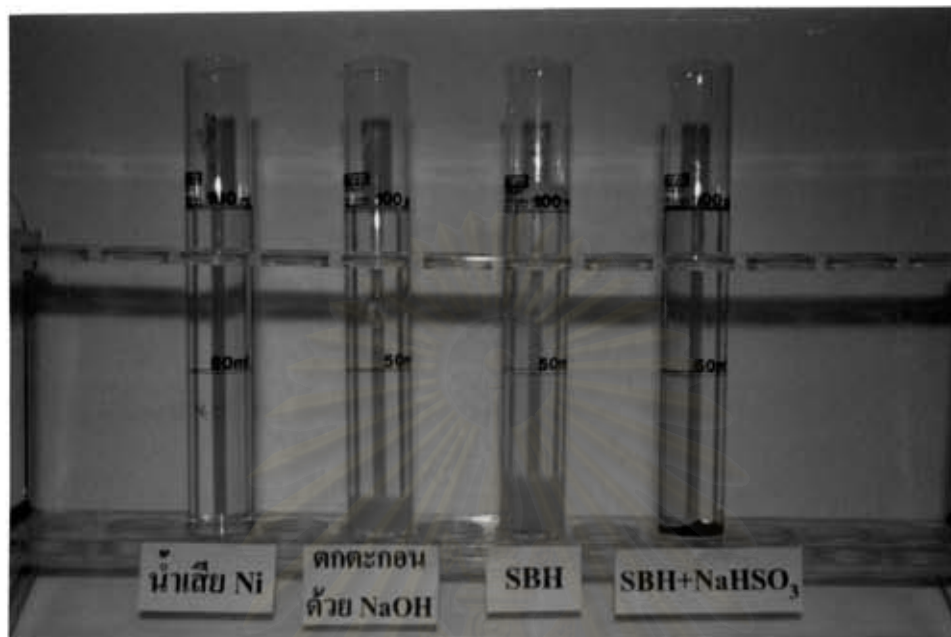
ตะกอนนิกเกิลที่ได้จากสภาวะการบำบัดต่าง ๆ พบว่ามีลักษณะแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 5.32 เมื่อเติม  $\text{NaHSO}_3$  0.5 เท่าของนิกเกิล และ SBH 1-4 เท่าของจำนวนสตอยชิโอเมตริก ที่พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 6 สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1) ตะกอนผงสีดำ ซึ่งเกิดจากการใช้  $\text{NaHSO}_3$  0.5-10 เท่าของนิกเกิล และเติม SBH 1-2 เท่าของจำนวนสตอยชิโอเมตริกในปริมาณที่ทำให้พีเอชสุดท้ายของน้ำอยู่ในช่วง 8.5-10.5 วัดปริมาณตะกอนได้ 10 มล./ล. จากการวิเคราะห์ตะกอนด้วยวิธี XRD พบว่า ลักษณะโครงสร้างของตะกอนมีรูปแบบเป็นอะมอร์ฟัส (amorphous) แต่เริ่มมีแนวโน้มที่จะจัดเรียงตัวเป็นผลึก ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในภาคผนวก ง.5 ตะกอนอบแห้งมีนิกเกิลทั้งหมด 55-60 เปอร์เซ็นต์

2) ตะกอนลักษณะเป็นปุยสีขาวเขียว ซึ่งเกิดจากการเติม SBH ในปริมาณที่ทำให้พีเอชสุดท้ายของน้ำสูงกว่า 11 วัดปริมาณตะกอนได้ 90-110 มล./ล. จากการวิเคราะห์ตะกอนด้วยวิธี XRD พบว่า องค์ประกอบของตะกอนเป็นนิกเกิลไฮดรอกไซด์ ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในภาคผนวก ง.6 ตะกอนอบแห้งมีนิกเกิลนิกเกิลทั้งหมดประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.32 ลักษณะของตะกอนนิกเกิลที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเติม  $\text{NaHSO}_3$  0.5 เท่าของนิกเกิล และ SBH จำนวน 1, 2, 3 และ 4 เท่าของจำนวนสตอยชิโอเมตริก

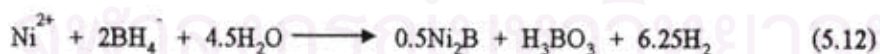


รูปที่ 5.33 เปรียบเทียบลักษณะตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียนิกเกิลด้วยวิธีการต่าง ๆ

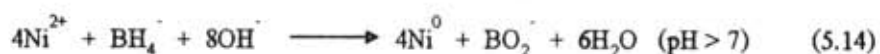
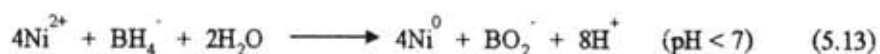
### ก. ปฏิกริยาที่เกิดขึ้น

1) ตะกอนผงสีดำที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียนิกเกิลด้วยการเติม SBH ในปริมาณที่ทำให้พีเอชสุดท้ายของน้ำอยู่ในช่วง 8.5-10.5 มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 5.34

จากผลการทดสอบด้วยวิธี XRD พบว่า ลักษณะโครงสร้างของตะกอนเป็นรูปแบบอะมอร์ฟัส แต่มีแนวโน้มที่จะจัดเรียงตัวเป็นผลึก (crystalline) Fleming และ Ulman, 1985 กล่าวไว้ว่า ปฏิกริยาระหว่างนิกเกิลอออนและโบโรไฮไดรด์อออนสามารถเกิดเป็นนิกเกิลโบไรด์ ( $\text{Ni}_2\text{B}$ ) หรือโลหะนิกเกิล ( $\text{Ni}^0$ ) ก็ได้ตามสมการการเกิดปฏิกริยา 3 แบบดังต่อไปนี้

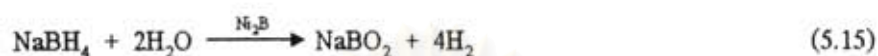


$\text{NaBH}_4 = 1.28\text{Ni}$  โดยน้ำหนักตามสมการ 5.12



แต่อย่างไรก็ตามปฏิกริยาระหว่าง  $\text{Ni}^{2+}$  กับ  $\text{BH}_4^-$  มักจะเป็นไปตามสมการที่ 5.12 ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นนิกเกิลโบไรด์

Khurana และ Gogia, 1997 สรุปการทดสอบผิวของตะกอนนิกเกิลที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง  $\text{NaBH}_4$  กับ  $\text{NiCl}$  ด้วยวิธี X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) พบว่าประกอบไปด้วยโลหะนิกเกิล ( $\text{Ni}^0$ ), นิกเกิลโบไรด์ ( $\text{Ni}_2\text{B}$ ) และโซเดียมบอเรต ( $\text{NaBO}_2$ ) ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของโซเดียมโบโรไฮไดรด์โดยมีนิกเกิลโบไรด์ที่เกิดขึ้นก่อนเป็นตัวคะตะลิสต์ดังสมการที่ 5.15



ตะกอนที่เกิดขึ้นสามารถตกตะกอนได้เร็วและอัดตัวแน่นกว่าการตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ เนื่องจากนิกเกิลโบไรด์มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 7.4 มากกว่านิกเกิลไฮดรอกไซด์ที่มีมีความถ่วงจำเพาะ 4.1

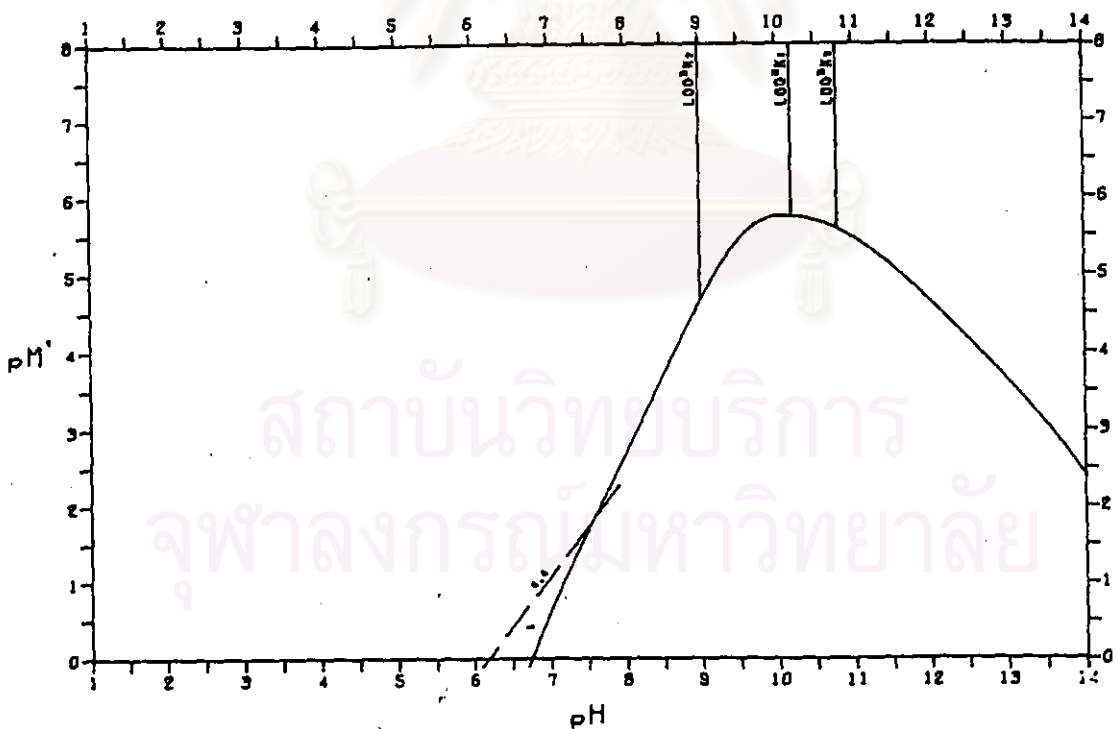


รูปที่ 5.34 ลักษณะของตะกอนที่เกิดจากการใช้ SBH ร่วมกับ  $\text{NaHSO}_3$

2) ตะกอนนิเกิลไฮดรอกไซด์ เกิดจากการเติม SBH ในปริมาณที่ทำให้พีเอชสุดท้ายของน้ำสูงกว่า 11 ดังนั้นนิเกิลที่ออกในน้ำเสียจะตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์แทน ดังกราฟรูปที่ 5.35 แสดงความสามารถในการละลายของนิเกิลที่พีเอชต่าง ๆ

3) ผลของ  $\text{NaHSO}_3$  ต่อการกำจัดนิเกิลออกจากน้ำเสียคือ  $\text{HSO}_3^-$  จะทำหน้าที่รีดิวซ์สารออกซิไดซ์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสียก่อนเติม SBH เพราะปฏิกิริยาระหว่าง SBH กับ  $\text{Ni}^{2+}$  จะต้องเป็นสภาวะรีดิวซ์อย่างมากเพื่อให้เกิดเป็นตะกอนนิเกิลไฮไดรด์ ซึ่งจะเห็นได้จากค่าไออาร์พีที่คิดลบมากกว่ากรณีใช้ SBH อย่างเดียว

4) ปฏิกิริยาระหว่าง SBH กับ  $\text{Ni}^{2+}$  จะทำให้เกิดฟองก๊าซจำนวนมาก เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นนิเกิลไฮไดรด์ (สมการ 5.12) และปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (สมการ 5.15) จะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนพาให้ตะกอนบางส่วนแขวนลอย ดังนั้นน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจึงมีนิเกิลทั้งหมดเหลืออยู่มากกว่ากรณีการบำบัดน้ำเสียทางแคง

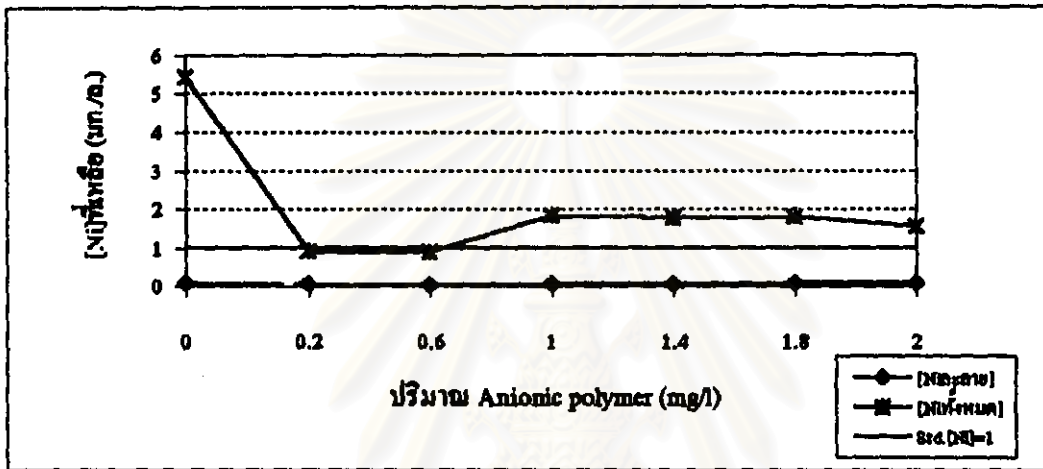


รูปที่ 5.35 ความสามารถในการละลายของนิเกิลที่พีเอชต่าง ๆ (Bases และ Meamer, 1976)

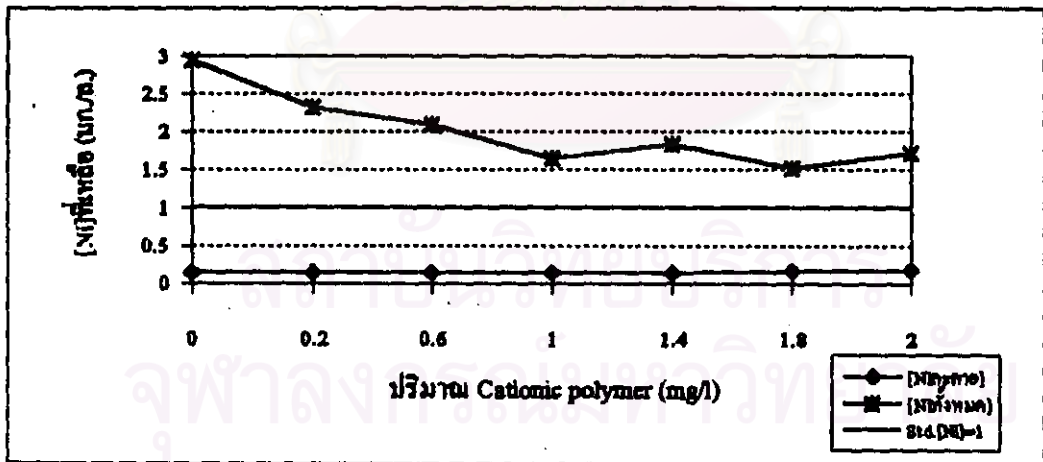


### จ. การใช้ SBH กับ $\text{NaHSO}_3$ ร่วมกับโพลิเมอร์

เนื่องจากการทดลองใช้ SBH กับรวม  $\text{NaHSO}_3$  ไม่สามารถกำจัดโลหะทั้งหมดให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งได้ ดังนั้นจึงทดลองใช้โพลิเมอร์แบบประจุลบและบวกร่วมกับการใช้  $\text{NaHSO}_3$ , 1 เท่าของนิกเกิล และ SBH 1.2 เท่าของจำนวนสตอซซิไอออนคริก ที่พีเอชน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 7 ได้ผลการทดลองดังรูป 5.36 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า โพลิเมอร์แบบประจุลบปริมาณ 0.2 มก./ล. สามารถกำจัดนิกเกิลในน้ำให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งได้ แต่แบบประจุบวกไม่สามารถทำได้



(a)



(b)

รูปที่ 5.36 นิกเกิลที่เหลือกับปริมาณโพลิเมอร์ที่ใช้ ณ สภาวะการกำจัดพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 7  $\text{NaHSO}_3$ , 1 เท่าของนิกเกิล และ SBH 1.2 เท่าของจำนวนสตอซซิไอออนคริก

### จ. สรุปผลการทดลองใช้ SBH ร่วมกับ $\text{NaHSO}_3$

1) จากการทดลองพบว่า นิกเกิลที่เกิดปฏิกิริยาเป็นสารประกอบโบไรด์จะมีปริมาณตะกอนน้อยกว่าที่ตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์อยู่ประมาณ 6-8 เท่า นอกจากนี้จะตกตะกอนได้เร็วและอัดตัวแน่นกว่า สภาวะที่จะทำให้เกิดตะกอนนิกเกิลโบไรด์และสามารถกำจัดนิกเกิลให้เหลือในน้ำน้อยกว่า 1 มก./ล. ได้นั้น คือ ใช้ปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  0.5 เท่าของนิกเกิล และ SBH 1 เท่าของจำนวนสโตยซ์ไอออนบวกหรือเพื่อให้ได้พีเอชสุดท้ายประมาณ 9 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ 0.2 มก./ล.

2) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ SBH เพียงอย่างเดียวซึ่งจะได้ตะกอนในรูปนิกเกิลไฮดรอกไซด์พบว่า การใช้  $\text{NaHSO}_3$  ร่วมกับ SBH มีข้อดีก็คือ เกิดปริมาณตะกอนน้อยกว่าการใช้ SBH เพียงอย่างเดียวถึง 10 เท่า

3) การปฏิบัติงานจริงอาจจะควบคุมการเติม SBH ได้โดยใช้ค่าพีเอชและโออาร์ที่แทนการคำนวณตามสมการการเกิดปฏิกิริยา ดังมีขั้นตอนต่อไปนี้

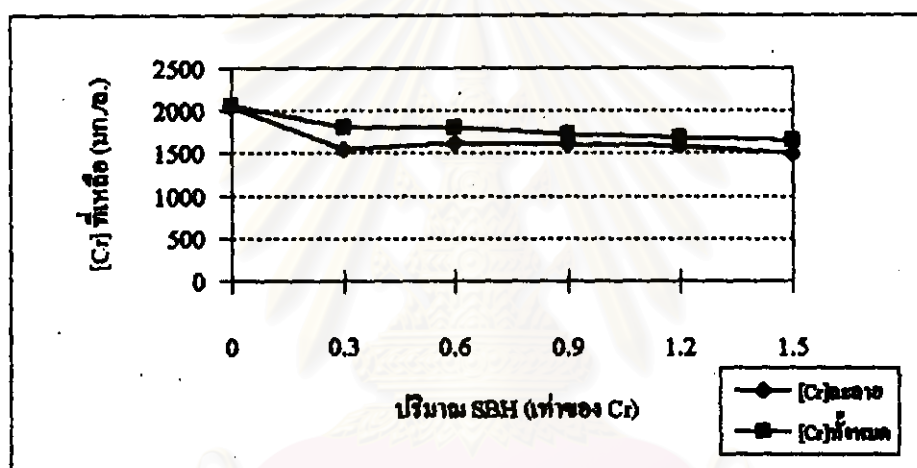
- พีเอชของน้ำเสียควรอยู่ในช่วง 6-7
- เติม  $\text{NaHSO}_3$  จนโออาร์ที่มีค่าต่ำกว่า 100 mV พีเอชอยู่ในช่วง 6.3-6.8 กวนเร็วประมาณ 10 นาที
- ค่อย ๆ เติม SBH จนพีเอชมีค่าประมาณ 9 หรือโออาร์ที่มีค่าต่ำกว่า -550 mV ถ้าโออาร์ที่กลับมีค่าเป็นบวกเพิ่มขึ้นให้เติม SBH อีกจนมีค่าก่อนข้างคงที่ น้ำเสียจะกลายเป็นสีน้ำตาลที่สุก กวนประมาณ 20 นาที จากนั้นจึงเติมโพลีเมอร์แบบประจุลบ 0.2 มก./ล. แล้วกวนช้า 20 นาที
- ปล่อยให้ตกตะกอนประมาณ 30 นาที

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 5.3.3 น้ำเสียจากการชุบโครเมียม

#### 5.3.3.1 การใช้ SBH อย่างเดียว

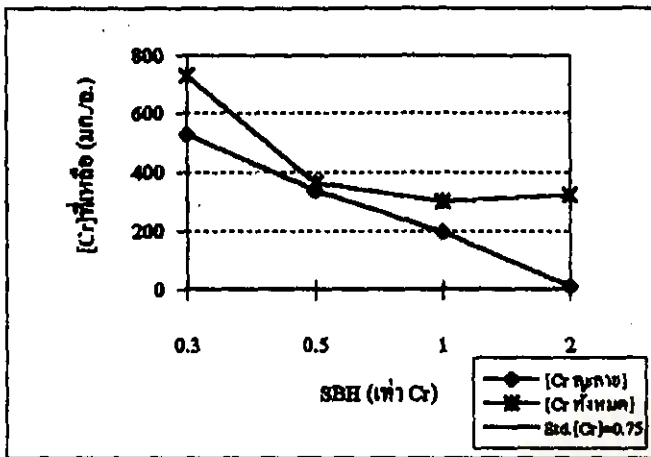
น้ำเสียโครเมียมมีค่าพีเอชและไออาร์พีโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.42 และ 670 mV ตามลำดับ มีความเข้มข้นของโลหะหนักดังต่อไปนี้ โครเมียม 1460 มก./ล. นิกเกิล 180 มก./ล. ทองแดง 145 มก./ล. และสังกะสี 90 มก./ล. ทำการทดลองโดยแปรปริมาณ SBH ต่าง ๆ ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า การใช้ SBH เพียงอย่างเดียวจะมีประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมเพียง 18 เปอร์เซ็นต์แต่จะใช้ปริมาณ SBH มากกว่า 1 เท่าของโครเมียมในน้ำเสียก็ตาม เนื่องจากโครเมียมออกไซด์ในน้ำส่วนใหญ่ยังอยู่ในรูป Cr (VI) ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5.37



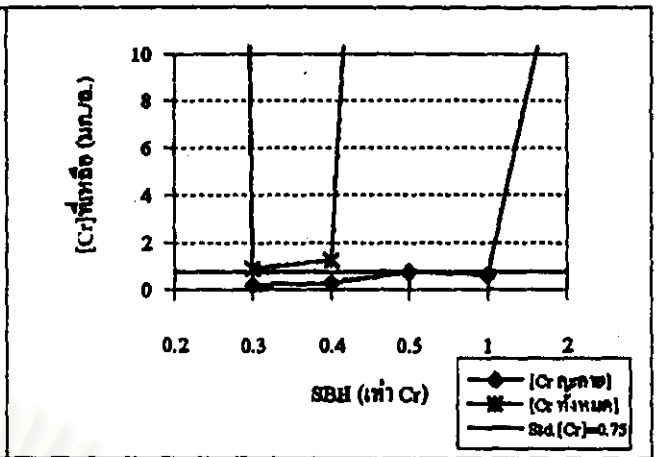
รูปที่ 5.37 ความเข้มข้นโครเมียมที่เหลือที่ปริมาณ SBH ต่าง ๆ กัน

#### 5.3.3.2 การใช้ SBH ร่วมกับ $\text{NaHSO}_3$

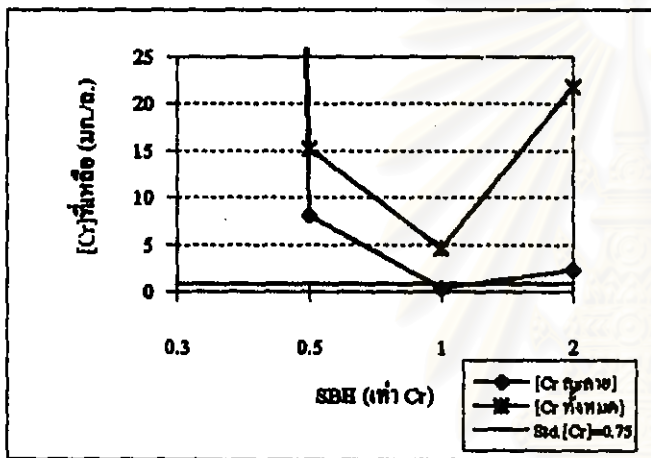
ทำการทดลองโดยแปรปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  1-5 เท่าของโครเมียมในน้ำเสียและควบคุมพีเอชไว้ที่ 2.5 สำหรับการรีดิวซ์ Cr(VI) ให้เป็น Cr(III) และแปรปริมาณ SBH 0.3-2 เท่าของโครเมียมในน้ำเสีย หลังจากกวนและปล่อยให้ตกตะกอนจึงเก็บน้ำส่วนบนมาวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมละลายและโครเมียมทั้งหมดที่เหลือ วัดปริมาณตะกอนที่เวลา 60 นาทีและลักษณะตะกอนที่สังเกตเห็น ซึ่งผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5.38 5.39 และ 5.40 ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้



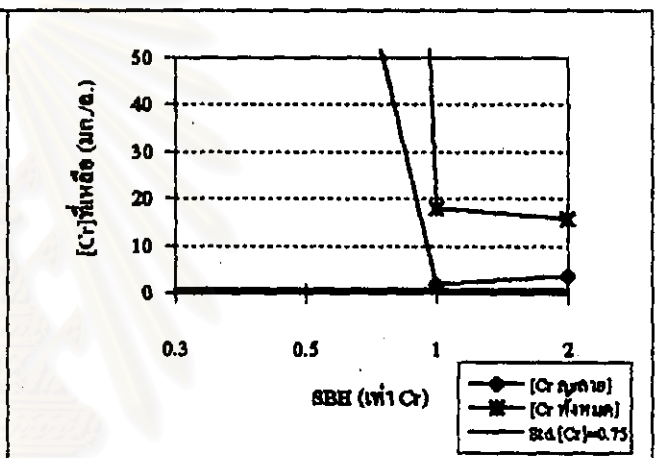
(a) NaHSO<sub>3</sub> = 1 เท่าของ Cr



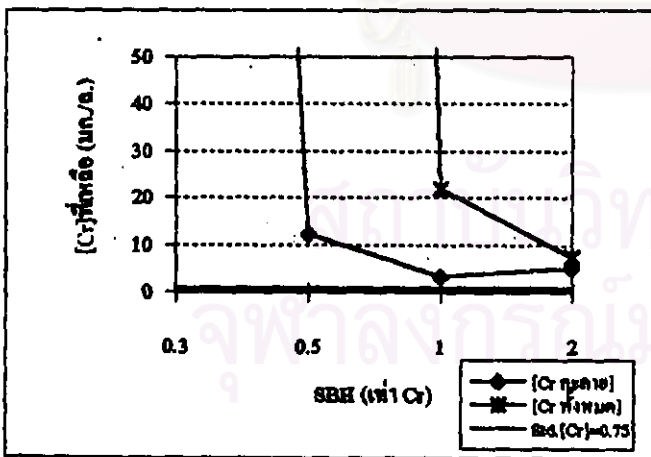
(b) NaHSO<sub>3</sub> = 2 เท่าของ Cr



(c) NaHSO<sub>3</sub> = 3 เท่าของ Cr

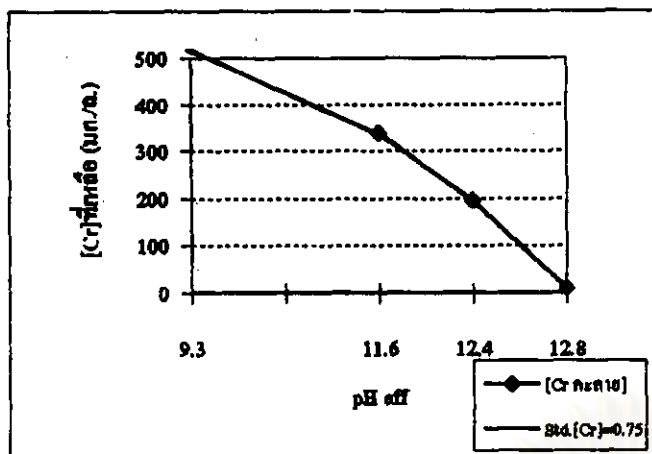


(d) NaHSO<sub>3</sub> = 4 เท่าของ Cr

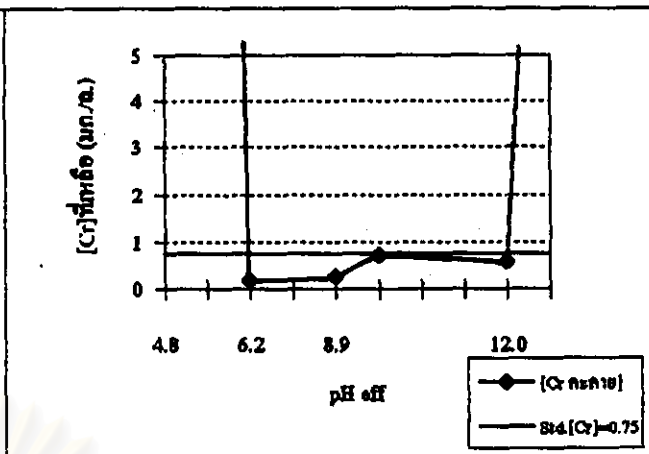


(e) NaHSO<sub>3</sub> = 5 เท่าของ Cr

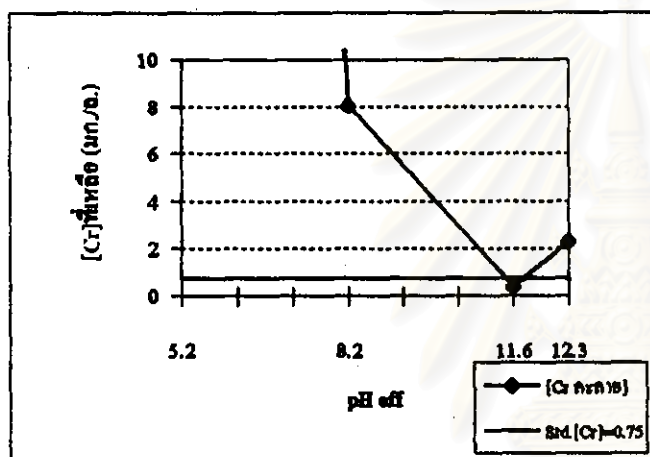
รูปที่ 5.38 ความเข้มข้นโครเมียมที่เหลือกับปริมาณ SBH ที่ใช้ที่ปริมาณ NaHSO<sub>3</sub> ต่าง ๆ กัน  
ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น 1460 มก./ล.



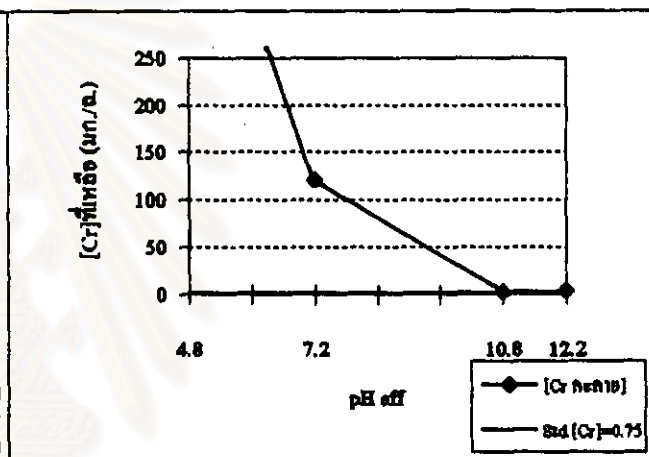
(a)  $\text{NaHSO}_3 = 1$  เท่าของ Cr



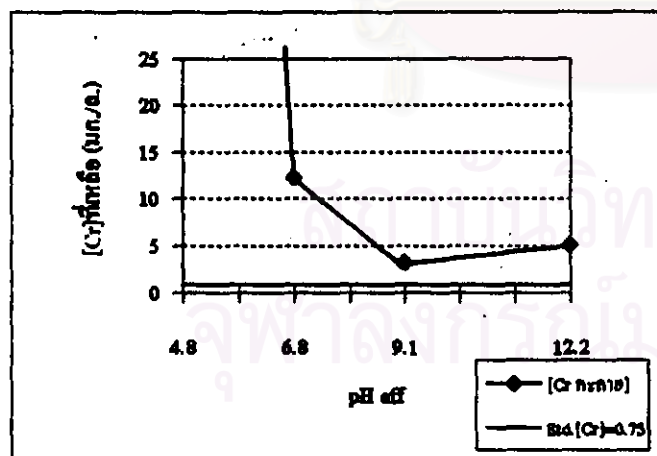
(b)  $\text{NaHSO}_3 = 2$  เท่าของ Cr



(c)  $\text{NaHSO}_3 = 3$  เท่าของ Cr

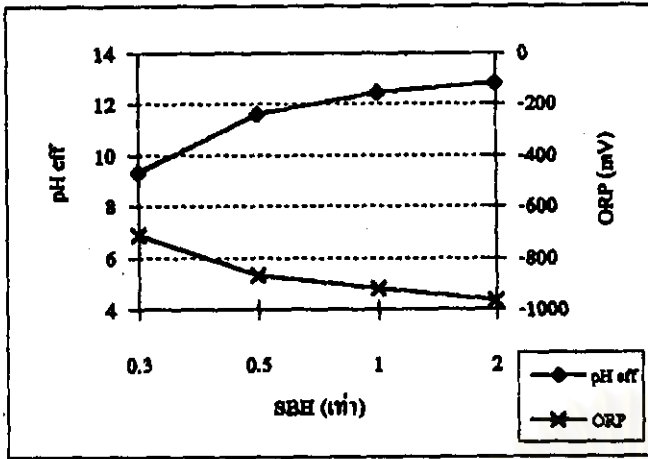


(d)  $\text{NaHSO}_3 = 4$  เท่าของ Cr

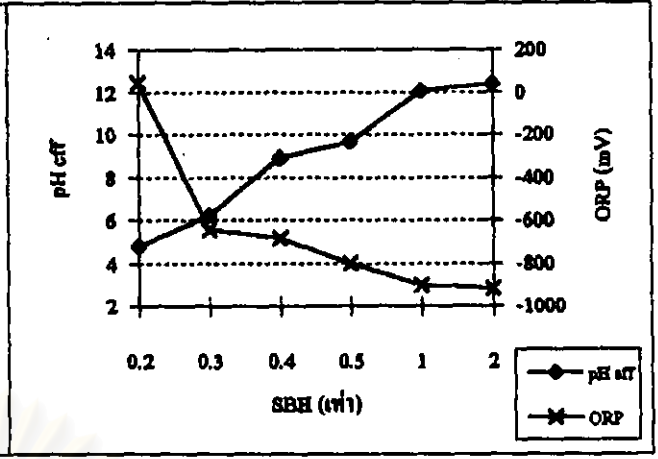


(e)  $\text{NaHSO}_3 = 5$  เท่าของ Cr

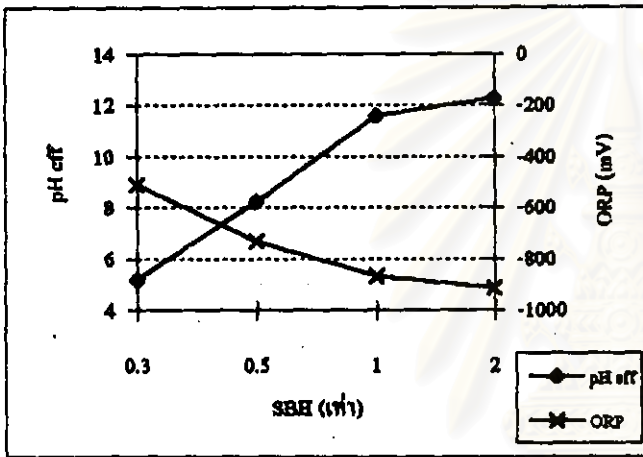
รูปที่ 5.39 ความเข้มข้นโครเมียมที่เหลือกับพีเอชสุดท้ายของน้ำที่ปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  ต่าง ๆ กัน ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น 1460 มก./ล.



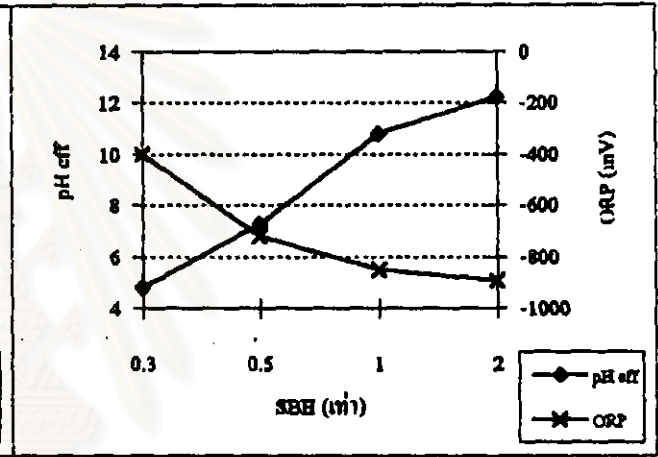
(a) NaHSO<sub>3</sub> = 1 เท่าของ Cr



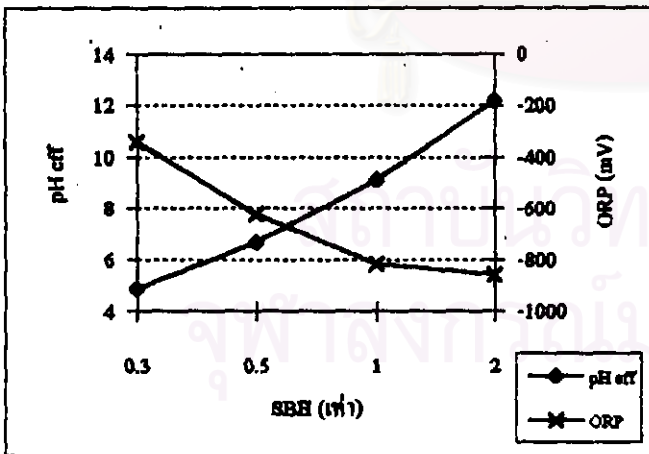
(b) NaHSO<sub>3</sub> = 2 เท่าของ Cr



(c) NaHSO<sub>3</sub> = 3 เท่าของ Cr



(d) NaHSO<sub>3</sub> = 4 เท่าของ Cr



(e) NaHSO<sub>3</sub> = 5 เท่าของ Cr

รูปที่ 5.40 คืออนุพัทธ์ของน้ำและค่าโออาร์พีกับปริมาณ SBH ที่ใช้ ที่ปริมาณ NaHSO<sub>3</sub> ต่าง ๆ กัน

### ก. ผลวิเคราะห์น้ำส่วนบน

1) การใช้  $\text{NaHSO}_3$  1 เท่าของโครเมียมร่วมกับ SBH ปริมาณ 0.3-2 เท่าของโครเมียม พบว่าไม่สามารถกำจัดโครเมียมให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งได้

2) ที่ปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  2 เท่าของโครเมียม เมื่อใช้ SBH 0.3-1 เท่าของโครเมียมจะสามารถกำจัดโครเมียมละลายในน้ำให้เหลือน้อยกว่า 0.75 มก./ล.ได้ ส่วนโครเมียมทั้งหมดเกินค่ามาตรฐานทุกสภาวะของการกำจัด ที่เอชทูคท์ของน้ำอยู่ในช่วง 6.2-12 และโออาร์พีมีค่า -650 ถึง -900 mV เนื่องจากน้ำเสียโครเมียมที่ไร้ทคดองมีโลหะหนักหลายชนิดเจือปน ดังนั้นถ้าพิจารณาถึงความสามารถในการกำจัดนิกเกิลและทองแดงร่วมด้วย พบว่า ที่เอชทูคท์ที่สูงกว่า 6.2 ทองแดงละลายที่เหลือน้อยกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง แต่สำหรับนิกเกิลจะต้องให้เอชทูคท์ที่สูงกว่า 8.87 ทั้งนี้ต้องไม่เกิน 12 ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะทั้งสามให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากการทดลอง คือ ใช้ SBH 0.4 เท่าของโครเมียม วัดปริมาณตะกอนได้เท่ากับ 910 มก./ล. แต่เมื่อทิ้งไว้ 18 ชั่วโมงจะเหลือตะกอนเท่ากับ 390 มก./ล. (ตารางที่ 5.7)

3) ที่ปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  3 เท่าของโครเมียม และ SBH 1 เท่าของโครเมียม จะทำให้ได้โครเมียมละลายเหลือน้อยกว่า 0.75 มก./ล. โดยมีเอชทูคท์เท่ากับ 11.6 แต่เมื่อเพิ่ม  $\text{NaHSO}_3$  เป็น 4 หรือ 5 เท่าของโครเมียมจะไม่สามารถทำให้โครเมียมเหลือน้อยกว่า 1 มก./ล.ได้ นอกจากนี้ต้องใช้เวลาในการตกตะกอนนานขึ้นหรือบางสภาวะไม่สามารถตกตะกอนได้เลย

4) กรณีปรับพีเอชของน้ำเสียด้วย  $\text{NaOH}$  ก่อนเติม SBH ได้ผลการทดลองซึ่งตารางที่ 5.8 จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้  $\text{NaHSO}_3$  ปริมาณ 3 เท่าของโครเมียม หลังจากกวนเป็นเวลา 10 นาที แล้วปรับพีเอชของน้ำให้เป็น 8 ด้วย  $\text{NaOH}$  จากนั้นจึงเติม SBH ให้ได้พีเอชประมาณ 9 ปล่อยให้ตกตะกอนนาน 3 ชั่วโมง พบว่า ความเข้มข้นทั้งหมดของโลหะทุกชนิดจะเหลืออยู่ไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้ง และมีปริมาณตะกอนต่ำสุดประมาณ 400 มก./ล.

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่า ค่าพีเอชทูคท์ของน้ำและ โออาร์พีที่เหมาะสมในการบำบัด คือ 9 และ -650 mV ตามลำดับ จะสามารถกำจัดโลหะหนักทุกชนิดได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง

### ข. ผลวิเคราะห์ตะกอน

ผลการวิเคราะห์ตะกอนโครเมียมด้วยวิธี XRD พบว่า ลักษณะโครงสร้างของตะกอนเป็นอะมอร์ฟัส และไม่มีแนวโน้มที่จะจัดเรียงตัวเป็นผลึกแต่อย่างใด ซึ่งจากลักษณะดังกล่าวทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่า การบำบัดน้ำเสียโครเมียมด้วย SBH จะทำให้เกิดสารประกอบโครเมียมในรูปใด ผลการวิเคราะห์ตะกอนแสดงไว้ในภาคผนวก ง.7

ตารางที่ 5.7 สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองใช้ SBH ร่วมกับ  $\text{NaHSO}_3$  กับน้ำเสียโครเมียม

ปริมาณ $\text{NaHSO}_3$ (เท่า C)	ปริมาณ SBH (เท่า C)	น้ำส่วนบน										ตะกอน		
		pH	ORP (mV)	[C] ที่เหลือ (มก./ล.)		[N] ที่เหลือ (มก./ล.)		[Ca] ที่เหลือ (มก./ล.)		% การกำจัด Cr ละลาย	% การกำจัด Cr ทั้งหมด	ปริมาณ (มก./ล.)	% Cr	ลักษณะ
				ละลาย	ทั้งหมด	ละลาย	ทั้งหมด	ละลาย	ทั้งหมด					
2	0.3	6.18	-648	0.18	0.87	11.4	13.6	0.88	0.26	99.99	99.94	930		ตะกอนสีเทาฟ้า
	0.4	8.87	-687	0.26	1.24	0.98	5.44	0.83	0.13	99.98	99.92	830	30	ตะกอนสีเทาฟ้า
	0.5	9.65	-800	0.72	58.5	0.12	4.77	0.14	4.40	99.95	95.99	675		ตะกอนสีเทาฟ้า
	1	12.01	-904	0.59	21.3	0.10	1.55	0.07	1.42	99.96	98.54	955		ตะกอนสีเทาฟ้า
3	1	11.6	-871	0.38	4.66	0.10	0.58	0.18	0.47	99.97	99.68	850		ตะกอนสีเทาฟ้า

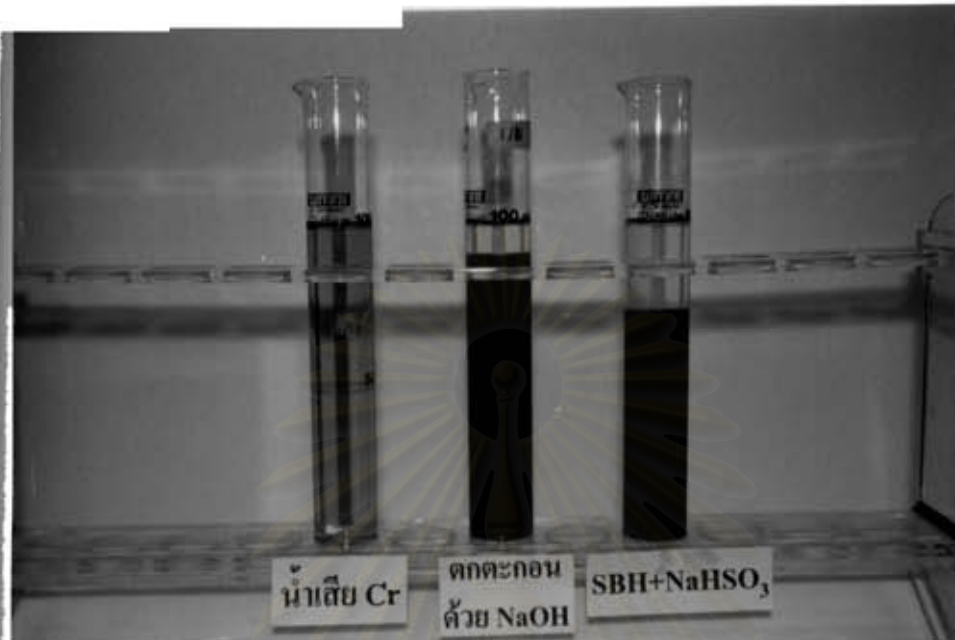
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 5.8 ผลการทดลองปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นด้วย NaOH ก่อนเติม SBH

NaHSO <sub>3</sub> (เท่า C <sub>2</sub> )	ปรับ pH ด้วย NaOH (เท่า C <sub>2</sub> )	SBH (เท่า C <sub>2</sub> )	หลังใส่ SBH		เวลาที่เก็บ ตัวอย่าง	[C <sub>2</sub> ] ที่เหลือ (มก./ล.)		[N <sub>2</sub> ] ที่เหลือ (มก./ล.)		[C <sub>6</sub> ] ที่เหลือ (มก./ล.)		ปริมาณตะกอน (มก./ล.)		ลักษณะตะกอน
			pH	ORP (mV)		ละลาย	ทั้งหมด	ละลาย	ทั้งหมด	ละลาย	ทั้งหมด	ที่ 1 ชม.	ที่ 18 ชม.	
2	7	0.10	9.05	-634	1 ชม.	190	209	0.37	1.63	0.13	1.14	-	-	ตะกอนสีขาว น้ำที่เหลือง
	8	0.04	9.06	-585	1 ชม.	334	398	0.34	0.59	0.10	0.23	-	-	ตะกอนสีขาว น้ำที่เหลือง
3	6	0.27	9.07	-766	1 ชม.	0.41	113	0.39	35	0.28	10.05	665	470	ตะกอนสีดำ
					3 ชม.		0.65		0.48		0.26			
	7	0.11	9.13	-682	1 ชม.	0.49	73.8	0.37	6.64	0.12	6.36	510	420	ตะกอนสีเทาฟ้า
					3 ชม.		0.71		0.55		0.24			
	8	0.05	9.03	-654	1 ชม.	0.39	17.9	0.33	1.56	0.10	1.37	445	330	ตะกอนสีเทาฟ้า
					3 ชม.		0.57		0.60		0.19			

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

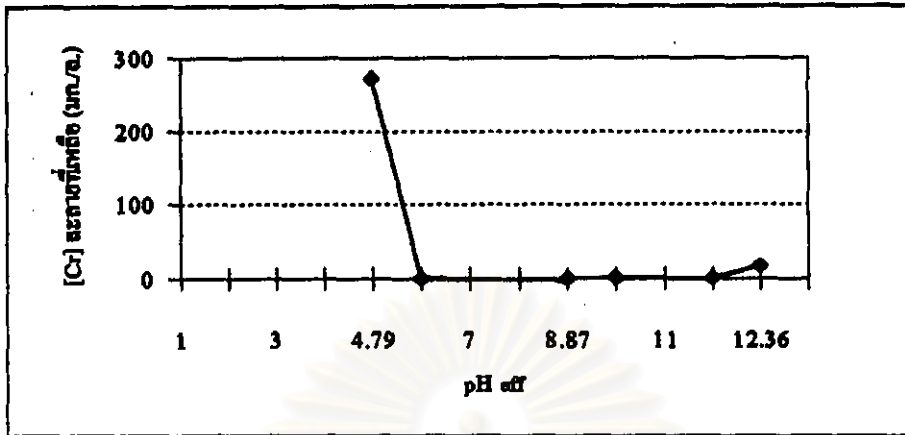


รูปที่ 5.41 เปรียบเทียบลักษณะการตกตะกอนด้วยวิธีการบำบัดน้ำเสียโครเมียมโดยการตกตะกอนทางเคมีด้วย NaOH กับการใช้ SBH ร่วมกับ  $\text{NaHSO}_3$

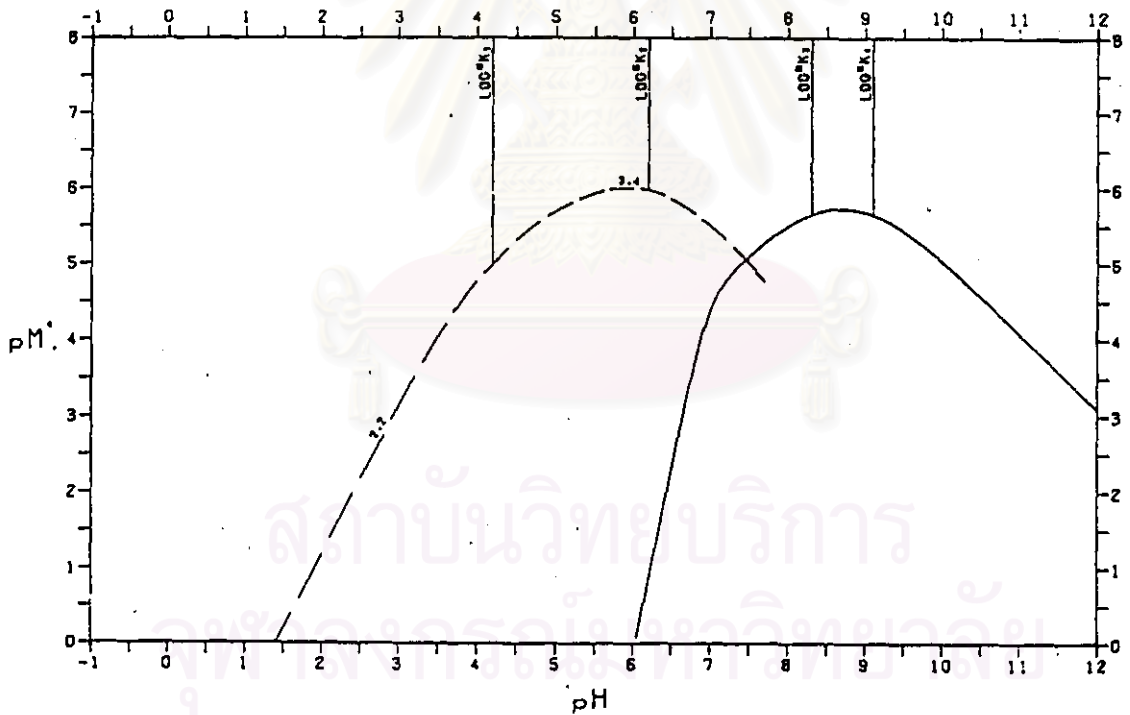
#### ก. ปฏิบัติการที่เกิดขึ้น

1) จากผลการวิเคราะห์ตะกอนด้วยวิธี XRD ทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่าโครเมียมจะตกตะกอนในรูปของสารประกอบใด แต่เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองพบว่า เเปอร์เซ็นต์ในการกำจัดโครเมียมจะขึ้นอยู่กับช่วงพีเอชสุดท้ายของน้ำเป็นอย่างมาก ดังกราฟรูปที่ 5.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโครเมียมละลายที่เหลือกับพีเอชสุดท้ายของน้ำหลังจากเติม SBH ปริมาณต่าง ๆ กัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าลดลงกับการตกตะกอนทางเคมีด้วยต่าง โดยมีพีเอชของการทำงานอยู่ในช่วง 6 ถึง 12 เช่นกันดังรูปที่ 5.43 แสดงความสามารถในการละลายของโครเมียมที่พีเอชต่าง ๆ นั่นคือเมื่อพีเอชของน้ำสูงกว่า 12 โครเมียมที่ตกตะกอนแล้วจะสามารถละลายกลับได้ ทำให้ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำกลับเพิ่มขึ้น

2) เมื่อปรับพีเอชของน้ำเสียด้วย NaOH ก่อนเติม SBH จะสามารถลดการใช้ SBH ลงได้ถึง 8 เท่า แต่ต้องใช้ปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  เพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่าของโครเมียม ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณ SBH ที่เติมลงไปไม่เพียงพอที่จะรีดิวซ์  $\text{Cr(VI)}$  ให้เป็น  $\text{Cr(III)}$  ทำให้ยังคงเหลือโครเมียมละลายในน้ำอยู่สูง แต่เมื่อใช้  $\text{NaHSO}_3$  3 เท่าจะสามารถรีดิวซ์  $\text{Cr(VI)}$  ให้เป็น  $\text{Cr(III)}$  ได้ทั้งหมด จึงทำให้กำจัดโครเมียมละลายที่เหลือได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง



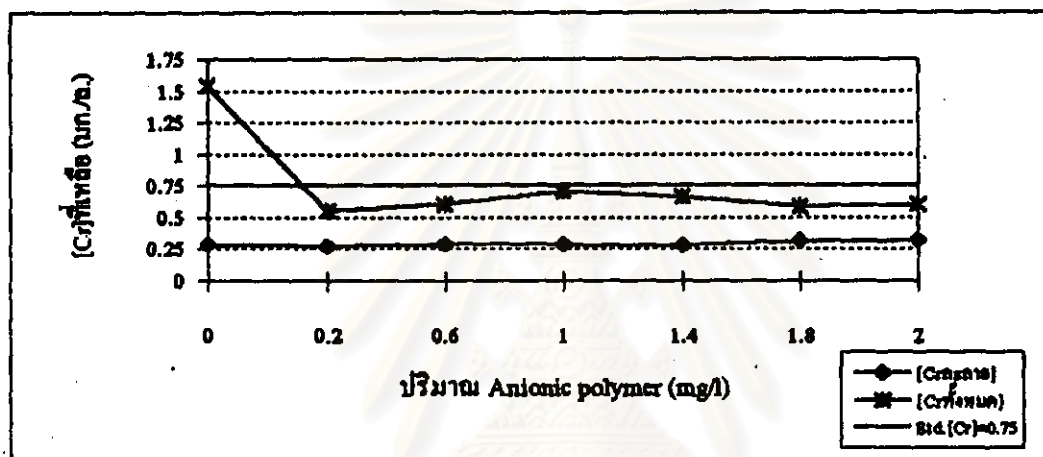
รูปที่ 5.42 ความเข้มข้นโครเมียมละลายที่เหลือที่พีเอชสุดท้ายต่าง ๆ กัน โดยใช้ปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  2 เท่าของโครเมียม



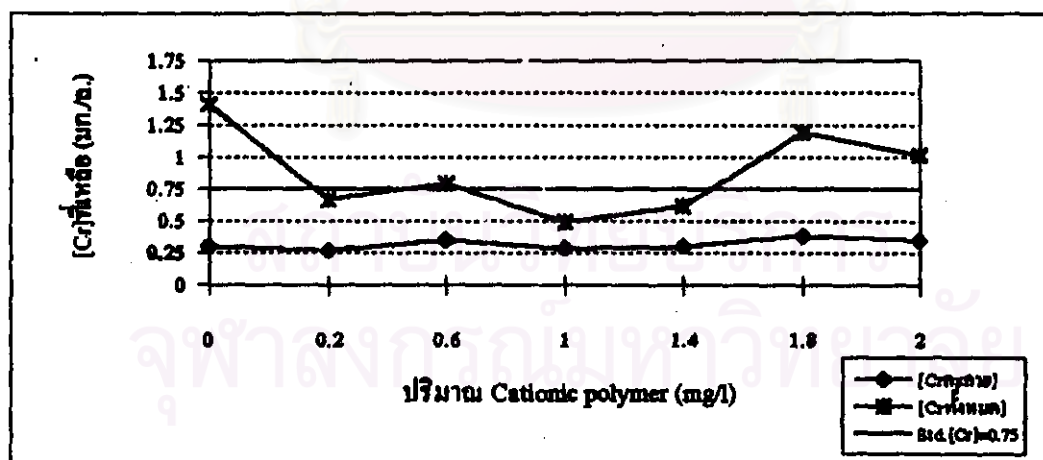
รูปที่ 5.43 ความสามารถในการละลายของโครเมียมที่พีเอชต่าง ๆ (Bates และ Meamer, 1976)

### จ. การใช้ SBH กับ $\text{NaHSO}_3$ ร่วมกับ โพลีเมอร์

เนื่องจากการทดลองใช้ SBH กับรวม  $\text{NaHSO}_3$  ไม่สามารถกำจัดโลหะทั้งหมดให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งได้ ดังนั้นจึงทดลองใช้โพลีเมอร์แบบประจุลบและบวกร่วมกับการใช้  $\text{NaHSO}_3$  2 เท่าของโครเมียม และ SBH 0.4 เท่าของโครเมียม ได้ผลการทดลองดังรูป 5.44 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโพลีเมอร์ทั้ง 2 แบบปริมาณ 0.2 มก./ล. สามารถกำจัดโครเมียมในน้ำให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งได้แต่ตะกอนยังคงตกได้ช้า แต่เมื่อเติมโพลีเมอร์แบบประจุลบมากกว่า 1 มก./ล. ตะกอนจะจับตัวเป็นก้อนกลมและตกตะกอนได้เร็วขึ้น



(a)



(b)

รูปที่ 5.44 โครเมียมที่เหลือกับปริมาณโพลีเมอร์ที่ใช้ ณ สถานะการกำจัด  $\text{NaHSO}_3$  และ SBH เท่ากับ 2 และ 0.4 เท่าของโครเมียมตามลำดับ

### จ. สรุปผลการทดลองใช้ SBH ร่วมกับ $\text{NaHSO}_3$

1) การใช้ SBH กำจัดโครเมียมออกจากน้ำเสียจะควบคุมสภาวะที่เหมาะสมได้ยากกว่าการกำจัดทองแดงหรือนิกเกิลซึ่งจะมีช่วงการทำงานที่กว้างกว่า จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้  $\text{NaHSO}_3$  และ SBH ปริมาณ 2 และ 0.4 เท่าของปริมาณโครเมียมร่วมกับโพลีเมอร์แบบประจุลบ 0.2 มก./ล. จะสามารถกำจัดโครเมียม ทองแดง และนิกเกิลได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง หรือใช้  $\text{NaHSO}_3$  3 เท่าของโครเมียม แล้วปรับพีเอชของน้ำเสียเป็น 8 ด้วย NaOH จะช่วยลดปริมาณ SBH ที่ใช้ลงเหลือ 0.05 เท่าของโครเมียมได้

เมื่อพิจารณาเฉพาะการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียเพียงอย่างเดียวเพื่อให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง จะต้องใช้ปริมาณ SBH 0.3 เท่าของโครเมียมหรือให้ได้พีเอชสุดท้ายของน้ำประมาณ 6.2

2) ผลของ  $\text{NaHSO}_3$  กับ SBH ต่อการตกตะกอน จะเห็นได้ว่า อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ  $\text{NaHSO}_3$  : SBH จะมีผลต่อความสามารถในการตกตะกอนโครเมียม โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 3 ถึง 4

3) การปฏิบัติงานจริงอาจจะควบคุมการเติม SBH โดยใช้ค่าพีเอชและโออาร์ทีคังมีขั้นตอนต่อไปนี้

- เติม  $\text{NaHSO}_3$  (ของแข็ง) ปริมาณ 2 เท่าของโครเมียมหรือเจนโออาร์ทีมีค่าประมาณ 500 mV ควบคุมพีเอชไว้ประมาณ 2.5 ควบคุมประมาณ 10 นาที

- ก่อข ๗ เติม SBH จนพีเอชประมาณ 6.2 (กำจัดเฉพาะโครเมียม) ควบคุมเร็วประมาณ 30 นาที จากนั้นจึงเติมโพลีเมอร์แบบประจุลบ 0.2 มก./ล. แล้วควบคุม 20 นาที

- ปล่อกให้ตกตะกอนประมาณ 1 ชั่วโมง

4) การปฏิบัติงานจริงโดยใช้ NaOH ปรับพีเอชขั้นต้นร่วมกับ SBH มีขั้นตอนต่อไปนี้

- เติม  $\text{NaHSO}_3$  ปริมาณ 3 เท่าของโครเมียมหรือเจนโออาร์ทีมีค่าประมาณ 200 mV ควบคุมพีเอชไว้ประมาณ 2.5 ควบคุมประมาณ 10 นาที

- ปรับพีเอชของน้ำเสียเป็น 8 ด้วย NaOH

- ก่อข ๗ เติม SBH จนพีเอชประมาณ 9 (กำจัดทั้งโครเมียมและโลหะชนิดอื่น) โออาร์ทีมีค่าประมาณ -650 mV ควบคุมเร็วประมาณ 30 นาที

- ปล่อกให้ตกตะกอนประมาณ 1 ชั่วโมง

### 5.3.4 น้ำเสียรวม

#### 5.3.4.1 การใช้ SBH ร่วมกับ $\text{NaHSO}_3$

น้ำเสียรวมมีค่าพีเอชและโออาร์พีโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.55 และ 680 mV ตามลำดับ มีความเข้มข้นของโลหะหนักดังต่อไปนี้ นิกเกิล 1660 มก./ล. ทองแดง 770 มก./ล. โครเมียม 250 มก./ล. สังกะสี 160 มก./ล. และเหล็ก 140 มก./ล.

ทำการทดลองโดยแปรปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  0.5-3 เท่าของปริมาณโครเมียมในน้ำเสีย ซึ่งหลังจากเติม  $\text{NaHSO}_3$  แล้วพีเอชของน้ำเสียยังคงต่ำกว่า 2 กวนเร็ว 10 นาที หลังจากนั้นปรับพีเอชเป็น 5 ด้วย  $\text{NaOH}$  เติม SBH เพื่อให้ได้พีเอชสุดท้ายเป็น 7.5, 8, 8.5, 9, 9.5 และ 10 หลังจากกวนและปล่อยให้ตกตะกอนแล้วจึงเก็บน้ำส่วนบนมาวิเคราะห์ปริมาณโลหะละลายและโลหะทั้งหมดที่เหลือ วัดปริมาณตะกอนที่เวลา 30 นาทีและลักษณะตะกอนที่สังเกตเห็น ซึ่งผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5.45 และ 5.46 ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

#### ก. ผลวิเคราะห์น้ำส่วนบน

1) การใช้  $\text{NaHSO}_3$  0.5 เท่าของโครเมียม และเติม SBH จนได้พีเอชสุดท้ายเท่ากับ 10.2 จะสามารถกำจัดโลหะที่ละลายทุกประเภทให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งได้

2) การใช้  $\text{NaHSO}_3$  1, 2 และ 3 เท่าของโครเมียม และเติม SBH จนได้พีเอชเท่ากับ 9.5 จะสามารถกำจัดโลหะที่ละลายทุกตัวให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งได้ ส่วนความเข้มข้นทั้งหมดของโลหะเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งทุกสภาวะการกำจัด โออาร์พีมีค่าอยู่ในช่วง -550 ถึง -650 mV ปริมาณตะกอนเท่ากับ 620-750 มล./ล.

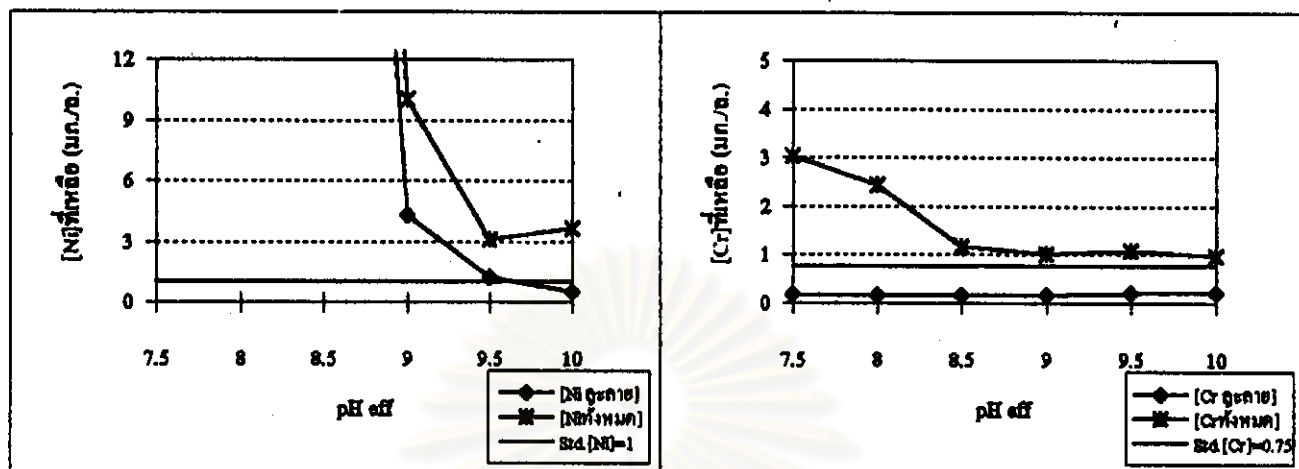
จากผลการทดลองข้างต้นพบว่า ค่าพีเอชสุดท้ายของน้ำและโออาร์พีที่เหมาะสมในการบำบัดคือ 9.5 และ -600 mV ตามลำดับ ตารางที่ 5.9 แสดงสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองใช้ SBH ร่วมกับ  $\text{NaHSO}_3$  กับน้ำเสียรวม

### ข. ผลวิเคราะห์ตะกอน

ผลการวิเคราะห์ตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียรวมด้วยวิธี XRD พบว่า diffraction pattern ที่ได้มีลักษณะคล้ายคลึงกับผลของการวิเคราะห์ตะกอนนิกเกิลที่ผลิตจากการบำบัดน้ำเสียนิกเกิลด้วย SBH ร่วมกับ  $\text{NaHSO}_3$ , ผลดังแสดงในภาคผนวก ง.5 และ ง.8 ซึ่งโครงสร้างของตะกอนที่ได้มีลักษณะเป็นอะมอร์ฟัส แต่มีแนวโน้มที่จะจัดเรียงตัวเป็นผลึก เนื่องจากในน้ำเสียรวมมีปริมาณนิกเกิลเจือปนอยู่มากที่สุดถึงร้อยละ 55 จึงทำให้คาดได้ว่า น่าจะเกิดการประกอบในรูปของนิกเกิลโบโรไซด์ เช่นเดียวกับตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียนิกเกิล รวมทั้งเกิดการประกอบของทองแดงในรูปของคอปเปอร์ออกไซด์ด้วย

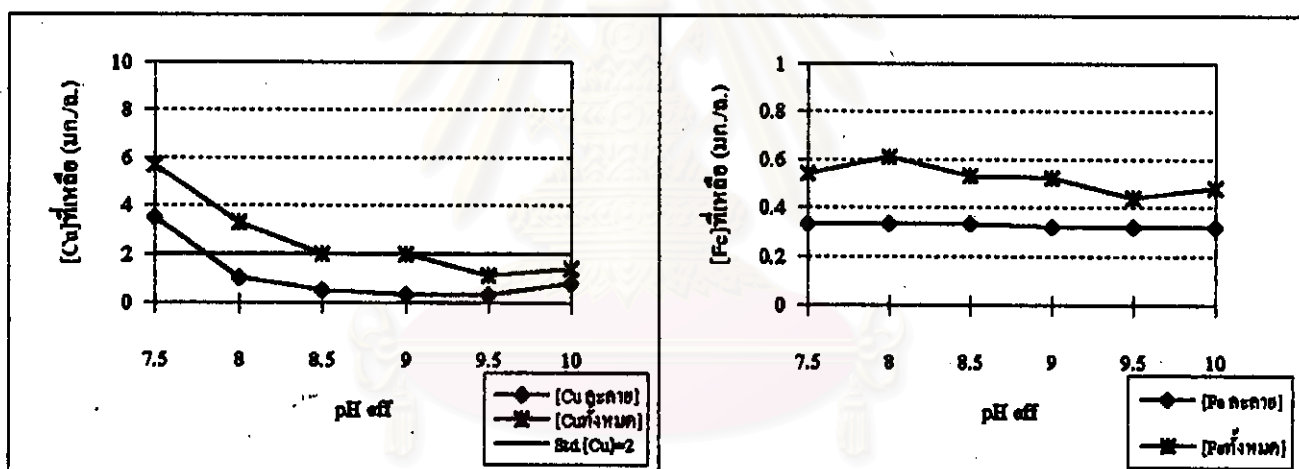


สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(a) นิกเกิล

(b) โครเมียม



(c) ทองแดง

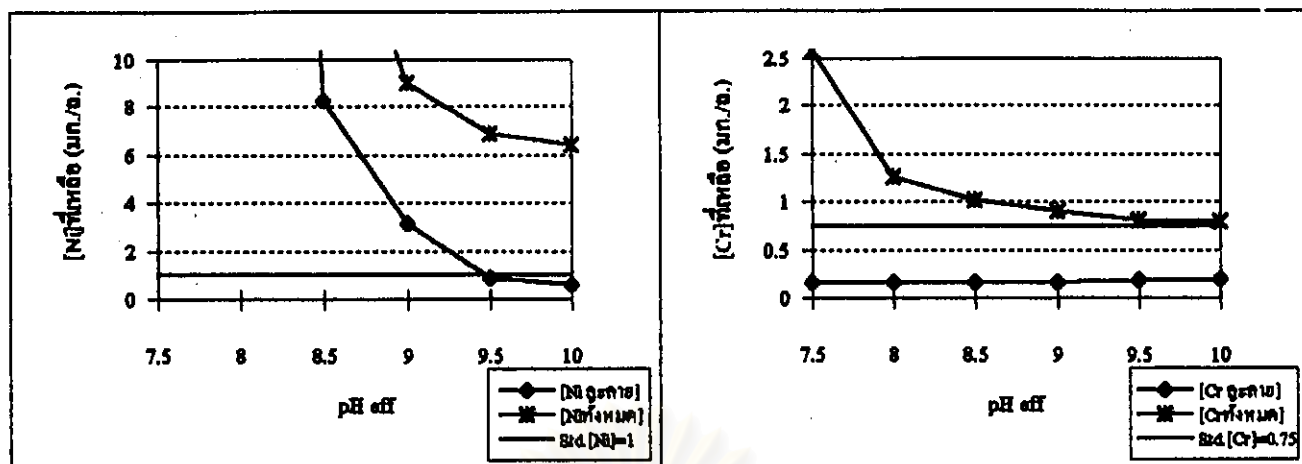
(d) เหล็ก

รูปที่ 5.45 ความเข้มข้นโลหะที่เหลือกับปริมาณ SBH ที่ใช้ที่ปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  ต่าง ๆ กัน

$\text{NaHSO}_3 = 0.5$  เท่าของ Cr

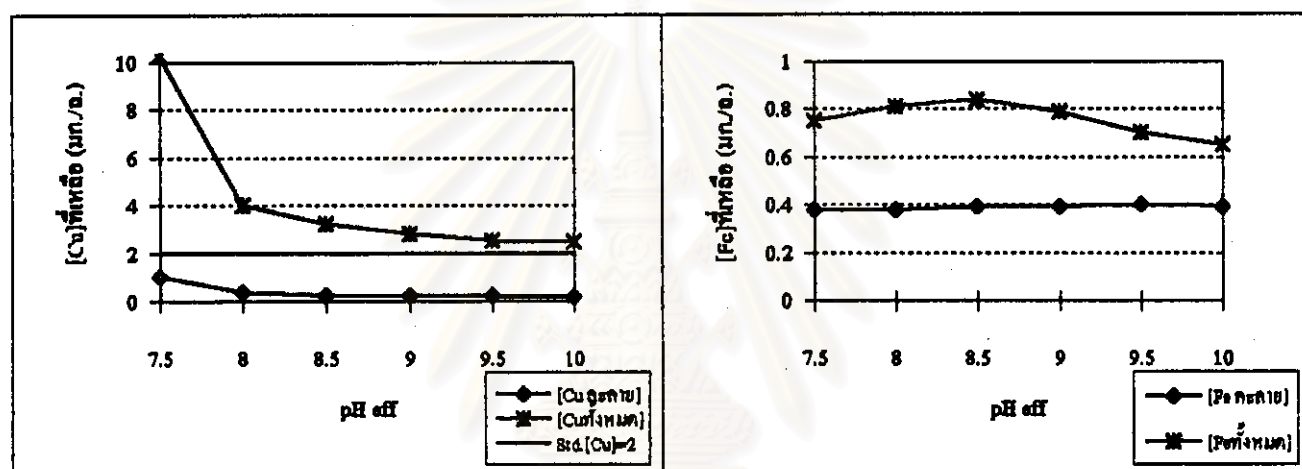
ความเข้มข้นเริ่มต้น [Ni] = 1660, [Cu] = 770, [Cr] = 250, [Fe] = 140 มก./ล.





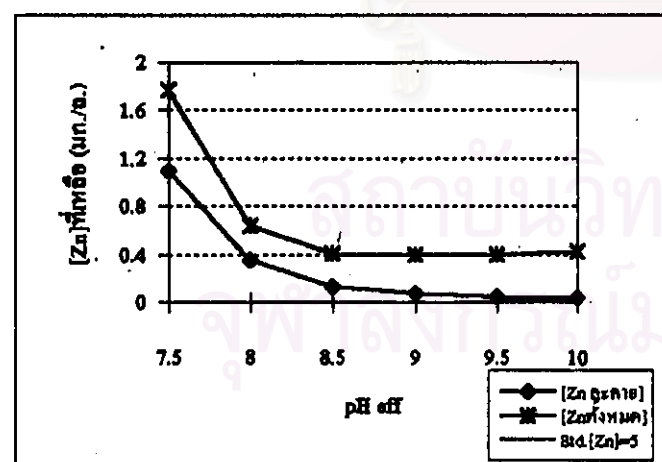
(a) นิกเกิล

(b) โครเมียม



(c) ทองแดง

(d) เหล็ก

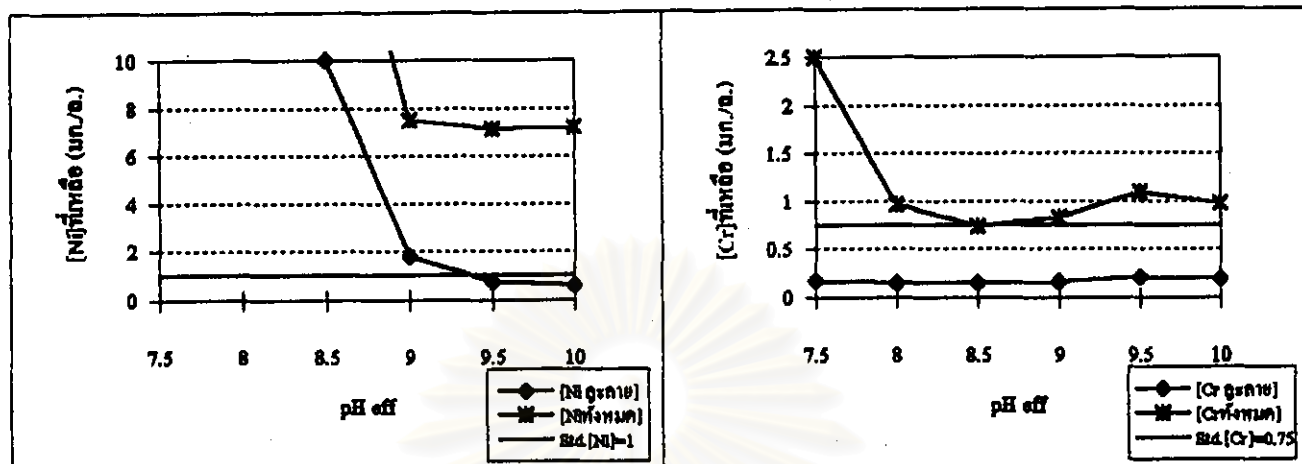


(e) สังกะสี

รูปที่ 5.45 ความเข้มข้นโลหะที่เหลือกับปริมาณ SBH ที่ใช้ที่ปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  ต่าง ๆ กัน

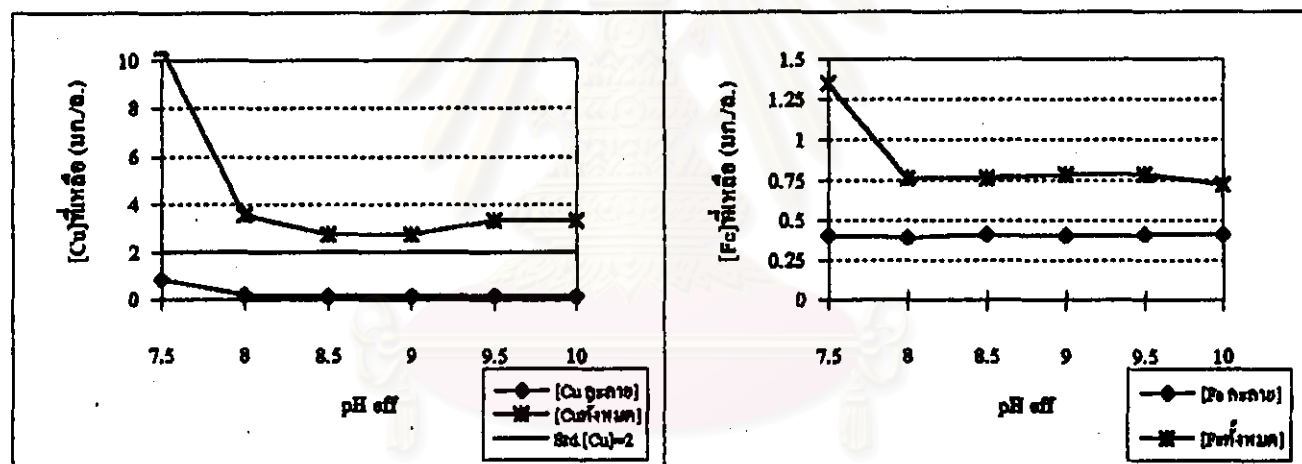
$\text{NaHSO}_3 = 1$  เท่าของ Cr (คือ)

ความเข้มข้นเริ่มต้น [Ni] = 1660, [Cu] = 770, [Cr] = 250, [Fe] = 140, [Zn] = 160 mg/L.



(a) นิกเกิล

(b) โครเมียม



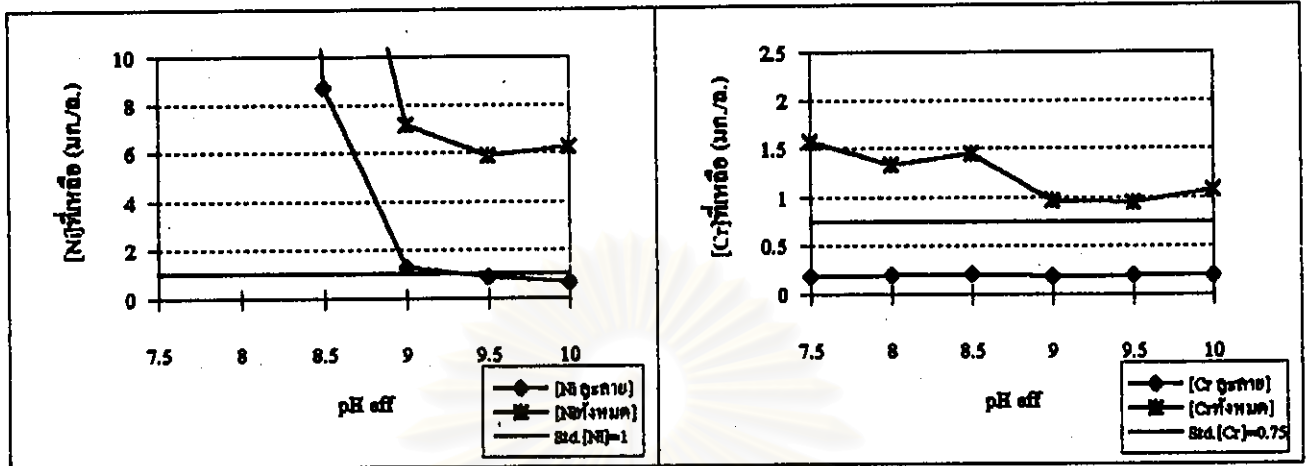
(c) ทองแดง

(d) เหล็ก

รูปที่ 5.45 ความเข้มข้นโลหะที่เหลือกับปริมาณ SBH ที่ใช้ที่ปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  ต่าง ๆ กัน

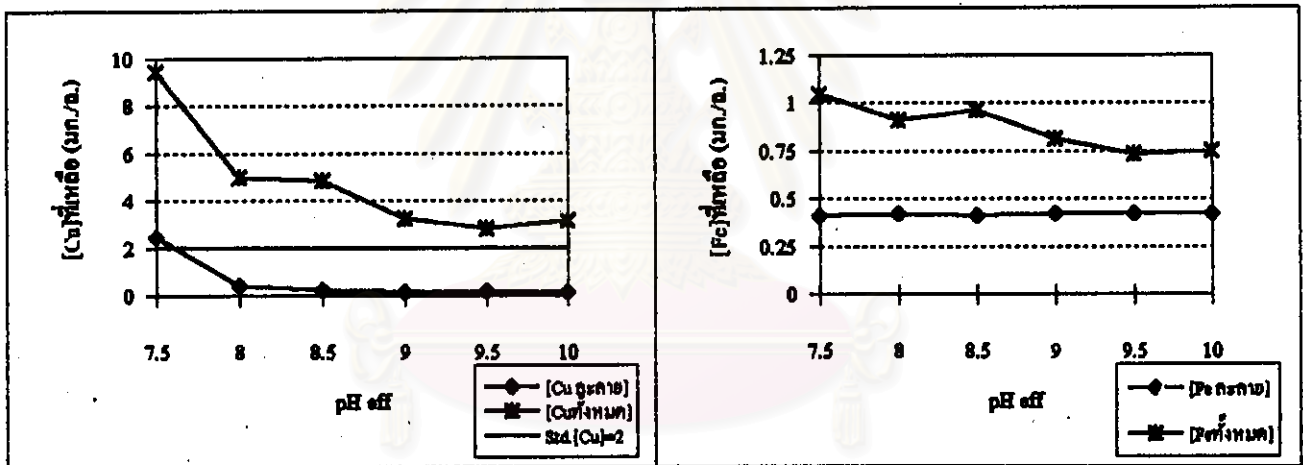
$\text{NaHSO}_3 = 2$  เท่าของ Cr (ต่อ)

ความเข้มข้นเริ่มต้น [Ni] = 1660, [Cu] = 770, [Cr] = 250, [Fe] = 140 มก./ล.



(a) นิกเกิล

(b) โครเมียม



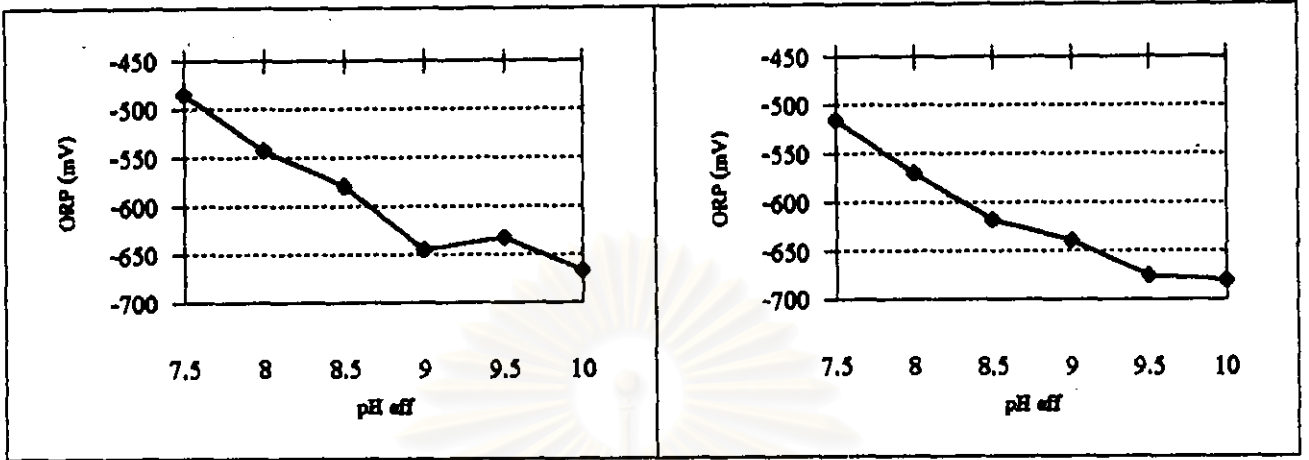
(c) ทองแดง

(d) เหล็ก

รูปที่ 5.45 ความเข้มข้นโลหะที่เหลือกับปริมาณ SBH ที่ใช้ที่ปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  ต่าง ๆ กัน

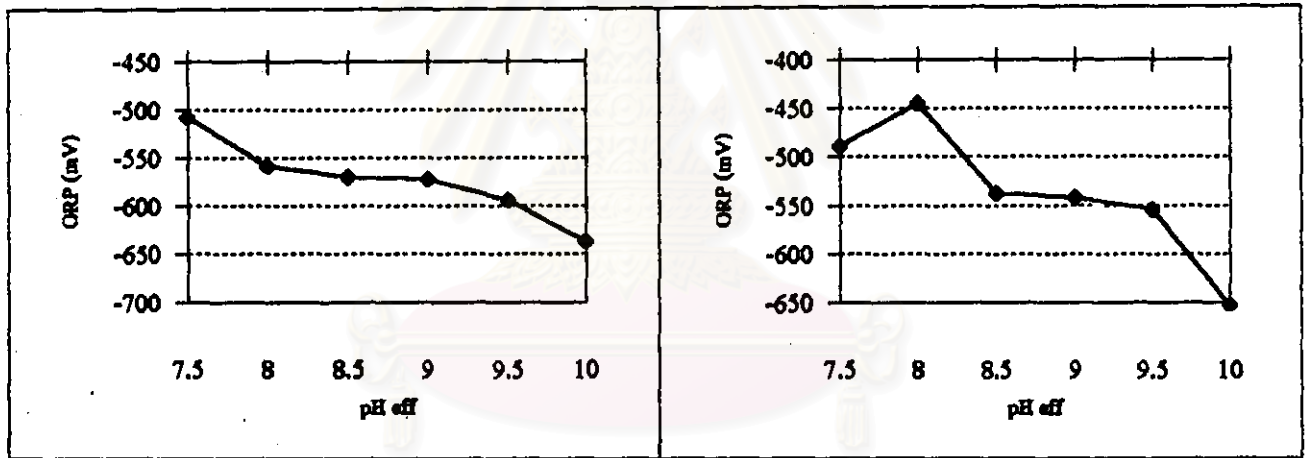
$\text{NaHSO}_3 = 3$  เท่าของ Cr (ต่อ)

ความเข้มข้นเริ่มต้น [Ni] = 1660, [Cu] = 770, [Cr] = 250, [Fe] = 140 มก./ล.



(a) NaHSO<sub>3</sub> = 0.5 เท่า

(b) NaHSO<sub>3</sub> = 1 เท่า



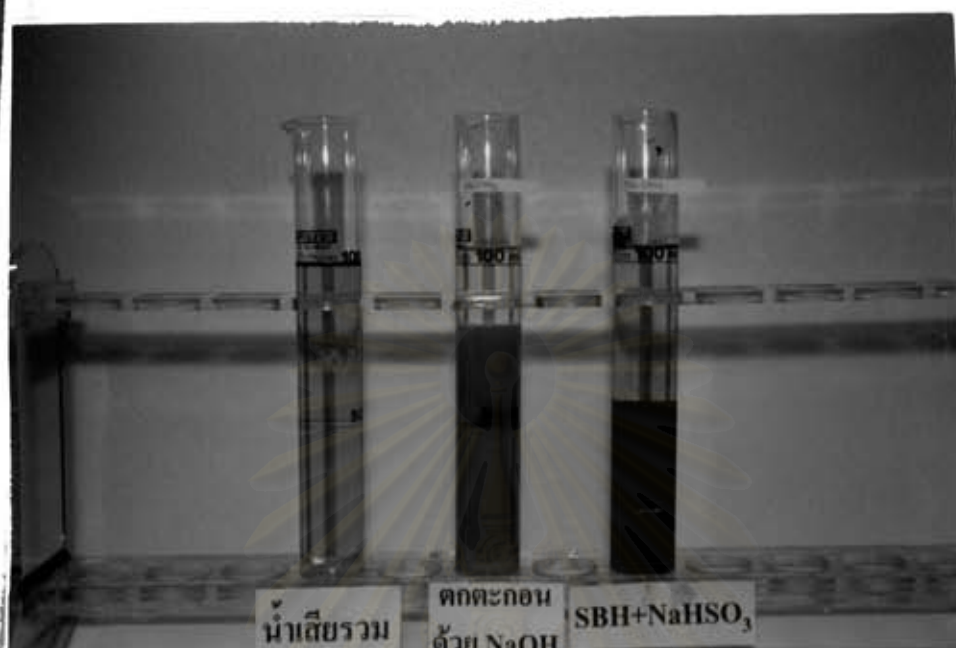
(c) NaHSO<sub>3</sub> = 2 เท่า

(d) NaHSO<sub>3</sub> = 3 เท่า

รูปที่ 5.46 ค่าโออาร์พีกับพีเอชสุดท้ายของน้ำที่ปริมาณ NaHSO<sub>3</sub> ต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 5.9 สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองใช้ SBH ร่วมกับ  $\text{NaHSO}_3$  ที่สภาวะการปรับพีเอชของน้ำเสียรวมเท่ากับ 5

NaHSO <sub>3</sub> (เท่าของC <sub>2</sub> )	ปริมาณ SBH (เท่าของโลหะ)	หลังใช้ SBH		[Ni] ที่เหลือ (mg/l)		[Cr] ที่เหลือ (mg/l)		[Cu] ที่เหลือ (mg/l)		[Fe] ที่เหลือ (mg/l)		ปริมาณ ตะกอน (มด./ต.)
		pH(pHจริง)	ORP(mV)	ละลาย	ทั้งหมด	ละลาย	ทั้งหมด	ละลาย	ทั้งหมด	ละลาย	ทั้งหมด	
0.5	0.35	10.0(10.22)	-667	0.52	3.65	0.21	0.96	0.78	1.48	0.32	0.48	355
1	0.30	9.5(9.47)	-676	0.87	6.86	0.19	0.81	0.21	2.54	0.40	0.70	510
2	0.30	9.5(9.53)	-594	0.73	7.09	0.21	1.09	0.16	3.34	0.41	0.78	565
3	0.32	9.5(9.44)	-555	0.85	5.87	0.20	0.94	0.17	2.79	0.42	0.73	445



รูปที่ 5.47 เปรียบเทียบลักษณะตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียรวมด้วยการตกตะกอนทางเคมีด้วย NaOH กับการใช้ SBH ร่วมกับ  $\text{NaHSO}_3$

#### 5.3.4.2 การปรับพีเอชด้วย NaOH ก่อนเติม SBH

หลังจากเติม  $\text{NaHSO}_3$  เพื่อรีดิวซ์  $\text{Cr(VI)}$  แล้วจึงปรับพีเอชด้วย NaOH ก่อนเติม SBH ทั้งนี้การปรับพีเอชดังกล่าวจะช่วยลดปัญหาเรื่องตะกอนแขวนลอยเนื่องจากในน้ำเสียที่ใช้ทดลองมีปริมาณนิเกิลมากที่สุด ซึ่งปฏิกิริยาระหว่าง  $\text{NaBH}_4$  กับนิเกิลออกไซด์จะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนจึงทำให้ตะกอนแขวนลอย นอกจากนี้จะช่วยลดการใช้ SBH ลง โดย SBH จะทำหน้าที่เพียงให้เกิดปฏิกิริยาได้ตะกอนโลหะเท่านั้นไม่ได้ใช้เพื่อการปรับพีเอช

จากการทดลองปรับพีเอชน้ำเสียเท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 ด้วย NaOH ก่อนเติม SBH เพื่อให้ได้พีเอชสุดท้ายเป็น 9.5 ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5.10 พบว่าการปรับพีเอชเท่ากับ 8 แล้วจึงเติม SBH จนพีเอชเป็น 9.5 จะสามารถกำจัดโลหะที่ละลายในน้ำได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง ลักษณะตะกอนที่เกิดขึ้นจะเป็นตะกอนนิเกิลไฮดรอกไซด์ปนกับนิเกิลโบโรไซด์

ตารางที่ 5.10 เปรียบเทียบผลการปรับพีเอชด้วย NaOH เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 ก่อนเติม SBH

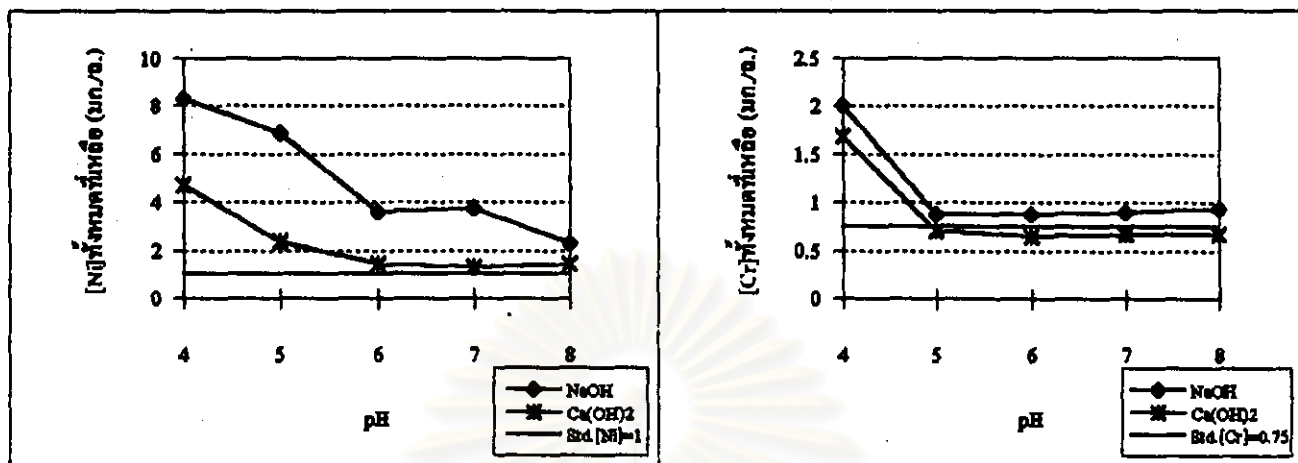
(ที่สภาวะการกำจัด : NaHSO<sub>3</sub> 1 เท่าของ Cr และพีเอชสุดท้าย 9.5)

pH ชั้นแรก	pH หลังใส่ SBH	[Ni] ที่เหลือ (mg/l)		[Cr] ที่เหลือ (mg/l)		[Cu] ที่เหลือ (mg/l)		[Fe] ที่เหลือ (mg/l)		ปริมาณตะกอน (มล./ล.)		ลักษณะตะกอน
		ละลาย	ทั้งหมด	ละลาย	ทั้งหมด	ละลาย	ทั้งหมด	ละลาย	ทั้งหมด	ที่ 30 นาที	ที่ 1 ชม.	
4	9.45	0.77	8.28	0.48	2.00	0.18	3.03	0.52	0.70	520	400	ตะกอนสีดำ มีกลิ่นสีฟ้าปนเหลืองออกที่ผิวหน้ามาก
5	9.47	0.87	6.86	0.49	0.87	0.21	2.54	0.5	0.70	510	400	ตะกอนสีดำ มีกลิ่นสีฟ้าปนเหลืองออกที่ผิวหน้า
6	9.42	0.72	3.59	0.48	0.88	0.18	1.25	0.53	0.70	490	400	ตะกอนสีดำปนตะกอนสีเขียว ไม่มีกลิ่น
7	9.45	0.88	3.75	0.47	0.90	0.20	1.42	0.53	0.69	490	400	ตะกอนสีดำปนตะกอนสีเขียว ไม่มีกลิ่น
8	9.49	0.65	2.30	0.45	0.93	0.23	1.57	0.55	0.70	510	400	ตะกอนสีดำปนตะกอนสีเขียว ไม่มีกลิ่น

ตารางที่ 5.11 เปรียบเทียบผลการปรับพีเอชด้วย Ca(OH)<sub>2</sub> เท่ากับ 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 ก่อนเติม SBH

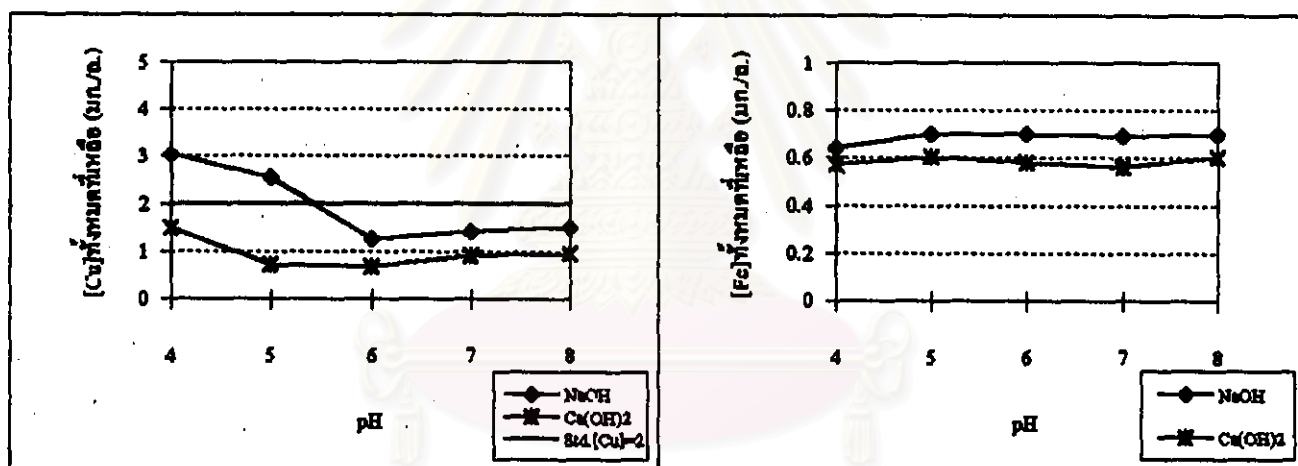
(ที่สภาวะการกำจัด : NaHSO<sub>3</sub> 1 เท่าของ Cr และพีเอชสุดท้าย 9.5)

pH ชั้นแรก	pH หลังใส่ SBH	[Ni] ที่เหลือ (mg/l)		[Cr] ที่เหลือ (mg/l)		[Cu] ที่เหลือ (mg/l)		[Fe] ที่เหลือ (mg/l)		ปริมาณตะกอน (มล./ล.)		ลักษณะตะกอน
		ละลาย	ทั้งหมด	ละลาย	ทั้งหมด	ละลาย	ทั้งหมด	ละลาย	ทั้งหมด	ที่ 30 นาที	ที่ 1 ชม.	
4	9.61	0.6	4.68	0.48	1.68	0.14	1.47	0.51	0.57	400	320	ตะกอนสีดำ มีกลิ่นสีฟ้าปนเหลืองออกที่ผิวหน้ามาก
5	9.58	0.54	2.35	0.51	0.70	0.15	0.72	0.50	0.60	300	270	ตะกอนสีดำ มีกลิ่นสีฟ้าปนเหลืองออกที่ผิวหน้า
6	9.71	0.51	1.44	0.49	0.65	0.16	0.66	0.50	0.58	350	320	ตะกอนสีดำปนตะกอนสีเขียว ไม่มีกลิ่น
7	9.73	0.45	1.28	0.49	0.67	0.19	0.91	0.50	0.56	350	330	ตะกอนสีดำปนตะกอนสีเขียว ไม่มีกลิ่น
8	9.60	0.50	1.43	0.51	0.67	0.20	0.96	0.52	0.60	350	370	ตะกอนสีดำปนตะกอนสีเขียว ไม่มีกลิ่น
9	9.55	0.53	1.72	0.55	0.71	0.19	1.04	0.52	0.60	470	400	ตะกอนสีเขียวอ่อน ไม่มีกลิ่น



(a) นิกเกิล

(b) โครเมียม



(c) ทองแดง

(d) เหล็ก

รูปที่ 5.48 เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการปรับพีเอชเริ่มต้นเป็น 4, 5, 6, 7 และ 8 ด้วย NaOH และ Ca(OH)<sub>2</sub> ความเข้มข้นเริ่มต้น [Ni] = 1660, [Cu] = 770, [Cr] = 250, [Fe] = 140 มก./ล.



### 5.3.4.3 การใช้ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ปรับพีเอชแทน $\text{NaOH}$

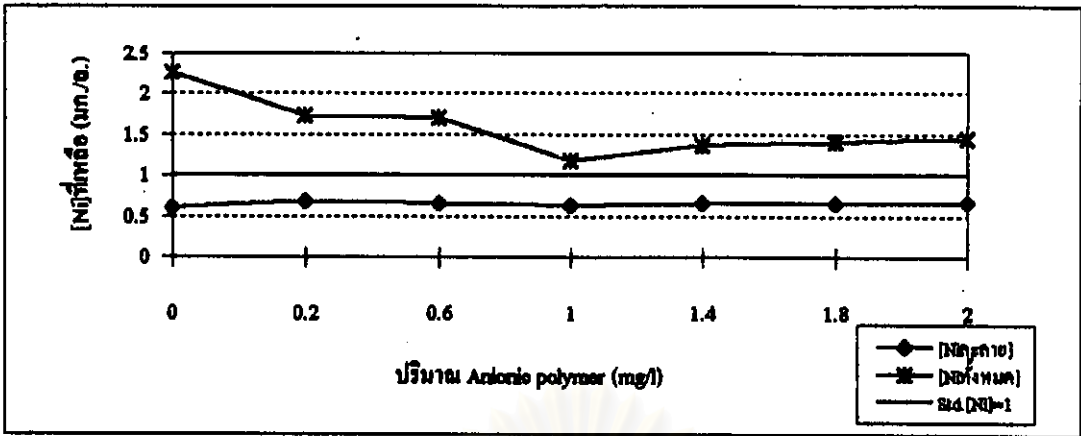
การใช้  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ปรับพีเอชของน้ำก่อนการเติม SBH แทน  $\text{NaOH}$  ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.11 และรูปที่ 5.48 เป็นกราฟความเข้มข้นทั้งหมดของโลหะที่เหลือน้ำหลังการบำบัดเปรียบเทียบกันระหว่างการปรับพีเอชด้วย  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  กับ  $\text{NaOH}$  ซึ่งจะเห็นได้ว่า การปรับพีเอชด้วย  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  จะเหลือปริมาณโลหะในน้ำอยู่น้อยกว่าการใช้  $\text{NaOH}$  เนื่องจากกลไกการตกผลึกร่วม โดยผลึกของ  $\text{CaCO}_3$  ที่เกิดจากการใช้  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ปรับพีเอช จะสามารถดูดติดผิวกับตะกอนโลหะที่เกิดขึ้นทำให้ช่วยลดตะกอนบางส่วนที่แขวนลอย ซึ่งสามารถทำให้โครเมียมและทองแดงทั้งหมดในน้ำออกมามีค่าได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง นอกจากนี้ตะกอนที่เกิดขึ้นจะอัดตัวกันได้แน่นกว่า วัดปริมาณตะกอนได้ 350-400 มล./ก.

### 5.3.4.4 การใช้ SBH กับ $\text{NaHSO}_3$ ร่วมกับโพสิเมอร์

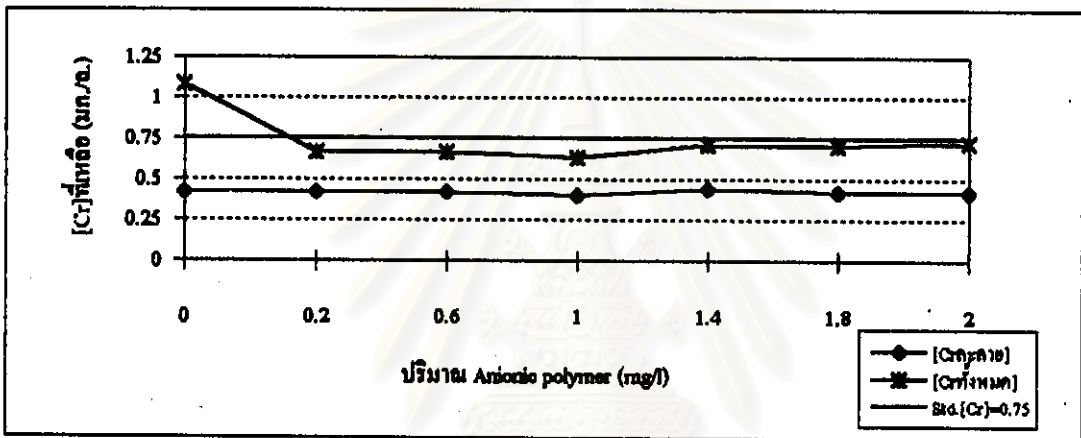
เนื่องจากการทดลองใช้ SBH กับรวม  $\text{NaHSO}_3$  ไม่สามารถกำจัดโลหะทั้งหมดให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งได้ ดังนั้นจึงทดลองใช้โพสิเมอร์แบบประจุลบและบวกร่วมกับการใช้  $\text{NaHSO}_3$  1 เท่าของโครเมียม ปรับพีเอชเป็น 8 ด้วย  $\text{NaOH}$  แล้วจึงเติม SBH ให้ได้พีเอชสุดท้าย 9.5 ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5.49 จะเห็นว่า การใช้โพสิเมอร์ประจุลบปริมาณ 1.0 มก./ก. สามารถลดนิกเกิลลงได้ 48 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ได้เติมโพสิเมอร์แต่ยังคงมีค่าเกินมาตรฐานอยู่เล็กน้อย สำหรับโครเมียมและทองแดงสามารถลดลงจนได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง จากการวัดปริมาณตะกอนที่เวลาต่าง ๆ พบว่า โพสิเมอร์ไม่ได้ช่วยทำให้ตะกอนตกได้เร็วขึ้น

สำหรับโพสิเมอร์ประจุบวกเมื่อใช้ในปริมาณ 1.4 มก./ก. จะสามารถกำจัดนิกเกิลในน้ำออกได้ 37 เปอร์เซ็นต์ แต่ยังคงมีค่าเกินมาตรฐานอยู่

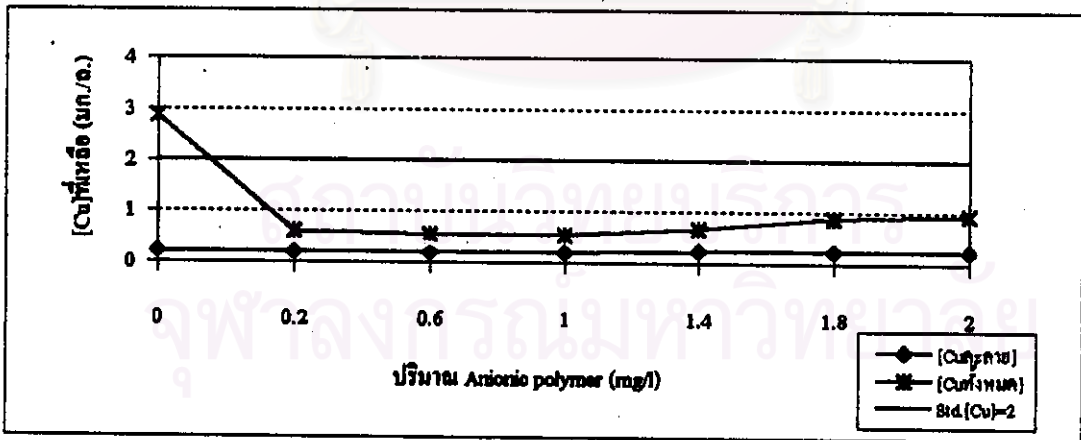
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(a) นิกเกิล

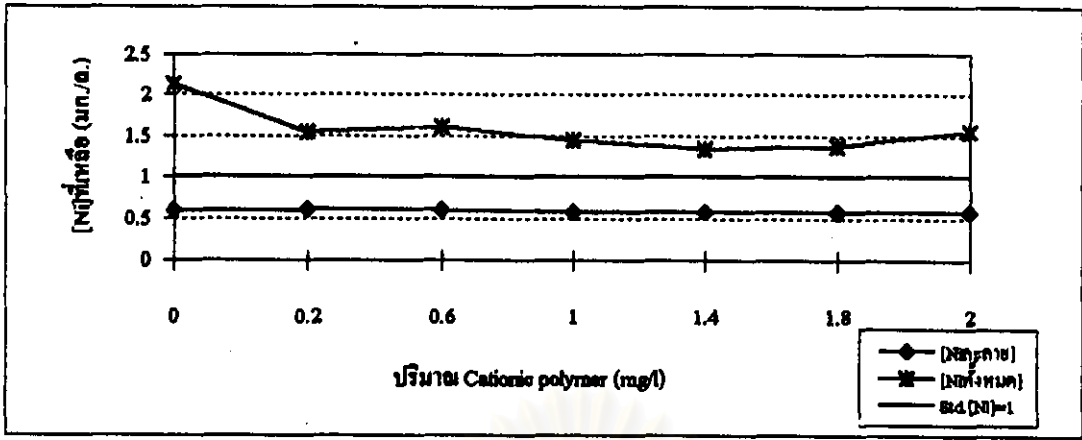


(b) โครเมียม

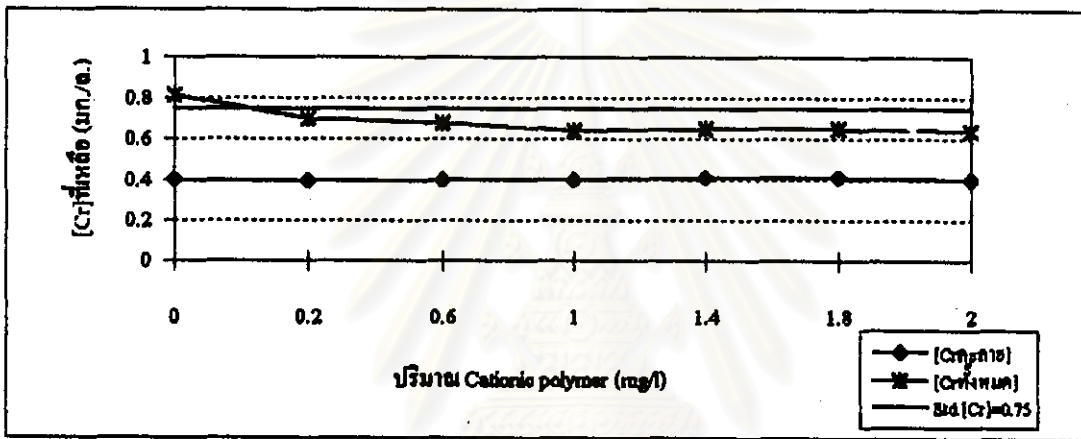


(c) ทองแดง

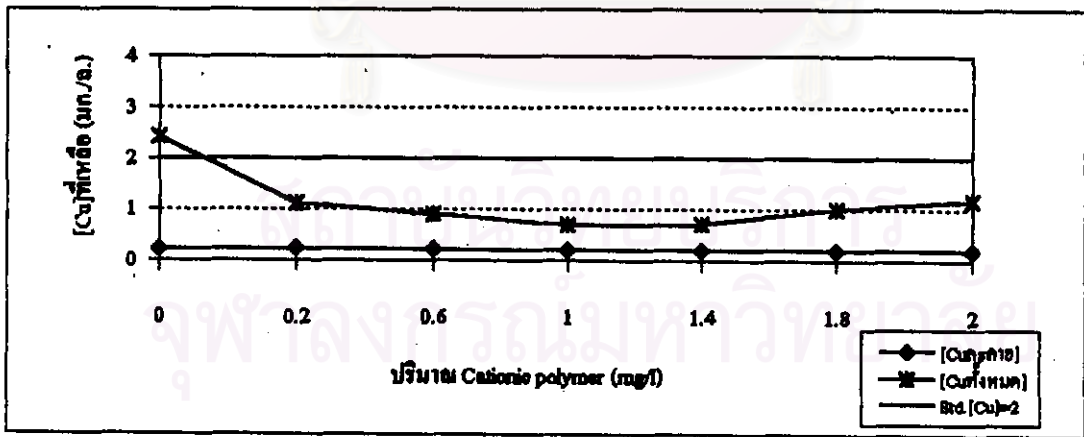
รูปที่ 5.40 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโลหะที่เหลือกับปริมาณโพลีเมอร์ประจุลบที่ใช้ ณ สภาวะการกำจัด  $\text{NaHSO}_3$  1 เท่าของ Cr และที่เฮชทูตท้าย 9.5



(a) นิกเกิล



(b) โครเมียม



(c) ทองแดง

รูปที่ 5.49 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโลหะที่เหลือกับปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวกที่ใช้ ณ สภาวะการกำจัด  $\text{NaHSO}_3$  1 เท่าของ Cr และพีเอชสุดท้าย 9.5 (ต่อ)

### 5.3.4.5 สรุปผลการทดลองใช้ SBH ร่วมกับ $\text{NaHSO}_3$

ผลการกำจัดที่เหมาะสมคือ ใช้ปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  1 เท่าของโครเมียมในน้ำเสีย แล้วปรับพีเอชเป็น 8 ด้วย  $\text{Ca(OH)}_2$  จากนั้นจึงเติม SBH จนได้พีเอชสุดท้ายประมาณ 9.5 จะสามารถกำจัดโลหะที่ละลายในน้ำได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง หรือใช้ร่วมกับโพลีเมอร์แบบประจุลบ 1.0 มก./ล.

การปฏิบัติงานจริงอาจจะควบคุมการเติม SBH โดยใช้ค่าพีเอชและโออาร์ที่คงมีขึ้นก่อนต่อไป

- เติม  $\text{NaHSO}_3$  จนโออาร์ที่มีค่า 500 mV พีเอชประมาณ 1.6-1.8 กวนประมาณ 10 นาที
- ปรับพีเอชเป็น 8 ด้วย  $\text{Ca(OH)}_2$
- ค่อย ๆ เติม SBH จนพีเอชของน้ำเท่ากับ 9.5 โออาร์ที่มีค่าประมาณ -600 mV แต่ถ้าโออาร์ที่กลับมีค่าเป็นบวกเพิ่มขึ้นให้เติม SBH อีกจนมีค่าค่อนข้างคงที่ กวนเร็วประมาณ 30 นาที จากนั้นจึงเติมโพลีเมอร์ประจุลบ 1.0 มก./ล. กวนช้า 20 นาที
- ปล่อยให้ตกตะกอนประมาณ 1 ชั่วโมง

### 5.3.5 เปรียบเทียบสถานะการบำบัดน้ำเสียระหว่างกระบวนการไบโโอสโตรคิวิตีชันกับการตกตะกอนทางเคมีด้วยไฮดรอกไซด์ โดยใช้ผลการทดลองจาร์เทศ์

เปรียบเทียบสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียทั้ง 4 ประเภท ได้แก่ น้ำเสียจากการชุบทองแดง จากการชุบนิกเกิล จากการชุบโครเมียม และน้ำเสียรวม ระหว่างการใช้ SBH กับการตกตะกอนทางเคมีด้วยไฮดรอกไซด์ ดังตารางที่ 5.12-5.15 ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการทดลองจาร์เทศ์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.12 สภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำเสียจากการชุบทองแดง

หัวข้อ	SBH อย่างเดียว	SBH ร่วมกับ NaHSO <sub>3</sub>	ตกตะกอนทางเคมีด้วย NaOH
1. พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย	4 - 6	3 - 5	-
2. ORP (mV)	< 0	< -500	-
3. พีเอชสุดท้าย	7.5	7.0, NaHSO <sub>3</sub> 5 เท่า 6.5, NaHSO <sub>3</sub> 10 เท่า	8 (จากการทดลอง)
4. ความเข้มข้นทองแดงละลายที่เหลือ (มก./ล.)	0.1 - 0.2	0.2 - 0.6	< 0.1, ที่พีเอชมากกว่า 8.2
5. ความเข้มข้นทองแดงที่เหลือทั้งหมด (มก./ล.)	> 10	< 2	4.87
6. ปริมาณ โพลีเมอร์ที่ใช้ (มก./ล.)			
ประจุลบ	1	ไม่ต้องใช้	ไม่ได้ทำการทดลอง
ประจุบวก	1.8	ไม่ต้องใช้	ไม่ได้ทำการทดลอง
7. ปริมาตรตะกอนที่ 30 นาที (มล./ล.)	20 - 65	10 - 20	220
8. ของแข็ง (ก./ล.)			
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	0.626 - 0.738	0.026 - 0.052	1.138
ของแข็งแขวนลอยในน้ำใส	0.008 - 0.024	0 - 0.012	0.006
ของแข็งจมตัว	0.618 - 0.716	0.012 - 0.048	1.132
9. องค์ประกอบของตะกอน	CuO	CuO	Cu(OH) <sub>2</sub>
10. % ของทองแดงในตะกอนอบแห้ง	70 - 80	75 - 80	50

หมายเหตุ: \* ที่พีเอช 8.2 จากการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.13 สภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำเสียจากการชุบนิเกิล

หัวข้อ	SBH อย่างเดียว	SBH ร่วมกับ $\text{NaHSO}_3$	ตกตะกอนทางเคมีด้วย $\text{NaOH}$
1. พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย	> 5	5 - 8.5	-
2. ORP (mV)	-300 ถึง -350	-550 ถึง -650	-
3. พีเอชสุดท้าย	8.85	8.95 - 10.5	9.5 (จากการทดลอง)
4. ความเข้มข้นนิเกิลตกตะกอนที่เหลือ (มก./ล.)	< 0.2	< 0.2	0.27
5. ความเข้มข้นนิเกิลตกตะกอนทั้งหมด (มก./ล.)	1.5 - 7	1 - 8	5.27
6. ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ (มก./ล.)			
ประจุลบ	1.8	0.2	ไม่ได้ทำการทดลอง
ประจุบวก	ไม่มีค่าที่เหมาะสม	ไม่มีค่าที่เหมาะสม	ไม่ได้ทำการทดลอง
7. ปริมาตรตะกอนที่ 30 นาที (มล./ล.)	90 - 130	10, ตะกอน $\text{Ni}_2\text{B}$	110
8. ของแข็ง (ก./ล.)			
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	0.296 - 0.311	0.234 - 0.278	0.278
ของแข็งแขวนลอยในน้ำใส	0.014 - 0.046	0.018 - 0.062	0.039
ของแข็งจมตัว	0.285 - 0.302	0.211 - 0.260	0.239
9. องค์ประกอบของตะกอน	$\text{Ni}(\text{OH})_2$	$\text{Ni}_2\text{B}$	$\text{Ni}(\text{OH})_2$
10. % ของนิเกิลตกตะกอนในตะกอนอบแห้ง	35 - 40	55 - 60	22 - 26

หมายเหตุ: \* ที่พีเอช 10 จากการทดลอง

ตารางที่ 5.14 สภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำเสียจากการชุบ โครเมียม

หัวข้อ	SBH ร่วมกับ $\text{NaHSO}_3$	ตกตะกอนทางเคมีด้วย $\text{NaOH}$
1. ปริมาณ $\text{NaHSO}_3$ (เท่าของ โครเมียม)	3	3
2. ปรับพีเอชขึ้นแรกก่อนเติม SBH	7-8	-
3. ORP สำหรับปฏิกิริยา SBH (mV)	-650 ถึง -800	-
4. พีเอชสุดท้าย	9 (สำหรับกำจัดนิกเกิลและ ทองแดง)	9 (จากการทดลอง)
4. ความเข้มข้น โครเมียมละลายที่เหลือ (มก./ล.)	0.4 - 0.5	0.38
5. ความเข้มข้น โครเมียมที่เหลือทั้งหมด (มก./ล.)	> 0.9	0.81
6. ปริมาณโพลีเมอร์ที่ใช้ (มก./ล.)		
ประจุลบ	0.2	ไม่ได้ทำการทดลอง
ประจุบวก	0.2	ไม่ได้ทำการทดลอง
7. ปริมาตรตะกอนที่ 60 นาที (มล./ล.)	510	930
8. ของแข็ง (ก./ล.)		
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	5.324 - 5.416	5.748
ของแข็งแขวนลอยในน้ำใส	0.032 - 0.072	0.050
ของแข็งจมตัว	5.272 - 5.352	5.698
9. องค์ประกอบของตะกอน	เป็นอะมอร์ฟัส	$\text{Cr}(\text{OH})_3$
10. % ของโครเมียมในตะกอนอบแห้ง	30	29

หมายเหตุ : พีเอช 10 และ ปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  3 เท่า จากการทดลอง

ตารางที่ 5.15 สภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำเสียรวม

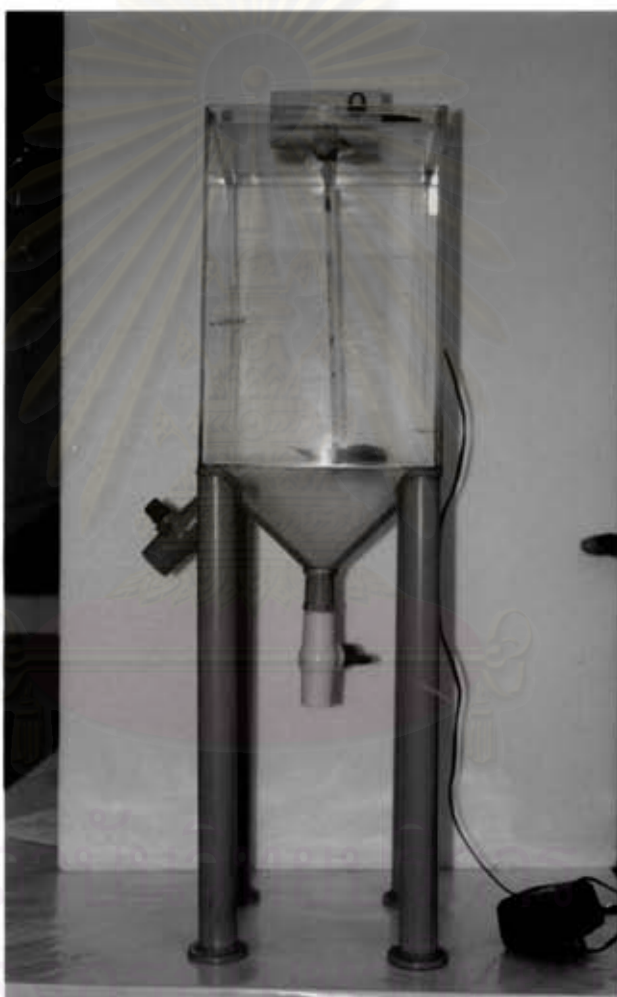
หัวข้อ	SBH ร่วมกับ $\text{NaHSO}_3$	ตกตะกอนทางเคมีด้วย $\text{NaOH}$
1. ปริมาณ $\text{NaHSO}_3$ (เท่าของ ไตรเมียม)	1	2
2. ปรับพีเอชขั้นแรกก่อนเติม SBH	7 - 8	-
3. ORP สำหรับปฏิกิริยา SBH (mV)	-550 ถึง -650	-
4. พีเอชสุดท้าย	9.5	9.5 (จากการทดลอง)
5. ความเข้มข้น โลหะละลายที่ตกตะกอน (มก./ล.) (นิกเกิล ไตรเมียม ทองแดง เหล็ก สังกะสี)	0.60, 0.55, 0.24, 0.41, 0.06 <sup>*</sup>	0.65, 0.68, 0.17, 0.43, 0.02 <sup>**</sup>
6. ความเข้มข้น โลหะที่ตกตะกอนทั้งหมด (มก./ล.) (นิกเกิล ไตรเมียม ทองแดง เหล็ก สังกะสี)	2.26, 1.33, 2.87, 0.72, 0.30 <sup>*</sup>	1.23, 0.72, 0.44, 0.51, 0.18 <sup>**</sup>
7. ปริมาณโพลีเมอร์ที่ใช้ (มก./ล.) ประจุลบ ประจุบวก	1.0 ไม่มีค่าที่เหมาะสม	ไม่ได้ทำการทดลอง ไม่ได้ทำการทดลอง
8. ปริมาณตะกอนที่ 60 นาที (มก./ล.)	400	930 <sup>**</sup>
9. ของแข็ง (ก./ล.) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ของแข็งแขวนลอยในน้ำใส ของแข็งจมตัว	5.988 - 7.020 0.016 - 0.024 5.972 - 7.000	7.032 <sup>**</sup> 0.002 <sup>**</sup> 7.030 <sup>**</sup>
10. องค์ประกอบของตะกอน	ส่วนใหญ่เป็น $\text{Ni}_2\text{S}$	โลหะไฮดรอกไซด์
11. % ของโลหะ ในตะกอนอบแห้ง (นิกเกิล ไตรเมียม ทองแดง)	18-20, 2-4, 7-10	15, 2, 5.6 <sup>**</sup>

หมายเหตุ : \* ที่ปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  1 เท่า ปรับพีเอชขั้นแรกเป็น 8 พีเอชสุดท้าย 9.5, \*\* ที่ปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  2 เท่า ปรับพีเอชสุดท้ายเป็น 10



#### 5.4 การบำบัดน้ำเสียโดยใช้แบบจำลอง

ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียทั้ง 4 ประเภทปริมาณ 5 ลิตรในถังปฏิกริยาซึ่งเป็นถังอะครีลิกสี่เหลี่ยม ขนาดกว้าง x ยาว x สูง : 30 x 30 x 45 เซนติเมตร กั้นตั้งเป็นปลายแหลมสำหรับตกตะกอนคั่ง รูปที่ 5.50 ทำการทดลองโดยใช้ค่าพีเอชและโออาร์พีที่เหมาะสมจากผลการทดลองในหัวข้อ 5.3 เป็นตัวควบคุมการทำงานในแต่ละสภาวะ



รูปที่ 5.50 ถังปฏิกริยา

#### 5.4.1 นำเยื่ออาอรรูปของแดง

เมื่อนำผลการทดลองจาร์เทศต์ที่สภาวะเหมาะสมต่าง ๆ มาทำการทดลองโดยใช้ค่าที่เอชควบคุมการตกตะกอนแทนการคำนวณเป็นจำนวนเท่าของค่าสตอชไอเมตริก พบว่า ระบบยังคงสามารถกำจัดทองแดงได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง และมีปริมาณตะกอนต่ำกว่าการตกตะกอนทางเคมีด้วยค่าถึง 10 เท่า ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5.16 ลำดับที่ 1-5 และรูปที่ 5.51 เนื่องจาก SBH มีราคาสูง แม้ว่าตะกอนจะมีทองแดงเป็นองค์ประกอบสูงถึง 80 เปอร์เซ็นต์ และอยู่ในรูปของคอปเปอร์ออกไซด์ ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ก็ตาม แต่ราคาของทองแดงในปัจจุบันมีราคาถูกจึงไม่น่าสนใจ ดังนั้นการใช้ SBH จึงเหมาะที่จะใช้ปำบัดต่อจากกระบวนการอื่นซึ่งยังไม่สามารถกำจัดทองแดงให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งได้ ในกรณีนี้ SBH จะทำหน้าที่เป็น *polishing step* สามารถกำจัดทองแดงได้ตามค่ามาตรฐานโดยไม่ต้องใช้โพลีเมอร์หรือทรายกรอง นอกจากนี้อาจใช้ SBH กับน้ำเสียที่ไม่สามารถปำบัดได้ด้วยการตกตะกอนโดยการปรับพีเอชด้วยค่าตามธรรมชาติ เช่น *chelated wastewater* จากโรงงานทำแผงวงจรไฟฟ้า เป็นต้น

การใช้ SBH โดยวิธีปรับพีเอชของน้ำเสียให้เป็น 6 แล้วจึงเติม SBH ให้พีเอชเท่ากับ 7.2 จะสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีให้ถูกลง ทำให้มีค่าใช้จ่ายทั้งหมดลดลงเป็น 133 บาท/ลบ.ม. แต่ที่สภาวะนี้จะทำให้ได้ตะกอนปริมาณสูงกว่าการใช้ SBH เพียงอย่างเดียวหรือการใช้ SBH ร่วมกับ  $\text{NaHSO}_3$  อยู่ประมาณ 5-9 เท่า

ตารางที่ 5.12 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียของแฉงที่สภาวะต่าง ๆ

ลำดับที่	สภาวะเริ่มต้น	NaHSO <sub>3</sub> (ค่าของ Ca)	หลังใส่ NaHSO <sub>3</sub>		SBH (ค่าของแฉง)	หลังใส่ SBH		โพลีเมอร์ (มก./ล.)	[Cu] ที่เหลือ (มก./ล.)		ตะกอน		ค่าใช้จ่ยรวม** (บาท/ลบ.ม.)
			pH	ORP (mV)		pH	ORP (mV)		ละลาย	ทั้งหมด	ปริมาณ*(ล./ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)	
1.	ไม่มีการปรับ pH เริ่มต้น	-	-	-	3.25	7.05	-518	-	0.32	4.04			741.46
2.	ปรับ pH=4 ด้วย Ca(OH) <sub>2</sub>	-	-	-	2.11	7.08	-480	-	0.29	3.87			494.18
3.	ไม่มีการปรับ pH เริ่มต้น	5	4.35	185	3.54	7.04	-620	-	0.37	4.34			857.41
4.	ปรับ pH=4 ด้วย NaOH	5	5.20	169	2.75	7.48	-594	-	0.29	1.2			683.76
5.	ปรับ pH=4 ด้วย Ca(OH) <sub>2</sub>	5	5.07	163	2.44	7.10	-582	-	0.25	1.07			617.32
6.	ปรับ pH=6 ด้วย NaOH	-	-	-	0.42	7.24	-403	-	0.27	16.6			133.31

หมายเหตุ : ความเข้มข้นของแฉงเริ่มต้น 550 มก./ล. ทีเอช 2.24

\* ป้อนให้ตกตะกอน 1 ชั่วโมง

\*\* รายละเอียดการคำนวณค่าใช้จ่ยแสดงไว้ในภาคผนวก ง.



รูปที่ 5.51 การบำบัดน้ำเสียของแคงโดยปรับพีเอชเริ่มต้นเท่า 4 ด้วย NaOH เติม  $\text{NaHSO}_3$  5 เท่าของของแคง และ SBH 2.75 เท่าของจำนวนสต่อยซีโอมตริก

#### 5.4.2 นำเต็ยจากการซุขนิกเกิล

จากผลการทดลองดังตารางที่ 5.17 พบว่า การใช้ SBH เพียงอย่างเดียว หรือการใช้ SBH ร่วมกับ  $\text{NaHSO}_3$  โดยปรับพีเอชสุดท้ายให้เท่ากับ 9 จะสามารถบำบัดน้ำเสียนิกเกิลได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง แต่การใช้ SBH ร่วมกับ  $\text{NaHSO}_3$  จะเกิดตะกอนปริมาณน้อยกว่าการใช้ SBH เพียงอย่างเดียวอยู่ 2.6 เท่า รูปที่ 5.52 แสดงการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ SBH ร่วมกับ  $\text{NaHSO}_3$

จากตารางที่ 5.17 จะเห็นได้ว่า การบำบัดน้ำเสียนิกเกิลโดยไม่มีการปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้น (ลำดับที่ 1-2) จะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าสถานะที่มีการปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเป็น 8.5 (ลำดับที่ 3) เนื่องจากสถานะดังกล่าวต้องใช้ปริมาณ SBH มาก (0.5-0.6 เท่าของจำนวนสตอยชิโอเมตริก) เพื่อให้ได้พีเอชสุดท้ายเท่ากับ 9 ทำให้ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี (SBH) สูงขึ้น แต่เมื่อปรับพีเอชของน้ำเสียให้เป็น 8.5 ด้วย NaOH ก่อนบำบัดด้วย SBH จะช่วยลดค่าใช้จ่ายลงให้เหลือเพียง 247 บาท/ลบ.ม. เนื่องจากใช้ SBH เพียง 0.2 เท่าของจำนวนสตอยชิโอเมตริกก็สามารถเกิดปฏิกิริยารีดักชันได้อย่างสมบูรณ์ และสามารถบำบัดน้ำเสียได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง แต่ค่าใช้จ่ายทั้งหมดยังคงมีสูงกว่าการตกตะกอนทางเคมีด้วยค่าอยู่มาก แต่การใช้ SBH จะมีข้อดีกว่า คือ ช่วยลดปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นลงได้ถึง 10 เท่า นอกจากนี้องค์ประกอบของตะกอนเป็นนิกเกิลไฮดรอกไซด์ซึ่งน่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการรีไซเคิลสารอินทรีย์ประเภทต่าง ๆ ได้



รูปที่ 5.52 การบำบัดน้ำเสียนิกเกิลโดยปรับพีเอชเริ่มต้นเท่า 8.5 ด้วย NaOH เติม  $\text{NaHSO}_3$  0.5 เท่าของนิกเกิล และ SBH 0.19 เท่าของจำนวนสตอยชิโอเมตริก

ตารางที่ 5.13 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียนิกเกิลที่สภาวะต่าง ๆ

ลำดับที่	สภาวะเริ่มต้น	NaHSO <sub>3</sub> (เท่าของ Ni)	หลังใส่ NaHSO <sub>3</sub>		SBH (เท่าของตะกอน)	หลังใส่ SBH		โพติเมอ์ (มก./ล.)	[Ni] ที่เหลือ (มก./ล.)		ตะกอน		ค่าใช้จ่ยรวม (บาท/ลบ.ม.)
			pH	ORP (mV)		pH	ORP (mV)		ละลาย	ทั้งหมด	ปริมาณ(ล./ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)	
1.	ไม่มีการปรับ pH เริ่มต้น	-	-	-	0.50	9.05	-415	-	0.52	2.87			684.14
								0.6	0.07	0.98	130	29.545	
2.	ไม่มีการปรับ pH เริ่มต้น	1	6.38	134	0.57	9.02	-447	-	2.17	-			
					0.63	9.36	-560	-	0.53	5.35			
								0.6	0.07	0.87	50	2.410	778.62
3.	ปรับ pH=8.5 ด้วย NaOH	0.5	8.03	124	0.19	9.23	-550	-	0.43	4.54			
								0.2	0.36	1.01	60	2.108	247.54

หมายเหตุ : ความเข้มข้นนิกเกิลเริ่มต้น 345 มก./ล. พีเอช 7.37

\* ปล่อยให้ตกตะกอน 1 ชั่วโมง

### 5.4.3 น้ำเสียจากการชุบโครเมียม

เมื่อนำผลการทดลองจาร์เจสต์มาใช้กับแบบจำลอง พบว่า ที่สภาวะการใช้  $\text{NaHSO}_3$  2 เท่าของโครเมียม เพอร์ดิทซ์  $\text{Cr(VI)}$  เป็น  $\text{Cr(III)}$  แล้วเติม SBH จนพีเอชเท่ากับ 9 และที่สภาวะการใช้  $\text{NaHSO}_3$  3 เท่าของโครเมียม ปรับพีเอชเป็น 8 ด้วยค่าแอมป์ SBH ให้พีเอชเป็น 9 จะสามารถกำจัดโลหะหนักทุกชนิดในน้ำเสียได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง รายละเอียดผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5.18 และรูปที่ 5.53

จากการคำนวณค่าใช้จ่ายจะเห็นว่า การปรับพีเอชของน้ำเสียด้วยค่าแอมป์ SBH จะช่วยลดค่าใช้จ่ายลงได้ถึง 3.5 เท่า (446 บาท/ลบ.ม.) แต่ยังคงสูงกว่าการตกตะกอนทางเคมีด้วย  $\text{NaOH}$  อยู่ประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ แต่การใช้ SBH จะมีข้อดีคือ ตะกอนที่เกิดขึ้นสามารถตกตะกอนได้เร็วและตกแน่นกว่า โดยใช้เวลากดตะกอนเพียง 1 ชั่วโมงเมื่อเทียบกับการตกตะกอนโดยการปรับพีเอชด้วย  $\text{NaOH}$  ที่ต้องใช้เวลามากกว่า 2 ชั่วโมง



รูปที่ 5.53 การบำบัดน้ำเสียโครเมียมโดยใช้  $\text{NaHSO}_3$  และ SBH

ตารางที่ 5.14 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียโครเมียมที่สภาวะต่าง ๆ

ลำดับที่	NaHSO <sub>3</sub> (ค่าของ Cr)	หลังใช้ NaHSO <sub>3</sub>		ปรับ pH ก่อน เติม SBE	SBE (ค่าของ Cr)	หลังใช้ SBE		โพสิทีฟ (มก./ล.)	[Cr] ที่เหลือ (มก./ล.)		[Cu] ที่เหลือ (มก./ล.)		[Fe] ที่เหลือ (มก./ล.)		ตะกอน		ค่าใช้จ่ายรวม (บาท/ลบ.ม.)
		pH	ORP (mV)			pH	ORP (mV)		อิสระ	ทั้งหมด	อิสระ	ทั้งหมด	อิสระ	ทั้งหมด	ปริมาตร(ล./ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)	
1.	2	2.40	641	ไม่มีการปรับ pH	0.35	9.04	-674	- 0.2	0.32 0.33	1.17 0.64	0.08 0.1	0.17 0.15	0.18 0.19	0.25 0.21	720	39.389	1,565.36
2.	3	2.53	313	ปรับ pH=8 ด้วย NaOH	0.05	9.08	-689	- 0.2	0.44 0.42	5.04 0.80	0.30 0.10	1.56 0.45	0.69 0.38	1.67 0.84	400	43.313	446.57

หมายเหตุ : น้ำเสียมีความเข้มข้นโลหะเริ่มต้น โครเมียม 1460 มก./ล. นิกเกิล 180 มก./ล. ทองแดง 145 มก./ล. ซีเอส 2.42

\* ปล่อยให้ตกตะกอน 2 ชั่วโมง



#### 5.4.4 น้ำเสียรวม

ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียรวมดังแสดงในตารางที่ 5.19 และรูปที่ 5.54 พบว่า เมื่อพีเอชสุดท้ายสูงกว่า 9.25 จะสามารถกำจัดโลหะหนักที่ละลายในน้ำให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งได้ และถ้าปรับพีเอชขั้นแรกด้วย  $\text{Ca(OH)}_2$  ให้เป็น 8 ก่อนแล้วจึงเติม SBH จนพีเอชเป็น 9.4 ร่วมกับการใช้โพลิเมอร์ จะสามารถกำจัดโลหะหนักทั้งหมดทุกชนิดในน้ำเสียให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง และช่วยลดค่าใช้จ่ายให้เหลือเพียง 540 บาท/ลบ.ม. ซึ่งมากกว่าการตกตะกอนทางเคมีด้วย  $\text{NaOH}$  อยู่ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าพิจารณาถึงความสามารถในการตกตะกอน การใช้ SBH จะมีวิธีการบำบัดง่ายและเกิดตะกอนปริมาณต่ำกว่า โดยใช้เวลาดตกตะกอนเพียง 1 ชั่วโมงเท่านั้น ในขณะที่การตกตะกอนทางเคมีด้วย  $\text{NaOH}$  ต้องใช้เวลามากกว่า 5 ชั่วโมงถึงจะมีปริมาตรตะกอนลดลงเท่ากับการบำบัดด้วย SBH ดังนั้นการบำบัดด้วยวิธีนี้จะเหมาะกับโรงงานที่มีปัญหาในด้านการจัดการตะกอนที่เกิดขึ้น เช่น ระบบบำบัดไม่เพียงพอที่จะรองรับน้ำเสียจากการผลิตที่อาจเพิ่มขึ้นในบางโอกาสหรือในอนาคต



รูปที่ 5.54 การบำบัดน้ำเสียรวมโดยใช้  $\text{NaHSO}_3$  และ SBH

ตารางที่ 5.15 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียรวมที่สภาวะต่าง ๆ

ลำดับที่	NaHSO <sub>3</sub> (ม.ล./ของ C)	พลังใช้ NaHSO <sub>3</sub>		ปรับ pH ก่อน เติม SBH	SBH (ก./ลบ.ม.)	พลังใช้ SBH		ไทเทรตอร์ (มก./ล.)	[NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ] ที่เหลือ (มก./ล.)		[Ca <sup>2+</sup> ] ที่เหลือ (มก./ล.)		[Ca <sup>2+</sup> ] ที่เหลือ (มก./ล.)		ตะกอน		ค่าใช้จ่ยรวม (บาท/ลบ.ม.)
		pH	ORP (mV)			pH	ORP (mV)		ละลาย	ที่ตกตะกอน	ละลาย	ที่ตกตะกอน	ละลาย	ที่ตกตะกอน	ปริมาณ*(ก./ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)	
1.	1	1.32	482	ปรับ pH=6 ด้วย NaOH	54	9.02	-712	-	1.91	-	0.12	-	0.15	-			
					55.4	9.25	-729	-	0.51	-	0.13	-	0.15	-			
					57	9.52	-740	-	0.20	4.24	0.13	0.85	0.17	1.76			
							0.6	0.23	0.90	0.14	0.38	0.16	0.57	490	24.634	2,016.36	
2.	1	1.44	554	ปรับ pH=6 ด้วย Ca(OH) <sub>2</sub>	50	8.99	-672	-	1.46	-	0.16	-	0.18	-			
					51.6	9.24	-697	-	0.67	-	0.15	-	0.10	-			
					54	9.62	-717	-	0.34	3.85	0.14	0.58	0.10	1.59			
							0.6	0.32	0.91	0.14	0.35	0.09	0.60	250	56.330	1,896.72	
3.	1	1.61	488	ปรับ pH=8 ด้วย Ca(OH) <sub>2</sub>	9.4	9.38	-515	-	0.42	2.56	0.49	0.74	0.29	1.04			
												0.6	0.40	0.88	0.49	0.64	0.19

หมายเหตุ : น้ำเสียมีความเข้มข้นโลหะเข้มข้น นิกเกิล 1660 มก./ล. ทองแดง 770 มก./ล. โครเมียม 250 มก./ล. ฟิออซ 1.55

\* ปล่อยให้ตกตะกอน 1 ชั่วโมง

#### 5.4.5 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการไบโโอสไตรคิฟิเคชัน ด้วยการตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์

รายละเอียดการคำนวณค่าใช้จ่ายสำหรับวิธีบำบัดน้ำเสียแต่ละประเภทด้วยการใช้ SBH และการตกตะกอนทางเคมีด้วยด่างแสดงไว้ในภาคผนวก จ.

- ก. วิธีบำบัดด้วยไบโโอสไตรคิฟิเคชัน
- ข. วิธีบำบัดด้วยการตกตะกอนทางเคมีด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์
- ค. วิธีบำบัดด้วยการตกตะกอนทางเคมีด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 5.20 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างกระบวนการบำบัดน้ำเสีย 3 วิธี (บาท/ลบ.ม.)

ประเภทน้ำเสีย	ค่าสารเคมี			ค่าบำบัดตะกอน			รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด		
	ก.	ข.	ค.	ก.	ข.	ค.	ก.	ข.	ค.
1. ทองแดง	105.67	15.73	8.52	27.64	43.51	70.09	133.31	59.24	78.61
2. นิกเกิล	242.11	13.52	6.12	5.43	33.33	60.01	247.54	46.85	66.13
3. ไครเมียม	335.04	159.46	109.92	111.53	172.52	205.44	446.57	331.98	315.36
4. น้ำเสียรวม	384.18	167.06	90.98	157.55	278.08	342.51	541.82	445.14	433.49

หมายเหตุ : ค่าสารเคมีของการตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ไม่รวมโพแทสเซียม

สำหรับค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการบำบัดน้ำเสียรวมโดยโรงงานเป็นผู้ดำเนินการด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีด้วย  $\text{NaOH}$  และ  $\text{Ca(OH)}_2$  จะอยู่ประมาณ 505 บาท/ลบ.ม. แยกเป็นค่าสารเคมี 170 บาท/ลบ.ม. ซึ่งประเมินจากกระบวนการบำบัดของโรงงานโดยคิดที่ราคาสารเคมีในอัตราเดียวกับที่ใช้คำนวณในการวิจัยนี้ และค่าบำบัดตะกอนที่เกิดขึ้น 130 กก./ลบ.ม. คิดเป็นเงิน 335 บาท/ลบ.ม.

จากตารางที่ 5.16 แสดงให้เห็นว่า การใช้ SBH บำบัดน้ำเสียทองแดงและนิกเกิลจะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการตกตะกอนทางเคมีด้วยด่างมาก ถึงแม้ว่าค่าบำบัดตะกอนจะถูกกว่ามากก็ตาม ดังนั้นการใช้ SBH กับน้ำเสียทั้ง 2 ประเภทนี้จึงอาจไม่เหมาะสมเนื่องจากสามารถตกตะกอนได้ง่ายโดยการปรับพีเอชด้วยด่าง และมูลค่าของโลหะที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ในปัจจุบันมีราคาถูก แต่การใช้ SBH ก็มีข้อดีกว่าคือ

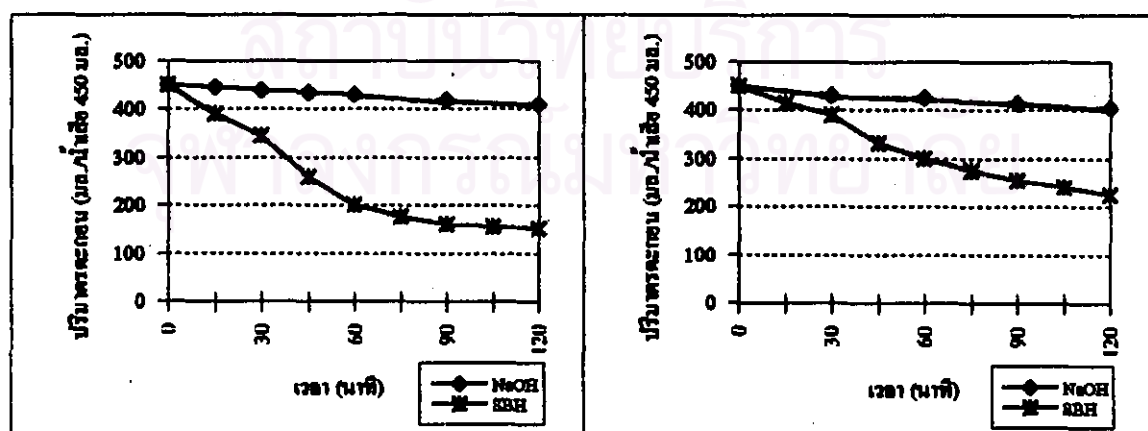
• การออกแบบระบบไม่ยุ่งยากหรือสามารถดัดแปลงระบบบำบัดเดิมที่เป็นการตกตะกอนด้วยค่าทำให้เป็นการใช้ SBH ได้ง่าย

• พิเศษสุดท้ายของน้ำออกไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้ง และสำหรับน้ำเสียของแดงไม่จำเป็นต้องใช้โพลีเมอร์ช่วยตกตะกอนหรือกรองน้ำออกผ่านทรายกรองแต่อย่างใด เนื่องจากการใช้ SBH สามารถกำจัดของแดงทั้งหมดให้เหลืออยู่ไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้ง

• จุดเด่นของการใช้ SBH คือ ช่วยลดปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นได้ถึง 10 เท่าเมื่อเทียบกับการตกตะกอนด้วยค่า เนื่องจากทองแดงและนิกเกิลในน้ำเสียจะตกตะกอนในรูปคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีควมด่างจำเพาะสูงกว่าโลหะไฮดรอกไซด์ ทำให้ตะกอนอัดตัวแน่นและมีปริมาณน้อย สะดวกต่อการรีดน้ำออกจากตะกอน ดังนั้นจึงช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้า แรงงานที่ต้องใช้ในการจัดการตะกอน ช่วยยืดอายุการใช้งานเครื่องรีดตะกอน นอกจากนี้ค่าบำบัดตะกอนยังถูกกว่า 5-10 เท่า ดังนั้นจึงน่าจะมีประโยชน์กับโรงงานที่ระบบบำบัดไม่สามารถรองรับการขยายกำลังผลิตที่เพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากปัญหาด้านการจัดการตะกอนที่เกิดขึ้นดังกล่าว

• สามารถใช้กำจัดทองแดงหรือนิกเกิลในน้ำเสียที่อยู่ในรูปของสารประกอบที่ซับซ้อนซึ่งยากต่อการตกตะกอนโดยวิธีปรับพีเอชด้วยค่าตามธรรมชาติ เช่น น้ำเสียจากโรงงานทำแผงอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือน้ำเสียจากการชุบโลหะที่ไม่ใช้ไฟฟ้า เป็นต้น

สำหรับกรณีที่ใช้ SBH กับน้ำเสียโครเมียมและน้ำเสียรวมจะมีค่าใช้จ่ายทั้งหมดสูงกว่าการตกตะกอนทางเคมีด้วย NaOH อยู่ประมาณ 35 และ 20 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่จะมีข้อดีกว่าตรงที่ช่วยให้ตะกอนตกได้เร็วและอัดตัวแน่นกว่าดังกราฟรูปที่ 5.55 เปรียบเทียบเวลาในการตกตะกอนของน้ำเสียโครเมียมและน้ำเสียรวมระหว่างการบำบัดด้วย SBH กับการตกตะกอนทางเคมีด้วย NaOH นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายในการบำบัดตะกอนจะน้อยกว่าประมาณครึ่งหนึ่ง



(a) น้ำเสียโครเมียม

(b) น้ำเสียรวม

รูปที่ 5.55 เวลาที่ใช้ในการตกตะกอนเมื่อบำบัดน้ำเสียด้วย SBH กับการตกตะกอนทางเคมีด้วย NaOH

#### 5.4.6 การปรับการใช้ SBH

เนื่องจากราคาของโซเดียมโบโรไฮไดรด์สูงมากเมื่อเทียบกับค่าที่ใช้ในการปรับพีเอช ดังนั้น SBH จึงน่าจะมีประโยชน์หรือคุ้มค่าน่ามากกว่าเมื่อใช้บำบัดน้ำเสียที่มีปัญหาการกำจัดโลหะหนักด้วยการตกตะกอนตามธรรมชาติได้ยาก ได้แก่ น้ำเสียที่มีโลหะหนักละลายอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อน เนื่องจากโซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นสารรีดิวซ์ซึ่งมีความสามารถสูงในการรีดิวซ์พวกสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ต่าง ๆ ได้ดี นอกจากนี้การใช้ SBH ยังเหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักหลายชนิดปนกันอยู่ เนื่องจากสามารถกำจัดโลหะหนักทุกชนิดได้ตามมาตรฐานในขั้นตอนเดียว ทำให้ประหยัดพื้นที่และเวลาที่ต้องใช้

หรือใช้ SBH บำบัดน้ำเสียเพื่อจุดประสงค์หลักในการลดปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น ซึ่งถ้าในอนาคตค่าบำบัดตะกอนมีราคาสูงขึ้นกว่าค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีมาก จะทำให้การบำบัดน้ำเสียด้วย SBH คุ้มค่ากับการลงทุนมากกว่าการตกตะกอนทางเคมีด้วยค่า

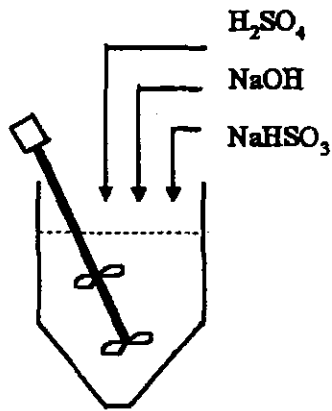
#### 5.4.7 การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียด้วย SBH แบบแบบถาวรอย่างง่าย

เป็นการบำบัดน้ำเสียด้วย SBH แบบแบบถาวรในถังปฏิกริยาที่มีกั้นตั้งเป็นกรวยแหลมสำหรับตกตะกอนจำนวน 1 ถัง ซึ่งจะต้องมีอุปกรณ์ควบคุมและปฏิบัติงานดังต่อไปนี้

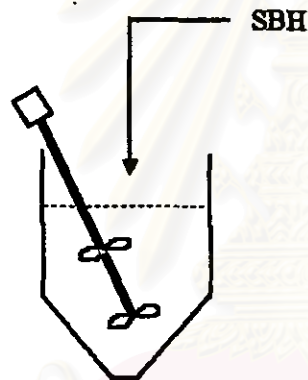
- 1) เครื่องกวน (mixer) ที่ปรับความเร็วรอบได้และสามารถกวนน้ำเสียได้อย่างทั่วถึง
- 2) เครื่องวัดพีเอชและโออาร์พี
- 3) เครื่องป้อนสารเคมีสำหรับ
  - กรดและด่าง
  - โซเดียมโบรไฮไดรด์
  - โซเดียมโบโรไฮไดรด์
  - โพลีเมอร์

ขั้นตอนการปฏิบัติงานโดยรวมดังแสดงในรูปที่ 5.56

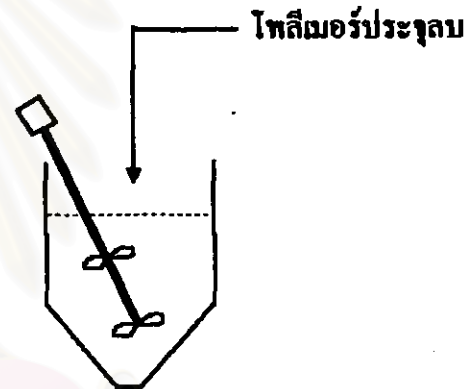
ขั้นที่ 1 กวนเร็ว 10 นาที



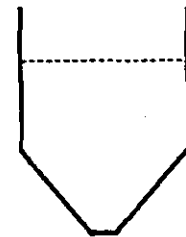
ขั้นที่ 2 กวนเร็ว 30 นาที



ขั้นที่ 3 กวนช้า 20 นาที



ขั้นที่ 4 ปล่อยให้ตกตะกอน



รูปที่ 5.56 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียแบบเบทซ์ด้วย SBH

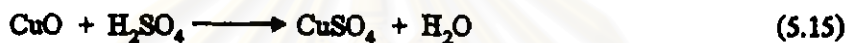
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 5.5 ความเป็นไปได้ในการนำตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียโรงงานชุบโลหะด้วย SBH กลับมาใช้ใหม่

### 1) ตะกอนจากน้ำเสียทองแดง

เนื่องจากสภาวะการบำบัดน้ำเสียด้วย SBH 2-3 เท่าของจำนวนสโตยซีโอมเมตริก จะได้ตะกอนที่มีองค์ประกอบเป็นคอปเปอร์ออกไซด์ มีปริมาณทองแดงทั้งหมดสูงถึง 80 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับตะกอนคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์ที่มีเพียง 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการนำทองแดงที่อยู่ในรูปคอปเปอร์ออกไซด์กลับมาใช้ใหม่อาจทำได้ดังต่อไปนี้

1) ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตคอปเปอร์ซัลเฟต (Stocchi, 1990) เนื่องจากทองแดงที่จะใช้ผลิตต้องทำให้อยู่ในรูปของคอปเปอร์ออกไซด์ก่อน จึงจะสามารถทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริกเพื่อให้ได้คอปเปอร์ซัลเฟตตามสมการ 5.15

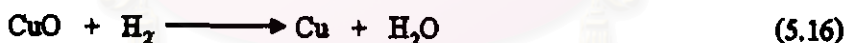


คอปเปอร์ซัลเฟตใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้หลายอย่าง เช่น การเตรียม Bordeaux mixture ซึ่งใช้เป็นสารฆ่าเชื้อรา การเตรียมสีข้อมดำ และใช้เป็นสารรักษาเนื้อไม้ เป็นต้น

2) การสกัดเอาทองแดงจากตะกอนกลับด้วยวิธีการทางโลหะวิทยา (Extractive Metallurgy) ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 กระบวนการ (Pehlke, 1982)

- Pyrometallurgy เป็นการใช้อุณหภูมิสูงเพื่อถลุงแร่โลหะ

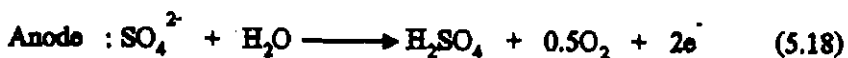
ถ้าเผา CuO กับก๊าซไฮโดรเจนจำนวนมาก จะถูกวิดิซ์เป็นทองแดงดังสมการ 5.16



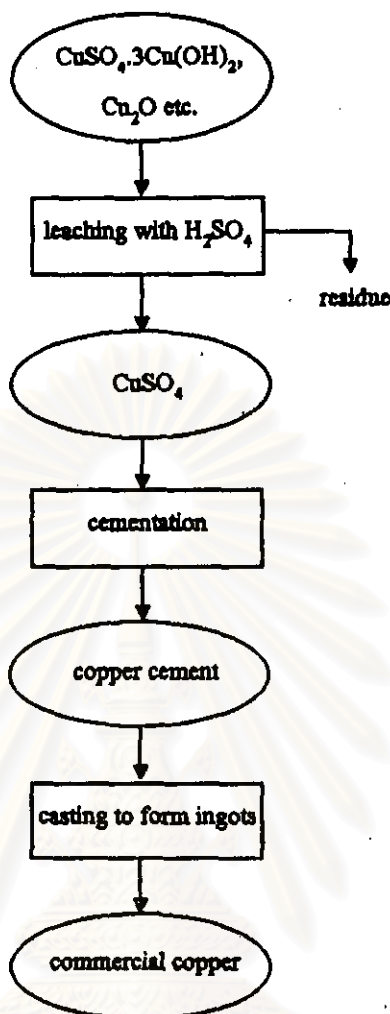
- Hydrometallurgy เป็นการให้ตัวทำละลายเพื่อแยกโลหะที่ต้องการ

- Electrometallurgy เป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าแยกและทำให้โลหะที่ได้บริสุทธิ์

วิธีแยกโลหะทองแดงทำได้โดยการผ่านไฟฟ้ากระแสตรงในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต จะทำให้ที่คาร์โธดมีโลหะทองแดงมาติดอยู่ ดังสมการต่อไปนี้ (ประกอบ, 2522)



ตัวอย่างการสกัดทองแดงด้วยวิธี Wet metallurgical process ดังแสดงในรูปที่ 5.57



รูปที่ 5.57 การสกัดทองแดงด้วยวิธี Wet metallurgical process (Stocchi, 1990)

## 2) ตะกอนจากน้ำเสียนิคมเกิด

ตะกอนที่ได้จากการบำบัดโดยปรับพีเอชน้ำเสียเป็น 8.5 และใช้ SBH 0.2 เท่า พบว่ามีองค์ประกอบเป็นนิคมเกิดไฮโดรไซด์ ซึ่งจัดเป็นตะกอนที่มักใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการรีดิวซ์สารอินทรีย์ต่าง ๆ ได้แก่ (Fleming และ Ulman, 1997)

- Hydrogenation of Alkenes and Alkynes
- Reduction of Halides and Nitrocompounds
- Deoxygenation of Ethers, Esters and Anhydrides
- Desulfurization

ดังนั้นจึงน่าจะเป็นไปได้ในการนำตะกอนนิคมเกิดไฮโดรไซด์ที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียด้วย SBH มาใช้ในอุตสาหกรรมดังกล่าวได้