ภาคผนวก ก

การเตรียมสารเคมี การวัดความว่องไวของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส การหาปริมาณโปรตีน และการวิเคราะห์น้ำเสีย

สารละลาย 4 - Aminoantipyrine ($C_{11}H_{13}ON_3$) 2%

ละลาย 4 - Aminoantipyrine 2 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร

สารละลายโพแทสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์ 8%

ละลายโพแทสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์ 8 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร

สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์บัฟเฟอร์

ละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 16.9 กรัม ในสารละลาย แอมโมเนีย 28-30% 143 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 250 มิลลิลิตร

0.1 M Tris - HCl + 0.1 mM EDTA pH 7.5

ชั่ง Tris - HCl 12.11 กรัม และ EDTA 0.0372 กรัม เติมน้ำกลั่นประมาณ 800 มิลลิลิตร ปรับพีเอชให้ได้ 7.5 แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิลิตร

Alkaline Copper Solution

a) 2% Na_2CO_3 ใน 0.1 M NaOH

ชั่ง Na_2CO_3 20 กรัม และ NaOH 4 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิลิตร

b) 0.5% $CuSO_4$ 0.5 กรัม, และ Na^+K^+ Tartrate 1 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิลิตร

นำ a) และ b) อย่างละ 50 มิลลิลิตร และ 0.5 มิลลิลิตร ตามลำดับ (อัตราส่วน 100 : 1)

สารละลายมาตรฐาน BSA

เตรียม BSA 1 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่ง BSA 0.0030 กรัม เติมน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และเตรียมสารละลายมาตรฐาน BSA ที่ความเข้มข้นต่างๆ ดังตาราง 9 โดยเตรียมจากสารละลายมาตรฐาน BSA ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตาราง 9 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน BSA จาก สารละลายมาตรฐาน BSA ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน BSA ที่ต้องการเตรียม (mg/L)	ปริมาตรของ BSA ความเข้มข้น 1 mg/L ที่ใช้ (µL)	ปริมาตรของน้ำกลั่นที่ใช้ (µL)
0.8	800	200
0.6	600	400
0.4	400	600
0.2	200	800
0.1	100	900

สารละลาย O-dianisidine 0.25%

ชั่ง O-dianisidine 0.125 กรัม แล้วละลายด้วย methanol 50 มิลลิลิตร

0.1 M H_2O_2

ตวง H_2O_2 0.5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 50 มิลลิลิตร

0.05 M Sodium acetae pH 5.4

ชั่ง CH_3COONa 1.03 กรัม หรือ $CH_3COONa \cdot 3\ H_2O$ 1.7 กรัม เติมน้ำกลั่นแล้วปรับพีเอชด้วยกรดอะซีติก ให้ได้ 5.4 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 250 มิลลิลิตร

0.01667 M $K_2Cr_2O_7$

ละลาย โพแทสเซียมไดโครเมต ซึ่งอบที่ 150^0C 2 ชั่วโมง 4.913 กรัม ลงในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 167 มิลลิลิตร และ $HgSO_4$ 33.3 กรัม ปล่อยให้เย็นแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิลิตร

H_2SO_4 Reagent

เติม Ag_2SO_4 8.8 กรัม ลงในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน

สารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์

ชั่ง 1-10 phenanthroline monohydrate 0.297 กรัม และ $FeSO_4 . 7 H_2O$ 139 มิลลิกรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิลิตร

0.1 M Ferrus Ammonium Sulfate Tritrant Solution

ละลาย $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \bullet 6 H_2O$ 39.2 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ทำให้เย็น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิลิตร ให้ standardize สารละลายนี้แต่ละวันที่ใช้กับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ที่ใช้ย่อยสลายดังนี้

ปิเปตสารละลายโปรแตสเซียมไดโครเมต 5 มิลลิลิตร ลงใน flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติมเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ 1-2 หยด ไทเทรตด้วยไทแทรนท์ FAS

$$FAS(M) = \frac{0.01667 M K_2Cr_2O_7 (mL)}{FAS(mL)}$$

โพแทสเซียมไฮโดรเจนพธาเลต (KHP; $HOOCC_6H_4COOK$)

อบ KHP ที่ 110^0C นำมา 425 มิลลิลิกรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิลิตร

การวัดความว่องไวของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส

นำสารสกัดหยาบจากใบยางพาราปริมาตร 0.01 มิลลิลิตร (เจือจางให้เหมาะสมก่อนนำมาทดสอบ) ใส่ในหลอดทดลองแล้วเติม 0.05 M Sodium acetate, pH 5.4 ปริมาตร 2.8 มล. และ 0.25% o-dianisidine ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน หลังจากนั้นเติม 0.1 M H_2O_2 0.1 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันอีกครั้ง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร ด้วย UV-VIS spectrophotometer (Shimadzu รุ่น 160 A) เลือก Kinetic mode เพื่อให้เครื่องคำนวณหาความว่องไวของเปอร์ออกซิเดส โดย 1 หน่วยของความว่องไวของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส หมายถึง เปอร์ออกซิเดสที่ออกซิไดส์ 1 μmol ของ o-dianisidine ในเวลา 1 นาที ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ o-dianisidine เป็นสับสเตรทของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส โดย o-dianisidine มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงต่อโมลาร์ (molar extinction coefficient) เท่ากับ 11.3 $mM^{-1}cm^{-1}$

การหาปริมาณโปรตีน

การหาปริมาณโปรตีนทำได้โดยใช้สารสกัดหยาบปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร และสารละลายแอลคาไลน์คอปเปอร์ (2% Na_2CO_3 ใน 0.1 M NaOH : 1% potassium sodium tartrate : 0.5% $CuSO_4$ อัตราส่วน 100 : 1 : 1) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที จึงเติมสารละลายฟอลิน-ฟีนอล (Folin-phenol reagent, ใช้ Folin : น้ำกลั่น ในอัตราส่วน 1 : 1) ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร คำนวณหาความเข้มข้นของโปรตีนในสารตัวอย่างโดยนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน ซึ่งใช้ โบวีน ซีรัม อัลบูมิน (bovine serum albumin, BSA) เป็นโปรตีนมาตรฐานเปรียบเทียบ ดังตาราง 10

เมื่อทราบปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ในสารสกัดหยาบใบยางพาราแล้ว สามารถคำนวณหาความว่องไวจำเพาะของเอนไซม์ได้จาก

Specific activity = activity / mg protein

ค่าความว่องไวจำเพาะนี้มีหน่วยเป็น unit / mg protein

ตาราง 10 การสร้างกราฟมาตรฐานโปรตีน

สารเคมีที่ใช้ (mL)	blank	Standard protein (mg / mL)						sample (mL)
	(mL)	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	
BSA	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-
สารสกัดใบยางพารา	-	-	-	-	-	-	-	0.1
น้ำกลั่น	0.1	-	-	-	-	-	-	-
Alkaline Copper Solution	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที								
Folin reagent 1:1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที แล้ววัดค่า OD_{500}								

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอล

การหาสารประกอบฟีนอลที่สามารถกลั่นออกมาพร้อมไอน้ำ ใช้กับน้ำที่มีฟีนอลมากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีสารประกอบฟีนอลในช่วง 0-50 มิลลิกรัมต่อลิตร

รินตัวอย่างน้ำ ปริมาณ 200 มิลลิลิตรในขวดเจลดาห์ล ขนาด 800 มิลลิลิตร ปรับพีเอชให้มีค่าประมาณ 2 โดยเติมกรดซัลฟิวริกประมาณ 0.6 มิลลิลิตร นำไปกลั่นโดยใช้เครื่องควบแน่น (ดังภาพประกอบ 35) เมื่อกลั่นของเหลวใสได้ประมาณ 150 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำอุ่นในขวดเจลดาห์ล และกลั่นต่อจนได้ของเหลวส่วนใสอีก 50 มิลลิลิตร

เตรียมสารละลายมาตรฐานฟีนอลความเข้มข้น 0.001, 0.01, 0.1, 0.5, 1 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร นำของเหลวส่วนใสที่กลั่นได้และสารละลายมาตรฐานฟีนอลทั้งหมดไปปรับพีเอชให้ได้ค่าประมาณ 9.98 $\pm$ 0.02 ด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 5% ใช้ปิเปตดูดสารละลาย 4-อะมิโนแอนติไพรีน 0.2% 1.5 มิลลิลิตร และเติมสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต 0.8% 1.5 มิลลิลิตร ในของเหลวส่วนใสที่ปรับพีเอชแล้ว เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที จนเกิดสี (ดังภาพประกอบ 36) แล้วไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร และคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลโดยเปรียบเทียบกับการดูดกลืนแสงของสารประกอบฟีนอลมาตรฐาน

ภาพประกอบ 35 ขั้นตอนการกลั่นตัวอย่างน้ำก่อนจะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอล

ภาพประกอบ 36 สารละลายมาตรฐานที่ฟอร์มสีแล้วซึ่งใช้เป็นกราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอล

การวิเคราะห์สีของสารตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างในภาชนะแก้วที่สะอาด แล้ววิเคราะห์หาค่าทันทีที่เก็บตัวอย่างมา แต่ถ้าไม่สามารถทำได้จะต้องเก็บไว้ในตู้เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส และนำไปวัดโดยใช้วิธีเปรียบเทียบกับแพลทตินัมโคบอลต์มาตรฐาน (Platinum Cobalt Standard) ได้จากการผสมโพแทสเซียมคลอโรแพลทติเนต(Potassium chloroplatinate, K_2PtCl_6) 1.246 กรัม และผลึกโคบอลตัสคลอไรด์ (Cobaltous chloride, $CoCl_6 . 6H_2O$) ในน้ำกลั่นที่มีกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นอยู่ 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรจนครบ 1 ลิตร เป็นสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นของสีเท่ากับ 500 หน่วยสี (color unit) แล้วนำมาเจือจางให้มีปริมาตร 50 มิลลิลิตร มีความเข้มข้นของสี 5-70 หน่วย ดังตาราง 11

ตาราง 11 การสร้างกราฟมาตรฐานคลอโรแพลทติเนต

มิลลิลิตรของสารละลายมาตรฐานเจือจางให้เป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น	สีในหน่วยคลอโรแพลทติเนต
0.0	0
0.5	5
1.0	10
1.5	15
2.0	20
2.5	25
3.0	30
3.5	35
4.0	40
4.5	45
5.0	50
6.0	60
7.0	70

นำตัวอย่างน้ำมาแยกโดยใช้เครื่องเซนตริฟิวจ์ นำน้ำใสนั้นใส่ลงในหลอดซีโอดี นำไปเปรียบเทียบกับสีของสารละลายมาตรฐานที่เตรียมไว้ ในกรณีที่สีของน้ำมีความเข้มข้นมากจะต้องเจือจางตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นก่อนและคำนวณค่าที่อ่านได้โดยการเทียบสีจากการวัดที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร

การคำนวณ

$$\text{หน่วยสี} = \frac{A \times 50}{V}$$

เมื่อ A = ค่าที่อ่านได้จากการเทียบสี

V = ปริมาตรเป็นมิลลิลิตรของตัวอย่างน้ำทิ้งที่นำมาเจือจาง

การวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids; SS)

ชั่งกระดาษกรอง GF/C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร ที่ผ่านการอบในตู้อบ 103 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมงและทำให้เย็นโดยใส่ในตู้ดูดความชื้น 30 นาที โดยเครื่องชั่งละเอียด 4

ตำแหน่ง นำกระดาษกรองที่ชั่งแล้วนี้ มากรองตัวอย่างน้ำ โดยใช้ปั๊มสูญญากาศที่ทราบปริมาตรน้ำตัวอย่างที่เหมาะสม แต่ถ้าตัวอย่างน้ำสกปรกมากอาจใช้ตัวอย่างน้ำน้อยลง กรองเอาตะกอนสารแขวนลอย แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปล่อยให้แห้งแล้วนำไปอบที่ตู้อบ 103 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง เก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น 30 นาที ชั่งน้ำหนักของแข็งแขวนลอยรวมกับกระดาษกรอง

คำนวณน้ำหนักสารแขวนลอยโดยใช้สูตร

$$SS = \frac{(B - A) \times 10^6}{\text{sample (mL)}}$$

โดย SS = น้ำหนักของสารแขวนลอย (mg/L)

A = น้ำหนักกระดาษกรอง (g)

B = น้ำหนักสารแขวนลอยรวมกับน้ำหนักกระดาษกรอง (g)

ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids; TDS)

อบถ้วยระเหยไปอบในตู้อบ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นโดยใส่ในตู้ดูดความชื้น 30 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก ใช้เครื่องชั่งชนิดละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

กรองตัวอย่างน้ำด้วยกระดาษกรองใยแก้วแล้วใส่ในถ้วยระเหยที่ชั่งแล้ว โดยใช้ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่เหมาะสม นำไปอบที่ตู้อบ 103 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง แล้วนำไปใส่ในตู้ดูดความชื้น 30 นาที ชั่งน้ำหนักถ้วยระเหยรวมกับของแข็งที่ละลายทั้งหมด

$$TDS = \frac{(D - C) \times 10^6}{\text{sample (mL)}}$$

โดย TDS = ค่าของแข็งที่ละลายทั้งหมด ซึ่งมีหน่วยเป็น mg/L

C = น้ำหนักถ้วยระเหย (g)

D = น้ำหนักของแข็งที่ละลายทั้งหมดรวมกับน้ำหนักถ้วยระเหย (g)

การวิเคราะห์ของแข็งทั้งหมด (Total Solids; TS)

TS = SS + TDS

การวิเคราะห์ค่าซีโอดีโดยวิธีกลั่นแบบปิด (Closed Reflux Method)

นำน้ำตัวอย่างหรือตัวอย่างน้ำที่ทำให้เจือจางแล้ว 2.5 มิลลิลิตรผสมกับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต และกรดซัลฟิวริกรีเอเจนต์ในปริมาณที่เหมาะสมดังแสดงในตาราง 12 ลงในหลอดซีโอดี หลังจากเติมสารต่างๆในหลอดซีโอดีครบแล้วทำการรีฟลักซ์โดยให้ความร้อนที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงโดยใช้ฮีตติ้งบล็อกและทำในตู้ควัน เมื่อครบ 2 ชั่วโมงแล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต โดยใช้เฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด จนถึงจุดยุติ สังเกตจากการเปลี่ยนสีน้ำเงินเขียวไปเป็นสีน้ำตาลแดง ทำการทดลองโดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างน้ำ เติมรีเอเจนต์ต่างๆที่ใช้ และทำการรีฟลักซ์เช่นเดียวกับตัวอย่างทุกประการเพื่อเป็นแบลงค์

ตาราง 12 ขนาดของหลอดแก้ว ปริมาตรตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ค่าซีโอดีโดยวิธีกลั่นแบบปิด

ขนาดหลอดแก้ว (มิลลิลิตร)	ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)	สารละลาย $K_2Cr_2O_7$ (มิลลิลิตร)	Sulfuric Reagent (มิลลิลิตร)	ปริมาตรทั้งหมด (มิลลิลิตร)
16 × 100	2.5	1.5	3.5	7.5
20 × 150	5.0	3.0	7.0	15.0
25 × 150	10.0	6.0	14.0	30.0

$$COD(mg/L) = \frac{(a-b)N \times 8{,}000}{\text{sample (mL)}}$$

เมื่อ a = มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรต Blank

b = มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง

N = นอร์มัลลิตี้ของ FAS ที่ใช้

ภาคผนวก ข

ลักษณะน้ำที่ผ่านการบำบัดในการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง

1. น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

1.1 ผลของปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการบำบัดน้ำเสีย

ตาราง 13 ผลของปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในการบำบัดน้ำเสีย

ตัวอย่าง	Phenol (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	pH	Color (Chloroplatinate)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TDS (mg/L)	TS (mg/L)
น้ำเสีย	1.508		8.35	3,300	2,640	2,998	8,283	11,281
A1	1.208	20	8.30	3,374	5,280	1,888	9,783	11,671
A2	0.192	87	8.32	3,370	4,400	3,590	9,017	12,607
A3	0.075	95	8.35	3,368	2,200	3,730	9,433	13,163
A4	0.125	92	8.30	3,350	4,840	3,600	9,150	12,750
A5	0.125	92	8.30	3,456	3,520	3,060	9,533	12,593
A6	1.042	31	8.26	3,446	7,920	3,170	9,500	12,670

หมายเหตุ

A1 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL กวนผสม 15 นาที (ไม่เติมเปอร์ออกซิเดส)

A2 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 0.5 mL บำบัด 15 นาที

A3 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 1 mL บำบัด 15 นาที

A4 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 15 นาที

A5 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 10 mL บำบัด 15 นาที

A6 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 20 mL บำบัด 15 นาที

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตาราง 14 ผลของระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียโดยการเติมเปอร์ออกซิเดส

ตัวอย่าง	Phenol (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	pH	Color (Chloroplatinate)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TDS (mg/L)	TS (mg/L)
น้ำเสีย	1.508		8.35	3,300	2,640	2,998	8,283	11,280
B1	0.669	56	8.31	3,216	2,640	1,420	7,150	8,570
B2	0.434	71	8.23	3,302	2,200	2,740	7,733	10,473
B3	0.552	63	8.21	3,188	3,960	2,500	8,100	10,600
B4	1.200	20	8.27	3,276	880	2,320	7,383	9,603
B5	1.510	0	8.32	3,354	2,640	2,230	8,217	10,447
B5	0.910	40	8.32	3,320	3,080	2,310	7,583	9,893
B6	0.559	63	8.35	3,368	1,760	2,230	8,083	10,313

หมายเหตุ

B1 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 1 mL ตั้งทิ้งไว้เฉยๆ 180 นาที

B2 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 1 mL บำบัด 5 นาที

B3 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 1 mL บำบัด 10 นาที

B4 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 1 mL บำบัด 30 นาที

B5 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 1 mL บำบัด 60 นาที

B6 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 1 mL บำบัด 120 นาที

B7 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 1 mL บำบัด 180 นาที

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตาราง 15 ผลของความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลในการบำบัดน้ำเสียโดยการเติมเปอร์ออกซิเดส

ตัวอย่าง	Phenol (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	pH	Color (Chloroplatinate)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TDS (mg/L)	TS (mg/L)
น้ำเสีย	1.508		8.35	3,300	2,640	2,998	8,283	11,280
C1	0.072	95	8.30[a] 8.37[b]	2,630	7,920	2,910	7,100	10,010
C2	0.046	94	8.38[a] 8.36[b]	1,730	440	760	4,483	5,243
C3	0.043	88	8.48[a] 8.46[b]	983	7,480	345	2,550	2,895
C4	0.039	79	8.58[a] 8.53[b]	280	220	175	1,333	1,508
C5	0.022	77	8.64[a] 8.48[b]	280	44	175	667	842

หมายเหตุ

C1 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 1 mL บำบัด 5 นาที

C2 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 0.754 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 1 mL บำบัด 5 นาที

C3 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 0.377 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 1 mL บำบัด 5 นาที

C4 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 0.188 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 1 mL บำบัด 5 นาที

C5 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 0.094 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 1 mL บำบัด 5 นาที

a คือ ค่าที่วัดได้ก่อนการบำบัด

b คือ ค่าที่วัดได้หลังการบำบัด

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตาราง 16 ผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส

ตัวอย่าง	Phenol (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	pH	Color (Chloroplatinate)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TDS (mg/L)	TS (mg/L)
น้ำเสีย	1.508		8.35	3,300	2,640	2,998	8,283	11,280
D1	0.712	53	8.35	2,670	440	1,170	7,783	8,953
D2	0.629	58	8.37	2,790	880	1,230	7,733	8,963
D3	1.176	22	8.37	2,740	440	1,330	7,317	8,647
D4	0.665	56	8.37	2,710	3,080	1,090	6,833	7,923

หมายเหตุ

D1 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 1 mL บำบัด 5 นาที

D2 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 1 mL + 3% H_2O_2 บำบัด 5 นาที

D3 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 1 mL + 15% H_2O_2 บำบัด 5 นาที

D4 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 1 mL + 30% H_2O_2 บำบัด 5 นาที

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

1.2 ผลของโอโซนในการบำบัดน้ำเสียร่วมกับเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส

ตาราง 17 ผลของระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียโดยการเติมโอโซน

ตัวอย่าง	Phenol (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	pH	Color (Chloroplatinate)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TDS (mg/L)	TS (mg/L)
น้ำเสีย	1.508		8.35	3,300	2,640	2,998	8,283	11,280
E1	0.448	70	8.49	3,062	3,520	1,540	6,950	8,490
E2	0.000	100	8.51	2,784	4,840	2,050	7,683	9,733
E3	0.000	100	8.53	2,562	3,960	2,310	7,633	9,943
E4	0.000	100	8.58	1,952	3,960	3,010	8,350	11,360

หมายเหตุ

E1 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 5 นาที

E2 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 10 นาที

E3 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 15 นาที

E4 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 30 นาที

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตาราง 18 ผลของความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลในการบำบัดน้ำเสียโดยการเติมโอโซน

ตัวอย่าง	Phenol (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	pH	Color (Chloroplatinate)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TDS (mg/L)	TS (mg/L)
น้ำเสีย	1.508		8.35	3,300	2,640	2,998	8,283	11,280
F1	0.067	96	8.97	630	3,960	2,070	7,600	9,670
F2	0.048	94	8.89	297	748	365	3,867	4,232
F3	0.038	90	8.76	147	220	185	2,050	2,235
F4	0.037	80	8.66	90	220	78	1,283	1,361
F5	0.041	56	8.28	57	308	53	650	703

หมายเหตุ

F1 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 120 นาที

F2 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 0.754 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 120 นาที

F3 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 0.377 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 120 นาที

F4 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 0.188 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 120 นาที

F5 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 0.094 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 120 นาที

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตาราง 19 ผลของปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่ใช้ร่วมกับโอโซนในการบำบัดน้ำเสีย

ตัวอย่าง	Phenol (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	pH	Color (Chloroplatinate)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TDS (mg/L)	TS (mg/L)
น้ำเสีย	1.508		8.35	3,300	2,640	2,998	8,283	11,280
G1	0.394	74	9.01	450	1,232	450	8,067	8,517
G2	0.659	56	9.02	460	1,364	525	8,600	9,125
G3	0.594	61	9.02	437	1,320	480	8,867	9,347
G4	0.506	66	9.01	463	1,628	440	4,717	5,157
G5	1.106	27	9.01	460	1,892	500	10,042	10,542
G6	0.735	51	8.94	443	264	450	2,910	3,360

หมายเหตุ

G1 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 120 นาที

G2 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min + เปอร์ออกซิเดส 0.5 mLบำบัด 120 นาที

G3 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min + เปอร์ออกซิเดส 1 mL บำบัด 120 นาที

G4 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 120 นาที

G5 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min + เปอร์ออกซิเดส 10 mL บำบัด 120 นาที

G6 คือ น้ำเสียที่มีสารประกอบฟีนอล 1.508 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min + เปอร์ออกซิเดส 20 mL บำบัด 120 นาที

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

2. น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์

2.1 ผลของปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการบำบัดน้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์

ตาราง 20 ผลของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในการบำบัดน้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์

ตัวอย่าง	Phenol (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	pH	Color (Chloroplatinate)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TDS (mg/L)	TS (mg/L)
น้ำเสีย	10.000		8.23	2,354	1,443	960	4,325	5,285
O1	15.012	-50	8.27	2,390	2,164	830	4,650	5,480
O2	15.621	-56	8.31	2,472	3,447	680	4,725	5,405
O3	15.490	-55	8.33	2,431	5,451	700	4,375	5,075
O4	14.487	-45	8.20	1,974	1,323	780	4,575	5,355
O5	15.067	-51	8.19	2,800	1,523	620	4,650	5,270
O6	14.725	-47	8.08	2,349	2,565	720	4,025	4,745

หมายเหตุ

O1 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL กวนผสม 15 นาที

O2 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 0.5 mL บำบัด 15 นาที

O3 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์)ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 1 mL บำบัด 15 นาที

O4 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์)ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 15 นาที

O5 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์)ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 10 mL บำบัด 15 นาที

O6 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์)ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 20 mL บำบัด 15 นาที

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตาราง 21 ผลของระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์โดยการเติมเปอร์ออกซิเดส

ตัวอย่าง	Phenol (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	pH	Color (Chloroplatinate)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TDS (mg/L)	TS (mg/L)
น้ำเสีย	10.000		8.23	2,354	1,443	960	4,325	5,285
P1	13.599	-36	8.28	2,025	1,122	530	4,625	5,155
P2	11.165	-12	8.28	2,390	1,643	465	4,700	5,165
P3	12.245	-24	8.27	2,297	1,723	545	4,687	5,232
P4	8.658	13	8.27	1,949	561	500	4,600	5,100
P5	10.130	-1	8.29	2,133	2,204	450	5,052	5,475
P6	14.094	-41	8.34	2,605	802	505	4,300	4,805
P7	13.818	-38	8.42	2,220	2,806	555	4,925	1,050

หมายเหตุ

P1 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL ตั้งทิ้งไว้เฉยๆ 180 นาที

P2 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 5 นาที

P3 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 10 นาที

P4 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 30 นาที

P5 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 60 นาที

P6 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 120 นาที

P7 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 180 นาที

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตาราง 22 ผลของความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลในการบำบัดน้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์โดยการเติมเปอร์ออกซิเดส

ตัวอย่าง	Phenol (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	pH	Color (Chloroplatinate)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TDS (mg/L)	TS (mg/L)
น้ำเสีย	10.000		8.23	2,354	1,443	960	4,325	5,285
Q1	16.379	-64	8.35[a] 8.29[b]	2,267	1,002	420	4,925	5,345
Q2	8.357	-67	8.42[a] 8.34[b]	2,467	802	610	5,800	6,410
Q3	3.962	-58	8.56[a] 8.31[b]	1,174	40	325	3,225	3,550
Q4	1.985	-59	8.66[a] 8.21[b]	292	3,407	165	1,725	1,890
Q5	0.933	-49	8.69[a] 7.90[b]	359	1,603	110	1,075	1,185

หมายเหตุ

Q1 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 60 นาที

Q2 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 5 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 60 นาที

Q3 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 2.5 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 60 นาที

Q4 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 1.25 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 60 นาที

Q5 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 0.625 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 60 นาที

a คือ ค่าที่วัดได้ก่อนบำบัด

b คือ ค่าที่วัดได้หลังบำบัด

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตาราง 23 ผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการบำบัดน้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส

ตัวอย่าง	Phenol (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	pH	Color (Chloroplatinate)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TDS (mg/L)	TS (mg/L)
น้ำเสีย	10.000		8.23	2,354	1,443	960	4,325	5,285
R1	15.182	-52	8.09	2,277	601	540	4,525	5,065
R2	15.439	-54	8.11	2,472	1,282	525	4,450	4,975
R3	15.569	-56	8.14	1,754	2,204	535	4,400	4,935
R4	13.362	-34	8.16	1,933	1,178	500	4,675	5,175

หมายเหตุ

R1 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 60 นาที

R2 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL + 3% H_2O_2 บำบัด 60 นาที

R3 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL + 15% H_2O_2 บำบัด 60 นาที

R4 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL + 30% H_2O_2 บำบัด 60 นาที

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

1.2 ผลของโอโซนในการบำบัดน้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์ร่วมกับเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส

ตาราง 24 ผลของระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์โดยการเติมโอโซน

ตัวอย่าง	Phenol (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	pH	Color (Chloroplatinate)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TDS (mg/L)	TS (mg/L)
น้ำเสีย	10.000		8.23	2,354	1,443	960	4,325	5,285
S1	11.442	-14	8.35	1,656	954	415	5,075	5,490
S2	3.431	66	8.39	1,508	541	370	4,625	4,995
S3	1.435	86	8.41	1,467	1,010	385	4,325	4,710
S4	0.190	98	8.58	933	906	335	4,250	4,585
S5	0.048	99	8.53	374	645	270	5,025	5,295
S6	0.037	99	8.97	2,491	573	130	4,650	4,780
S7	0.052	99	8.93	2,431	477	275	3,975	4,250

หมายเหตุ

S1 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 5 นาที

S2 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 10 นาที

S3 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 15 นาที

S4 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 30 นาที

S5 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 60 นาที

S6 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 120 นาที

S7 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 180 นาที

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตาราง 25 ผลของความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลในการบำบัดน้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์โดยการเติมโอโซน

ตัวอย่าง	Phenol (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	pH	Color (Chloroplatinate)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TDS (mg/L)	TS (mg/L)
น้ำเสีย	10.000		8.23	2,354	1,443	960	4,325	5,285
T1	0.037	99	8.97	2,491	573	130	4,650	4,780
T2	0.293	94	8.89	2,480	625	345	6,425	6,770
T3	0.436	82	8.82	2,474	365	130	3,875	4,005
T4	0.000	100	8.50	2,328	112	55	1,475	1,530
T5	0.000	100	8.03	2,387	120	30	800	830

หมายเหตุ

T1 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 120 นาที

T2 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 5 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 120 นาที

T3 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 2.5 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 120 นาที

T4 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 1.25 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 120 นาที

T5 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 0.625 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 120 นาที

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตาราง 26 ผลของปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่ใช้ร่วมกับโอโซนในการบำบัดน้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์

ตัวอย่าง	Phenol (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	pH	Color (Chloroplatinate)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TDS (mg/L)	TS (mg/L)
น้ำเสีย	10.000		8.23	2,354	1,443	960	4,325	5,285
U1	0.037	99	8.97	24,913	573	130	4,650	4,780
U2	0.116	99	8.91	24,497	649	132	4,600	4,732
U3	0.302	97	8.96	23,702	742	202	4,975	5,177
U4	0.311	97	8.63	24,497	1,150	180	4,800	4,980
U5	0.000	100	8.88	23,985	922	182	4,925	5,107
U6	0.000	100	8.81	24,733	1,423	178	5,125	5,303

หมายเหตุ

U1 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 120 นาที

U2 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min + เปอร์ออกซิเดส 0.5 mL บำบัด 120 นาที

U3 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min + เปอร์ออกซิเดส 1 mL บำบัด 120 นาที

U4 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 120 นาที

U5 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min + เปอร์ออกซิเดส 10 mL บำบัด 120 นาที

U6 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียผสมน้ำเสียสังเคราะห์) ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min + เปอร์ออกซิเดส 20 mL บำบัด 120 นาที

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

3. น้ำเสียสังเคราะห์

3.1 ผลของปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์

ตาราง 27 ผลของปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์

ตัวอย่าง	Phenol (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	pH	Color (Chloroplatinate)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TDS (mg/L)	TS (mg/L)
น้ำเสีย	10.000		5.50	NA	20	NA	NA	NA
H1	18.800	-88	7.33	NA	264	NA	NA	NA
H2	17.963	-80	6.59	NA	120	NA	NA	NA
H3	17.821	-78	6.11	NA	140	NA	NA	NA
H4	17.064	-71	6.08	NA	381	NA	NA	NA
H5	18.065	-81	5.70	NA	581	NA	NA	NA
H6	17.140	-71	5.87	NA	1,182	NA	NA	NA

หมายเหตุ

H1 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL กวนผสม 15 นาที

H2 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 0.5 mL บำบัด 15 นาที

H3 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 1 mL บำบัด 15 นาที

H4 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 15 นาที

H5 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 10 mL บำบัด 15 นาที

H6 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 20 mL บำบัด 15 นาที

NA คือ ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตาราง 28 ผลของระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยการเติมเปอร์ออกซิเดส

ตัวอย่าง	Phenol (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	pH	Color (Chloroplatinate)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TDS (mg/L)	TS (mg/L)
น้ำเสีย	10.000		5.50	NA	20	NA	NA	NA
I1	15.516	-55	5.60	NA	329	NA	NA	NA
I2	13.485	-35	5.93	NA	353	NA	NA	NA
I3	14.623	-46	5.96	NA	301	NA	NA	NA
I4	14.901	-49	5.95	NA	401	NA	NA	NA
I5	14.450	-44	6.02	NA	301	NA	NA	NA
I6	15.249	-52	6.06	NA	321	NA	NA	NA
I7	16.741	-67	5.76	NA	280	NA	NA	NA

หมายเหตุ

I1 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL ตั้งทิ้งไว้เฉยๆ 180 นาที

I2 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 5 นาที

I3 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 10 นาที

I4 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 30 นาที

I5 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 60 นาที

I6 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 120 นาที

I7 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 180 นาที

NA คือ ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตาราง 29 ผลของความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยการเติมเปอร์ออกซิเดส

ตัวอย่าง	Phenol (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	pH	Color (Chloroplatinate)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TDS (mg/L)	TS (mg/L)
น้ำเสีย	10.000		5.50	NA	20	NA	NA	NA
J1	14.835	-48	5.63	NA	373	NA	NA	NA
J2	7.502	-50	5.70	NA	325	NA	NA	NA
J3	4.290	-72	5.65	NA	597	NA	NA	NA
J4	2.106	-68	5.69	NA	717	NA	NA	NA
J5	0.920	-47	5.71	NA	280	NA	NA	NA

หมายเหตุ

J1 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 5 นาที

J2 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 5 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 5 นาที

J3 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 2.5 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 5 นาที

J4 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 1.25 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 5 นาที

J5 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 0.625 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 5 นาที

NA คือ ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตาราง 30 ผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส

ตัวอย่าง	Phenol (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	pH	Color (Chloroplatinate)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TDS (mg/L)	TS (mg/L)
น้ำเสีย	10.000		5.50	NA	20	NA	NA	NA
K1	14.155	-42	5.78	NA	280	NA	NA	NA
K2	15.054	-50	5.78	NA	381	NA	NA	NA
K3	15.073	-51	5.66	NA	280	NA	NA	NA
K4	13.309	-33	5.67	NA	513	NA	NA	NA

หมายเหตุ

K1 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 5 นาที

K2 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL + 3% H_2O_2 บำบัด 5 นาที

K3 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL + 15% H_2O_2 บำบัด 5 นาที

K4 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + เปอร์ออกซิเดส 5 mL + 30% H_2O_2 บำบัด 5 นาที

NA คือ ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

3.2 ผลของโอโซนในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ร่วมกับเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส

ตาราง 31 ผลของระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยการเติมโอโซน

ตัวอย่าง	Phenol (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	pH	Color (Chloroplatinate)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TDS (mg/L)	TS (mg/L)
น้ำเสีย	10.000		5.50	NA	20	NA	NA	NA
L1	11.638	-16	3.90	NA	120	NA	NA	NA
L2	10.412	-4	4.38	NA	60	NA	NA	NA
L3	9.818	2	3.86	NA	40	NA	NA	NA
L4	6.326	37	3.51	NA	40	NA	NA	NA
L5	1.480	85	3.71	NA	40	NA	NA	NA
L6	0.014	99	2.87	NA	108	NA	NA	NA
L7	0.016	99	3.01	NA	208	NA	NA	NA

หมายเหตุ

L1 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 5 นาที

L2 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 10 นาที

L3 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 15 นาที

L4 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 30 นาที

L5 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 60 นาที

L6 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 120 นาที

L7 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 180 นาที

NA คือ ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตาราง 32 ผลของความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยการเติมโอโซน

ตัวอย่าง	Phenol (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	pH	Color (Chloroplatinate)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TDS (mg/L)	TS (mg/L)
น้ำเสีย	10.000		5.50	NA	20	NA	NA	NA
M1	0.014	99	2.87	NA	108	NA	NA	NA
M2	0.106	98	3.07	NA	385	NA	NA	NA
M3	0.228	91	3.17	NA	12	NA	NA	NA
M4	0.078	94	4.62	NA	16	NA	NA	NA
M5	0.297	52	3.23	NA	32	NA	NA	NA

หมายเหตุ

M1 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 120 นาที

M2 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 5 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 120 นาที

M3 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 2.5 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 120 นาที

M4 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 1.25 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 120 นาที

M5 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 0.625 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 120 นาที

NA คือ ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตาราง 33 ผลของปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่ใช้ร่วมกับโอโซนในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์

ตัวอย่าง	Phenol (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	pH	Color (Chloroplatinate)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TDS (mg/L)	TS (mg/L)
น้ำเสีย	10.000		5.50	NA	20	NA	NA	NA
N1	0.014	99	2.87	NA	108	NA	NA	NA
N2	0.147	98	3.26	NA	24	NA	NA	NA
N3	0.082	99	3.16	NA	84	NA	NA	NA
N4	0.802	92	3.45	NA	325	NA	NA	NA
N5	1.396	86	3.73	NA	585	NA	NA	NA
N6	2.961	70	4.07	NA	946	NA	NA	NA

หมายเหตุ

N1 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min บำบัด 120 นาที

N2 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min + เปอร์ออกซิเดส 0.5 mL บำบัด 120 นาที

N3 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min + เปอร์ออกซิเดส 1 mL บำบัด 120 นาที

N4 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min + เปอร์ออกซิเดส 5 mL บำบัด 120 นาที

N5 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min + เปอร์ออกซิเดส 10 mL บำบัด 120 นาที

N6 คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบฟีนอลรวม 10 mg/L 500 mL + O_3 4 L/min + เปอร์ออกซิเดส 20 mL บำบัด 120 นาที

NA คือ ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณ

1. อัตราการไหลของน้ำเสียและเอนไซม์ปอร์ออกซิเดสในการเดินระบบ CSTR

$Q = V / t$; Q = อัตราการไหล

V = ปริมาตรของน้ำ

t = ระยะเวลา

จากการทดลองแบบ batch พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย 500 มิลลิลิตร ใช้เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส 10 มิลลิลิตร บำบัดเป็นเวลา 15 นาที ดังนั้นในการออกแบบระบบ CSTR ที่มีถังปฏิกรณ์ขนาด 5 ลิตร จะมีอัตราการไหลดังนี้

$Q = (5\ L) / (15\ min)$

$= 1\ L / 3\ min$

$= 20\ L / hr$

ดังนั้น อัตราการไหลในถังปฏิกรณ์เท่ากับ 20 ลิตรต่อชั่วโมง

น้ำเสีย 500 mL ใช้อัตราการไหลของเปอร์ออกซิเดส 1 mL บำบัดเป็นเวลา 15 นาที

น้ำเสีย 5,000 mL ใช้อัตราการไหลของเปอร์ออกซิเดส

$= (1\ mL / 15\ min)(5{,}000\ mL / 500\ mL)$

$= 10\ mL / 15\ min$

$= 2\ mL / 3\ min$

อัตราการหยดเปอร์ออกซิเดส $= 40\ mL / hr$

2. ต้นทุนการสกัดเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส

การสกัดเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ต้องเตรียม 0.1 M Tris-HCl + 0.1 mM EDTA pH 7.5 วิธีการเตรียมดูได้ในภาคผนวก ก การเตรียมบัฟเฟอร์ที่ใช้สกัดเปอร์ออกซิเดส ปริมาตร 1 ลิตร ใช้ Tris(hydroxymethyl)aminomethane 12.11 กรัม และ EDTA 0.0372 กรัม

ราคาของ Tris-HCl และ EDTA ขนาด 500 กรัม คือ 1,800 และ 750 บาท ตามลำดับ

ค่าใช้จ่ายสารเคมี = (12.11 g) (1,800 บาท / 500 g) + (0.0372 g) (750 บาท / 500 g)

= 43.596 + 0.056 บาท

= 43.652 บาท

≈ 43.65 บาท

บัฟเฟอร์ที่ใช้สกัดเปอร์ออกซิเดส ปริมาตร 1 ลิตร สกัดเปอร์ออกซิเดส (crude enzyme) ได้ 916 มิลลิลิตร

ดังนั้น ต้นทุนการสกัดเปอร์ออกซิเดสต่อมิลลิลิตรของสารสารสกัดหยาบเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส = (43.65 บาท) / (916 mL)

= 0.048 บาท / mL

≈ 0.05 บาท / mL

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมสารสกัดหยาบเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส มีดังนี้

เครื่องหมุนเหวี่ยง 6.6 kw

เครื่องปั่นน้ำผลไม้ 0.3 kw

ใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงเป็นเวลา 1 ชั่วโมง = (6.6 kw) (1 hr)

= 6.6 unit

ใช้เครื่องปั่นน้ำผลไม้เป็นเวลา 10 นาที = (0.3 kw) (1/6 hr)

= 0.05 unit

ดังนั้น ค่าไฟ = (6.6 + 0.05 unit) (2.43 บาท / unit) / (916 mL)

= 0.018 บาท / mL

≈ 0.02 บาท / mL

รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสกัดเปอร์ออกซิเดสต่อมิลลิลิตร

= 0.02 + 0.05 บาท / mL

≈ 0.07 บาท / mL

3. ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียด้วยการเติมโอโซน

เครื่องเติมโอโซน 0.018 kw บำบัดน้ำเสีย 500 มิลลิลิตร เป็นเวลา 10 นาที

ค่าไฟ = (2.43 บาท / unit) (0.018 kw) (1/6 hr)

= 0.007 บาท

คิดเป็นต้นทุนการบำบัดน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร โดยการเติมโอโซน

= (0.007 บาท / 0.5 L) (1,000 L)

= 14 บาท

5. ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบ CSTR

Magnetic Stirer 0.019 kw , ปั๊มสูบน้ำ 0.018 kw บำบัดน้ำทิ้ง 140 ลิตรเป็นเวลา 7 ชั่วโมง

ค่าไฟ = (2.43 บาท / unit) (0.019 + 0.018 kw) (7 hr)

= 0.629 บาท

คิดเป็นต้นทุนการบำบัดน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร ด้วยระบบ CSTR

= (0.629 บาท / 140 L) (1,000 L) +

(0.07 บาท / 1 mL peroxidase) (280 mL peroxidase / 140 L) (1,000 L)

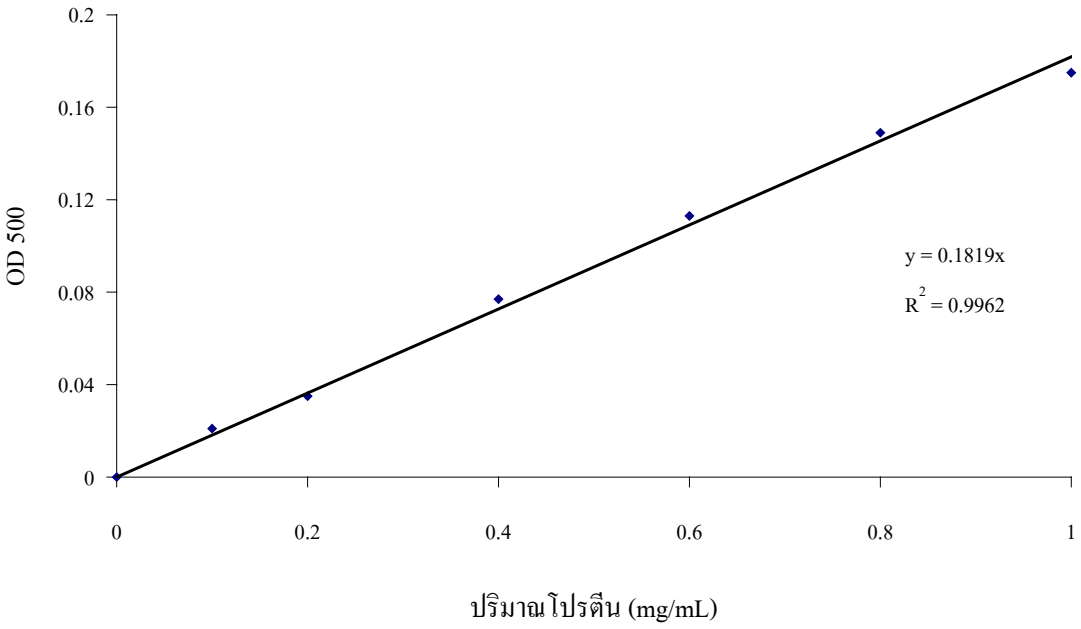
= 4.49 + 140 บาท

= 144.49 บาท

ภาคผนวก ง

กราฟมาตรฐาน

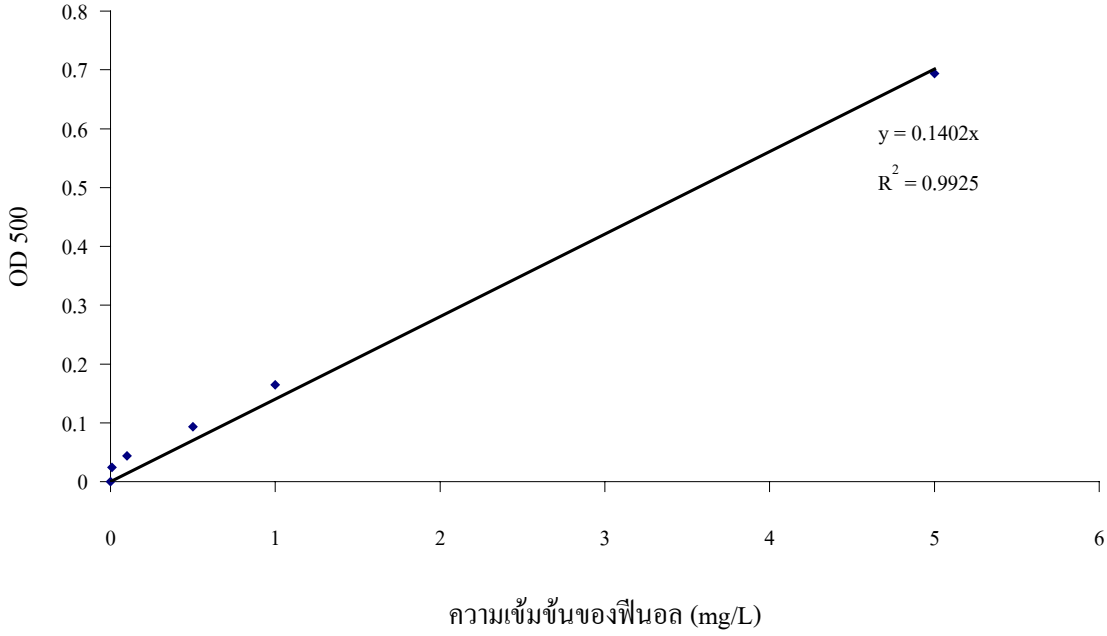
1. กราฟมาตรฐานโปรตีน



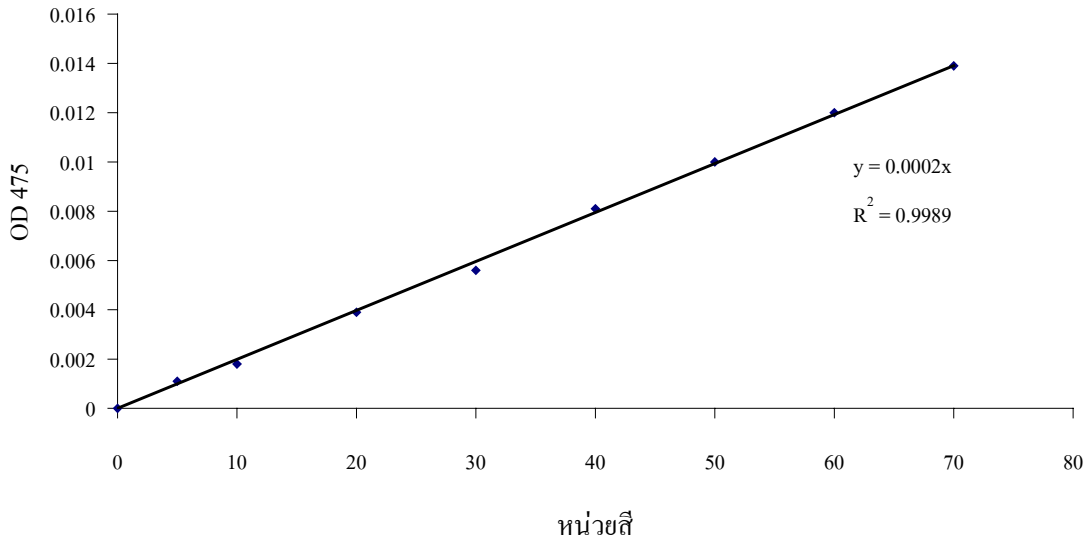
ภาพประกอบ 37 กราฟมาตรฐานโปรตีน

2. กราฟมาตรฐานสารประกอบฟีนอล

ภาพประกอบ 38 กราฟมาตรฐานสารประกอบฟีนอล



3. กราฟมาตรฐานความเข้มของสี



ภาพประกอบ 39 กราฟมาตรฐานความเข้มของสี

ภาคผนวก จ

มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม

1/ การแบ่งประเภทแหล่งผิวดิน

ประเภทที่ 1 ได้แก่ แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน

(2) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน

(3) การอนุรักษ์ระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ

ประเภทที่ 2 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(2) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ

(3) การประมง

(4) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ

ประเภทที่ 3 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(2) การเกษตร

ประเภทที่ 4 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน

(2) การอุตสาหกรรม

ประเภทที่ 5 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็ประโยชน์เพื่อการคมนาคม

2/ กำหนดค่ามาตรฐานเฉพาะในแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 สำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามธรรมชาติ และแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ไม่กำหนดค่า

3/ ค่า DO เป็นเกณฑ์มาตรฐานต่ำสุด

ธ เป็นไปตามธรรมชาติ

ธ' อุณหภูมิของน้ำจะต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติ เกิน 3 องศาเซลเซียส

* น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

มาตรฐานและวิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ตาราง 34 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ลำดับ	คุณภาพน้ำ[2/]	ค่าทางสถิติ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุด[3/] ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์ [1/]				
				ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5
1.	สี กลิ่นและรส (Colour, Odour and Taste)		-	ธ	ธ'	ธ'	ธ'	-
2.	อุณหภูมิ (Temperature)		°ซ	ธ	ธ'	ธ'	ธ'	-
3.	ความเป็นกรดและด่าง (pH)		-	ธ	5.0-9.0	5.0-9.0	5.0-9.0	-
4.	ออกซิเจนละลาย (DO)[3/]	P20	มก/ล	ธ	6.0	4.0	2.0	-
5.	บีโอดี (BOD)	P80	มก/ล	ธ	1.5	2.0	4.0	
6.	แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)	P80	เอ็ม.พี.เอ็น/ 100 มล.	ธ	5,000	20,000	-	-
7.	แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria)	P80	เอ็ม.พี.เอ็น/ 100 มล.	ธ	1,000	4,000	-	-
8.	ไนเตรต (NO_3) ในหน่วยไนโตรเจน		มก./ล	ธ	5.0	5.0	5.0	-
9.	แอมโมเนีย (NH_3) ในหน่วยไนโตรเจน		มก./ล	ธ	0.5	0.5	0.5	-
10.	ฟีนอล (Phenols)		มก./ล	ธ	0.005	0.005	0.005	-
11.	ทองแดง (Cu)		มก./ล	ธ	0.1	0.1	0.1	-
12.	นิกเกิล (Ni)		มก./ล	ธ	0.1	0.1	0.1	-
13.	แมงกานีส (Mn)		มก./ล	ธ	1.0	1.0	1.0	-
14.	สังกะสี (Zn)		มก./ล	ธ	1.0	1.0	1.0	-
15.	แคดเมียม (Cd)		มก./ล	ธ	0.005* 0.05**	0.005* 0.05**	0.005* 0.05**	-

ลำดับ	คุณภาพน้ำ[2/]	ค่าทางสถิติ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุด[3/] ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์ [1/]				
				ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5
16.	โครเมียมชนิดเฮ็กซาวาเล้นท์ (Cr Hexavalent)		มก/ล	ธ	0.05	0.05	0.05	-
17.	ตะกั่ว (Pb)		มก/ล	ธ	0.05	0.05	0.05	-
18.	ปรอททั้งหมด (Total Hg)		มก/ล	ธ	0.002	0.002	0.002	-
19.	สารหนู (As)		มก/ล	ธ	0.01	0.01	0.01	-
20.	ไซยาไนด์ (Cyanide)		มก/ล	ธ	0.005	0.005	0.005	-
21.	กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity)							
	- ค่ารังสีแอลฟา (Alpha)		เบคเคอเรล/ล.	ธ	0.1	0.1	0.1	-
	- ค่ารังสีเบตา (Beta)		เบคเคอเรล/ล.	ธ	1.0	1.0	1.0	-
22.	สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนทั้งหมด (Total Organochlorine Pesticides)		มก./ล.	ธ	0.05	0.05	0.05	-
23.	ดีดีที (DDT)		ไมโครกรัม/ล.	ธ	1.0	1.0	1.0	-
24.	บีเอชซีชนิดอัลฟา (Alpha – BHC)		ไมโครกรัม/ล.	ธ	0.02	0.02	0.02	-
25.	ดิลดริน (Dieldrin)		ไมโครกรัม/ล.	ธ	0.1	0.1	0.1	-
26.	อัลดริน (Aldrin)		ไมโครกรัม/ล.	ธ	0.1	0.1	0.1	-
27.	เฮปตาคลอร์และเฮปตาคลออีปอกไซด์ (Heptachor & Heptachlor epoxide)			ธ	0.2	0.2	0.2	-
28.	เอนดริน (Endrin)			ธ	ไม่สามารถตรวจพบได้ตามวิธีการตรวจสอบที่กำหนด			-

แหล่งที่มาของข้อมูล : ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 111 ตอนที่ 16 ง ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537

2/ กำหนดค่ามาตรฐานเฉพาะในแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 สำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามธรรมชาติ และแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ไม่กำหนดค่า

3/ ค่า DO เป็นเกณฑ์มาตรฐานต่ำสุด

ธ เป็นไปตามธรรมชาติ

ธ' อุณหภูมิของน้ำจะต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติ เกิน 3 องศาเซลเซียส

* น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

** น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

'ซ องศาเซลเซียส

P20 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทลที่ 20 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

P80 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทลที่ 80 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

มก./ล. มิลลิกรัมต่อลิตร มล.มิลลิลิตร

MPN เอ็ม.พี.เอ็น หรือ Most Probable Number

มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 35 มาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมปี 2539

ลักษณะน้ำทิ้ง	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	หมายเหตุ
1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	5.5-9.0	*น้ำทิ้งซึ่งระบายจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีความเค็มมากกว่า 2,000 มก./ล. ค่าทีดีเอสจะมีค่ามากกว่าทีดีเอส ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5,000 มก./ล.
2. ทีดีเอส (Total Dissolved Soldis)	มก./ล.	ไม่มากกว่า 3,000 มก./ล. หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมแต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มก./ล.	
3. สารแขวนลอย (Suspended Solids)	มก./ล.	ไม่มากกว่า 50 มก./ล. หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนด ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้งแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมแต่ไม่มากกว่า 150 มก./ล.	

ลักษณะน้ำทิ้ง	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	หมายเหตุ
4. โลหะหนัก			
- ปรอท	มก./ล.	ไม่มากกว่า 0.005	
- เซเลเนียม	มก./ล.	ไม่มากกว่า 0.02	
- แคดเมียม	มก./ล.	ไม่มากกว่า 0.03	
- ตะกั่ว	มก./ล.	ไม่มากกว่า 0.2	
- อาร์เซนิค	มก./ล.	ไม่มากกว่า 0.25	
- โครเมียม		-	
Hexavalent chromium	มก./ล.	ไม่มากกว่า 0.25	
Trivalent Chromium	มก./ล.	ไม่มากกว่า 0.75	
- แบเรียม	มก./ล.	ไม่มากกว่า 1.0	
- นิเกิล	มก./ล.	ไม่มากกว่า 1.0	
- ทองแดง	มก./ล.	ไม่มากกว่า 2.0	
- สังกะสี	มก./ล.	ไม่มากกว่า 5.0	
- แมงกานีส	มก./ล.	ไม่มากกว่า 5.0	
5. ซัลไฟด์	มก./ล. คิดเป็น H_2S	ไม่มากกว่า 1	
6. ไซยาไนด์	มก./ล. คิดเป็น HCN	ไม่มากกว่า 0.2	
7. ฟอร์มัลดีไฮด์	มก./ล.	ไม่มากกว่า 1	
8. สารประกอบฟีนอล	มก./ล.	ไม่มากกว่า 1	
9. คลอรีนอิสระ	มก./ล.	ไม่มากกว่า 1	
10. เพสติไซด์ (Pesticide)	มก./ล.	ต้องไม่มี	
11. อุณหภูมิ	เซลเซียส	ไม่มากกว่า 40	
12. สี	-	ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	
13. กลิ่น	-	ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	
14. น้ำมันและไขมัน (Grease and Oil)	มก./ล.	ไม่มากกว่า 5 มก./ล. หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานแต่ต้องไม่มากกว่า 15 มก./ล.	

ลักษณะน้ำทิ้ง	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	หมายเหตุ
15. บีโอดี (BOD_5)	มก./ล.	ไม่มากกว่า 20 มก./ล. หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม แต่ต้องไม่มากกว่า 60 มก./ล.	
16. ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen)	มก./ล.	ไม่มากกว่า 100 มก./ล. หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม แต่ต้องไม่มากกว่า 200 มก./ล.	
17. ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand)	มก./ล.	ไม่มากกว่า 120 มก./ล. หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม แต่ต้อง ไม่มากกว่า 400 มก./ล.	

ตารางที่ 36 วิธีการตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานปี 2539

ตัวแปรคุณภาพน้ำที่ตรวจสอบ	วิธีการตรวจสอบ
1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำซึ่งมีชื่อเรียกว่า pH meter
2. ค่าของแข็งละลายได้ทั้งหมด (TDS)	ใช้วิธีการระเหยแห้ง ระหว่างอุณหภูมิ 103-105 ^{o}C เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง
3. ค่าสารแขวนลอย	ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว(Glass Fibre Filter Disc)
4. ค่าโลหะหนัก	
- สังกะสี โครเมียม ทองแดง แคดเมียม แบเรียม ตะกั่ว นิเกิล และแมงกานีส	ใช้วิธีอะตอมมิค แอบซอฟชั่น สเปคโตรโฟโตเมตตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิด Direct Aspiration หรือ ใช้วิธีพลาสม่า อิมิสชั่นสเปคโตรสโคบี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
- อาร์เซนิค และเซเลเนียม	ใช้วิธีอะตอมมิค แอบซอฟชั่น สเปคโตรโฟโตเมตตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิด Hydride Generation หรือใช้วิธีพลาสม่า อิมิสชั่นสเปคโตรสโคบี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
- ปรอท	ใช้วิธีอะตอมมิคแอบซอฟชั่น โคลด์ เวเปอร์ เทคนิค (Atomic Absorption Cold Vapour Technique)
5. ค่าซัลไฟด์	ใช้วิธีการไตเตรท (Titrate)
6. ค่าไซยาไนด์	ใช้วิธีกลั่นและตามด้วยวิธีไพริดีน บาร์บิทูริคแอซิด (Pyridine Barbituric Acid)

ตัวแปรคุณภาพน้ำที่ตรวจสอบ	วิธีการตรวจสอบ
7. ค่าฟอร์มาลดีไฮด์	ใช้วิธีเทียบสี (Spectrophotometry)
8. ค่าสารประกอบฟีนอล	ใช้วิธีกลั่น และตามด้วยวิธี 4-อะมิโนแอนติไพรีน (4-Aminoantipyrine)
9. ค่าคลอรีนอิสระ	ใช้วิธีไอโอโดเมตริก (Iodometric Method)
10. อุณหภูมิ	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ โดยวัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ
11. ค่าน้ำมันและไขมัน	ใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน
12. ค่าบีโอดี (BOD)	ใช้วิธีอะไซด์ โมดิฟิเคชั่น (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ 20 ^{O}C เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน หรือใช้วิธีการอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมให้ความเห็นชอบ
13. ค่าทีเคเอ็น (TKN)	ใช้วิธีเจลดาห์ล (Kjeldahl)
14. ค่าซีโอดี (COD)	ใช้วิธีย่อยสลาย โดยโปตัสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate Digestion)

แหล่งที่มา : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) วันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่องกำหนดมาตรฐานการควบคุมระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ง ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539