



รายการอ้างอิง

- [1]. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 2544. อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.oie.go.th/industrystatus1/r_JulSep44/JulSep44_72.doc.
- [2]. North Carolina Division of Pollution Prevention and Environmental Assistance. 1996. Water efficiency industry specific process[Online]. Available from: <http://www.p2pays.org/ref/04/03105.pdf>.
- [3]. Techni Waterjet Co. Ltd. 2004. Water jet loom machine[Online]. Available from: <http://www.techjet.com.au/how.html>.
- [4]. อัจฉราพร ไสละสูต. ความรู้เรื่องผ้า. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.
- [5]. มณฑา จันทรเกตุเลียด. วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร : สมาคมคห-เศรษฐศาสตร์ประเทศไทย, 2541.
- [6]. Song Z., Williams C.J. and Edyvean R.G.J. Sedimentation of tannery wastewater. Water Research 34 (7 2000):2171 – 2176.
- [7]. Ahn D.H., Chung Y.C., Yoo Y.J., Pak D.W. and Chang W.S. Improved treatment of tannery wastewater using Zoogloea ramigera and its extracellular polymer in an activated sludge process. Biotechnology Letters 18 (8 1996):917 – 922.
- [8]. Vijayaraghvan, K. and Murthy, D.V.S., Effect of toxic substances in anaerobic treatment of tannery wastewater. Bioprocess Engineering 16 (3 1997):151 - 155.
- [9]. Wiemann M., Schenk, H. and Hegemann W. Anaerobic treatment of tannery wastewater with simultaneous sulphide elimination. Water Research 32 (1998):774-780.
- [10]. Panswad T., Chavalparit O., Chandung C. and Anotai J. Economic considerations of chromium recovery form tanning wastewater. Waste Management & Research 19 (2001):450 - 455.
- [11]. Song Z., Williams C.J. and Edyvean R.G.J. Treatment of tannery wastewater by chemical coagulation. Desalination 164 (3 2004):249 - 259.

- [12]. เกียรติ พงษ์ชาติ. เอกสารประกอบการสอนวิชาเคมีไฟฟ้าประยุกต์. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [13]. Hunsom M. 2001. Recovery of copper, chromium and nickel from electroplating effluent by electrochemical technique. A Dissertation of Doctor of Philosophy in Chemical Technology, Department of chemical technology, Faculty of Science, Chulalongkorn university, Bangkok, Thailand.
- [14]. Chen G. Electrochemical technologies in wastewater treatment. Separation and Purification Technology 38 (2004):11 - 44.
- [15]. Hunsom M., Pruksathorn K., Damronglerd S., Vergnes H. and Duverneuil P. Electrochemical treatment of heavy metals (Cu^{2+} , Cr^{6+} , Ni^{2+}) from industrial effluent and modeling of copper reduction. Water Research 39 (2005):610 - 616.
- [16]. Israilides C.J., Vlyssides A.G., Mourafeti V.N. and Karvouni G. Olive oil wastewater treatment with the use of an electrolysis system. Bioresource Technology 61 (1997):163 - 170.
- [17]. Kobya M., Can O.T. and Bayramoglu M. Treatment of textile wastewater by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. Journal of Hazardous Materials 100 (2003): 189 - 199.
- [18]. Mollah M.Y.A., Schennach R., Parga J. R. and Cocke D. L. Electrocoagulation (EC) - science and applications. Journal of Hazardous Materials 84 (2001):29 - 41
- [19]. G Laure O., Vorobiev E., Vu C. and Durand B. Electrocoagulation and coagulation by iron of latex particles in aqueous suspensions. Separation and Purification Technology 31 (2003):177 - 192.
- [20]. Muruganathan M., Bhaskar R.G. and Prabhakar S. Removal of sulfide, sulfate and sulfite ions by electro coagulation. Journal of Hazardous Materials 109 (2004):34 - 44.
- [21]. Mollah M.Y.A., Morkovsky P., Gomes J.A.G., Kesmez M., Parga J. and Cocke D.L. Fundamentals, present and future perspective of electrocoagulation. Journal of Hazardous Materials 114 (3 2004):189 - 199.

- [22]. คังกรม์ คงเจาะ. การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังในเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2548.
- [23]. Inan H., Dimoglo A., Simsek H. and Karpuzcu M. Olive oil mill wastewater treatment by means of electro-coagulation . Separation and Purification Technology 36 (1 2004): 23-31.
- [24]. Xu X. and Zhu X. 2004. Treatment of refractory oily wastewater by electro - coagulation process. Chemosphere 56, 10:889 – 894.
- [25]. Murugananthan M., Bhaskar R.G. and Prabhakar S. Separation of pollutants from tannery effluents by electro flotation. Separation and Purification Technology 40 (1 2004):69 - 75.
- [26]. Jiantuan G., Jiuhi Q., Pengju L. and Huijuan L. New bipolar electrocoagulation –electroflotation process for the treatment of laundry wastewater. Separation and Purification Technology 36 (1 2004):33-39.
- [27]. Zhang H., Zhang D. and Zhou J. Removal of COD from landfill leachate by electro-Fenton method. Journal of Hazardous Materials 135 (2005):106-111.
- [28]. Levenspiel O., 1999. Chemical reaction engineering. 3rd edition : John Wiley & Sons, 13-47.
- [29]. Faisal M., Unno H., Kinetic analysis of palm oil mill wastewater treatment by a modified anaerobic baffled reactor. Biochemical Engineering Journal 9 (2001):25-31.
- [30]. Leal M.C.M.R., Freire D.M.G., Cammarota M.C., Sant' Anna Jr. G.L.,2006. Effect of enzymatic hydrolysis on anaerobic treatment of dairy wastewater. Process Biochemistry 41: 1173-1178.
- [31]. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และ พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย. ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม 1 กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541.
- [32]. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. 2543. อัตราค่าไฟฟ้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.eppo.go.th/power/pw-Rate-PEA.html>.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ความหมายของค่าพารามิเตอร์ในน้ำ^[31]

1. ค่าพารามิเตอร์ (Parameter)

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าสิ่งเจือปนในน้ำเสียมียหลายชนิด ดังนั้นเพื่อความเหมาะสมและสะดวกในการวิเคราะห์สิ่งเจือปนดังกล่าว จึงได้มีการกำหนดใช้ค่าพารามิเตอร์ค่าที่สำคัญและมักจะกำหนดในมาตรฐานน้ำทิ้งที่ควรทราบ

1.1 ค่าพีเอช (pH) หรือ (Positive potential of the hydrogen ions) เป็นค่าที่แสดงถึงภาวะความเป็นกรดและเบส ซึ่งสิ่งที่ชี้บอกความเป็นกรดคือ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน $[H^+]$ และ สิ่งที่ชี้บอกความเป็นเบสคือ ความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน $[OH^-]$ เนื่องจากพีเอชสเกลอยู่ในช่วง 0 ถึง 14 โดยสามารถแบ่งภาวะความเป็นกรด เบส และกลางได้ดังนี้ กล่าวคือ เมื่อพีเอชมีค่าเท่ากับ 7 แสดงว่าสารละลายมีสภาพเป็นกลาง ถ้าค่าพีเอชมีค่าน้อยกว่า 7 แสดงว่าสารละลายเป็นกรด หรือค่าพีเอชมีค่ามากกว่า 7 แสดงว่าสารละลายเป็นเบส โดยทั่วไปค่า pH ของสารละลายในสภาพปกติจะมีค่าในช่วง 6-8 ซึ่งจะไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ค่าพีเอชมีสมการดังนี้

$$pH = -\log[H^+] \quad \text{หรือ} \quad pH = \log \frac{1}{[H^+]}$$

1.2 ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) เป็นการวัดความสามารถของน้ำที่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน คุณสมบัติข้อนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ชนิดของไอออนในน้ำและอุณหภูมิ ค่าการนำไฟฟ้านั้นไม่ได้เป็นค่าเฉพาะไอออนตัวใดตัวหนึ่ง แต่เป็นค่ารวมของไอออนทั้งหมดในน้ำ ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นก็แสดงว่ามีสารที่แตกตัวได้ในน้ำเพิ่มขึ้น และค่าการนำไฟฟ้าลดลงแสดงว่ามีสารที่แตกตัวได้ในน้ำลดลง

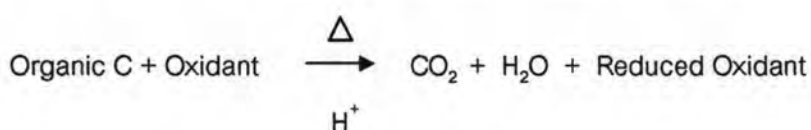
1.3 สี (Color) สีของน้ำตามธรรมชาติ เป็นผลจากการที่น้ำไหลผ่านสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น ใบไม้ ใบหญ้า ซากสัตว์ เป็นต้น ซึ่งมีลิกนินเป็นองค์ประกอบ เมื่อสลายตัวจะให้สารจำพวกแทนนิน กรดฮิวมิก และฮิวเมตซึ่งเป็นสารมีสี นอกจากนี้สีของน้ำอาจเกิดมาจากไอออนของโลหะจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น เหล็ก แมงกานีส เป็นต้น เนื่องจากสีในน้ำมักเป็นพวกคอลลอยด์ มีประจุโดยรวมเป็นลบ สีสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1.3.1 สีจริง (true color) ซึ่งเป็นสีของน้ำที่ได้ทำการกำจัดความขุ่นออกไปแล้วโดยการเซนตริฟิวจ์ (centrifuge)

1.3.2 สีปรากฏ (apparent color) เป็นสีที่เกิดขึ้นจากสารที่ละลายในน้ำรวมทั้งจากสารแขวนลอยในน้ำด้วย การหาสีปรากฏหาได้โดยตรงไม่ต้องผ่านการเซนตริฟิวจ์หรือการกรองก่อน

1.4 บีโอดี (BOD) หรือ (Biochemical Oxygen Demand) หมายถึง ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ (decomposable) ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ผลพลอยได้จากการออกซิเดชันนี้ทำให้แบคทีเรียได้รับพลังงานไปใช้ในการเจริญเติบโต เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ หรือแอมโมเนีย ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร ค่าบีโอดีหาได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยการวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO: Dissolved Oxygen) ที่ถูกใช้ไปโดยจุลชีพ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ณ ปัจจุบัน เรียกว่า DO_0 และในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในเวลา 5 วัน ภายใต้อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เรียกว่า DO_5

1.5 ซีโอดี (COD) หรือ (Chemical Oxygen Demand) หมายถึง ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำทางเคมีให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยอาศัยหลักที่ว่าสารอินทรีย์เกือบทั้งหมด (มียกเว้นบางตัวเป็นส่วนน้อย) สามารถที่จะถูกออกซิไดซ์โดยตัวเติมออกซิเจนอย่างแรงภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ดังสมการ



จัดเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงให้เห็นว่าน้ำนั้นมีความสกปรกที่เกิดจากสารอินทรีย์ อยู่ในระดับมากน้อยเพียงใด

1.6 ของแข็งทั้งหมด (Total solid: TS) ของแข็ง หมายถึงสารหรือสิ่งเจือปนที่เหลืออยู่ภายหลังจากผ่านการนำน้ำออกแล้ว ไม่รวมถึงสารที่ระเหยไปกับน้ำ สิ่งที่เหลืออยู่หรือตะกอนมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งอาจจะละลายน้ำหรือไม่ละลายก็ได้ สามารถแบ่งของแข็งออกเป็นชนิดต่าง ๆ

1.6.1 ของแข็งละลายน้ำ (Total Dissolved Solids, TDS) คือของแข็งส่วนที่ละลายในน้ำได้ ได้แก่ เกลืออนินทรีย์ต่างๆ หรืออินทรีย์สาร

1.6.2 ของแข็งที่ไม่ละลายน้ำหรือของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Undissolved Solids หรือ Total Suspended Solids, TSS) แบ่งเป็น

1.6.2.1 Suspended Solids คือของแข็งที่ไม่ละลายน้ำและสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ ตะกอนมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา

1.6.2.2 Stable Solids คือของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ ตะกอนมีขนาดใหญ่และมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าน้ำ เมื่อตั้งทิ้งไว้สามารถจะตกลงมาอนที่ก้นภาชนะได้

- 1.6.3 ของแข็งระเหย (Volatile Solids) คือของแข็งที่ระเหยได้เมื่อนำไปเผาในอากาศที่อุณหภูมิสูง 550 – 600 องศาเซลเซียส
- 1.6.4 ของแข็งคงตัว (Fixed Solids) คือของแข็งหรือซีเมนต์ที่เหลือจากการเผาของแข็งที่อุณหภูมิสูง 550 – 600 องศาเซลเซียส

ภาคผนวก ข
มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพของน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรด-เบส (pH value)	5.5 – 9.0	pH Meter
2. ค่า TDS (Total Dissolved Solid)	- ไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตรหรืออาจแตกต่างกันแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร - น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือลงสู่ทะเล ค่า TDS ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่า TDS ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 มิลลิกรัมต่อลิตร	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)
4. อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส	เครื่องวัดอุณหภูมิวัดขณะทำการเก็บตัวอย่าง
5. ซัลไฟด์ (Sulfide as H ₂ S)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	ไทเทรต
6. ไซยาไนต์ (Cyanide as HCN)	ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร	กลั่นและตามด้วยวิธี Pyridine Barbituric Acid

ดัชนีคุณภาพของน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
7. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกัน แต่แต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 15 มิลลิกรัมต่อลิตร	สกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน
8. สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงประสงค์	ไม่ได้กำหนด
9. ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	Spectrophotometry
10. สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	กลั่นและตามด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine
11. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	Iodometric Method
12. ค่าบีโอดี 5 วันที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (Biochemical Oxygen Demand: BOD)	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือแตกต่างกัน แต่แต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มิลลิกรัมต่อลิตร	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วัน
13. ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl)	ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือแตกต่างกัน แต่แต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร	Kjeldahl
14. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตรแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร	Potassium Dichromate Digestion

ดัชนีคุณภาพของน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
15. โลหะหนัก (Heavy Metal) 1. สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma: ICP
2.โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร	
3.โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร	
4. ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	
5. แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร	
6. แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	
7. ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร	
8. นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	
9. แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	
10. อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร	Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma: ICP
11. ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร	Atomic absorption Cold Vapor Technique

ดัชนีคุณภาพของน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
12. เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร	Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือ วิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma: ICP

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

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์สมบัติของน้ำเสีย

1. pH

วิธีวิเคราะห์: วิเคราะห์โดยตรงด้วยเครื่อง pH meter 7020 Electronic Instrument Limited

หมายเหตุ: รายละเอียดการใช้เครื่อง pH meter ศึกษาได้จากคู่มือเฉพาะเครื่องนั้นๆ

2. ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)

วิธีวิเคราะห์: วิเคราะห์โดยตรงด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า

หมายเหตุ: รายละเอียดการใช้เครื่องค่าการนำไฟฟ้าศึกษาได้จากคู่มือเฉพาะเครื่องนั้นๆ

3. การวิเคราะห์หาของแข็งทั้งหมด (TS)

ตัวอย่างน้ำที่ผสมเข้ากันอย่างดีในถ้วยระเหยซึ่งทราบน้ำหนักจะถูกนำไประเหยด้วยไอน้ำจนแห้งแล้วนำไปอบที่ 103 – 105 °C ทำให้เย็นและชั่งน้ำหนัก น้ำหนักส่วนที่เพิ่มคือน้ำหนักของของแข็งทั้งหมดในน้ำ

เครื่องมือและอุปกรณ์:

1. ถ้วยระเหย
2. เครื่องชั่งน้ำ
3. โถทำแห้ง
4. ตู้อบ
5. ตาชั่งละเอียด

วิธีวิเคราะห์:

1. นำถ้วยระเหยไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 – 105 °C เป็นเวลา 1 ชม. ปลดทิ้งให้เย็นในโถทำแห้ง
2. นำถ้วยระเหยมาชั่งน้ำหนัก สมมุติมีน้ำหนัก A กรัม

3. เขย่าตัวอย่างน้ำให้เข้ากันอย่างดี เทตัวอย่างน้ำที่ทราบปริมาตรแน่นอนลงในถ้วยระเหย ด้วยปริมาตรตัวอย่างน้ำที่ใช้ นั้น จะต้องทำให้เหลือกากแห้งภายหลังการอบอยู่ในช่วง 10 – 200 มก.
4. นำถ้วยระเหยที่ใส่ตัวอย่างน้ำมาระเหยในเครื่องอังไอน้ำจนแห้ง และนำเข้าสู่อบที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 103 – 105 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชม.
5. นำออกจากตู้อบ ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง ชั่งน้ำหนัก สมมุติมีน้ำหนัก B กรัม
6. ทำการอบซ้ำ จนได้น้ำหนักคงที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยกว่า 4% ของน้ำหนักหนกก่อน

การคำนวณ:

$$\text{ของแข็งทั้งหมด (มก./ล)} = \frac{(B - A)}{C} \times 10^6$$

- A = น้ำหนักถ้วยระเหยอย่างเดียว, กรัม
 B = น้ำหนักถ้วยระเหยและของแข็ง, กรัม
 C = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ, มล.

4. การวิเคราะห์หาของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS)

ของแข็งที่แขวนลอยทั้งหมดหมายถึงส่วนของของแข็งที่เหลือค้างอยู่บนกระดาษกรองใยแก้วหลังจากการกรองน้ำตัวอย่างที่ทราบปริมาตรแน่นอน แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียสและทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือน้ำหนักของของแข็งแขวนลอยทั้งหมดต่อปริมาตรตัวอย่างน้ำที่ใช้

เครื่องมือและอุปกรณ์:

1. โถดูดความชื้น (Desiccator)
2. ตู้อบ (Oven) ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103 -105 องศาเซลเซียส
3. เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance) สามารถชั่งได้ถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง
4. กระดาษกรอง GF/C (Glass fiber filter) เส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร
5. เครื่องดูดสุญญากาศ (Suction pump) พร้อมขวดดูดสุญญากาศ
6. ถ้วยระเหย (Evaporating dishes)

วิธีวิเคราะห์:

1. นำกระดาษกรอง GF/C ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 - 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น
2. ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง GF/C สมมุติมีน้ำหนัก A กรัม
3. ต่อบชุดเครื่องมือสำหรับกรอง ใช้ปากคีบกระดาษกรอง GF/C วางบนกรวยบุคเนอร์ เปิดเครื่องดูดสุญญากาศ ล้างกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง โดยใช้ครั้งละ 20 มิลลิลิตร เปิดเครื่องดูดสุญญากาศต่อให้ดูดนํ้าออกจนแห้ง ทิ้งนํ้าล้างไป
4. เลือกปริมาตรตัวอย่างนํ้าที่จะใช้ ซึ่งควรเลือกให้มีค่าของแข็งแขวนลอยที่ติดบนกระดาษกรองไม่เกิน 200 มิลลิกรัม และไม่ควรถ้ากว่า 1 มิลลิกรัมเมื่อเลือกปริมาตรแล้ว ทำการเขย่าตัวอย่างนํ้าให้เข้ากันอย่างดี เทตัวอย่างนํ้าที่ทราบปริมาตรลงกรวยโดยค่อย ๆ เททีละน้อยอย่างต่อเนื่องจนหมด ใช้นํ้ากลั่นฉีดล้างภาชนะที่ใช้ตวงตัวอย่าง และฉีดนํ้ากลั่นที่ด้านข้างของกรวยบุคเนอร์รวมทั้งบนกระดาษกรอง GF/C ปล่อยให้เครื่องดูดสุญญากาศดูดนํ้าออกจนแห้ง ปิดเครื่อง
5. นำกระดาษกรองใยแก้วไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 - 105 องศาเซลเซียส อย่างน้อยเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง สมมุติมีน้ำหนัก B กรัม
6. ทำข้อ 5 ซ้ำ จนได้น้ำหนักคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักน้อยกว่า 4% ของน้ำหนักครั้งก่อน

การคำนวณ:

$$\text{ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(B - A)}{C} \times 10^6$$

A	=	น้ำหนักกระดาษกรองอย่างเดียว (กรัม)
B	=	น้ำหนักกระดาษกรองและของแข็ง (กรัม)
C	=	ปริมาตรตัวอย่างนํ้า (มิลลิลิตร)

5. การวิเคราะห์หาของแข็งละลายนํ้า (TDS)

หมายถึง ส่วนของนํ้าตัวอย่างที่กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้วแล้วนำไปใส่ถ้วยระเหยที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน และนำไประเหยด้วยไอนํ้าจนแห้งแล้วจึงนำไปอบแห้งที่ 103 - 105 องศาเซลเซียส น้ำหนักส่วนที่เพิ่มคือนํ้าหนักของของแข็งที่ละลายนํ้าทั้งหมด

เครื่องมือและอุปกรณ์:

1. โถดูดความชื้น (Desiccator)
2. ตู้อบ (Oven) ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103 - 105 องศาเซลเซียส
3. เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance) สามารถชั่งได้ถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง
4. กระดาษกรอง GF/C (Glass fiber filter) เส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร
5. เครื่องดูดสุญญากาศ (Suction pump) พร้อมขวดดูดสุญญากาศ
6. ถ้วยระเหย (Evaporating dishes)

วิธีวิเคราะห์:

1. นำน้ำตัวอย่างมากรองเอาสารแขวนลอยออกทั้งหมดก่อนโดยกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้วและเครื่องกรองสุญญากาศ
2. นำน้ำตัวอย่างที่ได้จากการกรองใส่ถ้วยระเหยนำไปอบแห้งที่ 103 - 105 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้นชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ:

$$\text{ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(B - A)}{C} \times 10^6$$

A = น้ำหนักถ้วยระเหยอย่างเดียว (กรัม)

B = น้ำหนักถ้วยระเหยและของแข็ง (กรัม)

C = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)

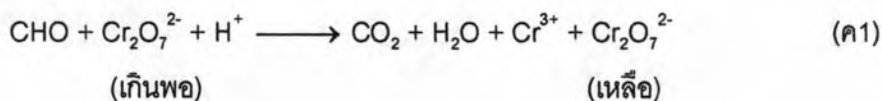
6. การวิเคราะห์หาซีโอดีด้วยวิธีฟลักซ์แบบปิด (Closed Reflux, Titrimetric method)

สำหรับการวิเคราะห์ COD มี 2 แบบ คือวิธีฟลักซ์แบบปิดและวิธีฟลักซ์แบบเปิด แต่ในการทดลองจะใช้วิธีฟลักซ์แบบปิด โดยมีหลักการดังนี้

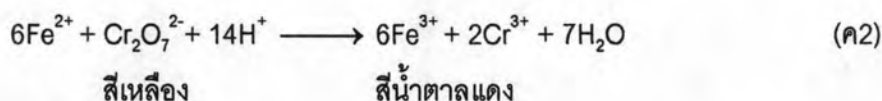
ภายใต้สภาวะการรีฟลักซ์ในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่มีอุณหภูมิสูง สารอินทรีย์ในน้ำจะถูกออกซิไดส์โดยสารละลายโปตัสเซียมไดโครเมตที่ทราบความเข้มข้นและมีปริมาณเกินพอที่ทราบจำนวน หลังจากรีฟลักซ์แล้ว ทำการวัดปริมาณโปตัสเซียมไดโครเมตที่เหลือ โดยนำไปไทเทรตกับเฟรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous Ammonium Sulfate, FAS) และใช้เฟอโรอิน

(Ferrioin) เป็นอินดิเคเตอร์ ทำให้ทราบปริมาณของโปตัสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ได้ปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

เมื่อรีฟลักซ์ด้วย $K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$



หาปริมาณ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ที่เหลือโดยการไทเทรตด้วย FAS ที่มีเฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์



$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ที่เหลือจะทำปฏิกิริยากับ Fe^{2+} (FAS) ไดโครมิก (Cr^{3+}) จนหมด แล้ว Fe^{2+} จึงทำปฏิกิริยากับเฟอโรอินได้สารประกอบสีน้ำตาลแดงซึ่งแสดงจุดยุติของการไทเทรต

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดย่อย (Digestion Vessels) เป็นหลอดแก้วบอโรซิลิเคท (Borosilicate) ขนาด 20 x150 หรือ 25 x150 มิลลิเมตร มีฝาสลักเกลียวซึ่งทำด้วยมีทีเอพีอี
2. บล็อก (Block) หรือที่ใส่หลอดแก้วแบบตัน ทำด้วยอลูมิเนียม ความลึกของช่องใส่หลอดประมาณ 45 - 50 มิลลิเมตร การให้ความร้อนเพื่อต้มย่อยสลายกระทำโดยวางบล็อกบนเตาแผ่น
3. ตู้อบ (Oven) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ประมาณ 150 ± 2 องศาเซลเซียส
4. บิวเรต
5. ขวดรูปกรวยขนาด 125 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตสำหรับย่อยสลาย (Standard potassium digestion solution) 0.1 นอร์มัล
 - นำ $K_2Cr_2O_7$ อบที่ 103 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้งชั่งน้ำหนัก $K_2Cr_2O_7$ มา 4.913 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น

- 167 มิลลิลิตร และเติมปรอทซัลเฟต 33.3 กรัม ทิ้งให้ละลายและปล่อยให้เย็นจึง
 เจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 1,000 มิลลิลิตร
2. กรดซัลฟิวริกที่เติมซิลเวอร์ซัลเฟต (Concn.sulfuric acid with silver sulfate)
 - ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 22 กรัม เติมลงในกรดซัลฟิวริกเข้มข้นซึ่งมี
 น้ำหนัก 4.1 กิโลกรัม (2.5ลิตร) ทิ้งไว้ 1 - 2 วัน ซิลเวอร์ซัลเฟตจึงละลาย
 3. สารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟตไทแทนต์ (Ferrous ammonium
 sulfate titrant) เข้มข้นโดยประมาณ 0.05 นอร์มัล
 - ละลายไอร์ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟต ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ชนิด
 AR. Grade ประมาณ 19.6 กรัมในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร
 ทำให้เย็นแล้วเจือจาง 1000 มิลลิลิตร
 - สารละลายนี้ต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอน (Standardize) ก่อนใช้ทุกครั้ง
 ด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ทำได้ดังนี้คือนำ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 5
 มิลลิลิตร มาเติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตรแล้วเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15 มิลลิลิตร
 ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำมาไทเทรตกับสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตโดยใช้
 เฟอโรอิน (Ferroun) จำนวน 2 - 3 หยดเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติจะเปลี่ยนจากสี
 เหลืองเป็นสีน้ำตาลแดง
 4. สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ (Ferroun Indicator)
 5. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (Potassium Hydrogen Phthalate
 หรือ KHP)
 - ชั่ง KHP จำนวน 425 มิลลิกรัมที่บดแห้งและอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส
 ละลายด้วยในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตรสารละลายนี้จะมีค่าซีไอดี
 500 มิลลิกรัมต่อลิตร (ปกติเก็บไว้ในตู้เย็นได้นาน 3 เดือน)

วิธีวิเคราะห์

1. ต้องล้างหลอดแก้วและฝาปิดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 20% เสมอทุกครั้งก่อนใช้
 งาน
2. เลือกขนาดของหลอดแก้วสำหรับต้มซีไอดีให้เหมาะสม
3. ถ้าตัวอย่างน้ำมีซีไอดีต่ำให้เลือกใช้หลอดแก้วขนาด 25 x 150 มิลลิเมตร (ปริมาตรน้ำ
 ตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร) และถ้าซีไอดีสูงสามารถใช้หลอดแก้วขนาด 16 x 100 มิลลิเมตร
 (ปริมาตรน้ำตัวอย่าง 2.5 มิลลิลิตร)

4. การเลือกปริมาตรตัวอย่างน้ำ ถ้าเป็นน้ำสะอาด น้ำธรรมชาติหรือน้ำที่มีค่าซีโอดีต่ำๆ (<40 มิลลิกรัมต่อลิตร) ควรใช้ตัวอย่างน้ำ 10 มิลลิลิตร โดยใช้หลอดแก้วขนาด 25 x 150 มิลลิเมตร แต่ถ้าซีโอดีสูงกว่ำนั้นให้ใช้หลอดแก้วขนาด 20 x 150 โดยเลือกใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำมากที่สุด 5 มิลลิลิตร หรือใช้น้อยกว่า แล้วเติมน้ำกลั่นให้เป็น 5 มิลลิลิตร และถ้าตัวอย่างน้ำมีค่าซีโอดีสูงมากต้องเจือจางต้องเจือจางตัวอย่างน้ำก่อนนำมาใช้ การเลือกขนาดตัวอย่างน้ำที่จะใช้วิเคราะห์ให้เหมาะสมอาจดูได้จาก ตารางที่ ค1
5. ใส่ตัวอย่างลงในหลอดแก้วขนาดเหมาะสม เติมน้ำย่าย่อยสลายหรือโปตัสเซียมไดโครเมต ตามด้วยกรดกำมะถันอย่างช้าๆ ในปริมาณที่แสดงอยู่ในตารางที่ ค2 ปิดฝาให้แน่นและเขย่าผสมกันให้ดี สำหรับแบลงค์ใช้น้ำกลั่นแล้วทำเหมือนตัวอย่างทุกอย่าง
6. วางหลอดแก้วในบลิ๊อคแล้วใส่ตู้อบ ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 150 ± 2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
7. เมื่อครบ 2 ชั่วโมงแล้ว นำออกจากตู้อบปล่อยให้เย็น
8. เทสารละลายออกจากหลอดแก้วลงในขวดรูปกรวย ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างสารละลาย
9. ในหลอดแก้วให้หมดแล้วเทรวมลงในขวดรูปกรวย เติมเฟอร์โรซีนอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด แล้วไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน FAS สีของสารละลายจะค่อยๆ เปลี่ยนจาก สีเหลือง \longrightarrow เขียวอมเหลือง \longrightarrow ฟ้า \longrightarrow น้ำตาลแดง ซึ่งแสดงว่าถึงจุดยุติ จดปริมาณ FAS ที่ใช้ไทเทรต

ข้อเสนอแนะ

1. น้ำตัวอย่างที่นำมาวัดหาค่า COD ควรผ่านการเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อ นาทีเป็นเวลา 10 นาที
2. นำน้ำตัวอย่างที่ผ่านการเหวี่ยงแล้ว มาใช้ในการทดลองถ้าตัวอย่างมีความสกปรกสูงหรือมีความเข้มข้นสูงต้องทำการเจือจางตามสัดส่วนของตาราง ค (1) แล้วจึงนำมาใช้ในการทดลองลำดับต่อไปได้

ตารางที่ ค (1) ปริมาณน้ำตัวอย่างและอัตราเจือจางที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ไอดี*

ช่วงซีไอดี	ขนาดตัวอย่าง(มิลลิลิตร)	อัตราเจือจาง
<200	5	1 : 1
200 - 400	4	1 : 1
400 - 800	2	1 : 1
800 - 1600	1	1 : 1
1600 - 3200	5	1 : 10
2700 - 5300	3	1 : 10
4000 - 8000	4	1 : 20
8000 - 16000	2	1 : 20
13000 - 26500	3	1 : 50
20000 - 40000	2	1 : 50
40000 - 80000	2	1 : 100
80000 - 160000	1	1 : 100

* เมื่อใช้ FAS ความเข้มข้น 0.05 นอร์มัล และ $K_2Cr_2O_7$ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล

ตารางที่ ค (2) ขนาดของหลอดแก้ว ปริมาณตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่เหมาะสม

ขนาด หลอดแก้ว (มิลลิลิตร)	ปริมาตร ตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)	สารละลาย ไดโครเมต (มิลลิลิตร)	สารละลาย กรดซัลฟิวริก (มิลลิลิตร)	ปริมาตรทั้งหมด (มิลลิลิตร)
16 x 100	2.5	1.5	3.5	7.5
20 x 150	5.0	3.0	7.0	15.0
25 x 150	10.0	6.0	14.0	30.0

การคำนวณ

$$\text{ค่าซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(A - B) \times N \times 8,000}{\text{ปริมาตรน้ำเสียตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}} \times 10^6$$

- เมื่อ
- A = ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรตกับ Blank (มิลลิลิตร)
 - B = ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรตกับน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
 - N = ความเข้มข้นของ FAS (นอร์มัล)
 - V = ปริมาตรน้ำเสียตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

7. การวิเคราะห์หาบีโอดี

การวิเคราะห์ BOD วิธีการวิเคราะห์มี 2 วิธี คือ วิธีแบบโดยตรงและวิธีแบบโดยเจือจาง แต่ในการทดลองจะใช้วิธีแบบโดยเจือจาง ซึ่งวิธีแบบโดยเจือจางแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

วิธีแบบเจือจางใช้สำหรับตัวอย่างที่มีความสกปรก เช่น มีค่าบีโอดีเกิน 7 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากปริมาณของออกซิเจนที่ใช้ไปในการย่อยสลายสารอินทรีย์จะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับจำนวนสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำนั้น เมื่อตัวอย่างน้ำมีสารอินทรีย์จำนวนมาก จึงต้องเจือจางตัวอย่างเพื่อให้มีออกซิเจนเพียงพอที่แบคทีเรียจะใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์นั้น ซึ่งวิธีแบบเจือจางจะแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือไม่ต้องเติมหัวเชื้อและต้องเติมหัวเชื้อ ในการทดลองเลือกแบบไม่ต้องเติมหัวเชื้อ

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดบีโอดี (BOD Bottle) ขนาด 250 – 300 มิลลิลิตรพร้อมจุกปิดสนิท
2. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 20 ± 1 องศาเซลเซียสและต้องมี
3. อุปกรณ์และเครื่องแก้วต่างๆ เช่น กระจกตวง บิวเรต ขวดรูปชมพู่ เป็นต้น
4. เครื่องจ่ายลม แบบเดียวกันกับที่ใช้กับตู้เลี้ยงปลาสวยงามและหัวลูกฟู่ (หัวจ่ายลม)

สารเคมี

1. น้ำกลั่น
 - ต้องมีคุณภาพสูง ควรมีทองแดงน้อยกว่า 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร ปราศจากการคลอรีน คลอวามีน สารอินทรีย์ กรด – เบส ต้องเป็นกลาง

2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH7.2
 - ละลายโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 8.5 กรัม ไดโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) 21.75 กรัม แอมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 17.2 กรัม และไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{PO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 33.4 กรัมและในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร
3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต
 - ละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 22.5 กรัมในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร
4. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์
 - ละลายแคลเซียมคลอไรด์ปราศจากน้ำ (Anhydrous CaCl_2) จำนวน 27.5 กรัมในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร
5. สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์
 - ละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 0.25 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร
6. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต
 - ละลายแมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 364 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตเตตระไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 480 กรัมหรือแมงกานีสซัลเฟตไดไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 400 กรัมในน้ำกลั่น กรองแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร
7. สารละลายอัลคาไล-ไฮโดรอกไซด์-ไอโอดีน-ไอโอดีน
 - ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 500 กรัมและโซเดียมไอโอดีน (NaI) 135 กรัมในน้ำกลั่นเจือจางให้ได้ 950 มิลลิลิตรและทำให้เย็น จากนั้นค่อย ๆ เติมสารละลายโซเดียมเฮไลต์ (NaN_3) ที่ละลายในน้ำ 40 มิลลิลิตร อย่างช้า ๆ ทำให้มีฤทธิ์เป็นกรดและเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
8. สารละลายโซเดียมไรโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล
 - ละลายโซเดียมไรโอซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 24.82 กรัมในน้ำต้มที่เย็นแล้ว เติมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตรหรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม เพื่อเก็บไว้ใช้นาน ๆ ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร เมื่อใช้งานให้เจือจางเป็น 0.025 นอร์มัล
9. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น
10. น้ำแป้ง

วิธีวิเคราะห์แบบเจือจางที่ไม่ต้องเติมหัวเชื้อ Seed

1. การเตรียมน้ำเจือจาง โดยนำกลั่นมาเข้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส และพ่นอากาศก่อนทำการเจือจางอย่างน้อย 1 ชั่วโมง แล้วเติมสารเคมีข้อ 2 - 5 อย่างละ 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร
2. การเลือกปริมาณตัวอย่างที่จะใช้ ถ้าไม่ทราบค่าบีโอดีโดยประมาณของตัวอย่างน้ำ ต้องหาซีโอดีก่อนหรืออาจจะดูจากค่า Rapid COD (ซีโอดีอย่างง่าย) พร้อมกับพิจารณาลักษณะของตัวอย่างน้ำ แหล่งเก็บตัวอย่างน้ำร่วมด้วย เพื่อกะประมาณค่าซีโอดี เช่น น้ำตัวอย่างที่มีค่าของแข็งละลายมาก ควรจะมีค่าบีโอดี ระหว่าง 100 -300 มิลลิกรัมต่อลิตร การเลือกปริมาณตัวอย่างนิยมเลือกให้มีปริมาณออกซิเจนเหลืออยู่อย่างน้อย 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และควรจะมีการใช้ออกซิเจนอย่างน้อย 2 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อทราบค่าบีโอดีโดยประมาณ ควรเลือกปริมาณตัวอย่างที่คาดว่าจะให้ค่าบีโอดีอยู่ในช่วงที่กำหนดแล้วจึงเลือกปริมาณตัวอย่างที่ใช้ให้สูงและต่ำกว่าที่อยู่ติดกันตามตารางที่ ค (3) เช่น ปริมาณค่าบีโอดีไว้ประมาณ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเลือกใช้ปริมาณตัวอย่าง 10 มิลลิกรัม เลือกสูงขึ้นไปเป็น 5 มิลลิลิตรและต่ำลงเป็น 20 มิลลิลิตร

ตารางที่ ค (3) การเลือกปริมาณน้ำตัวอย่างและอัตราเจือจางสำหรับช่วงบีโอดี

ปริมาณตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	ช่วงบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	อัตราเจือจาง
0.02	30,000 - 105,000	15,000
0.05	12,000 - 42,000	6,000
0.10	6,000 - 21,000	3,000
0.20	3,000 - 10,500	1,500
0.50	1,200 - 4,200	600
1.0	600 - 2,100	300
2.0	300 - 1,050	150
5.0	120 - 420	60
10.0	60 - 210	30
20.0	30 - 105	15
50.0	12 - 42	6
100	6 - 21	3
300	0 - 7	1

หมายเหตุ ถ้าปริมาณตัวอย่างที่ใช้น้อยกว่า 1.0 มิลลิลิตร ควรเจือจางตัวอย่างก่อนเปิดใส่ขวดบีโอดี

3. เปิดตัวอย่างตามจำนวนที่เลือกไว้ลงในขวดบีโอดี ขนาด 300 มิลลิลิตร อย่างละ 2 ขวด
4. เติมน้ำสำหรับใช้เจือจางจนเต็มขวดบีโอดี ต้องระมัดระวังพยายามอย่าให้เกิดฟองอากาศ ปิดฝาให้แน่น
5. นำขวดบีโอดีขวดหนึ่งของแต่ละปริมาณที่เลือกมาหาค่าออกซิเจนละลายที่มีเริ่มต้น สมมุติเป็น DO_0 ส่วนอีกขวดนำไปบ่มที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน
6. เมื่อครบ 5 วัน นำขวดบีโอดีที่บ่มไว้มาหาค่าออกซิเจนละลายที่เหลืออยู่ เรียกว่า DO_5

การวิเคราะห์ค่า DO

1. เก็บน้ำตัวอย่างวิธีการเก็บน้ำตัวอย่าง ลงในขวดบีโอดี ให้เต็มขวดพร้อมปิดจุก
2. เติมน้ำสารละลาย $MnSO_4$ 1.0 มิลลิลิตร และสารละลายอัลคาไล - ไฮโอไดต์ - ไฮไซต์ 1.0 มิลลิลิตร โดยใช้ปิเปตวัดปริมาตรและจุ่มลงใต้ผิวน้ำตัวอย่าง ปิดจุกอย่างระมัดระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศ เขย่าโดยคว่ำขึ้น - ลง แรง ๆ หลาย ๆ ครั้ง ให้ผสมเข้ากันปล่อยให้เกิดการตกตะกอนและเขย่าใหม่ซ้ำอีกครั้ง
3. เมื่อตกตะกอนได้ส่วนใหญ่มากกว่า 100 มิลลิลิตร เปิดจุกและค่อย ๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2.0 มิลลิลิตร ให้ไหลรินตามตอขวดบีโอดี
4. ปิดจุกและทำการเขย่าคว่ำ ขึ้น - ลง จนเห็นไฮโอไดต์กระจายทั่ว (I_2 มีสีเหลืองแกมน้ำตาล) และตะกอนละลายหมด
5. ปิเปตใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร จำนวน 203 มิลลิลิตร* นำไปไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล เมื่อสารละลายได้สีเหลืองฟางให้เติมน้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ 1 - 2 มิลลิลิตรและไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินจางหายไป

การคำนวณ $DO_{(ppm)} = (\text{ปริมาตรของ } 0.025 \text{ นอร์มัลของโซเดียมไทโอซัลเฟต} \times 0.2 / 200) \times 1000$

* ข้อสังเกต - การนำสารละลายจากข้อที่ 4 มาไทเทรตจำนวน 203 มิลลิลิตร แต่ในการคำนวณคิดปริมาณเพียง 200 เนื่องจากเทียบจากเมื่อใช้น้ำ 300 มิลลิลิตร เติมน้ำเต็มจากข้อ 1 ลงไป 4 มิลลิลิตร น้ำตัวอย่างเหลือในขวดเพียง 296 มิลลิลิตร

- น้ำตัวอย่าง 296 มิลลิลิตรเมื่อเทียบกับสารละลาย 300 มิลลิลิตร ดังนั้น ต้องการสารละลาย 200 มิลลิลิตร จะต้องใช้สารละลายในขวด $= (300 \times 200) / 296 = 203$ มิลลิลิตร

การคำนวณค่าบีโอดี

$$\text{BOD (มิลลิลิตรออกซิเจนต่อลิตร)} = (\text{DO}_0 - \text{DO}_5) \times \text{อัตราส่วนเจือจาง}$$

เมื่อ DO_0 = ค่าออกซิเจนละลายที่ไทเทรตได้ในวันแรก

DO_5 = ค่าออกซิเจนละลายที่ไทเทรตได้ในวันที่ 5

$$\text{อัตราเจือจาง} = \frac{\text{ปริมาตรน้ำเต็มขวดบีโอดี (300 มิลลิลิตร)}}{\text{ปริมาณตัวอย่างที่ใช้}}$$

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการคำนวณ

ง. การคำนวณต้นทุนในการดำเนินงาน

ง.1 กระบวนการรวมตัวของตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าในระบบต่อเนื่อง

ให้	ค่ากระแสไฟฟ้า(Electricity cost)	= 3.28 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง ^[32]
	ค่าฝังกลบตะกอน (Land fill cost)	= 2000 บาทต่อตัน ^[22]
	ค่าขั้วไฟฟ้า (Cost of electrode)	= 0.9 บาทต่อกรัม
	ปริมาณน้ำตัวอย่าง	= 6.0 ลิตร

พิจารณาที่

กระแสไฟฟ้า (i)	= 2.12 แอมแปร์
ปริมาณน้ำตัวอย่าง (L)	= 6.0 ลิตร
ศักย์ไฟฟ้า (V)	= 2.30 โวลต์
เวลา (t)	= 60 นาที
ตะกอนที่เกิดขึ้น* (Ws)	= 2.20 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
น้ำหนักของขั้วไฟฟ้าที่กัดกร่อน **(Wre)	= 0.37 กรัมต่อปริมาณน้ำตัวอย่าง 6 ลิตร

$$\begin{aligned}
 \text{- กำลังไฟฟ้า} &= (i \times V \times t) \\
 &= [(2.12 \times 2.30 \times 60)/(60 \times 1000)] \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมง} \\
 &= 0.0048 \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมง} \\
 &= (0.0048 \times 1000) / 6 \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลูกบาศก์} \\
 &\quad \text{เมตร}
 \end{aligned}$$

$$= 0.80 \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร}$$

$$\begin{aligned}
 \text{- ค่ากระแสไฟฟ้ารวม} &= \text{กำลังไฟฟ้า} \times \text{ค่ากระแสไฟฟ้า} \\
 &= 0.80 \times 3.28 = 2.62 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{- ค่าฝังกลบตะกอนรวม} &= \text{ตะกอนที่เกิดขึ้น} \times \text{ค่าฝังกลบตะกอน} \\
 &= (2.20 / 1000) \times 2000 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร}
 \end{aligned}$$

$$= 4.4 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร}$$

$$\begin{aligned} \text{- ค่าขั้วไฟฟ้า (Cost of electrode)} &= \text{น้ำหนักของขั้วไฟฟ้าที่กัดกร่อน} \times \text{ค่าขั้วไฟฟ้า} \\ &= (0.87 \times 0.90) \text{ บาทต่อปริมาณน้ำตัวอย่าง 6 ลิตร} \\ &= (0.07 \times 1000)/6 = 11.67 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนในการดำเนินงาน} &= \text{ค่ากระแสไฟฟ้า} + \text{ค่าฝังกลบตะกอน} + \text{ค่าขั้วไฟฟ้า} \\ &= 2.62 + 4.4 + 11.67 = 18.69 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร} \\ &= 0.49 \text{ เหรียญสหรัฐต่อลูกบาศก์เมตรของสารตัวอย่าง} \end{aligned}$$

* เกิดจากการเก็บน้ำตัวอย่างที่เวลา 60 นาทีปริมาณ 1 ลิตรนำมาระเหยน้ำออกแล้วคำนวณเปรียบเป็น 1 ลูกบาศก์เมตร

** เกิดจากการชั่งน้ำหนักของขั้วไฟฟ้าก่อนทำการทดลองแล้วหักออกด้วยน้ำหนักของขั้วหลังทำการทดลอง

ง.2 กระบวนการอิเล็กทรอนิกส์เฟนตอนในระบบต่อเนื่อง

ให้ ค่ากระแสไฟฟ้า (Electricity cost)	= 3.28 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง ^[32]
ค่าฝังกลบตะกอน (Land fill cost)	= 2000 บาทต่อตัน ^[22]
ค่าขั้วไฟฟ้า (Cost of electrode)	= 0.9 บาทต่อกรัม
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	= 720 บาทต่อลิตร
ปริมาณน้ำตัวอย่าง	= 6.0 ลิตร

พิจารณาที่

กระแสไฟฟ้า (i)	= 2.12 แอมแปร์
ปริมาณน้ำตัวอย่าง (L)	= 6.0 ลิตร
ศักย์ไฟฟ้า (V)	= 1.8 โวลต์
เวลา (t)	= 60 นาที
ตะกอนที่เกิดขึ้น (Ws)	= 1.75 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
น้ำหนักของขั้วไฟฟ้าที่กัดกร่อน (Wre)	= 1.17 กรัมต่อปริมาณน้ำตัวอย่าง 6 ลิตร
ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	= 1.5 มิลลิลิตรต่อปริมาณน้ำตัวอย่าง 6 ลิตร.

$$\text{- กำลังไฟฟ้า} = (i \times V \times t)$$

	$= [(2.12 \times 1.80 \times 60)/(60 \times 1000)] \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมง}$ $= 0.0038 \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมง}$ $= (0.0038 \times 1000) / 6 \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร}$
	เมตร
	$= 0.63 \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร}$
- ค่ากระแสไฟฟ้ารวม	$= \text{กำลังไฟฟ้า} \times \text{ค่ากระแสไฟฟ้า}$ $= 0.63 \times 3.28 = 2.07 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร}$
- ค่าฝังกลบตะกอนรวม	$= \text{ตะกอนที่เกิดขึ้น} \times \text{ค่าฝังกลบตะกอน}$ $= (1.75 / 1000) \times 2000 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร}$ $= 3.50 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร}$
- ค่าขั้วไฟฟ้า (Cost of electrode)	$= \text{น้ำหนักของขั้วไฟฟ้าที่กัดกร่อน} \times \text{ค่าขั้วไฟฟ้า}$ $= (1.17 \times 0.90) \text{ บาทต่อปริมาณน้ำตัวอย่าง 6 ลิตร}$ $= (0.105 \times 1000) / 6 = 17.55 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร}$
- ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	$= \text{ปริมาณที่ใช้} \times \text{ค่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์}$ $= (1.5 \times 720 / 1000) \text{ บาทต่อปริมาณน้ำตัวอย่าง 6 ลิตร}$ $= (1.08 \times 1000) / 6 = 180 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร}$
ต้นทุนในการดำเนินงาน	$= \text{ค่ากระแสไฟฟ้า} + \text{ค่าฝังกลบตะกอน} + \text{ค่าขั้วไฟฟ้า} + \text{ค่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์}$ $= 2.07 + 3.50 + 17.55 + 180$ $= 203.12 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร}$ $= 5.35 \text{ เหรียญสหรัฐต่อลูกบาศก์เมตรของสารตัวอย่าง}$

ง.3 ค่า Reynolds number

$$Re = \frac{\rho DV}{\mu}$$

Re = Reynolds number

ρ = ความหนาแน่นของของเหลว (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องปฏิกรณ์ (เมตร)

V = ความเร็วของของเหลว (เมตรต่อวินาที)

μ = ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (กิโลกรัมต่อเมตรต่อวินาที)

พิจารณาที่

อัตราการไหล = 1.5 ลิตรต่อนาที

ρ = 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

D = 0.15 เมตร

μ = 0.001 กิโลกรัมต่อเมตรต่อวินาที

ความเร็วของน้ำเสียในเครื่องปฏิกรณ์ = อัตราการไหล/พื้นที่หน้าตัดของเครื่องปฏิกรณ์

พื้นที่หน้าตัดของเครื่องปฏิกรณ์ = $\pi \times (D/2)^2$

$$= \pi \times (0.15/2)^2$$

$$= 0.018 \text{ ตารางเมตร}$$

อัตราการไหล = 1.5 ลิตรต่อนาที $\times (1 \times 10^{-3} \text{ ลูกบาศก์เมตร} / 1 \text{ ลิตร})$
/ (60 วินาที / 1 นาที)

$$= 2.5 \times 10^{-5} \text{ ลูกบาศก์เมตร/วินาที}$$

ความเร็วของน้ำเสียในเครื่องปฏิกรณ์ = $(2.5 \times 10^{-5} \text{ ลูกบาศก์เมตร/วินาที}) / 0.018$
ตารางเมตร

$$= 1.41 \times 10^{-3} \text{ เมตร/วินาที}$$

$$Re = 1000 \times 0.15 \times 1.41 \times 10^{-3} / 0.001$$

$$Re = 212.12$$



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายมารุต ไพรถนายนนท์ เกิดวันที่ 23 กันยายน 2524 ที่จังหวัด นครปฐม สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีวิศวกรรม ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2546 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2547