

### บทที่ 3

#### ผลและบทวิจารณ์

#### 1. ผลการศึกษาการบำบัดฟีนอลและ 2,4 ไดคลอโรฟีนอลด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ จะได้ความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาเฟนตันที่ใช้ร่วมกับการตกตะกอน กับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ COD, pH, TOC, ปริมาณไอออนของซัลเฟต ปริมาณไอออนของเหล็ก และปริมาณไอออนของแคลเซียม โดยพิจารณาที่ความเข้มข้นน้ำเสียสังเคราะห์ เริ่มต้น 1100 ppm และ 550 ppm เนื่องจากสะดวกต่อการเตรียมสารเคมีสำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการ และดำเนินการที่อัตราส่วนดังนี้คือ

อัตราส่วนโดยน้ำหนักของอัตราส่วนที่ 1 (สารละลาย 1100 ppm)

Phenol/2,4-DCP: Fe ion = 1.00 : 0.65

อัตราส่วนโดยน้ำหนักของอัตราส่วนที่ 2 (สารละลาย 550 ppm)

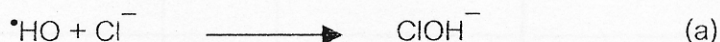
Phenol/2,4-DCP: Fe ion = 1.00 : 0.45

อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ (สารละลาย 1100 ppm และ 550 ppm)

Fe ion: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: CaO = 1.00 : 11.7 : 4.5

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD และ TOC กับสารละลายฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลที่ความเข้มข้นต่างๆ (ดังตาราง 5,6 และภาพประกอบ 4,5) พบว่า ลักษณะของกราฟของทั้งสองกรณีเป็นไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือ สารละลายฟีนอลเริ่มต้นจะมีค่า COD สูงกว่าสารละลาย 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ซึ่งสอดคล้องกับค่า TOC เนื่องจากที่ความเข้มข้นเท่ากันฟีนอลมีปริมาณของคาร์บอนสูงกว่า 2,4-ไดคลอโรฟีนอล นอกจากนี้ฟีนอลสามารถถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายกว่าหรือเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่า 2,4-ไดคลอโรฟีนอล

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล ซึ่งจะไปขัดขวางการเข้าทำปฏิกิริยาของอนุมูลไฮดรอกซิลกับโมเลกุลของ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล เป็นผลให้ค่า COD ของ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลลดลงได้น้อยกว่าของฟีนอล ดังสมการ (a) (Tang W.Z. and Huang C.P., 1996)

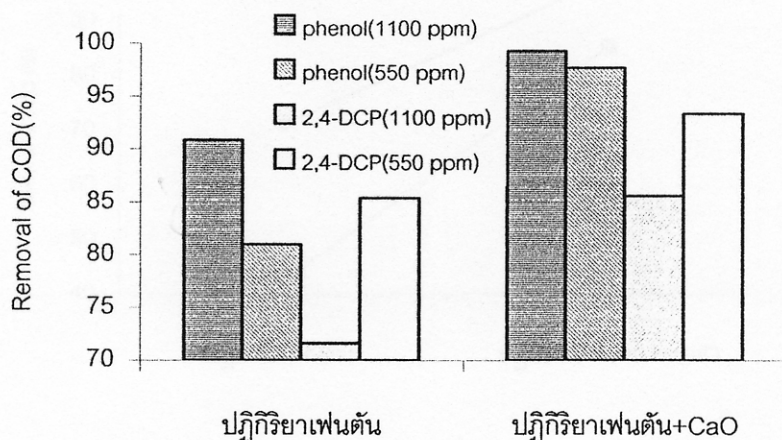


เมื่อทำให้ตกตะกอนโดยการเติม CaO พบว่าค่า COD และ TOC ของสารละลายฟีนอลลดลงได้มากกว่าของ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล (ดังตาราง 5 และ 6) นั่นคือ สารละลายฟีนอลสามารถลดค่า COD และ TOC ได้ประมาณ 98 % ทั้งสองกรณี ส่วนสารละลาย 2,4-ไดคลอโรฟีนอลสามารถลดค่า COD และ TOC ได้ประมาณ 89 % และ 86 % ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากมีผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาเคมีของฟีนอลลดลงน้อยกว่าของ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ซึ่งสามารถจับกับ CaO เกิดเป็นตะกอนได้เร็วกว่า หรือ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลมีไฮดรอกซิลหลายชนิด กลไกการเกิดปฏิกิริยาจึงเกิดขึ้นได้ยาก ดังนั้นจึงทำให้ค่า COD และ TOC ของฟีนอลลดลงได้มากกว่า

ค่า TOC ที่วิเคราะห์ได้ (ดังตาราง 6) เป็นการยืนยันให้เห็นว่าปฏิกิริยาเฟนตัน ( $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2$ ) สามารถช่วยลดค่า COD และ TOC ในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ (ในที่นี้คือ สารละลายฟีนอลและ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล) โดยค่า COD และ TOC ที่ลดลงแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารประกอบอินทรีย์ในน้ำลดลง นอกจากนี้ปริมาณ CaO ที่เติมลงไปก็สามารถช่วยลดค่า COD และ TOC ได้เพิ่มขึ้นอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen Jian, et al., (1997) ศึกษาการกำจัดฟีนอล และลดค่า COD ในน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมด้วยเคมีแสง พบว่าแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ช่วยในการกำจัดฟีนอล และ ค่า COD อย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ยังมีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับโซเดียมออกไซด์ (NaOH)

ตาราง 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD กับสารละลายฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลที่ความเข้มข้นต่างๆ (% แสดงการลดลงของค่า COD จากค่า COD เริ่มต้น)

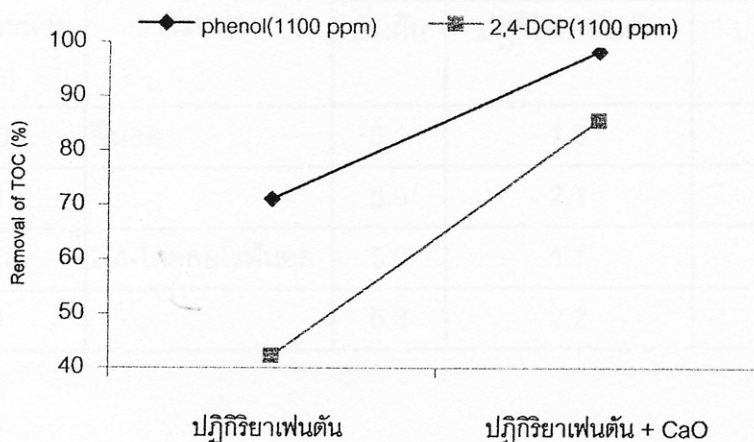
ความเข้มข้นของสารละลาย (ppm)	ตัวอย่าง	ค่า COD (mg/L)		
		เริ่มต้น	ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน+CaO
1100	ฟีนอล	2702	247.5 (90.84 %)	18.8(99.31 %)
550		1150	218.8 (80.99 %)	26.6(97.67 %)
1100	2,4-ไดคลอโรฟีนอล	1345	382.0(71.60 %)	193.9(85.59 %)
550		725	106.0(85.38 %)	48.0(93.38 %)



ภาพประกอบ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัด COD กับสารละลายฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลที่ความเข้มข้นต่างๆ

ตาราง 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า TOC กับสารละลายฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลที่ความเข้มข้นต่างๆ (% แสดงการลดลงของค่า TOC จากค่า TOC เริ่มต้น)

ความเข้มข้นของสารละลาย (ppm)	ตัวอย่าง	ปริมาณ TOC (mg/L)		
		เริ่มต้น	ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
1100	ฟีนอล	890.1	257.5(71.07 %)	15.1(98.30 %)
	2,4-ไดคลอโรฟีนอล	428.3	247.6(42.20 %)	61.5(85.65 %)



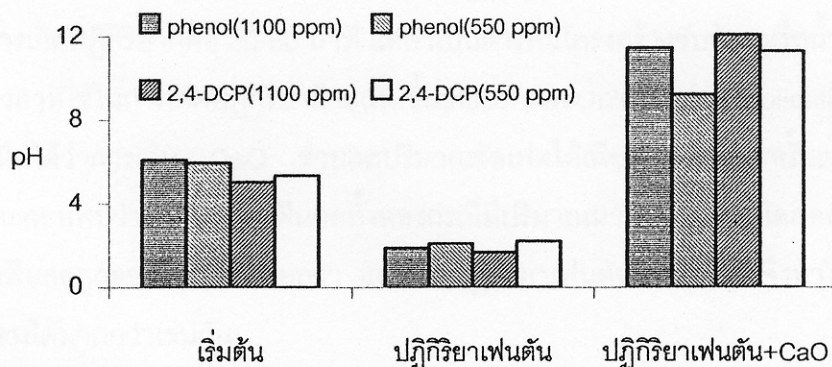
ภาพประกอบ 5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์การกำจัด TOC กับสารละลายฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลที่ความเข้มข้นต่างๆ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า pH กับสารละลายฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลที่ความเข้มข้นต่างๆ (ดังตาราง 7) พบว่าลักษณะของกราฟของทั้งสองกรณีเป็นไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือสารละลายฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลมีค่า pH เริ่มต้นประมาณ 6.0 เมื่อเกิดปฏิกิริยาเฟนตัน ค่า pH จะลดลงประมาณ 2.0

ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเฟนตันจะเกิดได้ดีในสภาวะค่อนข้างเป็นกรดคือ pH ประมาณ 3-6 (<http://www.h2O2.com/applications/industrial>) แต่เนื่องจากฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลเมื่อเกิดปฏิกิริยาเฟนตันจะเกิด  $H^+$  และ HCl ตามลำดับ ซึ่งจะทำให้ความเป็นกรดเพิ่มขึ้น และเมื่อทำให้ตกตะกอนโดยการเติม CaO พบว่าค่า pH ของทั้งสองกรณีมีค่าเพิ่มขึ้น (ดังภาพประกอบ 6) เนื่องจาก CaO มีสภาพเป็นเบสจึงช่วยปรับค่า pH ให้เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยในการตกตะกอนของสารบางตัวได้อีกด้วย

ตาราง 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับสารละลายฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น ของสารละลาย (ppm)	ตัวอย่าง	ค่า pH		
		เริ่มต้น	ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน+CaO
1100	ฟีนอล	6.1	1.9	11.5
550		5.9	2.1	9.2
1100	2,4-ไดคลอโรฟีนอล	5.0	1.7	12.1
550		5.3	2.2	11.3



ภาพประกอบ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับสารละลายฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลที่ความเข้มข้นต่างๆ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟต กับสารละลายฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลที่ความเข้มข้นต่างๆ (ดังตาราง 8 และภาพประกอบ 7) พบว่าลักษณะของกราฟของทั้งสองกรณีเป็นไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือ เมื่อเกิดปฏิกิริยาเฟนตันปริมาณซัลเฟตของสารละลายฟีนอลมีค่าใกล้เคียงกับสารละลาย 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ทั้งนี้เนื่องจากเพอร์ซัลเฟตสามารถละลายน้ำได้ดี จึงทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนของซัลเฟตได้ดีเช่นกัน

เมื่อใช้เวลา 3 ชั่วโมง ฟีนอลสามารถเกิดปฏิกิริยาเฟนตันได้มากกว่า 2,4-ไดคลอโรฟีนอล จึงทำให้มีโอกาสที่จะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของไฮดรอกซิลได้มากกว่า ซึ่งเกิดจากไอออนเหล็กที่ได้จากการแตกตัวแล้วไปเร่งให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิดการแตกตัว และเมื่อทำให้ตกตะกอนโดยการเติม CaO (ดังตาราง 8) จึงพบว่าปริมาณซัลเฟตในสารละลายสภาพเป็นเบสของสารละลายฟีนอล (มีค่าประมาณ 87 % และ 93 % ในอัตราส่วนที่ 1 และ 2 ตามลำดับ) มีค่าสูงกว่า 2,4-ไดคลอโรฟีนอล (มีค่าประมาณ 69 % และ 80 % ในอัตราส่วนที่ 1 และ 2 ตามลำดับ) ดังนั้นปริมาณซัลเฟตที่พบในตะกอนของสารละลายฟีนอล (มีค่าประมาณ 13 % และ 7 % ในอัตราส่วนที่ 1 และ 2 ตามลำดับ) จึงมีค่าน้อยกว่า 2,4-ไดคลอโรฟีนอลด้วย (มีค่าประมาณ 31 % และ 20 % ในอัตราส่วนที่ 1 และ 2 ตามลำดับ) ทั้งนี้เนื่องจาก 2,4-ไดคลอโรฟีนอลมีไอออนหลายชนิด ซึ่งอาจเกิดสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนกับซัลเฟตแล้วตกตะกอนได้ดีกว่า

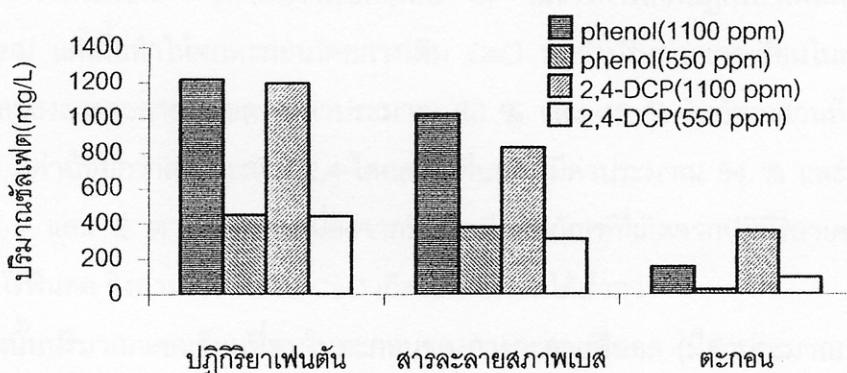
สำหรับเวลาที่ใช้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเฟนตันที่สมบูรณ์นั้นขึ้นอยู่กับ pH อุณหภูมิ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ชนิดของไอออนเหล็ก ความเข้มข้นของเหล็ก ความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยาของอนุมูลไฮดรอกซิล โดยเฉพาะปริมาณตัวเร่งและความเข้มข้นของน้ำเสียที่จะบำบัด เป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษ สำหรับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟีนอลนั้นเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยาก็คือ 30-60 นาที แต่ถ้าเป็นสารที่มีโครงสร้างซับซ้อนหรือน้ำเสียมีความเข้มข้นมาก เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาก็จะเพิ่มขึ้น (<http://www.h2O2.com/applications/industrial>)

จะเห็นได้ว่าการเติม CaO ช่วยลดปริมาณซัลเฟตได้เพียงบางส่วนเท่านั้นและเมื่อพิจารณาปริมาณตะกอนพบว่าตะกอนของฟีนอลทั้งสองกรณีมีปริมาณมากกว่า 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ทั้งนี้เนื่องจากฟีนอลถูกออกซิไดส์ได้ง่ายกว่า และเกิดปฏิกิริยาเฟนตันได้เร็วกว่า จึงทำให้เกิดการตกตะกอนเป็นตะกอนได้มากกว่าเช่นกัน

ตาราง 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟตกับสารละลายฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลที่ความเข้มข้นต่างๆ (% แสดงถึงปริมาณของซัลเฟตที่มีอยู่ในสารละลายและตะกอน)

ความเข้มข้นของสารละลาย (ppm)	ตัวอย่าง	ปริมาณซัลเฟต(mg/L)		
		ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
			สารละลายสภาพเบส	ตะกอน
1100	ฟีนอล	1219.0	1022.5(86.66 %)	157.4(13.34 %)
550		453.0	378.5(93.39 %)	26.8(6.61 %)
1100	2,4-ไดคลอโรฟีนอล	1198.3	832.5(69.92 %)	358.2(30.08 %)
550		441.7	312.7(76.51 %)	96.0(23.49 %)

หมายเหตุ: น้ำหนักตะกอนของฟีนอลอัตราส่วนที่ 1 เท่ากับ 2.524 กรัม  
น้ำหนักตะกอนของฟีนอลอัตราส่วนที่ 2 เท่ากับ 0.915 กรัม  
น้ำหนักตะกอนของ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลอัตราส่วนที่ 1 เท่ากับ 1.752 กรัม  
น้ำหนักตะกอนของ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลอัตราส่วนที่ 2 เท่ากับ 0.626 กรัม



ภาพประกอบ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟตกับสารละลายฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลที่ความเข้มข้นต่างๆ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็ก กับสารละลายฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลที่ความเข้มข้นต่างๆ (ดังตาราง 9) พบว่าทั้งสองกรณีเมื่อเกิดปฏิกิริยาเฟนตัน ปริมาณเหล็กไอออนมีปริมาณใกล้เคียงกัน และเมื่อเติม CaO ทั้งสองกรณีจะพบปริมาณเหล็กอยู่ในตะกอนเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็ก กับสารละลายฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ที่ความเข้มข้นต่างๆ (% แสดงถึงปริมาณของเหล็กที่มีอยู่ในสารละลายและตะกอน)

ความเข้มข้น ของสารละลาย (ppm)	ตัวอย่าง	ปริมาณเหล็ก (mg/L)		
		ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
			สารละลายสภาพเบส	ตะกอน
1100	ฟีนอล	493.1	1.0(0.21 %)	491.6(99.79 %)
550		261.0	0.4(0.13 %)	260.6(99.87 %)
1100	2,4-ไดคลอโรฟีนอล	554.8	0.2(0.03 %)	553.0(99.97 %)
550		290.7	0.1(0.04 %)	288.9(99.96 %)

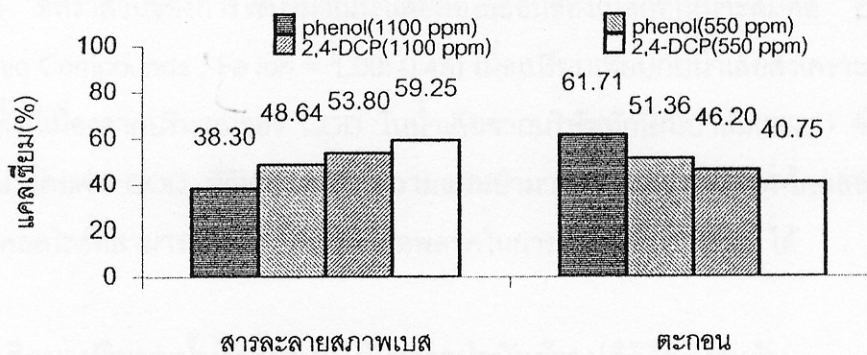
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมกับสารละลายฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลที่ความเข้มข้นต่างๆ (ดังภาพประกอบ 8) ในช่วงการเกิดปฏิกิริยาเฟนตันจะไม่มีปริมาณแคลเซียม แต่เมื่อทำให้ตกตะกอนโดยการเติม CaO พบว่าปริมาณแคลเซียมในสารละลายสภาพเป็นเบสของสารละลายฟีนอล (มีค่าประมาณ 38 % และ 49 % ในอัตราส่วนที่ 1 และ 2 ตามลำดับ) มีค่าน้อยกว่าสารละลาย 2,4-ไดคลอโรฟีนอล (มีค่าประมาณ 54 % และ 59 % ในอัตราส่วนที่ 1 และ 2 ตามลำดับ) เนื่องจากฟีนอลมีผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีน้อยกว่า 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ซึ่งสามารถจับกับ CaO เกิดเป็นตะกอนได้เร็วกว่า

ดังนั้นปริมาณแคลเซียมที่พบในตะกอนของสารละลายฟีนอล (มีค่าประมาณ 62 % และ 51 % ในอัตราส่วนที่ 1 และ 2 ตามลำดับ) จึงมีค่าสูงกว่า 2,4-ไดคลอโรฟีนอลด้วย (มีค่าประมาณ 46 % และ 41 % ในอัตราส่วนที่ 1 และ 2 ตามลำดับ) แต่ทั้งนี้การเกิดตะกอนของแคลเซียมก็เกิดได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ซึ่งเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณแคลเซียมในตะกอนจะสูงกว่าในสารละลายสภาพเป็นเบสเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ดังแสดงในตาราง 10) ดังนั้นตะกอนที่เกิดขึ้นจึงมาจากไอออนของเหล็กมากกว่าไอออนของแคลเซียม



ตาราง 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียม กับสารละลายฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลที่ความเข้มข้นต่างๆ (% แสดงถึงปริมาณของแคลเซียมที่มีอยู่ในสารละลายและตะกอน)

ความเข้มข้น ของสารละลาย (ppm)	ตัวอย่าง	ปริมาณแคลเซียม (mg/L)	
		ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
		สารละลายสภาพเบส	ตะกอน
1100	ฟีนอล	405.6(38.28 %)	653.9(61.72 %)
550		188.7(48.64 %)	199.3(51.36 %)
1100	2,4-ไดคลอโรฟีนอล	730.9(53.79 %)	627.8(46.21 %)
550		288.5(59.25 %)	198.4(40.75 %)



ภาพประกอบ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียม กับสารละลายฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลที่ความเข้มข้นต่างๆ

## 2. ผลการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายจากบริษัททักซิณปาล์ม(2521) จำกัด จ.สุราษฎร์ธานี ด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

จากการเก็บน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายจากบริษัททักซิณปาล์ม(2521) จำกัด จ.สุราษฎร์ธานี เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ ผลการวิเคราะห์แสดงดังตาราง 11

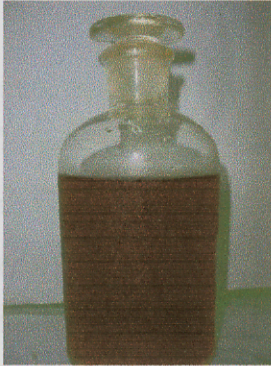
ตาราง 11 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำทิ้งบ่อสุดท้าย

พารามิเตอร์	ช่วง	เฉลี่ย
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	90-135	112.5
COD (mg/L)	1620-1750	1685
Color (Pt-Co-Unit)	12,340-21,680	17,010
pH	9.2-9.4	9.3

จากการวิเคราะห์ผลของการบำบัดสารละลายฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน อัตราส่วนของการใช้ปริมาณน้ำเสียต่อไอออนของเหล็กที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนที่ 2 (Organic Compounds : Fe ion = 1.00: 0.45) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียสังเคราะห์(ฟีนอล) 550 ppm ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของ COD ในน้ำเสียจากบริษัททักซิณปาล์ม(2521) จำกัด มีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่า COD ที่วิเคราะห์ได้มีความแม่นยำมากกว่ากรณีของ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ซึ่งมีไฮดรอกซิลไรต์ที่สามารถทำให้เกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ค่า COD ได้

### 2.1 ศึกษาปริมาณน้ำทิ้งตั้งต้นที่ใช้ในการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

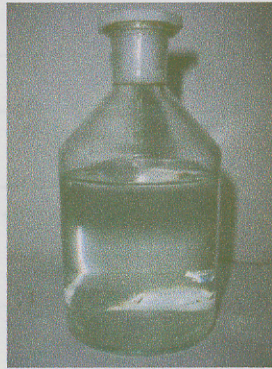
เมื่อใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ Fe ion: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: CaO = 1: 11.7: 4.5 ซึ่งเป็นอัตราส่วนเดียวกับการทดลองในตอนที่ 1 ในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์มโดยการแปรผันปริมาณน้ำทิ้งเริ่มต้น ซึ่งกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งด้วยปฏิกิริยาเฟนตันเริ่มจากน้ำน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายจากโรงงานดังรูป ก. มาเติมสารเฟนตันรีเอเจนต์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเฟนตันจะได้น้ำทิ้งดังรูป ข. หลังจากนั้นทำการเติม CaO เพื่อปรับสภาพน้ำทิ้งจะได้น้ำทิ้งดังรูป ค.



ก.



ข.



ค.

ภาพประกอบ 9 การบำบัดน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายจากโรงงานน้ำมันปาล์ม ด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

- ก. คือน้ำทิ้งก่อนการบำบัด
- ข. คือน้ำทิ้งหลังจากบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน
- ค. คือน้ำทิ้งหลังจากทำการเติมแคลเซียมออกไซด์ของสารละลายในข้อ ข.

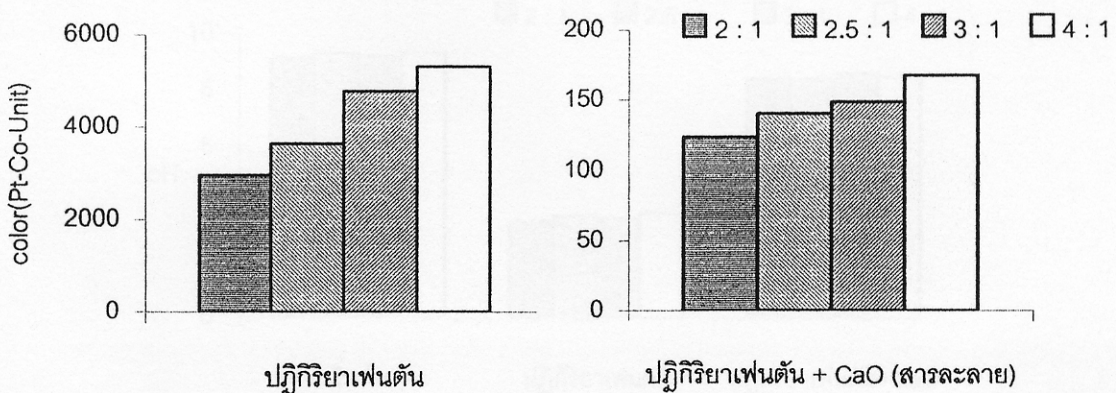
อัตราส่วนของน้ำทิ้งต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ศึกษาในครั้งนี้คือ

- 1) น้ำทิ้ง 400 ml :  $H_2O_2$  (0.3434 mol/L) 200 ml หรือ 2 : 1 (v/v) หรือ 0.50 เท่าของอัตราส่วนที่ 2
- 2) น้ำทิ้ง 500 ml :  $H_2O_2$  200 ml หรือ 2.5 : 1 (v/v) หรือ 0.62 เท่าของอัตราส่วนที่ 2
- 3) น้ำทิ้ง 600 ml :  $H_2O_2$  200 ml หรือ 3 : 1 (v/v) หรือ 0.75 เท่าของอัตราส่วนที่ 2
- 4) น้ำทิ้ง 800 ml :  $H_2O_2$  200 ml หรือ 4 : 1 (v/v) หรือเท่ากับอัตราส่วนที่ 2

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสี กับน้ำทิ้งที่มีสัดส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่างๆ (ดังตาราง 12 และภาพประกอบ 10) พบว่า เมื่อเกิดปฏิกิริยาเฟนตันความเข้มของสีในน้ำทิ้งอัตราส่วน 2:1 มีค่าน้อยที่สุดเนื่องจากปริมาณน้ำทิ้งที่ใช้มีปริมาณน้อยที่สุด ดังนั้นเมื่อเกิดปฏิกิริยาจึงเกิดได้มากที่สุด และเมื่อทำให้ตกตะกอนโดยการเติม CaO พบว่าความเข้มของสีในสารละลายสภาพเป็นเบส ในน้ำทิ้งอัตราส่วน 2:1 มีค่าน้อยที่สุด แต่ถ้าหากสังเกตด้วยตาเปล่า ลักษณะของน้ำทิ้งในอัตราส่วนทั้งสี่กรณีมีค่าใกล้เคียงกันมาก คือมีลักษณะใส ไม่มีสี แสดงให้เห็นว่าเมื่อผ่านการบำบัดด้วย ปฏิกิริยาเฟนตัน และการตกตะกอนด้วย CaO จะช่วยลดปริมาณของสีในน้ำทิ้งได้

ตาราง 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสีกับน้ำทิ้งที่มีสัดส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่างๆ

อัตราส่วน น้ำทิ้ง: H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (v/v)	สี (Pt-Co-Unit)	
	ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
	สารละลายสภาพกรด ไม่มีตะกอน	สารละลายสภาพเบส (กรองตะกอน)
2 : 1	2964.03	123.63
2.5 : 1	3648.65	140.25
3 : 1	4787.10	148.54
4 : 1	5308.37	167.33



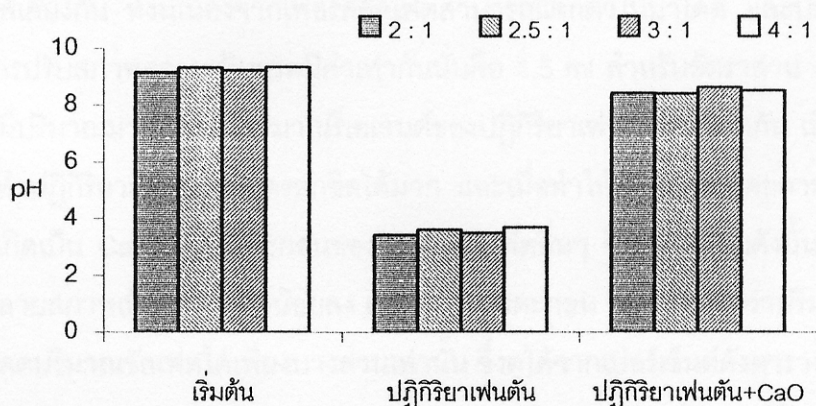
ภาพประกอบ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสีกับน้ำทิ้งที่มีสัดส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่างๆ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH และน้ำทิ้งที่มีสัดส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่างๆ (ดังภาพประกอบ 11) พบว่าลักษณะของกราฟทุกกรณีจะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือน้ำทิ้งที่มีค่า pH เริ่มต้นประมาณ 9.0 หลังจากนั้นจะปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 3-6 ด้วยกรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bigda R.J. (1995) ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของปฏิกิริยาเฟนตันในการบำบัดน้ำเสีย พบว่าก่อนการเติมเพอร์ซัลเฟตในขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย ต้องปรับค่า pH ด้วยกรดซัลฟูริกเจือจางก่อน เพราะไฮดรอกซิลเปอร์ออกไซด์ จะเกิดที่ pH ประมาณ 6 และกรดจะช่วยชะลอการตกตะกอนของตัวเร่ง

เมื่อทำให้ตกตะกอนโดยการเติม CaO (ดังตาราง 13) พบว่าค่า pH จะเพิ่มขึ้นซึ่งจะอยู่ในช่วง 8.0 - 9.0 ทุกกรณี ดังนั้นสัดส่วนของปริมาณน้ำทิ้งเริ่มต้นต่อสารเคมีเฟนตันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ค่อนข้างน้อยดังภาพประกอบ 11

ตาราง 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับน้ำทิ้งที่มีสัดส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่างๆ

อัตราส่วน น้ำทิ้ง: $H_2O_2$ (v/v)	ค่า pH		
	ก่อนเกิดปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน+CaO (0.4537g)
2 : 1	9.159	3.431	8.430
2.5 : 1	9.328	3.623	8.405
3 : 1	9.229	3.507	8.625
4 : 1	9.338	3.712	8.515



ภาพประกอบ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับน้ำทิ้งที่มีสัดส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่างๆ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กกับน้ำทิ้งที่มีสัดส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่างๆ (ดังตาราง 14) พบว่าทั้ง 4 กรณีจะเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับน้ำเสียสังเคราะห์ (ฟินอล และ 2,4-ไดคลอโรฟินอล)

ตาราง 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กกับน้ำทิ้งที่มีสัดส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่างๆ (% แสดงถึงปริมาณของเหล็กที่มีอยู่ในสารละลายและตะกอน)

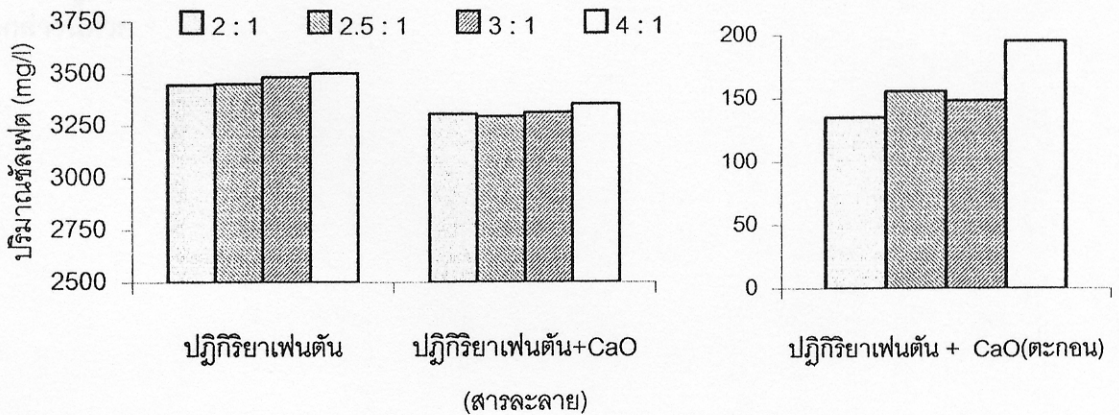
อัตราส่วน น้ำทิ้ง: H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (v/v)	ปริมาณเหล็ก (mg/L)		
	ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
	สารละลายสภาพกรด ไม่มีตะกอน	สารละลายสภาพเบส (กรองตะกอน)	ตะกอน
2 : 1	134.3	0.02(0.02%)	131.26(99.98%)
2.5 : 1	142.8	0.01(0.006%)	141.13(99.99%)
3 : 1	138.6	0.01(0.009%)	136.70(99.99%)
4 : 1	145.9	0.01(0.007%)	143.91(99.99%)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟตกับน้ำทิ้งที่มีสัดส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่างๆ (ดังตาราง 15 และ ภาพประกอบ 12) พบว่าเมื่อเกิดปฏิกิริยาเฟนตันปริมาณซัลเฟตมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากเฟอรัสซัลเฟตสามารถแตกตัวในน้ำได้ดี และปริมาณกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการปรับสภาพความเป็นกรดมีค่าเท่ากันนั่นคือ 1.5 ml สำหรับอัตราส่วน 4.0 : 1 ปริมาณน้ำทิ้งที่ให้มีปริมาณมากที่สุดซึ่งปริมาณรีเอเจนต์ของปฏิกิริยาเฟนตันมีค่าเท่ากัน เมื่อเกิดปฏิกิริยาจึงมีโอกาทำปฏิกิริยากับอนุมูลไฮดรอกซิลได้มาก และเมื่อทำให้ตกตะกอนโดยการเติม CaO โอกาสในการเกิดเป็น CaSO<sub>4</sub> หรือตะกอนของไอออนซัลเฟตอื่นๆ จึงมีมากด้วยดังนั้น ปริมาณซัลเฟตในสารละลายสภาพเป็นเบสจึงลดน้อยลง และมีมากในตะกอน แต่จะเห็นได้ว่าปริมาณ CaO ที่เติมลงไปช่วยลดปริมาณซัลเฟตได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ซึ่งดูได้จากเปอร์เซ็นต์ดังตาราง 14 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปริมาณตะกอนรวม พบว่าอัตราส่วน 4.0:1 มีค่ามากที่สุดซึ่งสอดคล้องกับปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น

ตาราง 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟตกับน้ำทิ้งที่มีสัดส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์  
ต่างๆ (% แสดงถึงปริมาณของซัลเฟตที่มีอยู่ในสารละลายและตะกอน)

อัตราส่วน น้ำทิ้ง: H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (v/v)	ปริมาณซัลเฟต (mg/L)		
	ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO	
	สารละลายสภาพ กรดไม่มีตะกอน	สารละลายสภาพเบส (กรองตะกอน)	ตะกอน
2 : 1	3446.8	3306.9(96.08 %)	134.8(3.92 %)
2.5 : 1	3451.3	3297.7(95.48 %)	155.8(4.51 %)
3 : 1	3485.2	3315.4(95.72 %)	148.3(4.28 %)
4 : 1	3502.5	3355.3(94.50 %)	195.4(5.50 %)

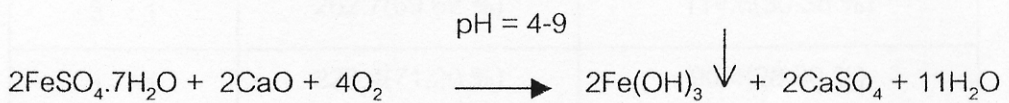
หมายเหตุ: น้ำหนักตะกอนของอัตราส่วน 2 :1 เท่ากับ 0.519 กรัม  
 น้ำหนักตะกอนของอัตราส่วน 2.5:1 เท่ากับ 0.612 กรัม  
 น้ำหนักตะกอนของอัตราส่วน 3 :1 เท่ากับ 0.671 กรัม  
 น้ำหนักตะกอนของอัตราส่วน 4 :1 เท่ากับ 0.674 กรัม



ภาพประกอบ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟตกับน้ำทิ้งที่มีสัดส่วนไฮโดรเจนเปอร์  
ออกไซด์ต่างๆ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียม กับน้ำทิ้งที่มีสัดส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่างๆ (ดังภาพประกอบ 13) ในช่วงเกิดปฏิกิริยาเฟนตันจะไม่มีปริมาณแคลเซียม แต่เมื่อทำให้ตกตะกอนโดยการเติม CaO พบว่าปริมาณแคลเซียมในสารละลายสภาพเป็นเบสจะสูงกว่าในตะกอนทุกกรณี (ดังตาราง 16) แสดงให้เห็นว่า CaO ที่เติมลงไปช่วยในการตกตะกอนของไอออนที่อยู่ในน้ำทิ้งได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ซึ่งส่วนใหญ่ตะกอนที่เกิดขึ้นเกิดจากไอออนของเหล็ก

สารเฟอร์รัสซัลเฟต หรือเรียกว่า Copperas มีลักษณะเป็นผลึกสีเขียวแห้งสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำเสียที่มีสภาพต่าง (Alkalinity) ได้ ทำให้จำเป็นที่ควรใช้ต่างเติมผสมลงมาเพื่อเพิ่มค่า pH ขึ้นจนเกิดตะกอนของ Ferric hydroxide ซึ่งจะเกิดตะกอนได้เร็วกว่าแคลเซียมซัลเฟต ( $\text{CaSO}_4$ ) เนื่องจากตะกอนของ Ferric จะมีน้ำหนักมากพอสมควรทำให้มีการตกตะกอนได้ดี และสามารถกำจัดสีของน้ำเสียได้พอสมควร ดังสมการต่อไปนี้ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542)

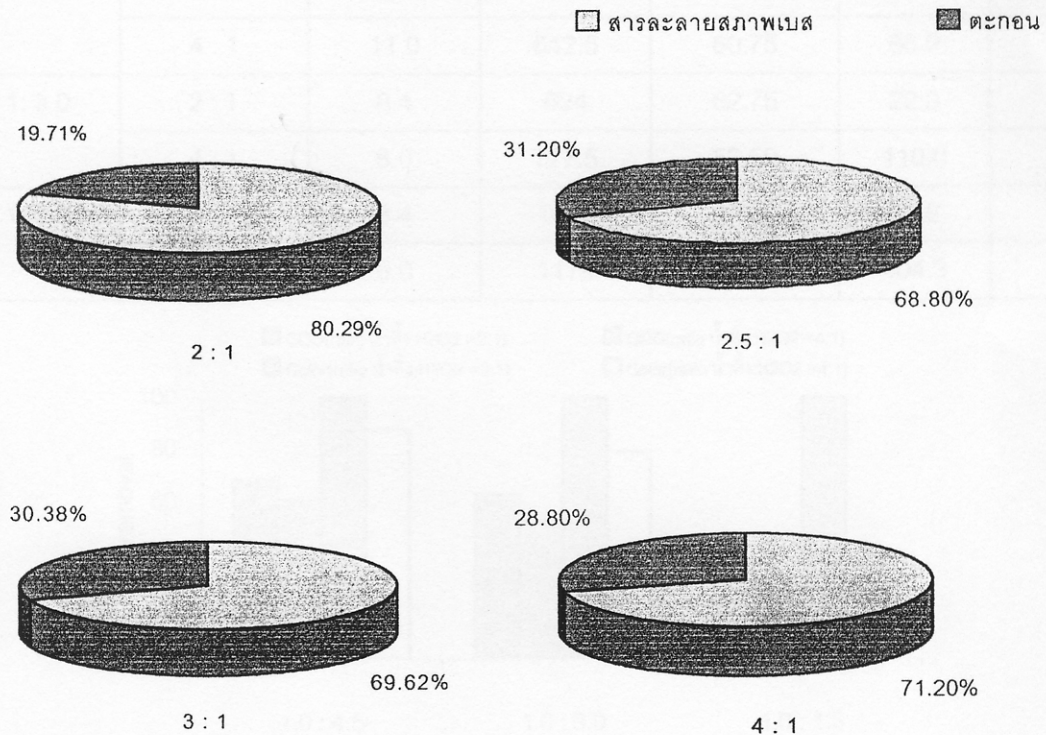


นอกจากนี้เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ของแคลเซียมในสารละลายและตะกอนเปรียบเทียบกับฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลจากหัวข้อที่ 1 พบว่าเปอร์เซ็นต์ในสารละลายของน้ำทิ้งทั้ง 4 อัตราส่วนมีค่าสูงกว่าเปอร์เซ็นต์ในสารละลายของทั้งสองกรณี ทั้งนี้เนื่องจากน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์มมีปริมาณสารอินทรีย์หรือสารปนเปื้อนมาก ในขณะที่ฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลเป็นสารบริสุทธิ์ ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ของแคลเซียมในตะกอนของทั้ง 4 อัตราส่วน จึงน้อยกว่าสารทั้งสองตัวดังกล่าวนี้ด้วย



ตาราง 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมกับน้ำทิ้งที่มีสัดส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่างๆ (% แสดงถึงปริมาณของแคลเซียมที่มีอยู่ในสารละลายและตะกอน)

อัตราส่วน น้ำทิ้ง: H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (v/v)	ปริมาณแคลเซียม (mg/L)	
	ปฏิกิริยาเฟนตัน	ปฏิกิริยาเฟนตัน + CaO
	สารละลายสภาพเบส (กรองตะกอน)	ตะกอน
2 : 1	377.4(80.29 %)	92.6(19.71 %)
2.5 : 1	366.2(68.80 %)	116.1(31.20 %)
3 : 1	262.7(69.62 %)	114.6(30.38 %)
4 : 1	223.4(71.20 %)	90.4(28.80 %)

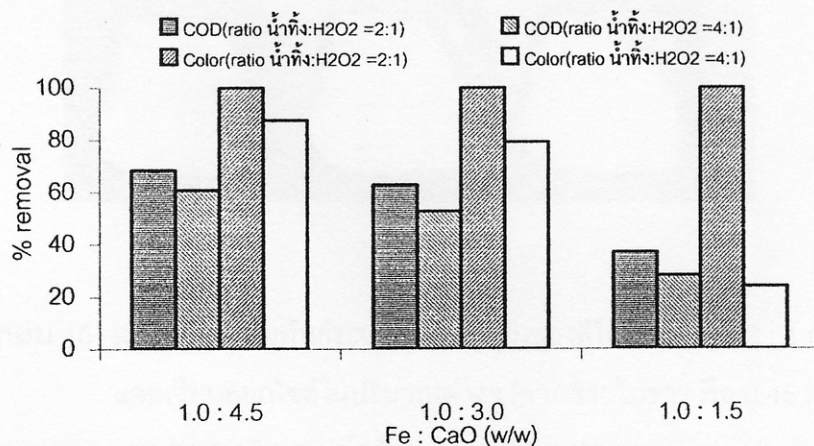


ภาพประกอบ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมกับน้ำทิ้งที่มีสัดส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่างๆ

## 2.2 การหาปริมาณแคลเซียมออกไซด์ที่เหมาะสม เพื่อปรับสภาพน้ำทิ้งให้เป็นกลาง ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

จากผลการทดลองในหัวข้อ 2.1 พบว่า การใช้ปริมาณน้ำทิ้งเริ่มต้นที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 0.5-1.0 เท่าของอัตราส่วนที่ 2 (Organic Compounds: Fe ion = 1: 0.45) ดังนั้นเพื่อยืนยันผลการทดลองที่ได้จากหัวข้อ 2.1 จึงได้ทำการทดลองโดยใช้ปริมาณน้ำทิ้งน้อยที่สุดและมากที่สุดตามอัตราส่วนดังกล่าว เพื่อปรับสภาพน้ำให้เป็นกลางและบำบัดสีก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ตาราง 17 แสดงการเปรียบเทียบ pH, COD และสีระหว่างอัตราส่วน 2: 1 และ 4: 1 กับแคลเซียมออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วน Fe : CaO (w/w)	อัตราส่วน น้ำทิ้ง : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (v/v)	pH	ค่า COD (mg/L)		สี (Pt-Co-Unit)	
		ปฏิกิริยา เฟนตัน + CaO	ปฏิกิริยา เฟนตัน + CaO	% การลดลง ของ COD	ปฏิกิริยา เฟนตัน + CaO	% การลดลง ของสี
1: 4.5	2: 1	11.2	528	68.48	21.8	99.92
	4: 1	11.0	642.5	60.75	66.0	87.55
1: 3.0	2: 1	8.4	624	62.75	22.0	99.92
	4: 1	8.0	777.5	52.59	110.0	79.26
1: 1.5	2: 1	6.4	1056	37.00	22.6	99.92
	4: 1	6.0	1179	28.11	404.3	23.78



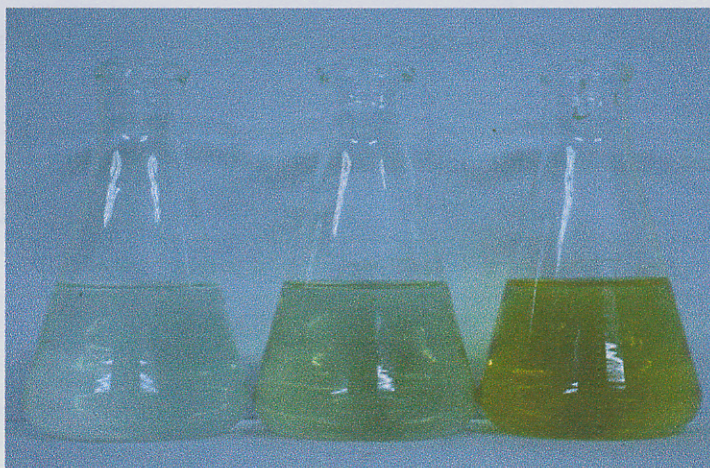
ภาพประกอบ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การกำจัด COD และสี ระหว่างอัตราส่วน 2: 1 และ 4: 1 กับแคลเซียมออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ

เมื่อพิจารณา pH ระหว่างการใช้น้ำทิ้ง 0.5 เท่าของอัตราส่วนที่ 2 และตามอัตราส่วนที่ 2 โดยการแปรผันปริมาณของแคลเซียมออกไซด์ พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และมีค่าใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การกำจัด COD และสี ระหว่างอัตราส่วน 2: 1 และ 4: 1 กับปริมาณแคลเซียมออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ (ดังตาราง 17 และ ภาพประกอบ 14) ซึ่งจากกราฟทั้งสองกรณีมีแนวโน้มว่าเมื่อทำให้ตกตะกอนโดยการเติม CaO ปริมาณ CaO มีผลต่อค่า COD นั่นคือ เมื่อทำการเติม CaO ในปริมาณมากจะช่วยลดค่า COD ได้มากด้วย และเมื่อพิจารณาความเข้มของสีพบว่า ความเข้มของสีในสารละลายของน้ำทิ้งที่ใช้อัตราส่วน 0.5 เท่าของอัตราส่วนที่ 2 มีลักษณะใกล้เคียงกัน ซึ่งถ้าหากสังเกตด้วยตาเปล่าจะไม่สามารถแยกความแตกต่างของสีได้ ดังภาพประกอบ 15 ดังนั้นปริมาณแคลเซียมออกไซด์มีผลต่อการกำจัดสีค่อนข้างน้อย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำทิ้งเท่ากับอัตราส่วนที่ 2 พบว่าปริมาณแคลเซียมออกไซด์มีผลต่อการกำจัดสีเป็นอย่างมาก ดังภาพประกอบ 16 ดังนั้นปริมาณแคลเซียมออกไซด์มีผลต่อปริมาณน้ำทิ้งที่ใช้ โดยปริมาณน้ำทิ้งที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 0.5-1.0 เท่าของอัตราส่วนที่ 2



**ภาพประกอบ 15** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสีในอัตราส่วน 2 : 1 กับปริมาณแคลเซียมออกไซด์ในปริมาณต่างๆ (จากซ้ายไปขวา คือ 0.45 กรัม 0.30 กรัม และ 0.15 กรัม ตามลำดับ)



**ภาพประกอบ 16** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสีในอัตราส่วน 4: 1 กับปริมาณแคลเซียมออกไซด์ในปริมาณต่างๆ (จากซ้ายไปขวา คือ 0.45 กรัม 0.30 กรัม และ 0.15 กรัม ตามลำดับ)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟตระหว่างอัตราส่วน 2: 1 และ 4: 1 กับแคลเซียมออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ (ดังภาพประกอบ 17 และ 17) หลังจากทำให้ตกตะกอนโดยการเติม  $\text{CaO}$  พบว่าทั้งสองกรณี  $\text{CaO}$  ช่วยในการตกตะกอนซัลเฟตได้ในเพียงบางส่วนซึ่งจะเห็นได้จากตาราง 18 ว่าปริมาณซัลเฟตในสารละลายจะมีมากกว่าในตะกอน

ในกรณีของปริมาณเหล็กกับแคลเซียมออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ ดังตาราง 17 พบว่าจะเป็นไปได้ในลักษณะเดียวกันกับน้ำเสียสังเคราะห์ (ฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล) ดังนั้นปริมาณแคลเซียมมีผลต่อการตกตะกอนของซัลเฟต เหล็ก ค่อนข้างน้อยเมื่อใช้ปริมาณน้ำทิ้งมากกว่าอัตราส่วนที่ 2 และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมกับแคลเซียมออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆพบว่าเมื่อทำให้ตกตะกอนโดยการเติม  $\text{CaO}$  ปริมาณแคลเซียมมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของ  $\text{CaO}$  ที่เติมลงไป

เนื่องจากการลดปริมาณของสีและการทำให้น้ำทิ้งเป็นกลางก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำเป็นปัจจัยหลักที่สนใจดังนั้นเมื่อพิจารณาโดยรวมเมื่อใช้น้ำทิ้งน้อยกว่าอัตราส่วนที่ 2 (Organic Compounds: Fe ion = 1: 0.45) และใช้ปริมาณ  $\text{CaO}$  1.5-3.0 กรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมซึ่งทำให้น้ำทิ้งมีความเป็นกลาง คือ ประมาณ 7.0 และลักษณะของน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำมีลักษณะใส

ตาราง 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟต เหล็ก และแคลเซียมระหว่างอัตราส่วน 2: 1 และ 4: 1 กับแคลเซียมออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ (% แสดงถึงปริมาณของซัลเฟต เหล็ก และแคลเซียมที่มีอยู่ในสารละลายและตะกอนตามลำดับ)

อัตราส่วน Fe : CaO (w/w)	อัตราส่วน น้ำทิ้ง : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (v/v)	ปริมาณซัลเฟต (mg/L)		ปริมาณเหล็ก (mg/L)		ปริมาณแคลเซียม (mg/L)	
		สารละลาย	ตะกอน	สารละลาย	ตะกอน	สารละลาย	ตะกอน
1: 4.5	2 : 1	3404.33 (88.72 %)	432.65 (11.28 %)	0.06 (0.11 %)	55.71 (99.89 %)	1655.33 (84.05 %)	313.81 (15.95 %)
	4 : 1	3469.67 (83.03 %)	709.05 (16.97 %)	0.08 (0.14 %)	56.23 (99.86 %)	1504.67 (74.87 %)	505.13 (25.13 %)
1: 3.0	2 : 1	3421.85 (90.01 %)	379.61 (9.98 %)	0.09 (0.18 %)	50.73 (99.82 %)	992.57 (87.30 %)	144.45 (12.70 %)
	4 : 1	3483.90 (83.06 %)	710.56 (16.94 %)	0.07 (0.12 %)	56.96 (99.88 %)	1118.67 (79.81 %)	282.92 (20.19 %)
1: 1.5	2 : 1	3499.41 (91.36 %)	330.80 (8.64 %)	0.03 (0.06 %)	47.15 (99.94 %)	813.33 (89.09 %)	99.57 (10.91 %)
	4 : 1	3509.76 (83.84 %)	676.26 (16.16 %)	0.06 (0.11 %)	55.65 (99.89 %)	879.33 (83.97 %)	167.87 (16.03 %)

หมายเหตุ: 1) เมื่อใช้อัตราส่วนเป็น 0.5 เท่าของอัตราส่วนที่ 2 (2 : 1)

น้ำหนักตะกอนของการใช้ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ 0.45 กรัมเท่ากับ 0.670 กรัม

น้ำหนักตะกอนของการใช้ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ 0.30 กรัมเท่ากับ 0.464 กรัม

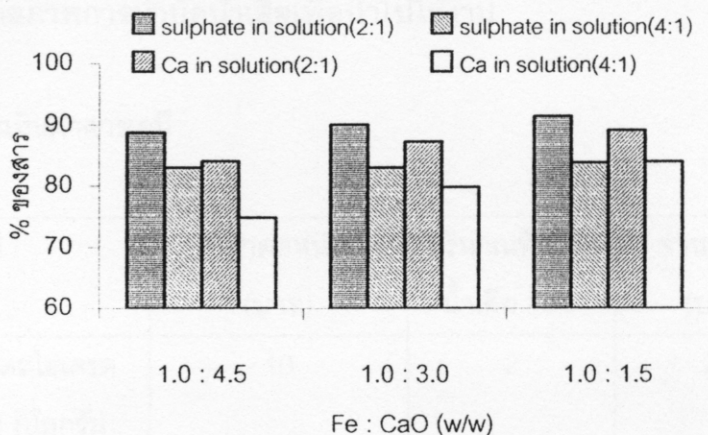
น้ำหนักตะกอนของการใช้ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ 0.15 กรัมเท่ากับ 0.277 กรัม

2) เมื่อใช้อัตราส่วนตามอัตราส่วนที่ 2 (4 : 1)

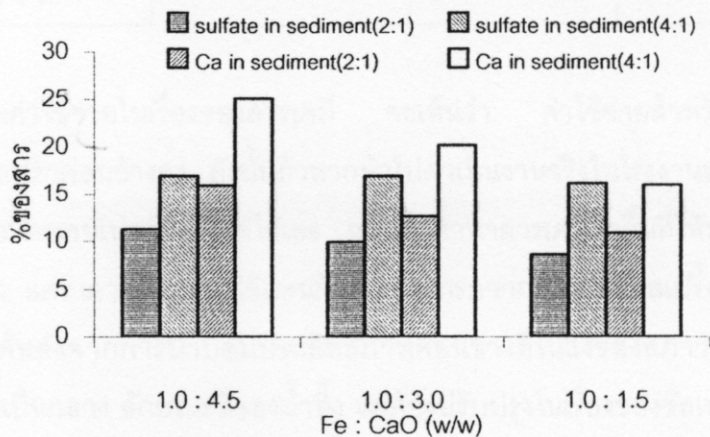
น้ำหนักตะกอนของการใช้ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ 0.45 กรัมเท่ากับ 0.739 กรัม

น้ำหนักตะกอนของการใช้ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ 0.30 กรัมเท่ากับ 0.497 กรัม

น้ำหนักตะกอนของการใช้ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ 0.15 กรัมเท่ากับ 0.295 กรัม



ภาพประกอบ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของซัลเฟต และแคลเซียมในสารละลายระหว่างอัตราส่วน 2: 1 และ 4: 1 กับแคลเซียมออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ



ภาพประกอบ 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของซัลเฟต และแคลเซียมในตะกอนระหว่างอัตราส่วน 2: 1 และ 4: 1 กับแคลเซียมออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ

### 3. การประเมินศักยภาพการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำไปใช้งาน

ตาราง 19 การประเมินค่าสารเคมี

สารเคมี	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ปริมาณที่ใช้ต่อ น้ำเสีย 1 m <sup>3</sup>	จำนวนเงิน (บาท)
เฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต (FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O) 1 กิโลกรัม	10	2	20
50 % ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (50 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) 1 ลิตร	35	8	280
แคลเซียมออกไซด์ (CaO) 1 กิโลกรัม	18	0.66	12
96 % กรดซัลฟูริก (96 % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) 1 ลิตร	30	2.8	84

จากการประเมินค่าใช้จ่ายในเรื่องของสารเคมี จะเห็นว่า ค่าใช้จ่ายสำหรับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และกรดซัลฟูริกค่อนข้างสูง ดังนั้นถ้าหากนำไปดำเนินงานจริงในโรงงานอุตสาหกรรม ถ้าเป็นไปได้ควรผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ใช้เอง หรือศึกษาหาสารเคมีตัวอื่นที่ให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับกรดซัลฟูริก แต่ราคาถูกกว่ามาใช้แทนก็ได้ เช่น กรดจากผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำทิ้งที่ได้หลังจากการบำบัดมีประสิทธิภาพค่อนข้างดีในแง่ของสภาวะก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำซึ่งมีสภาพเป็นกลาง ลักษณะสีของน้ำทิ้ง แต่ต้องปรับปรุงในเรื่องของซัลเฟตและแคลเซียมเพิ่มเติม เนื่องจากยังมีปัญหาการตกค้างในน้ำทิ้ง ดังนั้นเพื่อช่วยในการลดต้นทุนในเรื่องของสารเคมี ควรเพิ่มการบำบัดทางฟิสิกส์ลงไปด้วยก็จะทำให้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดียิ่งขึ้น และอาจจะนำน้ำหลังจากการบำบัดกลับมาใช้ใหม่ หรือนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้อีกด้วย