บทที่ 4

วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าตะกอนเบื้องต้น

ผลการทดลองเป็นค่าการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนชุดที่ 1 ตามค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ในแผนการทดลอง เพื่อนำค่านั้นมาเป็นค่าเบื้องต้นในการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ หลังจากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ภายหลังผ่านการบำบัดขั้นต้นทั้ง 2 วิธี มีรายละเอียดดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเบื้องต้นตะกอนน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่า	จำนวนตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
pH	6.97 - 7.56	3	7 32	0.31
COD(mg/l)	4,073 – 6,347	6	5,306	688
SCOD(mg/l)	16.98 - 22.48	3	19.27	2.86
TS(mg/l)	10,200 – 17,572	3	13,957	3,688
VS(mg/l)	4,285 – 5,260	3	5,035	198
Alkalinity(mg/l)	163 - 182	3	174	9.71
NH_3-N(mg/l)	9.58 - 14.43	3	11.46	2.60

จากผลการทดลองพบว่า ตะกอนมีค่าความเป็นกรด - ด่าง อยู่ในช่วงที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหา คือมีค่าเป็นกลางในช่วง 6.97 - 7.56 อยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงาน ซึ่งกำหนดไว้ที่ pH 5.5 - 9 (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) สำหรับค่า SCOD ที่ได้มีค่าน้อยมากเพียง 16.98 – 22.48 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากน้ำที่ได้หลังการกรองผ่านกระดาษกรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร มีความใสมาก กากตะกอนติดค้างอยู่บนกระดาษกรองมีชั้นหนาน้ำไหลผ่านได้ช้า และค่า TS มีช่วงค่าที่กว้างหรือแกว่งคือให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงมาก เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ย ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเก็บตัวอย่างน้ำตะกอนหลายครั้ง คุณภาพตะกอนแต่ละครั้งแตกต่างกัน

4.2 ผลการทดลองจากการบำบัดขั้นต้นด้วยสารเคมีและความร้อน

4.2.1 การบำบัดขั้นต้นด้วยสารเคมี

ในขั้นตอนนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ตามความเข้มข้นของปริมาณสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) แล้วนำตะกอนที่ได้นั้นมาทำการวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ pH, SCOD, COD, TS, VS, Alkalinity และ NH_3-N ตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ข้างต้น ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองในรูปร้อยละการเพิ่มและร้อยละการกำจัด หลังผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยสารเคมี

ชุดการทดลอง	pH	ร้อยละการเพิ่ม				ร้อยละการกำจัด VS
		Alkalinity	NH_3-N	COD	SCOD	
ตะกอนดิบ + NaOH (10 mg/l)	7.89	7.90	105.38	2.17	30.16	2.61
ตะกอนดิบ + NaOH (20 mg/l)	8.25	13.73	104.94	7.36	114.38	5.52
ตะกอนดิบ + NaOH (30 mg/l)	8.69	23.20	106.95	8.55	132.76	4.67
ตะกอนดิบ + NaOH (40 mg/l)	9.03	37.36	157.17	10.39	142.35	4.34

การบำบัดขั้นต้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ผลการทดลองที่ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรมีร้อยละการเพิ่มของ SCOD หรือร้อยละการกำจัดของ VS เปลี่ยนแปลงน้อยคือเท่ากับ 30.16 และ 2.61 เรียงตามค่า SCOD และ VS และให้ค่าร้อยละการเพิ่ม SCOD เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนที่ค่าความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 114 และเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ที่ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ 30 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร คือเพิ่มขึ้นร้อยละ 133 และ 142 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า VS พบว่าร้อยละการกำจัดของ VS ดีที่สุดที่ค่าความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ค่าร้อยละการกำจัดมากที่สุด (ร้อยละ 5.52) ดังนั้นจึงถือว่าที่ค่าความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 20 มิลลิกรัมต่อลิตรนี้เป็นค่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดขั้นต้นด้วยสารเคมี เพราะเป็นค่าที่เริ่มปฏิกิริยาการย่อยสลายได้ดีและประหยัดปริมาณสารเคมี นำไปใช้ประโยชน์ในระบบจริงได้

4.2.2 การบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อน

การทดลองในขั้นตอนนี้เป็นการให้ความร้อนกับตะกอนดิบจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลองหลัก โดยแต่ละชุดการทดลองหลักจะแบ่งย่อยออกได้เป็น 3 ชุด ผลการทดลองที่ได้ แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองในรูปร้อยละการเพิ่มและร้อยละการกำจัด หลังผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อนเป็นเวลา 15 นาที

ชุดการทดลอง	pH	ร้อยละการเพิ่ม				ร้อยละการกำจัด VS
		Alkalinity	NH_3-N	COD	SCOD	
ตะกอนดิบ + Heat (35°C, 15 นาที)	7.58	35.35	9.32	2.48	260.91	4.83
ตะกอนดิบ + Heat (60°C, 15 นาที)	7.92	69.98	197.43	7.79	1814.96	7.06
ตะกอนดิบ + Heat (90°C, 15 นาที)	7.98	96.49	241.45	9.77	2733.84	7.91

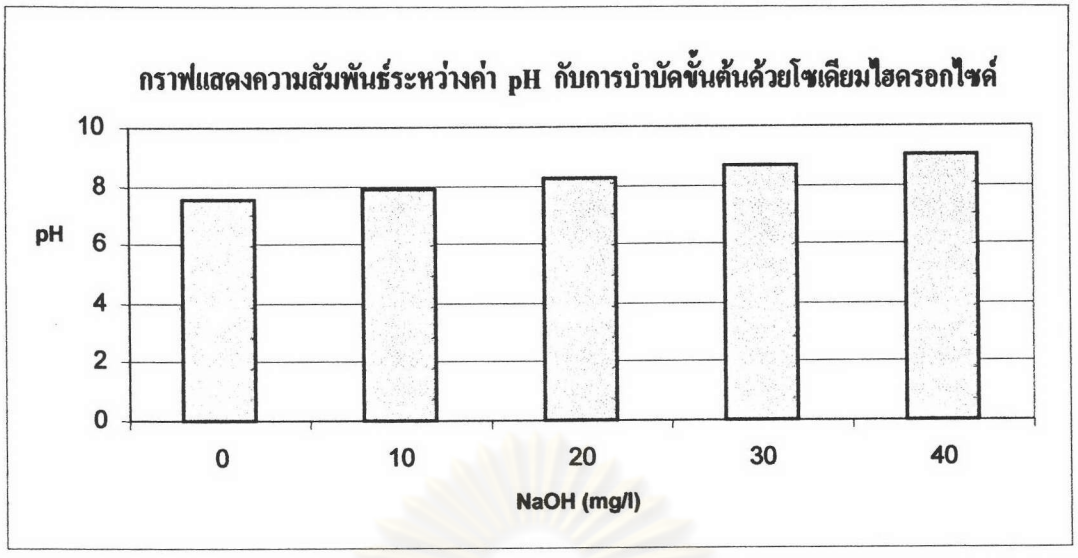
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองในรูปร้อยละการเพิ่มและร้อยละการกำจัด หลังผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อนเป็นเวลา 30 นาที

ชุดการทดลอง	pH	ร้อยละการเพิ่ม				ร้อยละการกำจัด VS
		Alkalinity	NH_3-N	COD	SCOD	
ตะกอนดิบ + Heat (35°C, 30 นาที)	7.60	33.88	19.03	4.52	360.99	4.64
ตะกอนดิบ + Heat (60°C, 30 นาที)	7.76	82.08	275.63	11.25	2897.86	8.21
ตะกอนดิบ + Heat (90°C, 30 นาที)	7.91	83.61	294.60	13.53	2997.78	13.23

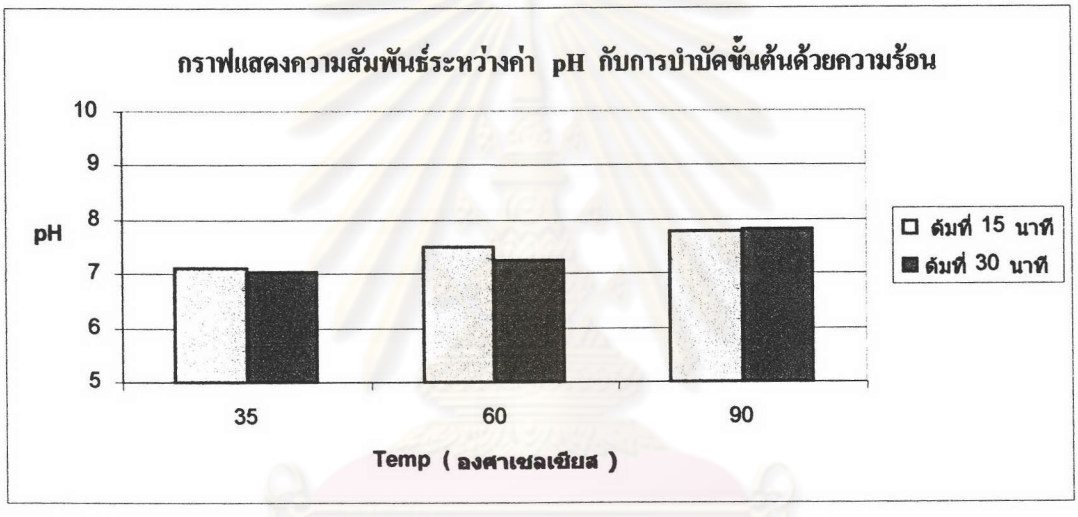
การบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อนพบว่า ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ให้ประสิทธิภาพการย่อยได้ดีที่สุด โดยให้ค่าร้อยละการเพิ่ม SCOD ที่ใกล้เคียงกับการให้ความร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาทีมีค่าร้อยละการกำจัด VS มากกว่าร้อยละการกำจัด VS ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที และใกล้เคียงกับที่เวลาให้ความร้อน 30 นาที คือ 2897.86, 2733.84 และ 2997.78 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าค่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อนคือที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เนื่องจากเริ่มให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายตะกอนได้ดี ประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายในการนำไปประยุกต์ใช้จริง

4.2.3 **ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)** ของการบำบัดขั้นต้นด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์และด้วยความร้อนมีแนวโน้มใกล้เคียงกันคือมีค่าเป็นกลาง สอดคล้องกับผลการศึกษาของเสริมพลและไชยยุทธ, (2524) ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศค่าความเป็นกรด – ด่าง ที่เหมาะสมควรมีค่าอยู่ระหว่าง 6.6 – 7.8 และถ้าค่าความเป็นกรด – ด่างต่ำมากเกินไป ขั้นตอนการเกิดมีเทนจะถูกยับยั้งที่ค่าความเป็นกรด – ด่างต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว และจากผลการทดลองตารางที่ 4.2 พบว่าการบำบัดขั้นต้นด้วยสารเคมีมีค่าความเป็นกรด – ด่าง เท่ากับ 7.89, 8.25, 8.69 และ 9.03 เรียงตามลำดับชุดการทดลอง และจากการบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อน ดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 ผลการทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.58, 7.92 และ 7.98 ที่เวลาให้ความร้อน 15 นาที และเท่ากับ 7.60, 7.76 และ 7.91 ที่เวลาให้ความร้อน 30 นาที เรียงตามค่าอุณหภูมิ 35, 60 และ 90 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 4.1 (ก) ผลการทดลองที่ได้พบว่าการบำบัดขั้นต้นด้วยสารเคมีให้ค่าความเป็นกรด – ด่าง เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (สารเคมีสภาพด่าง) ที่เติมลงไป และค่าความเป็นกรด – ด่าง จากผลการบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อนให้ค่าที่ใกล้เคียงกันไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เป็นผลจากค่าความร้อนไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด - ด่างของตะกอนดังรูปที่ 4.1 (ข)

จากผลการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรด – ด่างเฉลี่ยทุกการทดลองอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งเป็นขั้นตอนต่อไปของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน



(ก)

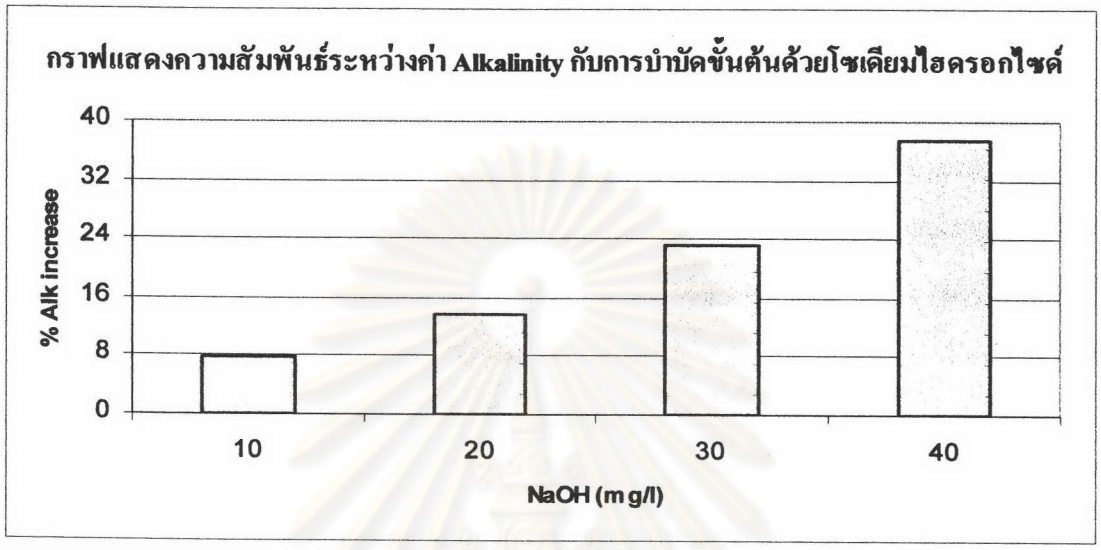


(ข)

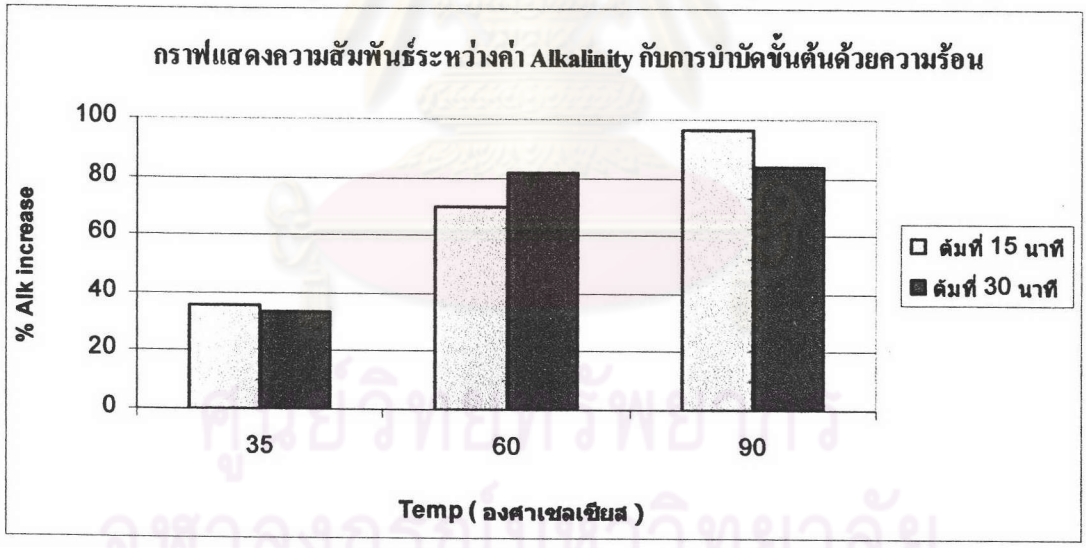
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับการบำบัดขั้นต้น (ก) สารเคมีและ (ข) ความร้อน

4.2.4 ค่าสภาพด่าง (Alkalinity) พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นในขั้นการบำบัดขั้นต้นด้วยสารเคมี ดังรูปที่ 4.2 (ก) เป็นผลจากการเติมสารเคมีประเภทด่างเข้าทำปฏิกิริยา โดยมีค่าสภาพด่างเฉลี่ยเท่ากับ 187, 197, 214 และ 238 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือร้อยละการเพิ่มขึ้นของค่าสภาพด่าง เท่ากับ 7.90, 13.73, 23.20 และ 37.36 เรียงตามลำดับชุดการทดลอง ดังตารางที่ 4.2 และผลการบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อนมีค่าสภาพด่างเฉลี่ยเท่ากับ 234, 294 และ 340 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือร้อยละการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 35.35, 69.98 และ 96.49 ที่เวลาให้ความร้อน 15 นาที และให้ค่าสภาพด่างเฉลี่ยเท่ากับ 232, 315 และ 317 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือร้อยละการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 33.88, 82.08 และ 83.61 ที่เวลาให้ความร้อน 30 นาที เรียงตามค่าอุณหภูมิ 35 , 60 และ 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 จากรูปที่ 4.2 (ข) เมื่อ

มีการเพิ่มความร้อนให้กับตะกอนจะได้ค่าสภาพด่างเพิ่มสูงขึ้นและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากการเพิ่มของค่าสภาพด่างเป็นผลมาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสและการละลาย แตกตัวของกลุ่มแอมโมเนีย คาร์บอเนต และไบคาร์บอเนตของตะกอนน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดขั้นต้นที่ทำให้โครงสร้างเซลล์ตะกอนเกิดการแตกตัว(Chu,2004)



(ก)

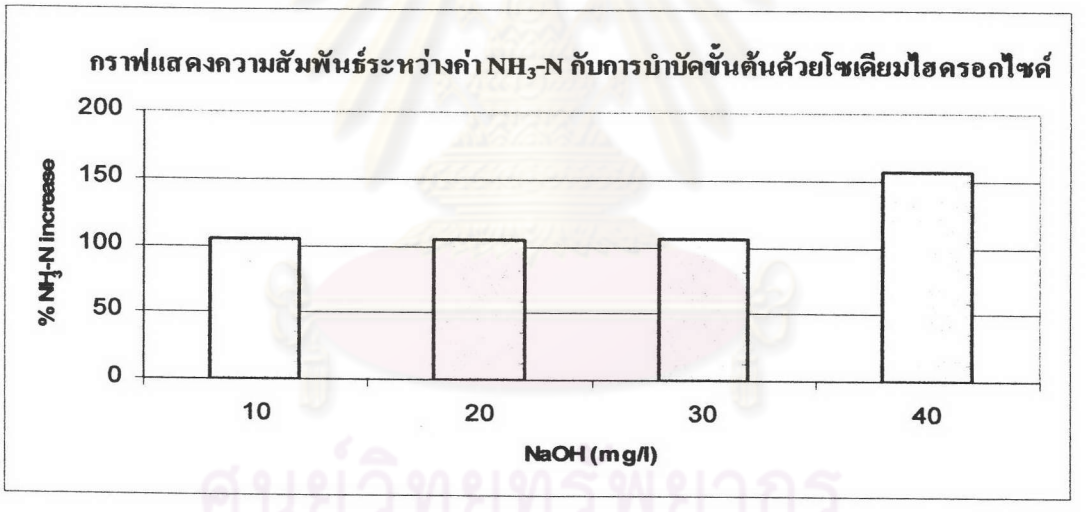


(ข)

รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Alkalinity กับการบำบัดขั้นต้น (ก) สารเคมีและ (ข) ความร้อน

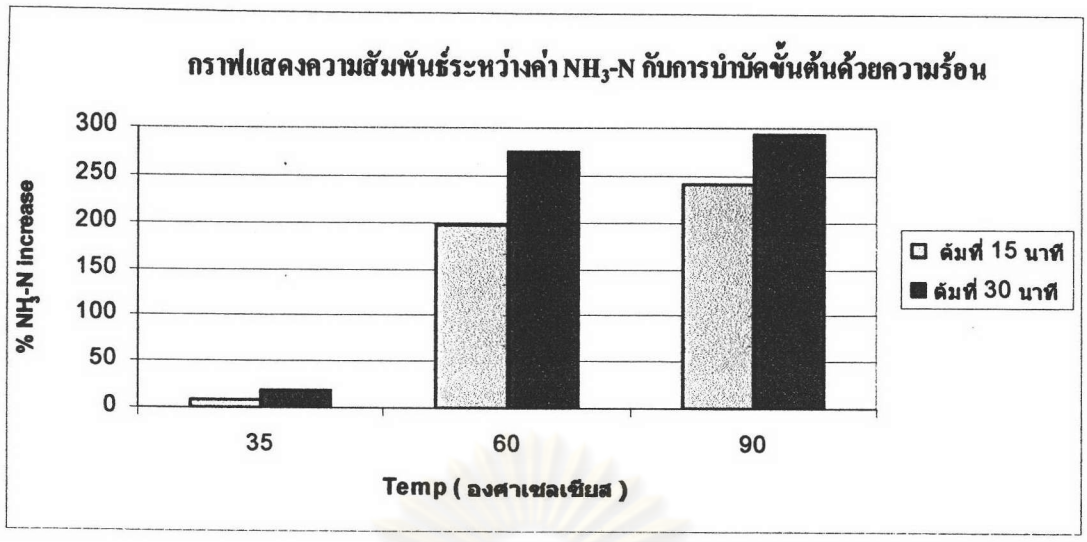
4.2.5 **ค่าแอมโมเนียไนโตรเจน** (NH_3-N) ไนโตรเจนเป็นสารอาหารที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ซึ่งจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจนที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น โปรตีนและกรดอะมิโน การบำบัดขั้นต้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ 23.37, 23.03, 23.07 และ 28.76

มิลลิกรัมต่อลิตรหรือร้อยละการเพิ่มมีค่าเท่ากับ 105.38, 104.94, 106.95 และ 157.17 เรียงลำดับชุดการทดลอง ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 (ก) การบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อนในการทดลองนี้จะให้ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนสูงขึ้นตามค่าความร้อนที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ข) มีค่าแอมโมเนียไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ 12.50, 32.55 และ 37.55 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือร้อยละการเพิ่มเท่ากับ 9.32, 197.43 และ 241.45 ที่เวลาให้ความร้อน 15 นาที และเท่ากับ 13.60, 41.43 และ 43.70 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือร้อยละการเพิ่มเท่ากับ 19.03, 275.63 และ 294.60 ที่เวลาให้ความร้อน 30 นาที เรียงตามค่าอุณหภูมิ 35, 60 และ 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Lin (1999) ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจาก 165 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็น 238 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลาย่อย 30 วันหลังผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าการเพิ่มของแอมโมเนียไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นหลังผ่านการบำบัดขั้นต้นจากสารเคมีและให้ความร้อน เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสและการละลายของสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้น (Chu, 2004)และเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นค่าแอมโมเนียไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นสูงมาก ซึ่งเกิดจากการแตกตัวของตะกอนและสารอินทรีย์ในเซลล์ตะกอน



(ก)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

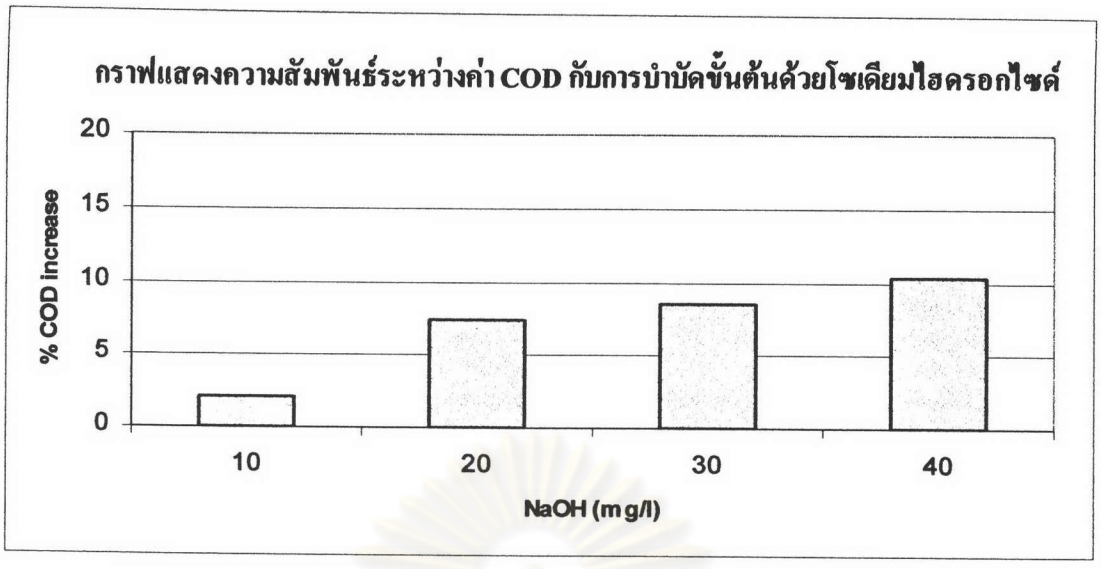


(ข)

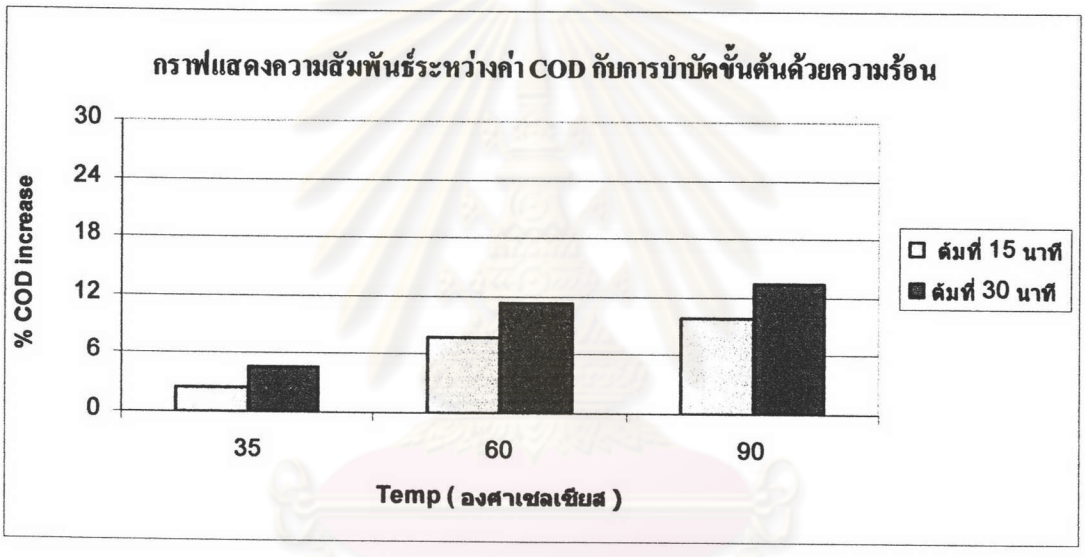
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า NH_3-N กับการบำบัดขั้นต้นด้วย (ก) สารเคมีและ(ข) ความร้อน

4.2.6 **ค่าซีโอดี** เป็นค่าการวิเคราะห์หาความสกปรกของน้ำเสียหรือเป็นตัวแปรที่บอกถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย ในระหว่างการวิเคราะห์หาค่าซีโอดี สารอินทรีย์ในน้ำจะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ จากผลการทดลองตารางที่ 4.2 พบว่าการบำบัดขั้นต้นด้วยสารเคมีให้ค่าซีโอดีเฉลี่ยของผลการทดลองเรียงตามชุดการทดลองเท่ากับ 5,421, 5,697, 5,760 และ 5,858 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือร้อยละการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.17, 7.36, 8.55 และ 10.39 ดังรูปที่ 4.4 (ก) การบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อน ค่าซีโอดีที่ได้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกล่าวคือมีค่าซีโอดีเพิ่มขึ้นตามค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้น รูปที่ 4.4 (ข) ทั้งการทดลองจากการให้ความร้อนเป็นเวลา 15 นาที หรือ 30 นาที มีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 5,438, 5,720 และ 5,825 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือร้อยละการเพิ่มขึ้นของค่าซีโอดีเท่ากับ 2.48, 7.79 และ 9.77 ที่เวลาให้ความร้อน 15 นาที และมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 5,546, 5,903 และ 6,024 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือร้อยละการเพิ่มเท่ากับ 5.46, 11.88 และ 14.78 ที่เวลาให้ความร้อน 30 นาที เรียงตามค่าอุณหภูมิที่ 35, 60 และ 90 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 ค่าซีโอดีที่เพิ่มขึ้นเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากในช่วงแรกจำพวกลิกนินหรือโครงสร้างวงแหวนเบนซีน (APHA, AWWA and WPCF, 1998) แต่หลังผ่านการบำบัดขั้นต้นทำให้สารอินทรีย์ย่อยได้ง่ายขึ้น หรือตะกอนที่น้ำมาทำการศึกษาครั้งนี้อาจมีการปนเปื้อนทำให้ค่า COD เพิ่มขึ้นนั้นเอง

ผลของค่า COD จะไม่ถูกนำไปสร้างสมการ เนื่องจากค่า COD ไม่ควรมีการแปรปรวนมากนัก เพราะสารอินทรีย์ส่วนมากจะถูกย่อยสลายได้ในปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้นการวิเคราะห์หาค่า COD ดังนั้นค่าก่อนและหลังการบำบัดขั้นต้นน่าจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน



(ก)

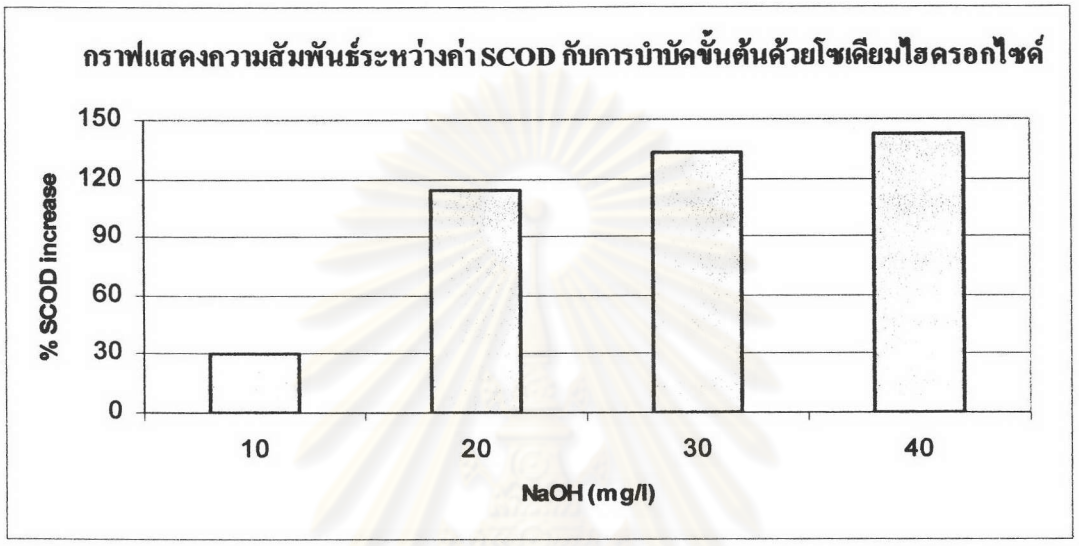


(ข)

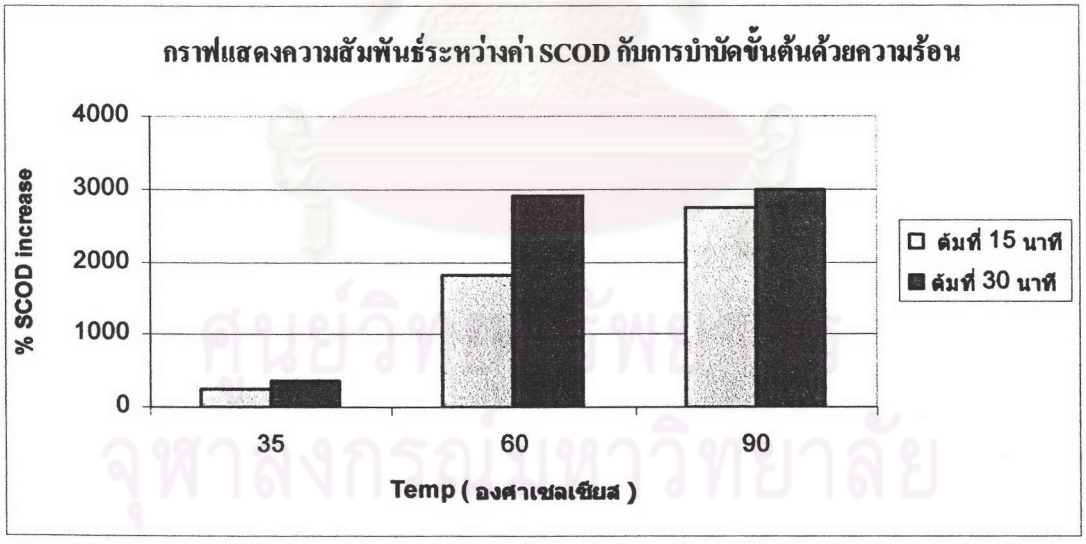
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD กับการบำบัดขั้นต้นด้วย(ก) สารเคมีและ(ข) ความร้อน

4.2.7 ค่าซีโอดีละลาย (SCOD) คือค่า COD ของสารที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย ทำการทดลองโดยนำน้ำที่ผ่านการกรองไปทำการวิเคราะห์ค่าเช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาค่าซีโอดี จากตารางที่ 4.2 พบว่าที่การบำบัดขั้นต้นด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ค่า SCOD เฉลี่ยเท่ากับ 25.13, 41.28, 44.28 และ 44.46 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือร้อยละการเพิ่มเท่ากับ 30.16, 114.38, 132.76 และ 142.35 เรียงตามชุดการทดลอง ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเคมีที่เติมลงไป รูปที่ 4.5 (ก) การบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อน ค่า SCOD ที่ได้มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้น และให้ค่าร้อยละการเพิ่มของ SCOD ที่สูงขึ้นมากเมื่อเทียบกับค่าของตะกอนดิบดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 มีค่า SCOD เฉลี่ยเท่ากับ 70.47, 362 และ 540 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือร้อยละการเพิ่มขึ้นของค่า SCOD เท่ากับ 260.1, 1,815 และ 2,734 ที่เวลาให้ความร้อน 15 นาที และมีค่าเฉลี่ย

เท่ากับ 88.96, 496 และ 592 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือร้อยละการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 361, 2,898 และ 2,998 ที่เวลาให้ความร้อน 30 นาที เรียงตามค่าอุณหภูมิ 35, 60 และ 90 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.5 (ข) หลังการบำบัดขั้นต้นพบว่าให้ค่า SCOD สูงขึ้นหลายเท่าตัว เกิดจากการแตกตัวของเซลล์ตะกอน (Chu,2004) และปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสที่ให้ค่าปริมาณสารอินทรีย์ละลายเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า SCOD สูงขึ้น



(ก)

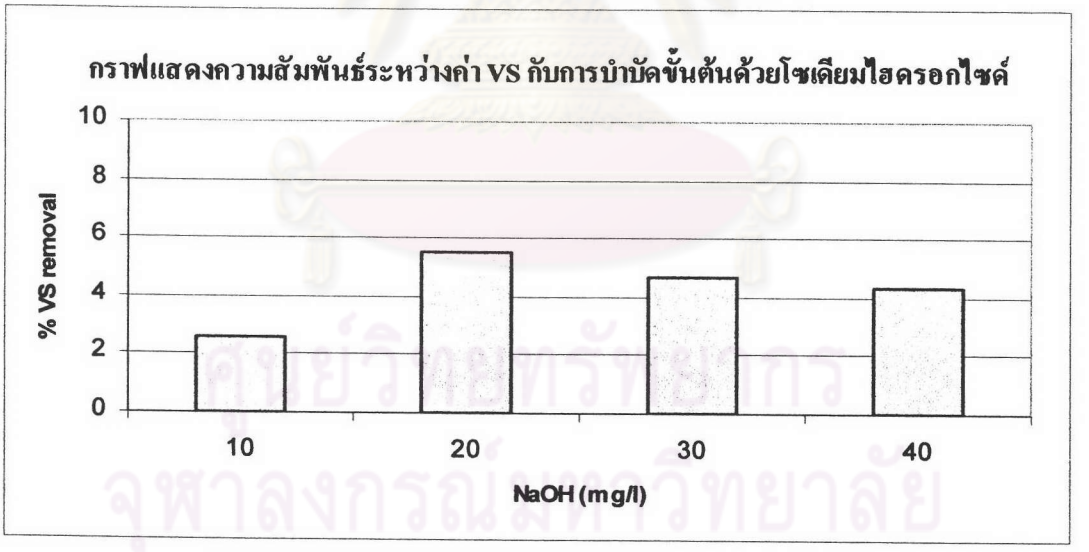


(ข)

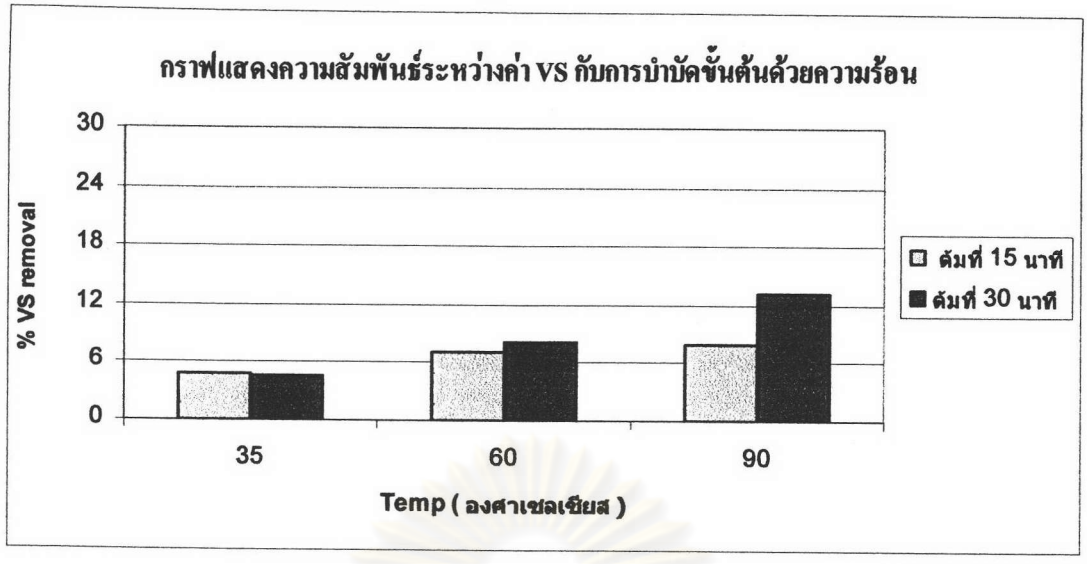
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SCOD กับการบำบัดขั้นต้นด้วย(ก) สารเคมีและ(ข) ความร้อน

4.2.8 ค่าของแข็งระเหย (VS) คือของแข็งซึ่งระเหยได้เมื่อนำไปเผาในอากาศที่อุณหภูมิ 550 – 600 องศาเซลเซียส ซึ่งที่อุณหภูมินี้สารอนินทรีย์จะสลายตัวน้อยที่สุด ของแข็งนี้ได้แก่ สารอินทรีย์ซึ่งเมื่อถูกเผาจะเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ จากตารางที่ 4.2 ผลการบำบัดขั้นต้นด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่าให้ค่า VS เฉลี่ยเท่ากับ 4,902, 4,753, 4,796 และ 4,815 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือร้อยละการกำจัด VS มีค่าเท่ากับ 2.61, 5.52, 4.67 และ 4.34 เรียงลำดับตามชุดการทดลอง ดังรูปที่ 4.6 (ก) และผลการบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อนตามตารางที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าที่เวลาให้ความร้อนไม่ว่าจะเป็น 15 นาที หรือ 30 นาที มีค่า VS ใกล้เคียงกันที่อุณหภูมิ 35 กับ 60 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองมีค่า VS เฉลี่ยเท่ากับ 4,792, 4,680 และ 4,640 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือร้อยละการกำจัดของค่า VS เท่ากับ 4.83, 7.06 และ 7.91 ที่เวลาให้ความร้อน 15 นาที และมีค่า VS เฉลี่ยเท่ากับ 4,798, 4,620 และ 4,368 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือร้อยละการกำจัด VS เท่ากับ 4.64, 8.21 และ 13.23 ที่เวลาให้ความร้อน 30 นาที เรียงตามค่าอุณหภูมิที่ 35, 60 และ 90 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.6 (ข)

ซึ่งจากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการบำบัดขั้นต้นช่วยให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งระเหยเพิ่มสูงขึ้น เกิดจากการแตกตัวของเซลล์ตะกอนให้สารประกอบอินทรีย์อย่างง่ายที่ละลายน้ำและระเหยได้ง่าย ทำให้การย่อยสลายตะกอนเกิดได้ดีขึ้น



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VS กับการบำบัดขั้นต้นด้วย (ก) สารเคมีและ(ข) ความร้อน

4.3 ผลการทดลองในขั้นตอนที่ 3 เทคนิคกระบวนการออกแบบการทดลอง

ขั้นตอนที่ 3 มีจุดมุ่งหมายเพื่อดูว่าการบำบัดขั้นต้นด้วยสารเคมีกับความร้อนร่วมกัน จะให้ผลที่มากกว่าหรือน้อยกว่าหรือเท่ากับ การบำบัดตะกอนแบบแยกทีละวิธี และวิธีใดมีผลต่อการย่อยสลายของตะกอนมากกว่ากัน โดยจะได้ค่าผลกระทบออกมา เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ในขั้นต่อไป ณ จุดนี้ใช้ค่า SCOD กับค่า VS เพื่อเป็นพารามิเตอร์ของการสร้างสมการ

4.3.1 ผลการทดลองในขั้นตอนที่ 3

ผลการทดลองที่ได้ในขั้นตอนที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นขั้นตอนในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดขั้นต้นตะกอนน้ำเสียชุมชน ด้วยวิธีการเติมสารเคมีสภาพด่าง (โซเดียมไฮดรอกไซด์) และการให้ความร้อนกับตะกอนก่อนเข้าสู่ระบบย่อยตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสีย สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกการทดลองที่ใช้ปริมาณสารเคมี 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากข้อมูลสนับสนุนผลการทดลองที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ให้เป็นค่าที่เหมาะสมในการบำบัดขั้นต้นสำหรับวิธีการใช้สารเคมีและให้ความร้อนตามลำดับ โดยจะมีการทำการทดลองที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและลดลง 5 องศาเซลเซียสที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และทำการทดลองที่ปริมาณสารเคมีมากขึ้นและลดลง 5 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นก็เข้าสู่การทดลองด้วยเทคนิคกระบวนการออกแบบการทดลอง ในขั้นตอนที่ 3 ซึ่งสามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลองตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าปัจจัยเริ่มต้นต่างๆของการทดลองตามกระบวนการออกแบบการทดลอง

ชุดการทดลอง	การทดลอง			
	X_1 (Heat)	Coded	X_2(NaOH)	Coded
1	55 °C	-1	15 mg/l	-1
2	65 °C	+1	15 mg/l	-1
3	55 °C	-1	25 mg/l	+1
4	65 °C	+1	25 mg/l	+1

วิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ SCOD และ VS ดังผลการทดลองในตารางที่ 4.6 และทำการวิเคราะห์ผลในรูปร้อยละการเพิ่มของ SCOD และร้อยละการกำจัดของ VS เนื่องจากค่าความเข้มข้นที่วัดได้ในแต่ละครั้งแตกต่างกันจึงนำมาคิดในรูปร้อยละเพื่อดูประสิทธิภาพบนพื้นฐานเดียวกัน นำค่าที่ได้เข้าสู่กระบวนการแปรผลตามเทคนิคกระบวนการออกแบบการทดลอง เพื่อให้ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ของการบำบัดขั้นต้นโดยการเติมสารเคมี(โซเดียมไฮดรอกไซด์) และการให้ความร้อนกับตะกอน

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองหาความสัมพันธ์ในขั้นตอนที่ 3

ชุดการทดลอง	ค่า	ค่าเฉลี่ยผลการทดลอง		ค่าการวิเคราะห์	
		SCOD (mg/l)	VS (mg/l)	ค่าร้อยละการเพิ่มขึ้นของ SCOD	ค่าร้อยละการกำจัดของ VS
ตะกอนดิบ	ตะกอนดิบ	20.42	4965	-	-
1	y_1	558.89	4737	2637	3.43
2	y_2	613.17	4594	2903	6.35
3	y_3	590.22	4664	2790	4.91
4	y_4	654.69	4454	3106	9.19

4.3.2 การวิเคราะห์ผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมกับค่าตัวแปรตามต่างๆ

นำผลการทดลองจากตารางที่ 4.6 มาเข้าสมการ (รายละเอียดการคำนวณในบทที่ 2) คำนวณค่า ผลกระทบหลัก (a_1, a_2) ผลกระทบร่วม (a_{12}) และค่าคงที่สมการ (b_0) ผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 4.7 แทนค่าที่ได้ลงในสมการ วิเคราะห์อิทธิพลของการบำบัดขั้นต้นจากค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ

ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์จากพารามิเตอร์ SCOD และ VS

ค่า	พารามิเตอร์	
	SCOD	VS
a_1	145.62	1.80
a_2	88.92	1.08
a_{12}	12.42	0.34
b_0	2859	5.97

ค่า a_1, a_2 เป็นค่าผลกระทบหลักที่แสดงอิทธิพลของการบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อนและสารเคมีตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่แสดงให้ทราบในเชิงปริมาณของแต่ละอิทธิพลที่มีผลต่อการย่อยสลายของตะกอนในระบบโดยการใช้ SCOD และ VS เป็นตัววัดประสิทธิภาพ ส่วน a_{12} เป็นค่าผลกระทบร่วมที่แสดงอิทธิพลร่วมระหว่างการบำบัดขั้นต้นด้วยสารเคมีร่วมกับความร้อน และค่า b_0 จะแสดงให้ทราบถึงค่าคงที่ของการทดลอง ณ จุดกึ่งกลางของการทดลอง

$$\hat{Y} = a_1X_1 + a_2X_2 + a_{12}X_1X_2 + b_0$$

สมการที่แสดงข้างต้นเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อน (X_1) และสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ (X_2) และเป็นการประมาณค่าพารามิเตอร์ของค่าสมการนั้น ผลการวิเคราะห์อิทธิพลมีรายละเอียดด้านล่างนี้

4.3.2.1 สัมประสิทธิ์การย่อยสลาย โดยใช้ SCOD เป็นตัวชี้วัด

ร้อยละการเพิ่ม SCOD; $\hat{Y} = 145.62X_1 + 88.92X_2 + 12.42X_1X_2 + 2858.82$

a_1	a_2	a_{12}	b_0
145.62	88.92	12.42	2858.82

จากสมการกล่าวได้ว่า ค่า SCOD ที่จุดกึ่งกลางของการทดลอง (ความร้อน 60 องศาเซลเซียส และ ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีค่าเท่ากับ 2859 ของค่าร้อยละการเพิ่มขึ้นของ SCOD สำหรับการเพิ่มความร้อนจาก 55 องศาเซลเซียส ถึง 65 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ร้อยละการเพิ่มขึ้นของ SCOD เท่ากับ 145.62 การเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์จาก 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึง 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ร้อยละการเพิ่มขึ้นของ SCOD มีค่าเท่ากับ 88.92 จากผลการวิเคราะห์ร้อยละการเพิ่มขึ้นของ SCOD นั้นพบว่าปัจจัยด้านความร้อนมีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า SCOD มากกว่าปัจจัยด้านสารเคมี โดยค่าผลกระทบหลักจากการบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อนให้ค่าคิดเป็นร้อยละ 59 ของอิทธิพลจากค่าผลกระทบรวมของการบำบัดขั้นต้น สำหรับการบำบัดขั้นต้นด้วยสารเคมีให้ค่าผลกระทบหลักคิดเป็นร้อยละ 36 ของอิทธิพลจากค่าผลกระทบรวมของการบำบัดขั้นต้น และการให้ความร้อนร่วมกับเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ค่าสัมประสิทธิ์ร้อยละการเพิ่มขึ้นของ SCOD เท่ากับ 12.42 หรือคิดเป็นร้อยละ 5 ของค่าอิทธิพลที่เป็นผลมาจากการบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อนร่วมกับสารเคมี

4.3.2.2 สัมประสิทธิ์การย่อยสลาย โดยใช้ VS เป็นตัวชี้วัด

a_1	a_2	a_{12}	b_0
1.8	1.08	0.34	5.97

ร้อยละการกำจัด VS; $\hat{Y} = 1.80X_1 + 1.08X_2 + 0.34X_1X_2 + 5.97$

จากสมการกล่าวได้ว่า ค่า VS ที่จุดกึ่งกลางของการทดลอง (ความร้อน 60 องศาเซลเซียส และ ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีค่าร้อยละการกำจัด VS เท่ากับ 5.97 สำหรับการเพิ่มขึ้นของความร้อนจาก 55 องศาเซลเซียส ถึง 65 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ร้อยละการกำจัด VS เท่ากับ 1.8 การเพิ่มขึ้นความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์จาก 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึง 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าสัมประสิทธิ์ร้อยละการกำจัด VS เท่ากับ 1.08 ผลการวิเคราะห์ร้อยละการกำจัด VS พบว่าปัจจัยด้านความร้อนมีอิทธิพลต่อการลดลงของค่า VS มากกว่าปัจจัยด้านสารเคมี โดยมีค่าผลกระทบหลักคิดเป็นร้อยละ 56 และร้อยละ 33 ของค่าผลกระทบที่เกิดจากการบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อนและสารเคมีตามลำดับ และการให้ความร้อน

ร่วมกับเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ค่าสัมประสิทธิ์ร้อยละการกำจัด VS เท่ากับ 0.34 หรือคิดเป็นร้อยละ 11 ที่เป็นผลมาจากค่าอิทธิพลของการบำบัดขั้นต้นด้วยความร้อนร่วมกับสารเคมี

4.3.3. ผลการใช้สมการในการคำนวณ

การป้อนค่าของโปรแกรม (แสดงในภาคผนวก ค.) จะต้องป้อนค่าเบื้องต้นตะกอนดิบ, ปัจจัยด้านความร้อนที่แทนด้วย -1, 0 หรือ +1 เท่านั้น, ปัจจัยด้านสารเคมีแทนค่าเช่นเดียวกับปัจจัยด้านความร้อน ส่วนค่าผลกระทบหลัก (a_1), ผลกระทบหลัก (a_2),ผลกระทบร่วม (a_{12}), ค่าเฉลี่ย (b_0) จะเป็นค่าคงที่ของแต่ละพารามิเตอร์ ผลการแทนค่าในสมการแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการป้อนค่าในสมการในโปรแกรมการคำนวณ

ชุดการทดลอง	ค่า X_1	ค่า X_2	ร้อยละการเพิ่มของ SCOD	ร้อยละการกำจัดของ VS
55 °C + 15 mg/l	-1	-1	2636.7	3.43
65 °C + 15 mg/l	+1	-1	2903.1	6.35
55 °C + 25 mg/l	-1	+1	2789.7	4.91
65 °C + 25 mg/l	+1	+1	3105.8	9.19

จากตารางข้างต้น พบว่า เมื่อมีการเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ และการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดขั้นต้น โดยมีค่าร้อยละการเพิ่มของ SCOD และร้อยละการกำจัด VS สูง ที่ชุดการทดลอง ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ร่วมกับการเติมสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.3.4 ผลการเปรียบเทียบค่าผลการทดลองจริงกับค่าจากสมการ

ตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงกับค่าที่ได้จากการแทนค่าลงในสมการ โดยใช้ค่าตะกอนดิบที่ได้จากการทดลองจริงชุดเดียวกับผลการทดลองที่นำมาเปรียบเทียบ แต่เป็นข้อมูลคนละชุดกับค่าที่นำมาสร้างแบบจำลอง แทนลงในสมการหาค่า $\hat{Y}$ หรือแทนในโปรแกรมที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการแทนค่าตามปัจจัย X_1 และ X_2 ที่ต้องการ ผลที่ได้แสดงค่าจากสมการ และช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริงหรือค่าที่วัดได้จริง

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ SCOD ระหว่างค่าผลการทดลองจริงกับค่าจากสมการ

ค่าตะกอนดิบ = 21.35 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชุดตัวอย่างตะกอน	ค่าที่วัดได้จริง*		ค่าจากสมการ		ช่วงค่าเบี่ยงเบน
	ค่าดิบ (mg/l)	ร้อยละการเพิ่ม	ค่าคำนวณ (mg/l)	ร้อยละการเพิ่ม	ของสมการ (mg/l)
ตะกอนดิบ + NaOH + Heat (55 °C + 15 mg/l)	527	2369.6	584	2636.7	542 - 626
ตะกอนดิบ + NaOH + Heat (65 °C + 15 mg/l)	604	2728.1	641	2903.1	599 - 683
ตะกอนดิบ + NaOH + Heat (55 °C + 25 mg/l)	595	2685.8	617	2789.7	575 - 659
ตะกอนดิบ + NaOH + Heat (65 °C + 25 mg/l)	666	3017.5	684	3105.8	642 - 726

* ชุดผลการทดลองที่ไม่ได้ใช้ในการหาค่าสมการ

ตารางที่ 4.9 เป็นผลการวิเคราะห์การทดลองหาค่า SCOD เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทำการทดลองจริงกับค่าที่ได้จากการแทนค่าสมการ พบว่า ผลการทดลองจริงให้ค่าอยู่ในช่วงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่ได้จากสมการ เช่นชุดการทดลองบำบัดขั้นต้นด้วยสารเคมีที่ความเข้มข้น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ให้ค่าร้อยละการเพิ่มขึ้นของ SCOD เท่ากับร้อยละ 2369.6 หรือ 527 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่า SCOD ของตะกอนดิบเท่ากับ 21.35 มิลลิกรัมต่อลิตรเมื่อนำสภาวะดังกล่าวเข้าสู่โปรแกรมการคำนวณค่าจากสมการพบว่าให้ค่าร้อยละการเพิ่มขึ้นของ SCOD เท่ากับ 2636.7 หรือ 584 มิลลิกรัมต่อลิตร คำนวณหาช่วงค่าเบี่ยงเบนของสมการ ให้ค่าประสิทธิภาพในการเพิ่มขึ้นของ SCOD อยู่ในช่วง 542 – 626 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการความสัมพันธ์คำนวณหาค่า SCOD มีค่าเท่ากับ 197.54 (ภาคผนวก ค.) และจากค่าร้อยละการเพิ่มของ SCOD เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าผลการทดลองที่ได้จริงกับผลจากการแทนค่าสมการมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันซึ่งพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิร่วมกับการเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้ค่าความแตกต่างระหว่างค่าทั้งสองลดลง นั่นคือค่าจากสมการจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าผลการทดลองที่วัดได้จริงเมื่อมีการเพิ่มปริมาณสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์และเพิ่มอุณหภูมิในการบำบัดขั้นต้น ผลการทดลองที่ได้ในตารางสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจได้เท่ากับ 0.64

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ VS ระหว่างค่าผลการทดลองจริงกับค่าจากสมการ

ค่าตะกอนดิบ = 4,965 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชุดตัวอย่างตะกอน	ค่าที่วัดได้จริง*		ค่าจากสมการ		ช่วงค่าเบี่ยงเบนของสมการ (mg/l)
	ค่าดิบ (mg/l)	ร้อยละการกำจัด	ค่าคำนวณ (mg/l)	ร้อยละการกำจัด	
ตะกอนดิบ + NaOH + Heat (55 °C + 15 mg/l)	4779	3.75	4795	3.43	4673 – 4917
ตะกอนดิบ + NaOH + Heat (65 °C + 15 mg/l)	4603	7.29	4650	6.35	4528 - 4772
ตะกอนดิบ + NaOH + Heat (55 °C + 25 mg/l)	4675	5.84	4721	4.91	4599 - 4843
ตะกอนดิบ + NaOH + Heat (65 °C + 25 mg/l)	4396	11.46	4509	9.19	4387 - 4631

* ชุดผลการทดลองที่ไม่ได้ใช้ในการหาค่าสมการ

ตารางที่ 4.10 เป็นผลการเปรียบเทียบค่า VS ระหว่างค่าที่ได้จากการทำการทดลองจริงกับค่าที่ได้จากการแทนค่าสมการ พบว่า ผลการทดลองจริงให้ค่าอยู่ในช่วงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่ได้จากสมการ เช่นที่ชุดการทดลองบำบัดขั้นต้นด้วยสารเคมีที่ความเข้มข้น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ให้ค่าร้อยละการกำจัด VS เท่ากับร้อยละ 3.74 หรือ 4,779 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ค่า VS ของตะกอนดิบเท่ากับ 4,965 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำสภาวะดังกล่าวเข้าสู่โปรแกรมการคำนวณค่าจากสมการพบว่าให้ค่าร้อยละการกำจัด VS เท่ากับ 3.43 หรือ 4,795 มิลลิกรัมต่อลิตร คำนวณหาช่วงค่าเบี่ยงเบนของสมการ ให้ค่าประสิทธิภาพในการกำจัด VS อยู่ในช่วง 4,643 – 4,917 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการความ สัมพันธ์คำนวณหาค่า VS มีค่าเท่ากับ 2.46 (ภาคผนวก ค.) และผลการทดลองที่ได้ในตารางสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจได้เท่ากับ 0.73 ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่า VS ระหว่างค่าที่วัดได้จริงกับค่าจากสมการ ไม่มีแนวโน้มจากการเพิ่มปริมาณสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์และเพิ่มอุณหภูมิในการบำบัดขั้นต้น