



บทที่ 4

การเล่นอมผลการวิจัยและวิจารณ์

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองหาลมรรถนะการทำงานของ เครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่มีความสูงของชั้นตัวกลางต่างกัน ดังนั้นจึงได้กำหนดวิธีการทดลองโดยใช้เครื่องกรองสองตัว ซึ่งเครื่องกรองตัวที่ 1 จะบรรจุตัวกลางพลาสติก (โรมันผสม) เต็มถึงเครื่องกรองตัวที่ 2 บรรจุตัวกลางพลาสติก (โรมันผสม) ครึ่งถึงในลักษณะลอยตอนบน และจะทำการทดลองหาลมรรถนะการทำงานของเครื่องกรองทั้งสองที่สภาวะการทำงานทรงตัว (STEADY STATE) ภายใต้ ออร์แกนิคโหลดตั้ง 3 ระดับ คือ 1, 3, 5 กก./ม³-วัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าออร์แกนิคโหลดตั้งจะขึ้นกับค่าซีไอเอสของน้ำเสียสังเคราะห์ คือ 2,000, 6,000, 10,000 มก./ล. จากการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์เข้าสู่เครื่องกรองในอัตรา 40 ลิตร/วัน และการใช้ตัวกลางพลาสติกพวกโรมันผสมซึ่งมีความพรุนสูงนี้ทำให้ค่า HRT ของเครื่องกรองทั้งสองมีค่าไม่ต่างกันมากนักกล่าวคือ ค่า HRT ของเครื่องกรองตัวที่ 1 = $72 \times 24 / 40 = 43.2$ ชม. ค่า HRT ของเครื่องกรองตัวที่ 2 = $(40/40 + 36/40) \times 24 = 45.6$ ชม. (ค่าความพรุนของโรมันผสมมีค่าประมาณ = 90 %)

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการทำงานต่อเนื่องกับการวิจัยครั้งก่อนหน้า (3) ดังนั้นเครื่องกรองทั้งสองจึงเคยถูกใช้งานมาเป็นเวลานานพอสมควร แต่การวิจัยครั้งนั้นเครื่องกรองตัวที่ 1 บรรจุตัวกลางพลาสติก (โรมันผสม) ในลักษณะครึ่งถึงจน และเครื่องกรองตัวที่ 2 บรรจุตัวกลางพลาสติก (โรมันผสม) ในลักษณะครึ่งถึงลอย ซึ่งจะเห็นได้ว่าเครื่องกรองตัวที่ 1 ผิดวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ จึงจำเป็นต้องเปิดฝาของเครื่องกรองตัวนี้ออกเพื่อเพิ่มปริมาตรตัวกลางให้เต็มถึงตามจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้

การทดลองครั้งนี้ใช้เวลารวมทั้งสิ้นประมาณ 270 วัน ดังมีรายละเอียดดังนี้

- ก. การเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ (START UP) 30 วัน
- ข. การทดลองภายใต้ออร์แกนิคโหลดตั้ง 1 กก./ม³-วัน 90 วัน
- ค. การทดลองภายใต้ออร์แกนิคโหลดตั้ง 3 กก./ม³-วัน 90 วัน
- ง. การทดลองภายใต้ออร์แกนิคโหลดตั้ง 5 กก./ม³-วัน 60 วัน

4.1 การเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ (START UP)

ในงานวิจัยนี้ได้พยายามรักษาสภาพเดิมของเครื่องกรองทั้งสองไว้ให้เหมือนเดิมมากที่สุด ทั้งนี้เพราะเครื่องกรองทั้งสองเคยถูกใช้งานมานาน และแบคทีเรียที่อยู่ภายในเครื่องกรองเคยชินต่อสภาพความเป็นอยู่ทั้งยังมีความแข็งแรงในการทนต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ แต่เนื่องจากเครื่องกรองตัวที่ 1 จำเป็นต้องเปิดฝาดอกเพื่อเพิ่มตัวกลางให้เต็มถัง ดังนั้นการรักษาสภาพเดิมของเครื่องกรองตัวนี้จึงดูจะมีปัญหา และเพื่อที่จะรักษาสภาพน้ำทั้งภายในเครื่องกรองทั้งสองให้คล้ายกัน ผู้วิจัยจึงได้ทำการถ่ายน้ำเสียจากเครื่องกรองทั้งสองแล้วจึงนำมาผสมกัน จากนั้นจึงกลับมาเปิดฝาดอกเครื่องกรองตัวที่ 1 นำตัวกลางออกมา ล้างถังกรองและเติม SEED ประมาณ 16 ลิตร (20% ของปริมาตรถังกรอง) เติมตัวกลางในถังจนเต็มจึงทำการปิดฝาดอก จากนั้นป้อนน้ำเสียที่ผสมทั้งไว้เข้าสู่เครื่องกรองทั้งสองด้วยปริมาตรที่เท่ากัน เพื่อที่จะตรวจสอบน้ำทั้งภายในเครื่องกรองทั้งสองว่าเต็มถังหรือไม่ จึงทำการป้อนน้ำประปาเข้าไปยังเครื่องกรองทั้งสองจนกระทั่งมีน้ำออกจากเครื่องกรองทั้งสองจึงหยุดทำการป้อนน้ำ และทิ้งไว้จนมีก๊าซเกิดขึ้นจึงเริ่มป้อนน้ำเสียลงเครื่อง

ก่อนที่จะทำการป้อนน้ำเสียลงเครื่องได้ทำการวัดค่าพีเอชได้ค่า 6.5 และ 6.7 สำหรับเครื่องกรองตัวที่ 1 และ เครื่องกรองตัวที่ 2 ตามลำดับ จากนั้นจึงเริ่มป้อนน้ำเสียลงเครื่องเข้าเครื่องกรองทั้งสองพร้อมกัน โดยค่อย ๆ เพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสียลงเครื่องวันละ 10% ของความเข้มข้นซีโอดีที่กำหนด และทำการเก็บตัวอย่างน้ำมาส่งเครื่อง จากการสังเกตในการป้อนน้ำเสียลงเครื่องในระยะแรกของการทดลอง พบว่าเครื่องกรองตัวที่ 2 สามารถที่จะรับความเข้มข้นซีโอดีที่ระดับสูงได้เร็วกว่าเครื่องกรองตัวที่ 1 ซึ่งสังเกตได้จากน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองจะมีค่าซีโอดีต่ำอยู่ตลอดช่วงที่มีการเพิ่มความเข้มข้นซีโอดีที่สภาวะออร์แกนิกโหลดถึง 1 กก./ม³-วัน ในขณะที่เดียวกันเครื่องกรองตัวที่ 1 ต้องใช้ระยะเวลาช่วงหนึ่งในการปรับสภาพให้เคยชินต่อสภาพความเป็นอยู่ใหม่

4.2 ผลการวิจัยและวิจารณ์

เนื่องจากจากการทดลองนี้ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่องกรองที่มีชั้นตัวกลางเต็มถัง (เครื่องกรองตัวที่ 1) และเครื่องกรองที่มีชั้นตัวกลางครึ่งถังลอย (เครื่องกรองตัวที่ 2) ในลักษณะต่อเนื่องในแต่ละระดับออร์แกนิกโหลดถึง ดังนั้นผลการทดลองส่วนใหญ่จะแสดงในรูปภาพ และเพื่อที่จะสรุปค่าของข้อมูลให้ง่ายขึ้น จึงได้ทำการหาค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่าง ๆ และนำมา

เสนอเป็นตารางซึ่งค่าเฉลี่ยส่วนใหญ่คิดจากกลุ่มข้อมูลดิบในช่วงที่การทำงานของ เครื่องกรองมี สภาพการทำงานทรงตัว (Steady State) ในแต่ละระดับออร์แกนิกโหลดดิ่ง ผลการวิจัยของ ตัวแปรต่าง ๆ พอที่จะแสดงถึงความแตกต่างและพฤติกรรมการทำงานของ เครื่องกรองทั้งสอง ได้ดังนี้

4.2.1 ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชของน้ำทิ้งในเครื่องกรองทั้งสองมีค่าไม่ต่างกันนัก ทั้งนี้อาจมีผลเนื่อง มาจากการควบคุมพีเอชในน้ำทิ้งตลอดเวลาที่ทำการทดลอง จากการวิเคราะห์พบว่าค่าพีเอชจะมีค่าต่ำสุดบริเวณตอนล่างของ เครื่องกรอง ซึ่งจะมีค่าต่ำกว่าจุดที่เหนือขึ้นไปเพียง เล็กน้อย (ดูตารางที่ 4.1) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชในน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองทั้งสอง ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยของ pH จากการทดลองทั้ง 3 ชุด

LOADING	FILTER	0.15M*	0.30M	0.45M	0.75M	1.05M	1.20M
1	AF#1**	6.72	6.85	6.85	6.85	6.92	6.95
1	AF#2***	6.71	6.80	6.75	6.82	6.82	6.96
3	AF#1	6.64	6.72	6.86	6.93	7.03	6.95
3	AF#2	6.69	6.75	6.75	6.78	6.88	6.93
5	AF#1	6.97	6.98	7.01	7.01	7.06	7.06
5	AF#2	7.03	7.08	7.12	7.21	7.21	7.20

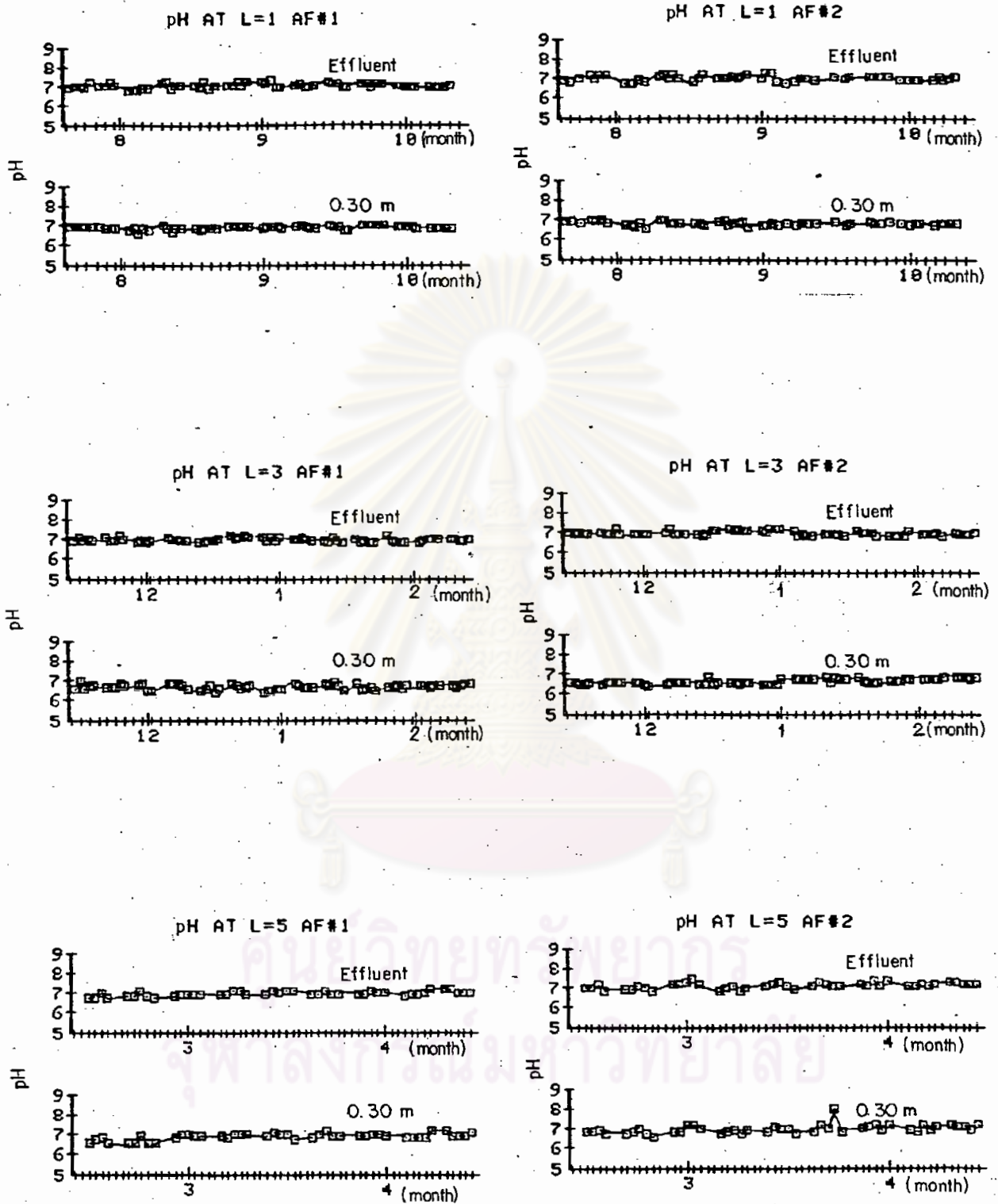
* ความลึกวัดจากก้นเครื่องกรอง

** AF#1 เครื่องกรองที่มีตัวกลางเต็มถัง

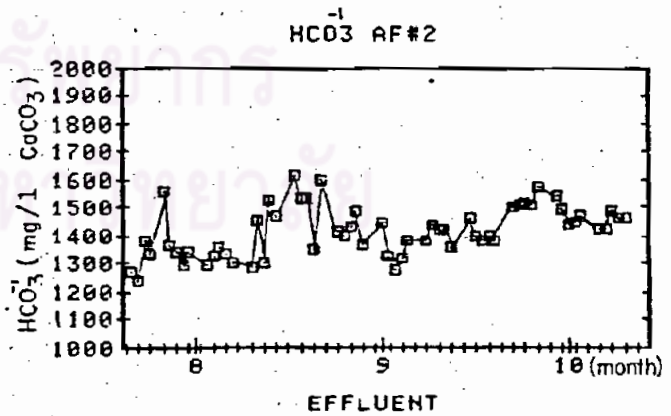
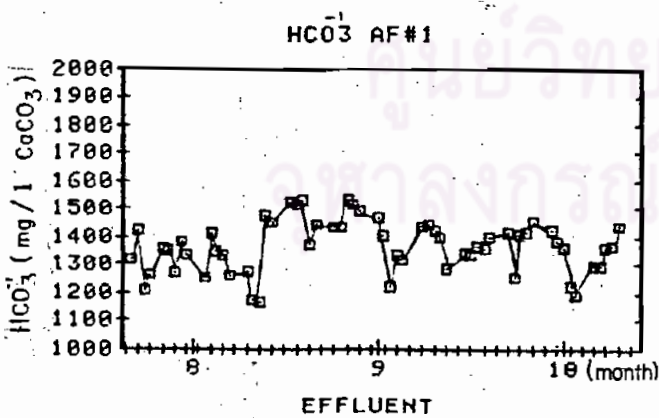
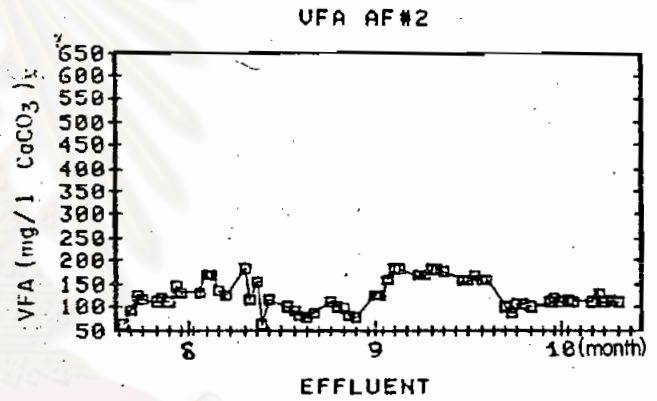
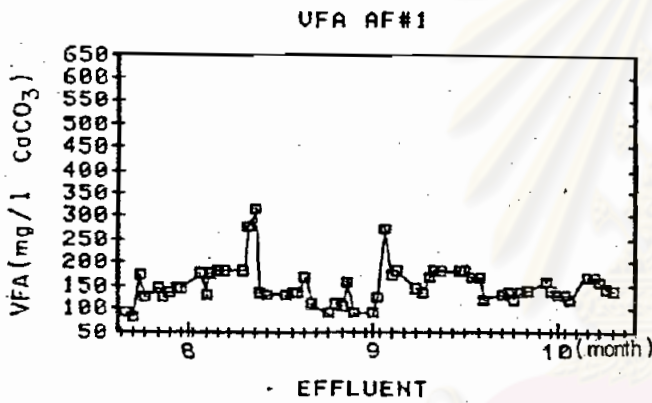
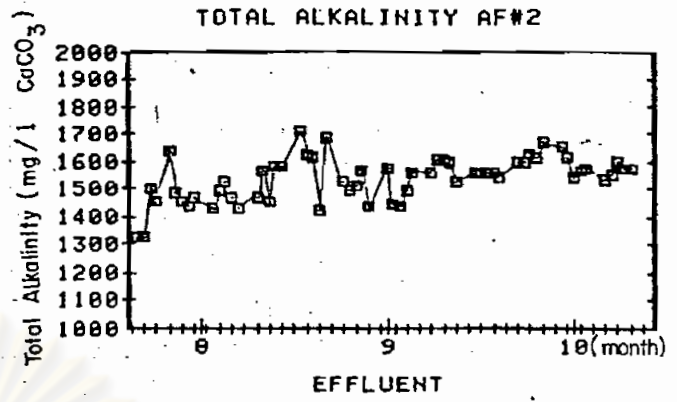
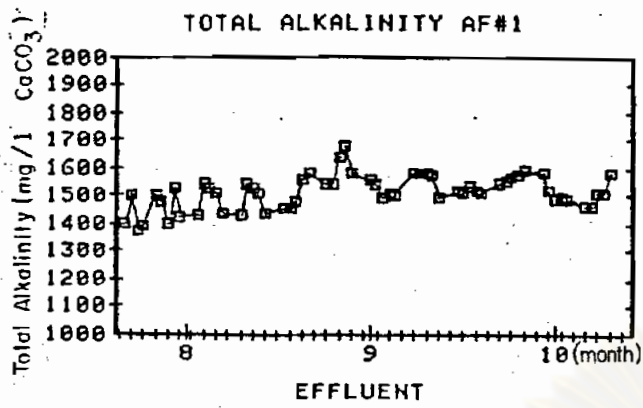
*** AF#2 เครื่องกรองที่มีตัวกลางครึ่งถัง

4.2.2 สภาพความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity) สภาพความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนต (Bicarbonate Alkalinity) กรดโวลาทิล (Volatile Acid)

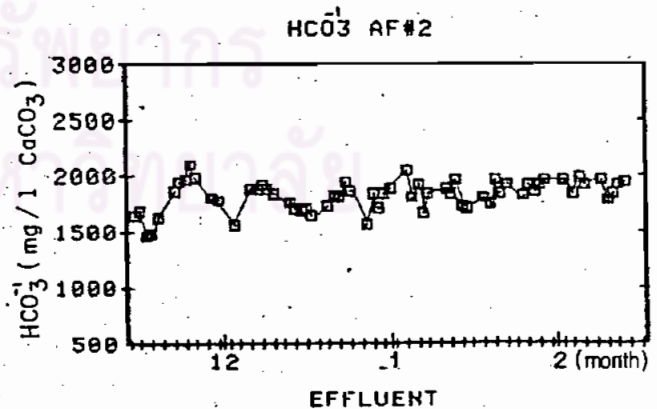
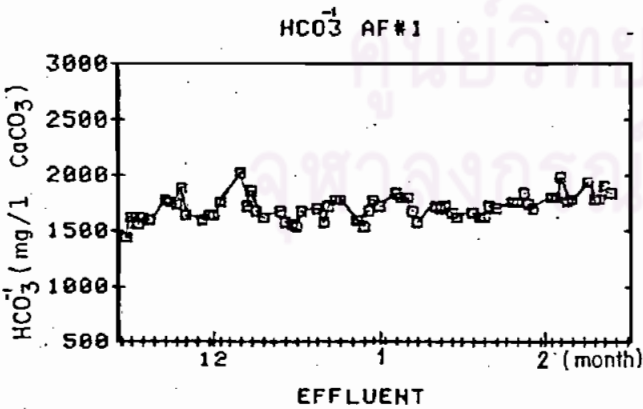
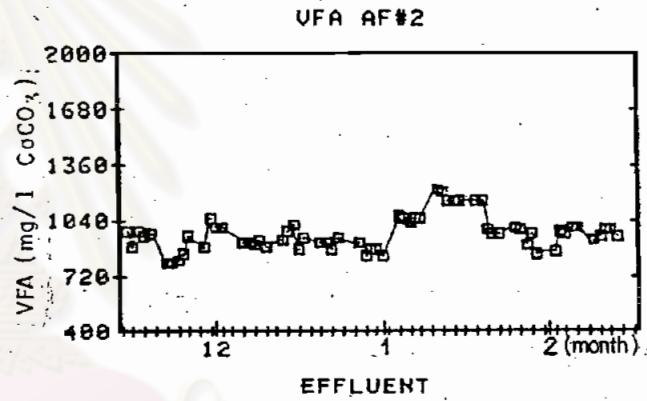
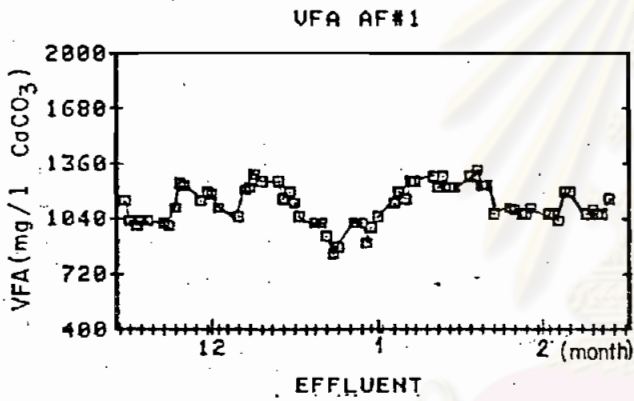
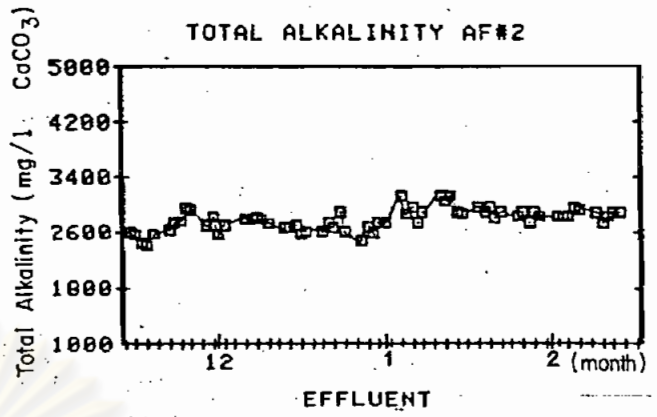
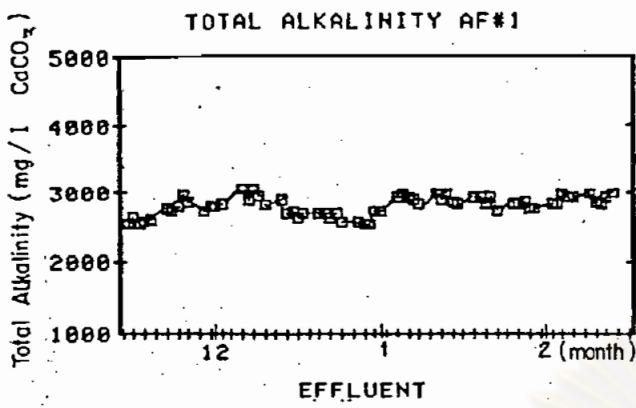
รูปที่ 4.2-4.4 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทั้งสาม คือ สภาพ ความเป็นด่างทั้งหมด สภาพความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนต และกรดโวลาทิล ในน้ำทิ้งที่ ออกจากเครื่องกรองทั้งสอง จากการวิเคราะห์สภาพความเป็นด่างทั้งหมดพบว่า เครื่องกรอง ทั้งสองมีปริมาณสภาพความเป็นด่างทั้งหมดอยู่ในปริมาณค่อนข้างสูง ซึ่งทำให้ระบบมีกำบังบัฟเฟอร์ (buffer) สูงพอที่จะควบคุมค่าพีเอชของน้ำทิ้งให้มีค่าคงที่ได้เกือบตลอดการทดลอง อนึ่งค่าสภาพ ความเป็นด่างทั้งหมดในระบบของ เครื่องกรองทั้งสองจะมีค่าสูงขึ้นตามการเพิ่มระดับออร์แกนิก โหลดดิ่ง ซึ่งสาเหตุนี้อาจมีผลมาจากสภาพความเป็นด่างทั้งหมดมีค่าแปรตามปริมาณไบคาร์บอเนต



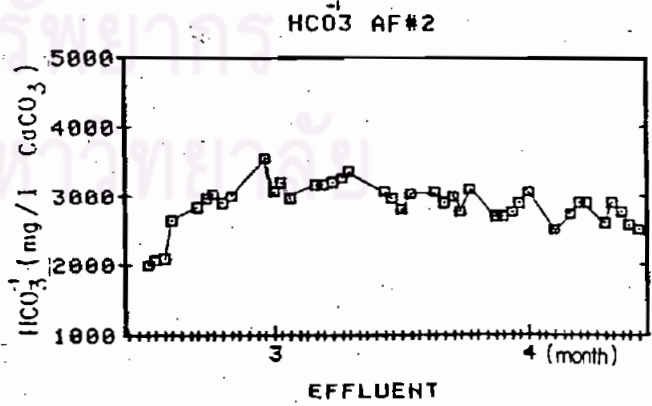
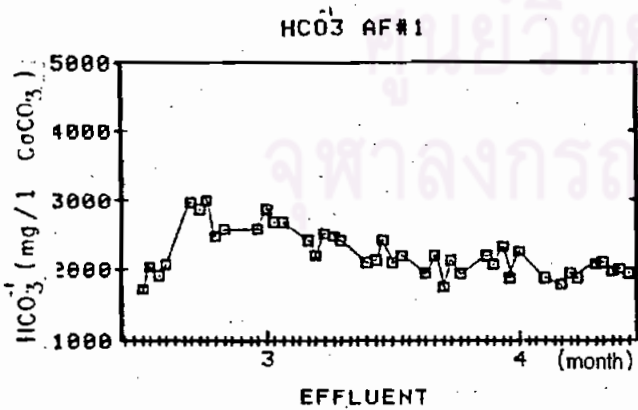
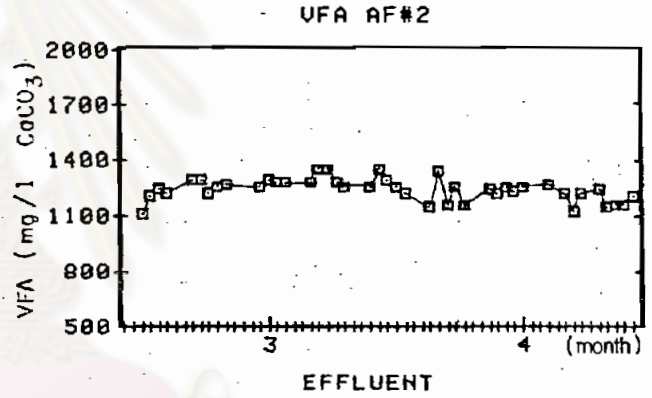
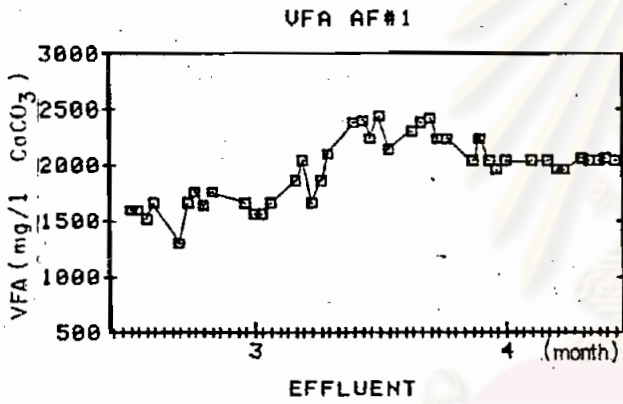
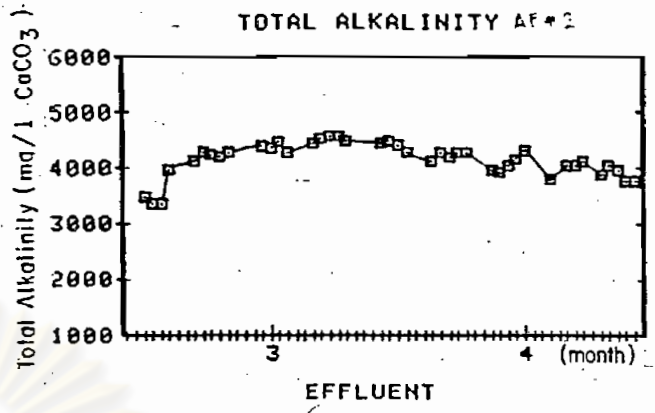
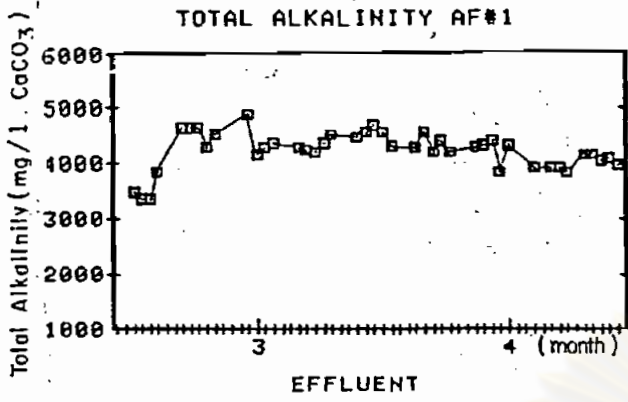
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของเครื่องกรองทั้งสอง
 ที่ระดับออร์แกนิกโหลดตั้ง 1,3,5 กก:ซีโอดี/ม³-วัน



รูปที่ 4.2 สภาพความเป็นต่างทั้งหมด กรดเวลาไหล, สภาพความเป็นต่างไบคาร์บอเนตของ น้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองทั้งสอง ภายใต้แอร์แกนิคโหลดตั้ง 1 กก.ซีไอดี/ม³-วัน



รูปที่ 4.3 สภาพความเป็นต่างทั้งหมด กรดเวลาโวลล์ สภาพความเป็นต่างไบคาร์บอเนตของน้ำ
 ที่งที่ออกจากเครื่องกรองทั้งสอง ภายใต้ออร์แกนิกโหลดตั้ง 3 กก.ซีโอดี/ม³-วัน



รูปที่ 4.4 สภาพความเป็นต่างทั้งหมด กรดเวลาไกล สภาพความเป็นต่างไบคาร์บอเนตของน้ำทิ้ง ที่ออกจากเครื่องกรองทั้งสอง ภายใต้อร์แกนิกโหลดตั้ง 5 กก.ซีโอดี/ม³-วัน

(HCO_3^-) ในน้ำเสียสังเคราะห์

จากการเปรียบเทียบปริมาณสภาพความเป็นต่างทั้งหมดในน้ำทิ้งจากเครื่องกรองทั้งสอง พบว่าเครื่องกรองทั้งสองมีสภาพความเป็นต่างทั้งหมดในปริมาณใกล้เคียงกันที่ระดับออร์แกนิกโหลดตั้ง 1 และ 3 กก/ม³-วัน ส่วนระดับออร์แกนิกโหลดตั้ง 5 กก/ม³-วัน ค่าสภาพความเป็นต่างทั้งหมดของเครื่องกรองตัวที่ 1 (เครื่องกรองมีชั้นตัวกลางเต็มถัง) จะมีปริมาณสูงกว่าเครื่องกรองตัวที่ 2 (เครื่องกรองที่มีชั้นตัวกลางครึ่งถังลอย) ตลอดระดับความสูงของเครื่องกรอง (ดูตาราง 4.2) สาเหตุนี้อาจสันนิษฐานได้ว่าเครื่องกรองตัวที่ 1 มีการสะสมตัวของกรดโวลาทิลในปริมาณสูง ดังนั้นสภาพความเป็นต่างอันเนื่องมาจากกรดโวลาทิล จึงมีมากตามด้วย เป็นผลให้สภาพความเป็นต่างทั้งหมดมีค่าสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจุดที่น่าจะมีความสำคัญมากกว่าก็คือ ค่าสภาพความเป็นต่างในรูปไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) จากผลวิเคราะห์พบว่า ค่าสภาพความเป็นต่างในรูปไบคาร์บอเนตของเครื่องกรองตัวที่ 1 จะมีปริมาณน้อยกว่าเครื่องกรองตัวที่ 2 ตลอดการทดลอง ซึ่งกรณีนี้ชี้ให้เห็นว่า เครื่องกรองตัวที่ 2 น่าจะมีค่าส่งพีเพอร์สูงกว่าเครื่องกรองตัวที่ 1 การที่สภาพความเป็นต่างในรูปไบคาร์บอเนตของน้ำทิ้งในเครื่องกรองตัวที่ 2 มีปริมาณสูงกว่าเครื่องกรองตัวที่ 1 นั้น อาจสันนิษฐานได้ว่า ปฏิกิริยาการเกิดสภาพความเป็นต่างไบคาร์บอเนตในขบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนของเครื่องกรองตัวที่ 2 มีการเกิดมาก ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ของเครื่องกรองตัวที่ 2 มีปริมาณสูงกว่า และถ้าพิจารณาในแง่ปฏิกิริยาเคมีระหว่างสภาพความเป็นต่างไบคาร์บอเนตกับกรดโวลาทิล จะพบว่า ปริมาณกรดโวลาทิลของเครื่องกรองตัวที่ 2 ซึ่งเหลือจากปฏิกิริยาการหมักจะมีปริมาณน้อยกว่า ดังนั้นปริมาณสภาพความเป็นต่างไบคาร์บอเนตจะมีการสะสมตัวเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามความแตกต่างของสภาพความเป็นต่างในรูปไบคาร์บอเนตจะเห็นได้ชัดที่ระดับออร์แกนิกโหลดตั้ง 5 กก/ม³-วัน

ส่วนผลการวิเคราะห์กรดโวลาทิลพบว่า สภาพกรดโวลาทิลของเครื่องกรองทั้งสองจะมีค่าสูงขึ้นตามการเพิ่มระดับออร์แกนิกโหลดตั้งเช่นกัน ทั้งนี้อาจสืบเนื่องมาจากการสะสมตัวของกรดโวลาทิลมีค่ามากขึ้น สิ่งนี้แสดงให้เห็นว่า อัตราการย่อยสลายกรดในการสร้างมีเทนยังเกิดไม่ทันต่อขบวนการสร้างกรด ความแตกต่างของปริมาณกรดโวลาทิลในน้ำทิ้งจากเครื่องกรองทั้งสองจะปรากฏให้เห็นชัดในช่วงการทำงานที่ระดับออร์แกนิกโหลดตั้ง 5 กก/ม³-วัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าเครื่องกรองตัวที่ 1 มีการสะสมตัวของกรดโวลาทิลสูงกว่าเครื่องกรองตัวที่ 2 และปรากฏการณ์นี้จะยังคงอยู่ในสภาพเช่นนี้จนกระทั่งหยุดการทดลอง โดยหยุดป้อนน้ำเสีย ปริมาณของกรดจึงลดลง สาเหตุ

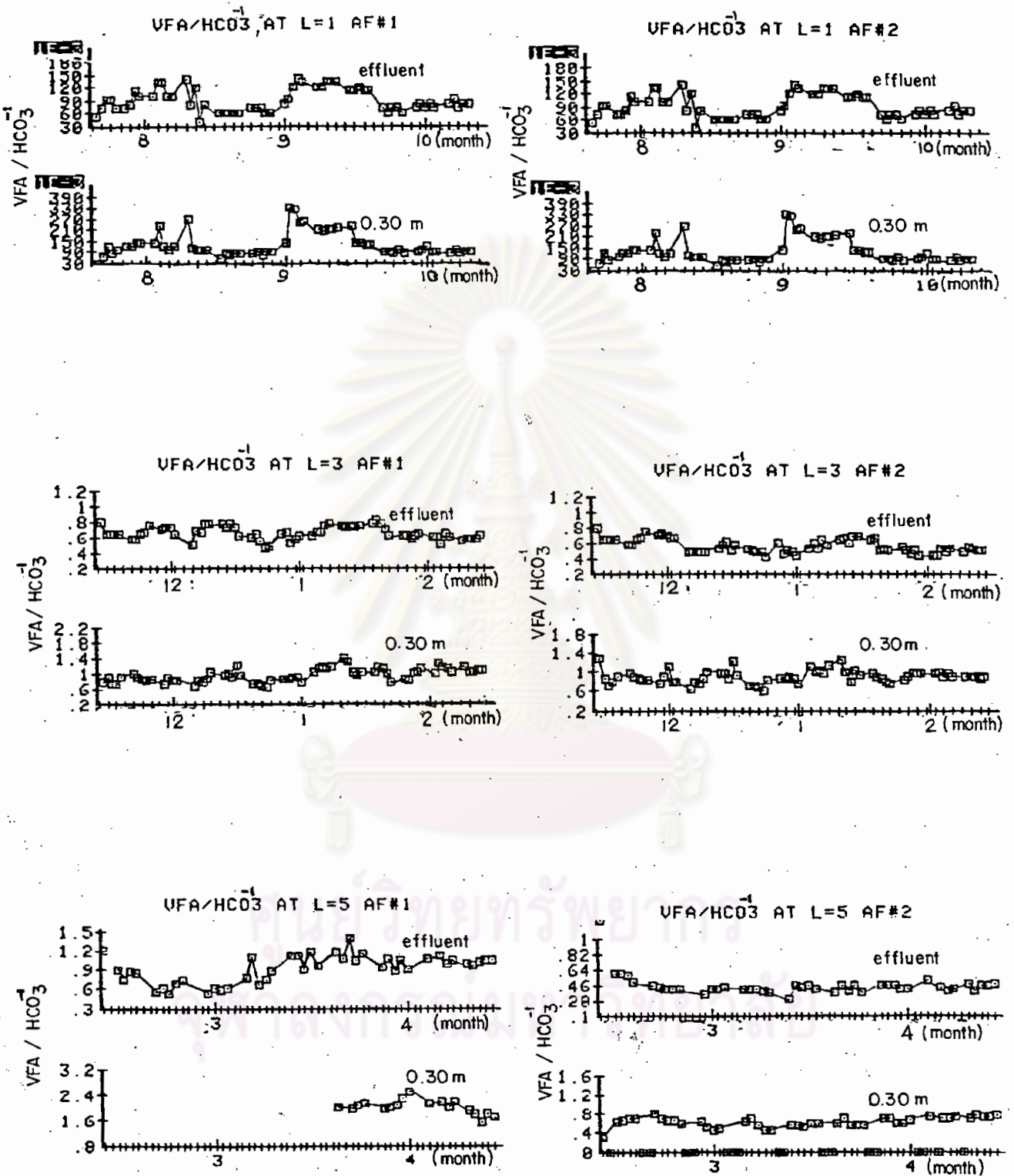
ที่เครื่องกรองตัวที่ 1 มีปริมาณกรดเวลาไหลสูงกว่าเครื่องกรองตัวที่ 2 ทั้งนี้อาจสืบเนื่องมาจาก การเพิ่มระดับออร์แกนิคโพลดิงเป็นการเพิ่มอาหารให้แก่แบคทีเรีย แต่เนื่องจากปริมาณเซลล์แบคทีเรียภายในเครื่องกรองตัวที่ 1 มีปริมาณน้อยกว่าเครื่องกรองตัวที่ 2 ประกอบกับเซลล์แบคทีเรียบางส่วนในเครื่องกรองตัวที่ 2 มีความเคยชินต่อการรับสภาวะออร์แกนิคโพลดิงที่สูงมาแล้วในอดีต จึงเป็นผลให้ระบบของเครื่องกรองตัวที่ 1 มีการย่อยสลายกรดเป็นก๊าซมีเทนต่ำกว่าเครื่องกรองตัวที่ 2 ดังนั้นปริมาณกรดจึงถูกสะสมในเครื่องกรองตัวนี้ในปริมาณที่สูงกว่าเครื่องกรองตัวที่ 2 แต่อย่างไรก็ตามที่สภาวะออร์แกนิคโพลดิงไม่สูงนัก เช่นที่ระดับออร์แกนิคโพลดิง 1 และ 3 กก/ม³-วัน ความแตกต่างของกรดเวลาไหลในเครื่องกรองทั้งสองยังมีไม่มากนัก

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของตัวแปรทางเคมีที่ระดับออร์แกนิคโพลดิง 5 กก.ซีโอดี/ม³-วัน

VARIABLE	FILTER	0.15M	0.30M	0.45M	0.75M	1.05M	1.20M
Total Alkalinity (mg/l CaCO ₃)	AF#1	3366	3672	4005	4230	4157	3974
	AF#2	3166	3238	3656	3757	3892	3917
HCO ₃ ⁻ (mg/l CaCO ₃)	AF#1	1246	1277	1777	1975	2061	1956
	AF#2	1744	1877	2364	2521	2665	2724
VFA Alkalinity (mg/l CaCO ₃)	AF#1	2119	2396	2227	2133	2105	2018
	AF#2	1429	1384	1294	1246	1152	1188
ORP (mV)	AF#1	-372	-396	-366	-360	-356	-352
	AF#2	-352	-352	-348	-340	-326	-302
VFA/HCO ₃ ⁻	AF#1	1.07	1.25	1.25	1.08	1.02	1.02
	AF#2	0.92	0.73	0.55	0.49	0.44	0.44

4.2.3 อัตราส่วนของกรดเวลาไหลต่อสภาพความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนต (VFA/HCO₃⁻)

อัตราส่วนนี้เป็นค่าที่มีความสำคัญในการตรวจสอบกำลังชีพเฟอร์ของระบบ อัตราส่วนนี้จะมีค่าสูงขึ้นตามการเพิ่มระดับออร์แกนิคโพลดิง เฉพาะในเครื่องกรองตัวที่ 1 ส่วนเครื่องกรองตัวที่ 2 ในระดับออร์แกนิคโพลดิงไม่สูงนัก เครื่องกรองตัวนี้จะมีพฤติกรรมเช่นเครื่องกรอง



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า VFA/HCO_3^- ของเครื่องกรองทั้งสองที่ระดับ ออร์แกนิคโหลดตั้ง 1, 3 และ 5 กก.ซีโอติ/ม³-วัน



ทั่วไป แต่เมื่อมีการเปลี่ยนระดับออกซิเจนละลายจาก 3 เป็น 5 กก/ม³-วัน ค่าอัตราส่วนของ VFA/HCO_3^{-1} จะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงนัก สาเหตุเช่นนี้อาจสันนิษฐานได้ว่ามีผลมาจากการวางตัวของชั้นตัวกลางที่ผิดไปจากเครื่องกรองทั่วไป และจากการปรับสภาพของเซลล์ให้เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อม อย่างไรก็ตามข้อสันนิษฐานนี้เป็นเพียงข้อคิดเห็นเท่านั้น ส่วนเหตุผลที่แท้จริงในการสนับสนุนไม่สามารถที่จะนำมาอ้างอิงได้ ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาการวางชั้นตัวกลางภายในเครื่องกรองยังมีการวิจัยอยู่ในวงแคบ ในงานวิจัยนี้ยังแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนของ VFA/HCO_3^{-1} แม้จะมีค่าสูงเกิน 0.8 ก็ตาม การทำงานของเครื่องกรองก็ยังสามารถทำงานได้ปกติ ซึ่งทั้งนี้อาจมีผลมาจากเครื่องกรองมีสภาพความเป็นต่างอยู่ในปริมาณสูง รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วน VFA/HCO_3^{-1} ตารางที่ 4.3 เป็นการสรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่าง ๆ จากการทดลองทั้ง 3 ชุด

4.2.4 โออาร์พี (Oxidation-Reduction Potential)

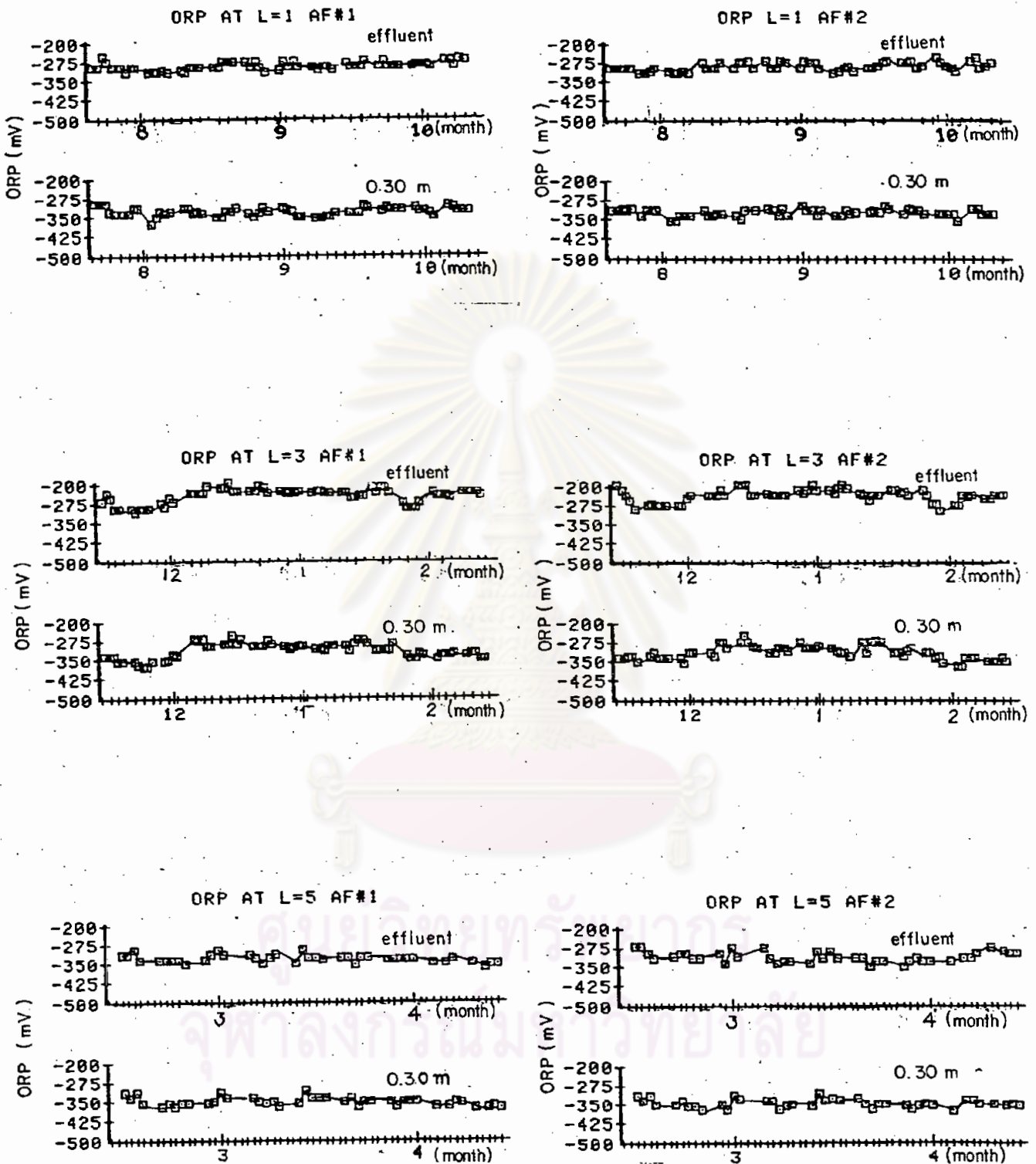
รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าโออาร์พีในน้ำทิ้งจากเครื่องกรองทั้งสองในขณะทำการทดลอง ผลการวิเคราะห์ค่าโออาร์พีได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 จากการวิเคราะห์ค่าโออาร์พีพบว่า ค่าโออาร์พีที่วัดได้จะมีค่าต่ำสุดบริเวณตอนล่างของเครื่องกรอง และค่านี้จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามระดับความสูงของเครื่องกรอง อนึ่งในการเปรียบเทียบค่าโออาร์พีจากเครื่องกรองทั้งสอง จะเห็นได้ว่าที่ระดับออกซิเจนละลาย 1 และ 3 กก/ม³-วัน จะไม่ค่อยพบความแตกต่างของค่าโออาร์พีนัก ซึ่งสิ่งนี้ดูเหมือนจะสอดคล้องกับค่าสภาพความเป็นต่างทั้งหมดและปริมาณกรดโวลาทิลที่ได้ออกไปแล้ว ส่วนที่ระดับออกซิเจนละลาย 5 กก./ม³-วัน จะพบว่าค่าโออาร์พีของน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองตัวที่ 1 จะมีค่าต่ำกว่าโออาร์พีของน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองตัวที่ 2 ทั้งนี้อาจมีผลมาจากสภาพภายในเครื่องกรองตัวที่ 1 มีการอัดตัวของชั้นตัวกลางตลอดทั้ง ซึ่งทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนได้ดีกว่าเครื่องกรองตัวที่ 2

4.2.5 ซีโอดี (COD)

ค่า COD เป็นพารามิเตอร์ที่ยืนยันถึงความสกปรกของน้ำเสีย น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในระบบไร้ออกซิเจนจะทำให้ค่า COD ลดลง ทั้งนี้เพราะเกิดจากการทำงานของแบคทีเรียในการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดความเข้มข้นของ COD ไว้ 3 ระดับ โดยแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลองคือ การทดลองชุดที่ 1 กำหนดความเข้มข้น COD=2,000 มก./ล. การทดลองชุดที่ 2 กำหนดค่า COD=6,000 มก./ล. และการทดลองชุดที่ 3 กำหนดค่า COD= 10,000 มก./ล. และได้เก็บข้อมูลของน้ำทิ้งทั้งสามการทดลอง ซึ่งแสดงผลเป็นภาพ

๖.๖ ตารางที่ 4.3 สรุปผลการวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ จากการทดลองทั้ง 3 ชุด

ORGANIC LOADING KG/CUM-DAY		1		3		5	
TYPE OF FILTER		AF#1	AF#2	AF#1	AF#2	AF#1	AF#2
pH	WASTE	7.90	8.04	8.04	8.00	8.03	8.03
	AT.30M	6.85	6.80	6.72	6.75	6.98	7.08
	EFF	6.95	6.96	6.95	6.93	7.06	7.20
Total Alkalinity (mg/l CaCO ₃)	WASTE	1473	1473	2844	2844	3670	3670
	AT.30M	1517	1545	2717	2789	3672	3238
	EFF	1523	1567	2918	2838	3974	3917
HCO ₃ ⁻¹ (mg/l CaCO ₃)	WASTE	1375	1375	2747	2747	3562	3562
	AT.30M	1346	1413	1287	1455	1277	1877
	EFF	1364	1462	1828	1882	1956	2724
HCO ₃ ¹ at pH 5.75 (mg/l CaCO ₃)	WASTE	1131	1131	2098	2098	2894	2894
	AT.30M	1049	1092	1178	1333	1833	1944
	EFF	967	1164	1390	1532	1883	2591
VFA Alkalinity (mg/l CaCO ₃)	WASTE	47	47	97	97	90	90
	AT.30M	204	131	1415	1332	2398	1384
	EFF	144	144	1091	955	2018	1186
ORP (mV)	AT.30M	-329	-329	-340	-351	-369	-352
	EFF	-288	-284	-245	-250	-352	-307
SS (mg/l)	AT.30M	1785	1565	10244	24560	10246	33099
	EFF	112	149	753	540	916	444
VSS (mg/l)	AT.30M	1249	1116	7210	18134	9103	22410
	EFF	96	129	640	482	788	346
VFA/HCO ₃ ¹	AT.30M	0.15	0.09	1.08	0.92	1.82	0.73
	EFF	0.11	0.08	0.57	0.49	1.02	0.44
COD (mg/l)	WASTE	2138	2138	6212	6212	10325	10325
	AT.30M	262	248	2146	1641	3655	2584
	EFF	198	143	1424	1114	3255	2137
TOTAL GAS L/DAY		37.85	42.64	90.00	95.00	147.00	178.00
CH ₄ L/DAY		29.00	31.64	59.00	64.00	89.00	105.00



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า ORP ของเครื่องกรองทั้งสอง ที่ระดับ
 ออร์แกนิคโหลดตั้ง 1, 3 และ 5 กก.ซีโอดี/ม³-วัน

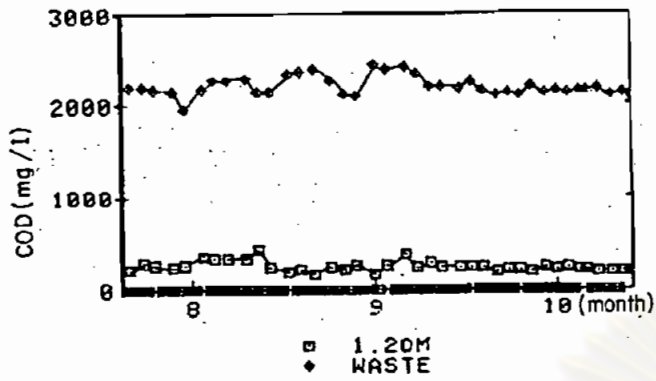
กราฟดังในรูปที่ 4.7 - 4.9 และตารางที่ 4.3 จะแสดงค่าซีโอดีที่สภาวะการทำงานทรงตัว (STEADY STATE) ภายใต้้ออร์แกนิคโหลดตั้ง 3 ระดับ

รูปที่ 4.7 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี ของเครื่องกรองทั้งสองภายใต้สภาวะการทำงานที่ระดับออร์แกนิคโหลดตั้ง = $1 \text{ กก./ม}^3\text{-วัน}$ ซึ่งควบคุมซีโอดี ในน้ำเสียสังเคราะห์ $2,000 \text{ มก/ล.}$ จากรูปนี้จะสังเกตเห็นว่าค่าซีโอดี ของน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองตัวที่ 1 ส่วนมากจะมีค่าสูงกว่าน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองตัวที่ 2 แต่ความแปรปรวนของค่าซีโอดี ในเครื่องกรองตัวที่ 2 จะมีมากกว่า ซึ่งผลที่ได้มีชี้ให้เห็นว่าเครื่องกรองตัวที่ 2 ถึงแม้จะมีความสามารถในการกำจัด ซีโอดีได้มากกว่า แต่การตอบสนองต่อการรับออร์แกนิคโหลดตั้ง ที่ระดับนี้ดูจะมีความไว (sensitive) มากกว่า แต่อย่างไรก็ตามความแตกต่างของซีโอดี ในน้ำทิ้งจากเครื่องกรองทั้งสองก็ยังไม่ต่างกันมากนักทั้งนี้อาจเนื่องมาจากภาวะการรับออร์แกนิคโหลดตั้ง ยังอยู่ในระดับต่ำ

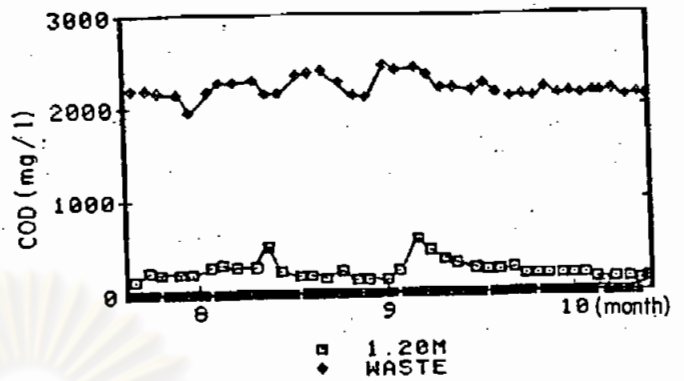
รูปที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีของเครื่องกรองทั้งสองตัวที่ระดับออร์แกนิค-โหลดตั้ง = $3 \text{ กก./ม}^3\text{-วัน}$ ซึ่งควบคุมซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ $6,000 \text{ มก/ล.}$ จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าซีโอดีที่ออกจากน้ำทิ้งของเครื่องกรองทั้งสองนี้ยังคงมีค่าสูงอยู่ตลอดในช่วงสอง เดือนแรกของการทดลองชุดนี้ ซึ่งสาเหตุนี้อาจสืบเนื่องมาจากการลดลง ของจุลชีพที่เกิดขึ้นตามฤดูกาล และเมื่อทดลองต่อไปอีก 1 เดือน ค่าซีโอดี ก็จะเริ่มลดลงจนถึงจุดหนึ่งที่ไม่สามารถลดลงได้อีก ซึ่งอาจเป็นสภาวะการทำงานที่ทรงตัว (STEADY STATE) ของเครื่องกรอง ที่สภาวะนี้วัดค่าซีโอดี ของเครื่องกรองตัวที่ 1 ได้ 1424 มก/ล. และค่าซีโอดี ของเครื่องกรองตัวที่ 2 ได้ $1,114 \text{ มก/ล.}$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการกำจัดซีโอดี ของเครื่องกรองตัวที่ 2 ยังคงสูงกว่าเครื่องกรองตัวที่ 1 และเมื่อพิจารณาที่ระดับ $.30 \text{ เมตร}$ ค่าซีโอดี ของเครื่องกรองตัวที่ 2 ก็ยังคงมีค่าต่ำกว่าเครื่องกรองตัวที่ 1 ทั้งนี้อาจสืบเนื่องมาจากปริมาณตะกอนเซลล์ที่ตกตะกอนทางตอนล่างของเครื่องกรองตัวที่ 2 มีการสะสมตัวมากกว่าเครื่องกรองตัวที่ 1 และการสะสมตัวนี้จะเพิ่มขึ้นตลอดเวลาจนอาจเกิดเป็นชั้นตะกอน (SLUDGE) ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้อย่างดี จากการทดลองชุดนี้ยังพบว่าเครื่องกรองตัวที่ 2 มีความสามารถในการตอบสนองต่อการรับออร์แกนิคโหลดตั้งที่จุลชีพต่ำ ได้ดีกว่าเครื่องกรองตัวที่ 1 ทั้งนี้อาจมีผลมาจากการที่แบคทีเรียในเครื่องกรองตัวที่ 2 เคยได้รับอิทธิพลเนื่องจากการลดลงของจุลชีพในครั้งอดีต จึงทำให้มันสามารถมีการปรับตัวได้ดีกว่า

รูปที่ 4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีของเครื่องกรองทั้งสองที่ระดับออร์แกนิคโหลดตั้ง = $5 \text{ กก./ม}^3\text{-วัน}$ ซึ่งมีค่า ซีโอดี ในน้ำเสียสังเคราะห์ $10,000 \text{ มก/ล.}$ จากรูปนี้จะพบว่า ค่า

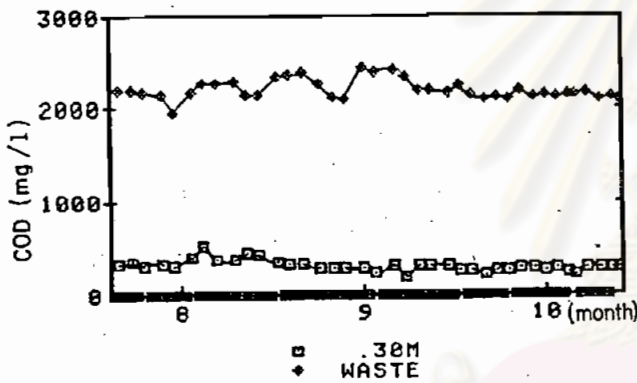
COD OF EFFWASTE IN AF#1



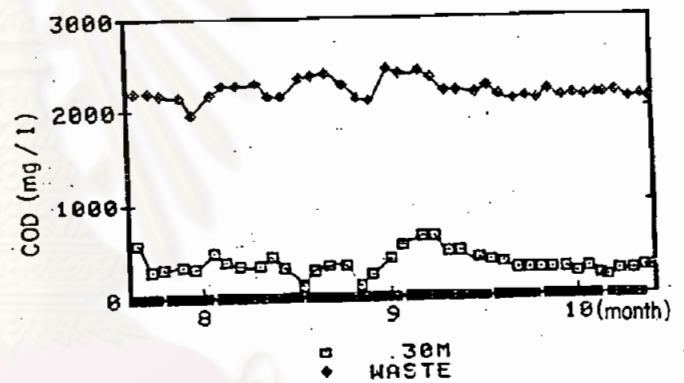
COD AT EFFWASTE IN AF#2



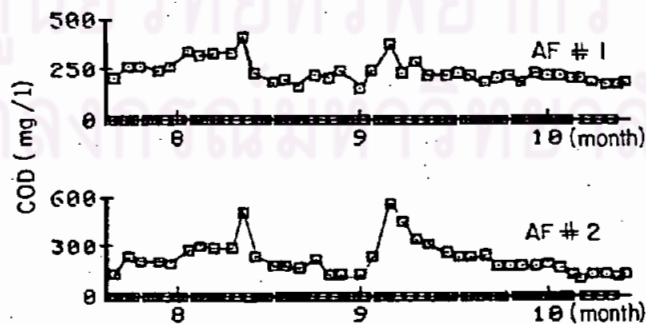
COD AT .30MEWASTE IN AF#1



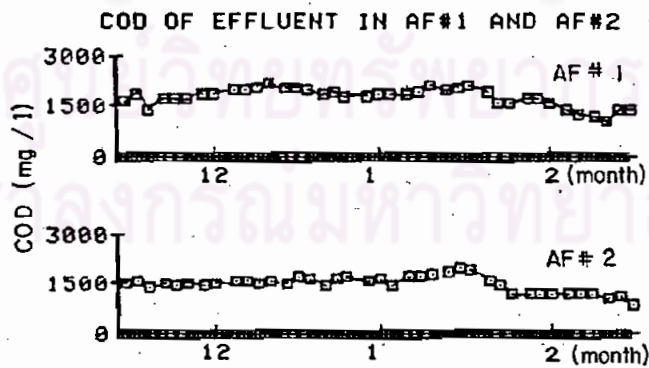
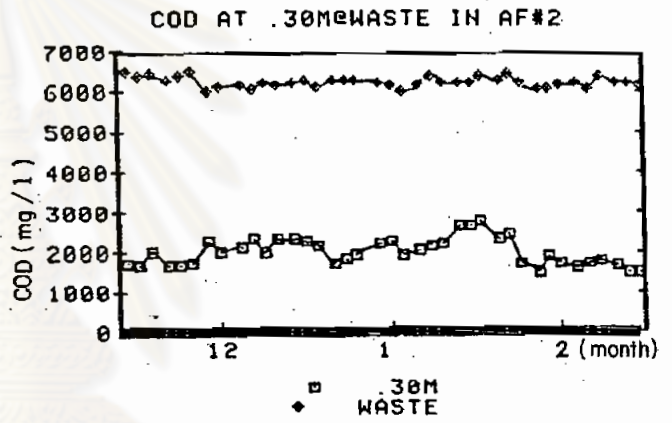
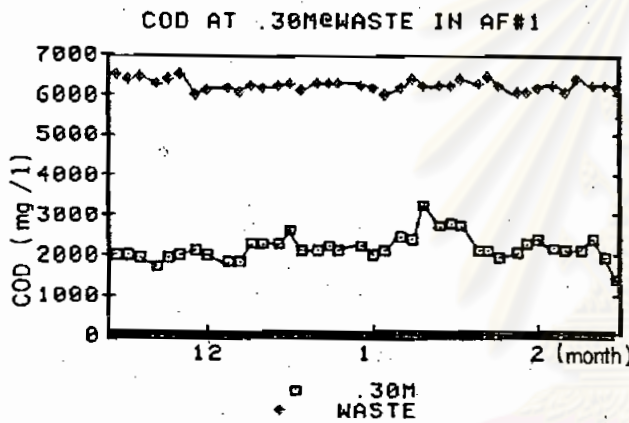
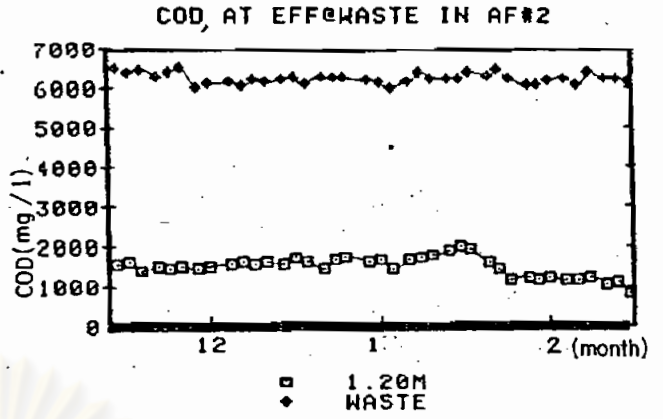
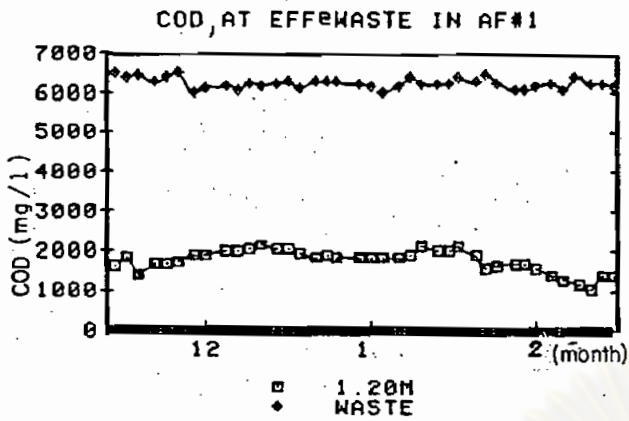
COD AT .30MEWASTE IN AF#2



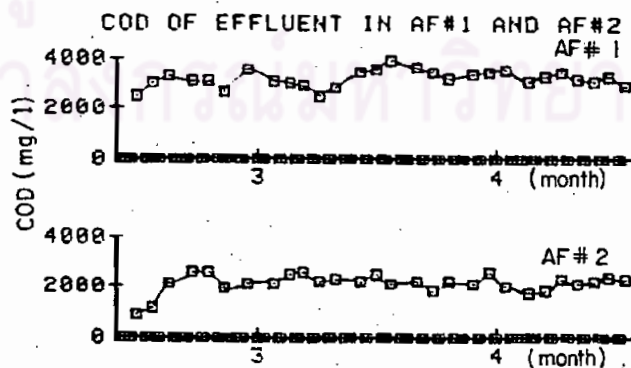
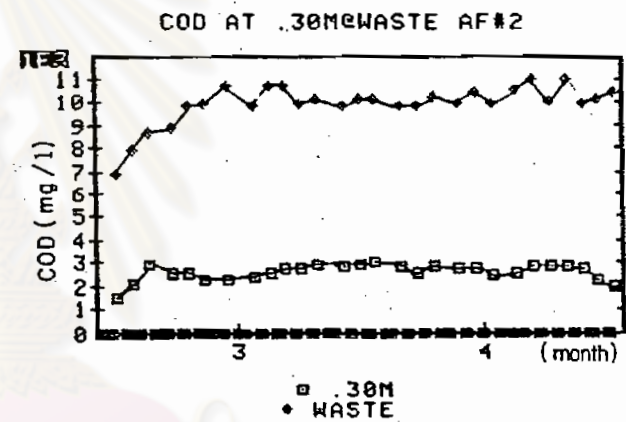
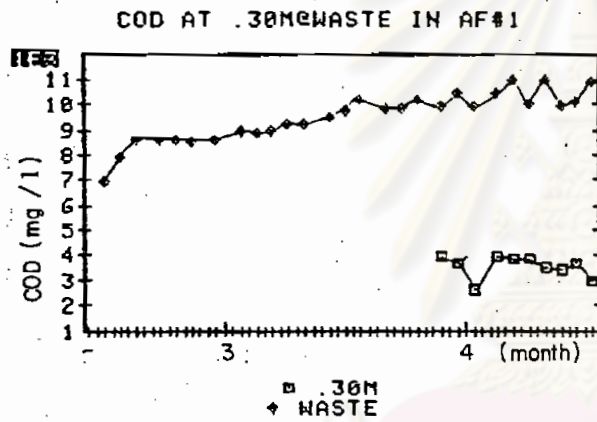
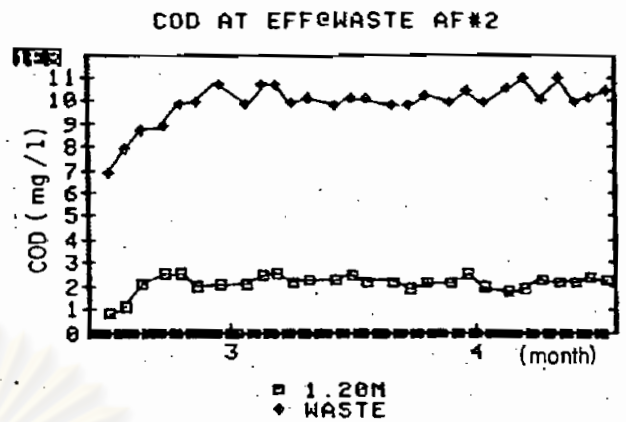
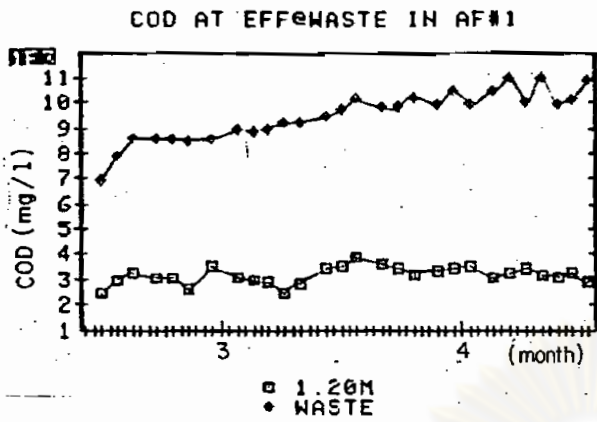
COD OF EFFLUENT IN AF#1 AND AF#2



รูปที่ 4.7 ซีโอดน้ำเสียสังเคราะห์ ซีโอดน้ำทิ้งในเครื่องกรองทั้งสอง ภายใต้ระดับ
 ออร์แกนิกโหลดตั้ง 1 กก.ซีโอด/ม³-วัน



รูปที่ 4.8 ซีโอดิน้ำเสียสังเคราะห์ ซีโอดิน้ำทิ้งในเครื่องกรองทั้งสอง ภายใต้ระดับ
 ออร์แกนิกโหลดดิ่ง 3 กก.ซีโอดิ/ม³-วัน



รูปที่ 4.9 ซีโอดน้ำเสียสังเคราะห์ ซีโอดน้ำทิ้งในเครื่องกรองทั้งสอง ภายใต้ระดับ
 ออร์แกนิกโหลดตั้ง 5 กก.ซีโอด/ม³-วัน

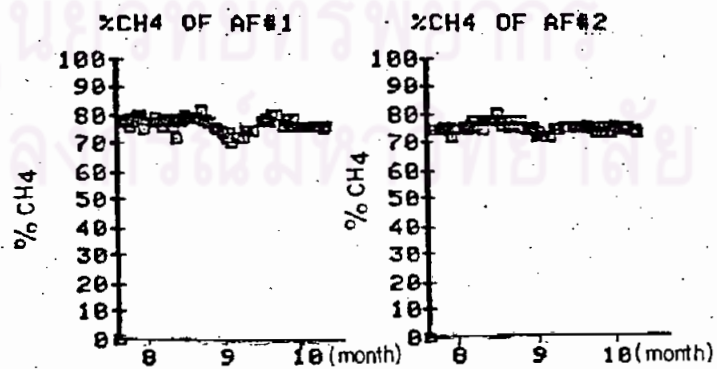
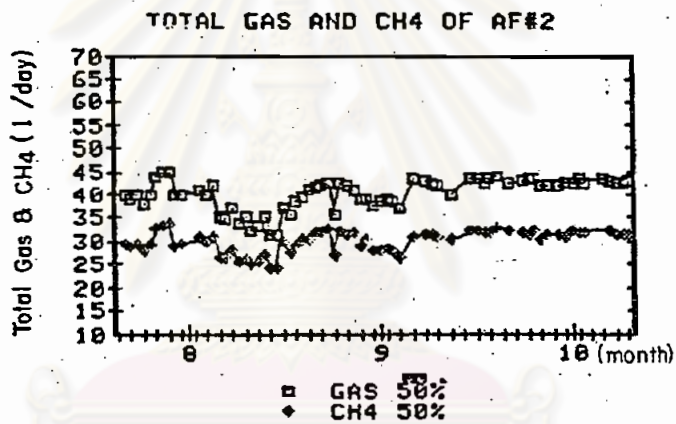
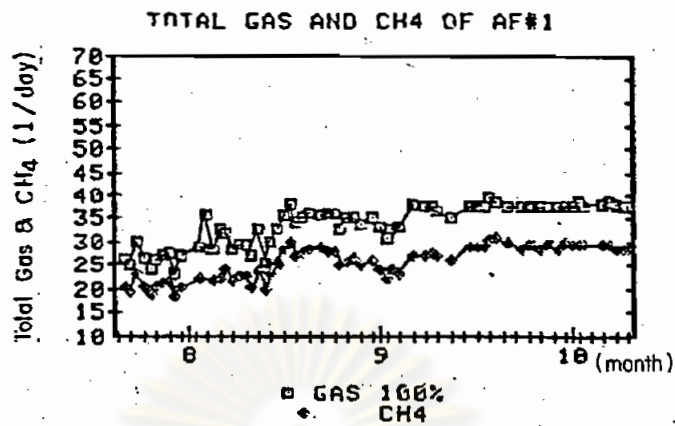
ซีโอดี ในน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองตัวที่ 1 ยังคงมีค่าสูงกว่าเครื่องกรองตัวที่ 2 และยังพบว่า เครื่องกรองตัวที่ 2 นี้สามารถตอบสนองต่อการทำงานที่ระดับออร์แกนิคโพลดิง ได้ดีกว่าเครื่องกรองตัวที่ 1 ประกอบกับการที่เครื่องกรองตัวนี้เคยใช้มาเป็นเวลานาน และแบคทีเรียภายในบางส่วนมีความเคยชินต่อการรับออร์แกนิคโพลดิงที่สูงมาก่อนหน้านี้ ดังนั้นมันจึงสามารถปรับตัวได้ดีกว่า ส่วนเครื่องกรองตัวที่ 1 ถึงแม้จะเคยใช้มานานเหมือนกันแต่มันได้รับผลกระทบโดยตรงในการเปลี่ยนแปลงสภาพภายใน เนื่องจากมีการเพิ่มปริมาตรตัวกลางให้เต็มถัง ประกอบกับ ปริมาณเซลล์ที่เกิดขึ้นภายในยังมีปริมาณน้อยกว่าเครื่องกรองตัวที่ 2 และเซลล์แบคทีเรียส่วนใหญ่ยังไม่เคยชินต่อการรับภาระออร์แกนิคโพลดิงที่สูงมาก่อน สิ่งนี้อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ล้มรรถนะ ในการกำจัดค่าซีโอดีของเครื่องกรองตัวที่ 2 ต่ำกว่าเครื่องกรองตัวที่ 1

จากผลการทดลองทั้งสามชุดแสดงให้เห็นว่า การทำงานของเครื่องกรองตัวที่ 2 มีความสามารถในการกำจัดค่าซีโอดีได้ดีกว่าเครื่องกรองตัวที่ 1 แต่อย่างไรก็ตามที่ระดับออร์แกนิคโพลดิงไม่สูงนักความแตกต่างในการกำจัดค่าซีโอดีนี้ก็ยังไม่ค่อยปรากฏให้เห็นได้ชัด และจากงานวิจัยนี้ยังแสดงให้เห็นว่า การกำจัดค่าซีโอดีส่วนใหญ่เกิดบริเวณตอนล่างของเครื่องกรอง และการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดียังมีลักษณะคล้ายคลึงกับลักษณะการเปลี่ยนของค่า VFA สิ่งนี้แสดงให้เห็นว่าการลดค่าซีโอดีเป็นผลการทำงานของมิเทนแบคทีเรียซึ่งใช้ VFA เป็นสารอาหาร ดังนั้น VFA จึงลดตามไปด้วย นอกจากนี้ยังชี้ให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดีจะลดลงเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง

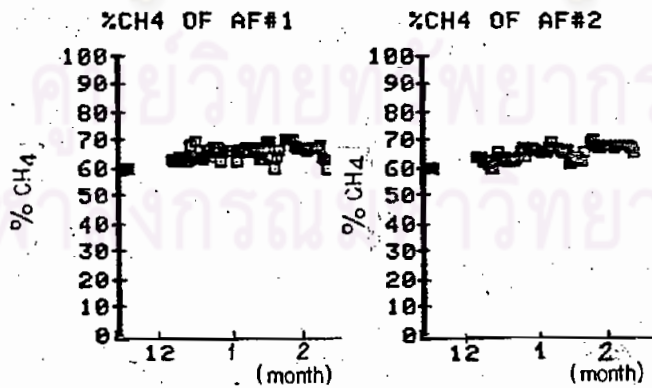
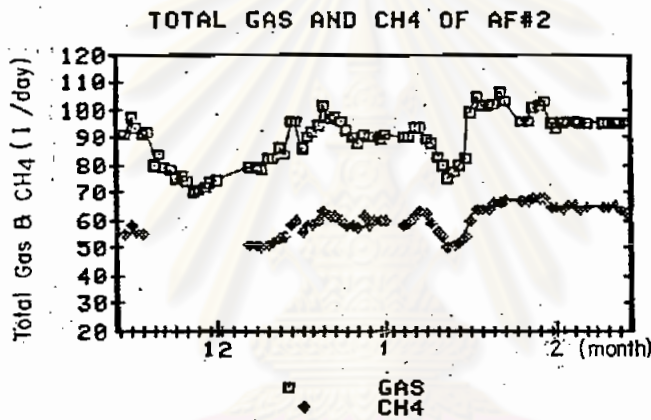
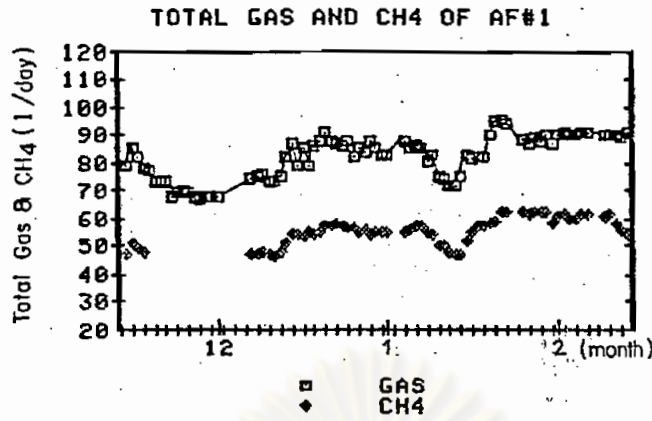
4.3.4 ปริมาตรก๊าซและเปอร์เซ็นต์มีเทน

ปริมาตรก๊าซทั้งหมดเป็นผลที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียล่อง พวก แบคทีเรียพวกสร้างกรดจะให้ผลผลิตส่วนใหญ่เป็นก๊าซ CO_2 และแบคทีเรียที่สร้างมีเทนจะให้ก๊าซมีเทน (CH_4) ปริมาณของก๊าซมีเทนจะเป็นตัวชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบ การที่แบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทนได้มากเพียงใดขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการทำงานของเครื่องกรองและความสามารถในการตอบสนองต่อการรับออร์แกนิคโพลดิงที่ระดับต่าง ๆ จากทฤษฎีพบว่า ปริมาณมีเทนจะถูกสร้างขึ้น .35 ลิตรต่อ 1 กรัมของซีโอดีที่ถูกกำจัด นอกจากนี้ปริมาณก๊าซมีเทนยังขึ้นกับประเภทของสารอาหาร ในงานวิจัยนี้ได้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ประเภทคาร์โบไฮเดรต ซึ่งจะให้เปอร์เซ็นต์มีเทนสูงที่สุดประมาณ 76 % ที่ระดับออร์แกนิคโพลดิง 1 กก./ม³-วัน

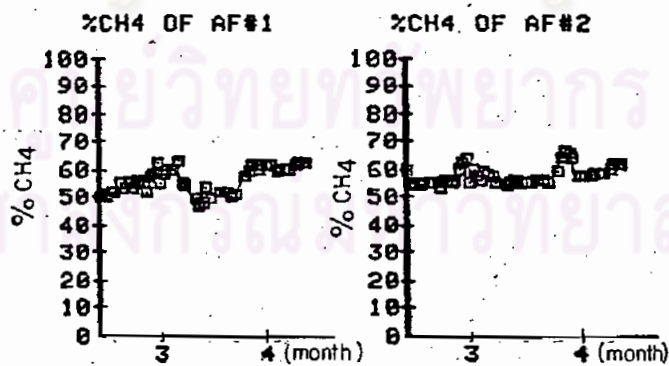
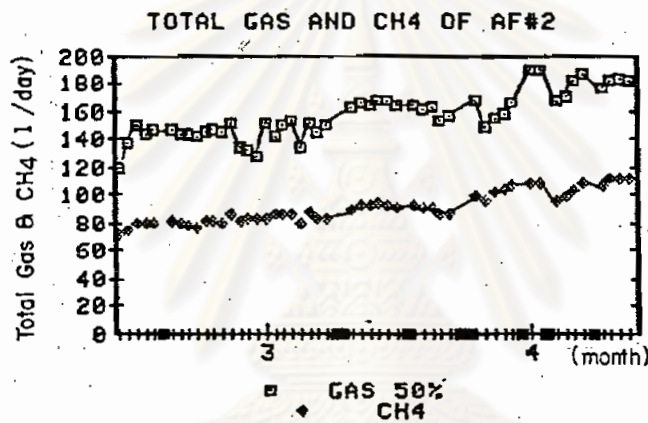
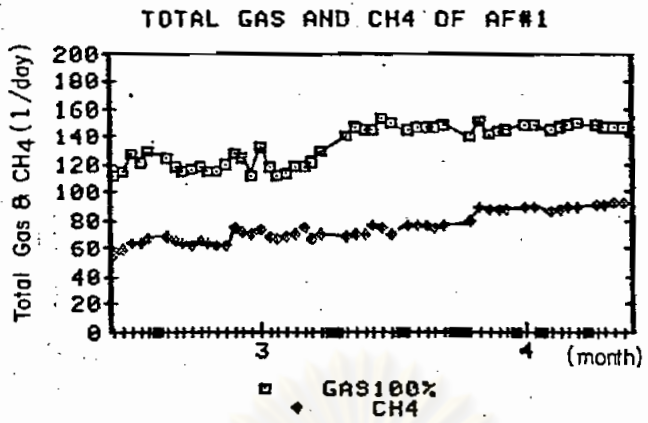
รูปที่ 4.10-4.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงของก๊าซทั้งหมดและก๊าซมีเทนภายใต้การ



รูปที่ 4.10 ก๊าซทั้งหมด ก๊าซมีเทน % มีเทน ของเครื่องกรองทั้งสอง ภายใต้ระดับ
 ออร์แกนิกโหลดคั้ง 1 กก.ซีโอดี/ม³-วัน



รูปที่ 4.11 ก๊าซทั้งหมด ก๊าซมีเทน % มีเทน ของเครื่องกรองทั้งสอง ภายใต้
 ออร์แกนิกโหลดตั้ง 3 กก.ซีไอดี/ม³-วัน



รูปที่ 4.12 ก๊าซทั้งหมด ก๊าซมีเทน % มีเทน. ของเครื่องกรองทั้งสอง ภายใต้
 ออร์แกนิกโหลดดิ่ง 5 กก.ซีโอดี/ม³-วัน

ทำงานที่ระดับออร์แกนิคโพลดิง 3 ระดับ จากรูปเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าเครื่องกรองตัวที่ 2 มีความสามารถในการผลิตก๊าซได้สูงกว่าเครื่องกรองตัวที่ 1 และบ่งชี้ให้เห็นว่า การเพิ่มระดับออร์แกนิคโพลดิงสูงขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณก๊าซสูงขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์มีเทนจะลดลง ปริมาณก๊าซจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนในแง่การทดลองที่สภาพอากาศมีอุณหภูมิต่ำ การที่เครื่องกรองตัวที่ 2 มีความสามารถในการผลิตก๊าซได้สูงกว่าเครื่องกรองตัวที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากมันมีความสามารถในการกำจัดค่าซีโอดีได้สูงกว่า และปริมาณเซลล์ภายในเครื่องกรองมีมากกว่า ประกอบกับลักษณะภายในของเครื่องกรองตัวที่ 2 นี้บรรจุตัวกลางที่มีความพรุนสูงเพียงครั้งถึง ส่วนอีกครึ่งถึงล่างที่เหลือมิได้บรรจุตัวกลางไว้ จึงทำให้ความสามารถในการระบายก๊าซออกสู่ระบบได้เต็มที่และง่ายกว่าเครื่องกรองตัวที่ 1 ตารางที่ 4.3 เป็นการสรุปปริมาณก๊าซและเปอร์เซ็นต์มีเทนของเครื่องกรองทั้งสองที่สภาวะการทำงานทรงตัว

4.3.5 ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

โดยทั่วไปการหมักแบบไร้ออกซิเจนต้องการอาหารเสริมค่าพวกไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) ในการสร้างเซลล์แบคทีเรีย ปริมาณอาหารเสริมคิดเทียบกับ COD ในน้ำเสียควรมีอัตราส่วน COD : N : P = 100:1.2:0.2 ในการสร้างเซลล์

ในงานวิจัยนี้ได้ควบคุมปริมาณ N และ P ให้อยู่ในระดับที่พอเพียงต่อความต้องการของแบคทีเรียในการสร้างเซลล์ตลอดการทดลอง ผลของการวิเคราะห์ค่า N และ P ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.4 จากตารางนี้จะเห็นว่าเครื่องกรองตัวที่ 1 มีปริมาณ N ต่ำกว่าเครื่องกรองตัวที่ 2 เล็กน้อย และพบว่าปริมาณ N ที่ใช้ในระบบมีปริมาณเพียงเล็กน้อย สิ่งนี้อาจชี้ให้เห็นได้ว่าระบบกำจัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนมีความต้องการ N และ P ต่ำกว่าระบบใช้อากาศ

ตารางที่ 4.4 สรุปค่าไนโตรเจน และฟอสฟอรัส

LOADING	FILTER	POSITION	COD (mg/l)	N (mg/l)	P (mg/l)	COD:N:P
1 KG/CUK-DAY	AF#1 AF#2	EFF	196	115	10.60	100:58:5.40
		EFF	143	116	13.50	100:81:9.44
		WASTE	2143	156	17.60	100:7.3:8.82
3 KG/CUK-DAY	AF#1 AF#2	EFF	1425	408	13.80	100:28:0.96
		EFF	1114	470	15.40	100:42:1.38
		WASTE	6212	525	30.50	100:8.4:4.9
5 KG/CUK-DAY	AF#1 AF#2	EFF	3255	610	72.00	100:18:2.21
		EFF	2137	670	70.00	100:31:3.27
		WASTE	10325	720	74.50	100:6.9:7.2

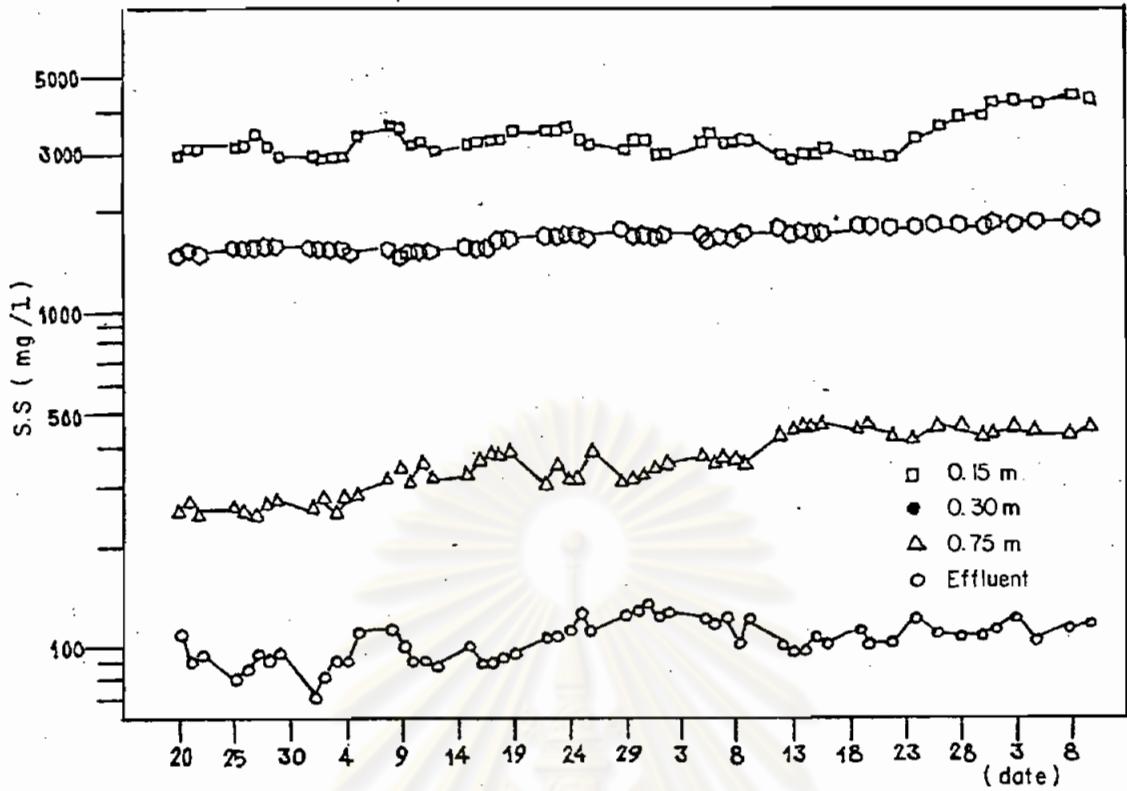
4.3.6 ตะกอนแขวนลอย

รูปที่ 4.13-4.18 แสดงผลของการวิเคราะห์ตะกอนแขวนลอย และตะกอนเวลาไหลภายใต้การทำงานที่ระดับออร์แกนิกโหลดตั้ง 3 ระดับ ความเปลี่ยนแปลงของตะกอนแขวนลอยภายในเครื่องกรองแสดงให้เห็นถึงปริมาณของเซลล์แบคทีเรียในเครื่องกรอง และยังชี้ให้เห็นว่าที่ระดับออร์แกนิกโหลดตั้งต่ำปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งในน้ำทิ้งที่อยู่ภายในเครื่องกรอง และออกจากเครื่องกรองจะมีปริมาณต่ำด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการเพิ่มจำนวนเซลล์แบคทีเรีน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณซีโอติ ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรีน้อยซึ่งจำกัดการเพิ่มจำนวนเซลล์ ส่วนการทดลองที่ระดับออร์แกนิกโหลดตั้งสูงขึ้นจะมีเซลล์แบคทีเรียเกิดขึ้นมาก ทำให้ปริมาณตะกอนแขวนลอยสูง

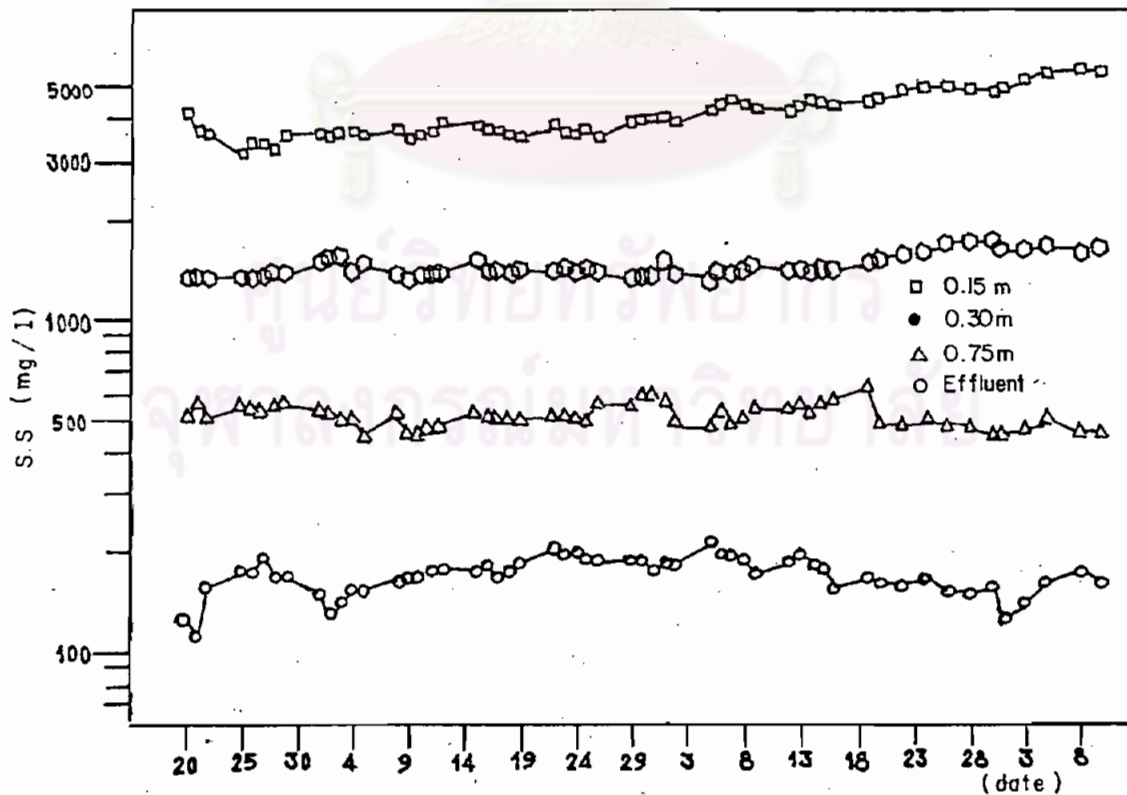
รูปที่ 4.13 แสดงการเปลี่ยนแปลงของตะกอนแขวนลอยภายใต้การทำงานที่ออร์แกนิกโหลดตั้ง 1 กก./ม³-วัน ของเครื่องกรองทั้งสอง จากผลของการวิเคราะห์ปริมาณตะกอนแขวนลอยพบว่า น้ำทิ้งของเครื่องกรองตัวที่ 1 มีค่าตะกอนแขวนลอย = 112 มก./ล. และเครื่องกรองตัวที่ 2 มีปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้ง = 149 มก./ล. และจากการสังเกตระหว่างการทดลองพบว่าปริมาณตะกอนแขวนลอย ที่ออกจากเครื่องกรองตัวที่ 2 จะมีค่าสูงและตอนปลายการทดลองจะพบว่าตะกอนแขวนลอยค่อย ๆ เริ่มลดลง จากข้อสังเกตนี้อาจสันนิษฐานได้ว่าเครื่องกรองตัวที่ 2 ซึ่งมีตัวกลางครึ่งถึงในลักษณะลอยยังไม่สามารถที่จะใช้ตัวกลางเป็นเครื่องมือในการกักเซลล์ได้เหมาะสมในช่วงนั้น จากการวัดปริมาณตะกอนทางตอนล่างที่ระดับ 0.15 ม. จะพบปริมาณตะกอนมีค่าสูงกว่าเครื่องกรองตัวที่ 1 และจากการทำ SVI พบว่าตะกอนในเครื่องกรองตัวที่ 2 มีการจมตัวดีกว่าเครื่องกรองตัวที่ 1 สิ่งนี้ชี้ให้เห็นว่าเซลล์ส่วนใหญ่ภายในเครื่องกรองตัวที่ 2 มีการตกตะกอน ส่วนค่าตะกอนแขวนลอยเวลาไหลในน้ำทิ้งออกจากเครื่องกรองทั้งสองจะมีค่า 80% ของตะกอนแขวนลอย

รูปที่ 4.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงของตะกอนแขวนลอยของเครื่องกรองทั้งภายใต้สภาวะการทำงานที่ระดับออร์แกนิกโหลดตั้ง 3 กก./ม³-วัน ในการทดลองชุดนี้จะได้เห็นว่าตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองทั้งสองจะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามสภาวะการเพิ่มออร์แกนิกโหลดตั้ง ความแตกต่างของปริมาณตะกอนแขวนลอยในเครื่องกรองทั้งสองจะเห็นได้ชัดทางตอนล่างของถังกรอง ซึ่งเครื่องกรองตัวที่ 2 จะมีปริมาณตะกอนเซลล์สูงกว่าเครื่องกรองตัวที่ 1 และสภาวะการจมตัวของเครื่องกรองตัวนี้ดีกว่าเครื่องกรองตัวที่ 1 ส่วนตะกอน

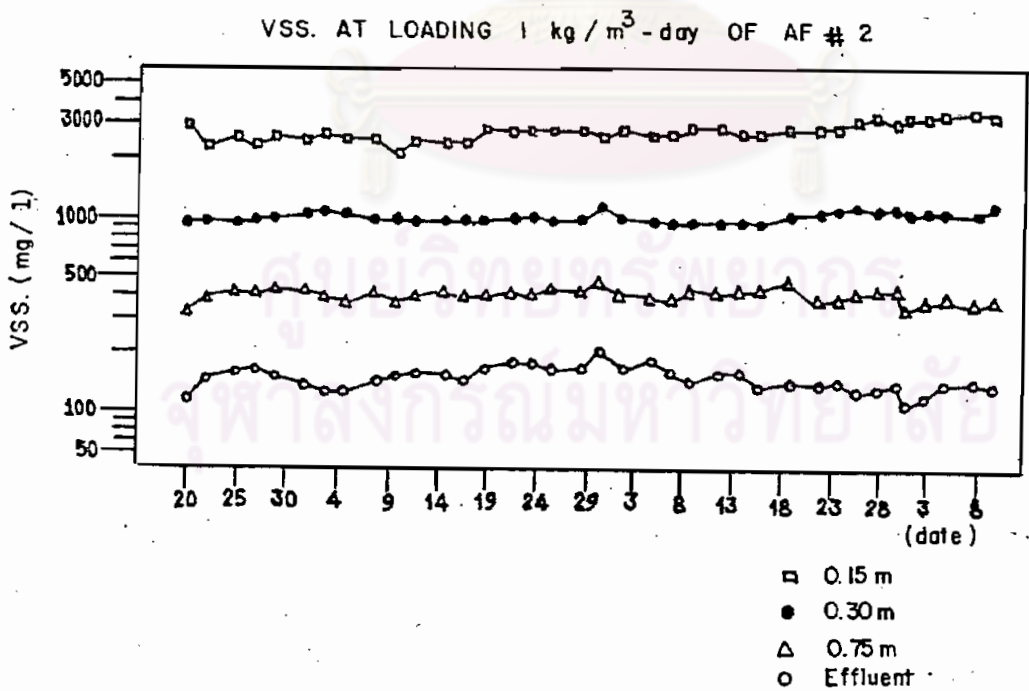
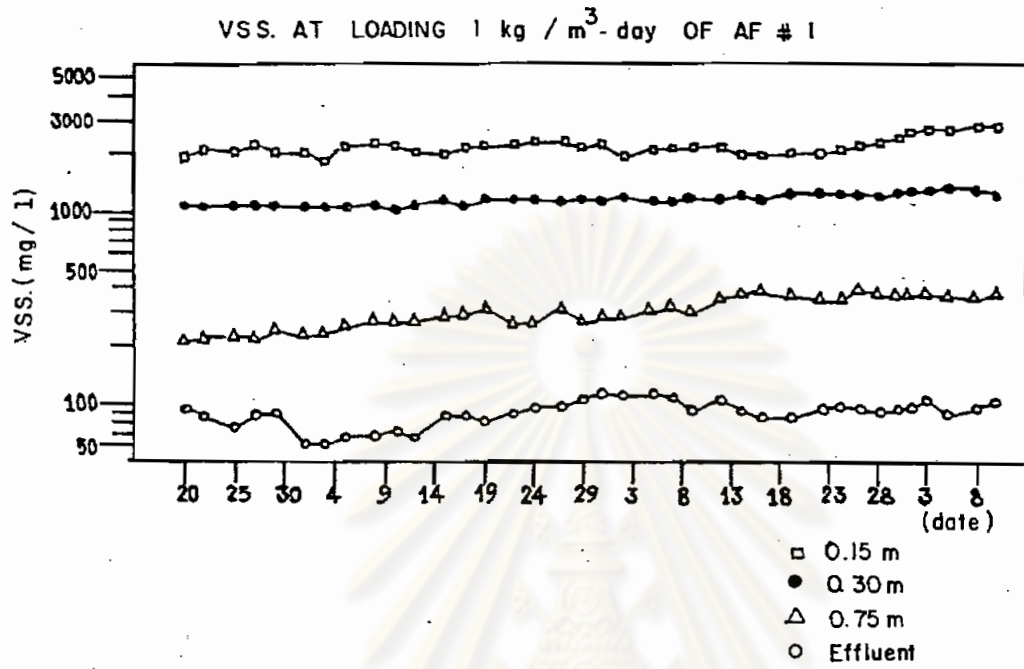
S.S. AT LOADING $1 \text{ kg} / \text{m}^3\text{-day}$ OF AF # 1



S.S. AT LOADING $1 \text{ kg} / \text{m}^3\text{-day}$ OF AF # 2

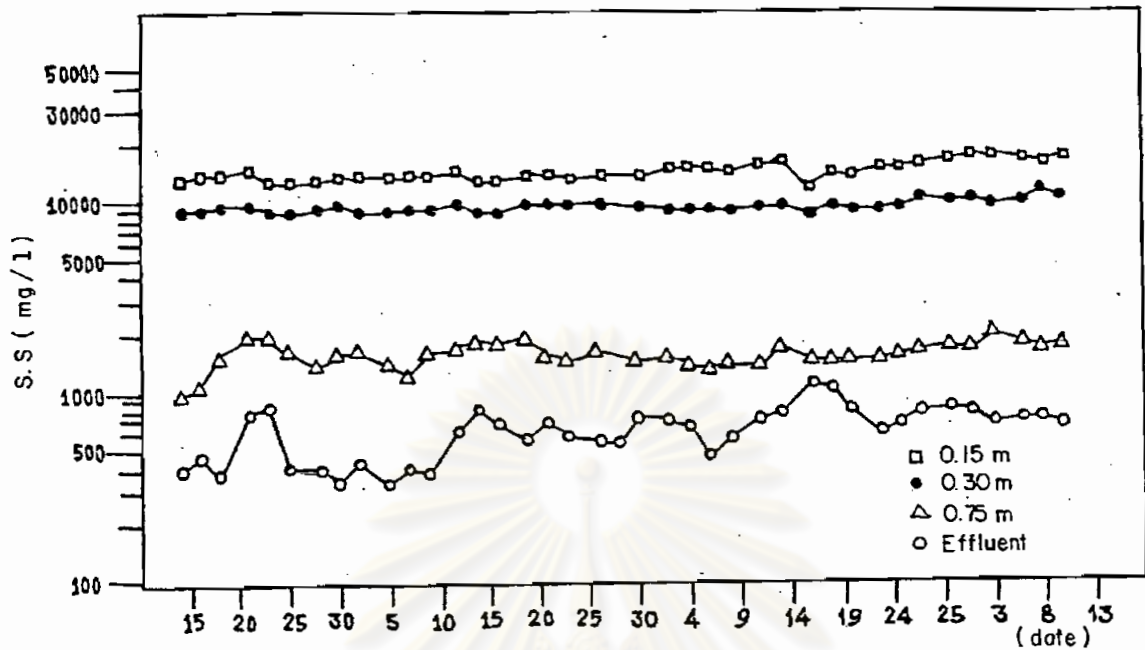


รูปที่ 4.13 ตะกอนแขวนลอยในเครื่องกรองทั้งสอง ภายใต้ระดับ ออร์แกนิคโหลดตั้ง
1 กก.ซีโอดี/ม³-วัน

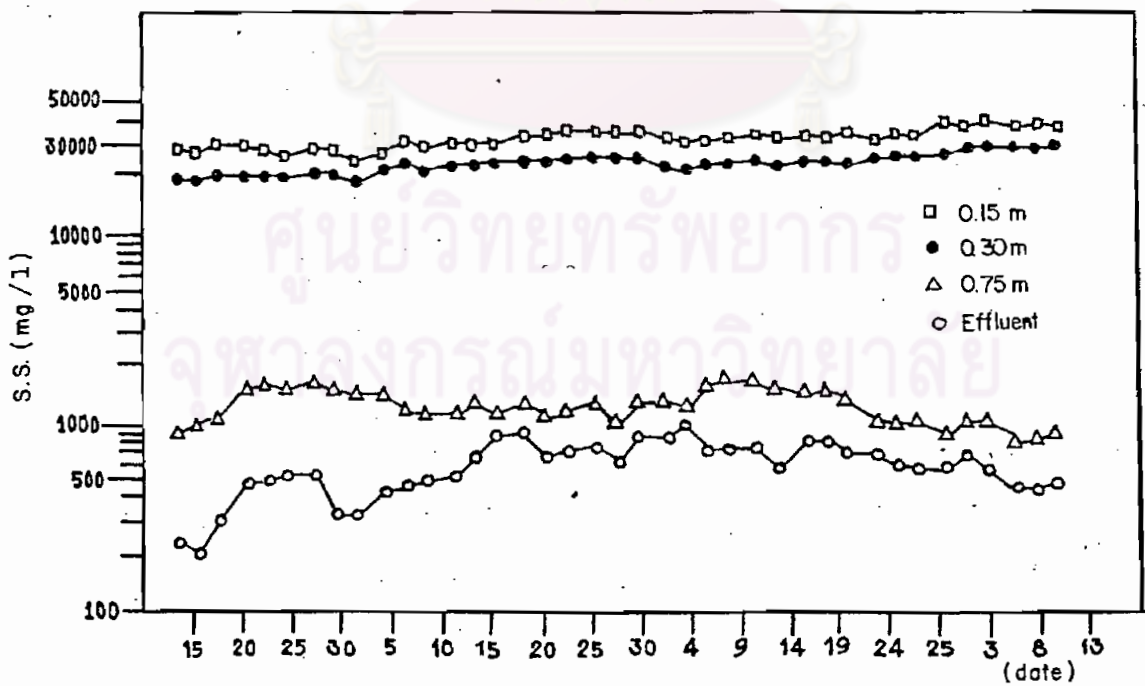


รูปที่ 4.14 ตะกอนเวลาโทล์ ในเครื่องกรองทั้งสี่อง ภายใต้ระดับ ออร์แกนิคโหลดคั้ง $1 \text{ กก.ชีโอดี/ม}^3\text{-วัน}$

S.S AT LOADING $3 \text{ kg/m}^3\text{-day}$ OF AF # 1

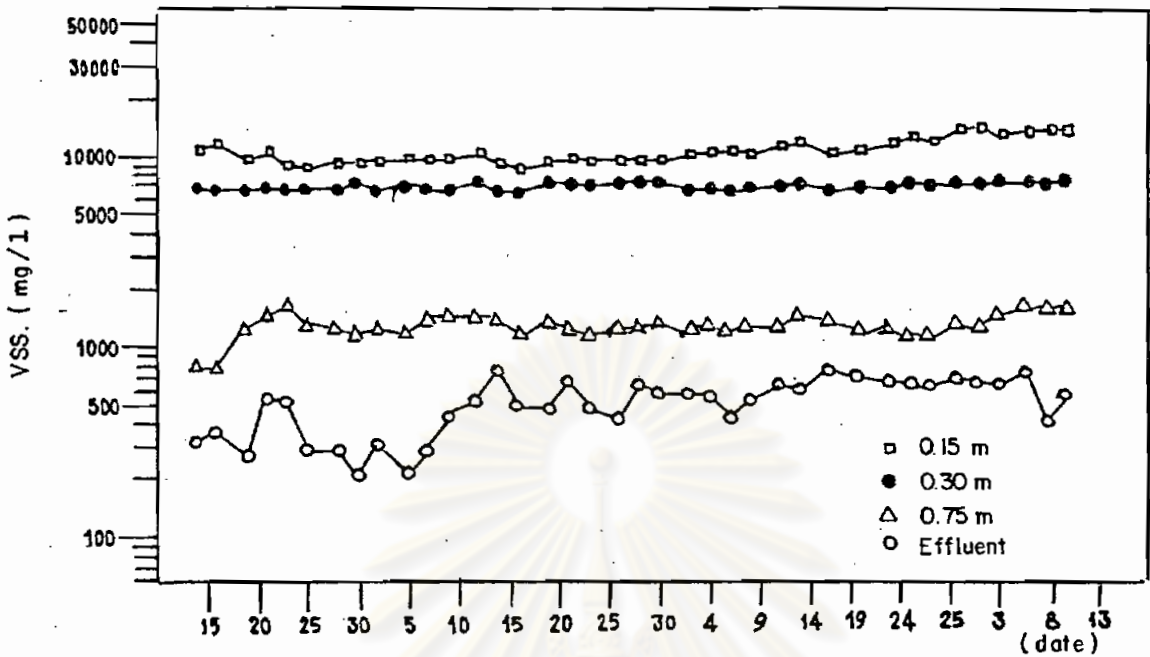


S.S. AT LOADING $3 \text{ kg/m}^3\text{-day}$ OF AF # 2

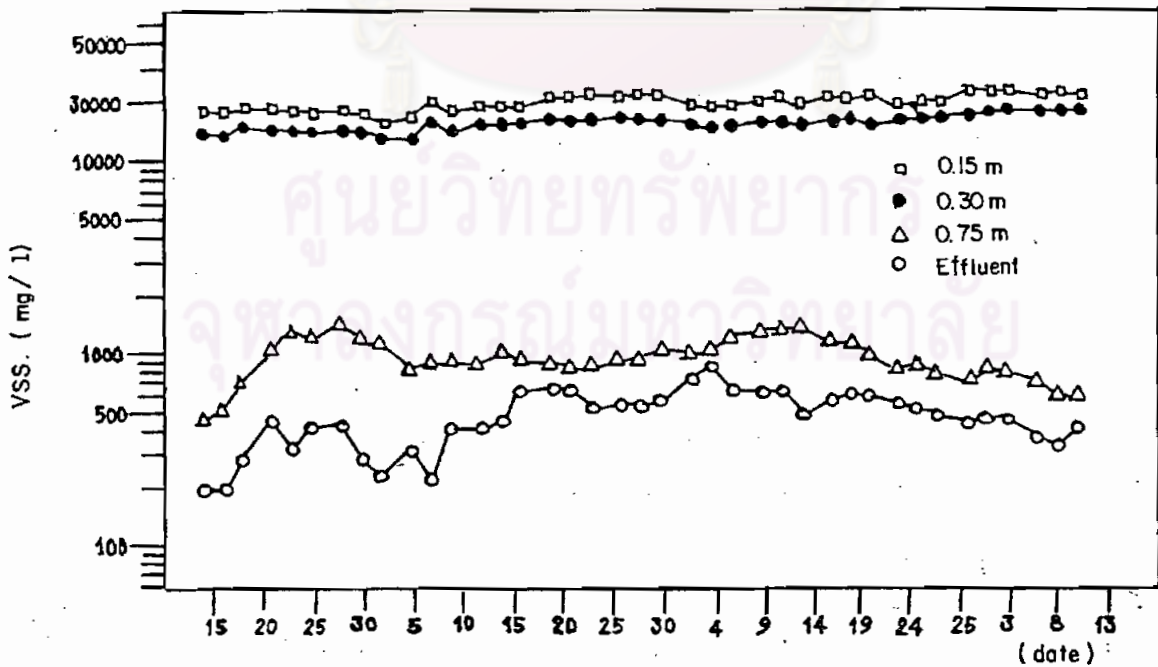


รูปที่ 4.15 ตะกอนแขวนลอยในเครื่องกรองหึ่งล่อง ภายใต้ระดับ ออร์แกนิกโหลดคั้ง $3 \text{ กก.ซีโอดี/ม}^3\text{-วัน}$

VSS. AT LOADING $3 \text{ kg} / \text{m}^3\text{-day}$ OF AF # 1

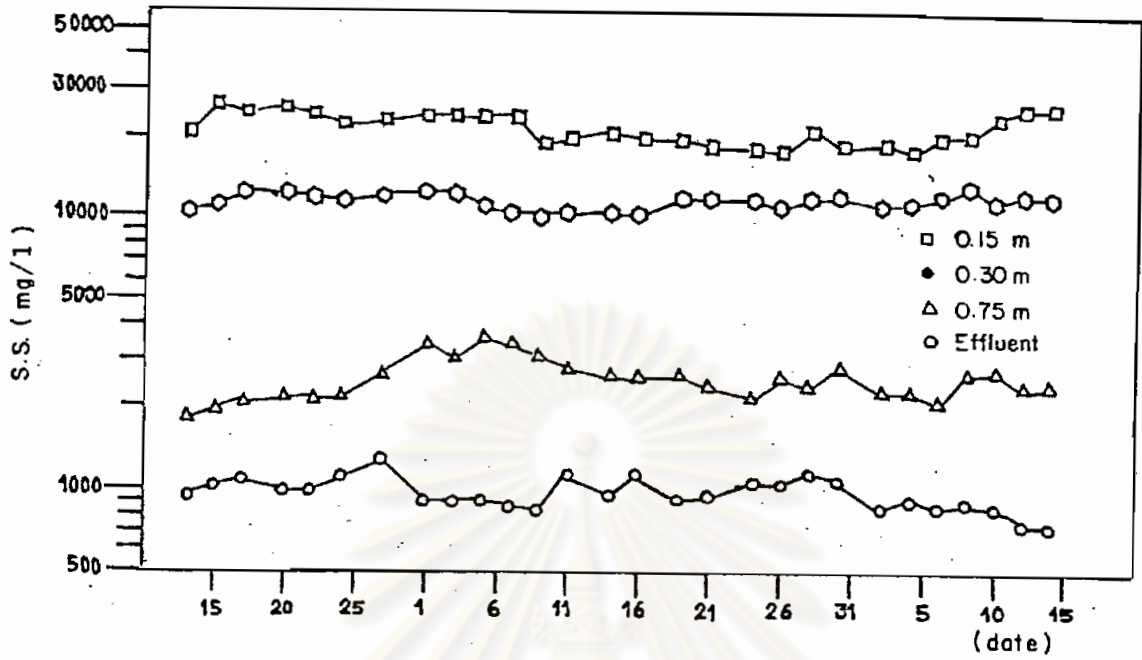


VSS. AT LOADING $3 \text{ kg} / \text{m}^3\text{-day}$ OF AF # 2

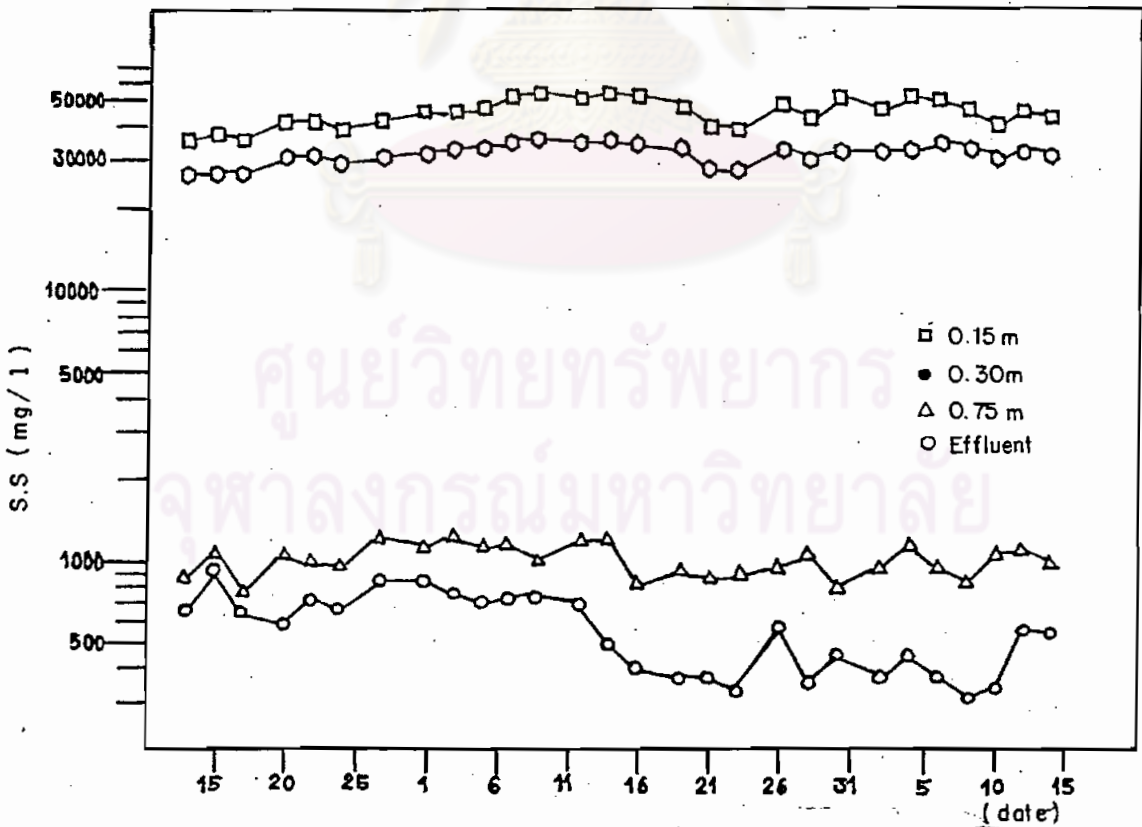


รูปที่ 4.16 ตะกอนเวลาไหล ในเครื่องกรองทั้งสอง ภายใต้ระดับ ออร์แกนิคโหลดตั้ง $3 \text{ กก.ซีโอดี/ม}^3\text{-วัน}$

S.S. AT LOADING 5 kg / m³-day OF AF #1

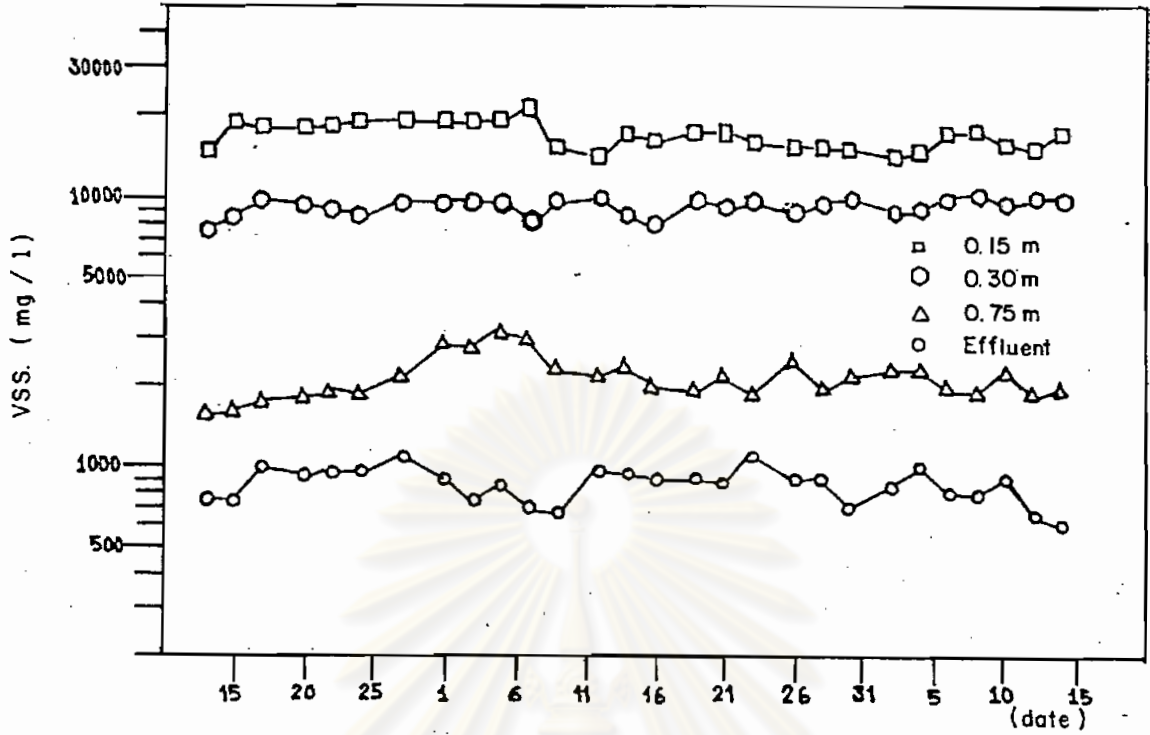


S.S. AT LOADING 5 kg / m³-day OF AF #2

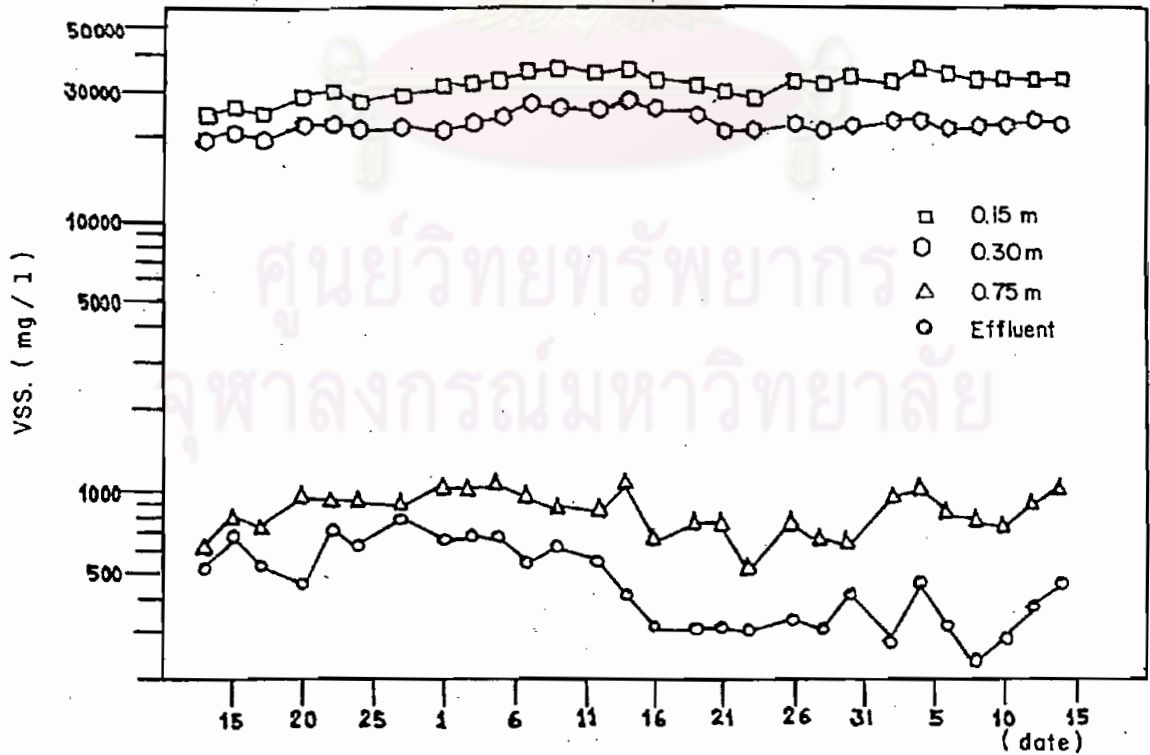


รูปที่ 4.17 ตะกอนแขวนลอย ในเครื่องกรองทั้งสอง ภายใต้ระดับ ออร์แกนิกโหลดถึง 5 กก.ซีโอดี/ม³-วัน

VSS. AT LOADING 5 kg / m³-day OF AF # 1



VSS. AT LOADING 5 kg / m³-day OF AF # 2



รูปที่ 4.18 ตะกอนเวลาไหล ในเครื่องกรองทั้งสอง ภายใต้ระดับออร์แกนิกโหลดคั้ง 5 กก.ซีโอดี/ม³-วัน

แวนลอยที่ออกมาพร้อมกับน้ำทิ้งของเครื่องกรองทั้งสองจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายกัน และจากผลการวิเคราะห์หาค่าตะกอนแวนลอยของเครื่องกรองตัวที่ 1 มีค่า 753 มก./ล. ตะกอนแวนลอยจากเครื่องกรองตัวที่ 2 มีค่า 540 มก./ล. จะเห็นว่าปริมาณตะกอนแวนลอยในน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองตัวที่ 1 จะมีปริมาณสูงกว่าตะกอนแวนลอยในเครื่องกรองตัวที่ 2 เล็กน้อย จากผลที่ได้นี้ให้ข้อสังเกตว่าเครื่องกรองตัวที่ 2 เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งมันสามารถที่จะกักเซลล์ตะกอนได้ดีขึ้น

รูปที่ 4.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสารแวนลอยในเครื่องกรองที่ออร์แกนิกโหลดตั้ง 5 กก./ม³-วัน จากภาพจะเห็นว่าสารแวนลอยในน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองตัวที่ 1 ยังคงเพิ่มสูงขึ้นตามการเพิ่มออร์แกนิกโหลดตั้ง ส่วนเครื่องกรองตัวที่ 2 ปริมาณสารแวนลอยในน้ำทิ้งมีแนวโน้มลดลง และในช่วงปลายการทดลองค่าตะกอนแวนลอยที่วัดได้ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการทดลองชุดที่ 2 ประมาณ 30% ส่วนปริมาณตะกอนเซลล์ภายในเครื่องกรองยังคงมีปริมาณเพิ่มขึ้น จากผลที่ได้นี้อาจคาดคะเนได้ว่าเครื่องกรองตัวที่ 2 มีแนวโน้มในการกักเซลล์ให้อยู่ในถังได้สูงขึ้น การที่เครื่องกรองตัวที่ 2 สามารถปรับสภาพตัวมันให้มีความสามารถในการกักเซลล์ได้สูงขึ้นนี้อาจสืบเนื่องจากการปรับตัวของตะกอนให้เหมาะสมกับสภาพความเป็นอยู่ เช่น ตะกอนมีการรวมตัวกันจนมีน้ำหนัก และตกลงสู่ก้นถังกรอง และเนื่องจากเครื่องกรองตัวนี้มีชั้นตัวกรองครึ่งถังลอยประกอบกับตัวกลางที่ใช้มีคุณสมบัติยืดหยุ่นง่าย ดังนั้นในขณะที่ป้อนน้ำเสียจากถังขึ้นบนโอกาสจะอัดบีบตัวของชั้นตัวกลางจึงมีมาก ผลคือทำให้ช่องว่างของตัวกลางทางตอนบนซึ่งเป็นการลดช่องทางออกของน้ำทิ้ง ดังนั้นโอกาสที่ตะกอนแวนลอยหลุดออกจากระบบจึงมีน้อย

4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการทำงานของเครื่องกรองไร้ออกซิเจนทั้งสองแบบภายใต้สภาวะออร์แกนิกโหลดตั้งสามระดับ

4.3.1 สมรรถนะในการกำจัดซีโอดี

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าความเข้มข้นซีโอดี 3 ระดับ และทำการทดลองกับเครื่องกรองทั้งสองภายใต้ออร์แกนิกโหลดตั้ง 3 ระดับ ในการเปลี่ยนออร์แกนิกโหลดตั้ง แต่แต่ละครั้งจะเปลี่ยนเฉพาะความเข้มข้นซีโอดีที่ป้อนเข้าเครื่องกรองเท่านั้น โดยค่อย ๆ เพิ่มความเข้มข้นขึ้น

จนถึงระดับที่ต้องการ การเพิ่มความเข้มข้น COD ในสัปดาห์นี้เพื่อที่จะให้แบคทีเรียมีระยะเวลาในการปรับตัวเพื่อรับสภาวะของการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ และป้องกันการเกิด shock load ขึ้นในระบบ ผลการวิเคราะห์ค่า COD และประสิทธิภาพในการกำจัด COD แสดงไว้ในตารางที่ 4.5

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของเครื่องกรองทั้งสองพอที่จะสรุปได้ดังนี้

เครื่องกรองตัวที่ 1 บรรจุตัวกลางเต็มถัง สามารถกำจัด COD ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD 90%, 77%, และ 68% ที่ระดับออร์แกนิกโหลดตั้ง 1, 3 และ 5 กก/ม³-วัน ตามลำดับ จากการสังเกตการทำงานของเครื่องกรองตัวนี้พบว่า มันต้องใช้ระยะเวลาช่วงหนึ่งในการปรับสภาวะการเปลี่ยนระดับออร์แกนิกโหลดตั้ง ให้สูงขึ้นดังจะเห็นได้จากการทดลองชุดที่ 3 ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัด COD ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของเครื่องกรองตัวนี้ พบว่าการกำจัด COD ส่วนใหญ่เกิดบริเวณทางตอนล่างของเครื่องกรอง และประสิทธิภาพนี้จะเพิ่มขึ้นตามระดับความสูงของเครื่องกรองดังจะเห็นได้จากตารางที่ 4.6

เครื่องกรองตัวที่ 2 บรรจุชั้นตัวกลางในสัปดาห์นี้ครั้งดังลอย ความสามารถในการกำจัด COD ของเครื่องกรองตัวนี้ค่อนข้างสูงกว่าเครื่องกรองตัวที่ 1 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 93%, 82%, 79% ที่ระดับออร์แกนิกโหลดตั้ง 1, 3 และ 5 กก/ม³-วัน จากการสังเกตสมรรถนะในการทำงานของเครื่องกรองตัวนี้พบว่ามันสามารถที่จะปรับสภาวะการรับออร์แกนิกโหลดตั้งที่สูงขึ้นได้ดีตลอดทุกชุดการทดลอง ทั้งนี้อาจสืบเนื่องมาจากเครื่องกรองมีความสามารถในการกักเซลล์สูง และเซลล์ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นเม็ดมีการจมตัวดี ซึ่งอาจก่อให้เกิดขึ้นของตะกอนเซลล์ขึ้นทางตอนล่างของเครื่องกรอง ขึ้นตะกอนเหล่านี้จึงเปรียบเสมือนตัวกลางของเครื่องกรอง ในขณะที่ตัวเม็มนั้นก็จะช่วยทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ จึงทำให้เครื่องกรองมีประสิทธิภาพสูงขึ้นในการกำจัดน้ำเสีย จากผลการวิเคราะห์ค่า COD ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของเครื่องกรองพบว่าการกำจัดค่า COD ส่วนใหญ่เกิดทางตอนล่างของเครื่องกรองและจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามความสูงที่เพิ่มขึ้นภายใต้การทำงานที่ระดับออร์แกนิกโหลดตั้ง 3 และ 5 กก/ม³-วัน ส่วนที่สภาวะออร์แกนิกโหลดตั้ง 1 กก/ม³-วัน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด COD ของเครื่องกรองที่ระดับความสูง

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี และปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้

	ORGANIC LOADING (KG/CUK-DAY)					
	1		3		5	
	AF#1	AF#2	AF#1	AF#2	AF#1	AF#2
WASTE $\mu\text{g/l}$	2,138.00	2,138.00	6,212.00	6,212.00	10,325.00	10,325.00
EFFLUENT $\mu\text{g/l}$	198.00	143.00	1,424.00	1,114.00	3,255.00	2,137.00
COD AT .30M $\mu\text{g/l}$	262.00	248.00	2,146.00	1,641.00	3,655.00	2,584.00
%COD REMOVED OF EFF	90.74	93.33	77.07	82.06	68.48	79.00
%COD REMOVED AT .30M	87.74	88.40	65.45	73.58	64.60	75.00
TOTAL GAS L/DAY	38.00	42.00	90.00	95.00	147.00	178.00
%CH ₄	76.31	73.81	65.55	67.37	60.54	58.99
CH ₄ L/DAY	29.00	31.00	59.00	64.00	89.00	105.00
CH ₄ /COD (REMOVED)%	0.33	0.33	0.31	0.31	0.31	0.32

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ระดับความลึกต่าง ๆ

EFFICIENCY OF COD REMOVAL AT VARIOUS LEVEL

LOADING	FILTER	LEVEL	0.15M	0.30M	0.45M	0.75M	1.05M	1.20M
1	AF#1	%COD REMOVED	87.04	87.74	87.74	89.80	90.17	90.70
1	AF#2	%COD REMOVED	87.55	88.40	87.97	88.63	87.77	93.33
3	AF#1	%COD REMOVED	65.05	65.45	67.82	72.92	75.08	77.07
3	AF#2	%COD REMOVED	69.51	73.58	74.98	78.10	80.07	82.06
5	AF#1	%COD REMOVED	65.68	64.60	66.88	66.47	67.74	68.47
5	AF#2	%COD REMOVED	73.20	75.00	75.00	79.20	81.11	79.00



จากกันถึงกรองถึงกลางถึงกรองจะมีค่าค่อนข้างคงที่ ซึ่งจากพฤติกรรมนี้ดูเหมือนจะคล้ายกับการทำงานในระบบ Completely Mix ส่วนที่ระดับจากกลางถึงถึงตอนบนประสิทธิภาพในการกำจัด COD ก็จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มระดับความสูง ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณนี้มีชั้นตัวกลางบรรจุอยู่เหมือนเครื่องกรองทั่วไป ไม่ว่าอย่างไรก็ตามพฤติกรรมนี้จะเห็นได้ที่ระดับออร์แกนิกโพลดถึง 1 กก./ม³-วัน

4.3.2 สมรรถนะในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพเป็นผลสุดท้ายของขบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น จะเป็นเครื่องสะท้อนอย่างดีที่สุดที่จะให้เห็นถึงความสามารถในการกำจัดน้ำเสียของเครื่องกรองไร้ออกซิเจนภายใต้สภาวะการใช้งานที่ไม่เปลี่ยนแปลงนัก โดยทั่วไปองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่จะเป็นพวก CO₂ และ CH₄ จากรายงานวิจัย (12) พบว่าปริมาณ CH₄ ในก๊าซชีวภาพจะมีมากหรือน้อยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสียที่ใช้ เช่น น้ำเสียที่มีน้ำตาลกลูโคสเป็นส่วนประกอบสำคัญจะให้ปริมาณ CH₄ และ CO₂ ใกล้เคียงกัน

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลเป็นส่วนใหญ่ป้อนเข้าสู่เครื่องกรองอย่างต่อเนื่อง และทำการวิเคราะห์หาสมรรถนะในการผลิตก๊าซชีวภาพของเครื่องกรองทั้งสองภายใต้การทำงานที่ออร์แกนิกโพลดถึง 3 ระดับ ได้ผลดังนี้

เครื่องกรองตัวที่ 1 ผลิตก๊าซชีวภาพได้ 38,90,147 ลิตร/วัน มีองค์ประกอบของเปอร์เซ็นต์มีเทน 75%, 65% และ 60% ที่ระดับออร์แกนิกโพลดถึง 1, 3 และ 5 กก./ม³-วันตามลำดับ อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อหนึ่งกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัดออกจากระบบมีค่า 0.33, 0.31 และ 0.31

เครื่องกรองตัวที่ 2 ผลิตก๊าซชีวภาพได้ 42,95,178 ลิตร/วัน มีองค์ประกอบของเปอร์เซ็นต์มีเทน 73%, 67%, 59% ที่ระดับออร์แกนิกโพลดถึง 1, 3, และ 5 กก./ม³-วันตามลำดับ อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อหนึ่งกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัดออกจากระบบมีค่า 0.33, 0.31 และ 0.32

จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มระดับออร์แกนิกโพลดถึงสูงขึ้น ปริมาณก๊าซจะเพิ่มขึ้นตามแต่เปอร์เซ็นต์มีเทนจะลดลง ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากการที่ปริมาณสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น จะทำให้แบคทีเรียที่สร้างกรดมีการเพิ่มจำนวนขึ้นเพื่อที่จะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นจากเดิม ดังนั้นอัตราการเกิดกรดและ CO₂ จึงมีมากในขณะที่แบคทีเรีย

ที่สร้างมีเทนซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่าจึงไม่สามารถที่จะย่อยสลายกรดอินทรีย์ และใช้ CO₂ ได้ทัน เป็นผลให้มีการสะสมกรดอินทรีย์ และ CO₂ มากขึ้นในระบบ จากการเปรียบเทียบสมรรถนะในการผลิตก๊าซของเครื่องกรองทั้งสองพบว่าเครื่องกรองตัวที่ 2 มีสมรรถนะในการผลิตก๊าซสูงกว่าเครื่องกรองตัวที่ 1 ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับการศึกษาสมรรถนะในการกำจัดค่าซีโอดีของเครื่องกรอง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจสืบเนื่องมาจาก การปรับตัวของเซลล์ให้เกิดการตกตะกอนของเครื่องกรองตัวที่ 2 จึงทำให้ตะกอนในถังมีการสะสมตัวมากกว่าเครื่องกรองตัวที่ 1 ดังนั้นการผลิตก๊าซของเครื่องกรองตัวที่ 2 นี้จึงมีปริมาณมากกว่าเครื่องกรองตัวที่ 1

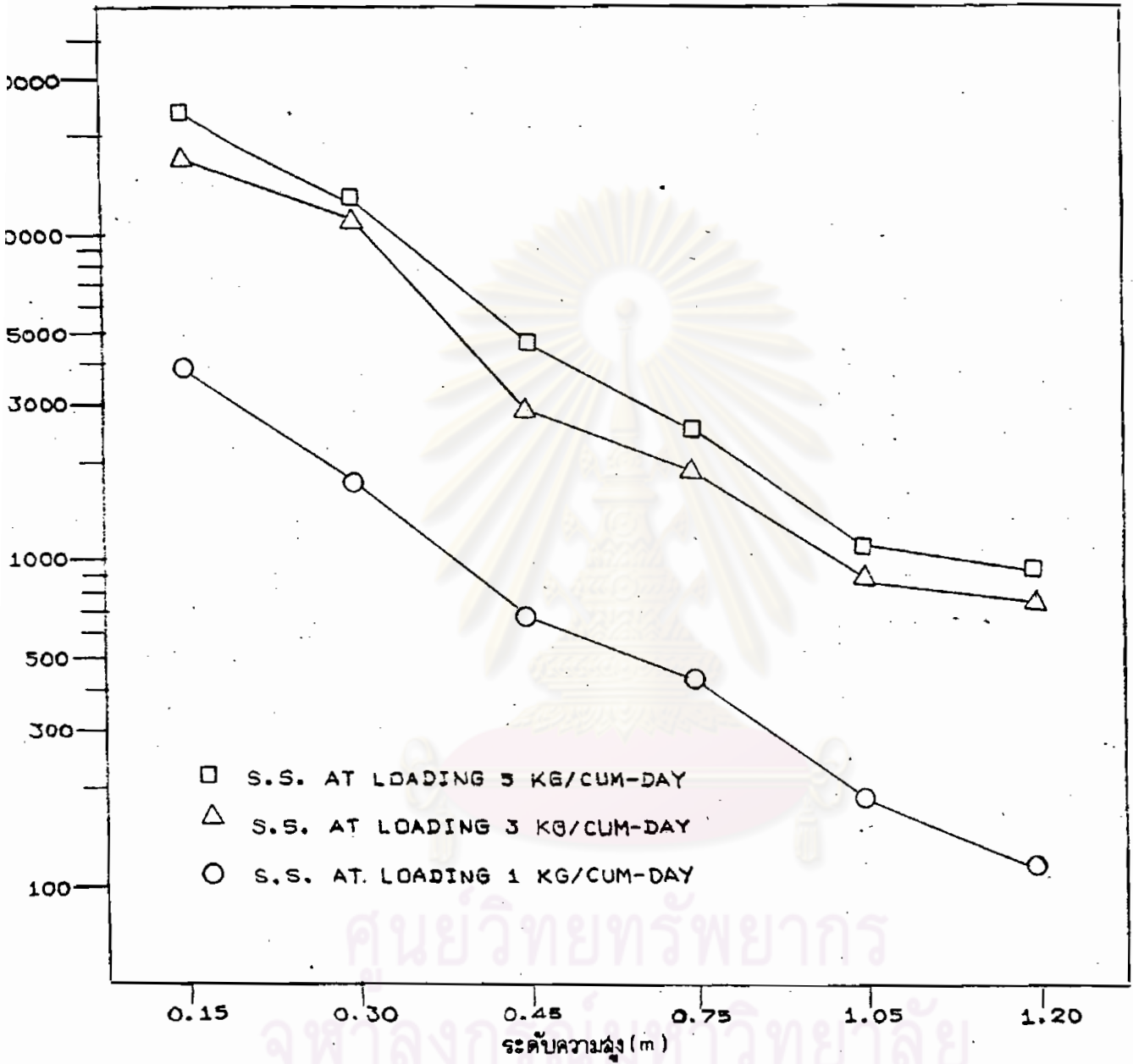
4.4 การสร้างสะสมเซลล์แบคทีเรีย และลักษณะความเป็นอยู่ของเซลล์แบคทีเรียในเครื่องกรอง

โดยปกติปริมาณเซลล์แบคทีเรียสามารถวัดได้จากการหาหน้าหนักตะกอนเวลาไหล (VSS) ต่อปริมาตรของน้ำทิ้ง แต่ในกรณีที่น้ำเสียซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรียมีปริมาณสารแขวนลอยน้อยหรือไม่มี การวัดปริมาณแบคทีเรียก็สามารถทำได้ง่ายขึ้นโดยการวัดตะกอนแขวนลอย (SS) ในน้ำทิ้ง งานวิจัยนี้เป็นการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารแขวนลอยน้อย ดังนั้นจึงใช้ปริมาณสารแขวนลอย (SS) เป็นดัชนีเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรีย

ปริมาณเซลล์ที่อยู่ในเครื่องกรองจะมีการเพิ่มจำนวนอยู่ตลอดเวลา และการเพิ่มขึ้นนี้จะเห็นได้ชัดในกรณีที่มีการเพิ่มระดับออร์แกนิกโหลดตั้งอย่างเหมาะสม สิ่งนี้พอที่จะสันนิษฐานได้ว่า ปริมาณเซลล์แบคทีเรียจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมันได้รับอาหารเพิ่มขึ้นในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม งานวิจัยเมื่อไม่นานมานี้ (9) ชี้ให้เห็นว่าแบคทีเรียสามารถที่จะยึดเกาะผิวตัวกลางได้ดี ส่วนแบคทีเรียที่ไม่สามารถยึดเกาะติดตัวกลางก็จะปรับสภาพตัวมันโดยจับกลุ่มกันเป็น floc และเมื่อมันมีน้ำหนักมากขึ้นก็จะตกตะกอนจมอยู่กันตั้ง ส่วนงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาข้อมูลของเครื่องกรองที่มีการวางตัวของชั้นตัวกลางต่างกันสองลักษณะ จากผลของการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ พอที่จะชี้ให้เห็นถึงลักษณะการสะสมตัวและสภาพความเป็นอยู่ของเซลล์ได้ดังนี้

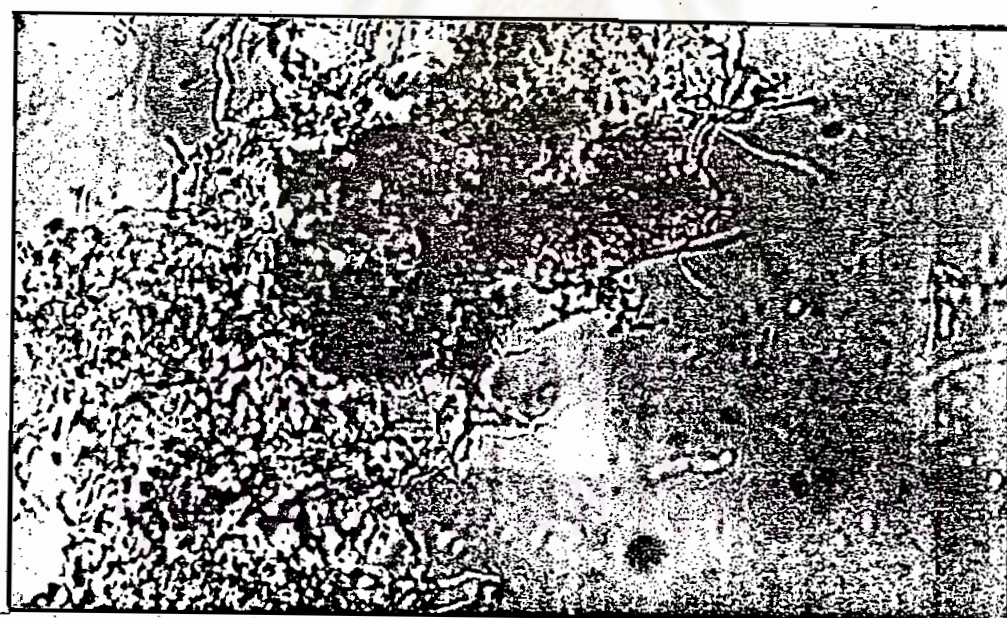
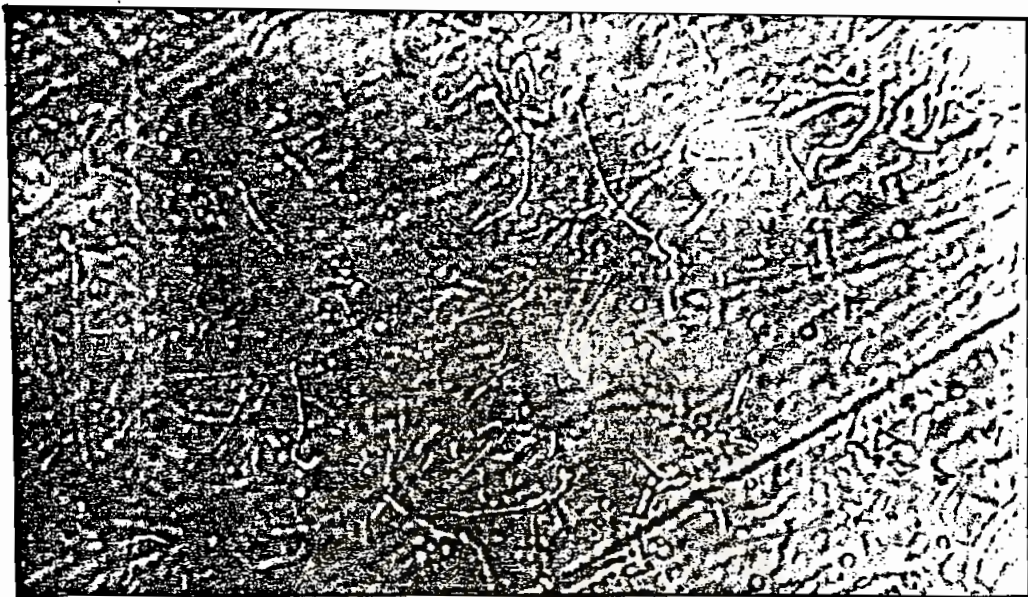
4.4.1 เครื่องกรองตัวที่ 1 ซึ่งมีตัวกลางเต็มถัง จากรูปที่ 4.19 จะเห็นว่าปริมาณตะกอนจะมีความเข้มข้นสูงมากทางตอนล่างของเครื่องกรอง และจะลดลงเรื่อย ๆ ตามความสูงที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกรอง ปริมาณสารแขวนลอย (SS) ที่ออกมาพร้อมกับน้ำทิ้งยังคงมีปริมาณต่ำมากเมื่อเทียบกับปริมาณสารแขวนลอยในเครื่องกรอง อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเปลี่ยน

S. S. OF AF # 1



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรองตัวที่ 1 ในการทดลองชุดที่ 1,2,3

ระดับออร์แกนิคโพลติดังให้สูงขึ้น ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำทิ้งก็จะเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ปริมาณสารแขวนลอย (SS) ในน้ำทิ้งนี้จะเพิ่มจาก 112 มก./ล เป็น 753 และ 916 มก./ล ที่ออร์แกนิคโพลติดัง 1, 3 และ 5 กก./ม³-วันตามลำดับ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ อาจสันนิษฐานได้ว่า การเพิ่มอาหารให้แก่แบคทีเรียในเครื่องกรองทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของตะกอนแบคทีเรียสูงและโอกาสที่จะหลุดลอยออกจากระบบจึงมีมาก ส่วนสภาวะความเป็นอยู่ภายในของเซลล์แบคทีเรียในเครื่องกรองนี้ เมื่อพิจารณาจากการนำตัวอย่างของตะกอนแขวนลอยออกจากระบบที่จุดออกทุกจุดของเครื่องกรองจะพบว่า เซลล์ตะกอนทางตอนบนช่วงระดับ 0.75 และ 1.05 เมตร มีความเข้มข้นไม่สูงนักจะมีก๊าซติดสับตะกอนอยู่ ส่วนทางตอนล่างช่วงระดับ 0.15-0.30 ม. ความเข้มข้นของตะกอนจะสูงมาก ส่วนลักษณะตะกอนโดยทั่วไปตลอดถึงพบว่า เซลล์ตะกอนจะมีการจมตัวไม่ดี ซึ่งสังเกตได้จากการเก็บตัวอย่างที่จุด 0.15 เมตรมาทิ้งไว้ให้ตกตะกอนปรากฏว่าตะกอนจะมีการลอยตัวเป็นส่วนใหญ่ ลักษณะตะกอนจะมีเมือกปุยุขุ่มตามบริเวณผิวของและตะกอนส่วนใหญ่จะมีสีดำ จากลักษณะนี้พอจะคาดคะเนได้ว่าแบคทีเรียส่วนใหญ่จะยึดเกาะติดกับชิ้นตัวกลาง ส่วนการสะสมตัวจะมีลักษณะเป็นเม็ดและ floc จะพบได้บ้างทางตอนล่างของถังแต่ก็มีปริมาณไม่มากนัก จากการตรวจสอบแบคทีเรียด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่า ที่ระดับต่ำประมาณ 0.15-0.30 ม. จะพบแบคทีเรียหลายลักษณะ เช่น มีทั้งเป็นสาย, ท่อน, และทรงกลม และยังพบสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ อีก เช่น พวก Ciliate เคลื่อนที่อยู่ในระหว่างสารอาหารแบคทีเรียที่พบมากในเครื่องกรองตัวที่ 1 นี้จะเป็นพวกแบคทีเรียที่มีเส้น (Filamentous Bacteria) รูปที่ 4.20 แสดงรูปร่างของแบคทีเรียที่พบในเครื่องกรองนี้ รูปที่ 4.19 แสดงลักษณะการสะสมตัวของตะกอนแขวนลอยที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายใต้การทำงานทรงตัว (steady-state) ที่ระดับออร์แกนิคโพลติดัง 3 ระดับ จากข้อมูลเหล่านี้ให้นำมาทำการหาค่า SRT โดยประมาณได้ 21.7, 15.2 และ 16.7 วัน ที่ระดับออร์แกนิคโพลติดัง 1, 3 และ 5 กก./ม³-วันตามลำดับ ค่า SRT ที่คำนวณได้นี้คิดจากปริมาณตะกอนทั้งหมดภายในถังกรอง โดยการวิเคราะห์หาค่าตะกอนแขวนลอย (SS) จากทุกจุดที่น้ำทิ้งออกจากเครื่องกรอง โดยถือว่าตัวอย่างที่ออกจากจุดเก็บจะแทนปริมาณตะกอนในบริเวณนั้น การประมาณค่า SRT โดยวิธีนี้จะได้น้อยกว่าความเป็นจริง เนื่องจากวิธีนี้ไม่ได้คิดรวมปริมาณเซลล์ตะกอนที่ติดเกาะกับชิ้นตัวกลาง แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องกรองที่มีชิ้นตัวกลางต่างกัน ดังนั้นค่า SRT ที่หาได้จึงใช้เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องกรองมากกว่าที่จะนำมาอ้างอิงใช้ในทางปฏิบัติ



รูปที่ 4.20 แสดงลักษณะของเซลล์แบคทีเรียที่พบในเครื่องกรองไร้ออกซิเจน
 ภาพบน เก็บตัวอย่างช่วงบนของถังกรอง
 ภาพล่าง เก็บตัวอย่างตอนล่างของถังกรอง

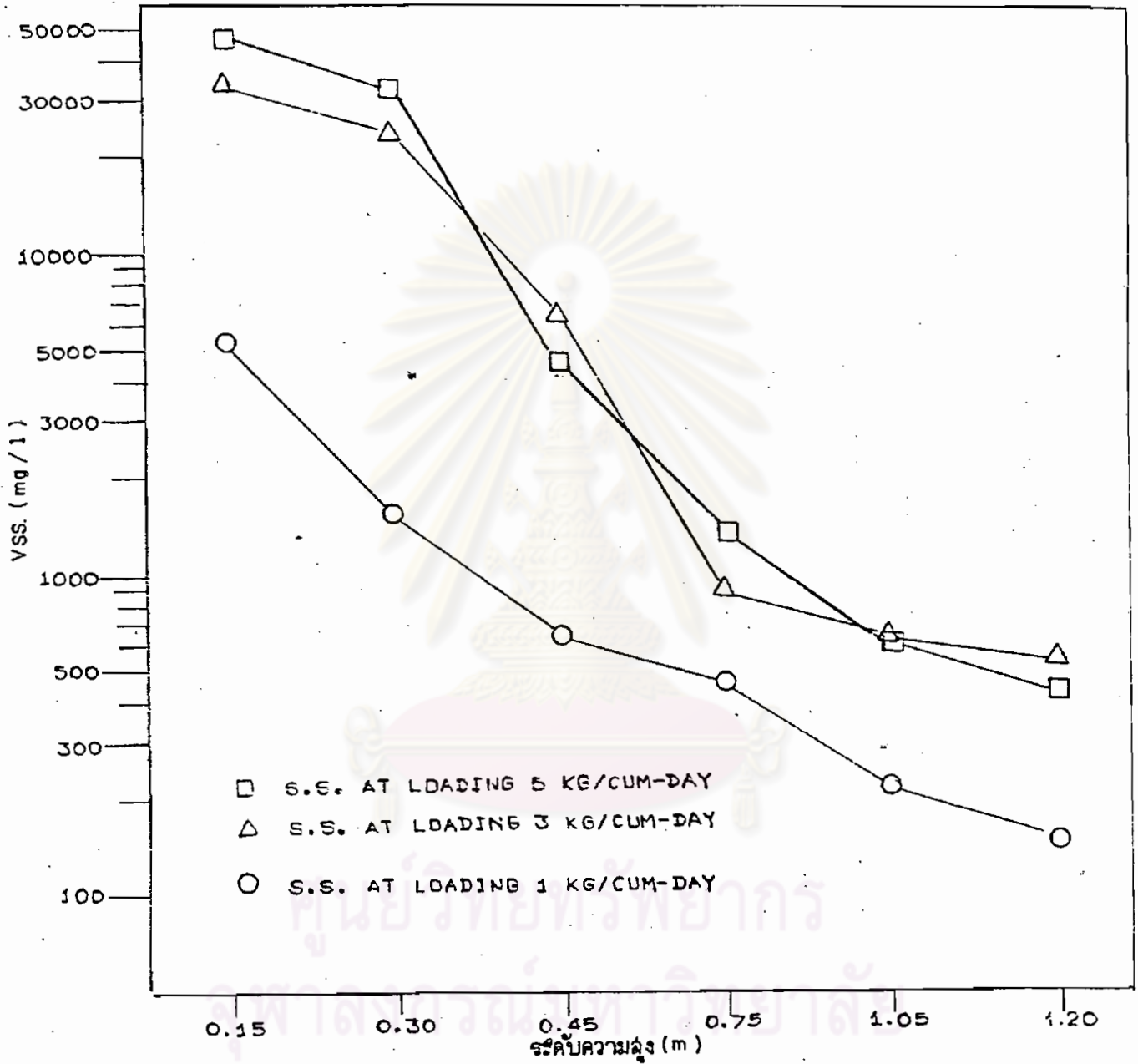
4.4.2 เครื่องกรองตัวที่ 2 (บรรจุชั้นตัวกลางครึ่งถึงลักษณะลอย) รูปที่ 4.21 เป็นการแสดงความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (SS) ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในถังกรองซึ่งจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับเครื่องกรองตัวที่ 1 จากข้อมูลของเครื่องกรองตัวนี้พบว่า เชลล์ตะกอนภายในเครื่องกรองจะมีการเพิ่มสะสมตัวสูงขึ้น ปริมาณตะกอนพบมากทางตอนล่างที่ระดับ 0.15-0.30 ม. ลักษณะตะกอนบริเวณนี้จะเป็นก้อนเม็ดละเอียดสีน้ำตาลและมีการจมตัวดีสาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจมีผลมาจากการไม่มีชั้นตัวกลางในบริเวณนั้น จึงทำให้โอกาสที่เชลล์ตะกอนรวมตัวเป็นก้อนเม็ดมีมาก และเมื่อมันมีน้ำหนักมากขึ้นก็จะจมลงสู่ก้นถังในที่สุด เนื่องจากเครื่องกรองตัวนี้เคยถูกใช้งานมาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ดังนั้นการสะสมตัวของเชลล์จึงเพิ่มขึ้นมากจนอาจกลายเป็นชั้นตะกอนชั้นซึ่งจะเป็นผลดีต่อระบบ ในการบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น สารแขวนลอยทางตอนบนของเครื่องกรองนี้จะมีลักษณะรูปร่างเช่นเดียวกับที่พบในเครื่องกรองตัวที่ 1 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากสภาพลักษณะความเป็นอยู่ของแบคทีเรียบริเวณนี้คล้ายคลึงกับเครื่องกรองทั่วไป จากการสำรวจลักษณะของแบคทีเรียในเครื่องกรองตัวที่ 2 พบว่า แบคทีเรียและจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่พบเป็นแบบเดียวกับที่พบจากเครื่องกรองตัวที่ 1 แต่ปริมาณแบคทีเรียพวก Filamentous จะมีน้อยกว่าทางตอนล่างของเครื่องกรอง จากการประมาณหาค่า SRT ของเครื่องกรองตัวที่ 2 นี้ได้ค่า 19,40,63 วัน ที่ระดับออร์แกนิกโหลดตั้ง 1,3 และ 5 กก./ม³-วันตามลำดับ จากรายงานวิจัยเมื่อเร็ว ๆ นี้ (13) อ้างว่าการที่ระบบกำจัดน้ำเสียมีพวก Filamentous Bacteria จะมีประโยชน์คือ จะช่วยลดความใสโครกของน้ำทิ้งลงได้อีก ทั้งนี้ต้องมีการป้องกันไม่ให้แบคทีเรียพวกนี้ออกมาพร้อมกับน้ำทิ้ง และแบคทีเรียพวกนี้ส่วนใหญ่จะพบในบริเวณที่มีออกซิเจน จากข้อเสนอนี้จึงอาจสันนิษฐานว่า เครื่องกรองทั้งสองจะต้องมีอากาศอยู่ภายในระบบซึ่งคาดว่าอาจมาจากน้ำประปาที่ใช้ผสมสารอาหาร เพื่อทำน้ำเสียสังเคราะห์ ตารางที่ 4.7 แสดงการคำนวณค่า SRT ของเครื่องกรองทั้งสอง

4.5 ความเปลี่ยนแปลงที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรองไร้ออกซิเจน

เครื่องกรองไร้ออกซิเจนโดยทั่วไปจะถูกออกแบบให้ระบบป้อนน้ำเสียเข้าสู่กรองอยู่ทางตอนล่างของเครื่องกรอง น้ำเสียจะถูกป้อนเข้าเครื่องกรองในลักษณะต่อเนื่องจากล่างสู่บน และลักษณะการไหลของน้ำเสียภายในถังอาจกล่าวได้ว่าเป็นลักษณะแบบ Plug Flow ซึ่งมีผลทำให้ความเข้มข้นของน้ำเสียทางตอนล่างของเครื่องกรองมีค่าสูงมาก และความเข้มข้นนี้จะค่อยๆ ลดลงทางตอนบน ในภาวะเช่นนี้แบคทีเรียที่บริเวณทางตอนล่างจะมีกิจกรรมสูง และมีการ



S.S. OF AF # 2



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรองตัวที่ 2 ในการทดลองชุดที่ 1,2,3

ตารางที่ 4.7 การคำนวณค่า SRT โดยประมาณของเครื่องกรองที่มีชั้นตัวกลางเต็มถัง และเครื่องกรองที่มีชั้นตัวกลางครึ่งถังแบบลอยตัว

ESTIMATE SRT OF AF#1

					SS. Mass			Accumulated Mass		
SS AT LEVEL	SS OL=1	SS OL=3	SS OL=5	VOLUME BETWEEN LEVEL (%)	%S OL=1	%S OL=3	%S OL=5	Σ%S OL=1	Σ%S OL=3	Σ%S OL=5
	MG/L	MG/L	MG/L		MG	MG	MG	MG	MG	MG
0.15M	3816	17250	23480	15	57240	258750	352200	57240	258750	352200
0.30M	1785	10244	12046	10	17850	102440	120460	75090	361190	472660
0.45M	668	2942	4685	15	10020	44130	70320	85110	405320	542980
0.75M	428	1858	2480	20	8560	37160	49600	93670	442480	592580
1.05M	183	880	1098	20	3660	17600	21960	97330	460080	614540
EFFLUENT	112	753	916							
ORGANIC LOADING								1	3	5
SRT = $\frac{\sum \%S}{\text{EFF} \times F}$								97330	460080	614540
								$\frac{112 \times 40}{}$	$\frac{753 \times 40}{}$	$\frac{916 \times 40}{}$
DAYS								21.7 DAYS	15.2 DAYS	16.8 DAYS

REMARKS 1 FLOW RATE = 40 L/day (F)
2 AREA OF AF = 0.066 Sq.M
3 VOLUME OF AF = 80 L

ESTIMATE SRT OF AF#2

					SS. Mass			Accumulated Mass		
SS AT LEVEL	SS OL=1	SS OL=3	SS OL=5	VOLUME BETWEEN LEVEL (%)	%S OL=1	%S OL=3	%S OL=5	Σ%S OL=1	Σ%S OL=3	Σ%S OL=5
	MG/L	MG/L	MG/L		MG	MG	MG	MG	MG	MG
0.15M	5216	33660	47265	15	78240	504000	702975	78240	504000	708975
0.30M	1565	24560	33099	10	15650	245600	330990	93890	749600	1039965
0.45M	642	6537	4148	15	9630	98055	62220	103250	847655	1102185
0.75M	447	870	1043	20	8940	17400	20860	112460	865055	1123045
1.05M	216	646	640	20	4320	12800	12800	116780	877855	1135845
EFFLUENT	149	540	444							
ORGANIC LOADING								1	3	5
SRT = $\frac{\sum \%S}{\text{EFF} \times F}$								116780	877855	1135845
								$\frac{149 \times 40}{}$	$\frac{540 \times 40}{}$	$\frac{444 \times 40}{}$
DAYS								19.6 DAYS	40.6 DAYS	64 DAYS

REMARKS 1 FLOW RATE = 40 L/day (F)
2 AREA OF AF = 0.066 Sq.M
3 VOLUME OF AF = 80 L

เจริญเติบโตเร็ว ทั้งนี้เพราะสารอาหารมีมากในบริเวณนี้ (F/M สูงมาก) ปฏิกริยาการเปลี่ยนแปลงของถังหมักส่วนใหญ่ซึ่งเกิดบริเวณตอนล่าง ส่วนที่เหนือขึ้นไปเข้าใจว่าปฏิกริยาต่าง ๆ จะเกิดน้อยลง และหน้าที่ส่วนใหญ่ที่บริเวณนี้จะถูกใช้ในการกักเซลล์ที่หลุดลอยขึ้นมาบนน้ำเสีย และการนำพาของก๊าซโดยใช้ชั้นตัวกลางที่บรรจุอัดแน่นในเครื่องกรอง แแบคทีเรียที่อาศัยเกาะขึ้นตัวกลางก็จะทำปฏิกริยาย่อยสลายสารอาหารที่เหลือมาจากตอนล่าง จึงทำให้บริเวณนี้ช่วยลดความเข้มข้นของน้ำเสียได้อีก แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มความสูงของชั้นตัวกลางย่อมมีขีดจำกัดในการกำจัดความโสกโครก เช่น งานวิจัยชิ้นหนึ่ง(6) ยืนยันว่าความสูงที่เหมาะสมสำหรับเครื่องกรองควรอยู่ในช่วง 1.20 เมตร ความสูงที่มากกว่านี้ดูเหมือนจะไม่เป็นการประหยัด

เนื่องจากแบคทีเรียในเครื่องกรองมีการกระจายตัวอยู่ตามชั้นความสูงระดับต่าง ๆ ของเครื่องกรองในปริมาณที่แตกต่างกัน จึงทำให้สมรรถนะการทำงานของเครื่องกรองที่ระดับความสูงต่าง ๆ มีความแตกต่างกันบ้าง การศึกษาในสภาวะเช่นนี้จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์หาข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ระดับความสูงต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้ได้เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากเครื่องกรอง 5 ระดับ คือ 0.15, 0.30, 0.45, 0.75, 1.05 เมตร และที่จุดออกของเครื่องกรอง (Effluent) ซึ่งจะกระทำในช่วงที่เครื่องกรองมีสภาวะการทำงานทรงตัว (steady-state) ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทิ้งที่ระดับความสูงต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.22-4.26 และตารางที่ 4.8

4.5.1 เครื่องกรองตัวที่ 1 (บรรจุตัวกลางเต็มถัง) มีลักษณะการทำงานภายในเหมือนเครื่องกรองทั่วไป รูปแบบการเคลื่อนที่ของน้ำเสียภายในถังกรองเป็นแบบ Plug Flow น้ำจะไหลจากตอนล่างขึ้นสู่ด้านบน ปฏิกริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ส่วนใหญ่เกิดทางตอนล่างของถัง ซึ่งสังเกตจากค่า VFA. มีค่าสูงมากในบริเวณนี้ ในขณะที่เดียวกันก็มีการใช้ HCO_3^{-1} จำนวนหนึ่ง เพื่อใช้เป็นบัฟเฟอร์ในการปรับสภาพความเป็นกรดให้เป็นกลาง จากการเปรียบเทียบค่าตัวแปรตามต่าง ๆ ทางเคมีที่ระดับความสูงต่าง ๆ พอที่จะแสดงให้เห็นว่า ค่า TOTAL ALKALINITY, HCO_3^{-1} , pH, ORP จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความสูงของเครื่องกรองที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่า VFA. จะมีค่าสูงที่สุดทางตอนล่างของเครื่องกรอง คือ ที่ระดับ 0.15-0.30 เมตร และค่า VFA. นี้จะลดลงตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น จากผลที่ได้นี้พอที่จะสันนิษฐานได้ว่า ปฏิกริยาการทำงานของแบคทีเรียจะเกิดน้อยลงทางตอนบน ส่วนน้ำทิ้งที่วัดจากจุดออกของเครื่องกรอง (Effluent) จะมีค่า VFA. สูงกว่าจุดเก็บตัวอย่างน้ำตอนบนที่ระดับ 1.05 เมตร เล็กน้อย

สิ่งนี้แสดงให้เห็นว่า จะต้องมี การสะสมเซลล์ใต้อากาศในลักษณะเป็น SCUM จึงมีการย่อยสลายสารอินทรีย์อีกตอนหนึ่งผลทำให้ค่า VFA. มีค่าสูงขึ้น รูปที่ 4.22-4.26 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ที่ระดับความสูงต่างๆ ของเครื่องกรอง ค่าตะกอนแขวนลอยในเครื่องกรองตัวที่ 1 นี้จะมีความเข้มข้นสูงที่ระดับ 0.15 เมตร และค่าตะกอนแขวนลอย (SS.) จะมีค่าลดลงตามความสูงที่เพิ่มขึ้น สิ่งนี้ชี้ให้เห็นว่าการสะสมเซลล์ส่วนใหญ่เกิดขึ้นทางตอนล่าง ส่วนตอนกลางและตอนบนของเครื่องกรองจะพบว่า เซลล์ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นเมือก เกาะติดอยู่ตามชิ้นตัวกลาง และมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับตอนล่างของถัง ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า COD จะเพิ่มขึ้นตามชั้นความสูง ซึ่งสังเกตได้จากตารางที่ 4.8

4.5.2 เครื่องกรองตัวที่ 2 (บรรจุตัวกลางครึ่งถังในลักษณะลอย) จะมีลักษณะการไหลของน้ำเป็นแบบกึ่ง Plug Flow กล่าวคือ ช่วงระยะครึ่งถังตอนล่างลักษณะการไหลของน้ำจะมีโอกาสสัมผัสตัวเองมาก และการที่น้ำไหลจากล่างสู่บนจึงทำให้บริเวณนี้มีแนวโน้มเป็นแบบ Completely Mix ปฏิกริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ส่วนใหญ่เกิดทางตอนล่าง เช่นเดียวกับเครื่องกรองตัวที่ 1 จากผลวิเคราะห์ค่าตัวแปรตามทางเคมี พบว่ามีลักษณะเป็นไปทำนองเดียวกับเครื่องกรองตัวที่ 1 ค่าตะกอนแขวนลอย (SS) พบมากทางตอนล่างและจะมีค่าลดลงตามความสูงที่เพิ่มขึ้น จากการสังเกตที่ระดับความสูง 0.45 เมตร จะพบว่าปริมาณตะกอนแขวนลอยจากการทดลองชุดที่ 2 จะมีค่าเพิ่มขึ้นแต่เมื่อทำการทดลองชุดที่ 3 ปรากฏว่าตะกอนแขวนลอยนี้กลับลดลง สาเหตุที่เกิดเช่นนี้เข้าใจว่า ที่ระดับ 0.45 เมตรนี้จะเป็นจุดต่อของชิ้นตัวกลาง ดังนั้นปริมาณเซลล์ซึ่งลอยขึ้นมา กับน้ำเสียจะมาสะสมในบริเวณนี้ เมื่อระยะเวลาเข้าการรวมตัวของเซลล์เกิดมากขึ้นจนทำให้มันมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจนในที่สุดเซลล์ตะกอนนี้บางส่วนจึงตกตะกอนลงสู่เบื้องล่าง ทำให้ปริมาณตะกอนแขวนลอยในบริเวณนี้มีปริมาณลดลง ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดค่า COD เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.6 จะพบว่าที่ระดับออร์แกนิกโหลดตั้ง 1 กก./ม³-วัน ประสิทธิภาพการกำจัดค่า COD ส่วนใหญ่จะคงที่ คือ ประมาณ 88% ตลอดถึงส่วนที่ระดับออร์แกนิกโหลดตั้ง 3 และ 5 กก./ม³-วัน ประสิทธิภาพการกำจัดค่า COD นี้จะเพิ่มขึ้นตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น

จะเห็นได้ว่า ถึงแม้ระบบโครงสร้างภายในของเครื่องกรองทั้งสองจะต่างกัน แต่ผลที่ได้จากการทดลองของค่าตัวแปรตามต่าง ๆ ที่แต่ละระดับความสูงของเครื่องกรองจะมีลักษณะคล้ายกัน สิ่งนี้พอจะคาดคะเนได้ว่าบทบาทหน้าที่ของชิ้นตัวกลางส่วนใหญ่เป็นเพียงการกักเซลล์ในระบบและใช้เป็นที่ยึดเกาะของเซลล์ และถ้าเครื่องกรองมีความสามารถในการกักเซลล์ได้

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าตัวแปรเฉลี่ยที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรองทั้งสองของการทดลองชุดที่ 1,2,3

VARIABLE	TYPE OF FILTER	LOADING (KG/CUM-DAY)	0.15M		0.30M		0.45M		0.75M		1.05M		1.20M	
			AVG	SD	AVG	SD	AVG	SD	AVG	SD	AVG	SD	AVG	SD
pH	AF#1	1	6.72	±.04	6.85	±.05	6.85	±.05	6.85	±.05	6.92	±.04	6.95	±.04
	AF#2	1	6.71	±.05	6.80	±.04	6.75	±.03	6.82	±.07	6.82	±.07	6.96	±.08
	AF#1	3	6.64	±.04	6.72	±.04	6.86	±.04	6.93	±.06	7.03	±.05	6.95	±.06
	AF#2	3	6.69	±.02	6.75	±.04	6.75	±.04	6.78	±.05	6.88	±.02	6.93	±.06
	AF#1	5	6.97	±.09	6.98	±.11	7.01	±.08	7.01	±.06	7.06	±.06	7.06	±.07
	AF#2	5	7.03	±.05	7.08	±.09	7.12	±.09	7.19	±.05	7.21	±.06	7.20	±.05
VFA ALK (ug/l as CaCO3)	AF#1	1	282	± 4	204	± 50	165	± 4	154	± 12	143	± 3	144	± 17
	AF#2	1	156	± 6	131	± 14	120	± 7	119	± 8	108	± 8	114	± 6
	AF#1	3	1428	± 24	1415	± 48	1297	± 27	1254	± 23	1053	± 43	1091	± 51
	AF#2	3	1368	± 15	1332	± 12	1209	± 48	1108	± 44	1046	± 61	955	± 41
	AF#1	5	2119	± 60	2398	± 64	2227	± 73	2133	± 73	2105	± 18	2018	± 35
	AF#2	5	1429	± 19	1384	± 38	1294	± 25	1246	± 66	1186	± 66	1186	± 46
TOTAL ALKALINITY (ug/l as CaCO3)	AF#1	1	1487	± 24	1538	± 34	1552	± 10	1502	± 5	1514	± 51	1509	± 42
	AF#2	1	1487	± 33	1544	± 27	1557	± 19	1563	± 13	1567	± 10	1576	± 35
	AF#1	3	2698	± 60	2717	± 57	2848	± 56	2936	± 45	3046	± 68	2918	± 59
	AF#2	3	2790	± 14	2789	± 79	2742	± 80	2794	± 42	2884	± 51	2838	± 61
	AF#1	5	3366	± 31	3672	± 154	4005	± 138	4230	± 152	4157	± 152	3974	± 112
	AF#2	5	3166	± 60	3238	± 10	3565	± 93	3757	± 50	3891	± 142	3917	± 134

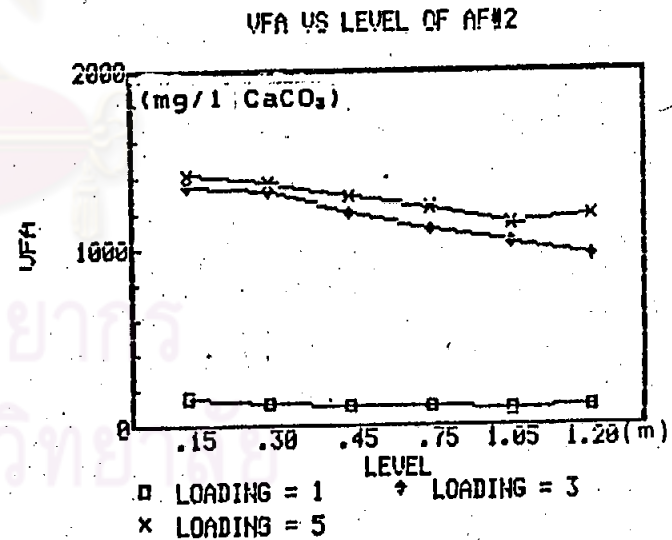
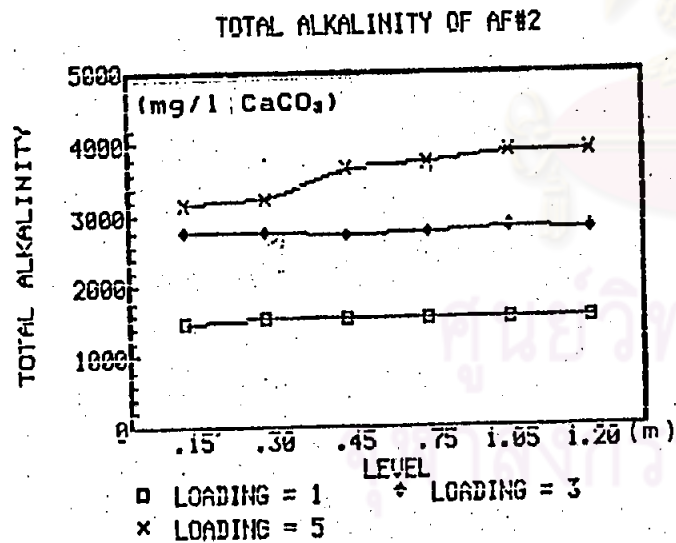
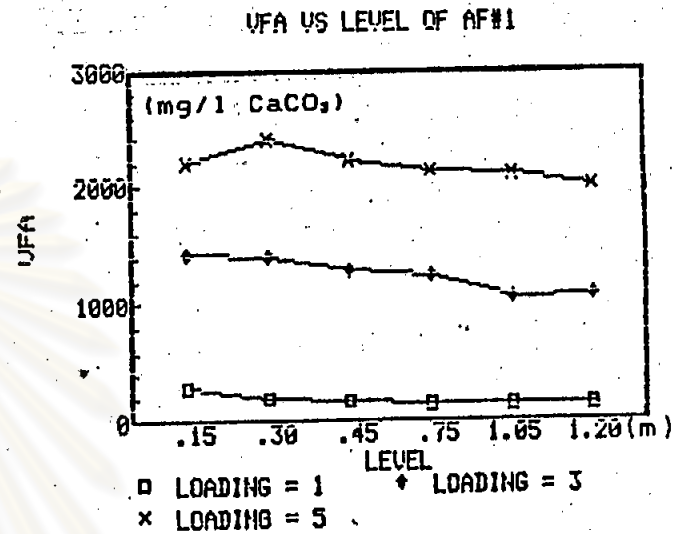
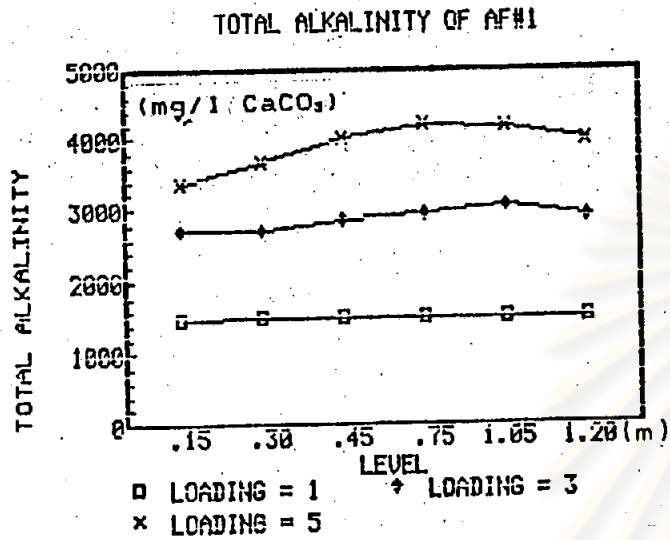
ตารางที่ 4.8 (ต่อ) แสดงค่าตัวแปรเฉลี่ยที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรองทั้งสองของการทดลองชุดที่ 1, 2, 3

VARIABLE	TYPE OF FILTER	LOADING (KG/CUM-DAY)	0.15M		0.30M		0.45M		0.75M		1.05M		1.20M	
			AVG	SD	AVG	SD	AVG	SD	AVG	SD	AVG	SD	AVG	SD
HCO ₃ (mg/l as CaCO ₃)	AF#1	1	1206	± 24	1346	± 28	1368	± 4	1332	± 68	1371	± 49	1364	± 46
	AF#2	1	1313	± 23	1413	± 33	1425	± 34	1443	± 18	1459	± 14	1462	± 36
	AF#1	3	1270	± 77	1287	± 70	1566	± 80	1670	± 53	1952	± 119	1828	± 72
	AF#2	3	1422	± 11	1455	± 72	1534	± 35	1647	± 79	1837	± 65	1882	± 61
	AF#1	5	1246	± 87	1277	± 138	1777	± 174	1975	± 157	2061	± 161	1956	± 93
	AF#2	5	1744	± 58	1877	± 49	2364	± 111	2521	± 67	2665	± 118	2724	± 151
HCO ₃ AT pH 5.75 (mg/l as CaCO ₃)	AF#1	1	983	± 43	1049	± 52	1009	± 28	951	± 26	1012	± 95	967	± 37
	AF#2	1	1089	± 52	1092	± 37	1108	± 60	1107	± 53	1134	± 26	1164	± 55
	AF#1	3	1149	± 19	1178	± 54	1268	± 19	1362	± 29	1439	± 16	1390	± 40
	AF#2	3	1313	± 4	1333	± 24	1333	± 15	1431	± 15	1500	± 18	1532	± 132
	AF#1	5	1813	± 110	1833	± 87	1953	± 106	1894	± 111	1849	± 56	1883	± 87
	AF#2	5	1842	± 93	1944	± 174	2389	± 48	2475	± 32	2508	± 81	2591	± 123
VFA/HCO ₃	AF#1	1	0.23	± .01	0.15	± .04	0.12	± .01	0.11	± .01	0.10	± .01	0.11	± .01
	AF#2	1	0.12	± .01	0.09	± .01	0.08	± .01	0.08	± .01	0.07	± .01	0.08	± .01
	AF#1	3	1.12	± .08	1.08	± .07	0.81	± .05	0.73	± .03	0.53	± .03	0.57	± .03
	AF#2	3	0.95	± .01	0.92	± .04	0.79	± .06	0.66	± .05	0.59	± .07	0.49	± .03
	AF#1	5	1.70	± .15	1.89	± .20	1.25	± .14	1.08	± .11	1.02	± .08	1.02	± .04
	AF#2	5	0.82	± .30	0.73	± .02	0.55	± .03	0.49	± .03	0.44	± .02	0.44	± .03

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

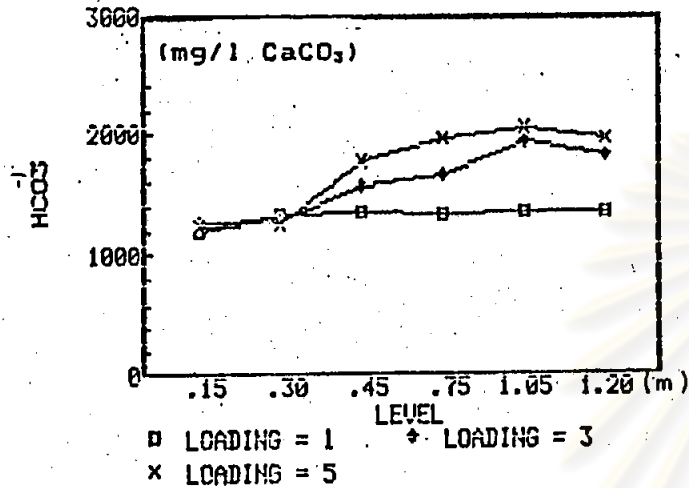
ตารางที่ 4.8 (ต่อ) แสดงค่าตัวแปรเฉลี่ยที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรองทั้งสองของการทดลองชุดที่ 1,2,3

VARIABLE	TYPE OF FILTER	LOADING (KG/CUM-DAY)	0.15M		0.30M		0.45M		0.75M		1.05M		1.20M	
			AVG	SD	AVG	SD	AVG	SD	AVG	SD	AVG	SD	AVG	SD
COD (mg/l)	AF#1	1	277	± 30	262	± 23	262	± 3	218	± 16	210	± 1	198	± 20
	AF#2	1	266	± 10	248	± 31	257	± 15	243	± 23	261	± 6	143	± 32
	AF#1	3	2171	± 56	2146	± 151	1999	± 199	1682	± 198	1549	± 160	1424	± 208
	AF#2	3	1894	± 52	1641	± 125	1554	± 23	1360	± 144	1238	± 59	1114	± 113
	AF#1	5	3543	± 185	3655	± 284	3419	± 284	3461	± 643	3330	± 461	3255	± 181
	AF#2	5	2762	± 156	2584	± 261	2146	± 261	2073	± 244	1948	± 194	2134	± 224
SS. (mg/l)	AF#1	1	3816	± 488	1785	± 27	668	± 19	428	± 12	183	± 8	112	± 10
	AF#2	1	5126	± 233	1565	± 54	642	± 38	447	± 20	216	± 7	149	± 12
	AF#1	3	17250	± 374	10244	± 602	2942	± 138	1858	± 125	880	± 42	753	± 59
	AF#2	3	33600	± 709	24560	± 161	6537	± 43	870	± 93	640	± 50	540	± 85
	AF#1	5	23480	± 2784	12046	± 609	4688	± 425	2480	± 232	1098	± 140	916	± 99
	AF#2	5	47265	± 2601	33099	± 128	4148	± 744	1043	± 173	640	± 105	444	± 135
ORP. (mV)	AF#1	1	-342	± 4	-329	± 10	-324	± 5	-308	± 4	-298	± 4	-288	± 10
	AF#2	1	-338	± 4	-329	± 13	-318	± 4	-304	± 9	-288	± 9	-284	± 16
	AF#1	3	-363	± 4	-340	± 8	-304	± 5	-289	± 2	-269	± 2	-254	± 6
	AF#2	3	-373	± 8	-351	± 10	-313	± 10	-310	± 10	-256	± 9	-250	± 15
	AF#1	5	-372	± 8	-376	± 9	-366	± 9	-360	± 12	-356	± 5	-352	± 9
	AF#2	5	-346	± 9	-353	± 12	-348	± 9	-340	± 10	-326	± 9	-307	± 15

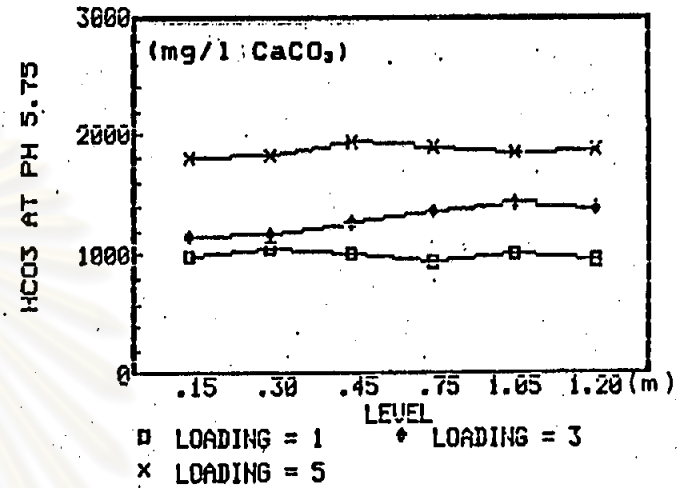


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่า สภาวะความเป็นต่างทั้งหมด, VFA ที่ระดับความสูงต่าง ของเครื่องกรองทั้งสอง ในการทดลองชุดที่ 1,2,3

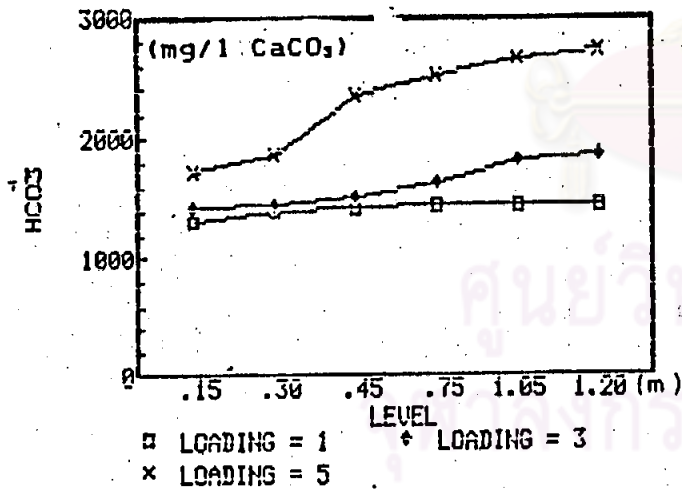
HCO₃⁻¹ VS LEVEL OF AF#1



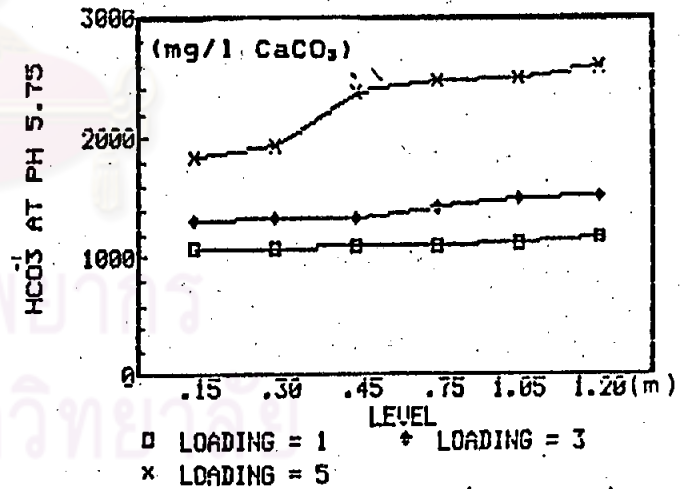
HCO₃⁻¹ * VS LEVEL OF AF#1



HCO₃⁻¹ VS LEVEL OF AF#2



HCO₃⁻¹ * VS LEVEL OF AF#2

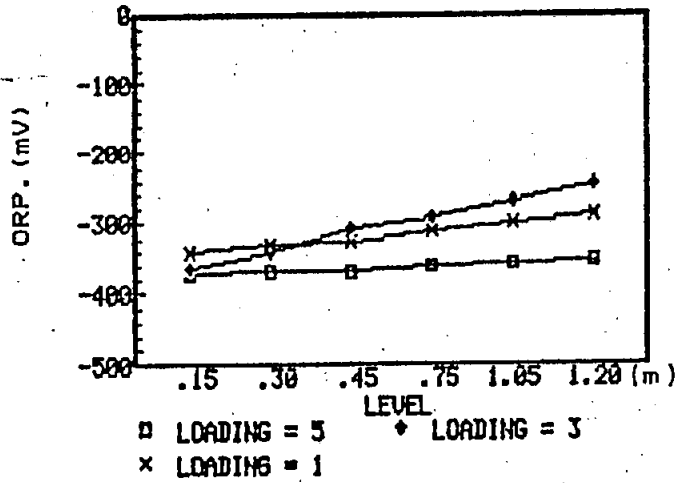


(* Ref 39)

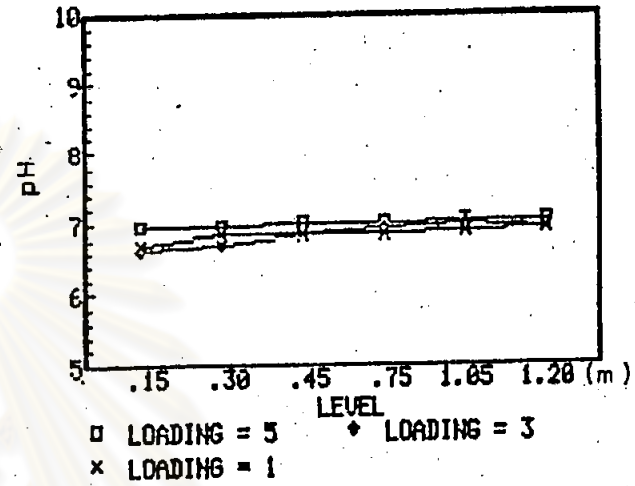
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความเป็นต่างไบคาร์บอเนต ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของเครื่องกรองทั้งสอง

ในการทดลองชุดที่ 1, 2, 3

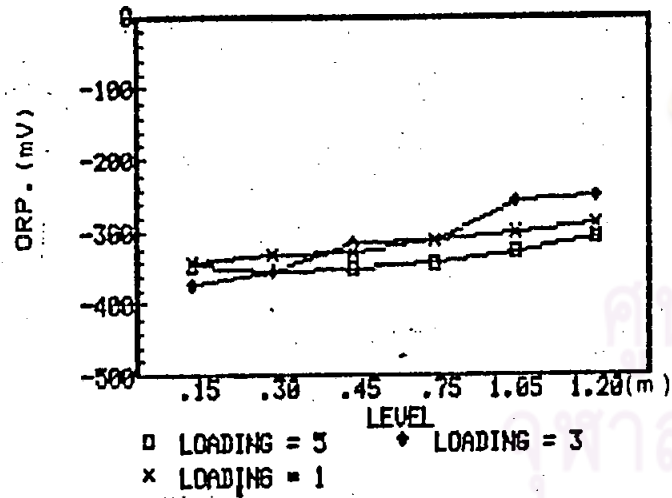
ORP 100% VS LEVEL AF1



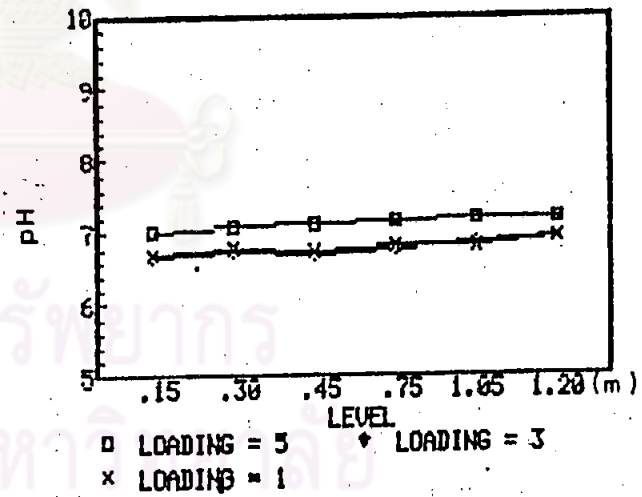
PH 100% VS LEVEL AF1



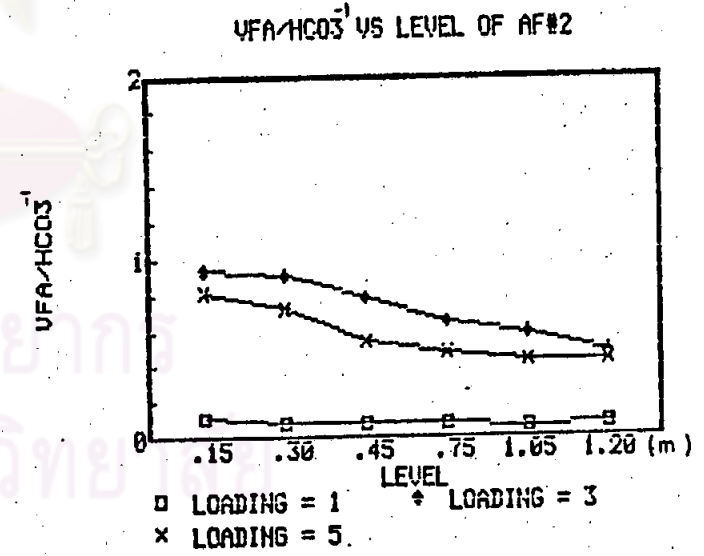
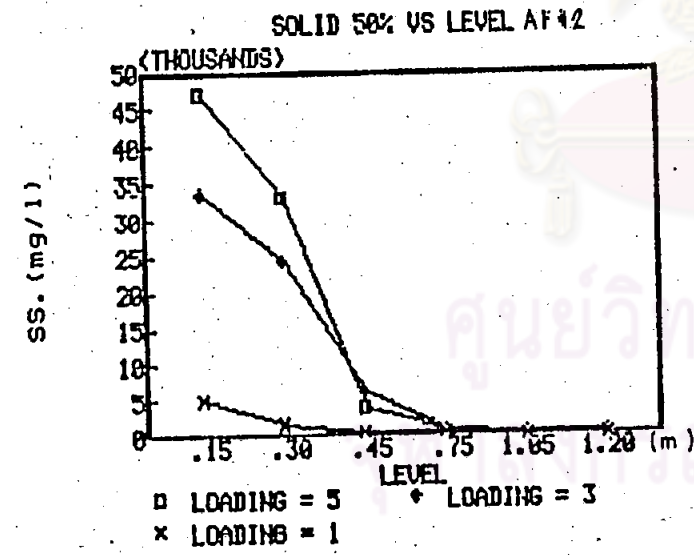
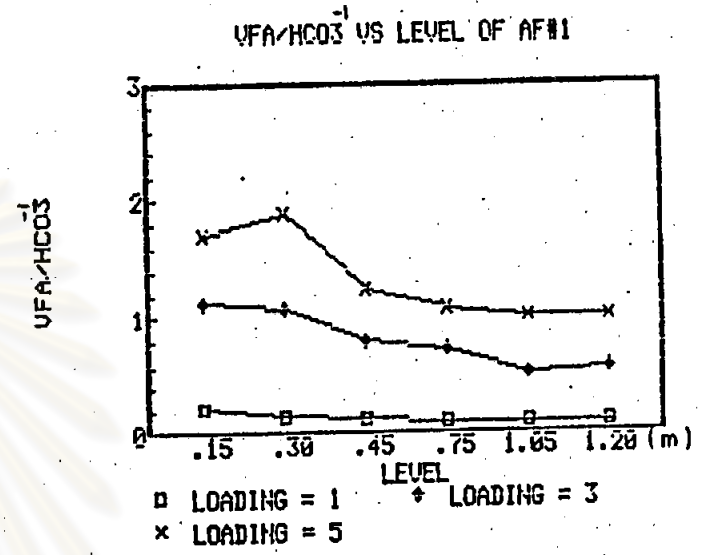
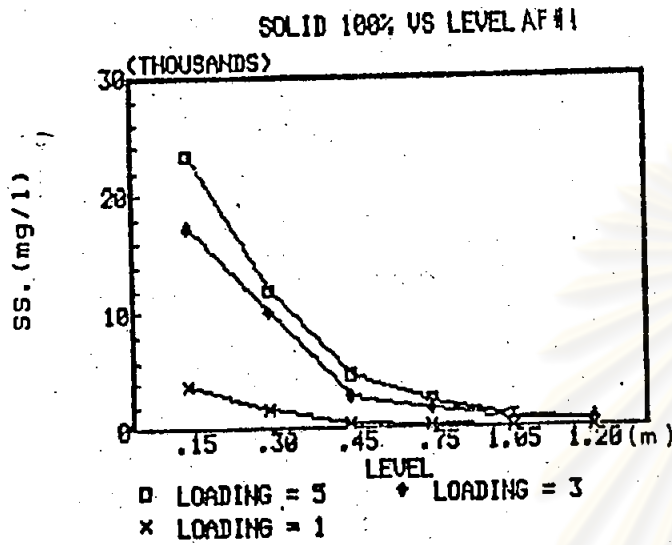
ORP 50% VS LEVEL AF2



PH 50% VS LEVEL AF2



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่า ORP., pH ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของเครื่องกรองทั้งสองในการทดลองชุดที่ 1,2,3

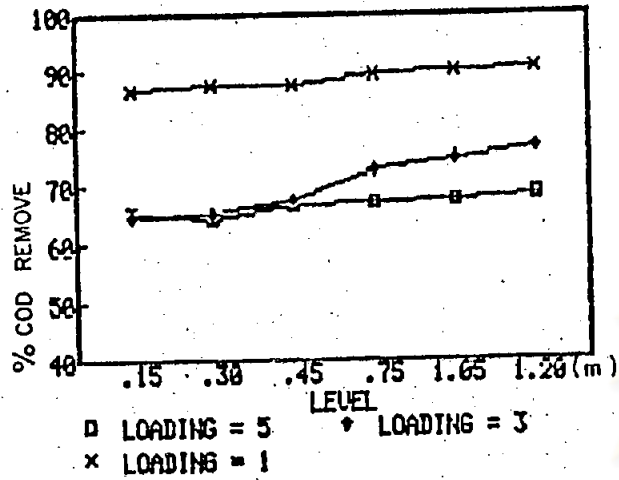


รูปที่ 4.25 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่า SS, VFA/HCO₃⁻¹

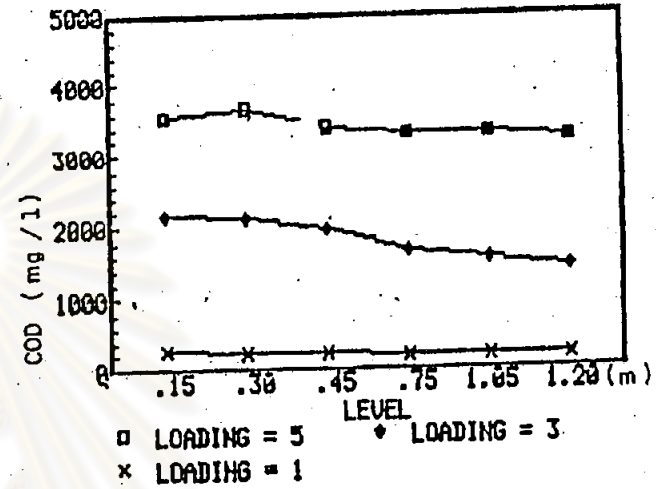
อยู่ที่ 1, 2, 3

ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของเครื่องกรองทั้งสอง ในการทดลอง

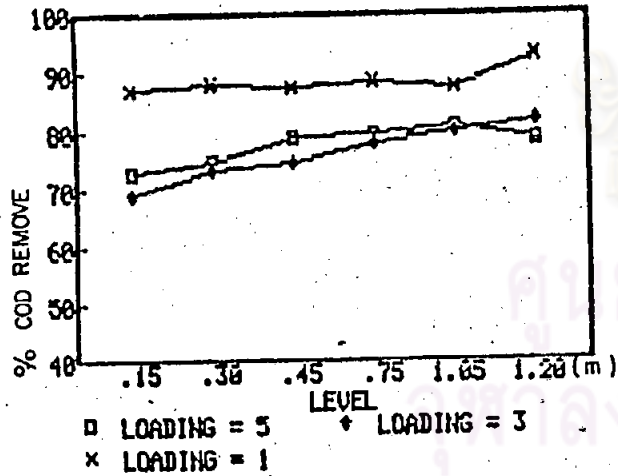
%COD REMOVE VS LEVEL AF#1



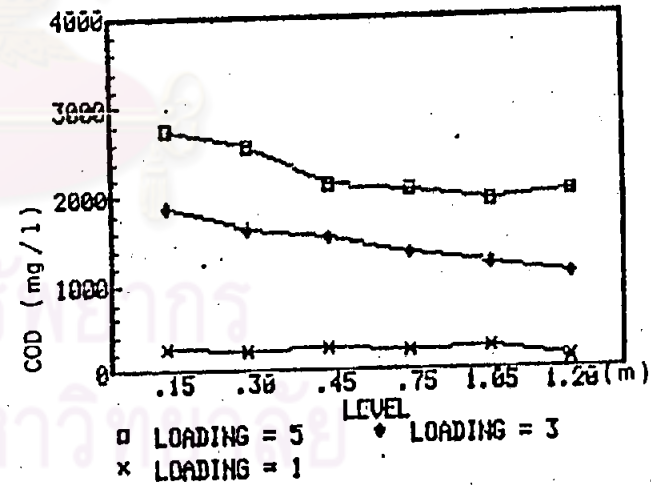
COD 100% VS LEVEL AF#1



%COD REMOVE VS LEVEL 50% AF#2



COD 50% VS LEVEL AF#2



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่า %COD.REMOVAL, COD ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของเครื่องกรองทั้งสี่ช่อง ในการทดลอง ชุดที่ 1,2,3

ด้วยตัวเองโดยปราศจากชั้นตัวกลางแล้วล้มรรถนะในการทำงานของ เครื่องกรองก็จะสูงขึ้น แนว-
โน้มของระบบก็จะเข้าสู่ระบบ UASB ซึ่ง เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดน้ำเสียในระบบ
ไร้ออกซิเจน

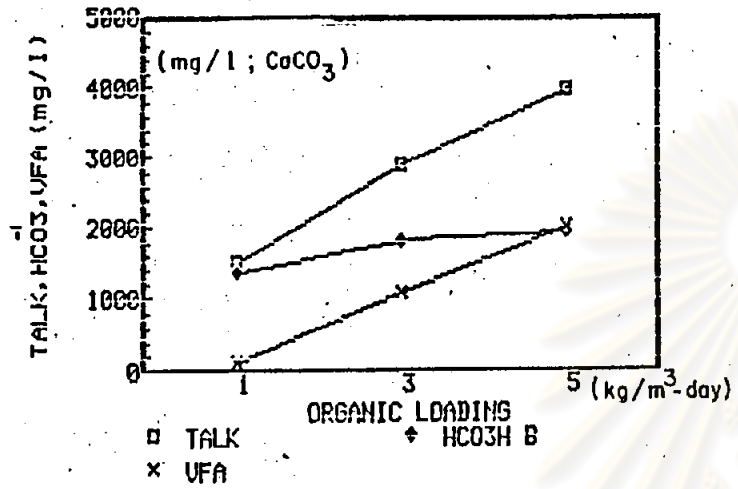
4.6 การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงออร์แกนิกโหลดคิง

ในการวิจัยนี้ได้กำหนดการเปลี่ยนแปลงค่าออร์แกนิกโหลดคิง 3 ระดับ คือ 1, 3 และ
5 กก./ม³-วัน การเปลี่ยนแปลงนี้จะทำโดยการเพิ่มความเข้มข้นของซีโอดีจาก 2,000 มก/ลิ.
เป็น 6,000 และ 10,000 มก/ลิ ทั้งนี้โดยกำหนดอัตราการป้อนน้ำเสียคงที่ตลอดการทดลอง
คือ 40 ลิตร/วัน ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการเปลี่ยนแปลงระดับออร์แกนิกโหลดคิง
ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.27-4.29

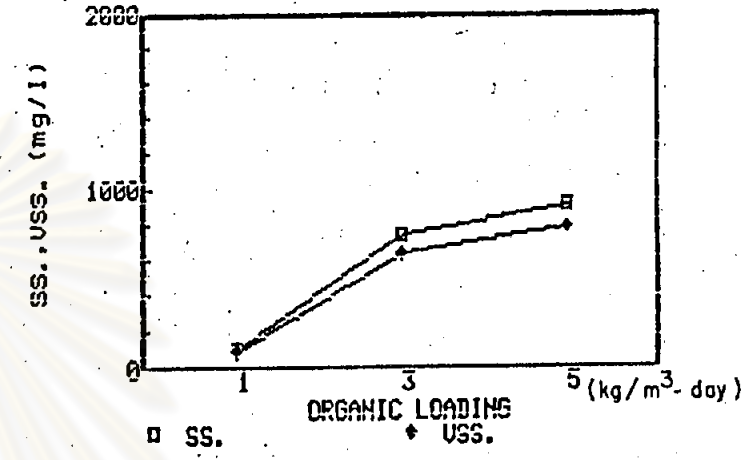
จากรูปที่ 4.27-4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์กับ
ค่าระดับออร์แกนิกโหลดคิงที่ระดับต่าง ๆ จากเครื่องกรองทั้งสอง จากรูปเหล่านี้ยังแสดงให้เห็น
เห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มระดับออร์แกนิกโหลดคิง จะทำให้ค่าตัวแปรส่วนใหญ่มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย
ตัวแปรเหล่านี้ ได้แก่ Total Alkalinity, HCO_3^- , VFA, SS, VSS, COD, GAS ส่วน
ค่า pH จะมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจากการควบคุมค่า pH ในระหว่างการทดลอง
แต่ค่า ORP จะมีค่าลดลง การที่ค่า VFA มีปริมาณสูงขึ้นนี้อาจสืบเนื่องมาจากปริมาณสาร
อาหารที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มออร์แกนิกโหลดคิง จะทำให้แบคทีเรียที่สร้างกรดมีการเจริญ
เติบโตเร็ว ดังนั้นปฏิกิริยาการสร้างกรดเวลาไหลจึงเกิดเพิ่มเร็วกว่าการถูกนำไปใช้สร้างมีเทน
โดยมีเทนแบคทีเรีย การสะสมตัวของกรดจึงเพิ่มขึ้น แต่สภาพของสภาพความเป็นกรดต่าง
(pH) ยังคงเป็นกลางทั้งนี้เนื่องจากระบบมีกำสัถพ์เฟอร์สูง ส่วนค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมด
มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณไบคาร์บอเนตที่มีอยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์

จากการสังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่า HCO_3^- ต่อการเปลี่ยนระดับออร์แกนิก-
โหลดคิง พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่า HCO_3^- ของเครื่องกรองตัวที่ 1 จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง
ที่ระดับเหนือ 0.30 เมตรขึ้นมาตอนบน ส่วนที่ระดับต่ำกว่า 0.30 เมตรนี้จะไม่ค่อยพบความแตก
ต่างของการเปลี่ยนค่า HCO_3^- (ดูตารางที่ 4.8) ส่วนเครื่องกรองตัวที่ 2 การเปลี่ยนแปลง
 HCO_3^- จะมีลักษณะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มระดับออร์แกนิกโหลดคิงตลอดทุกระดับความสูงของเครื่อง
กรองตัวนี้ จากพฤติกรรมนี้อาจสันนิษฐานได้ว่า ในการเพิ่มระดับออร์แกนิกโหลดคิง ความ-
สัมพันธ์ในการใช้และการสร้าง HCO_3^- ของเครื่องกรองตัวที่ 1 จะคงที่ในบริเวณช่วงล่างของ

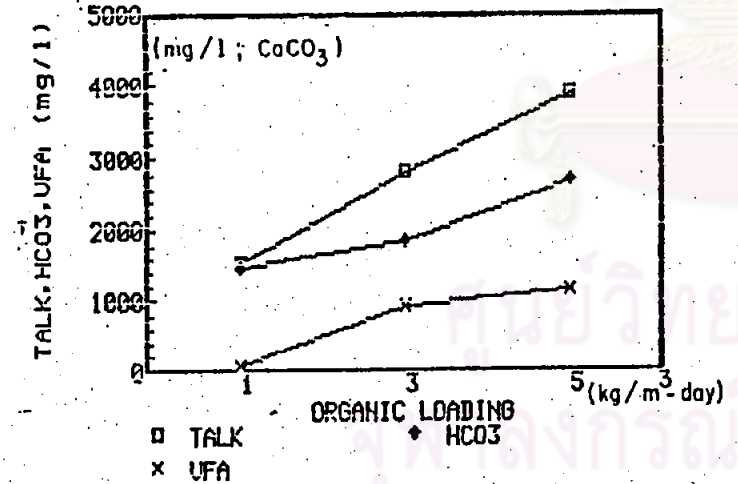
VARIABLE VS LOADING OF AF1



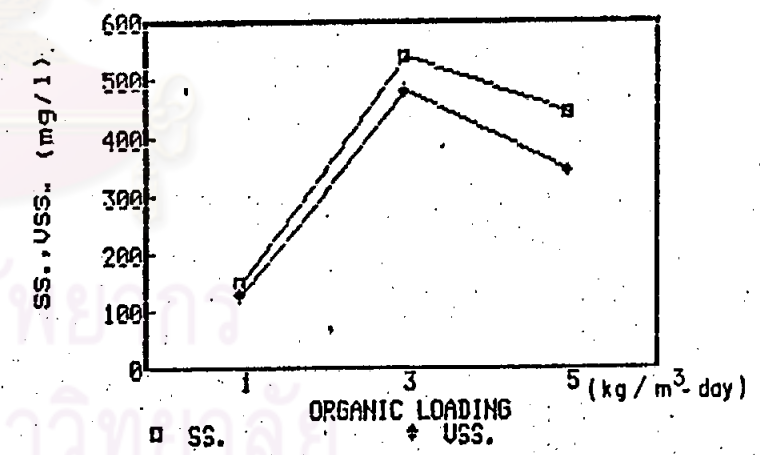
SS.,VSS,VS LOADING OF AF#1



VARIABLE VS LOADING OF AF2

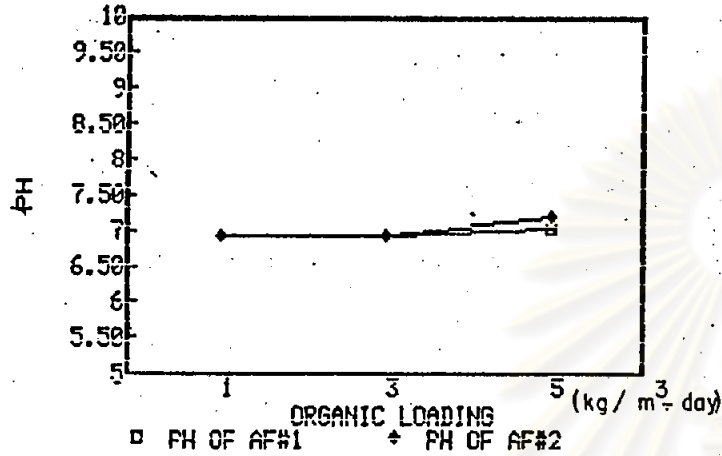


SS.,VSS,VS LOADING OF AF#2

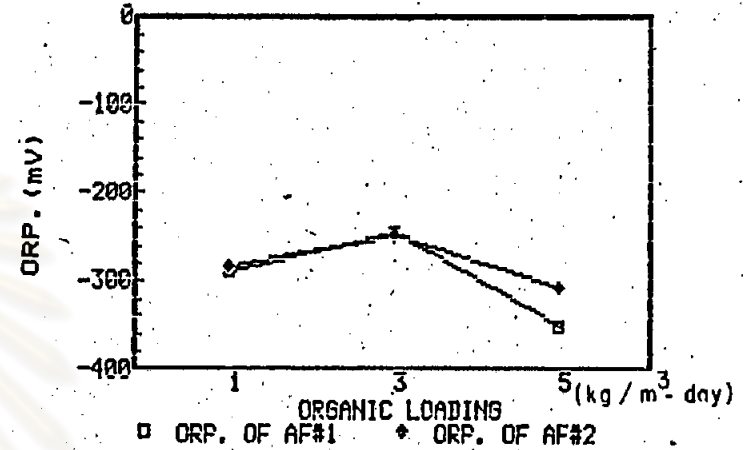


รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรต่าง ๆ กับออร์แกนิกโหลดต้ง ของเครื่องกรองทั้งสอง

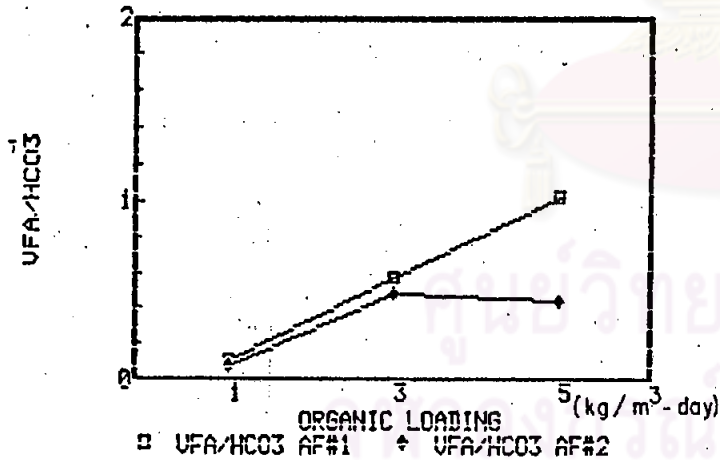
PH VS LOADING



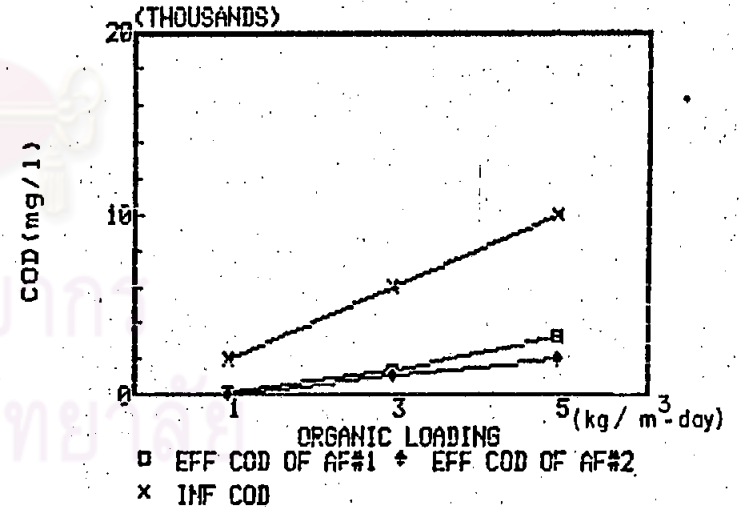
ORP. VS LOADING



UFA/HCO3 VS LOADING

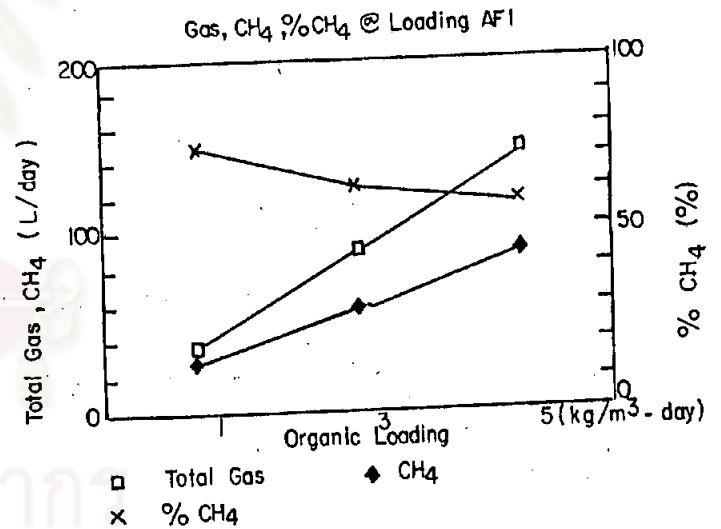
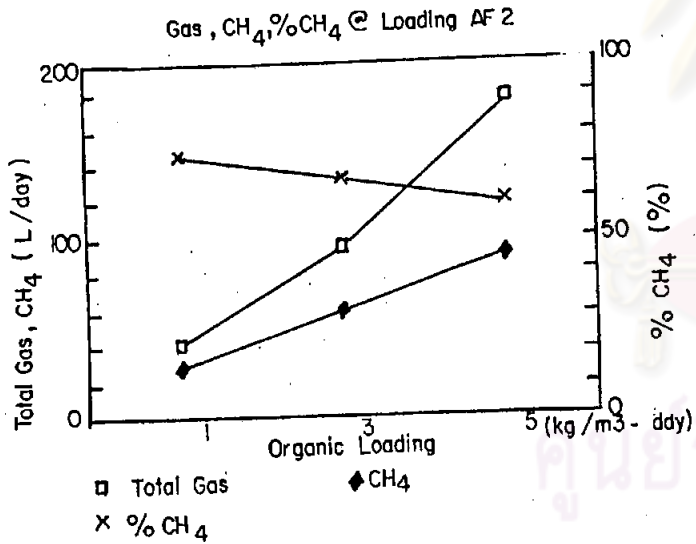
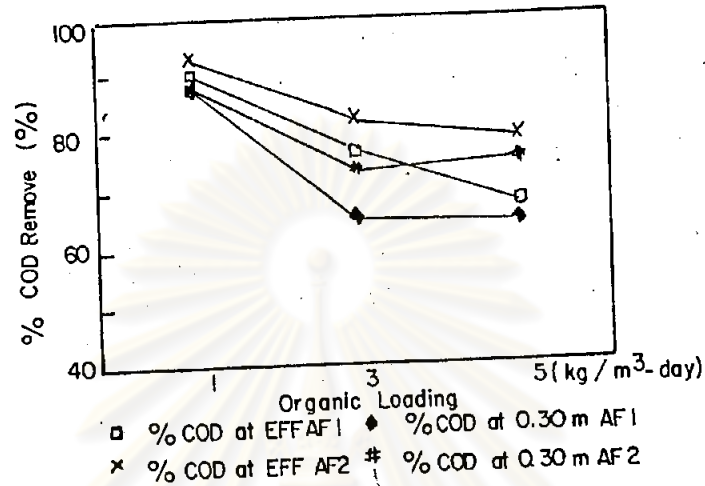


COD AT DIFFERENT LOADING



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรต่าง ๆ กับออร์แกนิคโหลดดิ่ง ของเครื่องกรองทั้งสอง (ต่อ)

%COD Removal VS Loading



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าตัวแปรต่าง ๆ กับออร์แกนิกโหลดตั้ง ของเครื่องกรองทั้งสอง (ต่อ)

ถึงกรองตัวนี้ (.15-.30 เมตร) ส่วนช่วงที่สูงขึ้นจากบริเวณนี้ปฏิกิริยาการไอซ์ HCO_3^{-1} จะถูก
 ใช้น้อยลงจึงทำให้เกิดการสะสมตัวของ HCO_3^{-1} ขึ้น ส่วนเครื่องกรองตัวที่ 2 นั้น เนื่องจากไม่
 มีชั้นตัวกลางในบริเวณตอนล่างครึ่งถึง ดังนั้นปริมาณ HCO_3^{-1} ในบริเวณตอนล่างนี้จึงมีค่าแปรตาม
 การเพิ่มระดับออร์แกนิกโพลติดังโดยตรง ส่วนที่ระดับเหนือขึ้นไปพฤติกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นก็คง
 เหมือนเครื่องกรองทั่วไป ส่วนค่าอัตราส่วนของ $\text{VFA}/\text{HCO}_3^{-1}$ จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มระดับ
 ออร์แกนิกโพลติดัง ยกเว้นเครื่องกรองตัวที่ 2 จะมีค่าลดลงเล็กน้อย ในช่วงการเพิ่มระดับ
 ออร์แกนิกโพลติดังจาก 3 เป็น 5 กก./ม³-วัน ซึ่งสาเหตุนี้อาจสืบเนื่องมาจากอิทธิพลของ
 อุณหภูมิและปริมาณพีเฟออร์ซึ่งมีค่าสูงจนทำให้อัตราส่วนนี้มีค่าลดลง

ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะลดลงเมื่อมีการเพิ่มระดับออร์แกนิกโพลติดัง ทั้งนี้
 อาจเกิดจากความไม่สมดุลระหว่างปฏิกิริยาการสร้างกรดโดยแบคทีเรียชนิดสร้างกรดกับปฏิกิริยา
 การไอซ์กรดอินทรีย์ในการสร้างมีเทน ปริมาตรก๊าซทั้งหมดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มออร์แกนิก-
 โพลติดัง แต่เปอร์เซ็นต์มีเทนจะมีค่าลดลง จากการเปรียบเทียบสภาพการใช้งานของ เครื่องกรอง
 ทั้งสองที่มีผลต่อการตอบสนองในการรับภาระออร์แกนิกโพลติดังที่สูงขึ้น พบว่าเครื่องกรองตัวที่ 2
 มีความสามารถในการปรับสภาวะรับออร์แกนิกโพลติดังที่สูงได้เร็วกว่าเครื่องกรองตัวที่ 1
 ปรากฏการณ์นี้จะพบได้จากผลการทดลองชุดที่ 3 ซึ่งสาเหตุนี้อาจสันนิษฐานได้ว่า แบคทีเรียที่
 อยู่ในเครื่องกรองตัวที่ 2 มีการสะสมตัวทางตอนล่างมากจนเป็นสไลด์ ประกอบกับแบคทีเรีย
 บางส่วนในเครื่องกรองตัวนี้ เคยชินต่อการรับสภาวะออร์แกนิกโพลติดังที่สูงมาก่อน ดังนั้นมันจึง
 มีความสามารถในการปรับตัวมันเองให้เข้ากับสภาพแวดล้อมนี้ ส่วนเครื่องกรองตัวที่ 1 ซึ่งไม่
 เคยชินต่อการรับภาระออร์แกนิกโพลติดังที่สูงมาก่อน มันจึงต้องใช้ระยะเวลาอันกว่าใน
 การปรับสภาพตัวมันเองให้เคยชินต่อสภาพแวดล้อมใหม่ อย่างไรก็ตามการเพิ่มระดับออร์แกนิก-
 โพลติดังโดยทันทีดูเหมือนจะไม่ก่อให้เกิดผลดีต่อเครื่องกรองทั้งสอง ทั้งนี้เพราะในระบบกำจัด
 น้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนจะมีความไวมากเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะภายใน และโอกาสที่จะทำให้อ
 สภาพการทำงาน of เครื่องกรองล้มเหลวมีมากถ้า เครื่องกรองนั้นมีกำลังพีเฟออร์ไม่เพียงพอ

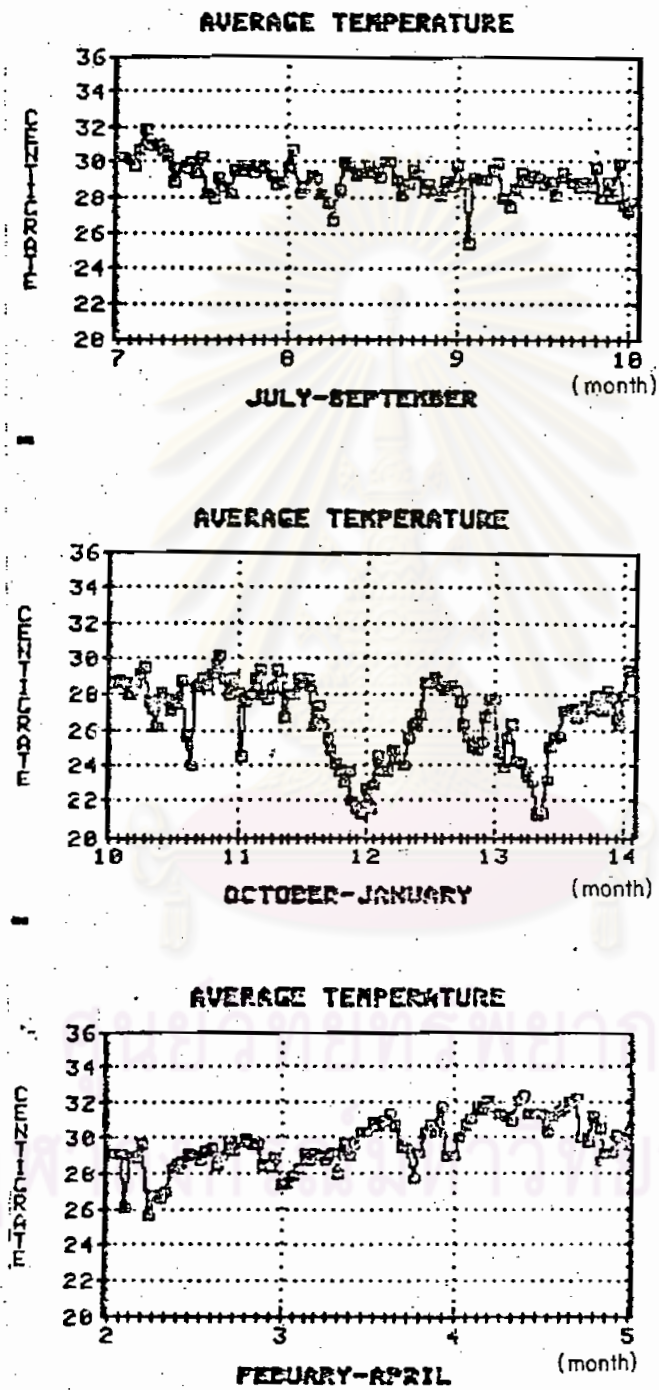
4.7 อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีต่อการทำงานของ เครื่องกรองไร้ออกซิเจน

เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ เครื่องมือในการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอด-
 เวลา ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ เครื่องกรองจึงแปรตามอุณหภูมิของห้องทดลอง รูปที่
 4.30 และตารางที่ 4.9 แสดงค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิห้องทดลอง

ตารางที่ 4.9 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องทดลอง

JUL	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAY	APR
30.25	30.65	25.50	28.70	27.60	21.65	23.95	29.20	27.40	30.05
30.15	28.25	29.15	28.80	27.95	22.85	23.55	29.15	27.55	30.70
29.75	28.60	29.05	28.70	28.95	24.60	26.35	26.05	27.90	31.10
30.75	29.25	29.05	27.55	29.45	23.70	24.30	29.05	29.25	31.70
31.85	29.20	29.55	28.05	28.05	23.65	24.20	28.85	29.15	31.60
31.00	28.20	29.95	28.60	27.80	24.90	23.65	29.60	28.75	32.10
31.10	27.80	28.00	29.20	28.40	24.95	23.35	25.75	29.20	31.75
30.70	26.75	27.55	29.50	29.45	24.45	22.95	26.75	29.00	31.30
30.44	28.50	28.50	27.60	28.85	24.00	21.25	26.60	28.00	31.20
28.85	30.00	29.45	27.25	26.75	25.55	21.35	26.95	29.15	30.90
29.60	29.80	28.85	26.15	28.05	26.20	23.10	28.20	28.00	32.05
29.70	29.25	29.25	28.15	27.95	26.40	25.10	28.55	29.65	32.30
30.00	29.40	29.10	27.80	28.85	26.90	25.60	28.60	29.05	31.30
29.40	29.75	28.80	27.15	28.60	28.60	25.65	29.10	29.70	31.30
30.35	29.40	28.95	27.50	28.90	28.60	27.05	29.00	30.25	31.30
28.30	29.15	28.15	27.65	28.55	29.00	27.10	28.80	30.35	30.35
27.95	30.10	29.40	28.00	26.15	26.90	27.20	29.25	30.85	31.25
29.20	30.10	29.15	25.70	27.40	28.55	26.70	29.45	30.65	31.50
28.65	29.00	28.95	24.60	26.40	28.25	26.85	28.50	30.90	31.70
28.20	28.10	28.70	28.35	25.60	28.55	27.40	29.00	31.35	32.00
29.50	28.75	28.90	28.50	24.90	28.30	27.25	29.75	30.75	32.20
29.50	29.50	28.60	28.90	24.20	27.65	28.05	29.25	29.50	30.05
29.85	29.30	29.65	28.50	23.60	26.40	27.20	25.75	29.35	29.75
29.45	28.50	28.00	29.10	23.65	25.65	27.10	29.90	27.70	31.15
29.85	28.80	28.85	29.75	23.00	25.10	28.30	29.60	29.10	30.50
29.70	28.40	28.05	30.20	23.60	24.90	27.90	29.70	30.30	29.20
29.25	28.15	29.90	28.85	21.95	25.35	26.75	28.50	30.75	29.20
28.80	28.90	27.65	28.00	21.60	26.70	26.40	28.40	30.35	30.15
28.85	28.65	27.20	28.85	21.30	27.75	27.95	28.95	31.70	29.60
29.70	29.85	27.70	28.08	22.60	27.75	29.35	28.00	28.00	30.70
	28.60		24.55		24.75	29.55		29.05	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องทดลองในการทดลองชุดที่ 1, 2, 3

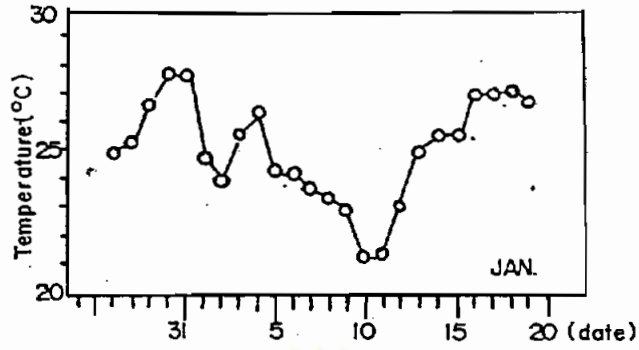
ในการทดลองชุดที่ 1 ได้ทำการทดลองในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงต้นเดือนพฤศจิกายน อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการทดลองนี้ประมาณ 29°C จากผลการวิเคราะห์ค่าตัวแปรตามต่าง ๆ พบที่จะชี้ให้เห็นได้ว่า เครื่องกรองทั้งสองมีสมรรถนะในการตอบสนองต่อการทำงานในการกำจัดค่า COD ได้เป็นที่น่าพอใจ ซึ่งสังเกตได้จากประสิทธิภาพในการกำจัดค่า COD อยู่ในเกณฑ์สูง และ ปริมาตร GAS, $\% \text{CH}_4$ จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดเวลาจนถึงระดับหนึ่งซึ่งการทำงานของเครื่องกรองอยู่ในสภาวะทรงตัว (Steady State) การที่เครื่องกรองสามารถทำงานได้ดีอาจสืบเนื่องมาจากสภาวะอากาศอำนวยประกอบกับภาระในการรับออร์แกนิกโหลดตั้งยังอยู่ในระดับต่ำ

ในการทดลองชุดที่ 2 ได้ทดลองในช่วงต้นเดือนพฤศจิกายนถึงต้นเดือนกุมภาพันธ์ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการทดลองนี้ประมาณ 24°C และจะพบว่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยนี้มี 2 ช่วง คือ วันที่ 23 พฤศจิกายน ถึงวันที่ 5 ธันวาคม และช่วงวันที่ 6-11 มกราคม ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ค่าตัวแปรตามต่าง ๆ พบว่า ค่า VFA มีค่าสูงมาก ปริมาตร GAS, $\% \text{CH}_4$ จะมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด ประสิทธิภาพการกำจัดค่า COD จะลดลงปรากฏการณ์เช่นนี้ชี้ให้เห็นว่าเครื่องกรองไร้ออกซิเจนมีสมรรถนะในการทำงานด้อยลง ไม่สามารถตอบสนองต่อการกำจัดค่า COD ได้ดีเมื่ออุณหภูมิต่ำลง เนื่องจากการทดลองชุดนี้ได้ใช้เวลานานที่สุดเพื่อที่จะให้แบคทีเรียในเครื่องกรองมีความเคยชินต่อสภาวะอากาศ ดังนั้นเมื่อผ่านพ้นสภาวะอุณหภูมิต่ำนี้ไปแล้วการทำงานของเครื่องกรองก็จะฟื้นคืนสู่สภาวะปกติได้เร็ว รูปที่ 4.31-4.32 เป็นการแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่าง ๆ ในช่วงเวลาที่อุณหภูมิลดลง

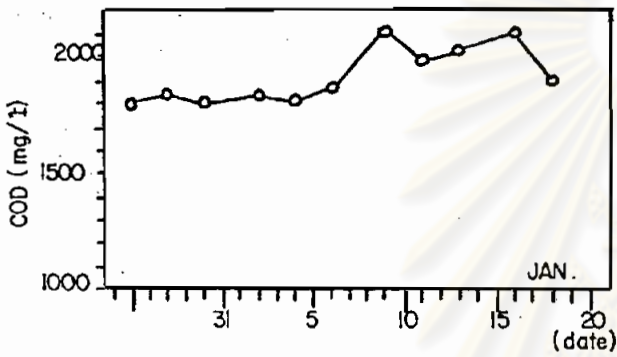
การทดลองชุดที่ 3 ได้ทำการทดลองต่อเนื่องกับการทดลองชุดที่ 2 คือ ประมาณต้นเดือนกุมภาพันธ์ ถึง กลางเดือนเมษายน ช่วงเวลาที่ใช้ทดลองส่วนใหญ่อยู่ในฤดูร้อนอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการทดลองประมาณ 30°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเครื่องกรอง ดังนั้นปัญหาที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดเนื่องมาจากการรับภาระออร์แกนิกโหลดตั้งที่สูงขึ้น ค่าตัวแปรตามต่าง ๆ จะมีค่าสูงขึ้นตามการเพิ่มระดับ ออร์แกนิกโหลดตั้ง ปริมาตร GAS จะเพิ่มขึ้น ส่วน $\% \text{CH}_4$ จะมีค่าลดลง

จากผลการทดลองทั้งสามชุดพอจะสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องกรอง โดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ตัวแปรที่ชี้ให้เห็นถึงสภาพการทำงานของเครื่องกรองที่เห็นได้ชัดที่สุดคือ ปริมาตร GAS ซึ่งจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำ ทำให้ระบบมีสมรรถนะในการทำงานด้อยลง

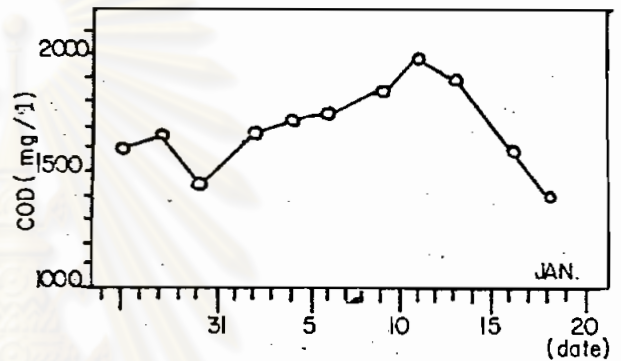
AVERAGE TEMPERATURE



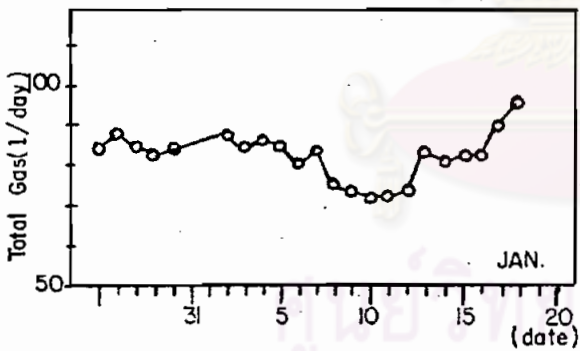
COD 100 %



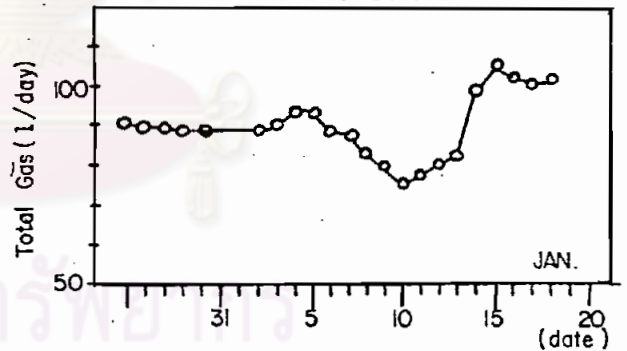
COD 50 %



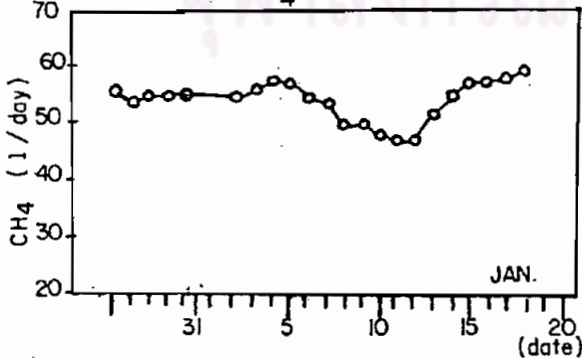
TOTAL GAS 100 %



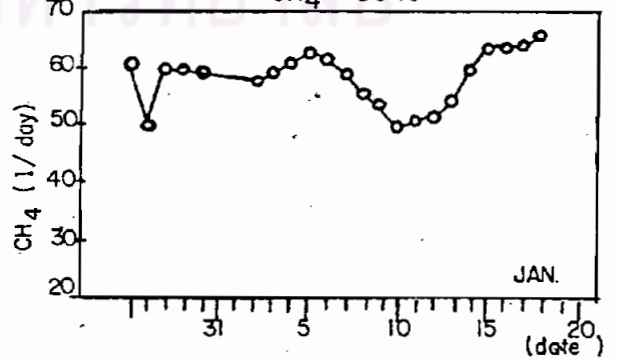
TOTAL GAS 50 %



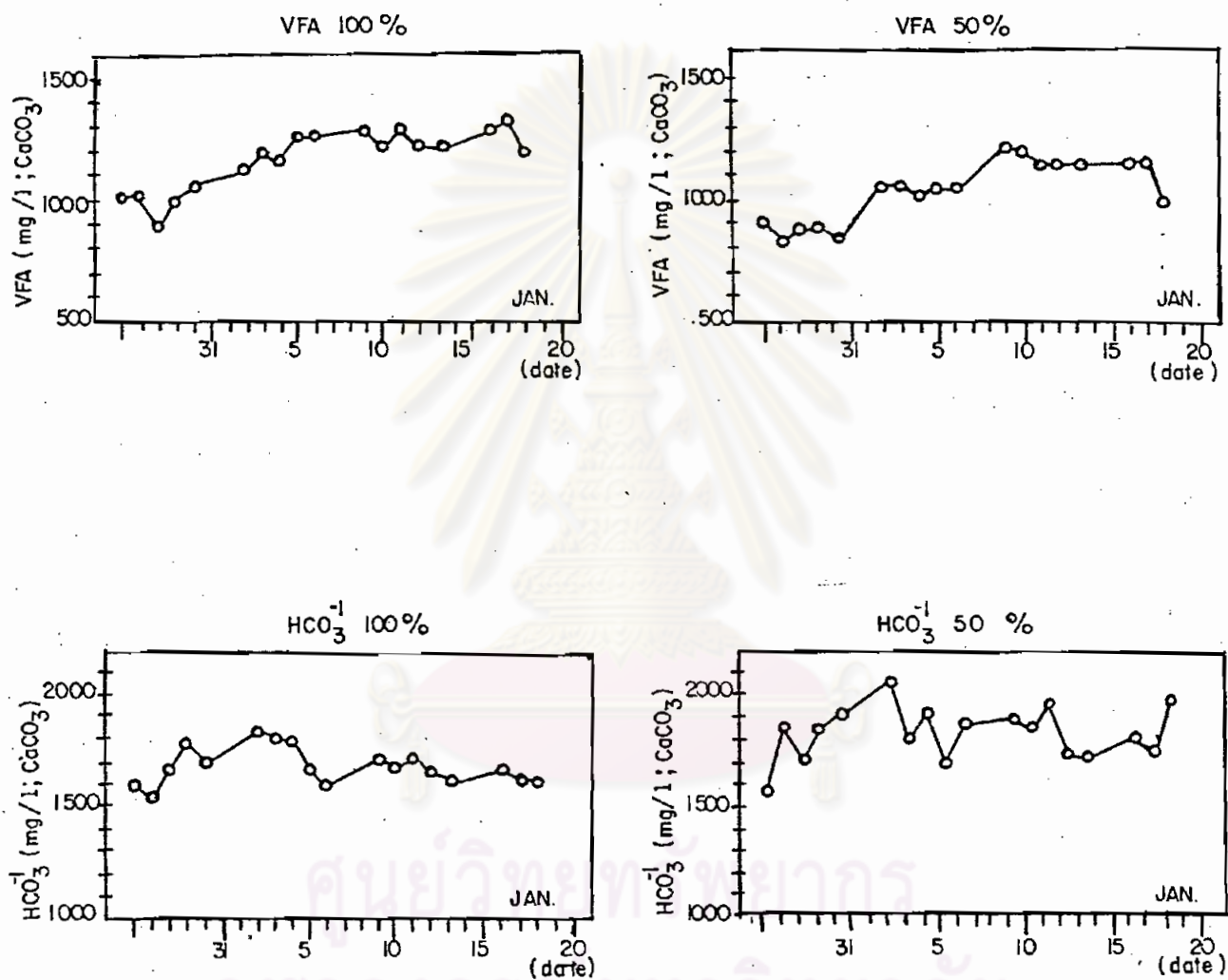
CH₄ 100 %



CH₄ 50 %



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่าง ๆ ในช่วงที่อุณหภูมิคงที่



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่าง ๆ ในยว่งที่ จุลหนูกำลังต่ำลง (ต่อ)