

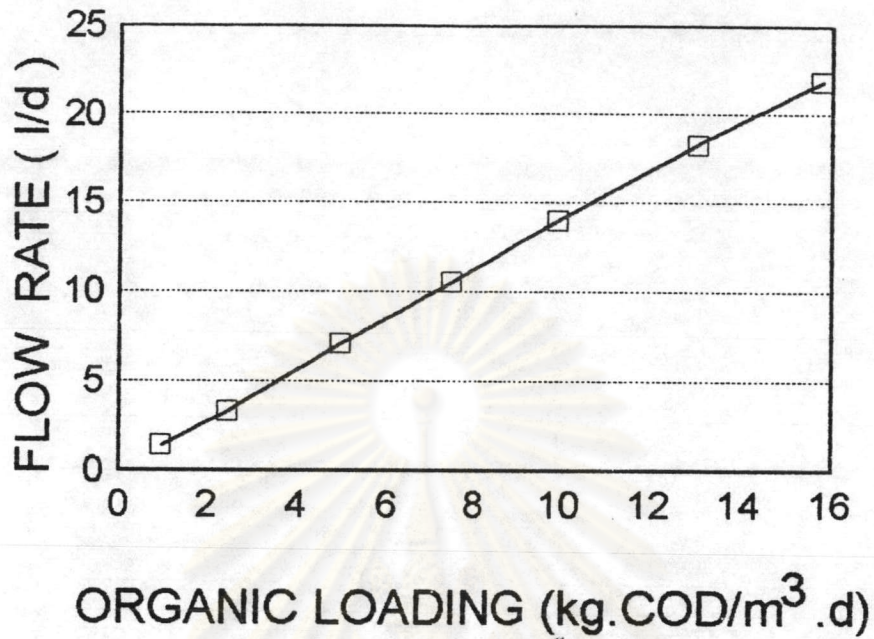
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ระบบยูบีเอฟ

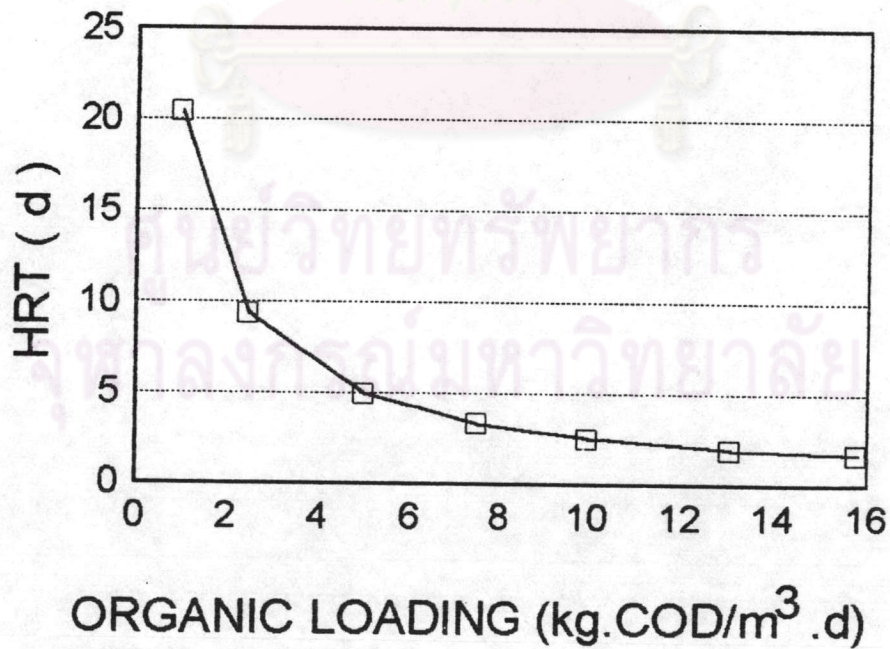
ส่วนแรกเป็นการทดลองที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ เพื่อหาอัตราป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ ส่วนที่สองเป็นการทดลองการทำงานของยูบีเอฟที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสม เพื่อนำน้ำกากส่าที่ผ่านการบำบัดโดยระบบหมักยูบีเอฟแล้วไปใช้ในการทดลองระบบเคมีไฟฟ้า ในการทดลองส่วนแรกได้ทำการเจือจางน้ำกากส่าประมาณ 4-5 เท่า เพื่อให้ได้ซีโอดีคิงที่ประมาณ 25,000 มก./ล. ข้อมูลการทดลองได้แสดงในภาคผนวก ค. รูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงความสัมพันธ์อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆที่ทำการทดลองกับอัตราไหลและเวลาเก็บกักตามลำดับ ผลการทดลองระบบหมักยูบีเอฟดังจะกล่าวต่อไป

4.1.1 ระยะเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่

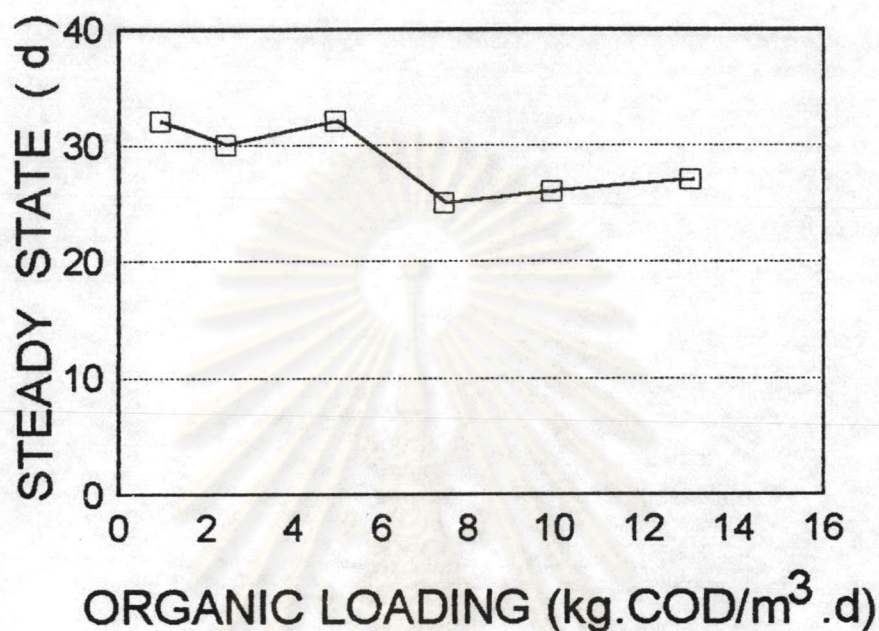
ในแต่ละอัตราป้อนสารอินทรีย์ ระบบหมักยูบีเอฟต้องใช้ระยะเวลาหนึ่งในการปรับตัวเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) สภาวะคงที่ของระบบยูบีเอฟสังเกตได้จากค่าซีโอดีของน้ำล้นออกจากระบบและปริมาณแก๊สที่ผลิตได้คงที่ รูปที่ 4.3 แสดงเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ การเดินระบบที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 0.5 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน ใช้เวลายาวนานถึง 47 วัน แต่ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์เป็น 1.23 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน พบว่าระบบใช้เวลา 31 วันก็เข้าสู่สภาวะคงที่ เมื่อเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์เป็น 2.36 จนถึง 13.17 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน ช่วงนี้มีเวลาที่เข้าสู่สภาวะแหวดล้อมคงที่เร็วขึ้น คือประมาณ 25-27 วัน จะสังเกตเห็นว่าที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่ำช่วงแรกของการทดลอง ระบบต้องการระยะเวลายาวนานเพื่อเข้าสู่สภาวะคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์ต้องการเวลาในการปรับตัวให้คุ้นเคยกับสภาวะแหวดล้อมในถังหมักทดลองนี้ ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยตรรกษณต่างๆของระบบภายใต้สภาวะคงที่ที่



รูปที่ 4.1 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบยูบีเอฟ ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ



รูปที่ 4.2 ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ของระบบยูบีเอฟที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ



รูปที่ 4.3 ระยะเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ของระบบยูบีเอฟ ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ ตารางที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพการทำงานของระบบหมักยูบีเอฟที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

#### 4.1.2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

จากตารางที่ 4.2 และรูป 4.4 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์ในช่วงต่ำกว่า 5.07 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน แต่ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ได้ลดต่ำลงเมื่ออัตราป้อนสารอินทรีย์เพิ่มสูงกว่า 5.07 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน โดยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุดเท่ากับ 70.6 % ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 5.07 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน

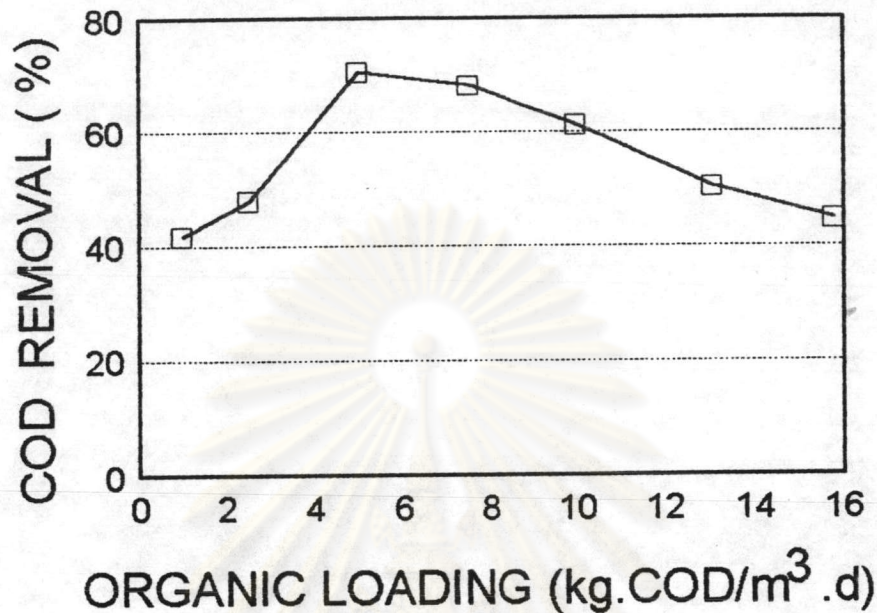
ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยดรรชนีต่างๆของน้ำากากสาเข้า(Inf) และออก(Eff) ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์  
ต่างๆภายใต้สภาวะคงที่

OORGANIC LOADING kgCOD/m <sup>3</sup> d		1.23	2.36	5.07	7.53	10.08	13.17	15.75
HRT	d. (l/l/d)	20.40	9.33	4.96	3.3	2.48	1.89	1.65
Flow rate	l/d	1.7	3.30	7.08	10.5	14	18.3	21.9
inf, pH	mg/l	5.2	5.1	4.9	4.8	4.8	4.6	4.57
eff, pH	mg/l	8.09	8.05	8.35	7.89	8.04	8.0	7.83
inf, SS	mg/l	900	520	1600	1480	1420	990	910
eff, SS	mg/l	1410	1080	880	1140	4150	4150	3870
inf, COD	mg/l	25030	24960	24900	24870	24990	24980	24940
eff, COD	mg/l	14710	12810	7900	9730	9680	12430	13790
inf, VFA	mg/l	247	525	863	870	814	763	805
eff, VFA	mg/l	214	171	201	215	200	403	493
inf, ALK	mg/l	730	960	1330	1200	1370	890	790
eff, ALK	mg/l	5710	5030	5230	4760	4570	3010	2770
CH <sub>4</sub> & OTHER GASES	%	-	65	62	60	62	57	56
CO <sub>2</sub>	%	-	35	38	40	38	43	44
STEADY STATE	TIME, DAYS	32	30	32	25	26	27	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบหมัก  
ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆภายใต้สภาวะคงที่

		ORGANIC LOADING kg.COD/m <sup>3</sup> .d						
		1.23	2.36	5.07	7.53	10.08	13.17	15.75
	COD REMOVAL (%)	41.6	47.88	70.63	68.16	61.20	50.25	44.57
	BIOGAS PRODUCTION RATE l / d	3.938	12.14	45.58	58.93	71.23	91.76	83.73
BIOGAS YIELD	BIOGAS PRODUCTION/d (FLOW RATE) (COD,inf-eff) m <sup>3</sup> / kg.COD removed	0.218	0.307	0.366	0.331	0.333	0.339	0.346
	BIOGAS PRODUCTION/d (FLOW RATE) (COD,inf) m <sup>3</sup> / kg.COD applied	0.09	0.147	0.259	0.227	0.204	0.201	0.153
	BIOGAS PRODUCTION/d REACTOR VOLUME m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> -d	0.110	0.350	1.316	1.698	2.052	2.644	2.412
	CH <sub>4</sub> & OTHER PRODUCTION/d l / d	-	7.959	28.637	35.71	44.33	52.76	47.59
CH <sub>4</sub> &	CH <sub>4</sub> & OTHER PRODUCTION/d (FLOW RATE) (COD, inf-eff) CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> / kg.COD removed	-	0.201	0.231	0.200	0.207	0.229	0.196
OTHERS GASES	CH <sub>4</sub> & OTHER PRODUCTION/d (FLOW RATE) (COD, inf) CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> / kg.COD applied	-	0.096	0.162	0.098	0.061	0.115	0.087
YIELD	CH <sub>4</sub> & OTHER PRODUCTION/d REACTOR VOLUME CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> -d	-	0.229	0.8268	1.029	1.277	1.520	1.371

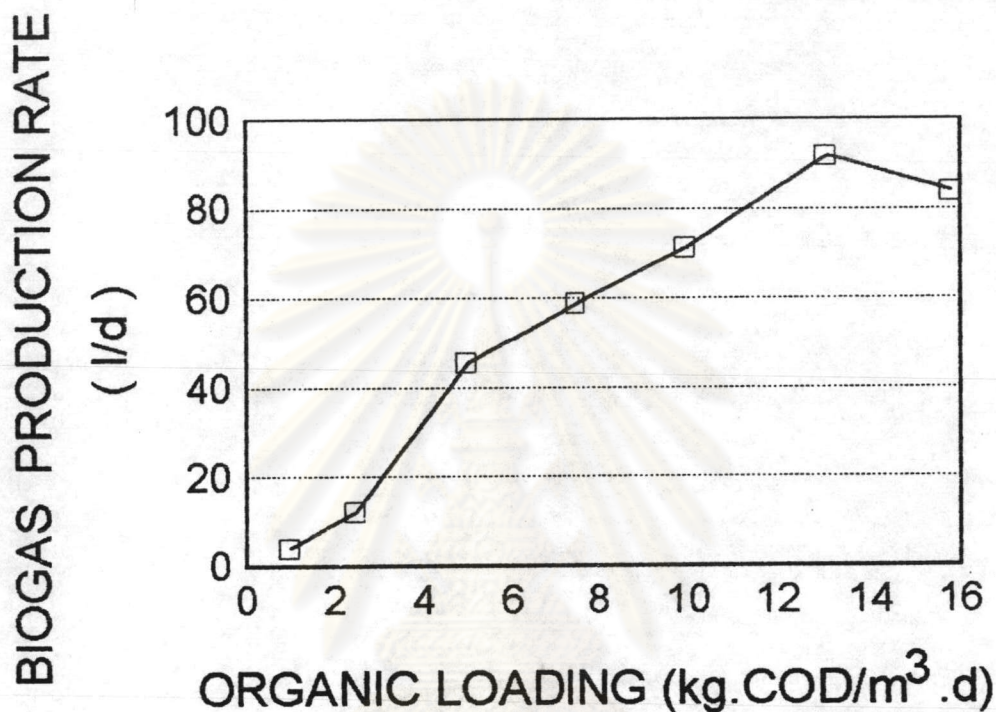


รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบยูบีเอฟที่อัตราป้อนสารอินทรีย์  
ต่างๆ

#### 4.1.3 ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการ  
ผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ โดยอัตราการผลิตก๊าซเพิ่มขึ้นเมื่อ  
อัตราป้อนสารอินทรีย์เพิ่มสูงขึ้นในช่วง 1.23-13.17 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน โดยใน  
อัตราป้อนสารอินทรีย์ 2.36-5.07 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน การเพิ่มขึ้นของอัตราการ  
ผลิตก๊าซสูง ส่วนในช่วงอัตราป้อนสารอินทรีย์ 5.07-13.17 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน  
อัตราการผลิตก๊าซเพิ่มสูงขึ้นเกือบจะเป็นเส้นตรง เมื่ออัตราการป้อนสารเพิ่มสูง  
ขึ้นตลอด โดยอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากอัตราป้อนสารอินทรีย์ 5.07 กก.  
ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน มีอัตราการผลิตก๊าซ 45.6 ล./ว. และอัตราผลิตก๊าซมีค่าสูงสุด  
เป็น 91.76 ล./ว. ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 13.17 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน อัตรา  
การผลิตก๊าซชีวภาพที่สูงขึ้น ก็เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบสูงขึ้นนั่นเอง  
ในช่วงแรกๆ ของอัตราป้อนสารอินทรีย์ที่ 15.75 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน อัตราการ

ผลิตก๊าซชีวภาพจะคงที่เพียง 2 วัน จากนั้นค่อยๆลดลง เนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์ในถังหลุดออกจากระบบมากและลดต่ำลงเหลือเพียง 5,980 มก./ล. ส่วนก๊าซชีวภาพลดลงเหลือ 83.73 ล./ว.

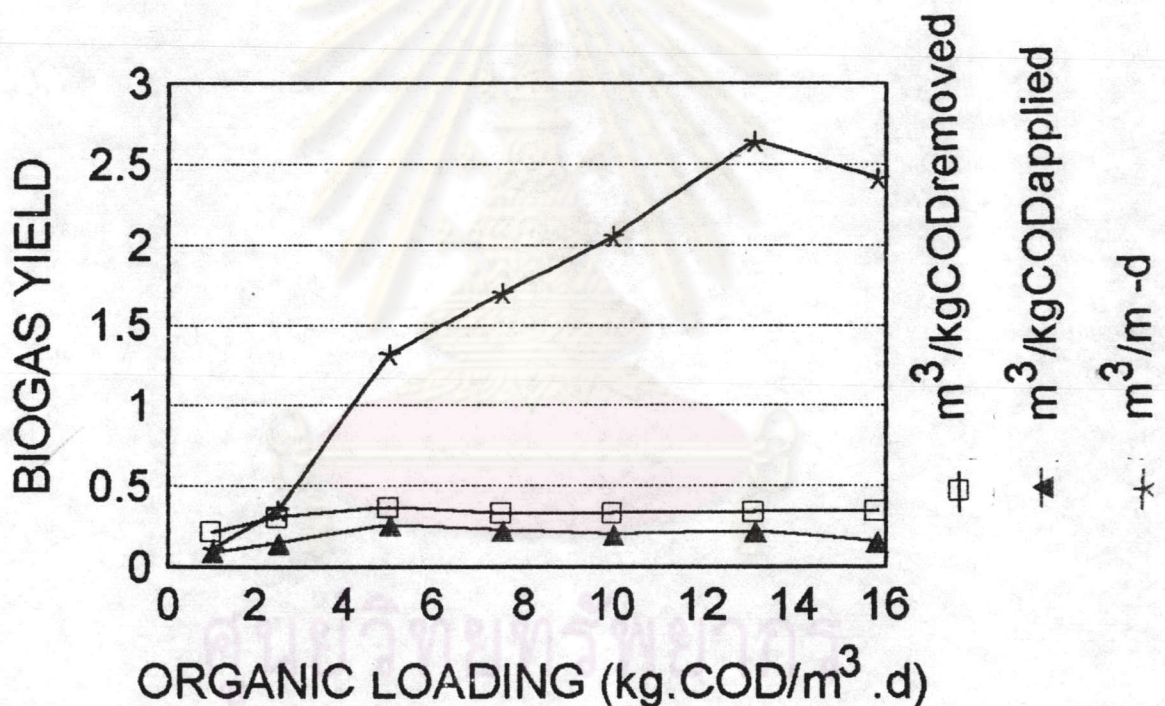


รูปที่ 4.5 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบยูบิเอบที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

รูปที่ 4.6 แสดงประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ โดยการผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อคำนวณเป็นปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันต่อถังหมักที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆพบว่ามีความโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์โดยมีค่าสูงสุดที่ 2.6 ม<sup>3</sup>./ม<sup>3</sup>.ถังหมัก/วัน ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 13.17 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน ระยะเวลาเก็บกัก 1.98 วัน ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพลดลงเมื่อเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์ขึ้นเป็น 15.75 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน

ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อคำนวณต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด (ม<sup>3</sup>/kg.COD removed) พบว่าเมื่ออัตราการป้อนสารอินทรีย์ตั้งแต่ 1.23 - 5.07 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.2177 ถึง 0.3664 ม<sup>3</sup>./กก.ซีโอดีที่ถูก

กำจัดเมื่ออัตราป้อนสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเป็น 7.53 - 10.08 กก.ชีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพต่อชีโอดีที่ถูกกำจัดค่อนข้างคงที่ แต่จะลดลงเล็กน้อย คือประมาณ 0.3224 ม<sup>3</sup>./กก.ชีโอดีที่ถูกกำจัด เมื่ออัตราป้อนสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นสูงกว่า 13.17 กก.ชีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน ส่วนประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพต่อชีโอดีที่เข้าระบบสูงสุด 0.2587 ม<sup>3</sup>./กก.ชีโอดีที่เข้าระบบ ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 5.07 กก.ชีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน และค่อยๆลดลงเหลือ 0.1532 ม<sup>3</sup>./กก.ชีโอดีที่เข้าระบบ เมื่ออัตราป้อนสารอินทรีย์เพิ่มเป็น 15.75 กก.ชีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน

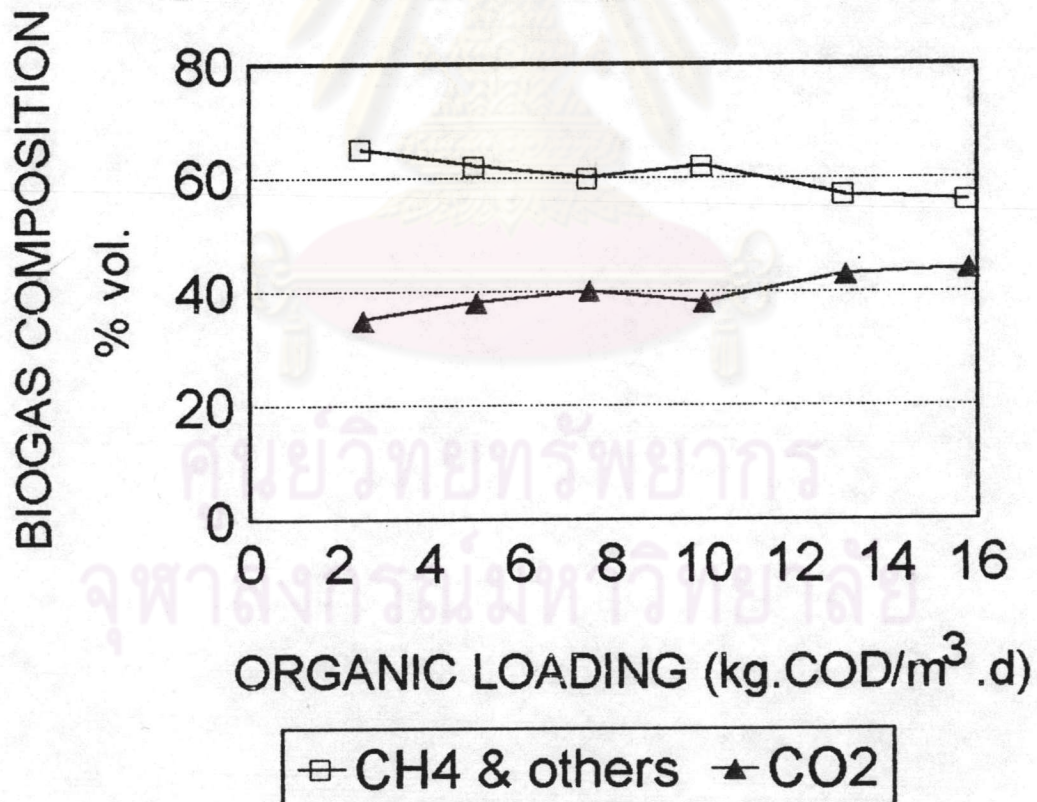


รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบยูบีเอฟที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

โดยทั่วไป ก๊าซชีวภาพจากระบบหมักแบบไร้ออกซิเจนจะประกอบด้วย ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub> และ CH<sub>4</sub>) เป็นส่วนใหญ่ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ในการทดลองนี้วัดปริมาณ CO<sub>2</sub> โดยวิธี orsat ส่วนปริมาณ CH<sub>4</sub>



และก๊าซอื่นๆคำนวณจากปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้หักปริมาณ  $\text{CO}_2$  ออก ก๊าซ  $\text{O}_2$  กล่าวได้ว่าไม่มีเนื่องจากระบบที่ทดลองเป็นระบบปิด  $\text{H}_2\text{S}$  ความชื้นและก๊าซอื่นๆ คาดว่ามีอยู่เล็กน้อยเช่นเดียวกับระบบไร้ออกซิเจนอื่นๆ (ตารางที่ 4.3) จาก ตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์สูงขึ้น ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยและขณะเดียวกันปริมาณมีเทนลดต่ำลงเล็กน้อย โดยที่ช่วงอัตราป้อนสารอินทรีย์ 2.36-10.08 กก.ชีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน องค์ประกอบของ  $\text{CO}_2$  จะอยู่ในช่วง 34-39% เมื่ออัตราป้อนสารอินทรีย์ 13.17-15.75 กก.ชีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน องค์ประกอบของ  $\text{CO}_2$  อยู่ในช่วง 41% ซึ่งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากระบบหมักอยู่ในสภาพสมดุล ซึ่งสังเกตได้จากความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย มีค่าต่ำไม่เกิน 500 มก./ล.เท่านั้น จึงไม่ส่งผลกระทบต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน



รูปที่ 4.7 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพของระบบยูบิเอนท์ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพในระบบหมักแบบไร้ออกซิเจน

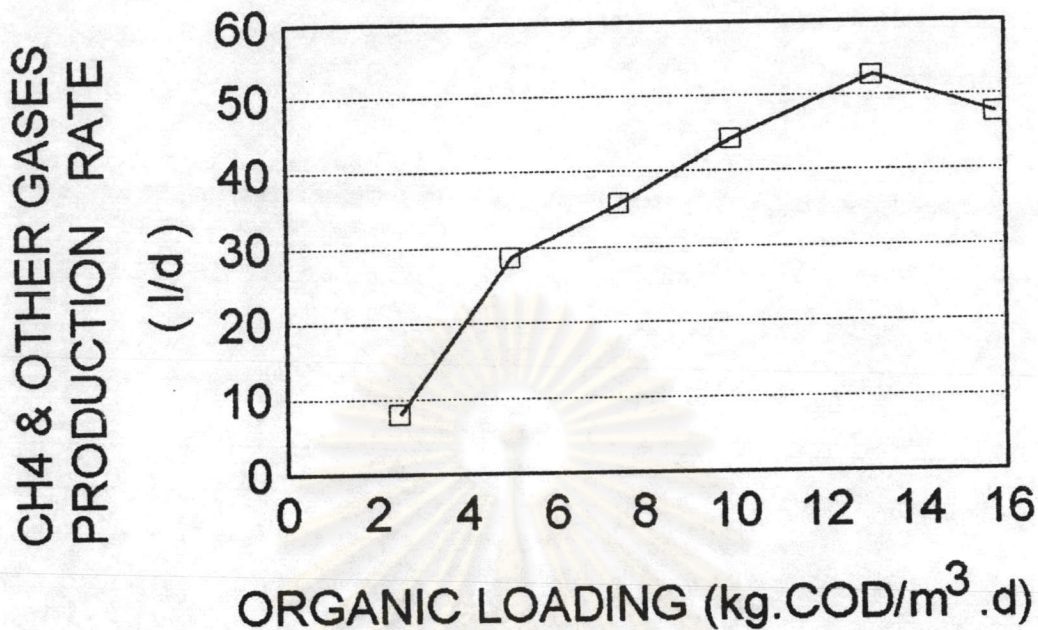
	Constituent gas (Vol %)					
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> O
Atlanta, GA*	67.3	32.7	-	-	0.00002	0.038
South River Atlanta, GA*	67.2	32.8	-	-	0.00005	0.038
Modes to CA*	56.7	30.4	7.2	1.6	0.15	0.9
Nyperion Los Angeles, CA*	65-70	30-36	trace	-	trace	-
UASB (AIT)**	75	24	-	-	-	-

\* Jacob, (1980)

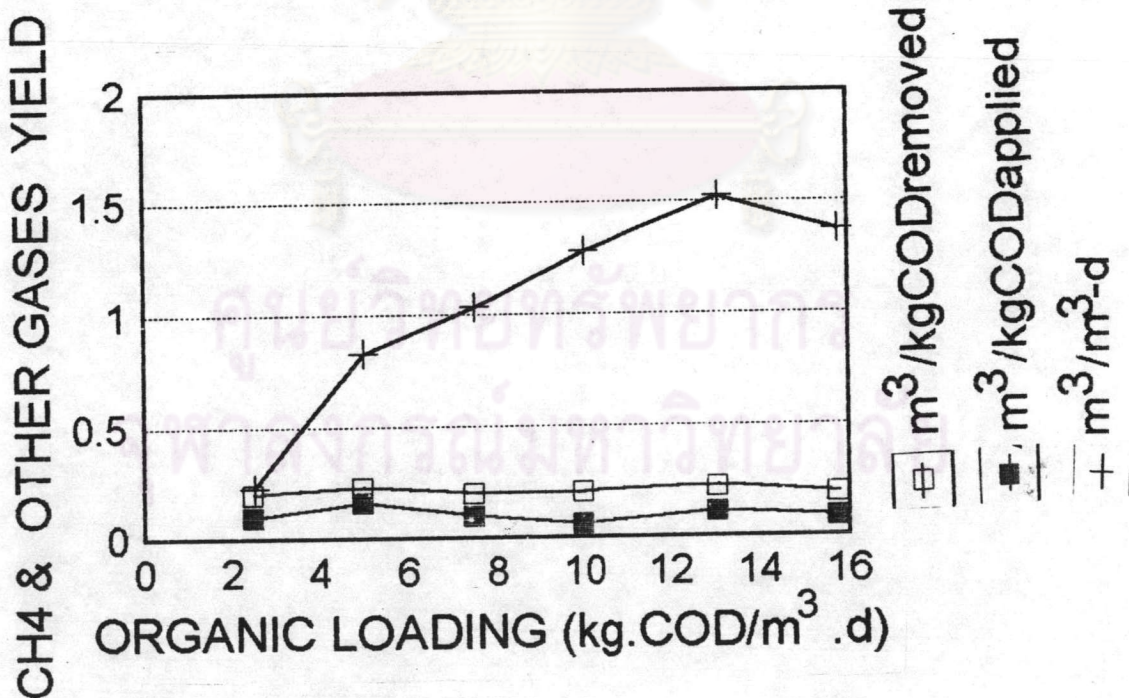
\*\* Jayadevan (1992)

รูปที่ 4.8 และ 4.9 แสดงอัตราการผลิตและประสิทธิภาพก๊าซมีเทน (รวมก๊าซอื่นๆ ยกเว้นคาร์บอนไดออกไซด์) ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งมีลักษณะเหมือนก๊าซชีวภาพ ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในก๊าซชีวภาพที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆไม่แตกต่างกันมากนัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 อัตราการผลิตก๊าซ (มีเทนและอื่นๆ) ของระบบยูบิเอฟที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

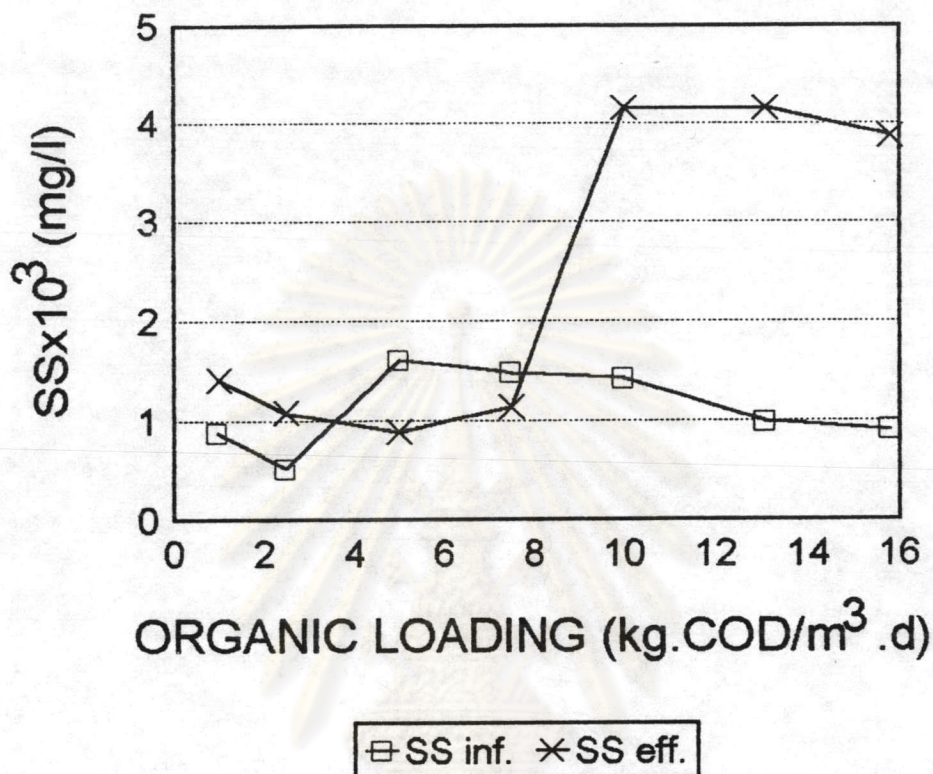


รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนของระบบยูบิเอฟที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

#### 4.1.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในระบบทั้งหมด

รูปที่ 4.10 แสดงปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งที่เข้าและออกจากระบบยูบีเอฟที่ทำการทดลองที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ จากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำกากส่าที่ป้อนเข้าระบบหมักมีค่าอยู่ระหว่าง 500-1,600 มก./ล. เท่านั้น ส่วนปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ออกจากระบบพบว่ามีค่าต่ำ ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่ำในช่วง 1.23-7.53 กก.ชีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน สารแขวนลอยที่หลุดออกมาจากระบบเป็นเซลล์แบคทีเรีย โดยปริมาณสารแขวนลอยได้ลดลงเล็กน้อย เมื่ออัตราป้อนสารอินทรีย์สูงเพิ่มขึ้นในช่วงอัตราป้อนสารอินทรีย์ดังกล่าวและมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 500 มก./ล. ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 5.07 กก.ชีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน ปริมาณสารแขวนลอยยังต่ำอย่างต่อเนื่องที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 7.53 กก.ชีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน คือประมาณ 1,000 มก./ล. แต่เมื่อเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์สูงขึ้นเป็น 10.08-15.75 กก.ชีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำที่ล้นออกจากถังหมักมีค่าสูงขึ้นอย่างมาก เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ล้นออกจากถังหมัก และปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นสูงชันมาก ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งเป็นตะกอนเบาหลุดออกจากระบบ โดยปริมาณสารแขวนลอยมีค่าสูงสุดถึง 4,000 มก./ล. ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 15.75 กก.ชีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน มีระยะเวลาเก็บกักเพียง 1.65 วัน

จากตาราง 4.4 และรูปที่ 4.11 แสดงปริมาณความเข้มข้นแบคทีเรียเมื่อระบบหมักรับอัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อเริ่มต้นเดินระบบที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ที่ 1.23 กก.ชีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน ระดับตะกอนสูง 60 ซม. แต่เมื่อเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์เป็น 2.36 กก.ชีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน มีตะกอนจุลินทรีย์หลุดจากระบบตลอดเวลา เมื่อถึงสภาวะคงที่ (steady state) ระดับตะกอนลดลงเหลือ 40 ซม. เมื่อเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์เป็น 5.07 กก.ชีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน ตะกอนแบคทีเรียที่หลุดออกจากระบบลดต่ำมาก มีการเพิ่มตะกอนชนิดเบาขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีการยกตัวของชั้นตะกอนขึ้นไปจนถึงระดับ 140 ซม. เนื่องจากการยกให้ลอยขึ้นโดยก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์เป็น 7.53 กก.ชีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน ซึ่งทำให้ตะกอนชนิดเบาเพิ่มขึ้นและขณะเดียวกันตะกอนแบคทีเรียที่หลุดจากระบบมีน้อยมากเช่นกัน จากการดูด้วยกล้องที่มี

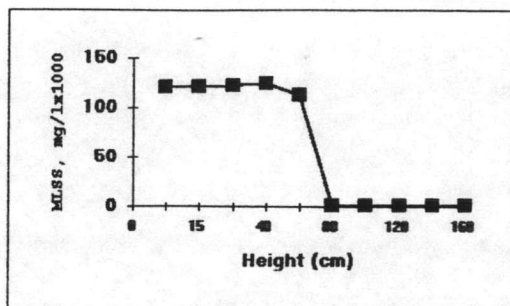


รูปที่ 4.10 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบยูบีเอฟ ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

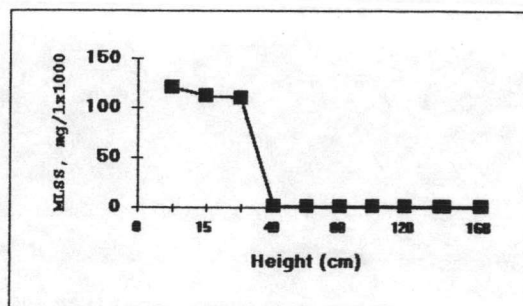
scalemeter พบว่าตะกอนที่กักถังมีขนาด 0.4 - 0.7 มม. ด้านบนจะเกิดตะกอนขนาดเล็กกว่า 0.3 มม. กระจายจากระดับ 30 ซม.ขึ้นไป เมื่อเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์ขึ้นเป็น 10.08 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน พบว่าการหลุดออกจากระบบของตะกอนจุลินทรีย์มากขึ้น แต่ตะกอนจุลินทรีย์ที่หลุดออกไปไม่ใช่ตะกอนเบาอย่างเดี่ยว พบว่าเป็นตะกอนเม็ดปะปนอยู่ด้วย เมื่อเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์เป็น 13.17 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน ตะกอนจุลินทรีย์ก็ยังคงหลุดจากระบบอย่างต่อเนื่อง ปรากฏว่าเหลือตะกอนขนาด 0.1-0.3 มม. ทัวทั้งถัง แสดงว่าตะกอนขนาด 0.4-0.7 มม. ได้หลุดออกจากระบบไปหมด และเป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่แข็งแรง

ตารางที่ 4.4 ปริมาณตะกอนแบคทีเรียที่ความสูงต่างๆ ของถังหมักและปริมาณตะกอนแบคทีเรีย โดยเฉลี่ยในระบบบิวีโอฟที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

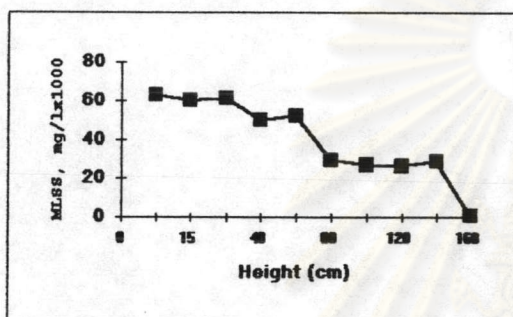
Height (cm)	Suspended Solids mg/l at various organic loading (kg COD/m <sup>3</sup> -d)						
	1.23	2.36	5.07	7.53	10.08	13.17	15.75
5	120500	12000	62430	37450	53540	13450	9090
15	120000	112100	59890	38640	54880	14450	9570
25	121500	110100	61230	49670	417540	13260	12120
40	123300	1010	50040	51360	37860	11720	12120
60	112100	1010	51950	61400	58540	18380	11990
80	910	1010	29120	41350	29650	12140	6210
100	830	1010	26850	38330	29480	6500	4230
120	850	1010	26510	29890	33290	3370	3540
140	1100	1010	28730	30400	20330	3480	2970
168	1100	1010	830	1140	4100	3480	2970
MLSS mg/l	44480	27110	34610	35350	31010	8820	5980



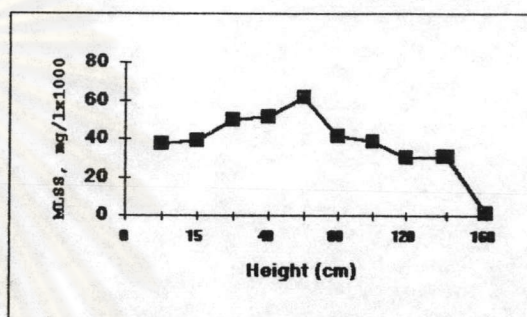
ORGANIC LOADING 1.23 kgCOD/m<sup>3</sup>d



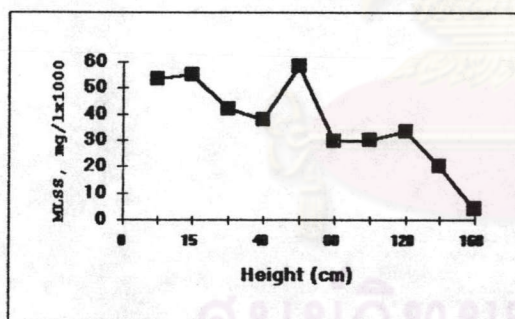
ORGANIC LOADING 2.36 kgCOD/m<sup>3</sup>d



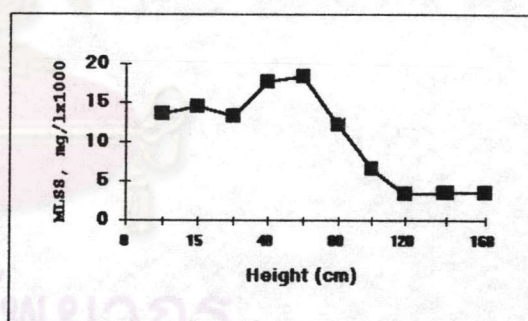
ORGANIC LOADING 5.07 kgCOD/m<sup>3</sup>d



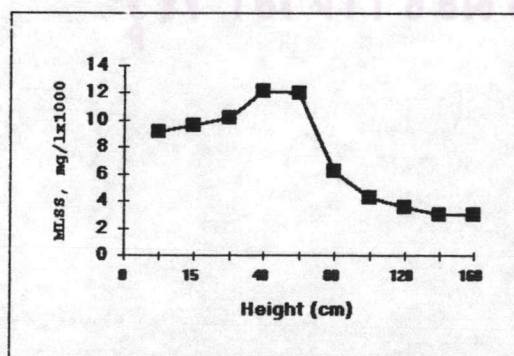
ORGANIC LOADING 7.53 kgCOD/m<sup>3</sup>d



ORGANIC LOADING 10.08 kgCOD/m<sup>3</sup>d



ORGANIC LOADING 13.17 kgCOD/m<sup>3</sup>d



ORGANIC LOADING 15.75 kgCOD/m<sup>3</sup>d

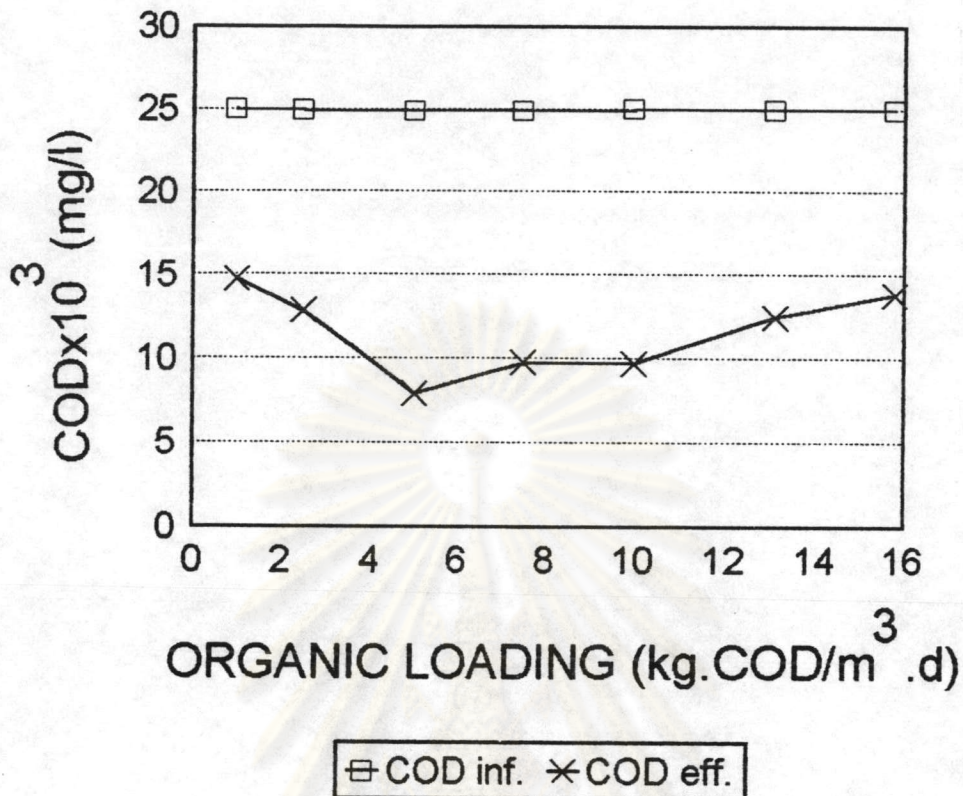
รูปที่ 4.11 แสดงปริมาณแบคทีเรียในถังหมัก  
ยูบิเอฟที่ระดับความสูงต่างๆ

หรือบางส่วนตายแล้ว จากตอนเริ่มต้นระบบจนถึงอัตราป้อนสารอินทรีย์ที่ 1.23 กก.ชีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์วัดในรูป MLSS สูงถึง 44,480 มก./ล. เมื่อเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์เป็น 2.36 กก.ชีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน พบว่าที่สภาวะคงตัวตะกอนมีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ สีดำอยู่ข้างล่างขนาด 0.4-0.7 มม. ตะกอนด้านบนมีขนาด 0.3-0.1 มม. จากนั้นเมื่อเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์สูงขึ้นเป็น 5.07 และ 7.53 กก.ชีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน เกิดการหลุดของตะกอนจุลินทรีย์ออกจากระบบ แต่ขณะเดียวกันเกิดการสร้างจุลินทรีย์ตะกอนเบาขึ้นอย่างต่อเนื่อง MLSS เพิ่มขึ้นเมื่อสภาวะคงตัวเป็น 34,610-35,350 มก./ล. ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มอัตราสารอินทรีย์เป็น 10.08 และ 13.17 กก.ชีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน เกิดการหลุดของตะกอนจุลินทรีย์ออกจากระบบอย่างต่อเนื่องเหลือ MLSS ในระบบเพียง 31,010 และ 8,820 มก./ล. ที่สภาวะคงตัวตามลำดับ เมื่อเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์เป็น 15.75 กก.ชีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน ได้ 6 วันก็ต้องหยุดป้อนน้ำกากส่า เพราะเนื่องจากปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้เริ่มลดลงและตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเหลือ MLSS เพียง 5,980 มก./ล. ซึ่งแสดงว่าเสถียรภาพของระบบต่ำลง ถ้ายังคงเดินระบบต่อไปคาดว่าระบบยูบีเอฟจะล้มเหลว

#### 4.1.5 ปริมาณสารอินทรีย์

รูปที่ 4.12 แสดงปริมาณสารอินทรีย์ในรูป ชีโอดี (COD) ในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบ ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ จากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าค่าชีโอดีในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่าประมาณ 25,000 มก./ล. สำหรับค่าชีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่ออัตราการป้อนสารอินทรีย์สูงขึ้นจาก 1.23 กก.ชีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน แต่ลดลงต่ำสุดเหลือ 7,100 มก./ล. ที่ 5.07 กก.ชีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน แต่เมื่อเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์สูงกว่า 5.07 กก.ชีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน ค่าชีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบก็มีค่าสูงขึ้น



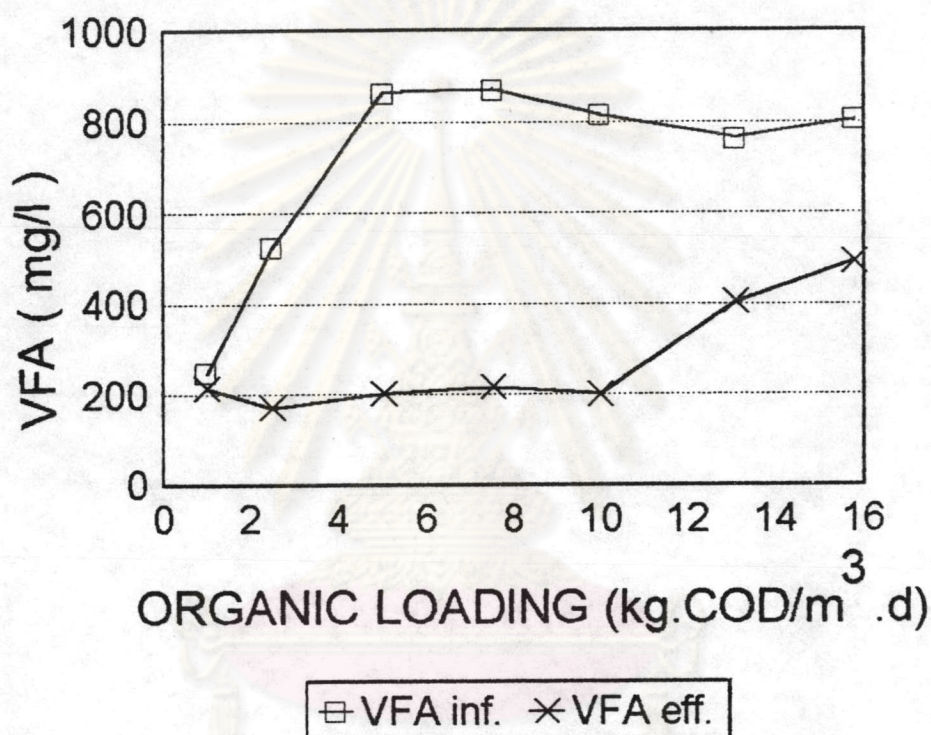


รูปที่ 4.12 ปริมาณสารอินทรีย์ (COD) ในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบขุ่ยเปฟที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

#### 4.1.6 ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย (VFA)

รูปที่ 4.13 แสดงปริมาณความเข้มข้นกรดอินทรีย์ระเหย ในน้ำกากส่าก่อนเข้าและออกจากระบบหมัก จากการเดินระบบที่ควบคุมให้ค่าซีโอดีของน้ำกากส่าที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 25,000 มก./ล. ตลอดจนการทดลองทำให้กรดสารอินทรีย์ระเหยในน้ำที่เข้าสู่ระบบอยู่ในช่วง 250 - 900 มก./ล. ตลอดจนการทดลองส่วนปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยในน้ำที่ออกจากระบบมีค่าอยู่ในช่วง 171 - 493 มก./ล. ตั้งแต่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 1.23 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน - 13.17 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน โดยที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์สูงสุด 15.75 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน ระบบมีกรดอินทรีย์ระเหยประมาณต่ำเพียง 493 มก./ล.

ค่าของกรดอินทรีย์ระเหยในระดับนี้ ยังอยู่ในระดับต่ำไม่เป็นพิษต่อแบคทีเรียมีเทน โดยระบบหมักถ้ามีค่ากรดอินทรีย์ระเหยมากกว่า 2,000 มก./ล. จะเกิดสภาพ overload (สุเมธ ชวเดช, 2529)

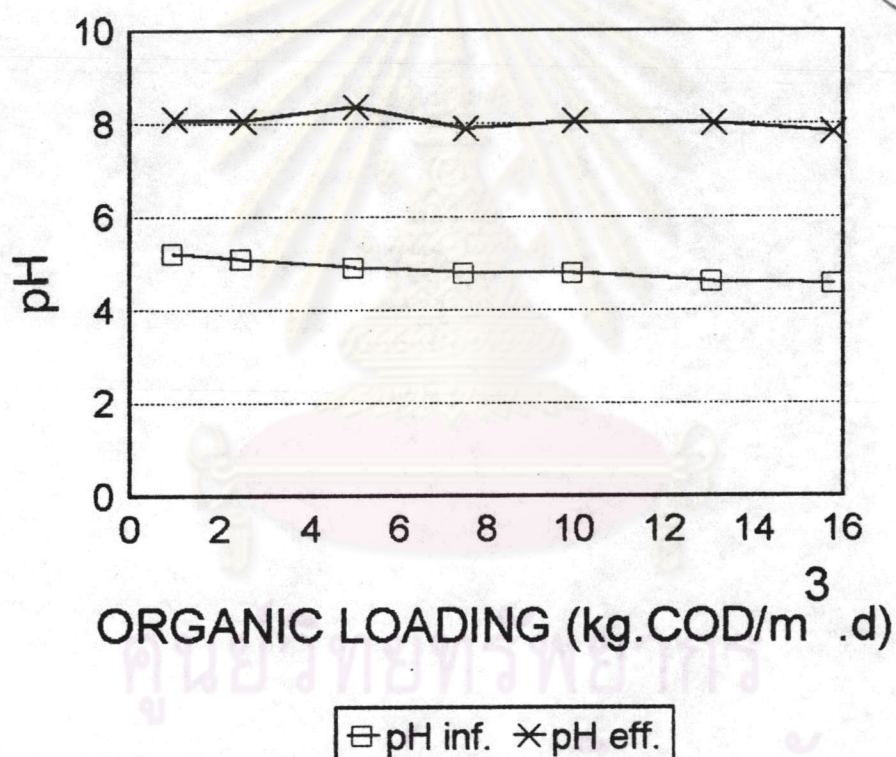


รูปที่ 4.13 ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบยูบีเอพี ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

#### 4.1.7 ค่าความเป็นกรดต่าง

เนื่องจากอัตราการเจือจางน้ำกับน้ำกากส่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง ดังนั้น pH ของน้ำที่เข้าสู่ระบบมีค่าขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของน้ำกากส่า pH ของน้ำที่เข้าสู่ระบบของการทดลองนี้อยู่ในช่วง 4.5 - 5.3 ส่วน pH ของน้ำ

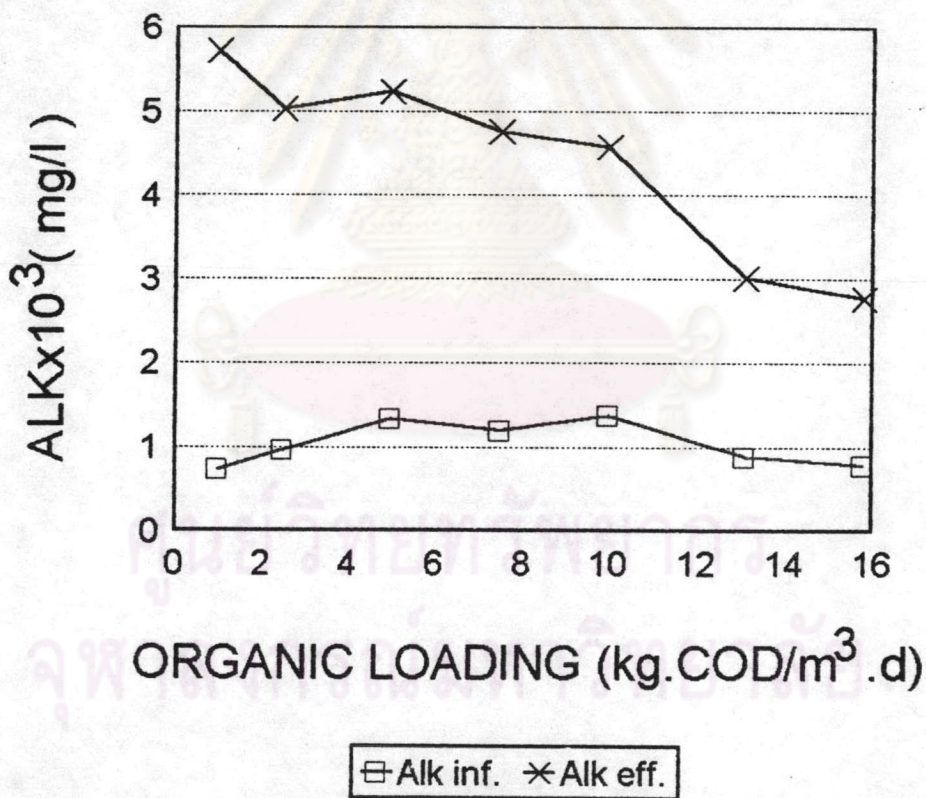
กากส่าที่ออกจากระบบค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลองคือ 7.9 - 8.4 ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 1.23 - 13.17 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน ถึงแม้ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์สูงสุด 15.75 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน มีค่าความเป็นกรดต่างยังสูงถึง 7.8 ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ทั้งนี้เนื่องจาก ระบบหมักมีปริมาณความเข้มข้นกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่ำจึงไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความเป็นกรดต่าง



รูปที่ 4.14 ค่า pH ในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบยูบิเอฟที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

#### 4.1.8 ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity)

เหตุผลเดียวกับข้อ 4.1.7 ค่าความเป็นด่างของน้ำากาส์ที่เข้าสู่ระบบของการทดลองครั้งนี้อยู่ในช่วง 700 - 1,500 มก./ล. ค่าความเป็นด่างของน้ำากาส์ที่ออกจากระบบจะอยู่ในช่วง 5,000 - 7,000 มก./ล. เมื่อเดินระบบในอัตราป้อนสารอินทรีย์ 1.23 - 5.07 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน โดยค่าความเป็นด่างมีค่าลดต่ำลงเมื่ออัตราป้อนสารอินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น และเมื่ออัตราป้อนสารอินทรีย์สูงกว่า 10.08 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน ค่าความเป็นด่างลดลงอย่างมากที่อัตราป้อนสารอินทรีย์เป็น 15.75 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน ค่าความเป็นด่างได้ลดต่ำเหลือ 3,000 มก./ล. ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ค่าความเป็นด่างในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบยูบีเอฟที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

#### 4.1.9 เสถียรภาพของระบบหมัก

เสถียรภาพของระบบหมักแบบไร้ออกซิเจนพิจารณาได้จากปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ค่าความเป็นกรดต่างและค่าความเป็นด่าง โดยพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยในระบบสูงขึ้น (ตารางที่ 4.1) เมื่อพิจารณาค่า pH ถึงแม่น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบจะมีค่า pH เป็นกรดและมีประมาณกรดอินทรีย์ประมาณ 200 - 800 มก./ล. แต่ระบบก็ยังสามารถรักษา pH ค่อนข้างเป็นกลางไว้ได้ ทั้งนี้เนื่องจากระบบมีค่าความเป็นด่างสูง ดังนั้นได้กล่าวมาแล้วในข้อ 4.1.8 ค่าความเป็นด่างสูงนี้มีฤทธิ์สะเทินกรดและทำให้ระบบสามารถรักษาระดับ pH ที่เป็นกลางไว้ได้ นอกจากนี้ในการทดลองยังช่วยปรับสภาพน้ำกากส่าดิบก่อนเข้าระบบ โดยทำการ recycle น้ำกากส่าที่ออกจากถังหมักมาป้อนเข้าพร้อมกับน้ำกากส่าในอัตราส่วน 1:1 ทำให้ pH ของน้ำกากส่าที่เข้าสู่ระบบมีค่าอยู่ระหว่าง 6.5 - 7.8 อันเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (สุเมธ ชวเดช, 2529)

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (รูปที่ 4.4) และประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (รูปที่ 4.6) ระบบหมักยูบีเอฟที่ทำการทดลองนี้ ในช่วงอัตราป้อนสารอินทรีย์ไม่เกิน 7.53 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน ระบบมีประสิทธิภาพสูงและมีเสถียรภาพดี แต่เมื่อเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์ 10.08 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน พบว่ามีการหลุดของตะกอนออกนอกระบบ แต่อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพก็ยังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์เป็น 15.75 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน อัตราการเกิดก๊าซได้ลดลง เนื่องจากระบบสูญเสียตะกอนแบคทีเรียโดยมีค่า MLSS ต่ำเพียง 5,980 มก./ล. การสูญเสียตะกอนแบคทีเรียสูงมากขึ้นเนื่องจากถูกพาออก (wash out) ไปกับก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น เสถียรภาพของระบบลดลง ถ้าหากมีการเดินระบบด้วยอัตราป้อนสารอินทรีย์ที่ 15.75 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน ยาวนานกว่านี้ ระบบเสียสมดุลและล้มเหลวในที่สุด ดังนั้นเมื่อคำนึงถึงเสถียรภาพของระบบหมักเป็นหลัก ไม่ควรเดินระบบที่อัตราป้อนสารอินทรีย์สูงกว่า 10.08 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน

#### 4.1.10 ปริมาณความเข้มข้นโปตัสเซียมมีผลต่อประสิทธิภาพการหมัก

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความเข้มข้นสาร โปตัสเซียมในน้ำกากส่าเจือจาง (น้ำกากส่า : น้ำประปา = 1:5 ) ที่เข้าสู่ระบบกับน้ำกากส่าที่ออกจากระบบที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มข้นโปตัสเซียมในน้ำกากส่าที่เข้าสู่ระบบกับค่าความเข้มข้นโปตัสเซียมในน้ำกากส่าที่ออกจากระบบมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จึงสรุปได้ว่าสารโปตัสเซียมไม่ถูกดูดซับในเซลล์ที่เร็ว

ตารางที่ 4.5 แสดงเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบหมักน้ำกากส่าที่ระดับความเข้มข้นสาร โปตัสเซียม

	Potassium Concentration at various Organic Loading (kg.COD/m <sup>3</sup> d)						
	1.21	2.36	5.07	7.53	10.08	13.17	15.75
inf.	-	2692	2655	2529	2338	2332	2428
eff.	-	2258	2544	2417	2220	2314	2350

จากตารางที่ 4.6 แสดงเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบหมักน้ำกากส่าที่ระดับความเข้มข้นสาร โปตัสเซียม โดยสรุปได้ว่าระดับความเข้มข้นสารโปตัสเซียมมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบหมักโดยระบบหมักที่มีความเข้มข้นของสารโปตัสเซียมต่ำที่สุด คือระบบยูบีเอฟของงานวิจัยนี้ มีความเข้มข้นสารโปตัสเซียมต่ำสุด 2,300 - 2,600 มก./ล. มีอัตราป้อนสารอินทรีย์สูงสุด 13.17 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน

#### 4.1.11 สภาวะที่เหมาะสมของระบบหมัก

สภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมระบบหมักอาจแบ่งได้เป็น 2 กรณีดังนี้

ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบระบบหมักที่ใช้บำบัดน้ำกากส่า  
ที่มีความเข้มข้นโปรตีนสูงกับระบบหมักที่มีความเข้มข้นโปรตีนต่ำ

ระบบที่เข้าบำบัด	UASB (ฉะเชิงเทรา) Full scale	UASB (บุรีรัมย์) Pilot scale	UASB Lab scale	Anaerobic Contact (อยุธยา) Full scale	UBF Lab scale
ขนาดถังบำบัด (ม <sup>3</sup> )	3,000	3.5	0.35	9,000	0.35
ซีโอดีเข้า (มก./ล.)	120,000	150,000	112,500	108,000	25,000
อัตราป้อนสารอินทรีย์สูงสุด กก. ซีโอดี/ม <sup>3</sup> .วัน	4.5	4.0	10.1	5.5	13.1
อุณหภูมิ (°ซ)	30-34	31	55	55	30
ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี (%)	82	79	44	55	50
อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ	3,200 ม <sup>3</sup> /วัน	-	35 ลิตร/วัน	27,000 ม <sup>3</sup> /วัน	93 ลิตร/วัน
K+ (มก./ล.)	10,500	-	10,000		2300-2600
เอกสารอ้างอิง	สุเมธ ชวเดช (1988)	Verink (1990)	(อะเคื่อ บุญญศิริ)	สุเมธ ชวเดช (1988)	งานวิจัยนี้

4.1.11.1 สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดซีโอติ จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 ระบบหมักมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอติสูงสุด 71% ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 5.07 กก.ซีโอติ/ม<sup>3</sup>.วัน มีเวลาเก็บกัก 4.96 วัน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 7.53 กก.ซีโอติ/ม<sup>3</sup>.วัน ระบบยูบีเอฟมีประสิทธิภาพ 68.2% ซึ่งใกล้เคียงกับประสิทธิภาพที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 5.07 กก.ซีโอติ/ม<sup>3</sup>.วัน ดังนั้นจึงควรเลือกอัตราป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสารอินทรีย์เป็น 7.53 กก.ซีโอติ/ม<sup>3</sup>.วัน ทั้งนี้เนื่องจากที่อัตราป้อนสารอินทรีย์สูงสุดช่วยลดขนาดของถังหมัก ซึ่งจะทำให้ค่าก่อสร้างลดต่ำลง

4.1.11.2 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซมีเทน ในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมใ้สการผลิตก๊าซมีเทน ควรพิจารณาจากค่าประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและมีเทน จากตาราง 4.2 และรูปที่ 4.9 พบว่า ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 5.07 กก.ซีโอติ/ม<sup>3</sup>.วัน ระบบยูบีเอฟมีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและมีเทนสูงสุดคือ 0.366 และ 0.231 ม<sup>3</sup>/กก.ซีโอติ ถูกจำกัด.วันตามลำดับ ดังนั้นอัตราป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมเป็น 5.07 กก.ซีโอติ/ม<sup>3</sup>.วัน สำหรับการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด

#### 4.2 ระบบบำบัดเคมีไฟฟ้า

##### 4.2.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ใช้ในทดลอง

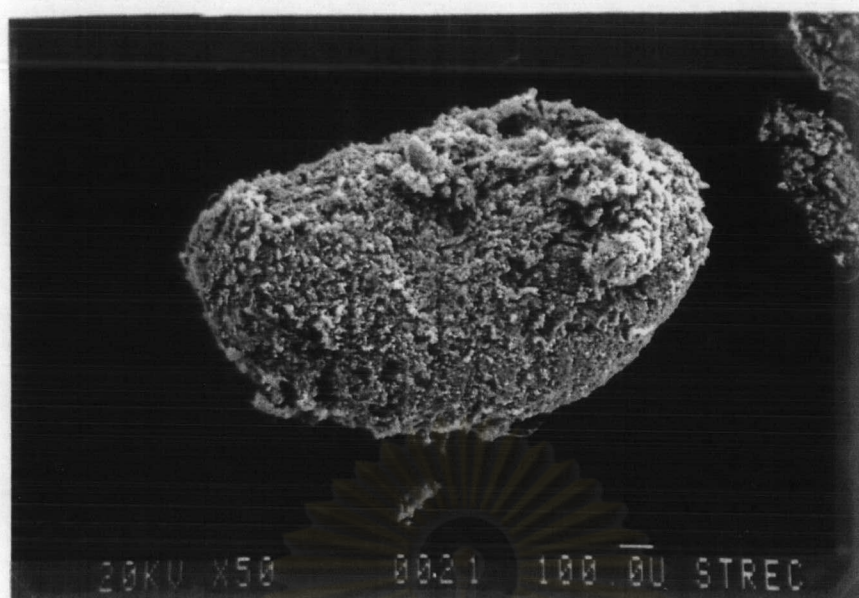
จากการพิจารณาดังกล่าวมาแล้ว อัตราป้อนสารอินทรีย์เหมาะสมเป็น 7.53 และ 5.07 กก.ซีโอติ/ม<sup>3</sup>.วัน สำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ และผลิตก๊าซชีวภาพตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาการประยุกต์ใช้ระบบหมักยูบีเอฟในอุตสาหกรรม จึงควรเลือกอัตราป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมเป็น 7.53 กก.ซีโอติ/ม<sup>3</sup>.วัน ทั้งนี้เนื่องจากจะช่วยลดเงินลงทุนก่อสร้างระบบหมักยูบีเอฟนี้ ดังนั้นในขั้นตอนการทดลองระบบบำบัดเคมีไฟฟ้า จึงควบคุมระบบหมักยูบีเอฟที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 7.53 กก.ซีโอติ/ม<sup>3</sup>.วัน เพื่อนำน้ำทิ้งที่ผ่านระบบยูบีเอฟไปใช้ทดลองระบบเคมีไฟฟ้า



จากตารางที่ 4.7 ซึ่งแสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดซีโอดีในช่วง 80 วัน ลดลงเหลือเพียง 56.52% เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการกำจัดในช่วงทดลองแรกซึ่งสูงถึง 68.16 % ส่วนตรรชนอื่น ๆ มีค่าไม่ต่างกันมาก ค่า MLSS ตอนที่เริ่มต้น 80 วัน คือ 5,980 มก./ล. เมื่อครบ 80 วันเพิ่มเป็น 9,000 มก./ล. และเกิดตะกอนเมืดชั้น ขนาดประมาณ 1-3 มม.กระจายทั่วไปตั้งแต่กัน ถึงจนถึงระดับความสูง 30 ซม.ของถังหมักรายละเอียดของตะกอนเมืดแสดงโดย รูปถ่าย SEM (scanning electron microscope) TEM (tranverse electron microscope) ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ถึง 4.19 ซึ่งแสดงแบคทีเรีย ที่อยู่ในเมืดเป็นเส้นใย

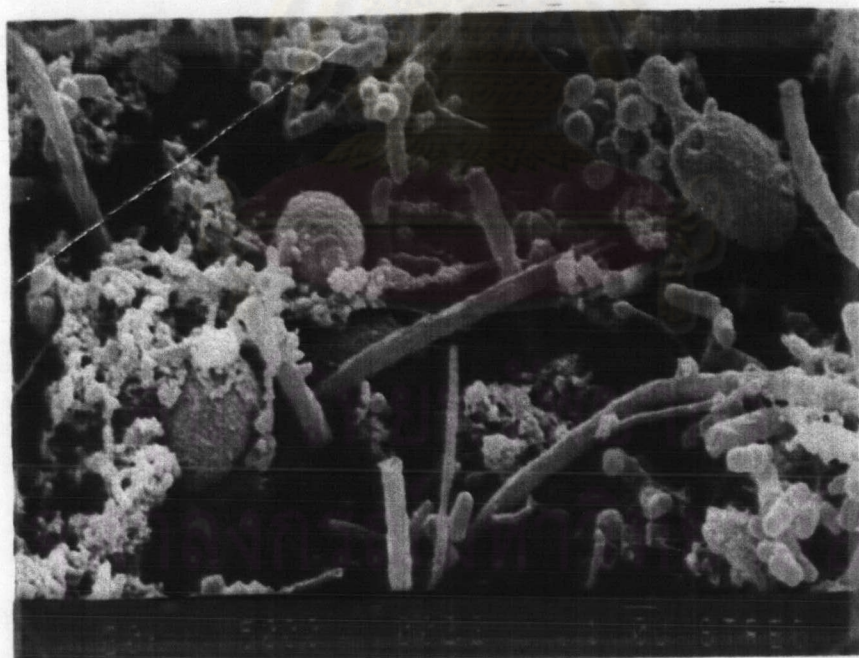
ตารางที่ 4.7 แสดงลักษณะสมบัติน้ำากาสารวมที่ออกจากระบบยูบีโอพีที่อัตรารับ สารอินทรีย์ที่ 7.53 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน เป็นเวลา 80 วัน เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงที่

ตรรชน	ค่าเฉลี่ย inf.	eff.80วัน	eff.คงที่
ความเป็นกรดเป็นด่าง pH	4.8	8.2	7.9
ซีโอดี COD (มก./ล)	24870	10820	7930
ของแข็งทั้งหมด TS (มก./ล)	24770	14200	12120
ของแข็งแขวนลอย SS (มก./ล)	1480	1810	1120
กรดอินทรีย์ระเหย VFA (มก./ล)	870	92	240
ความเป็นด่าง alkalinity (มก./ล)	1200	3500	4900
โบตัสเซียม K (มก./ล)	-	2480	-
โซเดียม Na (มก./ล)	-	1250	-
แคลเซียม Ca (มก./ล)	-	358	-
แมกนีเซียม Mg (มก./ล)	-	225	-
OD <sub>475</sub> (ค่าดูดกลืนแสง)	-	0.888	-



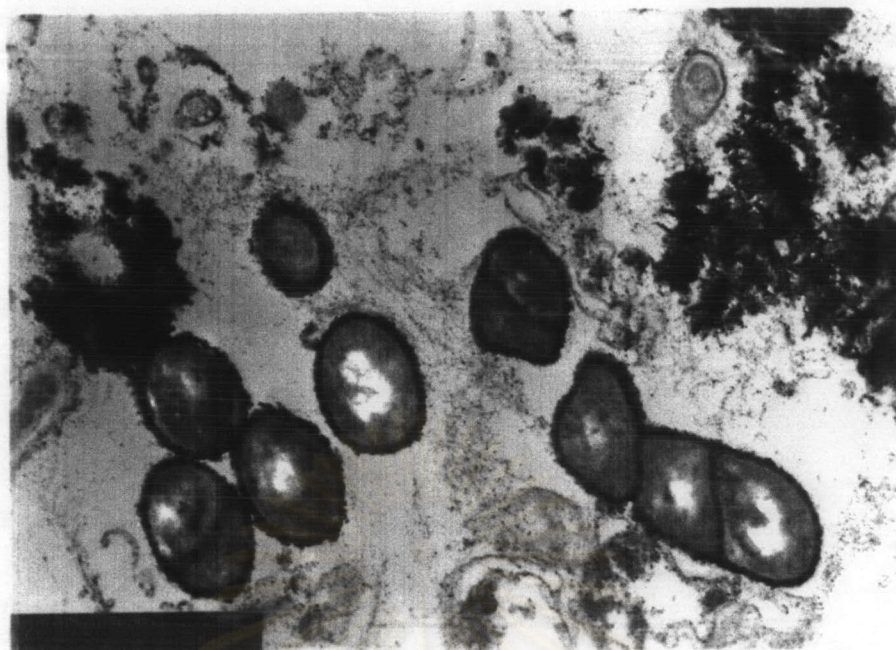
100 ไมครอน

รูปที่ 4.16 รูปถ่าย SEM ของเม็ดตะกอนแบคทีเรียโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ขนาดกำลังขยาย 50 เท่า



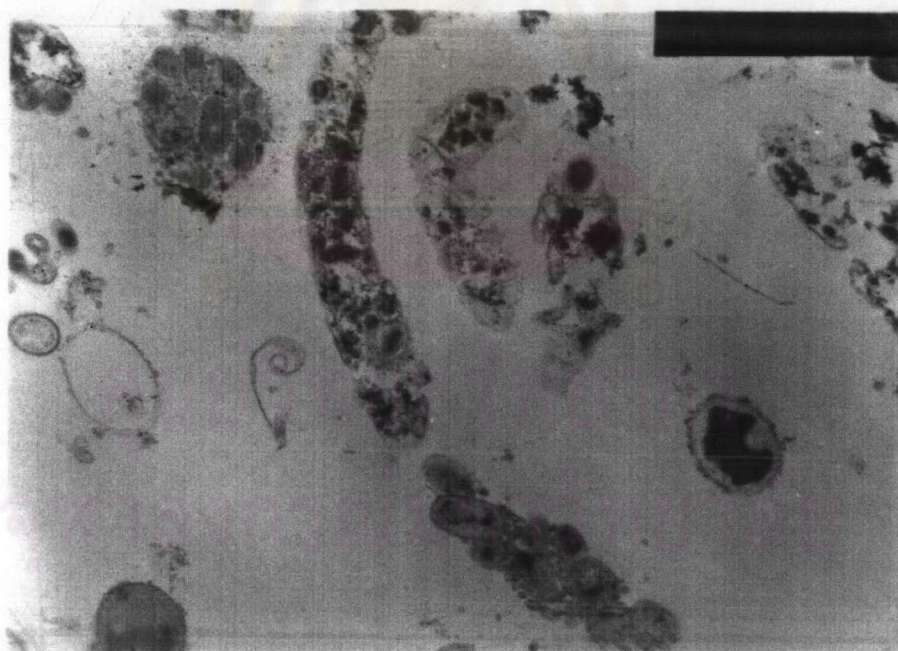
1 ไมครอน

รูปที่ 4.17 รูปถ่าย SEM ขนาดกำลังขยาย 5,000 เท่า ของรูปที่ 4.16 จะเห็นเซลล์แบคทีเรียเป็นรูปกลมและเป็นเส้นใย (filamentous)



1 ไมครอน

รูปที่ 4.18 รูปถ่าย TEM ขนาดขยาย 13,000 เท่า ภาพภายในของเซลล์แบคทีเรียแบบกลม



1 ไมครอน

รูปที่ 4.19 รูปถ่าย TEM ขนาดขยาย 13,000 เท่า เป็นภาพถ่ายภายในเซลล์ของแบคทีเรียแบบเส้นใย (filamentous)

#### 4.2.2 เวลาเก็บกักมีผลต่อประสิทธิภาพระบบเคมีไฟฟ้า

การทดลองแรกเป็นการทดลองที่ระยะเวลาของเหลวอยู่ในระบบ หรือเวลาเก็บกัก (HRT) ต่าง ๆ โดยได้ทำการทดลองที่ความต่างศักย์ 2.1 โวลต์ เนื่องจากการทดลองน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่า ที่ความต่างศักย์เกิน 4 โวลต์ พบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าสูงมาก กัมพมาศ สุทธิเรืองวงศ์ (2538) ดังนั้นการทดลองนี้จึงได้ทำการทดลองที่ความต่างศักย์ต่ำลงเป็น 2.1 โวลต์ การเลือกใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า เนื่องจากระบบเคมีไฟฟ้าที่ใช้บำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้าบวกและอัลลอยของเหล็กเป็นขั้วไฟฟ้านลบ Mendia (1982) นอกจากนี้เหล็กเป็นโลหะที่หาง่ายราคาถูกกว่าขั้วไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ ผลการทดลองสรุปได้ดังต่อไปนี้ ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองระบบเคมีไฟฟ้าที่เวลาเก็บกักต่าง ๆ

4.2.2.1 ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะคงที่ จากตาราง ค.8 ในภาคผนวก ค ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะคงที่พิจารณาจากค่าค่าดูดกลืนแสงซึ่งไม่เปลี่ยนแปลง การทดลองครั้งนี้พบว่า  $OD_{475}$  จะคงที่เมื่อเวลาผ่านไปแล้วประมาณ 3 ชม. ไม่ว่าจะระยะเวลาเก็บกักเพิ่มขึ้นหรือลดลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

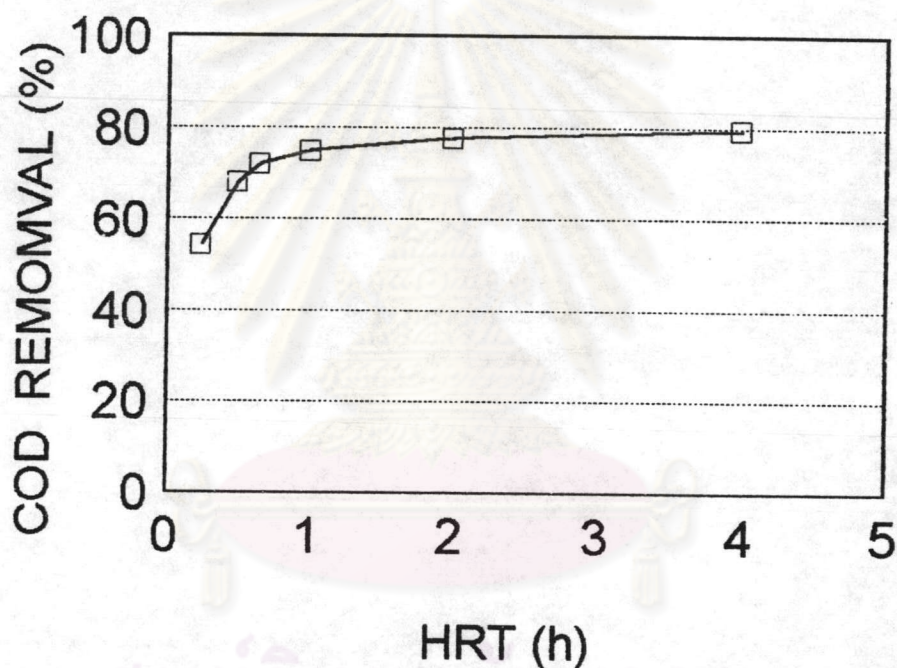
ตารางที่ 4.8 ตรรษนี้ต่างๆของน้ำกากส่าจากระบบเคมีไฟฟ้าที่เวลาเก็บกักต่างๆ

หมายเลข	1	2	3	4	5	6	7
HRT (ชม.)	4	2	1	0.66	0.5	0.25	inf.
OD <sub>475</sub>	0.030	0.042	0.054	0.090	0.126	0.290	0.888
COD (มก./ล.)	2200	2399	2704	3020	3448	4926	10815
TS (มก./ล.)	5420	6470	6350	6260	7820	9040	14200
SS (มก./ล.)	110	120	130	130	180	360	1810
VFA(มก./ล.)	137	120	109	137	105	145	92
ALK(มก./ล.)	1150	1350	1550	1650	1700	2300	3500
Ca (มก./ล.)	0.45	1.8	2.8	5.4	24.6	76	358
Mg (มก./ล.)	0.23	1.8	0.74	3.96	123	134	225
K (มก./ล.)	2478	2499	*	-	-	-	2554
Na (มก./ล.)	1147	1100	*	-	-	-	1080
T °C	52	49	45	42	40	36	28
pH	11.0	10.50	10.15	9.55	9.3	8.8	8.2
Steady state (h.)	3	3	3	3	3	3	-
(%) COD removal	79.65	77.81	74.99	72.07	68.11	54.45	-
(%) color removal	96.62	95.27	93.91	89.90	85.1	67.34	-

\* ไม่ได้วิเคราะห์

#### 4.2.2.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์

ตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.21 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี ที่เวลาเก็บกักต่างๆ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อเวลาเก็บกักยาวนานขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สูงขึ้น โดยที่ HRT 4 ชม. มี % การขจัดซีโอดีเท่ากับ 79.65%

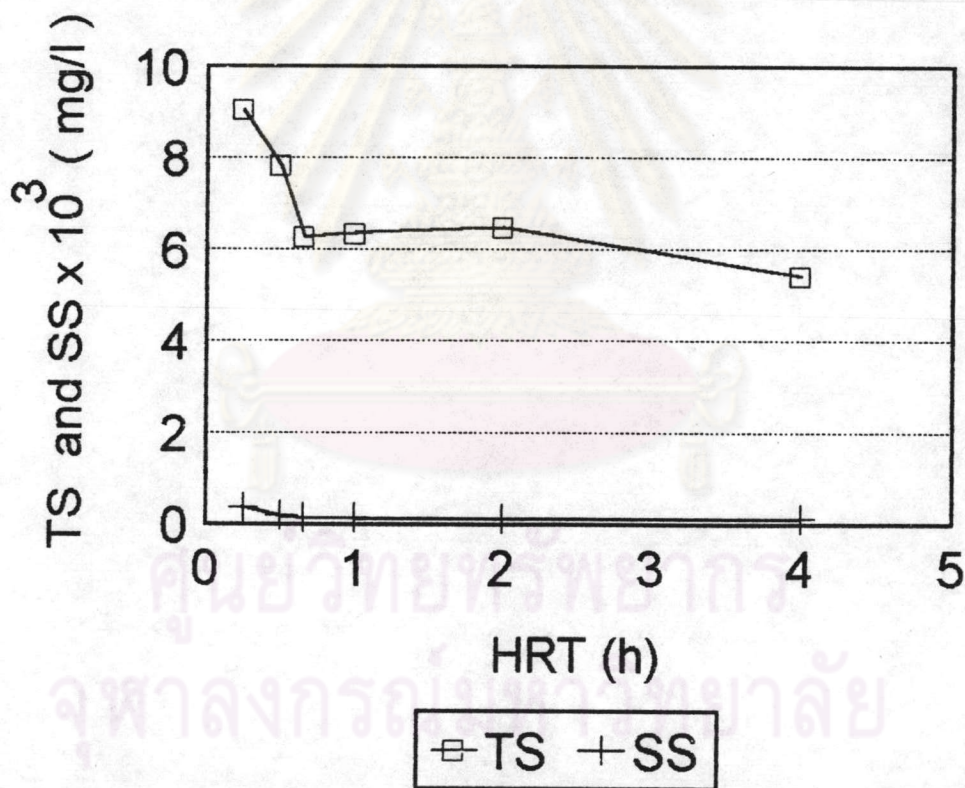


รูปที่ 4.20 ประสิทธิภาพการขจัดซีโอดี ของน้ำกากส่าที่ผ่านระบบบำบัดเคมีไฟฟ้า ที่เวลาเก็บกักต่างๆ

#### 4.2.2.3 ปริมาณของแข็งแขวนลอย และของแข็งทั้งหมด

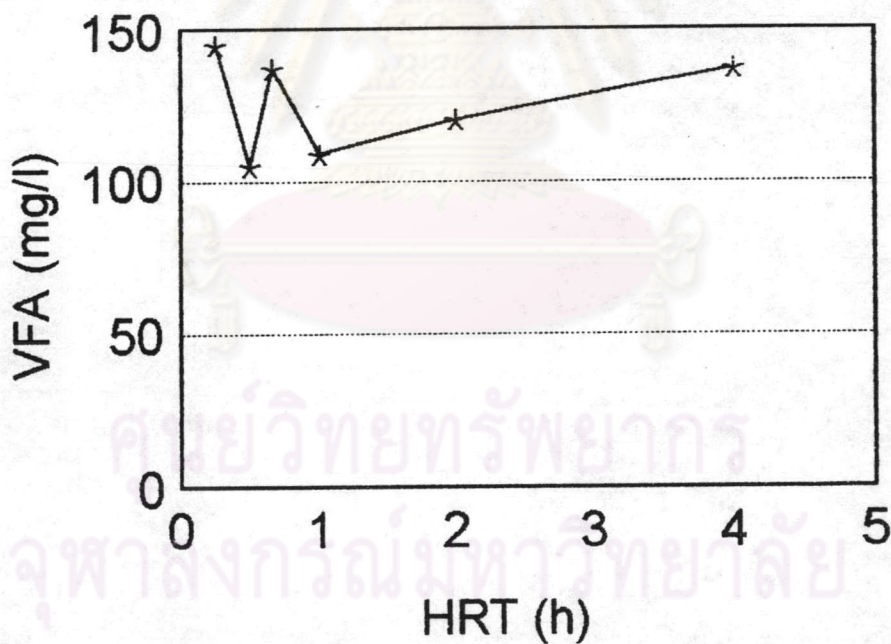
จาก ตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.21 แสดงปริมาณของแข็งแขวนลอยและของแข็ง ทั้งหมดที่เวลาเก็บกักต่างๆ โดยน้ำกากส่าก่อนเข้าระบบมี SS 1,810 มก./ล. และ TS 14,200 มก./ล. ส่วนน้ำกากส่าเมื่อออกจากระบบในส่วนใสซึ่งตั้งทิ้งไว้

1 ชม. พบว่ามีค่า SS 110-360 มก./ล. และ TS 5,420-9,040 มก./ล. ค่ามวลประสิทธิภาพการลดสารแขวนลอย โดยระบบเคมีไฟฟ้าอยู่ในช่วง 93.92% - 80.11% โดยประสิทธิภาพลดต่ำลงเมื่อเวลาเก็บกักลดลง และค่ามวลประสิทธิภาพการลดของแข็งทั้งหมดจะอยู่ในช่วง 61.83% - 36.33% ในช่วงการทดลองจำเป็นต้องมีการกวนตะกอนของสารประกอบที่เกิดจากเหล็ก และสี melanoidin ตลอดเวลา มิฉะนั้นตะกอนจะนอนก้นถึงปฏิกิริยา



รูปที่ 4.21 ของแข็งแขวนลอยและของแข็งทั้งหมดในน้ำกากส่าที่ผ่านระบบเคมีไฟฟ้าที่เวลาเก็บกักต่าง ๆ

4.2.2.4 ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย (VFA) จากตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.22 แสดงปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย (VFA) ในน้ำกากส่าเมื่อผ่านระบบบำบัดเคมีไฟฟ้าที่เวลาเก็บกักต่าง ๆ โดยปริมาณกรดอินทรีย์อยู่ในช่วง 94-145 มก./ล. ซึ่งสูงขึ้นเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกรดอินทรีย์ในน้ำกากส่าก่อนเข้าระบบ ซึ่งมีค่าประมาณ 92 มก./ล. ค่าที่สูงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยของกรดอินทรีย์ อาจเนื่องมาจากเกิดการย่อยสลายในช่วงก่อนนำไปทดลอง

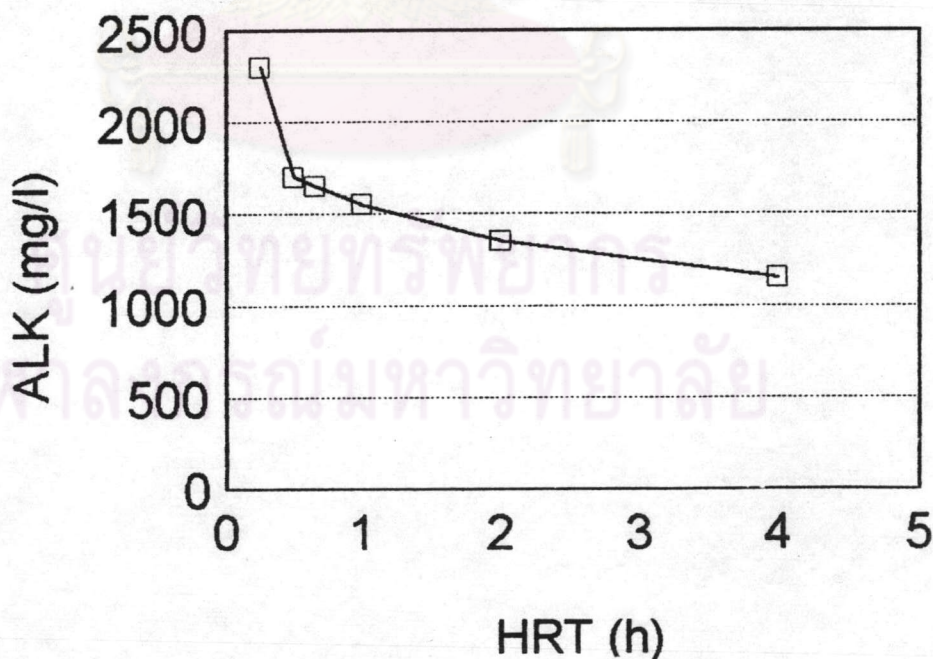
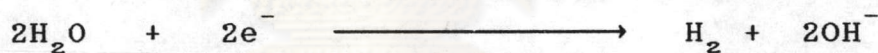


รูปที่ 4.22 ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย (VFA) ในน้ำกากส่าที่ผ่านระบบเคมีไฟฟ้าที่เวลาเก็บกักต่าง ๆ

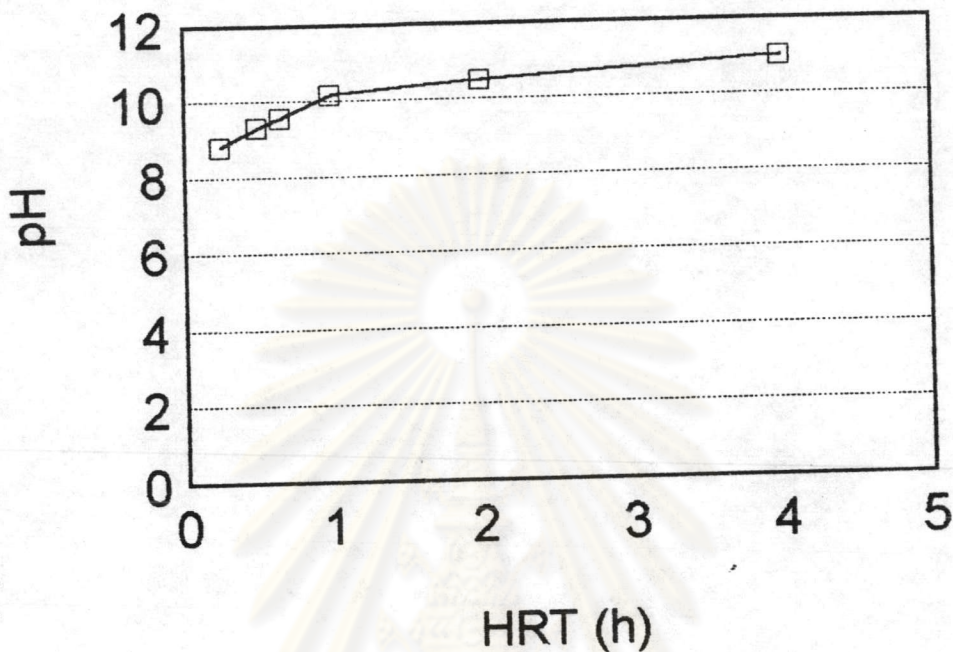


4.2.2.5 ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) จากตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.23 แสดงค่าความเป็นด่างของน้ำกากส่าที่ผ่านระบบบำบัดเคมีไฟฟ้าที่เวลาเก็บกักต่างๆ โดยพบว่าค่าความเป็นด่างน้ำกากส่าก่อนบำบัดเคมีไฟฟ้ามีค่า 3,500 มก./ล. ค่าความเป็นด่างลดต่ำลงเมื่อผ่านการบำบัดเคมีไฟฟ้า โดยลดต่ำลงเมื่อระยะเวลาเก็บกักยาวนานขึ้น ค่าความเป็นด่างของน้ำกากส่าเกิดจากไบคาร์บอเนต (bicarbonate) ที่เกิดจากขั้นตอนการหมัก เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดเหล็กไฮดรอกไซด์ (iron hydroxide) จึงไปทำลายไบคาร์บอเนต ทำให้ค่าความเป็นด่างลดต่ำลง

4.2.2.6 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) จากตาราง 4.8 และรูปที่ 4.24 น้ำกากส่าก่อนเข้าระบบมีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 8.2 เมื่อผ่านระบบไฟฟ้าแล้วพบว่ามีความเป็นกรดเป็นด่างสูงเพิ่มขึ้นเป็น 8.8-11 เมื่อเวลาเก็บกักยาวนานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิสจะเกิดไฮดรอกไซด์ ที่ขั้วตามปฏิกิริยา



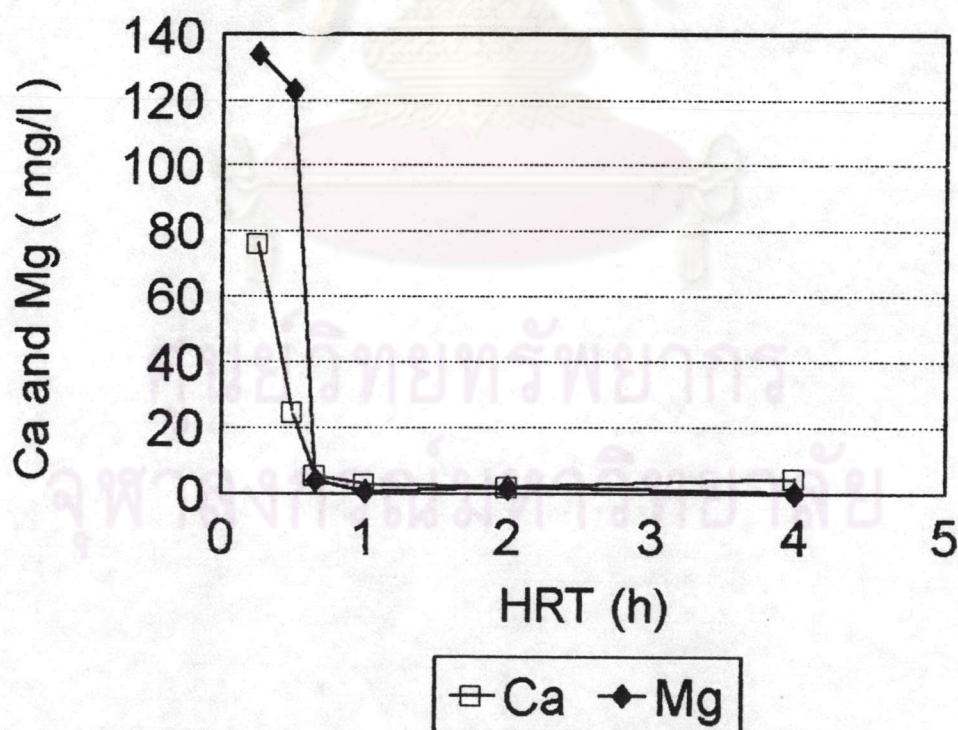
รูปที่ 4.23 ปริมาณความเป็นด่างในน้ำกากส่าที่ผ่านระบบเคมีไฟฟ้า ที่เวลาเก็บกักต่างๆ



รูปที่ 4.24 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ในน้ำกากส่าที่ผ่านระบบเคมีไฟฟ้า  
ที่เวลาเก็บกักต่างๆ

การที่ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นได้เนื่องจากการใช้โลหะเหล็กเป็นขั้วไฟฟ้าลบ (Mendia, 1982) การทดลองครั้งนี้มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงสุดคือ 11 และที่ค่าความเป็นด่าง 1,150 มก./ล. โดยน้ำกากส่าก่อนเข้าระบบมีค่าความเป็นด่าง 3,500 มก./ล. ซึ่งปกติความเป็นด่างควรจะสูงขึ้นเมื่อ pH สูงขึ้น การที่ผลทดลองเป็นเช่นนั้นเนื่องจาก buffering capacity ที่เกิดจากไบคาร์บอเนต ( $\text{HCO}_3^{-1}$ ) ได้ถูกทำลายเมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าอนุมูล  $\text{HCO}_3^{-1}$  ถูกเปลี่ยนเป็น  $\text{CO}_3^{-2}$  เมื่อ pH เป็น 10 บางส่วนจะตกตะกอนเป็น  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{MgCO}_3$  โดย (กรรณิการ์ ลิริสิงห์, 2525) ได้สรุปว่าเมื่อหาค่าความเป็นด่างปริมาณกรดที่ไตเตรท จะใช้น้อยลง เนื่องจากไม่มี buffer ( $\text{HCO}_3$ ) มาสมมูลกับกรด ดังนั้นเมื่อ pH น้ำกากส่าที่ออกจากระบบเพิ่มขึ้นเป็น 11 ความเป็นด่างกลับลดลง ดังรูปที่ 4.23 รูปที่ 4.24 และตารางที่ 4.8

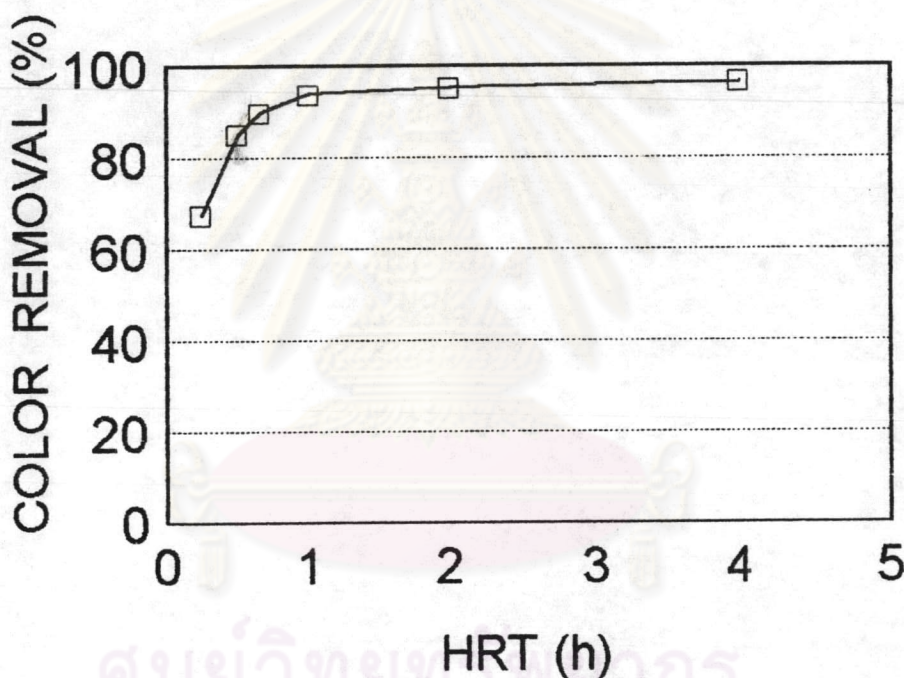
4.2.2.7 ปริมาณโลหะชนิดต่างๆ จากตาราง 4.8 และรูปที่ 4.25 อะตอมโลหะวาเลนซ์ 1 ของน้ำากาส่งก่อนเข้าระบบเคมีไฟฟ้า มี K 2,554 มก./ล. และ Na 1,080 มก./ล. ส่วนน้ำากาส่งเมื่อผ่านระบบเคมีไฟฟ้ามีค่า K เท่ากับ 2,478 มก./ล. และ Na 1,147 มก./ล. แสดงว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของอะตอมโลหะวาเลนซ์ 1 เกิดขึ้น ส่วนอะตอมโลหะวาเลนซ์ 2 ในส่วนน้ำากาส่งก่อนเข้าระบบมีปริมาณ Ca 358 มก./ล. และ Mg 225 มก./ล. เมื่อผ่านระบบเคมีไฟฟ้า พบว่าปริมาณ Ca และ Mg ลดลงอย่างมาก โดยปริมาณ Ca เหลือเพียง 4.5 มก./ล. และ Mg 0.23 มก./ล. ที่ HRT 4 ชม. โดยปริมาณ Ca และ Mg ลดต่ำลงเมื่อเวลาเก็บกักเพิ่มขึ้น การลดลงของ Ca และ Mg เนื่องจากค่าความเป็นกรดต่างของน้ำากาส่งที่ผ่านระบบเคมีไฟฟ้าสูงชันกว่า 10 เมื่อเวลาเก็บกักเกินกว่า 0.66 ชม. ทำให้ Ca และ Mg ตกตะกอนเป็น  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{MgCO}_3$  และ  $\text{Mg(OH)}_2$  ตามเหตุผลที่อธิบายมาแล้ว



รูปที่ 4.25 ปริมาณโลหะชนิดต่างๆในน้ำากาส่งที่ผ่านระบบเคมีไฟฟ้า ที่เวลาเก็บกักต่างๆ

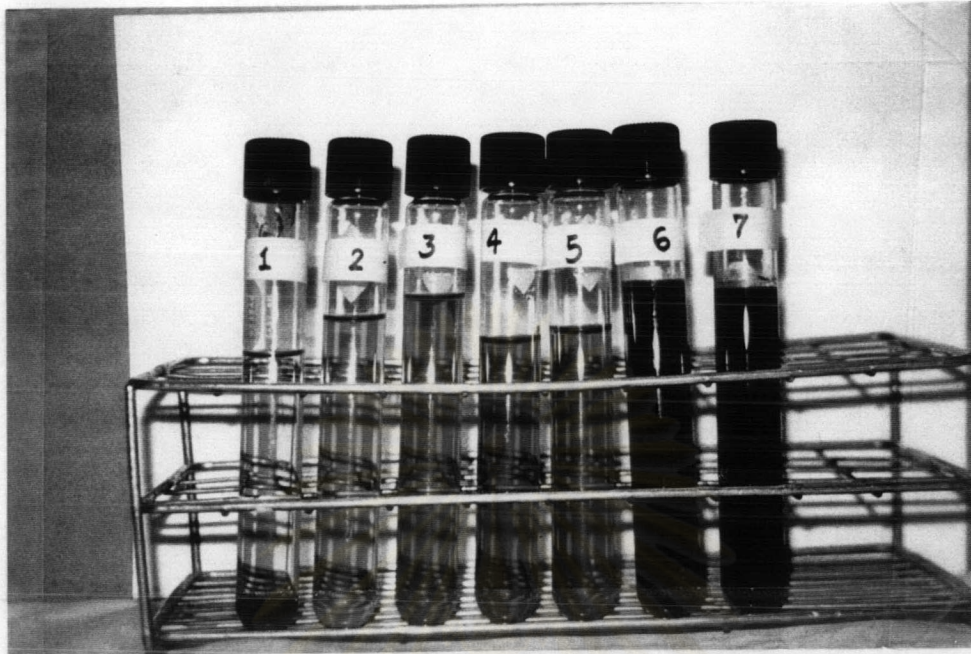
#### 4.2.2.8 ประสิทธิภาพในการขจัดสี (Colour Removal (%))

ดังที่ได้กล่าวแล้วในวิธีการวิเคราะห์ที่ 3 การวิเคราะห์สีใช้วิธีวัดค่าค่าดูดกลืนแสง ที่ 475 นาโนเมตร สามารถเปรียบเทียบได้ตลอดช่วงเวลาที่เก็บกักที่ทดลอง รูปที่ 4.26 และตารางที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีที่เวลาเก็บกักต่างๆ (ที่สภาวะคงที่) โดยประสิทธิภาพการกำจัดสีเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเวลาเก็บกักยาวนานขึ้น โดยประสิทธิภาพการกำจัดสีไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเวลาเก็บกักยาวนานกว่า 0.5 ชม. รูปที่ 4.27 แสดงภาพถ่ายสีของน้ำากาส่งที่เวลาเก็บกักต่างๆ

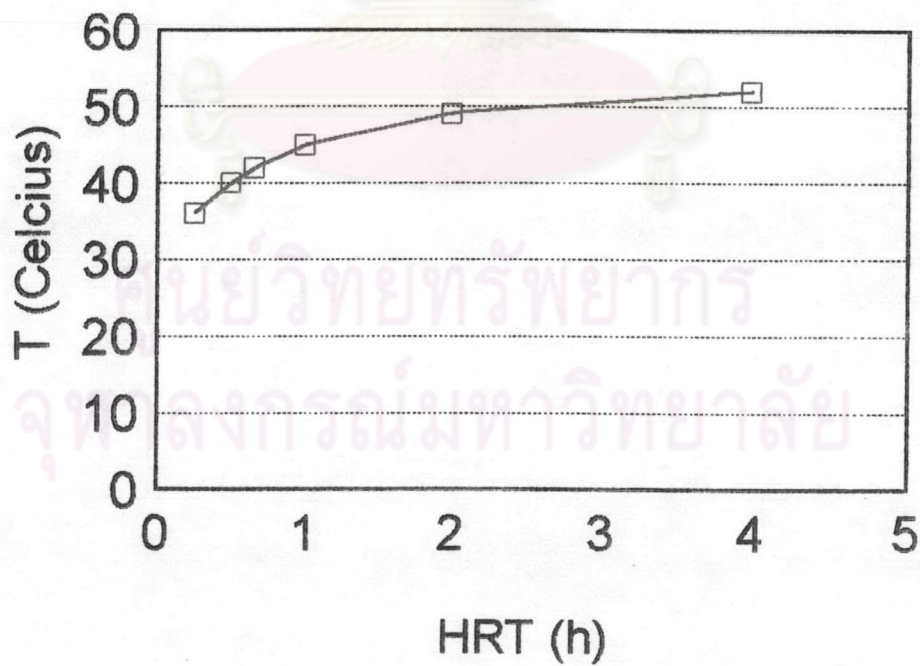


รูปที่ 4.26 ประสิทธิภาพในการขจัดสี (% colour removal) ในน้ำากาส่งที่ผ่านระบบบำบัดเคมีไฟฟ้าที่เวลาเก็บกักต่างๆ

4.2.2.9 อุณหภูมิ (temperature) จากตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.27 อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามเวลาเก็บกักที่เพิ่มขึ้น อุณหภูมิของน้ำทิ้งที่อยู่ในระบบเคมีไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้รับและระยะเวลาเก็บกัก แต่ในหัวข้อนี้กระแสไฟฟ้าคงที่ตลอด คือ 30 แอมแปร์ จากอุณหภูมิน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบเคมีไฟฟ้า  $28^{\circ}\text{C}$  ที่เวลาเก็บกัก 4 ชั่วโมง อุณหภูมิสูงสุด  $52^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบสี ( $OD_{475}$ ) ของน้ำกากส่าในระบบเคมีไฟฟ้าที่ระยะเวลาเก็บกักต่างๆ (รายละเอียดของหมายเลขต่างๆอยู่ที่ตาราง 4.8)



รูปที่ 4.28 อุณหภูมิของน้ำกากส่าในระบบเคมีไฟฟ้าที่เวลาเก็บกักต่างๆ

4.2.2.10 เวลาเก็บกักที่เหมาะสม ในการพิจารณาเวลาเก็บกักที่เหมาะสมควรเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสี จากรูปที่ 4.26 จะเห็นว่าเมื่อเวลาเก็บกักยาวนานกว่า 1 ชม. ประสิทธิภาพการกำจัดสีเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นจึงควรเลือกเวลาเก็บกักที่เหมาะสม 0.66 ชม. ซึ่งมีประสิทธิภาพการขจัดสีสูงถึง 89.9 % ถ้าเลือกเวลาเก็บกักยาวนานกว่านี้จะทำให้ระบบบำบัดเคมีไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ขึ้นและค่าก่อสร้างระบบสูงขึ้น

#### 4.2.3 ผลการทดลองของระบบเคมีไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าต่างๆ

ในการทดลองที่อัตราการไหล 6 ลิตร/ชม. มีเวลาเก็บกัก 0.66 ชม. ปรับความต่างศักย์ให้ได้ 2.1 โวลต์ แล้วทำการปรับจำนวนแผ่นขั้วไฟฟ้าซึ่งแสดงโดยกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นตามสัดส่วนของจำนวนแผ่นขั้วไฟฟ้า ทั้งนี้เมื่อเพิ่มจำนวนแผ่นขั้วไฟฟ้าจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ ซึ่งจะทำให้จำนวนอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นตามสัดส่วน แต่ความหนาแน่นกระแสจะใกล้เคียงประมาณ  $21 \text{ mA/cm}^2$  ดังแสดงในตาราง 4.9 ตารางที่ 4.10 แสดงข้อมูลการทดลองและประสิทธิภาพของระบบเคมีไฟฟ้า โดยรายละเอียดจะได้กล่าวต่อไป

ตารางที่ 4.9 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ต่อจำนวนแผ่นขั้วไฟฟ้า

จำนวนแผ่น	10	8	6	4	2
กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	30	24.5	19	12.5	5.5
ความหนาแน่นกระแส มิลลิแอมแปร์/ตร. ซม.	20.83	21.26	21.99	21.70	19.09

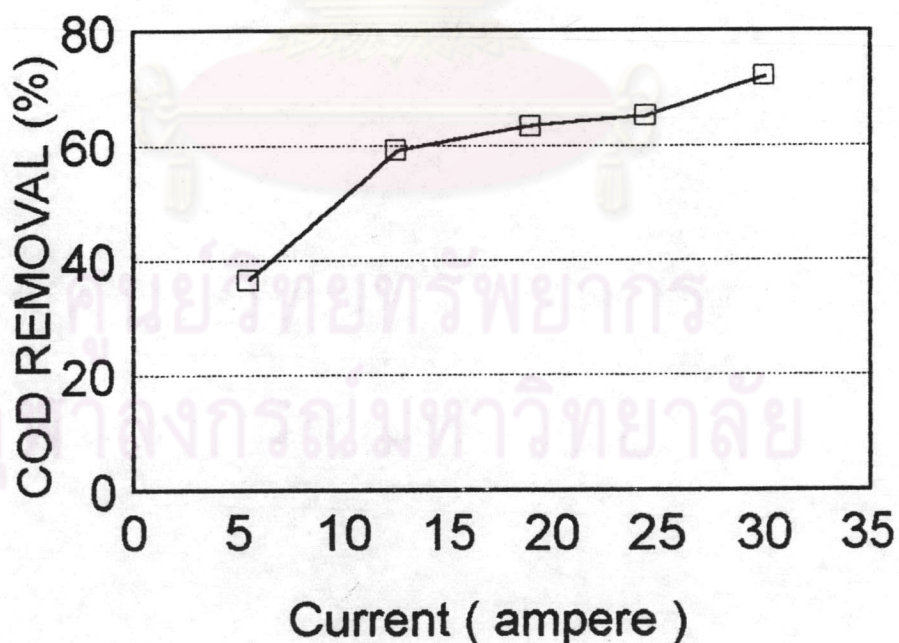
ตารางที่ 4.10 ตรรชนีต่างๆของน้ำกากส่าที่ผ่านระบบเคมีไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) ต่างๆ (เวลาเก็บกักคงที่ 0.66 ชม.)

กระแสไฟฟ้า แอมแปร์	30	24.5	19	12.5	5.5	inf.
ABS	0.090	0.130	0.170	0.498	0.888	0.888
COD(มก./ล.)	3020	3782	3975	4425	6864	10815
TS (มก./ล.)	6260	7020	9140	9960	12570	14200
SS (มก./ล.)	130	230	260	320	1390	1810
VFA(มก./ล.)	137	131	148	168	110	92
ALK(มก./ล.)	1650	1710	1850	2500	2850	3500
Ca (มก./ล.)	5.4	7.1	45	56	59	358
Mg (มก./ล.)	3.96	7.3	10.93	153.7	239	225
K (มก./ล.)	-	-	-	-	-	2554
Na (มก./ล.)	-	-	-	-	-	1080
T °C	42	37	36	34	31	28
pH	9.55	9.35	9.0	8.7	8.4	8.2
Steady state (h.)	3	3	3	3	3	3
(%) COD removal	72.07	65.03	63.24	59.08	36.56	-
(%) color removal	89.90	85.26	80.0	43.91	0.0	-

4.2.3.1 ระยะเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงที่ ระยะเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงที่จะทราบได้จากการที่วัด  $OD_{475}$  (ค่าดูดกลืนแสง) คงที่ การทดลองครั้งนี้พบว่า  $OD_{475}$  จะคงที่ ชม.ที่ 3 ไม่ว่าจะค่ากระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ตามตารางที่ ค.9 ในภาคผนวก ค

#### 4.2.3.2 ประสิทธิภาพในการขจัดซีโอดี (%COD removal)

จากตาราง 4.10 และรูปที่ 4.29 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี โดยประสิทธิภาพการขจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพการขจัดซีโอดีสูงสุด 72.07 % ที่ค่ากระแสไฟฟ้า 30 แอมแปร์ การลดลงของค่าซีโอดีเกิดจากขบวนการ Coagulation & Flocculation โดยเหล็กออกไซด์เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าตะกอนเหล็กออกไซด์นี้จะไปจับสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย ส่วนการลดสารอินทรีย์ที่เกิดจากปฏิกิริยา Oxidation นั้นกล่าวได้ว่ามีน้อยกว่า ซึ่งได้ถูกกล่าวในงานวิจัยของ (นส.กัญหมาส สุทธิเรืองวงศ์, 2538)

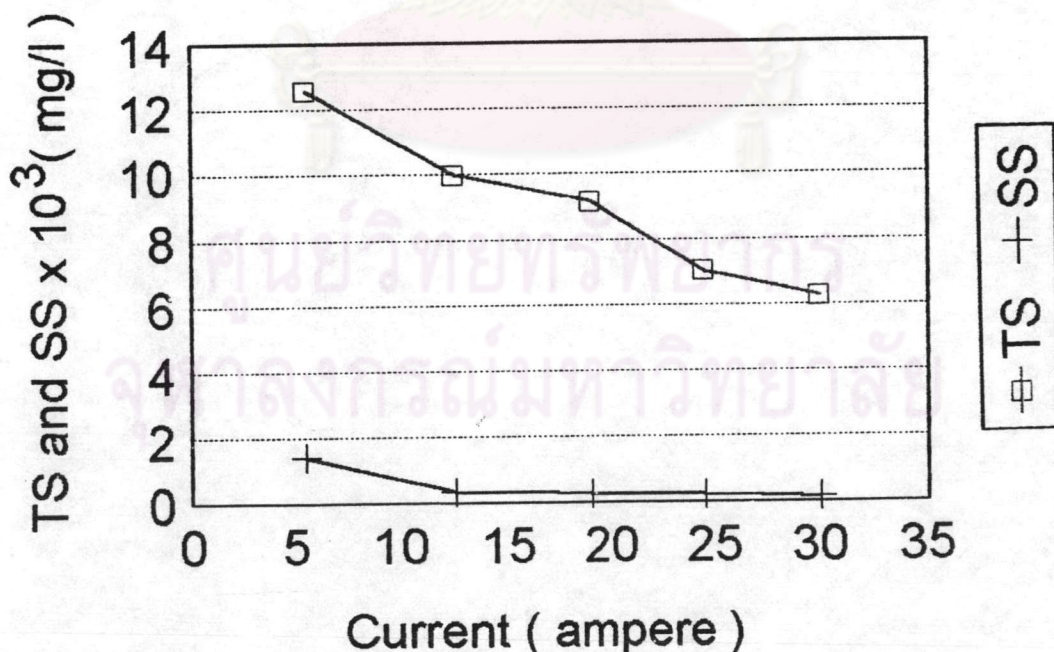


รูปที่ 4.29 ประสิทธิภาพในการขจัดซีโอดี ในน้ำกากส่าที่ผ่านระบบบำบัดเคมีไฟฟ้า ที่ค่ากระแสไฟฟ้าต่างๆ และเวลาเก็บกักคงที่ 0.66 ชม.



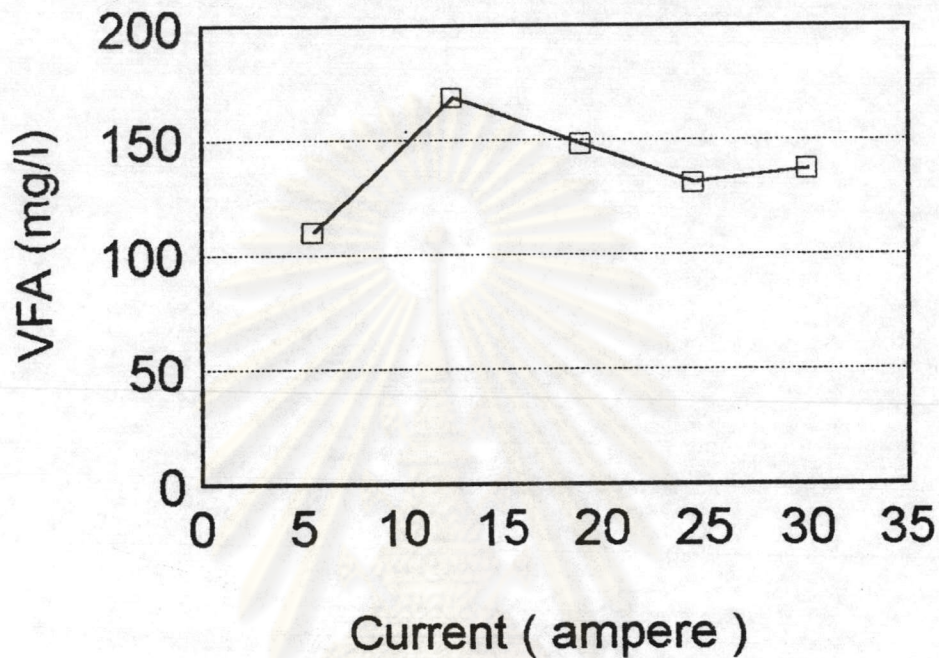
4.2.3.3 ปริมาณของแข็งแขวนลอยและของแข็งทั้งหมด จากตาราง 4.10 และรูปที่ 4.30 แสดงปริมาณของแข็งแขวนลอยและของแข็งทั้งหมดที่ค่ากระแสไฟฟ้าต่างๆ โดยน้ำกากส่าก่อนเข้าระบบ มี SS 1,810 มก./ล. และ TS 14,200 มก./ล. ส่วนน้ำกากส่าออกจากระบบมี SS และ TS ลดลงอย่างต่อเนื่อง และมี SS ต่ำสุด 130 มก./ล. และ TS ต่ำสุด 6,260 มก./ล. ที่กระแสไฟฟ้า 30 แอมแปร์ มีประสิทธิภาพการกำจัด TS และ SS 55.91% และ 92.81% ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพการลดลงของแข็งแขวนลอยและของแข็งทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น อนึ่งการลดลงอย่างสูงของปริมาณของแข็งแขวนลอยซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของค่าซีไอดีและสี จึงกล่าวสรุปได้ว่าของแข็งแขวนลอยในน้ำกากส่าส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์และเป็นสารที่ก่อให้เกิดสี

4.2.3.4 ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย จากตาราง 4.10 และรูปที่ 4.31 แสดงปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย (VFA) ในน้ำกากส่าที่ผ่านระบบบำบัดเคมีไฟฟ้าที่ค่ากระแสไฟฟ้าต่างๆ โดยปริมาณกรดอินทรีย์อยู่ในช่วง 110-148 มก./ล. ซึ่งสูงชันเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยในน้ำกากส่าก่อน



รูปที่ 4.30 ปริมาณของแข็งแขวนลอยและของแข็งทั้งหมดในน้ำกากส่าที่ผ่านระบบบำบัดเคมีไฟฟ้าที่ค่ากระแสไฟฟ้าต่างๆ และเวลาเก็บกักคงที่ 0.66 ชม

เข้าระบบซึ่งมีค่าประมาณ 92 มก./ล. ค่าที่สูงขึ้นเล็กน้อยของกรดอินทรีย์ระเหย เกิดจากย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียสร้างกรดในถังก่อนสูบลำเข้าสู่ระบบเคมีไฟฟ้า

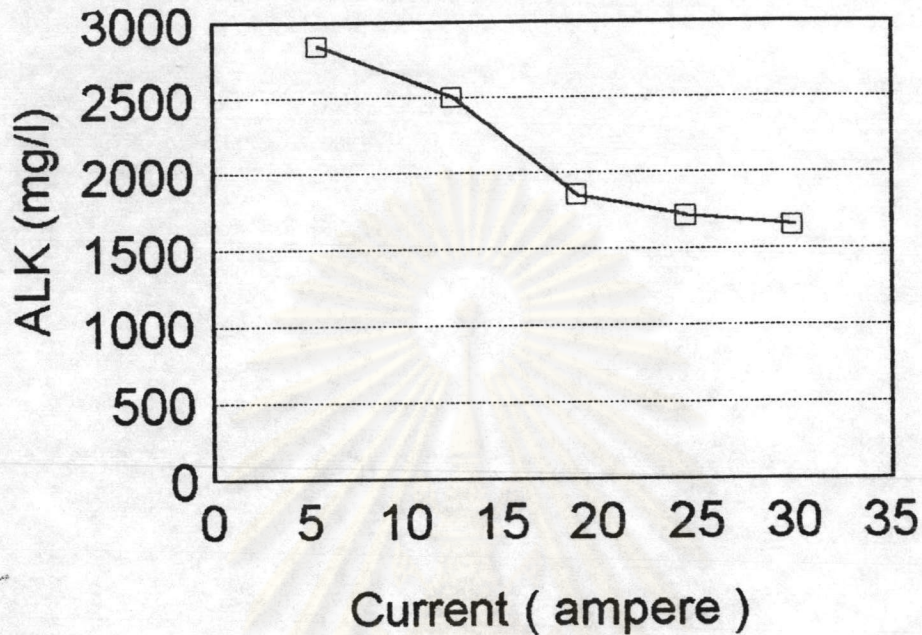


รูปที่ 4.31 ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยในน้ำกากส่าที่ผ่านระบบบำบัดเคมีไฟฟ้า ที่ค่ากระแสไฟฟ้าต่างๆ และเวลาเก็บกักคงที่ 0.66 ชม.

4.2.3.5 ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) จากตาราง 4.10 และรูปที่ 4.32 แสดงค่าความเป็นด่างของน้ำกากส่าที่ผ่านระบบบำบัดเคมีไฟฟ้าที่ค่ากระแสไฟฟ้าต่างๆ โดยพบว่า ค่าความเป็นด่างน้ำกากส่าก่อนบำบัดเคมีไฟฟ้ามีค่า 3,500 มก./ล. ค่าความเป็นด่างลดต่ำลง เมื่อผ่านการบำบัดเคมีไฟฟ้าโดยลดต่ำลงเมื่อค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เหตุผลอธิบายได้เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.2.2.5

4.2.3.6 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) จากตาราง 4.10 และรูปที่ 4.33 น้ำกากส่าก่อนเข้าระบบมี pH 8.2 ส่วนน้ำกากส่าที่ผ่านระบบบำบัดเคมีไฟฟ้า เมื่อค่าของกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น pH ก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน จากผลการ

ทดลองค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นในขณะที่ค่าความเป็นด่างลดลง สามารถอธิบายเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลง ในหัวข้อ 4.2.2.6



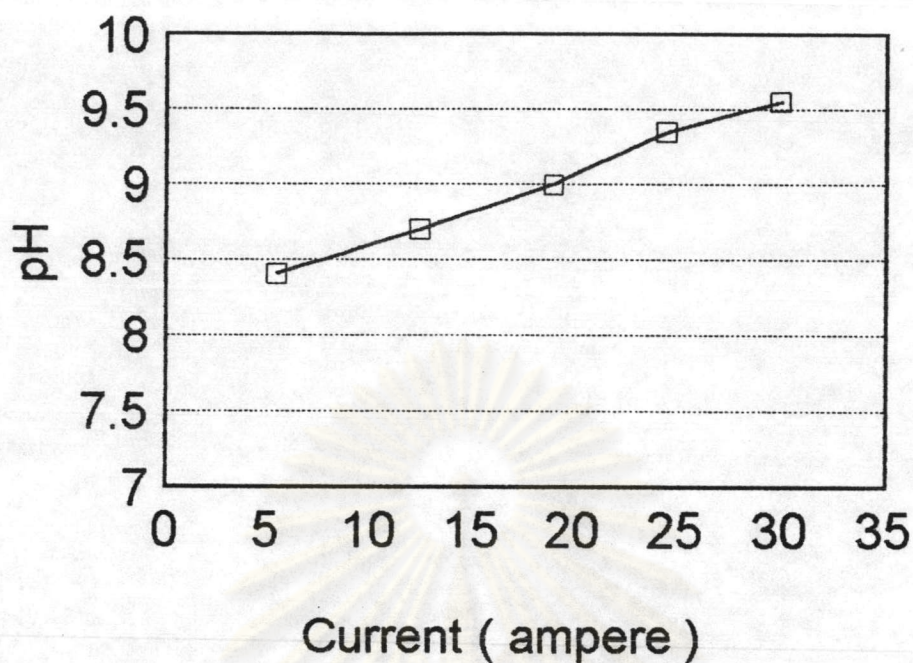
รูปที่ 4.32 ค่าความเป็นด่าง (alkalinity) ในน้ำกากส่าที่ผ่านระบบบำบัดเคมีไฟฟ้าที่ค่ากระแสไฟฟ้าต่างๆ และเวลาเก็บกักคงที่ 0.66 ชม.

#### 4.2.3.7 ประสิทธิภาพในการขจัดสี (% Colour Removal)

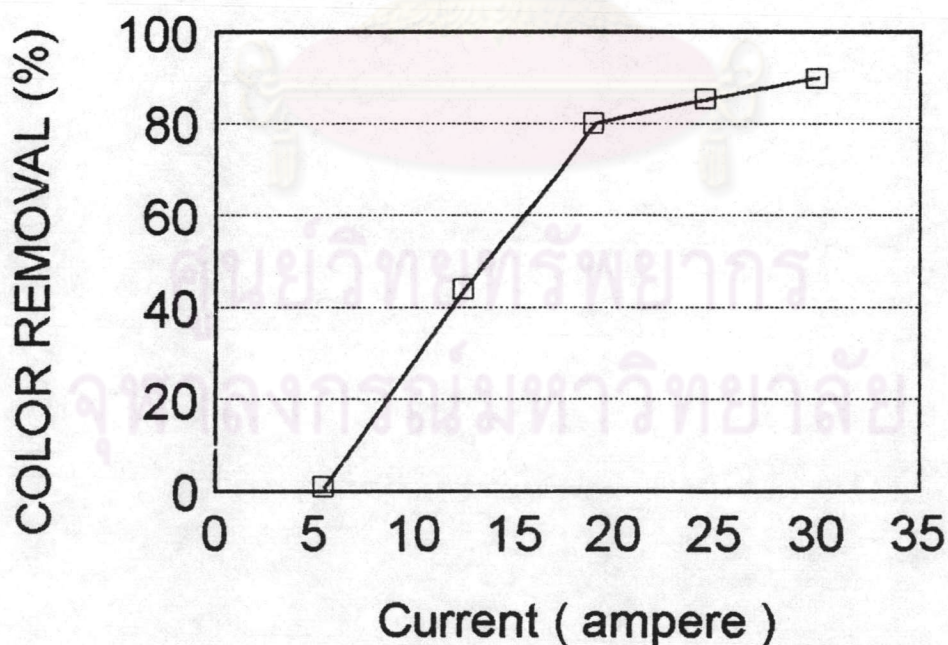
จากตาราง 4.10 และรูปที่ 4.34 น้ำกากส่าที่เข้าสู่ระบบบำบัดเคมีไฟฟ้ามีค่าดูดกลืนแสง 0.888 ส่วนน้ำกากส่าที่ผ่านระบบบำบัดเคมีไฟฟ้า เมื่อกระแสเพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงขึ้น แต่ถ้ากระแสสูงกว่า 20 แอมแปร์ ประสิทธิภาพการกำจัดสีเพิ่มสูงขึ้นแต่ไม่มาก ทั้งนี้เนื่องจากผิวขั้วไฟฟ้าเหล็กมีการเกาะของของแข็งต่างๆทำให้กระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งสูญเสียไป โดยถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ข้อสังเกตได้จากการเพิ่มสูงขึ้นของอุณหภูมิ

#### 4.2.3.8 อุณหภูมิ (Temperature) จากตารางที่ 4.10 และ

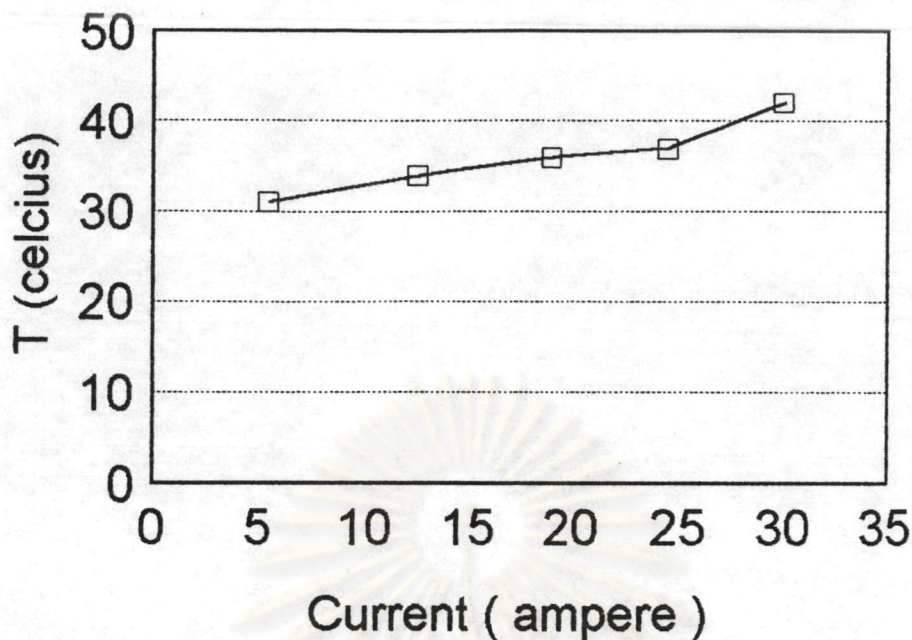
รูปที่ 4.35 อุณหภูมิน้ำกากส่าที่อยู่ในระบบบำบัดเคมีไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น อุณหภูมิน้ำกากส่าที่เข้าสู่ระบบ 28°C ที่กระแสไฟฟ้า 30 แอมแปร์ อุณหภูมิจะสูงสุด 42°C



รูปที่ 4.33 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ในน้ำกากส่าที่ผ่านระบบบำบัดเคมีไฟฟ้า  
ต่างๆ และเวลาเก็บกักคงที่ 0.66 ชม.

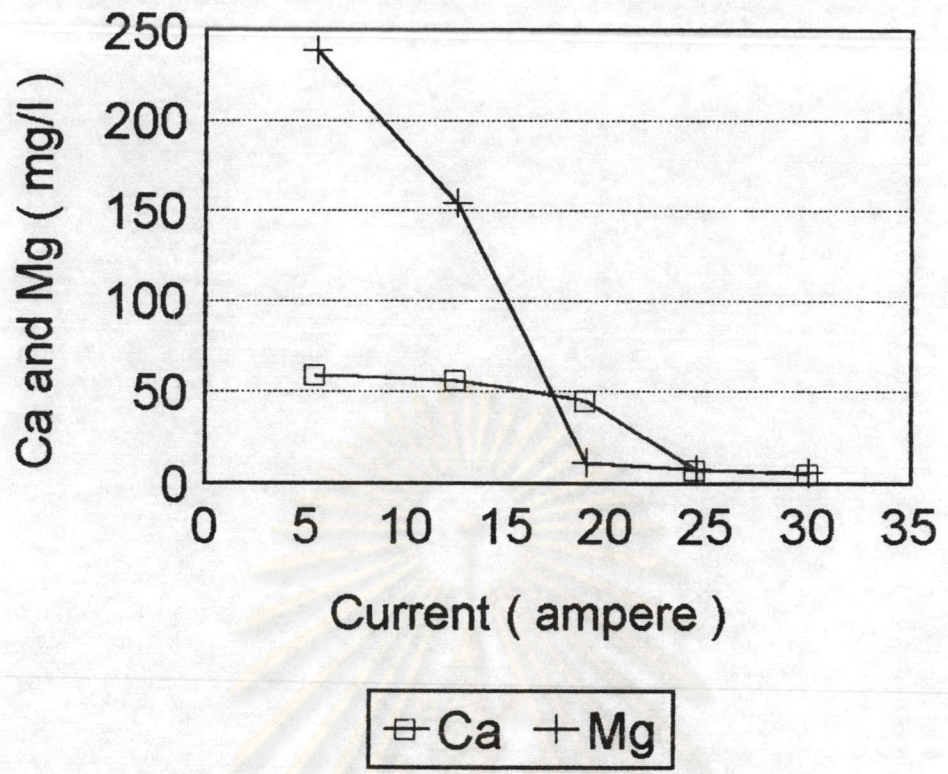


รูปที่ 4.34 ประสิทธิภาพในการขจัดสี (% color removal) ในน้ำกากส่าที่ผ่าน  
ระบบบำบัดเคมีไฟฟ้า ที่ค่ากระแสไฟฟ้า และเวลาเก็บกักคงที่ 0.66 ชม.



รูปที่ 4.35 อุณหภูมิของน้ำกากส่าในระบบบำบัดเคมีไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าต่างๆ และเวลาเก็บกักคงที่ 0.66 ชม.

4.2.3.9 ปริมาณโลหะชนิดต่างๆ จากตาราง 4.10 อะตอมโลหะวาเลนซี 1 คือ K และ Na ในน้ำกากส่าก่อนเข้าระบบบำบัดเคมีไฟฟ้า และน้ำกากส่าที่ผ่านระบบบำบัดเคมีไฟฟ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่า K และ Na เช่นเดียวกับในหัวข้อ 4.2.2.7 ส่วนอะตอมโลหะวาเลนซี 2 ในน้ำกากส่าก่อนเข้าระบบบำบัดเคมีไฟฟ้ามีปริมาณ Ca 3,358 มก./ล. และ Mg 225 มก./ล. เมื่อผ่านระบบบำบัดเคมีไฟฟ้า Ca จะลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มจาก 5.5 แอมแปร์ เป็น 19 แอมแปร์ Mg จะลดลงเล็กน้อยแต่เมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มจาก 19 แอมแปร์ เป็น 30 แอมแปร์ Ca และ Mg จะลดลงอย่างรวดเร็ว เหลือ Ca 5.4 มก./ล. และ Mg 3.96 มก./ล. (รูปที่ 4.36) เหตุผลที่ใช้อธิบายในหัวข้อนี้จะเหมือนกับในหัวข้อ 4.2.2.7



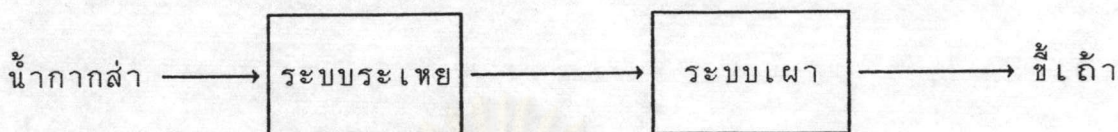
รูปที่ 4.36 การเปลี่ยนแปลงโลหะชนิดต่างๆในน้ำอากาศที่ผ่านระบบบำบัดเคมีไฟฟ้า ที่ค่ากระแสไฟฟ้าต่างๆ และเวลาเก็บกักคงที่ 0.66 ชม.

4.2.3.10 สภาวะเหมาะสมของระบบบำบัดเคมีไฟฟ้า จากผลการทดลองแรกได้สรุปว่าสภาวะเก็บกักที่เหมาะสม 0.66 ชม. จากผลการทดลองย่อยที่สอง สามารถสรุปได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมควรเลือก 19 แอมแปร์ ทั้งนี้เนื่องจากถ้าเพิ่มกระแสไฟฟ้าสูงกว่านี้ ประสิทธิภาพการกำจัดสีเพิ่มขึ้นไม่มาก (รูปที่ 4.34) ที่กระแสไฟฟ้า 19 แอมแปร์และเวลาเก็บกัก 0.66 ชม.นี้ ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอติสูงถึง 80% และ 63.2% ตามลำดับ

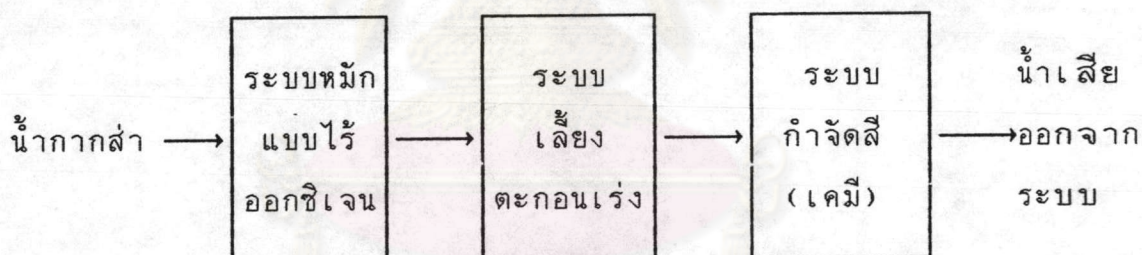
4.3 ประเมินความเหมาะสมระบบบำบัดชีวภาพ-เคมี

ระบบบำบัดน้ำอากาศที่ใช้ในปัจจุบันอาจสรุปได้มี 3 รูปแบบดังนี้

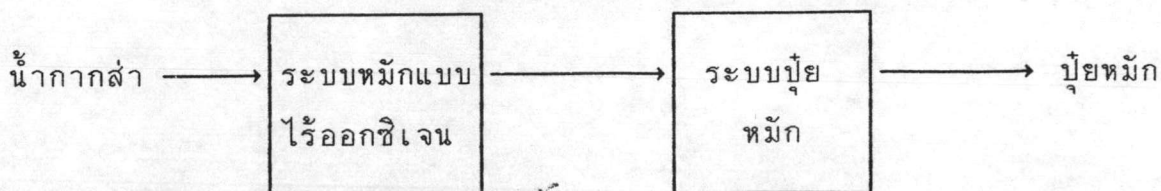
ก. ระบบเผา (Incineration) ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบสูง ค่าดำเนินการสูง มีปัญหาเรื่องมลภาวะอากาศ



ข. ระบบหมักแบบไร้ออกซิเจน + ระบบเลี้ยงตะกอนเร่ง + ระบบกำจัดสี(เคมี) ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบสูง ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง เฉพาะค่าสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดสีประมาณ 50-100 บาทต่อ  $m^3$  ของน้ำกากส่า



ค. ระบบหมักแบบไร้ออกซิเจน + ระบบบ่มหมัก ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบต่ำ ต้องใช้บริเวณมาก มีปัญหาเรื่องวัตถุดิบ(ชานอ้อย ฯลฯ) ขาดแคลนและราคาสูง นอกจากนี้ยังไม่สามารถปฏิบัติได้ในช่วงฤดูฝน



ส่วนค่าใช้จ่ายของระบบเคมีไฟฟ้า เมื่อคิดราคาค่ากระแสไฟฟ้าตั้ง  
ต่อไปนี้

ราคารวมช่วง peak load	1.6 บาทต่อกิโลวัตต์/ชม.
ราคาไม่รวมช่วง peak load	0.93 บาทต่อกิโลวัตต์/ชม.
การคำนวณใช้อัตราเงาจากน้ำอากาศ : น้ำประปา	1:4 และ 1:5

เท่า

ที่อัตราการไหล 6 ลิตร/ชม. ความต่างศักย์ 2.1 โวลท์ และกระแส  
ไฟฟ้า 30 แอมแปร์

ราคารวมช่วง peak load	67-84 บาทต่อน้ำอากาศ 1 ม <sup>3</sup>
ราคาไม่รวมช่วง peak load	39-49 บาทต่อน้ำอากาศ 1 ม <sup>3</sup>

ที่อัตราการไหล 6 ลิตร/ชม. ความต่างศักย์ 2.1 โวลท์ และกระแส  
ไฟฟ้า 19 แอมแปร์

ราคารวมช่วง peak load	42-53 บาทต่อน้ำอากาศ 1 ม <sup>3</sup>
ราคาไม่รวมช่วง peak load	25-32 บาทต่อน้ำอากาศ 1 ม <sup>3</sup>

ที่อัตราการไหล 6 ลิตร/ชม. ความต่างศักย์ 2.1 โวลท์ และกระแส  
ไฟฟ้า 19 แอมแปร์ จะเป็นสภาวะเหมาะสมของระบบเคมีไฟฟ้าเพราะระบบยังมี  
ประสิทธิภาพการกำจัดสี และสารอินทรีย์สูง คือ 80% และ 63.2% ตามลำดับ  
และมีค่าใช้จ่ายประมาณ 25-32 บาท/ม<sup>3</sup> ของน้ำอากาศซึ่งต่ำกว่าระบบเคมี

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย