บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย

ในการศึกษานี้ ได้เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำนมถั่วเหลือง 2 แหล่งใหญ่ คือ น้ำเสียจากขั้นตอนการแช่ถั่วเหลืองและน้ำเสียรวมของโรงงาน เพื่อนำมาศึกษาและทดลองหาลักษณะสมบัติของน้ำเสีย จากนั้นจึงพิจารณาเลือกแหล่งน้ำเสียที่มีค่ามลสารต่างๆเจือปนอยู่สูง เพื่อใช้เป็นน้ำเสียตัวอย่างสำหรับการศึกษาและทดลองต่อไป

4.1.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากขั้นตอนการแช่ถั่วเหลือง

จากการตรวจวิเคราะห์ พบว่าลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียจากขั้นตอนการแช่ถั่วเหลืองจะมีสีขาวขุ่นอมเหลือง มีกลิ่นฉุน และเมื่อนำมาวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี พบว่า พีเอชของน้ำเสียมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.28 ซึ่งค่อนข้างเป็นกลาง ปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีมีค่าเฉลี่ยสูงเท่ากับ 9,741 มก/ล ปริมาณไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 373 มก/ล คิดเป็นปริมาณโปรตีนเท่ากับ 2,331.3 มก/ล แสดงว่าน้ำเสียจากขั้นตอนการแช่ถั่วเหลืองมีปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของโปรตีนค่อนข้างต่ำ(23.9%)โดยสารอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นสารคาร์โบไฮเดรท ปริมาณของแข็งในรูปทีเอสเอสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4,766 มก/ล และปริมาณตะกอนหนักมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3,088 มก/ล รายละเอียดลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากขั้นตอนการแช่ถั่วเหลืองได้แสดงในตารางที่ 4.1

4.1.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียรวม

จากการตรวจวิเคราะห์ พบว่า ลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียรวมจะมีสีขาวขุ่นอมเหลือง มีกลิ่นฉุน แต่ความขุ่นน้อยกว่าน้ำเสียจากขั้นตอนการแช่ถั่วเหลือง และเมื่อนำมาวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี พบว่าค่าพีเอชของน้ำเสียค่อนข้างเป็นกลางโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.84 ปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,439 มก/ล ปริมาณไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็นมีค่าเฉลี่ย

เท่ากับ 142 มก/ล คิดเป็นปริมาณโปรตีนค่อนข้างต่ำเท่ากับ 887.5 มก/ล ปริมาณของแข็งในรูปทีเอสเอสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,491 มก/ล และปริมาณตะกอนหนักมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,010 มก/ล ซึ่งรายละเอียดลักษณะสมบัติของน้ำเสียรวมได้แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากขั้นตอนการแช่ถั่วเหลือง

การวิเคราะห์ตัวอย่างครั้งที่	พีเอช	ซีโอดี (มก/ล)	ทีเคเอ็น (มก/ล)	ทีเอสเอส (มก/ล)	ตะกอนหนัก (มก/ล)
1	6.90	9,200	350	4,360	3,090
2	7.05	9,000	340	4,529	3,336
3	7.05	9,400	342	4,360	3,197
4	7.10	9,400	350	4,541	3,129
5	7.10	9,200	353	4,579	3,243
6	7.55	9,750	378	4,792	3,298
7	7.20	9,600	364	4,775	3,293
8	7.15	9,800	370	4,780	3,271
9	7.18	9,860	375	4,775	3,245
10	7.21	9,780	379	4,789	3,317
11	7.11	9,820	370	4,822	3,393
12	7.18	9,760	365	4,677	3,292
13	7.21	9,840	360	4,798	3,466
14	7.17	9,640	365	4,480	3,160
15	7.26	9,710	380	4,595	3,197
16	7.28	9,840	368	4,756	3,269
17	7.24	9,880	372	4,825	3,040
18	7.35	9,820	368	4,820	3,168
19	7.38	9,780	382	4,795	2,940
20	7.45	9,840	372	4,840	2,875
21	7.45	9,800	370	4,810	2,645

ตารางที่ 4.1 ต่อ

การวิเคราะห์ตัวอย่างครั้งที่	พีเอช	ซีโอดี (มก/ล)	ทีเคเอ็น (มก/ล)	ทีเอสเอส (มก/ล)	ตะกอนหนัก (มก/ล)
22	7.12	9,880	375	4,865	2,800
23	6.80	9,950	388	4,916	2,787
24	7.65	9,890	382	4,895	2,730
25	7.35	9,920	386	4,912	2,856
26	7.85	9,920	385	4,875	2,893
27	7.45	9,840	379	4,850	3,046
28	7.65	9,920	395	4,937	2,978
29	7.45	9,950	398	4,958	3,070
30	7.15	9,900	388	4,892	2,944
31	7.46	9,980	395	4,987	2,997
32	7.56	9,900	393	4,928	2,876
ค่าเฉลี่ย	7.28	9,741	373	4,766	3,088
ค่าเบี่ยงเบน	0.22	237.73	14.83	163.66	207.44

ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียรวม

การวิเคราะห์ตัวอย่างครั้งที่	พีเอช	ซีโอดี (มก/ล)	ทีเคเอ็น (มก/ล)	ทีเอสเอส (มก/ล)	ตะกอนหนัก (มก/ล)
1	7.82	1,314	122	1,246	834
2	7.65	1,215	118	1,553	1,124
3	8.21	1,568	160	1,788	1,232
4	7.75	1,256	166	1,698	1,220
5	8.15	1,622	142	1,542	984
6	8.35	1,596	136	1,265	808
7	7.86	1,422	108	1,388	931

ตารางที่ 4.2 ต่อ

การวิเคราะห์ตัวอย่างครั้งที่	พีเอช	ซีโอดี (มก/ล)	ทีเคเอ็น (มก/ล)	ทีเอสเอส (มก/ล)	ตะกอนหนัก (มก/ล)
8	8.25	1,496	148	1,476	953
9	7.42	1,528	156	1,558	1,102
10	6.95	1,376	162	1,396	914
ค่าเฉลี่ย	7.84	1,439	142	1,491	1,010
ค่าเบี่ยงเบน	0.41	137.66	19.23	165.21	143.53

จากการเปรียบเทียบลักษณะสมบัติของน้ำเสียทั้ง 2 แหล่ง พบว่าน้ำเสียจากขั้นตอนการแช่ถั่วเหลืองมีค่าความสกปรกของมลสารในรูปต่างๆโดยเฉลี่ยสูงกว่าน้ำเสียรวมของโรงงานมาก โดยเฉพาะปริมาณซีโอดี ทีเคเอ็น ทีเอสเอสในน้ำแช่ถั่วเหลืองจะสูงกว่าน้ำเสียรวมเฉลี่ย 6.8 2.6 และ 3.2 เท่า ตามลำดับเนื่องจากน้ำเสียรวมถูกเจือจางด้วยน้ำล้างอื่นๆในกระบวนการผลิต ส่วนน้ำเสียจากจุดอื่นๆเป็นน้ำเสียจากการล้างเครื่องจักรและภาชนะซึ่งมีความสกปรกต่ำ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงพิจารณาเลือกแหล่งน้ำเสียจากขั้นตอนการแช่ถั่วเหลืองเป็นน้ำเสียตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองต่อไป

4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ในการศึกษาครั้งนี้ได้วางแผนการทดลองโดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 กลุ่มการทดลอง ประกอบด้วย

1) การทดสอบการตกตะกอนโดยใช้สารปรับพีเอช
2) การทดสอบการตกตะกอนโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์
3) การทดสอบการตกตะกอนโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์ร่วมกับสารโคแอกกูแลนท์เอด

4.2.1 การทดสอบการตกตะกอนโดยใช้สารปรับพีเอช

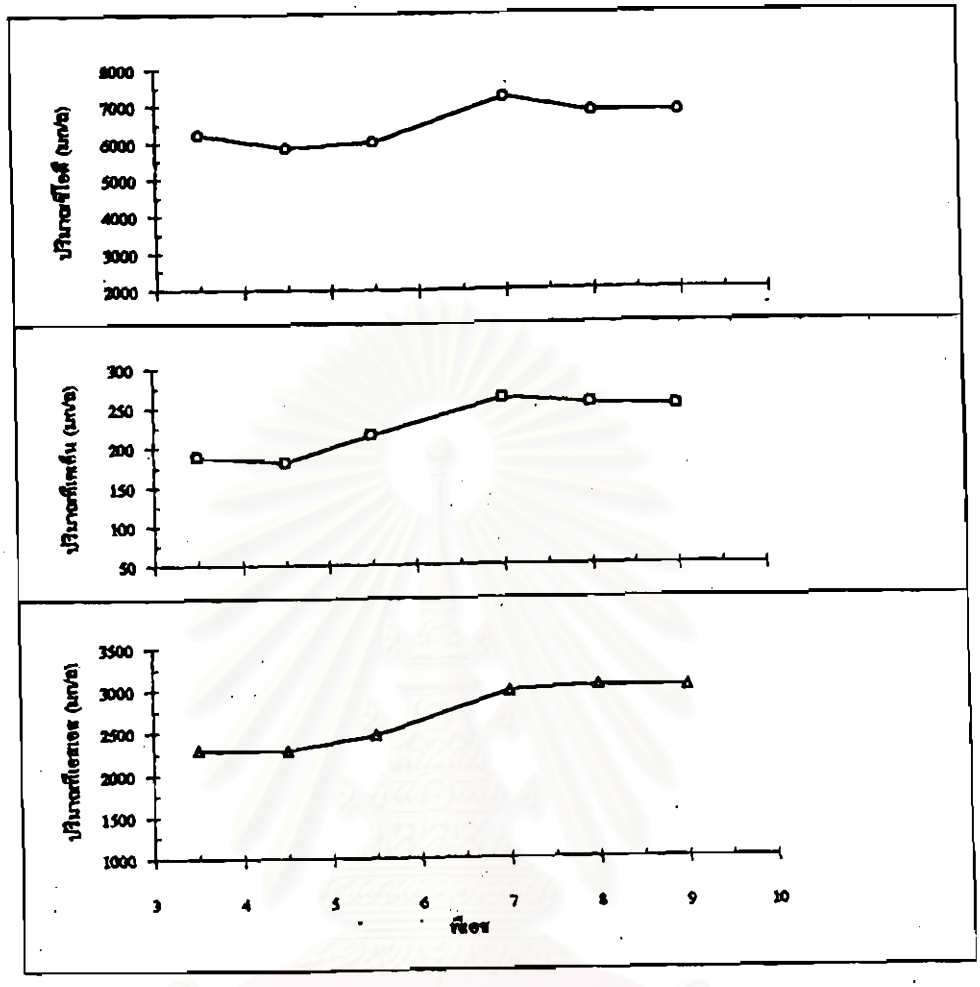
การทดสอบการตกตะกอนโดยใช้สารปรับพีเอช มีขั้นตอนการทดลอง คือ นำน้ำเสียตัวอย่างที่มีค่าซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอสเริ่มต้นเท่ากับ 9,200 350 และ4,360 มก/ล มาปรับค่า

พีเอชเป็น 3.5 4.5 5.5 7.0 8.0 และ 9.0 โดยใช้สารละลายกรดซัลฟุริก 5N (13.74%) หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5N (20%) จากนั้นทดสอบการตกตะกอนโดยใช้อุปกรณ์จาร์เทสต์ (jar test) ปล่อยทิ้งให้ตกตะกอน 40 นาที แล้วแยกชั้นน้ำส่วนบนนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทั้งหมด 4 ค่าได้แก่ ค่าซีโอดี ค่าทีเคเอ็น ค่าทีเอสเอส และค่าพีเอช เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดมลสาร ณ สภาพพีเอชที่แตกต่างกัน รายละเอียดผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3

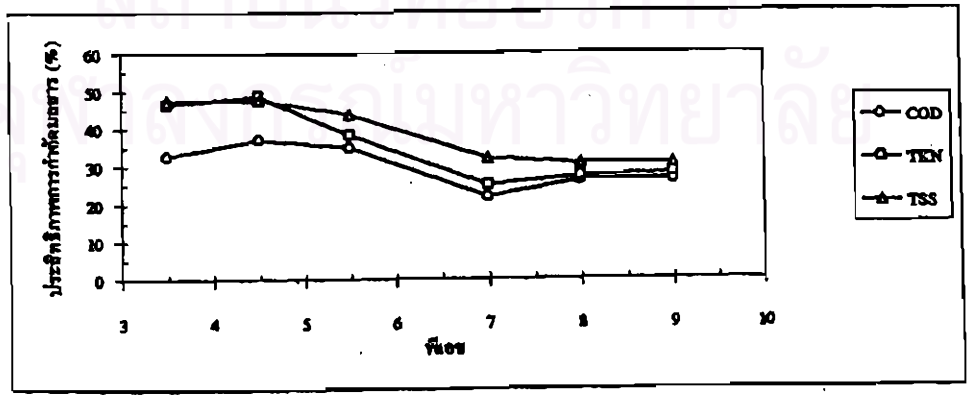
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์น้ำส่วนบนหลังตกตะกอน ที่ค่าพีเอชต่างๆ

ค่าพีเอช	ผลวิเคราะห์น้ำส่วนบนหลังตกตะกอน						
	pH	COD		TKN		TSS	
		(mg/l)	%removal	(mg/l)	%removal	(mg/l)	%removal
3.5	3.49	6,200	32.6	188.0	46.3	2,300	47.2
4.5	4.48	5,800	37.0	180.0	48.6	2,280	47.7
5.5	5.49	6,000	34.8	216.0	38.3	2,453	43.7
7.0	6.98	7,200	21.7	263.2	24.8	2,978	31.7
8.0	7.98	6,800	26.1	254.8	27.2	3,034	30.4
9.0	8.98	6,800	26.1	252.0	28.0	3,029	30.5

จากการทดลอง พบว่า พีเอชของน้ำส่วนบนหลังการตกตะกอนมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยน้ำเสียที่มีสภาพพีเอชเป็นกรด มีแนวโน้มของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็นและทีเอสเอสสูงกว่าน้ำเสียที่มีสภาพพีเอชเป็นกลางและด่าง โดยค่าพีเอช 4.5 เป็นค่าพีเอชที่มีความเหมาะสมในการบำบัด เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารในรูปต่างๆดีกว่าค่าพีเอชอื่นๆ กล่าวคือ ที่ค่าพีเอช 4.5 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 37.0%โดยมีปริมาณซีโอดีคงเหลือในน้ำส่วนบนเท่ากับ 5,800 มก/ล ประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นเท่ากับ 48.6%โดยมีปริมาณทีเคเอ็นคงเหลือในน้ำส่วนบนเท่ากับ 180 มก/ล และประสิทธิภาพในการกำจัดทีเอสเอสเท่ากับ 47.7%โดยมีปริมาณทีเอสเอสคงเหลือในน้ำส่วนบนเท่ากับ 2,280 มก/ล ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 แสดงปริมาณ COD TKN และTSS คงเหลือในน้ำส่วนบนที่ค่าพีเอชต่างๆ



รูปที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัด COD TKN และTSS ที่ค่าพีเอชต่างๆ

ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานของSchneider et al. (1995) ซึ่งได้ศึกษาการตกตะกอนโปรตีนจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสกัดโปรตีนจากถั่วเหลือง พบว่า โปรตีนในน้ำเสียจะละลายได้น้อยที่สุด เมื่อพีเอชอยู่ในช่วงจุดไอโซอิเลคตริค เพราะโมเลกุลของโปรตีนที่จุดไอโซอิเลคตริคนี้จะมีประจุไฟฟ้ารวมเป็นศูนย์ จึงไม่มีแรงที่ผลักกันให้กระจายอยู่ในสารละลาย และที่พีเอชอื่นๆซึ่งไม่ใช่จุดไอโซอิเลคตริค โปรตีนจะมีประจุไฟฟ้าเป็นบวกหรือลบเหมือนกัน จึงมีแรงผลักไฟฟ้าสถิตย์ผลักดันให้กระจายอยู่ในสารละลาย จุดไอโซอิเลคตริคของโปรตีนในน้ำเสียดังกล่าวจะอยู่ในช่วง4.3-4.5 ซึ่งที่พีเอชนี้โปรตีนจะไม่เคลื่อนย้ายไปทางขั้วบวกหรือขั้วลบของสนามไฟฟ้า โดยโปรตีนจะอยู่ในสภาพเป็นซวิทเทอร์ไอออน (Zwitterion) ซึ่งประจุบวกทั้งหมดมีค่าเท่ากับประจุลบทั้งหมด ทำให้ประจุรวมมีค่าเท่ากับศูนย์ ทำให้ที่จุดไอโซอิเลคตริคนี้โปรตีนจะตกตะกอนได้ดีกว่าค่าพีเอชอื่นๆ แต่ยังคงมีของแข็งที่แขวนลอยในน้ำอยู่สูงถึงร้อยละ 40-50 จึงจำเป็นต้องใช้สารโคแอกกูแลนท์ และสารโคแอกกูแลนท์เอดเพื่อช่วยตกตะกอนของแข็งเหล่านี้ต่อไป

4.2.2 การทดสอบการตกตะกอนโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์

การทดสอบการตกตะกอนโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์ มีขั้นตอนการทดลอง คือ นำน้ำเสียตัวอย่างมาเติม สารละลายอลูมินัมซัลเฟต หรือสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ในปริมาณเท่ากับ 50 100 150 200 250 และ 300 มก/ล ตามลำดับ จากนั้นปรับค่าพีเอชของน้ำเสียเท่ากับ 4.5 ซึ่งเป็นพีเอชที่เหมาะสมจากการทดลองในหัวข้อ 4.2.1 ทดสอบการตกตะกอนโดยอุปกรณ์จาร์เทสต์ ปล่อยทิ้งให้ตกตะกอนแล้วแยกชั้นน้ำส่วนบนนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์ รายละเอียดผลการทดลองได้แสดงในตารางที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่าการใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารโคแอกกูแลนท์จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอสสูงกว่าการใช้สารละลายอลูมินัมซัลเฟตในทุกๆค่าปริมาณการใช้ โดยพิจารณาได้ดังนี้

1) กรณีใช้สารละลายอลูมินัมซัลเฟตเป็นสารโคแอกกูแลนท์ จะมีปริมาณการใช้ที่เหมาะสมเท่ากับ 250 มก/ล ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอสเท่ากับ 70.6% 83.3% และ 84.5% ตามลำดับ โดยมีปริมาณซีโอดี ทีเคเอ็น และ ทีเอสเอสคงเหลือในน้ำส่วนบนเท่ากับ 2,645 มก/ล 83.3 มก/ล และ 702 มก/ล ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นสูงกว่าการปรับพีเอชเพียงอย่างเดียว เท่ากับ 33.6% 34.7% และ 36.8% ตามลำดับ

2) กรณีใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารโคแอกกูแลนท์ จะมีปริมาณการใช้ที่เหมาะ

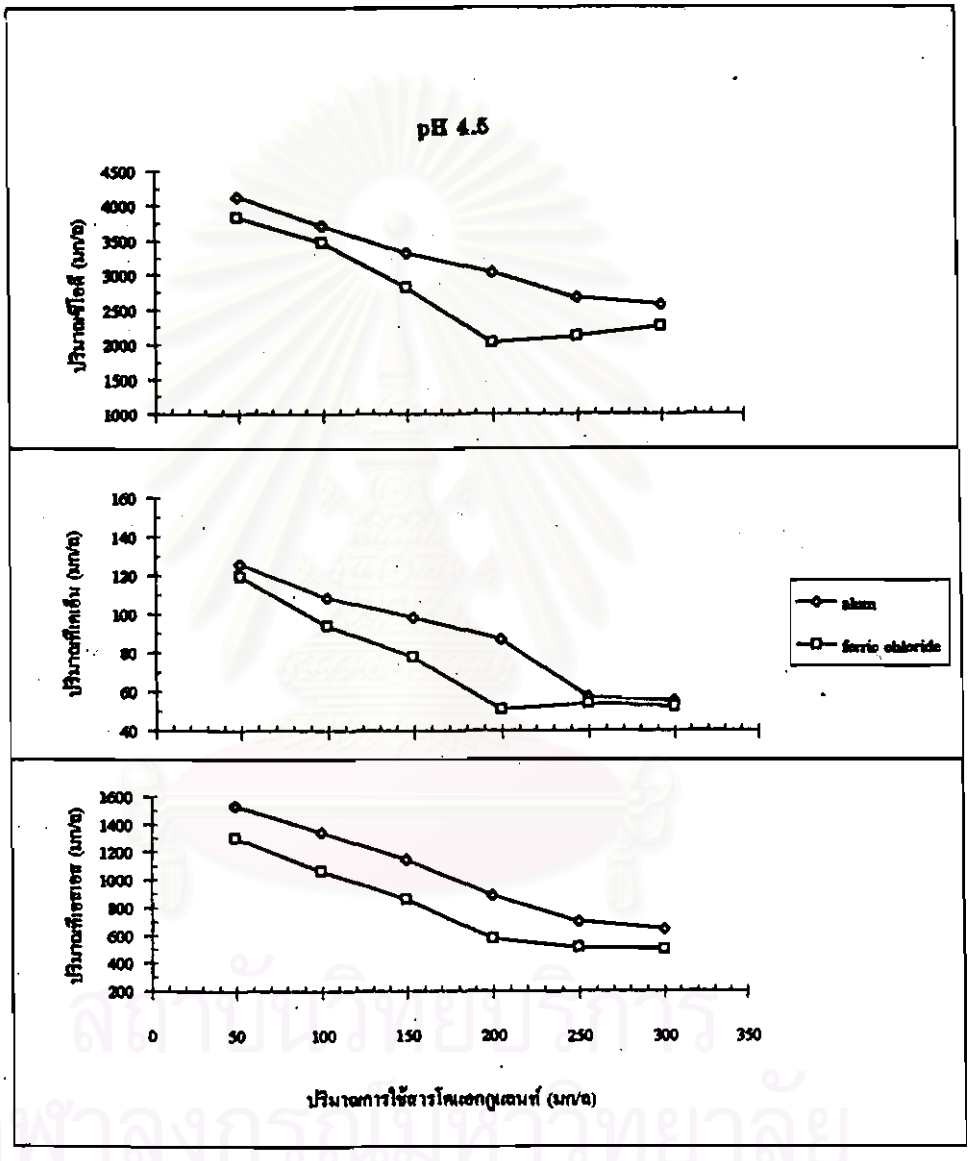
ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์น้ำส่วนบนหลังการตกตะกอนด้วยสารส้มที่ปริมาณต่างๆ

ปริมาณการใช้ $Al_2(SO_4)_3$ (mg/l)	ผลวิเคราะห์น้ำส่วนบนหลังตกตะกอน						
	pH	COD		TKN		TSS	
		(mg/l)	%removal	(mg/l)	%removal	(mg/l)	%removal
50	4.40	4,120	54.2	125.5	63.1	1,531	66.2
100	4.40	3,700	58.9	107.8	68.3	1,345	70.3
150	4.40	3,295	63.4	98.0	71.2	1,150	74.6
200	4.40	3,015	66.5	86.4	74.6	892	80.3
250	4.40	2,645	70.6	56.8	83.3	702	84.5
300	4.40	2,550	71.7	55.2	83.8	643	85.8

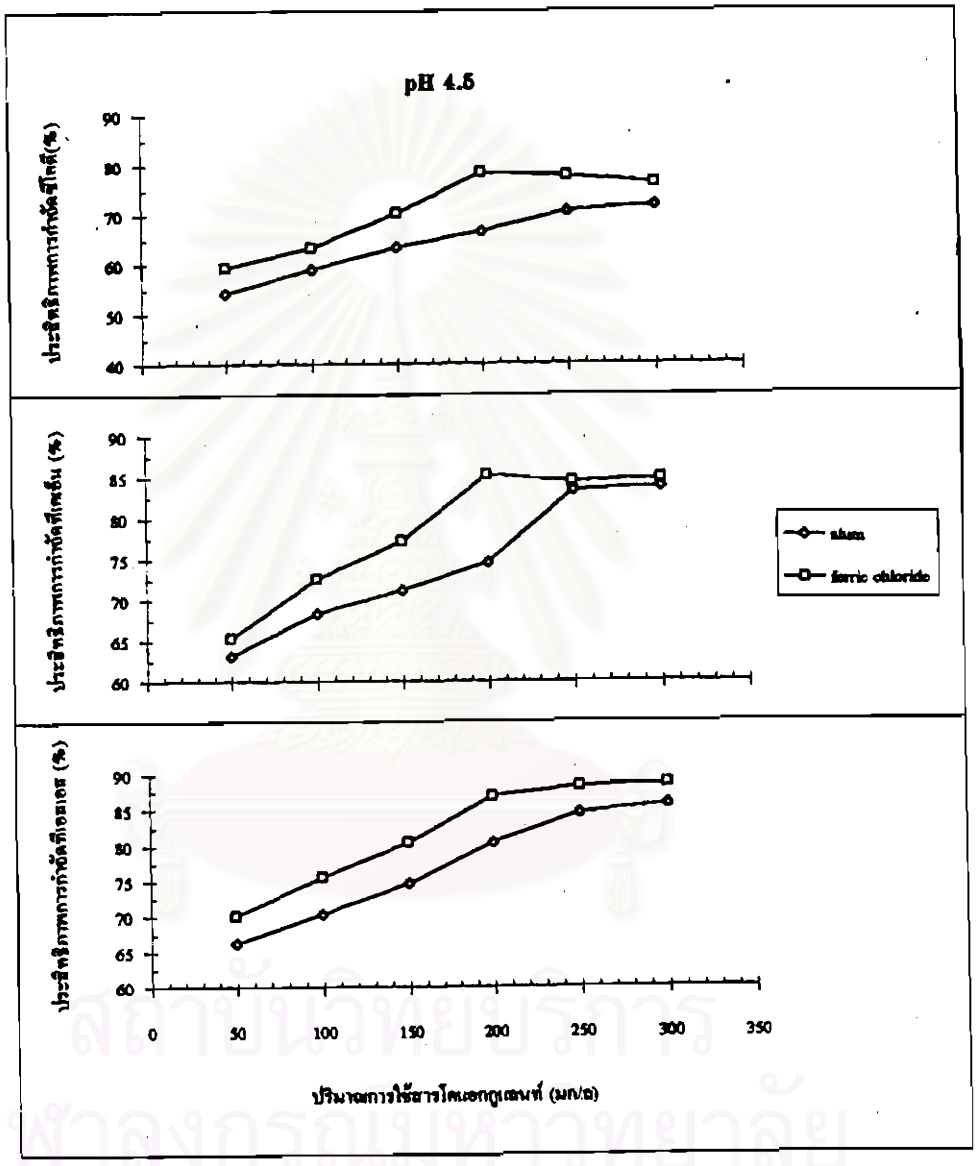
ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์น้ำส่วนบนหลังตกตะกอนด้วยสาร $FeCl_3$ที่ปริมาณต่างๆ

ปริมาณการใช้ $FeCl_3$ (mg/l)	ผลวิเคราะห์น้ำส่วนบนหลังตกตะกอน						
	pH	COD		TKN		TSS	
		(mg/l)	%removal	(mg/l)	%removal	(mg/l)	%removal
50	4.35	3,825	59.3	119.0	65.2	1,303	70.1
100	4.35	3,460	63.2	93.7	72.6	1,064	75.6
150	4.35	2,800	70.2	77.6	77.3	859	80.3
200	4.35	2,020	78.5	50.6	85.2	575	86.8
250	4.35	2,105	77.6	53.4	84.4	514	88.2
300	4.35	2,240	76.2	52.0	84.8	497	88.6

สมเท่ากับ 200 มก/ล ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอสเท่ากับ 78.5% 85.2% และ 86.8% ตามลำดับ โดยมีปริมาณ ซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอสคงเหลือในน้ำส่วนบนเท่ากับ 2,020 มก/ล 50.6มก/ล และ 575 มก/ล ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นสูงกว่าการปรับพีเอชเพียงอย่างเดียว เท่ากับ 41.5% 36.6% และ 39.1% ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ4.4



รูปที่ 4.3 แสดงปริมาณCOD TKN และ TSS คงเหลือในน้ำส่วนบนหลังการตกตะกอน เมื่อเติมสาร Alum และ สาร $FeCl_3$ ในปริมาณต่างๆ ที่พีเอช 4.5



รูปที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัด COD TKN และ TSS เมื่อเติม สาร Alum และ สาร $FeCl_3$ ในปริมาณต่างๆ ที่พีเอช 4.5

ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานของTookos(1982) และ Sohneider (1995) ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเนื้อโดยเติมสารเคมีชนิดต่างๆ และ การตกตะกอนโปรตีนจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสกัดโปรตีนจากถั่วเหลือง ตามลำดับ พบว่า การใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารโคแอกกูแลนท์ ณ สภาพพีเอชเป็นกรด จะมีปริมาณการใช้ที่เหมาะสมในช่วง 150-300 มก/ล ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารในรูปต่างๆเท่ากับ 80%-86% โดยขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานนั้นๆ และมีประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่าการใช้สารละลายอลูมินัมซัลเฟตเป็นสารโคแอกกูแลนท์ เนื่องจากที่สภาพพีเอชเป็นกรด อิออน Al^{+3} ที่แตกตัวจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ$Al_2(SO_4)_3$ มีความสามารถในการดูดติดผิวอนุภาคคอยลอยด์ได้น้อยลง ทำให้ประสิทธิภาพในการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ลดลง ซึ่งส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำกว่าการใช้สารประกอบเหล็ก สำหรับกลไกโคแอกกูเลชันที่เกิดจากสารประกอบเหล็กมีโอกาสเกิดขึ้นได้ 2แบบคือกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ(adsorption/charge neutralization) และ กลไกแบบห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ (sweep coagulation) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นกลไกแบบห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ เนื่องจากเกิดขึ้นได้ง่ายกว่ากลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุซึ่งจะมีเวลาสัมผัสน้อยกว่า 1 วินาที ทำให้เป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติ ดังนั้นกลไกแบบห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์จึงเป็นกลไกหลักในการเกิดโคแอกกูเลชัน โดยพบว่าเมื่อเติมสารประกอบเหล็กลงในน้ำ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจนกระทั่ง hydroxo complex กลายเป็น $Fe(OH)_3$ และเมื่ออนุภาคคอลลอยด์สัมผัสกับผลึก$Fe(OH)_3$ ก็จะเกาะตัวจับอยู่บนผลึกนั้น ซึ่งจะได้อนุภาคตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า ฟล็อก(floc) ทำให้สามารถตกตะกอนได้ง่ายขึ้น

4.2.3 การทดสอบการตกตะกอนโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์ร่วมกับสารโคแอกกูแลนท์เอด

การทดสอบการตกตะกอนโดยใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ร่วมกับสารโคแอกกูแลนท์เอด มีขั้นตอนการทดลองคือนำน้ำเสียตัวอย่างมาเติมสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ในปริมาณ 200 มก/ล และปรับค่าพีเอชเท่ากับ 4.5 ซึ่งเป็นสภาพที่เหมาะสมจากการทดลองในหัวข้อ 4.2.2 จากนั้นเติมสารโคแอกกูแลนท์เอด คือสารโพลีเมอร์ประจุบวกในปริมาณเท่ากับ 1 5 10 15 และ 20 มก/ล ตามลำดับ หรือ เติมสารโพลีเมอร์ประจุลบในปริมาณเท่ากับ 0.2 0.5 1 2 และ 3 มก/ล ตามลำดับ ทดสอบการตกตะกอนโดยอุปกรณ์จาร์เทสต์ ปล่อยทิ้งให้ตกตะกอน แล้วแยกชั้นน้ำส่วนบนนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์ร่วมกับสารโคแอกกูแลนท์เอด รายละเอียดผลการทดลองได้แสดงในตารางที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์น้ำส่วนบนหลังตกตะกอนด้วย $FeCl_3$ 200มก/ลร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกที่ปริมาณต่างๆ

ปริมาณการใช้ cationic polymer (mg/l)	ผลวิเคราะห์น้ำส่วนบนหลังตกตะกอน						
	pH	COD		TKN		TSS	
		(mg/l)	%removal	(mg/l)	%removal	(mg/l)	%removal
1	4.33	1,860	80.2	42.7	87.8	536	88.2
5	4.33	1,250	86.7	34.3	90.2	400	91.2
10	4.33	900	90.4	27.0	92.3	291	93.6
15	4.33	710	92.4	18.6	94.7	218	95.2
20	4.33	580	93.8	23.5	93.3	209	95.4

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์น้ำส่วนบนหลังตกตะกอนด้วย $FeCl_3$ 200มก/ลร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบที่ปริมาณต่างๆ

ปริมาณการใช้ anionic polymer (mg/l)	ผลวิเคราะห์น้ำส่วนบนหลังตกตะกอน						
	pH	COD		TKN		TSS	
		(mg/l)	%removal	(mg/l)	%removal	(mg/l)	%removal
0.2	4.30	1,795	80.5	50.0	85.8	659	85.6
0.5	4.30	1,370	85.1	41.3	88.3	426	90.7
1.0	4.30	1,010	89.0	28.0	92.1	371	91.9
2.0	4.30	680	92.6	23.3	93.4	339	92.6
3.0	4.30	755	91.8	22.0	93.8	348	92.4

จากการทดลอง สามารถแบ่งการพิจารณาได้ดังนี้

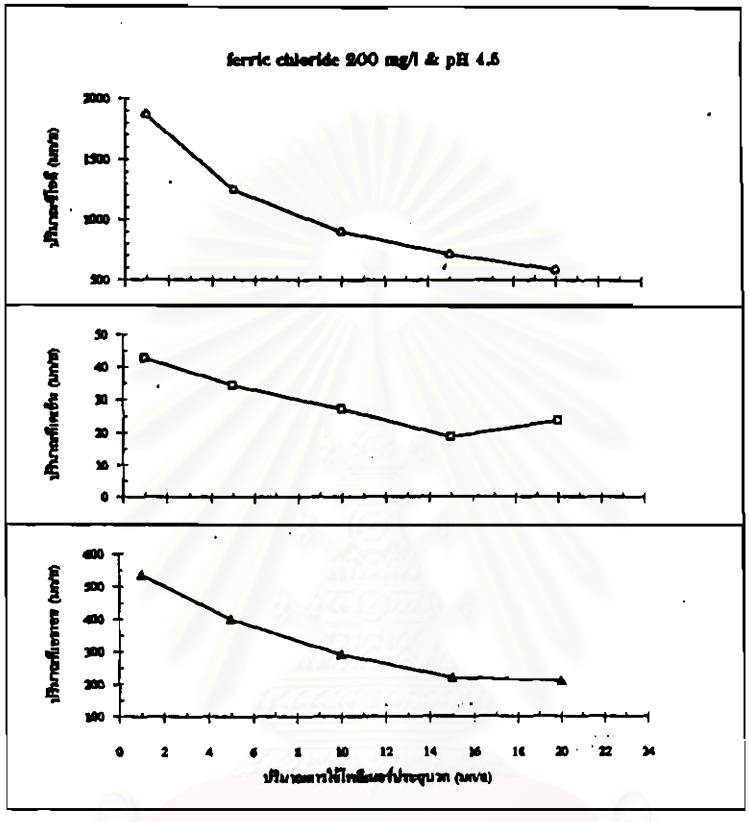
1) กรณีการใช้โพลีเมอร์ประจุบวกร่วมกับสารละลายเฟอริกคลอไรด์ 200 มก/ล พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวก จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอส สูงขึ้น โดยความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมเท่ากับ 15 มก/ล ซึ่งสามารถกำจัดซีโอดี

ทีเคเอ็น และทีเอสเอส ได้สูงถึง 92.4% 94.7% และ 95.2% ตามลำดับ โดยเพิ่มขึ้นสูงกว่าการใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เพียงอย่างเดียวถึง 13.9% 9.5% และ 8.4% ตามลำดับ และมีปริมาณ ซีโอดี ทีเคเอ็น และ ทีเอสเอสคงเหลือในน้ำส่วนบนเท่ากับ 710 มก/ล 18.6 มก/ล และ 218 มก/ล ตามลำดับ

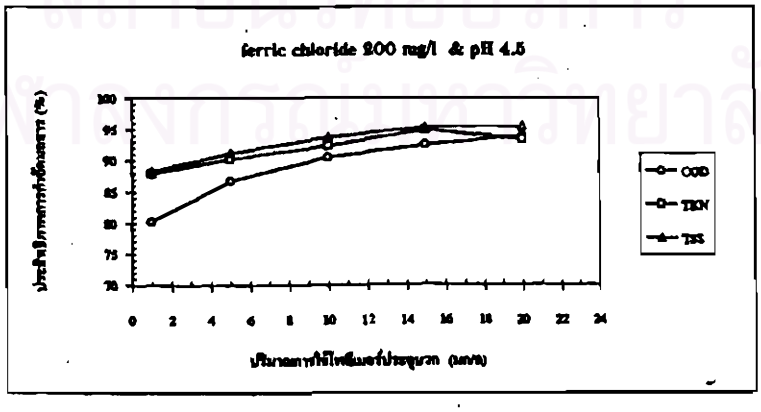
2) กรณีการใช้โพลีเมอร์ประจุลบร่วมกับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 200 มก/ล พบว่า เมื่อปริมาณสารโพลีเมอร์ประจุลบเพิ่มขึ้นก็สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดมลสารได้เช่นกัน โดยความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบที่เหมาะสมเท่ากับ 2 มก/ล จะสามารถกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็นและทีเอสเอสได้เท่ากับ 92.6% 93.4%และ 92.6% ตามลำดับ โดยสูงกว่าการใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เพียงอย่างเดียวเท่ากับ 14.1% 8.2%และ5.8% ตามลำดับ และมีปริมาณ ซีโอดี ทีเคเอ็น และ ทีเอสเอสคงเหลือในน้ำส่วนบนเท่ากับ 680 มก/ล 23.3 มก/ล และ 339 มก/ล ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการใช้โพลีเมอร์ทั้งสองประเภท พบว่า ปริมาณการใช้โพลีเมอร์ประจุบวกสูงกว่าโพลีเมอร์ประจุลบถึง 7.5 เท่า โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารใกล้เคียงกัน

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การใช้สารโพลีเมอร์เป็นสารโคแอกกูแลนท์เอดมีส่วนช่วยทำให้ประสิทธิภาพการตกตะกอนเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลจากกลไกโคแอกกูเลชันเกิดได้อย่างสมบูรณ์ โดยประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการทำลายเสถียรภาพ(แบบ sweep coagulation) ของอนุภาคคอลลอยด์โดยการเติมสารโคแอกกูแลนท์ ซึ่งในที่นี้คือสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ โดยกลไกการทำลายเสถียรภาพดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นในช่วงของการกวนเร็ว ซึ่งภายหลังจากอนุภาคคอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพแล้ว จะเข้าสู่ขั้นตอนการสร้างสัมผัส เพื่อทำให้อนุภาคคอลลอยด์เหล่านั้นสามารถเคลื่อนที่มากระทบกันมากที่สุด โดยการสร้างสัมผัสดังกล่าวจะเกิดขึ้นในช่วงของการกวนช้า ซึ่งต้องการให้น้ำมีการเคลื่อนที่โดยมีความปั่นป่วนหรือความเร็วแกรเดียนท์ไม่สูงเกินไป จนเป็นผลทำให้ฟล็อกตะกอนแตกและหลุดออกจากกัน วิธีการสร้างสัมผัสแบบนี้มีชื่อเรียกทางเทคนิคว่าorthokinetic flocculationและเรียกขั้นตอนทั้งสองว่าการเกิดกลไก coagulation-flocculation สำหรับสารโพลีเมอร์ที่เติมลงไปจะเป็นสารฟล็อกคูแลนท์ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารรวมตะกอนโดยอาศัยกลไกต่างๆซึ่งขึ้นอยู่กับกับประเภทของสารโพลีเมอร์ กล่าวคือ กรณีการใช้สารโพลีเมอร์ประจุลบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง กลไกในการรวมตะกอนจะเป็นแบบสะพานเชื่อม ซึ่งโพลีเมอร์เหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างฟล็อกสารประกอบเหล็กหลายๆตัว ทำให้ฟล็อกตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้นและง่ายต่อการตกตะกอน ส่วนโพลีเมอร์ประจุบวกซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกลไกในการรวมตะกอนจะเป็นแบบดูดติดผิวและทำลายประจุของฟล็อกสารประกอบเหล็ก ทำให้ได้ฟล็อกตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและตกตะกอนได้ดีขึ้น และเนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลของโพลีเมอร์ประจุลบมีค่าสูงกว่าโพลีเมอร์ประจุบวก จึงทำให้ปริมาณการใช้โพลีเมอร์ประจุลบน้อยกว่าโพลีเมอร์ประจุบวก แต่

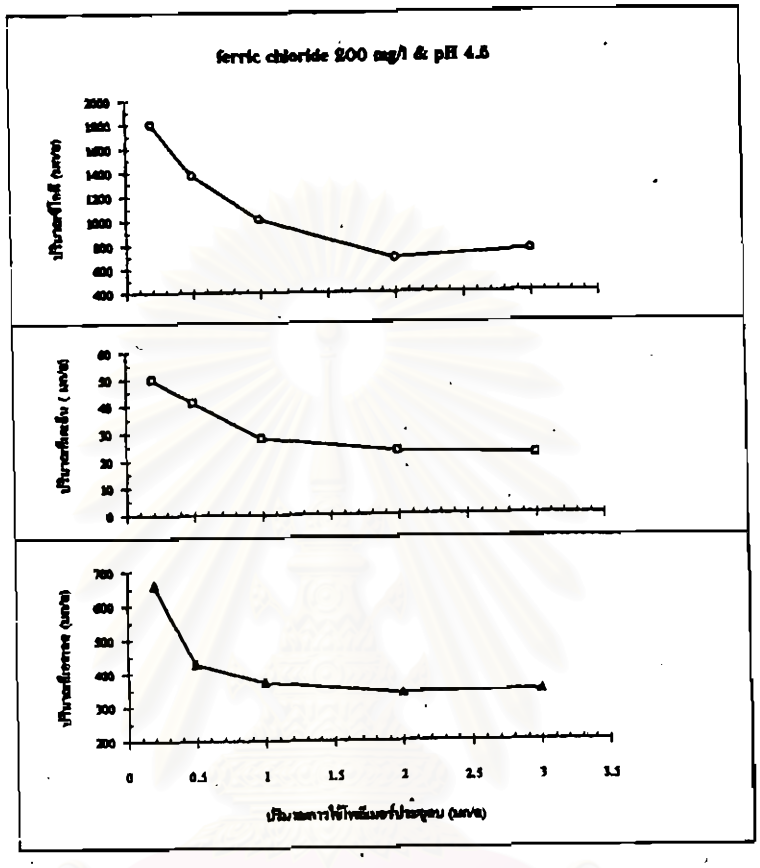
ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดใกล้เคียงกัน ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวนี้แสดงได้ชัดเจนในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.5 4.6 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ



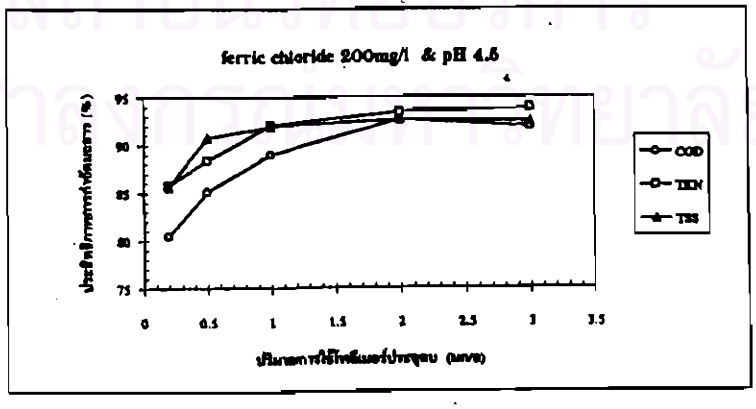
รูปที่ 4.5 แสดงปริมาณ COD TKN และ TSS คงเหลือในน้ำส่วนบนหลังตกตะกอนด้วย $FeCl_3$ 200 มก/ล ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 4.6 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดCOD TKN และ TSS เมื่อใช้ $FeCl_3$ 200 มก/ล ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 4.7 แสดงปริมาณ COD TKN และ TSS คงเหลือในน้ำส่วนบนหลังตกตะกอนด้วย $FeCl_3$ 200 มก/ล ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดCOD TKN และ TSS เมื่อใช้ $FeCl_3$ 200 มก/ล ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบที่ความเข้มข้นต่างๆ

4.2.4 สรุปผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

จากการวิเคราะห์โดยรวมผลการศึกษาของทุกกลุ่มการทดลอง สามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน คือ ค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 4.5 ชนิดและปริมาณสารโคแอกกูแลนท์ที่เหมาะสม คือ สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 200 มก/ล และชนิดและปริมาณสารโคแอกกูแลนท์เอดที่เหมาะสมคือ สารโพลีเมอร์ประจุลบ 2 มก/ล หรือสารโพลีเมอร์ประจุบวก 15 มก/ล ซึ่งที่สภาวะดังกล่าวนี้จะสามารถกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็นและทีเอสเอส ได้เท่ากับ 92.6% 93.4% และ 92.6%ตามลำดับ เมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุลบ และเท่ากับ 92.6% 94.7% และ 95.2% ตามลำดับ เมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวก โดยมีปริมาณซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอสคงเหลือในน้ำส่วนบนเท่ากับ 680 มก/ล 23.3 มก/ล และ339 มก/ล ตามลำดับ เมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุลบ และเท่ากับ 710 มก/ล 18.6 มก/ล และ 218 มก/ล ตามลำดับ เมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวก

4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโดยกระบวนการดีเอเอฟ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้วางแผนการทดลองโดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 4 กลุ่มการทดลอง ประกอบด้วย

1) การทดสอบกระบวนการดีเอเอฟโดยไม่ใช้สารเคมี
2) การทดสอบกระบวนการดีเอเอฟโดยใช้สารปรับพีเอช
3) การทดสอบกระบวนการดีเอเอฟโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์
4) การทดสอบกระบวนการดีเอเอฟโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์ร่วมกับสารโคแอกกูแลนท์เอด

4.3.1 การทดสอบกระบวนการดีเอเอฟโดยไม่ใช้สารเคมี

การทดสอบกระบวนการดีเอเอฟโดยไม่ใช้สารเคมี มีขั้นตอนการทดลองคือ นำน้ำเสียตัวอย่างมาทดสอบการลอยตัวด้วยอากาศละลายโดยใช้อุปกรณ์ดีเอเอฟ แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับและระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับโดยใช้อัตราการเวียนกลับเท่ากับ 30% 60% 90% 120% และ150% ตามลำดับ ภายหลังจากการอัดอากาศในถังอัดความดันแล้ว ปล่อยทิ้งให้เกิดการแยกชั้นในถังลอยตัวระหว่างชั้นตะกอน (scum) และชั้นน้ำเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นแยกชั้นน้ำนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้แก่ ค่าซีโอดี ค่าทีเคเอ็น ค่าทีเอสเอส และค่าพีเอช เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารที่ค่า

อัตราการเวียนกลับต่างๆกัน รายละเอียดผลการทดลองได้แสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำหลังการทดสอบดีเอเอฟ ที่ค่าอัตราการเวียนกลับต่างๆ

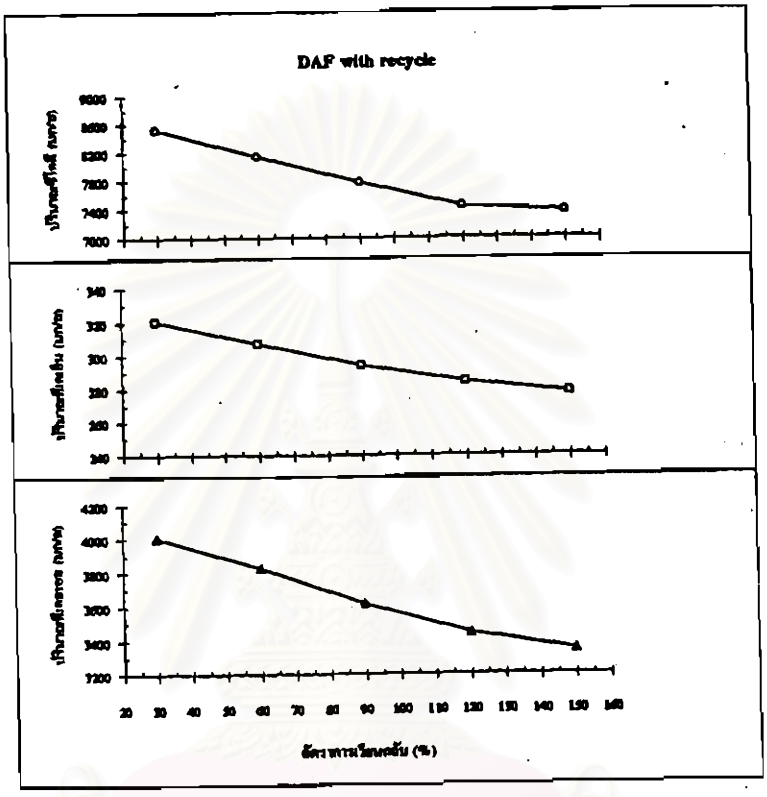
ระบบดีเอเอฟ	ผลวิเคราะห์ชั้นน้ำหลังการทดสอบดีเอเอฟ						
	pH	COD		TKN		TSS	
		(mg/l)	removal%	(mg/l)	removal%	(mg/l)	removal%
- แบบไม่มีการเวียนกลับ	7.52	7,670	21.3	290.0	23.3	3,469	27.6
- แบบมีการเวียนกลับ							
30%	7.50	8,520	12.6	320.5	15.2	4,006	16.4
60%	7.52	8,150	16.4	307.0	18.8	3,824	20.2
90%	7.52	7,780	20.2	293.7	22.3	3,613	24.6
120%	7.52	7,430	23.8	283.5	25.0	3,441	28.2
150%	7.51	7,352	24.6	277.0	26.7	3,345	30.2

จากการทดลอง สามารถแบ่งการพิจารณาได้ดังนี้

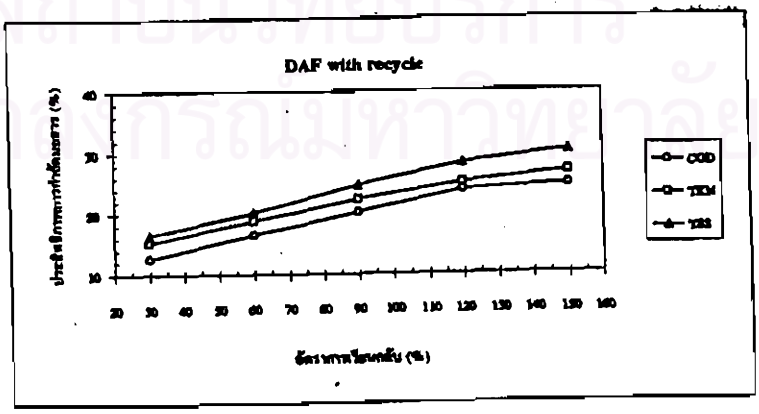
1) กรณีระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ ซึ่งทดลองโดยการอัดอากาศเข้าไปในน้ำเสียโดยตรง พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 21.3% โดยมีปริมาณซีโอดีคงเหลือในชั้นน้ำเท่ากับ 7,670 มก/ล ประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นเท่ากับ 23.3% โดยมีปริมาณทีเคเอ็นคงเหลือในชั้นน้ำเท่ากับ 290 มก/ล และประสิทธิภาพในการกำจัดทีเอสเอสเท่ากับ 27.6%โดยมีปริมาณทีเอสเอสคงเหลือในชั้นน้ำเท่ากับ 3,469 มก/ล เมื่อคำนวณค่าอัตราส่วน A/S จะได้เท่ากับ 0.0152 มก.อากาศ/มก.ของแข็ง

2) กรณีระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับพบว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารสูงขึ้น เมื่อใช้อัตราการเวียนกลับสูงขึ้น โดยช่วงอัตราการเวียนกลับที่เหมาะสมเท่ากับ120%-150% หรือคิดเป็นค่าอัตราส่วน A/S เท่ากับ 0.0182-0.0227 มก.อากาศ/มก.ของแข็ง ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี เท่ากับ 23.8%-24.6% โดยมีปริมาณซีโอดีคงเหลือในชั้นน้ำเท่ากับ 7,352-7,430 มก/ล ประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็น เท่ากับ 25.0%-26.7% โดยมีปริมาณทีเคเอ็นคงเหลือในชั้นน้ำเท่ากับ 277.0-283.5 มก/ล และประสิทธิภาพในการกำจัดทีเอสเอสเท่ากับ 28.2%-30.2%โดยมีปริมาณทีเอสเอสคงเหลือในชั้นน้ำเท่ากับ 3,345-3,441 มก/ล ดังแสดงในรูปที่ 4.9

และ 4.10 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดมลสาร พบว่า ระบบดีเอเอฟที่มีการเวียนกลับ150% จะมีประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอส สูงกว่า ระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ เท่ากับ 3.3% 3.4% และ 2.6% ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 แสดงปริมาณ COD TKN และTSS คงเหลือในชั้นน้ำหลังการทดสอบดีเอเอฟ ที่ค่าอัตราการเวียนกลับต่างๆ



รูปที่ 4.10 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัด COD TKN และTSS ที่ค่าอัตราการเวียนกลับต่างๆ

จากผลการศึกษาดังกล่าวนี้ สอดคล้องกับรายงานของ Ahmed S. Mourey (1982) ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นน้ำมันโดยกระบวนการดีเอเอฟ พบว่า การทดลองระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับโดยไม่เติมสารเคมีใดๆนั้น ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นจะขึ้นอยู่กับอัตราการเวียนกลับเป็นสำคัญ โดยที่อัตราการเวียนกลับเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นดีขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้อัตราการเวียนกลับที่สูงขึ้น จะทำให้ปริมาณอากาศที่ละลายในน้ำของส่วนที่เวียนกลับเข้าสู่ระบบมากขึ้น โดยอากาศละลายเหล่านี้จะเป็นตัวพาตะกอนต่างๆลอยขึ้นสู่ผิวน้ำได้ดีกว่าการใช้อัตราการเวียนกลับต่ำๆ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการบำบัดที่ได้รับจากการปรับอัตราการเวียนกลับเพียงอย่างเดียวยังอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งอยู่ในช่วง 5%-25% จึงจำเป็นต้องเติมสารโคแอกกูแลนท์ลงไป เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด

4.3.2 การทดสอบกระบวนการดีเอเอฟโดยใช้สารปรับพีเอช

การทดสอบกระบวนการดีเอเอฟโดยใช้สารปรับพีเอช มีขั้นตอนการทดลองคือนำน้ำเสียตัวอย่างมาปรับค่าพีเอชเป็น 3.5 4.5 5.5 7.0 8.0 และ 9.0 โดยใช้สารละลายกรดซัลฟุริก 5N (13.74%) และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5N(20%) ทดสอบการลอยตัวด้วยอากาศละลายโดยใช้อุปกรณ์ดีเอเอฟ แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ระบบคือ ระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับและระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับโดยใช้อัตราการเวียนกลับเท่ากับ 30% 60% 90% 120% และ150% ตามลำดับ จากนั้นแยกชั้นน้ำนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารที่ค่าพีเอชต่างๆ โดยเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนกลับตามที่กำหนด รายละเอียดผลการทดลองได้แสดงในตารางที่ 4.9 4.10 4.11 4.12 4.13 และ 4.14

จากการทดลองพบว่า น้ำเสียที่มีสภาพพีเอชเป็นกรด มีแนวโน้มของประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารในรูปต่างๆสูงกว่า น้ำเสียที่มีสภาพพีเอชเป็นกลางและด่าง โดยแนวโน้มดังกล่าวแสดงได้ชัดเจน ทั้งในกรณีระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับและระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) การทดสอบในกรณีระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ หรือคิดเป็นค่าอัตราส่วน A/S เท่ากับ 0.0152 มก.อากาศ/มก.ของแข็ง พบว่า ค่าพีเอชของน้ำเสียที่เหมาะสมในการบำบัดเท่ากับ 4.5 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอสเท่ากับ 32.6% 40.2% และ 41.5% ตามลำดับ ซึ่งเพิ่มขึ้นสูงกว่าการทดสอบโดยไม่ใช้สารเคมีเท่ากับ 11.3% 16.9% และ 13.9% ตามลำดับ โดยมีปริมาณซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอสคงเหลือในชั้นน้ำเท่ากับ 6,605 มก/ล 221.3มก/ล และ 2,796 มก/ล ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำที่ค่าพีเอช 3.5 โดยทดสอบที่อัตราการเวียนกลับต่างๆ

ระบบดีเอเอฟ	ผลวิเคราะห์ชั้นน้ำ ที่ค่าพีเอช 3.5						
	pH	COD		TKN		TSS	
		(mg/l)	removal%	(mg/l)	removal%	(mg/l)	removal%
- แบบไม่มีการเวียนกลับ	3.50	6,835	28.8	253.3	30.4	2,860	40.1
- แบบมีการเวียนกลับ							
30%	3.48	7,680	20.0	272.3	25.2	3,524	26.2
60%	3.48	7,260	24.4	260.0	28.6	3,314	30.6
90%	3.49	6,855	28.6	246.4	32.3	3,085	35.4
120%	3.48	6,700	30.2	234.4	35.6	2,851	40.3
150%	3.48	6,470	32.6	216.2	40.6	2,779	41.8

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำที่ค่าพีเอช 4.5 โดยทดสอบที่อัตราการเวียนกลับต่างๆ

ระบบดีเอเอฟ	ผลวิเคราะห์ชั้นน้ำ ที่ค่าพีเอช 4.5						
	pH	COD		TKN		TSS	
		(mg/l)	removal%	(mg/l)	removal%	(mg/l)	removal%
- แบบไม่มีการเวียนกลับ	4.50	6,605	32.6	221.3	40.2	2,796	41.5
- แบบมีการเวียนกลับ							
30%	4.48	7,780	20.6	265.7	28.2	3,413	28.6
60%	4.47	7,280	25.7	257.2	30.5	3,241	32.2
90%	4.48	6,850	30.1	242.0	34.6	3,026	36.7
120%	4.47	6,545	33.2	228.0	38.4	2,749	42.5
150%	4.47	6,420	34.5	210.2	43.2	2,710	43.3

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำที่ค่าพีเอช 5.5 โดยทดสอบที่อัตราการเวียนกลับต่างๆ

ระบบดีเอเอฟ	ผลวิเคราะห์ชั้นน้ำ ที่ค่าพีเอช 5.5						
	pH	COD		TKN		TSS	
		(mg/l)	removal%	(mg/l)	removal%	(mg/l)	removal%
- แบบไม่มีการเวียนกลับ	5.48	6,880	30.2	253.5	32.4	3,123	34.6
- แบบมีการเวียนกลับ							
30%	5.48	7,910	19.8	281.3	25.0	3,629	24.0
60%	5.48	7,375	25.2	273.0	27.2	3,514	26.4
90%	5.47	7,120	27.8	256.5	31.6	3,338	30.1
120%	5.47	6,825	30.8	248.3	33.8	3,190	33.2
150%	5.47	6,625	32.8	234.0	37.6	2,990	37.4

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำที่ค่าพีเอช 7.0 โดยทดสอบที่อัตราการเวียนกลับต่างๆ

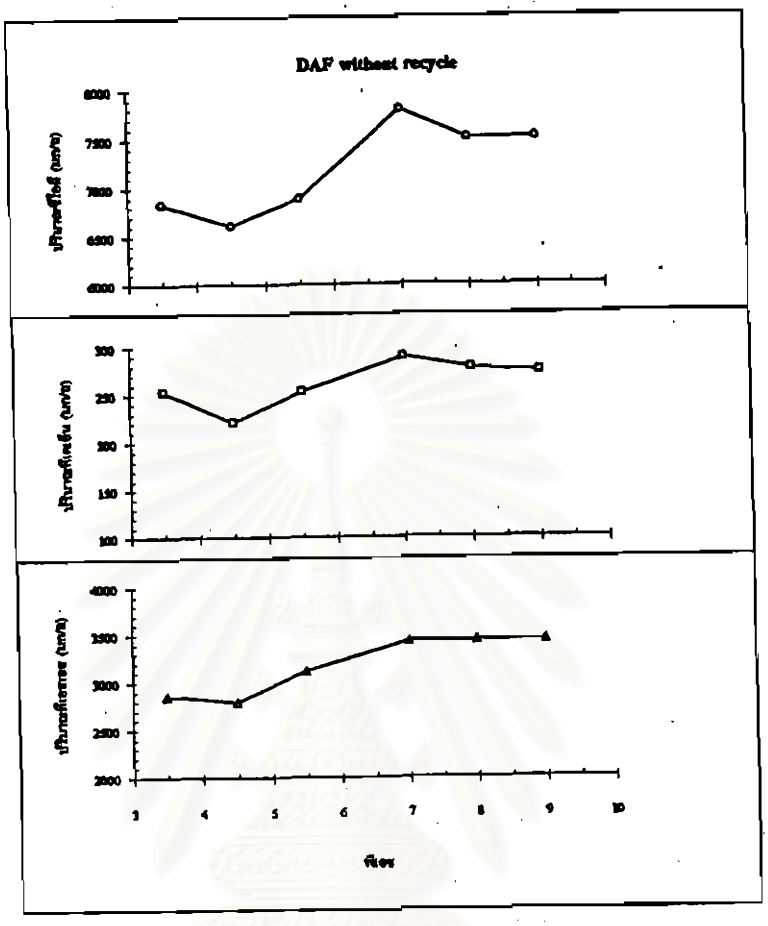
ระบบดีเอเอฟ	ผลวิเคราะห์ชั้นน้ำ ที่ค่าพีเอช 7.0						
	pH	COD		TKN		TSS	
		(mg/l)	removal%	(mg/l)	removal%	(mg/l)	removal%
- แบบไม่มีการเวียนกลับ	6.96	7,785	20.4	289.6	23.6	3,428	28.4
- แบบมีการเวียนกลับ							
30%	6.98	8,580	12.3	325.2	14.2	4,037	15.7
60%	6.98	8,255	15.6	316.0	16.6	3,870	19.2
90%	6.97	7,900	19.2	302.4	20.2	3,663	23.5
120%	6.96	7,470	23.6	286.5	24.4	3,438	28.2
150%	6.97	7,415	24.2	278.6	26.5	3,328	30.5

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำที่ค่าพีเอช 8.0 โดยทดสอบที่อัตราการเวียนกลับต่างๆ

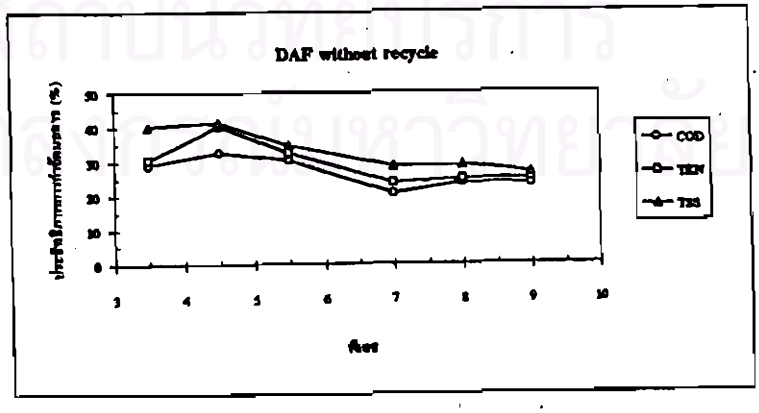
ระบบดีเอเอฟ	ผลวิเคราะห์ชั้นน้ำ ที่ค่าพีเอช 8.0						
	pH	COD		TKN.		TSS	
		(mg/l)	removal%	(mg/l)	removal%	(mg/l)	removal%
- แบบไม่มีการเวียนกลับ	7.97	7,500	23.6	278.6	24.7	3,433	28.8
- แบบมีการเวียนกลับ							
30%	7.98	8,365	14.8	309.7	16.3	4,012	16.8
60%	7.98	8,230	16.2	297.5	19.6	3,747	22.3
90%	7.98	7,730	21.3	293.4	20.7	3,559	26.2
120%	7.97	7,540	23.2	273.0	26.2	3,400	29.5
150%	7.98	7,355	25.1	269.0	27.3	3,318	31.2

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำที่ค่าพีเอช 9.0 โดยทดสอบที่อัตราการเวียนกลับต่างๆ

ระบบดีเอเอฟ	ผลวิเคราะห์ชั้นน้ำ ที่ค่าพีเอช 9.0						
	pH	COD		TKN		TSS	
		(mg/l)	removal%	(mg/l)	removal%	(mg/l)	removal%
- แบบไม่มีการเวียนกลับ	8.98	7,495	23.2	274.5	24.8	3,438	26.5
- แบบมีการเวียนกลับ							
30%	8.98	8,230	15.7	304.4	16.6	3,882	17.0
60%	8.97	7,975	18.3	291.3	20.2	3,704	20.8
90%	8.98	7,760	20.5	287.3	21.3	3,424	26.8
120%	8.97	7,460	23.6	270.0	26.0	3,330	28.8
150%	8.97	7,260	25.6	264.3	27.6	3,194	31.7

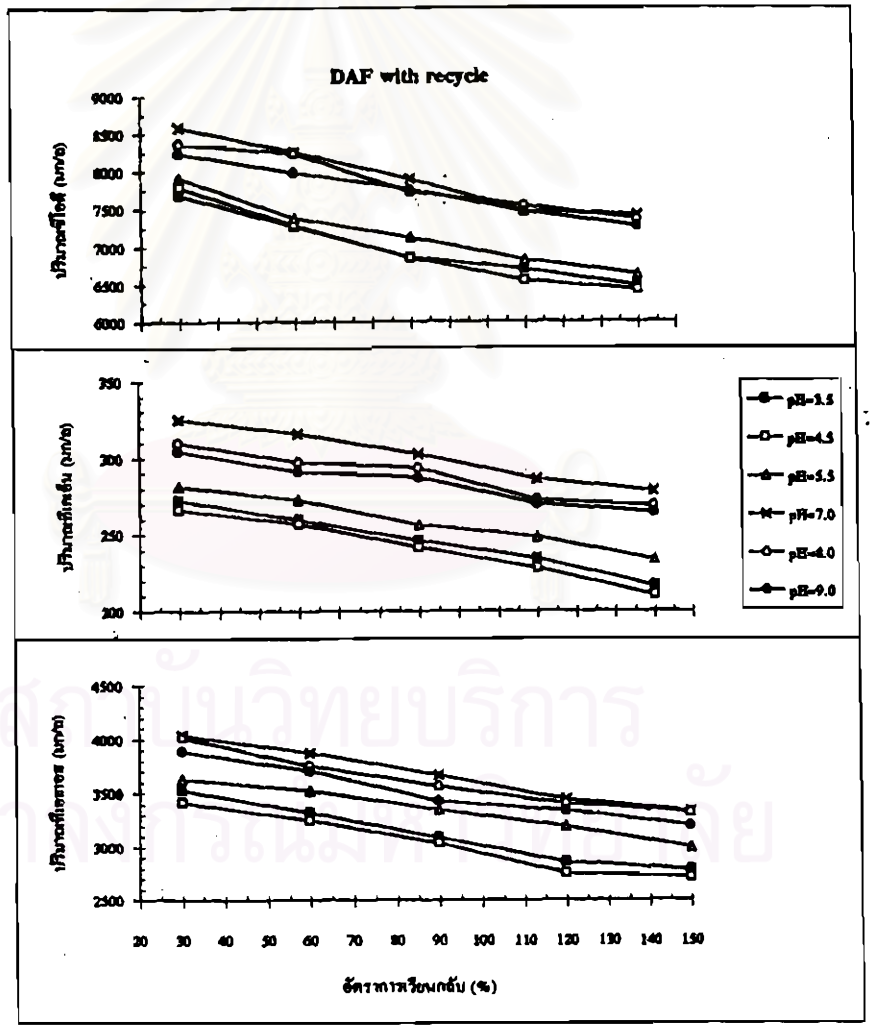


รูปที่ 4.11 แสดงปริมาณ COD TKN และ TSS คงเหลือในขั้นน้ำสำหรับระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ ที่ค่าพีเอชต่างๆ

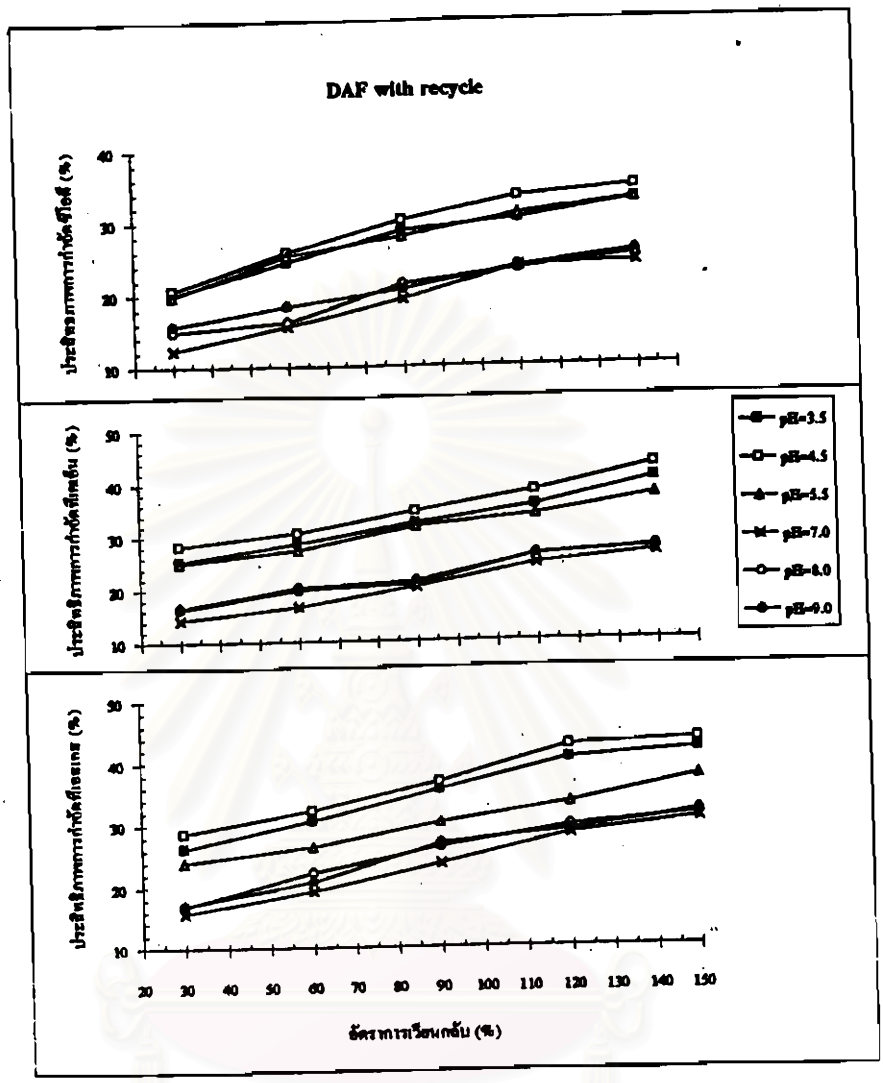


รูปที่ 4.12 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD TKN และ TSS สำหรับระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับที่ค่าพีเอชต่างๆ

2) การทดสอบในกรณีระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับ พบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดเท่ากับ 4.5 และ ค่าอัตราการเวียนกลับที่เหมาะสมอยู่ในช่วงระหว่าง 120%ถึง 150% หรือคิดเป็นค่าอัตราส่วน A/S เท่ากับ 0.0182 ถึง0.0227 มก.อากาศ/มก.ของแข็ง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอสเท่ากับ 33.2%-34.5% 38.4%-43.2% และ 42.5%-43.3% ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าการทดสอบโดยไม่ใช้สารเคมีเท่ากับ 9.4%-9.9% 13.4%-16.5% และ13.1%-14.3% ตามลำดับ โดยมีปริมาณซีโอดี ทีเคเอ็นและทีเอสเอสคงเหลือในชั้นน้ำเท่ากับ 6,420-6,545 มก/ล 210.2-228.0 มก/ล และ 2,710-2,749 มก/ล ตามลำดับดังแสดงในแสดงในรูปที่ 4.13และ4.14



รูปที่ 4.13 แสดงปริมาณCOD TKN และTSS คงเหลือในชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับ ที่ค่าพีเอชต่างๆ



รูปที่ 4.14 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD TKN และ TSS สำหรับระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับที่ค่าพีเอชต่างๆ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดมลสารโดยการตกตะกอนและกระบวนการดีเอเอฟ พบว่า ที่สภาวะเดียวกัน การตกตะกอนโดยวิธีจาร์เทสต์ มีประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอสสูงกว่าระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับเท่ากับ 4.4% 8.4% และ6.2% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับระบบดีเอเอฟที่มีการเวียนกลับ 120% - 150% พบว่าการตกตะกอนมีประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอสสูงกว่าเท่ากับ 2.5%-3.8% 5.4%-10.2% และ 4.4%-5.2% ตามลำดับ

จากผลการศึกษาข้างต้นสอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ V. Manera Neto (1994) ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดขั้นต้นน้ำเสียจากโรงงานสกัดโปรตีนจากถั่วเหลืองโดยกระบวนการดีเอเอฟ ซึ่งเป็นกรณีศึกษาในประเทศบราซิล จากการทดลองพบว่า จุดไอโซอิเลคตริค (i.e.p) ของโปรตีนถั่วเหลืองในน้ำเสียอยู่ในช่วงพีเอช 4.3-4.6 (สอดคล้องกับกรณีการทดสอบการตกตะกอนโดยการปรับพีเอช) ซึ่งที่จุดไอโซอิเลคตริคนี้โปรตีนจะละลายน้ำได้น้อยและก่อรูปเป็นตะกอนได้ดีกว่าค่าพีเอชอื่นๆ และเมื่อนำมาแยกตะกอนโปรตีนโดยกระบวนการดีเอเอฟพบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดมลสารในรูปต่างๆเพียง 30%-50% โดยประมาณ

4.3.3 การทดสอบกระบวนการดีเอเอฟโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์

การทดสอบกระบวนการดีเอเอฟโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์ มีขั้นตอนการทดลองคือ นำน้ำเสียตัวอย่างมาเติมสารละลายอลูมินัมซัลเฟต หรือ สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ในปริมาณ 50 100 150 200 และ 250 มก/ล ตามลำดับจากนั้นปรับค่าพีเอชของน้ำเสียเท่ากับ 4.5 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมจากการทดลองในหัวข้อ 4.3.2 ทดสอบการลอยตัวด้วยอากาศละลายโดยใช้อุปกรณ์ดีเอเอฟโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ และ ระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับโดยใช้อัตราการเวียนกลับ เท่ากับ 90% 120% และ 150% ซึ่งเป็นอัตราการเวียนกลับที่เหมาะสมจากการทดลองในหัวข้อ 4.3.2 จากนั้นแยกชั้นน้ำนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์ รายละเอียดผลการทดลองได้แสดงในตารางที่ 4.15และ 4.16 ตามลำดับ

จากการทดลองระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับหรือคิดเป็นค่าอัตราส่วน A/S เท่ากับ 0.0152 มก.อากาศ/มก.ของแข็ง สามารถแบ่งการพิจารณาได้ดังนี้

1) กรณีการใช้สารละลายอลูมินัมซัลเฟตเป็นสารโคแอกกูแลนท์ พบว่า ช่วงปริมาณการใช้ที่เหมาะสมเท่ากับ 200-250 มก/ล ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอส เท่ากับ 66.7%-70.3% 72.2%-73.5% และ75.3%-78.7% ตามลำดับ ซึ่งเพิ่มสูงกว่าการปรับพีเอชเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 34.1%-37.7% 32.0%-33.3% และ 33.8%-37.2% ตามลำดับ โดยมีปริมาณซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอสคงเหลือในชั้นน้ำเท่ากับ 2,935-3,280 มก/ล 98.6-102.3 มก/ล และ1,028-1,175 มก/ล ตามลำดับ

2) กรณีการใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารโคแอกกูแลนท์ พบว่า ช่วงปริมาณการใช้ที่เหมาะสมเท่ากับ 150-250มก/ล ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอส เท่ากับ 73.2%-76.4% 74.3%-80.5% และ75.8%-79.3.7%ตามลำดับ ซึ่งเพิ่มสูงกว่าการปรับพีเอช

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับเมื่อเติมสารส้มที่ปริมาณต่างๆ

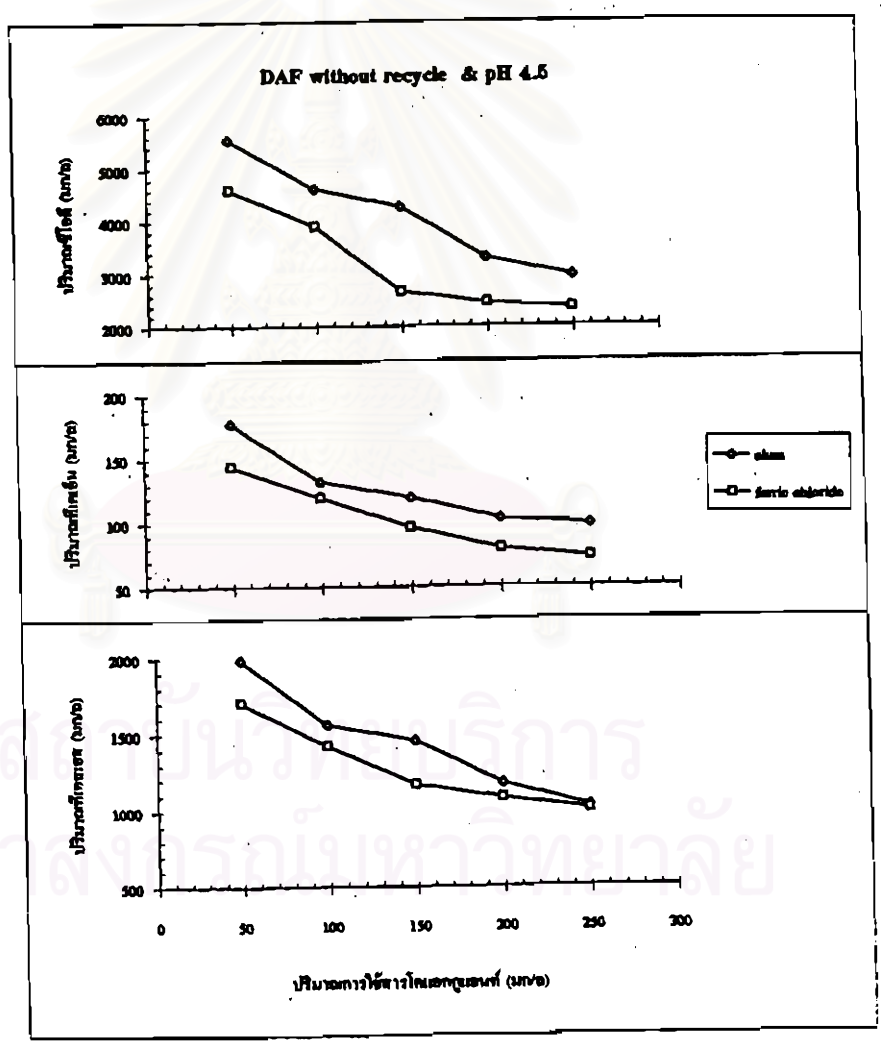
ปริมาณการใช้ $Al_2(SO_4)_3$ (mg/l)	ผลวิเคราะห์ชั้นน้ำ ระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ						
	pH	COD		TKN		TSS	
		(mg/l)	%removal	(mg/l)	%removal	(mg/l)	%removal
50	4.40	5,530	43.8	177.8	50.6	1,982	58.7
100	4.42	4,600	52.3	132.0	63.8	1,554	65.3
150	4.40	4,240	56.3	119.0	68.7	1,457	68.3
200	4.42	3,280	66.7	102.3	72.2	1,175	75.3
250	4.42	2,935	70.3	98.6	73.5	1,028	78.7

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับเมื่อเติมสาร $FeCl_3$ ที่ปริมาณต่างๆ

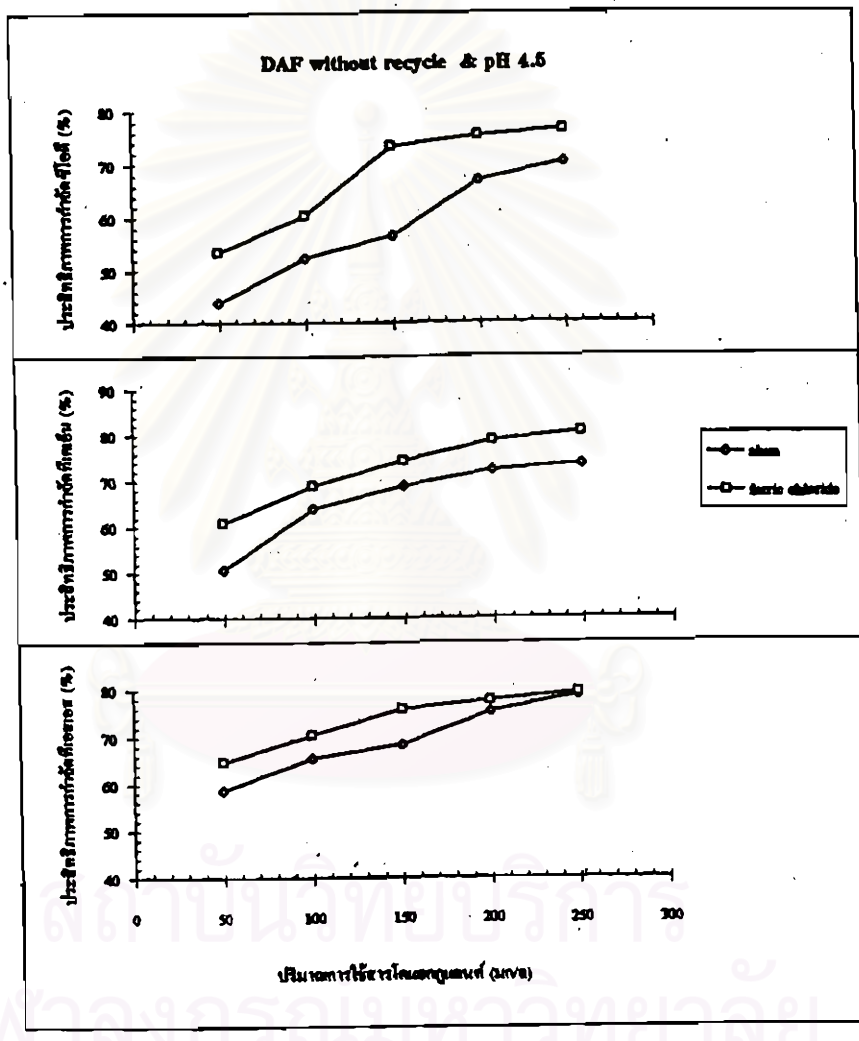
ปริมาณการใช้ $FeCl_3$ (mg/l)	ผลวิเคราะห์ชั้นน้ำ ระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ						
	pH	COD		TKN		TSS	
		lmg/l)	%removal	(mg/l)	%removal	(mg/l)	%removal
50	4.35	4,580	53.4	144.3	60.8	1,701	64.7
100	4.35	3,890	60.2	119.6	68.7	1,424	70.3
150	4.34	2,640	73.2	95.6	74.3	1,171	75.8
200	4.36	2,430	75.2	78.8	78.7	1,077	77.6
250	4.36	2,330	76.4	73.0	80.5	1,007	79.3

เพียงอย่างเดียวเท่ากับ 40.6%-43.8% 34.1%-40.3% และ 34.3%-37.8% ตามลำดับ โดยมีปริมาณซีโอดี ทีเคเอ็น และ ทีเอสเอสคงเหลือในชั้นน้ำ เท่ากับ2,330-2,640 มก/ล 73.0-95.6 มก/ล และ1,007-1,171 มก/ล ตามลำดับ

จากการเปรียบเทียบ พบว่า การใช้สารละลายเฟอริกคลอไรด์เป็นสารโคแอกกูแลนท์จะมีแนวโน้มของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอส สูงกว่าการใช้สารละลายอลูมินัมซัลเฟตประมาณ 3%-15% ที่ปริมาณการใช้เท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 4.15และ 4.16 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการตกตะกอนด้วยวิธีจาร์เทสต์ พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายเฟอริกคลอไรด์เท่ากัน แต่ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น และทีเอสเอสโดยวิธีการตกตะกอนจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับเล็กน้อย ประมาณ 3%- 9%



รูปที่ 4.15 แสดงปริมาณ COD TKN และTSS คงเหลือในชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ เมื่อเติมสาร Alum และสาร$FeCl_3$ในปริมาณต่างๆ



รูปที่ 4.16 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัด COD TKN และTSS สำหรับระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ เมื่อเติมสาร Alumและสาร$FeCl_3$ในปริมาณต่างๆ

สำหรับการทดสอบระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับที่ 90% 120%และ150% รายละเอียดผลการทดลองได้แสดงในตารางที่ 4.17 และ 4.18

ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับ 90% 120% และ 150% เมื่อเติมสารส้มที่ปริมาณต่างๆ

ปริมาณการใช้ $Al_2(SO_4)_3$ (mg/l)	ผลวิเคราะห์ชั้นน้ำ ระบบดีเอเอฟแบบใช้อัตราการเวียนกลับ 90%						
	pH	COD		TKN		TSS	
		(mg/l)	%removal	(mg/l)	%removal	(mg/l)	%removal
50	4.40	5,710	42.0	179.3	50.2	2,289	52.3
100	4.40	4,965	48.5	170.8	53.2	1,873	58.2
150	4.40	4,515	53.5	144.4	62.0	1,576	65.7
200	4.40	3,910	60.3	132.0	64.1	1,336	71.9
250	4.42	3,715	62.4	131.7	64.6	1,293	73.2
ระบบดีเอเอฟแบบใช้อัตราการเวียนกลับ 120%							
50	4.40	5,440	44.7	148.7	58.7	1,890	60.6
100	4.40	4,520	53.1	134.3	63.2	1,483	66.9
150	4.40	4,020	58.6	119.7	68.5	1,365	70.3
200	4.40	3,130	68.2	109.7	70.2	1,080	77.3
250	4.41	3,085	68.8	102.7	72.4	1,052	78.2
ระบบดีเอเอฟแบบใช้อัตราการเวียนกลับ 150%							
50	4.40	5,090	48.3	142.2	60.5	1,737	63.8
100	4.40	4,280	55.6	121.5	66.7	1,335	70.2
150	4.40	3,740	61.5	111.0	70.8	1,186	74.2
200	4.40	2,940	70.1	99.0	73.1	961	79.8
250	4.41	2,835	71.3	96.0	74.2	864	82.1

ตารางที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับ 90% 120% และ 150% เมื่อเติมสาร $FeCl_3$ ที่ปริมาณต่างๆ

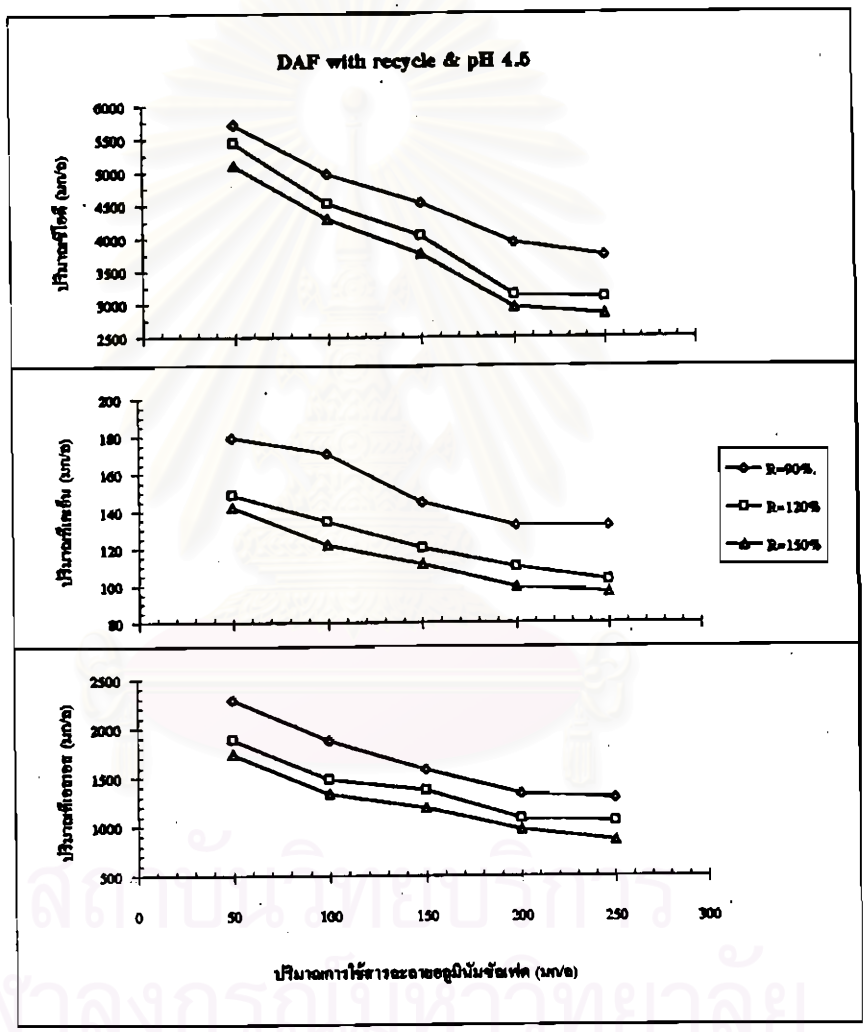
ปริมาณการใช้ $FeCl_3$ (mg/l)	ผลวิเคราะห์ชั้นน้ำ						
	ระบบดีเอเอฟแบบใช้อัตราการเวียนกลับ 90%						
	pH	COD		TKN		TSS	
		(mg/l)	%removal	(mg/l)	%removal	(mg/l)	%removal
50	4.35	5,130	47.8	152.0	58.7	1,904	60.5
100	4.35	4,530	53.7	132.2	65.4	1,616	66.3
150	4.35	3,130	68.2	106.0	71.5	1,447	70.1
200	4.36	2,920	70.2	98.4	73.4	1,385	71.2
250	4.36	2,885	70.8	93.0	75.2	1,362	72.0
ระบบดีเอเอฟแบบใช้อัตราการเวียนกลับ 120%							
50	4.35	4,590	53.3	139.5	62.1	1,677	65.2
100	4.35	4,120	57.9	113.8	70.2	1,362	71.6
150	4.36	2,610	73.5	83.7	77.5	1,181	75.6
200	4.36	2,540	74.1	75.8	79.5	1,150	76.1
250	4.36	2,410	75.6	74.3	80.2	1,104	77.3
ระบบดีเอเอฟแบบใช้อัตราการเวียนกลับ 150%							
50	4.35	4,140	57.8	131.4	64.3	1,508	68.7
100	4.35	3,560	63.6	104.0	72.8	1,271	73.5
150	4.34	2,390	75.7	73.7	80.2	1,098	77.3
200	4.36	2,340	76.1	66.0	82.2	1,034	78.5
250	4.36	2,240	77.3	64.5	82.8	958	80.3

จากการทดลองระบบดีเอเอฟที่อัตราการเวียนกลับ 90%-150% หรือคิดเป็นค่าอัตราส่วน A/S เท่ากับ 0.0136-0.0227 มก.อากาศ/มก.ของแข็ง พบว่า แนวโน้มของประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารในรูปซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอสจะสูงขึ้น เมื่อปริมาณการใช้สารโคแอกกูแลนท์เพิ่มขึ้น และใช้อัตราการเวียนกลับสูงขึ้น โดยแบ่งการพิจารณาได้ดังนี้

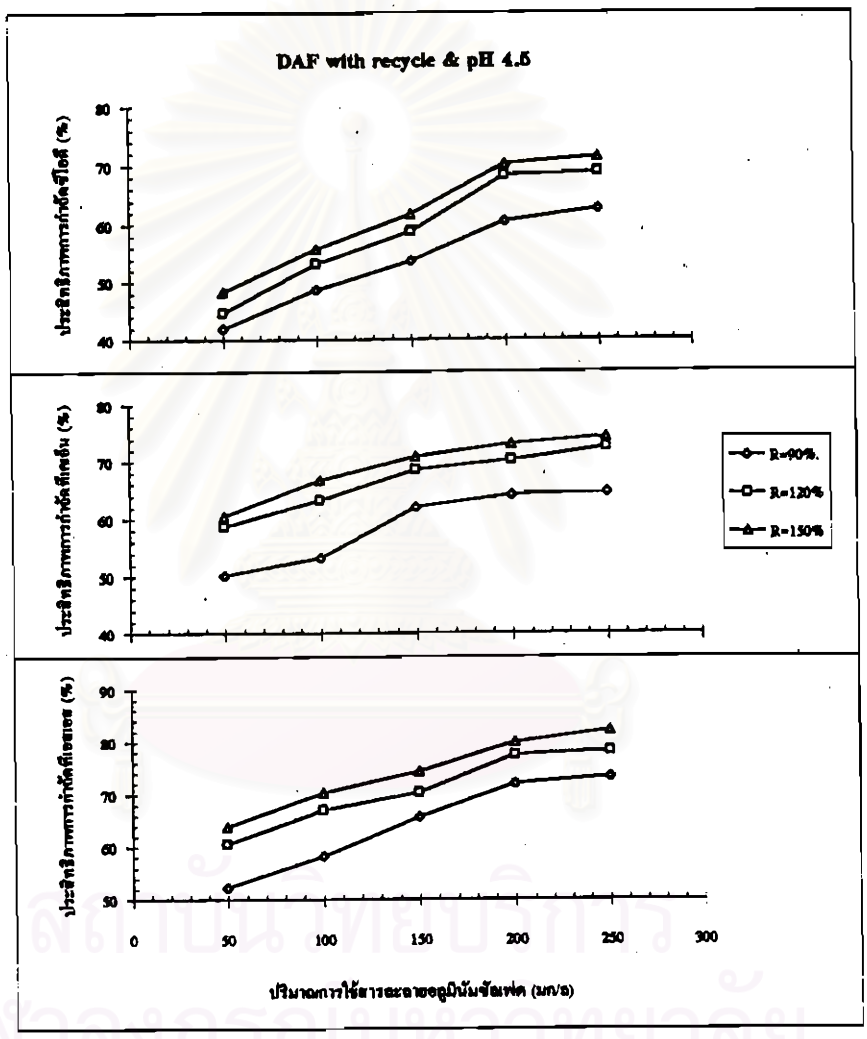
1) กรณีการใช้สารละลายอลูมินัมซัลเฟตเป็นสารโคแอกกูแลนท์ พบว่า ช่วงปริมาณการใช้ที่เหมาะสมเท่ากับ 200-250 มก/ล ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็นและทีเอสเอส เท่ากับ60.3%-71.3% 64.1%-74.2% และ71.9%-82.1% ตามลำดับ ซึ่งเพิ่มสูงกว่าการปรับพีเอชเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 30.2%-36.8% 29.5%-31.0% และ 35.2%-38.8% ตามลำดับ โดยมีปริมาณซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอสคงเหลือในชั้นน้ำ เท่ากับ 2,835-3,910 มก/ล 96.0-132.0 มก/ล และ864-1,336 มก/ล ตามลำดับ

2) กรณีการใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารโคแอกกูแลนท์ พบว่าช่วงปริมาณการใช้ที่เหมาะสมเท่ากับ 150-250 มก/ล ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็นและทีเอสเอส เท่ากับ 68.2%-77.3% 71.5%-82.8%และ70.1%-80.3%ตามลำดับ ซึ่งเพิ่มสูงกว่าการปรับพีเอชเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 38.1%-42.8% 36.9%-39.6% และ 33.4%-37.0% ตามลำดับ โดยมีปริมาณซีโอดี ทีเคเอ็น และ ทีเอสเอสคงเหลือในชั้นน้ำเท่ากับ 2,240-3,130 มก/ล 64.5-106.0 มก/ล และ958-1,447 มก/ล ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้รับจากการเติมสารโคแอกกูแลนท์ทั้งสองชนิด พบว่า สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์มีแนวโน้มของประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าการใช้สารละลายอลูมินัมซัลเฟตประมาณ 5%-20% ดังแสดงในรูปที่ 4.17 4.18 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ

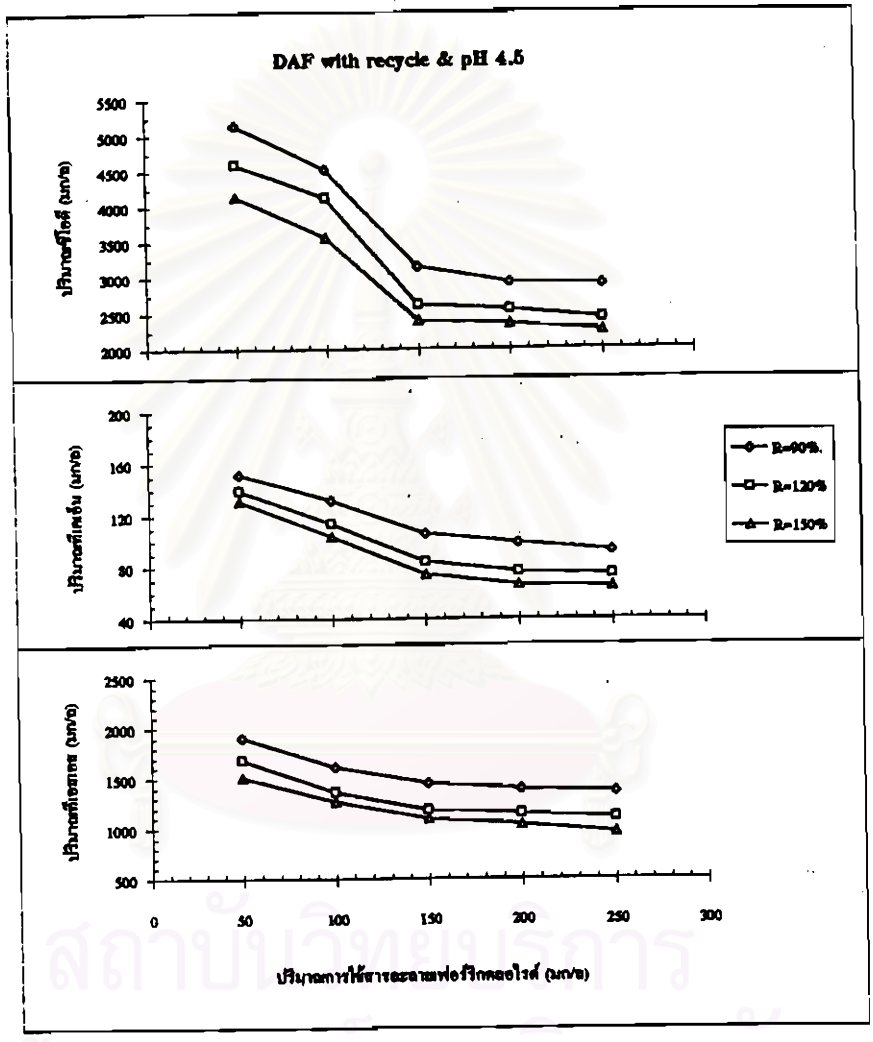
สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับและแบบมีการเวียนกลับ พบว่า ที่ความเข้มข้นสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เท่ากัน ระบบดีเอเอฟที่ใช้อัตราการเวียนกลับ 150% จะมีประสิทธิภาพการกำจัดมลสาร สูงกว่า ระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับเล็กน้อยประมาณ 3% และเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการตกตะกอนด้วยวิธีจาร์เทสต์ พบว่า ที่ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนท์เท่ากัน ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอสโดยการตกตะกอน จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบดีเอเอฟที่ใช้อัตราการเวียนกลับ 150% ประมาณ 2%-5%



รูปที่ 4.17 แสดงปริมาณCOD TKN และTSS คงเหลือในชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับที่ 90% 120% และ 150% เมื่อเติมสารส้มที่ปริมาณต่างๆ

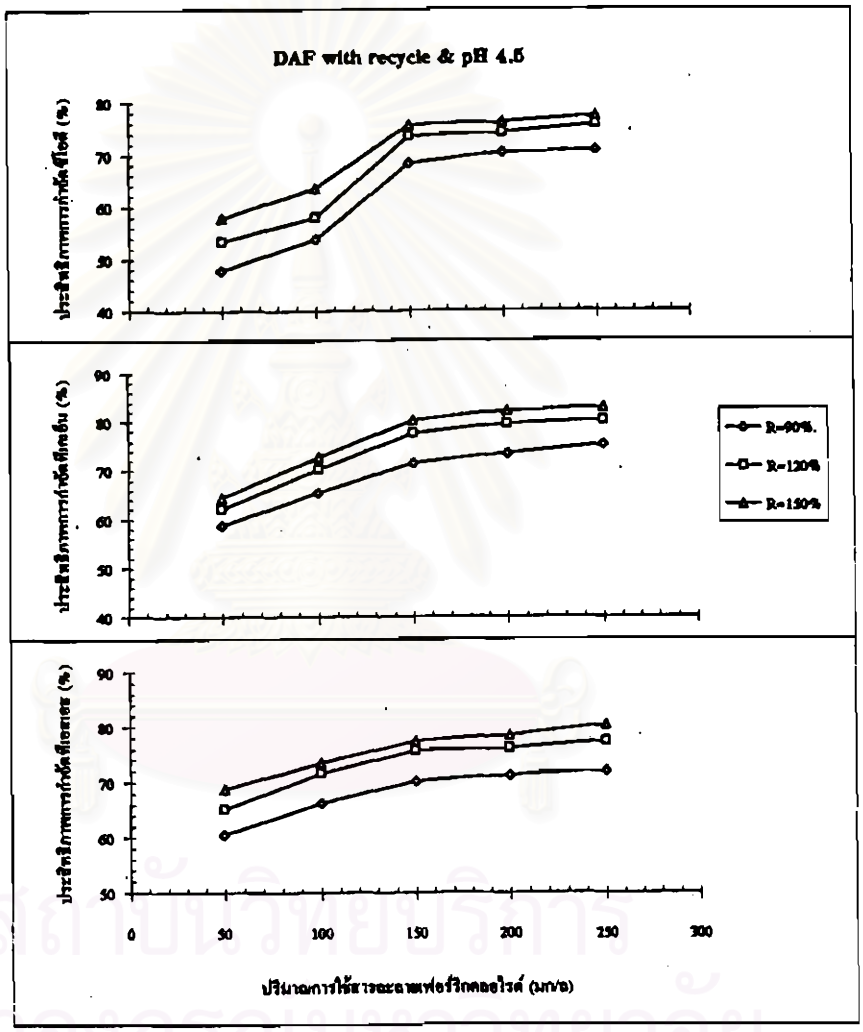


รูปที่ 4.18 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัด COD TKN และTSS สำหรับระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับที่ 90% 120% และ150% เมื่อเติมสารส้มที่ปริมาณต่างๆ



รูปที่ 4.19 แสดงปริมาณ COD TKN และTSS คงเหลือในขั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับที่ 90% 120% และ 150% เมื่อเติมสาร $FeCl_3$ ที่ปริมาณต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.20 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัด COD TKN และTSS สำหรับระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับที่ 90% 120% และ150% เมื่อเติมสาร $FeCl_3$ ที่ปริมาณต่างๆ

จากผลการศึกษาข้างต้นสอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ V. Manera Neto (1994) ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดโปรตีนจากถั่วเหลืองโดยกระบวนการดีเอเอฟ พบว่า การใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารโคแอกกูแลนท์มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้นและดีกว่าการปรับพีเอชเพียงอย่างเดียว โดยมีปริมาณการใช้ที่เหมาะสมในช่วง 200-300 มก/ล และให้ประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่าการใช้สารละลายอลูมินัมซัลเฟตในปริมาณการใช้ที่เท่ากัน โดยเป็นผลจากการที่สารละลายอลูมินัมซัลเฟตเมื่อละลายน้ำจะเกิดการแตกตัวเป็นประจุบวกและประจุลบ คือ Al^{+3} และ SO^{-2}_4 และที่สภาพพีเอชต่ำสารละลายอลูมินัมซัลเฟตจะแตกตัวเป็นอิออนคอมเพล็กในรูป Al^{+3} มากกว่ารูปคอมเพล็กอื่นๆ ซึ่งAl^{+3} มีความสามารถในการดูดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้น้อยมาก เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพในการทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์ต่ำกว่าสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ โดยสังเกตได้จากปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นจากการเติมสารโคแอกกูแลนท์ทั้งสองชนิด ดังนั้นสารละลายอลูมินัมซัลเฟตจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำกว่าสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ สำหรับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ เมื่อละลายในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสต่อเนื่องจนเกิดเป็น $Fe(OH)_3$ ซึ่ง$Fe(OH)_3$ นี้จะทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์โดยกลไกแบบห่อหุ้ม โดยจะรวมอนุภาคคอลลอยด์เหล่านี้กลายเป็นตะกอนที่มีขนาดขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้สารประกอบเหล็กเป็นสารโคแอกกูแลนท์ จะช่วยเพิ่มคุณค่าของตะกอนโปรตีนที่นำกลับโดยจะมีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบในตะกอนเหล่านั้น

4.3.4 การทดสอบกระบวนการดีเอเอฟโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์ร่วมกับสารโคแอกกูแลนท์เอด

การทดสอบกระบวนการดีเอเอฟโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์ร่วมกับสารโคแอกกูแลนท์เอด มีขั้นตอนการทดลองคือ นำน้ำเสียตัวอย่างมาเติมสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ในปริมาณ 150 มก/ล และปรับค่าพีเอชของน้ำเสียเท่ากับ 4.5 ซึ่งเป็นสภาพที่เหมาะสมจากการทดลองในหัวข้อ4.3.3 จากนั้นเติมสารโคแอกกูแลนท์เอด คือ สารโพลีเมอร์ประจุบวกในปริมาณเท่ากับ 1 5 10 15 และ 20 มก/ล ตามลำดับ หรือเติมสารโพลีเมอร์ประจุลบในปริมาณเท่ากับ 0.2 0.5 1 2 และ 3 มก/ล ตามลำดับ ทดสอบการลอยตัวด้วยอากาศละลายโดยใช้อุปกรณ์ดีเอเอฟ แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ระบบคือระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ และระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับโดยใช้อัตราการเวียนกลับเท่ากับ 90% 120% และ150% ซึ่งเป็นช่วงอัตราการเวียนกลับที่เหมาะสม จากนั้นแยกชั้นน้ำไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์เอดร่วมกับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ รายละเอียดผลการทดลอง

ได้แสดงในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำ สำหรับระบบตีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ เมื่อเติมสาร $FeCl_3$ 150 มก/ล ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกและโพลีเมอร์ประจุลบในปริมาณต่างๆ

ปริมาณการใช้ cationic polymer (mg/l)	ผลวิเคราะห์ชั้นน้ำ ระบบตีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ						
	pH	COD		TKN		TSS	
		(mg/l)	%removal	(mg/l)	%removal	(mg/l)	%removal
1	4.34	2,260	77.3	76.8	80.2	959	80.5
5	4.34	2,110	78.7	59.2	84.5	842	82.8
10	4.33	1,760	82.3	52.5	86.4	702	85.7
15	4.35	1,560	84.2	44.0	88.6	629	87.1
20	4.35	1,350	86.3	37.0	90.2	514	89.4
anionic polymer (mg/l)	ผลวิเคราะห์ชั้นน้ำ ระบบตีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ						
0.2	4.30	2,300	76.8	84.0	78.7	1,012	79.5
0.5	4.30	2,170	78.2	74.0	81.4	853	82.8
1.0	4.29	1,620	83.6	52.4	86.5	621	87.3
2.0	4.29	1,180	88.2	43.0	89.1	514	89.7
3.0	4.29	1,080	89.1	38.0	90.3	503	89.8

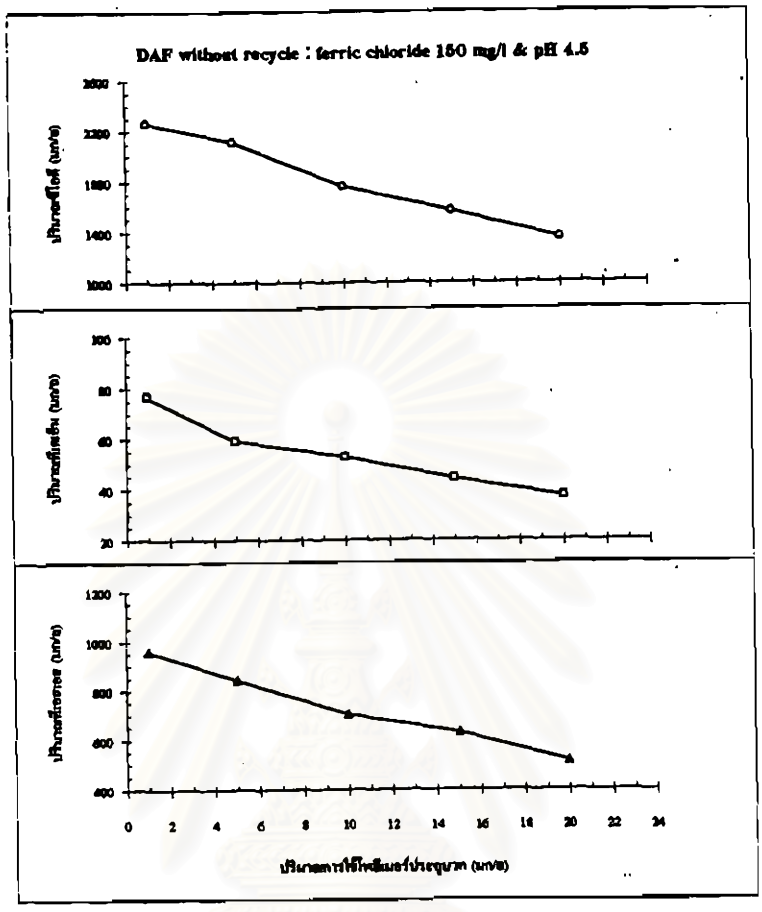
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการทดลองระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับหรือคิดเป็นค่าอัตราส่วน A/S เท่ากับ 0.0152 มก.อากาศ/มก.ของแข็ง เมื่อเติมสารโพลีเมอร์ประจุบวกหรือสารโพลีเมอร์ประจุลบ เป็นสารโคแอกกูแลนท์เอด พบว่า แนวโน้มของประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารในรูปต่างๆสูงกว่าการใช้สารเฟอร์ริกคลอไรด์เพียงอย่างเดียว ซึ่งสามารถแบ่งการพิจารณาได้ดังนี้

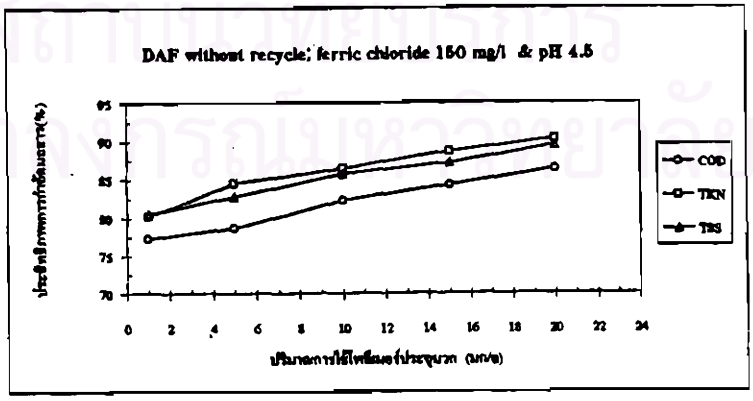
1) กรณีการใช้โพลีเมอร์ประจุบวก ร่วมกับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 150 มก/ล พบว่า ปริมาณการใช้สารโพลีเมอร์ประจุบวกที่สูงสุด เท่ากับ 20 มก/ล ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอส เท่ากับ 86.3% 90.2% และ 89.4% ตามลำดับ ซึ่งเพิ่มสูงกว่าการใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เพียงอย่างเดียวเท่ากับ 13.1% 15.9% และ 13.6% ตามลำดับ โดยมีปริมาณซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอสคงเหลือในชั้นน้ำเท่ากับ 1,350 มก/ล 37.0 มก/ล และ 514 มก/ล ตามลำดับ

2) กรณีการใช้โพลีเมอร์ประจุลบ ร่วมกับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 150 มก/ล พบว่า ปริมาณการใช้สารโพลีเมอร์ประจุลบที่เหมาะสม เท่ากับ 2 มก/ล ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอส เท่ากับ 88.2% 89.1% และ 89.7% ตามลำดับ ซึ่งเพิ่มสูงกว่าการใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เพียงอย่างเดียวเท่ากับ 15.0% 14.8% และ13.9% ตามลำดับ โดยมีปริมาณซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอสคงเหลือในชั้นน้ำเท่ากับ 1,180 มก/ล 43.0 มก/ล และ 514 มก/ล ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.21 4.22 4.23 และ4.24 ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบการใช้สารโคแอกกูแลนท์เอดทั้งสองชนิดพบว่าโพลีเมอร์ประจุลบมีปริมาณการใช้น้อยกว่าโพลีเมอร์ประจุบวกประมาณ 10 เท่า โดยให้ประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารสูงกว่าเล็กน้อย

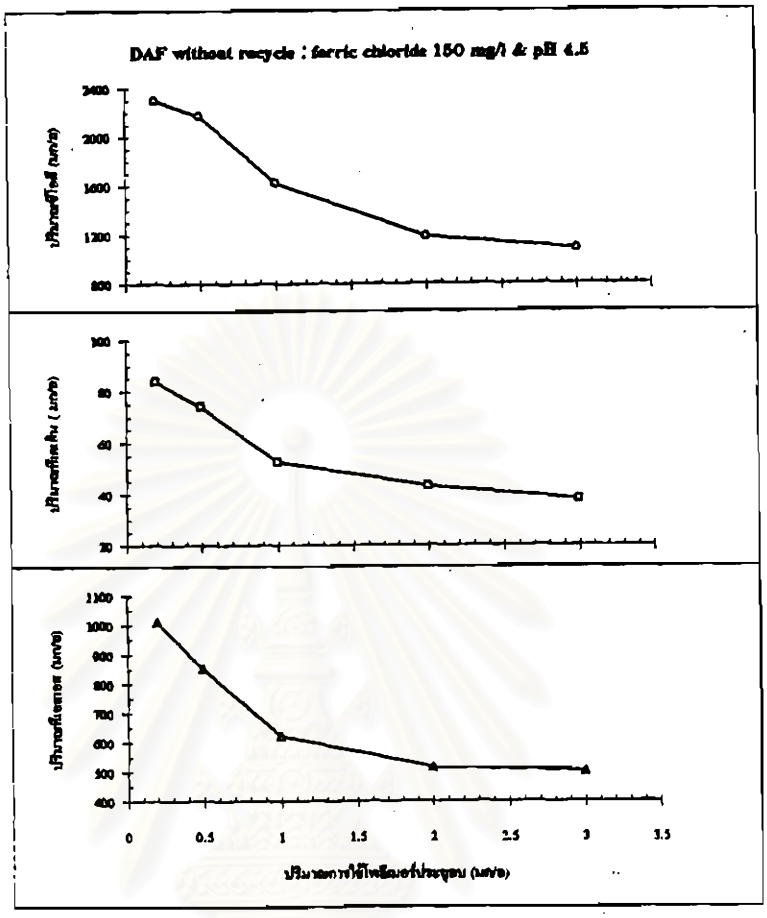
เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการตกตะกอนด้วยวิธีจาร์เทสต์ ที่สภาวะเดียวกัน พบว่า ที่สภาวะการใช้โพลีเมอร์ประจุบวก 20 มก/ล ร่วมกับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 150 มก/ล กระบวนการตกตะกอนจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอส สูงกว่าระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับเล็กน้อย เท่ากับ 7.5% 3.1% และ 6.0% ตามลำดับ และที่สภาวะการใช้โพลีเมอร์ประจุลบ 2 มก/ล ร่วมกับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 150 มก/ล กระบวนการตกตะกอนจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอส ใกล้เคียงกับระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับโดยกระบวนการตกตะกอนมีประสิทธิภาพสูงกว่าเท่ากับ 4.4% 4.3% และ 2.9% ตามลำดับ



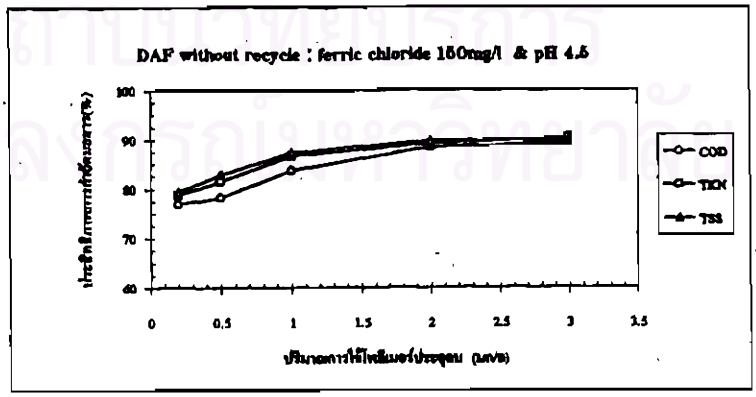
รูปที่ 4.21 แสดงปริมาณ COD TKN และTSS คงเหลือในชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ เมื่อเติม $FeCl_3$ 150 มก/ล ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ



รูปที่ 4.22 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัด COD TKN และTSS สำหรับระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ เมื่อเติม $FeCl_3$ 150 มก/ล ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ



รูปที่ 4.23 แสดงปริมาณ COD TKN และTSS คงเหลือในชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ เมื่อเติม $FeCl_3$ 150 มก/ล ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบในปริมาณต่างๆ



รูปที่ 4.24 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัด COD TKN และTSS สำหรับระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ เมื่อเติม $FeCl_3$ 150 มก/ล ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบในปริมาณต่างๆ

สำหรับการทดสอบระบบดีเอเอฟที่อัตราการเวียนกลับ 90% 120% และ150% รายละเอียดผลการทดลองได้แสดงในตารางที่ 4.20 และ 4.21

ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับ 90%120% และ 150% เมื่อเติมสาร $FeCl_3$ 150 มก/ล ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ

ปริมาณการใช้ cationic polymer (mg/l)	ผลวิเคราะห์ชั้นน้ำ ระบบดีเอเอฟแบบใช้อัตราการเวียนกลับ 90%						
	pH	COD		TKN		TSS	
		(mg/l)	%removal	(mg/l)	%removal	(mg/l)	%removal
1	4.34	2,860	71.3	95.4	75.4	1,199	75.6
5	4.33	2,600	73.7	75.3	80.3	1,038	78.8
10	4.34	2,130	78.5	64.8	83.2	977	80.1
15	4.35	2,040	79.3	59.0	84.7	809	83.4
20	4.33	1,730	82.4	43.6	88.5	698	85.6
ระบบดีเอเอฟแบบใช้อัตราการเวียนกลับ 120%							
1	4.35	2,450	75.4	79.0	79.6	1,022	79.2
5	4.34	2,200	77.8	63.4	83.4	862	82.4
10	4.33	1,860	81.3	52.0	86.5	796	83.8
15	4.35	1,720	82.6	40.4	89.5	648	86.7
20	4.33	1,365	86.1	35.2	90.7	548	88.7
ระบบดีเอเอฟแบบใช้อัตราการเวียนกลับ 150%							
1	4.34	2.,100	78.9	68.3	82.4	855	82.6
5	4.34	1,950	80.3	50.4	86.8	749	84.7
10	4.34	1,430	85.6	45.0	88.3	565	88.5
15	4.34	1,350	86.3	37.7	90.2	473	90.3
20	4.34	1,090	88.9	29.6	92.2	427	91.2

ตารางที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับ 90%120% และ 150% เมื่อเติมสาร $FeCl_3$ 150 มก/ล ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบในปริมาณต่างๆ

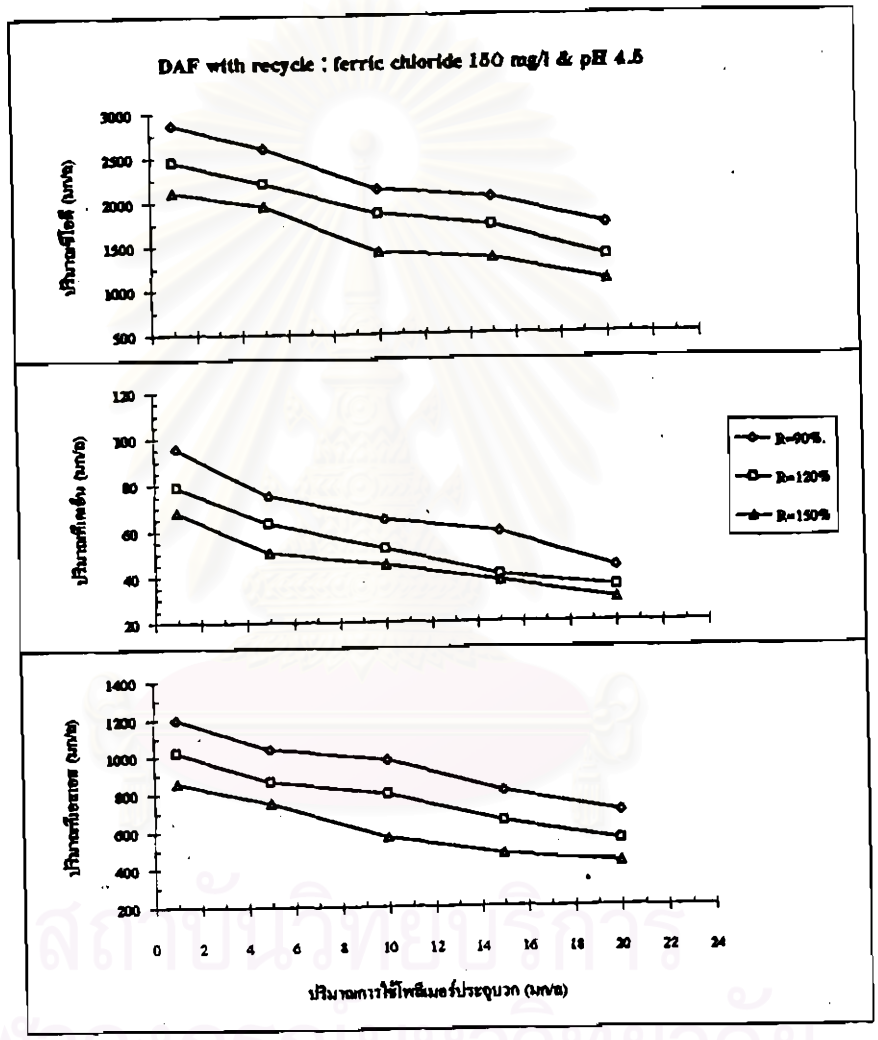
ปริมาณการใช้ anionic polymer (mg/l)	ผลวิเคราะห์ชั้นน้ำ ระบบดีเอเอฟแบบใช้อัตราการเวียนกลับ 90%						
	pH	COD		TKN		TSS	
		(mg/l)	%removal	(mg/l)	%removal	(mg/l)	%removal
0.2	4.30	2,930	70.5	105.8	73.2	1,298	73.7
0.5	4.28	2,360	76.3	101.5	74.5	1,086	78.1
1	4.28	1,970	80.1	83.0	78.6	822	83.2
2	4.28	1,650	83.5	73.0	81.5	783	84.3
3	4.28	1,470	85.2	66.0	83.2	685	86.1
ระบบดีเอเอฟแบบใช้อัตราการเวียนกลับ 120%							
0.2	4.29	2,340	76.4	82.2	79.2	1,017	79.4
0.5	4.29	2,030	79.6	73.2	81.6	828	83.3
1	4.29	1,650	83.3	57.4	85.2	582	88.1
2	4.28	1,220	87.8	46.2	88.3	523	89.5
3	4.28	1,130	88.6	38.5	90.2	478	90.3
ระบบดีเอเอฟแบบใช้อัตราการเวียนกลับ 150%							
0.2	4.29	2.,060	79.2	66.0	83.3	879	82.2
0.5	4.30	1,750	82.4	60.5	84.8	600	87.9
1	4.29	1,340	86.5	37.6	90.3	455	90.7
2	4.29	980	90.2	33.2	91.6	459	90.8
3	4.28	870	91.2	30.7	92.2	434	91.2

จากการทดลองระบบดีเอเอฟโดยใช้อัตราการเวียนกลับ90%-150%หรือคิดเป็นค่าอัตราส่วน A/S เท่ากับ 0.0136-0.0227 มก.อากาศ/มก.ของแข็ง พบว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารในรูปซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอสจะสูงขึ้น เมื่อปริมาณการใช้สารโพลีเมอร์เพิ่มขึ้นและใช้อัตราการเวียนกลับสูงขึ้น โดยแบ่งการพิจารณาได้ดังนี้

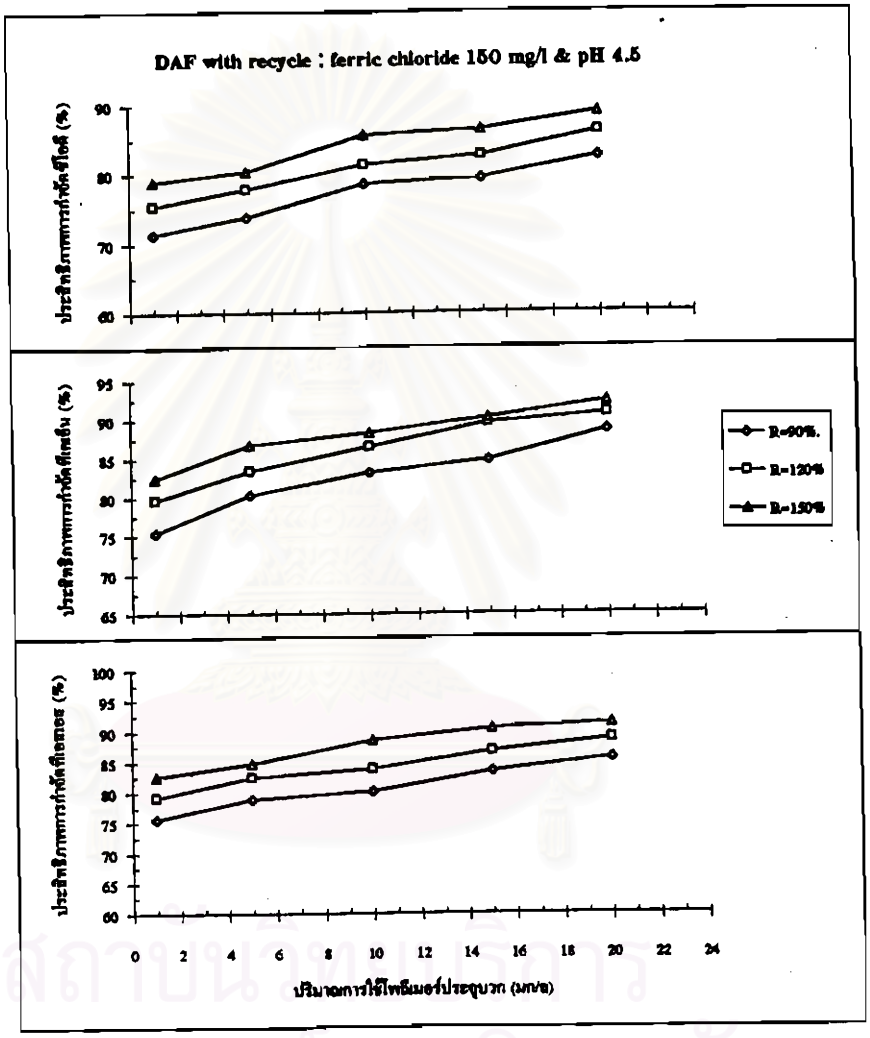
1) กรณีการใช้โพลีเมอร์ประจุบวก ร่วมกับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 150 มก/ล พบว่าปริมาณการใช้สารโพลีเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมเท่ากับ 15-20 มก/ล ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอส เท่ากับ 79.3%- 88.9% 84.7%-92.2% และ 83.4%-91.2% ตามลำดับ ซึ่งเพิ่มสูงกว่าการใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เพียงอย่างเดียวเท่ากับ 11.1%-13.2% 12.0%-13.2% และ13.3%-13.9% ตามลำดับ โดยมีปริมาณ ซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอสคงเหลือในชั้นน้ำ เท่ากับ1,090-2,040 มก/ล 29.6-59.0 มก/ล และ 427-809 มก/ล ตามลำดับ

2) กรณีการใช้โพลีเมอร์ประจุลบ ร่วมกับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 150 มก/ล พบว่าปริมาณการใช้สารโพลีเมอร์ประจุลบที่เหมาะสม เท่ากับ 2-3 มก/ล ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอส เท่ากับ 83.5%-91.2% 81.5%-92.2% และ 84.3%-91.2% ตามลำดับ ซึ่งเพิ่มสูงกว่าการใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เพียงอย่างเดียวเท่ากับ 15.3%-15.5% 10.0%-12.0% และ13.9%-14.2% ตามลำดับ โดยมีปริมาณซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอสคงเหลือในชั้นน้ำเท่ากับ 870-1,670 มก/ล 30.7-73.0 มก/ล และ 434 - 783 มก/ล ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.25 4.26 4.27 และ 4.28 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้รับจากการเติมสารโพลีเมอร์ทั้งสองชนิด พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณการใช้โพลีเมอร์ประจุลบมีค่าต่ำกว่าโพลีเมอร์ประจุบวกประมาณ 10 เท่า และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างระบบดีเอเอฟแบบที่มีการเวียนกลับและไม่มีการเวียนกลับ พบว่า ที่สภาวะเดียวกัน ระบบดีเอเอฟที่ใช้อัตราการเวียนกลับ 150 % จะมีประสิทธิภาพการกำจัดมลสารในรูปต่างๆสูงกว่าระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับประมาณ 3 % และเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการตกตะกอนด้วยวิธีจาร์เทสต์ ที่สภาวะเดียวกัน พบว่า ที่สภาวะการใช้โพลีเมอร์ประจุบวก 15 มก/ล ร่วมกับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 150 มก/ล กระบวนการตกตะกอนจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอส สูงกว่าระบบดีเอเอฟที่ใช้อัตราการเวียนกลับ 150% เท่ากับ 6.1% 4.5% และ 4.9% ตามลำดับ และที่สภาวะการใช้โพลีเมอร์ประจุลบ 2 มก/ล ร่วมกับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 150 มก/ล กระบวนการตกตะกอนจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอส สูงกว่าระบบดีเอเอฟที่ใช้อัตราการเวียนกลับ 150% เท่ากับ 2.4% 1.8% และ 1.8% ตามลำดับ

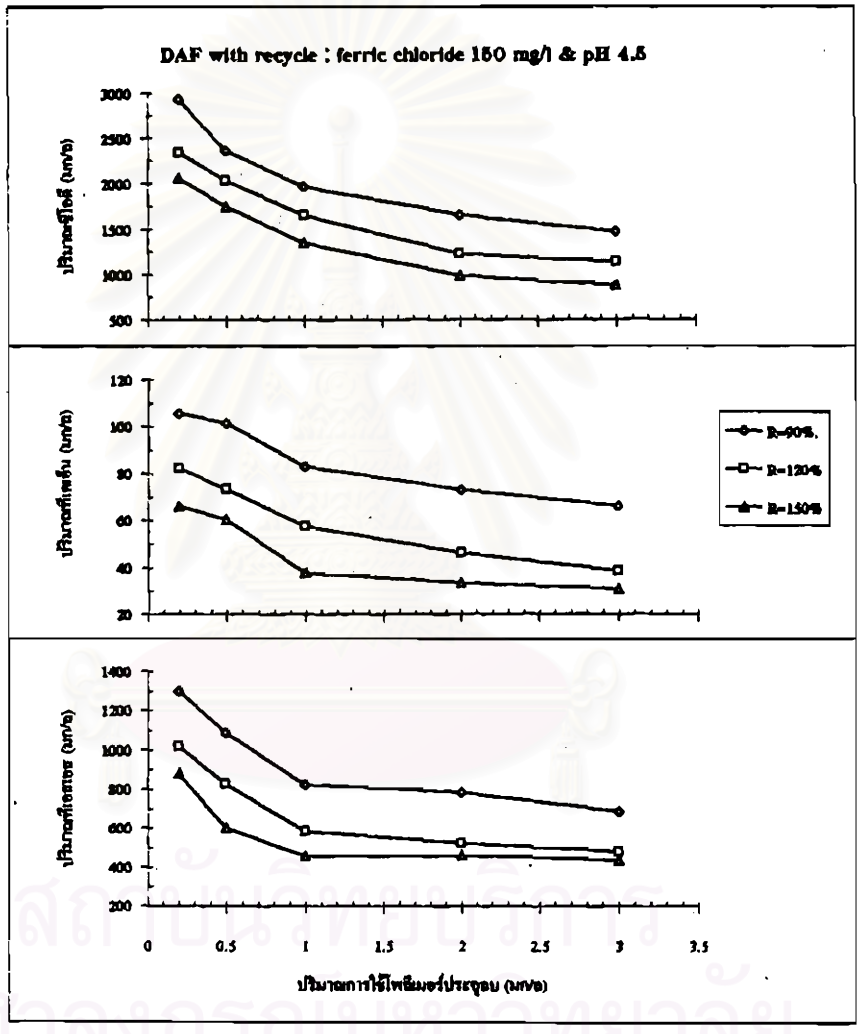


รูปที่ 4.25 แสดงปริมาณ COD TKN และTSS คงเหลือในชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟที่อัตราการเวียนกลับที่ 90% 120% และ 150% เมื่อเติมสาร $FeCl_3$ 150 มก/ล ร่วมกับสารโพลีเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ

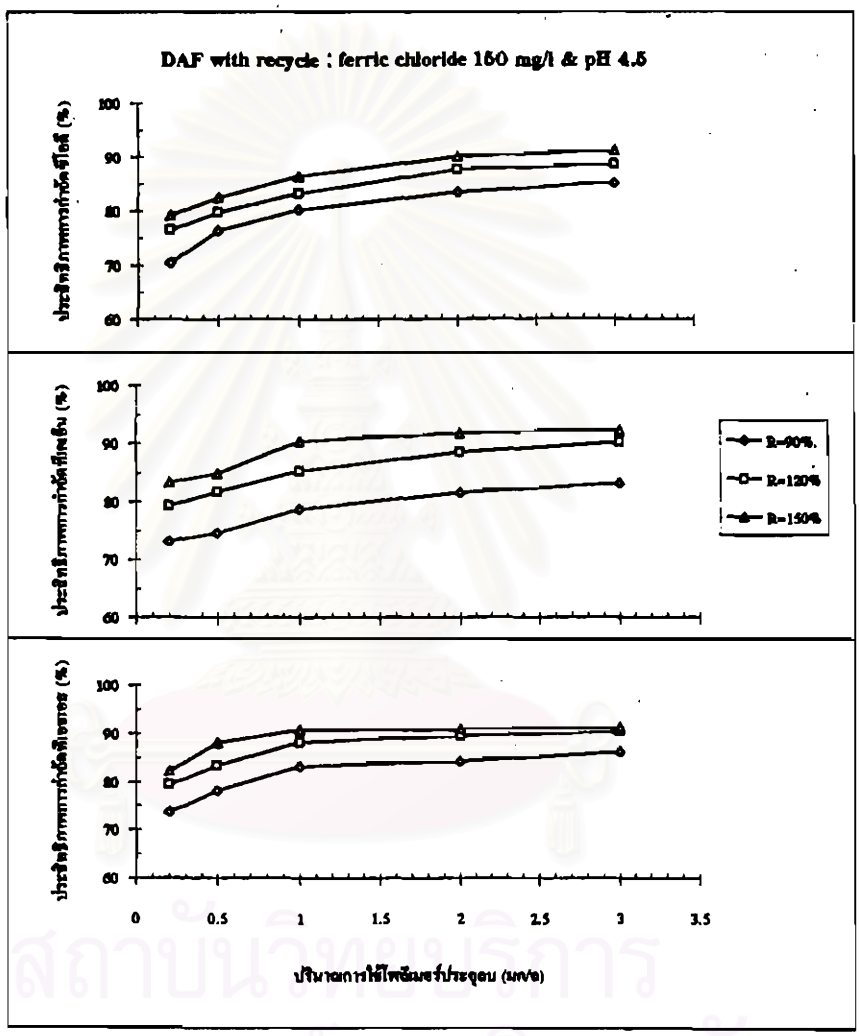


รูปที่ 4.26 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัด COD TKN และTSS สำหรับระบบดีเอเอฟที่อัตราการเวียนกลับที่ 90% 120% และ 150% เมื่อเติมสาร $FeCl_3$ 150 มก/ล ร่วมกับสารโพลีเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.27 แสดงปริมาณ COD TKN และTSS คงเหลือในชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟที่อัตราการเวียนกลับที่ 90% 120% และ 150% เมื่อเติมสาร $FeCl_3$ 150 มก/ล ร่วมกับสารโพลีเมอร์ประจุลบในปริมาณต่างๆ



รูปที่ 4.28 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัด COD TKN และTSS สำหรับระบบดีเอเอฟที่อัตราการเวียนกลับที่ 90% 120% และ 150% เมื่อเติมสาร $FeCl_3$ 150 มก/ล ร่วมกับสารโพลีเมอร์ประจุลบในปริมาณต่างๆ

4.3.5 สรุปผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโดยกระบวนการดีเอเอฟ

จากการวิเคราะห์โดยรวมผลการศึกษาของทุกกลุ่มการทดลอง สามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการดีเอเอฟ คือ ค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 4.5 ค่าอัตราการเวียนกลับในกรณีระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับเท่ากับ 120%-150% ซึ่งคิดเป็นค่าอัตราส่วน A/S เท่ากับ 0.0182-0.0227 มก.อากาศ/มก.ของแข็ง ชนิดและปริมาณสารโคแอกกูแลนท์ที่เหมาะสม คือ สารละลายเฟอริกคลอไรด์ 150 มก/ล และ ชนิดและปริมาณสารโคแอกกูแลนท์เอดที่เหมาะสม คือ โพลีเมอร์ประจุลบ 2 มก/ล หรือโพลีเมอร์ประจุบวก 15 มก/ล ซึ่งที่สภาวะดังกล่าวนี้จะสามารถกำจัด ซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอส ได้เท่ากับ 87.8%-90.2% 88.3%-91.6% และ 89.5%-90.8% ตามลำดับเมื่อใช้สารโพลีเมอร์ประจุลบ และเท่ากับ 82.6%-86.3% 89.5%-90.2% และ 86.7%-90.3% ตามลำดับเมื่อใช้สารโพลีเมอร์ประจุบวก โดยมีปริมาณซีโอดี ทีเคเอ็น และทีเอสเอสคงเหลือในชั้นน้ำเท่ากับ 980- 1,220 มก/ล 33.2- 46.2 มก/ล และ 459 - 523 มก/ล ตามลำดับเมื่อใช้สารโพลีเมอร์ประจุลบ และเท่ากับ 1,350- 1,720 มก/ล 37.7- 40.4 มก/ล และ 473 - 648 มก/ล ตามลำดับเมื่อใช้สารโพลีเมอร์ประจุบวก

4.4 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของตะกอน

จากการสอบถาม บริษัท เซนทาโกผลิตอาหารสัตว์ จำกัด พบว่า โดยปกติแล้วทางโรงงานผลิตอาหารสัตว์ที่รับซื้อกากตะกอนโปรตีน จะมีองค์ประกอบในการพิจารณาที่สำคัญ คือ ปริมาณโปรตีน(%) ปริมาณสารอินทรีย์ในรูปทีวีเอสต่อทีเอสเอส(%) และความชื้นของตะกอน(%)โดยมีเกณฑ์ในการรับซื้อกากตะกอน ดังแสดงในตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 เกณฑ์การพิจารณาในการรับซื้อกากตะกอนโปรตีน(บริษัท เซนทาโก จำกัด ,2540)

เกรดของตะกอน	โปรตีน(%)	ความชื้น(%)	ทีวีเอสต่อทีเอสเอส(%)	ราคา(บ/กก*)
A	> 85	< 15	> 95	10-12
B	70-84	< 30	> 90	6-10
C	50-70	< 40	> 85	3-6
D	25-50	< 50	> 80	1-3

*กิโลกรัม คือ น้ำหนักของตะกอนที่มีความชื้นตามเกณฑ์ในการพิจารณา

ดังนั้นในงานศึกษาครั้งนี้จึงแยกเอาตะกอนที่เกิดขึ้นจากการทดลองนำมาวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมีโดยหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้ ได้แก่ ค่าทีเคเอ็น ค่าทีเอสเอส ค่าทีวีเอส ความชื้นของตะกอน และปริมาณตะกอน ซึ่งผลการวิเคราะห์ตะกอนของแต่ละกลุ่มการทดลองแสดงได้ในตารางที่ 4.23 และการประเมินราคาตะกอนโดยนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ส่งให้ บริษัท เซนทาโก จำกัดประเมินราคา

ตารางที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ตะกอนในแต่ละกลุ่มการทดลอง

กลุ่มการทดลอง	ผลวิเคราะห์ตะกอน				
	ทีเคเอ็น (มก/ก)	ทีเอสเอส (มก/ล)	ทีวีเอส (มก/ล)	ความชื้น %	ปริมาณตะกอน (มล/ล)
- การตกตะกอนโดยใช้ สารปรับพีเอช					
pH=4.5	46.3	17,745	16,570	26.0	140
- การตกตะกอนโดยใช้ สาร coagulant					
Alum 250 mg/l;pH=4.5	63.7	22,370	21,580	28.5	175
$FeCl_3$ 200 mg/l;pH=4.5	61.3	21,085	19,545	26.0	190
- การตกตะกอนโดยใช้ สาร coagulant + polymer					
$FeCl_3$ 200 mg/l;pH=4.5+cationic 15 mg/l	62.4	21,080	19,950	26.0	232
$FeCl_3$ 200 mg/l;pH=4.5+anionic 2 mg/l	63.0	21,120	20,005	20.0	229
- การทดสอบDAFโดยไม่ใช้สารเคมี					
ก) without recycle pH=7.55	40.2	14,695	13,505	21.0	120
ข) recycle 150% pH=7.55	41.7	15,120	14,225	24.0	125
- การทดสอบDAFโดยใช้สารปรับพีเอช					
ก) without recycle pH=4.5	52.3	17,825	16,525	23.0	132
ข) recycle 150% pH=4.5	54.2	18,040	17,035	24.6	135
- การทดสอบDAFโดยใช้สาร coagulant					
ก) without recycle					
Alum 200 mg/l ; pH=4.5	63.8	21,840	20,420	22.6	175
$FeCl_3$ 150 mg/l ; pH=4.5	66.3	22,580	21,040	23.2	173
ข) recycle 150%					
Alum 200 mg/l ; pH=4.5	63.5	22,140	20,810	24.8	180
$FeCl_3$ 150 mg/l ;pH=4.5	68.8	22,450	21,110	22.8	177

ตารางที่ 4.23 ต่อ

กลุ่มการทดลอง	ผลวิเคราะห์ตะกอน				
	ทีเคเอ็น (มก/ก)	ทีเอสเอส (มก/ล)	ทีวีเอส (มก/ล)	ความชื้น %	ปริมาณตะกอน (มล/ล)
- การทดสอบDAFโดยใช้สาร coagulant + polymer					
ก) without recycle					
$FeCl_3$ 150 mg/l;pH=4.5+cationic 15 mg/l	72.6	23,510	21,580	25.7	188
$FeCl_3$ 150 mg/l;pH=4.5+anionic 2 mg/l	72.2	23,650	21,690	25.1	195
ข) recycle 150%					
$FeCl_3$ 150 mg/l;pH=4.5+cationic 15 mg/l	72.7	23,660	22,260	24.3	194
$FeCl_3$ 150 mg/l;pH=4.5+anionic 2 mg/l	72.4	23,450	22,230	24.7	200

จากตารางที่ 4.23 สามารถแบ่งการพิจารณาได้ดังนี้

4.4.1 ผลวิเคราะห์ตะกอนจากการตกตะกอนโดยใช้สารปรับพีเอช

จากผลวิเคราะห์ชั้นน้ำส่วนบน พบว่าแนวโน้มของค่าพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดเท่ากับ 4.5 และเมื่อนำเอาตะกอนจากสภาพพีเอชดังกล่าวมาวิเคราะห์พบว่า ลักษณะทางกายภาพของตะกอน จะมีสีเหลืองขาว และกลิ่นอุน ส่วนลักษณะสมบัติทางเคมี มีผลวิเคราะห์ดังนี้ ค่าปริมาณทีเคเอ็นในตะกอนเท่ากับ 46.3 มก/ก โดยคำนวณเป็นค่าปริมาณโปรตีนได้เท่ากับ289.4 มก/ก หรือเท่ากับ 28.9% ค่าปริมาณทีเอสเอสในตะกอนเท่ากับ 17,745 มก/ล ค่าปริมาณทีวีเอสในตะกอนเท่ากับ 16,570 มก/ล โดยคิดเป็นองค์ประกอบสารอินทรีย์ในรูปทีวีเอสต่อทีเอสเอส (TVS/TSS) เท่ากับ 93.4% ปริมาณตะกอนเท่ากับ 140 มล/ล โดยปริมาตร หรือเท่ากับ 2,484มก/ล โดยน้ำหนัก และความชื้นของตะกอนเท่ากับ 26.0% จากผลการวิเคราะห์ตะกอนเมื่อส่งไปประเมินราคาที่ บริษัท เซนทาโก จำกัด พบว่า กากตะกอนดังกล่าวมีราคารับซื้อตะกอนเท่ากับ1.32 บาท/กิโลกรัม โดยประมาณ

4.4.2 ผลวิเคราะห์ตะกอนจากการตกตะกอนโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์

จากการทดลองโดยใช้สารละลายอลูมินัมซัลเฟตหรือสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารโคแอกกูแลนท์เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด ซึ่งผลการวิเคราะห์ตะกอนสามารถแบ่งการพิจารณาได้ดังนี้

1) กรณีการใช้สารละลายอลูมินัมซัลเฟต ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำส่วนบนพบว่าปริมาณการใช้สารละลายอลูมินัมซัลเฟตที่เหมาะสมเท่ากับ 250 มก/ลและพีเอชเท่ากับ 4.5 เมื่อนำเอาตะกอนจากสภาวะดังกล่าวนี้มาวิเคราะห์ พบว่า ลักษณะทางกายภาพของตะกอน จะมีสีเหลืองขาว และกลิ่นฉุน ส่วนลักษณะสมบัติทางเคมี มีผลวิเคราะห์ดังนี้ ค่าปริมาณทีเคเอ็นในตะกอนเท่ากับ 63.7 มก/ก โดยคำนวณเป็นค่าปริมาณโปรตีนได้เท่ากับ 398.1 มก/ก หรือเท่ากับ 39.8% ค่าปริมาณทีเอสเอสในตะกอนเท่ากับ 22,370 มก/ล ค่าปริมาณทีวีเอสในตะกอนเท่ากับ 21,580 มก/ล โดยคิดเป็นองค์ประกอบสารอินทรีย์ในรูปทีวีเอสต่อทีเอสเอส (TVS/TSS) เท่ากับ 96.5% ปริมาณตะกอนเท่ากับ 175 มล/ล โดยปริมาตร หรือเท่ากับ 3,915 มก/ล โดยน้ำหนัก และความชื้นของตะกอนเท่ากับ 28.5% จากผลการวิเคราะห์ตะกอน เมื่อส่งไปประเมินราคาที่บริษัท เซนทาโก จำกัด พบว่ามีราคารับซื้อตะกอนเท่ากับ 2.20บาท/กิโลกรัม โดยประมาณ

2) กรณีการใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำส่วนบนพบว่าปริมาณการใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ที่เหมาะสม เท่ากับ 200 มก/ลและพีเอช เท่ากับ 4.5 เมื่อนำเอาตะกอนจากสภาวะดังกล่าวนี้มาวิเคราะห์พบว่า ลักษณะทางกายภาพของตะกอน จะมีสีเหลืองเข้ม และกลิ่นฉุน ส่วนลักษณะสมบัติทางเคมี มีผลวิเคราะห์ดังนี้ ค่าปริมาณทีเคเอ็นในตะกอนเท่ากับ 61.3 มก/ก โดยคำนวณเป็นค่าปริมาณโปรตีนได้เท่ากับ 383.1 มก/ก หรือเท่ากับ 38.3% ค่าปริมาณทีเอสเอสในตะกอนเท่ากับ 21,085 มก/ล ค่าปริมาณทีวีเอสในตะกอนเท่ากับ 19,545 มก/ล โดยคิดเป็นองค์ประกอบสารอินทรีย์ในรูปทีวีเอสต่อทีเอสเอส (TVS/TSS) เท่ากับ 92.7% ปริมาณตะกอนเท่ากับ 190 มล/ล โดยปริมาตร หรือเท่ากับ 4,006 มก/ล โดยน้ำหนัก และความชื้นของตะกอนเท่ากับ 26.0% จากผลการวิเคราะห์ตะกอน เมื่อส่งไปประเมินราคาที่บริษัท เซนทาโก จำกัด พบว่ามีราคารับซื้อตะกอนเท่ากับ 2.06บาท/กิโลกรัม โดยประมาณ

4.4.3 ผลวิเคราะห์ตะกอนจากการตกตะกอนโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์ ร่วมกับสารโคแอกกูแลนท์เอด

จากการทดลองโดยใช้สารโพลีเมอร์ประจุบวกหรือสารโพลีเมอร์ประจุลบเป็นสารโคแอกกูแลนท์เอด ร่วมกับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 200 มก/ล และพีเอช 4.5 เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด ซึ่งผลการวิเคราะห์ตะกอนสามารถแบ่งการพิจารณาได้ดังนี้

1) กรณีการใช้สารโพลีเมอร์ประจุบวกผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำส่วนบนแสดงให้เห็นว่าปริมาณการใช้สารโพลีเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสม เท่ากับ 15 มก/ล เมื่อนำเอาตะกอนจากสภาวะดังกล่าวนี้มาวิเคราะห์พบว่า ลักษณะทางกายภาพของตะกอน จะมีสีเหลืองเข้ม และกลิ่นฉุน ส่วนลักษณะสมบัติทางเคมี มีผลวิเคราะห์ดังนี้ ค่าปริมาณทีเคเอ็นในตะกอนเท่ากับ 62.4 มก/ก โดยคำนวณเป็นค่าปริมาณโปรตีนได้เท่ากับ 390 มก/ก หรือเท่ากับ 39% ค่าปริมาณทีเอสเอสในตะกอนเท่ากับ 21,080 มก/ล ค่าปริมาณทีวีเอสในตะกอนเท่ากับ 19,950 มก/ล โดยคิดเป็นองค์ประกอบสารอินทรีย์ในรูปทีวีเอสต่อทีเอสเอส (TVS/TSS) เท่ากับ 94.6% ปริมาณตะกอนเท่ากับ 232 มล/ล โดยปริมาตร หรือเท่ากับ 4,890 มก/ล โดยน้ำหนักและความชื้นของตะกอนเท่ากับ 26.0% เมื่อส่งไปประเมินราคาที่บริษัท เซนทาโก จำกัด พบว่า มีราคารับซื้อตะกอนเท่ากับ 2.22 บาท/กิโลกรัม

2) กรณีการใช้โพลีเมอร์ประจุลบ ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำส่วนบนแสดงให้เห็นว่าปริมาณการใช้สารโพลีเมอร์ประจุลบที่เหมาะสม เท่ากับ 2 มก/ล เมื่อนำเอาตะกอนจากสภาวะดังกล่าวนี้มาวิเคราะห์ พบว่า ลักษณะทางกายภาพของตะกอน จะมีสีเหลืองเข้ม และกลิ่นฉุน ส่วนลักษณะสมบัติทางเคมี มีผลวิเคราะห์ดังนี้ ค่าปริมาณทีเคเอ็นในตะกอนเท่ากับ 63.0 มก/ก โดยคำนวณเป็นค่าปริมาณโปรตีนได้เท่ากับ 393.8 มก/ก หรือเท่ากับ 39.4% ค่าปริมาณทีเอสเอสในตะกอนเท่ากับ 21,120 มก/ล ค่าปริมาณทีวีเอสในตะกอนเท่ากับ 20,005 มก/ล โดยคิดเป็นองค์ประกอบสารอินทรีย์ในรูปทีวีเอสต่อทีเอสเอส (TVS/TSS) เท่ากับ 94.7% ปริมาณตะกอนเท่ากับ 229 มล/ล โดยปริมาตร หรือเท่ากับ 4,836 มก/ล โดยน้ำหนัก และความชื้นของตะกอนเท่ากับ 20.0% เมื่อส่งไปประเมินราคาที่บริษัท เซนทาโก จำกัด พบว่า มีราคารับซื้อตะกอนเท่ากับ 2.20 บาท/กิโลกรัม

4.4.4 ผลการวิเคราะห์ตะกอนจากกระบวนการดีเอเอฟโดยไม่ใช้สารเคมี

จากการทดลองกระบวนการดีเอเอฟโดยไม่ใช้สารเคมีนั้นมีผลการวิเคราะห์ตะกอน โดยแบ่งการพิจารณาได้ดังนี้

1) กรณีระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ เมื่อนำเอาตะกอนที่ได้จากการทดลอง

มาวิเคราะห์ พบว่า ลักษณะทางกายภาพของตะกอนจะมีสีเหลืองขาว เนื้อตะกอนละเอียด และกลิ่นฉุน ส่วนลักษณะสมบัติทางเคมี มีผลวิเคราะห์ดังนี้ ค่าปริมาณทีเคเอ็นในตะกอนเท่ากับ 40.2 มก/ก โดยคำนวณเป็นค่าปริมาณโปรตีนได้เท่ากับ 251.3 มก/ก หรือเท่ากับ 25.1% ค่าปริมาณทีเอสเอสในตะกอนเท่ากับ 14,695 มก/ล ค่าปริมาณทีวีเอสในตะกอนเท่ากับ 13,505 มก/ล โดยคิดเป็นองค์ประกอบสารอินทรีย์ในรูปทีวีเอสต่อทีเอสเอส (TVS/TSS) เท่ากับ 91.9% ปริมาณตะกอนเท่ากับ 120 มล/ล โดยปริมาตร หรือเท่ากับ 1,763 มก/ล โดยน้ำหนัก และความชื้นของตะกอนเท่ากับ 21.0% เมื่อส่งไปประเมินราคาที่บริษัท เซนทาโก จำกัด พบว่า มีราคารับซื้อตะกอนเท่ากับ 1.01 บาท/กิโลกรัม โดยประมาณ

2) กรณีระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับ จากการทดลองพบว่าอัตราการเวียนกลับที่เหมาะสม เท่ากับ 150% เมื่อนำเอาตะกอนที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์พบว่าลักษณะทางกายภาพของตะกอนจะมีสีเหลืองขาว และกลิ่นฉุน ส่วนลักษณะสมบัติทางเคมี มีผลวิเคราะห์ดังนี้ ค่าปริมาณทีเคเอ็นในตะกอนเท่ากับ 41.7 มก/ก โดยคำนวณเป็นค่าปริมาณโปรตีนได้เท่ากับ 260.6 มก/ก หรือเท่ากับ 26.1% ค่าปริมาณทีเอสเอสในตะกอนเท่ากับ 15,120มก/ล ค่าปริมาณทีวีเอสในตะกอนเท่ากับ 14,225 มก/ล โดยคิดเป็นองค์ประกอบสารอินทรีย์ในรูปทีวีเอสต่อทีเอสเอส (TVS/TSS) เท่ากับ 94.1% ปริมาณตะกอนเท่ากับ 125 มล/ล โดยปริมาตร หรือเท่ากับ 1,890มก/ล โดยน้ำหนัก และความชื้นของตะกอน เท่ากับ 24.0% โดยมีราคาที่รับซื้อตะกอนเท่ากับ 1.08 บาท/กิโลกรัมโดยประมาณ

4.4.5 ผลการวิเคราะห์ตะกอนจากกระบวนการดีเอเอฟโดยใช้สารปรับพีเอช

จากผลวิเคราะห์ชั้นน้ำ พบว่าแนวโน้มของค่าพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดเท่ากับ 4.5 โดยมีผลการวิเคราะห์ตะกอนสามารถแบ่งการพิจารณาได้ดังนี้

1) กรณีระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ เมื่อนำเอาตะกอนที่ได้จากสภาพพีเอช 4.5 มาวิเคราะห์พบว่า ลักษณะทางกายภาพของตะกอนจะมีสีเหลืองอ่อน เนื้อตะกอนละเอียด และกลิ่นฉุน ส่วนลักษณะสมบัติทางเคมี มีผลวิเคราะห์ดังนี้ ค่าปริมาณทีเคเอ็นในตะกอนเท่ากับ 52.3 มก/ก โดยคำนวณเป็นค่าปริมาณโปรตีนได้เท่ากับ 326.9 มก/ก หรือเท่ากับ 32.7% ค่าปริมาณทีเอสเอสในตะกอนเท่ากับ 17,825 มก/ล ค่าปริมาณทีวีเอสในตะกอนเท่ากับ 16,525 มก/ล โดยคิดเป็นองค์ประกอบสารอินทรีย์ในรูปทีวีเอสต่อทีเอสเอส(TVS/TSS)เท่ากับ 92.7% ปริมาณตะกอนเท่ากับ 132 มล/ล โดยปริมาตร หรือเท่ากับ 2,353 มก/ล โดยน้ำหนัก และความชื้นของตะกอนเท่ากับ 23.0% โดยมีราคารับซื้อตะกอนเท่ากับ 1.62 บาท/กิโลกรัม โดยประมาณ

2) กรณีระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับ ผลการทดลองพบว่า อัตราการเวียนกลับเท่ากับ150% และพีเอช 4.5 เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด เมื่อนำเอาตะกอนที่ได้มาวิเคราะห์พบว่า ลักษณะทางกายภาพของตะกอนจะมีสีเหลืองอ่อน และกลิ่นฉุน ส่วนลักษณะสมบัติทางเคมี มีผลวิเคราะห์ดังนี้ ค่าปริมาณที่เคเอ็นในตะกอนเท่ากับ 54.2 มก/ก โดยคำนวณเป็นปริมาณโปรตีนได้เท่ากับ 338.8 มก/ก หรือ เท่ากับ 33.9% ค่าปริมาณที่เอสเอสในตะกอนเท่ากับ 18,040 มก/ล ค่าปริมาณที่วีเอสในตะกอน เท่ากับ 17,035มก/ล โดยคิดเป็นองค์ประกอบสารอินทรีย์ในรูปที่วีเอสต่อที่เอสเอส(TVS/TSS)เท่ากับ 94.4% ปริมาณตะกอนเท่ากับ 135 มล/ล โดยปริมาตร หรือเท่ากับ 2,435 มก/ล โดยน้ำหนัก และความชื้นของตะกอนเท่ากับ 24.6% โดยมีราคารับซื้อตะกอนเท่ากับ 1.71 บาท/กิโลกรัม โดยประมาณ

4.4.6 ผลการวิเคราะห์ตะกอนจากกระบวนการดีเอเอฟโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์

จากการทดลองโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์คือสารละลายอลูมินัมซัลเฟตหรือสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดนั้น มีผลวิเคราะห์ตะกอน สามารถแบ่งการพิจารณาได้ดังนี้

1) กรณีระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ โดยใช้สารละลายอลูมินัมซัลเฟตเป็นสารโคแอกกูแลนท์ จากการวิเคราะห์ชั้นน้ำพบว่าปริมาณการใช้สารละลายอลูมินัมซัลเฟต เท่ากับ 200 มก/ล และพีเอช เท่ากับ 4.5 เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด เมื่อนำเอาตะกอนที่ได้จากสภาวะดังกล่าวมาวิเคราะห์ พบว่าลักษณะทางกายภาพของตะกอนจะมีสีเหลืองอ่อน เนื้อตะกอนละเอียด และกลิ่นฉุน ส่วนลักษณะสมบัติทางเคมี มีผลวิเคราะห์ดังนี้ ค่าปริมาณที่เคเอ็นในตะกอนเท่ากับ 63.8 มก/ก โดยคำนวณเป็นค่าปริมาณโปรตีนได้เท่ากับ 398.8 มก/ก หรือเท่ากับ 40.0% ค่าปริมาณที่เอสเอสในตะกอนเท่ากับ 21,840 มก/ล ค่าปริมาณที่วีเอสในตะกอนเท่ากับ 20,420 มก/ล โดยคิดเป็นองค์ประกอบสารอินทรีย์ในรูปที่วีเอสต่อที่เอสเอส(TVS/TSS)เท่ากับ 93.5%% ปริมาณตะกอนเท่ากับ 175 มล/ล โดยปริมาตร หรือเท่ากับ 3,822 มก/ล โดยน้ำหนัก และความชื้นของตะกอนเท่ากับ 22.6% โดยมีราคารับซื้อตะกอน เท่ากับ 2.20 บาท/กิโลกรัม โดยประมาณ

2) กรณีระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับ โดยใช้สารละลายอลูมินัมซัลเฟตเป็นสารโคแอกกูแลนท์ ผลการทดลองพบว่าปริมาณการใช้สารละลายอลูมินัมซัลเฟตที่เหมาะสมเท่ากับ200 มก/ล พีเอช เท่ากับ 4..5 และ อัตราการเวียนกลับที่เหมาะสมเท่ากับ150% เมื่อนำเอาตะกอนที่ได้จากสภาวะดังกล่าวมาวิเคราะห์พบว่า ลักษณะทางกายภาพของตะกอนจะมีสีเหลืองอ่อน และ

กลิ่นฉุน ส่วนลักษณะสมบัติทางเคมี มีผลวิเคราะห์ดังนี้ ค่าปริมาณทีเคเอ็นในตะกอนเท่ากับ 63.5 มก/ก โดยคำนวณเป็นปริมาณโปรตีนได้เท่ากับ 396.9 มก/ก หรือเท่ากับ 39.7% ค่าปริมาณทีเอสเอสในตะกอนเท่ากับ 22,140 มก/ล ค่าปริมาณทีวีเอสในตะกอนเท่ากับ 20,810 มก/ล โดยคิดเป็นองค์ประกอบสารอินทรีย์ในรูปทีวีเอสต่อทีเอสเอสเท่ากับ 94.0% ปริมาณตะกอนเท่ากับ180 มล/ล โดยปริมาตร หรือเท่ากับ 3,746 มก/ล โดยน้ำหนัก และความชื้นของตะกอนเท่ากับ 24.8% โดยมีราคารับซื้อตะกอนเท่ากับ 2.18 บาท/กิโลกรัม โดยประมาณ

3) กรณีระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ โดยใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารโคแอกกูแลนท์ จากการวิเคราะห์ชั้นน้ำพบว่า ปริมาณการใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เท่ากับ 150 มก/ล และพีเอชเท่ากับ 4.5 เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด เมื่อนำเอาตะกอนจากสภาวะดังกล่าวมาวิเคราะห์ พบว่า ลักษณะทางกายภาพของตะกอนจะมีสีเหลืองเข้ม เนื้อตะกอนละเอียด และกลิ่นฉุน ส่วนลักษณะสมบัติทางเคมี มีผลวิเคราะห์ดังนี้ ค่าปริมาณทีเคเอ็นในตะกอนเท่ากับ 66.3มก/ก โดยคำนวณเป็นค่าปริมาณโปรตีนได้เท่ากับ 414.4มก/ก หรือเท่ากับ 41.4% ค่าปริมาณทีเอสเอสในตะกอน เท่ากับ 22,580 มก/ล ค่าปริมาณทีวีเอสในตะกอนเท่ากับ 21,040 มก/ล โดยคิดเป็นองค์ประกอบสารอินทรีย์ในรูปทีวีเอสต่อทีเอสเอสเท่ากับ 93.2% ปริมาณตะกอนเท่ากับ 173 มล/ล โดยปริมาตร หรือเท่ากับ 3,906 มก/ล โดยน้ำหนัก และความชื้นของตะกอนเท่ากับ 23.2% โดยมีราคารับซื้อตะกอนเท่ากับ 2.10 บาท/กิโลกรัม โดยประมาณ

4) กรณีระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับ โดยใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารโคแอกกูแลนท์ ผลการทดลองพบว่าปริมาณการใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ที่เหมาะสมเท่ากับ150 มก/ล พีเอชเท่ากับ 4..5 และ อัตราการเวียนกลับที่เหมาะสมเท่ากับ150% เมื่อนำเอาตะกอนที่ได้จากสภาวะดังกล่าวมาวิเคราะห์ พบว่า ลักษณะทางกายภาพของตะกอนจะมีสีเหลืองเข้มและกลิ่นฉุน ส่วนลักษณะสมบัติทางเคมี มีผลวิเคราะห์ดังนี้ ค่าปริมาณทีเคเอ็นในตะกอนเท่ากับ 68.8 มก/ก โดยคำนวณเป็นปริมาณโปรตีนได้เท่ากับ 430 มก/ก หรือเท่ากับ 43.0% ค่าปริมาณทีเอสเอสในตะกอนเท่ากับ 22,450 มก/ล ค่าปริมาณทีวีเอสในตะกอนเท่ากับ 21,110 มก/ล โดยคิดเป็นองค์ประกอบสารอินทรีย์ในรูปทีวีเอสต่อทีเอสเอสเท่ากับ 94% ปริมาณตะกอนเท่ากับ 177 มล/ล โดยปริมาตร หรือเท่ากับ 3,974มก/ล โดยน้ำหนัก และความชื้นของตะกอนเท่ากับ 22.8% โดยมีราคารับซื้อตะกอนเท่ากับ 2.20 บาท/กิโลกรัม โดยประมาณ

4.4.7 ผลการวิเคราะห์ตะกอนจากกระบวนการดีเอเอฟโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์ ร่วมกับสารโคแอกกูแลนท์เอด

จากการทดลองโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์เอดคือสารโพลีเมอร์ประจุบวกหรือสารร่วมกับสารโพลีเมอร์ประจุลบร่วมกับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดนั้นมีผลวิเคราะห์ตะกอน สามารถแบ่งการพิจารณาได้ดังนี้

1) กรณีระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ โดยใช้สารโพลีเมอร์ประจุบวกร่วมกับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 150 มก/ล และพีเอชเท่ากับ 4.5 จากการวิเคราะห์ชั้นน้ำพบว่าปริมาณการใช้สารโพลีเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมเท่ากับ 15 มก/ล เมื่อนำเอาตะกอนที่ได้จากสภาวะดังกล่าวมาวิเคราะห์ พบว่า ลักษณะทางกายภาพของตะกอนจะมีสีเหลืองเข้ม เนื้อตะกอนละเอียดและกลิ่นฉุน ส่วนลักษณะสมบัติทางเคมี มีผลวิเคราะห์ดังนี้ ค่าปริมาณทีเคเอ็นในตะกอนเท่ากับ 72.6 มก/ก โดยคำนวณเป็นค่าปริมาณโปรตีนได้เท่ากับ 453.8 มก/กหรือเท่ากับ 45.4% ค่าปริมาณทีเอสเอสในตะกอนเท่ากับ 23,510 มก/ล ค่าปริมาณทีวีเอสในตะกอนเท่ากับ 21,580 มก/ล โดยคิดเป็นองค์ประกอบสารอินทรีย์ในรูปทีวีเอสต่อทีเอสเอสเท่ากับ 91.8% ปริมาณตะกอนเท่ากับ 188 มล/ล โดยปริมาตร หรือเท่ากับ 4,420 มก/ล โดยน้ำหนัก และความชื้นของตะกอนเท่ากับ 25.7% โดยมีราคารับซื้อตะกอนเท่ากับ 2.20 บาท/กิโลกรัม โดยประมาณ

2) กรณีระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับ โดยใช้สารโพลีเมอร์ประจุบวกร่วมกับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 150 มก/ลและพีเอชเท่ากับ 4.5 จากการวิเคราะห์ชั้นน้ำพบว่าปริมาณการใช้สารโพลีเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมเท่ากับ 15 มก/ล และอัตราการเวียนกลับที่เหมาะสมเท่ากับ 150% เมื่อนำเอาตะกอนที่ได้จากสภาวะดังกล่าวมาวิเคราะห์ พบว่า ลักษณะทางกายภาพของตะกอนจะมีสีเหลืองเข้ม และกลิ่นฉุน ส่วนลักษณะสมบัติทางเคมี มีผลวิเคราะห์ดังนี้ ค่าปริมาณทีเคเอ็นในตะกอนเท่ากับ 72.7 มก/ก โดยคำนวณเป็นปริมาณโปรตีนได้เท่ากับ 454.4 มก/ก หรือเท่ากับ 45.4% ค่าปริมาณทีเอสเอสในตะกอนเท่ากับ 23,660 มก/ล ค่าปริมาณทีวีเอสในตะกอนเท่ากับ 22,260 มก/ล โดยคิดเป็นองค์ประกอบสารอินทรีย์ในรูปทีวีเอสต่อทีเอสเอสเท่ากับ 94.1% ปริมาณตะกอนเท่ากับ 194 มล/ล โดยปริมาตร หรือเท่ากับ 4,590 มก/ล โดยน้ำหนัก และความชื้นของตะกอนเท่ากับ 24.3% ราคาที่รับซื้อตะกอนเท่ากับ 2.20 บาท/กิโลกรัม โดยประมาณ

3) กรณีระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ โดยใช้สารโพลีเมอร์ประจุลบร่วมกับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 150 มก/ล และพีเอชเท่ากับ 4.5 จากการวิเคราะห์ชั้นน้ำพบว่าปริมาณการใช้สารโพลีเมอร์ประจุลบที่เหมาะสมเท่ากับ 2 มก/ล เมื่อนำเอาตะกอนที่ได้จากสภาวะดังกล่าวมาวิเคราะห์ พบว่า ลักษณะทางกายภาพของตะกอนจะมีสีเหลืองเข้ม เนื้อตะกอนละเอียด และกลิ่น

ฉุน ส่วนลักษณะสมบัติทางเคมี มีผลวิเคราะห์ดังนี้ ค่าปริมาณทีเคเอ็นในตะกอนเท่ากับ 72.2 มก/ก โดยคำนวณเป็นค่าปริมาณโปรตีนได้เท่ากับ 451.3 มก/ก หรือเท่ากับ 45.1% ค่าปริมาณทีเอสเอสในตะกอนเท่ากับ 23,650 มก/ล ค่าปริมาณทีวีเอสในตะกอนเท่ากับ 21,690 มก/ล โดยคิดเป็นองค์ประกอบสารอินทรีย์ในรูปทีวีเอสต่อทีเอสเอสเท่ากับ 91.7% ปริมาณตะกอนเท่ากับ 195 มล/ล โดยปริมาตร หรือเท่ากับ 4,612 มก/ล โดยน้ำหนัก และความชื้นของตะกอนเท่ากับ 25.1% ราคาที่รับซื้อตะกอน เท่ากับ 2.22 บาท/กิโลกรัม โดยประมาณ

4) กรณีระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับ โดยใช้สารโพลีเมอร์ประจุลบร่วมกับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 150 มก/ลและพีเอชเท่ากับ 4.5 จากการวิเคราะห์ชั้นน้ำพบว่าปริมาณการใช้สารโพลีเมอร์ประจุลบที่เหมาะสมเท่ากับ 2 มก/ล และอัตราการเวียนกลับที่เหมาะสมเท่ากับ 150% เมื่อนำเอาตะกอนที่ได้จากสภาวะดังกล่าวมาวิเคราะห์พบว่า ลักษณะทางกายภาพของตะกอนจะมีสีเหลืองเข้ม และกลิ่นฉุน ส่วนลักษณะสมบัติทางเคมี มีผลวิเคราะห์ดังนี้ ค่าปริมาณทีเคเอ็นในตะกอนเท่ากับ 72.4 มก/ก โดยคำนวณเป็นปริมาณโปรตีนได้เท่ากับ 452.5 มก/ก หรือเท่ากับ 45.3% ค่าปริมาณทีเอสเอสในตะกอนเท่ากับ 23,450 มก/ล ค่าปริมาณทีวีเอสในตะกอนเท่ากับ 22,230 มก/ล โดยคิดเป็นองค์ประกอบสารอินทรีย์ในรูปทีวีเอสต่อทีเอสเอสเท่ากับ 94.8% ปริมาณตะกอนเท่ากับ 200 มล/ล โดยปริมาตร หรือเท่ากับ 4,690 มก/ล โดยน้ำหนัก และความชื้นของตะกอนเท่ากับ 24.7% ราคาที่รับซื้อตะกอนเท่ากับ 2.22 บาท/กิโลกรัม โดยประมาณ

4.4.8 สรุปผลการวิเคราะห์ตะกอน

จากการวิเคราะห์ตะกอนในหัวข้อ 4.4.1 ถึง 4.4.7 สามารถสรุปเพื่อเปรียบเทียบลักษณะตะกอนในด้านปริมาณโปรตีน ค่าทีเอสเอสต่อทีวีเอส ความชื้นของตะกอน ปริมาณตะกอนโดยน้ำหนัก และราคารับซื้อตะกอนของแต่ละกลุ่มการทดลอง โดยแสดงได้ในตารางที่ 4.24

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.24 ลักษณะตะกอนจากการตกตะกอนและการทดสอบดีเอเอฟ

กลุ่มการทดลอง	ผลวิเคราะห์ตะกอน					
	ความชื้น (%)	ปริมาณโปรตีน (%)	ทีวีเอสต่อทีเอสเอส (มก/ล)	ปริมาณตะกอน (มก/ล)	ราคาตะกอน (บ/กก)	ราคาตะกอน (บ/ลบ.ม)
- การตกตะกอนโดยใช้ สาร ปรับพีเอช						
pH=4.5	26.0	28.9	93.4	2,484	1.32	3.28
- การตกตะกอนโดยใช้ สาร coagulant						
Alum 250 mg/l;pH=4.5	28.5	39.8	96.5	3,915	2.20	8.61
$FeCl_3$ 200 mg/l;pH=4.5	26.0	38.3	92.7	4,006	2.06	8.25
- การตกตะกอนโดยใช้ สาร coagulant + polymer						
$FeCl_3$ 200 mg/l;pH=4.5+cationic 15 mg/l	26.0	39.0	94.6	4,890	2.22	10.86
$FeCl_3$ 200 mg/l;pH=4.5+anionic 2 mg/l	20.0	39.4	94.7	4,836	2.20	10.65
- การทดสอบDAFโดยไม่ใช้สารเคมี						
ก) without recycle pH=7.55	21.0	26.1	91.9	1,763	1.01	1.78
ข) recycle 150% pH=7.55	24.0	26.1	94.1	1,890	1.08	2.04
- การทดสอบDAFโดยใช้สารปรับพีเอช						
ก) without recycle pH=4.5	23.0	32.7	92.7	2,353	1.62	3.81
ข) recycle 150% pH=4.5	24.6	33.9	94.4	2,436	1.71	4.16
- การทดสอบDAFโดยใช้สาร coagulant						
ก) without recycle						
Alum 200 mg/l ; pH=4.5	22.6	40.0	93.5	3,822	2.20	8.41
$FeCl_3$ 150 mg/l ; pH=4.5	23.2	41.4	93.2	3,906	2.10	8.20
ข) recycle 150%						
Alum 200 mg/l ; pH=4.5	24.8	39.7	94.0	3,746	2.18	8.17
$FeCl_3$ 150 mg/l ;pH=4.5	22.8	43.0	94.0	3,974	2.20	8.74

*ราคาตะกอนได้จากการส่งข้อมูลผลวิเคราะห์ตะกอนไปประเมินราคาที่ บริษัท เซนทาโก จำกัด

ตารางที่ 4.24 ต่อ

กลุ่มการทดลอง	ผลวิเคราะห์ตะกอน					
	ความชื้น (%)	ปริมาณโปรตีน (%)	ทีวีเอสต่อทีเอสเอส (มก/ล)	ปริมาณตะกอน (มก/ล)	ราคาตะกอน* (บ/กก)	ราคาตะกอน (บ/ลบ.ม)
- การทดสอบDAFโดยใช้สาร coagulant + polymer						
ก) without recycle						
$FeCl_3$ 150 mg/l;pH=4.5+cationic 15 mg/l	25.7	45.4	91.8	4,420	2.20	9.72
$FeCl_3$ 150 mg/l;pH=4.5+anionic 2 mg/l	25.1	45.1	91.7	4,612	2.22	10.24
ข) recycle 150%						
$FeCl_3$ 150 mg/l;pH=4.5+cationic 15 mg/l	24.3	45.4	94.1	4,590	2.20	10.10
$FeCl_3$ 150 mg/l;pH=4.5+anionic 2 mg/l	24.7	45.3	94.8	4,690	2.22	10.41

*ราคาตะกอนได้จากการส่งข้อมูลผลวิเคราะห์ตะกอนไปประเมินราคาที่ บริษัท เซนทาโก จำกัด

4.5 การเปรียบเทียบผลการศึกษาระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดีเอเอฟ

จากการทดลองสามารถเปรียบเทียบผลการศึกษาระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดีเอเอฟ โดยมีองค์ประกอบในการพิจารณาคือ ประสิทธิภาพในการบำบัด ปริมาณตะกอน ประเมินรายได้จากการขายตะกอน ปริมาณการใช้สารเคมี และประเมินราคาสารเคมีที่ใช้ในการบำบัด ได้แก่ สารปรับพีเอช สารโคแอกกูแลนท์ สารโพลีเมอร์ ส่วนค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ค่าจ้างผู้ควบคุม ค่าขนส่งตะกอน ค่าพลังงานและน้ำมันที่ใช้ในการเดินเครื่องจักรในระบบ ค่าบำรุงและซ่อมแซมอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งการลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียที่ปลายท่อ เป็นต้น จะไม่นำมาพิจารณา

การเปรียบเทียบปริมาณตะกอนและราคาตะกอนของแต่ละกลุ่มการทดลอง แสดงได้ในตารางที่ 4.25 โดยประเมินจากปริมาณน้ำเสียของโรงงานตัวอย่างเท่ากับ 1,800 ลบ.ม/วัน

ตารางที่ 4.25 ปริมาณตะกอนและราคาตะกอนของแต่ละกลุ่มการทดลอง

กลุ่มการทดลอง	ปริมาณตะกอนจากน้ำเสีย		ราคาตะกอน	
	1ลิตร (มก)	1,800ลบ.ม(กก)**	(บ/กก)	(บ)*
- การตกตะกอนโดยใช้สารปรับพีเอช				
pH=4.5	2,484	4,471	1.32	5,902
- การตกตะกอนโดยใช้สารcoagulant				
Alum 250 mg/l ;pH=4.5	3,915	7,047	2.20	15,503
$FeCl_3$ 200 mg/l ;pH=4.5	4,006	7,211	2.06	14,855
- การตกตะกอนโดยใช้สารcoagulant+polymer				
$FeCl_3$200 mg/l;pH=4.5+cationic 15 mg/l	4,890	8,802	2.22	19,540
$FeCl_3$200 mg/l;pH=4.5+anionic 2 mg/l	4,836	8,705	2.20	19,151
- การทดลองDAFโดยไม่ใช้สารเคมี				
ก) without recycle pH=7.55	1,763	3,173	1.01	3,205
ข) recycle 150% pH=7.55	1,890	3,402	1.08	3,674
- การทดลองDAFโดยใช้สารปรับพีเอช				
ก) without recycle pH=4.5	2,353	4,235	1.62	6,861
ข) recycle 150% pH=4..5	2,435	4,383	1.71	7,495
- การทดลองDAFโดยใช้สารcoagulant				
ก) without recycle Alum 200 mg/l ;pH=4.5	3,822	6,880	2.20	15,136
$FeCl_3$ 150 mg/l ;pH=4.5	3,906	7,031	2.10	14,765
ข) recycle 150% Alum 200 mg/l ;pH=4.5	3,746	6,743	2.18	14,700
$FeCl_3$ 150 mg/l ;pH=4.5	3,974	7,153	2.20	15,737
- การทดลองDAFโดยใช้สารcoagulant+polymer				
ก) without recycle				
$FeCl_3$150 mg/l;pH=4.5+cationic 15 mg/l	4,420	7,956	2.20	17,503
$FeCl_3$150 mg/l;pH=4.5+anionic 2 mg/l	4,612	8,302	2.22	18,430
ข) recycle 150%				
$FeCl_3$150 mg/l; pH=4.5+ cationic 15 mg/l	4,590	8,262	2.20	18,176
$FeCl_3$150 mg/l; pH=4.5+anionic 2 mg/l	4,690	8,442	2.22	18,741

* ราคาจำหน่ายตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย 1,800 ลูกบาศก์เมตร (โดย1,800ลบ.มคือปริมาณน้ำเสียของโรงงานตัวอย่าง ใน 1 วัน)

** ปริมาณตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย 1,800 ลูกบาศก์เมตร

การเปรียบเทียบปริมาณการใช้สารเคมี และราคาสารเคมีของแต่ละกลุ่มการทดลอง แสดงได้ในตารางที่ 4.26 โดยประเมินค่าใช้จ่ายจากปริมาณน้ำเสียของโรงงานตัวอย่างเท่ากับ 1,800 ลบ.ม/วัน

ตารางที่ 4.26 การประเมินราคาสารเคมีในการบำบัดของแต่ละกลุ่มการทดลอง

กลุ่มการทดลอง	H_2SO_4 5N (มล/ล)	ปริมาณการใช้สารเคมี (มก/ล)				ราคาสารเคมี	
		Coagulant		Polymer			
		Alum	$FeCl_3$	Cationic	Anionic	(บ/ลบ.ม)	(บ/1,800m^3)*
-การตกตะกอนโดยใช้สารปรับพีเอช	3.12	-	-	-	-	9.05	16,290
- การตกตะกอนโดยใช้สารcoagulant	2.60	250	-	-	-	10.04	18,072
	2.60	-	200	-	-	13.94	25,092
- การตกตะกอนโดยใช้สารcoagulant + polymer	2.60	-	200	15	-	16.49	29,682
	2.60	-	200	-	2	14.29	25,722
- การทดสอบDAF โดยไม่ใช้สารเคมี							
ก) without recycle	-	-	-	-	-	-	-
ข) recycle 150%	-	-	-	-	-	-	-
-การทดสอบDAFโดยใช้สารปรับพีเอช							
ก) without recycle	3.40	-	-	-	-	9.86	17,748
ข) recycle150%	3.40	-	-	-	-	9.86	17,748

* ราคาสารเคมีต่อการบำบัดน้ำเสีย 1,800 ลูกบาศก์เมตร (โดย1,800ลบ.มคือปริมาณน้ำเสียของโรงงานตัวอย่าง ใน 1 วัน)

ตารางที่ 4.26 ต่อ

กลุ่มการทดลอง	H_2SO_4 5N (มล/ล)	ปริมาณการใช้สารเคมี (มก/ล)				ราคาสารเคมี	
		Coagulant		Polymer			
		Alum	$FeCl_3$	Cationic	Anionic	(บ/ลบ.ม)	(บ/1800m^3)*
-การทดสอบDAFโดยใช้สารcoagulant							
ก) without recycle	2.70	200	-	-	-	9.83	17,694
	2.70	-	150	-	-	12.63	22,734
ข) recycle 150%	2.70	200	-	-	-	9.83	17,694
	2.70	-	150	-	-	12.63	22,734
-การทดสอบDAFโดยใช้สารcoagulant + polymer							
ก) without recycle	2.30	-	150	15	-	14.02	25,236
	2.40	-	150	-	2	12.11	21,798
ข) recycle150%	2.30	-	150	15	-	14.02	25,236
	2.40	-	150	-	2	12.11	21,798

* ราคาสารเคมีต่อการบำบัดน้ำเสีย 1,800 ลูกบาศก์เมตร (โดย1,800ลบ.ม คือปริมาณน้ำเสียของโรงงานตัวอย่าง ใน 1 วัน)

ส่วนตารางที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด ราคาสารเคมี และราคาตะกอนที่ขายได้ของแต่ละกลุ่มการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.27 ประสิทธิภาพการบำบัด ราคาสารเคมี และราคาตะกอนของแต่ละกลุ่มการทดลอง

กลุ่มการทดลอง	ประสิทธิภาพในการกำจัดมลสาร(%)				
	ซีโอดี	ทีเค เอ็น	ทีเอส เอส	ราคาสารเคมี (บ/ลบ.ม)	ราคาตะกอน (บ/ลบ.ม)
- การตกตะกอนโดยใช้สารปรับพีเอช					
pH=4.5	37	48.6	47.7	9.05	3.28
- การตกตะกอนโดยใช้สารcoagulant					
Alum 250 mg/l ;pH=4.5	70.6	83.3	84.5	10.04	8.61
$FeCl_3$ 200 mg/l ;pH=4.5	78.5	85.2	86.8	13.94	8.25
- การตกตะกอนโดยใช้สารcoagulant+polymer					
$FeCl_3$200 mg/l;pH=4.5+cationic15 mg/l	92.4	94.7	95.2	16.49	10.86
$FeCl_3$200 mg/l;pH=4.5+anionic 2 mg/l	92.6	93.4	92.6	14.29	10.65
- การทดสอบDAFโดยไม่ใช้สารเคมี					
ก) without recycle pH=7.55	21.3	23.3	27.6	-	1.78
ข) recycle 150% pH=7.55	24.6	26.7	30.2	-	2.04
- การทดสอบDAFโดยใช้สารปรับพีเอช					
ก) without recycle pH=4.5	32.6	40.2	41.5	9.86	3.81
ข) recycle 150% pH=4..5	34.5	43.2	43.3	9.86	4.16
- การทดสอบDAFโดยใช้สารcoagulant					
ก) without recycle					
Alum 200 mg/l ;pH=4.5	68.7	72.2	75.3	9.83	8.41
$FeCl_3$ 150 mg/l ;pH=4.5	73.2	74.3	75.8	12.63	8.20
ข) recycle 150%					
Alum 200 mg/l ;pH=4.5	70.1	73.1	79.8	9.83	8.17
$FeCl_3$ 150 mg/l ;pH=4.5	75.7	80.2	77.3	12.63	8.74
- การทดสอบDAFโดยใช้สารcoagulant+polymer					
ก) without recycle					
$FeCl_3$150 mg/l;pH=4.5+cationic 15 mg/l	84.2	88.6	87.1	14.02	9.72
$FeCl_3$150 mg/l;pH=4.5+anionic 2 mg/l	88.2	89.1	89.7	12.11	10.24
ข) recycle 150%					
$FeCl_3$150 mg/l; pH=4.5+ cationic 15 mg/l	88.3	90.2	90.3	14.02	10.10
$FeCl_3$150 mg/l; pH=4.5+anionic 2 mg/l	90.2	91.6	90.8	12.11	10.41

จากการเปรียบเทียบโดยพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดเป็นหลัก พบว่า

1) ผลการทดลองที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดของการทดลองดีเอเอฟ คือ ที่อัตราการเวียนกลับ 150% โดยใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์150 มก/ล และพีเอชเท่ากับ 4.5 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ 2 มก/ล ซึ่งให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็นและทีเอสเอสสูงถึง 90.2% 91.6% และ 90.8% ตามลำดับ โดยมีปริมาณตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย 1,800 ลบ.ม/วัน ประมาณ 8,442 กก/วัน และราคาตะกอนเท่ากับ 18,741 บาท/วัน โดยมีค่าสารเคมีเท่ากับ 21,798 บาท / น้ำเสีย 1,800ลบ.ม/วัน ดังนั้นในช่วงดำเนินการรายได้จากการขายตะกอนจะช่วยลดค่าสารเคมีโดยจ่ายเพียง 3,057 บาท/น้ำเสีย 1,800ลบ.ม/วัน

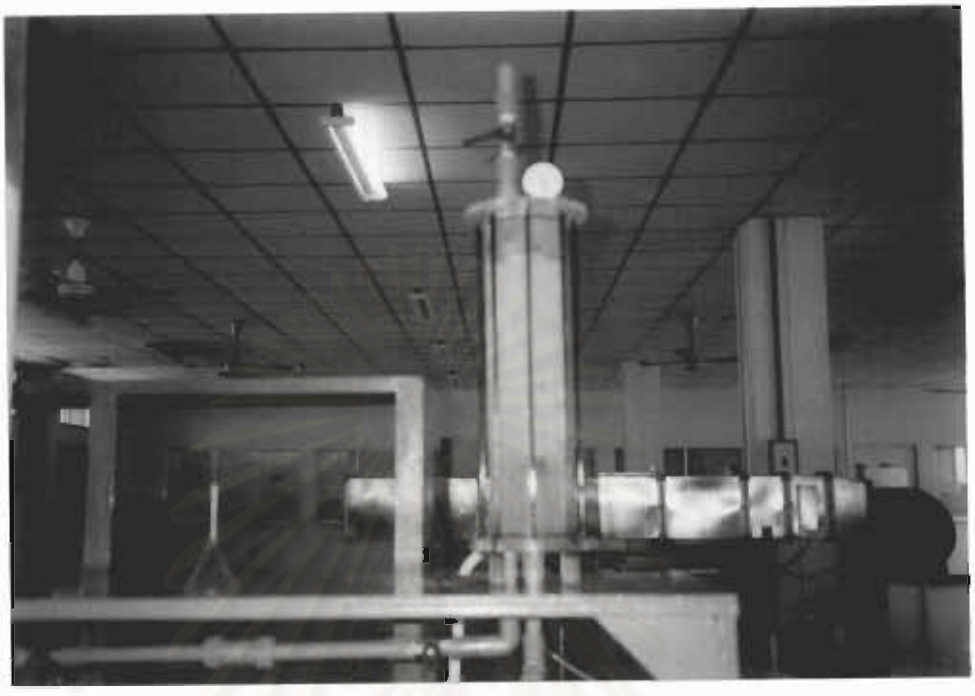
2) ผลการทดลองที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดของกระบวนการตกตะกอน คือ การใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 200 มก/ลเป็นสารโคแอกกูแลนท์และพีเอชเท่ากับ 4.5ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก 15 มก/ล ซึ่งให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็นและทีเอสเอสสูงถึง 92.4% 94.7% และ95.2% ตามลำดับ โดยมีปริมาณตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย 1,800 ลบ.ม/วัน ประมาณ 8,802 กก/วัน เมื่อคำนวณราคาตะกอนจะได้เท่ากับ 19,540 บาท/วัน และที่สภาวะดังกล่าวจะมีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเท่ากับ 29,682 บาท/น้ำเสีย 1,800ลบ.ม/วัน ดังนั้นในช่วงดำเนินการรายได้จากการขายตะกอนจะช่วยลดค่าสารเคมีเพียงร้อยละ 65.8 เท่านั้น ระบบนี้จึงเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ส่วนกลุ่มการทดลองอื่นๆแสดงได้ในตารางที่ 4.25 ถึง 4.27

อย่างไรก็ตามในงานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดขั้นที่สอง ซึ่งกระบวนการที่ได้ทดลองข้างต้นนั้น มีระดับความสามารถในการกำจัดมลสารแตกต่างกัน โดยผู้ใช้ข้อมูลดังกล่าวสามารถเลือกใช้กระบวนการใดๆเพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับระบบที่มีอยู่เดิม ตัวอย่างเช่น หากต้องการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียประมาณ 20%-30% ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดขั้นที่สอง เราอาจเลือกใช้ระบบบำบัดขั้นต้นเป็นแบบกระบวนการดีเอเอฟโดยไม่ใช้สารเคมี ซึ่งพบว่าสามารถลดค่าซีโอดี ทีเคเอ็นและทีเอสเอสได้ประมาณ 20%-30%และยังสามารถขายตะกอนได้ในราคากิโลกรัมละ 1.01-1.08บาท ซึ่งคิดเป็นราคาขายตะกอนทั้งหมด 3,205-3,674 บาท/ น้ำเสีย1,800 ลบ.ม หรือหากต้องการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียประมาณ 70%-85%อาจเลือกใช้กระบวนการดีเอเอฟหรือกระบวนการตกตะกอนโดยปรับพีเอชของน้ำเสียเป็น 4.5 และใช้สารส้มเป็นสารโคแอกกูแลนท์จะสามารถลดค่าซีโอดี ทีเคเอ็นและทีเอสเอสได้ 70.1% 73.1%และ79.8% ตามลำดับสำหรับกระบวนการดีเอเอฟ และเท่ากับ70.6% 83.3% และ84.5%สำหรับการตกตะกอน โดยเสียค่าสารเคมีเท่ากับ9.83 และ10.04 บาท ตามลำดับ และตะกอนสามารถขายได้ในราคา .กิโลกรัม 2.20 บาท นอกจากนี้การเลือกกระบวนการใดๆที่เหมาะสมนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายๆด้าน เช่น ความเหมาะสมของพื้นที่ ความสามารถของผู้ควบคุมระบบ ค่าใช้จ่ายอื่นๆ

นอกจากค่าสารเคมี โดยในการศึกษานี้กระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงและมีค่าใช้จ่ายที่เหมาะสม คือ ระบบดีเอเอฟแบบใช้อัตราการเวียนกลับ 150% โดยเติม $FeCl_3$ 150 มก/ล และพีเอช 4.5 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ 2 มก/ล ซึ่งนอกจากสามารถลดซีโอดี ทีเคเอ็นและทีเอสเอสได้ถึง 90.2% 91.6%และ 90.8%ตามลำดับ และตะกอนที่ได้ยังสามารถนำไปขายเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์

ในเลือกใช้กระบวนการดีเอเอฟเป็นระบบบำบัดขั้นต้นนั้นจะสามารถลดปริมาณมลสารที่ออกจากกระบวนการผลิตได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งจะช่วยลดภาระงานสารอินทรีย์ที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองซึ่งเป็นระบบบำบัดทางชีวภาพ ทำให้ความต้องการพลังงานในการเติมอากาศลดลง การออกแบบหาปริมาตรประสิทธิ์ของถังเติมอากาศมีขนาดเล็กลง ซึ่งจะช่วยประหยัดพื้นที่ในการดำเนินงานด้านระบบบำบัดน้ำเสียภายในโรงงาน และลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดขั้นที่สอง นอกจากนี้ตะกอนที่ได้จากการบำบัดขั้นต้นจะยังไม่ถูกปนเปื้อนจากสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต ทำให้สามารถนำไปทำให้แห้งและใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ได้เลยโดยไม่ต้องปรับสภาพใดๆ และเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ถังตกตะกอนขั้นต้น พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ได้จากกระบวนการทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน โดยถังตกตะกอนจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดดีกว่าเล็กน้อยเมื่อใช้สารโคแอกกูแลนท์และสารโคแอกกูแลนท์เอดชนิดเดียวกันและปริมาณการใช้ที่เท่ากัน ซึ่งการใช้ถังตกตะกอนจะมีข้อได้เปรียบที่ดีกว่ากระบวนการดีเอเอฟ คือ ไม่ต้องใช้พลังงานจากภายนอกในการเดินระบบ และไม่จำเป็นต้องใช้ช่างผู้ควบคุมที่มีความรู้มากนักในการดูแลการทำงานของระบบ แต่ข้อเสีย คือ การทำงานของถังตกตะกอนนั้นจะอาศัยแรงโน้มถ่วงเพื่อใช้แยกตะกอนออกจากน้ำเสีย ซึ่งต้องมีเวลากักเก็บนานพอเพียง เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดี โดยเวลากักเก็บที่เหมาะสมคือ 40 นาที ส่วนกระบวนการดีเอเอฟนั้นจำเป็นต้องใช้พลังงานในการอัดอากาศในถังอัดความดัน และต้องใช้ช่างควบคุมที่มีความรู้ในการดูแลการทำงานของระบบ ส่วนข้อได้เปรียบของกระบวนการดีเอเอฟที่ดีกว่าการใช้ถังตกตะกอน คือ เวลากักเก็บของระบบที่ต่ำกว่า โดยเวลากักเก็บที่เหมาะสมเท่ากับ 30 นาที ซึ่งต่ำกว่าถังตกตะกอนประมาณ 10 นาที โดยเวลากักเก็บที่ต่ำกว่านี้เป็นผลจากปริมาณอากาศที่ละลายในน้ำเสีย ทำหน้าที่เป็นตัวพาตะกอนให้ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำโดยมีความเร็วเฉลี่ยในการลอยขึ้นของตะกอนเท่ากับ 0.67 ซม/วินาที สูงกว่าความเร็วในการตกตะกอน (คือ 0.425 ซม/วินาที) ประมาณ 1.6 เท่า และเมื่อนำไปประเมินหาขนาดของระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่า กระบวนการดีเอเอฟจะใช้พื้นที่ในการติดตั้งเพียง 75% ของพื้นที่ในการก่อสร้างถังตกตะกอนทั่วๆไป

4.6 ตัวอย่างรูปถ่ายจากการทดลอง



รูปที่ 4.29 แสดงสภาพการอัดอากาศในถังความดัน

รูปที่ 4.30 แสดงสภาพการแยกชั้นในถังลอยตัว