



บทที่ 4

การรายงานผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองนี้แบ่งออกเป็น 4 การทดลอง คือ ช่วงเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ การทดลอง ชุดที่ 1, 2 และ 3 ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองแต่ละการทดลองเท่ากับ 40, 44, 40 และ 56 วันตามลำดับ โดยเริ่มการทดลอง วันที่ 20 สิงหาคม 2527 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 180 วัน

4.1 การเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์

เนื่องจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลาย เปลี่ยนไปเป็นพลังงานในรูปของก๊าซมีเทน และมีเพียงส่วนน้อย เท่านั้นที่จะถูกนำไปสร้างเซลล์ ของจุลินทรีย์ตัวใหม่ ดังนั้นจึงทำให้การเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ในกระบวนการเป็นไปอย่างล่าช้า สำหรับตั้งปฏิกิริยาขึ้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น จะต้องเลี้ยงจุลินทรีย์ให้มีปริมาณมาก แข็งแรง และสามารถตกตะกอนได้ดี Zeeuw และ Lettinga (56) ได้แนะนำว่าการเริ่ม เลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ในตั้งปฏิกิริยาขึ้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น ควรใช้เกลืออะซิเตท ป้อนเป็นน้ำเสีย จะทำให้มีเทนแบคทีเรียเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการลดระยะเวลาในการ เริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ นอกจากนี้ Lettinga และผู้ร่วมงาน (21, 56) ได้แนะนำให้ใส่แคลเซียม อีออน (Ca^{2+}) ลงในน้ำเสียที่ป้อนเข้าตั้งปฏิกิริยาในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อช่วยให้ตะกอนจุลินทรีย์ ตกตะกอนได้ดี

ในการทดลองครั้งนี้ใช้ตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมักแบบใช้อากาศ (aerated digester tank) จากระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัท กรีนลูปอด (ประเทศไทย) จำกัด เป็นเชื้อ (seed) ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (suspended solids) เท่ากับ 30,640 มก./ล. และมีปริมาณความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยโวลาทิล (volatile suspended solids) เท่ากับ 14,309 มก./ล. หรือเป็นร้อยละ 46.7 ของปริมาณความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย โดย ใส้เข้าทางด้านบนของตั้งปฏิกิริยาจนเต็มตั้งปฏิกิริยา แล้วปิดฝาตั้งปฏิกิริยาให้แน่นป้องกันมิให้ อากาศเข้าสู่ตั้งปฏิกิริยาได้ เมื่อทิ้งเอาไว้ 4 วัน จะเกิดก๊าซชีวภาพประมาณ 2.0 ลิตร/วัน

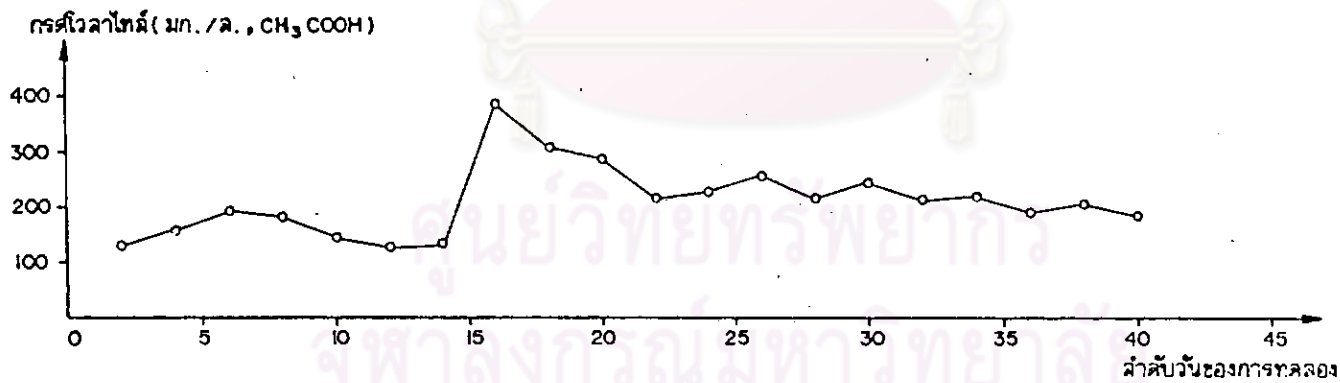
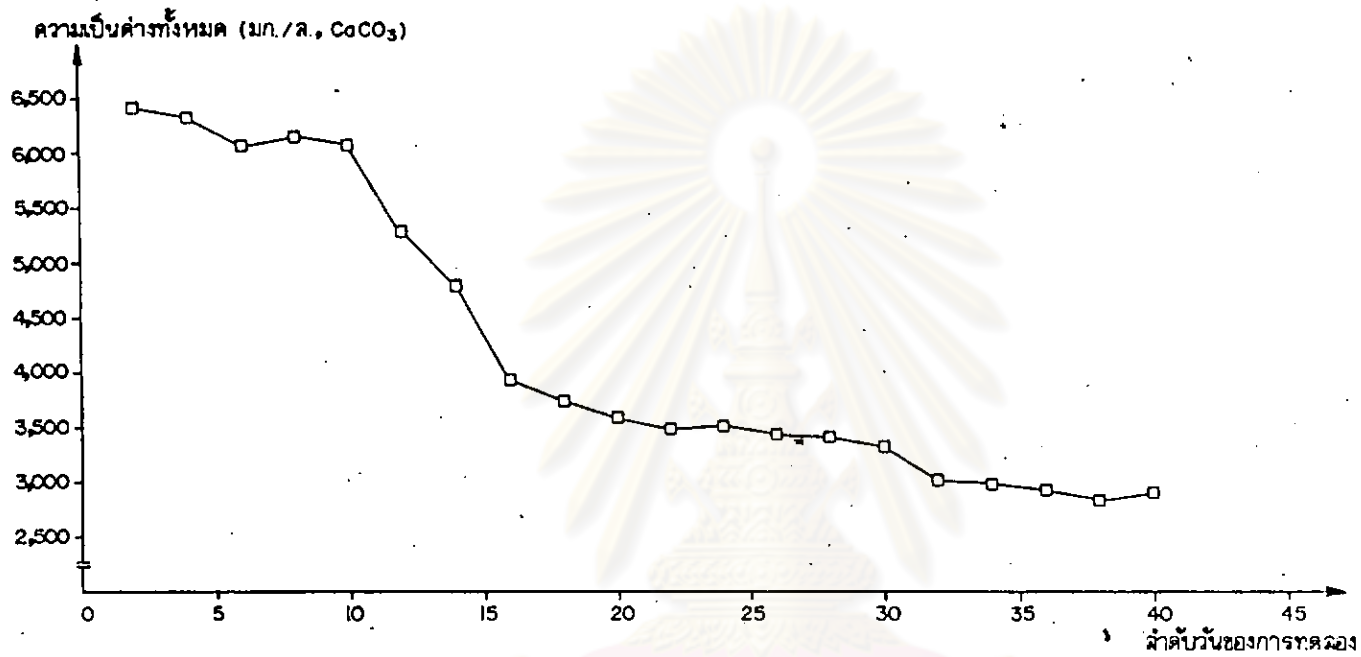
จากนั้นเริ่มทำการเลี้ยงจุลินทรีย์ โดยแบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 น้ำเลี้ยงที่ใช้เป็นน้ำเลี้ยงสังเคราะห์ ซึ่งได้จากกรดอะซิติกเสื่อจาก 0.01% แล้วปรับสภาพพีเอชให้เป็น 7 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ใส่น้ำในระบบในอัตรา 50 ลิตร/วัน ใช้เวลาในช่วงนี้รวม 14 วัน ช่วงที่ 2,3 และ 4 น้ำเลี้ยงที่ใช้จะมีปริมาณความเข้มข้นของกากถั่วเหลืองแห้งอยู่ร้อยละ 0.25, 0.50 และ 0.75 ตามลำดับ และใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 100 มก./ล. เป็นสารปรับพีเอช

จากรูปที่ 4.1 แสดงค่าความเป็นต่างทั้งหมด และกรดโวลาทิลในน้ำออกของระยะเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ จะสังเกตเห็นได้ว่า ในช่วงแรกความเป็นต่างทั้งหมดจะมีค่าสูงถึง 6,000 มก./ล. ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต จากนั้นลดต่ำลงอย่างรวดเร็วจนอยู่ในระดับประมาณความเข้มข้นประมาณ 3,000 ถึง 3,500 มก./ล. (as CaCO_3) ส่วนค่ากรดโวลาทิลในน้ำออกในช่วง 14 วันแรก จะมีค่าประมาณ 150 มก./ล. (as CH_3COOH) จากนั้นในช่วงวันที่ 14 ถึง 22 กรดโวลาทิลมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของน้ำเลี้ยงและการเพิ่มภาวะบรรทุกลำอินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์ในระบบปรับตัวไม่ทัน

จากรูปที่ 4.2 แสดง ค่าซีไออดี ทั้งหมดของน้ำเข้าและน้ำออก ประสิทธิภาพการกำจัดซีไออดีของระยะเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ พบว่าถังปฏิกริยามีประสิทธิภาพการกำจัดซีไออดีทั้งหมดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 86 ลักษณะของตะกอนแขวนลอยที่หลุดออกมาจากน้ำออก ส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็กไม่ตกตะกอนทำให้น้ำออกขุ่น ปริมาณความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่หลุดออกมามีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 65 และ 150 มก./ล.

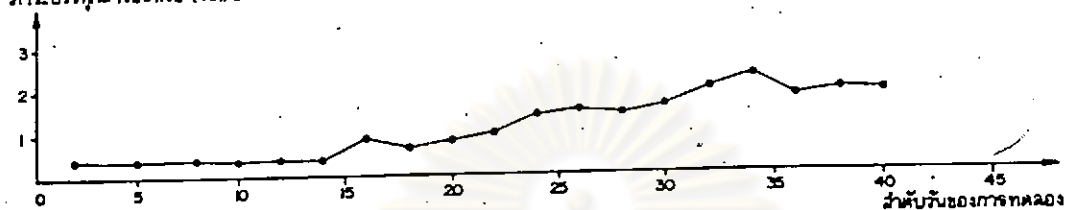
จากรูปที่ 4.3 แสดงค่าปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ออกจากถังปฏิกริยา ปริมาณก๊าซมีเทนที่ควรผลิตได้ตามทฤษฎี และการผลิตก๊าซมีเทนเปรียบเทียบกับทฤษฎีของระยะเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ พบว่าปริมาณก๊าซมีเทนและก๊าซชีวภาพจะเพิ่มตามภาวะบรรทุกลำอินทรีย์ และปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพจะมีอยู่ประมาณร้อยละ 65

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าต่ำสุดและสูงที่สุดของปริมาณความเข้มข้นซีไออดีทั้งหมดของน้ำเข้าและน้ำออก ประสิทธิภาพการกำจัดซีไออดี, ค่าความเข้มข้นของกรดโวลาทิล ค่าความเข้มข้นของความเป็นต่างทั้งหมด ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น และปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ของการทดลองในระยะเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ในแต่ละช่วง

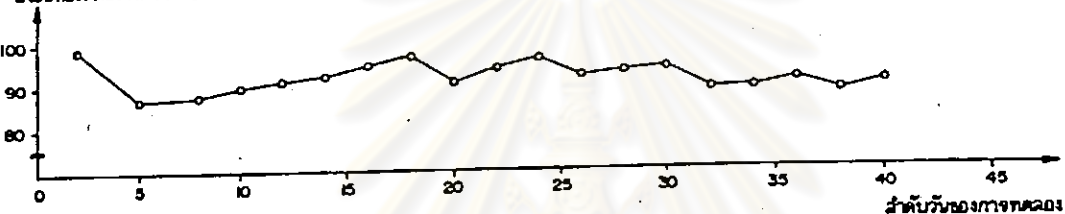


รูปที่ 4.1 ความเป็นด่างทั้งหมด และ กรดเวลาโทลล์ในน้ำออกของระยะเริ่มเลี้ยวจุลินทรีย์

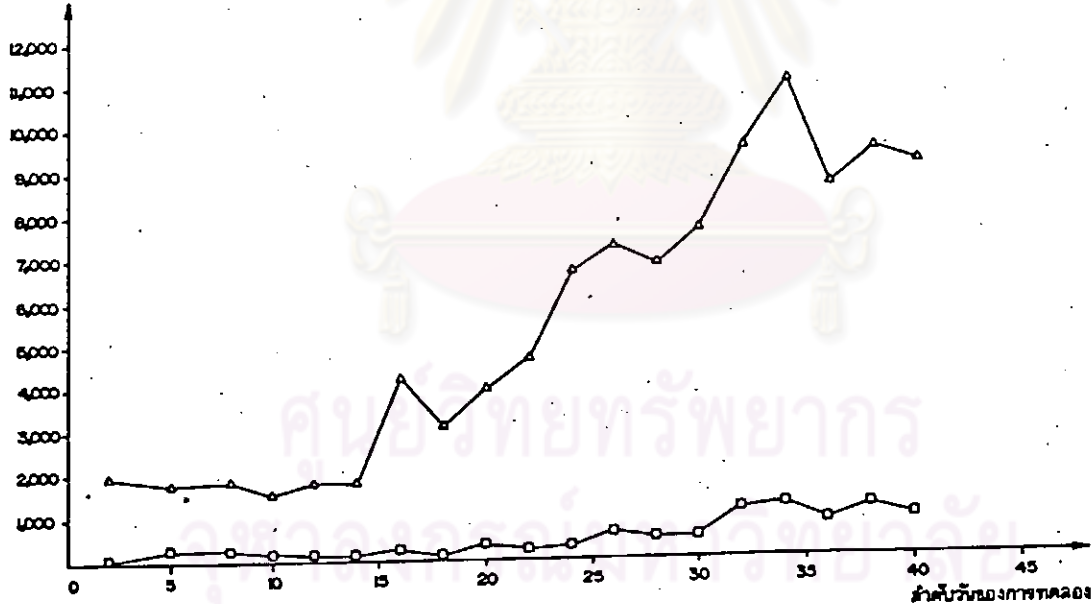
การบรรเทาการฉ่ำน้ำ (กก. ซีไอ / ไร่/วัน)



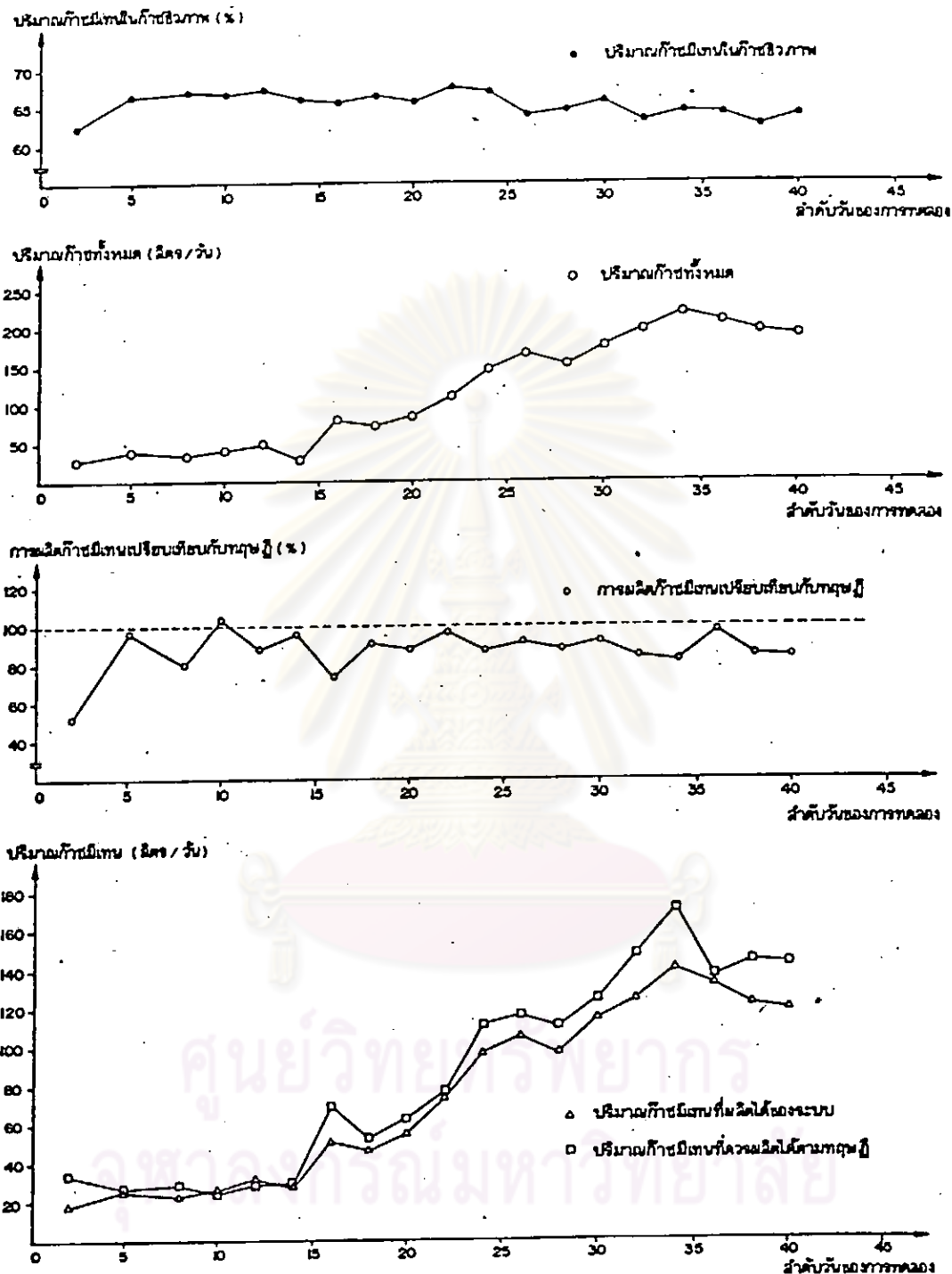
ประสิทธิภาพการกำจัด ซีไอ (%)



ซีไอ (กก./ไร่)



รูปที่ 42 ค่าซีไอทั้งหมดของบ้านและบ้านนอก และ ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอของระยะเริ่มเมื่อสุบน้ำซีไอ



รูปที่ 4.3 ปริมาณการมีแทนในกึ่งฤดูหนาว ปริมาณข้าวที่ผลผลิตจากระบบ ปริมาณการมีแทนที่ผลผลิตได้ตามฤดู และการมีแทนที่ประสบกับภัยหนาวของระบบน้ำประปา

ตารางที่ 1 ค่าต่ำสุดและสูงสุดของผลการทดลองในช่วง เริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์

พารามิเตอร์	ช่วงที่ 1		ช่วงที่ 2		ช่วงที่ 3		ช่วงที่ 4	
	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด
Influent COD (mg/l)	1,640	1,940	3,120	4,680	6,680	7,650	8,670	11,035
Effluent COD (mg/l)	65	253	110	383	310	610	842	1,265
COD removal (%)	86.8	98.7	90.3	96.5	91.6	95.4	87.3	90.3
Effluent VFA (mg/l as CH ₃ COOH)	128	191	286	383	213	256	180	215
Effluent total alkalinity (mg/l as CaCO ₃)	4,829	6,414	3,477	3,921	3,304	3,504	2,817	3,000
CH ₄ gas (l/d)	17.5	32.9	47.8	74.1	96.9	115.5	120.2	140.8
CH ₄ in biogas (%)	62.4	67.2	65.4	67.4	63.8	67.4	62.4	64.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 ผลการทดลองและวิจารณ์

เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของถังปฏิกริยา ในการทดลองแต่ละชุด เป็นลักษณะต่อเนื่อง ดังนั้นผลการทดลองส่วนใหญ่จะแสดงเป็นรูปภาพ และตารางสรุปค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์จะอยู่ในช่วงที่ถังปฏิกริยาทำงานค่อนข้างทรงตัว (Steady State) ผลของการทดลองในแต่ละชุด แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่มีต่อพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ดังนี้

4.2.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองได้มาจากการนำเอากากตัวเหลืองสด ซึ่งเก็บในช่วงเช้า ทุกวัน วันวันอาทิตย์จากห้องบำบัดตัวเหลืองของโรงงาน กรีนลูปอด (ประเทศไทย) จำกัด มาผสมกับ น้ำประปา และใส่แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารปรับพีเออร์ ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย เช่น ความเข้มข้นซีโอดีทั้งหมด พีเอช และอื่น ๆ มีค่าเปลี่ยนแปลงโดยขึ้นอยู่กับปริมาณ และลักษณะสมบัติของ กากตัวเหลืองที่นำมาผสม เช่น ปริมาณความชื้น และของแข็งระเหยทั้งหมด (total volatile solids) เป็นต้น ตารางที่ 4.2 สรุปลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกริยา

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นซีโอดีทั้งหมดและพีเอชของน้ำเข้า

พารามิเตอร์	การทดลอง		
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
Total COD (mg/l)	13,794	28,898	43,734
Total COD (gm COD/gm of dry residual soy bean)	1.387	1.461	1.385
pH	7.75	9.50	10.40

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าค่าพีเอชของน้ำเข้ามีค่าสูงมาก เนื่องจากน้ำเสียที่ป้อนเข้าถังปฏิกริยาใส่แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารปรับพีเออร์ด้วยปริมาณความเข้มข้น 100, 200 และ 300 มก./ล. สำหรับการทดลองชุดที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จึงทำให้ค่าพีเอชของน้ำเข้าสูงขึ้นตามปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น



จากการวิเคราะห์ตัวอย่างของกากแก้วเหลืองสด พบว่าในการทดลองชุดที่ 1, 2 และ 3 ปริมาณความชื้นในกากแก้วเหลืองสด เฉลี่ยร้อยละ 84.11, 83.96 และ 83.02 หรือปริมาณของแข็งทั้งหมดของกากแก้วเหลืองสดมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 15.89, 16.04 และ 16.98 ตามลำดับ เนื่องจากกากแก้วเหลืองสดที่นำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยจุดหลอมสูงทำให้ปริมาณน้ำในกากแก้วเหลืองระเหยสู่อากาศภายนอก ดังนั้นข้อมูลจึงมีข้อผิดพลาดบ้าง ส่วนค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมด (total volatile solids) ของการทดลองชุดที่ 1, 2 และ 3 มีค่าร้อยละ 96.38, 96.24 และ 96.39 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ากากแก้วเหลืองสดส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์และค่าความเข้มข้นของซีโอดีทั้งหมดมีค่าสูง ซึ่งเหมาะสำหรับที่จะทำการบำบัดด้วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบไร้อากาศ

4.2.2 สภาพการทำงานของถังปฏิกริยา

น้ำเสียจะถูกป้อนเข้าทางด้านล่างของถังปฏิกริยาด้วยอัตราสูบน้ำเสียคงที่เท่ากับ 50 ลิตร/วัน มีระยะเวลาที่กักน้ำเสีย (hydraulic retention time) ในถังปฏิกริยาเท่ากับ 5 วัน การทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 ชุด โดยเริ่มสูบน้ำเสียที่มีปริมาณความเข้มข้นกากแก้วเหลืองอยู่ร้อยละ 1 จากนั้นจะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 2 และ 3 ตามลำดับ เพื่อศึกษาผลของการเพิ่มปริมาณกากแก้วเหลืองที่มีผลต่อการทำงานและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของถังปฏิกริยาจากการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลอง พบว่าค่าการระบรทุกสารอินทรีย์ของการทดลอง ชุดที่ 1, 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.76, 6.83 และ 8.74 กก.ซีโอดี/ลบ.ม. - วัน ตามลำดับ

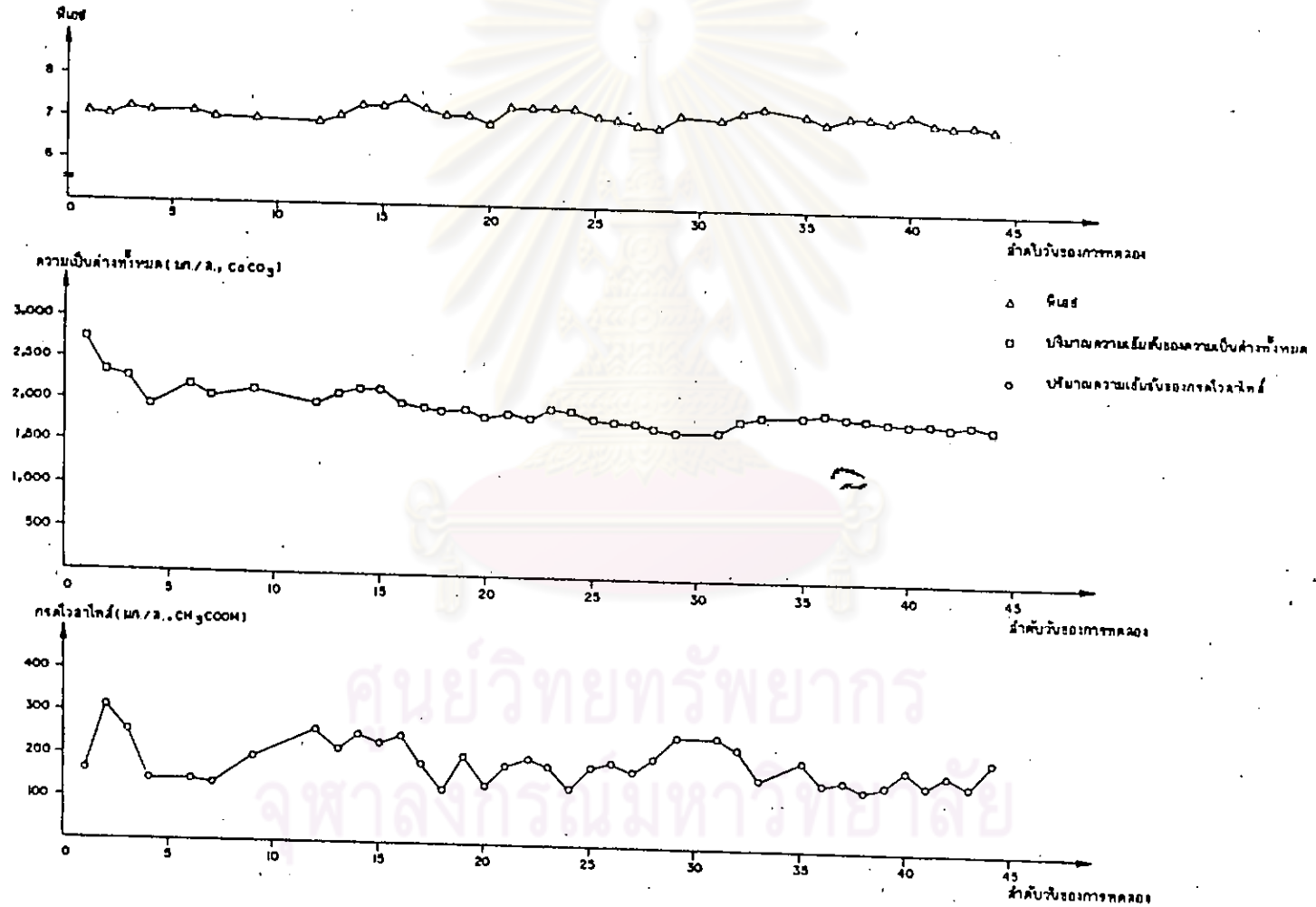
4.2.3 พีเอช สภาพความเป็นต่างทั้งหมด และกรดเวลาไหล

ค่าพีเอชของน้ำออก มีค่าสูงและแตกต่างกันไม่มากนัก ถึงแม้ว่าค่าพีเอชของน้ำเข้ามีค่าสูงและแตกต่างกันมากในการทดลองแต่ละชุด ทั้งนี้อาจจะมีผลเนื่องมาจากปริมาณของจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยามีจำนวนมาก และระยะเวลาในการกักน้ำเสียมีมากพอที่จะทำให้พีเอชของน้ำออกมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก จากการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองพบว่า ค่าพีเอชจะมีค่าต่ำสุดที่บริเวณด้านล่างของถังปฏิกริยา และค่าพีเอชจะมีค่าสูงขึ้นตามความสูงของปฏิกริยา ซึ่งมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยของพีเอช ที่จุดต่าง ๆ ของถังปฏิกริยาและในน้ำออก ค่าพีเอช สภาพความเป็นต่างทั้งหมด และกรดเวลาไหลของน้ำออกของการทดลองชุดที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งนำมาแสดงไว้ในรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

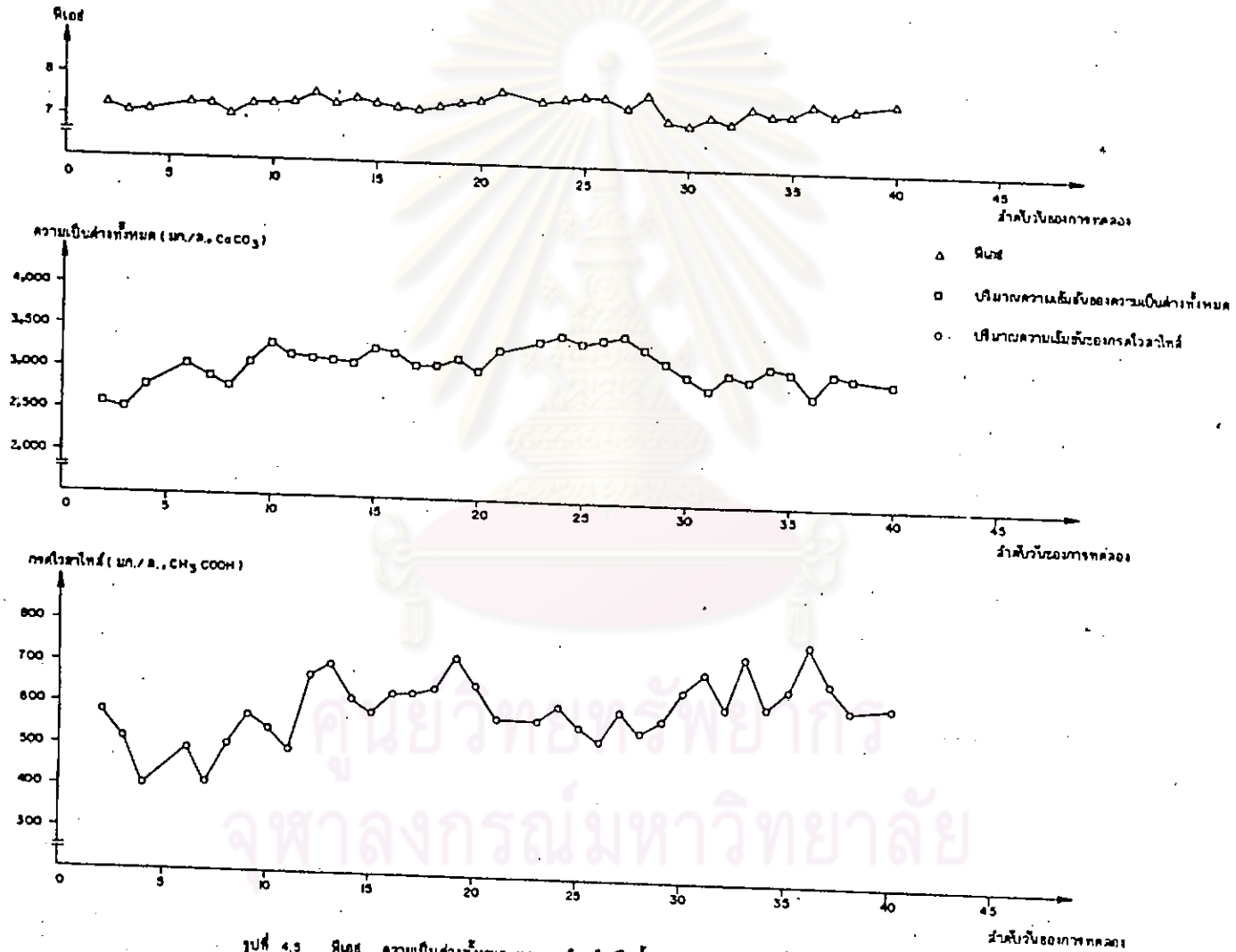
ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของพีเอชที่ความสูง 0.30, 1.10 และ 1.90 ม. จากด้าน
ล่างของถังปฏิกริยาและในน้ำออก

การทดลอง ชุดที่	ระยะความสูงจากกันถึง (ม.)			น้ำออก
	0.30	1.10	1.90	
1	6.83	6.88	6.92	7.21
2	7.07	7.10	7.10	7.52
3	7.12	7.22	7.28	7.58

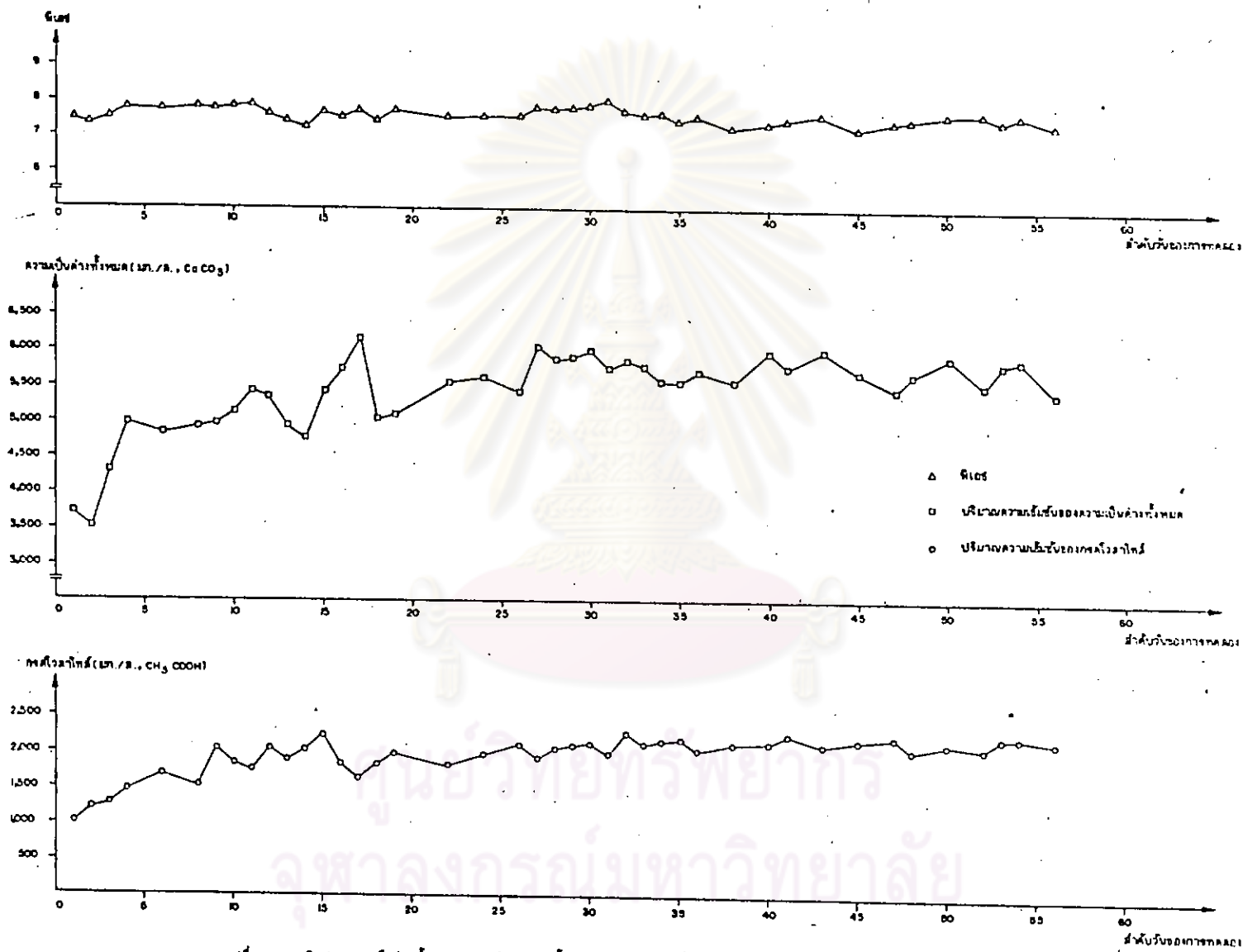
ค่าสภาพความเป็นต่างทั้งหมดของน้ำออกทั้งการทดลอง 3 ชุด จะมีการเปลี่ยนแปลง
มากในช่วงต้น ๆ ของการทดลอง เนื่องจากการทดลองแต่ละชุดจะเพิ่มปริมาณกากตัวเหลืองใน
น้ำเสีย ทำให้จุลินทรีย์ต้องอาศัยระยะเวลาในการปรับตัว ต่อจากนั้นสภาพความเป็นต่างทั้งหมด
จะมีค่าค่อนข้างคงที่ จากรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 พบว่าสภาพความเป็นต่างทั้งหมดจะมีค่า
เพิ่มมากขึ้นตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ ทั้งนี้อาจเกิดจากการเพิ่มปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์
ซึ่งเปลี่ยนไปตามการทดลองแต่ละชุด หรืออาจเกิดจากการที่เพิ่มปริมาณกากตัวเหลือง ซึ่งส่วนใหญ่
เป็นโปรตีน เมื่อถูกจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยาย่อยสลายจะได้ก๊าซแอมโมเนียและก๊าซนี้จะทำปฏิกริยากับก๊าซ
คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำเกิดเป็นแอมโมเนียไบคาร์บอเนต ซึ่งทำให้สภาพความเป็นต่างสูงขึ้น
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของความเป็นต่างทั้งหมด ค่าความเข้มข้นของกรด
เวลาไหลที่จุดต่าง ๆ ของถังปฏิกริยาและในน้ำออก จะเห็นว่าสภาพความเป็นต่างทั้งหมดภายใน
ถังปฏิกริยาจะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากลักษณะการไหลของน้ำในถังปฏิกริยาเป็นแบบกวน
สมบูรณ์ (22, 57)



รูปที่ 4.4 คีชีด : ความแข็งค่าทั้งหมด และกรดอะซิติกในน้ำออกของการทดลองชุดที่ 1



รูปที่ 4.3 pH ความเป็นด่างทั้งหมด และ กรดอะซิติกในน้ำหมักของการทดลองชุดที่ 2



รูปที่ 4.6 จลนศาสตร์ ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์และกรดอะซิติกในน้ำออกฤทธิ์ของสารสกัดสมุนไพร

ส่วนผลการวิเคราะห์กรดไขมันโทล พบว่าในการทดลองทั้ง 3 ชุด ปริมาณของกรดไขมันโทล ในถังปฏิกริยาจะเพิ่มขึ้นตามภาระบรรทุก๊าซอินทรีย์ ทั้งนี้อาจเกิดจากการเพิ่มปริมาณกากตัวเหลืองใน น้ำเสีย ซึ่งเป็นการเพิ่มสารอาหารให้แก่จุลินทรีย์ที่ยังมีจำนวนน้อย ในถังปฏิกริยาจึงทำให้อัตราการใช้ กรดเพื่อสร้างก๊าซมีเทนน้อยกว่าอัตราการสร้างกรด ดังนั้นจึงเกิดการสะสมกรดไขมันโทลในถังปฏิกริยา จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 จะเห็นได้ว่าปริมาณกรดไขมันโทลในช่วง 10 วันแรก จะลดลงจากนั้นจึงสูงขึ้นอีก ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากขบวนการไฮโดรไลซิส ซึ่งย่อยกากตัวเหลืองให้เป็นสารอินทรีย์ที่ละลาย น้ำได้เกิดน้อยลง เพราะว่า ปริมาณจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยามีจำนวนน้อยอยู่ ทำให้การสร้างกรด ซึ่งใช้ สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำเหล่านี้เกิดน้อยลง ดังนั้นจึงทำให้อ่าง 10 วันแรก ของการทดลองชุดที่ 1, 2 มีปริมาณกรดไขมันโทลน้อยลง จากนั้นจุลินทรีย์จะมีการปรับตัวให้เข้ากับน้ำเสียที่ป้อนเข้ามาทำให้ ขบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในถังปฏิกริยาอยู่ในสภาพสมดุล จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าในช่วง 10 วันแรก ปริมาณความเข้มข้น กรดไขมันโทลมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งต่างจาก การทดลองชุดที่ 1 และ 2 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากการเกิดปฏิกริยาไฮโดรไลซิสของกากตัวเหลืองในถัง เก็บน้ำเสียอยู่ก่อนแล้ว

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยของความเป็นต่างทั้งหมด กรดไขมันโทลที่ความสูง 0.30

1.10 และ 1.90 เมตรจากด้านล่างของถังปฏิกริยาและในน้ำออก

พารามิเตอร์	การทดลองชุดที่	ระยะความสูงจากกันถึง (ม.)			น้ำออก
		0.30	1.10	1.90	
Total alkalinity (mg/l as CaCO ₃)	1	1,988	2,015	2,000	1,830
	2	3,348	3,356	3,335	3,106
	3	5,835	5,651	5,782	5,709
Volatile fatty acid (mg/l as CH ₃ COOH)	1	175	182	162	183
	2	508	570	577	666
	3	1,604	1,794	1,846	2,081

ซึ่งสังเกตได้จากค่าพีเอช ในถังเก็บน้ำเสียเริ่มมีค่าลดต่ำลงหลังจากเก็บเอาไว้เกิน 5 ชั่วโมง จึงทำให้จุลินทรีย์บางส่วนสามารถย่อย กรดไขมันได้โดยไม่ต้องเสียเวลาย่อยกากตัวเหลือง ดังนั้นปริมาณของกรดไขมันในถัง 10 วันแรก ของการทดลองชุดที่ 3 จึงมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากตารางที่ 4.4 พบว่าปริมาณกรดไขมัน ภายใต้งปฏิกิริยาของการทดลองในชุดเดียวกัน จะมีค่าใกล้เคียงกันตลอดการทดลอง เนื่องจากมีปริมาณจุลินทรีย์แต่ละชนิดสัมพันธ์กันตามสภาวะแวดล้อมนั้น ๆ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณกรดไขมันมีค่าใกล้เคียงกันในถังที่เป็นชั้น ตะกอนล่าง (sludge bed) และชั้นตะกอนลอย (sludge blanket) เนื่องจากการไหล ของน้ำภายในเป็นแบบกวนผสม ทำให้น้ำเสียและตะกอนจุลินทรีย์มีการสัมผัสกันอย่างทั่วถึง

4.2.4 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

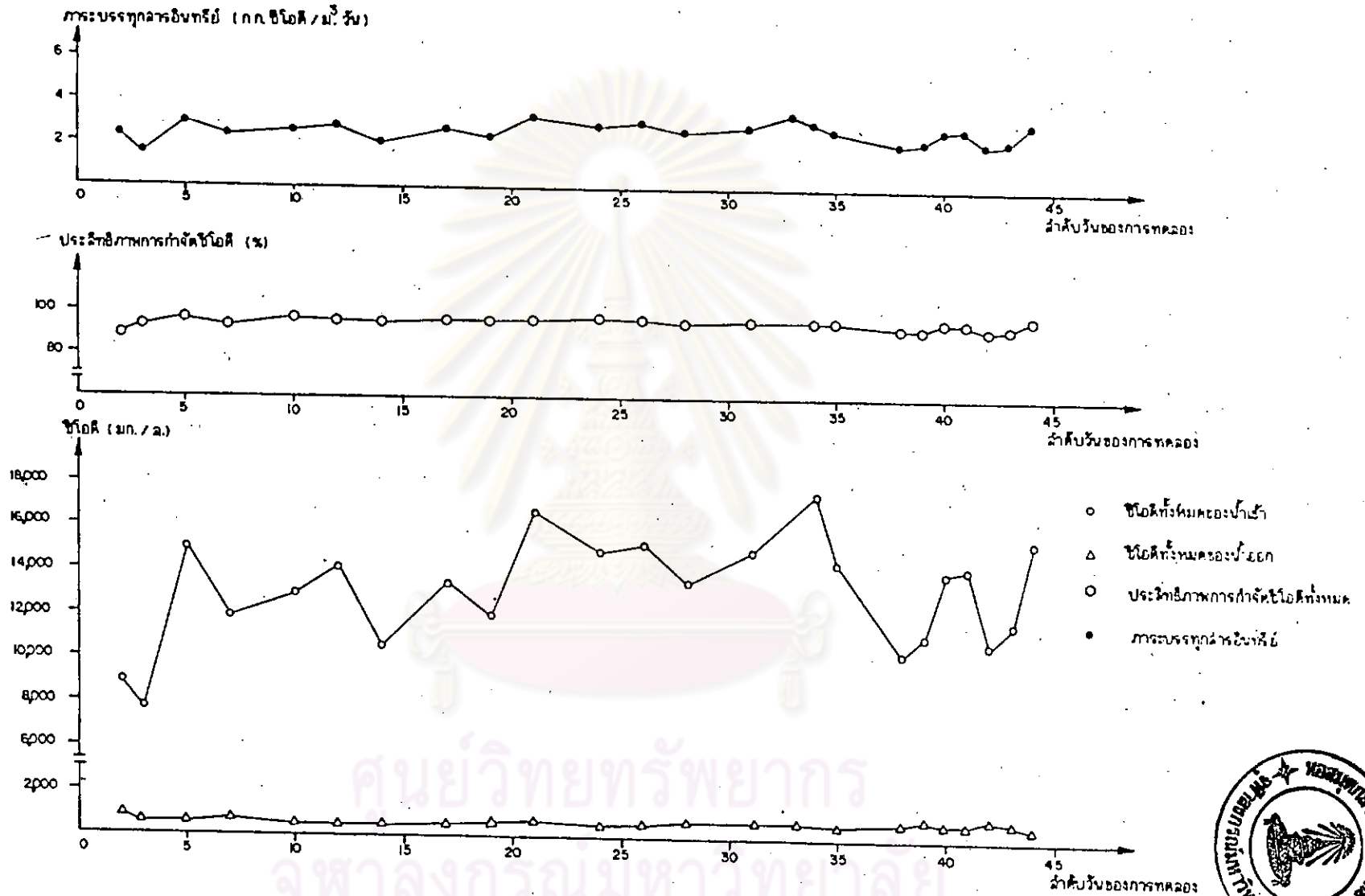
การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้แยกการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ประเภทคือ ใยค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำออก (total effluent COD) ซึ่งรวมถึงค่าสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในตะกอน แขนงลอย (suspended solids) มาคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของระบบโดย เปรียบเทียบกับค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเข้า (total influent COD) อีกประเภทหนึ่งได้แก่ การนำน้ำออกมาทิ้งไว้ให้ตะกอนแขวนลอยตกตะกอน 2 ชั่วโมง แล้วนำเฉพาะน้ำใสที่อยู่ด้านบน มาหาค่าซีโอดี (settled effluent COD) การคำนวณหาประสิทธิภาพจะเทียบกับค่าซีโอดี ทั้งหมดของน้ำเข้า รูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 แสดงค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเข้าและน้ำออก และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการทดลอง ชุดที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ การทดลอง ชุดที่ 1 จะคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดเท่านั้น ส่วนการทดลองชุดที่ 2, 3 จะคำนวณ หาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมด และซีโอดีของน้ำออก หลังจากทิ้งให้ตกตะกอน 2 ชั่วโมง

รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดลองชุดที่ 1 ซึ่งน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณความเข้มข้น ของกากตัวเหลือง ผสมอยู่ร้อยละ 1 มีความเข้มข้นซีโอดีทั้งหมด ของน้ำเข้าอยู่ในช่วงระหว่าง 10,00 และ 15,000 มก./ล. คิดเป็นภาระบรรทุกสารอินทรีย์จะอยู่ในช่วงระหว่าง 2 และ 3 กก. ซีโอดี/ ลบ.ม.-วัน จะเห็นว่าในช่วง 10 วันแรก มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าต่ำ เนื่องจากการ เพิ่มปริมาณกากตัวเหลือง ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของแข็งไม่ละลายน้ำเป็นส่วนใหญ่ ทำให้ จุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาไม่สามารถที่จะปรับตัวได้ทัน ดังนั้นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในช่วง 10 วันแรก จึงมีค่าต่ำ หลังจากนั้นจุลินทรีย์จะสามารถปรับตัวให้อยู่ในสภาวะทรงแล้ว พบว่าค่าเฉลี่ย

ของความเข้มข้นซีโอดีทั้งหมดของน้ำออกมีค่าเท่ากับ 658 มก./ล. และประสิทธิภาพการกำจัด
มีค่าสูงขึ้น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 95.0

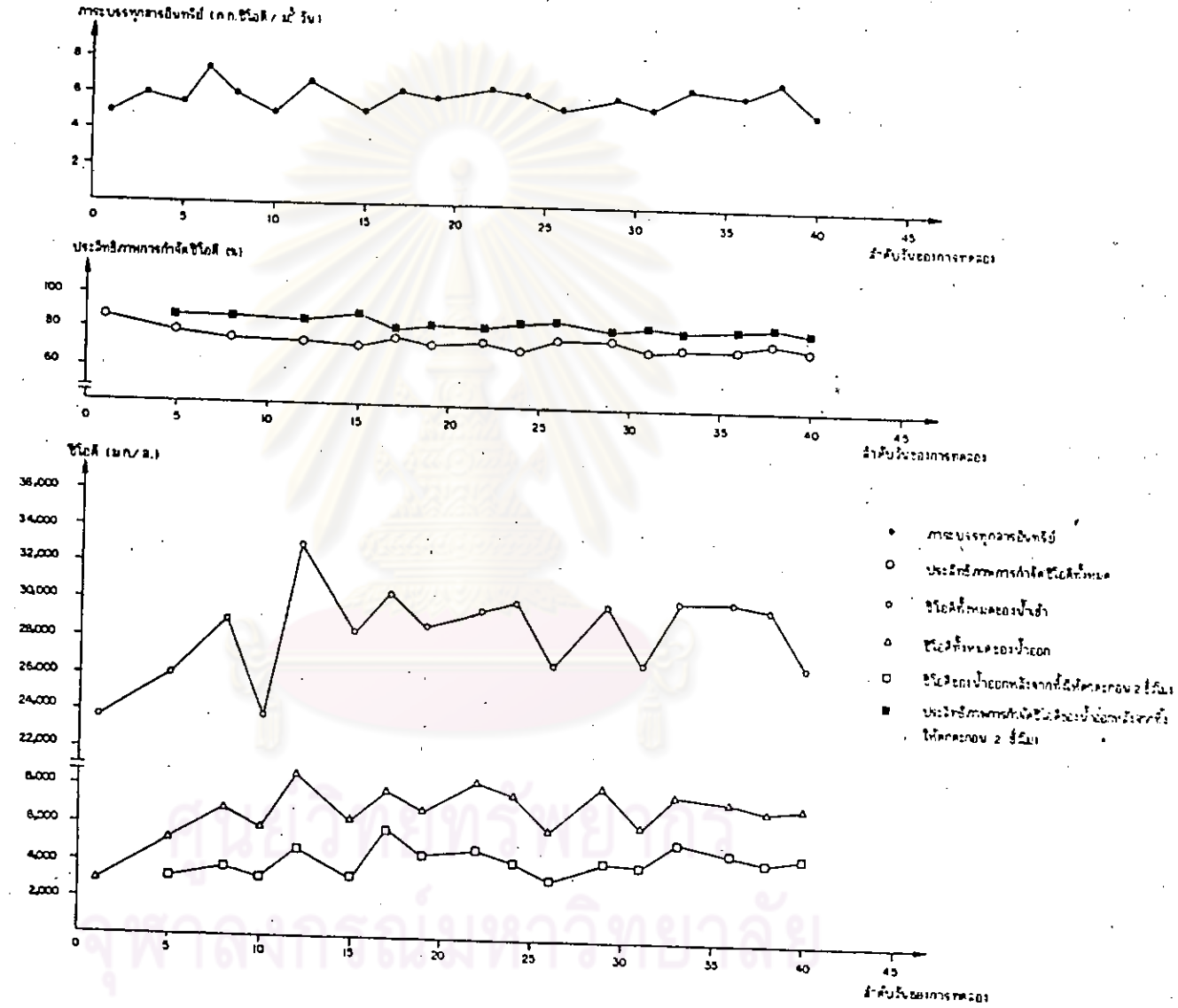
รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดลองชุดที่ 2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองจะเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของกากตัวเหลือง เป็นร้อยละ 2 มีความเข้มข้นซีโอดีทั้งหมดของน้ำเข้า ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ระหว่าง 25,000 และ 30,000 มก./ล. คิดเป็นภาระบรรทุกสารอินทรีย์จะอยู่ในช่วงระหว่าง 5 และ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในช่วง 15 วันแรก ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าลดลง จากนั้นจะมีค่าสูงขึ้นและมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตลอดการทดลอง ที่เป็นเช่นนี้เพราะจุลินทรีย์ต้องใช้เวลาปรับตัวเพื่อย่อยสารอินทรีย์ให้สมบูรณ์ที่สุด จากผลการวิเคราะห์พบว่า หลังจากจากระบบสามารถปรับตัวให้อยู่ในสภาพทรงแล้ว จะมีค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นซีโอดีทั้งหมดของน้ำออกเท่ากับ 7,323 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 75.0 ซึ่งจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดมีค่าต่ำกว่าการทดลองชุดที่ 1 เพราะว่าในน้ำออกมีตะกอนแขวนลอยหลุดออกมามาก ทำให้ค่าความเข้มข้นของซีโอดีทั้งหมดในน้ำออกมีค่าสูงขึ้นมาก และจำนวนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์หมักไม่สามารถย่อยกากตัวเหลืองได้หมด ทำให้มีสารอินทรีย์หลุดออกไปกับน้ำออก ดังนั้นค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำออกจึงมีค่าสูงกว่าค่าซีโอดีทั้งหมดของการทดลองชุดที่ 1 แต่หลังจากทิ้งน้ำออกเพื่อให้ตะกอนแขวนลอยตกตะกอนไว้ 2 ชั่วโมง จากนั้นนำน้ำไปมาหาค่าซีโอดี พบว่าค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นซีโอดีในน้ำออกหลังจากทิ้งให้ตะกอนแขวนลอยตกตะกอน 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 4,484 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเทียบค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเข้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 84.2

รูปที่ 4.9 แสดงผลการทดลองชุดที่ 3 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองจะเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของกากตัวเหลืองเป็นร้อยละ 3 มีความเข้มข้นซีโอดีทั้งหมดของน้ำเข้า อยู่ในช่วงระหว่าง 40,000 และ 50,000 มก./ล. คิดเป็นภาระบรรทุกสารอินทรีย์จะอยู่ในระหว่าง 8 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ถังปฏิกรณ์ไม่สามารถที่จะรับสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูงนี้ได้ โดยมีค่าความเข้มข้นซีโอดีทั้งหมดในน้ำออกเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในระยะ 15 วัน หลังจากเริ่มต้นการทดลองชุดที่ 3 ทั้งนี้เนื่องมาจากจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ไม่สามารถที่จะเพิ่มจำนวนให้มารับสารอินทรีย์ที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วได้ และสารอินทรีย์ที่เข้ามาเป็นของแข็งไม่ละลายน้ำเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีปริมาณมากจนทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถสร้างปฏิกริยาไฮโดรไลซิสได้ทัน ทำให้สารอินทรีย์หลุดออกมาพร้อมกับน้ำออกมากขึ้น แต่หลังจากทำการทดลองชุดที่ 3 มาได้ 17 วัน ระบบก็สามารถ

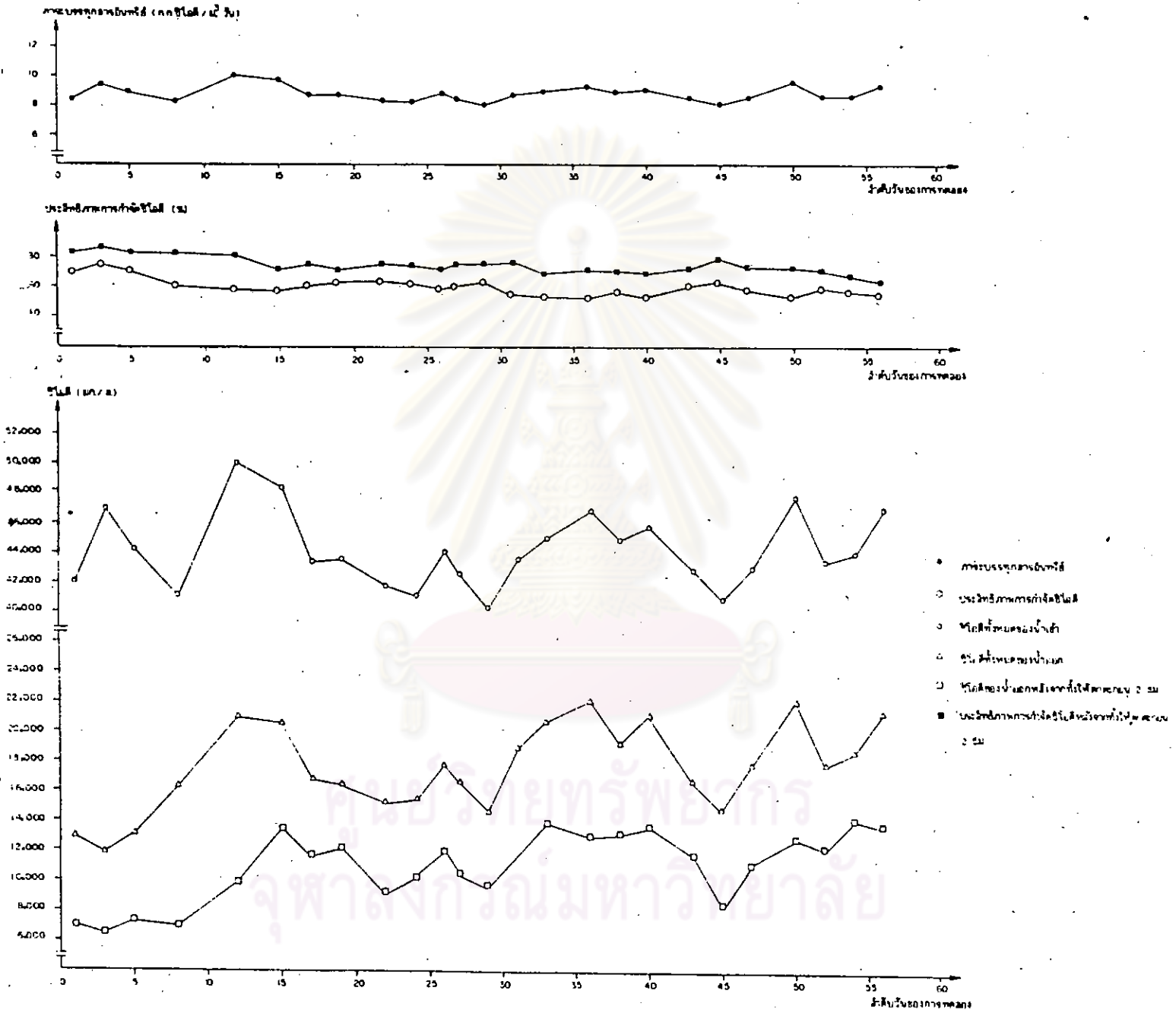


รูปที่ 4.7 ค่าซีโอคลทั้งหมดของน้ำเข้าและน้ำออกและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอคลของการทดลองชุดที่ 1





รูปที่ 48 ค่าวิเคราะห์ทางเคมีของข้าวต้นและข้าวสุกและประสิทธิภาพการกำจัดปุ๋ยไนโตรเจนของเกษตรกรผู้ปลูกที่ 2



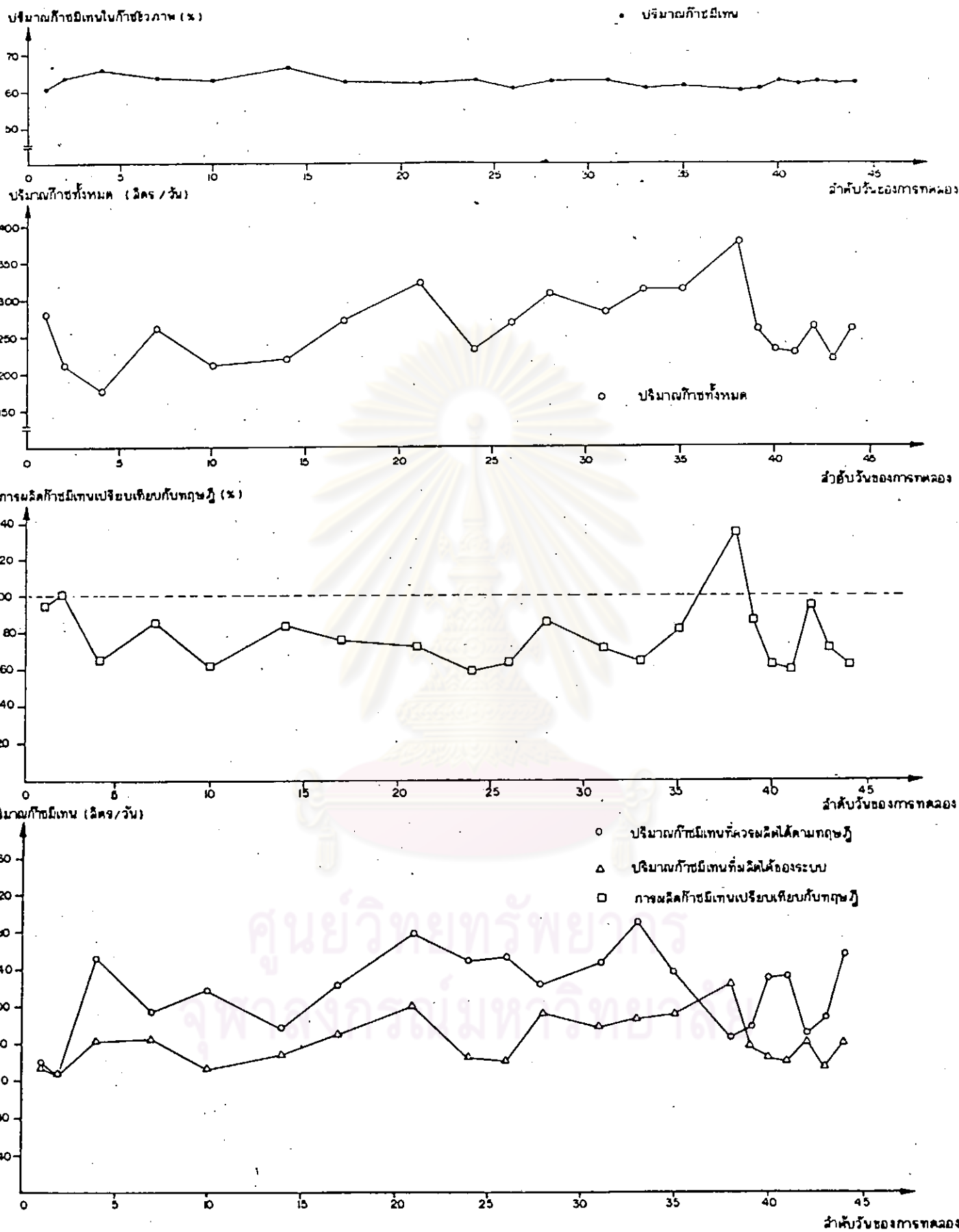
รูปที่ 49 ค่าข้อมูลทั้งหมดของน้ำเข้าและน้ำออกและประสิทธิภาพการกำจัดโคลนของทางหลวงชุดที่ 3

ปรับตัวให้มาอยู่ในสภาพทรงได้อีก โดยมีค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นซีโอดีทั้งหมดของน้ำออกเท่ากับ 18,267 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 58.4 และพบว่าความเข้มข้นซีโอดีของน้ำออกหลังจากทิ้งให้ตะกอนแขวนลอยตกตะกอน 2 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11,821 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเทียบกับค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเข้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 72.5 จะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการทดลองชุดที่ 3 มีค่าต่ำกว่าการทดลองชุดที่ 2

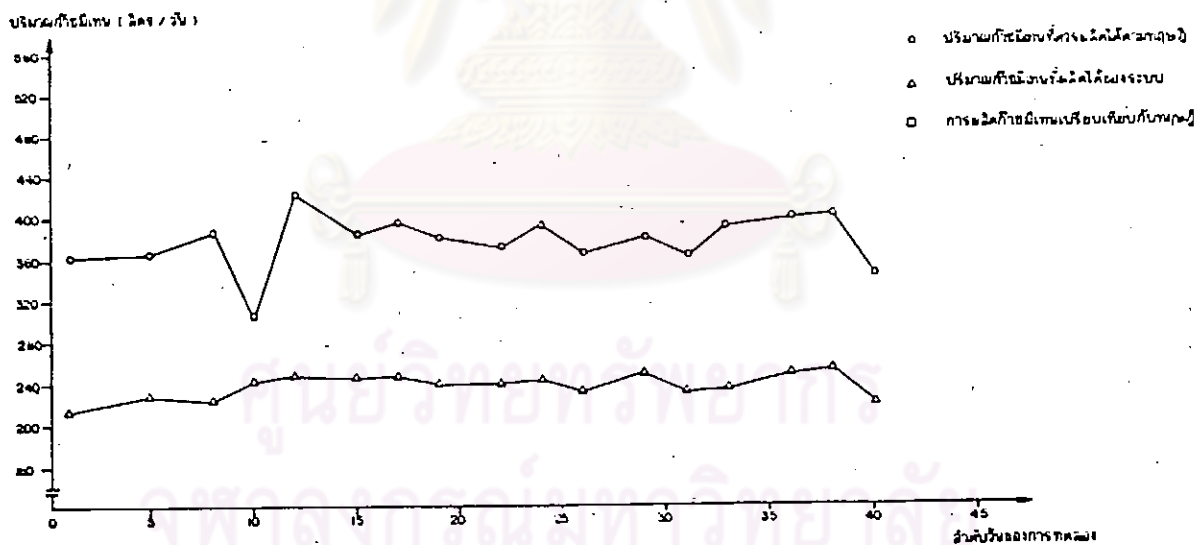
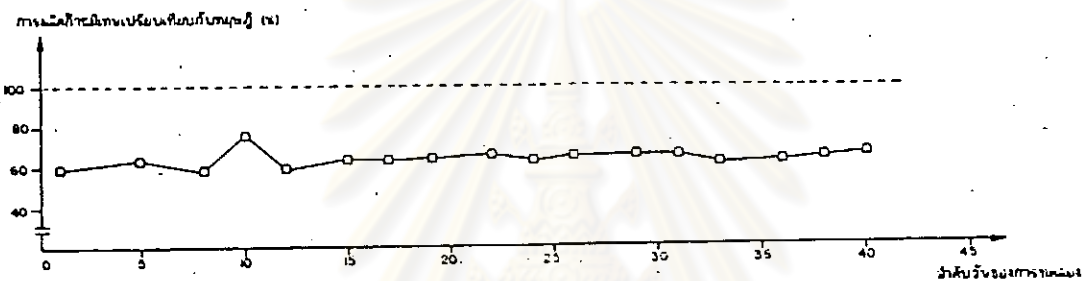
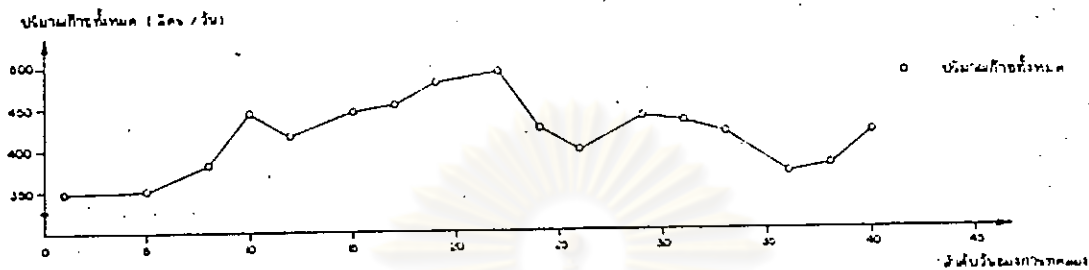
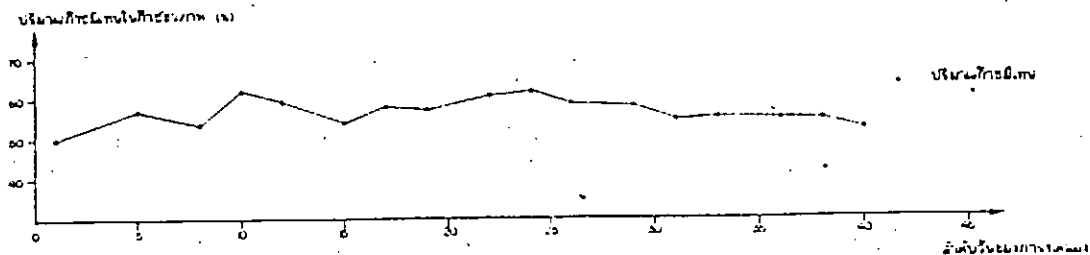
เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดของกระบวนการขึ้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้นกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบอื่น เช่น กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ โดยใช้เครื่องกรองไร้อากาศที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ประมาณ 2 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (43,58,59) จะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดเกินกว่าร้อยละ 90 เมื่อเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ เป็น 6 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แล้วประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจะลดลงเหลือร้อยละ 70 และ 54 ตามลำดับ (58) สำหรับกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งคอนแทคสเตอโรไลเซชันแบบแอนแอโรบิก (anaerobic contact stabilization process) ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ประมาณ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จะประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดเกินกว่าร้อยละ 70 (60) ดังนั้น จะเห็นได้ว่ากระบวนการขึ้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้นมีความสามารถในการกำจัดซีโอดีได้ใกล้เคียงกับกระบวนการอื่น ๆ ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ใกล้เคียงกัน

4.2.5 การผลิตก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยอาศัยแบคทีเรียที่สร้างกรดและแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทนทำงานร่วมกันอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะแสดงถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติและปริมาณของน้ำเสีย สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรีย รูปที่ 4.10, 4.11 และ 4.12 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จากการทดลอง ปริมาณก๊าซมีเทนควรผลิตได้ตามทฤษฎี และการผลิตก๊าซมีเทนเปรียบเทียบกับทฤษฎีของการทดลองชุดที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



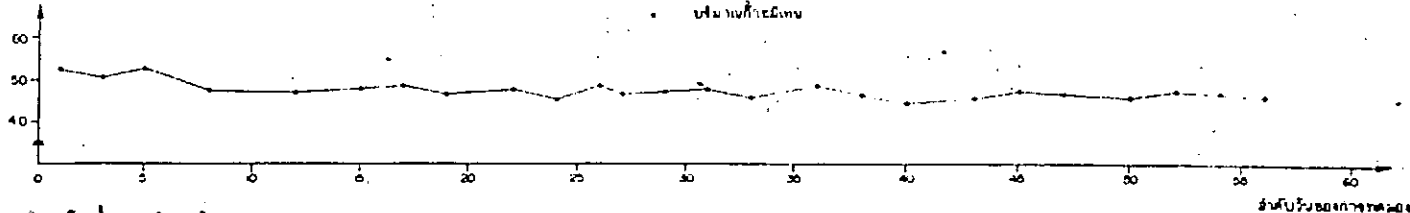
รูปที่ 4.10 ปริมาณก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซมีเทนที่ออกจากถังปฏิกริยา ปริมาณก๊าซมีเทนที่ควรผลิตได้ตามทฤษฎี และ การผลิตก๊าซมีเทนเปรียบเทียบกับทฤษฎีของการทดลองชุดที่ 1



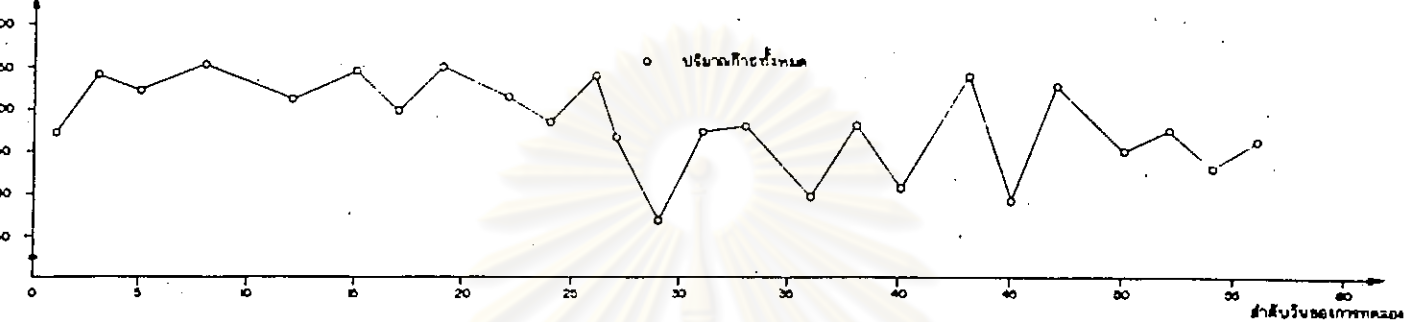
รูปที่ 4.11 ปริมาณน้ำในชั้นน้ำใต้ดิน ปริมาณน้ำในดิน ปริมาณน้ำที่ออกจากถังปฏิกรณ์ ปริมาณน้ำที่ชั้นน้ำใต้ดินที่ความลึก 10 ซม. และ การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินของภาชนะทดลองชุดที่ 2



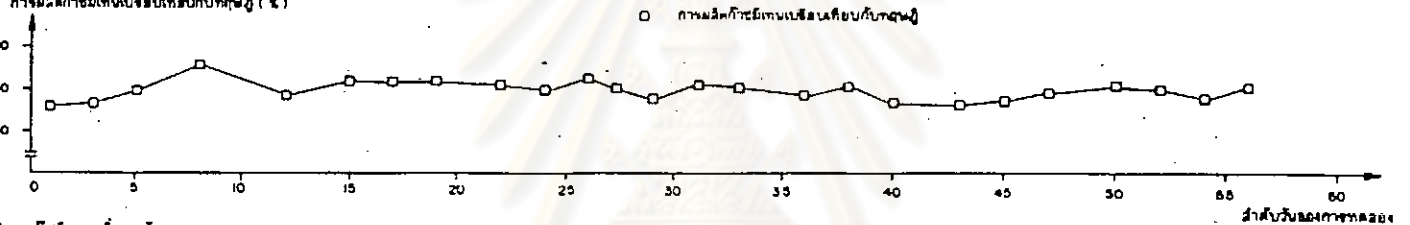
ปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ (%)



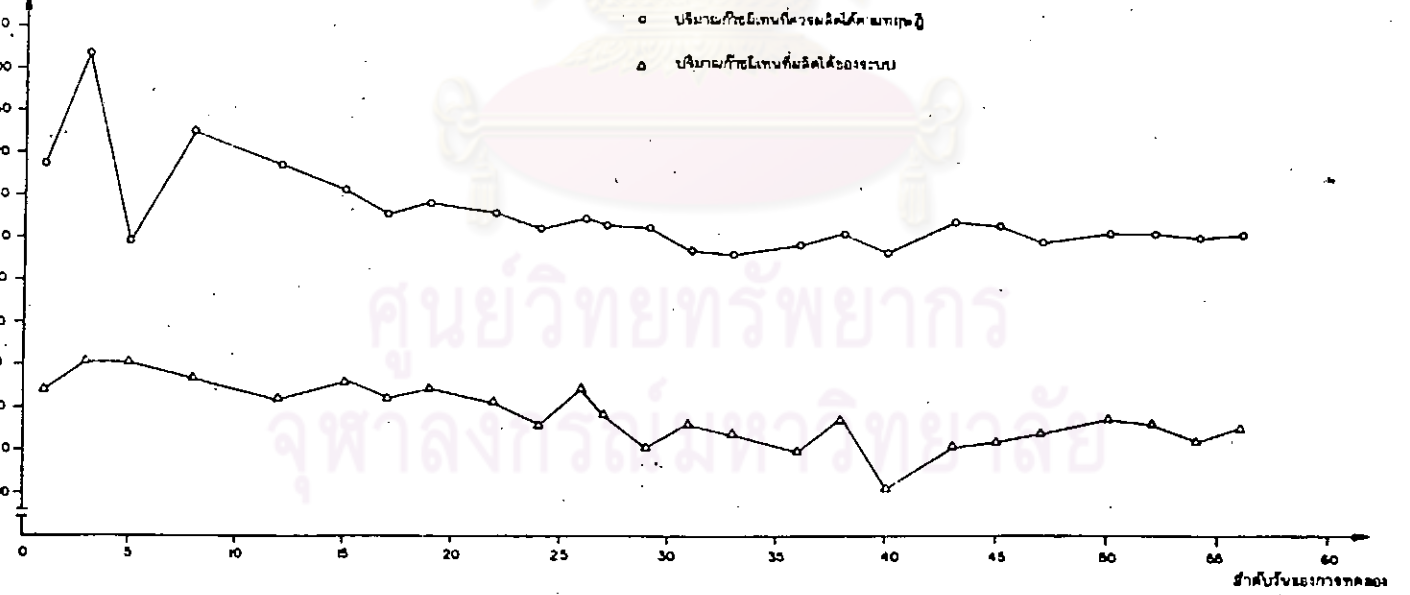
ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร / วัน)



การผลิตก๊าซมีเทนเปรียบเทียบกับบัททงู (%)



ปริมาณก๊าซไฮโดรเจน (ลิตร / วัน)



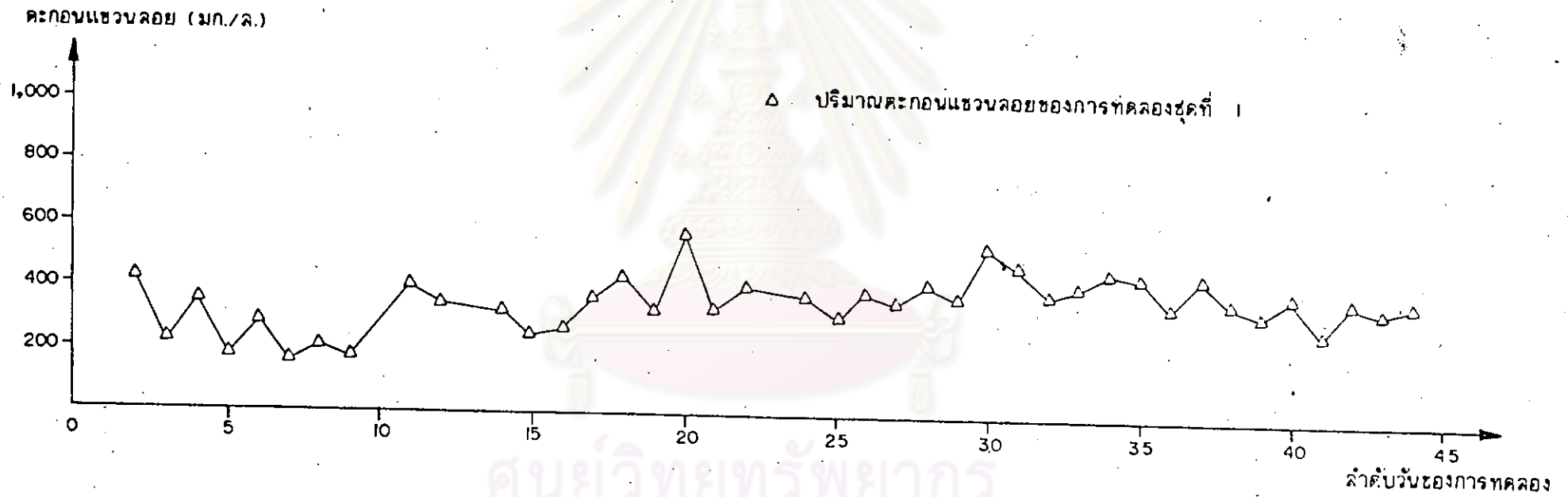
รูปที่ 4.12 ปริมาณก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซมีเทนที่ออกจากถังปฏิกิริยา ปริมาณก๊าซมีเทนที่ควรผลิตได้ตามทฤษฎี และ การผลิตก๊าซมีเทนเปรียบเทียบกับบัททงูของภาคนองสุพี 3

จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากตารางที่ 1, 2 และ 3 ในภาคผนวก ก. พบว่าในการทดลองชุดที่ 1, 2 และ 3 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 275.8, 423.4 และ 561 ลิตร/วัน ปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 61.8, 56.5 และ 46.7 ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจริงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 170.3, 239.2 และ 262.0 ลิตร/วัน อัตราส่วนการผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจริงเปรียบเทียบกับก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ตามทฤษฎีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 76.3, 63.3 และ 58.6 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซมีเทนจะเกิดมากขึ้นตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์ แต่ปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพจะมีค่าลดลง ส่วนการคำนวณเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีโดย 1 กรัมของซีโอดีที่ถูกทำลายไป จะเกิดก๊าซมีเทนมีปริมาณเท่ากับ 0.351 ลิตร กับปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในการทดลอง ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่คำนวณได้คาดว่าเนื่องมาจากสารอินทรีย์ส่วนหนึ่งจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการดำรงชีพ และสร้างเซลล์ใหม่ขึ้นมา บางส่วนจะลอยออกไปกับน้ำออกบางส่วนอาจเกิดขึ้นในถังตกตะกอนซึ่งไม่ได้วัด และบางส่วนเป็นสารซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีววิทยา

จากข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น สามารถที่นำมาคำนวณให้เห็นถึงการผลิตก๊าซมีเทนให้เห็นอย่างกว้าง ๆ โดยไม่คำนึงถึงกลไกต่าง ๆ ในการทำงานของกระบวนการ พบว่า การทดลองชุดที่ 1, 2 และ 3 ปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตขึ้นได้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 343.0, 262.0 และ 159.7 ลิตร/กิโลกรัม ของกากหัวเหลืองแห้งที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกิริยาแสดงว่า การเพิ่มค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์จะทำให้กากหัวเหลืองถูกย่อยไม่หมด และประสิทธิภาพในการใช้กากหัวเหลืองเพื่อเปลี่ยนมาเป็นก๊าซชีวภาพลดลง เมื่อค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้น กากหัวเหลืองส่วนหนึ่งยังหลุดออกไปกับน้ำออกทำให้มีปริมาณสารอินทรีย์อยู่ในระบบลดน้อยลงอีกด้วย

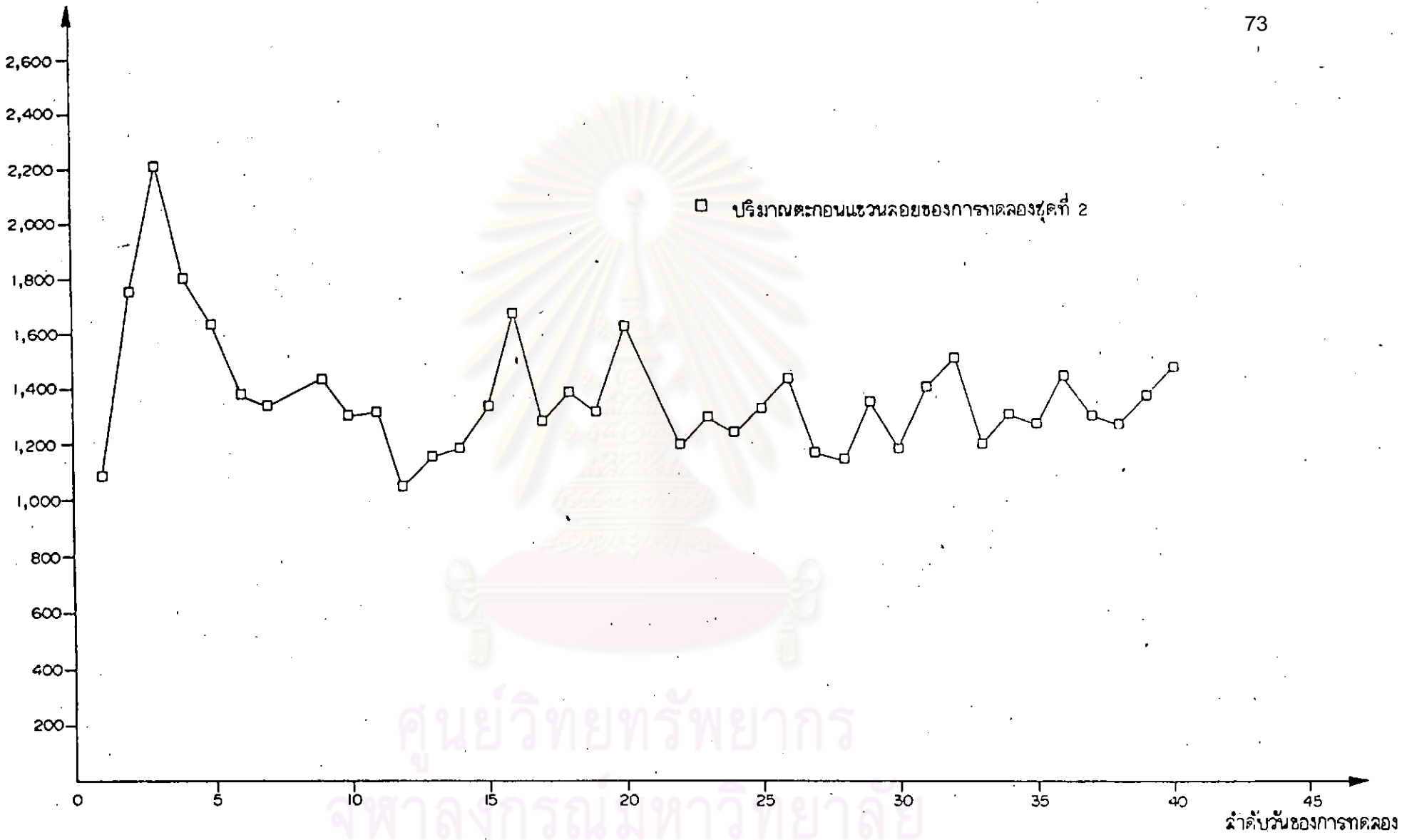
4.2.6 ตะกอนแขวนลอย

ปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ออกมากับน้ำออกเป็นพารามิเตอร์อย่างหนึ่ง que แสดงให้เห็นว่าถังปฏิกิริยา สามารถทำงานได้ดีหรือไม่ เพราะถ้ามีตะกอนแขวนลอยออกมากับน้ำออกมาก แสดงว่า การตกตะกอนในถังปฏิกิริยาขาดประสิทธิภาพในการแยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำ อาจจะมีสาเหตุมาจากการเกิดก๊าซในถังตกตะกอนและลักษณะของตะกอนแขวนลอยที่อยู่ในถังตกตะกอน

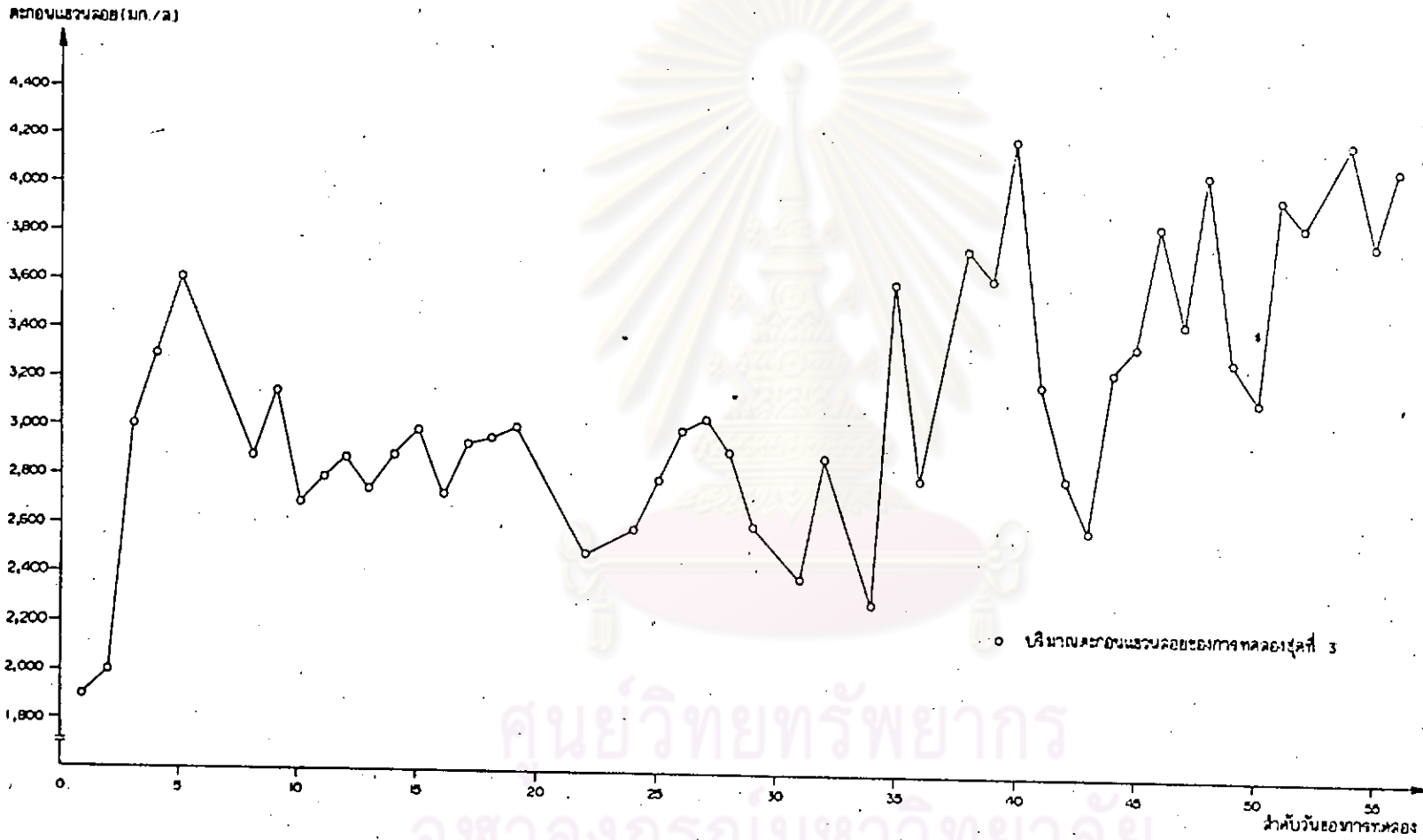


รูปที่ 4.13 ปริมาณตะกอนแขวนลอย ที่ออกมากับน้ำออก ของการทดลองชุดที่ 1

ตะกอนแขวนลอย (มก./ล)



รูปที่ 4.14 ปริมาณตะกอนแขวนลอย ที่ออกมากับน้ำออก ของการทดลองชุดที่ 2



รูปที่ 4.15 ปริมาณความชื้นของอากาศ ที่ออกมาจากน้ำออก ของการทดลองชุดที่ 3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.13, 4.14 และ 4.15 แสดงปริมาณความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่ออกมาจากน้ำออกของการทดลองชุดที่ 1, 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 382, 1330 และ 3228 มก./ล. ตามลำดับ จะเห็นว่าปริมาณความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่หลุดออกมาจากน้ำออกจะเพิ่มมากขึ้นตามภาวะบรรทุกลำธารอินทรีย์ ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซที่เกิดขึ้นในถังปฏิกริยาที่มีปริมาณมากจะมีผลทำให้ชั้นตะกอนจุลินทรีย์ถูกดันขึ้นไปด้านบน อาจจะทำให้ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์เกิดการแตกตัวออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ มีน้ำหนักเบาและไม่สามารถที่จะตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักของตัวเองภายในถังตกตะกอน อีกสาเหตุหนึ่งคาดว่าที่ภาวะบรรทุกลำธารอินทรีย์สูงขึ้นไป ลำธารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียบจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์นั้นยังไม่หมด ส่วนที่เหลือจะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอน ซึ่งอยู่ด้านบนของถังปฏิกริยา ลำธารอินทรีย์เหล่านี้จะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายจนเกิดก๊าซภายในถังตกตะกอนทำให้จุลินทรีย์ที่รวมกันเป็นกลุ่มก้อน เพื่อกลับไปยังชั้นตะกอนลอยถูกรบกวนให้ลอยขึ้นและไหลออกมาจากน้ำออก ส่วนจุลินทรีย์ที่อยู่ในชั้นตะกอนลอย และชั้นตะกอนล่าง ซึ่งแข็งแรงมีลักษณะเป็นเม็ด (granular bacteria) และมีความสามารถในการตกตะกอนได้ดี ยังคงสามารถเจริญเติบโตได้ต่อไปในถังปฏิกริยา ซึ่งทำให้ระบบสามารถทำงานต่อไปได้

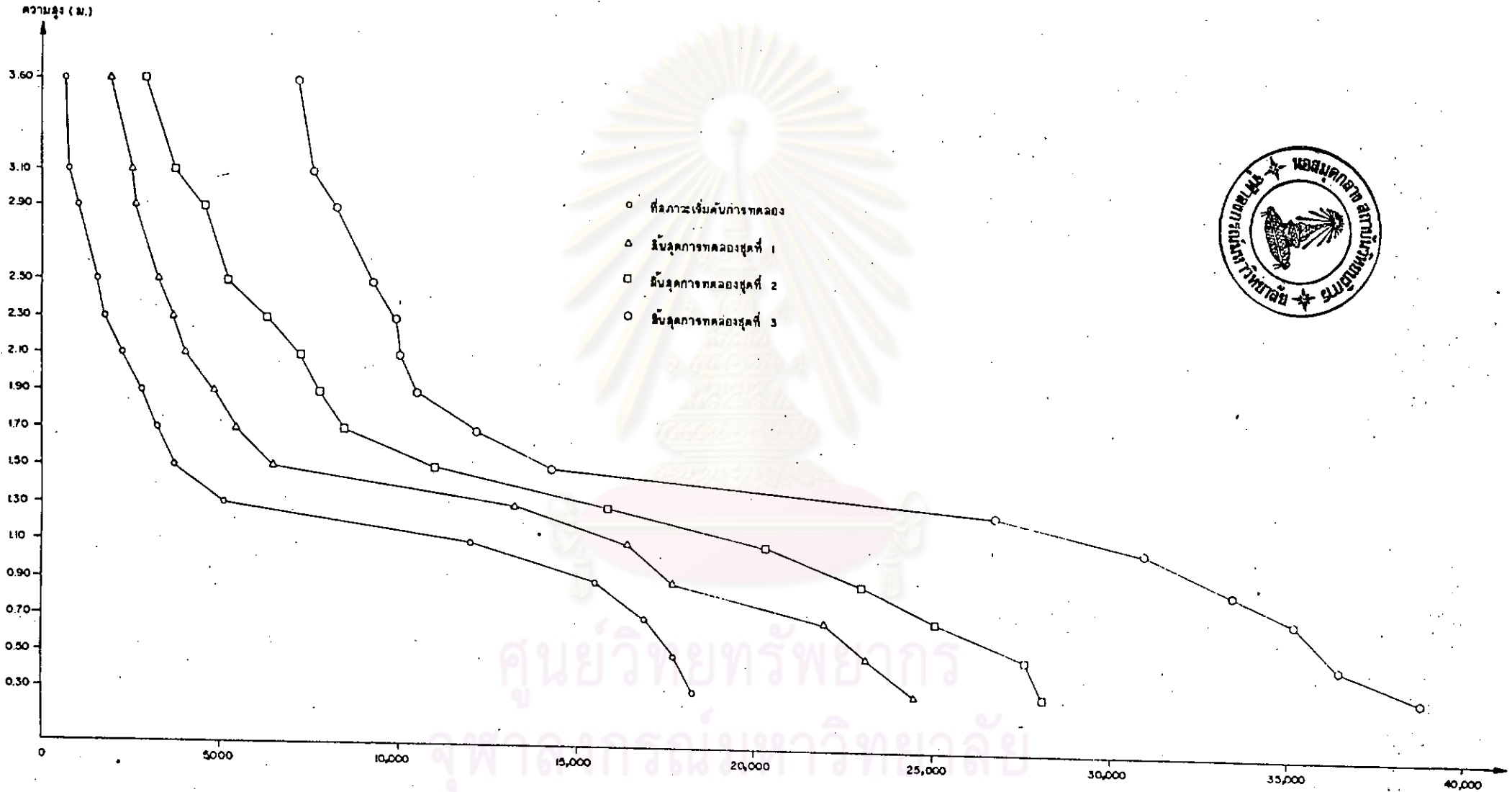
4.2.7 การสร้างและสะสมจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยา

ปริมาณของจุลินทรีย์ที่อยู่ในถังปฏิกริยาจะมีการเพิ่มขึ้นอยู่ตลอดเวลาที่จุลินทรีย์ได้รับอาหารเพิ่มขึ้นอย่างเหมาะสมไม่มากหรือน้อยเกินไป เนื่องจากจุลินทรีย์ที่อยู่ในถังปฏิกริยาไม่มีตัวกลางให้ยึดเกาะ ดังนั้นจุลินทรีย์จะปรับสภาพตัวให้รวมกลุ่มกันเป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีน้ำหนักและสามารถตกตะกอนจมอยู่กันถังได้ จากนั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่ทับถมกันจะมากขึ้นกลายเป็นชั้นตะกอนจุลินทรีย์ Cail และ Barford (52) ได้แสดงให้เห็นว่า ชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่กันถังสามารถที่จะปรับตัวให้มีลักษณะเป็นเส้นใยประสานอย่างหนาแน่น (filamentous granular) จากการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในถังปฏิกริยาพอสรุปเป็นตารางที่ 4.5 และ รูปที่ 4.16

ตารางที่ 4.5 ปริมาณความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่ระดับความสูงต่าง ๆ
ภายในถังปฏิกริยา เมื่อเริ่มต้นการทดลองและสิ้นสุดการทดลอง
ชุดที่ 1, 2 และ 3

ระดับความสูง จากก้นถัง (ม.)	เริ่มต้นการ ทดลอง	สิ้นสุดการทดลอง		
		ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
0.30	18,700	24,500	28,200	38,800
0.50	17,700	23,150	27,600	36,550
0.70	16,900	22,000	25,150	35,300
0.90	15,500	17,700	23,050	33,550
1.10	12,000	16,400	20,300	31,000
1.30	5,150	13,300	15,900	26,900
1.50	3,750	6,550	11,150	14,300
1.70	3,400	5,500	8,500	12,250
1.90	2,800	4,850	7,850	10,550
2.10	2,350	4,050	7,300	10,100
2.30	1,700	3,750	6,350	10,000
2.50	1,550	3,300	5,250	9,350
2.90	1,050	2,650	4,600	8,300
3.10	800	2,550	3,800	7,700
3.60	650	1,900	2,900	7,200

หมายเหตุ หน่วยเป็น มก./ล.



รูปที่ 4.16 ปริมาณตะกอนลูมินาเรียที่ระดับความสูงต่างๆ ของถังปฏิกริยา

จากรูปที่ 4.16 พบว่า การสะสมตะกอนจุลินทรีย์จะเพิ่มมากขึ้นตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ และในช่วง 0.30 - 1.10 เมตร จากด้านล่างของถังปฏิกริยา มีปริมาณความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์จะสูงมาก แต่จากนั้นขึ้นมาปริมาณความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์จะน้อยกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ด้านล่างมาก และจะลดลงเรื่อย ๆ ตามความสูงของถังปฏิกริยา ทั้งนี้อาจมีผลมาจากการที่ตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยาเป็นตะกอนแขวนลอยอยู่ในน้ำซึ่งทำให้มีการปรับสภาพตัวให้มีการรวมกันเป็นก้อนเม็ด จากนั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีน้ำหนักมากก็จะจมตัวลงสู่ก้นถังปฏิกริยา เมื่อระยะเวลาผ่านไปนานเข้าทำให้เกิดการสะสมตัวของตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งกลายเป็นชั้นตะกอนจุลินทรีย์ หรืออาจจะเรียกว่าชั้นตะกอนล่าง (sludge bed) ส่วนตะกอนจุลินทรีย์ที่มีน้ำหนักเบาหรือไม่สามารถรวมตัวกันได้ก็ยังคงแขวนลอยอยู่ในน้ำแต่จะมีปริมาณความเข้มข้นน้อยกว่าชั้นล่าง ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ความสูงในช่วง 0.30 - 1.10 เมตร จะเป็นก้อนเม็ดสีดำ และมีการรวมตัวได้ดี จากการสังเกตพบว่าหลังจากเริ่มต้นการทดลองชุดที่ 3 ตะกอนจุลินทรีย์ในช่วง 0.30 - 0.90 เมตร จากก้นถังปฏิกริยาจะมีกากแก้วเหลืองปนอยู่ แสดงว่าระบบไม่สามารถที่จะรับสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นได้อีก ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากการที่จุลินทรีย์ในถังปฏิกริยา มีจำนวนน้อยไม่สามารถที่จะสร้างปฏิกริยาไฮโดรไลซิส์ได้ทัน จากการตรวจสอบจุลินทรีย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าในช่วงเริ่มต้น การทดลองชุดที่ 1 ที่ระดับ 0.30 เมตร จากก้นถังปฏิกริยา จะพบแบคทีเรียแบบเส้นใยจำนวนมาก เมื่อสิ้นสุดการทดลองชุดที่ 1 จะพบแบคทีเรียที่มีลักษณะเป็นแท่ง (rod) จำนวนมาก แต่ไม่พบแบคทีเรียที่เป็นเส้นใย (filamentous bacteria)

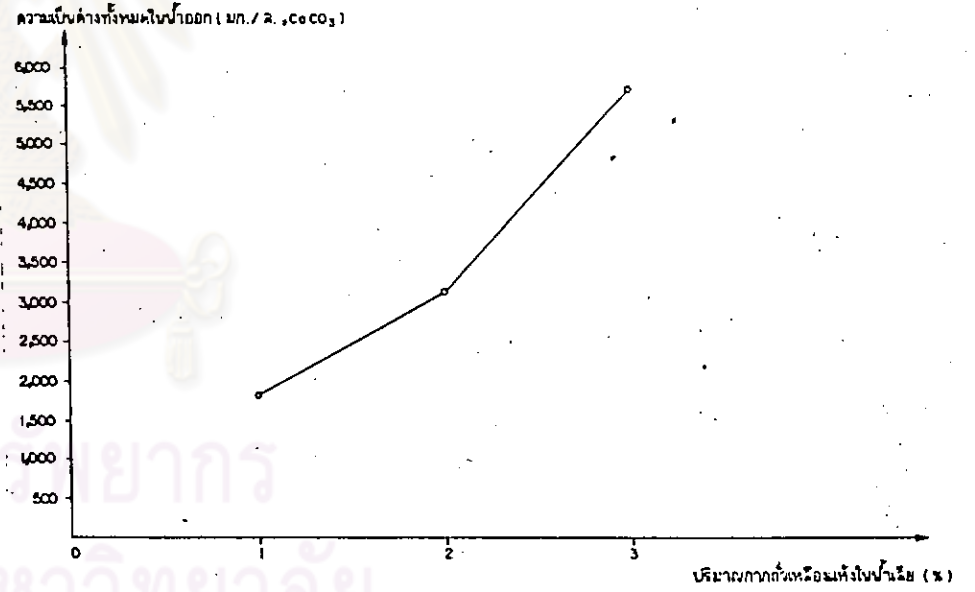
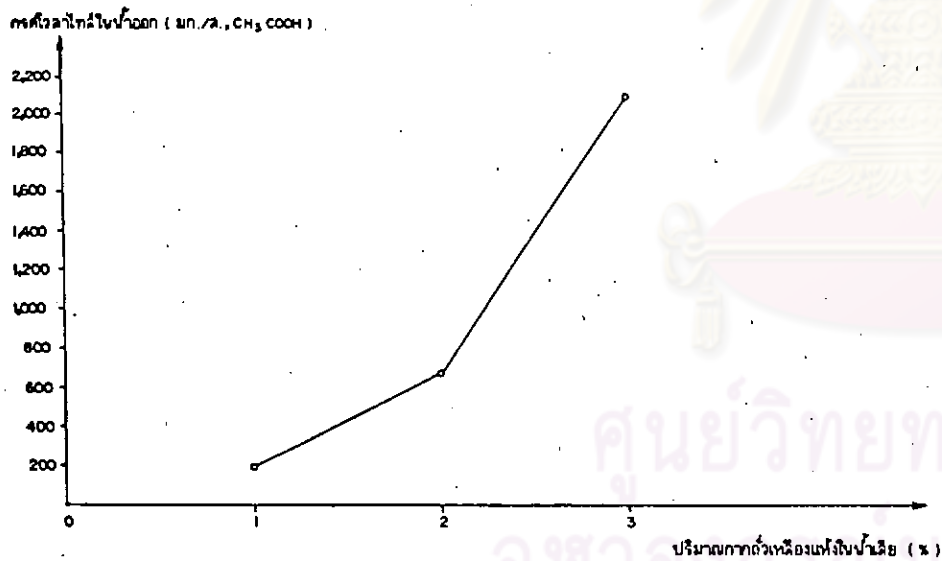
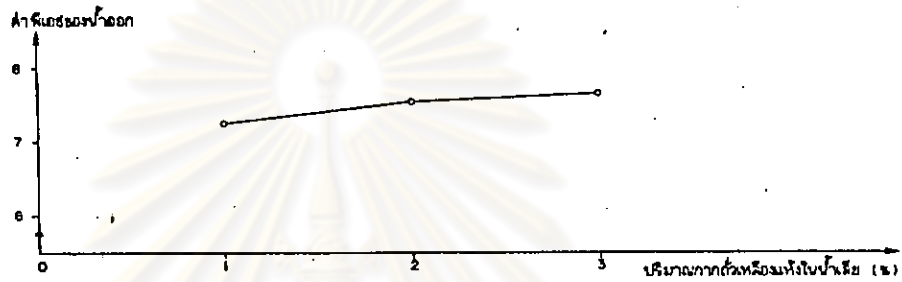
นอกจากนี้จากรูปที่ 4.16 จะสังเกตเห็นได้ว่าปริมาณความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ตลอดความสูงของถังปฏิกริยาจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้อาจเกิดจากความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในชั้นล่างและความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในน้ำเสียที่ป้อนเข้าถังปฏิกริยา จะทำให้ชั้นตะกอนจุลินทรีย์ด้านล่างทำหน้าที่เป็นตัวกรอง (filter) น้ำเสียตะกอนแขวนลอยที่อยู่ในน้ำเสียซึ่งเป็นกากแก้วเหลืองจะสะสมและถูกกักอยู่ที่ชั้นตะกอนจุลินทรีย์ด้านล่างจะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารและย่อยสลายให้เป็นก๊าซ และเซลล์จุลินทรีย์ตัวใหม่ซึ่งจะถูกกักโดยชั้นตะกอนจุลินทรีย์จึงทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ในชั้นนี้เกิดมากขึ้น ส่วนน้ำเสียที่ผ่านการกรองจากชั้นตะกอนด้านล่างจะไหลขึ้นสู่ด้านบน จะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารและย่อยสลายให้เป็นก๊าซและเซลล์จุลินทรีย์ตัวใหม่ นอกจากนี้ก๊าซที่เกิดขึ้นในชั้นตะกอนล่าง จะนำเอาตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่บริเวณผิวด้านบนของชั้นตะกอนล่างลอยขึ้นสู่ด้านบน (ดูรูปที่ 2.3) ซึ่งทำให้ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในชั้นตะกอนลอยมีเพิ่มขึ้น

4.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นกากตัวเหลืองแห้งที่มีต่อพารามิเตอร์ต่าง ๆ

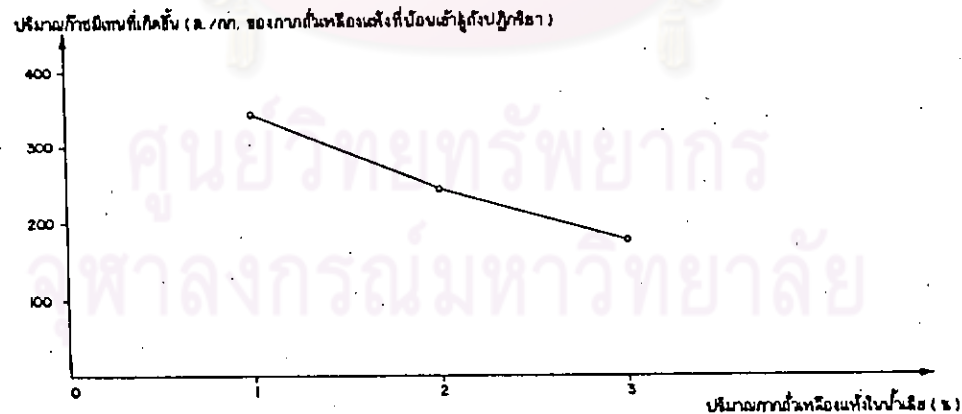
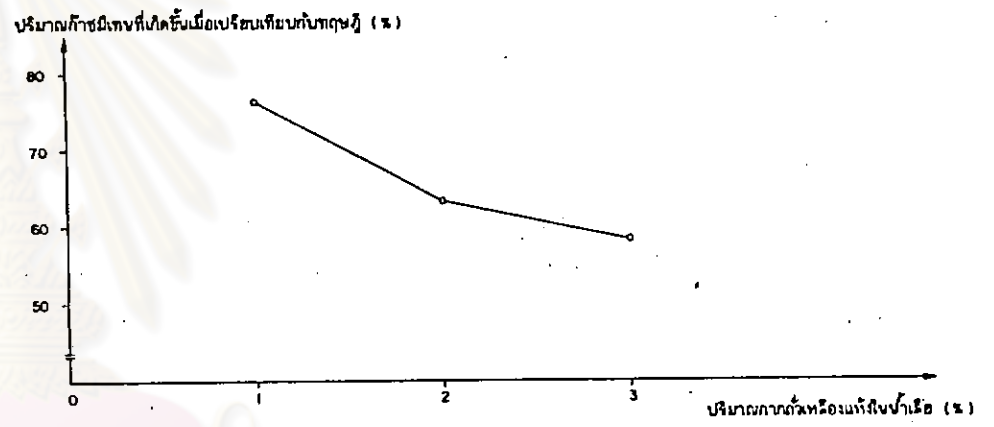
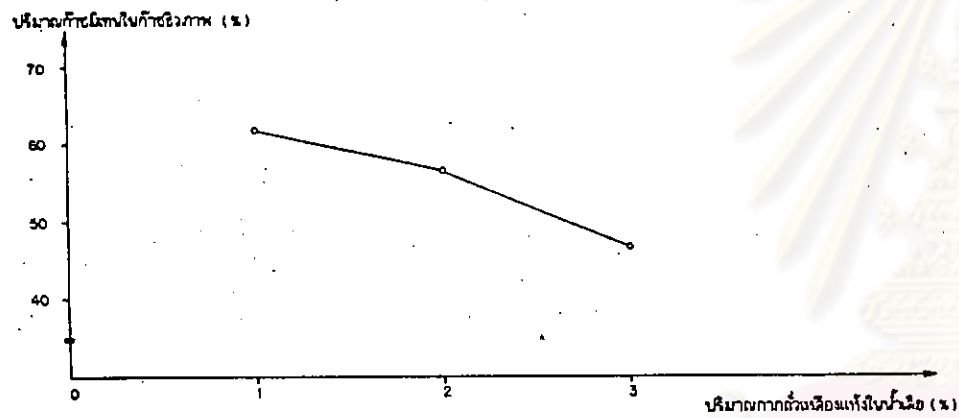
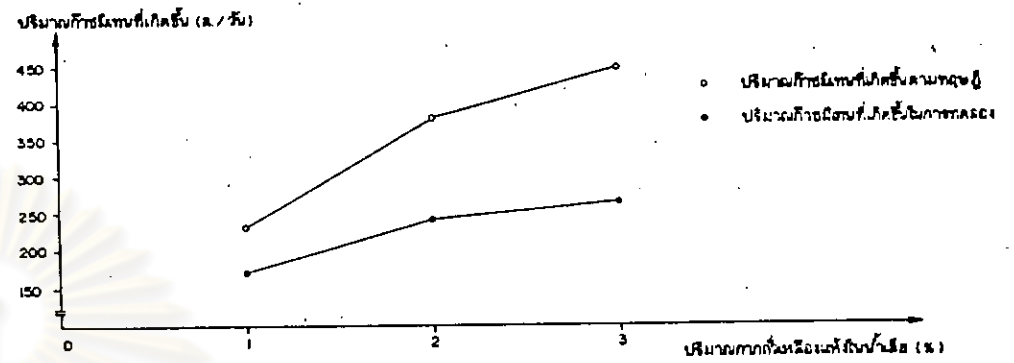
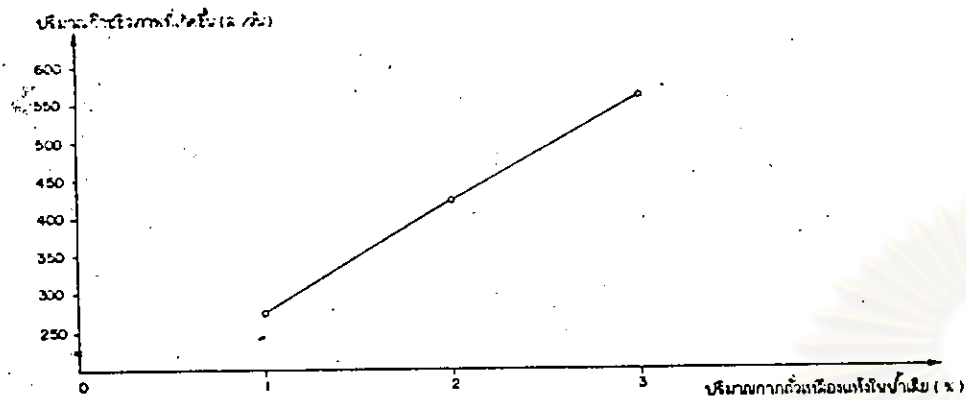
การทดลองครั้งนี้ได้กำหนดให้น้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นกากตัวเหลืองแห้ง ซึ่งคิดเป็นร้อยละ โดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับคือร้อยละ 1, 2 และ 3 นอกจากนี้ยังกำหนดให้อัตราการสูบน้ำเสียคงที่เท่ากับ 50 ล./วัน รูปที่ 4.17 - 4.19 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นกากตัวเหลืองแห้งในน้ำเสียที่มีต่อพารามิเตอร์ต่าง ๆ

รูปที่ 4.17 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้น กากตัวเหลืองแห้งในน้ำเสียที่มีต่อค่าพีเอช สภาพความเป็นด่างทั้งหมด และกรดเวลาไทลในน้ำออกจะเห็นว่า เมื่อปริมาณความเข้มข้นกากตัวเหลืองแห้งในน้ำเสียมีเพิ่มขึ้น ปริมาณความเข้มข้นของกรดเวลาไทลมีค่าสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นอาหารของจุลินทรีย์มีจำนวนเพิ่มขึ้นจะทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างกรดซึ่งเจริญเติบโตได้เร็วกว่าจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน และอัตราการสร้างกรดเวลาไทลเกิดได้เร็วกว่าการนำกรดเวลาไทลไปใช้ในการสร้างก๊าซมีเทน ดังนั้นจึงทำให้ในถังปฏิกริยาเกิดการสะสมกรดเวลาไทลจาก 183 เป็น 2,081 มก./ล. (as CH_3COOH) นอกจากนี้ปริมาณความเข้มข้นของความเป็นด่างทั้งหมดจะมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดการเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์จาก 100 เป็น 300 มก./ล. ซึ่งเป็นสารบัพเฟอร์ ลงในน้ำเสีย และปฏิกริยาชีวเคมีซึ่งย่อยกากตัวเหลืองให้เป็นแอมโมเนียไบคาร์บอเนต ซึ่งเป็นสารบัพเฟอร์ ดังนั้นทำให้ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดเพิ่มขึ้น จาก 1,830 เป็น 5,709 มก./ล. (as CaCO_3) ส่วนค่าพีเอชตลอดการทดลองจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยาลำสามารถปรับตัวให้สามารถรับน้ำเสียได้ จึงทำให้ระบบมีค่าส่งบัพเฟอร์สูงขึ้น

รูปที่ 4.18 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นกากตัวเหลืองแห้งในน้ำเสียที่มีต่อภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าซีไอดีทั้งหมดของน้ำเข้าและน้ำออก และประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีทั้งหมด จะเห็นว่าเมื่อปริมาณความเข้มข้นกากตัวเหลืองแห้งในน้ำเสียโดยน้ำหนักมีค่าเพิ่มจากร้อยละ 1 เป็นร้อยละ 3 ปริมาณความเข้มข้นซีไอดีทั้งหมดของน้ำเข้ามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 13,784 เป็น 43,734 มก./ล. และภาวะบรรทุกสารอินทรีย์มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 2.76 เป็น 8.74 กก.ซีไอดี/ลบ.ม. - วัน เนื่องจากการเพิ่มปริมาณกากตัวเหลืองในน้ำเสียเป็นการเพิ่มสารอินทรีย์ในน้ำเสีย นอกจากนี้ปริมาณความเข้มข้นซีไอดีทั้งหมดของน้ำออกจะสูงขึ้นด้วย เนื่องจากการเพิ่มปริมาณกากตัวเหลืองจะทำให้เกิดความไม่สมดุลระหว่างปฏิกริยาไฮโดรไลซิสกับปฏิกริยาสร้างกรดและสร้างก๊าซมีเทน ซึ่งทำให้กากตัวเหลืองไม่สามารถย่อยสลายได้สมบูรณ์



รูปที่ 4.17 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นกากถั่วเหลืองแห้งในน้ำเสิร์ฟที่มีต่อค่าพีเอช ลักษณะความเป็นด่างทั้งหมด และกรดไขมันในน้ำออก



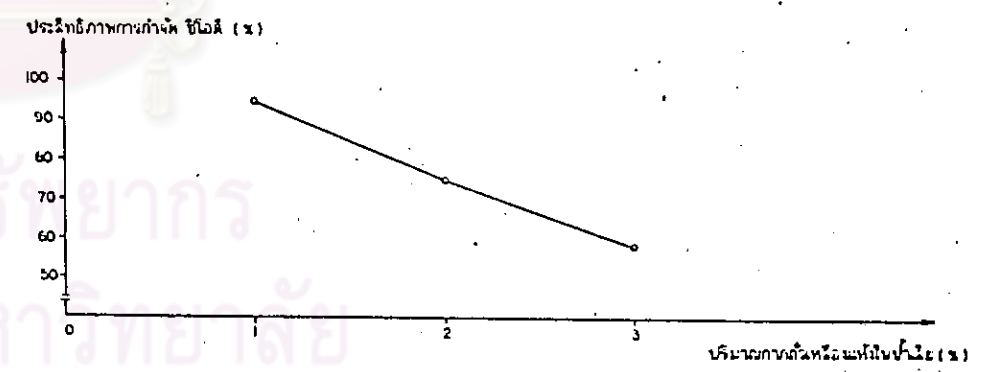
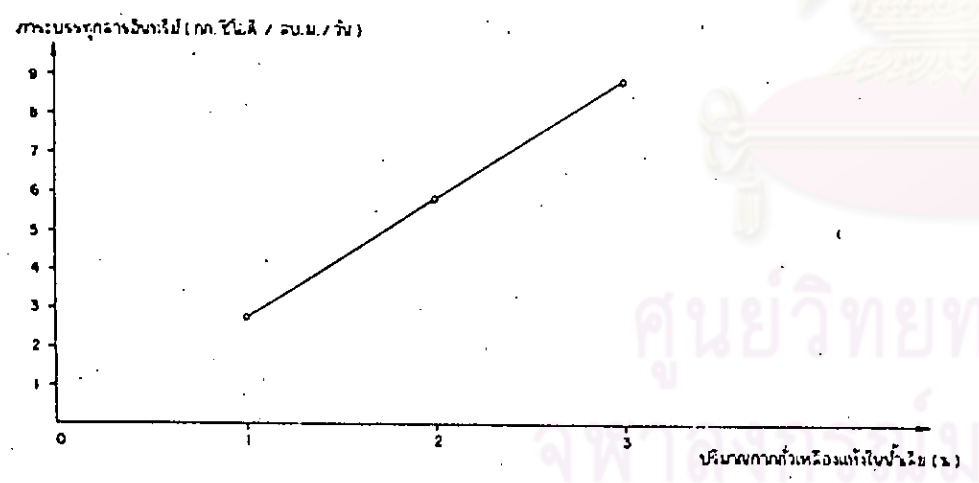
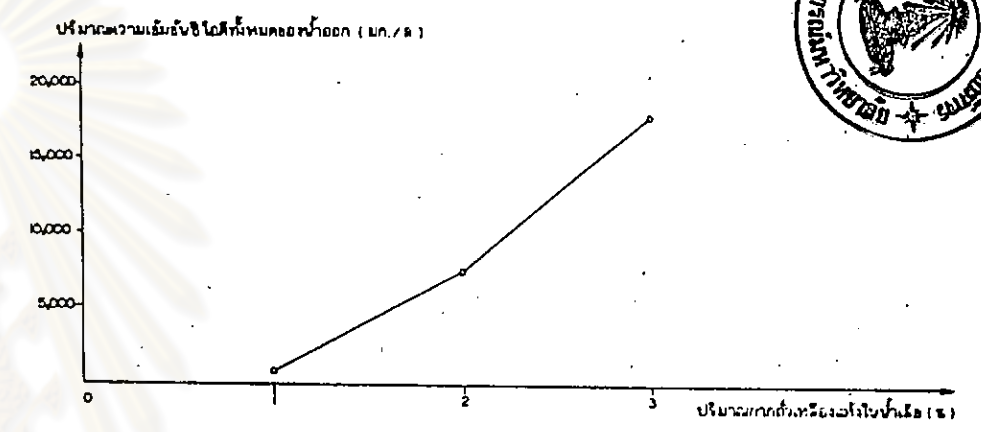
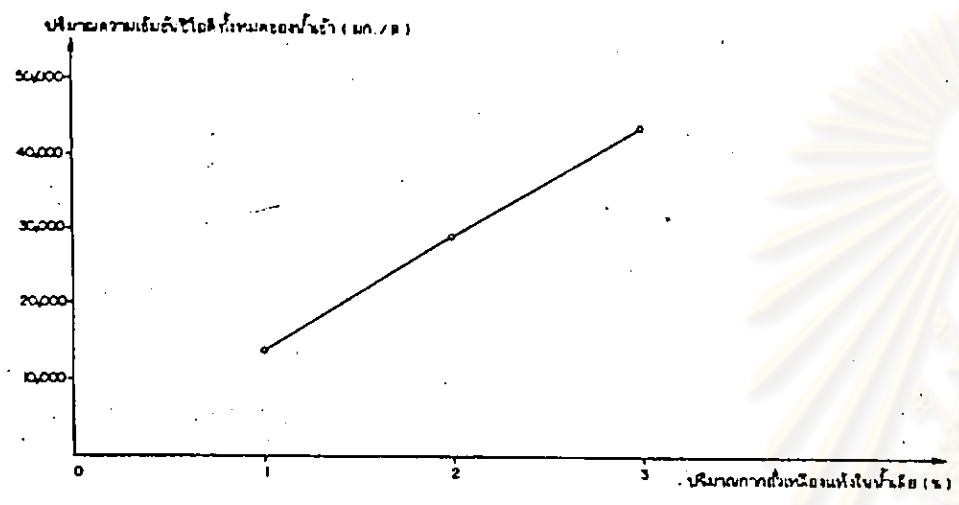
รูปที่ 4.18 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นจากตัว เหลืองแห้งในน้ำ สลี่ยที่มีต่อปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ การผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในการทดลอง และทฤษฎี การเปรียบเทียบการผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจริงกับทฤษฎี

หลุดออกมากับน้ำออก ปริมาณความเข้มข้นซีโอดีทั้งหมดของน้ำออกมีค่าเพิ่มจาก 658 เป็น 18,267 มก./ล. เป็นสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดลดลงจากร้อยละ 95.0 เป็น 58.4

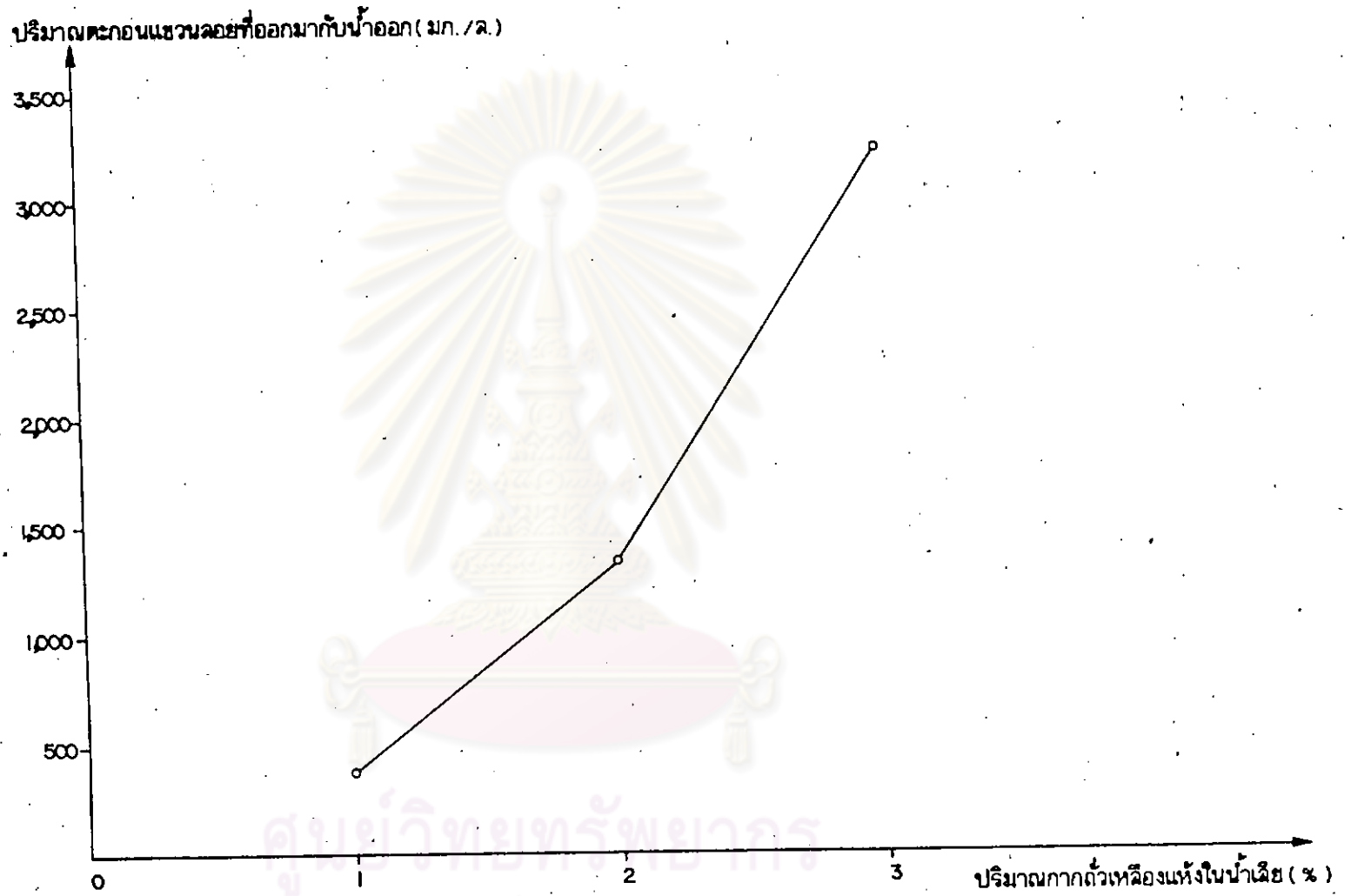
รูปที่ 4.19 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นกากตัวเหลืองแห้งในน้ำเสียที่มีต่อปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ การผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในการทดลองและทฤษฎี การเปรียบเทียบการผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจริงกับทฤษฎี จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณความเข้มข้นกากตัวเหลืองในน้ำเสียมีเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1 เป็นร้อยละ 3 ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ในแต่ละวันจะเพิ่มขึ้นจาก 275.8 เป็น 561.0 ลิตร/วัน และ 170.3 เป็น 262.0 ลิตร/วัน ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เกิดจากการเพิ่มกากตัวเหลืองจะเป็นการเพิ่มอาหารแก่จุลินทรีย์ ซึ่งจะสร้างก๊าซและเซลล์ตัวใหม่มากขึ้น ส่วนปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพจะมีค่าลดลงจากร้อยละ 76.3 เป็น 58.6 ตามการเปลี่ยนปริมาณกากตัวเหลือง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกากตัวเหลืองในน้ำเสียจากร้อยละ 1 เป็นร้อยละ 3 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักกากตัวเหลืองที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกริยาจะมีค่าลดลงจาก 343.0 เป็น 159.7 ลิตร/กิโลกรัมของกากตัวเหลืองแห้งที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกริยา ทั้งนี้อาจเกิดจากจุลินทรีย์ที่อยู่ในถังปฏิกริยามีจำนวนน้อยเกินไปจนไม่สามารถที่ย่อยกากตัวเหลืองได้หมด จึงมีบางส่วนที่หลุดออกไปกับน้ำออก ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ลดลง ดังนั้นก๊าซที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณลดลง

รูปที่ 4.20 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นกากตัวเหลืองแห้งในน้ำเสียที่มีต่อปริมาณความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่ออกมาจากน้ำออก จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นกากตัวเหลืองจากร้อยละ 1 เป็นร้อยละ 3 ปริมาณตะกอนแขวนลอยที่หลุดออกมาจากน้ำออกเพิ่มขึ้นจาก 382 เป็น 3228 มก./ล. ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์, ก๊าซที่เกิดขึ้นภายในถังตกตะกอน และก๊าซที่เกิดขึ้นในชั้นตะกอนล่าง (sludge bed) จะดันให้ชั้นตะกอนจุลินทรีย์สูงขึ้นจนถังตกตะกอนไม่สามารถรับตะกอนจุลินทรีย์เหล่านี้ได้ จึงทำให้ตะกอนจุลินทรีย์มีโอกาสหลุดออกมาจากน้ำออกมากขึ้น

เมื่อพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะนำเอาข้อมูลที่อยู่ในช่วงที่ระบบทำงานได้ค่อนข้างคงที่มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อที่จะไปใช้ได้สะดวกขึ้น โดยได้สรุปข้อมูลของการทดลองทั้งสามชุดเอาไว้ในตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.19 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นก๊าชไอน้ำทั้งหมดในน้ำเข้า เสียที่วัดภาวะบรรจุถาดไอน้ำ ค่าซีโอลีทั้งหมดของน้ำเข้าและน้ำออก และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอลีทั้งหมด



รูปที่ 4.20 ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณกากถั่วเหลืองแห้งในน้ำเสียที่มีต่อปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ออกมาค้บน้ำออก

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลของการทดลอง

พารามิเตอร์	หน่วย	การทดลองชุดที่ 1			การทดลองชุดที่ 2			การทดลองชุดที่ 3		
		n	\bar{x}	6 σ -1	n	\bar{x}	6 σ -1	n	\bar{x}	6 σ -1
Total influent COD	mg/l	15	13,784	2,113	12	28,898	1,466	18	43,734	2,129
Flowrate	l/d	-	50	-	-	50	-	-	50	-
Hydraulic detention time	d	-	5	-	-	5	-	-	5	-
Organic loading	kg COD/m ³ .d	15	2.76	0.42	12	5.83	0.37	18	8.74	0.43
Total effluent COD	mg/l	15	653	108	12	7,323	837	18	13,267	2,514
Total COD removal	%	15	95.0	1.55	12	75.0	2.3	18	58.4	3.8
Settled 2 hr. effluent COD	mg/l	-	-	-	12	4,484	750	18	11,821	1,756
Settled COD removal	%	-	-	-	12	84.2	2.3	18	72.5	3.5
Effluent pH		15	7.21	0.14	11	7.52	0.18	17	7.58	0.21
Effluent suspended solids	mg/l	15	392	48	12	1,330	96	16	3,228	645
Effluent volatile suspended solids	mg/l	15	92.02	3.07	12	92.17	4.71	16	89.69	4.07
Effluent volatile fatty acids	mg/l as CH ₃ COOH	15	132	33	11	666	61	17	2,031	115
Total effluent alkalinity	mg/l as CaCO ₃	15	1,830	65	11	3,106	218	17	5,709	274
Total biogas	l/d	15	275.8	43.4	12	423.4	22.5	18	561	39.5
CH ₄ in biogas	%	15	61.8	1.05	12	56.5	2.9	18	46.7	1.05
CH ₄ in gas in experiment	l/d	15	170.3	25.6	12	239.2	8.3	18	262	19.6
CH ₄ gas in theory	l/d	15	229.7	38.2	12	378.3	17.4	18	446.5	13.2
CH ₄ gas in exp./CH ₄ gas in theo.	%	15	76.3	19.85	12	63.3	1.42	18	58.6	3.5
CH ₄ gas in experiment	l/kg of dry residual soy bean	15	343	53	12	243	29	18	177	13
Total solids in residual soy bean	%	15	15.89	0.60	12	16.04	0.95	18	16.93	0.51
Total volatile solids in residual soy bean	%	15	96.38	0.47	12	96.24	0.19	18	96.39	0.34
Influent COD	gm COD/gm of dry residual soy bean	15	1.387	0.203	12	1.461	0.153	18	1.335	0.067

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย