

บทที่ 3

ผลและบทวิจารณ์

1. ผลการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งสังเคราะห์

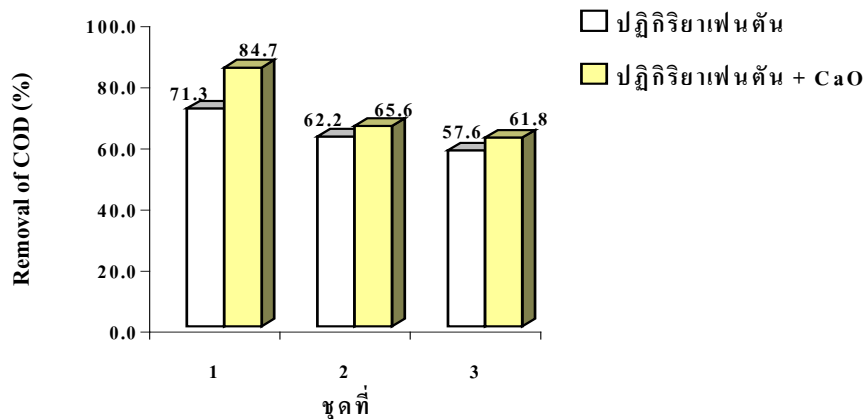
1.1 ผลการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่ใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

การวิเคราะห์ค่า COD

จากการทดลองชุดที่ 1, 2 และ 3 ค่า COD ก่อนการบำบัดและหลังการบำบัดพบว่า ทั้ง 3 อัตราส่วนสามารถลดค่า COD ได้มากขึ้นแตกต่างกัน แต่เป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ เมื่อใช้ สารเคมีเฟนตันมากก็จะลดได้มาก (ดังตารางที่ 8 และภาพประกอบที่ 9)

ตารางที่ 8 ค่า COD ในน้ำทิ้งสังเคราะห์สำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้ กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน	ค่า COD (mg/L) (% การกำจัด COD)		
		ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด	
			ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
1	COD : Fe = 1 : 0.08	2415	692 (71.3 %)	369 (84.7 %)
2	COD : Fe = 1 : 0.04	2415	913 (62.2 %)	830 (65.6 %)
3	COD : Fe = 1 : 0.02	2415	1024 (57.6 %)	922 (61.8 %)



ภาพประกอบที่ 9 ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัด COD ในน้ำทิ้งสังเคราะห์ สำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

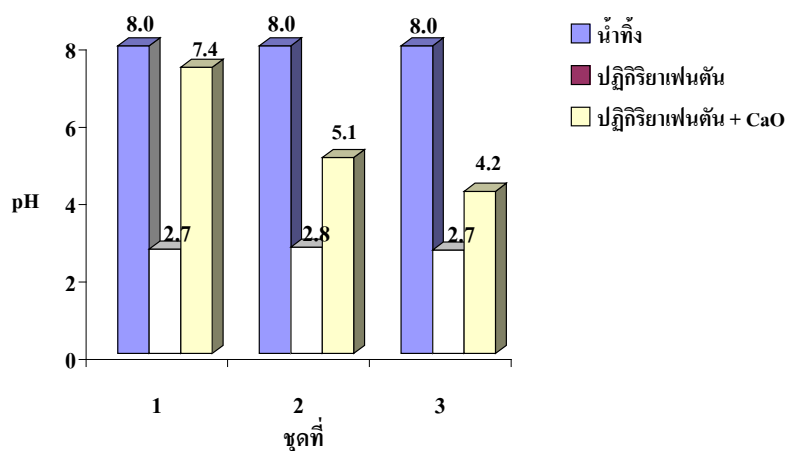
จากตารางที่ 8 และภาพประกอบที่ 9 จะเห็นได้ว่าเมื่อตกตะกอนด้วยแคลเซียมออกไซด์ ค่า COD ที่ได้จะลดลงอีก นั่นคือการทดลองชุดที่ 1 สามารถลดค่า COD ได้ถึง 84.7 % การทดลองชุดที่ 2 สามารถลดค่า COD 65.6% และการทดลองชุดที่ 3 สามารถลดค่า COD ได้ 61.8%

การวิเคราะห์ค่า pH

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในการทดลองทั้ง 3 ชุด พบว่ามีแนวโน้มอยู่ในรูปแบบเดียวกัน โดยที่ค่า pH ของน้ำทิ้งสังเคราะห์ก่อนการบำบัดจะมีค่าประมาณ 7.9 หลังจากปรับด้วยกรดซัลฟูริกในช่วงของการเกิดปฏิกิริยาเฟนตันจะมีค่า pH 2.7 และเมื่อเติมแคลเซียมออกไซด์ค่า pH ที่ได้มีค่าสูงขึ้น (ดังตารางที่ 9 และ ภาพประกอบที่ 10)

ตารางที่ 9 ค่า pH ในน้ำทิ้งสังเคราะห์สำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก)โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน	ค่า pH		
		ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด	
			ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
1	COD : Fe = 1 : 0.08	7.9	2.7	7.4
2	COD : Fe = 1 : 0.04	7.9	2.7	5.1
3	COD : Fe = 1 : 0.02	7.9	2.7	4.2



ภาพประกอบที่ 10 ค่า pH ในน้ำทิ้งสังเคราะห์สำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

การวิเคราะห์สี

จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ใช้กรดซัลฟูริกในปริมาณเล็กน้อยปรับ ค่า pH อยู่ในช่วง 2.5 - 3.0 พบว่าเมื่อเติมกรดลงไปสีของน้ำทิ้งสังเคราะห์จะเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาลอมเหลือง ดังภาพประกอบที่ 11 เพราะกรดทำให้เกิดการออกซิไดซ์ของสารอินทรีย์ได้บางส่วน เมื่อบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันยิ่งทำให้สีของสารละลายลดลง (ดังตารางที่ 10) และลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเติมแคลเซียมออกไซด์ เพราะแคลเซียมออกไซด์ช่วยตกตะกอนเอาไอออนเหล็กที่เป็นคะตะลิสต์และสารตกค้างบางส่วนออกจากสารละลายทำให้สารละลายใสไม่มีสีในที่สุด (ดังภาพประกอบที่ 12)



ก



ข

ภาพประกอบที่ 11 ลักษณะสีของน้ำทิ้งสังเคราะห์

ก. น้ำทิ้งสังเคราะห์ ข. น้ำทิ้งสังเคราะห์หลังเติมกรดซัลฟูริก (H_2SO_4)

ตารางที่ 10 ค่าสี ในน้ำทิ้งสังเคราะห์สำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน	ค่า สี (Pt-Co unit) (% การลดลงของค่าสี)		
		ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด	
			ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
1	COD : Fe = 1 : 0.08	2299	295 (87.2 %)	49 (97.9 %)
2	COD : Fe = 1 : 0.04	2299	320 (86.1 %)	135 (94.1 %)
3	COD : Fe = 1 : 0.02	2299	345 (84.8 %)	299 (87.4 %)



ก



ข



ค

การทดลองชุดที่ 1
อัตราส่วน COD: Fe = 1:0.08



ก



ข



ค

การทดลองชุดที่ 2
อัตราส่วน COD: Fe = 1:0.04



ก



ข



ค

การทดลองชุดที่ 3
อัตราส่วน COD: Fe = 1:0.02

- ภาพประกอบที่ 12** สีของน้ำทิ้งสังเคราะห์ในขั้นตอนต่างๆที่บำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด
- น้ำทิ้งสังเคราะห์ก่อนการบำบัด
 - น้ำทิ้งสังเคราะห์หลังจากบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน
 - สารละลายในข้อ ข.หลังจากเติมแคลเซียมออกไซด์

การวิเคราะห์สารตกค้าง

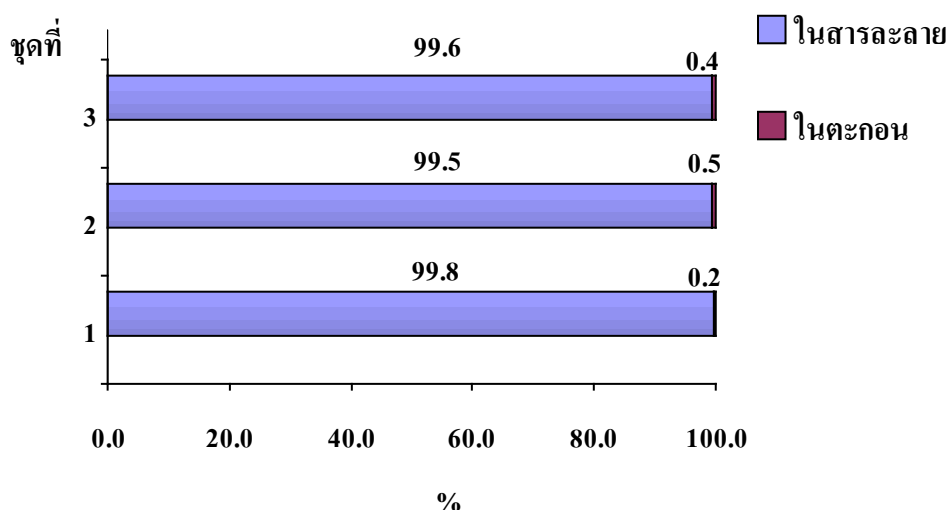
การวิเคราะห์ปริมาณโบรอน

การทดสอบความเข้มข้นของโบรอนในสารละลายและในตะกอน ปริมาณโบรอนในน้ำทิ้งสังเคราะห์ก่อนการบำบัด มีความเข้มข้นเท่ากับ 1,515 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันปริมาณโบรอนในสารละลายลดลงเพียงเล็กน้อย และเมื่อเติมแคลเซียมออกไซด์พบว่า การทดลองชุดที่ 1 ปริมาณของโบรอนอยู่ในสารละลาย 99.8 % และอยู่ในตะกอน 0.2 % และเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 3 การทดลอง (ดังแสดงในตารางที่ 11 และภาพประกอบที่ 13)

ตารางที่ 11 ปริมาณโบรอนในน้ำทิ้งสังเคราะห์และในตะกอน สำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ โบรอน (mg/L)		
		ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
		สารละลายสภาพกรด	สารละลาย	ตะกอน
1	COD : Fe = 1 : 0.08	1391	1325 (99.8%)*	2.9 (0.2%)*
2	COD : Fe = 1 : 0.04	1412	1356 (99.5%)	6.2 (0.5%)
3	COD : Fe = 1 : 0.02	1432	1345 (99.6%)	4.7 (0.4%)

(* % แสดงถึงปริมาณร้อยละของโบรอนที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 13 ปริมาณร้อยละของโบรอนในสารละลาย และ ในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

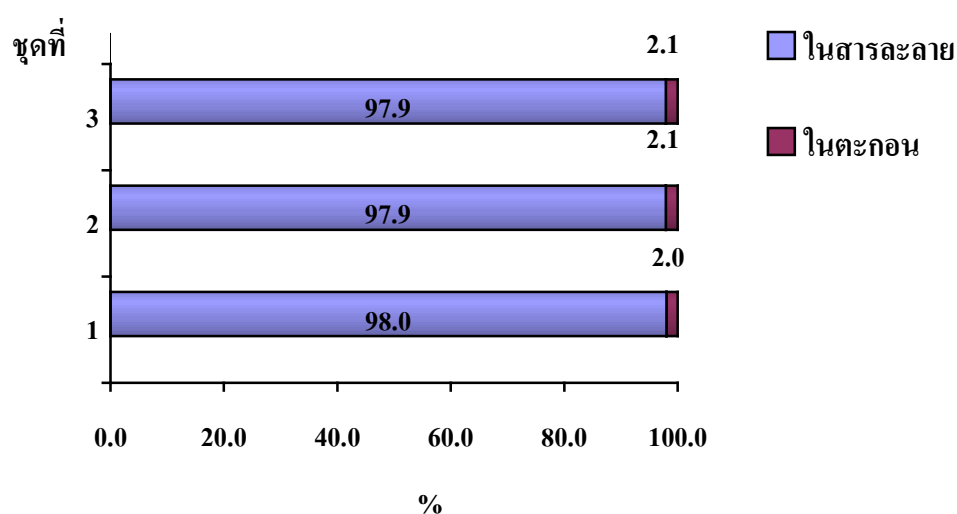
การวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟต

ปริมาณซัลเฟต เกิดจากการเติมกรดซัลฟูริกในการปรับค่า pH และเฟอร์รัสซัลเฟต ซึ่งเป็นเฟนตันรีเอเจนต์ ปริมาณซัลเฟตทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเกิดปฏิกิริยาเฟนตัน ซัลเฟตละลายอยู่ในสารละลายสภาพกรดเป็นจำนวนมากและเมื่อตกตะกอนด้วยแคลเซียมออกไซด์ จะพบซัลเฟตอยู่ในสารละลายเป็นจำนวนมากแต่ตกตะกอนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ดังตารางที่ 12 และ ภาพประกอบที่ 14)

ตารางที่ 12 ปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งสังเคราะห์และในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วนของ COD : Fe	ปริมาณ ซัลเฟต (mg/L)		
		ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
		สารละลายสภาพกรด	สารละลาย	ตะกอน
1	COD : Fe = 1 : 0.08	3140	3030 (98.0 %)*	62 (2.0 %)*
2	COD : Fe = 1 : 0.04	2940	2872 (97.9 %)	62 (2.1 %)
3	COD : Fe = 1 : 0.02	2840	2760 (97.9 %)	60 (2.1 %)

(* % แสดงถึงปริมาณร้อยละของซัลเฟตที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 14 ปริมาณร้อยละของซัลเฟตในสารละลาย และในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

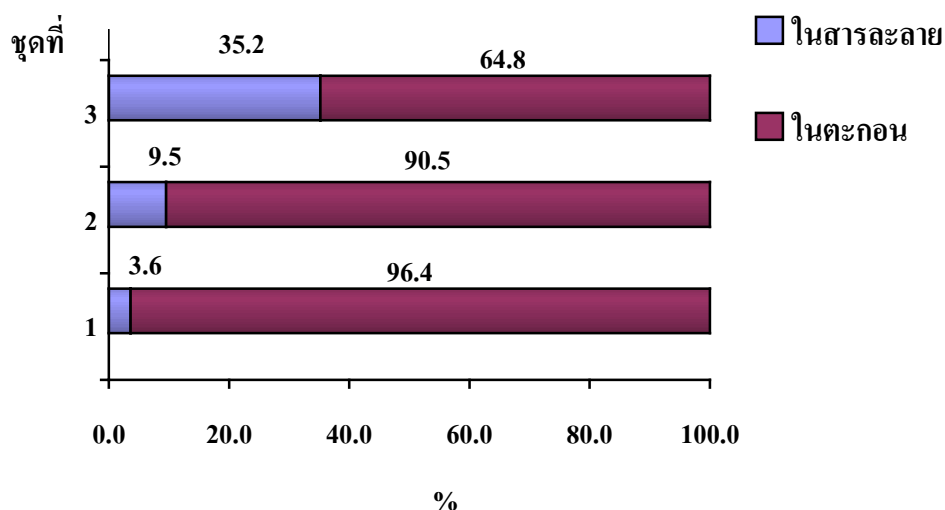
การวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก

ที่มาของเหล็กเกิดจากเฟอร์รัสซัลเฟตซึ่งเป็นอะตะลิสต์ ที่ให้ทั้งไอออนของเฟอร์รัสและเฟอร์ริก เมื่อเติมแคลเซียมออกไซด์จะเกิดตะกอนของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะเกิดตะกอนเร็วกว่าแคลเซียม (ดังตารางที่ 13 และภาพประกอบที่ 15)

ตารางที่ 13 ปริมาณเหล็กในน้ำทิ้งสังเคราะห์และในตะกอน สำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ เหล็ก (mg/L)		
		ปฏิกิริยาเฟนตัน		ตะกอน
		สารละลายสภาพกรด	สารละลาย	
1	COD : Fe = 1 : 0.08	166	6 (3.6 %)*	158 (96.4 %)*
2	COD : Fe = 1 : 0.04	78	7 (9.5 %)	66 (90.5 %)
3	COD : Fe = 1 : 0.02	59	19 (35.2 %)	36 (64.8%)

(* % แสดงถึงปริมาณร้อยละของเหล็กที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 15 แสดงปริมาณร้อยละของเหล็กในสารละลาย และในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม

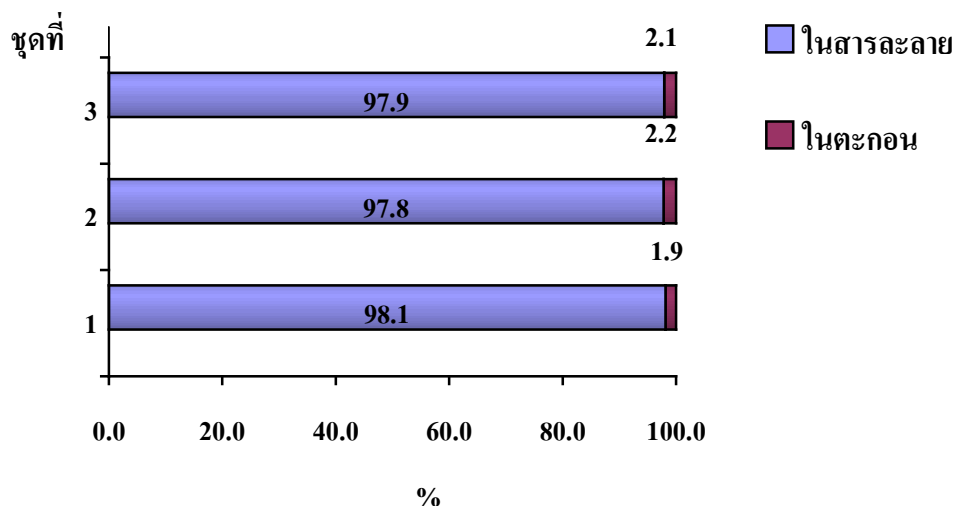
แคลเซียมออกไซด์ถูกเติมลงในสารละลายหลังจากขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยาเฟนตัน เสร็จสิ้น ดังนั้นจะมีปริมาณของแคลเซียมทั้งในสารละลายและในตะกอน ในสัดส่วนที่เสนอในตารางที่ 14 และภาพประกอบที่ 16

ตารางที่ 14 ปริมาณแคลเซียมในน้ำทิ้งสังเคราะห์และในตะกอนสำหรับ Fe : COD

ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ แคลเซียม (mg/L)	
		ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
		สารละลาย	ตะกอน
1	COD : Fe = 1 : 0.08	675 (98.1%)*	12.9 (1.9 %)*
2	COD : Fe = 1 : 0.04	400 (97.8%)	8.8 (2.2 %)
3	COD : Fe = 1 : 0.02	254 (97.9%)	5.5 (2.1 %)

(* % แสดงถึงปริมาณร้อยละของแคลเซียมที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 16 ปริมาณร้อยละของแคลเซียมในสารละลายและในตะกอนสำหรับ Fe : COD

ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

หมายเหตุ	น้ำหนักตะกอนของการทดลองชุดที่ 1	0.8336 กรัม / ลิตร
	น้ำหนักตะกอนของการทดลองชุดที่ 2	0.6446 กรัม / ลิตร
	น้ำหนักตะกอนของการทดลองชุดที่ 3	0.4538 กรัม / ลิตร

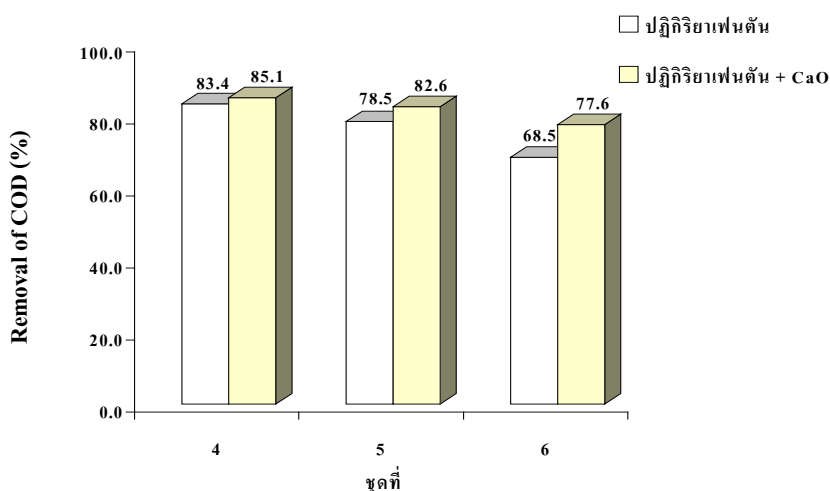
1.2 ผลการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่ใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

การวิเคราะห์ค่า COD

การทดลองชุดที่ 4, 5 และ 6 ค่า COD หลังการบำบัดจะมีค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดมากกว่าการใช้กรดซัลฟูริก (เปรียบเทียบระหว่างตารางที่ 8 และตารางที่ 15) และเมื่อเติมแคลเซียมออกไซด์เพื่อตกตะกอนและปรับสภาพเบสนั้น ผลของการลดลงของค่า COD ยังคงเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ เมื่อใช้สารเคมีเฟนตันมากจะลดได้มาก สำหรับการทดลองชุดที่ 4 ให้ค่า COD ที่เหลือน้อยกว่าการทดลองชุดที่ 5 และ 6 (ดังตารางที่ 15 และภาพประกอบที่ 17)

ตารางที่ 15 ค่า COD ในน้ำทิ้งสังเคราะห์สำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ค่า COD (mg/L) (% การกำจัด)		
		ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด	
			ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
4	COD : Fe = 1 : 0.08	2415	400 (83.4 %)	360 (85.1 %)
5	COD : Fe = 1 : 0.04	2415	520 (78.5 %)	420 (82.6 %)
6	COD : Fe = 1 : 0.02	2415	760 (68.5 %)	540 (77.6 %)



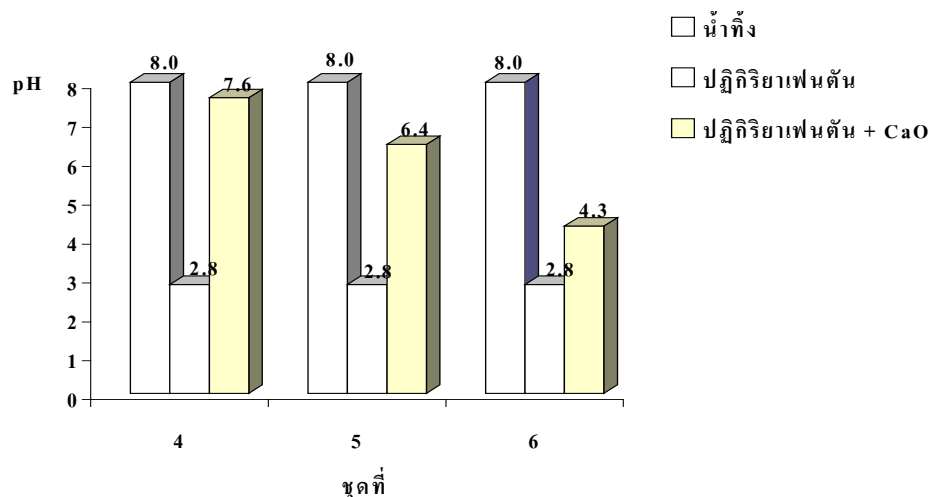
ภาพประกอบที่ 17 ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัด COD ในน้ำทิ้งสังเคราะห์สำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

การวิเคราะห์ค่า pH

การทดลองนี้จะใช้กรดไนตริกในการปรับสภาพความเป็นกรด ซึ่งกรดไนตริกมีความสามารถในการออกซิไดซ์สูง (ประพรีร์ ผลอนันต์, 2535) ดังนั้นการใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรดเป็นการช่วยออกซิไดซ์สารอินทรีย์ได้อีกทางหนึ่งด้วย สำหรับสภาพกรดที่เหมาะสมนั้นยังคงเป็นค่า pH ที่ปรับอยู่ประมาณ 3.0 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมแก่การเกิดปฏิกิริยาเฟนตัน และเมื่อเติมแคลเซียมออกไซด์ค่า pH เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันกับการทดลองชุดที่ 1, 2 และ 3 (ดังตารางที่ 16 และภาพประกอบที่ 18)

ตารางที่ 16 ค่า pH ในน้ำทิ้งสังเคราะห์สำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ค่า pH		
		ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด	
			ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
4	COD : Fe = 1 : 0.08	8.0	2.8	7.6
5	COD : Fe = 1 : 0.04	8.0	2.8	6.4
6	COD : Fe = 1 : 0.02	8.0	2.8	4.3



ภาพประกอบที่ 18 ค่า pH ในน้ำทิ้งสังเคราะห์สำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

การวิเคราะห์สี

การใช้กรดไนตริกปรับ ค่า pH ให้อยู่ในช่วง 2.5 – 3.0 พบว่าเมื่อเติมกรดลงไปสีของน้ำที่งจะเปลี่ยนไปเล็กน้อยเป็นสีน้ำตาลอมเหลือง ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกับการใช้กรดซัลฟูริก (ดังภาพประกอบที่ 9) การเปลี่ยนแปลงของสีในสารละลายในขั้นตอนต่าง ๆ แสดงในประกอบที่ 19 เมื่อเปรียบเทียบกับกรทดสอบชุดที่ 1,2 และ 3 กับกรทดสอบชุดที่ 4, 5 และ 6 การใช้กรดไนตริกจะลดสีในสารละลายได้มากกว่า (ดังตารางที่ 17) จะเห็นได้ว่าในอัตราส่วน COD : Fe = 1 : 0.04 เมื่อใช้กรดไนตริกจะให้ผลการลดสีได้ดีกว่าและใช้สารเคมีเฟนตันน้อยกว่าการใช้กรดซัลฟูริก

ตารางที่ 17 ค่าสีในน้ำที่สังเคราะห์สำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ค่า สี (Pt-Co unit) (% การลดลงของค่าสี)		
		ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด	
			ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
4	COD : Fe = 1 : 0.08	2299	227 (90.1 %)	40 (98.2%)
5	COD : Fe = 1 : 0.04	2299	255 (88.9 %)	99 (95.8 %)
6	COD : Fe = 1 : 0.02	2299	287 (87.5 %)	174 (92.4 %)



ก



ข



ค

การทดลองชุดที่ 4
อัตราส่วน COD: Fe = 1:0.08



ก



ข



ค

การทดลองชุดที่ 5
อัตราส่วน COD: Fe = 1:0.04



ก



ข



ค

การทดลองชุดที่ 6
อัตราส่วน COD: Fe = 1:0.02

ภาพประกอบที่ 19 สีของน้ำทิ้งสังเคราะห์ในขั้นตอนต่างๆที่บำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันของ
สำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับ
สภาพกรด

- ก. น้ำทิ้งสังเคราะห์ก่อนการบำบัด
- ข. น้ำทิ้งสังเคราะห์หลังจากบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน
- ค. สารละลายในข้อ ข. หลังจากเติมแคลเซียมออกไซด์

การวิเคราะห์สารตกค้าง

สารตกค้างต่าง ๆ ยังคงเป็นไปในการทำงานเดียวกันกับการทดลองชุดที่ 1, 2 และ 3
ซึ่งมีปริมาณของโบรอน ซัลเฟต แคลเซียม และไนเตรท ยังคงอยู่ในสารละลายมากกว่า 95 % ซึ่งเป็น
ผลมาจากการใช้กรด และสารเคมีในการบำบัด ส่วนปริมาณของเหล็กตกค้างอยู่ในสารละลายเพียง
เล็กน้อย

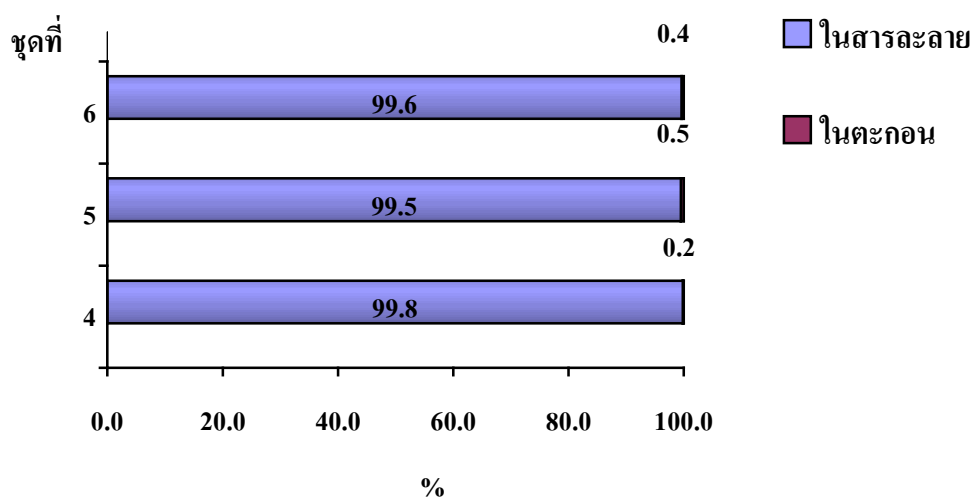
การวิเคราะห์ปริมาณโบรอน

ปริมาณโบรอนของทุกชุดการทดลองพบว่า ในสารละลายยังคงมีปริมาณโบรอนถึง 99 % และมีเพียงเล็กน้อยในตะกอน ดังรายละเอียดในตารางที่ 18 และภาพประกอบที่ 20

ตารางที่ 18 ปริมาณโบรอนในน้ำทิ้งสังเคราะห์และในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณโบรอน (mg/L)		
		ปฏิกิริยาเฟนตัน		ตะกอน
		สารละลายสภาพกรด	สารละลาย	
4	COD : Fe = 1 : 0.08	1380	1372 (99.8%)*	3.0 (0.2 %)*
5	COD : Fe = 1 : 0.04	1365	1337 (99.5 %)	3.0 (0.5 %)
6	COD : Fe = 1 : 0.02	1379	1375 (99.6 %)	4.2 (0.4%)

(* % แสดงถึงปริมาณร้อยละของของโบรอนที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 20 ปริมาณร้อยละของโบรอนในสารละลายและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

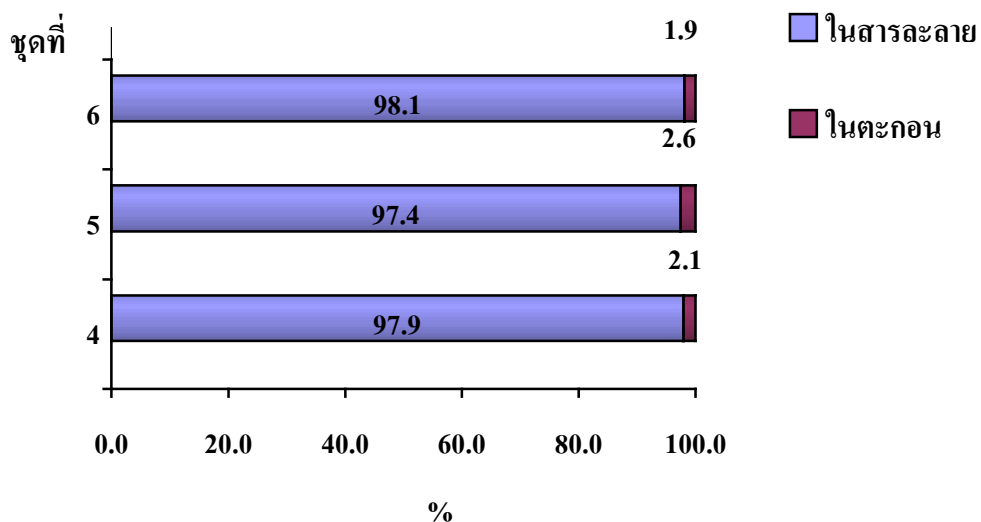
การวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟต

ปริมาณซัลเฟตนั้นจะพบในสารละลายมากกว่า 97 % ในทุกชุดการทดลอง(ดังตารางที่ 19 และภาพประกอบที่ 21) และการใช้กรดไนตริกจะทำให้มีปริมาณซัลเฟตน้อยกว่าการใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ตารางที่ 19 ปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งสังเคราะห์และในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณซัลเฟต (mg/L)		
		ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
		สารละลายสภาพกรด	สารละลาย	ตะกอน
4	COD : Fe = 1 : 0.08	295	242 (97.9 %)*	5.2 (2.1 %)*
5	COD : Fe = 1 : 0.04	125	115 (97.4 %)	3.2 (2.6 %)
6	COD : Fe = 1 : 0.02	75	61 (98.1 %)	1.2 (1.9 %)

(* % แสดงถึงปริมาณร้อยละของซัลเฟตที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 21 ปริมาณร้อยละของซัลเฟตในสารละลายและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม

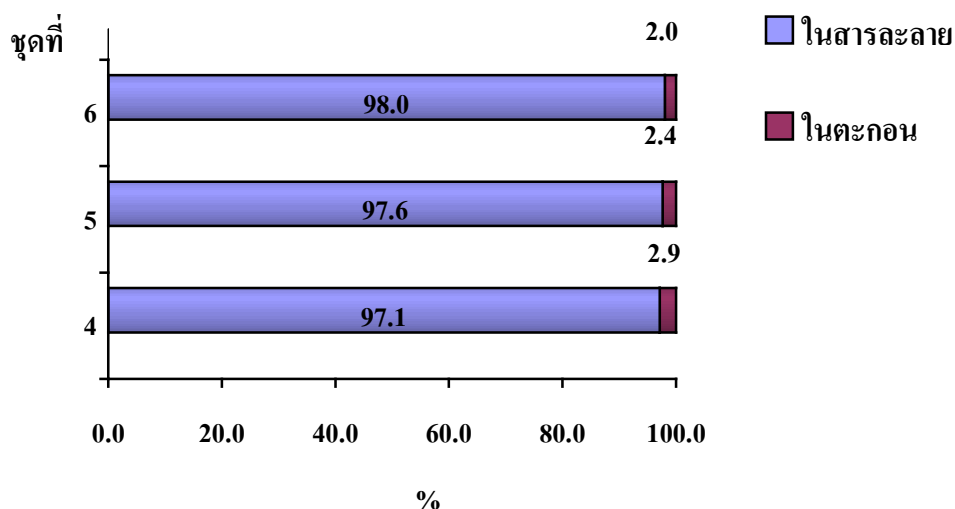
การทดลองทั้ง 3 ชุดพบว่าปริมาณแคลเซียมที่เติมลงไปนั้นละลายอยู่ในสารละลายมากกว่าที่จะตกตะกอน โดยมีปริมาณแคลเซียมในสารละลายมากกว่า 97 % (ตารางที่ 20 และภาพประกอบที่ 22)

ตารางที่ 20 ปริมาณแคลเซียมในน้ำทิ้งสังเคราะห์และในตะกอนสำหรับ Fe : COD

ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ แคลเซียม (mg/L)	
		ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
		สารละลาย	ตะกอน
4	COD : Fe = 1 : 0.08	586 (97.1 %)*	17.4 (2.9 %)*
5	COD : Fe = 1 : 0.04	301 (97.6%)	7.3 (2.4 %)
6	COD : Fe = 1 : 0.02	246 (98.0 %)	5.6 (2.0 %)

(* % แสดงถึงปริมาณร้อยละของแคลเซียมที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 22 ปริมาณร้อยละของแคลเซียมในสารละลายและในตะกอนสำหรับ Fe :

COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

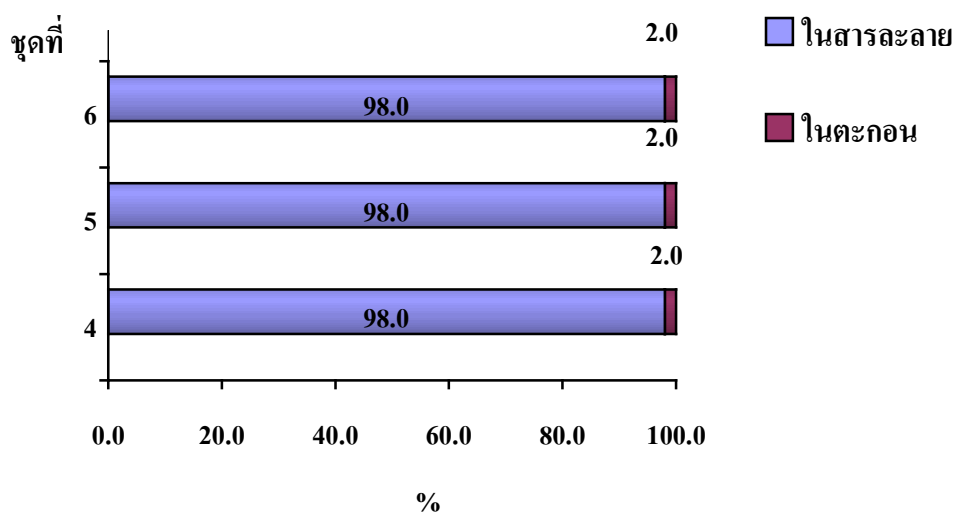
การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรท

ปริมาณไนเตรทนั้นยังคงอยู่ในสารละลายเป็นจำนวนมากโดยทั้ง 3 ชุดการทดลอง จะมีปริมาณไนเตรทถึง 98 % ในสารละลาย (ดังตารางที่ 21 และภาพประกอบที่ 23)

ตารางที่ 21 ปริมาณไนเตรทในน้ำทิ้งซึ่งเคราะห์และในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ ไนเตรท (mg/L)		
		ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
		สารละลายสภาพกรด	สารละลาย	ตะกอน
4	COD : Fe = 1: 0.08	74	73 (98.0 %)*	0.4 (2.0 %)*
5	COD : Fe = 1: 0.04	73	72 (98.0 %)	0.3 (2.0 %)
6	COD : Fe = 1: 0.02	73	72 (98.0 %)	0.2 (2.0 %)

(* % แสดงถึงปริมาณร้อยละของไนเตรทที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 23 ปริมาณร้อยละของไนเตรทในสารละลายและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

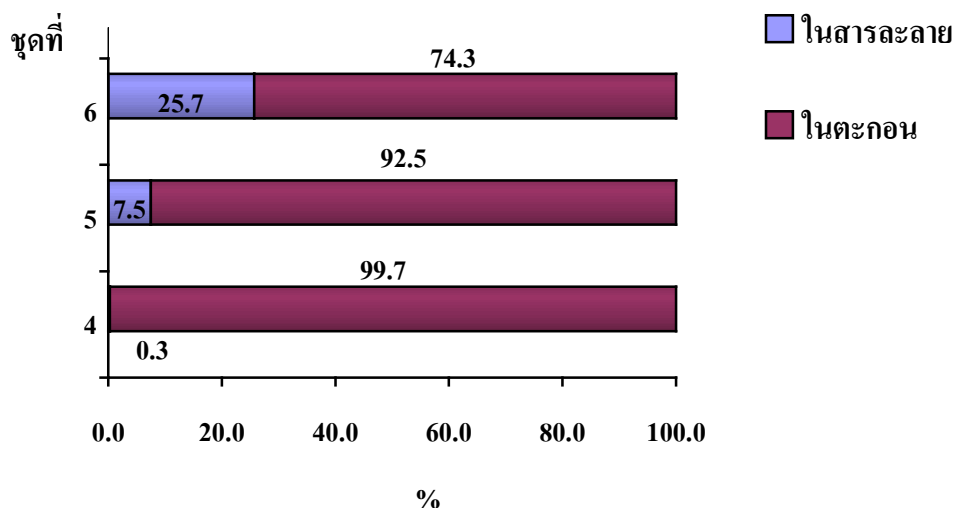
การวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก

ปริมาณเหล็กในสารละลายหลังการตกตะกอนด้วยแคลเซียมออกไซด์นั้นพบว่ามีปริมาณเหล็กน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณเหล็กในตะกอนดังรายละเอียดในตารางที่ 22 และภาพประกอบที่ 24

ตารางที่ 22 ปริมาณเหล็กในน้ำทิ้งสังเคราะห์และในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ เหล็ก (mg/L)		
		ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
		สารละลายสภาพกรด	สารละลาย	ตะกอน
4	COD : Fe = 1 : 0.08	176	0.5 (0.3 %)*	163 (99.7 %)*
5	COD : Fe = 1 : 0.04	75	5.8 (7.5 %)	70 (92.5 %)
6	COD : Fe = 1 : 0.02	44	11.1 (25.7 %)	32 (74.3 %)

(* % แสดงถึงปริมาณร้อยละของเหล็กที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 24 ปริมาณร้อยละของเหล็กในสารละลายและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.02 - 0.08 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

หมายเหตุ	น้ำหนักตะกอนของการทดลองชุดที่ 4	0.8710 กรัม/ลิตร
	น้ำหนักตะกอนของการทดลองชุดที่ 5	0.2964 กรัม/ลิตร
	น้ำหนักตะกอนของการทดลองชุดที่ 6	0.2104 กรัม/ลิตร

2. ผลการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์

2.1 ผลการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

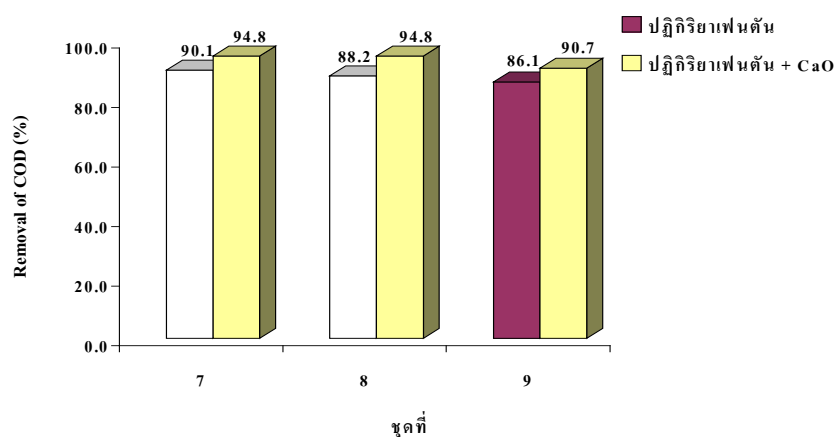
การวิเคราะห์ค่า COD

การทดลองการบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการรักษาเนื้อไม้ยางพาราจากโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์โดยใช้ปริมาณสารเคมีเฟนตันเท่ากันกับการบำบัดน้ำทิ้งสังเคราะห์ และปรับสภาพกรดด้วยกรดซัลฟูริก (จากตารางที่ 6) การทดลองชุดที่ 7, 8 และ 9 พบว่า ค่า COD ของน้ำทิ้งก่อนการบำบัดมีค่า 798.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อบำบัดด้วยสารเคมีเฟนตันและตกตะกอนด้วยแคลเซียมออกไซด์แล้ว ในการทดลองชุดที่ 7 และ 8 สามารถลดค่า COD ได้ถึง 94.8 % และการทดลองชุดที่ 9 ลดค่าได้ COD 90.7 % (ดังตารางที่ 23 และภาพประกอบที่ 25)

ตารางที่ 23 ค่า COD ในน้ำทิ้งสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก)

โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ค่า COD (mg/L) (% การกำจัด)		
		ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด	
			ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
7	COD : Fe = 1:0.24	798	79 (90.1 %)	42 (94.8 %)
8	COD : Fe = 1:0.12	798	95 (88.2 %)	42 (94.8 %)
9	COD : Fe = 1:0.06	798	111 (86.1%)	74 (90.7 %)



ภาพประกอบที่ 25 ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัด COD ในน้ำทิ้งสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24

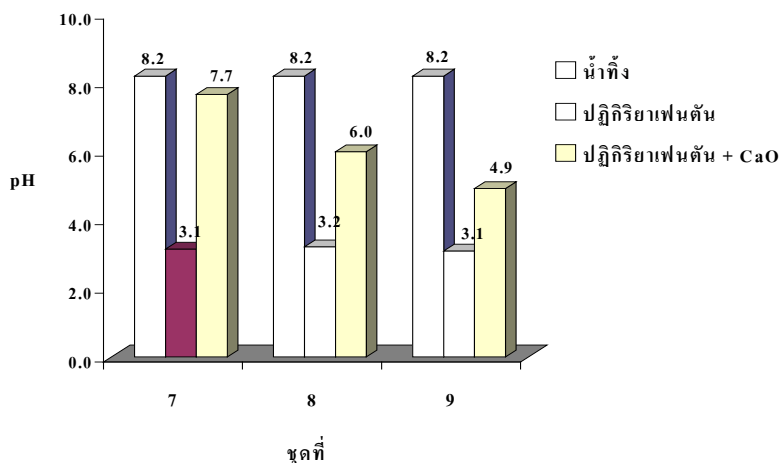
(โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

การวิเคราะห์ค่า pH

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในการทดลองทั้ง 3 ชุด (ดังตารางที่ 24) พบว่ามีแนวโน้มอยู่ในรูปแบบเดียวกัน โดยที่ pH ของน้ำทิ้งก่อนการบำบัดจะมีค่า 8.2 หลังจากปรับด้วยกรดซัลฟูริกในช่วงของการเกิดปฏิกิริยาเฟนตันจะมีค่าประมาณ 3 และเมื่อเติมแคลเซียมออกไซด์ค่า pH ที่ได้มีค่าสูงขึ้น (ดังตารางที่ 24 และภาพประกอบที่ 26)

ตารางที่ 24 ค่า pH ในน้ำทิ้งสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ค่า pH		
		ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด	
			ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
7	COD : Fe = 1 : 0.24	8.2	3.1	7.7
8	COD : Fe = 1 : 0.12	8.2	3.2	6.0
9	COD : Fe = 1 : 0.06	8.2	3.1	4.9



ภาพประกอบที่ 26 ค่า pH ในน้ำทิ้งสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

การวิเคราะห์สี

การใช้กรดซัลฟูริกในปริมาณเล็กน้อยปรับ ค่า pH อยู่ในช่วง 2.5 – 3.0 พบว่าหลังจากเติมกรดลงไปสีของน้ำทิ้งจะมีสีอ่อนลงเล็กน้อย และเมื่อบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันทำให้สีของสารละลายนั้นลดลง (ดังตารางที่ 25) แต่จะลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเติมแคลเซียมออกไซด์ซึ่งจะทำให้สารละลายใสไม่มีสีในที่สุด (ดังภาพประกอบที่ 27)

ตารางที่ 25 ค่าสีของน้ำทิ้งสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ค่า สี (Pt-Co unit) (% การลดลงของค่าสี)		
		ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด	
			ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
7	COD : Fe = 1:0.24	1020	54 (94.7 %)	8.5 (99.2 %)
8	COD : Fe = 1:0.12	1020	39 (96.1 %)	15.1 (98.5 %)
9	COD : Fe = 1:0.06	1020	35 (86.1 %)	25.4(97.5 %)



ก



ข



ค

การทดลองชุดที่ 7
อัตราส่วน COD: Fe = 1:0.24



ก



ข



ค

การทดลองชุดที่ 8
อัตราส่วน COD: Fe = 1:0.12



ก



ข



ค

การทดลองชุดที่ 9
อัตราส่วน COD: Fe = 1:0.06

ภาพประกอบที่ 27 สีของน้ำทิ้งในขั้นตอนต่างๆที่บำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

- ก. น้ำทิ้งสังเคราะห์ก่อนการบำบัด
- ข. น้ำทิ้งสังเคราะห์หลังจากบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน
- ค. สารละลายในข้อ ข. หลังจากเติมแคลเซียมออกไซด์

การวิเคราะห์สารตกค้าง

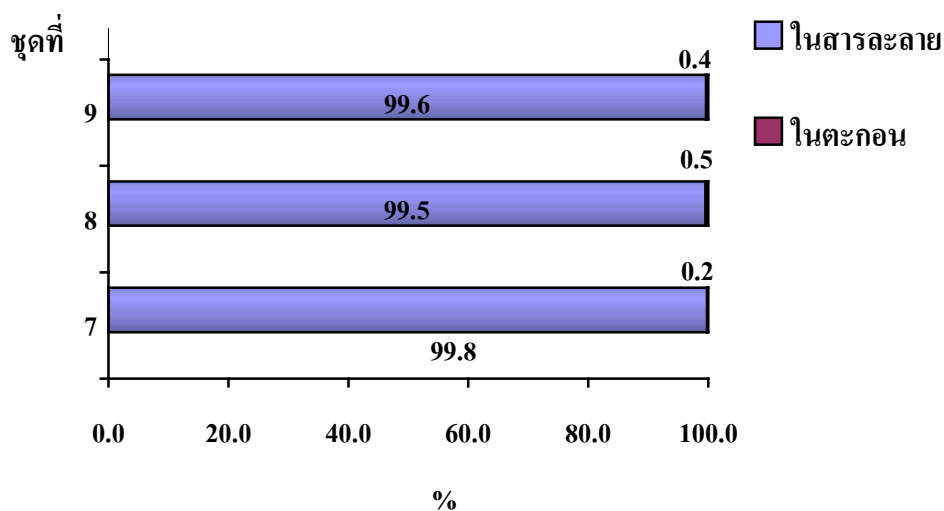
การวิเคราะห์ปริมาณโบรอน

จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณโบรอนยังคงอยู่ในสารละลายถึง 99 % โดยมีบางส่วนอยู่ในตะกอน (ดังตารางที่ 26) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในข้อ 1.1 และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง (ดังภาพประกอบที่ 28)

ตารางที่ 26 ปริมาณโบรอนในน้ำทิ้งและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ โบรอน (mg/L)		
		ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
		สารละลายสภาพกรด	สารละลาย	ตะกอน
7	COD : Fe = 1 : 0.24	1127	1041 (99.8 %)*	10.7 (0.2 %)*
8	COD : Fe = 1 : 0.12	1128	1045 (99.5 %)	4.9 (0.5 %)
9	COD : Fe = 1 : 0.06	1127	1051 (99.6 %)	1.3 (0.4 %)

(* % แสดงถึงปริมาณร้อยละของโบรอนที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 28 ปริมาณร้อยละโบรอนในสารละลายและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

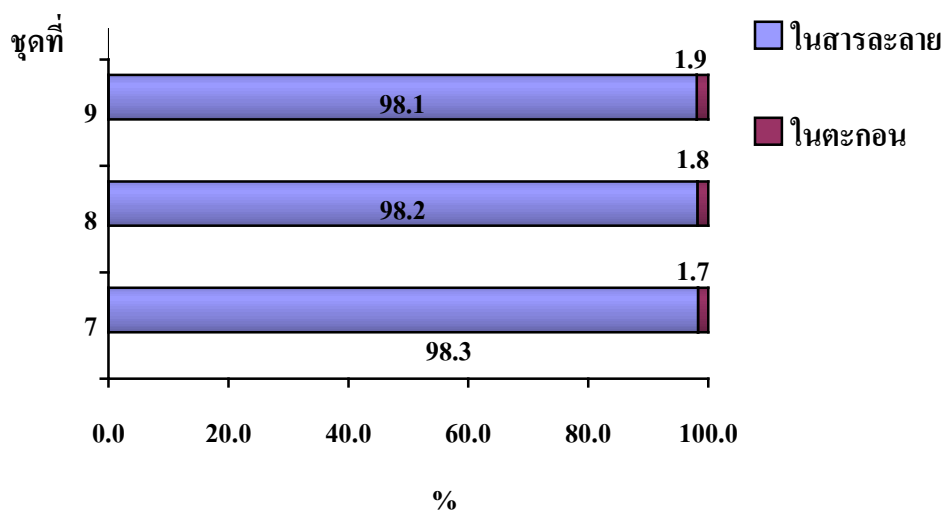
การวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟต

พบว่าการตกค้างของซัลเฟตในสารละลายมากประมาณ 98 % ทั้งสามชุดการทดลอง (ดังตารางที่ 27 และภาพประกอบที่ 29) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณซัลเฟตส่วนใหญ่มาจากกรดซัลฟูริก

ตารางที่ 27 ปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ ซัลเฟต (mg/L)		
		ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
		สารละลายสภาพกรด	สารละลาย	ตะกอน
7	COD : Fe = 1 : 0.24	3123	3065 (98.3 %)*	52 (1.7 %)*
8	COD : Fe = 1 : 0.12	2895	2798 (98.2 %)	50 (1.8 %)
9	COD : Fe = 1 : 0.06	2762	2695 (98.1 %)	51 (1.9 %)

(* % แสดงถึงปริมาณร้อยละของซัลเฟตที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 29 ปริมาณร้อยละของซัลเฟตในสารละลายและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

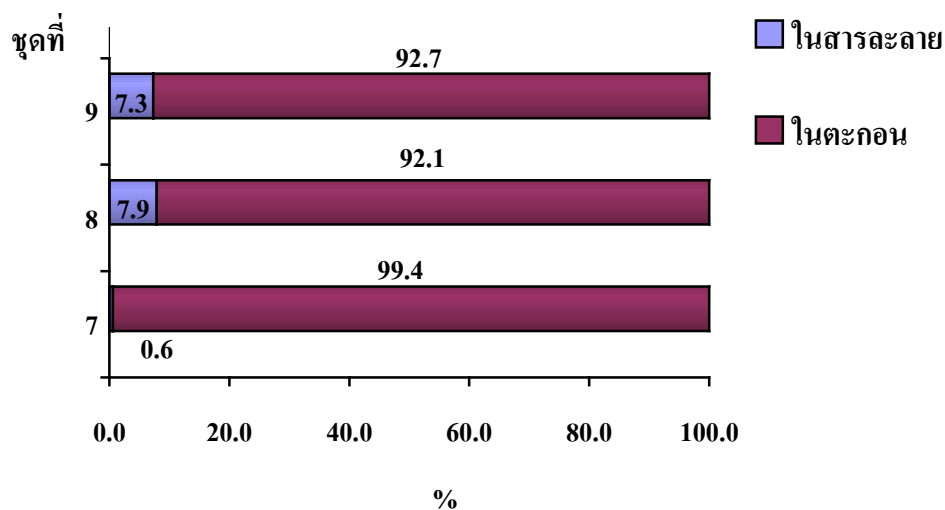
การวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก

ปริมาณเหล็ก เกือบ 100 % อยู่ในส่วนของตะกอนทุกชุดการทดลอง (ดังตารางที่ 28 และ ภาพประกอบที่ 30)

ตารางที่ 28 ปริมาณเหล็กในน้ำทิ้งและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ เหล็ก (mg/L)		
		ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
		สารละลายสภาพกรด	สารละลาย	ตะกอน
7	COD : Fe = 1 : 0.24	173	0.9 (0.6%)*	161 (99.4%)*
8	COD : Fe = 1 : 0.12	77	6.1 (7.9%)	71 (92.1%)
9	COD : Fe = 1 : 0.06	44	3.0 (7.3%)	38 (92.7%)

(*% แสดงถึงปริมาณร้อยละของเหล็กที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 30 ปริมาณร้อยละของเหล็กในสารละลายและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

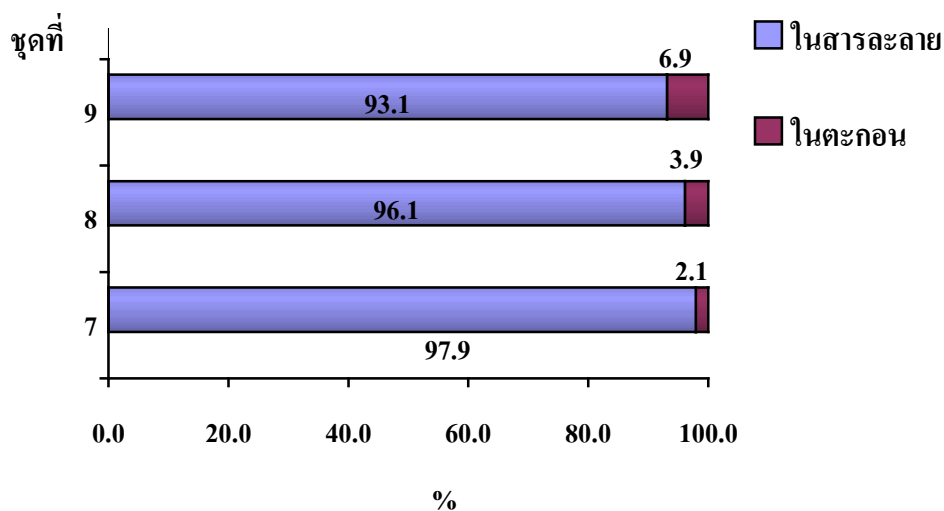
การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม

ทุกชุดการทดลองพบว่าปริมาณของแคลเซียมที่ตกค้างในสารละลายมีมากกว่าที่จะตกตะกอน (ดังตารางที่ 29) โดยแต่ละชุดการทดลองจะมีปริมาณแคลเซียมอยู่ในสารละลายมากกว่า 90 % (ดังภาพประกอบที่ 31) และมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

ตารางที่ 29 ปริมาณแคลเซียมในน้ำทิ้งและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ แคลเซียม (mg/L)	
		ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
		สารละลาย	ตะกอน
7	COD : Fe = 1 : 0.24	656 (97.9%)*	14 (2.1 %)*
8	COD : Fe = 1 : 0.12	347 (96.1%)	14 (3.9 %)
9	COD : Fe = 1 : 0.06	195 (93.1%)	15 (6.9 %)

(*% แสดงถึงปริมาณร้อยละของแคลเซียมที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 31 ปริมาณร้อยละของแคลเซียมในสารละลายและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

หมายเหตุ	น้ำหนักตะกอนของการทดลองชุดที่ 7	0.7654 กรัม/ลิตร
	น้ำหนักตะกอนของการทดลองชุดที่ 8	0.3578 กรัม/ลิตร
	น้ำหนักตะกอนของการทดลองชุดที่ 9	0.0474 กรัม/ลิตร

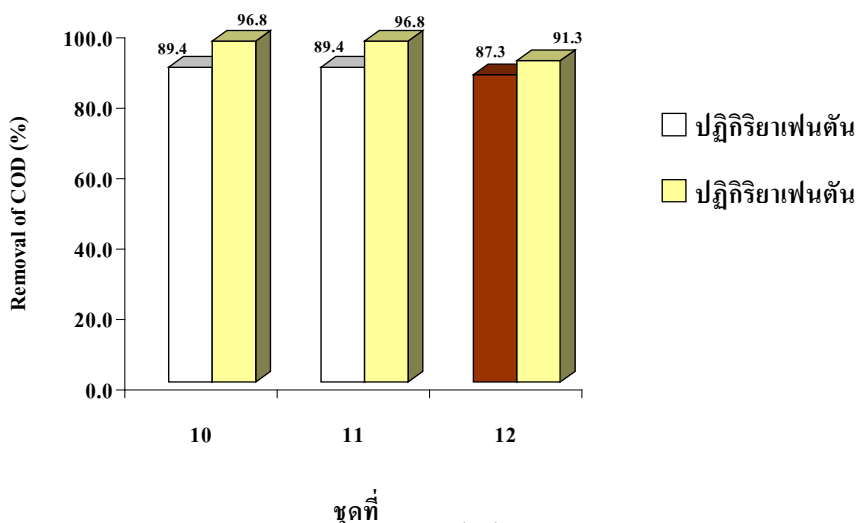
2.2 ผลการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

การวิเคราะห์ค่า COD

การทดลองการบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการรักษาเนื้อไม้ยางพาราจากโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์โดยใช้ปริมาณสารเคมีเฟนตันเท่ากันกับการบำบัดน้ำทิ้งสังเคราะห์ และปรับสภาพกรดด้วยกรดไนตริก การทดลองชุดที่ 10, 11 และ 12 พบว่า ค่า COD ของน้ำทิ้งก่อนการบำบัดมีค่า 798 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อบำบัดด้วยสารเคมีเฟนตันและตกตะกอนด้วยแคลเซียมออกไซด์แล้ว จะลดค่า COD ได้ดังนี้ การทดลองชุดที่ 10 และ 11 ลดค่า COD ได้ถึง 96.8 % และการทดลองชุดที่ 12 ลดค่า COD ได้ 91.3 % (ดังตารางที่ 30 และภาพประกอบที่ 32) และจะเห็นได้ว่าค่า COD สามารถลดลงได้มากกว่าการใช้กรดซัลฟูริกเช่นเดียวกับการทดลองของน้ำทิ้งสังเคราะห์

ตารางที่ 30 ค่า COD ในน้ำทิ้งสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ค่า COD (mg/L)		
		ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด	
			ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
10	COD : Fe = 1:0.24	798	170 (89.4 %)	51 (96.8 %)
11	COD : Fe = 1:0.12	798	170 (89.4 %)	51 (96.8 %)
12	COD : Fe = 1:0.06	798	204 (87.3 %)	139 (91.3 %)



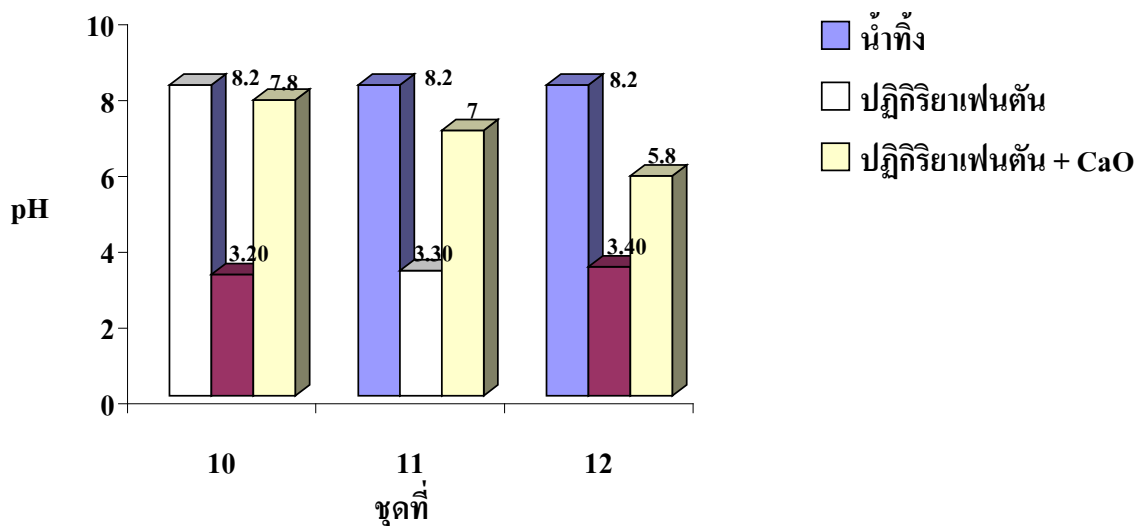
ภาพประกอบที่ 32 ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัด COD ในน้ำทิ้งสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

การวิเคราะห์ค่า pH

การเปลี่ยนแปลงของค่า pH นั้นเป็นไปในทางเดียวกันกับการทดลองที่ผ่านมา คือน้ำทิ้งก่อนบำบัดมีค่า pH 8.2 หลังจากปรับด้วยกรดไนตริกในช่วงของการเกิดปฏิกิริยาเฟนตันจะได้ค่า pH ประมาณ 3 แต่เมื่อเติมแคลเซียมออกไซด์ทำให้ค่า pH หลังการบำบัดสูงขึ้น ดังตารางที่ 31 และ ภาพประกอบที่ 33

ตารางที่ 31 ค่า pH ในน้ำทิ้งสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ค่า pH		
		ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด	
			ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
10	COD : Fe = 1 : 0.24	8.2	3.2	7.8
11	COD : Fe = 1 : 0.12	8.2	3.3	7.0
12	COD : Fe = 1 : 0.06	8.2	3.4	5.8



ภาพประกอบที่ 33 ค่า pH ในน้ำทิ้งสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

การวิเคราะห์สี

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของสีในการทดลองนี้จะเห็นได้ชัดเจน การลดลงของค่าสีเป็นไปทิศทางเดียวกันทั้ง 3 การทดลอง (ดังตารางที่ 32) และเมื่อเติมแคลเซียมออกไซด์สารละลายจะใสไม่มีสี (ดังภาพประกอบที่ 34)

ตารางที่ 32 ค่าสีในน้ำทิ้งของสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ค่า สี (Pt-Co unit) (% การลดลงของค่าสี)		
		ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด	
			ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
10	COD : Fe = 1:0.24	1020	124 (87.9 %)	7.4 (99.3 %)
11	COD : Fe = 1:0.12	1020	51 (95.0%)	12.3 (98.8 %)
12	COD : Fe = 1:0.06	1020	45 (95.6 %)	15.1 (98.5 %)



ก



ข



ค

การทดลองชุดที่ 10
อัตราส่วน COD: Fe = 1:0.24



ก



ข



ค

การทดลองชุดที่ 11
อัตราส่วน COD: Fe = 1:0.12



ก



ข



ค

การทดลองชุดที่ 12
อัตราส่วน COD: Fe = 1:0.06

ภาพประกอบที่ 34 สีของน้ำทิ้งในขั้นตอนต่าง ๆ ที่บำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันสำหรับ Fe : COD

ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ก. น้ำทิ้งสังเคราะห์ก่อนการบำบัด

ข. น้ำทิ้งสังเคราะห์หลังจากบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

ค. สารละลายในข้อ ข. หลังจากเติมแคลเซียมออกไซด์

การวิเคราะห์สารตกค้าง

การวิเคราะห์ปริมาณโบรอน

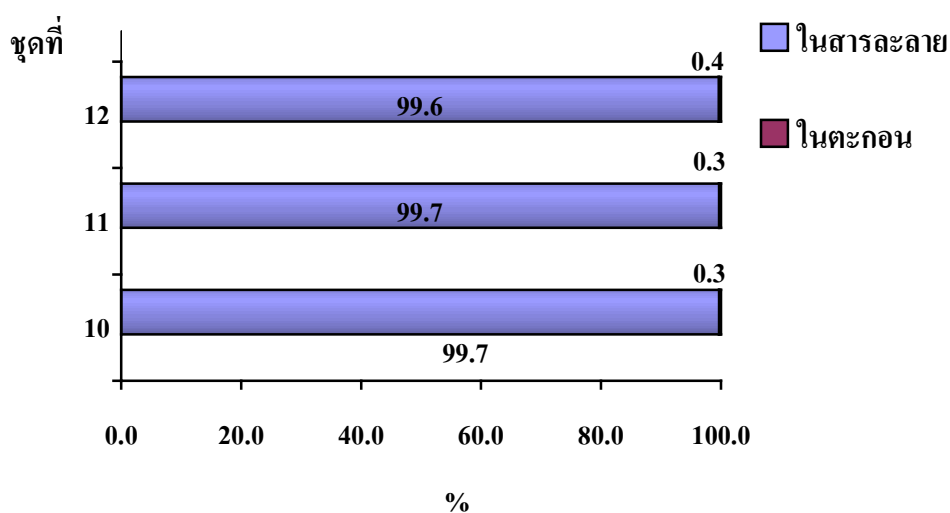
การทดลองเพื่อหาปริมาณโบรอนในแต่ละขั้นตอนของการทดลองชุดที่ 10, 11 และ 12 พบว่าโบรอนที่พบยังคงอยู่ในสารละลายเป็นส่วนใหญ่ (ดังตารางที่ 33 และภาพประกอบที่ 35)

ตารางที่ 33 ปริมาณ โบรอนในน้ำทิ้งและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24

(โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ โบรอน (mg/L)		
		ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
		สารละลายสภาพกรด	สารละลาย	ตะกอน
10	COD : Fe = 1 : 0.24	1130	1018 (99.7%)*	2.9(0.3 %)*
11	COD : Fe = 1 : 0.12	1128	1049 (99.7%)	6.2 (0.3 %)
12	COD : Fe = 1 : 0.06	1106	1048 (99.6 %)	5.0 (0.4 %)

(* % แสดงถึงปริมาณร้อยละของโบรอนที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 35 ปริมาณร้อยละของโบรอนในสารละลายและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

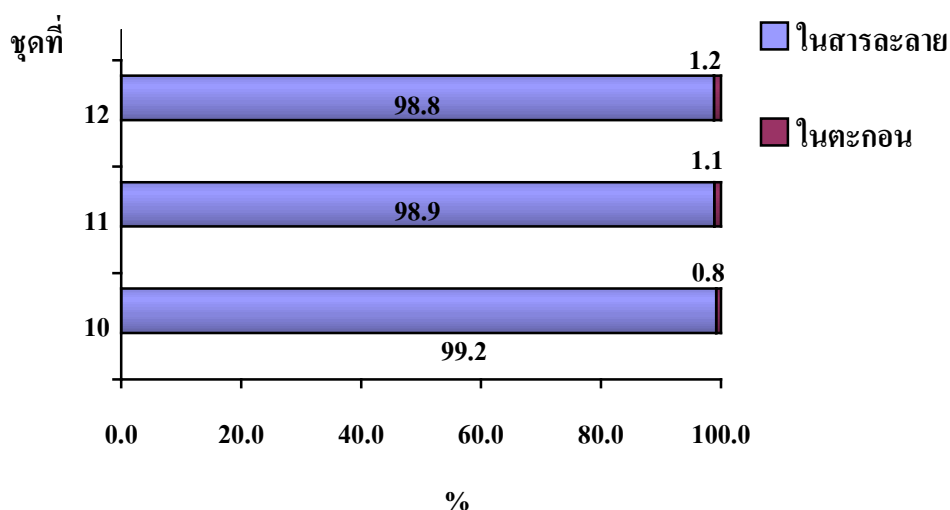
การวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟต

ปริมาณซัลเฟตนั้นจะพบในสารละลายประมาณ 99 % ในทุกการทดลอง (ดังตารางที่ 34 และภาพประกอบที่ 36) และการใช้กรดไนตริกในการปรับสภาพกรดจะได้ปริมาณซัลเฟตน้อยกว่าการใช้กรดซัลฟูริก

ตารางที่ 34 ปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ ซัลเฟต (mg/L)		
		ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
		สารละลายสภาพกรด	สารละลาย	ตะกอน
10	COD : Fe = 1 : 0.24	350	326 (99.2%)*	2.8 (0.8 %)*
11	COD : Fe = 1 : 0.12	230	213 (98.9%)	2.4 (1.1 %)
12	COD : Fe = 1 : 0.06	75	68 (98.8%)	0.8 (1.2 %)

(* % แสดงถึงปริมาณร้อยละของซัลเฟตที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 36 ปริมาณร้อยละของซัลเฟตในสารละลายและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

การวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก

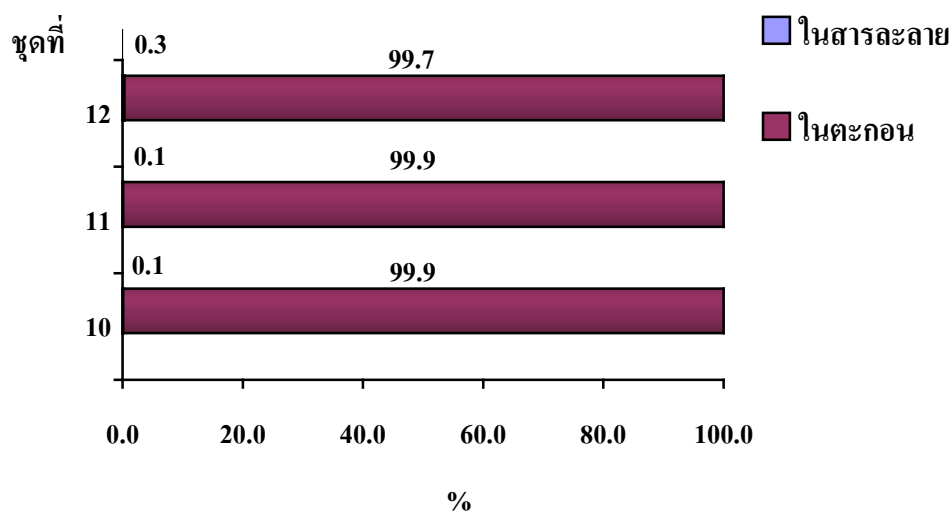
ทุกชุดการทดลองพบว่าปริมาณเหล็กมากกว่า 99 % จะตกตะกอน ทำให้ในสารละลายพบปริมาณเหล็กเพียงเล็กน้อยเท่านั้นจึงทำให้สารละลายใสมากขึ้นด้วย (ดังตารางที่ 35 และภาพประกอบที่ 37)

ตารางที่ 35 ปริมาณเหล็กในน้ำทิ้งและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24

(โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ เหล็ก (mg/L)		
		ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
		สารละลายสภาพกรด	สารละลาย	ตะกอน
10	COD : Fe = 1 : 0.24	174	0.1 (0.1%)*	171 (99.9%)*
11	COD : Fe = 1 : 0.12	78	0.1 (0.1%)	72 (99.1%)
12	COD : Fe = 1 : 0.06	59	0.2 (0.3%)	49 (99.7%)

(* % แสดงถึงปริมาณร้อยละของเหล็กที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 37 ปริมาณร้อยละของเหล็กในสารละลายและในตะกอนสำหรับ Fe : COD

ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

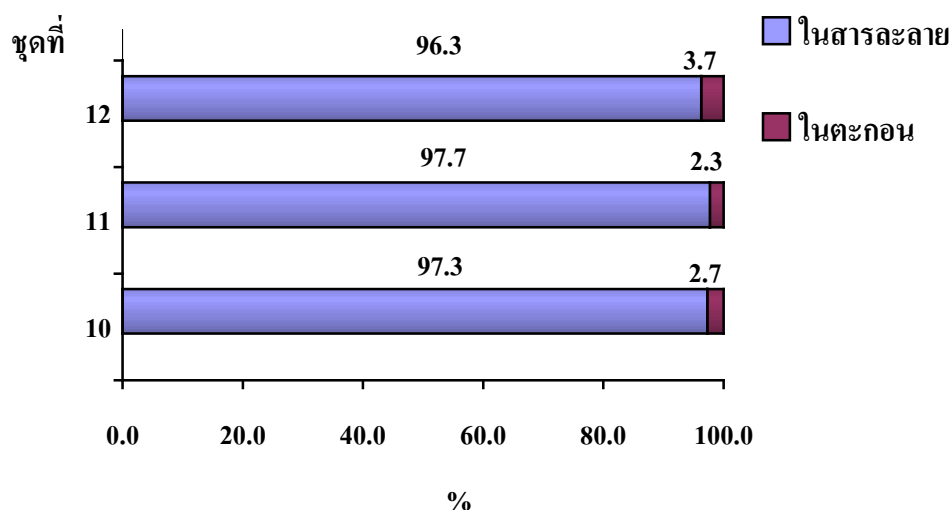
การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม

สำหรับปริมาณแคลเซียมซึ่งเกิดจากการเติมแคลเซียมออกไซด์เพื่อปรับสภาพเบส และเพื่อตกตะกอนเหล็กซึ่งเป็นคะตะลิสต์ออกจากสารละลายพบว่า ทั้ง 3 ชุดการทดลอง มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการทดลองที่ผ่านมา คือ แคลเซียมละลายอยู่ในสารละลายในปริมาณมากกว่า 90 % ดังรายละเอียดในตารางที่ 36 และภาพประกอบที่ 38

ตารางที่ 36 ปริมาณแคลเซียมในน้ำทิ้งและในตะกอนของสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ แคลเซียม (mg/L)	
		ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
		สารละลาย	ตะกอน
10	COD : Fe = 1 : 0.24	609 (97.3%)*	17.1 (2.7 %)*
11	COD : Fe = 1 : 0.12	373 (97.7%)	8.9 (2.3 %)
12	COD : Fe = 1 : 0.06	254 (96.3%)	9.4 (3.7 %)

(* % แสดงถึงปริมาณร้อยละของแคลเซียมที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 38 ปริมาณร้อยละของแคลเซียมในสารละลายและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

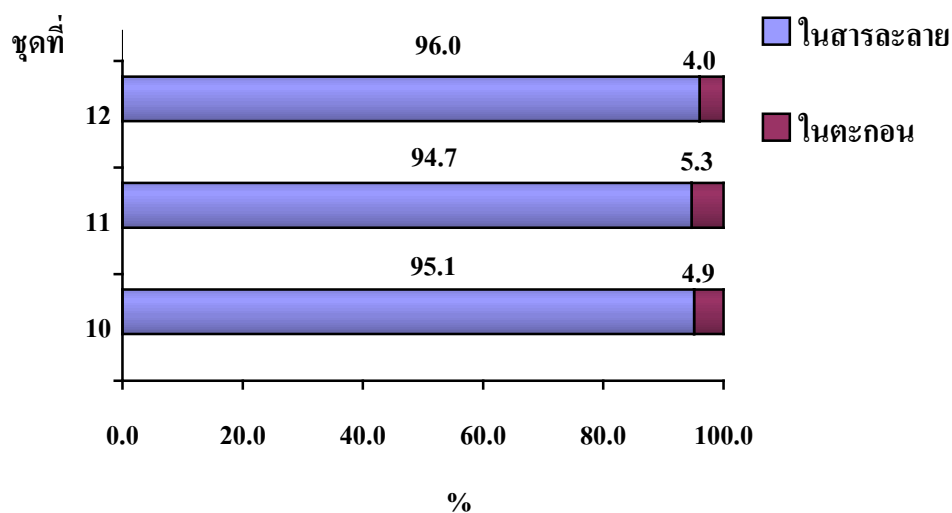
การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรท

การทดสอบปริมาณไนเตรทซึ่งเป็นตัวแทนของกรดไนตริกที่เหลืออยู่ในสารละลาย พบว่าคงเหลืออยู่ในสารละลายเป็นจำนวนมาก โดย ทั้ง 3 ชุดการทดลอง จะมีปริมาณไนเตรทประมาณ 95 % และอยู่ในตะกอนประมาณ 5 % (ดังตารางที่ 37 และภาพประกอบที่ 39)

ตารางที่ 37 ปริมาณไนเตรทในน้ำทิ้งและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณไนเตรท (mg/L)		
		ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
		สารละลายสภาพกรด	สารละลาย	ตะกอน
10	COD : Fe = 1 : 0.24	74	72 (95.1 %)*	3.7 (4.9 %)*
11	COD : Fe = 1 : 0.12	73	62 (94.7 %)	3.4 (5.3 %)
12	COD : Fe = 1 : 0.06	73	58 (96.0 %)	2.4 (4.0 %)

(* % แสดงถึงปริมาณร้อยละของไนเตรทที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 39 แสดงปริมาณร้อยละของไนเตรทในสารละลายและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.06 - 0.24 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

หมายเหตุ

น้ำหนักตะกอนของการทดลองชุดที่ 10	0.7936 กรัม/ลิตร
น้ำหนักตะกอนของการทดลองชุดที่ 11	0.3952 กรัม/ลิตร
น้ำหนักตะกอนของการทดลองชุดที่ 12	0.1788 กรัม/ลิตร

3. ผลการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งบ่อฝังสุดท้ายจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษ

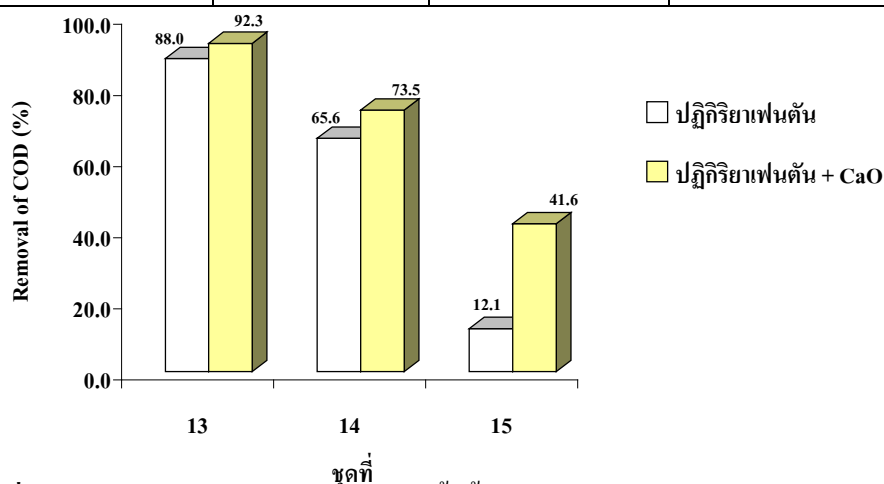
3.1. ผลการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

การวิเคราะห์ค่า COD

การทดลองน้ำทิ้งจากบ่อฝังสุดท้ายของการบำบัดจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษ เอสแพค ซึ่งเป็นน้ำทิ้งที่มีสีชมพูและมีตะกอนสีดำของผงสี ในการทดลองจะนำน้ำทิ้งมาทำการทดลองตามอัตราส่วนที่แสดงไว้ในตารางที่ 6 โดยใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวปรับสภาพกรด พบว่า ค่า COD ของน้ำทิ้งก่อนการบำบัดมีค่าประมาณ 588 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อบำบัดด้วยสารเคมีเฟนตันและตกตะกอนด้วยแคลเซียมออกไซด์แล้ว จะลดค่า COD ได้ดังนี้ การทดลองชุดที่ 13 ลดค่า COD ได้ถึง 92.3 % การทดลองชุดที่ 14 ลดค่า COD ได้ 73.5 % และการทดลองชุดที่ 15 ลดค่า COD 41.6 % (ดังตารางที่ 38 และภาพประกอบที่ 40)

ตารางที่ 38 ค่า COD ในน้ำทิ้งของสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ค่า COD (mg/L)		
		ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด	
			ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
13	COD : Fe = 1:0.34	588	71 (88.0 %)	45 (92.3 %)
14	COD : Fe = 1:0.17	588	202 (65.6 %)	156 (73.5 %)
15	COD : Fe = 1:0.09	588	516 (12.1 %)	343 (41.6 %)



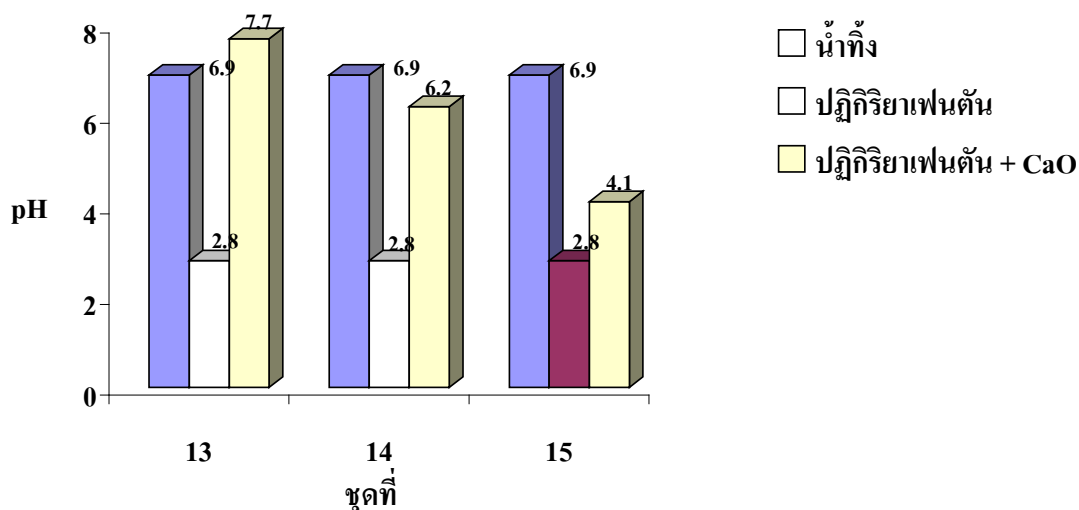
ภาพประกอบที่ 40 ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัด COD ในน้ำทิ้งของสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

การวิเคราะห์ค่า pH

การเปลี่ยนแปลง pH เป็นไปตามแนวโน้มเดิม คือน้ำทิ้งมีค่า pH 6.9 ปรับให้อยู่ในสภาพกรดด้วยกรดซัลฟูริกเพียงเล็กน้อยให้ pH อยู่ในช่วง 2.5 – 3.0 และสุดท้ายทำการปรับ pH ให้สูงขึ้นด้วยแคลเซียมออกไซด์ (ดังตารางที่ 39 และภาพประกอบที่ 41)

ตารางที่ 39 ค่า pH ในน้ำทิ้งสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ค่า pH		
		น้ำทิ้ง	ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
13	COD : Fe = 1:0.34	6.9	2.8	7.7
14	COD : Fe = 1:0.17	6.9	2.6	6.2
15	COD : Fe = 1:0.09	6.9	2.6	4.1



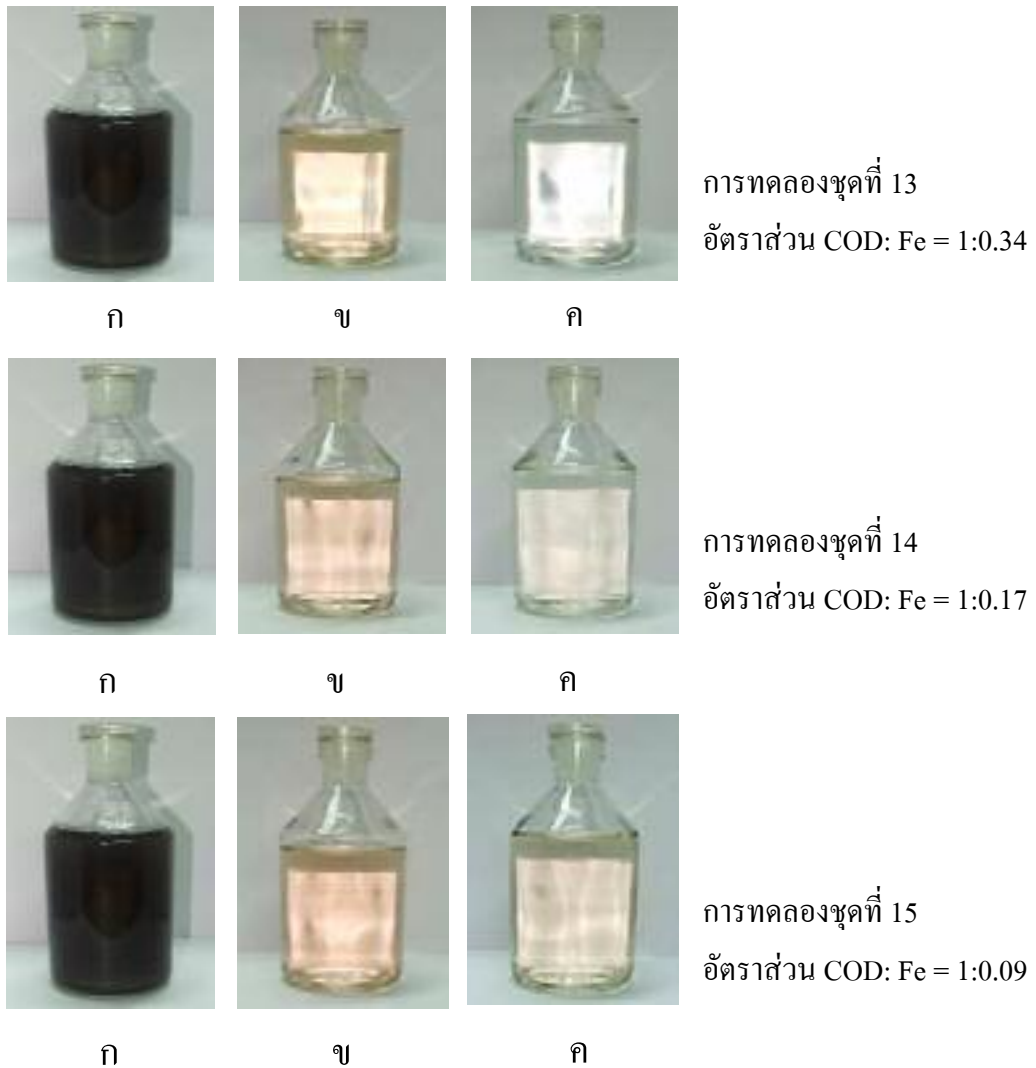
ภาพประกอบที่ 41 ค่า pH ในน้ำทิ้งสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

การวิเคราะห์สี

การเปลี่ยนแปลงของสีในการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน พบว่าสีของน้ำทิ้งเดิมมีสีชมพูและตะกอนสีดำจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมส้ม ดังแสดงในภาพที่ 42 และการลดลงของค่าสีเมื่อเติมแคลเซียมออกไซด์จะพบว่าสารละลายในชุดที่ 13 ให้ผลของการลดลงของค่าสีได้มากถึง 95.6 % (ดังตารางที่ 40)

ตารางที่ 40 ค่าสีในน้ำทิ้งสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ค่า สี (Pt-Co unit) (% การลดลงของค่าสี)		
		ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด	
			ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
13	COD : Fe = 1:0.34	1740	379 (78.2 %)	76 (95.6 %)
14	COD : Fe = 1:0.17	1740	276 (84.2%)	242 (86.1 %)
15	COD : Fe = 1:0.09	1740	284 (85.7%)	241 (86.2%)



ภาพประกอบที่ 42 สีของน้ำทิ้งในขั้นตอนต่าง ๆ ที่บำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ก. น้ำทิ้งสังเคราะห์ก่อนการบำบัด

ข. น้ำทิ้งสังเคราะห์หลังจากบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

ค. สารละลายในข้อ ข. หลังจากเติมแคลเซียมออกไซด์

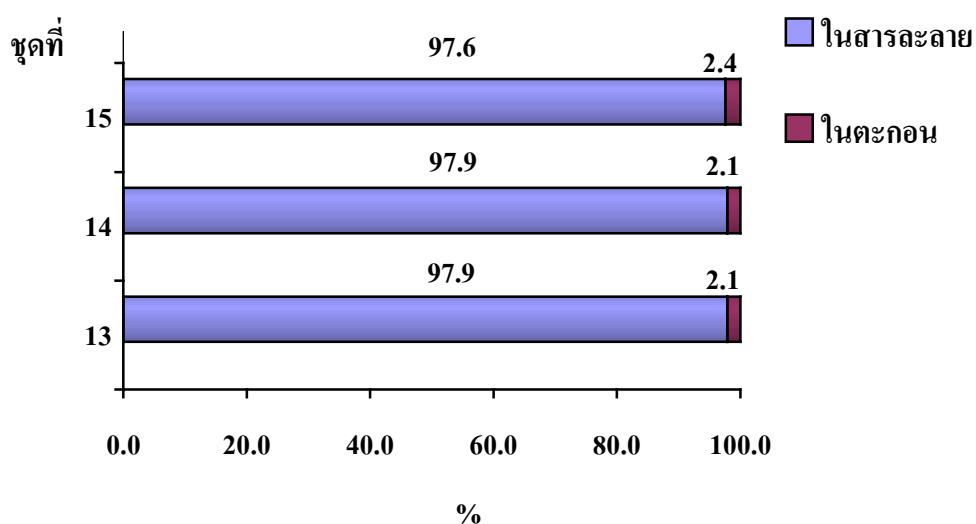
การวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟต

ปริมาณซัลเฟต พบว่าซัลเฟตยังคงอยู่ในสารละลายเป็นปริมาณมากและใกล้เคียงกันเนื่องมาจากการใช้กรดซัลฟูริกในการปรับสภาพกรดจึงทำให้ซัลเฟตตกค้างในสารละลายเป็นจำนวนมากประมาณ 97.0 % และอยู่ในตะกอนประมาณ 2 % (ดังตารางที่ 41 และในภาพประกอบที่ 43)

ตารางที่ 41 ปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ ซัลเฟต (mg/L)		
		ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
			สารละลายสภาพกรด	สารละลาย
13	COD : Fe = 1: 0.34	1400	1232 (97.9%)*	24.8 (2.1 %)*
14	COD : Fe = 1: 0.17	1340	1140 (97.9%)	27.2 (2.1 %)
15	COD : Fe = 1: 0.09	1250	1020 (97.6%)	25.6 (2.4 %)

(* % แสดงถึงปริมาณร้อยละของซัลเฟตที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 43 ปริมาณร้อยละของซัลเฟตในสารละลายและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

การวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก

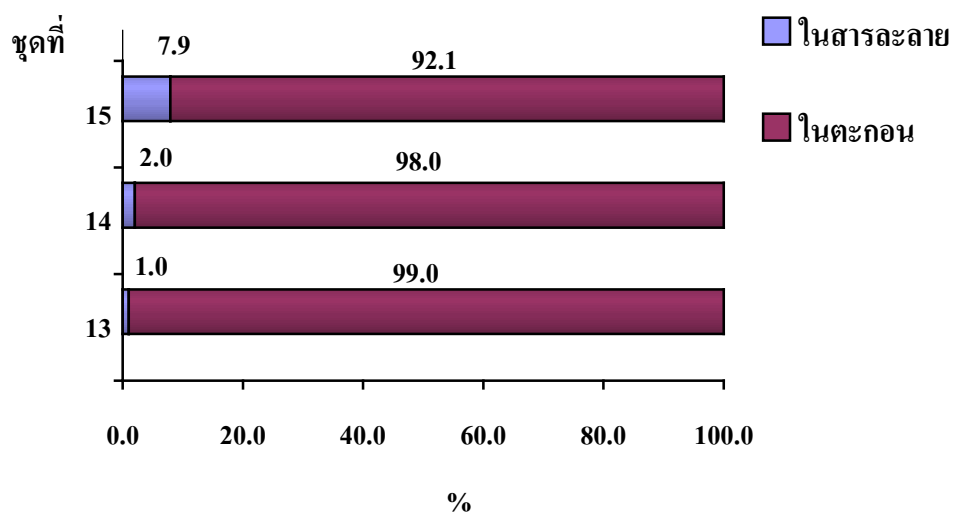
ปริมาณเหล็กที่ได้จากเฟอร์รัสซัลเฟตและกรดซัลฟูริก เป็นไปตามแนวโน้มเดิมคือ จะมีปริมาณมากในตะกอนเมื่อเปรียบเทียบกับในสารละลาย คือมีปริมาณเหล็กมากกว่า 90 % อยู่ในตะกอน (ดังตารางที่ 42 และภาพประกอบที่ 44)

ตารางที่ 42 ปริมาณเหล็กในน้ำทิ้งและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34

(โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ เหล็ก (mg/L)		
		ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
		สารละลายสภาพกรด	สารละลาย	ตะกอน
13	COD : Fe = 1: 0.34	179	0.8 (1.0 %)*	168 (99.0 %)*
14	COD : Fe = 1: 0.17	76	1.4 (2.0 %)	69 (98.0 %)
15	COD : Fe = 1: 0.09	43	3.7 (7.9 %)	31 (92.1 %)

(*% แสดงถึงปริมาณร้อยละของเหล็กที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 44 ปริมาณร้อยละของเหล็กในสารละลายและในตะกอนสำหรับ Fe : COD

ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

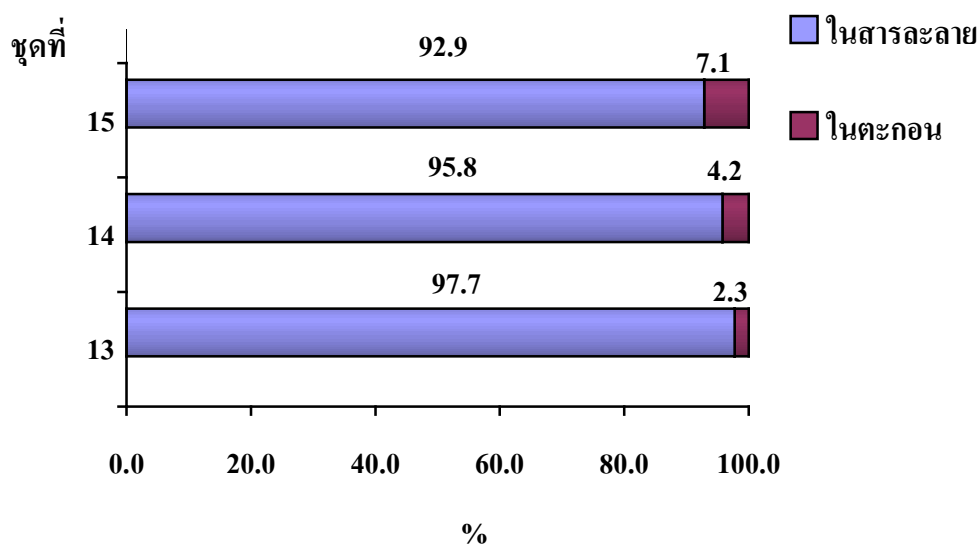
การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม

ปริมาณแคลเซียมที่พบในสารละลายมีปริมาณมากกว่า 90 % และมีอยู่ในตะกอนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังรายละเอียดในตารางที่ 43 และภาพประกอบที่ 45

ตารางที่ 43 ปริมาณแคลเซียมในน้ำทิ้งและในตะกอนของสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ แคลเซียม (mg/L)	
		ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
		สารละลาย	ตะกอน
13	COD : Fe = 1 : 0.34	599 (97.7 %)*	14 (2.3 %)*
14	COD : Fe = 1 : 0.17	321 (95.8 %)	14 (4.2 %)
15	COD : Fe = 1 : 0.09	176 (92.9 %)	13 (7.1 %)

(* % แสดงถึงปริมาณร้อยละของแคลเซียมที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 45 ปริมาณร้อยละของแคลเซียมในสารละลายและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว และแคดเมียม

สำหรับปริมาณโลหะที่ตกค้างหลังการบำบัด แสดงในตารางที่ 44 และ 45 จะพบว่าโลหะหนักที่ทำการศึกษาคือ ตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำทิ้งก่อนการบำบัดมีค่า ประมาณ 0.07 และ 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อย และเมื่อทำการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันนั้นค่าความเข้มข้นเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และเมื่อตกตะกอนด้วยแคลเซียมออกไซด์จะพบว่าโลหะหนักจะลดลง จนเหลือเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 44 ปริมาณตะกั่วในการบำบัดกับน้ำทิ้งสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ ตะกั่ว (mg/L)		
		ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด	
			ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
13	COD : Fe = 1 : 0.34	0.073	0.060	0.008
14	COD : Fe = 1 : 0.17	0.071	0.062	0.006
15	COD : Fe = 1 : 0.09	0.078	0.067	0.009

ตารางที่ 45 ปริมาณแคดเมียมในการบำบัดกับน้ำทิ้งสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดซัลฟูริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ แคดเมียม (mg/L)		
		ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด	
			ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
13	COD : Fe = 1 : 0.34	0.038	0.030	0.008
14	COD : Fe = 1 : 0.17	0.039	0.032	0.006
15	COD : Fe = 1 : 0.09	0.039	0.035	0.009

หมายเหตุ น้ำหนักตะกอนของการทดลองชุดที่ 13 0.9940 กรัม/ลิตร
 น้ำหนักตะกอนของการทดลองชุดที่ 14 0.2680 กรัม/ลิตร
 น้ำหนักตะกอนของการทดลองชุดที่ 15 0.0970 กรัม/ลิตร

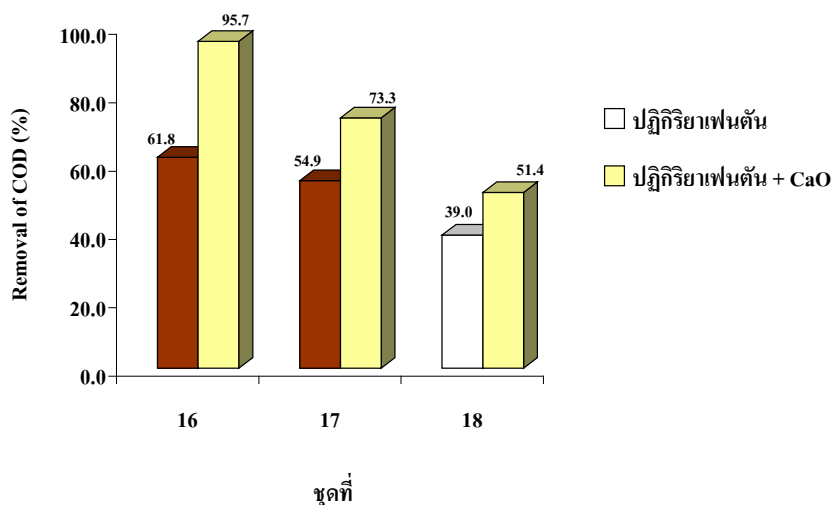
3.2. ผลการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อฝังสุดท้ายโดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

การวิเคราะห์ค่า COD

สำหรับการทดลองนี้ใช้น้ำทิ้งจากบ่อฝังสุดท้ายของการบำบัดจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษเอสแพค โดยใช้กรดไนตริกเป็นตัวปรับสภาพกรด จากการทดลองพบว่า ค่า COD ของน้ำทิ้งก่อนการบำบัดมีค่าประมาณ 588 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อบำบัดด้วยสารเคมีเฟนตันและตกตะกอนด้วยแคลเซียมออกไซด์แล้ว จะลดค่า COD ได้มากกว่ากรณีใช้กรดซัลฟูริกในการปรับสภาพกรด ดังนี้ การทดลองชุดที่ 16 ลดค่า COD ได้ถึง 95.7 % การทดลองชุดที่ 17 ลดค่า COD ได้ 73.3 % และการทดลองชุดที่ 18 ลดค่า COD ได้เพียง 51.4 % (ดังตารางที่ 46 และภาพประกอบที่ 46)

ตารางที่ 46 ค่า COD ในน้ำทิ้งสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ค่า COD (mg/L)		
		ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด	
			ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
16	COD : Fe = 1: 0.34	588	225 (61.8 %)	25 (95.7 %)
17	COD : Fe = 1: 0.17	588	265 (54.9 %)	157 (73.3 %)
18	COD : Fe = 1: 0.09	588	358 (39.0 %)	285 (51.4 %)



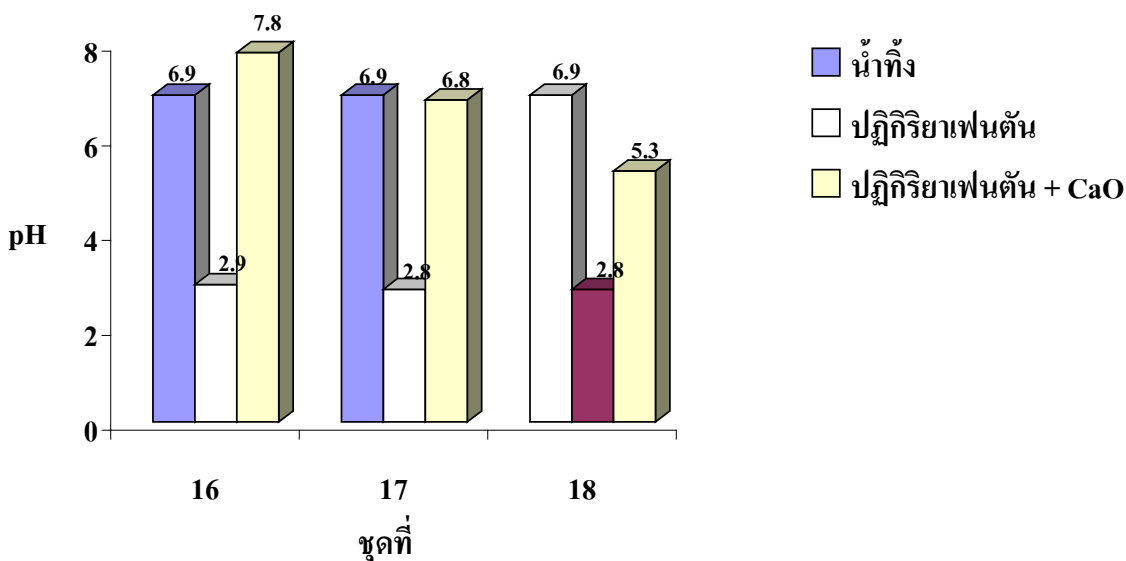
ภาพประกอบที่ 46 ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัด COD ในน้ำทิ้งสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

การวิเคราะห์ค่า pH

การเปลี่ยนแปลง pH เป็นไปตามแนวโน้มเดิม คือน้ำทิ้งมี pH ประมาณ 6.9 ปรับให้อยู่ในสภาพกรดด้วยกรดไนตริกให้ pH อยู่ในช่วง 2.5 – 3.0 และสุดท้ายทำการปรับ pH ให้สูงขึ้นด้วยแคลเซียมออกไซด์ (ดังตารางที่ 47 และภาพประกอบที่ 47)

ตารางที่ 47 ค่า pH ของ น้ำทิ้งสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ค่า pH		
		น้ำทิ้ง	ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
16	COD : Fe = 1:0.34	6.9	2.9	7.8
17	COD : Fe = 1:0.17	6.9	2.8	6.8
18	COD : Fe = 1:0.09	6.9	2.8	5.3



ภาพประกอบที่ 47 ค่า pH ของน้ำทิ้งสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

การวิเคราะห์สี

การเปลี่ยนแปลงของสีหลังการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน พบว่าสีของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมส้ม ดังแสดงในภาพที่ 48 และการลดลงของค่าสีเมื่อเติมแคลเซียมออกไซด์พบว่าสารละลายในชุดที่ 16 และ 17 นั้นให้ผลของการลดลงของค่าสีได้มากกว่า 95 % (ดังตารางที่ 48)

ตารางที่ 48 ค่าสีในน้ำทิ้งของสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ค่า สี (Pt-Co unit) (% การลดลงของค่าสี)		
		เริ่มต้น	ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
16	COD : Fe = 1:0.34	1740	217 (87.5 %)	73 (95.8 %)
17	COD : Fe = 1:0.17	1740	173 (90.1%)	72 (95.9 %)
18	COD : Fe = 1:0.09	1740	266 (84.7%)	203 (88.3%)



ก



ข



ค

การทดลองชุดที่ 16
อัตราส่วน COD: Fe = 1:0.34



ก



ข



ค

การทดลองชุดที่ 17
อัตราส่วน COD: Fe = 1:0.17



ก



ข



ค

การทดลองชุดที่ 18
อัตราส่วน COD: Fe = 1:0.09

ภาพประกอบที่ 48 สีของน้ำทิ้งในขั้นตอนต่าง ๆ ที่บำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

- ก. น้ำทิ้งสังเคราะห์ก่อนการบำบัด
- ข. น้ำทิ้งสังเคราะห์หลังจากบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน
- ค. สารละลายในข้อ ข. หลังจากเติมแคลเซียมออกไซด์

การวิเคราะห์สารตกค้าง

การวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟต

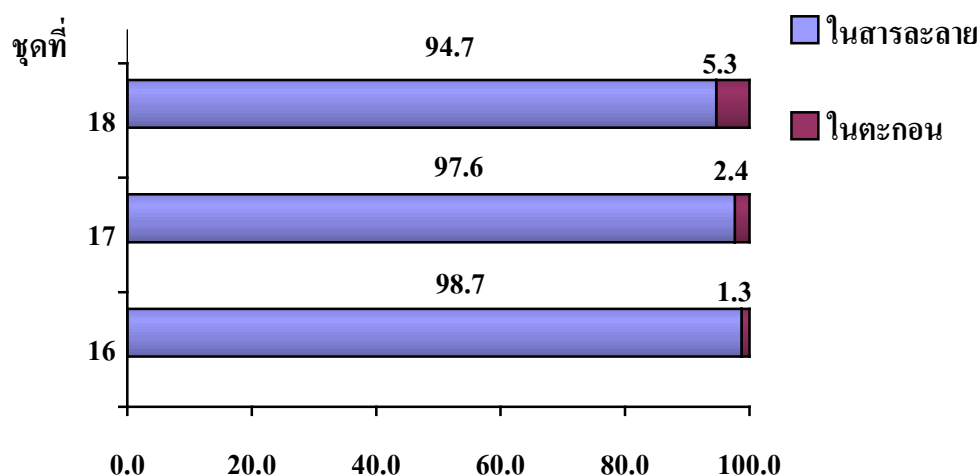
ปริมาณซัลเฟตยังคงอยู่ในสารละลายในปริมาณมากกว่า 90 % ทุกชุดการทดลอง และตกตะกอนน้อยเพียงเล็กน้อย (ดังแสดงในตารางที่ 49 และภาพประกอบที่ 49)

ตารางที่ 49 ปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34

(โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ ซัลเฟต (mg/L)		
		ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
		สารละลายสภาพกรด	สารละลาย	ตะกอน
16	COD : Fe = 1: 0.34	225	208 (98.7 %)*	2.8 (1.3 %)*
17	COD : Fe = 1: 0.17	95	82 (97.6 %)	2.0 (2.4 %)
18	COD : Fe = 1: 0.09	69	65 (94.7 %)	3.3 (5.3 %)

(*% แสดงถึงปริมาณร้อยละของซัลเฟตที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 49 ปริมาณร้อยละของซัลเฟตในสารละลายและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

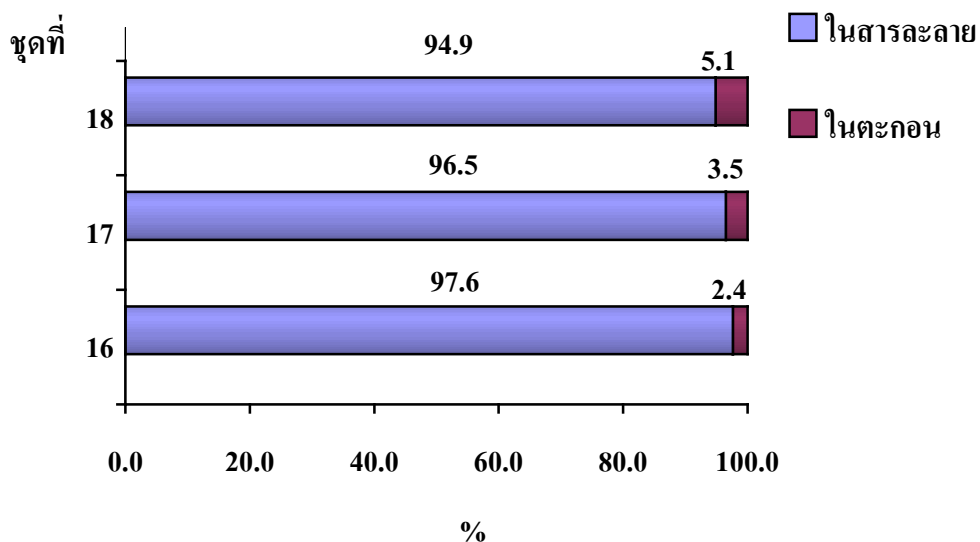
การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม

ทุกชุดการทดลองปริมาณแคลเซียมในสารละลายมีปริมาณมากกว่าในตะกอน โดยแต่ละชุดการทดลองจะมีปริมาณแคลเซียมอยู่ในสารละลายมากกว่า 90 % (ดังตารางที่ 50 และภาพประกอบที่ 50)

ตารางที่ 50 ปริมาณแคลเซียมในน้ำทิ้งและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ แคลเซียม (mg/L)	
		ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
		สารละลาย	ตะกอน
16	COD : Fe = 1 : 0.34	571 (97.6 %)*	14 (2.4 %)*
17	COD : Fe = 1 : 0.17	318 (96.5 %)	11 (3.5 %)
18	COD : Fe = 1 : 0.09	178 (94.9 %)	9 (5.1 %)

(*% แสดงปริมาณร้อยละของแคลเซียมที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 50 ปริมาณร้อยละของแคลเซียมในสารละลายและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

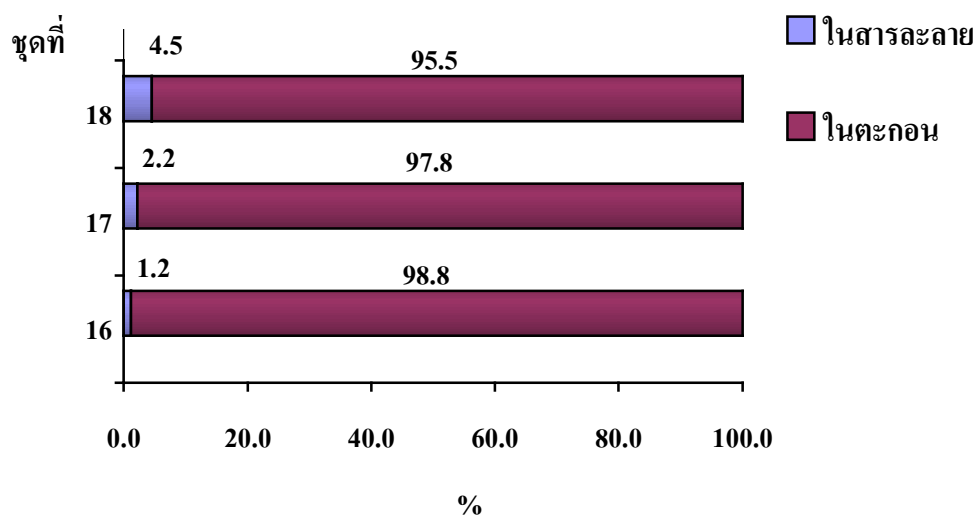
การวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก

ปริมาณเหล็กมีปริมาณมากในตะกอนเมื่อเปรียบเทียบกับในสารละลาย จะเห็นว่าปริมาณเหล็กมากกว่า 95% อยู่ในตะกอนทั้ง 3 ชุดการทดลอง (ดังตารางที่ 51 และภาพประกอบที่ 51)

ตารางที่ 51 ปริมาณเหล็กในน้ำทิ้งและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ เหล็ก (mg/L)		
		ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
		สารละลายสภาพกรด	สารละลาย	ตะกอน
16	COD : Fe = 1 : 0.34	169	1.0 (1.2 %)*	160 (98.8 %)*
17	COD : Fe = 1 : 0.17	67	1.4 (2.2 %)	63 (97.8 %)
18	COD : Fe = 1 : 0.09	40	1.9 (4.5 %)	38 (95.5 %)

(* % แสดงถึงปริมาณร้อยละของเหล็กที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 51 ปริมาณร้อยละของเหล็กในสารละลายและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรท

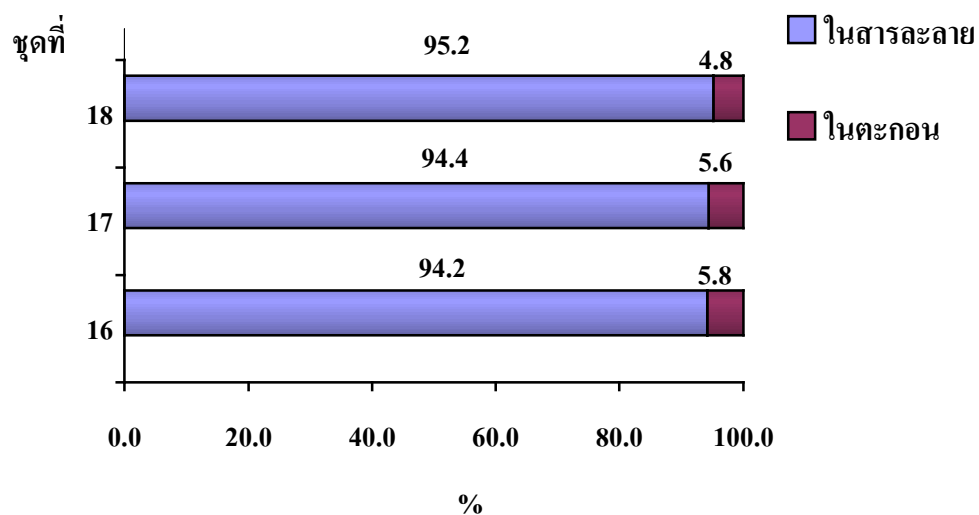
ปริมาณไนเตรทในสารละลายพบว่ายังคงอยู่ในสารละลายเป็นจำนวนมาก (ดังตารางที่ 52) ชุดการทดลองที่ 16, 17 และ 18 จะมีปริมาณไนเตรทประมาณ 94 – 95 % และอยู่ในตะกอนเพียง 5 – 6 % (ดังภาพประกอบที่ 52)

ตารางที่ 52 ปริมาณไนเตรทในน้ำทิ้งและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34

(โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ ไนเตรท (mg/L)		
		ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
		สารละลายสภาพกรด	สารละลาย	ตะกอน
16	COD : Fe = 1:0.34	67	62 (94.2 %)*	3.8 (5.8 %)*
17	COD : Fe = 1:0.17	61	57 (94.4 %)	3.3 (5.6 %)
18	COD : Fe = 1:0.09	59	57 (95.2 %)	2.9 (4.8 %)

(* % แสดงถึงปริมาณร้อยละของเหล็กที่มีอยู่ในสารละลายและในตะกอน)



ภาพประกอบที่ 52 ปริมาณร้อยละของไนเตรทในสารละลายและในตะกอนสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วและแคดเมียม

สำหรับปริมาณโลหะที่ตกค้างหลังการบำบัด โลหะหนักที่ทำการศึกษาคือ ตะกั่วและแคดเมียม น้ำทิ้งก่อนการบำบัดมีปริมาณโลหะหนักทั้ง 2 ชนิด น้อยกว่า 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อย หลังการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันนั้นค่าความเข้มข้นเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และเมื่อตกตะกอนด้วยแคลเซียมออกไซด์พบว่าโลหะหนักจะลดลง จนเหลือเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 53 และ 54

ตารางที่ 53 ปริมาณตะกั่วในการบำบัดกับน้ำทิ้งสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ ตะกั่ว (mg/L)		
		ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด	
			ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
16	COD : Fe = 1: 0.34	0.073	0.067	0.007
17	COD : Fe = 1: 0.17	0.071	0.062	0.011
18	COD : Fe = 1: 0.09	0.078	0.069	0.009

ตารางที่ 54 ปริมาณแคดเมียมในการบำบัดกับน้ำทิ้งสำหรับ Fe : COD ในช่วง 0.09 - 0.34 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

ชุดที่	อัตราส่วน COD : Fe	ปริมาณ แคดเมียม (mg/L)		
		ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด	
			ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
16	COD : Fe = 1:0.34	0.038	0.027	0.008
17	COD : Fe = 1:0.17	0.039	0.032	0.006
18	COD : Fe = 1:0.09	0.039	0.028	0.009

หมายเหตุ น้ำหนักตะกอนของการทดลองชุดที่ 1 0.9976 กรัม/ลิตร
 น้ำหนักตะกอนของการทดลองชุดที่ 2 0.3814 กรัม/ลิตร
 น้ำหนักตะกอนของการทดลองชุดที่ 3 0.0976 กรัม/ลิตร

4. ผลการศึกษาการนำน้ำทิ้งสังเคราะห์หลังการบำบัดมาใช้ในการรักษาเนื้อไม้

4.1. ผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการนำน้ำทิ้งสังเคราะห์หลังการบำบัดกับน้ำยารักษาเนื้อไม้ผสมใหม่ในการรักษาเนื้อไม้

น้ำทิ้งสังเคราะห์หลังการบำบัดพบว่ามีโบรอนซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของสารเคมีรักษาเนื้อไม้ตกค้างอยู่ในปริมาณมาก ดังตารางที่ 55

ตารางที่ 55 % Recovery ของโบรอนหลังการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันและตกตะกอนด้วยแคลเซียมออกไซด์

ชุดที่	ปริมาณโบรอน (mg/L)		% Recovery
	ก่อนบำบัด	หลังการบำบัดด้วย ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
1	1515	1325	87.5
2	1515	1356	89.5
3	1515	1345	88.8
4	1515	1372	90.6
5	1515	1337	88.3
6	1515	1375	90.8

จากตารางพบว่าในทุกการทดลองมีแนวโน้มเดียวกันคือมีโบรอนอยู่ในสารละลายในปริมาณมาก โดยมี % Recovery ถึง 87.5 – 90.8 % ดังนั้นจึงควรนำน้ำทิ้งสังเคราะห์หลังการบำบัดมาใช้ให้เป็นประโยชน์

ในการศึกษาเปรียบเทียบการรักษาเนื้อไม้ เมื่อนำน้ำทิ้งสังเคราะห์หลังการบำบัดและน้ำยารักษาเนื้อไม้ผสมใหม่ไปทำการทดลองในการรักษาเนื้อไม้ ด้วยการนำไม้ยางพาราอัดน้ำยาและอบแห้งหลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ค่า % BAE (Boric Acid Equivalence จากมาตรฐาน JAS Standard ไม้ที่ใช้ในการก่อสร้างโดยไม่สัมผัสกับดินควรมีค่า % BAE สูงกว่า 0.20 %) ได้ผลดังตารางที่ 56

ตารางที่ 56 % BAE ในการรักษาเนื้อไม้ด้วยน้ำทิงสังเคราะห์หลังการบำบัดและน้ำยารักษาเนื้อไม้ผสมใหม่

ชนิด	ปริมาณโบรอน mg/L	BAE (%)
น้ำทิงสังเคราะห์หลังการบำบัด (ใช้กรดซัลฟูริกในการปรับสภาพกรด)	1337	0.20
น้ำทิงสังเคราะห์หลังการบำบัด (ใช้กรดไนตริกในการปรับสภาพกรด)	1325	0.23
น้ำยารักษาเนื้อไม้ผสมใหม่	1515	0.25

จากตารางพบว่า น้ำทิงสังเคราะห์หลังการบำบัดนำมารักษาเนื้อไม้ได้ ซึ่งมี % BAE 0.20 – 0.23 สำหรับน้ำยารักษาเนื้อไม้ผสมใหม่มี % BAE 0.25 จึงสรุปได้ว่าน้ำทิงสังเคราะห์หลังการบำบัดสามารถนำมาใช้ในการรักษาเนื้อไม้ได้โดยมีค่า % BAE แตกต่างจากน้ำยารักษาเนื้อไม้ผสมใหม่เพียงเล็กน้อยและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน % BAE

4.2. ผลการศึกษาแนวโน้มของปริมาณซัลเฟต และแคลเซียมที่อาจมีผลต่อการซึมผ่านของน้ำยาเข้าสู่เนื้อไม้

เพื่อศึกษาแนวโน้มของปริมาณ ซัลเฟตและแคลเซียมที่อาจมีผลต่อการซึมผ่านของน้ำยาเข้าสู่เนื้อไม้ โดยการที่แปรผันปริมาณซัลเฟต และแคลเซียมที่เป็นรีเอเจนต์ทำให้ได้สารละลายที่แตกต่างกัน แต่มีปริมาณ โบรอนเท่ากัน ดังตารางที่ 57 โดยที่แบบที่ 1 และ 2 ใช้กรดซัลฟูริกในการปรับสภาพกรด แบบที่ 3 และ 4 ใช้กรดไนตริกปรับสภาพกรด

แล้วนำไปใช้อัดในเนื้อไม้ยางพาราหลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณ โบรอนในรูปของ % BAE ในเนื้อไม้ยางพารา

ตารางที่ 57 ผลวิเคราะห์ปริมาณโบรอนในรูปของ % BAE ในเนื้อไม้จากการใช้น้ำยารักษาเนื้อไม้ที่มีปริมาณของ แคลเซียม และซัลเฟตที่แตกต่างกัน

แบบที่	ปริมาณสารในน้ำยารักษาเนื้อไม้ (mg/L)			% BAE
	แคลเซียม	ซัลเฟต	โบรอน	
1	786	4141	1325	0.26
2	433	4200	1345	0.22
3	442	126	1360	0.25
4	641	87	1356	0.22

จากการผลการวิเคราะห์ (ตารางที่ 57) พบว่า % BAE ในเนื้อไม้แต่ละการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันโดยแบบที่ 1 และ 2 จะมีปริมาณซัลเฟตหลังการบำบัดใกล้เคียงกันแต่ปริมาณแคลเซียมต่างกันพบว่า % BAE มีค่าใกล้เคียงกันคือ ประมาณ 0.23 – 0.26 เช่นเดียวกับแบบที่ 3 และ 4 เมื่อพิจารณาแบบที่ 2 และ 3 ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมใกล้เคียงกันแต่ปริมาณซัลเฟตต่างกันพบว่า % BAE ยังคงอยู่ในค่าที่ใกล้เคียงกันและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน % BAE ดังนั้นปริมาณของแคลเซียมและซัลเฟต ปริมาณมากในสารละลายไม่มีผลต่อการซึมผ่านของน้ำยาเข้าสู่เนื้อไม้

4.3. การประเมินศักยภาพการบำบัดน้ำทิ้งเพื่อนำไปใช้งาน

ตารางที่ 58 การประเมินค่าสารเคมี ในกรณีใช้กรดซัลฟูริก

สารเคมี	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ปริมาณที่ใช้ต่อน้ำทิ้ง 20,000 ลิตร	จำนวนเงิน (บาท)
เฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 1 กิโลกรัม	16	10	160.00
50 % ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (50 % H_2O_2) 1 ลิตร	34	42.2	1435.00
แคลเซียมออกไซด์ (CaO) 1 กิโลกรัม	18	9	162.00
96 % กรดซัลฟูริก (96 % H_2SO_4) 1 ลิตร	21	20	420.00

ตารางที่ 59 การประเมินค่าสารเคมี ในกรณีใช้กรดไนตริก

สารเคมี	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ปริมาณที่ใช้ต่อน้ำทิ้ง 20,000 ลิตร	จำนวนเงิน (บาท)
เฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 1 กิโลกรัม	16	5	80.00
50 % ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (50 % H_2O_2) 1 ลิตร	34	21.1	718.00
แคลเซียมออกไซด์ (CaO) 1 กิโลกรัม	18	4.5	81.00
65 % กรดไนตริก (65 % HNO_3) 1 ลิตร	40	40	1,600.00

ตารางที่ 60 การเปรียบเทียบค่าสารเคมีต่อปริมาณน้ำ 20,000 ลิตร

กรณี	จำนวนเงิน (บาท)
สารบอริก สารบอแรกซ์	5,160.00
สารเคมีที่ใช้บำบัด (ใช้กรดซัลฟูริก)	2,177.00
สารเคมีที่ใช้บำบัด (ใช้กรดไนตริก)	2,479.00

จากการประเมินค่าสารเคมีพบว่า กรณีที่ใช้กรดซัลฟูริก ใช้รีเอเจนต์มากกว่ากรดไนตริกแต่ราคากรดไนตริกแพงกว่าจึงทำให้ค่าใช้จ่ายค่าสารเคมีมากกว่ากรณีใช้กรดซัลฟูริก และเมื่อเปรียบเทียบการทิ้งน้ำยาไปแล้วผสมใหม่ กับการบำบัดพบว่า การบำบัดน้ำทิ้งนั้นมีต้นทุนในค่าสารเคมีที่น้อยกว่าการผสมใหม่ 52 – 58 %

นอกจากค่าสารเคมีแล้วอาจมีค่าใช้จ่ายในส่วนของการสร้างบ่อบำบัดเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเป็นหน้าที่ของโรงงานที่จะต้องมีการบำบัดน้ำก่อนปล่อยทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อม การนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่จะส่งผลให้เกิดการลดต้นทุนในระยะยาวและเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อมอีกด้วย