



**ผลการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในแร่สังกะสีซัลไฟด์**

การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี ในแร่สังกะสีซัลไฟด์ กระทำโดยวิธี X - RAY FLUORESCENCE SPECTROMETRY โดยศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จากการวิเคราะห์พบว่าแร่สังกะสีซัลไฟด์ มีค่าเฉลี่ยของปริมาณสังกะสีเท่ากับ 56.73 % โดยน้ำหนักของแร่ รายงานผลการวิเคราะห์ แสดงไว้ดังภาคผนวก ก. จากขอบเขตการวิจัย กำหนดให้ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุดของการทดลองชุดที่ 1 และ 3 เป็น 200 มิลลิกรัม/ลิตร , 400 มิลลิกรัม/ลิตร , 1 กรัม/ลิตร , 5 กรัม/ลิตร และ 10 กรัม/ลิตร ดังนั้น ปริมาณแร่สังกะสีซัลไฟด์ ที่ต้องใช้ในแต่ละถังปฏิกรณ์คือ 5.3 กรัม, 10.6 กรัม , 26.4 กรัม , 132.2 กรัม และ 264.4 กรัม ตามลำดับ

**ผลการเพาะเลี้ยง Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอไฟล์ซ์**

การไลโอไฟล์ซ์เชื้อ Thiobacillus ferrooxidans ได้กระทำ ในเดือน กันยายน พ.ศ. 2536 โดยใช้ medium 2 ชนิด คือ Skim milk และ Sucrose ในหลอด ampoules เพื่อเปรียบเทียบชนิดของ medium ที่ดีที่สุด และได้แยกเก็บ ที่อุณหภูมิ 0 และ 4 องศาเซลเซียส ทั้งสองชนิดของ medium และทำการทดสอบโดยการเพาะเลี้ยงเชื้อที่ผ่านไลโอไฟล์ซ์เดือนละ 1 ครั้ง รวมเวลา 16 เดือน สำหรับเชื้อที่เก็บใน Skim milk และ 12 เดือน สำหรับเชื้อที่เก็บใน Sucrose

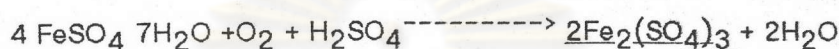
**1. ระยะเวลาที่เก็บเชื้อที่ผ่านการไลโอไฟล์ซ์**

จากระยะเวลาเก็บเชื้อที่ผ่านมาทั้งหมด 16 เดือน พบว่า การเพาะเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการไลโอไฟล์ซ์ด้วย Skim milk ยังได้ผลดีเหมือนในระยะแรก โดยเชื้อ Thiobacillus ferrooxidans ยังสามารถเพาะขึ้นได้ ทั้งที่เก็บที่ 0 และ 4 องศาเซลเซียส และเชื้อ Thiobacillus ferrooxidans ที่ไลโอไฟล์ซ์ด้วย Sucrose ก็สามารถเพาะขึ้นได้ ทั้งที่เก็บที่ 0 และ 4 องศาเซลเซียส เช่นกัน โดยใช้เวลาประมาณ 10 กว่าวัน ตั้งแต่เริ่มเพาะเลี้ยงจนปฏิกริยาลิ้นสุด โดยสังเกตจากสีของอาหารเลี้ยงเชื้อที่จะเปลี่ยนจากขาวขุ่น กลายเป็นสีส้มใส

## 2. เปรียบเทียบ ระยะเวลาที่ใช้ ในการเพาะเชื้อ ระหว่าง Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านและไม่ผ่านการไลโอไฟไลซ์

การเพาะเชื้อที่ไม่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ จะใช้เวลาประมาณ 4-6 วัน ตั้งแต่เริ่ม เพาะเชื้อ จนปฏิกิริยาลิ้นสุด โดยสังเกตจากสีของสารละลายในภาชนะเพาะเลี้ยง เริ่มจากสีขาวขุ่นซึ่งเป็นสีของอาหารเลี้ยงเชื้อ เมื่อเวลาผ่านไป โดยการเติมอากาศอย่างเพียงพอ สีของสารละลายจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีส้มแดงของ 2Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> ดังสมการที่เคยกล่าวไว้ในบทที่ 3 คือ

Bacteria



ทั้งนี้ เนื่องจาก Thiobacillus ferrooxidans จะออกซิไดซ์ Fe<sup>2+</sup> ให้กลายเป็น Fe<sup>3+</sup> ลักษณะทางกายภาพของ สารละลายจึงเปลี่ยนไป

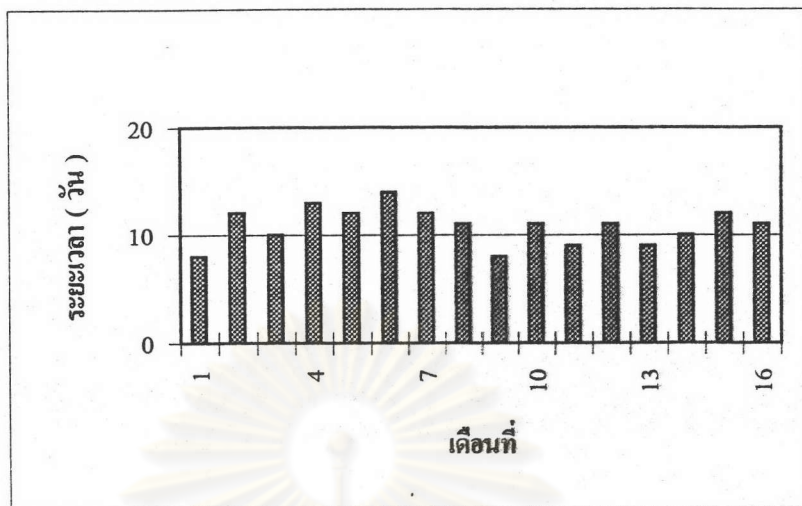
ส่วนการเพาะเชื้อที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ จะใช้เวลาประมาณ 9 - 11 วัน ซึ่งเป็นการเพาะเชื้อ จากหลอด ampoule โดยตรง ในเวลาต่อมาเมื่อได้สารละลายที่มีเชื้อสมบูรณ์แล้ว ก็จะสามารถนำเชื้อแบคทีเรียจากสารละลายนี้ไปเพาะเลี้ยงต่อไป โดยใช้เวลาประมาณ 4-6 วัน เท่ากับเชื้อที่ไม่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ได้เช่นกัน

## 3. เปรียบเทียบ ระยะเวลาที่ใช้ ในการเพาะเชื้อระหว่าง เชื้อที่เก็บใน Skim milk และ เชื้อที่เก็บใน Sucrose

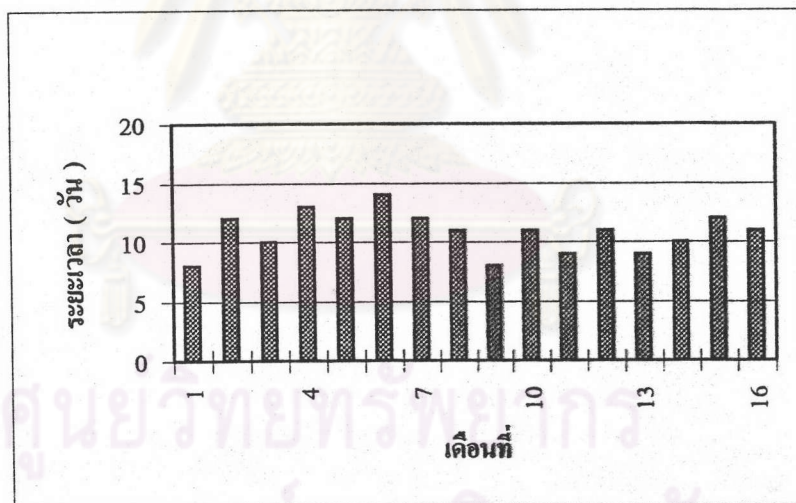
จากตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 และ 5.5 จะเห็นได้ว่า ระยะเวลาที่ใช้ ในการเพาะเชื้อที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ด้วย Skim milk และ Sucrose จะมีค่าไม่ต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจนนัก เวลาเฉลี่ย ที่ใช้เพาะเชื้อที่เก็บใน Skim milk คือ 11 วัน ส่วนเวลาเฉลี่ยที่ใช้เพาะเชื้อที่เก็บใน Sucrose คือ 10 วัน แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของชนิด Medium คือ Skim milk และ Sucrose ไม่มีผลต่อการทำไลโอไฟไลซ์ Thiobacillus ferrooxidans ดังนั้นในการเลือกใช้ Medium ในการทำไลโอไฟไลซ์ Thiobacillus ferrooxidans จึงควรพิจารณาในปัจจุบันประกอบกัน ได้แก่

1. ราคาของ medium
2. ความยากง่ายในการจัดหา medium

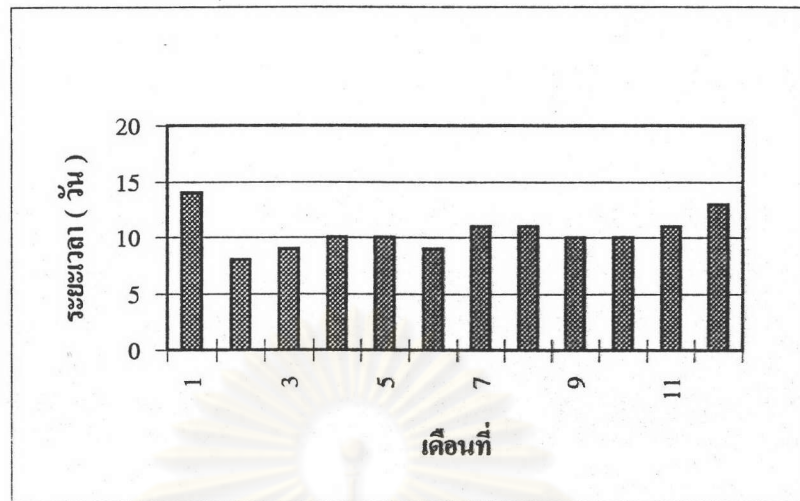




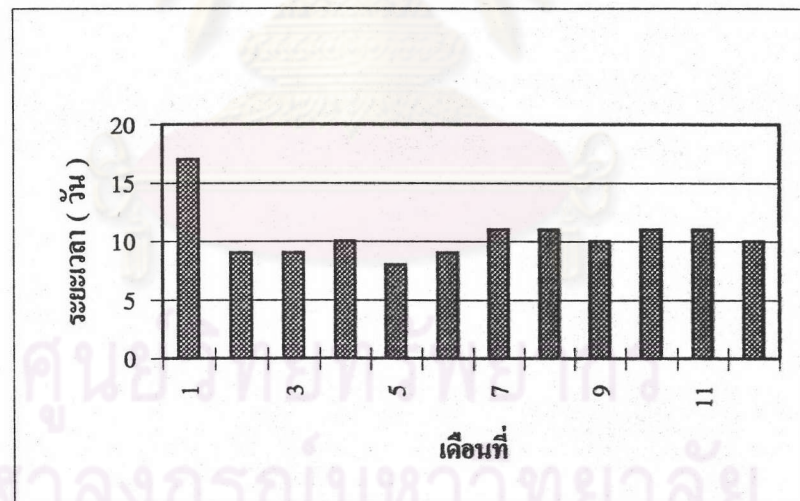
รูปที่ 5.1 แสดงระยะเวลาที่ใช้เพาะเชื้อที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ใน Skim milk และเก็บที่ 0 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.2 แสดงระยะเวลาที่ใช้เพาะเชื้อที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ใน Skim milk และเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส

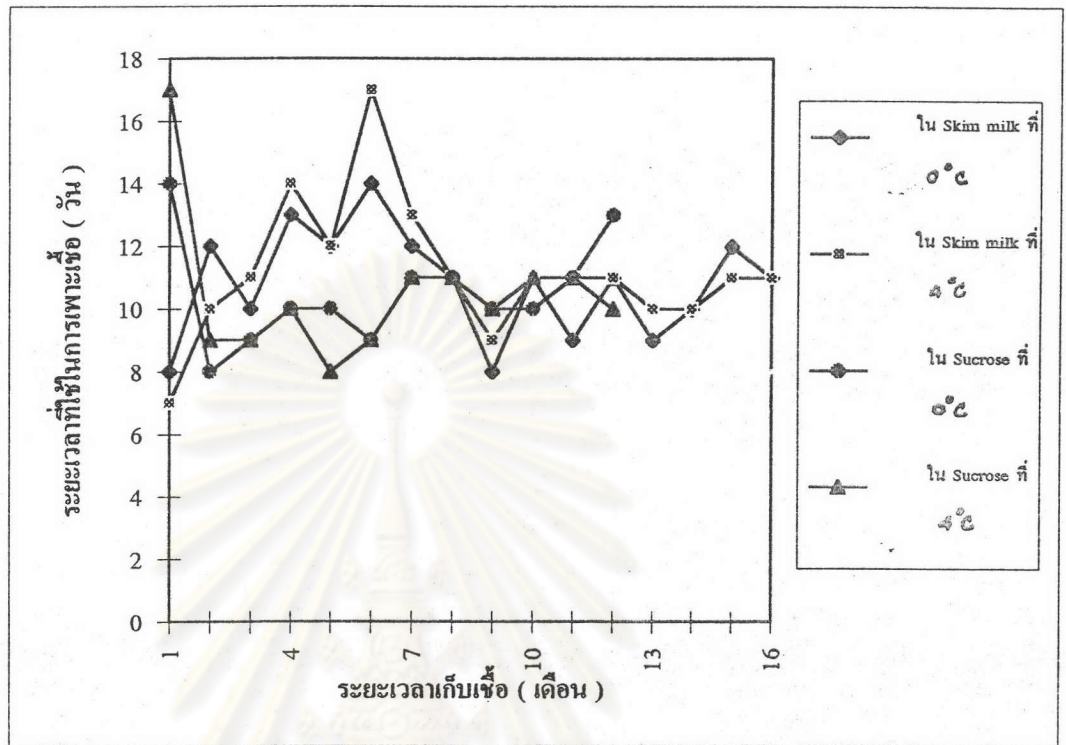


รูปที่ 5.3 แสดงระยะเวลาที่ใช้เพาะเชื้อที่ผ่านการไลโอไฟไลซใน Sucrose และเก็บที่ 0 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.4 แสดงระยะเวลาที่ใช้เพาะเชื้อที่ผ่านการไลโอไฟไลซใน Sucrose และเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส





รูปที่ 5.5 แสดงระยะเวลาที่ใช้เพาะเชื้อที่ผ่านการไลโอไฟไลเซชันใน Skim milk , Sucrose และเก็บที่ 0 และ 4 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4. เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการเพาะเชื้อระหว่างเชื้อซึ่งผ่านการเก็บที่ อุณหภูมิ 0 และ 4 องศาเซลเซียส

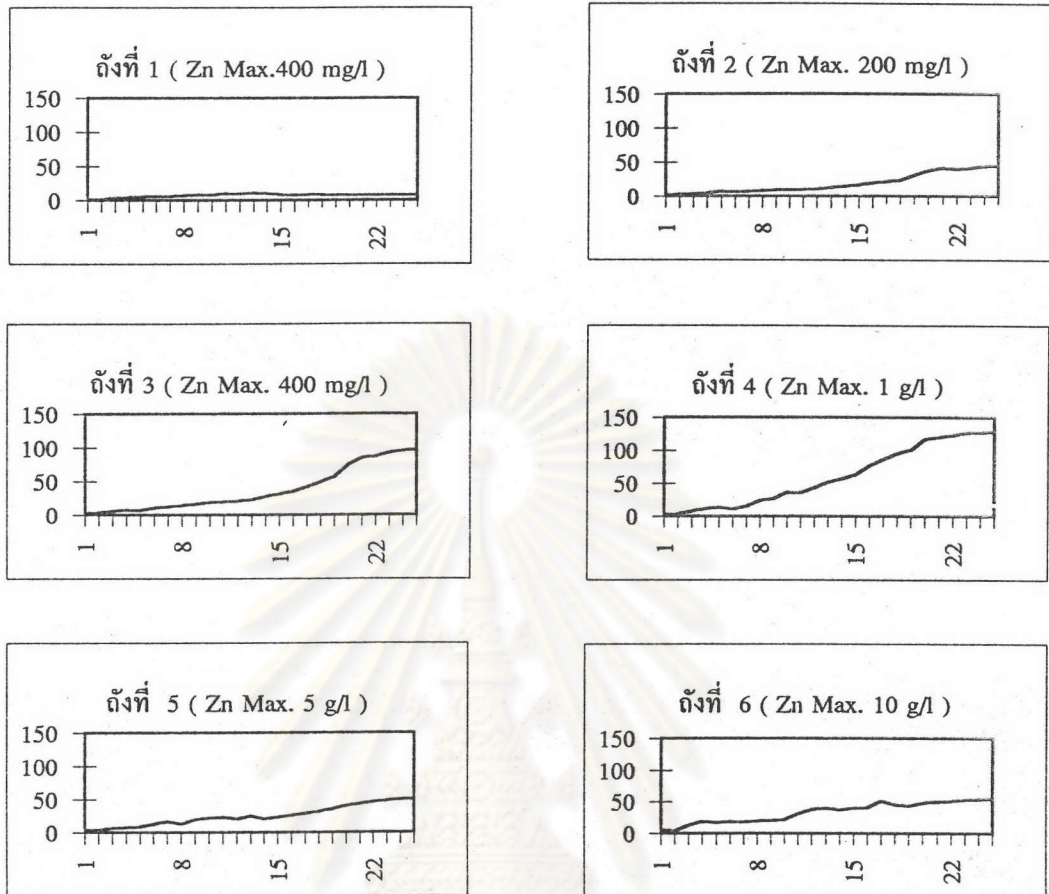
รูปที่ 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 และ 5.5 แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มของระยะเวลาที่ใช้ในการเพาะเชื้อที่ผ่านการเก็บที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และ 4 องศาเซลเซียส ตลอด 16 เดือนของการทดลองนั้น ไม่ต่างกันมากนัก และเวลาเฉลี่ยที่ใช้เพาะเชื้อ ที่เก็บที่ 0 องศาเซลเซียส และ 4 องศาเซลเซียส นั้น คือ 10 วัน ซึ่งเป็นเวลาที่เท่ากัน แสดงให้เห็นว่า เชื้อ Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอไฟล์ด้วย Skim milk และ Sucrose สามารถเก็บที่อุณหภูมิ 0 หรือ 4 องศาเซลเซียส ได้เช่นกัน โดยสามารถพิจารณาปัจจัยอื่นเพื่อความสะดวกในการเก็บรักษาได้

#### ผลการลิขซึ่งแร่สังกะสีซัลไฟด์ โดยใช้ตัวแปรเป็นแร่สังกะสีซัลไฟด์

การทดลองชุดที่ 1 และ 3 คือ การเลี้ยง Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านและไม่ผ่านการไลโอไฟล์ตามลำดับ โดยใช้ตัวแปรเป็นแร่สังกะสีซัลไฟด์ ซึ่งเมื่อละลายแล้วจะให้ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด เป็น 200 มิลลิกรัม/ลิตร, 400 มิลลิกรัม/ลิตร, 1 กรัม/ลิตร, 5 กรัม/ลิตร และ 10 กรัม/ลิตร โดยใช้ปัจจัยอื่นๆ เหมือนกันทุกประการ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 และ 5.9 ในภาคผนวก ก. และ รูปที่ 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12 และ 5.13

จากผลการทดลองทั้ง 2 ชุด โดยรวม พบว่า ปริมาณสังกะสีที่ละลายออกมา เนื่องจากการลิขซึ่งของแบคทีเรีย จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ยกเว้นถึงปฏิกรณ์ควบคุมซึ่งค่าของสังกะสีละลาย จะมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง ส่วนค่าพีเอชโดยรวมของการทดลองทั้งสองชุด จะมีค่าลดลง ซึ่งแสดงว่า การเติบโตของแบคทีเรียเป็นไปได้ เพราะมีการสร้างกรด  $H_2SO_4$  เกิดขึ้น ค่าพีเอชจึงลดลง ซึ่งต่างจากถึงปฏิกรณ์ควบคุมที่ไม่มีแบคทีเรีย ค่า pH จะไม่ลดลง แต่จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากแร่สังกะสีซัลไฟด์ เมื่อละลายจะทำให้สารละลายมีค่าเป็นเบส ค่า ORP จะมีค่าเกิน 500 mV เมื่อเกิดการตกตะกอนของสารละลาย ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ค่า MLVSS ของการทดลองทั้ง 2 ชุด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเปลี่ยนไป แสดงถึง มีการเจริญเติบโตของเชื้อ Thiobacillus ferrooxidans จากผลของการทดลองแสดงให้เห็นว่า การทำงานของ Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านและไม่ผ่านการไลโอไฟล์ นั้นไม่ต่างกัน แสดงว่าการไลโอไฟล์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติลักษณะของ Thiobacillus ferrooxidans ดังรายละเอียดของการวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไปนี้

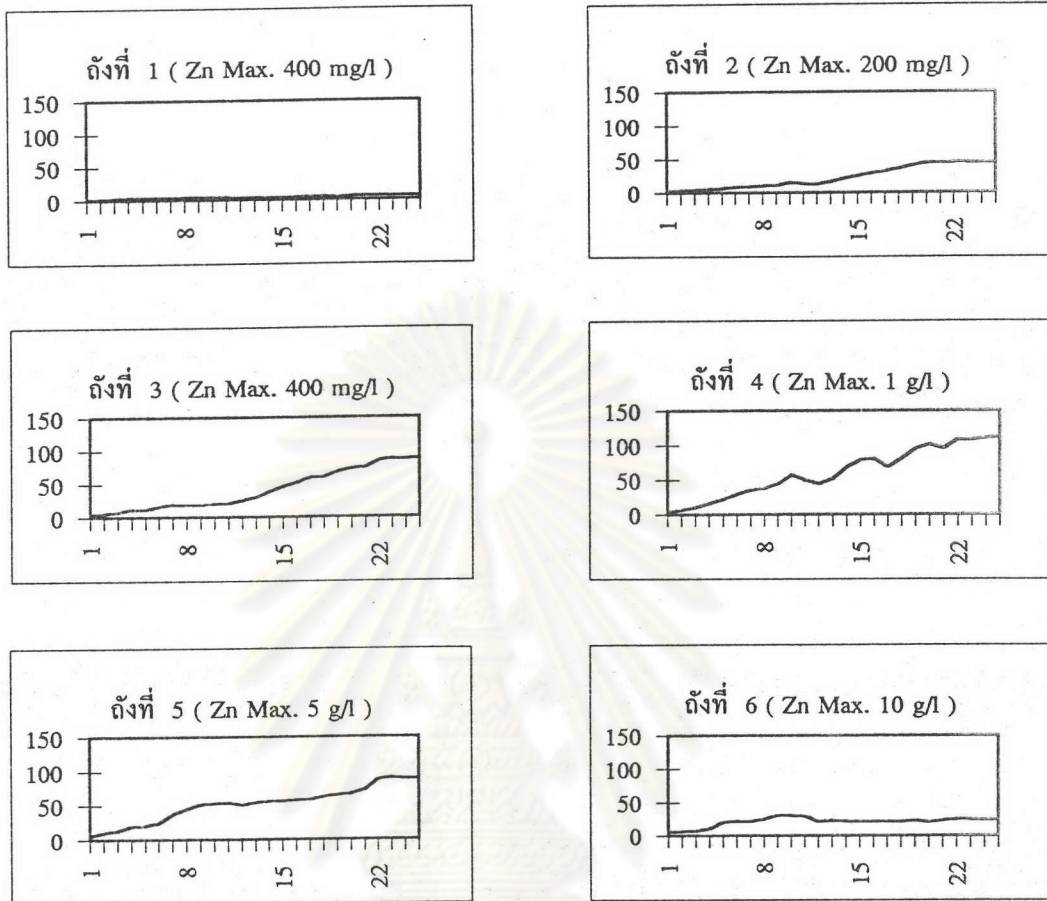




แกนตั้งแสดง : ค่าสังกะสีละลาย (มก./ล.) , แกนนอนแสดง : วันที่

รูปที่ 5.6 ปริมาณสังกะสีละลาย( มก./ล. ) ของการทดลองชุดที่ 1 โดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์

หมายเหตุ	ตั้งที่	เป็นตั้งปฏิกรณ์ควบคุม ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	400 มก./ล. ( Zn Max. 400 mg/l )
	ตั้งที่ 2	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	200 มก./ล. ( Zn Max. 200 mg/l )
	ตั้งที่ 3	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	400 มก./ล. ( Zn Max. 400 mg/l )
	ตั้งที่ 4	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	1 ก./ล. ( Zn Max. 1 g/l )
	ตั้งที่ 5	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	5 ก./ล. ( Zn Max. 5 g/l )
	ตั้งที่ 6	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	10 ก./ล. ( Zn Max. 10 g/l )

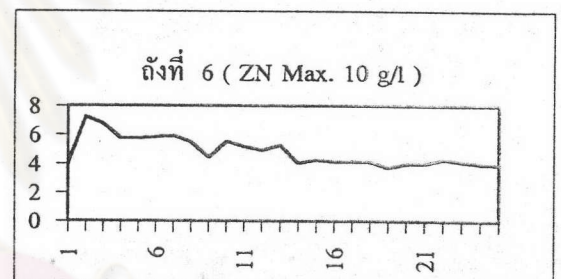
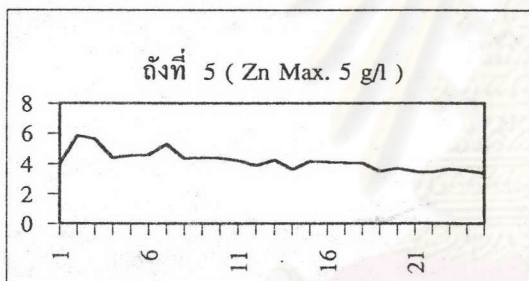
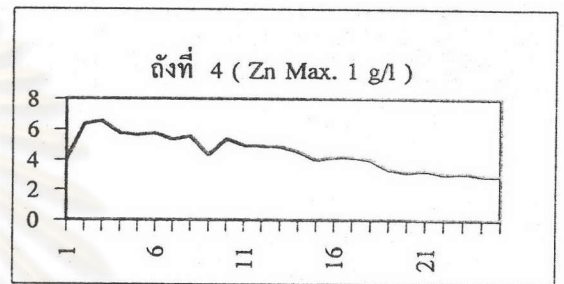
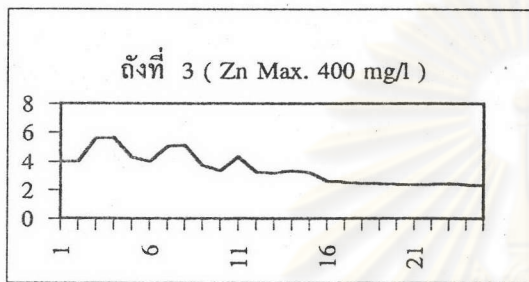
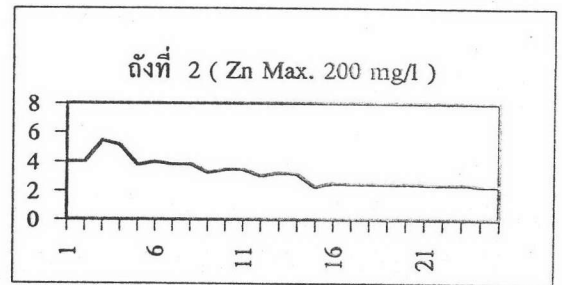
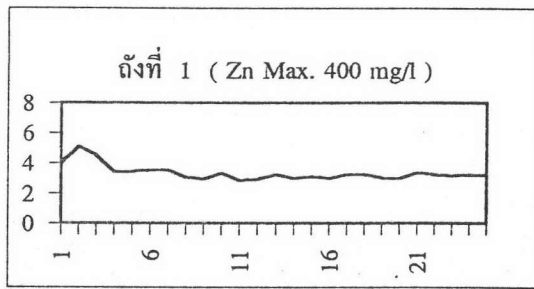


แกนตั้งแสดง : ค่าสังกะสีละลาย ( มก./ล. ) , แกนนอนแสดง : วันที่

รูปที่ 5.7 ปริมาณสังกะสีละลาย( มก./ล. ) ของการทดลองชุดที่ 3 โดย *Thiobacillus ferrooxidans*

หมายเหตุ	ถังที่	เป็นถังปฏิกรณ์ควบคุม ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	400 มก./ล. ( Zn Max. 400 mg/l )
	ถังที่ 2	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	200 มก./ล. ( Zn Max. 200 mg/l )
	ถังที่ 3	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	400 มก./ล. ( Zn Max. 400 mg/l )
	ถังที่ 4	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	1 ก./ล. ( Zn Max. 1 g/l )
	ถังที่ 5	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	5 ก./ล. ( Zn Max. 5 g/l )
	ถังที่ 6	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	10 ก./ล. ( Zn Max. 10 g/l )





แกนตั้งแสดง : ค่าพีเอช , แกนนอนแสดง : วันที่

รูปที่ 5.8 ค่า pH ของการทดลองชุดที่ 1 โดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์

หมายเหตุ ถังที่ 1 เป็นถังปฏิกรณ์ควบคุม ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 400 มก./ล. ( Zn Max. 400 mg/l )

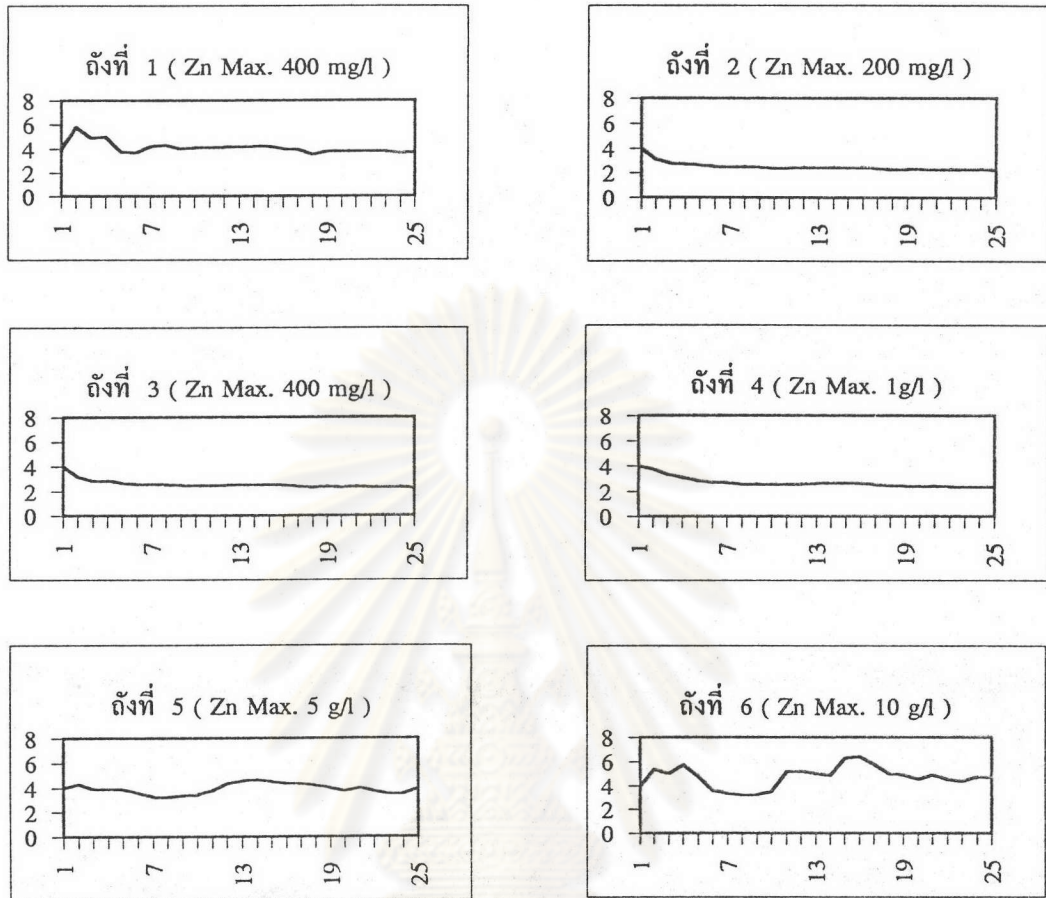
ถังที่ 2 ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 200 มก./ล. ( Zn Max. 200 mg/l )

ถังที่ 3 ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 400 มก./ล. ( Zn Max. 400 mg/l )

ถังที่ 4 ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 1 ก./ล. ( Zn Max. 1 g/l )

ถังที่ 5 ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 5 ก./ล. ( Zn Max. 5 g/l )

ถังที่ 6 ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 10 ก./ล. ( Zn Max. 10 g/l )

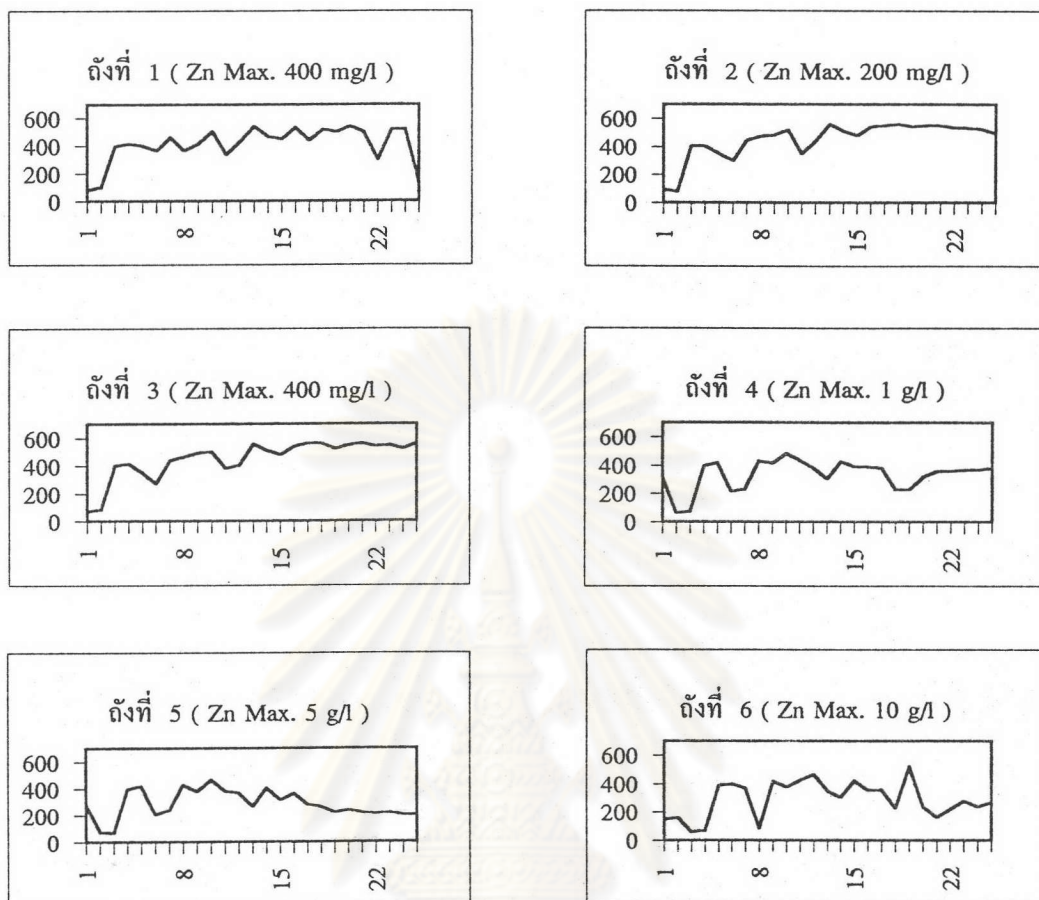


แกนตั้งแสดง : ค่าพีเอช , แกนนอนแสดง : วันที่

รูปที่ 5.9 ค่า pH ของการทดลองชุดที่ 3 โดย *Thiobacillus ferrooxidans*

หมายเหตุ	ถังที่ 1	เป็นถังปฏิกรณ์ควบคุม ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 400 มก./ล. ( Zn Max. 400 mg/l )
	ถังที่ 2	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 200 มก./ล. ( Zn Max. 200 mg/l )
	ถังที่ 3	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 400 มก./ล. ( Zn Max. 400 mg/l )
	ถังที่ 4	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 1 ก./ล. ( Zn Max. 1 g/l )
	ถังที่ 5	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 5 ก./ล. ( Zn Max. 5 g/l )
	ถังที่ 6	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 10 ก./ล. ( Zn Max. 10 g/l )

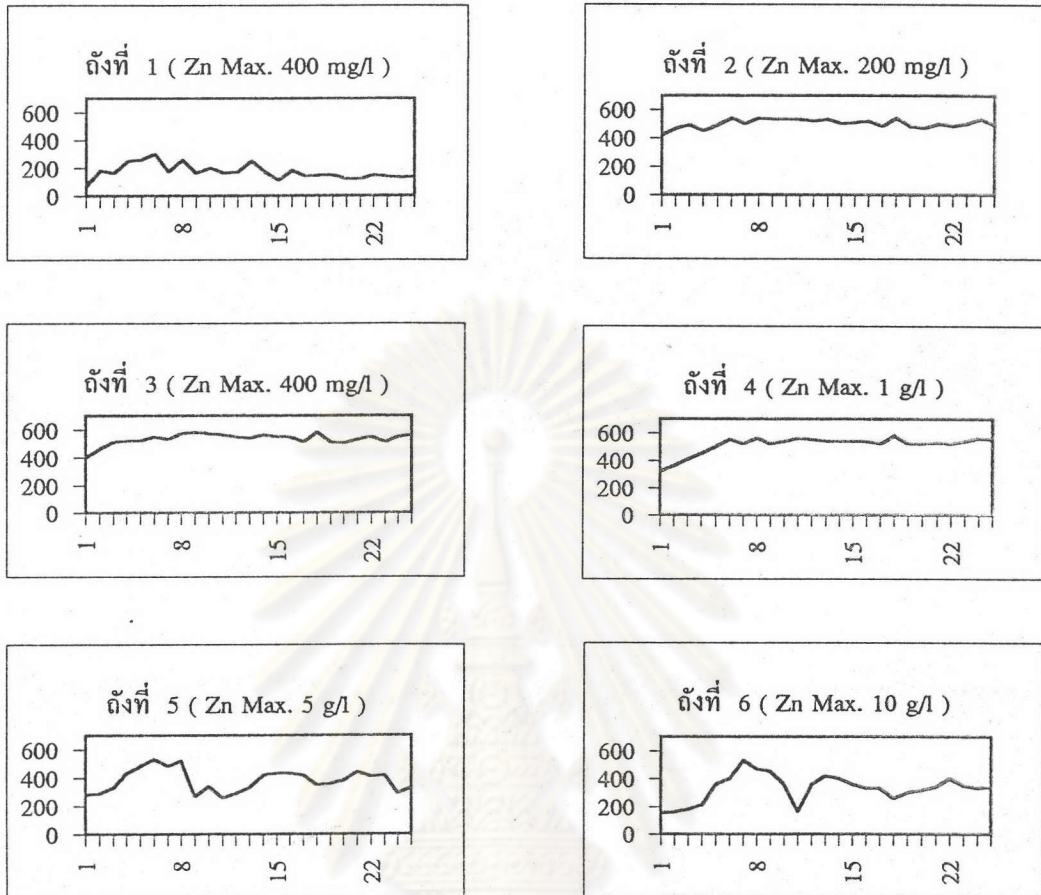




แกนตั้งแสดง : ค่า ORP (mV) , แกนนอนแสดง : วันที่

รูปที่ 5.10 ค่า ORP (mv) ของการทดลองชุดที่ 1 โดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์

หมายเหตุ	ถังที่ 1	เป็นถังปฏิกรณ์ควบคุม ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	400	มก./ล. ( Zn Max. 400 mg/l )
	ถังที่ 2	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	200	มก./ล. ( Zn Max. 200 mg/l )
	ถังที่ 3	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	400	มก./ล. ( Zn Max. 400 mg/l )
	ถังที่ 4	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	1	ก./ล. ( Zn Max. 1 g/l )
	ถังที่ 5	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	5	ก./ล. ( Zn Max. 5 g/l )
	ถังที่ 6	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	10	ก./ล. ( Zn Max. 10 g/l )

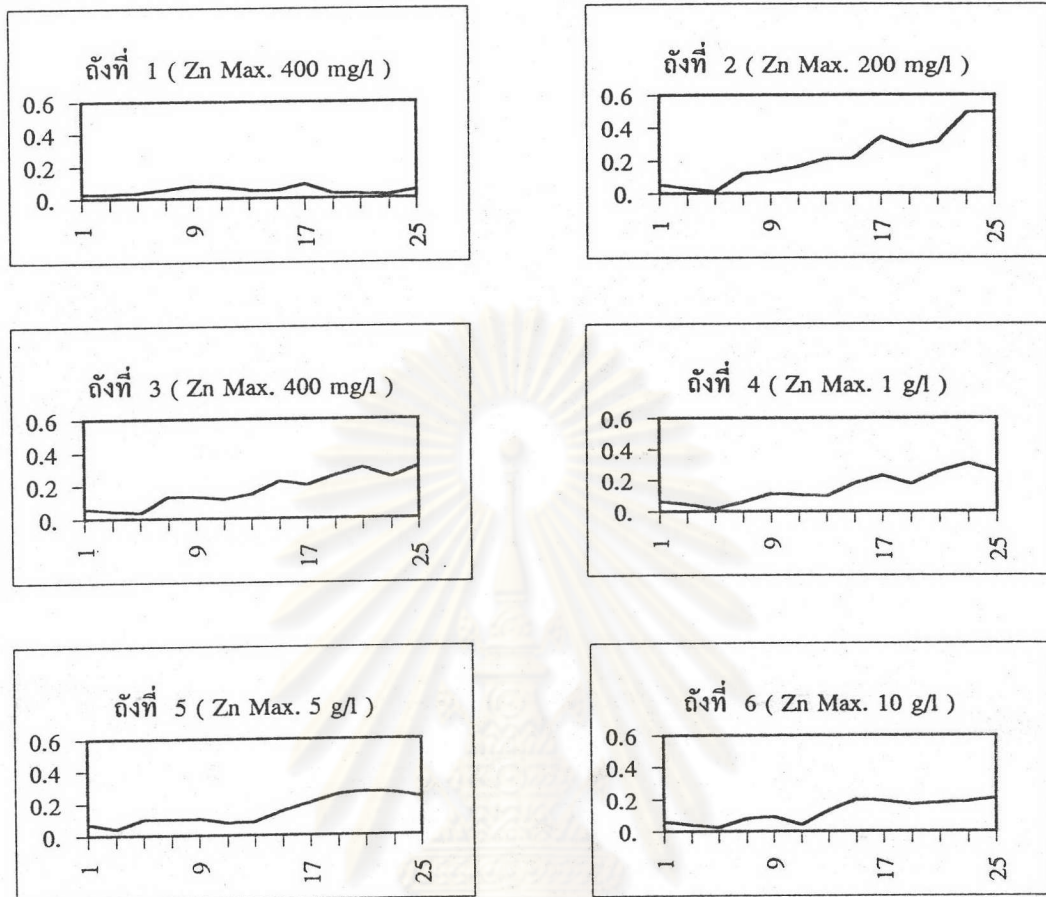


แกนตั้งแสดง : ค่า ORP (mV) , แกนนอนแสดง : วันที่

รูปที่ 5.11 ค่า ORP (mv) ของการทดลองชุดที่ 3 โดย *Thiobacillus ferrooxidans*

หมายเหตุ	ถังที่ 1	เป็นถังปฏิกรณ์ควบคุม ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 400 มก./ล. ( Zn Max. 400 mg/l )
	ถังที่ 2	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 200 มก./ล. ( Zn Max. 200 mg/l )
	ถังที่ 3	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 400 มก./ล. ( Zn Max. 400 mg/l )
	ถังที่ 4	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 1 ก./ล. ( Zn Max. 1 g/l )
	ถังที่ 5	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 5 ก./ล. ( Zn Max. 5 g/l )
	ถังที่ 6	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 10 ก./ล. ( Zn Max. 10 g/l )

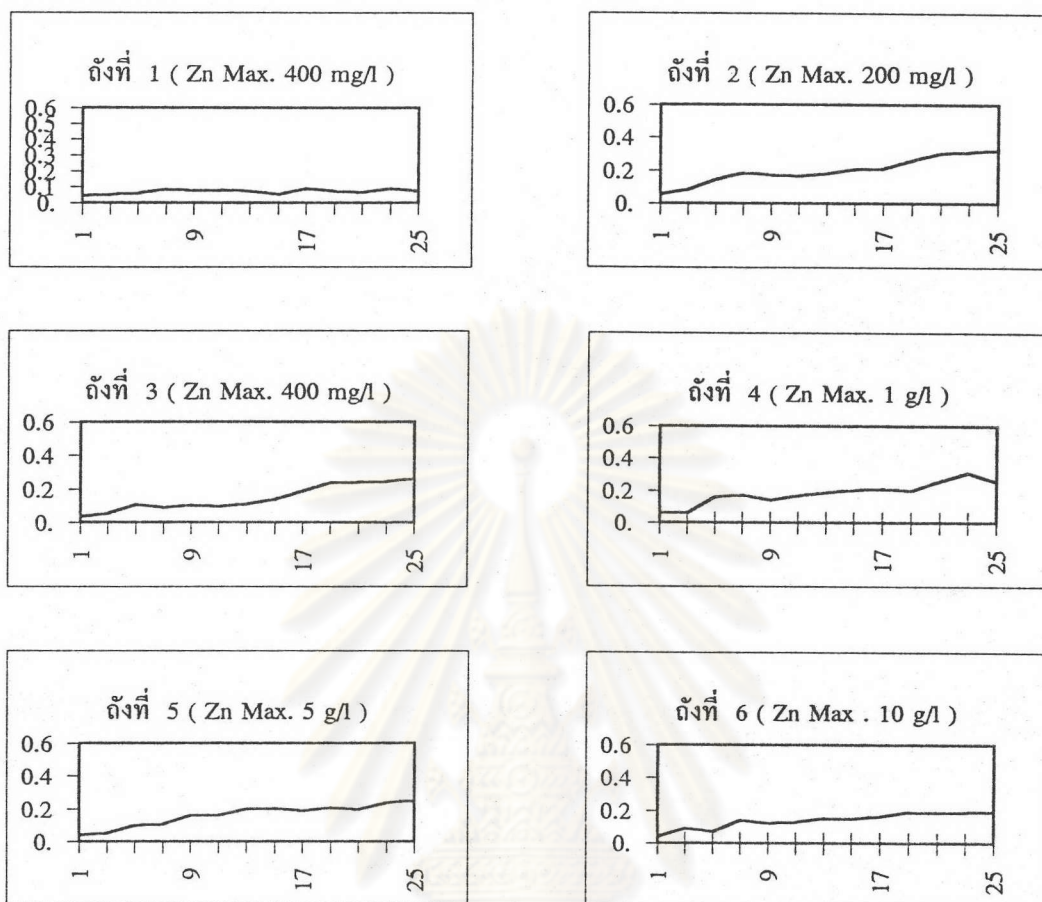




แกนตั้งแสดง : ค่า MLVSS ( มก./ล. ), แกนนอนแสดง : วันที่

รูปที่ 5.12 ค่า MLVSS ( mg/l ) ของการทดลองชุดที่ 1 โดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์

หมายเหตุ	ถังที่ 1	เป็นถังปฏิกรณ์ควบคุม ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 400 มก./ล. ( Zn Max. 400 mg/l )
	ถังที่ 2	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 200 มก./ล. ( Zn Max. 200 mg/l )
	ถังที่ 3	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 400 มก./ล. ( Zn Max. 400 mg/l )
	ถังที่ 4	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 1 ก./ล. ( Zn Max. 1 g/l )
	ถังที่ 5	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 5 ก./ล. ( Zn Max. 5 g/l )
	ถังที่ 6	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด 10 ก./ล. ( Zn Max. 10 g/l )



แกนตั้งแสดง : ค่า MLVSS (มก./ล.), แกนนอนแสดง : วันที่

รูปที่ 5.13 ค่า MLVSS ของการทดลองชุดที่ 3 โดย *Thiobacillus ferrooxidans*

หมายเหตุ	ถังที่	เป็นถังปฏิกรณ์ควบคุม ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	400 มก./ล. ( Zn Max. 400 mg/l )
	ถังที่ 2	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	200 มก./ล. ( Zn Max. 200 mg/l )
	ถังที่ 3	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	400 มก./ล. ( Zn Max. 400 mg/l )
	ถังที่ 4	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	1 ก./ล. ( Zn Max. 1 g/l )
	ถังที่ 5	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	5 ก./ล. ( Zn Max. 5 g/l )
	ถังที่ 6	ปริมาณสังกะสีละลายสูงสุด	10 ก./ล. ( Zn Max. 10 g/l )



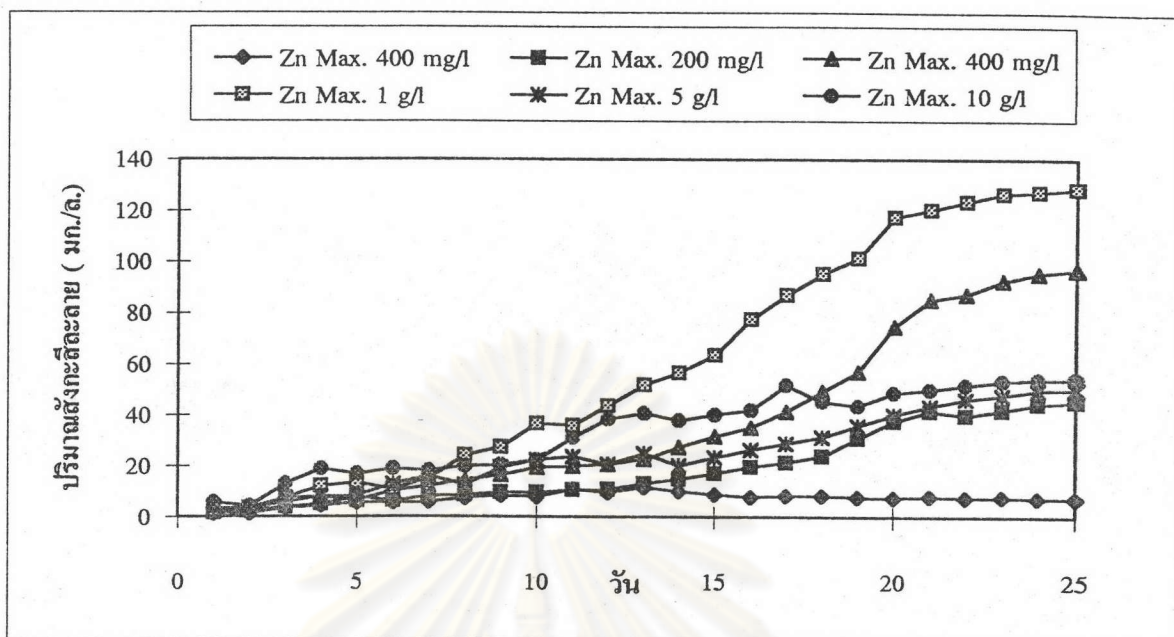
## 1. เปรียบเทียบผลของค่าสังกะสีละลาย จาก Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านและไม่ผ่านการไลโอไฟไลซ์

รูปที่ 5.15, 5.16, 5.17, 5.18, 5.19 และ 5.20 แสดงการเปรียบเทียบผลของค่าสังกะสีละลายของการทดลองชุดที่ 1 และ 3 ในแต่ละถังปฏิกรณ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ค่าสังกะสีละลายในแต่ละถังปฏิกรณ์ของการทดลองทั้ง 2 ชุด มีค่าใกล้เคียงกัน เส้นกราฟมีความสอดคล้องไปในแนวเดียวกัน โดยในช่วง 10 วันแรกค่าสังกะสีละลายค่อนข้างน้อย ช่วงวันที่ 10 ถึง 20 จะเป็นช่วงที่แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด คือ มีการลิซซิ่งเพิ่มขึ้นจนได้กราฟของสังกะสีละลายที่มีความชันมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

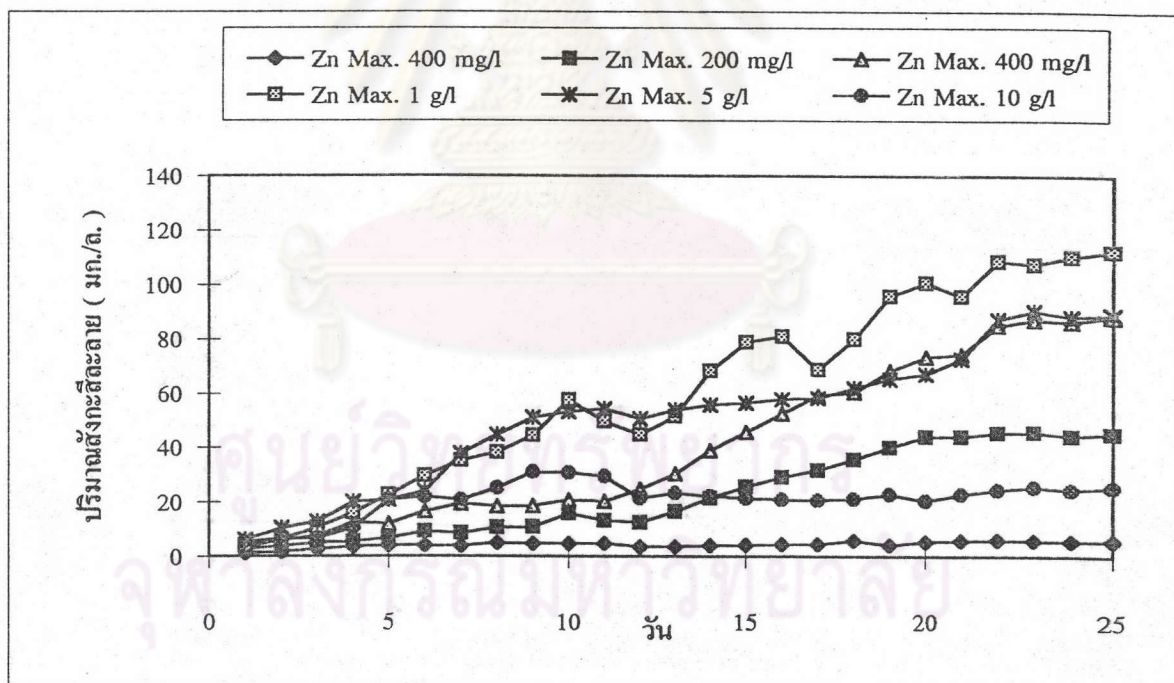
จากรูปที่ 5.14 พบว่าถังปฏิกรณ์ที่มีค่าสังกะสีละลายสูงสุดของการทดลองได้แก่ถังปฏิกรณ์ใบที่ 4 ของทั้งการทดลองชุดที่ 1 และ 3 เหมือนกัน และพบว่า ถังปฏิกรณ์ที่มีค่าสังกะสีละลายต่อปริมาณสังกะสีทั้งหมดในแร่สูงสุด คือ ถังปฏิกรณ์ใบที่ 3 ของการทดลองทั้งสองชุด เช่นกัน โดยคิดเป็น 24.2 % และ 22.75 % ของปริมาณสังกะสีในแร่ที่ใส่ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 5.16 และ 5.17 และ รูปที่ 5.70 และ 5.71 ในภาคผนวก จ.

ถังปฏิกรณ์ใบที่ 6 ของการทดลองชุดที่ 1 และ 3 เป็นถังปฏิกรณ์ที่ให้ค่าสังกะสีละลายโดย Thiobacillus ferrooxidans น้อยที่สุด เนื่องจากในถังปฏิกรณ์ใบที่ 6 จะมีแร่สังกะสีซัลไฟด์ ในปริมาณที่มากกว่าถังปฏิกรณ์ใบอื่น ทำให้สภาพของสารละลายในถังปฏิกรณ์มีสภาพเป็นด่าง จึงไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และการทำงานของ Thiobacillus ferrooxidans แต่อย่างไรก็ตามในถังปฏิกรณ์ใบที่ 6 นี้ ยังมีการทำงานของแบคทีเรียเกิดขึ้น เนื่องจากปริมาณสังกะสีละลายของถังปฏิกรณ์ใบที่ 6 ของทั้งสองชุดการทดลอง ยังมีค่ามากกว่า ปริมาณสังกะสีละลายในถังปฏิกรณ์ควบคุม ซึ่งให้ค่าสังกะสีละลายน้อยและค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง ดังรูป 5.20

อย่างไรก็ตาม ค่าสังกะสีละลายที่ได้จากการลิซซิ่งของ Thiobacillus ferrooxidans ที่ไม่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ จะมีค่าสูงกว่า ค่าสังกะสีละลายที่ได้จากการลิซซิ่งของ Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์เล็กน้อย ดังรูป 5.15, 5.16, 5.17, 5.18, 5.19 และ 5.20 ซึ่งอาจเนื่องมาจาก ผลของอุณหภูมิขณะทำการทดลอง ชุดที่ 1 คือ ช่วงเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นฤดูฝนมีอุณหภูมิต่ำกว่า ต้นเดือนธันวาคมซึ่งเป็นช่วงเดือนที่ทำการทดลองชุดที่ 3 อยู่บ้าง



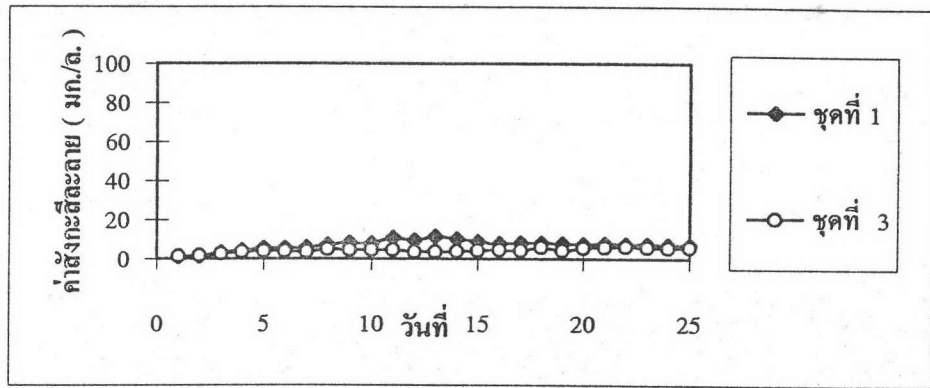
ชุดที่ 1



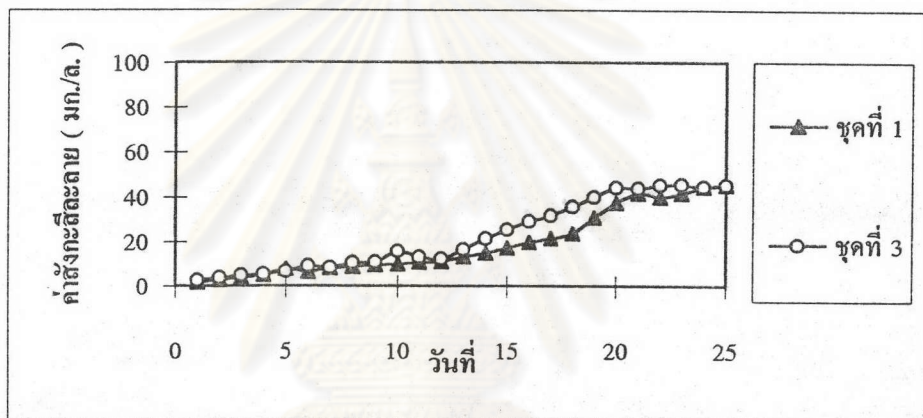
ชุดที่ 3

รูปที่ 5.14 แสดงปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( ชุดที่ 1 ) และ *Thiobacillus ferrooxidans* ( ชุดที่ 3 ) ของทุกถังปฏิกรณ์

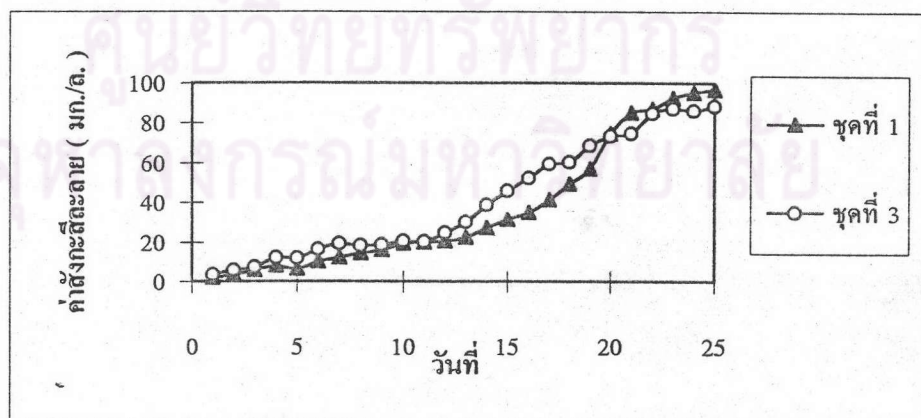




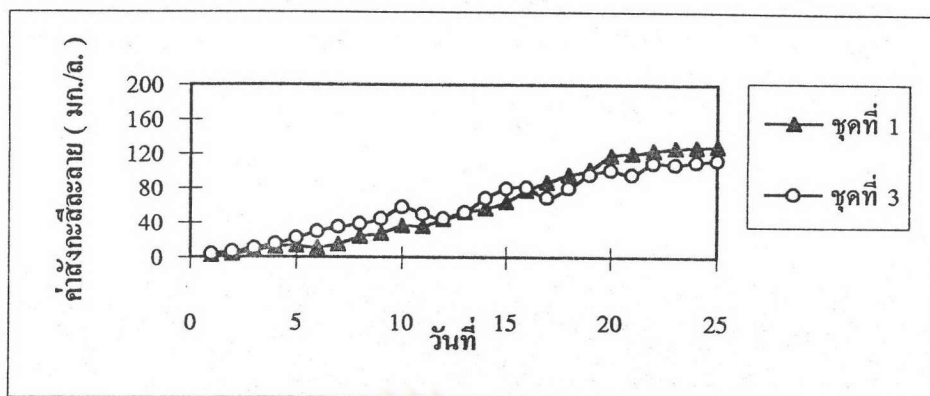
รูปที่ 5.15 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ (ชุดที่ 1) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 400 มก./ล. ของถังปฏิกรณ์ควบคุม



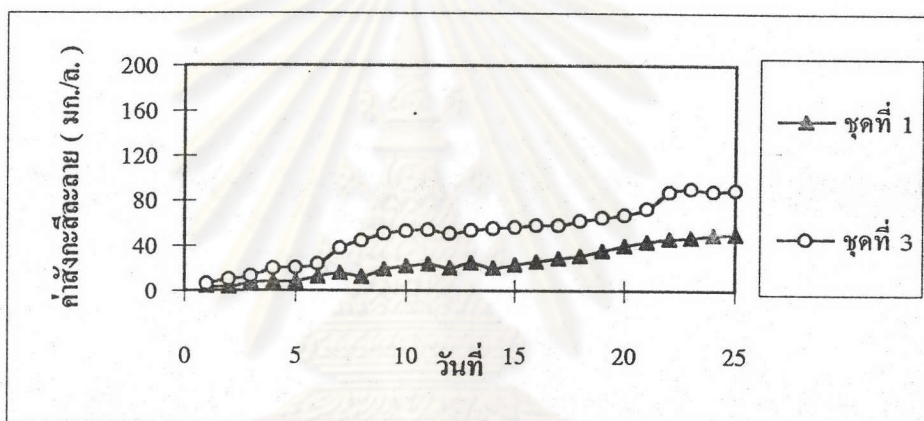
รูปที่ 5.16 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ (ชุดที่ 1) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 200 มก./ล.



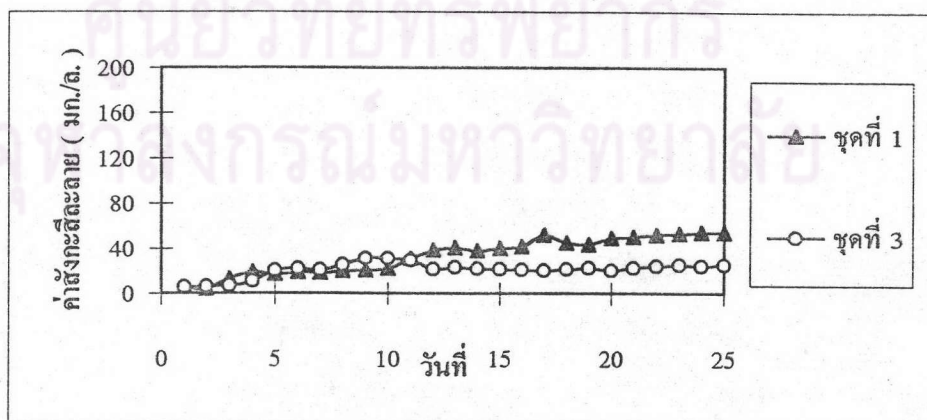
รูปที่ 5.17 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ (ชุดที่ 1) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 400 มก./ล.



รูปที่ 5.18 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ (ชุดที่ 1) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 1 ก./ล.



รูปที่ 5.19 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ (ชุดที่ 1) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 5 ก./ล.



รูปที่ 5.20 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ (ชุดที่ 1) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 10 ก./ล.



## 2. ผลของค่าพีเอชในการลิซซิ่ง

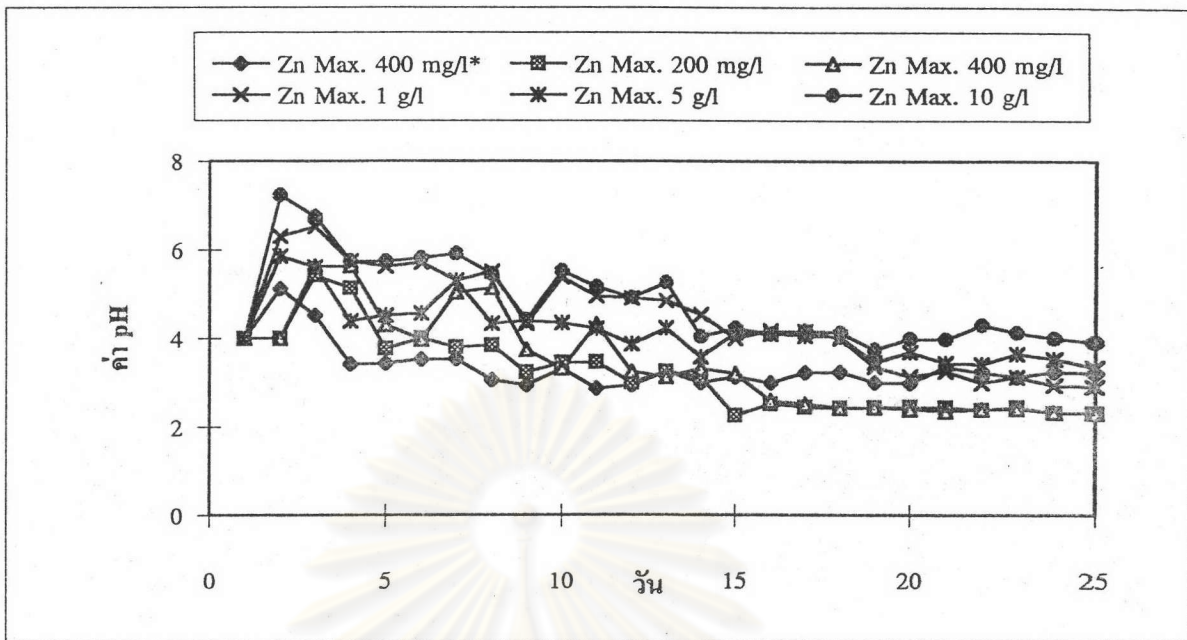
จากรูป 5.21 จะพบว่าผลของค่าพีเอชของการทดลองชุดที่ 1 และ 3 มีสภาพโดยรวมคล้ายกันคือ มีค่าพีเอชเริ่มต้นที่วันแรกของการทำวิจัย เป็น 4 เท่ากัน หลังจากนั้นเมื่อแบคทีเรียปรับสภาพตัวเองและทำการลิซซิ่งแร่สังกะสีซัลไฟด์ ค่าพีเอชก็มีแนวโน้มลดลง ( ยกเว้นถึงปฏิกรณ์ควบคุม ) จนจะมีค่าประมาณ 2-3 ในวันสุดท้ายของการทดลอง เนื่องจากแบคทีเรียจะมีการสร้างกรด  $H_2SO_4$  ในกระบวนการลิซซิ่งที่เกิดขึ้น

จากรูปที่ 5.22 พบว่า ค่าพีเอชของถังปฏิกรณ์ที่ 1 ของการทดลองทั้ง 2 ชุด ซึ่งเป็นถังปฏิกรณ์ควบคุม มีค่าค่อนข้างคงที่คือประมาณ 3-4 ตลอดการทดลอง เนื่องจากไม่มีแบคทีเรียจึงไม่มีการสร้าง  $H_2SO_4$  จากแบคทีเรีย ค่าพีเอชจึงไม่ลดลง แต่เนื่องจากในช่วงแรกของการทดลองมีการเติม  $H_2SO_4$  ลงไปเพื่อช่วยแบคทีเรีย ในการดึงพีเอชของแร่สังกะสีซัลไฟด์ซึ่งมีค่าเป็นเบสลงมาบ้าง โดยเติมในถังปฏิกรณ์ทุกถัง จึงทำให้ค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์ควบคุมลดลง จากค่าพีเอชเริ่มต้น คือ 4 อยู่บ้าง

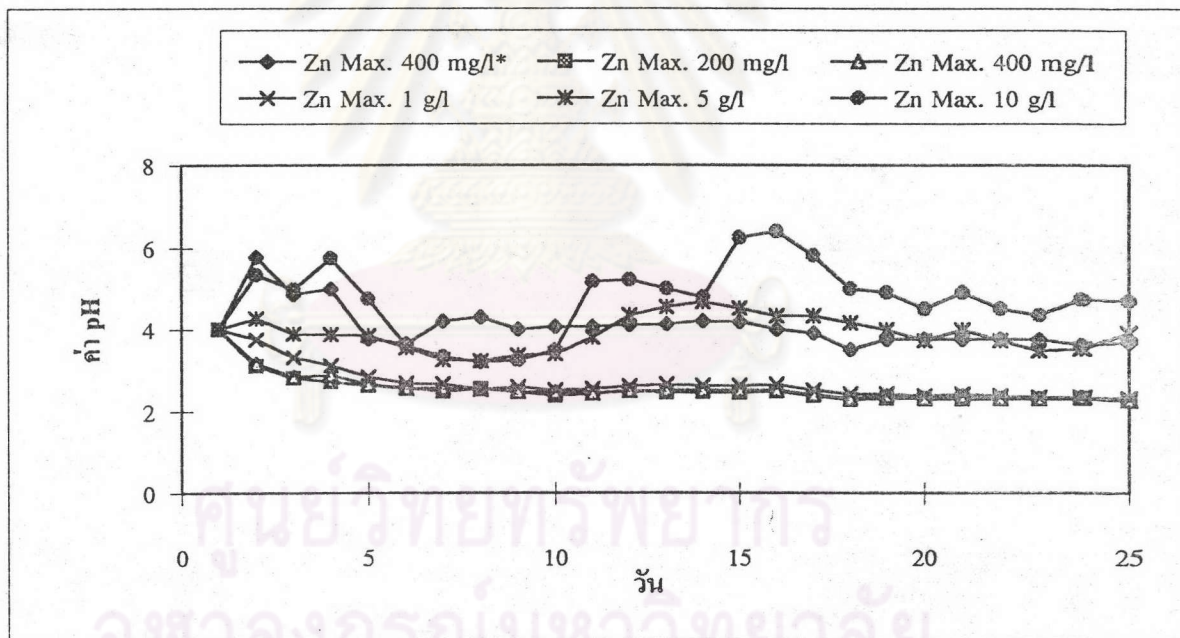
ผลของค่าพีเอช ของถังปฏิกรณ์ใบที่ 2, 3 และ 4 เป็นไปค่อนข้างดี ดังรูปที่ 5.23, 5.24 และ 5.25 คือ มีค่าพีเอชค่อย ๆ ลดลง จากค่าเริ่มต้นที่ 4 จนมาสิ้นสุดที่ค่าประมาณ 2 โดยเฉพาะถังปฏิกรณ์ใบที่ 2 และ 3 ของการทดลองทั้ง 2 ชุด ค่าพีเอชจะถูกปรับโดยแบคทีเรียลงมาอยู่ที่ 2 กว่า ๆ เร็วกว่าถังปฏิกรณ์ใบอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่าสังกะสีละลายของถังปฏิกรณ์ใบที่ 2 และ 3 ซึ่งมีค่าสังกะสีละลายต่อปริมาณสังกะสีทั้งหมดในแร่ของถังปฏิกรณ์จะสูงกว่าถังอื่น ๆ

ส่วนผลของพีเอชของ ถังปฏิกรณ์ที่ 5 ของการทดลองทั้งสองชุด พบว่า ค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลง คล้ายถังปฏิกรณ์ใบที่ 4 แต่ค่าพีเอชสิ้นสุด จะอยู่ที่ประมาณ 3 เนื่องจากมีปริมาณแร่ที่ใส่ในถังปฏิกรณ์ อยู่มากกว่า ถังปฏิกรณ์ที่ 4 ค่าพีเอชจึงลดลงได้น้อยกว่าถังปฏิกรณ์ใบที่ 4 ดังรูปที่ 5.26

ค่าพีเอชของถังปฏิกรณ์ใบที่ 6 ของการทดลองทั้งสองชุด มีค่าประมาณ 4-6 ตลอดการทดลอง ดังรูปที่ 5.27 เนื่องจากมีแร่สังกะสีซัลไฟด์อยู่มาก ทำให้สภาพของสารละลายมีพีเอชสูงขึ้นกว่าพีเอชเริ่มต้นคือ 4 การช่วยแบคทีเรียโดยการเติม  $H_2SO_4$  ในช่วงแรกของการทดลอง และการปรับสภาพของแบคทีเรียเอง ก็สามารถทำให้แบคทีเรียสามารถลิซซิ่งแร่สังกะสีซัลไฟด์ได้เมื่อเทียบกับปริมาณสังกะสีละลายของถังปฏิกรณ์ควบคุม แต่เนื่องจากสารละลายมีสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียคือพีเอชมีค่าสูงกว่า 4 จึงทำให้การเติบโตและการทำงานของแบคทีเรียด้อยกว่าถังปฏิกรณ์อื่นในการทดลอง



ชุดที่ 1

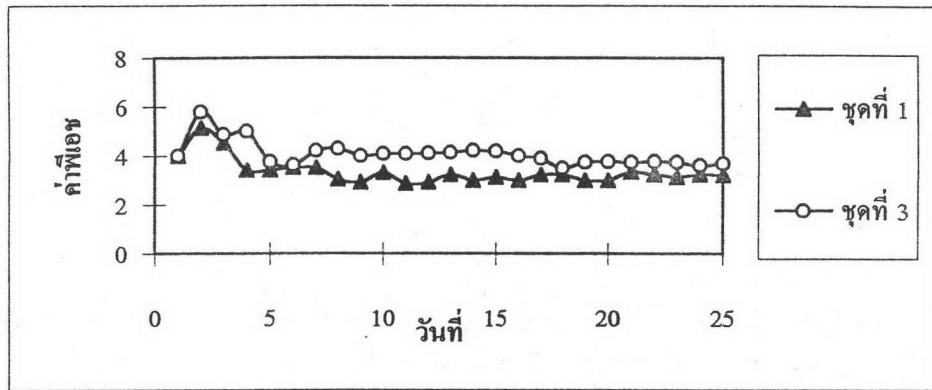


ชุดที่ 3

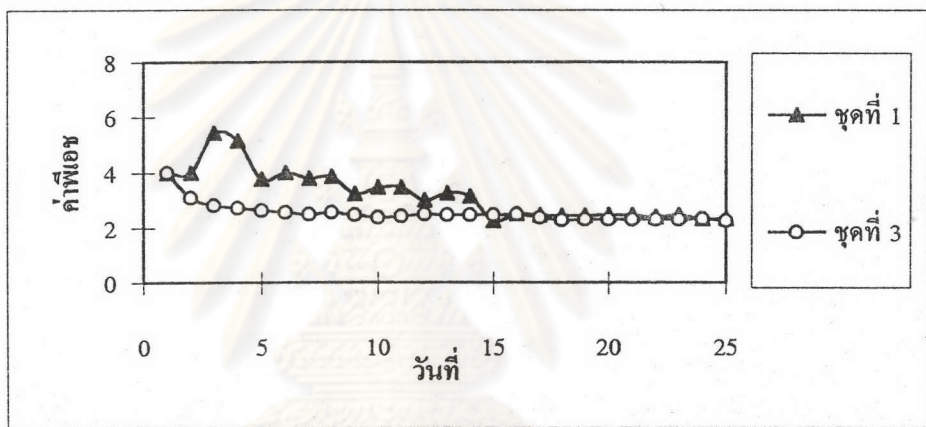
รูปที่ 5.21 แสดงค่า pH ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ (ชุดที่ 1) และ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 3) ของทุกถังปฏิกรณ์

หมายเหตุ Zn. Max 400 mg/l.\* เป็นถังปฏิกรณ์ควบคุม

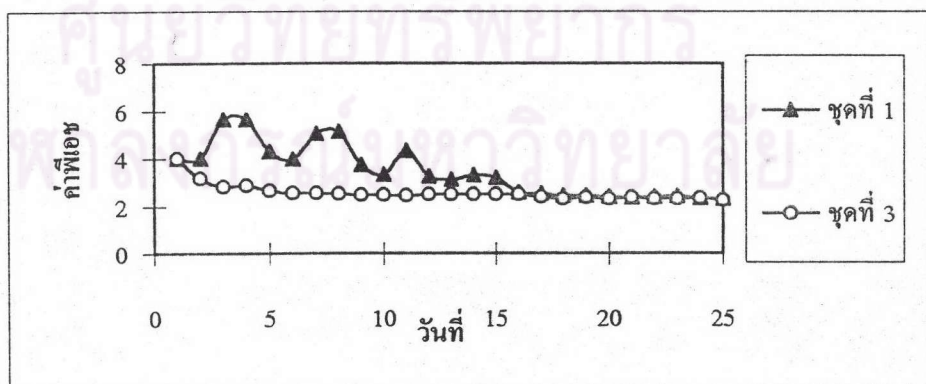




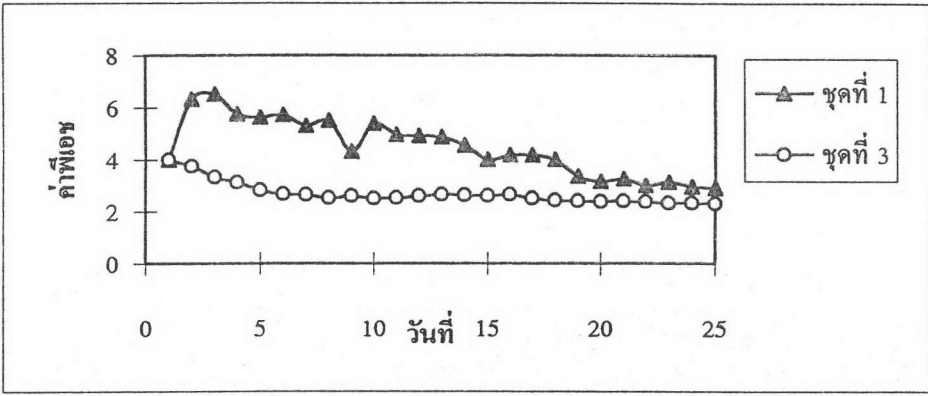
รูปที่ 5.22 เปรียบเทียบค่าฟิเอซ ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ (ชุดที่ 1) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 400 มก./ล. ของถังปฏิกรณ์ควบคุม



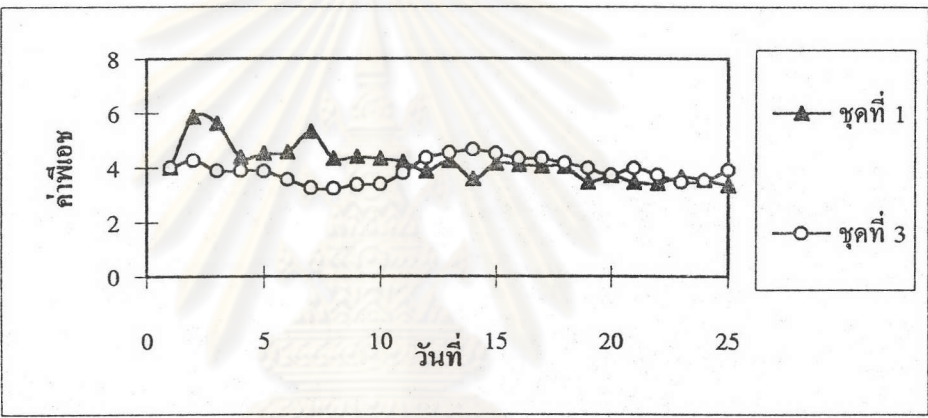
รูปที่ 5.23 เปรียบเทียบค่าฟิเอซ ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ (ชุดที่ 1) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 200 มก./ล.



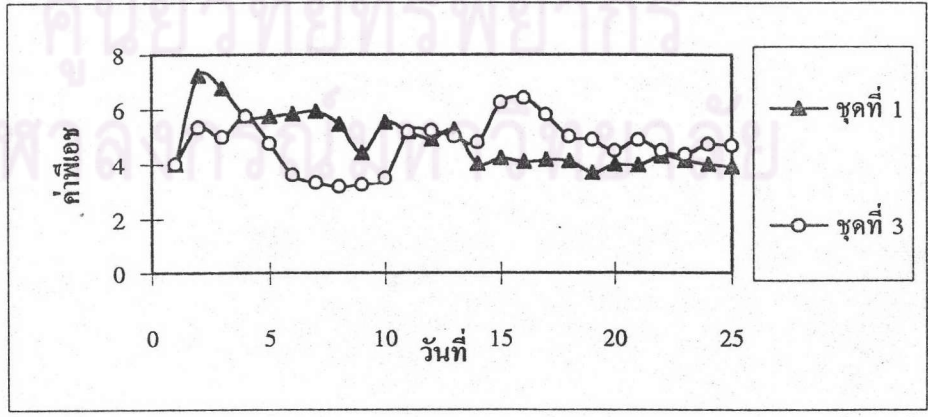
รูปที่ 5.24 เปรียบเทียบค่าฟิเอซ ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ (ชุดที่ 1) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 400 มก./ล.



รูปที่ 5.25 เปรียบเทียบค่าฟิเอซ ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( จุดที่ 1 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( จุดที่ 3 ) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 1 ก./ล.



รูปที่ 5.26 เปรียบเทียบค่าฟิเอซ ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( จุดที่ 1 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( จุดที่ 3 ) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 5 ก./ล.



รูปที่ 5.27 เปรียบเทียบค่าฟิเอซ ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( จุดที่ 1 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( จุดที่ 3 ) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 10 ก./ล.



### 3. ผลของค่า ORP ในการลิซซิ่ง

ค่า ORP ของถังปฏิกรณ์ไบโอที่ 1 ซึ่งเป็นถังปฏิกรณ์ควบคุมคือไม่มีแบคทีเรียของการทดลองชุดที่ 1 มีค่าแปรผันมากแสดงถึงประสิทธิภาพการละลายที่ไม่สม่ำเสมอ ส่วนค่า ORP ของถังปฏิกรณ์ไบโอที่ 1 ของการทดลองชุดที่ 3 มีค่าค่อนข้างต่ำ กว่าถังปฏิกรณ์อื่น ดังรูปที่ 5.28 แสดงถึงประสิทธิภาพการละลายที่ไม่ดี เนื่องจากเป็นการละลายตามธรรมชาติของแร่ สังกะสีซัลไฟด์เองไม่มีการทำงานของแบคทีเรียเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังรูปที่ 5.29

จากรูปที่ 5.30, 5.31 และ 5.32 จะเห็นว่าค่า ORP ของถังปฏิกรณ์ที่ 2, 3 และ 4 ของการทดลองทั้ง 2 ชุด จะมีแนวโน้มคล้ายกันคือ จะมีค่าเพิ่มขึ้น และค่อนข้างคงที่ อยู่ที่ค่าประมาณ 400-500 mV แสดงถึง การลิซซิ่งเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและมีประสิทธิภาพดี และในช่วง 10 วัน หลังของการทดลองค่า ORP มักมีค่าเกิน 500 mV ซึ่งเป็นช่วงที่สารละลายกำลังมีการตกตะกอนของ jarosite เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี

ถังปฏิกรณ์ไบโอที่ 5 และ 6 ของการทดลอง ทั้ง 2 ชุด เป็นไปคล้ายกันโดยพบว่าค่า ORP ค่อนข้างต่ำ และมีการแปรผันของข้อมูลขึ้นลงบ้าง แสดงถึงประสิทธิภาพการลิซซิ่งที่ไม่ดี และไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากแบคทีเรียต้องปรับตัวกับสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมเนื่องจากค่าพีเอชของถังปฏิกรณ์ทั้ง 2 ไบค่อนข้างสูง สำหรับแบคทีเรีย ตลอดเวลา ดังรูปที่ 5.33 และ 5.34

### 4. ผลของ MLVSS ในการลิซซิ่ง

จากรูปที่ 5.36, 5.37, 5.38, 5.39, 5.40 และ 5.41 พบว่าโดยทั่วไปของเส้นกราฟ แสดงค่า MLVSS ของการทดลองชุดที่ 1 และ 3 มีแนวโน้มคล้ายกัน คือ ค่า MLVSS ของการทดลองทั้งสองชุดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่อาทิตย์แรกของการทำวิจัย และพบว่าค่า MLVSS ของถังปฏิกรณ์ไบโอที่ 1 ของการทดลองทั้งสองชุด มีค่าน้อยมาก และมีการเปลี่ยนแปลงของค่า MLVSS น้อยกว่าถังปฏิกรณ์ไบโออื่น เนื่องจากในถังปฏิกรณ์ไบโอที่ 1 ไม่มี Thiobacillus ferrooxidans อยู่

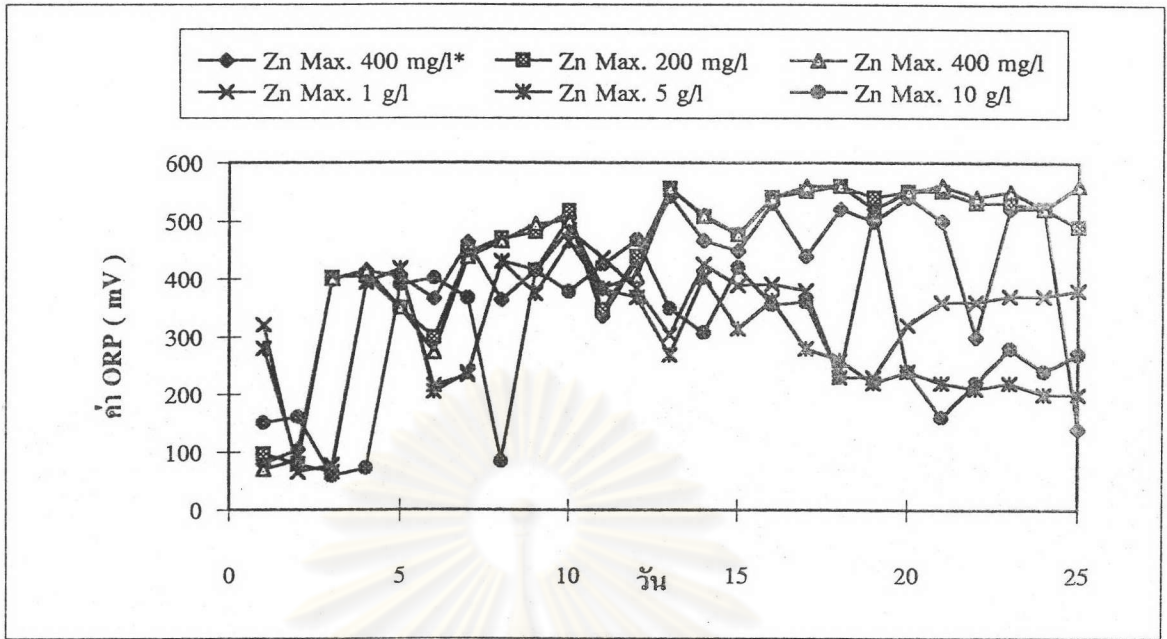
ถังปฏิกรณ์ไบโอที่ 2 ของทั้งสองชุดการทดลอง จะมีค่า MLVSS สูงที่สุด ดังรูปที่ 5.35 และเส้นกราฟจะเกาะกลุ่มกับกราฟแสดงค่า MLVSS ของถังปฏิกรณ์ไบโอที่ 3 และ 4 ซึ่งมีค่า MLVSS ที่สูงเช่นกัน แสดงถึง การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เป็นไปด้วยดีในถังปฏิกรณ์ดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับค่าสังกะสีละลายซึ่งค่าสังกะสีละลายที่ดี ก็มาจากกลุ่มกราฟของถังปฏิกรณ์ไบโอที่ 2,3 และ 4 นี้เช่นกัน

ถึงปฏิกรณ์ใบที่ 6 ของทั้ง 2 ชุดการทดลอง ให้แนวโน้มนำค่า MLVSS ที่คล้ายกันคือมีค่าน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับค่า MLVSS ของถึงปฏิกรณ์อื่นที่มีแบคทีเรียเหมือนกัน เนื่องจากถึงปฏิกรณ์ใบที่ 6 มีแร่อยู่ในปริมาณมาก จึงมีค่าพีเอชที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ค่า MLVSS จึงน้อยกว่าถึงปฏิกรณ์ที่มีแบคทีเรียใบอื่น

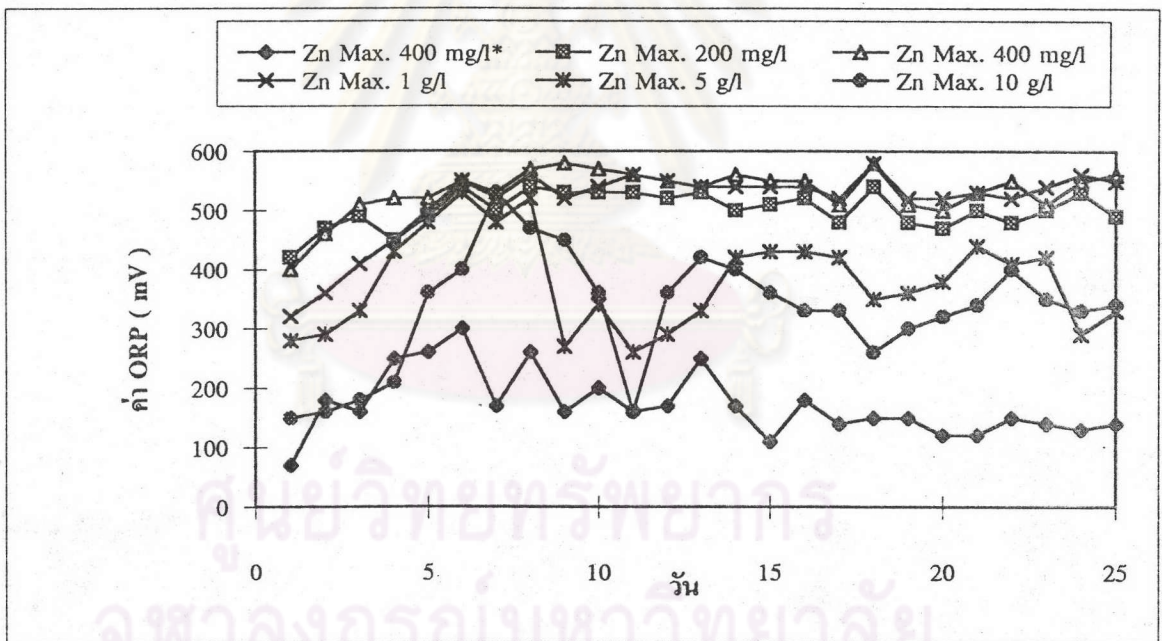


ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





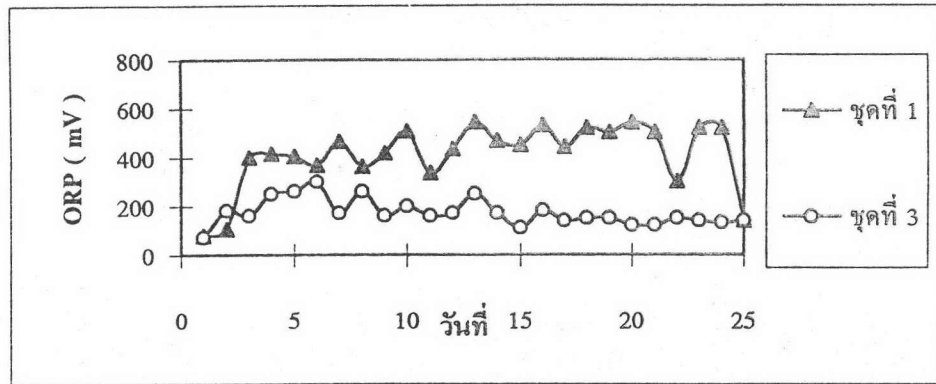
ชุดที่ 1



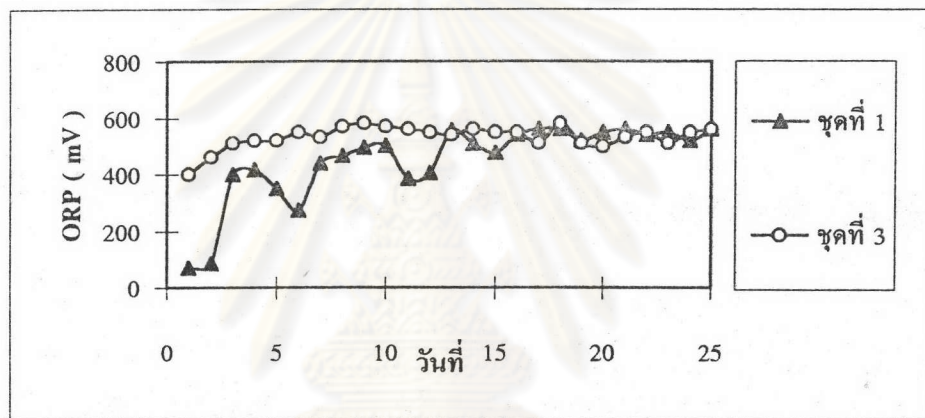
ชุดที่ 3

รูปที่ 5.28 แสดงค่า ORP ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ (ชุดที่ 1) และ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 3) ของทุกดั่งปฏิกรณ์

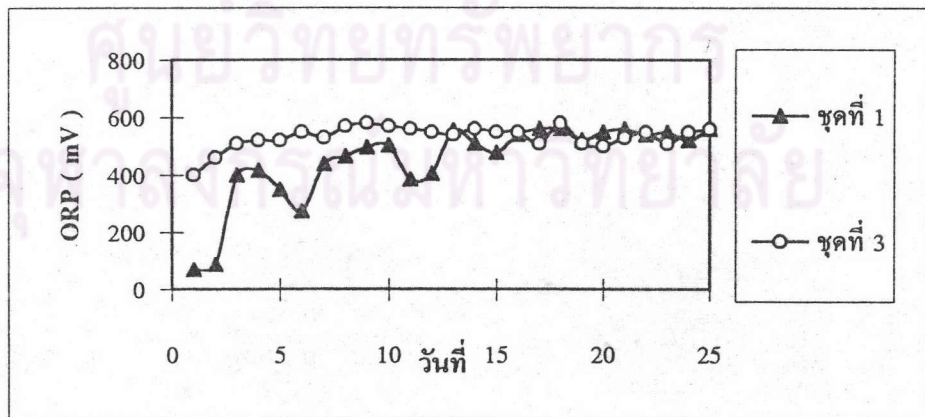
หมายเหตุ Zn. Max 400 mg/l.\* เป็นดั่งปฏิกรณ์ควบคุม



รูปที่ 5.29 เปรียบเทียบค่า ORP ระหว่าง การทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( ชุดที่ 1 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( ชุดที่ 3 ) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 400 มก./ล. ของถังปฏิกรณ์ควบคุม

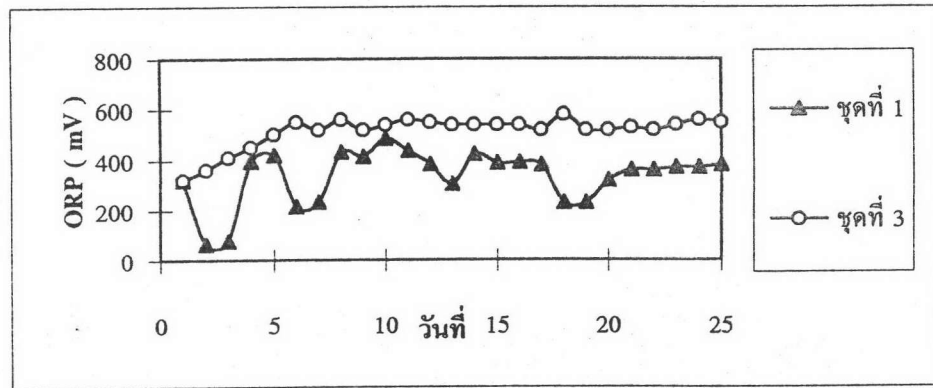


รูปที่ 5.30 เปรียบเทียบค่า ORP ระหว่าง การทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( ชุดที่ 1 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( ชุดที่ 3 ) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 200 มก./ล.

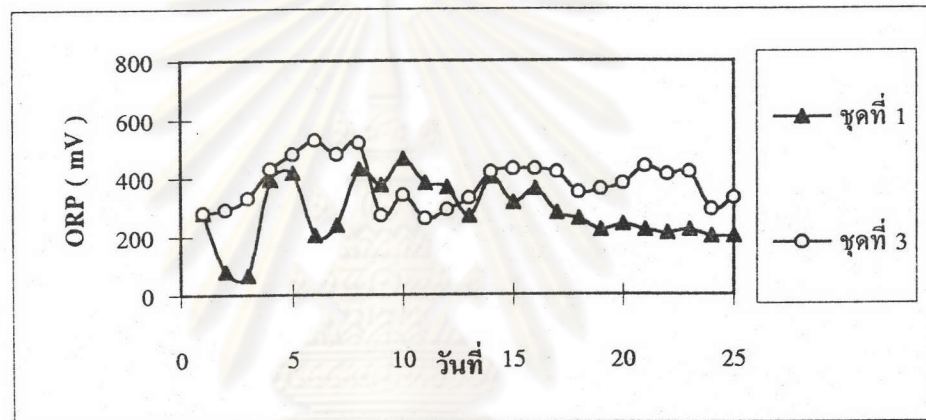


รูปที่ 5.31 เปรียบเทียบค่า ORP ระหว่าง การทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( ชุดที่ 1 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( ชุดที่ 3 ) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 400 มก./ล.

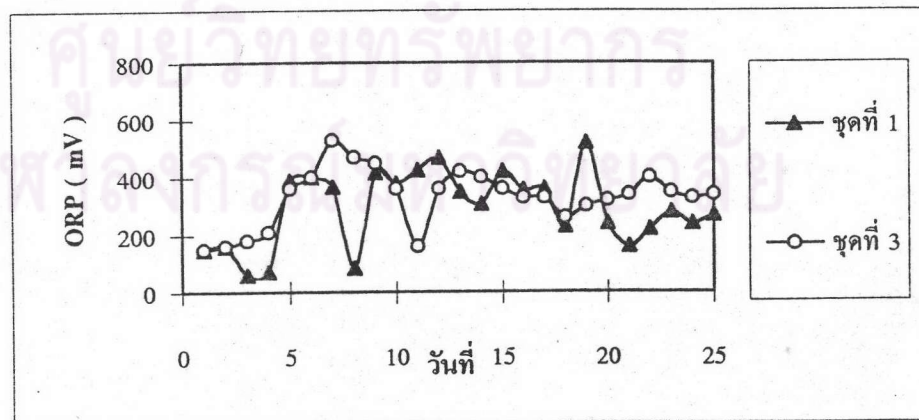




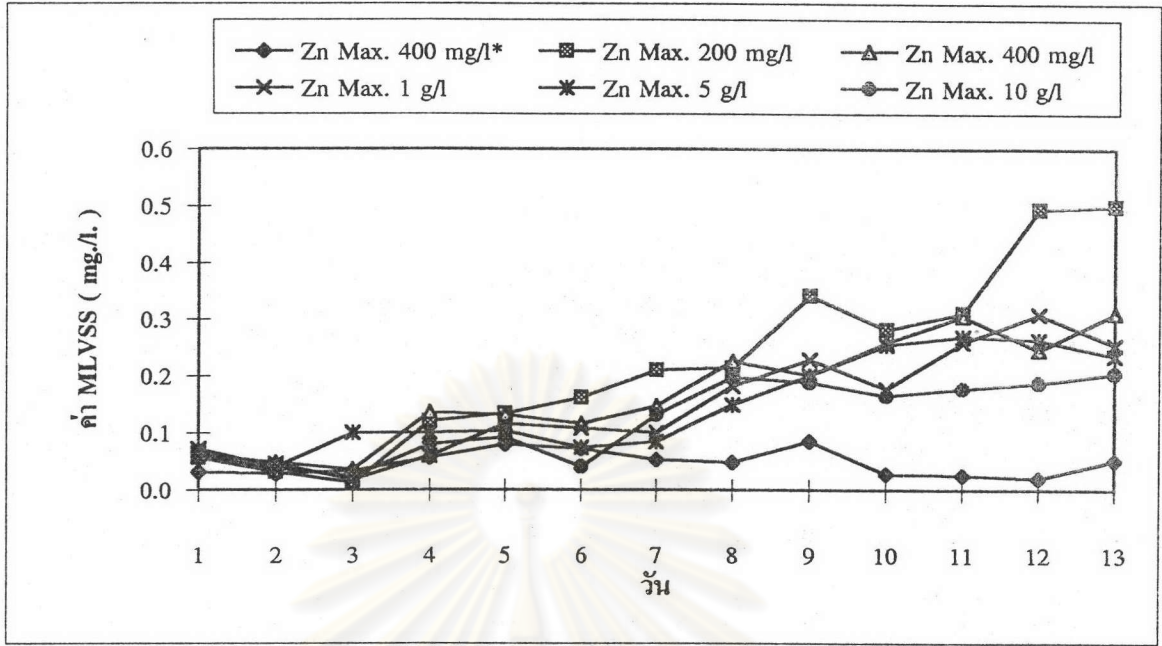
รูปที่ 5.32 เปรียบเทียบค่า ORP ระหว่าง การทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( จุดที่ 1 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( จุดที่ 3 ) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 1 ก./ล.



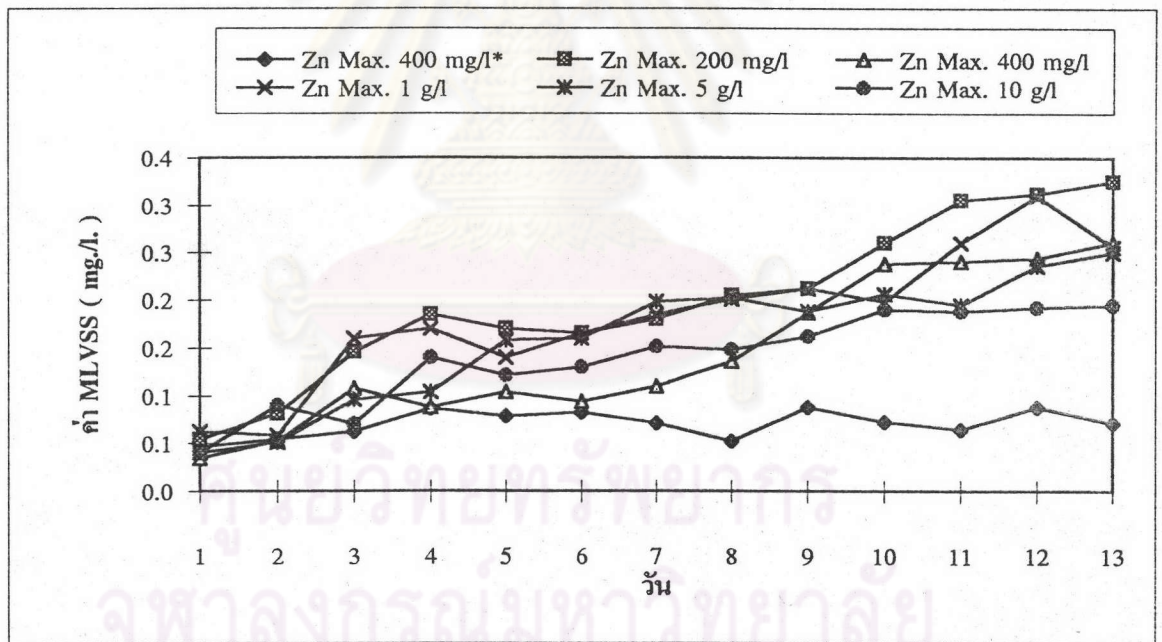
รูปที่ 5.33 เปรียบเทียบค่า ORP ระหว่าง การทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( จุดที่ 1 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( จุดที่ 3 ) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 5 ก./ล.



รูปที่ 5.34 เปรียบเทียบค่า ORP ระหว่าง การทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( จุดที่ 1 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( จุดที่ 3 ) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 10 ก./ล.



ชุดที่ 1

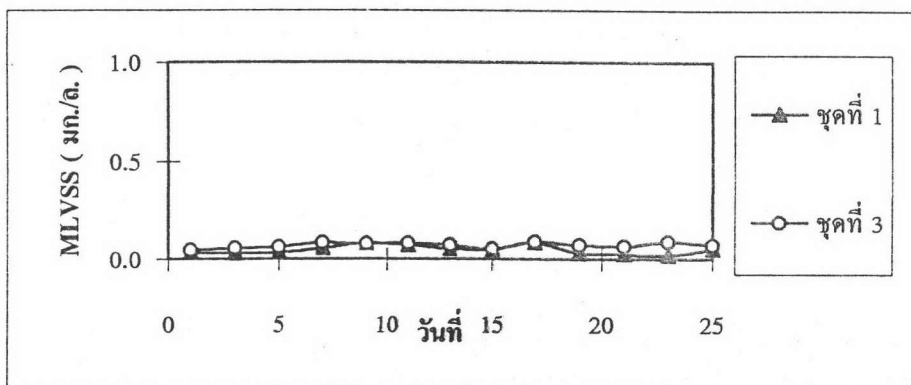


ชุดที่ 3

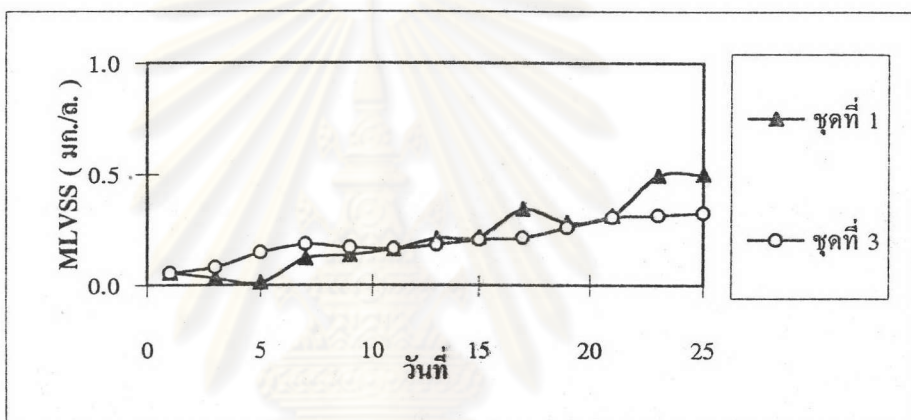
รูปที่ 5.35 แสดงค่า MLVSS ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ (ชุดที่ 1) และ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 3) ของทุกถังปฏิกรณ์

หมายเหตุ Zn. Max 400 mg/l.\* เป็นถังปฏิกรณ์ควบคุม

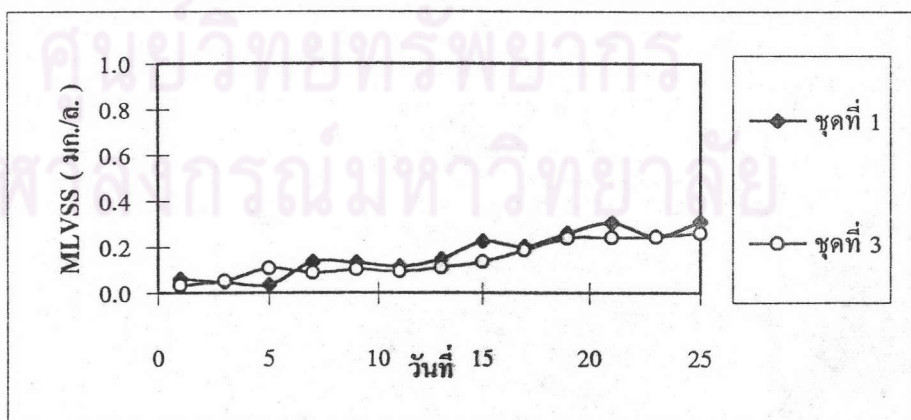




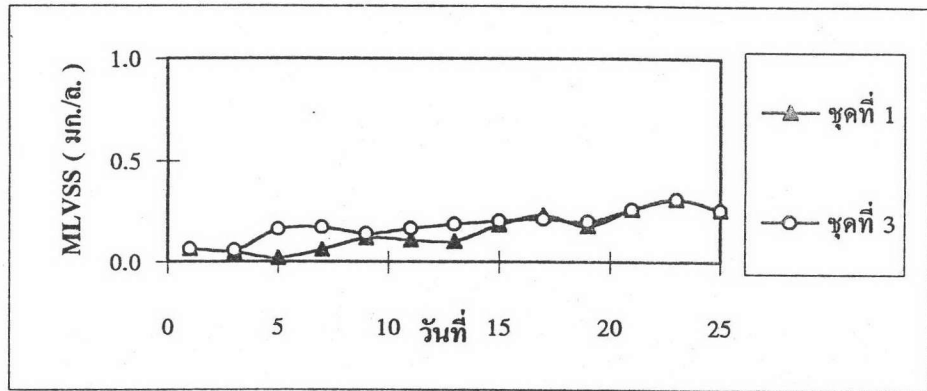
รูปที่ 5.36 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( ชุดที่ 1 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( ชุดที่ 3 ) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 400 มก./ล. ของถังปฏิกรณ์ควบคุม



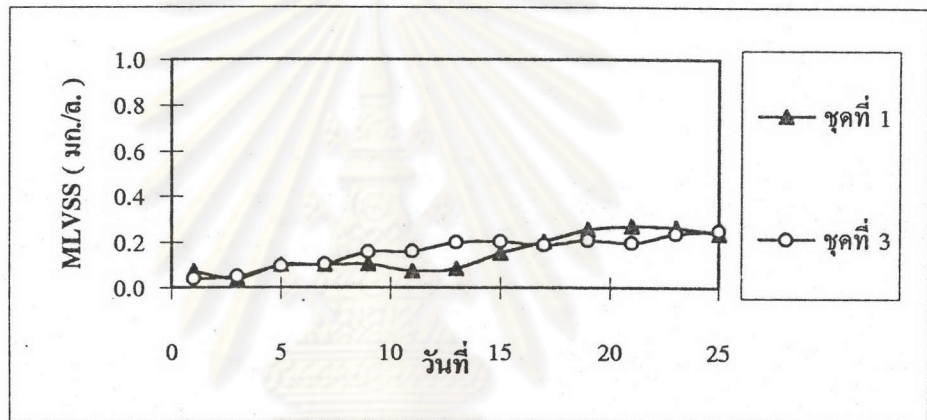
รูปที่ 5.37 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( ชุดที่ 1 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( ชุดที่ 3 ) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 200 มก./ล.



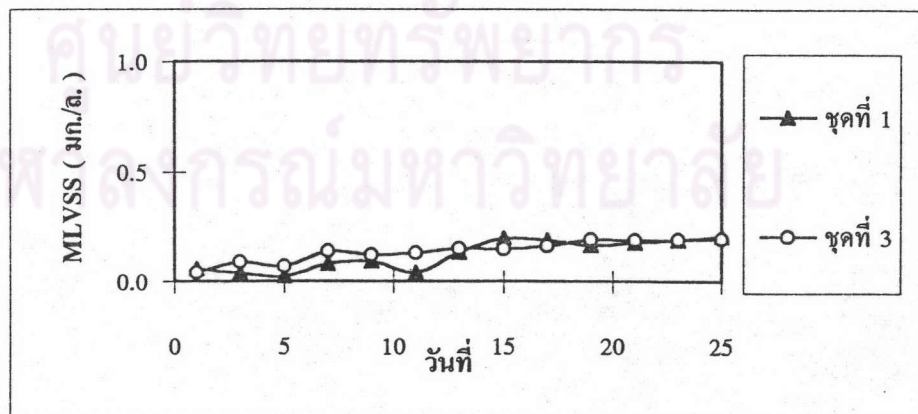
รูปที่ 5.38 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( ชุดที่ 1 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( ชุดที่ 3 ) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 400 มก./ล.



รูปที่ 5.39 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ (ชุดที่ 1) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 1 ก./ล.



รูปที่ 5.40 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ (ชุดที่ 1) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 5 ก./ล.



รูปที่ 5.41 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ (ชุดที่ 1) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 10 ก./ล.



## ผลการลิขซึ่งแร่สังกะสีซัลไฟด์โดยใช้ตัวแปรเป็นค่าพีเอช

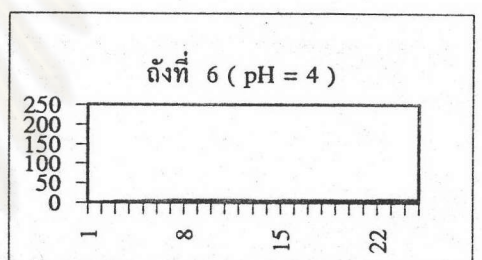
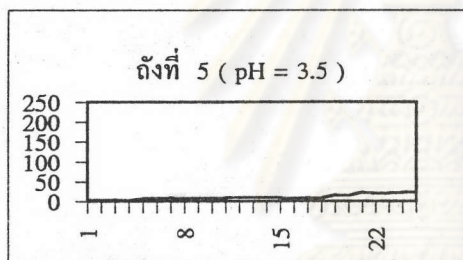
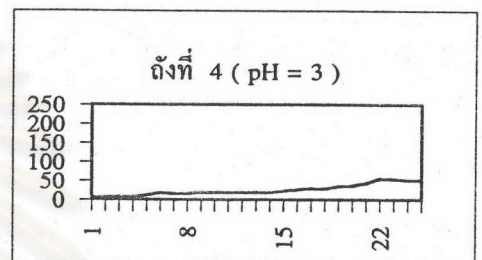
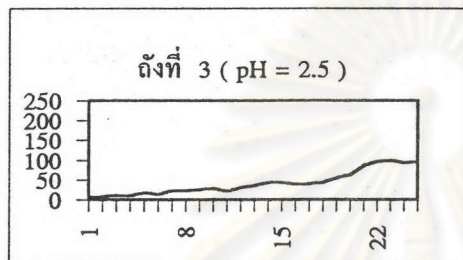
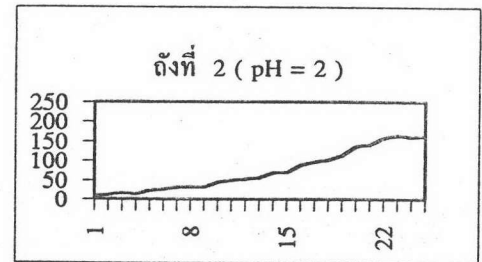
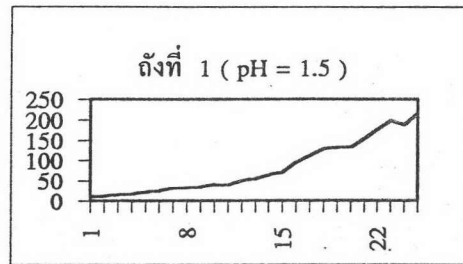
การทดลองชุดที่ 2 และ 4 คือการเลี้ยง *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ไม่ผ่านและผ่านการไลโอไฟไลซ์ ตามลำดับ ในถังปฏิกรณ์ไบโอที่ 1 ถึงไบโอที่ 6 โดยใช้ตัวแปรเป็น ค่าพีเอชหลายค่า ได้แก่ 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, และ 4 ตามลำดับของถังปฏิกรณ์ ใช้ค่าสังกะสีละลายสูงสุดเป็น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองที่ 1 และ 3 รวมทั้งปัจจัยอื่นๆ เหมือนกัน ทุกถังปฏิกรณ์ และใช้  $\text{NaHCO}_3$  และ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ในการ ปรับค่าพีเอชให้สม่ำเสมอตลอดการทดลอง

จากผลการทดลองทั้งสองชุดดังตารางที่ 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, 5.14, และ 5.15 ในภาคผนวก ก. และ รูปที่ 5.42, 5.43, 5.44, 5.45, 5.46 และ 5.47 โดยรวมพบว่า ปริมาณสังกะสีที่ละลายออกมาเนื่องจาก การลิขซึ่งของแบคทีเรีย มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ค่าพีเอชมีแนวโน้มจะลดลง ต้องปรับให้เป็นค่าพีเอชที่กำหนด ด้วย  $\text{NaHCO}_3$  อย่างสม่ำเสมอ ค่า ORP ของทุกถังปฏิกรณ์ ของทั้งสองชุดการทดลอง มีค่าสูง และ ก่อนข้างสม่ำเสมอ แสดงถึงอัตราการทำงานของแบคทีเรียที่ค่อนข้างคงที่ ค่า MLVSS ของทั้งสองชุดการทดลอง มีแนวโน้มในการเพิ่มขึ้น จากวันแรกของการทดลอง แสดงให้เห็นว่ามีการเติบโตของแบคทีเรียในทุกถังปฏิกรณ์ของการทดลองเมื่อเวลาผ่านไป

### 1. เปรียบเทียบผลของค่าสังกะสีละลาย ของ *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านและไม่ผ่านการไลโอไฟไลซ์

จากรูป 5.48 จะพบว่าค่าสังกะสีละลายของถังปฏิกรณ์ไบโอที่ 1 ถึง 6 ของ การทดลอง ทั้ง 2 ชุด มีแนวโน้มและได้ค่าที่คล้ายกัน และแนวโน้มของค่าสังกะสีละลายเพิ่มขึ้นเมื่อ เวลาผ่านไป

ถังปฏิกรณ์ที่ 1 และ 2 ของการทดลองทั้งสองชุด จะเป็นถังปฏิกรณ์ที่มีค่าสังกะสีละลายสูงกว่าถังอื่น ๆ ดังรูปที่ 5.48 โดยมีค่าใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 5.49 และ 5.50 ตามลำดับ แสดงว่าพีเอชที่เหมาะสมกับการลิขซึ่งของแบคทีเรีย ในการ ทดลองทั้งสองชุดนี้ คือ 1.5 ถึง 2 ตามค่าพีเอชที่กำหนด ในถังปฏิกรณ์ทั้งสองนั่นเอง โดยถังปฏิกรณ์ไบโอที่ 1 ของการทดลองชุดที่ 2 จะได้ค่าสังกะสีละลาย คิดเป็น 53.8 เปอร์เซ็นต์ของค่าสังกะสีในแร่ และการทดลองชุดที่ 4 จะได้ค่าสังกะสีละลายคิดเป็น 50.9 เปอร์เซ็นต์ของค่าสังกะสีในแร่ในวันสุดท้ายของการทดลองเช่นกัน ดังตารางที่ 5.18 และ 5.19 และ รูปที่ 5.72 และ 5.73 ในภาคผนวก จ. จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาค่า MLVSS พบว่าที่ ค่าพีเอช 2.5 จะมีการเติบโตของ *Thiobacillus ferrooxidans* ได้ดีที่สุด ดังนั้น ผลของค่าสังกะสีละลายที่ ค่าพีเอชเป็น 1.5 ถึง 2 นั้น จึงอาจจะเป็น ผลการสกัดสังกะสีออกจากแร่ โดยมี ปฏิกริยาเคมีเข้ามาช่วยการสกัดของแบคทีเรีย โดยปฏิกริยาเคมีที่เกิดขึ้น คือการละลายสังกะสีออกจากแร่สังกะสีซัลไฟด์ โดย กรดซัลฟิวริก ดังสมการที่ 5.2

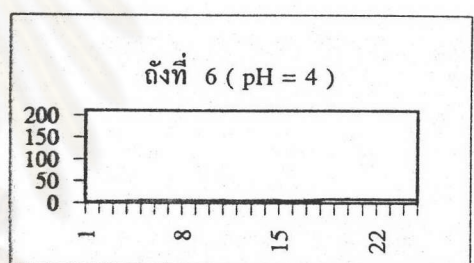
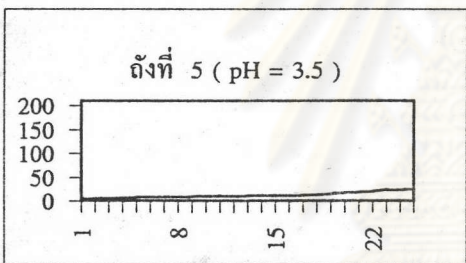
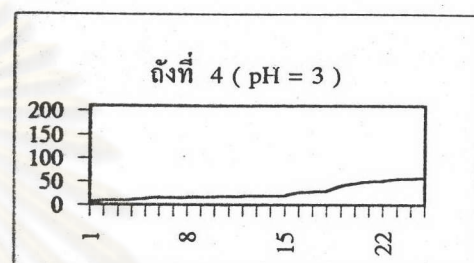
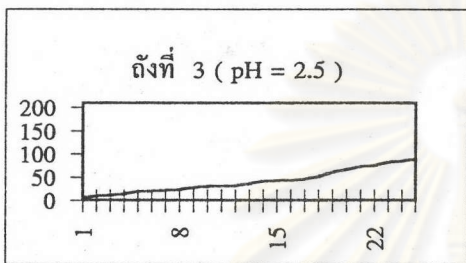
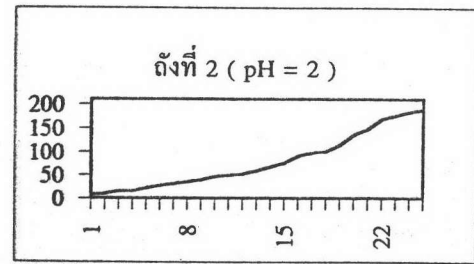
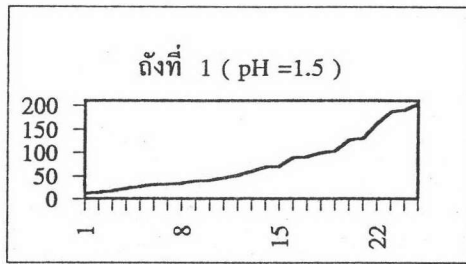


แกนตั้งแสดง : ค่าสังกะสีละลาย (มก./ล.) , แกนนอนแสดง : วันที่

รูปที่ 5.42 ปริมาณสังกะสีละลาย ของการทดลองชุดที่ 2 โดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟล์ซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

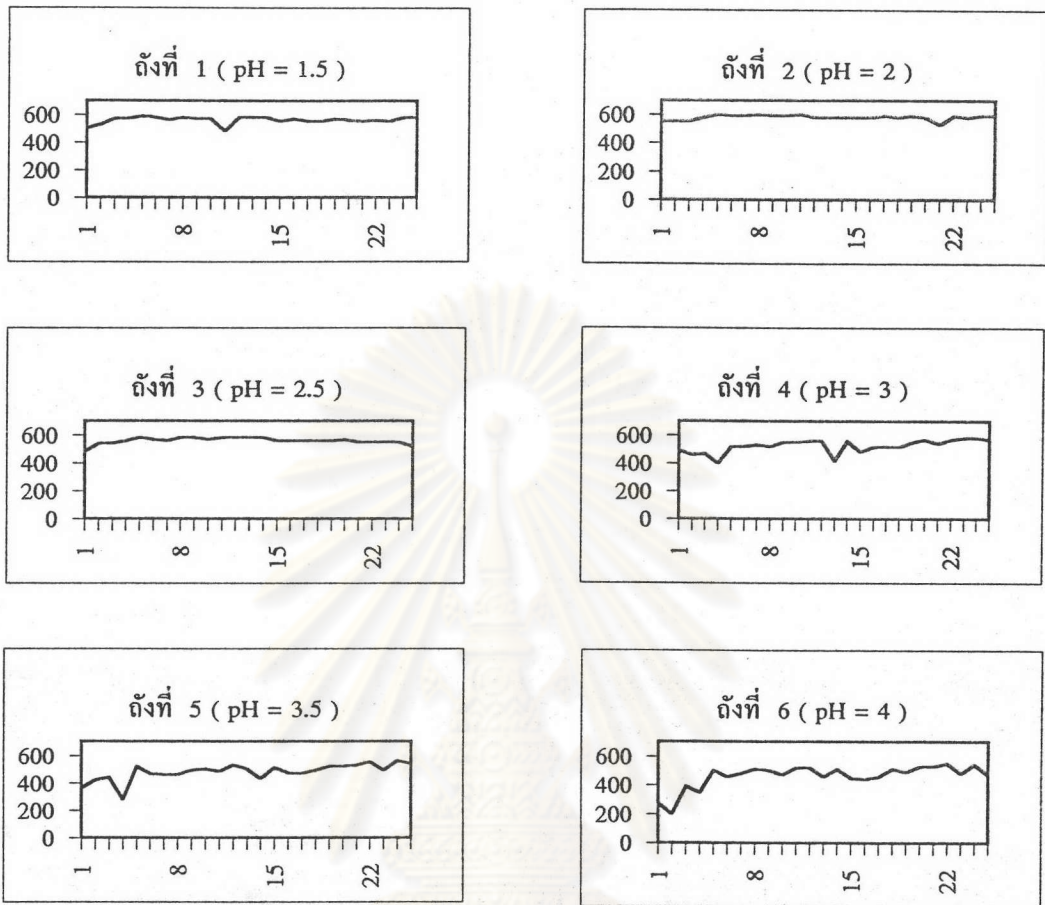




แกนตั้งแสดง : ค่าสังกะสีละลาย (มก./ล.) , แกนนอนแสดง : วันที่

รูปที่ 5.43 ปริมาณสังกะสีละลาย ของการทดลองชุดที่ 4 โดย *Thiobacillus ferrooxidans*

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

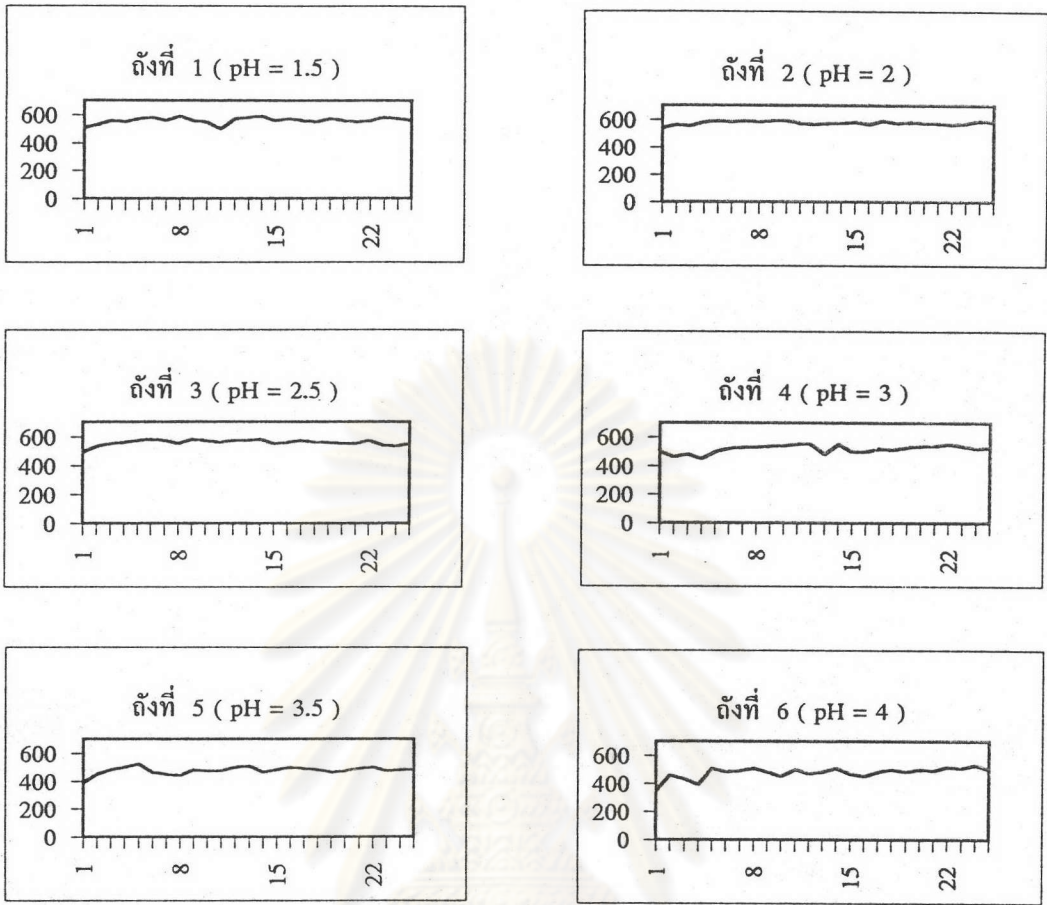


แกนตั้งแสดง : ค่า ORP (mV) , แกนนอนแสดง : วันที่

รูปที่ 5.44 ค่า ORP ของทุกถังปฏิกิริยาในการทดลองชุดที่ 2 โดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

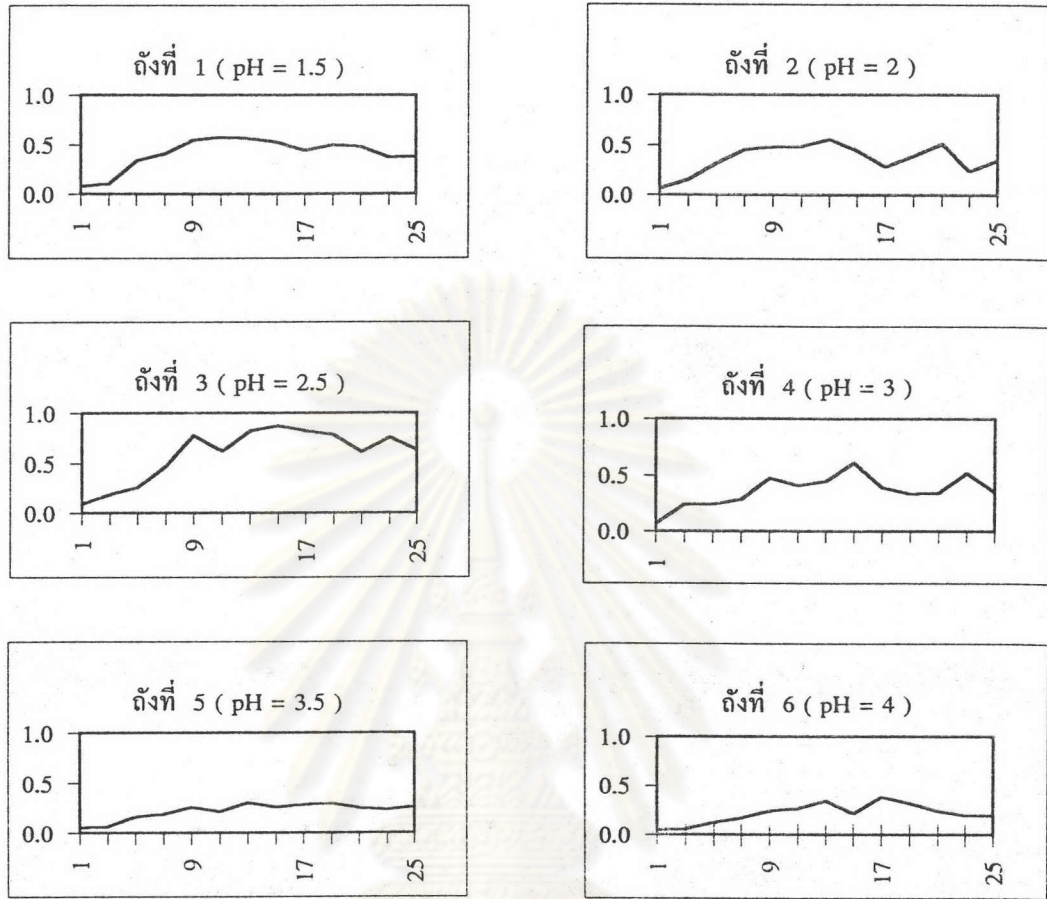




แกนตั้งแสดง : ค่า ORP (mV), แกนนอนแสดง : วันที่

รูปที่ 5.45 ค่า ORP ของทุกถังปฏิกิริยาในการทดลองชุดที่ 4 โดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

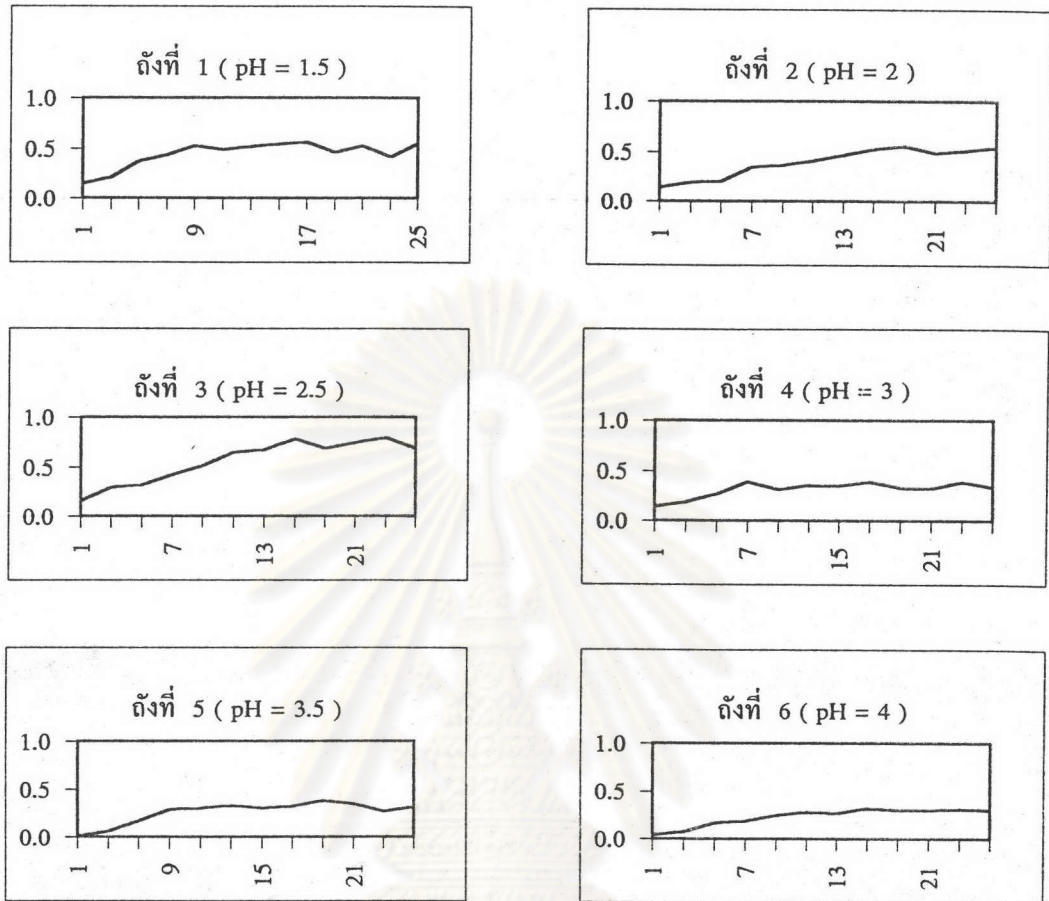


แกนตั้งแสดง : ค่า MLVSS (มก./ล.) , แกนนอนแสดง : วันที่

รูปที่ 5.46 ค่า MLVSS ของทุกถังปฏิบัติการในการทดลองชุดที่ 2 โดย *Thiobacillus ferrooxidans*

ศูนย์วิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

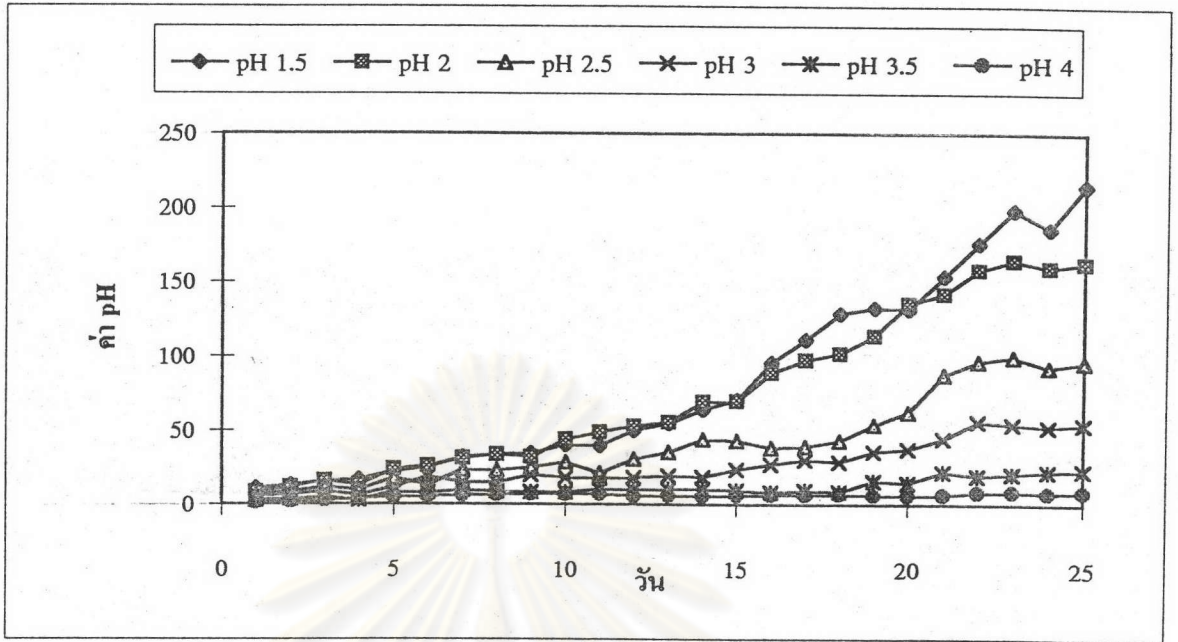




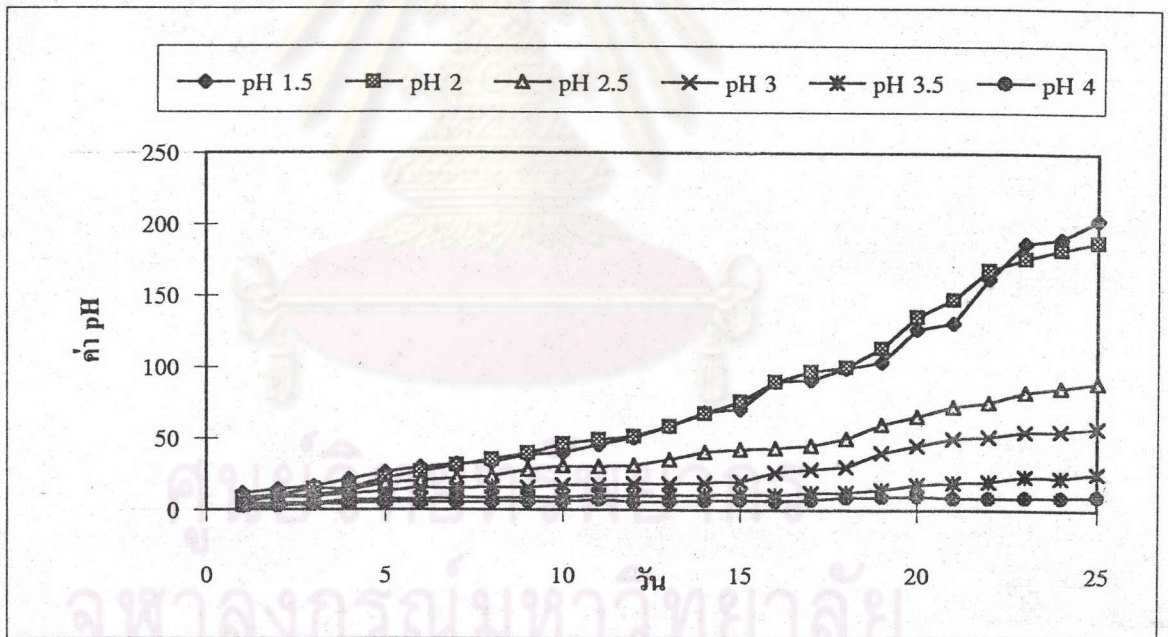
แกนตั้งแสดง : ค่า MLVSS (มก./ล.) , แกนนอนแสดง : วันที่

รูปที่ 5.47 ค่า MLVSS ของทุกถังปฏิกรณ์ในการทดลองชุดที่ 4 โดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์

ศูนย์สัตวศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



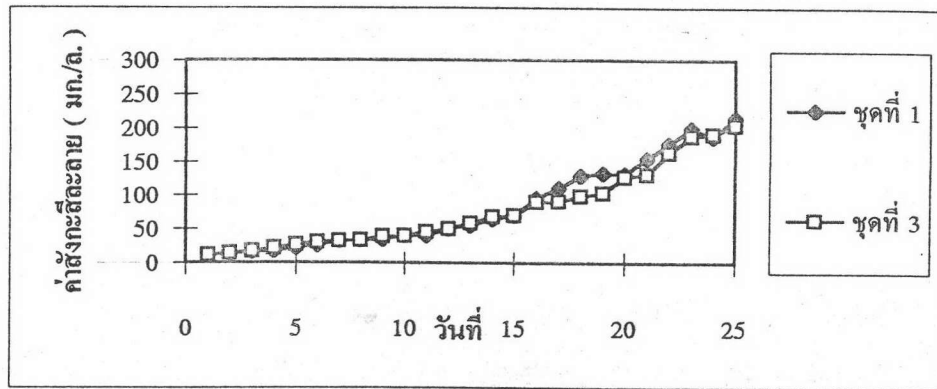
ชุดที่ 2



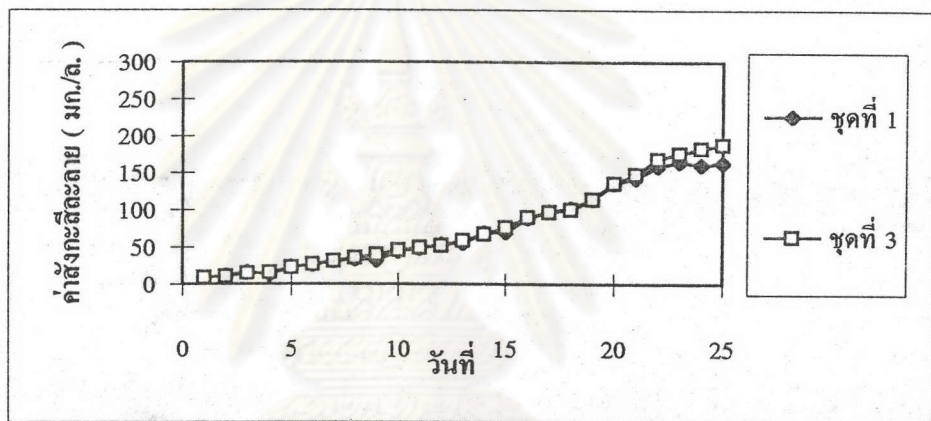
ชุดที่ 4

รูปที่ 5.48 แสดงปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟล์ซ์ (ชุดที่ 2) และ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 4) ของทุกถังปฏิกรณ์

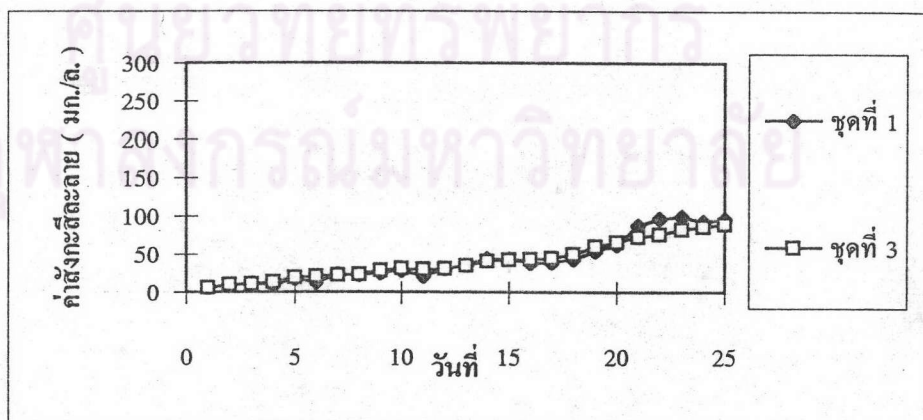




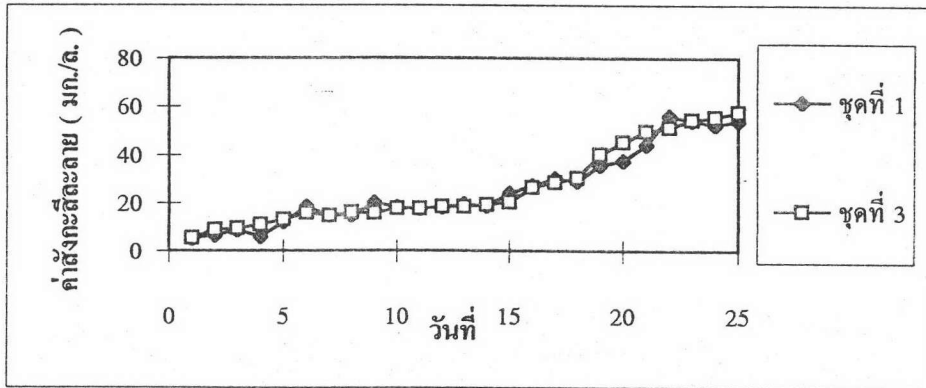
รูปที่ 5.49 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ (ชุดที่ 2) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 4) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 1.5



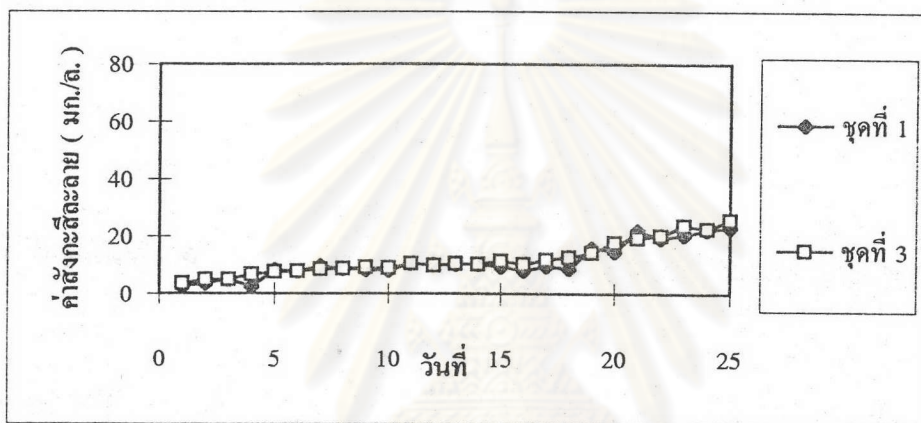
รูปที่ 5.50 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ (ชุดที่ 2) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 4) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 2



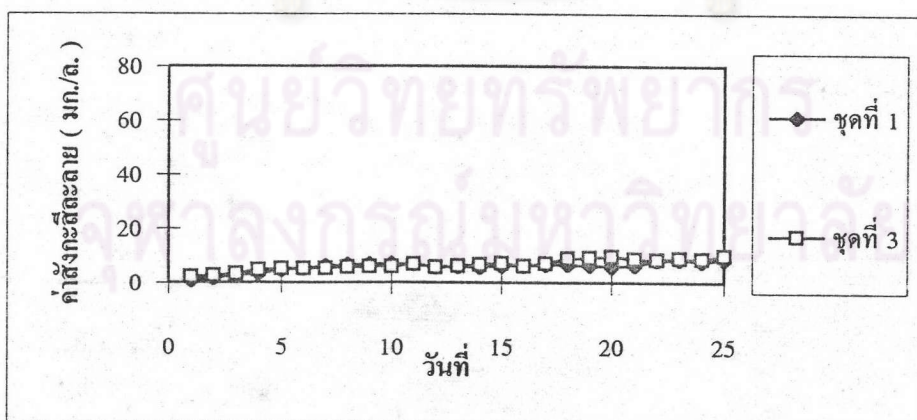
รูปที่ 5.51 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ (ชุดที่ 2) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 4) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 2.5



รูปที่ 5.52 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ (ชุดที่ 2) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 4) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 3

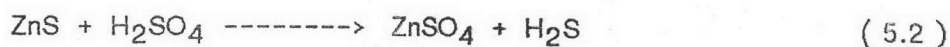


รูปที่ 5.53 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ (ชุดที่ 2) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 4) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 3.5



รูปที่ 5.54 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ (ชุดที่ 2) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 4) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 4





ถึงปฏิกรณ์ ที่ 3 และ 4 ของทั้งสองชุดการทดลอง จะให้แนวโน้มค่าสังกะสีละลายที่ดีพอใช้ คล้ายกัน ดังรูปที่ 5.51 และ 5.52 เส้นกราฟที่ได้จะมีค่าความชันค่อนข้างน้อยและสม่ำเสมอ แสดงถึงการลิซซิ่งที่เกิดขึ้น เป็นไปได้ช้าและสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตาม การที่ค่าสังกะสีละลายจากถึงปฏิกรณ์ที่ 3 สูงกว่า ค่าสังกะสีละลายจากถึงปฏิกรณ์ใบที่ 4 ทั้งสองชุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าค่าพีเอช 2.5 นั้น เหมาะสมสำหรับ Thiobacillus ferrooxidans มากกว่า ค่าพีเอช 3 ของ ถึงปฏิกรณ์ที่ 4 ถึงปฏิกรณ์ที่ 5 และ 6 ของการทดลองทั้งสองชุด เป็นถึงปฏิกรณ์ที่มีค่าสังกะสี ละลายต่ำ ใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 5.53 และ 5.54 แสดงถึงการลิซซิ่งที่ไม่ดีของแบคทีเรีย เนื่องจากค่าพีเอชที่ไม่เหมาะสมสำหรับ Thiobacillus ferrooxidans

## 2. ผลของค่า ORP ในการลิซซิ่ง

จากรูปที่ 5.56, 5.57, 5.58, 5.59, 5.60 และ 5.61 ผลของค่า ORP ทุกถึงปฏิกรณ์ ของทั้งสองชุดการทดลอง มีค่าสูงและค่อนข้างสม่ำเสมอ คล้ายกัน จากรูปที่ 5.55 จะเห็นได้ว่า เส้นกราฟค่า ORP ของทุกถึงปฏิกรณ์ จะเกาะกลุ่มกัน แสดงถึง การทำงานของแบคทีเรีย เป็นไปด้วยดีและสม่ำเสมอ คล้ายกันทุกถึงปฏิกรณ์

ถึงปฏิกรณ์ที่ 5 และ 6 ซึ่งให้ค่าสังกะสีละลายต่ำกว่าถึงปฏิกรณ์อื่น ๆ นั้นมีค่า ORP ที่ไม่ค่อนงที่ เมื่อเปรียบเทียบกับถึงปฏิกรณ์อื่น ๆ และ จากการทดลองพบว่า เมื่อเกิดการตกตะกอนของ jarosite ค่า ORP ของสารละลายจะมีค่าเกิน 500 mV เป็นจริง ตามทฤษฎี

## 3. ผลของค่า MLVSS ในการลิซซิ่ง

จากรูปที่ 5.63, 5.64, 5.65, 5.66, 5.67 และ 5.68 พบว่าผลของค่า MLVSS ของการทดลองชุดที่ 2 และ 4 จะมีแนวโน้มของเส้นกราฟคล้ายกันคือ ในช่วง 5 วันแรกของการทดลอง ค่า MLVSS มีค่าน้อย และค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป แสดงถึงมีการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในถึงปฏิกรณ์ทุกใบนั่นเอง

ผลของค่า MLVSS ของถึงปฏิกรณ์ทุกใบของการทดลองทั้งสองชุดนี้ จะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังจะเห็นได้จากเส้นกราฟที่ได้ จะเกาะกลุ่มกัน โดยเฉพาะถึงปฏิกรณ์ที่ 1 และ 2 จะมีแนวของเส้นกราฟที่ใกล้เคียงกันมาก ดังรูปที่ 5.62 ซึ่งเป็นกลุ่มถึงปฏิกรณ์ที่ให้ค่าสังกะสีละลายที่ดีเช่นกัน ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 ซึ่งควบคุมค่า พีเอชที่ 2.5 จะได้ค่า MLVSS สูงสุด ดังรูปที่ 5.62 แสดงให้ทราบว่า ค่าพีเอช 2.5 เป็นสภาวะที่เหมาะสมกับการเติบโตของ Thiobacillus ferrooxidans มากที่สุด

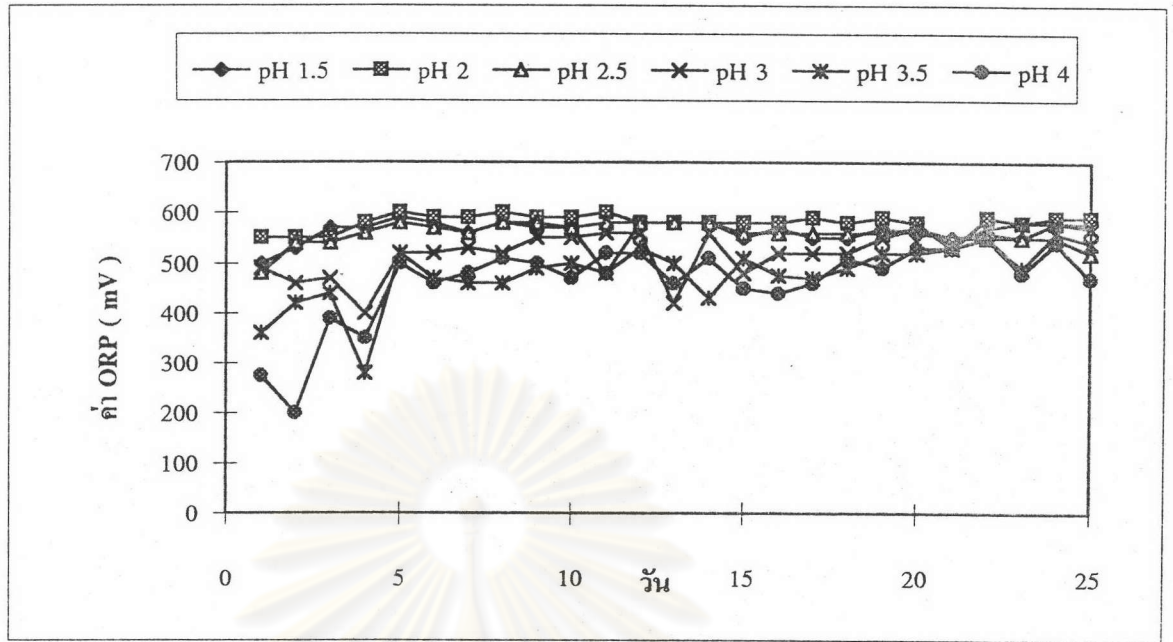
ส่วนถึงปฏิกิริยาที่ 5 และ 6 มีเส้นกราฟที่ต่ำกว่าถึงอื่น ๆ แสดงถึงการเติบโตของแบคทีเรีย ในถึงปฏิกิริยาดังกล่าว เป็นไปได้ไม่ดี ซึ่งสอดคล้องกับ ผลของค่าสัมประสิทธิ์ละลายจากถึงปฏิกิริยาที่ 5 และ 6 ที่ไม่ค่อยดีนัก

จากการทดลองทุกชุดพบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลอง แร่สังกะสีซัลไฟด์ ซึ่งเดิมเป็นสีเทา จะเปลี่ยนเป็นสีส้มแดงของตะกอน jarosite ซึ่งมาเคลือบไว้ ดังรูป 5.69

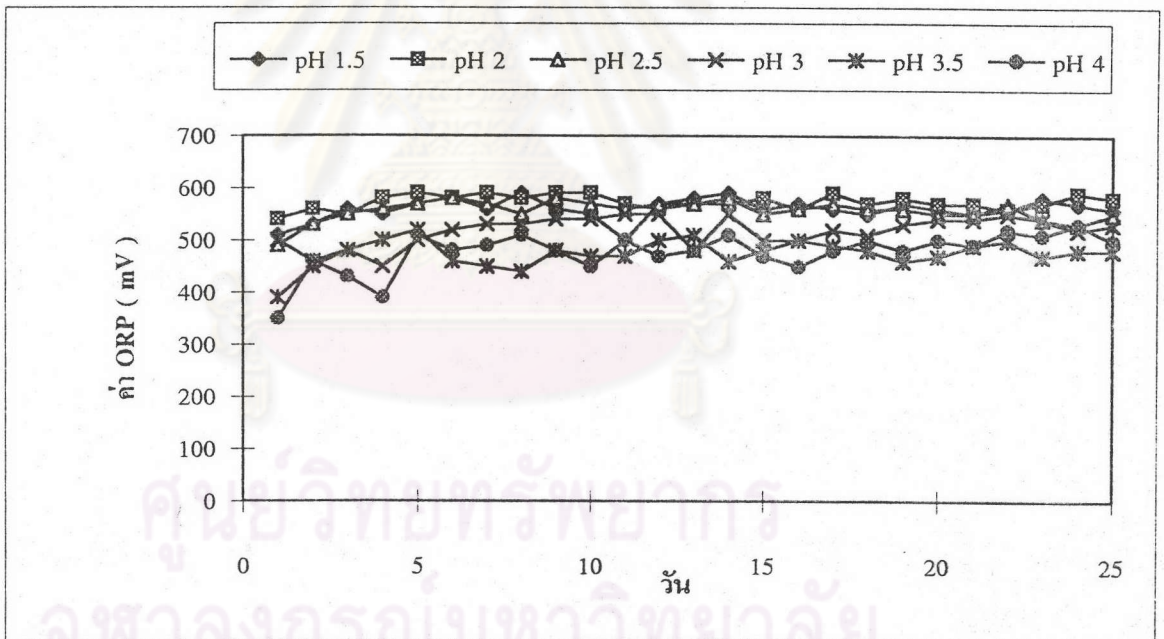


ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



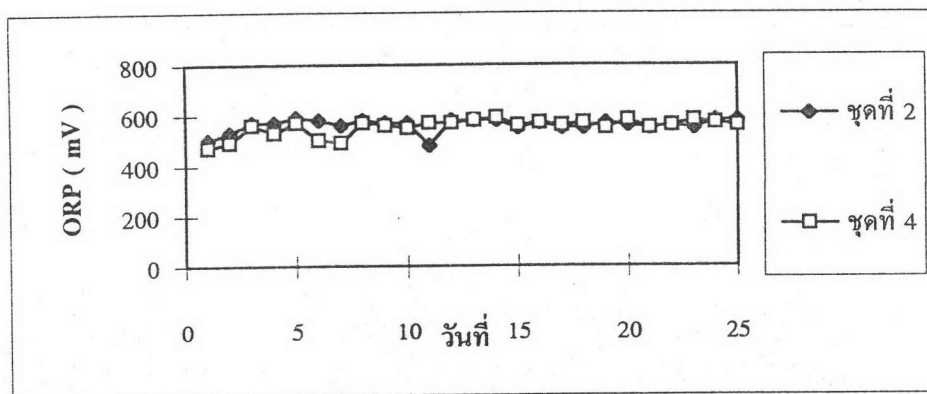


ชุดที่ 2

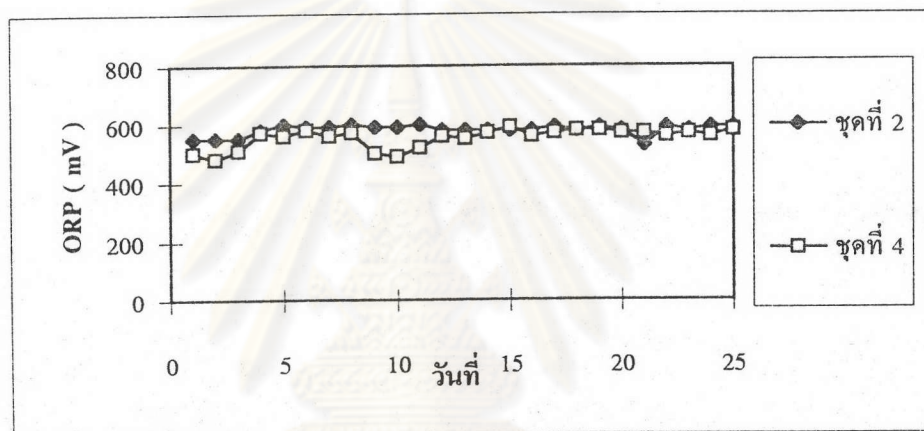


ชุดที่ 4

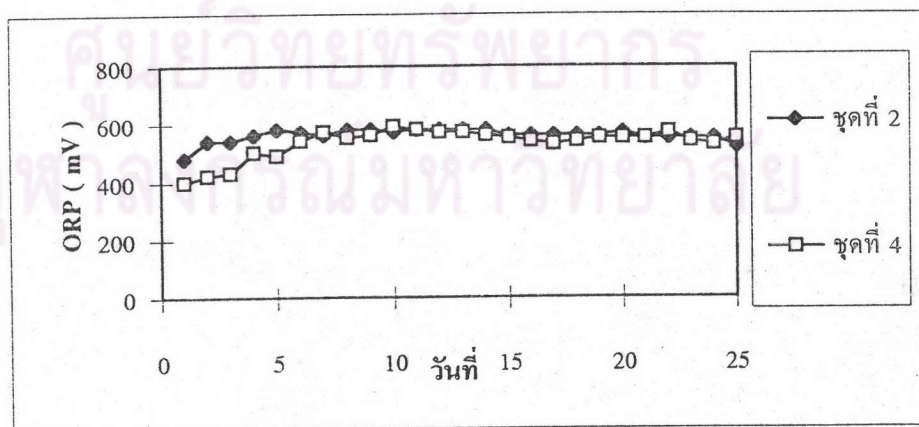
รูปที่ 5.55 แสดงค่า ORP ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ (ชุดที่ 2) และ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 4) ของทุกถังปฏิกรณ์



รูปที่ 5.56 เปรียบเทียบค่า ORP ระหว่าง การทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( ชุดที่ 2 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( ชุดที่ 4 ) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 1.5

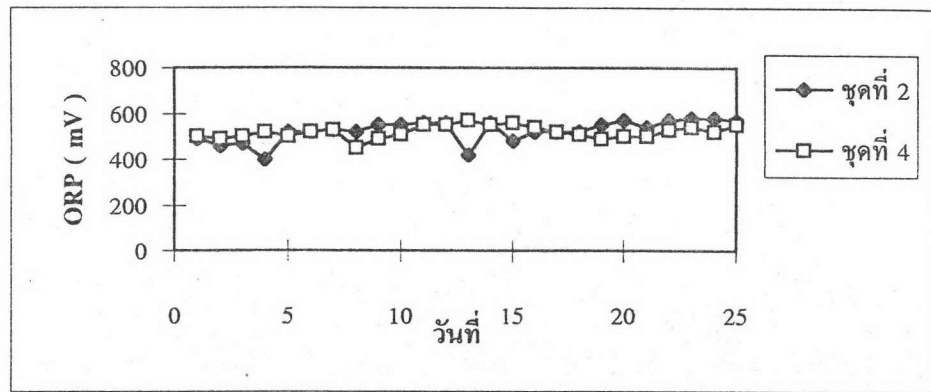


รูปที่ 5.57 เปรียบเทียบค่า ORP ระหว่าง การทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( ชุดที่ 2 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( ชุดที่ 4 ) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 2

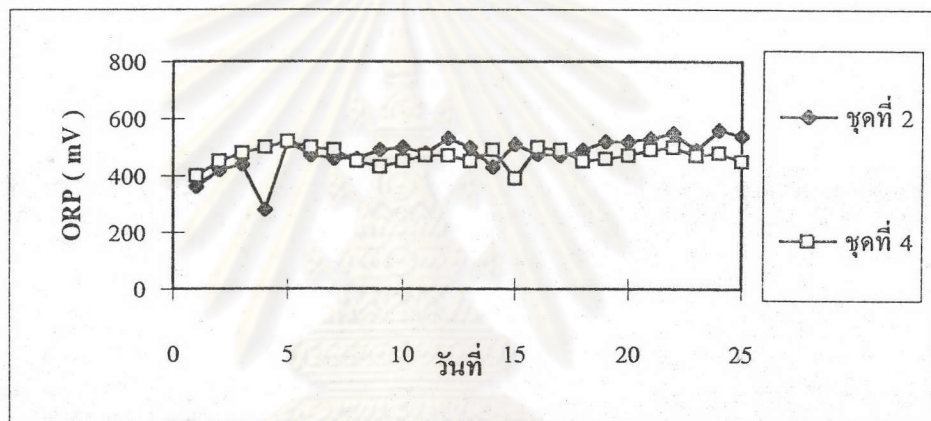


รูปที่ 5.58 เปรียบเทียบค่า ORP ระหว่าง การทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( ชุดที่ 2 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( ชุดที่ 4 ) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 2.5

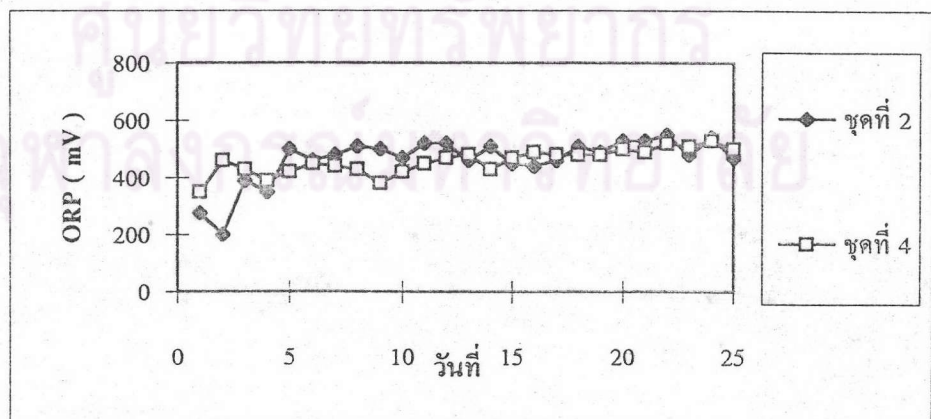




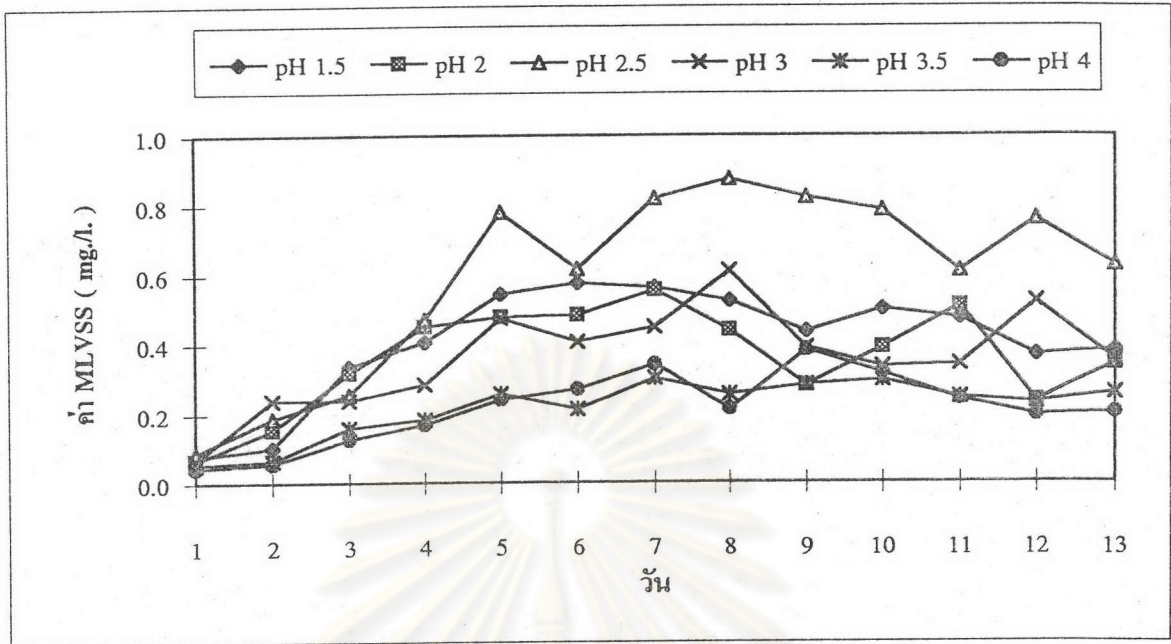
รูปที่ 5.59 เปรียบเทียบค่า ORP ระหว่าง การทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( ชุดที่ 2 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( ชุดที่ 4 ) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 3



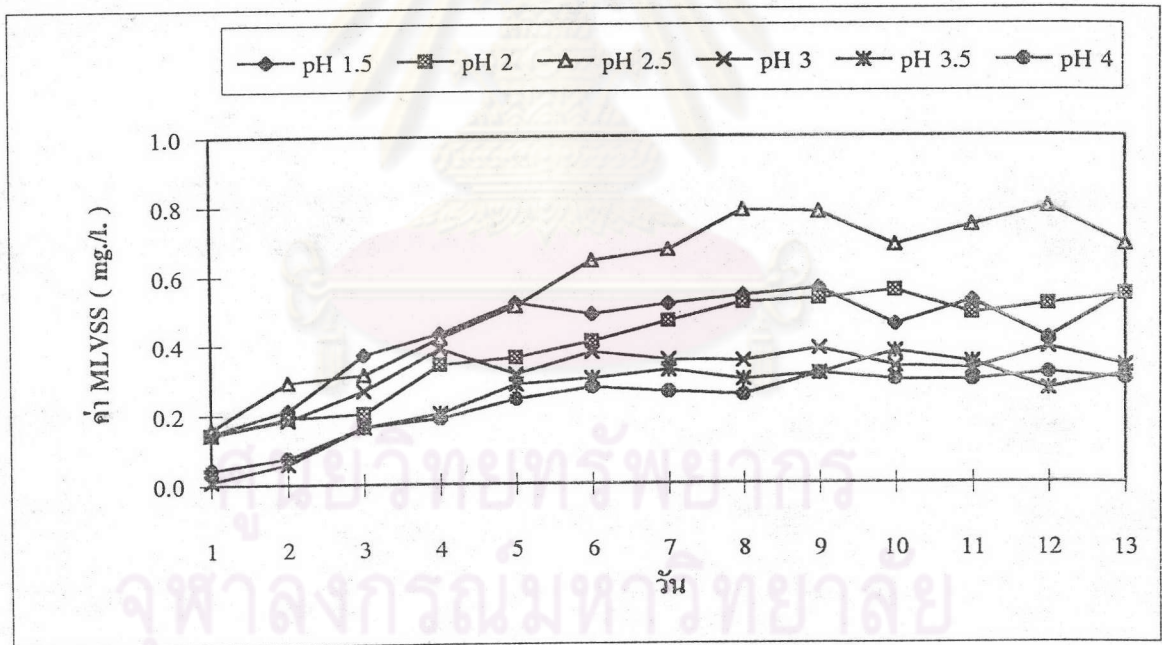
รูปที่ 5.60 เปรียบเทียบค่า ORP ระหว่าง การทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( ชุดที่ 2 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( ชุดที่ 4 ) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 3.5



รูปที่ 5.61 เปรียบเทียบค่า ORP ระหว่าง การทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( ชุดที่ 2 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( ชุดที่ 4 ) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 4

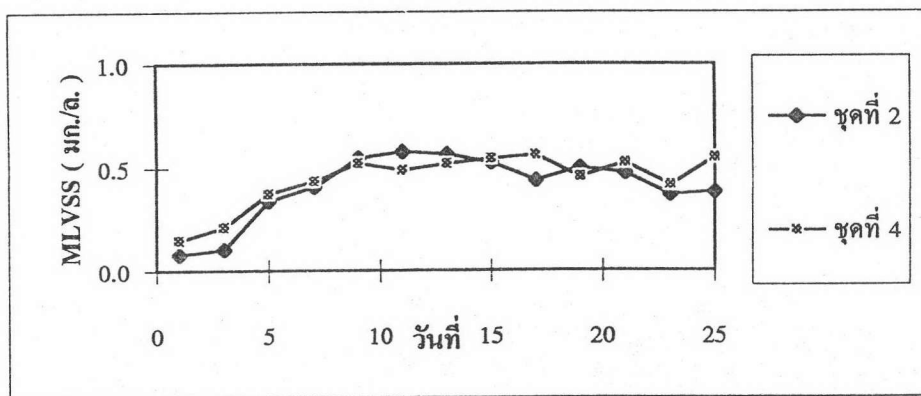


ชุดที่ 2

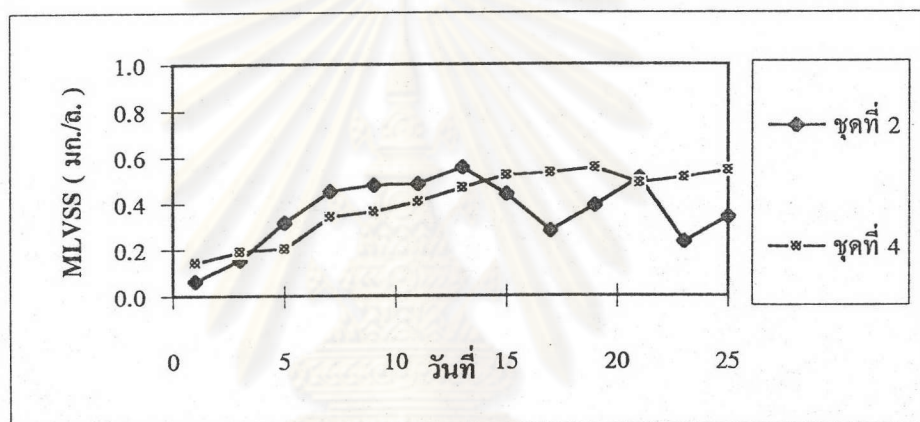


ชุดที่ 4

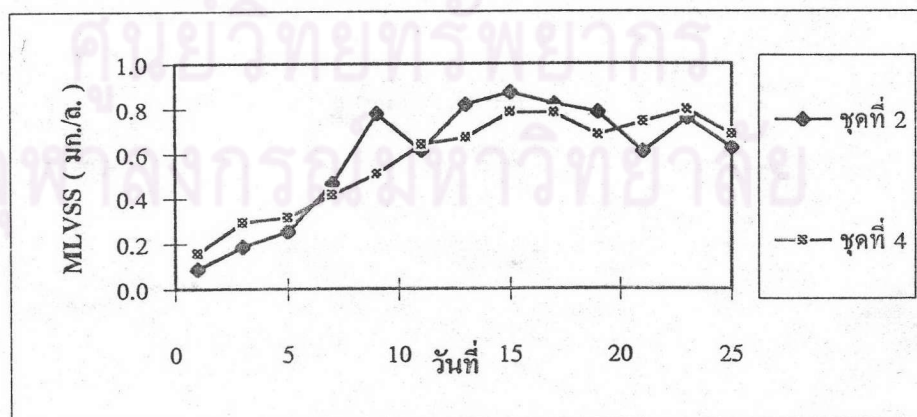
รูปที่ 5.62 แสดงค่า MLVSS ระหว่างการทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ (ชุดที่ 2) และ *Thiobacillus ferrooxidans* (ชุดที่ 4) ของทุกถังปฏิกรณ์



รูปที่ 5.63 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่าง การทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( ชุดที่ 2 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( ชุดที่ 4 ) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 1.5

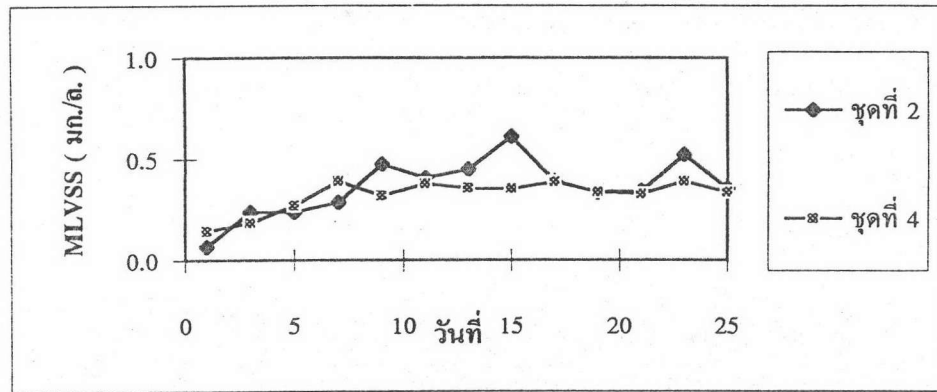


รูปที่ 5.64 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่าง การทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( ชุดที่ 2 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( ชุดที่ 4 ) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 2

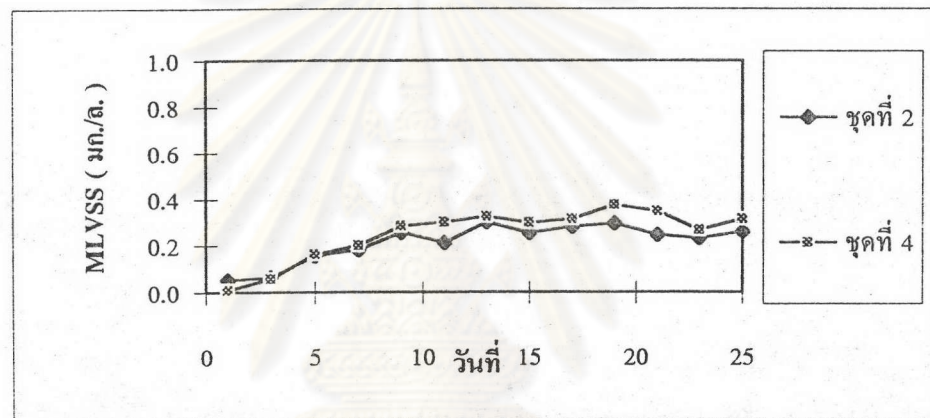


รูปที่ 5.65 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่าง การทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( ชุดที่ 2 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( ชุดที่ 4 ) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 2.5

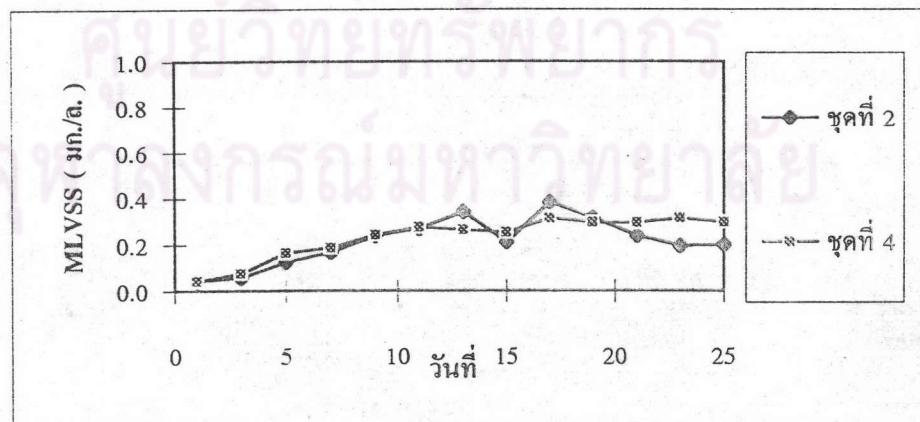




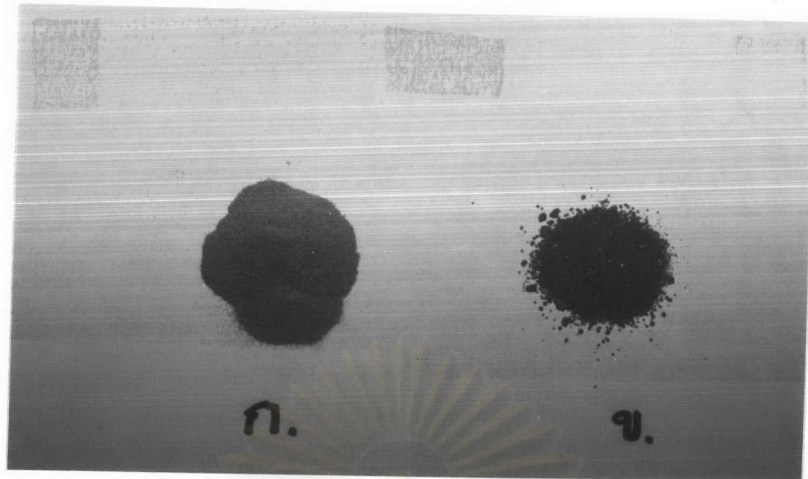
รูปที่ 5.66 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่าง การทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( ชุดที่ 2 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( ชุดที่ 4 ) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 3



รูปที่ 5.67 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่าง การทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( ชุดที่ 2 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( ชุดที่ 4 ) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 3.5



รูปที่ 5.68 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่าง การทดลองโดย *Thiobacillus ferrooxidans* ที่ผ่านการไลโอไฟไลซ์ ( ชุดที่ 2 ) กับ *Thiobacillus ferrooxidans* ( ชุดที่ 4 ) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 4



รูปที่ 5.69 แสดงสังกะสีซัลไฟด์ ก่อนการทดลอง ( ก ) และหลังทดลอง ( ข )

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย