

การพัฒนาต้นแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมัน
ลำปะหลังด้วยเทคโนโลยีดีสชาร์จทางไฟฟ้า

นายเกษม ประดิษฐ์วัฒนกิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2555

**DEVELOPMENT A PROTOTYPE OF WASTE WATER
TREATMENT SYSTEM FOR CASSAVA INDUSTRIAL
FACTORY BY USING ELECTRICAL DISCHARGE
TECHNOLOGY**

Kasem Praditwattanakit

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2012**

การพัฒนาต้นแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็งมันลำปะหลัง
ด้วยเทคโนโลยีดีสซาร์จทางไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยพิจารณาเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.อนันต์ อุ่นศิริวิไลย์)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.บุญเรือง มะรังศรี)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อ. ดร.อภิชน วัชรินทร์วงศ์)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

เกษม ประดิษฐ์วัฒนกิจ : การพัฒนาต้นแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม
แป้งมันสำปะหลังด้วยเทคโนโลยีการจลนศาสตร์ทางไฟฟ้า (DEVELOPMENT A PROTOTYPE
OF WASTE WATER TREATMENT SYSTEM FOR CASSAVA INDUSTRIAL
FACTORY BY ELECTRICAL DISCHARGE TECHNOLOGY) อาจารย์ที่ปรึกษา :
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเรือง มะรังศรี, 138 หน้า.

น้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง มีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง
ซึ่งหากขาดการบำบัดที่ดีก็จะก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมได้ การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ
พัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง
ด้วยเทคโนโลยีการจลนศาสตร์ทางไฟฟ้า น้ำเสียจากมันสำปะหลังสำหรับทดสอบระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้
ในงานวิจัยนี้มี 2 ส่วน คือ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย
แล้ว ของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตจังหวัดนครราชสีมา 2 โรงงาน (บริษัท อุตสาหกรรม
แป้งโคราช จำกัดและบริษัท เอี่ยมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด) และน้ำเสียจากมันสำปะหลังที่เตรียม
ขึ้นเอง การบำบัดมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้น้ำที่ผ่านมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวง
ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม น้ำเสียที่ใช้ทดสอบมีค่า COD อยู่ในช่วง 1339.53 - 1600.00
mg/L ส่วนค่า BOD อยู่ในช่วง 565.23 - 1003.14 mg/L จากการศึกษาพบว่าเมื่อน้ำเสียจาก
โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังผ่านระบบบำบัดด้วยเทคโนโลยีการจลนศาสตร์ทางไฟฟ้า มีค่าเฉลี่ยของ
COD อยู่ในช่วง 63.18 - 105.96 mg/L ส่วนค่าเฉลี่ยของ BOD อยู่ในช่วง 15.02 - 18.53 mg/L
ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
ผลการวิจัยที่ได้ยืนยันประสิทธิผลของระบบที่ได้พัฒนาเป็นอย่างดี

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2555

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

KASEM PRADITWATTANAKIT : DEVELOPMENT A PROTOTYPE OF
WASTE WATER TREATMENT SYSTEM FOR CASSAVA INDUSTRIAL
FACTORY BY USING ELECTRICAL DISCHARGE TECHNOLOGY.

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. BOONRUANG MARUNGSRI, D.Eng.,

138 PP.

CASSAVA STARCH FACTORY/COD/BOD

High density of organic substances was detected from cassava starch factory's wastewater. Without a good treatment, wastewater causes environmental pollution. This aims of the research is to develop a prototype of a wastewater treatment system for cassava starch factory's wastewater by applying electrical discharge technology. In this research, two types of wastewater, treated wastewater from cassava starch factory wastewater in Nakhon Ratchasima province (Korat Starch Industry co., Ltd. and Eiamrungruang Industry Co., Ltd.) and artificial wastewater, were used. The goal of treatment system is to obtain treated wastewaters belong to the standard of Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment. 1339.53 – 1600.00 mg/L of COD value and 565.23 – 1003.14 mg/L of BOD value are waste degree of pretreatment water from the both wastewater in this study. After treatment by using the development system, 63.18 – 105.96 mg/L of COD value and 15.02 – 18.53 mg/L of BOD were obtained. These values are belong to the standard levels. The study results confirmed the effectiveness of wastewater treatment system, as well.

School of Electrical Engineering

Academic Year 2012

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเรือง มะรังศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยเป็นอย่างดีและให้ความรู้ด้านวิชาการมาโดยตลอด รวมถึงการเป็นแบบอย่างที่ดีในทุก ๆ ด้านให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา อีกทั้งยังได้ช่วยตรวจทานและแก้ไข วิทยานิพนธ์เล่มนี้จนมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่านที่ให้ คำปรึกษาแนะนำและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าอย่างดียิ่งตลอดมา

ขอขอบคุณ คุณนัด กล้าหาญ ผู้จัดการบริษัท อุตสาหกรรมแปงโคราช จำกัด ที่ให้ตัวอย่าง น้ำเสียและอำนวยความสะดวกด้านต่าง ๆ มากมาย

ขอขอบคุณ บริษัท เอี่ยมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด ที่ให้ตัวอย่างน้ำเสียและอำนวยความสะดวกด้านต่าง ๆ มากมาย

ขอขอบคุณ คุณมานพ จร โศกกรวด ห้องปฏิบัติการทางสิ่งแวดล้อมที่ให้ความรู้และ ช่วยเหลือทางด้านเครื่องมือทดลองและวิเคราะห์ค่าซีไอดีและค่าบีไอดี

ขอขอบคุณ คุณอัญชุลี รักด่านกลาง คุณภัทรวรรณ เคนพะนาน ที่ได้ช่วยติดต่อ ประสานงานกับฝ่ายต่าง ๆ ให้กับผู้วิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณณรงค์ เขียวสูงเนิน และบุคลากรฝ่ายงานพัฒนาเครื่องมือและปรับปรุง ห้องปฏิบัติการทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาต่อผู้วิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้ามีกำลังใจในการทำวิจัยตลอดมา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ทางด้านวิชาการทั้งใน อดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณนายบุญทรง ประดิษฐ์วัฒนกิจ ผู้เป็นบิดา ที่ให้ความรัก ความห่วงใย และการส่งเสริมทางการศึกษาอย่างเปี่ยมล้นตลอดมาจนทำให้ผู้วิจัยไม่ย่อท้อต่อ อุปสรรคที่เกิดขึ้นตลอดมา

เกษม ประดิษฐ์วัฒนกิจ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ข้อยกเว้นเบื้องต้น	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์	3
2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 กล่าวนำ	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.3 สรุป	9
3 ทฤษฎีและสมมติฐานที่เกี่ยวข้อง	11
3.1 กล่าวนำ	11
3.2 ความสำคัญของน้ำ	11
3.3 น้ำเสีย	12
3.3.1 ประเภทของน้ำเสีย	12
3.3.2 ลักษณะของน้ำเสีย	13
3.4 บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD)	17

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.1	ปฏิกิริยาของ BOD	18
3.4.2	วิธีการหาค่า BOD	19
3.4.3	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด	22
3.4.4	วิธีการวัด	23
3.5	ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD)	31
3.5.1	การวิเคราะห์หา COD ด้วยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด	33
3.6	เครื่องวัดการดูดกลืนแสง	43
3.6.1	ธรรมชาติของแสง	44
3.6.2	กฎการดูดกลืนแสง	44
3.6.3	UV-Visible Spectroscopy	45
3.6.4	เครื่องวัดการดูดกลืนแสง	45
3.6.5	ส่วนประกอบของเครื่องวัดการดูดกลืนแสง	46
3.6.6	ชนิดของเครื่องวัดการดูดกลืนแสง	47
3.6.7	วิธีใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสง	48
3.7	มันสำปะหลัง	51
3.7.1	กากมันสำปะหลัง	51
3.7.2	การใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลัง	53
3.7.3	การแปรรูปมันสำปะหลัง	54
3.7.4	กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพในโรงงาน แป้งมันสำปะหลัง	55
3.7.5	ระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไม่ใช้ออกซิเจน	56
3.7.6	ระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม ผลิตแป้งมันสำปะหลัง	56
3.7.7	แก๊สชีวภาพ	57
3.8	โอโซน	59

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.8.1	ข้อดีของการนำแก๊สไอโซนมาใช้งานบำบัดน้ำเสียแทนคลอรีน	60
3.8.2	คุณสมบัติทางกายภาพของไอโซน	60
3.8.3	คุณสมบัติทางแสงของไอโซน	61
3.8.4	กระบวนการเกิดไอโซน	62
3.8.5	การผลิตไอโซน	64
3.8.6	การผลิตไอโซนโดยวิธีดีสชาร์จไฟฟ้า	67
3.8.7	การผลิตไอโซนจากการเกิดโคโรนาดีสชาร์จ	68
3.9	สรุป	70
4	วิธีดำเนินการวิจัย	71
4.1	รูปแบบการวิจัย	71
4.2	น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ	71
4.3	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	71
4.3.1	การออกแบบต้นแบบระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยดีสชาร์จ ทางไฟฟ้า	71
4.3.2	การสร้างต้นแบบระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้า	76
4.3.3	การเตรียมตัวอย่างและวิธีการทดสอบระบบการบำบัดน้ำเสีย และน้ำเสียด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้า	84
4.3.4	การเตรียมน้ำเสียจากมันสำปะหลังสำหรับทดสอบ ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้า	90
4.4	วิธีการวิเคราะห์น้ำเสียและน้ำเสียน้ำ	102
4.5	สรุป	102
5	ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	103
5.1	กล่าวนำ	103
5.2	ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียและน้ำเสียน้ำ	103
5.3	ผลการทดลอง	104
5.3.1	ประสิทธิผลในการลดสี	104

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3.2 การวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงสีของตัวอย่างน้ำเสีย	108
5.4 ประสิทธิภาพในการลดค่า COD ของน้ำเสีย	111
5.4.1 ประสิทธิภาพในการลดค่า COD ของน้ำเสียจากบริษัท อุตสาหกรรมแปงโคราช จำกัด	111
5.4.2 ประสิทธิภาพในการลดค่า COD ของน้ำเสียจากบริษัท เอี่ยมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด	112
5.4.3 ประสิทธิภาพในการลดค่า COD ของน้ำเสีย ที่ได้จากการเตรียมขึ้น	113
5.5 ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ของน้ำเสีย	114
5.5.1 ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ของน้ำเสียจากบริษัท อุตสาหกรรมแปงโคราช จำกัด	114
5.5.2 ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ของน้ำเสียจากบริษัท เอี่ยมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด	115
5.5.3 ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ของน้ำเสียที่ได้ จากการเตรียมขึ้น	116
5.6 สรุป	117
6 สรุปและข้อเสนอแนะ	119
6.1 สรุป	119
6.2 ข้อเสนอแนะ	121
รายการอ้างอิง	122
ภาคผนวก	126
ภาคผนวก ก, ผลการทดลอง	126
ประวัติผู้เขียน	138

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
3.1 การเลือกขนาดตัวอย่างและอัตราเงื่อนงำสำหรับช่วง BOD ต่าง ๆ.....	21
3.2 ปริมาณของตัวอย่างน้ำและสารเคมีสำหรับขวดแก้วขนาดต่าง ๆ	34
3.3 องค์ประกอบทางเคมีกายภาพของน้ำสำหรับ.....	51
3.4 องค์ประกอบภายในภาชนะสำหรับ.....	52
4.1 รายละเอียดอุปกรณ์ของระบบชุดทดสอบโคโรนาดีสชาร์จ	84
4.2 ตัวแปร และวิธีการวิเคราะห์ที่เลือกใช้.....	102
5.1 ลักษณะของน้ำเสียที่เตรียมขึ้นเองและน้ำเสียจากโรงงาน อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง.....	104



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1	(ก) ขณะเติมน้ำตัวอย่างลงในขวด BOD 1 mL และ (ข) ขณะทำการเจือจาง ด้วยน้ำเจือจางให้ได้ปริมาตร 300 mL 24
3.2	(ก) ขณะเติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 2 mL ลงในขวด BOD และ (ข) ขณะเติมสารละลายอัลคาไล-ไฮโดรคลอไรด์ 2 mL ลงในขวด BOD 25
3.3	(ก) ขณะผสมสารละลายให้เข้ากัน และ (ข) ขณะตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน จนได้ปริมาณน้ำใส 1/2 ของขวด 25
3.4	(ก) ขณะเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นจำนวน 2 mL ลงในขวด BOD และ (ข) ขณะผสมให้เข้ากัน โดยทำการคว่ำขวดขึ้นลงจนกระทั่งตะกอนละลายหมด 26
3.5	(ก) ขณะตวงสารละลายออก และ (ข) ปริมาตร 200 mL ที่ได้หลังจากการตวง 27
3.6	ก) ขณะทำการไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 N และ (ข) ขณะทำการไตเตรทได้สารละลายสีฟางข้าว 27
3.7	(ก) ขณะทำการเติมน้ำแข็งจำนวน 2 mL จนได้สีน้ำเงินเข้ม (ข) ขณะทำการไตเตรท และ (ค) ขณะทำการไตเตรทต่อไปจนกระทั่ง สีน้ำเงินหายไปเปลี่ยนเป็นสีใส 28
3.8	(ก) ขณะตักสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ประมาณ 2 g และ (ข) ขณะทำการละลายสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ กับน้ำกลั่น 100 – 150 mL 29
3.9	(ก) ขณะทำการเติมกรดซัลฟูริก 3.6 N จำนวน 10 mL และ (ข) ขณะทำการเติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไบโอไอเดต 0.025N จำนวน 20 mL..... 29
3.10	(ก) ขณะทำการเจือจางให้ได้ปริมาตร 200 ml และ (ข) ขณะทำการเติมน้ำแข็งจำนวน 2 mL 30
3.11	(ก) ขณะทำการไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025N และ (ข) ขณะทำการไตเตรทจนได้สารละลายสีใส 31

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 (ก) และ (ข) ขณะทำแบลงก์โดยการเติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อยสลาย 5 mL (แทนปริมาตรน้ำตัวอย่าง)	35
3.13 (ก) ขณะทำการเติมน้ำตัวอย่าง 0.5 mL ลงในหลอดย่อยสลาย และ (ข) ขณะเติมน้ำกลั่นเพื่อเจือจาง ให้ได้ปริมาตรรวม 5 mL	35
3.14 (ก) และ (ข) ขณะทำการเติมสารละลายโปแทสเซียมไดโครเมต 3 mL ในน้ำตัวอย่างและ แบลงก์	36
3.15 (ก) และ (ข) ขณะทำการเติมสารละลายกรดซัลฟูริกที่ผสมกับ AgSO_4 7mL ในน้ำตัวอย่างและแบลงก์	37
3.16 (ก) ขณะทำการปิดฝาจุกหลอดย่อยสลายและ (ข) ขณะนำหลอดย่อยสลาย เข้าตู้อบที่มีอุณหภูมิ 150°C เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง	37
3.17 หลอดย่อยสลายหลังจากทำการอบจนครบ 2 ชั่วโมง	38
3.18 (ก) ขณะทำการหยดเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ 5 หยด และ (ข) สารละลาย จะเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมน้ำเงิน	38
3.19 (ก) ขณะทำการไตเตรทด้วยสารละลาย FAS 0.1 N และ (ข) ขณะทำการ ไตเตรทจะต้องค่อย ๆ หยดทีละหยดจนถึงจุดยุติ สารละลาย จะเปลี่ยนเป็นสีแดงอิฐ	39
3.20 (ก) และ (ข) ขณะทำการเติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อยสลาย 5 mL	40
3.21 (ก) และ (ข) ขณะทำการเติมสารละลายมาตรฐานโปแทสเซียม ไดโครเมต 3 mL ในน้ำตัวอย่าง	40
3.22 (ก) และ (ข) ขณะเติมกรดซัลฟูริก (ที่ผสมกับ AgSO_4) 7 mL	41
3.23 (ก) ขณะทำการหยดเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ 5 หยด และ (ข) สารละลาย จะเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมน้ำเงิน	42
3.24 (ก) ขณะทำการไตเตรทด้วยสารละลาย FAS 0.1 N และ (ข) ขณะทำการ ไตเตรทจะต้องค่อย ๆ หยดทีละหยดจนถึงจุดยุติ สารละลาย จะเปลี่ยนเป็นสีแดงอิฐ	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.25 (ก) เครื่องวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสง รุ่น Spectronic 20 Genesys และ (ข) จอ LCD บอกราคาในช่วงคลื่นของแสง (nm) และค่าการดูดแสง (A)	48
3.26 ขณะทำการวัดความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารละลาย โดยปรับช่วงความยาวคลื่นให้ได้ความยาวคลื่นที่ 360 nm	49
3.27 (ก) ขณะทำการบรรจุสารละลาย blank ในหลอดวัดสาร โดยให้ได้ความสูง อย่างน้อย 3 /4 จากก้นหลอด และ (ข) กดปุ่ม 0 ABS เพื่อปรับค่าให้ได้ศูนย์	50
3.28 อุตสาหกรรมการแปรรูปแป้งมันสำปะหลัง	53
3.29 โครงสร้างโมเลกุลของแก๊สไอโซน	61
3.30 การประยุกต์ใช้งานไอโซน	65
3.31 ลักษณะดีสซาร์จแบบต่าง ๆ สำหรับใช้ในการผลิตไอโซน	66
3.32 การผลิตไอโซนจากการเกิดโคโรนาดีสซาร์จ	69
4.1 ส่วนประกอบของระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยดีสซาร์จทางไฟฟ้า	72
4.2 ถังปฏิกรณ์	72
4.3 ขนาดส่วนบนของถังปฏิกรณ์	73
4.4 ขนาดส่วนล่างของถังปฏิกรณ์	73
4.5 ขนาดแผ่นสแตนเลส	74
4.6 ขนาดแท่งสแตนเลสปลายแหลม	75
4.7 ขนาดการวางตัวของปลายแหลม-ปลายแหลม	75
4.8 การวางตัวของอิเล็กโทรด	76
4.9 ถังปฏิกรณ์อะคริลิกใสทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสำหรับใส่น้ำเสียในการบำบัด	77
4.10 ระบบอิเล็กโทรดสำหรับสร้างดีสซาร์จทางไฟฟ้าในถังปฏิกรณ์	77
4.11 ชุดปรับแรงดันให้หม้อแปลงทดสอบ	78
4.12 เครื่องปั้มน้ำ	79
4.13 ชุดควบคุมการทำงานของเครื่องปั้มน้ำและเครื่องปั้มลม	79
4.14 ภาพตัดขวางของชุดสร้างไอโซน	80
4.15 ท่อทองแดง	81

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.16	แท่งอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์.....	81
4.17	การวางตัวของแท่งอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์ภายในท่อทองแดง	82
4.18	ชุดสร้างไอโซน.....	82
4.19	ระบบชุดทดสอบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยโคโรนาดีสชาร์จ	83
4.20	ถังปฏิกรณ์สำหรับเตรียมน้ำสี	85
4.21	สีที่ใช้ในการเตรียมน้ำได้แก่ สีส้ม สีเขียวและสีดำ	86
4.22	ขณะนำสีผสมอาหารสีส้ม 3 g ละลายในน้ำ	87
4.23	ลักษณะน้ำตัวอย่างสีส้ม	87
4.24	ลักษณะน้ำตัวอย่างสีดำ	88
4.25	ลักษณะน้ำตัวอย่างสีเขียว	88
4.26	ถังปฏิกรณ์ชุดทดสอบบำบัดน้ำสี	89
4.27	บริษัท อุตสาหกรรมแปงโคราช จำกัด (โรงแปงเคอาร์ท)	90
4.28	บริเวณที่เก็บน้ำเสียตัวอย่างจะอยู่บริเวณด้านหลังของโรงงาน	91
4.29	ตัวอย่างน้ำเสียจากบริษัท อุตสาหกรรมแปงโคราช จำกัด (โรงแปงเคอาร์ท)	91
4.30	บริษัท เอี่ยมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด	92
4.31	ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน (UASB) ของโรงงาน	93
4.32	บริเวณที่เก็บน้ำเสียตัวอย่างจะอยู่บริเวณด้านหลังของโรงงาน	93
4.33	ตัวอย่างน้ำเสียจากบริษัท เอี่ยมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด	94
4.34	ถังปฏิกรณ์สำหรับหมักน้ำเสีย	95
4.35	กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและกากน้ำตาล	95
4.36	หัวมันสำปะหลังสด	96
4.37	หัวมันสำปะหลังที่สับเป็นชิ้นเล็ก ๆ เรียบร้อยแล้ว	97
4.38	มันสำปะหลังชิ้นเล็ก ๆ ที่ทุบเรียบร้อยแล้ว	97
4.39	ขณะเติมกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพลงในถังปฏิกรณ์	98
4.40	ขณะเติมกากน้ำตาลลงในถังปฏิกรณ์	98
4.41	ลักษณะน้ำเสียที่เกิดจากการหมักเป็นระยะเวลา 4 เดือน	99
4.42	ลักษณะน้ำเสียที่เกิดจากการหมักเป็นระยะเวลา 4 เดือน	99

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.43 ตัวอย่างน้ำเสียสำหรับทดสอบจากการเตรียมขึ้น	100
4.44 ถึงปฏิบัติการขณะทดลองบำบัดน้ำเสีย	101
5.1 ตัวอย่างน้ำสีส้มหลังการบำบัดเป็นเวลา 24 hr	105
5.2 ตัวอย่างน้ำสีเขียวหลังการบำบัดเป็นเวลา 24 hr	106
5.3 ตัวอย่างน้ำสีดำหลังการบำบัดเป็นเวลา 24 hr.....	107
5.4 ค่าการดูดกลืนแสง (สเปกตรัม) ของน้ำสีส้ม สีดำและสีเขียว.....	108
5.5 ค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำสีทั้ง 3 สี	109
5.6 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำสีส้ม	110
5.7 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำสีดำ	110
5.8 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำสีเขียว	111
5.9 การลดลงของค่า COD ในน้ำเสียของบริษัท อุตสาหกรรมแปงโคราช จำกัด	112
5.10 การลดลงของค่า COD ในน้ำเสียของบริษัท เอี่ยมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด	113
5.11 การลดลงของค่า COD ในน้ำเสียที่ได้จากการเตรียมขึ้น	114
5.12 การลดลงของค่า BOD ในน้ำเสียของบริษัท อุตสาหกรรมแปงโคราช จำกัด	115
5.13 การลดลงของค่า BOD ในน้ำเสียของบริษัท เอี่ยมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด	116
5.14 การลดลงของค่า BOD ในน้ำเสียของน้ำเสียที่ได้จากการเตรียมขึ้น	117

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีผลผลิตทางการเกษตรและโรงงานอุตสาหกรรมทางการเกษตรต่าง ๆ มากมาย เมื่อมีอุตสาหกรรมเกี่ยวกับการเกษตรก็จะมีสิ่งหนึ่งที่เกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ คือ น้ำเสียหรือน้ำทิ้งจากกระบวนการแปรรูปผลิตผลต่าง ๆ ทางการเกษตรเหล่านั้น โดยน้ำเสียหรือน้ำทิ้งมีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ทำให้เกิดการเน่าและมูกิ่นเหม็น ถ้าโรงงานมีระบบการบำบัดน้ำเสียที่ไม่ดีพอ เมื่อปล่อยน้ำลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติก็จะส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและชุมชนที่อาศัยอยู่โดยรอบโรงงาน

เป็นที่ทราบกันดีว่า มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญยิ่งอย่างหนึ่งของประเทศไทย จากรายงานของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร พบว่ามีมูลค่าการส่งออกหลายหมื่นล้านบาทต่อปี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพื้นที่ที่มีการปลูกมันสำปะหลังเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งจังหวัดนครราชสีมามีเกษตรกรชาวไร่มันสำปะหลังเป็นจำนวนมาก และโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังส่วนใหญ่ก็ตั้งอยู่ในเขตจังหวัดนครราชสีมาเช่นเดียวกัน เมื่อมีโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังอยู่เป็นจำนวนมาก ก็ย่อมมีของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจำนวนมากเช่นกัน กากมันสำปะหลังและน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังจะส่งกลิ่นเหม็นรบกวนชุมชนที่อยู่โดยรอบเป็นระยะทางหลายตารางกิโลเมตร และถ้าปล่อยน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการบำบัดลงแหล่งน้ำสาธารณะก็จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ไม่ได้มาตรฐาน ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางน้ำ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งก่อนระบายลงสู่แหล่งรับน้ำธรรมชาติ การบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมใช้ระบบตะกอนเร่ง (activated sludge) ซึ่งเป็นวิธีการบำบัดทางชีววิทยา (biological treatment) ทำโดยการอาศัยจุลินทรีย์ (microorganism) ย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นพิษต่อธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม แต่น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทมีปริมาณสารอินทรีย์ค่อนข้างสูงและเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน (complex organic) จุลินทรีย์อาจต้องใช้เวลาในการย่อยสลายที่นานขึ้น ทำให้การบำบัดทางชีววิทยาโดยตรงเพียงอย่างเดียวมีประสิทธิภาพต่ำ วิธีการหนึ่งที่น่าสนใจ คือ วิธีการทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) กับสารอินทรีย์ ซึ่งตัวออกซิไดซ์ ที่นิยมใช้

ได้แก่ คลอรีน คลอรีน ไดออกไซด์ โอโซน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โปแทสเซียมเปอร์มังกาเนต และการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งสามารถออกซิไดซ์สารประกอบที่ยากต่อการย่อยสลายได้ แต่การเกิดปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนกับสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียจะเกิดสารเคมีที่อันตราย อีกทั้ง คลอรีนเป็นสารที่สลายตัวในช่วงเวลาปานกลางทำให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ ดังนั้นการใช้โอโซนซึ่งสลายตัวได้เร็วกว่าคลอรีนจึงได้รับความสนใจอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจาก โอโซนเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรงและไม่เกิดสารอันตรายตกค้าง เนื่องจากโอโซนสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นออกซิเจนได้ง่าย นอกจากนั้น โอโซนยังสามารถกำจัดสีและกลิ่นของน้ำเสียได้เป็นอย่างดี

ปัญหาเรื่องกลิ่นรบกวนและน้ำเสียจากของเสียที่เกิดขึ้น ในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังก็ยังคงมีให้เห็นอยู่ตลอด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูฝน ปัญหาเรื่องกลิ่นรบกวนจะรุนแรงมาก ดังนั้นเพื่อหาแนวทางช่วยเหลือชุมชนที่อยู่โดยรอบโรงงานอุตสาหกรรม ให้มีคุณภาพชีวิตดีขึ้น และช่วยเหลือโรงงานอุตสาหกรรมในเรื่องการกำจัดของเสีย จึงได้คิด โครงการวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ขึ้นมา งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้เป็นการพัฒนาและสร้างต้นแบบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยเทคโนโลยีดีสซัลฟิไรเซชัน โดยอาศัยผลพลอยได้จากการเกิดดีซัลฟิไรเซชันทางไฟฟ้า ซึ่งได้แก่ โอโซน UV และความร้อนช่วยในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดยมีจุดมุ่งหมายในการลดกลิ่นรบกวนชุมชน และบำบัดน้ำเสียหรือน้ำทิ้งจากโรงงานให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งผ่านการบำบัดของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัด ให้อยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

1.2.3 เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบดีซัลฟิไรเซชันทางไฟฟ้าแรงสูงที่เหมาะสม สำหรับการบำบัดน้ำเสีย หรือน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

1.2.4 เพื่อออกแบบและพัฒนาสร้างต้นแบบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยดีซัลฟิไรเซชันทางไฟฟ้าแรงสูง สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.3.1 กำหนดให้การเกิดดิสชาร์จบางส่วนในชุดทดสอบ โดยใช้อิเล็กทรอนิกส์ทรานซิชันแบบพลาสมา

1.3.2 นำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ทดสอบเป็นน้ำเสียที่ได้จากโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่อยู่ในเขตจังหวัดนครราชสีมา จำนวน 2 โรงงาน

1.3.3 ทำการทดสอบที่สภาพอากาศ ณ ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ทำการศึกษาดิสชาร์จทางไฟฟ้าแรงสูง และออกแบบเครื่องกำเนิดไอโซน โดยใช้ดิสชาร์จทางไฟฟ้าแรงสูง ให้ได้เครื่องกำเนิดไอโซนที่มีประสิทธิภาพสูง โดยใช้แรงดันสูงกระแสสลับ

1.4.2 ตรวจสอบค่าบีโอดีและค่าซีโอดีของน้ำเสียก่อนและหลังการใช้งานระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อทำการปรับปรุงระบบให้ได้คุณภาพน้ำตามมาตรฐาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้เทคโนโลยีต้นแบบระบบบำบัดน้ำเสีย จากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังที่ใช้เทคโนโลยีดิสชาร์จทางไฟฟ้าแรงสูง

1.5.2 สามารถลดปัญหาภาวะต่าง ๆ ที่เกิดจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังได้ต่อสภาพแวดล้อมและชุมชนที่อยู่โดยรอบได้

1.5.3 เพิ่มคุณภาพชีวิตของชุมชนที่อาศัยอยู่โดยรอบโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

1.5.4 สามารถนำเทคโนโลยีที่ได้ ไปขยายผลใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังประเภทอื่น ๆ ต่อไป

1.6 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 6 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 เป็นบทนำกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัยข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย รวมทั้งแนะนำเนื้อหาพอสั่งเขปที่เป็นองค์ประกอบของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

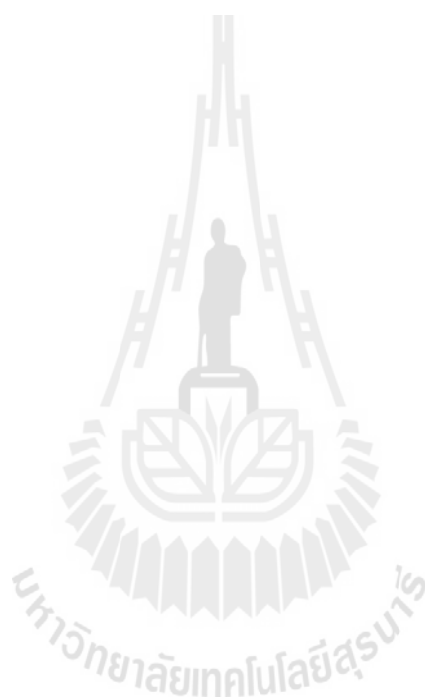
บทที่ 2 กล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีและสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยดีสารัจ
ทางไฟฟ้าแรงสูงสำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

บทที่ 4 กล่าวถึงวิธีดำเนินการวิจัย

บทที่ 5 กล่าวถึงผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

บทที่ 6 กล่าวถึงบทสรุปและข้อเสนอแนะ



บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 ว่าวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ คือ การพัฒนาต้นแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังด้วยเทคโนโลยีชีวสารจำพวกไฟฟ้าแรงสูง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องดำเนินการสำรวจปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงแนวทางการวิจัย ระเบียบวิธีที่เคยมีการใช้งานมาก่อน ผลการดำเนินงานข้อเสนอแนะต่าง ๆ จากคณะนักวิจัยตั้งแต่อดีตเป็นต้นมา โดยใช้ฐานข้อมูลที่เป็นแหล่งสะสมรายงานวิจัยและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อันได้แก่ฐานข้อมูลจาก IEEE และ Science Direct เป็นต้น ผลการสำรวจสืบค้นงานวิจัยดังกล่าวจะใช้เป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์และพัฒนาเข้ากับงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องการใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสียที่นักวิจัยหลายท่านได้ทำการค้นคว้าและวิจัย สามารถสรุปการดำเนินงานวิจัย โดยแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ก.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	การดำเนินงานวิจัย
1974	Nabel and Davies	ได้ทดลองนำโอโซนมาบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นสอง (secondary effluents) จากโรงงานเยื่อกระดาษ 4 โรงงาน พบว่าสามารถกำจัดสีในน้ำเสียได้ ทั้งนี้ยังสามารถลดค่า COD ค่า BOD และความขุ่นลงได้
1980	Glaze and Kang	ศึกษาพบว่าการใช้โอโซนร่วมกับแสง UV จะช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์พวกพอลิคลอริเนตไบฟีนิล (polychlorinated biphenyls) และ ไตรฮาโลมีเทน (trihalomethane)

ตารางที่ 2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	การดำเนินงานวิจัย
1983	Hoigne and Bader	ศึกษาพบว่าปฏิกิริยาโดยตรงระหว่างคลอรีเนตอัลคีน (chlorinated alkenes) กับ โอโซนที่ค่า pH สูง จะมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เนื่องจากอัตราการเกิดไฮดรอกซิลแรดิคอลลเร็วขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และ โอโซนร่วมกับแสงอัลตราไวโอเล็ตสามารถกำจัดคลอรีเนตอัลคีนและไตรคลอโรเอทิลีน (trichloroethylene) ได้สูงกว่าการใช้โอโซนเพียงอย่างเดียว
1992	Galbraith	ศึกษาเปรียบเทียบอัตราการสลายตัวของ 1, 3, 5 – trichlorobenzene (TCB) โดยการใช้โอโซนโดยตรงอย่างเดียว, O ₃ /high pH, O ₃ /H ₂ O ₂ , O ₃ /UV และ O ₃ /H ₂ O ₂ /UV พบว่า ที่ค่า pH = 7 อัตราการสลายตัวของ TCB เมื่อใช้โอโซนอย่างเดียวจะช้ากว่าการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมด้วยถึง 3 เท่า และในสภาพที่เป็นกรดอัตราการเกิดไฮดรอกซิลแรดิคอลลจะช้า ทำให้อัตราการสลายตัวของ TCB ช้าตามไปด้วย
1995	Preis et al.	ศึกษาการกำจัดสารฟีนอลโดยใช้โอโซน พบว่าเมื่อเพิ่มค่า pH ทำให้ปริมาณโอโซนที่ต้องใช้ออกซิไดซ์ฟีนอลลดต่ำลง การประยุกต์ใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับโอโซน พบว่าไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการออกซิไดซ์สารฟีนอล ทั้งนี้เนื่องจากทั้งสารฟีนอลและโอโซนสามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตได้เท่าเทียม จึงทำให้แสงอัลตราไวโอเล็ตไม่เหลือเป็นประโยชน์ในการทำให้โอโซนแตกตัวเป็นอนุมูลต่าง ๆ นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองโดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับโอโซนและแสงอัลตราไวโอเล็ต พบว่าไม่สามารถทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารฟีนอลเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกับการประยุกต์ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H ₂ O ₂) ร่วมกับโอโซนนั้นก็ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสารฟีนอล ทั้งนี้เนื่องจากโอโซนสามารถออกซิไดซ์สารฟีนอลได้โดยตรง แต่การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรือแสงอัลตราไวโอเล็ตนั้น จะทำให้โอโซนแตกตัวให้อนุมูลต่าง ๆ จึงไม่มีความจำเป็นในกรณีโอโซนออกซิไดซ์สารฟีนอล

ตารางที่ 2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	การดำเนินงานวิจัย
1997	Liakou et al.	ศึกษาการปรับสภาพน้ำเสียด้วยโอโซนเพื่อบำบัดน้ำเสียที่ประกอบด้วยสีย้อม Azo (orange II) จากอุตสาหกรรมสิ่งทอ เนื่องจากน้ำเสียนี้อาศัยสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน ซึ่งมีค่า BOD/COD ที่ต่ำ (น้อยกว่า 0.1) ทำให้เกิดปัญหาอุปสรรคในการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีวภาพในขั้นต่อไป จึงได้ทำการศึกษาการออกซิไดส์สีย้อมด้วยโอโซนไปเป็นสารประกอบที่สามารถย่อยสลายได้ (เกิดการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลสีย้อม) ซึ่งผลที่ได้คือสามารถลดค่า COD และทำให้เกิดสารมัธยันต์ (intermediate) ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ อันได้แก่ ออกซาเลต (oxalate), ฟอร์มेट (formate) และเบนเซนซัลโฟเนต (benzenesulfonate)
1997	วารากรณ์ และคณะ	ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยโอโซนพบว่า ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น โอโซนจะมีประสิทธิภาพในการลดค่า COD และ pH ของน้ำเสีย แต่จะเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (SS) และค่า BOD ของน้ำเสีย
1998	สุเมธ และคณะ	ศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดสารอินทรีย์และสีในน้ำกากส่าด้วยโอโซน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และสีเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของโอโซนสูงขึ้นและเวลาเก็บกักยาวนานขึ้น แต่จะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นมาเมื่อมีเหล็กออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากเหล็กออกไซด์ทำให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิลอิสระ (hydroxyl free radical) ซึ่งมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์สูงกว่าโอโซน
1999	Alfajara et al.	ศึกษาการทำโอโซนเนชันในน้ำเสียจากโรงกลั่น เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ (organic matter) และกำจัดสีของ polymeric pigment ที่เรียกว่า melanoidins อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจากการทดลองสามารถกำจัด COD ได้ร้อยละ 16 กำจัดสี ได้ร้อยละ 80 เพิ่มค่า BOD/COD ได้ร้อยละ 40 (จาก 0.3 เป็น 0.5) และลดมวลโมเลกุลของ malanoidins ได้ร้อยละ 10 ซึ่งจะเห็นได้ว่าโอโซนมีผลโดยตรงในการกำจัดสีและพัฒนาการย่อยสลายทางชีวภาพ จึงเสนอว่าควรใช้เป็นขั้นตอนการ

ตารางที่ 2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	การดำเนินงานวิจัย
		ปรับสภาพน้ำเสีย (treatment step) ก่อนเข้ากระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (anaerobic digestion) ในระบบบำบัดน้ำเสียนี้และนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียประเภทอื่น ๆ
2000	Geenens et al.	ศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยโอโซนและระบบตะกอนเร่ง เพื่อแก้ปัญหาสารพิษและปริมาณสารอาหารในน้ำชะมูลฝอยที่ไม่เหมาะสมต่อการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพ พบว่าการบำบัดน้ำชะมูลฝอยขั้นต้นด้วยโอโซนสามารถลดความเป็นพิษ เนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน และยังสามารถลดค่าสัดส่วน COD/BOD จาก 16 เป็น 6 ทำให้น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการโอโซนเนชันมีความเหมาะสมที่จะนำไปบำบัดรวมกับน้ำเสียชุมชน จากการศึกษาพบว่า การบำบัดน้ำชะมูลฝอยขั้นต้นด้วยโอโซนมีค่าใช้จ่ายประมาณ 1.34 Euro/kg COD
2000	Parisheva and Demirev	ศึกษาการทำลายเอทานอลามีน (ethanolamine) โดยกระบวนการโอโซนเนชันในตัวกลางน้ำ ประสิทธิภาพของกระบวนการพิจารณาจากระดับการเปลี่ยนแปลง, α (%) ของเอทานอลามีน ซึ่งให้ค่าสูงสุดที่ pH 11 และอุณหภูมิ $T = 283$ °K ภายใต้สภาวะนี้จะมีค่าคงที่ปฏิกิริยา (rate constants) = 0.118 min^{-1} ในการศึกษาที่พิจารณาถึงปริมาณของโอโซนคงเหลือในสถานะแก๊สและความสามารถในการสลายตัวของโอโซนในตัวเร่ง (nickel oxide) โดยปริมาณของตัวเร่งที่จำเป็นในการสลายตัวของแก๊สโอโซนคงเหลืออย่างสมบูรณ์ พิจารณาจากค่าระดับการเปลี่ยนแปลงของโอโซนคงเหลือที่ $\alpha = 100\%$

จากการค้นคว้าผลงานวิจัยที่ผ่านมา ทำให้ทราบว่า มีคณะผู้วิจัยได้คิดค้นและนำเสนอการใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสียเป็นจำนวนมาก ทำให้สามารถแบ่งประเภทของการใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสียได้ง่ายขึ้น ดังนั้นในส่วนถัดไปจากนี้เป็นการสรุปงานวิจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่องานวิจัยในครั้งนี้ โดยกล่าวถึงรูปแบบการทดสอบต่าง ๆ เพื่อศึกษาการใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสียโดยย่อ

เริ่มต้นจาก Lin et al. (1992) ได้ทำการศึกษาการใช้โอโซนในการกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมและผลของโอโซนต่อการกำจัดค่า COD จากการทดลองใช้เวลาในการทดลองแต่ละครั้งเป็นเวลา 6 ชั่วโมง สามารถกำจัดสีได้เกือบหมด และสามารถลดค่า COD ได้มากกว่า 50 % นอกจากนี้ยังพบว่า โอโซนยังทำให้โมเลกุลของสารอินทรีย์แตกออกจากกัน ทำให้ง่ายต่อการย่อยสลายต่อไปในระบบตะกอนสลัดจ์ และการใช้โอโซนร่วมกับระบบตะกอนสลัดจ์ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้น

Adams et al. (1995) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า โดยใช้ O_3 , O_3/UV และ O_3/H_2O_2 จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การใช้โอโซนอย่างเดียวให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีดีที่สุด การใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตหรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมด้วยกลับทำให้ประสิทธิภาพต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากโอโซนสามารถออกซิไดซ์สีย้อมผ้าได้โดยตรง การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรือใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต ทำให้โอโซนแตกตัวเป็นเรดิคัลต่าง ๆ ที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ชนิดอื่น ทำให้โอโซนที่ใช้ออกซิไดซ์สารอินทรีย์มีจำนวนน้อยลง

ธารกมล และคณะ (1999) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีจากน้ำเสียของโรงงานทำกระดาษ โดยเปรียบเทียบกันระหว่างถังปฏิกรณ์ที่มีปริมาตรบรรจุเท่ากันแต่ความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของถังต่างกัน 2 ถึง ความยาว 50 cm และ 100 cm ตามลำดับ โดยใช้เครื่องโอโซนที่มีกำลังการผลิตเท่ากัน พบว่าเมื่อใช้ถังปฏิกรณ์ขนาดความยาว 50 cm จะใช้เวลาในการกำจัดสีจนน้ำใสใน 24 ชั่วโมง ขณะที่เมื่อใช้ถังปฏิกรณ์ขนาดความยาว 100 cm จะใช้เวลาในการกำจัดสีเพียง 12 ชั่วโมง จากผลการทดลองจึงสรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มขนาดความยาวของถังปฏิกรณ์ทำให้สามารถลดเวลาในการกำจัดสีจากน้ำเสียลงได้ เพราะรูปร่างของถังปฏิกรณ์มีผลต่อการบำบัดโดยถังปฏิกรณ์ต้องออกแบบให้มีเวลาสัมผัส (contact time) ระหว่างโอโซนกับน้ำสีให้มากที่สุด

เนติยา และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษากระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน พบว่าที่ภาวะที่เหมาะสมที่สุด สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของค่า COD ได้ร้อยละ 75 และลดค่า BOD ได้ร้อยละ 62 ทำให้สารอินทรีย์สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายขึ้น

2.3 สรุป

ในบทที่ 2 นี้นำเสนอวรรณกรรมและการวิจัยในรูปแบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย โดยค้นคว้าจากฐานข้อมูลของ IEEE และแหล่งข้อมูลอื่น ๆ ซึ่งใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการดำเนินงานวิจัยและผลการวิจัยต่อไป

ในปัจจุบันนี้ปัญหาน้ำเสียนับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญ และทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อภาคอุตสาหกรรมมีการขยายตัวเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเริ่มทำการวิจัยขึ้น เพื่อพัฒนา

ต้นแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมด้วยเครื่องกำเนิดโอโซนโดยใช้ดีเซลสารจทางไฟฟ้าแรงสูง การใช้โอโซนบำบัดน้ำเสียสามารถลดค่า COD และค่า BOD ลงได้ อีกทั้งยังมีผลโดยตรงในการกำจัดสีของน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการศึกษานี้แตกต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมด้วยเครื่องกำเนิดโอโซนโดยใช้ดีเซลสารจทางไฟฟ้าแรงสูง จะอธิบายรายละเอียดในบทที่ 3 ต่อไป



บทที่ 3

ทฤษฎีและสมมติฐานที่เกี่ยวข้อง

3.1 กล่าวนำ

การทดสอบระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้า นั้น จำเป็นต้องรู้ถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ของการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังเสียก่อน ในบทนี้จึงได้ทำการอธิบายเกี่ยวกับเรื่องความสำคัญของน้ำ น้ำเสีย ประเภทของน้ำเสีย ลักษณะของน้ำเสียต่าง ๆ บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD) ซี โอดี (Chemical Oxygen Demand: COD) เครื่องวัดการดูดกลืน ลักษณะมันสำปะหลัง การแปรรูปมันสำปะหลัง กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพในโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง ระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง แก๊สชีวภาพ โอ โชน ข้อดีของการนำแก๊สโอ โชนมาใช้งานบำบัดน้ำเสียแทนคลอรีน คุณสมบัติทางกายภาพของโอ โชน กระบวนการเกิดโอ โชน และการผลิตโอ โชน นอกจากนี้ยังนำเสนอการผลิตโอ โชนในวิธีต่าง ๆ โดยวิธีดีสชาร์จทางไฟฟ้าและวิธีการผลิตโอ โชนจากการเกิดโคโรนาดีสชาร์จ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2 ความสำคัญของน้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผิวโลก และมีอยู่ในสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ทั้งมนุษย์ สัตว์ พืช และจุลินทรีย์ ถือเป็นทรัพยากรที่สำคัญของมนุษย์

น้ำมีความจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิด โดยเฉพาะมนุษย์ ซึ่งจำเป็นต้องใช้น้ำในการอุปโภค บริโภค มนุษย์บริโภคน้ำเข้าไปในร่างกายและปล่อยน้ำออกจากร่างกายมากกว่าสารอื่น ๆ น้ำเป็นส่วนสำคัญของเนื้อเยื่อเกือบทุกชนิดและยังทำหน้าที่เป็นตัวกลางสำหรับลำเลียงถ่ายเทสารอาหาร และของเสีย นอกจากนี้ยังช่วยรักษาอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ ร่างกายมนุษย์ประกอบด้วยน้ำประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว นอกจากนี้การใช้ประโยชน์ของน้ำสำหรับมนุษย์นั้นยังมีอีกมากมายหลายอย่างได้แก่ การใช้เพื่อชำระล้างร่างกายและเครื่องนุ่งห่ม ใช้ในการประกอบอาหาร การเกษตร การล้างทำความสะอาดถนนและสาธารณสถานอื่น ๆ การอุตสาหกรรม การขับเคลื่อนสิ่งสกปรก การผลิตกระแสไฟฟ้าพลังน้ำ การคมนาคมและการป้องกันอัคคีภัย จึงนับว่าน้ำเป็นทรัพยากรที่มีประโยชน์มากมายต่อมนุษย์อย่างแท้จริง (พัชรภรณ์ ไชยศรี, ม.ป.ป.)

3.3 น้ำเสีย

น้ำเสีย (waste water) หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ แล้ว ตัวอย่าง เช่น การใช้ในชีวิตประจำวันของประชากร เช่น ใช้ในการอุปโภคบริโภค การประกอบอาหาร การชำระล้างร่างกาย ใช้ในอุตสาหกรรม เช่น การล้างวัตถุดิบ วัสดุอุปกรณ์ การหล่อเย็น ซึ่งทำให้น้ำดังกล่าวมีลักษณะสมบัติต่างไปจากเดิมเนื่องจากการปนเปื้อนของสิ่งสกปรก สิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่ใช้ประโยชน์จากน้ำนั้น นอกจากนี้แล้วสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจะเป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำเสียมีลักษณะสมบัติแตกต่างกันออกไป (สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2552)

3.3.1 ประเภทของน้ำเสีย

การแบ่งประเภทน้ำเสียสามารถแบ่งได้หลายรูปแบบ เช่น แบ่งตามแหล่งกำเนิดของน้ำเสีย (sources of wastewater) หรือแบ่งตามชนิดของสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย (types of impurities)

การแบ่งประเภทของน้ำเสียตามแหล่งกำเนิด

การแบ่งประเภทของน้ำเสียตามแหล่งกำเนิดนั้นเป็นที่นิยมกันมาก ทั้งนี้เนื่องจากทำให้ทราบถึงแหล่งที่มาของน้ำเสียรวมทั้งสิ่งที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียอีกด้วย การแบ่งประเภทของน้ำเสียโดยวิธีการนี้สามารถแบ่งน้ำเสียได้เป็น 3 ประเภท คือ

(1) น้ำเสียชุมชน น้ำเสียชุมชนหรืออาจจะเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าน้ำโสโครก ได้แก่ น้ำทิ้งที่มาจากชุมชน บ้านเรือนที่อยู่อาศัย อาคาร ร้านค้า โรงแรมและภัตตาคาร เป็นต้น โดยน้ำเสียดังกล่าวมักจะเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การอุปโภคบริโภค การชำระล้างร่างกาย การขับถ่าย การซักล้าง ตลอดจนการประกอบอาหาร เป็นต้น น้ำเสียส่วนนี้มักปนเปื้อนสิ่งสกปรกจำพวกสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร อุจจาระ ปัสสาวะ นอกจากนี้ยังมีผงซักฟอก สบู่และสารลดแรงตึงผิวที่เป็นส่วนประกอบในผงซักฟอก สบู่ ตลอดจนจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งอาจจะเป็นน้ำที่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและจุลินทรีย์ทั่วไป

(2) น้ำเสียเกษตรกรรม น้ำเสียจากการเกษตรเป็นน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกมาจากพื้นที่ที่มีกิจกรรมเกี่ยวกับการเกษตรไม่ว่าเป็นพื้นที่เพาะปลูกหรือพื้นที่เลี้ยงสัตว์ สิ่งที่ปนเปื้อนในน้ำเสียที่มาจากพื้นที่เลี้ยงสัตว์ส่วนใหญ่มักจะเป็นสารอินทรีย์ที่มาจากเศษอาหารสัตว์และสิ่งขับถ่ายออกมาจากตัวสัตว์ ซึ่งน้ำเสียส่วนนี้มักจะมีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง ส่วนน้ำเสียที่มาจากพื้นที่เพาะปลูกนั้นมักจะมีการปนเปื้อนของสารเคมี ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืช ที่ถูกใช้ในพื้นที่จะเพาะปลูก ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่าน้ำเสียจากการเกษตรมักจะมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์เป็นจำนวนมากรวมทั้งสารเคมีอีกด้วย

(3) น้ำเสียอุตสาหกรรม น้ำเสียอุตสาหกรรมจะเป็นน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสิ่งสกปรกที่แตกต่างกันและปริมาณของสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนก็แตกต่างกันออกไปด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรม วัตถุดิบที่ใช้ ตลอดจนกระบวนการผลิตที่ใช้ โดยที่สิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนอาจเป็นสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์หรืออาจจะเป็นทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ก็ได้ น้ำเสียอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการล้างวัตถุดิบ การล้างเครื่องจักรอุปกรณ์ การระบายความร้อน รวมทั้งกิจกรรมต่าง ๆ ของพนักงานในโรงงาน เป็นต้น

- **การแบ่งประเภทน้ำเสียตามลักษณะสมบัติของสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อน**

การจำแนกชนิดของน้ำเสีย ในวิธีการนี้อาศัยการแบ่งตามลักษณะสมบัติของสิ่งปนเปื้อน โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

(1) น้ำเสียอินทรีย์ น้ำเสียอินทรีย์เป็นน้ำเสียที่มีสิ่งสกปรกปนเปื้อนเป็นสารอินทรีย์ซึ่งจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ น้ำเสียประเภทนี้ได้แก่ น้ำเสียชุมชน น้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารและแปรรูปอาหาร น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์และน้ำเสียจากห้องเย็น เป็นต้น

(2) น้ำเสียอนินทรีย์ น้ำเสียอนินทรีย์เป็นน้ำเสียที่มีสิ่งสกปรกปนเปื้อนเป็นสารอนินทรีย์ซึ่งจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้ น้ำเสียประเภทนี้ได้แก่ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมกระดาษและอุตสาหกรรมฟอกย้อม เป็นต้น

3.3.2 ลักษณะของน้ำเสีย

ลักษณะของน้ำเสียโดยทั่วไปมี 3 ลักษณะ คือ ลักษณะน้ำเสียทางกายภาพ ลักษณะน้ำเสียทางเคมี และลักษณะน้ำเสียทางชีววิทยา

- **ลักษณะน้ำเสียทางกายภาพ**

ลักษณะน้ำเสียทางกายภาพ จะประกอบไปด้วยปริมาณของแข็งทั้งหมด สี กลิ่น ความขุ่นและอุณหภูมิ ซึ่งแต่ละลักษณะจะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันมากน้อยไม่เท่ากัน

(1) ปริมาณของแข็ง (solids) หมายถึง สิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำเสียที่ยังคงเหลืออยู่หลังจากที่ระเหยเอาน้ำออกจนหมด สิ่งที่เหลืออยู่หลังจากระเหยน้ำออกไปจะมีทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งอาจจะละลายน้ำได้หรือไม่ละลายน้ำก็ได้ ดังนั้นการแบ่งชนิดของแข็งที่ปนเปื้อนในน้ำเสียอาจจะแบ่งตามลักษณะการละลาย ได้แก่ ของแข็งที่ละลายน้ำได้และของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ ในการหาปริมาณของแข็งในน้ำเสียนั้นมีความสำคัญอย่างมากและสามารถหาได้ในหลายประเภท ดังนี้

- ค่าของแข็งตกตะกอน (settleable solids) มีความสำคัญมากโดยเฉพาะในการออกแบบถังตกตะกอนและขนาดของเครื่องสูบลอยของแข็งตกตะกอนสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ของแข็งตกตะกอนระเหยได้และของแข็งตกตะกอนไม่ระเหย

- ปริมาณของแข็งแขวนลอย (suspended solids: SS) หมายถึง ของแข็งส่วนที่ไม่ละลายในน้ำแต่จะแขวนลอยอยู่ในน้ำ เช่น เกลือสารอนินทรีย์หรือสารอินทรีย์

- ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solids: TS) หมายถึง ของแข็งทั้งหมดที่เหลืออยู่หลังจากระเหยน้ำออกหมดแล้ว เพื่อให้ทราบว่าปริมาณสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำเสียเป็นเท่าใด

- ปริมาณของแข็งระเหยได้ (volatile solids) หมายถึง ค่าของแข็งซึ่งระเหยได้เมื่อนำไปเผาในอากาศที่อุณหภูมิสูง (550 ± 50 °C) ของแข็งนี้ ได้แก่ สารอินทรีย์ ซึ่งเมื่อเผาแล้วจะเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ

(2) กลิ่น (odor) กลิ่นในน้ำเสียเกิดขึ้นได้ 2 สาเหตุใหญ่ ๆ คือ กลิ่นที่มีอยู่ในน้ำเสียเดิมแต่แรกและกลิ่นที่เกิดขึ้นหลังจากการกักเก็บน้ำเสียไว้นานหรือเกิดขึ้นหลังผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียบางประเภท เช่น ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ส่วนมากแล้วกลิ่นเหม็นที่เกิดขึ้นภายหลังมักจะเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ เช่น แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ แก๊สแอมโมเนีย เป็นต้น ซึ่งเป็นสารประกอบที่ขาดออกซิเจน ดังนั้นการบำบัดหรือกำจัดกลิ่นสามารถทำได้ง่าย ๆ โดยการเติมออกซิเจนให้กับสารเหล่านั้น สารที่นิยมใช้กันมาก คือ คลอรีน ไฮโปคลอไรต์ เปอร์แมงกานेट เป็นต้น

(3) สี (color) สีของน้ำเสียเกิดขึ้นได้ 2 กรณี คือ สีของน้ำเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากการปนเปื้อนมาแต่แรก เช่น สีของน้ำเสียจากโรงงานทอผ้า ฟอกย้อม เป็นต้น สีที่เกิดขึ้นในน้ำเสียหลังจากการเก็บกักน้ำเสียไว้ระยะหนึ่ง หรือเกิดขึ้นหลังจากผ่านการบำบัดเช่นในกรณีระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่ง ที่อาศัยสาหร่ายเป็นตัวให้ออกซิเจนกับบ่อบำบัดน้ำเสียซึ่งตัวสาหร่ายเองนั้นจะทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีสีเขียว นอกจากนี้สีของน้ำเสียอาจเกิดขึ้นจากการย่อยสลายหรือน้ำเสียของสารอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น จากการย่อยสลายของเศษใบไม้หรือจุลินทรีย์สารอินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งมักจะเปลี่ยนเป็นสีชา เป็นต้น ผลเสียของสีในน้ำเสียส่วนใหญ่จะส่งผลกระทบต่อแสงแดดลงใต้น้ำทำให้การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายลดลงเป็นที่น่ารังเกียจ

(4) อุณหภูมิ (temperature) น้ำเสียที่ถูกปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยมากจะมีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ และเมื่อปล่อยทิ้งไปยังแม่น้ำลำคลอง จะทำให้สภาพแวดล้อมในแม่น้ำลำคลองนั้น ๆ เปลี่ยนแปลงไปได้

(5) ความขุ่น (turbidity) ความขุ่นของน้ำเสียส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากสารแขวนลอยที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียนั้นเองจะกั้นหรือบังไม่ให้แสงแดดส่องลงใต้น้ำเช่นเดียวกับสีที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย

- **ลักษณะน้ำเสียทางเคมี**

ลักษณะน้ำเสียทางเคมีของน้ำเสียที่จำเป็นในการตรวจวิเคราะห์จะประกอบด้วย สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ในรูปของ ของแข็ง ของเหลวและแก๊ส เป็นต้น

(1) สารอินทรีย์ สารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียอาจจะอยู่ในรูปของสารละลาย สารแขวนลอยและอยู่ในรูปของแข็งภาคตะกอนได้ สารเหล่านี้อาจแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ตามคุณสมบัติในการย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ คือ สารที่ย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์และสารที่ไม่สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์หรือย่อยสลายได้ยากโดยจุลินทรีย์ การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารอินทรีย์มีการหาได้หลายรูปแบบ กล่าวคือ สามารถหาได้ในรูปของการหาปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการสันดาปสารอินทรีย์นั้น หรือหากจากปริมาณคาร์บอนในสารอินทรีย์ในเรื่องของการวิเคราะห์หาลักษณะสมบัติของน้ำเสียนั้นมักไม่นิยมที่จะวิเคราะห์หาสารอินทรีย์ชนิดใดชนิดหนึ่งโดยเฉพาะ เช่น วิเคราะห์หาน้ำตาล โปรตีนหรือแป้ง เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียโดยทั่วไปประกอบด้วยสารอินทรีย์หลายประเภทผสมกันอยู่ การวิเคราะห์หาสารอินทรีย์ชนิดใดชนิดหนึ่งเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก การหาปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของการหาปริมาณความต้องการออกซิเจนจึงเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากและวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีอยู่ 4 วิธี คือ

- การวิเคราะห์หาค่า COD (Chemical Oxygen Demand)
- การวิเคราะห์ค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand)
- การวิเคราะห์ค่า TOD (Total Organic Demand)
- การวิเคราะห์ค่า ThOD (Theoretical Oxygen Demand)

การวิเคราะห์ค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand) และการวิเคราะห์หาค่า COD (Chemical Oxygen Demand) จะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ

(2) สารอนินทรีย์ น้ำเสียทั่วไปจะมีปริมาณสารอนินทรีย์ปนเปื้อนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสียนั้น ๆ โดยสารอนินทรีย์บางชนิดจะเป็นสารสำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบบำบัด แต่สารอนินทรีย์บางชนิดอาจจะมีอยู่ในน้ำเสียไม่ได้เพราะจะเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียสามารถจำแนกออกได้ดังนี้

- ค่าความเป็นด่าง (alkalinity) ค่าความเป็นด่าง หมายถึง ความจุของน้ำที่สะเทินกรด ความสามารถของน้ำที่จะทำให้กรดเป็นกลาง ความสามารถของน้ำที่จะได้รับไฮโดรเจนไอออนเพื่อทำให้กรดเป็นกลาง ค่าความเป็นด่างในน้ำเสียส่วนใหญ่จะเป็นผลมาจากไฮดรอกไซด์คาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตของโลหะต่าง ๆ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียมหรือแอมโมเนีย แต่น้ำเสียส่วนใหญ่ค่าความเป็นด่างมักมาจากแคลเซียมไบคาร์บอเนตและแมกนีเซียมไบคาร์บอเนต การวิเคราะห์หาค่าความเป็นด่างสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีอินดิเคเตอร์และวิธีโพเทนทิโอเมตริก

- สารประกอบซัลเฟอร์ สารประกอบซัลเฟอร์ที่มีอยู่ในน้ำเสียมียุหลายรูปตามชนิดและแหล่งกำเนิดของน้ำเสีย สารประกอบซัลเฟอร์อาจจะอยู่ในรูปของ organic sulfur เช่น โปรตีนและกรดอะมิโน สารประกอบไฮโดรเจนซัลไฟด์ สารประกอบซัลเฟตและธาตุซัลเฟอร์

เป็นต้นสารประกอบซัลเฟอร์สามารถเปลี่ยนรูปไปมาได้โดยปฏิกิริยาชีวเคมีของจุลินทรีย์เป็นสิ่งสำคัญ วิธีการวิเคราะห์หาค่าซัลเฟตมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมกันมากและใช้ในการวิเคราะห์น้ำเสีย คือ การวิเคราะห์โดยการวัดความขุ่น เพราะเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็วแล้วสามารถหาซัลเฟตในน้ำ ตัวอย่างในปริมาณต่ำ ๆ หากน้ำตัวอย่างมีปริมาณซัลเฟตสูงจะต้องทำการเจือจางก่อน

- คลอไรด์ น้ำเสียส่วนใหญ่จะมีการปนเปื้อนของเกลือชนิดต่าง ๆ มากมาย โดยเฉพาะเกลือคลอไรด์ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอาหารมักมีการปนเปื้อนของคลอไรด์เนื่องจากในอุตสาหกรรมอาหารจะมีการใช้เกลือคลอไรด์ในกระบวนการผลิต คลอไรด์ในน้ำเสียหากมีปริมาณไม่มากอาจจะไม่ค่อยส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมมากนัก แต่หากมีปริมาณมากอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำที่รองรับน้ำเสียนั้น

- โลหะหนัก (heavy metals) ส่วนใหญ่จะละลายอยู่ในน้ำเสียในรูปของไอออน และส่วนใหญ่จะเป็นพิษ ซึ่งจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยเฉพาะระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา กล่าวคืออาจจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียด้วย

- แก๊ส แก๊สที่พบในน้ำเสียมักมีทั้งอยู่ในน้ำเสียเดิมหรือเกิดจากปฏิกิริยาชีวเคมี โดยจุลินทรีย์ในน้ำเสีย ได้แก่ ไนโตรเจน ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนียมีเทน ความสามารถในการละลายของแก๊สต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความเข้มข้นของเกลือต่าง ๆ ในน้ำเสียหรือสารแขวนลอยในน้ำเสีย

• ลักษณะน้ำเสียทางชีวภาพ

ลักษณะน้ำเสียทางชีววิทยา ซึ่งจุลินทรีย์ที่กล่าวถึงจะมีทั้งแบบจุลินทรีย์ที่ไม่ก่อให้เกิดโรค ได้แก่ พวกแบคทีเรีย โปรโตซัว สาหร่ายหรือราบางชนิดและจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคในสิ่งมีชีวิต ได้แก่ ไวรัส แบคทีเรีย โปรโตซัว และหนอนพยาธิ เป็นต้น (พัชราภรณ์ ไชยศรี ม.ป.ป.) น้ำเสียที่มีการปนเปื้อนจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่ น้ำเสียที่มาจากชุมชนหรือโรงพยาบาล ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ จากการขับถ่ายซึ่งบางครั้งอาจมีการปนเปื้อนของเชื้อโรค การแบ่งประเภทของจุลินทรีย์ในน้ำเสียหรือในธรรมชาติ สามารถแบ่งได้ดังนี้

(1) แบคทีเรีย (bacteria) เป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดโตกว่าไวรัส สามารถมองเห็นโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ธรรมดาส่องได้ มีเซลล์เดี่ยว ใช้อาหารในรูปสารละลาย ส่วนใหญ่ก็เป็นโรคที่สามารถป้องกันรักษาได้ ได้แก่ อหิวาตกโรค โรคไข้ไทฟอยด์ โรคบิด

- ออโตโทรฟิกแบคทีเรีย (autotrophic bacteria หรือ autotrophy) แบคทีเรียชนิดนี้จะใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งอาหารคาร์บอนจากคาร์บอนไดออกไซด์ โดยสร้างอาหารได้ด้วยตัวเอง (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2542)

- เฮเทอโรโทรฟิคแบคทีเรีย (heterotrophic bacteria หรือ heterotrophy) แบคทีเรียชนิดนี้ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ ใด้แหล่งอาหารคาร์บอนมาจากสารอินทรีย์ โดยการรับอาหารจากที่อื่น

(2) รา (fungi) เป็นจุลินทรีย์ที่มีหลายเซลล์ ไม่มีการสังเคราะห์แสงจะอยู่ในสภาวะมีออกซิเจน สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่มีอาหารน้อย ที่ pH ต่ำ ๆ และที่มีความชื้นต่ำ อีกด้วยมีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย

(3) สาหร่าย (algae) สาหร่ายเป็นทั้งเซลล์เดียวและหลายเซลล์ สามารถปล่อยกลิ่นและทำให้รสชาติของน้ำปะปาเปลี่ยนแปลงได้ เป็นอาหารของสิ่งมีชีวิตทั่ว ๆ ไปได้

(4) โปรโตซัว (protozoa) เป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดโตกว่าแบคทีเรีย ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า โปรโตซัวที่ทำให้เกิดโรคได้แก่ โรคบิดชนิดอมีบา โรคจิอาร์เดีย ทำให้เกิดท้องเสียท้องร่วงระยะนาน ปวดท้อง น้ำหนักลดลงอย่างรวดเร็ว ปวดเมื่อยตัว ฯลฯ

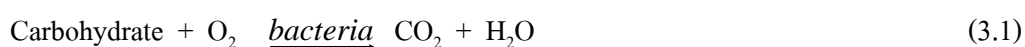
(5) ไวรัส (virus) เป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กมากที่สุด ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ไวรัสที่อาจพบแพร่กระจายในน้ำแล้วทำให้เกิดโรคในมนุษย์

3.4 บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD)

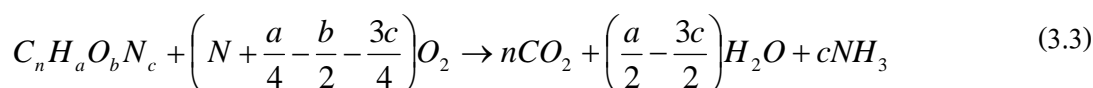
บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD) หมายถึง ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ไปในระบบกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในสภาวะที่มีออกซิเจน

ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่มีออกซิเจนนี้ สารอินทรีย์เปรียบเสมือนเป็นอาหารของแบคทีเรียให้มีพลังงานใช้ในการเจริญเติบโต แบ่งตัวและขยายพันธุ์สืบต่อไป กระบวนการนี้ทำให้ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำถูกใช้ไปเป็นอาหารของแบคทีเรีย ทำให้ลดจำนวนน้อยลงเรื่อย ๆ เกิดการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลาย ผลผลิตสุดท้ายได้พวกแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนียและน้ำ แบคทีเรียใช้ออกซิเจนเพื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์อาจแบ่งการย่อยสลายเป็น 2 ระยะ (“Biochemical Oxygen Demand,” เอกสารประกอบการเรียนรายวิชา 432205 ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม 2, 2552) คือ

ระยะที่ 1 เป็นการย่อยสลายสารประกอบคาร์บอน เช่น พวกแป้งและโปรตีน ให้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย คือ คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนียและน้ำ ดังสมการ



ระยะที่ 2 เป็นการย่อยสลายสารแอมโมเนียให้เป็นพวกไนโตรเจนอินทรีย์ (organic nitrogen) โดยแบคทีเรียพวกไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (nitrifying bacteria) หรือพวกออโตทรอฟริกแบคทีเรีย (autotrophic bacteria) จะออกซิไดซ์ $NH_3 \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-$ ตามลำดับ ปฏิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ดังกล่าวทั้งสองระยะอาจเขียนสมการทั่ว ๆ ไปดังนี้



จากสมการที่ 3.3 จะเห็นว่าสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้นั้น (decomposable organic matter) ผลิตผลสุดท้ายของการย่อยสลายสารพวกนี้จะกลายเป็นสารพวกคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และ แอมโมเนีย

การหาปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำในรูปของ BOD โดยการหาปริมาณออกซิเจนที่ใช้ไปทั้งหมดในระหว่างสิ่งมีชีวิตใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรีย) จึงใช้ค่า BOD บอกถึงปริมาณความสกปรกของน้ำเสียต่าง ๆ ได้โดยวิเคราะห์ออกมาในรูปของออกซิเจนละลายน้ำ

3.4.1 ปฏิริยาของ BOD

การย่อยสลายตัวในปฏิริยาออกซิเดชันของ BOD เป็นไปตามธรรมชาติเกิดขึ้นที่ $20^\circ C$ เป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในน้ำธรรมชาติทั่วไป สารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายได้หมดอย่างสมบูรณ์นั้นช้ามาก ฉะนั้นในทางปฏิบัติถือว่าระยะเวลา 20 วัน จะมีการย่อยสลายได้เกือบสมบูรณ์ ส่วนใหญ่จะมีการย่อยสลายอย่างรวดเร็วในระยะเวลา 5 วัน ดังนั้นในการหาค่า BOD ซึ่งเกี่ยวกับการวัดค่าออกซิเจนของแบคทีเรียเพื่อใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สารในน้ำเสีย ภายใต้สภาวะที่เหมือนธรรมชาติที่สุด เพื่อการย่อยสลายที่คงที่ ต้องเก็บตัวอย่างน้ำไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ $20^\circ C$ เป็นเวลา 5 วัน ถ้าเวลาน้อยกว่านี้ปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปจะน้อยมาก และเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ O_2 ในระยะที่ 2 ซึ่งพวกไนตริไฟอิงแบคทีเรียจะไปย่อยสลายพวกสารแอมโมเนียให้สารไนโตรทริก จะทำให้ค่าของ BOD ผิดจากความเป็นจริงไปมาก ค่าของ BOD ที่ 5 วัน ใช้สัญลักษณ์ BOD_5 (5 - day BOD) ค่าของ 5 - day BOD นี้ เป็นปริมาณที่ได้ถึง 70 - 80 % ของ Total BOD

การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยพวกแบคทีเรียในน้ำภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนพบว่าปริมาณของสารอินทรีย์จะลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากในปฏิริยาต้องใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์และค่าของ BOD ก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายหมด ค่า BOD ที่ได้ จะเป็นค่า BOD ทั้งหมดของน้ำนั้นเรียกว่า Ultimate BOD จะเห็นได้ว่าค่า BOD ทั้งหมดของน้ำใด ๆ เปรียบได้กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายน้อยลง ดังนั้นปริมาณของออกซิเจนที่ถูกใช้ไปจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณของสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลาย ซึ่งสามารถหา

ค่าของ BOD ที่มีการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์หรือจะหาค่าของ BOD เมื่อมีการย่อยสลายไปได้ ณ เวลาไหนก็ได้เช่นกันจากการคำนวณดังสมการที่ 3.4

$$Y = L(1 - 10^{-kt}) \quad (3.4)$$

เมื่อ Y = ค่า BOD ที่เวลา t (คือ ปริมาณของออกซิเจนเป็น mg/L ที่ถูกใช้ไปในเวลา t วัน ตามกำหนด)

L = Total BOD หรือ Ultimate BOD มีหน่วยเป็น mg/L

T = เป็นระยะเวลาที่ต้องการหาค่า หน่วยเป็นวัน

K = เป็นค่าคงตัวซึ่งแปรผันไปตามอุณหภูมิของน้ำ ชนิดของแบคทีเรียและสารอินทรีย์หาได้จากตารางค่าประมาณ 0.05 – 0.3 ต่อวัน ประสิทธิภาพประมาณ 0.1 ต่อวัน

3.4.2 วิธีการหาค่า BOD

วิธีการหาค่า BOD มี 2 วิธี คือ

- **วิธีตรง (direct method)**

เป็นวิธีการวิเคราะห์โดยใช้กับตัวอย่างน้ำที่มีความสกปรกน้อยคือ มีค่า BOD ไม่เกิน 7 mg/L ส่วนใหญ่เป็นน้ำจากแม่น้ำ วิธีนี้ไม่จำเป็นต้องเจือจางตัวอย่างน้ำด้วยน้ำกลั่นสามารถใช้ตัวอย่างน้ำมาหาค่า BOD โดยตรงเลย

การหาค่า BOD ทำได้ด้วยวิธีการหาออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen: DO) โดยเอาผลต่างของ DO ในวันที่เริ่มต้นกับค่า DO ที่นำไปบ่มในตู้อบ 20 °C เป็นเวลา 5 วัน มาวัดค่า DO เพื่อหาค่าผลต่างของค่า DO ระหว่างวันแรกกับวันที่ 5 คือค่า BOD ค่า BOD สามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ 3.5

$$BOD = DO_0 - DO_5 \quad (3.5)$$

เมื่อ BOD = ค่าของปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปในเวลา 5 วัน มีหน่วยเป็น mg/L

DO₀ = ค่าของปริมาณออกซิเจนที่หาได้ในวันเริ่มต้น

DO₅ = ค่าของปริมาณออกซิเจนที่หาได้ในวันที่ 5

- **วิธีเจือจาง (dilution method)**

เมื่อตัวอย่างน้ำมีความต้องการออกซิเจนสูงกว่า 7 mg/L (หรือมีค่า BOD สูงกว่า 7 mg/L) คือตัวอย่างน้ำที่มีความสกปรก เช่น น้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน โรงงาน อุตสาหกรรม น้ำเหล่านี้จะมีค่า BOD₅ เกิน 7 mg/L ดังนั้นถ้าไม่ทำการเจือจางลงปริมาณออกซิเจนในตัวอย่างจะมีไม่พอที่จะใช้ย่อยสารอินทรีย์ในน้ำ นั่นคือไม่สามารถวัดค่าของ DO₅ เนื่องจากมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นจึงต้องทำให้ตัวอย่างน้ำเจือจางก่อนด้วยน้ำกลั่น ในอัตราส่วนที่เหมาะสมเนื่องจากอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ที่เหลือ ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ในตัวอย่าง ก็ถูกทำให้เจือจางเป็นปฏิภาคโดยตรงกับเปอร์เซ็นต์ของการทำให้เจือจาง โดยมีวิธีการประกอบด้วย

(1) การเตรียมน้ำผสมเจือจาง (dilution water)

- น้ำกลั่นที่ปราศจากสารพิษ มาปรับอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 20 ± 1 °C
- ปรับ pH ด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ระหว่าง 6.5 - 8.5
- ปรับคุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับการดำรงชีพของจุลินทรีย์ โดยผสมแมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์และสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ตัวอย่างละ 1 mL ต่อน้ำกลั่น 1 L

- เติมอากาศที่มีออกซิเจนอิ่มตัว

ตัวอย่างน้ำที่นำมาหาค่า BOD นั้นมาจากแหล่งน้ำต่างกัน องค์ประกอบที่อยู่ในตัวอย่างน้ำย่อมแตกต่างกันไป โดยเฉพาะน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะแตกต่างจากน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนมาก แบคทีเรียในน้ำเสียเหล่านี้จะมีปริมาณและชนิดต่างกัน เพื่อจัดข้อแตกต่างเหล่านี้ จึงต้องทำการเจือจางน้ำตัวอย่างด้วยน้ำผสมเจือจาง

(2) การเติมหัวเชื้อ (seed correction)

การเติมหัวเชื้อ จะต้องนำหัวเชื้อมาทำเจือจางแล้วนำไปบ่ม เช่นเดียวกับน้ำตัวอย่าง หลังจากนั้นนำมาหาค่าการใช้ออกซิเจนหลังจาก 5 วัน เลือกตัวอย่างที่มีการใช้ออกซิเจนระหว่าง 40 – 70 %

(3) การใช้แบลงค์

เมื่อมีการเติมหัวเชื้อ ลงในขวด BOD นั้น เท่ากับว่าอาจจะเป็นการเติมสารอินทรีย์ให้กับขวด BOD ด้วยเช่นกัน การวัดค่า BOD จึงต้องมีการทำแบลงค์เพื่อหาค่า BOD ที่เกิดจากหัวเชื้อวิธีการแก้ไขทำได้โดยเตรียมขวด BOD ที่เป็นแบลงค์เพิ่มขึ้นอีก 1 ขวด โดยขวดนี้จะทำการทดลองเหมือนขวดตัวอย่างอื่น เพียงแต่จะไม่ทำการเติมตัวอย่างน้ำภายในขวด จึงมีแต่น้ำเจือจางที่เติมสารต่าง ๆ และหัวเชื้อ เมื่อทำการบ่มครบ 5 วัน ทำการวัดค่า DO ของขวดแบลงค์ จะได้ค่า BOD ของหัวเชื้อ ซึ่งสามารถนำไปหักออกจากค่า BOD ของขวดตัวอย่างอื่นได้

(4) การเลือกอัตราเจือจาง

วิธีวัด BOD เป็นงานวิเคราะห์ที่ทำได้ไม่ยาก แต่ทำให้ถูกต้องได้ยาก การเลือกใช้อัตราเจือจางที่เหมาะสมมีผลต่อการลดข้อผิดพลาดในการวัดค่า BOD

การเลือกใช้อัตราการเจือจางที่เหมาะสมต้องมี 2 เงื่อนไข ดังนี้

(1) ค่า DO ที่ใช้ไป ($DO_0 - DO_5$) ต้องไม่น้อยกว่า 2 mg/L

(2) ค่า BOD ที่เหลือ (DO_5) ต้องมีไม่น้อยกว่า 0.5 mg/L

ถ้า DO ที่ใช้ไปน้อยกว่า 2 mg/L แสดงว่าใช้อัตราเจือจางมากเกินไป (หรือใช้ขนาดตัวอย่างน้อยเกินไป) แต่ถ้า DO เหลือ (DO_5) วัดได้น้อยกว่า 0.5 mg/L แสดงว่าใช้ขนาดตัวอย่างน้ำมากเกินไปหรืออัตราเจือจางน้อยเกินไป กรณีที่ค่า BOD ผิดอย่างมาก คือ วัดค่า DO ที่เหลือไม่ได้เลย หรือมีการใช้ออกซิเจนน้อยมาก ๆ ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 3.1 ซึ่งแสดงตัวอย่างการเลือกใช้ปริมาณตัวอย่างและอัตราการเจือจางเพื่อหาค่า BOD

ตารางที่ 3.1 การเลือกขนาดตัวอย่างและอัตราเจือจางสำหรับช่วง BOD ต่าง ๆ

ปริมาณตัวอย่าง (mL)	ช่วง BOD (mg/L)	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	100 - 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

(5) การเติมหัวเชื้อในการวิเคราะห์หาค่า BOD

การเติมหัวเชื้อ คือการเติมแบคทีเรียชนิดต่าง ๆ ลงไปในตัวอย่างน้ำ เนื่องจากในตัวอย่างน้ำบางชนิดมีแบคทีเรียที่น้อย ทำให้ย่อยสลายสารอาหารไม่เพียงพอ จึงต้องการ

แบคทีเรียที่มีลักษณะเจริญเติบโตดีเดิมลงในน้ำตัวอย่าง ซึ่งมักจะพบว่าน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนมีแบคทีเรียพวกนี้มากและพอดี เรียกแบคทีเรียที่เดิมลงไปนี้ว่าหัวเชื้อ

การเติมหัวเชื้อ เป็นอีกปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์หาค่า BOD ก็จะต้องมีจุลินทรีย์เป็นตัวกลางในการทำให้เกิดการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำ ในแหล่งน้ำทั่วไป เช่น แม่น้ำ ลำคลอง และน้ำทิ้งจากชุมชนจะมีปริมาณจุลินทรีย์อยู่มากพอจึงไม่เป็นปัญหาในการวิเคราะห์ ส่วนน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมจะมีปริมาณจุลินทรีย์น้อย ในการวิเคราะห์จึงต้องจำเป็นเติมจุลินทรีย์ลงไปให้มากพอ เพื่อให้เกิดการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำ ในระดับที่พอเหมาะ

(6) วิธีการคำนวณ BOD โดยวิธีเจือจาง

• วิธี percent mixture สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 3.6 และสมการที่ 3.7

$$BOD(mg/L) = \frac{(DO_0 - DO_5)}{\%mixture} \quad (3.6)$$

$$BOD(mg/L) = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2) \times 100}{\%mixture} \quad (3.7)$$

โดยที่ D_1 = DO_0 ของตัวอย่างที่เจือจางแล้ว

D_2 = DO_5 ของตัวอย่างที่เจือจางแล้ว

B_1 = DO_0 ของน้ำเจือจาง (แบลงค์)

B_2 = DO_5 ของน้ำเจือจาง (แบลงค์)

3.4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด

(1) ขวด BOD ขนาด 300 mL

(2) ตู้บ่ม (incubator) อุณหภูมิ 20 ± 1 °C

(3) สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์หาค่า DO

- สารละลายแมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4 \cdot H_2O$) โดยใส่สาร 364 g ละลายในน้ำกลั่น จากนั้นทำการกรอง แล้วทำการเจือจางให้ได้ปริมาตร 1 L

- สารละลายอัลคาไล-ไอโอไดด์-อะไซด์ (alkali – iodide – azide) ละลาย NaOH 500 g และ NaI 135 g ในน้ำกลั่น ทำการเจือจางให้ได้ปริมาตร 1 L จากนั้นทำการละลาย NaN_3 10 g ในน้ำกลั่น 40 mL ผสมสารละลายทั้งสองเข้าด้วยกัน

- กรดซัลฟูริกเข้มข้น

- กรดซัลฟูริก ~ 3.6 N (1+9) โดยทำการเจือจางกรด H_2SO_4 เข้มข้น 1 ส่วน ด้วยน้ำกลั่น 9 ส่วน

- สารละลายแอมโมเนีย โดยทำการละลายแอมโมเนีย ประมาณ 5 – 6 g ในน้ำกลั่นเล็กน้อย แล้วเติมสารลงไปใต้น้ำกลั่นที่เดือดประมาณ 1 L ปล่อยให้เดือด 2 – 3 นาที ทิ้งไว้ให้ตกตะกอนหนึ่งคืน ใช้ส่วนบนที่ใส

- สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (sodium thiosulfate) 0.10 N โดยใส่สาร $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ 24.82 g ละลายในน้ำกลั่น แล้วทำการเจือจางให้ได้ปริมาตร 1 L

- สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต (sodium thiosulfate) 0.025 N โดยการนำสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.10 N มา 250 mL ทำการเจือจางให้ได้ปริมาตร 1 L แล้วทำการหาค่ามาตรฐานกับสารละลายมาตรฐาน $KH(IO_3)_2$

- สารละลายมาตรฐานโปแทสเซียมไบโอเดต (potassium bi-iodate) 0.025 N โดยการละลาย $KH(IO_3)_2$ 0.8124 g ในน้ำกลั่น จากนั้นทำการเจือจางให้ได้ปริมาตร 1 L

(4) สารเคมีสำหรับเตรียมทำน้ำเจือจาง

- สารละลายสะเทินฟอสเฟต ทำการละลาย KH_2PO_4 8.5 g, $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$ 33.4 g และ NH_4Cl 1.7 g ในน้ำกลั่นประมาณ 500 mL แล้วทำการเจือจางให้ได้ปริมาตร 1 L

- สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต (magnesium sulfate) ทำการละลาย $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 22.5 g ในน้ำกลั่น ทำการเจือจางให้ได้ปริมาตร 1 L

- สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride) ทำการละลาย $CaCl_2$ 27.5 g ในน้ำกลั่น ทำการเจือจางให้ได้ปริมาตร 1 L

- สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (ferric chloride) ทำการละลาย $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 0.25 g ในน้ำกลั่น ทำการเจือจางให้ได้ปริมาตร 1 L

- น้ำเจือจาง โดยการนำสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์ และเฟอร์ริกคลอไรด์อย่างละ 1 mL ละลายในน้ำกลั่น 1 L ทำการเป่าด้วยอากาศเพื่อให้ DO อิ่มตัวอย่างน้อย 72 ชั่วโมง

- น้ำกลั่น

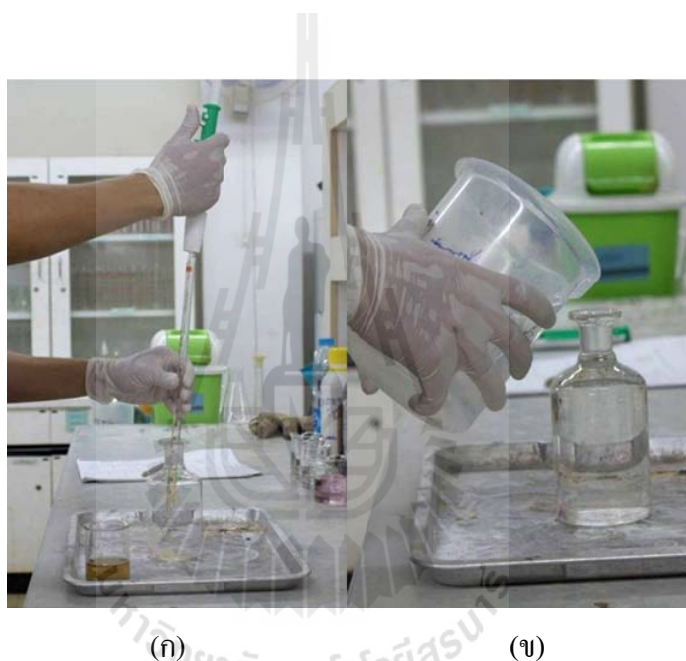
3.4.4 วิธีการวัด

(1) การหาค่าออกซิเจนละลายจากน้ำตัวอย่างและแบลนค์ ซึ่งเก็บไว้ในขวด BOD ขนาด 300 mL ทำได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เลือกอัตราเจือจางจากตารางที่ 3.1 โดยคำนวณค่า BOD จากค่า COD ของตัวอย่างน้ำเสีย (ค่า BOD = 70 % ของค่า COD) เมื่อได้ค่า BOD แล้ว ทำการเลือกอัตราเจือจาง

จากค่า BOD ที่ได้ ขณะทำการทดลองให้เลือกอัตราเจือจางที่มากกว่าและน้อยกว่าจากค่าอัตราเจือจางที่ได้เลือกไว้ เช่น สมมุติค่า BOD = 1000 mg/L เลือกอัตราเจือจางและปริมาณตัวอย่างเท่ากับ 300 และ 1 mL ตามลำดับ จากนั้นเลือกอัตราเจือจางที่มากกว่าและน้อยกว่าจากค่าอัตราเจือจางที่ได้เลือกไว้ คือ อัตราเจือจางและปริมาณตัวอย่างเท่ากับ 600 และ 0.5 mL ตามลำดับ กับอัตราเจือจางและปริมาณตัวอย่างเท่ากับ 150 และ 2 mL ตามลำดับ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 2 เลือกอัตราเจือจางและปริมาณตัวอย่างเท่ากับ 300 และ 1 mL ตามลำดับ เติมน้ำตัวอย่างลงในขวด BOD 1 mL แล้วทำการเจือจางด้วยน้ำเจือจาง ให้ได้ปริมาตร 300 mL ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 (ก) ขณะเติมน้ำตัวอย่างลงในขวด BOD 1 mL และ (ข) ขณะทำการเจือจางด้วยน้ำเจือจาง ให้ได้ปริมาตร 300 mL

ขั้นตอนที่ 3 ทำแบลงค์โดยทำการเติมน้ำเจือจางลงในขวด BOD 300 mL (แทนปริมาตรน้ำตัวอย่าง)

ขั้นตอนที่ 4 เติมน้ำสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 2 mL และอัลคาไล-ไอโอดีน-ไอโอดีน-ไอโอดีน 2 mL ลงในขวด BOD ที่เติมน้ำตัวอย่างและแบลงค์แล้ว โดยให้ปลายปิเปตแตะอยู่ข้างปากขวดเหนือผิวของน้ำตัวอย่างเพียงเล็กน้อย (ถ้าปิเปตจุ่มลงในน้ำตัวอย่างหรือเปื้อนน้ำตัวอย่างให้ล้างปลายปิเปต ที่จุ่มด้วยน้ำกลั่นเสียก่อนหรือทำการเปลี่ยนปิเปตใหม่) จากนั้นปิดจุกขวดระวังอย่าให้มีฟองอากาศผสมให้เข้ากัน โดยทำการคว่ำขวดขึ้นลงอย่างน้อย 15 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.2



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.2 (ก) ขณะเติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 2 mL ลงในขวด BOD และ (ข) ขณะเติมสารละลายอัลคาไล-ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 2 mL ลงในขวด BOD

ขั้นตอนที่ 5 ผสมสารละลายให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนได้ปริมาณน้ำใส 1/2 ของขวด ดังแสดงในรูปที่ 3.3

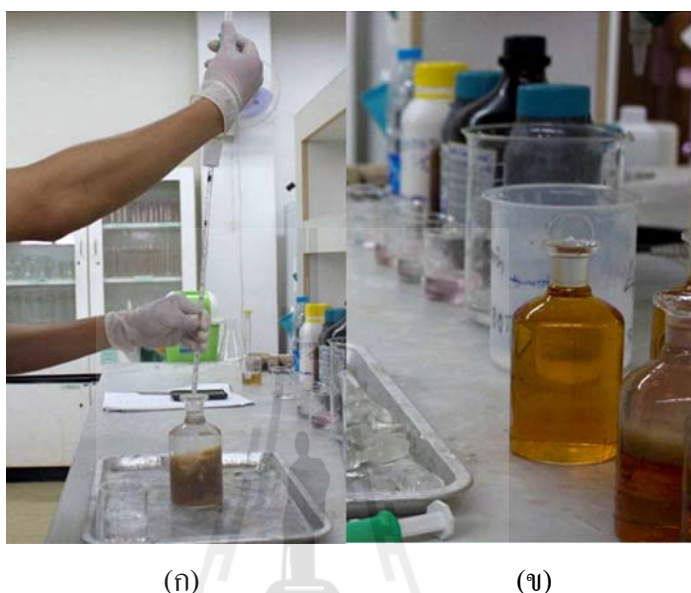


(ก)

(ข)

รูปที่ 3.3 (ก) ขณะผสมสารละลายให้เข้ากัน และ (ข) ขณะตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนได้ปริมาณน้ำใส 1/2 ของขวด

ขั้นตอนที่ 6 เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นจำนวน 2 mL โดยให้กรดค่อย ๆ ไหลลงข้าง ๆ ขวด ปิดจุก ผสมสารละลายให้เข้ากัน โดยทำการคว่ำขวดขึ้นลงจนกระทั่งตะกอนละลายหมดดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 (ก) ขณะเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นจำนวน 2 mL ลงในขวด BOD และ (ข) ขณะผสมให้เข้ากัน โดยทำการคว่ำขวดขึ้นลงจนกระทั่งตะกอนละลายหมด

ขั้นตอนที่ 7 กรณีใช้ขวด BOD ที่มีความจุ 300 mL จะต้องใช้น้ำตัวอย่างจากขั้นตอนที่ 5 เท่ากับ 200 mL เพื่อนำไปไตเตรท ดังแสดงในรูปที่ 3.5



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.5 (ก) ขณะตวงสารละลายออก และ (ข) ปริมาตร 200 mL ที่ได้หลังจากการตวง

ขั้นตอนที่ 8 ทำการไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 N จนกระทั่งได้สารละลายสีฟางข้าว ดังแสดงในรูปที่ 3.6

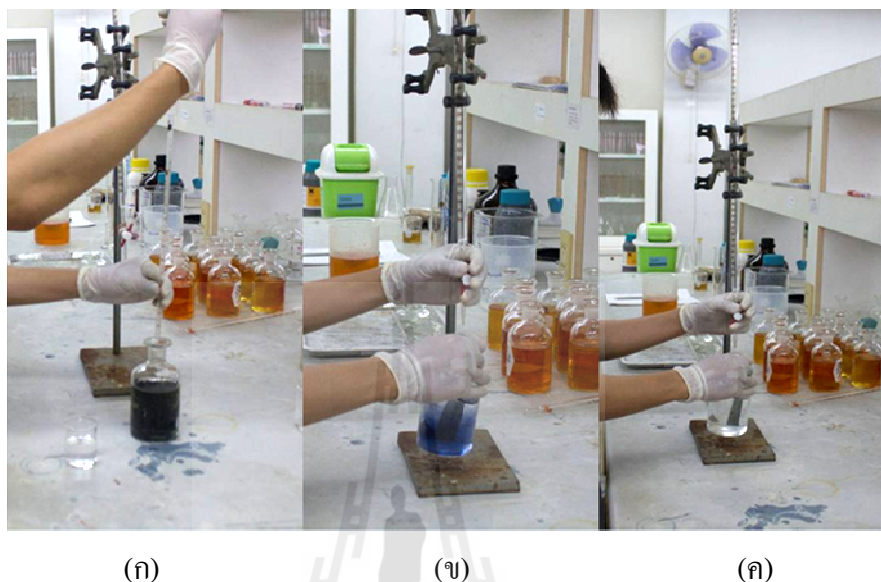


(ก)

(ข)

รูปที่ 3.6 (ก) ขณะทำการไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 N และ (ข) ขณะทำการไตเตรทได้สารละลายสีฟางข้าว

ขั้นตอนที่ 9 ทำการเติมน้ำแข็งจำนวน 2 mL จนได้สีน้ำเงินเข้ม ทำการไตเตรทต่อไปจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไปเปลี่ยนเป็นสีใส ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 (ก) ขณะทำการเติมน้ำแข็งจำนวน 2 mL จนได้สีน้ำเงินเข้ม (ข) ขณะทำการไตเตรท และ (ค) ขณะทำการไตเตรทต่อไปจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไปเปลี่ยนเป็นสีใส

(2) การหาค่ามาตรฐานของโซเดียมไทโอซัลเฟต

ขั้นตอนที่ 1 ทำการละลายสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ประมาณ 2 g กับน้ำกลั่น 100 – 150 mL ลงในขวด BOD ดังแสดงในรูปที่ 3.8



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.8 (ก) ขณะตักสารละลายโปแทสเซียมไอโอไดด์ประมาณ 2 g และ (ข) ขณะทำการละลายสารละลายโปแทสเซียมไอโอไดด์กับน้ำกลั่น 100 – 150 mL

ขั้นตอนที่ 2 ทำการเติมกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) 3.6 N จำนวน 10 mL และสารละลายมาตรฐานโปแทสเซียมไบโอไอเดต 0.025 N จำนวน 20 mL ดังแสดงในรูปที่ 3.9



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.9 (ก) ขณะทำการเติมกรดซัลฟูริก 3.6 N จำนวน 10 mL และ (ข) ขณะทำการเติมสารละลายมาตรฐานโปแทสเซียมไบโอไอเดต 0.025 N จำนวน 20 mL

ขั้นตอนที่ 3 ทำการเจือจางให้ได้ปริมาตร 200 mL จากนั้นทำการเติมน้ำแข็งจำนวน 2 mL ดังแสดงในรูปที่ 3.10



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.10 (ก) ขณะทำการเจือจางให้ได้ปริมาตร 200 mL และ (ข) ขณะทำการเติมน้ำแข็งจำนวน 2 mL

ขั้นตอนที่ 4 ทำการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 N ดังแสดงในรูปที่ 3.11 บันทึกผลการทดลอง



(ก)

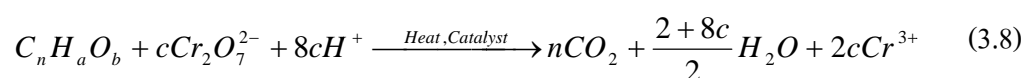
(ข)

รูปที่ 3.11 (ก) ขณะทำการไตเตรทกับสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 N และ
(ข) ขณะทำการไตเตรทจนได้สารละลายสีใส

3.5 ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD)

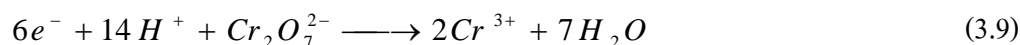
ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้เพื่อออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำ (Chemical Oxygen Demand: COD) จะถูกวัดในรูปของปริมาณโปแทสเซียมไดโครเมต (potassium dichromate: $K_2Cr_2O_7$) ที่หายไปในช่วงการทำรีฟลักซ์ (reflux) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยน้ำตัวอย่างจะถูกต้มเดือดในสารละลาย H_2SO_4 50% และมี Ag_2SO_4 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารอินทรีย์ต่าง ๆ จะถูกออกซิไดซ์ไปเป็น CO_2 , H_2O , NH_4^+ , H_3PO_4 , SO_4^{2-} และอื่น ๆ ภายใต้สภาวะที่กล่าวข้างต้น อย่างไรก็ตาม กรดอินทรีย์บางชนิด (โดยเฉพาะอย่างยิ่ง straight chain carboxylic acids เช่น กรดอะซิติก) จะถูกออกซิไดซ์ได้ไม่ดี ถ้าไม่มี Ag_2SO_4 อยู่ด้วยและถึงแม้มี Ag_2SO_4 ปฏิกิริยาออกซิเดชันก็เกิดไม่สมบูรณ์ได้เช่นกัน (“Chemical Oxygen Demand,” เอกสารประกอบการเรียน รายวิชา 432205 ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม 2, 2552)

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ในการหาค่า COD จะมีสัดส่วนของปฏิกิริยา ดังนี้



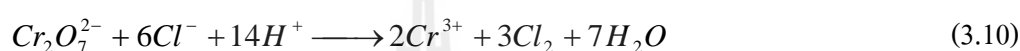
โดยที่ $C = \frac{2}{3}n + \frac{a}{6} - \frac{b}{3}$

ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดสมบูรณ์ โดยที่ไดโครเมตถูกเปลี่ยนไปเป็น โครเมตไอออน



โดยมี $E_0 = 1.33 \text{ V}$

ในกรณีที่น้ำตัวอย่างมีคลอไรด์ไอออน (Cl^-) อยู่ด้วย Cl^- จะทำปฏิกิริยา precipitation กับ Ag_2SO_4 ได้ $AgCl(s)$ ทำให้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์หาค่า COD และถ้าไม่มี Ag_2SO_4 อยู่เลย Cl^- จะถูกออกซิไดซ์ไปเป็น Cl_2 ดังสมการ



อันเป็นผลทำให้เกิดค่า COD สูงเกินไป ซึ่งไม่ใช่จากสารอินทรีย์แต่สามารถป้องกันปัญหานี้ได้โดยใช้ $HgSO_4$ ทำปฏิกิริยาเชิงซ้อนกับ Cl^- ได้ $HgCl_2(aq)$ อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาออกซิเดชันของ $Cr_2O_7^{2-}$ และมลสารอื่น ๆ อาจเกิดขึ้นได้ ฉะนั้น จึงต้องทำแบลนด์ด้วยน้ำกลั่น

หลังจากการย่อยสารอินทรีย์ด้วยไดโครเมตแล้ว จำเป็นต้องหาความเข้มข้นของไดโครเมตที่เหลืออยู่ในการทดลองนี้ โดยใช้ Fe^{2+} เป็น reducing agent ในการทำการไตเตรทกับไดโครเมต ปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Fe^{2+} มีดังสมการ



โดยมี $E_0 = -0.77 \text{ V}$

จุดสุดท้ายของการทำไตเตรทด้วย Fe^{2+} กับไดโครเมตจะถูกหาได้ด้วยสีของเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ (ferroin indicator) ซึ่งสารเฟอร์โรอินประกอบด้วย 1, 10 - phenanthroline เมื่อถึงจุดสุดท้ายของการไตเตรทสารไดโครเมต (สีส้ม) ถูกเปลี่ยนไปเป็น Cr^{3+} (สีเขียว)หมด ฉะนั้น Fe^{2+} อิสระจะทำปฏิกิริยาเชิงซ้อนกับสารเฟอร์โรอินได้สีน้ำตาล-แดง

การรีฟลักซ์ (reflux) มี 2 วิธี คือ แบบเปิด (open reflux) และแบบปิด (closed reflux) ทั้งสองวิธีการมีหลักการเหมือนกัน ต่างกันตรงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และแบบปิดสารอินทรีย์ที่ระเหยจะสามารถถูกออกซิไดซ์ได้มากกว่าระบบเปิด เพราะมีเวลาในการสัมผัสกับสารออกซิไดซ์ได้นานกว่า

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการวิเคราะห์วิธีการรีฟลักซ์แบบปิดเพียงอย่างเดียว เพราะวิธีการรีฟลักซ์แบบปิดนั้นประหยัดกว่าวิธีการรีฟลักซ์แบบเปิดและวิธีการรีฟลักซ์แบบปิดจะสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ระเหยได้มากกว่า เนื่องจากสัมผัสกับสารโปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ได้นานกว่าวิธีการรีฟลักซ์แบบเปิด

3.5.1 การวิเคราะห์หา COD ด้วยวิธีการรีฟลักซ์แบบปิด

วิธีนี้ประหยัดกว่าวิธีการรีฟลักซ์แบบเปิด จำเป็นต้องผสมตัวอย่างน้ำที่มีสารแขวนลอยให้เข้ากันให้ดี เพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้อง และวิธีนี้จะสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ระเหยได้มากกว่า เนื่องจากสัมผัสกับสารสารโปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ได้นานกว่าวิธีการรีฟลักซ์แบบเปิด

• เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด

(1) หลอดย่อยสลาย (digestion vessel) ใช้แก้วที่ทำด้วยบอโรซิลิเกตขนาด 16×100 mm หรือ 20×150 mm ที่มีฝาเกลียวชนิดที่เอพือ

(2) ฮีตดิงบล็อกรทำจากอลูมิเนียมตัน ความลึก 45 - 50 mm มีรูขนาดพอดีกับหลอดย่อยสลาย

(3) ตู้อบ ควบคุมอุณหภูมิที่ 150 ± 2 °C

(4) สารเคมี

- สารละลายมาตรฐาน โปแตสเซียมไดโครเมต 0.1 N ทำการละลาย $K_2Cr_2O_7$ (ซึ่งอบแห้งที่ 130 °C เป็นเวลา 2 ชม.) มา 4.913 g ในน้ำกลั่น 500 mL จากนั้นค่อย ๆ เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 167 mL และ $HgSO_4$ 33.3 g ตั้งทิ้งไว้ให้ละลายและปล่อยให้เย็นแล้วทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1 L

- สารละลายกรดซัลฟูริก โดยทำการเติม $AgSO_4$ 5.5 g ลงในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 kg ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 - 2 วัน เพื่อให้ $AgSO_4$ ละลาย

- กรดซัลฟูริกเข้มข้น ที่ไม่เติม $AgSO_4$

- สารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ (ferroin indicator)

- สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (ferrous ammonium sulfuric: FAS) 0.10 N โดยทำการละลาย $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 39.2 g ในน้ำกลั่น จากนั้นทำการเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 mL ปล่อยให้เย็นแล้วทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1 L

(4.1) การหาความเข้มข้นของ FAS

ทำการเติมสารเคมีทุกชนิดตามตารางที่ 3.2 ลงในหลอดย่อยสลายขนาด 20×150 mm โดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างน้ำ ปล่อยให้เย็น จากนั้นเติมเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ 1 - 2 หยด แล้วทำการไตเตรทด้วยสารละลาย FAS ความเข้มข้นของ FAS สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 3.12

$$\text{นอร์มัลลิตีของสารละลาย FAS} = \frac{\text{ปริมาตรของ } 0.1 \text{ N K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ (mL)} \times 0.10}{\text{ปริมาตร FAS ที่ใช้ไตเตรท (mL)}} \quad (3.12)$$

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณของตัวอย่างน้ำและสารเคมีสำหรับขวดแก้วขนาดต่าง ๆ

หลอดย่อย สลาย (ขนาดของ หลอดแก้ว)	ปริมาตรน้ำ ตัวอย่าง (mL)	สารละลาย โปแท สเซียมไดโคร เมต 0.1N (mL)	สารละลาย กรด ซัลฟู ริก (mL)	ปริมาตร รวม (mL)
16 × 100 mm	2.5	1.5	3.5	7.5
20 × 150 mm	5.0	3.0	7.0	15.0
25 × 150 mm	10.0	6.0	14.0	30.0

- **วิธีการวัด**

(1) การหาค่า COD ของน้ำตัวอย่างและแบลงค์

ขั้นตอนที่ 1 เลือกหลอดย่อยสลายขนาด 20 × 150 mm ทำการเติมปริมาตรน้ำตัวอย่างและสารเคมีต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.2 (ถ้าค่า COD มากกว่า 500 mg/L ให้ให้ทำการลดปริมาตรน้ำตัวอย่างลง โดยการเติมน้ำกลั่นแทนให้ครบปริมาตรตามตาราง)

ขั้นตอนที่ 2 ทำแบลงค์โดยการเติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อยสลาย 5 mL (แทนปริมาตรน้ำตัวอย่าง) ดังแสดงในรูปที่ 3.12



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.12 (ก) และ (ข) ขณะทำแบลงค์โดยการเติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อยสลาย 5 mL
(แทนปริมาตรน้ำตัวอย่าง)

ขั้นตอนที่ 3 ทำการเติมน้ำตัวอย่างจำนวน 0.5 mL ลงในหลอดย่อยสลาย จากนั้น
เติมน้ำกลั่นเพื่อเจือจาง ให้ได้ปริมาตรรวม 5 mL ดังแสดงในรูปที่ 3.13



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.13 (ก) ขณะทำการเติมน้ำตัวอย่าง 0.5 mL ลงในหลอดย่อยสลาย และ (ข) ขณะเติมน้ำกลั่น
เพื่อเจือจาง ให้ได้ปริมาตรรวม 5 mL

ขั้นตอนที่ 4 ทำการเติมสารละลายมาตรฐานโปแทสเซียมไดโครเมต 3 mL ในน้ำตัวอย่างและแบลนค์ โดยใช้ปิเปตขนาด 5 mL คูณสารดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 3.14



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.14 (ก) และ (ข) ขณะทำการเติมสารละลายโปแทสเซียมไดโครเมต 3 mL ในน้ำตัวอย่างและแบลนค์

ขั้นตอนที่ 5 ทำการเติมสารละลายกรดซัลฟูริกที่ผสมกับ AgSO_4 7 mL ในน้ำตัวอย่างและแบลนค์ โดยใช้ปิเปตขนาด 10 mL คูณสารดังกล่าว จากนั้นตั้งทิ้งไว้จนเย็น ดังแสดงในรูปที่ 3.15



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.15 (ก) และ (ข) ขณะทำการเติมสารละลายกรดซัลฟูริกที่ผสมกับ AgSO_4 7 mL
ในน้ำตัวอย่างและแบลงค์

ขั้นตอนที่ 6 ทำการปิดฝาจากหลอดย่อยสลาย จากนั้นนำเข้าตู้อบที่มีอุณหภูมิ 150°C
เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 3.16



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.16 (ก) ขณะทำการปิดฝาจากหลอดย่อยสลายและ (ข) ขณะนำหลอดย่อยสลายเข้าตู้อบ
ที่มีอุณหภูมิ 150°C เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 7 หลังจากทำการอบจนครบ 2 ชั่วโมงแล้ว จากนั้นนำหลอดย่อยสลายออก จากตู้อบ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 หลอดย่อยสลายหลังจากทำการอบจนครบ 2 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 8 ทำการเทน้ำตัวอย่างลงในขวดรูปชมพู่ จากนั้นทำการหยดเฟอร์โรอิน อินดิเคเตอร์ 5 หยด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมน้ำเงิน ดังแสดงในรูปที่ 3.18

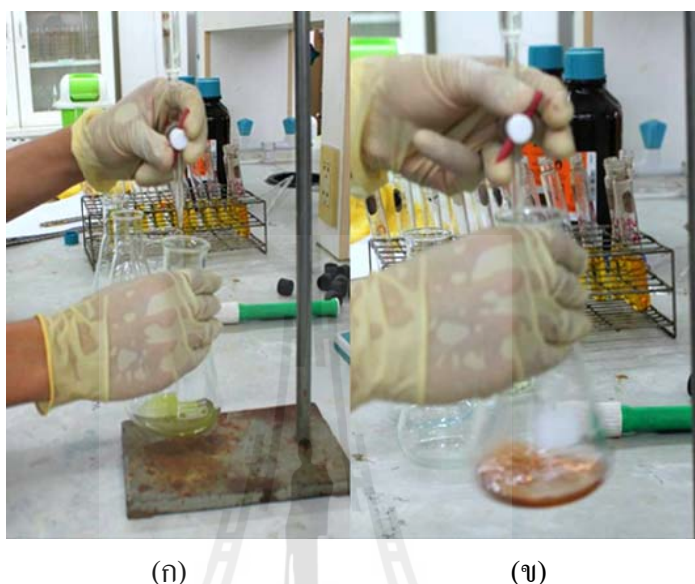


(ก)

(ข)

รูปที่ 3.18 (ก) ขณะทำการหยดเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ 5 หยด และ (ข) สารละลายจะเปลี่ยนเป็น สีเขียวอมน้ำเงิน

ขั้นตอนที่ 9 ทำการไตเตรทด้วยสารละลาย FAS 0.1 N ในการไตเตรทจะต้อง
ค่อย ๆ หยดทีละหยด เนื่องจากการถึงจุดยุติจะเร็วมาก ก็จะเปลี่ยนเป็นสีแดงอิฐ ดังแสดงใน
รูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 (ก) ขณะทำการไตเตรทด้วยสารละลาย FAS 0.1 N และ (ข) ขณะทำการไตเตรท
จะต้องค่อย ๆ หยดทีละหยดจนถึงจุดยุติ สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีแดงอิฐ

(2) การหาค่ามาตรฐานของสารละลาย FAS

ขั้นตอนที่ 1 เลือกหลอดย่อยสลายขนาด 20×150 mm ทำการเติมปริมาตรน้ำ
ตัวอย่างและสารเคมีต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.2 (ถ้าซีโอไซด์มากกว่า 500 mg/L ให้ลดปริมาตรน้ำตัวอย่าง
ลง แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบตามตาราง)

ขั้นตอนที่ 2 ทำการเติมน้ำกลั่นแทนน้ำตัวอย่างลงในหลอดย่อยสลาย 5 mL
ดังแสดงในรูป ที่ 3.20



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.20 (ก) และ (ข) ขณะทำการเติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อยสลาย 5 mL

ขั้นตอนที่ 3 ทำการเติมสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต 3 mL ในน้ำตัวอย่าง โดยใช้ปิเปตขนาด 5 mL คูตสารดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 3.21

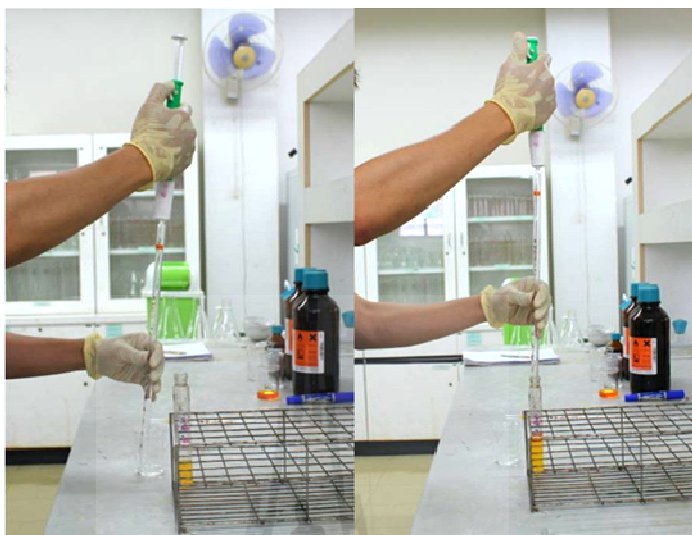


(ก)

(ข)

รูปที่ 3.21 (ก) และ (ข) ขณะทำการเติมสารละลายมาตรฐาน โปแตสเซียมไดโครเมต 3 mL ในน้ำตัวอย่าง

ขั้นตอนที่ 4 ทำการเติมสารละลายกรดซัลฟูริก (ที่ผสมกับ AgSO_4) 7 mL โดยใช้ปิเปตขนาด 10 mL คูณสารดังกล่าว จากนั้นตั้งทิ้งไว้จนเย็น ดังแสดงในรูปที่ 3.22

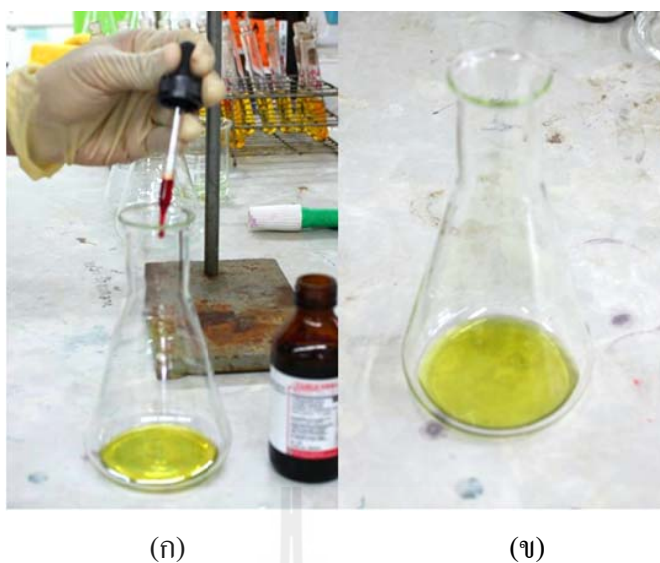


(ก)

(ข)

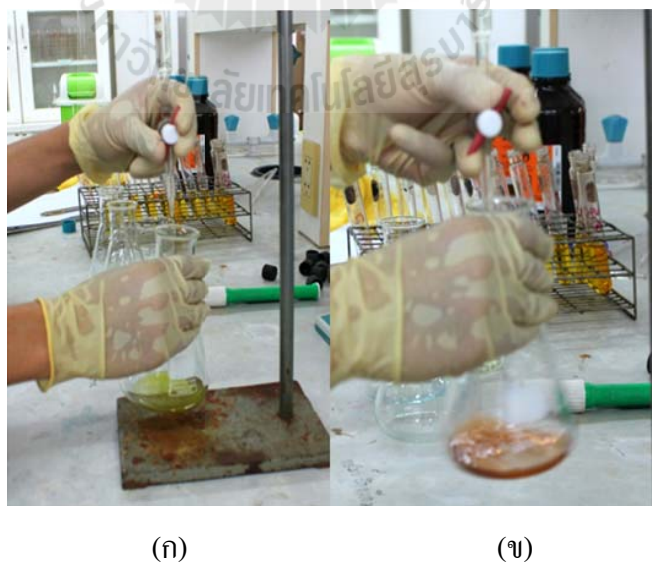
รูปที่ 3.22 (ก) และ (ข) ขณะทำการเติมสารละลายกรดซัลฟูริก (ที่ผสมกับ AgSO_4) 7 mL

ขั้นตอนที่ 5 ทำการเทน้ำตัวอย่างลงในขวดรูปชมพู่ จากนั้นทำการหยดเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ 5 หยด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมน้ำเงิน ดังแสดงในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 (ก) ขณะทำการหยดเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ 5 หยด และ (ข) สารละลายจะเปลี่ยนเป็น สีเขียวอมน้ำเงิน

ขั้นตอนที่ 6 ทำการไตเตรทด้วยสารละลาย FAS 0.1 N ในการไตเตรทจะต้อง ค่อย ๆ หยดทีละหยด เนื่องจากการถึงจุดยุติจะเร็วมาก ก็จะเปลี่ยนเป็นสีแดงอิฐ ดังแสดงใน รูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 (ก) ขณะทำการไตเตรทด้วยสารละลาย FAS 0.1 N และ (ข) ขณะทำการไตเตรทจะต้อง ค่อย ๆ หยดทีละหยดจนถึงจุดยุติ สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีแดงอิฐ

การคำนวณค่า COD

ค่า COD สามารถคำนวณ โดยใช้สมการที่ 3.13

$$\text{COD (mg/L)} = \frac{(A - B) \times N \times 8000}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ, ml}} \quad (3.13)$$

โดย A = มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรทแบบลค์

B = มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่างน้ำ

N = นอร์มัลลิตีของ FAS

3.6 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง

การหาปริมาณสารใดสารหนึ่งโดยวิธีการทางห้องปฏิบัติการมีอยู่หลายวิธี วิธีที่นิยมใช้มากคือ การวัดความเข้มของสีหรือการวัดความเข้มของแสง โดยการเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่ทราบค่าแล้ว การหาปริมาณสารในระยะแรก ๆ ทำการหาด้วยวิธีการเปรียบเทียบความเข้มของสีด้วยสายตา วิธีนี้มีความถูกต้องและแม่นยำต่ำ ต่อมามีการนำตัวไวแสงมาใช้แทนการเปรียบเทียบด้วยสายตา เรียกเครื่องมือที่ใช้ตัวไวแสงนี้ว่า “photoelectriccolorimeter” หรือ “photometer” เนื่องจากสารหรือสีที่ทำกรวัดมีความสามารถในการดูดกลืนแสงหรือปล่อยแสงที่มีช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อให้การวัดมีความไว (sensitivity) และความจำเพาะ (specificity) สูง จึงมีเครื่องมือที่สามารถวัดความเข้มของแสงช่วงความยาวคลื่นแคบ ๆ ได้อย่างต่อเนื่องตามต้องการและใช้ตัวไวแสงที่มีประสิทธิภาพสูง เครื่องมือนี้มีชื่อว่า “เครื่องวัดความเข้มของแสง (spectrophotometer)” ในปัจจุบันมีมากมายมีทั้งแบบแอนาล็อก แบบดิจิตอล รวมทั้งแบบดิจิตอลที่ทำงานโดยอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยระบบไมโครโพรเซสเซอร์ (ชูชาติ อารีจิตรา นุสรณ์, ม.ป.ป.)

เครื่องวัดความเข้มของแสง แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ การวัดแสงที่เปล่งออกมา (emission light) การวัดแสงที่ถูกดูดกลืน (absorption light) และการวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence light) เครื่องวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์ มีองค์ประกอบต่าง ๆ คล้ายกันแต่ต่างกันตรงที่การวางอุปกรณ์ กล่าวคือ เครื่องวัดการดูดกลืนแสงมีหลอดไฟกำเนิดแสงส่องแสงผ่านไปยังตัวแยกแสง ผ่านสารตัวอย่าง ผ่านตัวไวแสง แล้วจึงทำการอ่านค่าออกมา ส่วนเครื่องวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์นั้น หลอดไฟกำเนิดแสงส่องแสงผ่านสารตัวอย่าง เพื่อทำให้เกิดแสงฟลูออเรสเซนซ์ จากนั้นแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่เกิดขึ้นส่องผ่านไปสู่อุปกรณ์แยกแสงและอุปกรณ์อื่น ๆ ตามลำดับ ส่วนเครื่องวัดการ

เปล่งแสงโดยเปลวไฟมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เหมือนกันกับเครื่องวัดการดูดกลืนแสง แต่ต่างกันตรงที่ไม่
มีหลอดไฟกำเนิดแสง

3.6.1 ธรรมชาติของแสง

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเร็วในการเดินทางสูงมาก คือ มีความเร็วใน
สุญญากาศเท่ากับผลคูณของความยาวคลื่น (λ) และความถี่ (ν) แต่ความเร็วในการเดินทางจะ
เปลี่ยนแปลงไปเมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางอื่น ๆ โดยมีความเร็วในการเดินทางเท่ากับ
 2.9979×10^{-16} cm/s/n (n = ดรรชนีหักเหของตัวกลาง)

แสงที่มองเห็น (visible light) เป็นแสงสีขาวที่เกิดจากการรวมกันของแสงสีต่าง ๆ
มีอยู่ 7 สีหลัก ๆ คือ สีม่วง สีคราม สีน้ำเงิน สีเขียว สีเหลือง สีแสด และสีแดง มีความยาวคลื่นตั้งแต่
400 - 700 nm เมื่อแสงสีขาวตกกระทบวัตถุแล้วทำให้มองเห็นวัตถุเป็นสีใด แสดงว่าวัตถุนั้นดูดกลืน
แสงสีอื่นหมดแต่จะสะท้อนแสงสีที่ตามองเห็นออกมา แต่ถ้าวัตถุนั้น ๆ สามารถดูดกลืนแสงได้หมด
ทุกสีตาจะมองเห็นวัตถุเป็นสีดำ

แสงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet light) เป็นแสงที่มีคุณสมบัติในการทำให้
อิเล็กทรอนิกส์ของอะตอมเกิดการส่งผ่าน มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 210 - 380 nm เมื่อร่างกายถูกแสง
อัลตราไวโอเล็ต เป็นเวลานานอาจทำให้เกิดอันตรายได้ เช่น ผิวหนังไหม้เกรียม เยื่อบุลูกตาดูถูก
ทำลายและอาจทำให้เกิดเป็นมะเร็งของผิวหนังได้

แสงอินฟราเรด (infrared light) เป็นแสงที่มนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า
แสงอินฟราเรดสามารถทำให้โมเลกุลของวัตถุต่าง ๆ เกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงจนทำให้เกิด
ความร้อนขึ้นมาก เนื่องจากวัตถุส่วนใหญ่ดูดกลืนแสงได้ดีในช่วงความยาวคลื่น 3,000 - 100,000 nm
ได้ดี จึงนิยมใช้รังสีอินฟราเรดในการทำให้วัตถุต่าง ๆ แห้ง เพราะรังสีอินฟราเรดมีประสิทธิภาพใน
การทำให้วัตถุแห้งสูงกว่าการใช้ความร้อนแบบธรรมดา

3.6.2 กฎการดูดกลืนแสง

กฎการดูดกลืนแสงที่สำคัญมากมีอยู่ 2 กฎด้วยกันประกอบด้วย กฎของแลมเบิร์ต
(Lambert's law) และกฎของเบียร์ (Beer's law)

กฎของแลมเบิร์ต (ค.ศ.1760) กำหนดว่า “แสงที่ถูกดูดกลืนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ
ความหนาของตัวกลางที่แสงผ่าน”

กฎของเบียร์ (ค.ศ.1852) กำหนดว่า “แสงที่ถูกดูดกลืนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความ
เข้มข้นของสารในของเหลว”

เมื่อทำการวัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย ปริมาณความเข้มข้นของแสงที่ถูก
ดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นของสารละลายและความหนาของสารละลายที่ลำแสงต้องผ่าน

จึงจำเป็นต้องรวมกฎของเบียร์และกฎของแลมเบิร์ต เรียกว่ากฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert law)

3.6.3 UV-Visible Spectroscopy

UV-Visible Spectroscopy เป็นการวัดพลังงานที่ดูดกลืนเข้าไป เมื่ออิเล็กตรอนถูกเลื่อนไปอยู่ในระดับชั้นพลังงานที่สูงขึ้น เนื่องจากเป็นปรากฏการณ์เร้าอิเล็กตรอน บางครั้งจึงเรียกว่า Electronic Spectroscopy โดยปกติช่วงยูวี จะมีความยาวคลื่นประมาณ 10 - 380 nm แต่การวิเคราะห์โดยยูวีสเปกตรัม จะใช้ความยาวคลื่นในช่วง 200 - 380 nm ซึ่งเรียกว่า “Near-Ultraviolet Region” ในช่วงความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า 200 nm อากาศจะดูดกลืนรังสีในช่วงนี้ จึงต้องทำการวัดสเปกตรัมภายใต้สุญญากาศ เรียกความยาวคลื่นของยูวี ในช่วงนี้ว่า “Vacuum-Ultraviolet Region” ส่วนความยาวคลื่นที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เรียกว่า “Visible Region” จะเป็นสเปกตรัมอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 380 - 780 nm ซึ่งจะปรากฏให้เห็นเป็นสีต่าง ๆ (“การทดลองที่ ANA 05 UV-Visible Spectrophotometer”, ม.ป.ป.)

3.6.4 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง “UV-Vis Spectrophotometer”

เครื่องวัดการดูดกลืนแสงเป็นเครื่องมือที่นำเทคนิค UV-Vis spectroscopy ไปใช้งาน เครื่องวัดการดูดกลืนแสงทำหน้าที่ในการตรวจวัดความเข้มแสงที่ผ่านหรือสะท้อนจากตัวอย่าง เปรียบเทียบกับความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิด เครื่องวัดการดูดกลืนแสง โดยทั่วไปจะมีส่วนประกอบหลัก ๆ ที่เหมือนกัน ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง เซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่างเกรตติ้งหรือโมโนโครเมเตอร์ และเครื่องตรวจวัดแหล่งกำเนิดแสงจะต้องให้แสงที่คงที่อย่างต่อเนื่อง ส่วนมากนิยมใช้หลอดทังสเตน-ฮาโลเจน ซึ่งให้แสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 320 - 2,500 nm สำหรับแหล่งกำเนิดแสงในช่วงรังสียูวีนั้นจะใช้หลอดไฮโดรเจนหรือหลอดควิเทียม ซึ่งให้แสงในช่วงความยาวคลื่น 160 - 375 nm แสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดนั้นจะมีความยาวคลื่นต่าง ๆ ต้องใช้โมโนโครเมเตอร์เป็นตัวกระจายแสงออก เพื่อให้แสงที่จะผ่านไปยังตัวอย่างมีความยาวคลื่นค่าเดียวตามที่ต้องการ จากนั้นแสงความยาวคลื่นค่าเดียวจะผ่านไปยังเซลล์บรรจุสารตัวอย่างและสารเปรียบเทียบ ซึ่งมีรูปร่างต่าง ๆ กันออกไป โดยส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นกล่องทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้างภายใน 1 cm (ซึ่งค่านี้จะเป็นค่าระยะทางเดินของแสงที่ผ่านเข้าไปในตัวอย่างตามกฎของ Beer-Lambert) เครื่องวัดการดูดกลืนแสงบางรุ่น สามารถใช้หลอดทดลองเป็นเซลล์บรรจุสารตัวอย่างได้ แต่เซลล์บรรจุสารตัวอย่างที่ดีที่สุดนั้นทำมาจากควอทซ์ที่มีคุณภาพสูง สำหรับเซลล์บรรจุสารตัวอย่างที่ทำจากแก้วหรือพลาสติกนั้นก็เป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป แต่สามารถใช้ได้เฉพาะในช่วงแสงขาวเท่านั้นเพราะแก้วและพลาสติกดูดกลืนแสงในช่วงรังสียูวีแสงในส่วนที่ไม่ถูกดูดกลืนจะเดินทางผ่านตัวอย่างมาถึงเครื่องตรวจวัด สำหรับเครื่องตรวจวัดที่นิยมใช้ ได้แก่ PMT (photomultiplier tube), diode arrays และ CCDs (charge coupled devices) เครื่องจะทำการบันทึกค่า

ความยาวคลื่นร่วมกับค่ามุมของแต่ละความยาวคลื่นที่เกิดการดูดกลืน ผลของสเปกตรัมที่ได้จะแสดงในรูปของกราฟระหว่างค่าดูดกลืนแสงและค่าความยาวคลื่น (แม้น อมรสิทธิ์และอมรเพชรสม, 2539)

3.6.5 ส่วนประกอบของเครื่องวัดการดูดกลืนแสง

อุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องวัดการดูดกลืนแสง มีดังนี้

- แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงในเครื่องวัดการดูดกลืนแสงที่นิยมใช้กันแพร่หลาย มีดังนี้

(1) หลอดไฮโดรเจนและหลอดควิที่เรียกความดันต่ำ ประกอบด้วยขั้วบวกขั้วลบและแผ่นความร้อนบรรจุอยู่ในกระเปาะซึ่งทำด้วยควอทซ์ ภายในกระเปาะบรรจุด้วยแก๊สไฮโดรเจน เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าประมาณ 40 V ให้แผ่นความร้อนรอบ ๆ ขั้วลบจนมีอุณหภูมิสูงประมาณ 200 - 3000 °C ความร้อนจะทำให้ขั้วลบปล่อยอิเล็กตรอนออกมา หลังจากนั้นกระแสไฟฟ้าจะถูกตัดออกจากแผ่นความร้อนแต่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขั้วลบแทน กระแสไฟฟ้าที่สูงนี้จะทำให้เกิดการกระโดดของอิเล็กตรอนระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ เป็นผลให้อิเล็กตรอนของแก๊สอยู่ในสถานะกระตุ้น เมื่อพลังงานของอิเล็กตรอนลดลง อิเล็กตรอนจะกลับสู่สถานะพื้นพร้อม ๆ กับปล่อยแสงในช่วงความยาวคลื่นช่วง 160 - 375 nm ออกมา

(2) หลอดทังสเตน เป็นหลอดไฟกำเนิดแสงที่นิยมใช้มากที่สุดในการวัดความเข้มของแสงในช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็น เนื่องจากมีราคาถูก ให้แสงที่มีความเข้มคงที่ ใ้หลอดทังสเตนเมื่อ ถูกทำให้ร้อนประมาณ 2,870 °K จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของอิเล็กตรอนทำให้เกิดการปล่อยแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 - 20,000 nm แต่เนื่องจากกระเปาะของหลอดไฟทำด้วยแก้วธรรมดาที่มีความบริสุทธิ์ต่ำ ทำให้แสงความยาวคลื่นสูงกว่า 2,500 nm และความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า 300 nm ถูกดูดกลืนไว้ ประกอบกับความเข้มของแสงในช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 300 nm มีน้อย ดังนั้นช่วงความยาวคลื่นใช้งานของหลอดทังสเตนจึงอยู่ที่ประมาณ 300 - 2,500 nm

- ตัวแยกแสง (monochromator)

ตัวแยกแสง เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แยกแสงหลายสีหรือหลายความยาวคลื่นให้กลายเป็นแสงสีเดียวที่มีความยาวคลื่นแสงช่วงแคบ ๆ โดยอาศัยการดูดกลืน การสะท้อนกลับ หรือการหักเหของแสง แสงสีเดียวนั้นมีความสำคัญมากเนื่องจากทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นและค่าการดูดกลืนแสงมีช่วงที่เป็นเส้นตรงยาวมากและช่วยเพิ่มความไวในการวัด เพราะสามารถใช้แสงสีเดียวที่มีความยาวคลื่นตรงกับค่าความยาวคลื่นที่สารนั้น ๆ มีการดูดกลืนแสงสูงสุด ตัวแยกแสงที่ใช้ในเครื่องวัดการดูดกลืนแสงมีอยู่ 3 ชนิด คือ ตัวกรองแสง ปริซึมและเกรตติง

- **ตัวไวแสง (photo sensor หรือ photo detector)**

ตัวไวแสง เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนความเข้มของแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า แล้วจึงส่งต่อไปยังภาคขยายสัญญาณและวงจรถอดสัญญาณอื่น ๆ เพื่อให้สามารถแสดงค่าออกมาในรูปค่าการดูดกลืนแสงหรือแสงส่องผ่าน ตัวไวแสงแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันในด้านช่วงความยาวคลื่นที่ตอบสนอง อัตราเร็วในการตอบสนอง (speed of response) ความเป็นเส้นตรงของการตอบสนอง (linearity of response) และความไว (sensitivity)

- **เซลล์บรรจุสารตัวอย่างหรือคิวเวทท์ (cuvette)**

คิวเวทท์ เป็นภาชนะสำหรับใส่ของเหลวที่จะนำไปวัดความเข้มของแสง มีอยู่หลายแบบหลายขนาด เพื่อให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท วัสดุที่ใช้ทำคิวเวทท์ ในอดีตนิยมใช้เฉพาะ คิวเวทท์ที่ทำจากแก้วหรือควอทซ์ แต่ในปัจจุบันความนิยมในการใช้คิวเวทท์พลาสติกได้เพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ที่ต้องการความถูกต้องและความแม่นยำสูงนั้นควรใช้คิวเวทท์ที่ทำจากแก้วหรือควอทซ์

3.6.6 ชนิดของเครื่องวัดการดูดกลืนแสง

เครื่องวัดการดูดกลืนแสงแบ่งตามระบบทางเดินแสงออกเป็น 2 ชนิด คือ

(1) ชนิดลำแสงเดี่ยว (single beam type) จะใช้ลำแสงอันเดียวกันสำหรับการวัดสารตัวอย่างและวัดสารอ้างอิง (reference หรือ blank) การวัดความเข้มแสงกระทำโดยการปรับ 0 % T แล้วทำการปรับ 0 A หรือ 100 % T ด้วยสารอ้างอิง หลังจากนั้นการวัดค่าของสารตัวอย่างในหน่วย A หรือ % T ชนิดลำแสงเดี่ยวมีข้อดีตรงที่มีองค์ประกอบน้อยและมีแสงส่องผ่านไปยังสารตัวอย่างที่เข้มมากกว่าแบบอื่น ๆ แต่มีข้อเสียตรงที่มีเสถียรภาพในการอ่านค่าต่ำและค่าสามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่าย นอกจากนี้ยังไม่สามารถกวาด (scan) ค่าการดูดกลืนแสงของสารต่าง ๆ ได้อย่างต่อเนื่อง

(2) ชนิดลำแสงคู่ (double beam type) วัดความเข้มของแสงโดยการสะท้อนแสงที่ผ่านออกมาจากตัวแยกแสงให้ผ่านไปยังสารอ้างอิงและสารตัวอย่างสลับกัน ทำให้ความเข้มของแสงที่ผ่านสารตัวอย่างลดลงครึ่งหนึ่ง วงจรขยายจะขยายสัญญาณที่ได้จากสารตัวอย่างเปรียบเทียบกับสัญญาณจากสารอ้างอิงอยู่ตลอดเวลา ทำให้มีเสถียรภาพในการวัดความเข้มของแสงดีมาก แต่เนื่องจากเครื่องวัดชนิดลำแสงคู่ใช้ตัวไวแสงเพียงอันเดียวจึงต้องมีสวิทช์เลือกวัดสัญญาณและใช้หลอดไฟฟ้ากำเนิดแสงที่มีกำลังส่องสว่างสูง ทำให้มีราคาแพงกว่าเครื่องวัดชนิดลำแสงเดี่ยว

(3) ชนิดลำแสงแยก (split-beam type) สร้างขึ้นมาเพื่อชดเชยความไม่คงที่ของชนิดลำแสงเดี่ยวและแก้ความซับซ้อนในชนิดลำแสงคู่ โดยการแบ่งลำแสงก่อนตัวแยกแสงเป็น 2 ส่วน ปล่อยแสงส่วนน้อยให้วิ่งไปตกกระทบตัวไวแสง เพื่อให้เกิดสัญญาณอ้างอิงสำหรับวงจรถ่ายแสง ส่วนแสงส่วนใหญ่ที่เหลือจะผ่านตัวแยกแสง สารตัวอย่าง และตัวไวแสงอีกตัวหนึ่ง ตามลำดับ แล้ว

เข้าสู่วงจรขยาย วงจรขยายสัญญาณไฟฟ้าจากสารตัวอย่างเปรียบเทียบกับสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จาก
ลำแสงอ้างอิง จึงทำให้ระบบนี้มีเสถียรภาพในการอ่านค่า

นอกจากการแบ่งชนิดดังกล่าวแล้วข้างต้น ยังมีเครื่องวัดความเข้มของแสงอย่างง่าย
ที่เรียกว่า “โฟโตมิเตอร์” (photometer) เครื่องมือดังกล่าวมีองค์ประกอบที่แตกต่างจากเครื่องวัด
ความเข้มของแสงชนิดอื่น ๆ คือ ใช้ตัวกรองแสงเป็นตัวแยกแสง โฟโตมิเตอร์มีทั้งชนิดลำแสงเดี่ยว
และชนิดลำแสงคู่ ส่วนการปรับ 100 % T อาจใช้วิธีควบคุมความสว่างของหลอดไฟกำเนิดแสงหรือ
ปรับความกว้างของแผ่นไดอะแฟรม

ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงชนิดลำแสงคู่ (Spectronic 20,
Genesys รุ่น 4001) ซึ่งมีองค์ประกอบและวิธีการใช้งานง่าย โดยสามารถวัดแสงได้ในช่วงคลื่นของ
แสงที่เห็นด้วยตาเปล่า ตั้งแต่ความยาวคลื่นประมาณ 350 - 700 nm ดังแสดงในรูปที่ 3.25



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.25 (ก) เครื่องวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสง รุ่น Spectronic 20 Genesys และ (ข) จอ LCD
บอกค่าในช่วงคลื่นของแสง (nm) และค่าการดูดแสง (A)

3.6.7 วิธีใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสง

เครื่องวัดการดูดกลืนแสงแต่ละแบบมีเทคนิคการใช้และวิธีการใช้ที่แตกต่างกันบ้าง
ซึ่งผู้ใช้ควรจะศึกษาคู่มือการใช้งาน โดยละเอียดก่อนใช้งาน สำหรับวิธีใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสง
โดยทั่วไปมีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ถอดถุงคลุมเครื่องมือออก

ขั้นตอนที่ 2 เสียบปลั๊กและเปิดสวิตช์บริเวณหลังเครื่องวัดการดูดกลืนแสง โดยทำ
การเปิดเครื่องทิ้งไว้ให้เครื่องได้ warmup ประมาณ 5 - 10 นาที ก่อนการใช้งาน

ขั้นตอนที่ 3 เริ่มทำการวัดความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารละลาย โดยเริ่มที่ความยาวคลื่น 360 nm ก่อน โดยการปรับช่วงความยาวคลื่นให้ได้ความยาวคลื่นที่ 360 nm ดังแสดงในรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 ขณะทำการวัดความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารละลาย โดยปรับช่วงความยาวคลื่นให้ได้ความยาวคลื่นที่ 360 nm

ขั้นตอนที่ 4 ทำการบรรจุสารละลาย blank (ซึ่งในการทดลองนี้ใช้น้ำกลั่นเป็น blank) ในหลอดวัดสาร (test tube cuvette) ให้ได้ความสูงอย่างน้อย 3/4 จากก้นหลอด ทำการเปิดฝาช่องใส่สาร ใส่หลอด blank เข้าไปในช่องใส่สาร จากนั้นปิดฝาช่องใส่สาร กดปุ่ม 0 ABS เพื่อปรับค่าให้ได้ศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 3.27



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.27 (ก) ขณะทำการบรรจุสารละลาย blank ในหลอดวัดสาร โดยให้ได้ความสูงอย่างน้อย 3/4 จากก้นหลอด และ (ข) กดปุ่ม 0 ABS เพื่อปรับค่าให้ได้ศูนย์

ขั้นตอนที่ 5 ทำการเปิดฝาช่องใส่สาร หยิบหลอด blank ออก แล้วทำการใส่หลอดสารที่ต้องการวัดค่าดูดกลืนแสงลงไปแทน ปิดฝาช่องใส่สารให้สนิท ทำการอ่านค่าดูดกลืนแสงจากสเกลบนหน้าปัทม์ (เป็นค่าดูดกลืนแสงที่ 360 nm) จดค่าที่อ่านได้ในตารางบันทึกผล

ขั้นตอนที่ 6 ทำการเปิดฝาช่องใส่สาร หยิบหลอดสารที่ต้องการวัดออก แล้วทำการเปลี่ยนความยาวคลื่นจาก 360 nm เป็น 370 nm โดยการปรับช่วงความยาวคลื่นให้ได้ที่ 370 nm

- ทำการตั้ง blank ใหม่ที่ช่วงความยาวคลื่นที่ปรับใหม่ คือ 370 nm โดยการเปิดฝาช่องใส่สาร ใส่หลอด blank ลงในช่องใส่สารแล้วทำการปิดฝาช่องใส่สารให้สนิท กดปุ่ม 0 ABS เพื่อปรับค่าให้ได้ศูนย์ จากนั้นเปิดฝาช่องใส่สาร หยิบหลอด blank ออกจากช่องใส่สารแล้วใส่หลอดสารที่ต้องการวัดค่าดูดกลืนแสง (หลอดเดิมจากขั้นตอนที่ 5) ลงไปแทน ปิดฝาให้สนิท ทำการอ่านค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 370 nm จากสเกลบนหน้าปัทม์ จดค่าที่ได้ในตารางบันทึกผล

ขั้นตอนที่ 7 ทำการอ่านค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ตั้งแต่ความยาวคลื่น 380 - 750 nm ดังแสดงในตารางที่ ก.1 โดยทำการเปลี่ยนความยาวคลื่นให้เป็นตามที่ต้องการแล้วทำการวัดค่าซ้ำเหมือนขั้นตอนที่ 6

ขั้นตอนที่ 8 ทำการปิดสวิทซ์ไฟฟ้า ปล่อยให้เครื่องเย็นก่อนคลุมเครื่องด้วยถุงคลุมเครื่องมือ

3.7 มันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง (cassava) มีถิ่นกำเนิดอยู่ในอเมริกาใต้ แถบประเทศบราซิลและเม็กซิโก มีการเรียกชื่อต่าง ๆ กันตามรากศัพท์ภาษาอังกฤษ ฝรั่งเศส สเปน โปรตุเกส เช่น Cassava Mandioca, Yucca Tapioca และ Manico ในทางพฤกษศาสตร์มันสำปะหลังเป็นพืชในวงศ์ (Class) Dicotyledoneae ตระกูล (Family) Euphobiaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz (แต่เดิมมีการใช้ ชื่อว่า *Manihot utilissima* Pohl) เป็นพืชหัวที่มีคาร์โบไฮเดรตสูงและมีปริมาณโปรตีนต่ำ (ขวัญใจ แก้วจันทร์, 2550) มีองค์ประกอบแสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบทางเคมีกายภาพของมันสำปะหลัง (100 g basic)

องค์ประกอบ	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
แคลอรี	135	335
ความชื้น (%)	65.5	15.7
โปรตีน (g)	1.00	1.4
ไขมัน (g)	0.2	0.5
แป้ง (g)	32.4	80.6
เส้นใย (g)	1.1	1.2
ถั่ว (g)	0.9	1.8
แคลเซียม (mg)	26	96
ฟอสฟอรัส (mg)	32	81
เหล็ก (mg)	0.9	7.9
โซเดียม (mg)	2	-
โปแตสเซียม (mg)	394	-
วิตามินบี2 (mg)	0.04	0.06
วิตามินซี (mg)	34	0
ไนอะซิน (mg)	0.6	0.8
ไซยาไนด์ (%)	-	1.6

3.7.1 กากมันสำปะหลัง

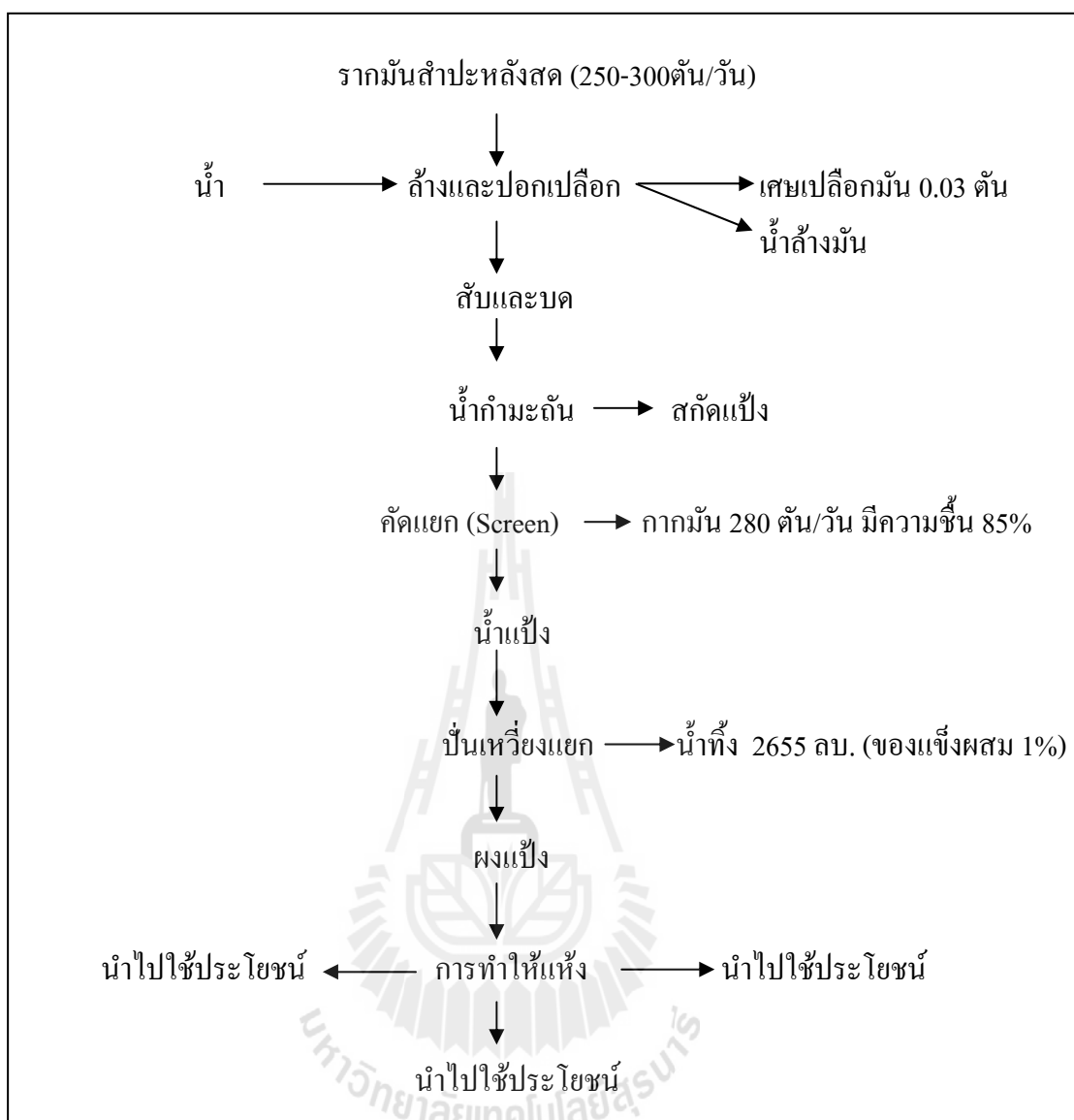
กากมันสำปะหลังเป็นวัสดุเหลือทิ้งได้จากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ดังแสดงในรูปที่ 3.28 กล่าวคือ หัวมันสำปะหลังจะถูกนำไปล้าง

ทำความสะอาดและสับเป็นชิ้นเล็ก ๆ เพื่อนำไปเข้าเครื่อง โม่บดให้ละเอียด ซึ่งจะได้อะไหล่ที่ประกอบด้วยแป้ง น้ำ และกากมันปนอยู่ จากนั้นนำของเหลวดังกล่าวมาเข้าเครื่องสกัดกาก ซึ่งทำหน้าที่แยกกากมันออกจากน้ำแป้งโดยอาศัยแรงเหวี่ยง จากนั้นนำน้ำแป้งที่ได้เข้าเครื่องอบแห้งแล้วบรรจุใส่ถุงต่อไป ส่วนกากมันที่ได้จากเครื่องสกัดกากถูกนำไปเข้าเครื่องอัดกาก แล้วตากแห้งในลานตาก

ในการผลิตแป้งมันแต่ละครั้ง ได้กากมันสำปะหลังสูงถึงร้อยละ 10 ของน้ำหนักหัวมันสำปะหลังสด โดยกากมันสำปะหลังจะถูกนำไปใช้เป็นส่วนผสมอาหารสัตว์หรือใช้ในการทำปุ๋ยหมัก เนื่องจากมีราคาต่ำ องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรตและไฟเบอร์ (ตารางที่ 3.4) ซึ่งมีปริมาณรวมกันกว่าร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ปริมาณองค์ประกอบของกากมันสำปะหลังนั้น ยังขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของหัวมันสำปะหลังที่ใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในการผลิตแป้งมันสำปะหลังด้วย โดยคาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่ในหัวมันสด ส่วนใหญ่คิดเป็นแป้ง 80 % ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีมากกว่าในข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโอ๊ต ยกเว้นข้าวเจ้า ส่วนปริมาณโปรตีนและไขมันค่อนข้างต่ำ (< 1 %) และมีฟอสฟอรัสน้อยกว่า 0.04 %

ตารางที่ 3.4 องค์ประกอบภายในกากมันสำปะหลัง

ส่วนประกอบ	กากมันสำปะหลังสด	กากมันสำปะหลังแห้ง
แป้ง (%)	17.80 ± 1.24	68.89 ± 4.00
ความชื้น (%)	72.00 ± 0.08	-
เถ้า(Ash) (%)	0.44 ± 0.00	1.70 ± 0.01
โปรตีน (%)	0.40 ± 0.00	1.55 ± 0.03
เส้นใย (%)	7.17 ± 0.06	27.75 ± 0.20
ไขมัน (%)	0.03 ± 0.00	0.12 ± 0.01
ฟิเชช (%)	4.99	4.99



รูปที่ 3.28 อุตสาหกรรมการแปรรูปแป้งมันสำปะหลัง (ขวัญใจ แก้วจันทร์, 2550)

3.7.2 การใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลัง

(1) ใช้เป็นอาหารสัตว์โดยการแปรรูปหัวมันสำปะหลังสดให้เป็นมันสำปะหลังเส้น และ มันสำปะหลังอัดเม็ด ผลผลิตภัณฑ์ทั้งสองอย่างจัดว่าเป็นการใช้ประโยชน์ของมันสำปะหลังที่สำคัญที่สุดของประเทศไทย

(2) การแปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลัง ปัจจุบันมีอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง 2 ชนิด คือ แป้งมันสำปะหลังดิบ (native starch) และแป้งมันสำปะหลังดัดแปร (modified starch) ซึ่งแป้งมันทั้งสองชนิดนี้กำลังมีบทบาทเพิ่มมากขึ้น แป้งมันสำปะหลังแปรรูปสามารถ

นำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอื่น ๆ อีกมากมาย เช่น ผงชูรส ไลซีน สารสร้างความหวาน (กลูโคส ซอบีตอล ไฮฟรักโตส) อุตสาหกรรมทอผ้า อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมไม้อัด อุตสาหกรรม กาว นอกจากนี้ยังมีการคิดค้นพบผลิตภัณฑ์ใหม่จากมันสำปะหลัง ได้แก่ สารดูดน้ำ (high water absorbing polymer) พลาสติกที่สลายตัวทางชีวภาพ ผลิตภัณฑ์ซูโพลีเอสเตอร์และแอลกอฮอล์

3.7.3 การแปรรูปมันสำปะหลัง

การแปรรูปมันสำปะหลังในประเทศไทยประกอบด้วยโรงงานแปรรูป 3 ชนิดหลัก คือ โรงงานมันเส้น โรงงานมันอัดเม็ดและโรงงานแป้งมันสำปะหลัง (ธีรพล วัฒน โกศล, 2548)

• การผลิตมันเส้น

การผลิตมันเส้นทำได้โดยการแปรรูปหัวมันสดโดยใช้เครื่องตีหัวมันเป็นเส้น เล็ก ๆ แล้ว นำไปตากบนลานซีเมนต์ประมาณ 2 - 3 วัน ซึ่งตามปกติแล้วการผลิตมันเส้น 1 kg ต้อง ใช้หัวมันสด 2 - 2.5 kg เมื่อแห้งดีแล้วจะต้อง ได้มาตรฐาน ความชื้นที่มีในมันเส้นประมาณร้อยละ 14 แล้ว จึงทำการเก็บเพื่อส่งขายเป็นวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมอาหารสัตว์และอุตสาหกรรมมันอัดเม็ด ต่อไป

• การผลิตมันอัดเม็ด

กรรมวิธีการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ด ทุกแห่งไม่ว่าจะใช้เครื่องจักรจาก ต่างประเทศหรือในประเทศจะมีกรรมวิธีการผลิตเหมือนกัน กล่าวคือก่อนทำการอัดมันเส้นจะต้อง นำมาร้อนเพื่อให้เศษที่เป็นผงและสิ่งเจือปนต่าง ๆ ออกเสียก่อน เสร็จแล้วแยกมันเส้นที่มีขนาดใหญ่ ได้มาตรฐานเข้าเครื่องแฮมเมอร์มีลล์ ต่อจากนั้น มันเส้นที่ได้ขนาดและเกินขนาดที่ถูกบดแล้ว จะถูก ลำเลียงไปยังถังพักบนเครื่องอัดก่อนแล้วส่งเข้าเครื่องอัดมันอัดเม็ด ระหว่างนั้นจะถูกพ่นน้ำเพื่อให้ความชื้นในระดับที่เหมาะสม เมื่อออกจากเครื่องใหม่ ๆ มันอัดเม็ดจะยังอุ่นและอ่อนนุ่มจากนั้นส่ง เข้าเครื่องระบายความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิและความชื้น หลังจากนั้นมันอัดเม็ดจะมีความแข็ง การ ระบายความร้อนโดยทั่วไปจะใช้รางเลื่อนทั้งแบบตั้งและแบบนอนโดยการเป่าพัดลม เมื่อมันอัดเม็ด เย็นตัวจะถูกส่งผ่านตะแกรงร้อนเพื่อคัดมันอัดเม็ดที่ใหญ่เกินขนาดก่อน ส่วนมันอัดเม็ดที่ เล็กเกินไป จะถูกส่งเข้าไปอัดใหม่ ลมจากพัดลมที่ใช้เป่ามันอัดเม็ดจะมีกำลังแรงมาก เมื่อเวลาพัดผ่านมันอัดเม็ด จะทำให้มันอัดเม็ดพุ่งเข้าไปกองในถังใบใหญ่ ส่วนผงมันที่ปลิวไปกับ ลมจะถูกส่งเข้าสู่เครื่องป้อน อีกครั้ง

• การผลิตแป้งมันสำปะหลัง

กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบสัลดแห้งนั้นเป็นกระบวนการผลิต แบบใหม่ที่โรงงาน โดยทั่วไปใช้กันอยู่ในปัจจุบัน มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบ หัวมันสำปะหลังจะถูกล้างให้สะอาดโดยผ่านเครื่อง ล้าง หัวมัน เพื่อล้างเอาเศษดินที่ยังติดอยู่กับหัวมันออกไปกับน้ำ

ขั้นตอนที่ 2 การไม่หิวมันสำปะหลัง มันสำปะหลังจะถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องสับหิวมันให้หิวมันมีขนาดเล็กกลง ในระหว่างไม่มีการเติมน้ำเพื่อให้สามารถไม่หิวมันได้ง่าย ในขั้นตอนนี้จะได้ของเหลวชั้น ที่มีส่วนผสมของแป้ง น้ำ กากมัน และสิ่งเจือปนต่าง ๆ

ขั้นตอนที่ 3 การสกัดแป้ง ของเหลวชั้นจากเครื่องไม่หิวมันจะถูกบีบเข้าสู่เครื่องแยกน้ำทิ้งที่มีโปรตีนและไขมันออกจากเนื้อแป้ง แล้วน้ำแป้งที่ได้จะเข้าสู่หน่วยสกัดแป้ง โดยจะถูกบีบเข้าสู่เครื่องสกัดแป้ง ซึ่งเป็นเครื่องแยกน้ำแป้งออกจากเส้นใยและกาก โดยเครื่องนี้จะแบ่งหน้าที่ตามการกรองออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดสกัดหยาบและชุดสกัดละเอียด ซึ่งน้ำแป้งจะผ่านชุดสกัดหยาบก่อนเพื่อแยกกากหยาบออก แล้วจึงเข้าสู่ชุดสกัดละเอียดเพื่อทำให้บริสุทธิ์ขึ้น โดยผ่านผ้ากรองที่มีขนาดเล็กกลงของเครื่องสกัดละเอียด จากนั้นน้ำแป้งที่มีความบริสุทธิ์สูงจะถูกสูบจากถังพักมายังเครื่องสกัดแห้ง ซึ่งจะเหวี่ยงแยกน้ำออกจากน้ำแป้งที่ได้ แป้งหมาคที่มีความชื้นประมาณ 35 – 40 %

ขั้นตอนที่ 4 การอบแห้ง แป้งหมาคจะถูกเป่าด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 180 - 200 °C จากเตาเผา ขึ้นไปบนปล่องอบแห้ง แล้วตกลงมาเข้าสู่ไซโคลนความร้อนทำให้ความชื้นหายไปบางส่วน

ขั้นตอนที่ 5 การบรรจุและเก็บรักษา ทำได้โดยการบรรจุแป้งที่ได้ในกระสอบแล้วเรียงกระสอบบนที่รองรับเป็นชั้น ๆ โดยพยายามหลีกเลี่ยงการทับซ้อนกัน 4 - 5 m

3.7.4 กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพในโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ โดยอาศัยจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กระบวนการใหญ่คือ กระบวนการแบบใช้อากาศและกระบวนการแบบไม่ใช้อากาศ

- กระบวนการแบบบำบัดน้ำเสียใช้ออกซิเจน

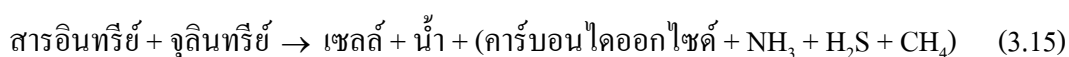
สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และมีการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ ขึ้นจำนวนมาก ซึ่งมีปฏิกิริยาในการย่อยสลาย ดังแสดงในสมการที่ 3.14



ข้อได้เปรียบของกระบวนการบำบัดแบบนี้คือ ระบบมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียอีกทั้งใช้ระยะเวลาในการบำบัดน้อย แต่มีข้อเสียคือ ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูง เนื่องจากต้องมีการพ่นอากาศให้กับระบบและยังต้องกำจัดตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกิน นอกจากนี้ กระบวนการบำบัดแบบนี้ ไม่สามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพกับน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงมาก ๆ เนื่องจากมีข้อจำกัดในการให้ออกซิเจนอย่างเพียงพอกับระบบ

- กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

กระบวนการนี้สารอินทรีย์ในน้ำเสียประมาณ 80 - 90 % ถูกย่อยสลายเป็นแก๊สมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งรวมเรียกว่าแก๊สชีวภาพ (biogas) โดยมีปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ดังแสดงในสมการที่ 3.15



3.7.5 ระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไม่ใช้ออกซิเจน

ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้

(1) กระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) กระบวนการนี้สารอินทรีย์อยู่ในรูปโมเลกุลใหญ่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทันที จำเป็นที่จะต้องมีการทำให้เกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กเสียก่อน โดยมีแบคทีเรียปล่อยอนไซม์มาช่วยเร่งการแตกตัวของโมเลกุล แบคทีเรียกลุ่มนี้จะได้รับสารอาหารบางชนิดจากสารอินทรีย์ผ่านการดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้โดยตรง

(2) กระบวนการอะซิโดเจเนซิส (acidogenesis) แบคทีเรียอีกกลุ่มจะทำการย่อยสลายโมเลกุลที่แตกตัวแล้วจากขั้นตอนแรกให้เป็นกรดอินทรีย์ ซึ่งได้แก่ กรดอะซิติก, คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เป็นต้น แบคทีเรียที่กลุ่มนี้เรียกว่า Acid Forming Bacteria เป็นแบคทีเรียที่อยู่ได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนหรือไม่มีออกซิเจน

(3) กระบวนการสร้างมีเทน (methanogenesis) ในขั้นตอนนี้แบคทีเรียอีกกลุ่มหนึ่งเรียกว่า methanogens หรือ methane forming bacteria จะทำการเปลี่ยนกรดอะซิติกและไฮโดรเจนเป็นแก๊สมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียพวกนี้เป็นชนิดที่ต้องอยู่ในสภาพที่ไร้ออกซิเจน (obligate anaerobic bacteria) ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ จะขึ้นอยู่กับปริมาณของกรดอะซิติกจากปฏิกิริยาก่อนหน้า จะเห็นได้ว่ากระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพจะต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของแบคทีเรียหลายกลุ่ม ความสามารถในการย่อยสลายของแต่ละกลุ่มก็จะมีผลซึ่งกันและกัน และมีผลต่อความสามารถในการผลิตแก๊สชีวภาพสำหรับส่วนประกอบอื่น ๆ ซึ่งอาจเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากก็จะเหลือเป็นกากตะกอนอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ก็จะไม่มีการเปลี่ยนสภาพ หลังจากที้ออกจากระบบแล้ว

3.7.6 ระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง

- ถังไร้อากาศแบบปั่น (completely Stirred Tank Reactor: CSTR)

เป็นระบบบำบัดไร้อากาศที่ใช้จุลินทรีย์เป็นตัวย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียภายในถังกลมที่ปิดมิดชิด ไร้อากาศติดตั้งอุปกรณ์กวาดตะกอนตรงด้านล่างของถัง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด ข้อดีของระบบหมักนี้ คือ การกวนผสมภายในถังตลอดเวลาทำให้

จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับสารอินทรีย์อย่างทั่วถึง ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการผลิตแก๊สชีวภาพได้อีกด้วย เมื่อจุลินทรีย์ย่อยสลายสารแขวนลอยในน้ำเสีย จะได้แก๊สชีวภาพเป็นผลพลอยได้ ลอยอยู่ด้านบนระบบนี้เหมาะกับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูง

- **ถังไร้อากาศแบบชั้นสลัดจ์ (upflow anaerobic sludge blanket: UASB)**

ระบบนี้จะให้น้ำเสียไหลขึ้น น้ำเสียที่ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นสารอาหารของจุลินทรีย์จะถูกป้อนเข้าจากทางด้านล่าง ระหว่างที่ลอยขึ้นสู่ด้านบนของถังนั้น สารอินทรีย์จะสัมผัสกับเม็ดยกตะกอนจุลินทรีย์ แก๊สชีวภาพที่ถูกรวมขึ้นจากการย่อยสลายจะลอยขึ้นสู่ด้านบนของถัง ลักษณะเด่นของจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลาย คือ จุลินทรีย์จะจับตัวเป็นเม็ดเล็ก ๆ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 - 2 mm มีคุณสมบัติในการตกตะกอนที่ดีมาก ภายในระบบจะแบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือ ชั้นน้ำและชั้นตะกอน โดยจะมีระบบแยกน้ำใสภายในถัง และมีระบบเก็บรวบรวมแก๊สที่ผลิตขึ้นมาได้เพื่อนำออกจากถัง วิธีการนี้เม็ดยกตะกอนจุลินทรีย์สามารถกระจายอยู่ทั่วไปในระบบโดยไม่ต้องเกาะยึดกับวัสดุตัวกลาง จึงประหยัดค่าใช้จ่ายสำหรับวัสดุตัวกลางได้ ระบบนี้เหมาะกับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยต่ำ

- **ถังไร้อากาศแบบตรึงเซลล์บนผิววัสดุตัวกลาง (anaerobic filter: AF)**

หลักการของระบบนี้ คือ การจัดวางวัสดุตัวกลางไว้ในถังปฏิกรณ์ เพื่อให้เป็นที่อาศัยของจุลินทรีย์ เกิดเป็นฟิล์มชีวะ (Biofilm) ขึ้นมา วัสดุตัวกลางนี้อาจมีลักษณะเป็นท่อหรือตาข่ายที่มีความพรุน เมื่อน้ำเสียถูกป้อนเข้าสู่ระบบสารอินทรีย์จะเคลื่อนตัวไหลผ่านฟิล์มชีวะแต่ละชั้น ทำให้จุลินทรีย์ทำการย่อยสลายไปที่ละน้อยเหมือนผ่านการกรอง ผลพลอยได้จากการย่อยสลายคือแก๊สชีวภาพจะลอยสู่ด้านบนระบบนี้เหมาะกับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยต่ำ

- **ถังไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (anaerobic baffled reactor: ABR)**

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบนี้มีลักษณะเป็นถังที่มีแผ่นกั้นขวางหลายแผ่นติดตั้งไว้ในถังยาวการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบจะเป็นในลักษณะไหลขึ้นไหลลง (หรือซ้ายขวา) สลับกันไป เมื่อน้ำเสียไหลไปตามช่องทางที่ออกแบบไว้ในถัง สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะสัมผัสจุลินทรีย์ระหว่างการเดินทางภายในบ่อจนความสกปรกมีค่าลดลงก่อนจะออกจากระบบ

3.7.7 แก๊สชีวภาพ

การบำบัดน้ำเสียจะอาศัยแบคทีเรียช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้น โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ แบคทีเรียที่ใช้อากาศหรือระบบบำบัดแบบใช้อากาศ และแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศหรือระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ผลจากการบำบัดจะได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สชีวภาพออกมาเป็นองค์ประกอบหลักตามลำดับ แก๊สชีวภาพเกิดขึ้นตามธรรมชาติ จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยวิธีทางชีววิทยา (biological treatment) ในสภาวะที่ไร้อากาศ แหล่งที่เกิดแก๊สชีวภาพ ได้แก่ น้ำเสียของโรงงานแปรรูปสินค้าทางการเกษตรและเลี้ยงสัตว์ เช่น โรงงานแป้งมัน

ลำปะหลัง โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ โรงงานผลไม้กระป๋อง โรงงานผลิตแอลกอฮอล์ และฟาร์มเลี้ยงหมู เป็นต้น

- องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ

แก๊สชีวภาพประกอบไปด้วยแก๊สหลายชนิดส่วนใหญ่เป็น แก๊สมีเทน (CH_4) 50 - 70 % และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 30 - 50 % ส่วนที่เหลือเป็นแก๊สอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S), แอมโมเนีย (NH_3) และไอน้ำ มีเทนเป็นแก๊สที่จุดติดไฟได้จึงสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ดี และเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้สามารถนำแก๊สชีวภาพไปใช้เป็นพลังงานหมุนเวียนเพื่อทดแทนเชื้อเพลิงได้ ส่วนแก๊สอื่น ๆ คือ ไฮโดรเจนซัลไฟด์และแอมโมเนียจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสารอินทรีย์ตั้งต้น ว่ามีส่วนประกอบของไนโตรเจน (N) และ ซัลเฟอร์ (S) มากน้อยเพียงใด แก๊สชีวภาพประกอบด้วยแก๊สมีเทนเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งถือว่าเป็นแก๊สเรือนกระจกชนิดหนึ่ง มีอันตรายมากกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 21 เท่า ดังนั้นการปล่อยให้แก๊สชีวภาพให้ลอยไปสู่บรรยากาศเป็นการทำลายสภาพแวดล้อมอย่างหนึ่ง ปัจจุบันได้มีเทคโนโลยีในการนำแก๊สชีวภาพมาใช้งานเช่น เชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตาและเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้า เป็นต้น

- ประโยชน์ของแก๊สชีวภาพ

แก๊สชีวภาพเป็นส่วนประกอบหนึ่งของน้ำเสียที่ถูกย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ มีลักษณะเป็นแก๊สมีกลิ่นเหม็นมีสภาพความเป็นกรด จากคุณลักษณะของแก๊สชีวภาพดังกล่าวนี้ ถ้าหากทางผู้ประกอบการ โรงงานปล่อยแก๊สชีวภาพออกสู่บรรยากาศโดยตรง จะก่อปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอย่างมาก ทั้งเรื่องกลิ่น ความเป็นกรดและยังเป็นสารทำลายชั้นโอโซน ซึ่งทำให้เกิดสภาวะเรือนกระจก ดังนั้นจึงต้องหาวิธีในการจัดการกับแก๊สชีวภาพ วิธีที่ใช้กันในปัจจุบัน คือนำแก๊สชีวภาพดังกล่าวไปใช้ในการเผาไหม้ เพื่อลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และยังเป็นพลังงานทดแทนอีกทางหนึ่งแต่ประโยชน์ของแก๊สชีวภาพมีอีกหลายอย่าง ดังนี้

- (1) ลดการนำเสียของแหล่งน้ำตามธรรมชาติ แม่น้ำลำคลอง
- (2) ลดการเกิดกลิ่นเหม็นในสถานประกอบการ โรงงาน ทำให้ไม่มีกลิ่นรบกวนเพื่อนบ้าน ใกล้เคียง
- (3) ลดมลภาวะและการระบาศของแมลงที่เป็นพาหะนำโรค
- (4) ลดค่าใช้จ่ายสำหรับค่าไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียที่ต้องใช้ระบบเติมอากาศ (aerated lagoon และ activated sludge process)
- (5) ลดการใช้พื้นที่ของระบบบำบัดน้ำเสีย เมื่อเทียบกับระบบบ่อเปิด
- (6) ลดค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายกากอินทรีย์เหลือทิ้ง (solid waste) ในกรณีที่นำ solid waste ไปหมักในระบบแก๊สชีวภาพ

(7) การนำแก๊สชีวภาพมาใช้ประโยชน์จะช่วยลดปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจก เช่น แก๊สมีเทน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

(8) ใช้ในการผลิตพลังงานกล พลังงานไฟฟ้า และความร้อนร่วม (cogeneration system)

3.8 โอโซน (Ozone)

โอโซน คือ รูปแบบหนึ่งของออกซิเจน ปกติออกซิเจนหนึ่งโมเลกุลจะมี 2 อะตอม (O_2) เมื่ออยู่ในรูปของโอโซนหนึ่งโมเลกุลจะมี 3 อะตอม (O_3) ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษกว่าออกซิเจนปกติ โอโซนได้ถูกพบครั้งแรกเมื่อ ค.ศ. 1840 โดย ดร.คริสเตียน ฟรีดริช เซินไบน์ (Dr.Christian Friedrich Schonbein) นักเคมีชาวเยอรมัน โดยตั้งชื่อเป็นภาษากรีกว่า “Ozein” ที่แปลว่า “ดม” (ภักววัฒน์ เลาคา, 2549)

ชั้นบรรยากาศของโลกที่ระดับความสูง 20 - 40 km เหนือพื้นโลกที่เรียกว่า ชั้นสตราโตสเฟียร์ (stratosphere) ปกคลุมด้วยชั้นโอโซน ซึ่งมีประมาณ 5 - 10 ppm (ส่วนในล้านส่วน) ช่วยป้องกันรังสีจากภายนอกโลก โดยเฉพาะรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากแสงอาทิตย์ ในช่วงความยาวคลื่น 290 - 390 nm ไม่ให้ตกกระทบผิวโลกมากจนเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้โอโซนยังพบได้ในธรรมชาติบนพื้นโลกโดยเฉพาะบริเวณชายหาดและบนยอดภูเขา ซึ่งมีปริมาณเพียง 0.01 - 0.05 ppm โดยเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างแก๊สออกซิเจนในอากาศกับรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากแสงอาทิตย์หรือจากสายฟ้าแลบในขณะที่ฝนตก เนื่องจากโอโซนมีเสถียรภาพต่ำ จึงสลายตัวเป็นแก๊สออกซิเจนได้ง่าย แต่ปริมาณเพียงเล็กน้อยนี้สามารถทำให้มลพิษที่มีอยู่ในอากาศถูกทำลายจนหมด จึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่อากาศในบริเวณนี้บริสุทธิ์และสดชื่นมากกว่าอากาศในเมืองใหญ่ ซึ่งมีมลพิษค่อนข้างสูง

สมบัติเด่นของโอโซน คือเป็นแก๊สที่มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว สามารถรับรู้ได้ถึงความเข้มข้นต่ำในอากาศประมาณ 0.01 ppm สามารถมองเห็นเป็นสีน้ำเงินเข้มได้ที่ความเข้มข้นสูงหลายพันส่วนในล้านส่วน เป็นแก๊สที่ไม่เสถียรจะสลายตัวเป็นออกซิเจนหรือทำปฏิกิริยากับสิ่งรอบตัวอยู่ตลอดเวลา มีสถานะเป็นแก๊สที่อุณหภูมิบรรยากาศ มีสถานะเป็นของเหลว (จุดเดือด) ที่ $-112^{\circ}C$ (มีสีน้ำเงินเข้ม) และมีสถานะเป็นของแข็งหรือแข็งตัว (จุดหลอมเหลวหรือจุดเยือกแข็ง) ที่ $-251^{\circ}C$ สามารถละลายน้ำได้ดีกว่าแก๊สออกซิเจน เป็นแก๊สที่มีพลังงานในการเกิดออกซิเดชัน (oxidation potential) สูง (2.07 V) ซึ่งสูงกว่าคลอรีน (1.36 V) 1.52 เท่า มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรคได้เร็วกว่าคลอรีน 3,125 เท่า สามารถย่อยสลายสี กลิ่น แก๊สพิษ และสารเคมีได้ดี

3.8.1 ข้อดีของการนำแก๊สโอโซนมาใช้งานบำบัดน้ำเสียแทนคลอรีน

(1) ประหยัดพลังงานความร้อนที่ใช้ในการกระตุ้นปฏิกิริยาโอโซนในเซชัน (ozoneization)

โดยทั่วไปโอโซนสามารถละลายได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 35 °C ดังนั้นปฏิกิริยาโอโซนในเซชันของโอโซนในน้ำเสียจึงเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ ระบบจึงไม่ต้องเสียพลังงานความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิเลย (ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว, 2549)

(2) โอโซนมีความสามารถในการออกซิไดซ์ดีกว่าคลอรีน

เนื่องจากโอโซนมีค่าศักย์ออกซิเดชันสูงกว่าคลอรีนถึง 1.52 เท่า ดังนั้นโอโซนจึงสามารถออกซิไดซ์สารประกอบเคมีที่มีพิษในน้ำได้ดีกว่าคลอรีน โดยโอโซนจะสามารถออกซิไดซ์ได้ทั้งสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์

(3) สามารถกำจัดสีได้ดี

ในสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นโพลีไซคลิก (polycyclic) บางตัวที่มีหมู่โครโมฟอร์ คือ เป็นหมู่ฟังก์ชันกรุปที่ไม่อ้อมตัวซึ่งสามารถดูดกลืนแสงในช่วงที่มองเห็นได้ ทำให้สารประกอบที่มีหมู่โครโมฟอร์นี้ให้สีได้ เนื่องจากโอโซนสามารถออกซิไดซ์หมู่โครโมฟอร์ได้ กล่าวคือ โอโซนจะไปทำลายพันธะคู่ของหมู่โครโมฟอร์ทำให้สารประกอบที่มีหมู่โครโมฟอร์ให้สีไม่ได้ต่อไปอีก จึงทำให้สามารถกำจัดสีในน้ำเสียได้

(4) สามารถกำจัดกลิ่นได้ดี

ในสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์บางตัวจะมีกำมะถันและไนโตรเจนซึ่งเป็นสารที่มีกลิ่นเหม็น ทำให้สามารถกำจัดกลิ่นในน้ำเสียได้

(5) สามารถฆ่าเชื้อโรคได้ดี

โอโซนมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้ดีเป็นที่ยอมรับว่า โอโซนสามารถฆ่าเชื้อโรคได้ดีกว่าคลอรีนถึง 3,125 เท่า

(6) มีความปลอดภัยกว่าคลอรีน

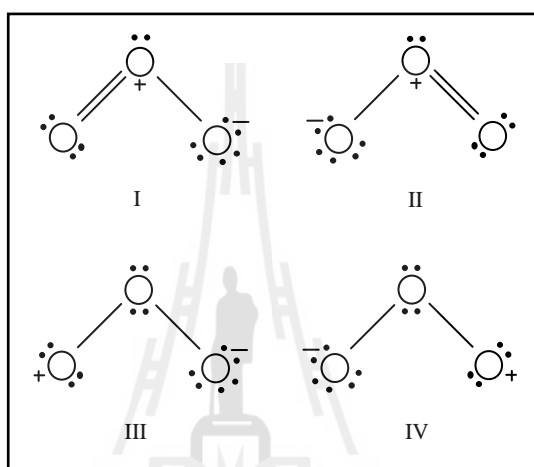
เนื่องจากเมื่อคลอรีนไปออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์บางตัวแล้ว ทำให้เกิดสารประกอบคลอรีเนตที่เป็นพิษ แต่เมื่อใช้โอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์แล้วจะไม่เกิดสารประกอบที่เป็นพิษแบบสารประกอบคลอรีเนตขึ้นเลย

3.8.2 คุณสมบัติทางกายภาพของโอโซน

โอโซน เป็นแก๊สที่ไม่เสถียรที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ที่อุณหภูมิปกติ โอโซนไม่มีสี แต่จะเปลี่ยนเป็นสีฟ้าเมื่อแก๊สมีความหนาแน่นสูง จะมีสีน้ำเงินเข้มในสถานะของเหลวและมีสีม่วงเข้มในสถานะของแข็ง แก๊สโอโซนมีกลิ่นฉุน ปริมาณน้อยที่สุดที่มนุษย์สามารถได้กลิ่น คือ 0.02 - 0.05 ppm สำหรับโอโซนบริสุทธิ์และ 0.5 ppm เมื่อเจือจางในอากาศ แก๊ส

โอโซนทั้ง 3 สภาวะมีความไวอย่างยิ่งต่อการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างฉับพลันหรือ การกระเทือนรุนแรงและอาจเป็นผลให้เกิดการระเบิด เนื่องจากการสลายตัวอย่างรวดเร็วของโมเลกุลโอโซนจำนวนมาก (สุรพล บุญดวง, 2549)

การวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีการกระจายของอิเล็กตรอน (electron diffraction) ทำให้ทราบว่าโอโซนในสภาวะแก๊สมีการจัดเรียงอะตอมของออกซิเจนทั้งสามเป็นรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วดังแสดงในรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 โครงสร้างโมเลกุลของแก๊สโอโซน (Oehlschlaeger, 1978)

3.8.3 คุณสมบัติทางแสงของโอโซน

ดัชนีหักเหของแก๊สโอโซนที่อุณหภูมิ 273 °K มีค่าเท่ากับ 1.0533, 1.0200 และ 1.0502 ที่ความยาวคลื่นแสง 480, 546 และ 670.5 nm ตามลำดับ ในสภาวะของเหลวโอโซนมีดัชนีหักเหเท่ากับ 1.2236, 1.2226 และ 1.2213 ที่ความยาวคลื่นแสง 535, 589 และ 670.5 nm ตามลำดับ

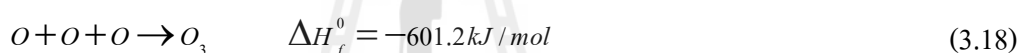
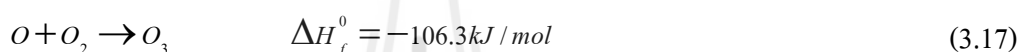
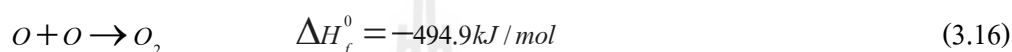
โอโซนในสภาวะแก๊สดูดกลืนแสงได้ตั้งแต่ช่วงอินฟราเรด ช่วงที่ตามองเห็น จนถึงช่วงอัลตราไวโอเล็ต (14.2 μm - 220 nm) การดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตมากที่สุดที่ความยาวคลื่น 260 nm และต่ำสุดที่ 200 nm

แก๊สโอโซนสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติ ในชั้นบรรยากาศด้านบน คือ ชั้นสตราโทสเฟียร์ ซึ่งช่วยป้องกันโลกจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตและยังพบโอโซนในบริเวณพื้นผิวโลกซึ่งโอโซนนี้ถือเป็นโอโซนระดับล่าง (ground-level ozone) เป็นพิษและก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ

โอโซนในชั้นบรรยากาศด้านบนและโอโซนระดับล่างมีโครงสร้างโมเลกุลเดียวกัน แต่โอโซนระดับล่างเกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ (volatile organic compound) กับออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) โดยมีแสงเข้าร่วมในปฏิกิริยาดังกล่าว ทำให้เกิดกลุ่มหมอก (smog) ของโอโซนปกคลุมผิวโลกในชั้นสตราโทสเฟียร์ ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ

3.8.4 กระบวนการเกิดโอโซน

โอโซนเกิดจากการรวมตัวของออกซิเจนโดยใช้พลังงานจากคลื่นอัลตราไวโอเล็ต การแผ่รังสีนิวเคลียร์และจากปฏิกิริยาทางเคมี โดยมีปฏิกิริยาและเอนทาลปีดังนี้



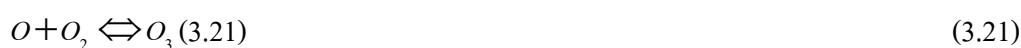
เอนทาลปีของการผลิตโอโซนจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา และพลังงานขณะเกิดโอโซนจะเท่ากับพลังงานที่ปล่อยออกมา เมื่อเกิดการระเบิดเนื่องจากการสลายตัวอย่างรวดเร็ว แก๊สโอโซนที่เกิดจากการรวมตัวของออกซิเจนมี 2 รูปแบบ คือ



เป็นปฏิกิริยาแบบดูดพลังงาน (endothermic) ออกซิเจนอะตอมคู่จะรวมตัวกับออกซิเจนอะตอมเดี่ยวที่แตกออกจากโมเลกุลแก๊สออกซิเจน เกิดเป็นโมเลกุลของแก๊สโอโซน เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาแบบดูดพลังงาน สมดุลของปฏิกิริยาการเกิดโมเลกุลแก๊สโอโซนจะเพิ่มมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงมาก โมเลกุลออกซิเจนจะแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอมเดี่ยว ในสัดส่วนที่มากขึ้นส่งผลให้เกิดการรวมตัวเป็นโมเลกุลของโอโซนโดยตรง ในขณะที่เดียวกันก็เกิดการรวมตัวเป็นโมเลกุลของออกซิเจน และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องเป็น โอโซนดังสมการ





โอโซนที่เกิดขึ้นสามารถสลายตัวเป็นอะตอมออกซิเจนและโมเลกุลออกซิเจน ดังนั้นความเข้มข้นของโอโซนที่เกิดขึ้น จะมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิจำกัดค่าหนึ่งเท่านั้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกวานั้นจะส่งผลให้โมเลกุลโอโซนเกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็ว

สมมติฐานของการเกิดโอโซน โดยวิธี silent electric discharge เป็นไปตามสมการต่อไปนี้



โดย M คือ แก๊สผสมที่ปรากฏอยู่แต่ไม่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา ในที่นี้คือ โมเลกุลออกซิเจน

อะตอมออกซิเจนและโมเลกุลโอโซน

O_2^+ คือ โมเลกุลแก๊สออกซิเจนในสภาวะกระตุ้น

สมการเริ่มต้น (3.22) แสดงการเกิดออกซิเจนอะตอมเดี่ยวโดยอิเล็กตรอน (e^-) ที่เกิดจากดีสชาร์จไฟฟ้า วิ่งเข้าชนโมเลกุลออกซิเจนด้วยความเร็วสูง แตะออกเป็นอะตอมออกซิเจน อิเล็กตรอนบางตัวที่หลุดออกจากอะตอมออกซิเจน จะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าจนมีความเร็วสูงและเข้าชนโมเลกุลออกซิเจนเกิดการแตกตัวอย่างต่อเนื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาตามสมการที่ (3.22) ขึ้นกับจำนวนอิเล็กตรอนหรือปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านช่องว่างอากาศที่เกิดดีสชาร์จไฟฟ้า

เนื่องจากผิวอิเล็กโทรดที่ประกอบขึ้นเป็นปริมาตรยังผล ซึ่งเกิดดีสชาร์จไฟฟ้าไม่เรียบสม่ำเสมอเป็นผลให้ภายในปริมาตรยังผล เกิดดีสชาร์จคอลัมน์ (บริเวณที่มีกระแสไหลผ่าน) เป็นช่วง ๆ เรียกว่า เขตดีสชาร์จ และบริเวณที่ไม่เกิดดีสชาร์จ เรียกว่า เขตปลอดดีสชาร์จ ดังนั้นในปริมาตรยังผลจะเกิดปฏิกิริยาตามสมการ (3.22) ทำให้เกิดออกซิเจนอะตอมเดี่ยวเฉพาะในช่วง เขตดีสชาร์จเท่านั้น

ในขณะที่ปฏิกิริยาตามสมการ (3.23) ซึ่งเป็นการสร้างโมเลกุลโอโซน และปฏิกิริยาตามสมการ (3.24) ซึ่งเป็นการสลายตัวของโอโซน สามารถเกิดได้ทั้งช่วงเขตดิสชาร์จและเขตปลอดดิสชาร์จ

โดยสรุป silent electric discharge ก่อให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่อง 3 ปฏิกิริยา คือ A_1 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในดิสชาร์จคอัลมันน์ เนื่องจากอิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากผิวอิเล็กโทรดข้างหนึ่ง ไปยังผิวอิเล็กโทรดอีกข้างหนึ่งด้วยความเร็วสูงมาก เกิดขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 10^{-6} s

A_2 ปฏิกิริยาที่เกิดในดิสชาร์จคอัลมันน์ ต่อเนื่องจาก A_1 ในช่วงเวลาระหว่างการเกิดดิสชาร์จไฟฟ้า แต่ละครั้งช่วงเวลานี้จะไม่มีปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าใด ๆ เกิดขึ้น

B ปฏิกิริยาที่เกิดนอกดิสชาร์จคอัลมันน์ ภายในปริมาตรยังผล

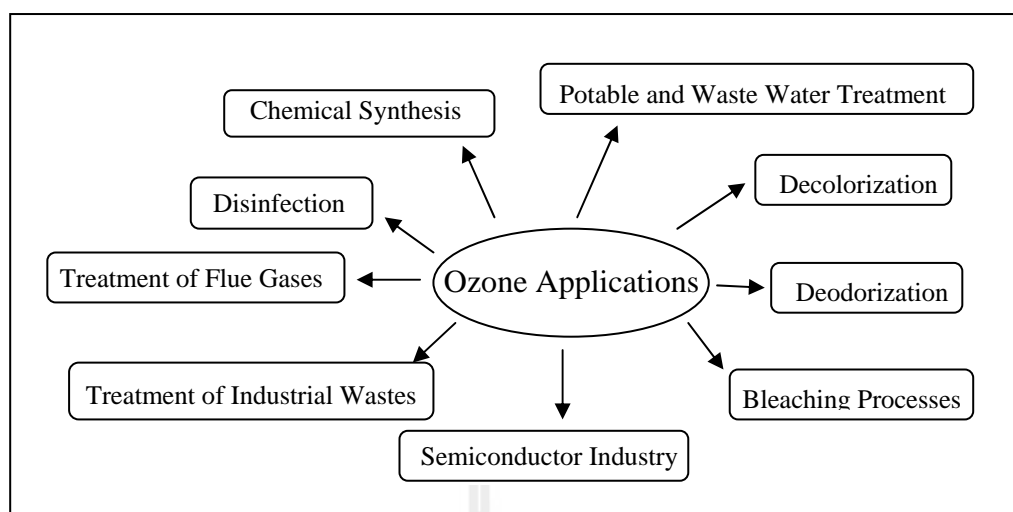
3.8.5 การผลิตโอโซน

ในระบบอิเล็กโทรดไฟฟ้าแรงสูง เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าให้ระบบอิเล็กโทรดแบบไม่สม่ำเสมอสูงจะทำให้เกิดดิสชาร์จบางส่วนขึ้น สำหรับระบบอิเล็กโทรดที่มีตัวกลางเป็นอากาศ เมื่อความเครียดสนามไฟฟ้าเกินความทนของอากาศ ($22 \text{ kV}_{\text{rms}}/\text{cm}$) ก็จะทำให้อากาศที่อยู่รอบ ๆ อิเล็กโทรดแตกตัว ผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นจากดิสชาร์จก็คือ โอโซน (O_3) (สำรวย, 2547) เนื่องจากอากาศที่ใช้ผลิตโอโซน มีส่วนประกอบหลักคือ แก๊สไนโตรเจน (78.084 %) แก๊สออกซิเจน (20.9476 %) แก๊สอาร์กอน (0.934 %) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (0.0314 %) อิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นจากดิสชาร์จแบบโคโรนา จะชนกับอะตอมของออกซิเจนทำให้มีระดับพลังงานสูงขึ้น (O_2^*) และเมื่อเข้าร่วมตัวกับโมเลกุลปกติของออกซิเจนจะเกิด โอโซน (O_3) (Lin and Yeh, 1993) ตามสมการที่ (3.26)



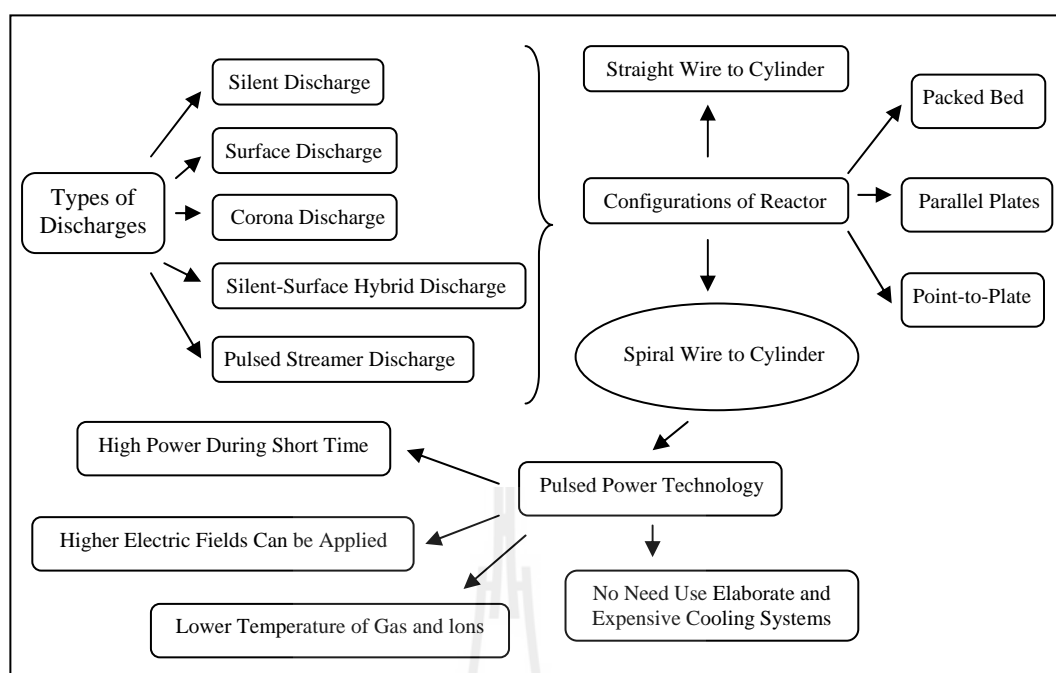
เนื่องจาก O_2^* และ O_3 ที่เกิดขึ้นจากดิสชาร์จแบบโคโรนา จะมีการสลายตัวเองโดยธรรมชาติในเวลารวดเร็ว ดังนั้นการที่จะได้ผลผลิตโอโซนมากพอจะต้องทำให้การสร้าง O_2^* และ O_3 มีมากกว่าการสลายตัว พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการสังเคราะห์โอโซน ได้แก่ ความเข้มของสนามไฟฟ้าและความหนาแน่นพลังงานระหว่างดิสชาร์จ (Humpert et al., 2000)

จากคุณสมบัติการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดี จึงทำให้มีการนำเอาโอโซนไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการต่าง ๆ ทางเคมีกันอย่างแพร่หลาย (Samaranayake et. al., 2001) ดังแสดงในรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 การประยุกต์ใช้งาน โอโซน (Samaranayake et. al., 2001)

ในปัจจุบันประสิทธิภาพของวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างโอโซน จากดีสชาร์จทางไฟฟ้า ได้มีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย ตัวอย่างเช่น การผลิตโอโซนด้วย silent discharges (Eliasson and Kogelschitz, 1991) การผลิตโอโซนด้วย dielectric barrier discharges (Pietsch and Gibalor, 1998) และการผลิตโอโซนด้วยโคโรนาดีสชาร์จในระบบอิเล็กทรอนิกส์ทรงกระบอกซ้อนกันร่วม (Ma and Qiu, 2003) เป็นต้น ดังนั้นการสร้างโอโซนจากด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้า จึงสามารถสร้างได้จากดีสชาร์จทางไฟฟ้าหลายแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.31 (Samaranayake et. al., 2001)



รูปที่ 3.31 ลักษณะดีสชาร์จแบบต่าง ๆ สำหรับใช้ในการผลิตโอโซน (Samaranayake et. al., 2001)

การนำโอโซนมาใช้ในระบบการบำบัดน้ำเสียหรือน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม พบว่ามีการนำมาประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท ตัวอย่างเช่น การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานหมักพิมพ์ (Khunteegul and Petiraksakul, 2007) การบำบัดน้ำที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อน (Kornev, 2003) การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตพอลิเมอร์ (Gasanov, 2007) และการบำบัดน้ำที่มีแอมโมเนียในโตรเจนปนเปื้อน (Nazarenko and Shubin, 2006) เป็นต้น

ในการบำบัดน้ำเสียมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบด้วยโอโซนนั้น พบว่าโอโซนจะทำหน้าที่ออกซิไดซ์สารอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดสี โดยโอโซนจะเข้าไปออกซิไดซ์โครโมฟอร์ ซึ่งเป็นส่วนของโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะคู่ และดูดซับแสงที่สามารถมองเห็นได้ ซึ่งโอโซนจะไปทำลายพันธะดังกล่าว ทั้งทางตรงและทางอ้อม ทำให้ได้โมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง โดยไม่สามารถดูดซับแสงที่สามารถมองเห็นได้ เป็นสาเหตุให้สีของน้ำเสียลดลง (สุรพล, 2543) ปัจจัยที่มีผลต่อการสลายตัวของโอโซนซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียลดลง คือ อุณหภูมิ ตัวยับยั้งและค่า pH (Gottschalk et al., 2000) ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่า pH มีผลต่อความสามารถในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ของโอโซน เนื่องจากทำให้ศักย์ในการออกซิเดชันของโอโซน มีค่าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย (Hoigne and Bader, 1976) หรืออาจกล่าวได้ว่าในสถานะที่เป็นกรด โอโซนจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์โดยตรง ส่วนในสถานะที่เป็นด่างจะเกิดการสลายตัวของโอโซน (Gottschalk et al., 2000)

3.8.6 การผลิตไอซอนโดยวิธีดีสชาร์จไฟฟ้า

บริเวณช่องว่างระหว่างผิวอิเล็กโทรดทั้งสอง ซึ่งมีออกซิเจนบริสุทธิ์หรือออกซิเจนในแก๊สผสมอิเล็กตรอนอิสระที่ปรากฏอยู่จะถูกเร่งโดยสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรด ให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงขึ้น (มากขึ้นขึ้นอยู่กับระยะทางอิสระเฉลี่ย) ระหว่างการเคลื่อนที่อิเล็กตรอนมีโอกาสชนกับอะตอมของออกซิเจนที่ยังรวมตัวเป็นโมเลกุลออกซิเจนอยู่ เป็นผลให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจรรอบอะตอม กลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระและโมเลกุลออกซิเจนที่มีประจุบวก อิเล็กตรอนอิสระจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าให้มีความเร็วสูงขึ้นวิ่งเข้าชนโมเลกุลออกซิเจนเกิดเป็นไอออนบวกและอิเล็กตรอนอิสระเป็นเช่นนี้อย่างต่อเนื่อง ในขณะที่เดียวกันอิเล็กตรอนก็ถูกสนามไฟฟ้าเร่งเข้าสู่อิเล็กโทรดบวกเกิดการสะสมประจุลบบริเวณผิวอิเล็กโทรดบวกและโมเลกุลออกซิเจนที่มีประจุบวกก็จะถูกสนามไฟฟ้าเร่งเข้าสู่อิเล็กโทรดลบด้วยเช่นเดียวกัน แต่เนื่องจากโมเลกุลมีขนาดใหญ่กว่าอิเล็กตรอนมากทำให้เคลื่อนที่ได้ช้า จึงเกิดการกระจายตัวทั้งช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดโดยมีความหนาแน่นสูงบริเวณผิวอิเล็กโทรดลบ

เมื่อการสะสมประจุที่ผิวอิเล็กโทรดทั้งสองมีมากพอและศักย์ไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดมีค่าสูงพอ จะเกิดการนำไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองขึ้น โดยอาศัยอิเล็กตรอน ซึ่งมีประจุลบและแก๊ส ซึ่งขณะนี้มีสภาพเป็นไอออนบวกเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าเรียกว่าดีสชาร์จไฟฟ้า เมื่อไอออนของแก๊สระหว่างอิเล็กโทรดเริ่มนำกระแสไฟฟ้า อิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะมีความเร็วต่ำ เนื่องจากสูญเสียพลังงานไปเนื่องจากการชนกับโมเลกุลของแก๊สเป็นช่วงที่เรียกว่า สปาร์กดีสชาร์จ (สุรพล บุญดวง, 2549)

เมื่อสภาพนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการชนกันของอิเล็กตรอนอิสระกับ โมเลกุลออกซิเจนมากขึ้นเป็นผลให้เกิดไอออนบวกและอิเล็กตรอนอิสระมากขึ้น อิเล็กตรอนที่มีความสูง เพิ่มจำนวนขึ้นเกิดการเรืองแสงเป็นช่วง ๆ เรียกว่า patch discharge หรือ silent discharge ต่อจากช่วง patch discharge เมื่อจำนวนไอออนบวกมีมากพอและกระจายตัวสม่ำเสมอทั้งช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดเป็นผลให้เกิดการนำไฟฟ้าได้ตลอดทั้งช่องว่าง เกิดแสงเรืองสม่ำเสมอเรียกช่วงนี้ว่า luminous silent discharge

ถ้ามีการเพิ่มขึ้นของศักย์ไฟฟ้าหรือศักย์ไฟฟ้ามีค่าสูงพอ จำนวนไอออนบวกและอิเล็กตรอนอิสระจะเพิ่มมากขึ้นเป็นผลให้ความหนาแน่นกระแสสูงขึ้น ปริมาณไอออนบวกที่มากขึ้น จะทำให้เกิดการชนกันเองของไอออนเหล่านี้ และกับโมเลกุลออกซิเจนโดยมีความหนาแน่นสูงที่บริเวณผิวอิเล็กโทรดลบ โมเลกุลออกซิเจนและไอออนบวกที่ชนกันนั้น จะได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นและเปลี่ยนสู่สถานะถูกกระตุ้น เมื่อกลับสู่สภาพปกติจะมีการปลดปล่อยโฟตอน ปรากฏเป็นชั้นเรืองแสงปกคลุมผิวอิเล็กโทรดลบเรียกว่าโคโรนาดีสชาร์จ เมื่อการชนกันของอิเล็กตรอนและ โมเลกุล

ออกซิเจนมีมากขึ้นจนถึงระดับโมเลกุลแก๊สในช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดทั้งหมดแตกตัวเป็นประจุ การนำไฟฟ้าจะเกิดได้เต็มที่เรียกช่วงนี้ว่า สปราร์กดีสชาร์จ

ถ้าหากว่าการเกิดสปราร์กดีสชาร์จยังคงเกิดอย่างต่อเนื่อง จะเป็นผลให้อุณหภูมิของแก๊สระหว่างช่องว่างอิเล็กโทรดสูงขึ้นมาก อิเล็กตรอนอิสระทั้งหมดมีพลังงานสูง และกลายเป็นพาหะหลักในการนำไฟฟ้าค่าความแน่นกระแสจะมีค่าสูงสุด เรียกช่วงนี้ว่า อาร์กดีสชาร์จ

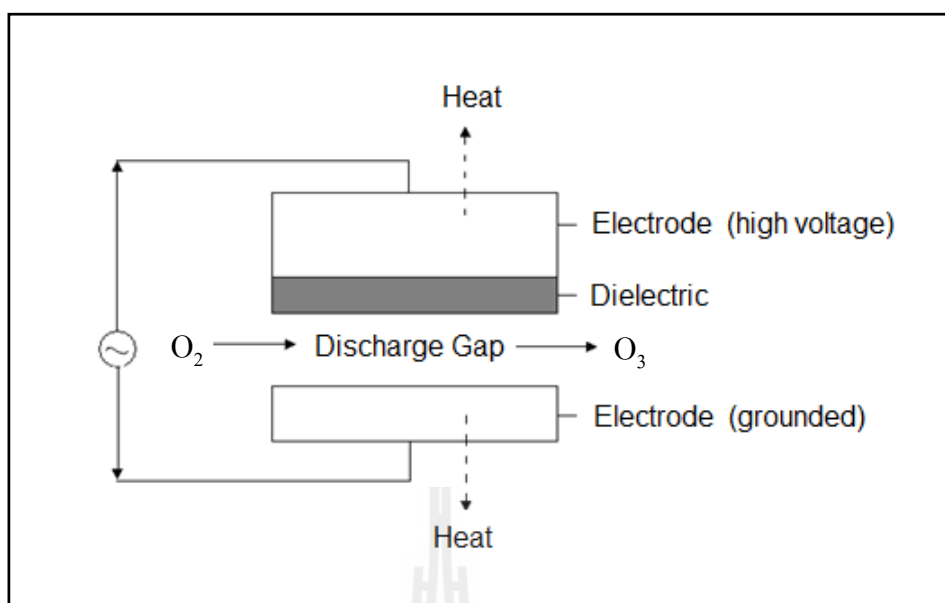
ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโอโซนโดยวิธีดีสชาร์จไฟฟ้า ได้แก่

- ลักษณะของสัคย์ไฟฟ้าที่ใช้ได้แก่ กระแสตรงหรือกระแสสลับ และรูปคลื่นไฟฟ้า
- ความถี่ของสัคย์ไฟฟ้า
- ค่าของสัคย์ไฟฟ้า
- รูปร่างและวัสดุที่ใช้ทำอิเล็กโทรด
- ระยะห่างระหว่างผิวอิเล็กโทรด
- ชนิดของแก๊สที่อยู่ระหว่างผิวอิเล็กโทรดทั้งสอง
- รูปร่างและวัสดุที่ใช้ทำไดอิเล็กตริก
- สภาพของแก๊สที่อยู่ระหว่างผิวอิเล็กโทรด ได้แก่ อัตราการไหล อุณหภูมิ และความดัน

3.8.7 การผลิตโอโซนจากการเกิดโคโรนาดีสชาร์จ

วิธีการผลิตโอโซนที่ใช้ในปัจจุบัน คือ การใช้หลอดรังสีอัลตราไวโอเลตและการใช้หลักการดีสชาร์จทางไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่าโคโรนาดีสชาร์จ สำหรับการใช้หลอดรังสีอัลตราไวโอเลตนั้น จะมีปัญหาความขุ่นมัวของหลอด อายุการใช้งานของหลอดที่สั้น ผลิตโอโซนได้น้อย รวมทั้งแสงที่เปล่งออกมายังทำลายความสามารถในการมองเห็นของสายตามนุษย์อีกด้วย แต่มีข้อดีคือสามารถทำได้ง่าย ส่วนการผลิตโอโซนโดยการเกิดโคโรนาดีสชาร์จนั้น จะให้ปริมาณความเข้มข้นที่มากกว่าการใช้หลอดรังสีอัลตราไวโอเลต การผลิตโอโซนโดยวิธีนี้สามารถที่จะควบคุมปริมาณความเข้มข้นของการเกิดโอโซนได้ตามที่ต้องการ ทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้วิธีการผลิตโอโซนโดยอาศัยการเกิดโคโรนาดีสชาร์จ (ศชาวธ กัญจนเลขา, 2551)

การผลิตโอโซนที่อาศัยการเกิดโคโรนาดีสชาร์จ โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ นั้นอธิบายลักษณะของการเกิดแก๊สโอโซน ดังแสดงในรูปที่ 3.32

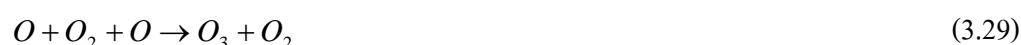
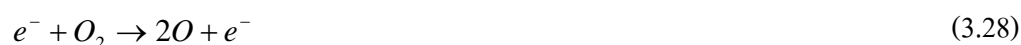


รูปที่ 3.32 การผลิตโอโซนจากการเกิดโคโรนาดีสชาร์จ (คธาฐ กาญจนเลขา, 2551)

จากรูปที่ 3.32 ประกอบด้วยขั้วอิเล็กโทรดที่วางขนานกัน อิเล็กโทรดด้านที่ต่อเข้ากับไฟฟ้ากระแสสลับแรงสูงจะมีวัสดุไดอิเล็กทริกคั่น เพื่อป้องกันการเกิดเบรกดาวนและมีช่องว่าง (discharge gap) ซึ่งเป็นบริเวณที่จะเกิดแก๊สโอโซน เมื่อทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแรงสูงเข้าสู่ขั้วอิเล็กโทรดดังกล่าวจนถึงระดับที่ทำให้สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างอิเล็กโทรดมีค่ามากกว่าค่าสนามวิกฤติ จะทำให้เกิดโคโรนาดีสชาร์จ โดยสังเกตเห็นเป็นแสงสีม่วงเกิดขึ้นบริเวณช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรด ดังนั้นเมื่อทำการปล่อยออกซิเจนหรืออากาศผ่านบริเวณดังกล่าว จะทำให้โมเลกุลของออกซิเจนแตกตัวออก เนื่องจากกระบวนการไอออไนเซชันโดยการวิ่งชนของอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นกระบวนการในการผลิตโอโซน ดังสมการ (3.27)



เมื่อมีการปล่อยออกซิเจนผ่านเข้าสู่บริเวณช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรด



เมื่อกระบวนการสร้างแก๊สโอโซนจากการเกิดโคโรนาดีสชาร์จ ถึงจุดที่สามารถประทั้งตัวเองได้และนำไปสู่การเบรกควาน์แล้ว ในระหว่างการผลิตจะมีความร้อนเกิดขึ้นบริเวณช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรด ซึ่งจะทำให้แก๊สโอโซนเกิดการสลายตัว



3.9 สรุป

ในบทที่ 3 ได้นำเสนอทฤษฎีและสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสียด้วยเทคโนโลยีดีสชาร์จทางไฟฟ้าแรงสูง โดยกล่าวถึงความสำคัญของน้ำ น้ำเสีย ประเภทของน้ำเสีย ลักษณะของน้ำเสียต่าง ๆ บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD) เครื่องวัดการดูดกลืนแสง ลักษณะมันสำปะหลัง การแปรรูปมันสำปะหลัง กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพในโรงงานอุตสาหกรรมแป้ง มันสำปะหลัง ระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง แก๊สชีวภาพ โอโซน ข้อดีของการนำแก๊สโอโซนมาใช้งานบำบัดน้ำเสียแทนคลอรีน คุณสมบัติทางกายภาพของโอโซน กระบวนการเกิดโอโซน และการผลิตโอโซน นอกจากนี้ยังนำเสนอการผลิตโอโซนในวิธีต่าง ๆ โดยวิธีดีสชาร์จทางไฟฟ้าและวิธีการผลิตโอโซนจากการเกิดโคโรนาดีสชาร์จ เพื่อให้เข้าใจและทราบถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบระบบการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้าได้ดียิ่งขึ้น จากทฤษฎีที่ได้กล่าวมาแล้วทำให้เห็นทั้งประโยชน์และโทษต่าง ๆ มากมาย

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและสร้างชุดทดสอบระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้า เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และอธิบายเกี่ยวกับวิธีดำเนินการวิจัยต่าง ๆ โดยจะกล่าวในบทที่ 4 ต่อไป

บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 รูปแบบการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาต้นแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังด้วยเทคโนโลยีดิสชาร์จทางไฟฟ้า โดยดำเนินการวิจัยที่ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

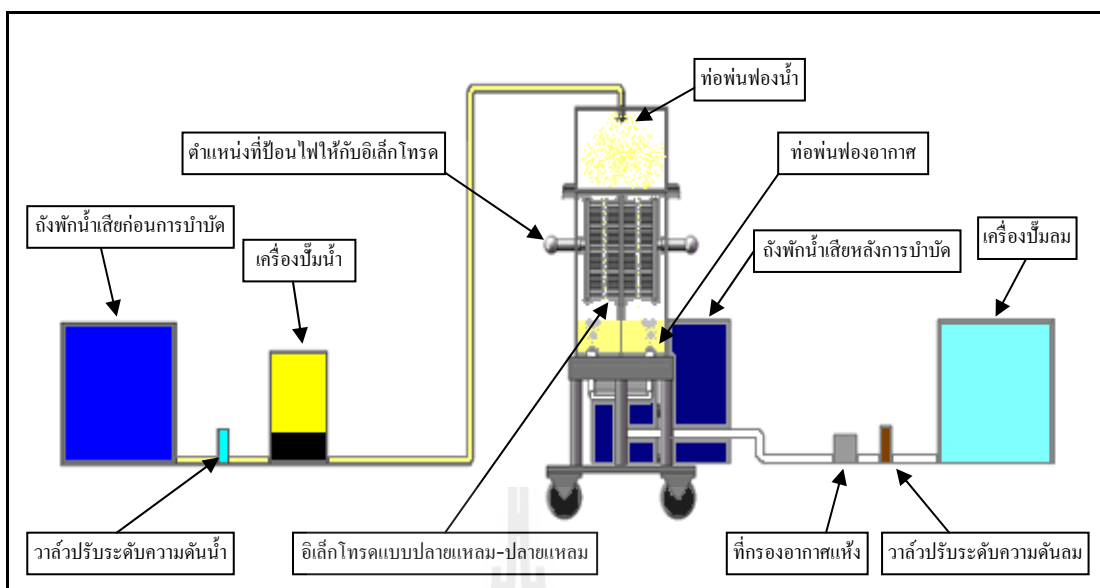
4.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดสอบ

น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 ประเภท คือ น้ำสีที่เตรียมขึ้นเอง และน้ำเสียจากมันสำปะหลัง สำหรับน้ำเสียจากมันสำปะหลังนั้น สามารถแยกออกเป็น 2 ประเภท คือ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้ว ของ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตจังหวัดนครราชสีมา 2 โรงงาน ประกอบด้วย บริษัท อุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัดและบริษัท เอี่ยมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัดและน้ำเสียจากมันสำปะหลังที่เตรียมขึ้นเอง รายละเอียดของการเตรียมตัวอย่างน้ำสี น้ำเสียและอื่น ๆ จะกล่าวในลำดับต่อไป

4.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

4.3.1 การออกแบบต้นแบบระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยดิสชาร์จทางไฟฟ้า

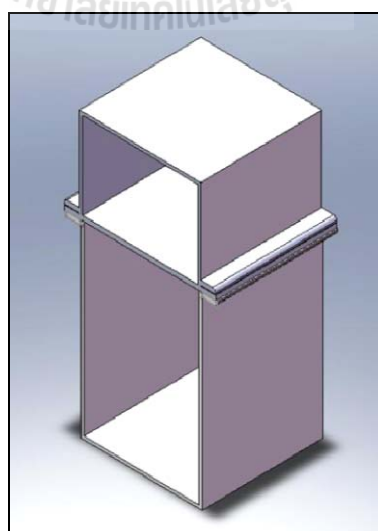
ระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยดิสชาร์จทางไฟฟ้าถูกออกแบบและสร้างขึ้น โดยคำนึงถึงความแข็งแรงทนทานและมีความปลอดภัยในการใช้งาน ระบบดังกล่าวมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.1



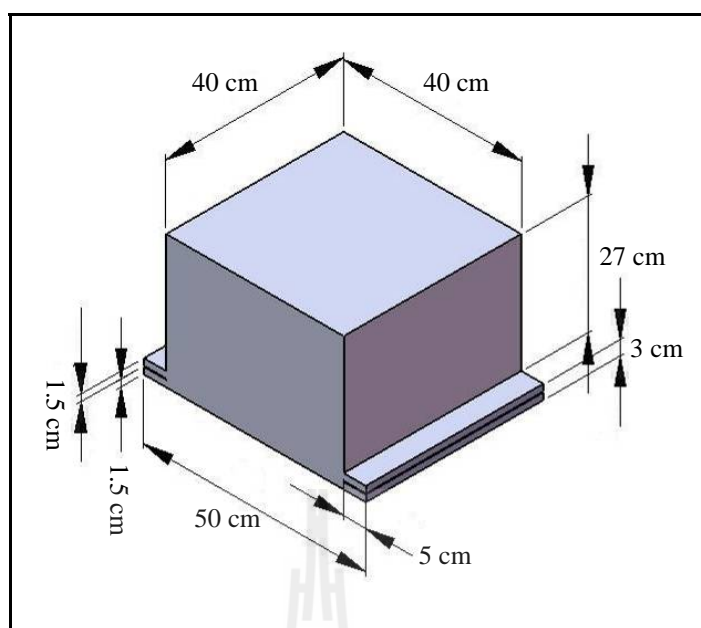
รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบของระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้า

- **ถังปฏิกรณ์**

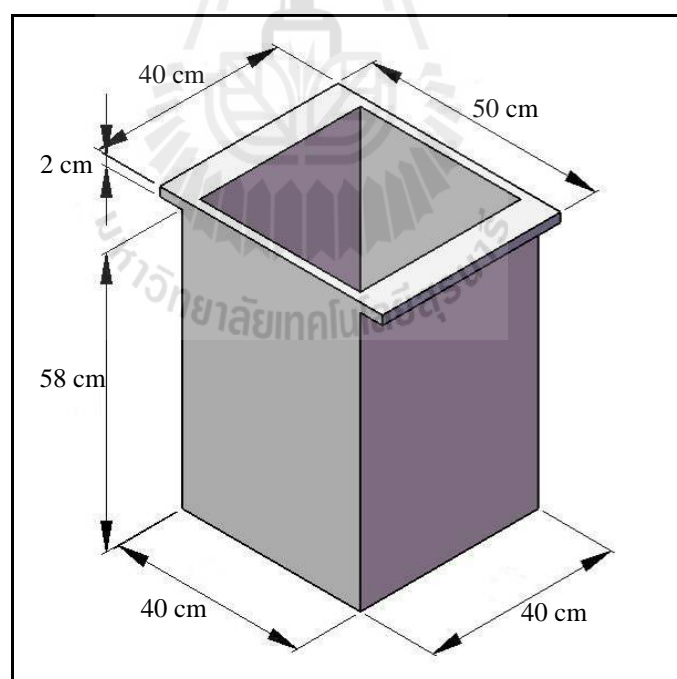
ตัวปฏิกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้าทำจากอะคริลิกใส ลักษณะเป็นถังรูปทรงลูกบาศก์ แสดงดังรูปที่ 4.2 ท่อนบนของตัวปฏิกรณ์ใช้สำหรับติดตั้งหัวพ่นฝอยน้ำเสียที่ต้องการบำบัด ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ส่วนท่อนล่างของตัวปฏิกรณ์ ซึ่งเป็นที่ติดตั้งของอิเล็กโทรดแบบปลายแหลม-ปลายแหลมสำหรับดีสชาร์จทางไฟฟ้า (รูปที่ 4.4)



รูปที่ 4.2 ถังปฏิกรณ์



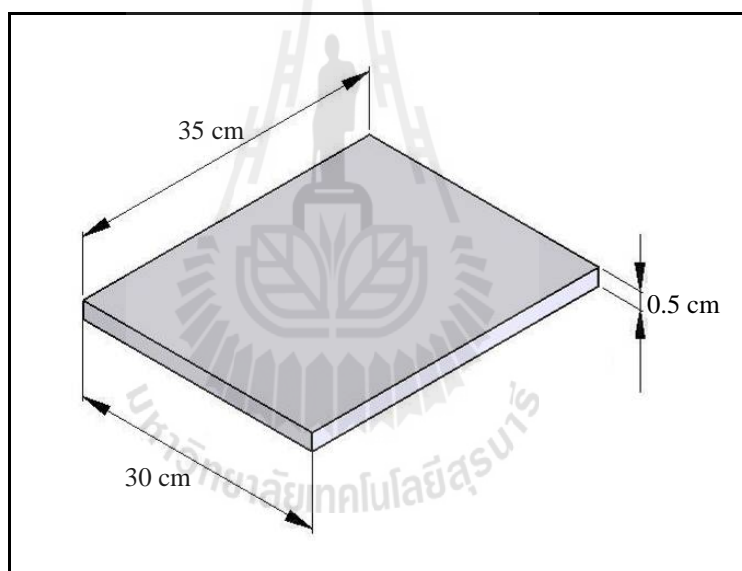
รูปที่ 4.3 ขนาดส่วนบนของถังปฏิกรณ์



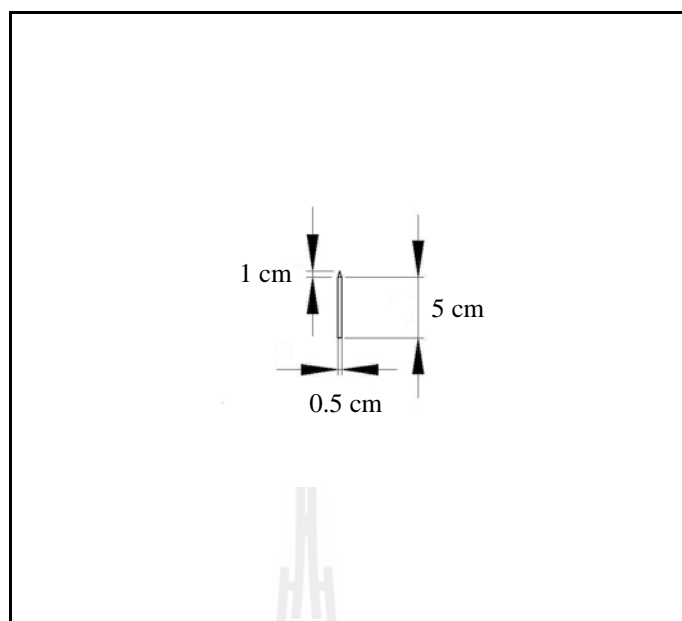
รูปที่ 4.4 ขนาดส่วนล่างของถังปฏิกรณ์

- อิเล็กโทรดแบบปลายแหลม-ปลายแหลม

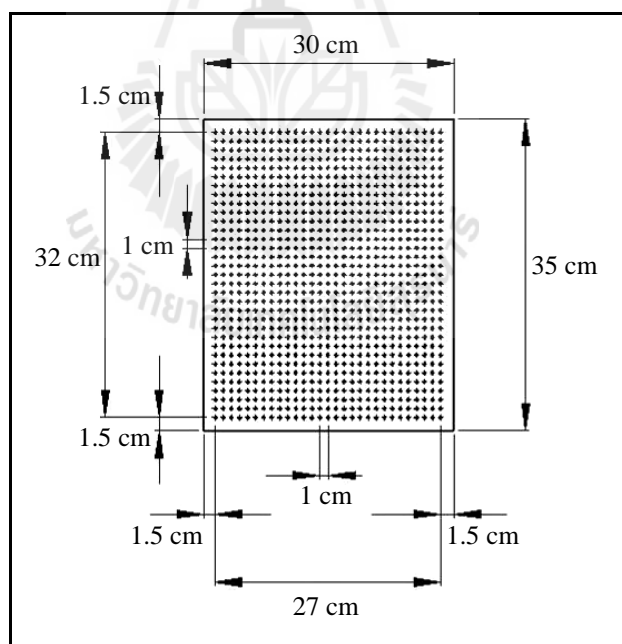
อิเล็กโทรดแบบปลายแหลม-ปลายแหลมเป็นส่วนที่สำคัญ สำหรับใช้สร้างคิสซาร์จทางไฟฟ้า ในการออกแบบใช้แผ่นสแตนเลส ขนาด $30\text{ cm} \times 35\text{ cm} \times 0.5\text{ cm}$ เป็นฐานของอิเล็กโทรด ซึ่งสแตนเลสที่มีความทนทานต่อการเกิดสนิมมากกว่าเหล็ก แสดงดังรูปที่ 4.5 ส่วนปลายแหลม-ปลายแหลมใช้แท่งทรงกลมสแตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 cm ยาว 5 cm บริเวณปลายของแท่ง สแตนเลสจะทำให้แหลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 cm ยาว 1 cm ดังแสดงในรูปที่ 4.6 จากนั้นนำแผ่นสแตนเลสและแท่งสแตนเลสปลายแหลมทั้ง 2 ส่วนมาเชื่อมยึดติดกัน (รูปที่ 4.7) การวางตัวของอิเล็กโทรดปลายแหลม-ปลายแหลม เพื่อสร้างความเครียดทางไฟฟ้านั้น โดยอิเล็กโทรดด้านหนึ่งเป็นส่วนที่จ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง ส่วนอิเล็กโทรดอีกด้านหนึ่งต่อลงดิน (รูปที่ 4.8)



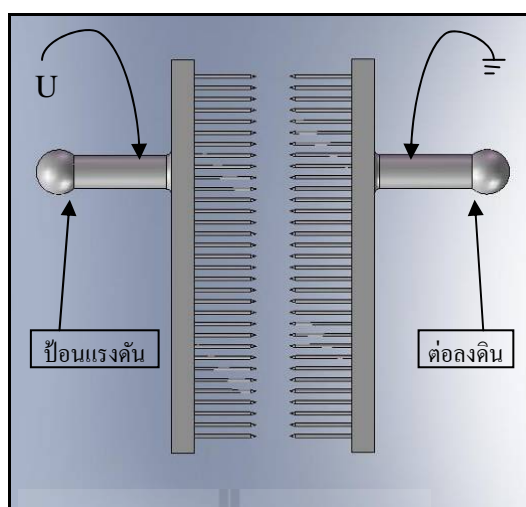
รูปที่ 4.5 ขนาดแผ่นสแตนเลส



รูปที่ 4.6 ขนาดแท่งสแตนเลสปลายแหลม



รูปที่ 4.7 ขนาดการวางตัวของปลายแหลม - ปลายแหลม



รูปที่ 4.8 การวางตัวของอิเล็กทรอนิกส์

4.3.2 การสร้างต้นแบบระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้า

ต้นแบบระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้าที่ออกแบบเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญด้วยกัน คือ ชุดทดสอบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยโคโรนาดีสชาร์จและชุดสร้างโอโซน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

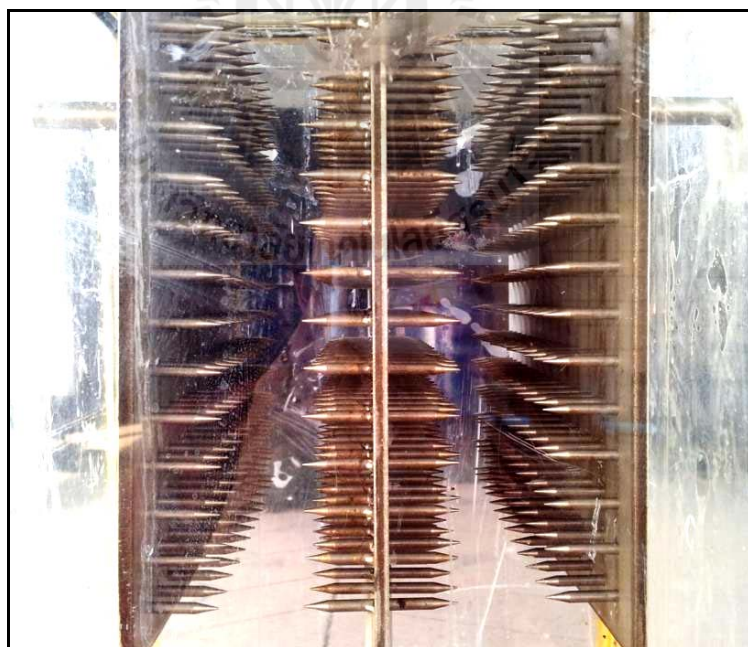
- ชุดทดสอบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยโคโรนาดีสชาร์จ

ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยโคโรนาดีสชาร์จ เป็นเครื่องมือสำหรับใช้ในการทดสอบระบบการบำบัดน้ำเสีย โดยการจ่ายค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดโคโรนาดีสชาร์จ ส่วนประกอบหลักในชุดโคโรนาดีสชาร์จ คือ ถังปฏิกรณ์อะคริลิกใสเพื่อใส่น้ำเสียในการบำบัด ชุดอิเล็กทรอนิกส์เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าแรงสูง ถังพักน้ำเสียและปั้มน้ำ โดยมีรายละเอียดได้ดังนี้

(1) ถังปฏิกรณ์อะคริลิกใส เพื่อใส่น้ำเสียในการบำบัดและชุดอิเล็กทรอนิกส์เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าแรงสูง ถังปฏิกรณ์อะคริลิกใสทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีขนาดความกว้าง 40 cm ความยาว 40 cm และความสูง 91.5 cm ดังแสดงในรูปที่ 4.9 สำหรับระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เป็นแบบปลายแหลม-ปลายแหลม 2 คู่ติดกัน โดยให้กราวด์อิเล็กทรอนิกส์เป็นแบบปลายแหลมที่อยู่ตรงกลาง (รูปที่ 4.10) เชื่อมต่อหม้อแปลงทดสอบ ขนาด 100kV, 5kVA ความถี่ 50 Hz เพื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับอิเล็กทรอนิกส์แบบปลายแหลม-ปลายแหลม นอกจากนี้ตัวแบ่งแรงดันชนิดตัวเก็บประจุจะถูกติดตั้งบนโครงสร้างเหล็กที่ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้านี้ด้วย เพื่อแปลงค่าแรงดันสูงให้กลายเป็นแรงดันต่ำและส่งต่อไปยังดิจิทัลมัลติมิเตอร์ (digital multi meter หรือ DMM) ที่อยู่นอกอุปกรณ์ทดสอบ โดยที่ดิจิทัลมัลติมิเตอร์นี้ทำงานร่วมกันกับวาไรแอค (variac) เพื่อปรับแรงดันของหม้อแปลงไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการทดสอบนั้น ๆ (รูปที่ 4.11)



รูปที่ 4.9 ถังปฏิกรณ์อะคริลิกใสทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสำหรับใส่ น้ำเสียในการบำบัด



รูปที่ 4.10 ระบบอิเล็กโทรดสำหรับสร้างดีสชาร์จทางไฟฟ้าในถังปฏิกรณ์



รูปที่ 4.11 ชุดปรับแรงดันให้หม้อแปลงทดสอบ

ระบบวัดแรงดันสูงจากหม้อแปลงทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยผ่านการทดสอบเปรียบเทียบค่าความเที่ยงตรงในการวัดด้วยระบบโวลเตจดีไวเดอร์อ้างอิง (reference voltage divider) ดังนั้นค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบอิเล็กทรอนิกส์ จึงมีค่าตรงตามที่การทดสอบกำหนดไว้

ในการบำบัดน้ำเสีย น้ำที่ออกจากถังปฏิกรณ์จะถูกต่อเข้ากับเครื่องปั้มน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 เพื่อให้เกิดการไหลเวียนของน้ำเสียในขณะที่ทำการบำบัด โดยมีชุดควบคุมการทำงานของเครื่องปั้มน้ำและเครื่องปั้มน้ำติดตั้งไว้กับระบบบำบัดน้ำเสียนี้ด้วย ชุดควบคุมการทำงานของเครื่องปั้มน้ำและเครื่องปั้มน้ำมีหน้าที่ควบคุมการเปิด-ปิดของเครื่องปั้มน้ำและเครื่องปั้มน้ำ (รูปที่ 4.13)



รูปที่ 4.12 เครื่องปั้มน้ำ

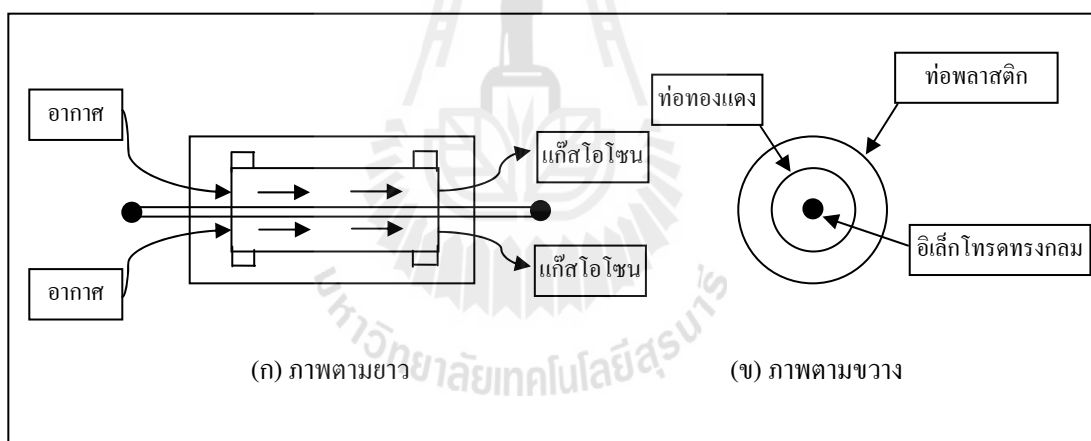


รูปที่ 4.13 ชุดควบคุมการทำงานของเครื่องปั้มน้ำและเครื่องปั้มนลม

• ชุดสร้างโอโซน

ชุดโอโซนที่ได้ออกแบบสร้างในงานวิจัย เป็นอิเล็กโทรดแบบทรงกระบอกซ้อนกัน อิเล็กโทรดที่ใช้ในการผลิตแก๊สโอโซนนั้น มีลักษณะหลากหลายรูปแบบ เช่น แบบแผ่นระนาบวางขนานกัน แบบปลายแหลม แบบลวดกับแผ่นระนาบ แบบขนแปรง และแบบทรงกระบอกซ้อนกัน แกนร่วมเป็นต้น ในกรณีที่ต้องการปริมาณความเข้มข้นสูงนั้น อิเล็กโทรดแบบทรงกระบอกซ้อนกันแกนร่วมจะนิยมใช้ในการสร้างแก๊สโอโซนมากกว่า เนื่องจากเป็นรูปแบบที่ทนต่อแรงดันอากาศได้สูง และสามารถปรับเปลี่ยนลักษณะของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในอิเล็กโทรดได้จากการเปลี่ยนขนาดของตัวนำด้านในได้ง่าย รวมทั้งสะดวกในการบำรุงรักษา (คชาวุธ กาญจนเลขา, 2551) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้อิเล็กโทรดแบบทรงกระบอกซ้อนกันแกนร่วมในการผลิตแก๊สโอโซน

อิเล็กโทรดแบบทรงกระบอกซ้อนกันแกนร่วมที่ทำการออกแบบและสร้างขึ้น
 ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ภาพตัดขวางของชุดสร้างโอโซน

ชุดสร้างโอโซนประกอบด้วยท่อทรงกระบอก 2 ชั้น ชั้นนอกสุดทำด้วยพลาสติก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 13.20 cm หนา 0.40 cm ยาว 63 cm ชั้นที่สองเป็นท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 5 cm หนา 0.20 cm ยาว 48.5 cm ดังแสดงในรูปที่ 4.15 โดยส่วนปลายของท่อทองแดงจะติดตั้งด้วยขันสแตนเลส เพื่อไม่ให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าที่บริเวณปลาย แท่งอิเล็กโทรดสแตนเลสขนาดหน้าตัด 1 cm × 1 cm ความยาว 83 cm (รูปที่ 4.16) ทำหน้าที่สร้างความเครียดสนามไฟฟ้าเปลี่ยนอากาศให้เป็นโอโซน จะอยู่ข้างในท่อทองแดง (รูปที่ 4.17) ส่วนที่ปลายทั้งสองข้างของท่อพลาสติกชั้นนอกสุดจะติดด้วยแผ่นทรงกลมอะครีลิก

โดยแผ่นทรงกลมอะคริลิกนั้นจะถูกเจาะรูเพื่อสวมท่ออย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13.20 cm สำหรับเป็นทางเข้าของอากาศหรือออกซิเจนและด้านตรงข้ามเป็นทางออกของไอโซน ตัวนำด้านในหรืออิเล็กโทรดไฟฟ้าแรงสูงเป็นวัสดุทำจากสแตนเลส ซึ่งมีคุณสมบัติในการทนความร้อนได้ดีจากการเกิดโคโรนาดีสชาร์จอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน สำหรับตัวนำที่ทำหน้าที่เป็นกรวดอิเล็กโทรดทำจากทองแดง อิเล็กโทรดแบบทรงกระบอกซ้อนกันนั้นมีรูปแบบและลักษณะ (รูปที่ 4.18)



รูปที่ 4.15 ท่อทองแดง



รูปที่ 4.16 แท่งอิเล็กโทรดสแตนเลส



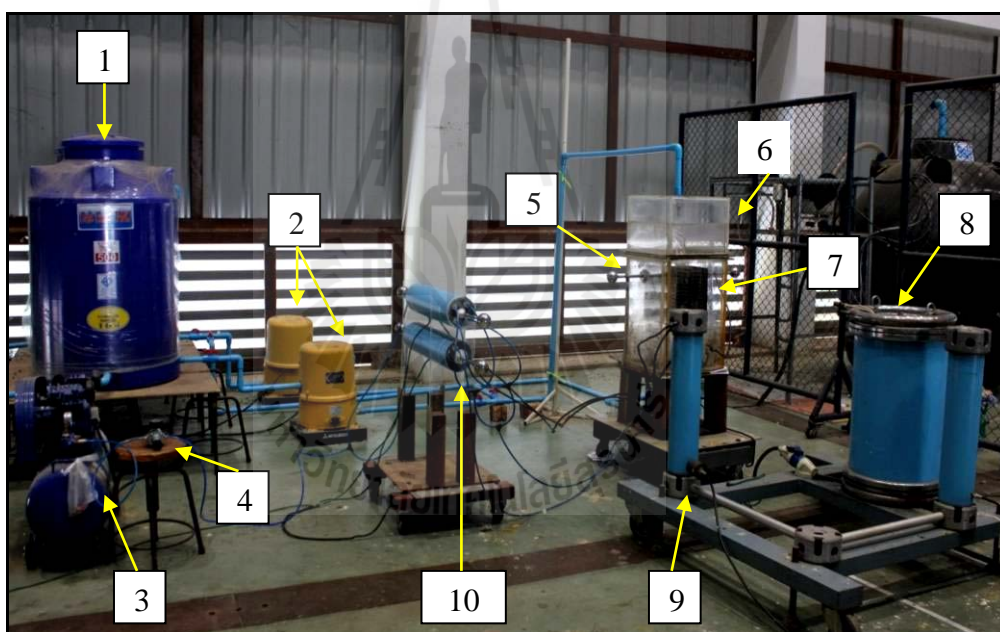
รูปที่ 4.17 การวางตัวของแท่งอิเล็กโทรดสแตนเลสภายในท่อทองแดง



รูปที่ 4.18 ชุดสร้างไอโซน

ชุดโอโซนมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นเสมือนตัวเก็บประจุ โดยมีท่อทรงกระบอกทองแดงภายในเป็นขั้วไฟฟ้า ในขณะที่อากาศหรือออกซิเจนที่อยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้า ทำหน้าที่เป็นไดอิเล็กทริกขณะที่ผลิตโอโซน ปริมาตรอากาศหรือออกซิเจนที่ไหลผ่านระหว่างทรงกระบอกทั้งสอง จะได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้าความเข้มสูง ทำให้โมเลกุลออกซิเจนแตกตัวเป็นอะตอมเดี่ยว โมเลกุลอากาศหรือออกซิเจนบางส่วนเกิดไอออนในเซชัน ทำให้เกิดสภาพนำไฟฟ้าได้ ปริมาตรแก๊สส่วนนี้จะมีคุณสมบัติเป็นเสมือนตัวต้านทานไฟฟ้า ในการทดสอบได้ป้อนแรงดันกระแสสลับประมาณ 12 - 17 kV (ขึ้นอยู่กับความชื้น ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิ ขณะทำการทดสอบ) เพื่อให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการสร้างโอโซนให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

รูปแบบของชุดทดสอบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยโคโรนาดีสชาร์จ เมื่อประกอบสร้างเสร็จจะมีสัดส่วน แสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ระบบชุดทดสอบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยโคโรนาดีสชาร์จ

สำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์ในระบบชุดทดสอบโคโรนาดีสชาร์จแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดอุปกรณ์ของระบบชุดทดสอบโคโรนาดีสชาร์จ

หมายเลข	อุปกรณ์
1	ถังพักน้ำเสีย
2	เครื่องปั้มน้ำ
3	เครื่องปั้มลม
4	เครื่องกรองอากาศแห้ง
5	อิเล็กทรอนิกส์ เป็นตำแหน่งที่ป้อนไฟฟ้า
6	ถังอะคริลิกใสทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าเพื่อใส่น้ำเสียในการบำบัด
7	อิเล็กทรอนิกส์ปลายแหลม-ปลายแหลม
8	หม้อแปลงไฟฟ้า
9	โวลต์เตจดีไวเซอร์
10	ชุดสร้างโอโซน

4.3.3 การเตรียมตัวอย่างและวิธีการทดสอบระบบการบำบัดน้ำเสียและน้ำเสีย

ด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้า

- การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบการบำบัดน้ำเสียด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้า น้ำที่ใช้ในการทดสอบนี้ได้จากการเตรียมขึ้นเอง โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์และวิธีการเตรียมดังนี้

- อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย

(1) ถังปฏิบัติการสำหรับเตรียมน้ำเสีย เป็นถังน้ำพลาสติกทรงกระบอก ปริมาตร 500 L ดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ถังปฏิกรณ์สำหรับเตรียมน้ำสี

(2) สีที่ใช้ในการเตรียมน้ำสี

สีผสมอาหาร สีส้ม(แสด) ส่วนประกอบโดยประมาณ ชันเซ็ด เอ็ดโลว์ เอ็ฟซี เอ็ฟ 45.5% ปองโซ 4 อาร์ 6.5% ผลิตโดย ห้างเรียงตาง 239 น้ำหนักสุทธิ 1 g ในการเตรียมน้ำสีนี้จะใช้น้ำหนักทั้งหมด 3 g ต่อปริมาตรน้ำ 300 L (รูปที่ 4.21)

สีผสมอาหาร สีเขียวอ่อน ส่วนประกอบโดยประมาณ คาร์ตราซีน 34.7% บริลเลียนด์ บลู เอ็ฟซีเอ็ฟ 3.4% ผลิตโดย ห้างเรียงตาง 239 น้ำหนักสุทธิ 1 g ในการเตรียมน้ำสีนี้จะใช้น้ำหนักทั้งหมด 3 g ต่อปริมาตรน้ำ 300 L (ดังรูปที่ 4.21)

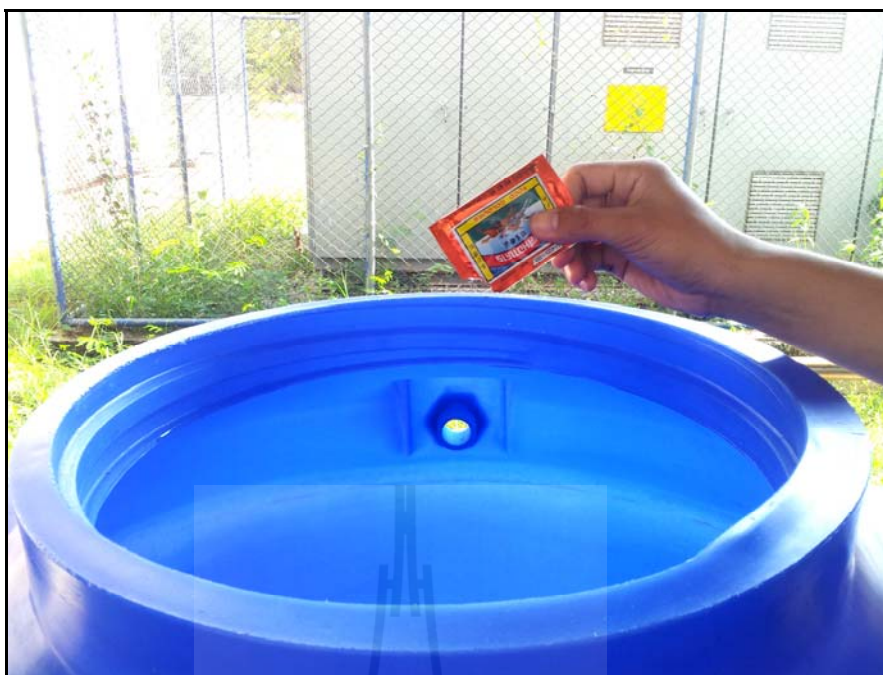
สีเคมีย้อมผ้า (ฝ้าย) รุ่งพิเศษ สีดำ ตราเทพพนม ผลิตโดย พรเทพนมพัฒนา น้ำหนักสุทธิ 15 g ในการเตรียมน้ำสีนี้จะใช้น้ำหนักทั้งหมด 3 g ต่อปริมาตรน้ำ 300 L (ดังรูปที่ 4.21)



รูปที่ 4.21 สีที่ใช้ในการเตรียมน้ำได้แก่ สีส้ม สีเขียวอ่อนและสีดำ

- ขั้นตอนการเตรียมน้ำสี

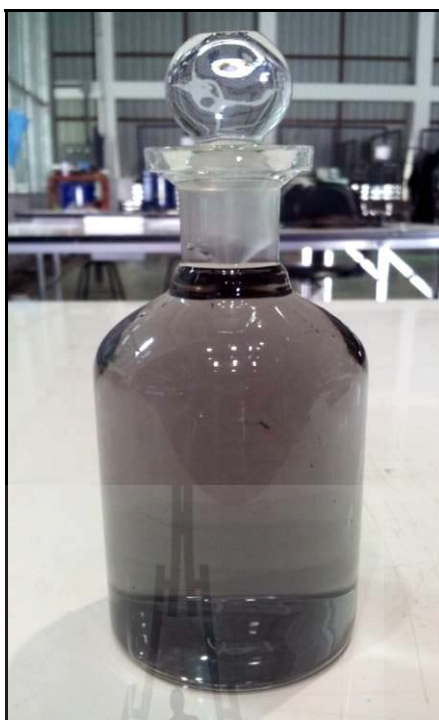
นำสีผสมอาหารสีส้ม 3 g ละลายในน้ำปริมาตร 100 L ที่ละน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.22 คนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 300 L เก็บในถังปฏิกรณ์ขนาด 500 L ที่อุณหภูมิห้องก่อนนำมาใช้งาน สำหรับน้ำสีเขียวอ่อนและสีดำ เตรียมลักษณะเดียวกันกับที่กล่าวข้างต้น ซึ่งลักษณะน้ำสีส้ม สีเขียวอ่อนและสีดำ แสดงดังรูปที่ 4.23, 4.24 และ 4.25 ตามลำดับ



รูปที่ 4.22 ขณะนำสีผสมอาหารสีส้ม 3 g ละลายในน้ำ



รูปที่ 4.23 ลักษณะน้ำตัวอย่างสีส้ม



รูปที่ 4.24 ลักษณะน้ำตัวอย่างสีดำ



รูปที่ 4.25 ลักษณะน้ำตัวอย่างสีเขียวอ่อน

- **วิธีการทดสอบระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้า**

การทดสอบระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้า ทำการทดสอบภายใต้แรงดันไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับจากหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าเฟสเดียว 100 kV, 5 kVA โดยทดสอบอย่างต่อเนื่องภายใต้ระดับแรงดัน AC 12 - 17 kV (ขึ้นอยู่กับ ความชื้น ความดัน อุณหภูมิ ณ ขณะทดสอบ)เพื่อให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการสร้างโอโซนให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยน้ำเสียจากถังพักน้ำจะถูกฉีดเข้าถังปฏิกรณ์ผ่านเครื่องปั๊ม น้ำ ส่วนแก๊สโอโซนจะถูกฉีดผ่านหัวกระจายอากาศชนิดรูพรุน เพื่อให้แก๊สโอโซนสัมผัสกับตัวอย่างน้ำเสียได้มากที่สุด หัวกระจายอากาศจะติดตั้งไว้บริเวณด้านล่างของถังบรรจุน้ำเสียปฏิกรณ์ที่จะบำบัด ดังแสดงในรูปที่ 4.26 ซึ่งทำการทดสอบตัวอย่างน้ำเสียแต่ละสีจำนวน 3 ซ้ำ ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนครบ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างน้ำเสียไปวิเคราะห์ผลทางเคมีต่อไป



รูปที่ 4.26 ถังปฏิกรณ์ขณะทดสอบบำบัดน้ำเสีย

4.3.4 การเตรียมน้ำเสียจากมันสำปะหลังสำหรับทดสอบระบบบำบัดน้ำเสีย ด้วยดีสซัลไฟด์ทางไฟฟ้า

น้ำเสียจากมันสำปะหลังสำหรับทดสอบระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 ส่วน คือ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้วของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตจังหวัดนครราชสีมา 2 โรงงาน (บริษัท อุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัด, บริษัท เอี่ยมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด) และน้ำเสียจากมันสำปะหลังที่เตรียมขึ้นเอง การบำบัดมีจุดมุ่งหมายให้ได้น้ำที่ผ่านมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม รายละเอียดสถานที่ซึ่งนำน้ำเสียมาทดสอบมีดังนี้

- ตัวอย่างน้ำเสียจากบริษัท อุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัด

บริษัท อุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัด (โรงแป้งเคอาร์) ตั้งอยู่ที่ 61 หมู่ 3 ราชสีมา-ปักธงชัย ตำบลหนองจะบก อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ 044-357938, 044-357940 เปิดกิจการมาแล้วกว่า 30 ปี เป็นโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังสามารถผลิตแป้งมันสำปะหลังได้ 190 ตันแป้ง/วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.27 น้ำเสียที่นำมาทดสอบนั้น นำมาจากบ่อบำบัดน้ำเสียบริเวณด้านหลังของโรงงาน แสดงดังรูปที่ 4.28 และ 4.29 ตามลำดับ



รูปที่ 4.27 บริษัท อุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัด (โรงแป้งเคอาร์)



รูปที่ 4.28 บริเวณที่เก็บน้ำเสียตัวอย่างจะอยู่บริเวณด้านหลังของโรงงาน



รูปที่ 4.29 ตัวอย่างน้ำเสียจากบริษัท อุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัด (โรงแป้งเคอาร์)

ตัวอย่างน้ำเสียจากบริษัท เอี่ยมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด

บริษัท เอี่ยมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด ตั้งอยู่ที่ 129 หมู่ 1 ตำบลหนองหัวแรด อำเภอนองบุญมาก จังหวัดนครราชสีมา 30140 โทรศัพท์ 044-490232 เป็นโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง บริษัทก่อตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ.2552 สามารถผลิตแป้งมันสำปะหลังได้ 350 ตันต่อวัน ดังแสดงในรูปที่ 4.30 นอกจากนี้โรงงานที่อำเภอนองบุญมากนครราชสีมา บริษัทยังมีบริษัทเครื่องใช้ในพื้นที่ยุทธศาสตร์อื่น ๆ ดังต่อไปนี้ บริษัทแป้งมันเอี่ยมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด 15 ม.12 ตำบลกุดโบสถ์ อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดนครราชสีมา 30330 น้ำเสียที่นำมาทดสอบนั้น นำมาจากระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน (UASB) บริเวณด้านหลังของโรงงาน แสดงดังรูปที่ 4.31, 4.32 และ 4.33 ตามลำดับ



รูปที่ 4.30 บริษัท เอี่ยมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด



รูปที่ 4.31 ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน (UASB) ของโรงงาน



รูปที่ 4.32 บริเวณที่เก็บน้ำเสียตัวอย่างจะอยู่บริเวณด้านหลังของโรงงาน



รูปที่ 4.33 ตัวอย่างน้ำเสียจากบริษัท เอี่ยมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด

- **น้ำเสียจากมันสำปะหลังที่เตรียมขึ้นเอง**

น้ำเสียจากมันสำปะหลังที่ได้จากการเตรียมขึ้นนั้น เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่า BOD และค่า COD กับตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังของโรงงานทั้ง 2 โรงงานที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ว่ามีค่า BOD และค่า COD ต่างกันมากน้อยเพียงใด โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์และวิธีการเตรียมดังนี้

- อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย

(1) ถังปฏิกรณ์สำหรับหมักน้ำเสีย ปริมาตร 500 L ดังแสดงในรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 ถังปฏิกรณ์สำหรับหมักน้ำเสีย

(2) กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพจำนวน 1 ขวด ปริมาตร 1 L และกากน้ำตาลจำนวน 1 ขวด น้ำหนัก 8 kg ดังแสดงในรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและกากน้ำตาล

(3) หัวมันสำปะหลังสด น้ำหนัก 20 kg ดังแสดงในรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 หัวมันสำปะหลังสด

- ขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียจากมันสำปะหลัง

นำหัวมันสำปะหลังสดปริมาณ 20 kg มาล้างให้สะอาด แล้วนำมาสับให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นทุบให้ละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 4.37 และรูปที่ 4.38 จากนั้นใส่ลงถังปฏิกรณ์สำหรับหมักน้ำเสียเติมน้ำลงในถังให้ได้ปริมาตร 300 L แล้วทำการเติมกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ ปริมาณ 1 L และกากน้ำตาลปริมาณ 4 L ลงในถังปฏิกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.39 และรูปที่ 4.40 กวนผสมให้เข้ากัน จากนั้นปรับปริมาณน้ำในถังปฏิกรณ์ให้ได้ 500 L แล้วทำการปิดฝาถังปฏิกรณ์ โดยหมักทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 4 เดือนในสภาวะไร้อากาศ



รูปที่ 4.37 หัวมันสำปะหลังที่สับเป็นชิ้นเล็ก ๆ เรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 4.38 มันสำปะหลังชิ้นเล็ก ๆ ที่ทุบเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 4.39 ขณะเติมกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพลงในถังปฏิกรณ์

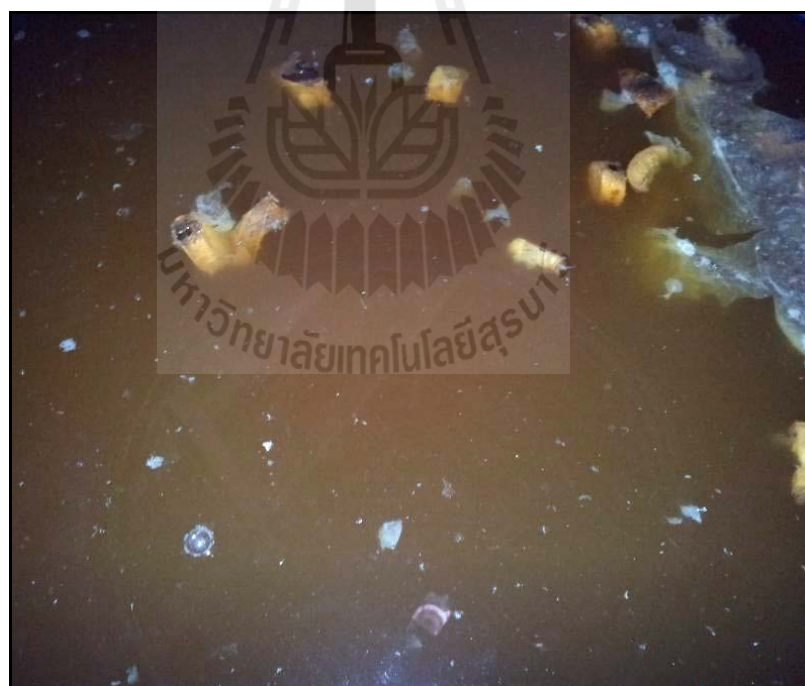


รูปที่ 4.40 ขณะเติมน้ำตาลลงในถังปฏิกรณ์

หลังจากการหมักน้ำเป็นระยะเวลา 4 เดือน จึงนำน้ำเสียที่หมักได้มาใช้ในการทดสอบ ซึ่งน้ำที่ได้จากการหมักจะลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.41, 4.42 และ 4.43 ตามลำดับ



รูปที่ 4.41 ลักษณะน้ำเสียที่เกิดจากการหมักเป็นระยะเวลา 4 เดือน



รูปที่ 4.42 ลักษณะน้ำเสียที่เกิดจากการหมักเป็นระยะเวลา 4 เดือน



รูปที่ 4.43 ตัวอย่างน้ำเสียสำหรับทดสอบจากการเตรียมขึ้น

เมื่อได้ตัวอย่างน้ำเสียตามที่ต้องการแล้วก็ให้นำน้ำเสียตัวอย่างมาทดสอบการบำบัดน้ำเสียด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้าต่อไป

- **วิธีการทดสอบระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้า**

การทดสอบระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้า ทำการทดสอบภายใต้แรงดันไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับจากหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าเฟสเดียว 100 kV, 5 kVA โดยทดสอบอย่างต่อเนื่องภายใต้ระดับแรงดัน AC 12 - 17 kV (ขึ้นอยู่กับ ความชื้น ความดัน อุณหภูมิ ณ ขณะทดสอบ) เพื่อให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการสร้างโอโซนให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดโดยน้ำเสียจากถังพักน้ำจะถูกฉีดเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ผ่านเครื่องปั๊ม น้ำ ส่วนแก๊สโอโซนจะถูกฉีดผ่านหัวกระจายอากาศชนิดรูพรุนบริเวณด้านล่างของถังปฏิกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.44 ทำการทดสอบการบำบัดน้ำเสียจำนวน 3 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทุก ๆ 12 ชั่วโมง จากนั้นนำน้ำเสียที่ได้รับการบำบัดแล้วไปวิเคราะห์ผลทางเคมี เพื่อให้ทราบค่า BOD และค่า COD ทำการทดสอบจนกว่าค่า BOD และค่า COD มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งกรมโรงงานอุตสาหกรรม



รูปที่ 4.44 ถังปฏิบัติการขณะทดสอบบับัดน้ำเสีย

การจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับให้กับระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้าจะใช้ชุดควบคุมการจ่ายแรงดัน เพื่อป้องกันปฏิกิริยาของหม้อแปลงทดสอบ ส่วนด้านแรงดันแรงสูงที่ใช้ในการทดสอบจะวัดด้วยชุดแบ่งแรงดันชนิดตัวเก็บประจุ การแบ่งแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูงเป็นแรงดันไฟฟ้าแรงดันต่ำสามารถทำได้จากสมการที่ 4.1

$$U_b = \frac{C_1 + C_2}{C_1} \sqrt{2} \cdot V_{\text{rms}} \quad (4.1)$$

โดยที่ C_1 คือ ตัวเก็บประจุขนาด 100 pF
 C_2 คือ ตัวเก็บประจุขนาด 110 nF
 U_b คือ แรงดันไฟฟ้าแรงดันสูง (kV)
 V_{rms} คือ แรงดันไฟฟ้าแรงดันต่ำ (V)

แรงดันไฟฟ้าแรงสูงจะถูกแบ่งแรงดันให้เหลือเพียงแรงดันไฟฟ้าแรงดันต่ำ (สมการ 4.1) ดังนั้นการกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูงที่จ่ายให้กับชุดทดสอบ สามารถกำหนดได้จากการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าแรงดันต่ำที่ทำการแบ่งแรงดันไฟฟ้าออกมาจากการคำนวณ จากนั้นใช้

เครื่องมือวัดแรงดันสูงมาตรฐานเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าแรงสูงที่จ่ายเข้ากับชุดทดสอบ เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนและปรับคณให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าที่เป็นจริงตามที่ต้องการ

4.4 วิธีการวิเคราะห์น้ำสีและน้ำเสีย

เทคนิคในการวิเคราะห์ ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตัวแปร และวิธีการวิเคราะห์ที่เลือกใช้

ตัวแปร	วิธีการวิเคราะห์
การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	วิธีวิเคราะห์ด้วยสายตา
ค่าดูดกลืนแสง	โดยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงชนิดลำแสงคู่ (Spectronic 20, Genesys รุ่น 4001)
COD	วิธีแบบปิด (close reflux)
BOD	วิธี dilution method

4.5 สรุป

ในบทที่ 4 กล่าวถึงการออกแบบและสร้างชุดทดสอบระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้า การเตรียมตัวอย่างและวิธีการทดสอบระบบการบำบัดน้ำสีและน้ำเสียด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้า การออกแบบชุดทดสอบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยโคโรนาดีสชาร์จ ประกอบด้วยการออกแบบตัวถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำ เสียด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้านั้นทำจากอะคริลิกใสและอิเล็กทรอนิกส์แบบปลายแหลม-ปลายแหลมเป็นส่วนที่สำคัญ ใช้สำหรับสร้างดีสชาร์จทางไฟฟ้า การสร้างชุดทดสอบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยโคโรนาดีสชาร์จประกอบด้วยการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียด้วยโคโรนาดีสชาร์จและการสร้างชุดสร้างโอโซน ส่วนการเตรียมตัวอย่างและวิธีการทดสอบระบบการบำบัดน้ำสีและน้ำเสียด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้านั้น ได้กล่าวถึงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างน้ำสีและน้ำเสียจากมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดสอบ น้ำเสียจากมันสำปะหลังสำหรับทดสอบระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยมี 2 ส่วน คือ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้ว ของ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตจังหวัดนครราชสีมา 2 โรงงาน (บริษัท อุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัดและบริษัท เอี่ยมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด) และน้ำเสียจากมันสำปะหลังที่ได้จากการเตรียมขึ้น จากนั้นได้นำมาทดสอบการบำบัดน้ำสีและน้ำเสียด้วยดีสชาร์จทางไฟฟ้า นำตัวอย่างน้ำสีและน้ำเสียที่ผ่านการทดสอบแล้วมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ซึ่งจะขอกล่าวในบทที่ 5 ต่อไป

บทที่ 5

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 กล่าวนำ

จากบทที่ 4 ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบต้นแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม แป้งมันสำปะหลังด้วยเทคโนโลยีชีวสารจากไฟฟ้า เพื่อนำข้อมูลและผลจากการทดสอบไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ การวิเคราะห์ผลหลังการทดสอบนั้นมีด้วยกันหลายวิธี เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี ประกอบด้วย การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการบำบัดสี (การวิเคราะห์ด้วยสายตาและการวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงสีของตัวอย่างน้ำสีที่ต่าง ๆ ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง) การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการลดค่า COD และ BOD ในน้ำเสียตัวอย่างที่เตรียมขึ้นเองและน้ำเสียตัวอย่างจากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง โดยผลการตรวจสอบสามารถอธิบายได้ดังนี้

5.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำสีและน้ำเสีย

ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำสีที่ใช้ในการทดลอง พบว่าน้ำสีมีค่าดูดกลืนแสง อยู่ระหว่าง 0.059 - 0.233 A

ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียจากมันสำปะหลังทั้ง 2 ส่วน คือ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้ว ของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตจังหวัดนครราชสีมา 2 โรงงาน (บริษัท อุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัดและบริษัท เขียวรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด) และน้ำเสียจากมันสำปะหลังที่ได้จากการเตรียมขึ้น แสดงดังตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าคุณภาพน้ำที่ผ่านระบบบำบัดของโรงงานมีค่าความสกปรกสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมมาก (ค่า COD ไม่เกิน 120 mg/L และค่า BOD ไม่เกิน 20 mg/L) (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2539) ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยตรง หากไม่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ

ตารางที่ 5.1 แสดงลักษณะของน้ำเสียที่เตรียมขึ้นเองและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม
แป้งมันสำปะหลัง

พารามิเตอร์	เตรียมขึ้นเอง	บริษัท อุตสาหกรรม แป้งโคราช จำกัด	บริษัท เอี่ยมรุ่งเรือง อุตสาหกรรม จำกัด
COD (mg/L)	1339.53 - 1404.87	1389.47 - 1476.92	1472.72 - 1600.00
BOD (mg/L)	565.23 - 650.63	770.97 - 824.66	963.93 - 1003.14

5.3 ผลการทดลอง

การทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดสีที่ระยะเวลาเก็บตัวอย่างน้ำทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนครบ 24 ชั่วโมง สำหรับค่า COD และ BOD เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดค่า COD และ BOD ที่ระยะเวลาเก็บตัวอย่างน้ำทุก ๆ 12 ชั่วโมง จนกว่าจะผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ค่า COD ไม่เกิน 120 mg/L และค่า BOD ไม่เกิน 20 mg/L) กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม แสดงในภาคผนวก ตารางที่ ก.2 ถึงตารางที่ ก.10

5.3.1 ประสิทธิภาพในการลดสี

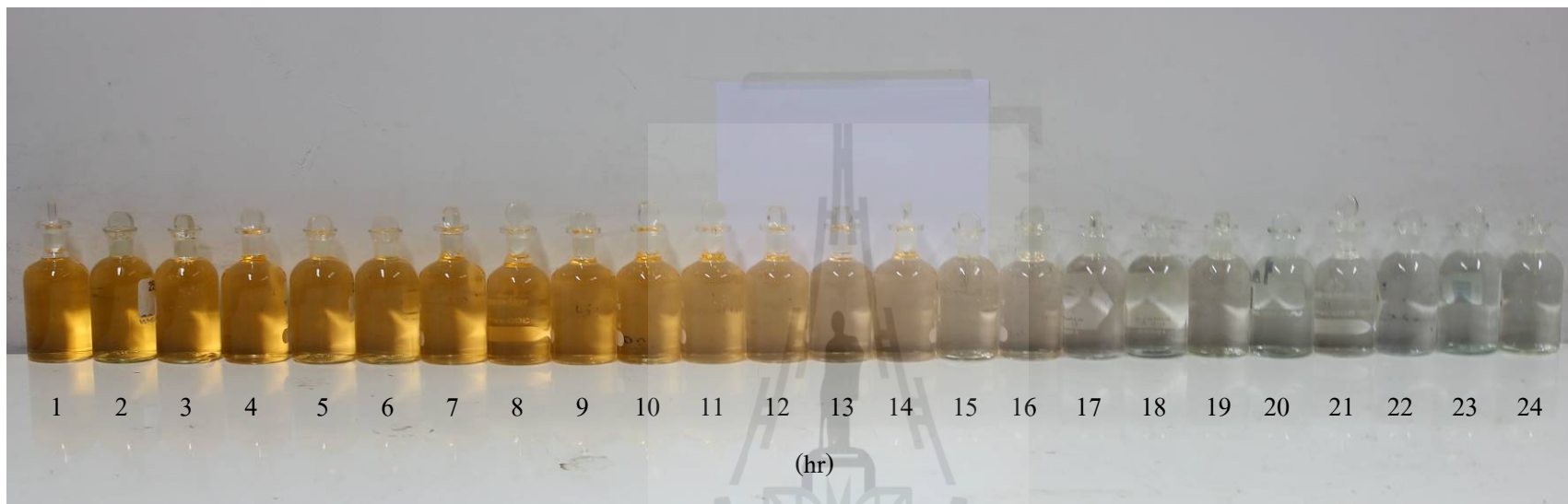
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดสีในถังปฏิกรณ์ ที่ระยะเวลาเก็บตัวอย่างน้ำทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนครบ 24 ชั่วโมง สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

- การวิเคราะห์ทางกายภาพ

การวิเคราะห์ทางกายภาพของตัวอย่างน้ำสีสามารถทำได้หลายวิธี เพื่อตรวจสอบความเปลี่ยนแปลง การวิเคราะห์ทางกายภาพทำได้ในระหว่างการทดสอบและหลังการทดสอบ โดยการสังเกตด้วยสายตาหรือใช้เครื่องมือเข้าช่วย เพื่อให้การวิเคราะห์มีความแม่นยำมากขึ้น การวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถทำได้ดังนี้

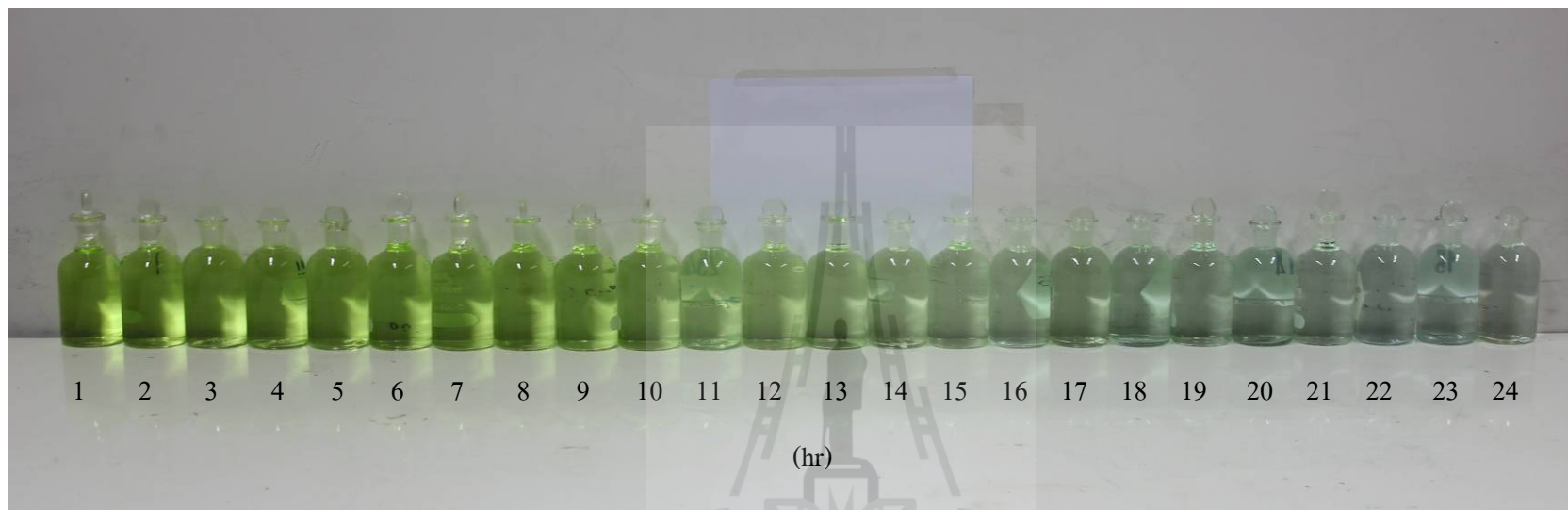
- การวิเคราะห์ด้วยสายตา

การวิเคราะห์ด้วยสายตา เป็นวิธีสังเกตความเปลี่ยนแปลงของน้ำสี โดยการสังเกตด้วยตาเปล่า ทั้งในระหว่างการทดสอบและหลังจากการทดสอบ หลังจากการทดสอบต้นแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังด้วยเทคโนโลยีดีสซาร์จทางไฟฟ้า พบว่า สีของตัวอย่างน้ำสีจะมีค่าลดลงตามระยะเวลาเก็บตัวอย่างน้ำที่เพิ่มขึ้น โดยจะมีอัตราการลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาสัมผัส 1 ชั่วโมงแรก จากนั้นอัตราการลดลงของสีในตัวอย่างน้ำสีจะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนเกือบคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 5.1, 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ



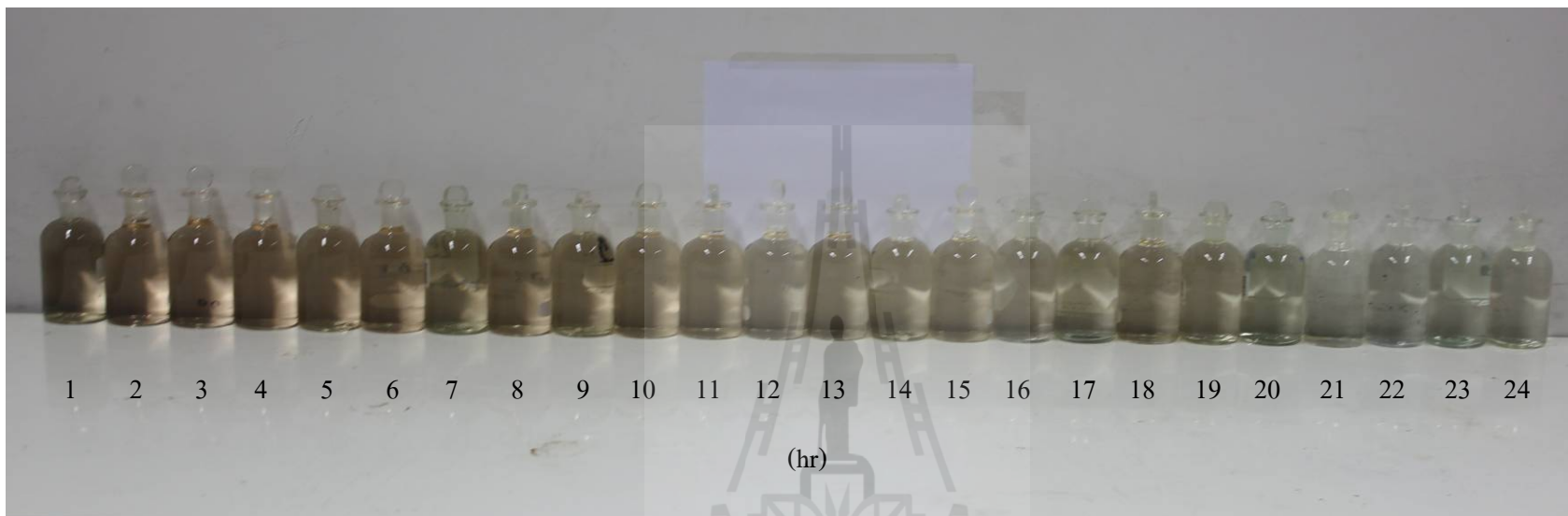
รูปที่ 5.1 ตัวอย่างน้ำสีส้มหลังการบำบัดเป็นเวลา 24 hr





รูปที่ 5.2 ตัวอย่างน้ำสีเขียวอ่อนหลังการบำบัดเป็นเวลา 24 hr



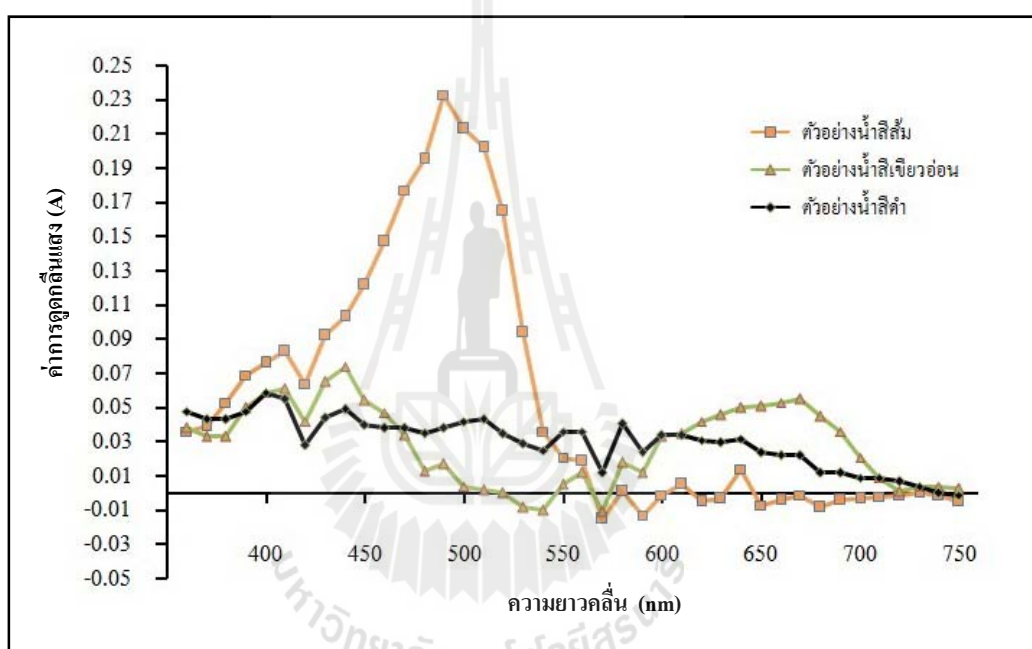


รูปที่ 5.3 ตัวอย่างน้ำสีดำน้หลังการบำบัดเป็นเวลา 24 hr



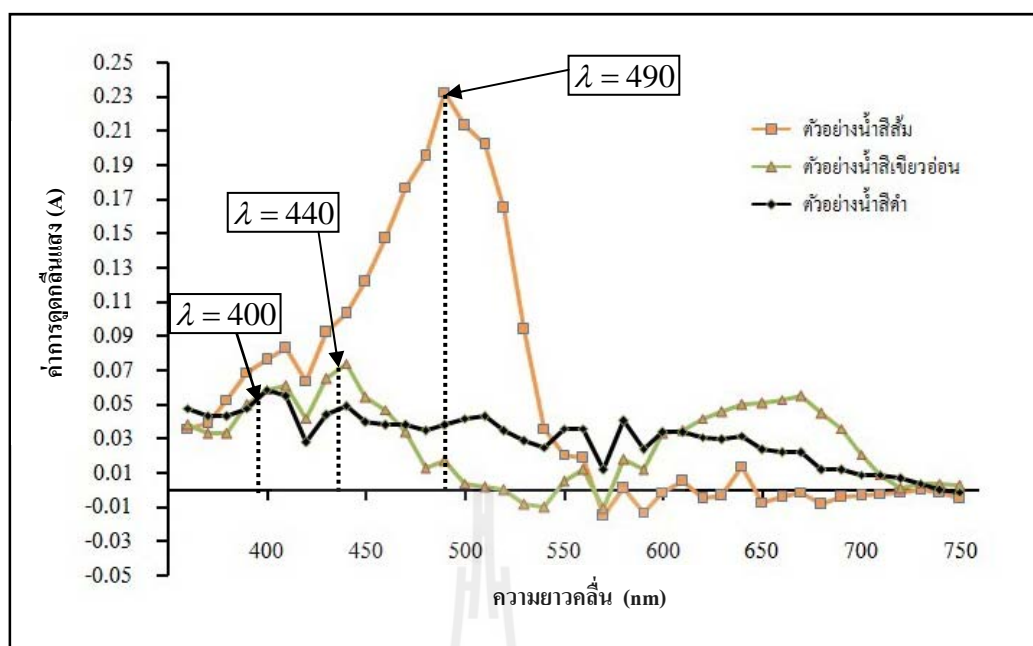
5.3.2 การวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำสี

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำสีด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง เป็นวิธีการวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงของน้ำสี โดยวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของตัวอย่างน้ำสี เริ่มต้นจะปรากฏเห็นเป็นสเปกตรัม ซึ่งอาจเปรียบเทียบได้เป็นรูปร่างของยอดเขา คือ จุดที่มีค่าดูดกลืนแสงสูงสุดที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าค่ายอด ส่วนเหว คือ จุดที่มีค่าดูดกลืนแสงลดต่ำที่สุดก่อนที่จะขึ้นเป็นค่ายอดใหม่ และที่ราบ คือ จุดที่แทบจะไม่มีค่าดูดกลืนแสงเลย (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี [สสวท.], ม.ป.ป.) ดังแสดงในรูปที่ 5.4 ซึ่งเป็นค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำสีทั้ง 3 สี



รูปที่ 5.4 ค่าดูดกลืนแสง (สเปกตรัม) ของน้ำสีส้ม สีดำและสีเขียวอ่อน

จากรูปที่ 5.4 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำสีส้ม สีดำและสีเขียวอ่อน จากสเปกตรัมที่ได้จากเครื่องวัดการดูดกลืนแสง แสดงค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ เช่น ตัวอย่างน้ำสีส้มมีจุดที่มีค่าดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 490 nm และยังมีจุดที่มีค่าดูดกลืนแสงอื่น ๆ อีก ส่วนตัวอย่างน้ำสีเขียวอ่อนมีจุดที่มีค่าดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 440 nm และยังมีจุดที่มีค่าดูดกลืนแสงอื่น ๆ อีกเช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำสีส้ม และตัวอย่างน้ำสีดำมีจุดที่มีค่าดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 400 nm โดยค่าความยาวคลื่นที่ได้จากตัวอย่างน้ำสีทั้ง 3 สีนั้น เป็นค่าความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงที่ดีหรือเป็นค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำสีนั้น ๆ



รูปที่ 5.5 ค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำสีทั้ง 3 สี

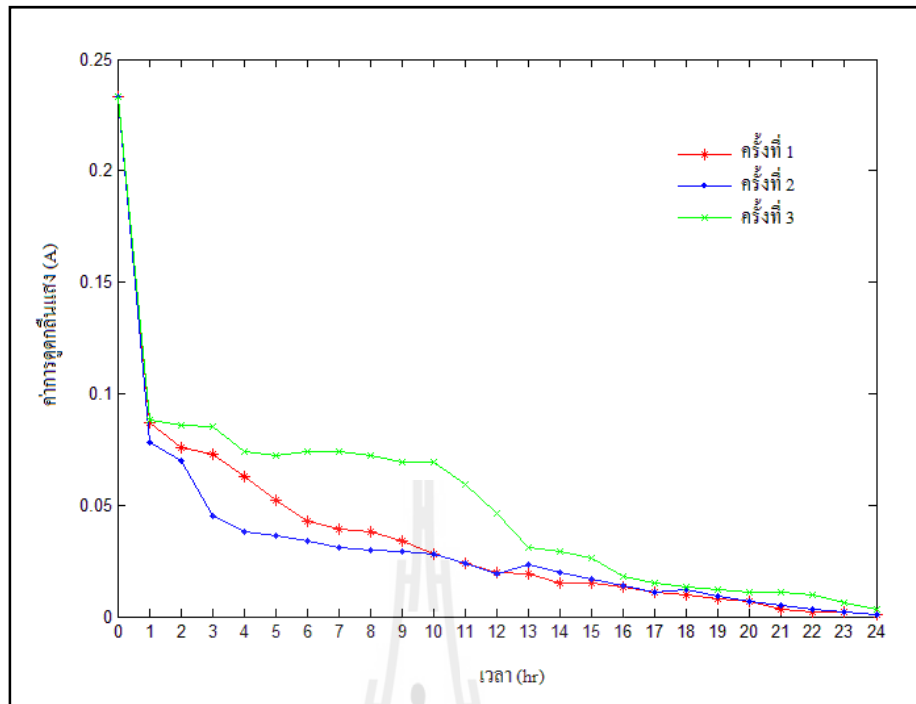
จากรูปที่ 5.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำสีต่างๆ ได้จากค่ายอดสูงสุดของกราฟ ซึ่งวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น (λ) เท่ากับ 400, 440 และ 490 nm ตามลำดับโดยที่

$\lambda = 400$ nm เป็นการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสีดำ

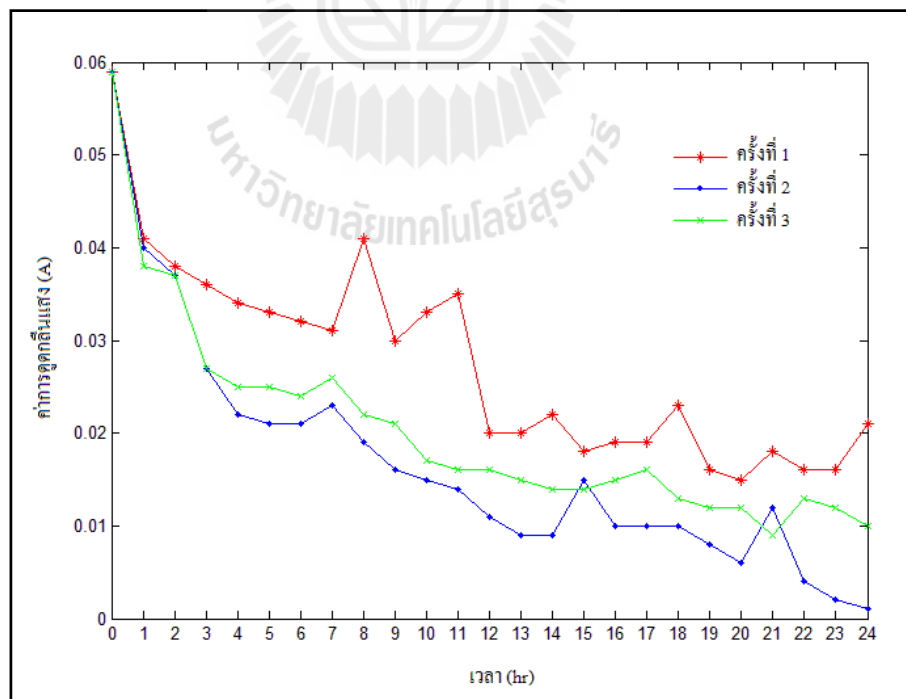
$\lambda = 440$ nm เป็นการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสีเขียวอ่อน

$\lambda = 490$ nm เป็นการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสีส้ม

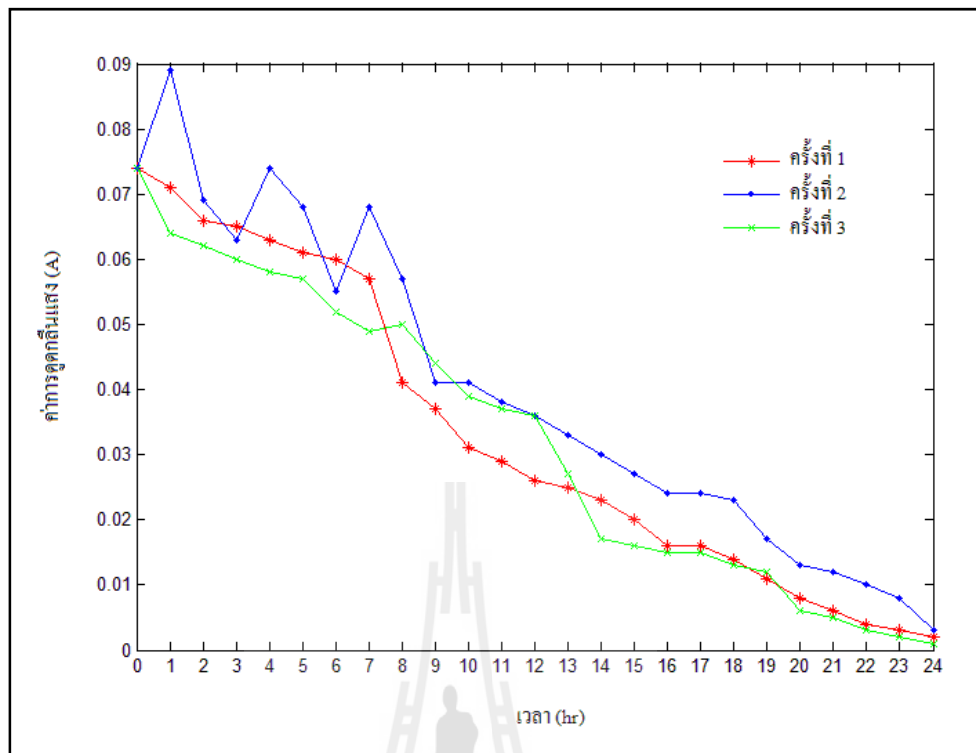
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสีในถังปฏิกรณ์จากการเก็บตัวอย่างน้ำทุก ๆ 1 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยก่อนการทดสอบได้วัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำสีทั้ง 3 สี พบว่ามีค่าความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.059 – 0.233 A ผลการทดสอบแสดงในภาคผนวกตารางที่ ก.2 ถึงตารางที่ ก.4 โดยสามารถนำมาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาเก็บตัวอย่างน้ำกับค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำสีส้ม ดังแสดงในรูปที่ 5.6 ตัวอย่างน้ำสีดำ (รูปที่ 5.7) และตัวอย่างน้ำสีเขียวอ่อน (รูปที่ 5.8) ภายหลังจากการบำบัดน้ำสีเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการบำบัดสีของตัวอย่างน้ำสีส้ม สีดำและสีเขียวอ่อน มีค่าเฉลี่ยเป็น 99.28, 81.91 และ 97.29 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ



รูปที่ 5.6 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำสีส้ม



รูปที่ 5.7 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำสีดำ



รูปที่ 5.8 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำเสีย

5.4 ประสิทธิภาพในการลดค่า COD ของน้ำเสีย

ประสิทธิภาพของการลดค่า COD ในถังปฏิกรณ์ จะวัดจากน้ำเสียตัวอย่างที่ผ่านการบำบัด ทุก ๆ 12 ชั่วโมง จนกว่าค่า COD ที่ลดลงจะผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและ นิคมอุตสาหกรรม กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (ค่า COD ไม่เกิน 120 mg/l) สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

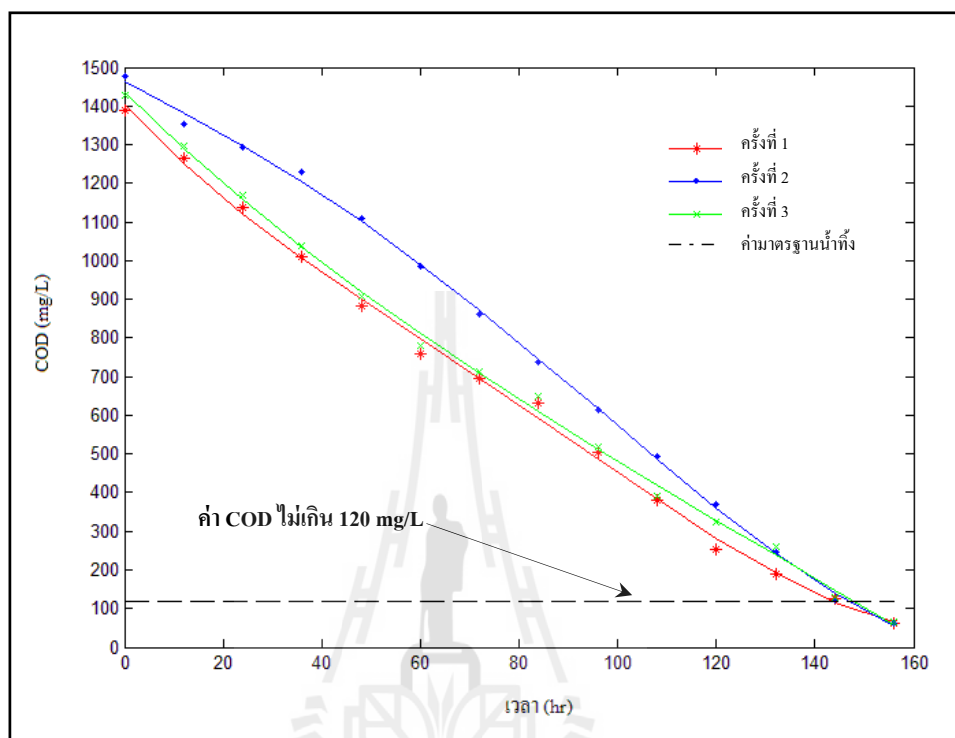
5.4.1 ประสิทธิภาพในการลดค่า COD ของน้ำเสียจากบริษัท อุตสาหกรรมแปง

โคราช จำกัด

น้ำเสียจากบริษัท อุตสาหกรรมแปงโคราช จำกัด มีค่า COD ก่อนบำบัดอยู่ในช่วง 1389.47 - 1476.92 mg/L รายละเอียดของผลการบำบัดแสดงในภาคผนวกตารางที่ ก.5 ข้อมูล เหล่านี้สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาเก็บตัวอย่างน้ำกับค่า COD ที่ ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5.9

จากข้อมูลของการทดสอบ การลดลงของค่า COD ที่ระยะเวลาเก็บตัวอย่างน้ำ 156 ชั่วโมง ค่า COD ลดลงเหลือเท่ากับ 63.18 mg/L ซึ่งผลการบำบัดที่ได้มีค่าน้อยกว่ามาตรฐานน้ำ ทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมนั้น (ค่า COD ไม่เกิน 120 mg/l) สามารถหาค่า

ประสิทธิภาพการลดของค่า COD ได้คือ ที่ระยะเวลา 156 ชั่วโมง COD มีค่าลดลง 95.58 เปอร์เซ็นต์ จากค่าเริ่มต้น

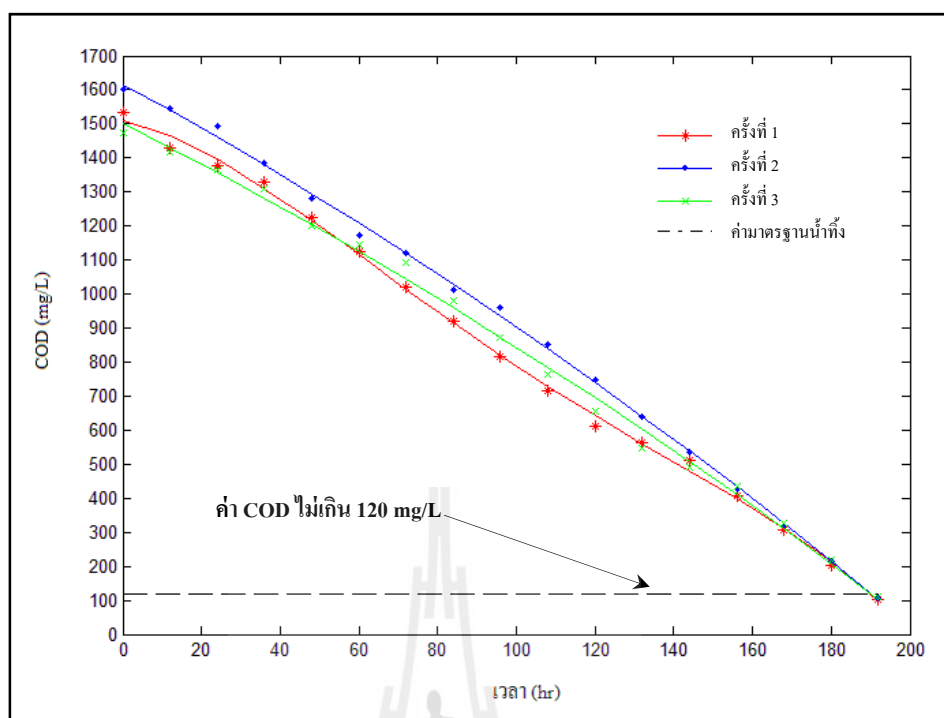


รูปที่ 5.9 การลดลงของค่า COD ในน้ำเสียของบริษัท อุตสาหกรรมแปงโคราช จำกัด

5.4.2 ประสิทธิภาพในการลดค่า COD ของน้ำเสียจากบริษัท เอี่ยมรุ่งเรือง อุตสาหกรรม จำกัด

น้ำเสียจากบริษัท อุตสาหกรรมแปงโคราช จำกัด มีค่า COD ก่อนบำบัดอยู่ในช่วง 1472.72 – 1600.00 mg/L รายละเอียดของผลการบำบัดแสดงในภาคผนวกตารางที่ ก.6 ข้อมูลเหล่านั้นสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาเก็บตัวอย่างน้ำกับค่า COD ที่ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5.10

จากข้อมูลของการทดสอบ การลดลงของค่า COD ที่ระยะเวลาเก็บตัวอย่างน้ำ 192 ชั่วโมง ค่า COD ลดลงเหลือเท่ากับ 105.96 mg/L ซึ่งผลการบำบัดที่ได้มีค่าน้อยกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมนั้น (ค่า COD ไม่เกิน 120 mg/l) สามารถหาค่าประสิทธิภาพการลดของค่า COD ได้คือ ที่ระยะเวลา 192 ชั่วโมง ค่า COD มีค่าลดลง 93.08 เปอร์เซ็นต์ จากค่าเริ่มต้น

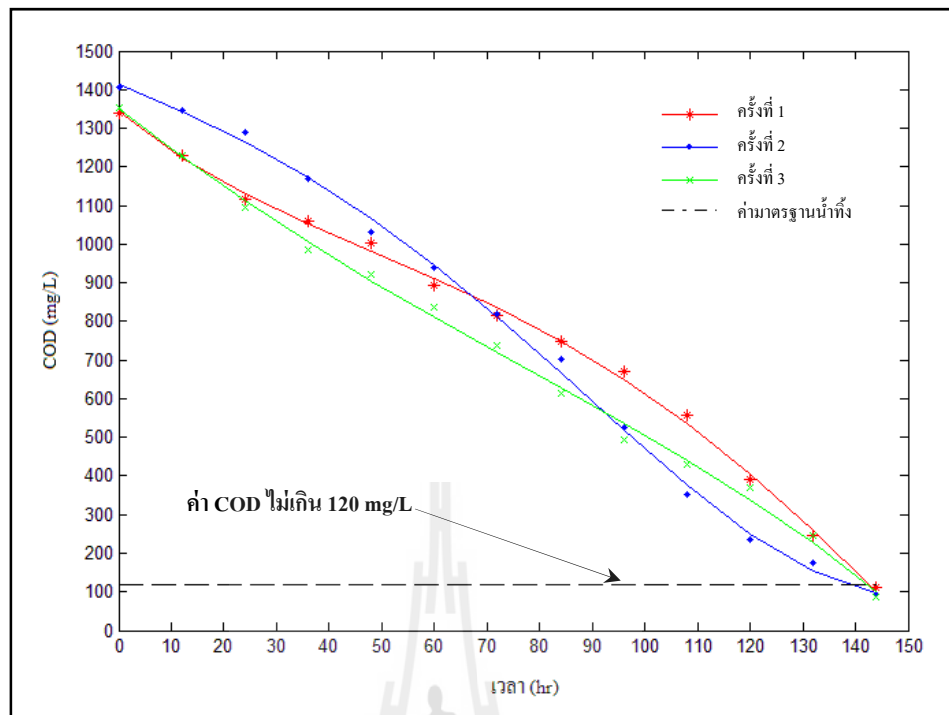


รูปที่ 5.10 การลดลงของค่า COD ในน้ำเสียของบริษัท เอี่ยมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด

5.4.3 ประสิทธิภาพในการลดค่า COD ของน้ำเสียที่ได้จากการเตรียมขี้

น้ำเสียจากบริษัท อุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัด มีค่า COD ก่อนบำบัดอยู่ในช่วง 1339.53 – 1404.87 mg/L รายละเอียดของผลการบำบัดแสดงในภาคผนวกตารางที่ ก.7 ข้อมูลเหล่านั้นสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาเก็บตัวอย่างน้ำกับค่า COD ที่ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5.11

จากข้อมูลของการทดสอบ การลดลงของค่า COD ที่ระยะเวลาเก็บตัวอย่างน้ำ 144 ชั่วโมง ค่า COD ลดลงเหลือเท่ากับ 197.14 mg/L ซึ่งผลการบำบัดที่ได้มีค่าน้อยกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมนั้น (ค่า COD ไม่เกิน 120 mg/l) สามารถหาค่าประสิทธิภาพการลดของค่า COD ได้คือ ที่ระยะเวลา 144 ชั่วโมง ค่า COD มีค่าลดลง 92.88 เปอร์เซ็นต์ จากค่าเริ่มต้น



รูปที่ 5.11 การลดลงของค่า COD ในน้ำเสียที่ได้จากการเตรียมขึ้น

5.5 ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ของน้ำเสีย

ประสิทธิภาพของการลดค่า BOD ในถังปฏิกรณ์ จะวัดจากน้ำเสียตัวอย่างที่ผ่านการบำบัด ทุก ๆ 12 ชั่วโมง จนกว่าค่า BOD ที่ลดลงจะผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (ค่า COD ไม่เกิน 20 mg/l) สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

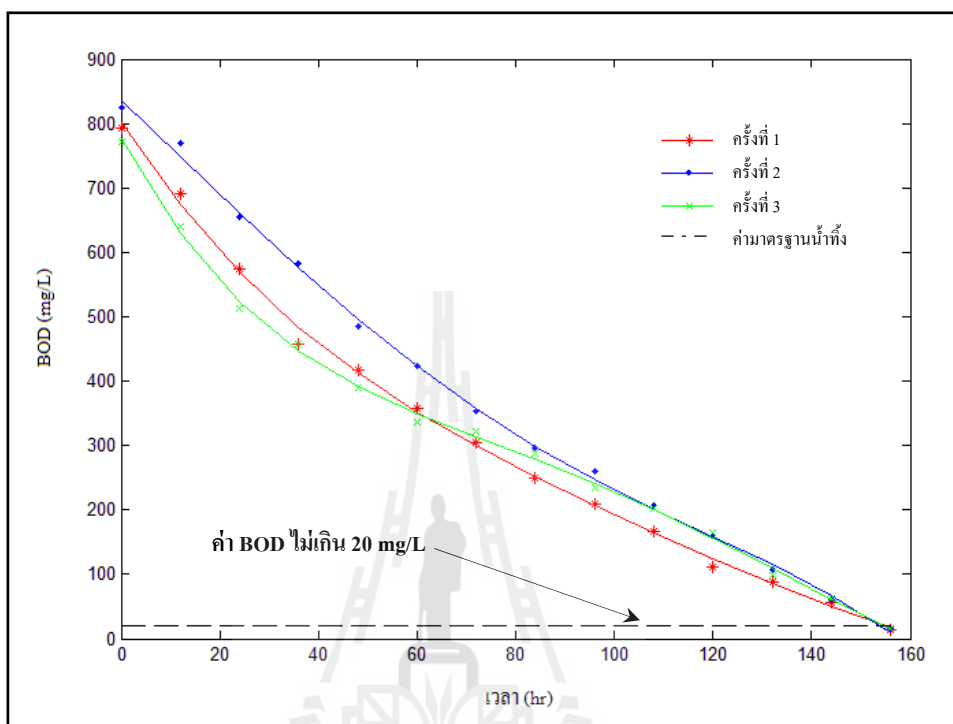
5.5.1 ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ของน้ำเสียจากบริษัท อุตสาหกรรม

แป็งโคราช จำกัด

น้ำเสียจากบริษัท อุตสาหกรรมแป็งโคราช จำกัด มีค่า BOD ก่อนบำบัดอยู่ในช่วง 963.93 – 1003.14 mg/L รายละเอียดของผลการบำบัดแสดงในภาคผนวกตารางที่ ก.8 ข้อมูลเหล่านั้นสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาเก็บตัวอย่างน้ำกับค่า BOD ที่ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5.12

จากข้อมูลของการทดสอบ การลดลงของค่า BOD ที่ระยะเวลาเก็บตัวอย่างน้ำ 156 ชั่วโมง ค่า BOD ลดลงเหลือเท่ากับ 15.02 mg/L ซึ่งผลการบำบัดที่ได้มีค่าน้อยกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมนั้น (ค่า BOD ไม่เกิน 20 mg/l) สามารถหาค่า

ประสิทธิภาพการลดของค่า BOD ได้คือ ที่ระยะเวลา 156 ชั่วโมง BOD มีค่าลดลง 98.11 เปอร์เซ็นต์ จากค่าเริ่มต้น



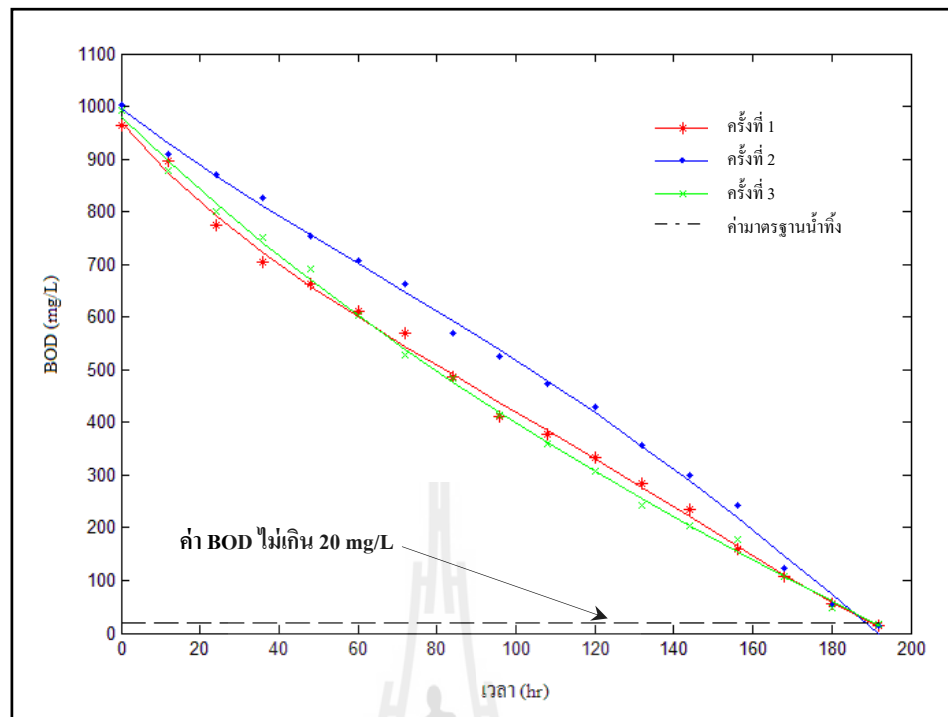
รูปที่ 5.12 การลดลงของค่า BOD ในน้ำเสียของบริษัท อุตสาหกรรมแปงโคราช จำกัด

5.5.2 ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ของน้ำเสียจากบริษัท เอี่ยมรุ่งเรือง

อุตสาหกรรม จำกัด

น้ำเสียจากบริษัท อุตสาหกรรมแปงโคราช จำกัด มีค่า BOD ก่อนบำบัดอยู่ในช่วง 770.97 – 824.66 mg/L รายละเอียดของผลการบำบัดแสดงในภาคผนวกตารางที่ ก.9 ข้อมูลเหล่านั้นสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาเก็บตัวอย่างน้ำกับค่า BOD ที่ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5.13

จากข้อมูลของการทดสอบ การลดลงของค่า BOD ที่ระยะเวลาเก็บตัวอย่างน้ำ 192 ชั่วโมง ค่า BOD ลดลงเหลือเท่ากับ 15.87 mg/L ซึ่งผลการบำบัดที่ได้มีค่าน้อยกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมนั้น (ค่า BOD ไม่เกิน 20 mg/l) สามารถหาค่าประสิทธิภาพการลดของค่า BOD ได้คือ ที่ระยะเวลา 192 ชั่วโมง BOD มีค่าลดลง 98.39 เปอร์เซ็นต์ จากค่าเริ่มต้น

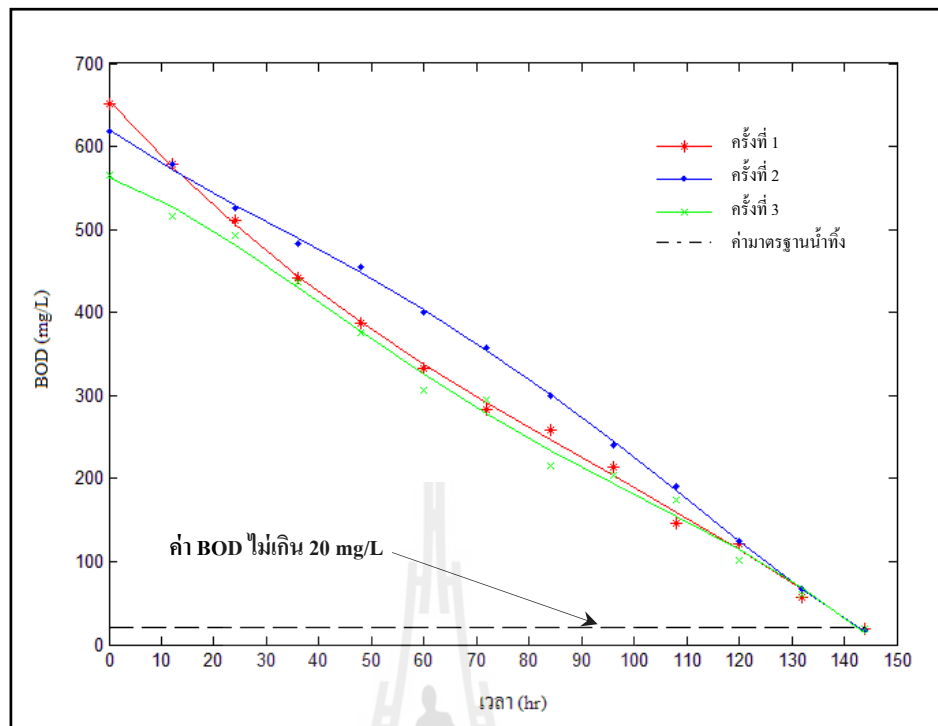


รูปที่ 5.13 การลดลงของค่า BOD ในน้ำเสียของบริษัท เอี่ยมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด

5.5.3 ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ของน้ำเสียที่ได้จากการเตรียมขึ้น

น้ำเสียจากบริษัท อุตสาหกรรมแปงโคราช จำกัด มีค่า BOD ก่อนบำบัดอยู่ในช่วง 565.23 – 650.63 mg/L รายละเอียดของผลการบำบัดแสดงในภาคผนวกตารางที่ ก.10 ข้อมูลเหล่านั้นสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาเก็บตัวอย่างน้ำกับค่า BOD ที่ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5.14

จากข้อมูลของการทดสอบ การลดลงของค่า BOD ที่ระยะเวลาเก็บตัวอย่างน้ำ 144 ชั่วโมง ค่า BOD ลดลงเหลือเท่ากับ 18.53 mg/L ซึ่งผลการบำบัดที่ได้มีค่าน้อยกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมนั้น (ค่า BOD ไม่เกิน 20 mg/l) สามารถหาค่าประสิทธิภาพการลดของค่า BOD ได้คือ ที่ระยะเวลา 144 ชั่วโมง BOD มีค่าลดลง 96.95 เปอร์เซ็นต์ จากค่าเริ่มต้น



รูปที่ 5.14 การลดลงของค่า BOD ในน้ำเสียของน้ำเสียที่ได้จากการเตรียมขึ้น

5.6 สรุป

ในบทที่ 5 เป็นการนำเสนอผลการทดลองที่ได้จากการนำตัวอย่างน้ำสีและน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยดิสซาร์จทางไฟฟ้ามาวิเคราะห์หาค่าความเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ อาทิเช่น การวิเคราะห์ค่าคลอโรฟิลล์ของน้ำสี การวิเคราะห์ค่า COD และค่า BOD ของน้ำเสีย พบว่า

(1) ประสิทธิภาพในการลดค่าคลอโรฟิลล์แสง จะเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงเท่ากัน ตัวอย่างน้ำสีเขียว มีค่าประสิทธิภาพในการลดค่าคลอโรฟิลล์แสง 98.64 เปอร์เซ็นต์ สำหรับตัวอย่างน้ำสีส้มและน้ำตัวอย่างสีดำ มีค่าประสิทธิภาพในการลดค่าคลอโรฟิลล์แสง 99.57 และ 98.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

(2) ประสิทธิภาพของการลดค่า COD ในถังปฏิกรณ์ จะวัดจากน้ำเสียตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดทุก ๆ 12 ชั่วโมง จนกว่าค่า COD ที่ลดลงจะผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (ค่า COD ไม่เกิน 120 mg/l) พบว่าน้ำเสียจากบริษัท อุตสาหกรรมแปงโคราช จำกัดมีค่า COD ก่อนบำบัดอยู่ในช่วง 1389.47 - 1476.92 mg/L ประสิทธิภาพของการลดค่า COD ที่ระยะเวลา 156 ชั่วโมง ค่า COD มีค่าลดลง 95.58 เปอร์เซ็นต์ สำหรับบริษัทเอี่ยมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด มีค่า COD ก่อนบำบัดอยู่

ในช่วง 1472.72 – 1600.00 mg/L ประสิทธิภาพของการลดค่า COD ที่ระยะเวลา 192 ชั่วโมง ค่า COD มีค่าลดลง 93.08 เปอร์เซ็นต์ และน้ำเสียที่ได้จากการเตรียมขึ้น มีค่า COD ก่อนบำบัดอยู่ในช่วง 1339.53 – 1404.87 mg/L ประสิทธิภาพของการลดค่า COD ที่ระยะเวลา 144 ชั่วโมง ค่า COD มีค่าลดลง 92.88 เปอร์เซ็นต์

(3) ประสิทธิภาพของการลดค่า BOD ในถังปฏิกรณ์ จะวัดจากน้ำเสียตัวอย่างที่ผ่านการบำบัด ทุก ๆ 12 ชั่วโมง จนกว่าค่า BOD ที่ลดลงจะผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ค่า BOD ไม่เกิน 20 mg/l) พบว่าน้ำเสียจากบริษัทอุตสาหกรรมแปงโคราช จำกัด มีค่า BOD ก่อนบำบัดอยู่ในช่วง 963.93 – 1003.14 mg/L ประสิทธิภาพของการลดค่า BOD ที่ระยะเวลา 156 ชั่วโมง ค่า BOD มีค่าลดลง 98.11 เปอร์เซ็นต์สำหรับบริษัท เอี่ยมรุ่งเรือง อุตสาหกรรม จำกัด มีค่า BOD ก่อนบำบัดอยู่ในช่วง 963.93 – 1003.14 mg/L ประสิทธิภาพของการลดค่า BOD ที่ระยะเวลา 192 ชั่วโมง ค่า BOD มีค่าลดลง 98.39 เปอร์เซ็นต์ และน้ำเสียที่ได้จากการเตรียมขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัด BOD ในถังปฏิกรณ์ มีค่า BOD ก่อนบำบัดอยู่ในช่วง 565.23 – 650.63 mg/L ประสิทธิภาพของการลดค่า BOD ที่ระยะเวลา 144 ชั่วโมง ค่า BOD มีค่าลดลง 96.95 เปอร์เซ็นต์



บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุป

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้เป็นการพัฒนาต้นแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังด้วยเทคโนโลยีดีสซาร์จทางไฟฟ้าแรงสูง เพื่อลดค่า COD และค่า BOD ในน้ำเสียให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ก่อนจะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ การดำเนินงานวิจัยวิทยานิพนธ์ดังกล่าวนี้ ได้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ โดยสามารถสรุปผลการดำเนินงานวิจัยและพัฒนาทางวิศวกรรมเป็นข้อสรุปได้ ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 เป็นการนำเสนอความสำคัญและที่มาของปัญหา โดยกล่าวถึงความสำคัญของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ไม่ได้มาตรฐาน ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางน้ำ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งก่อน ระบายลงสู่แหล่งรับน้ำธรรมชาติ ซึ่งมีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียด้วยเทคโนโลยีดีสซาร์จทางไฟฟ้าแรงสูงร่วมกับโอโซน โดยเสนอไว้ในบทที่ 2

บทที่ 3 เป็นการนำเสนอทฤษฎีและสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสียด้วยเทคโนโลยีดีสซาร์จทางไฟฟ้าแรงสูง โดยกล่าวถึงความสำคัญของน้ำ น้ำเสีย ประเภทของน้ำเสีย ลักษณะของน้ำเสียต่าง ๆ บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD) เครื่องวัดการดูดกลืนแสง ลักษณะมันสำปะหลัง การแปรรูปมันสำปะหลัง กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพในโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง ระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง แก๊สชีวภาพ โอโซน คุณสมบัติทางกายภาพของโอโซน กระบวนการเกิดโอโซน และการผลิตโอโซน นอกจากนี้ยังนำเสนอการผลิตโอโซนในวิธีต่าง ๆ โดยวิธีดีสซาร์จทางไฟฟ้าและวิธีการผลิตโอโซนจากการเกิดโคโรนาดีสซาร์จ เพื่อให้เข้าใจและทราบถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบระบบการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังด้วยดีสซาร์จทางไฟฟ้าได้ดียิ่งขึ้น จากทฤษฎีที่ได้กล่าวมาแล้วทำให้เห็นทั้งประโยชน์และโทษต่าง ๆ มากมาย

ดังนั้น ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างชุดทดสอบระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยดีสซาร์จทางไฟฟ้า เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และอธิบายเกี่ยวกับวิธีดำเนินการวิจัยต่าง ๆ โดยจะกล่าวในบทที่ 4 ต่อไป

บทที่ 4 เป็นการนำเสนอเกี่ยวกับวิธีการดำเนินการวิจัยต่าง ๆ โดยกล่าวถึงการออกแบบและสร้างชุดทดสอบระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยดีสซาร์จทางไฟฟ้า การเตรียมตัวอย่างและวิธีการทดสอบระบบการบำบัดน้ำเสียและน้ำเสียด้วยดีสซาร์จทางไฟฟ้า การออกแบบชุดทดสอบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยโคโรนาดีสซาร์จ ประกอบด้วยการออกแบบตัวถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยดีสซาร์จทางไฟฟ้านั้นทำจากอะคริลิกใสและอิเล็กทรอนิกส์แบบปลายแหลม-ปลายแหลมเป็นส่วนที่สำคัญ ใช้สำหรับสร้างดีสซาร์จทางไฟฟ้า การสร้างชุดทดสอบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยโคโรนาดีสซาร์จประกอบด้วยการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียด้วยโคโรนาดีสซาร์จ และการสร้างชุดสร้างโอโซน สำหรับการเตรียมตัวอย่างและวิธีการทดสอบระบบการบำบัดน้ำเสียและน้ำเสียด้วยดีสซาร์จทางไฟฟ้านั้น ได้อธิบายถึงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างน้ำเสียและน้ำเสียจากมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดสอบ น้ำเสียจากมันสำปะหลังสำหรับทดสอบระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยมี 2 ส่วน คือ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้ว ของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตจังหวัดนครราชสีมา 2 โรงงาน (บริษัท อุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัดและบริษัท เขียมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด) และน้ำเสียจากมันสำปะหลังที่ได้จากการเตรียมขึ้น

บทที่ 5 เป็นการนำเสนอผลการทดลองที่ได้จากการนำตัวอย่างน้ำเสียและน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยดีสซาร์จทางไฟฟ้ามาวิเคราะห์หาค่าความเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ อาทิเช่น การวิเคราะห์ค่าคลอโรฟิลล์ของน้ำเสีย ค่า COD และค่า BOD ของน้ำเสีย พบว่า

(1) ประสิทธิภาพในการลดค่าคลอโรฟิลล์ จะเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงเท่ากัน ตัวอย่างน้ำสีเขียว มีค่าประสิทธิภาพในการลดค่าคลอโรฟิลล์ 98.64 เปอร์เซ็นต์ สำหรับตัวอย่างน้ำสีส้มและน้ำตัวอย่างสีดำ มีค่าประสิทธิภาพในการลดค่าคลอโรฟิลล์ 99.57 และ 98.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

(2) ประสิทธิภาพของการลดค่า COD ในถังปฏิกรณ์ จะวัดจากน้ำเสียตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดทุก ๆ 12 ชั่วโมง จนกว่าค่า COD ที่ลดลงจะผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (ค่า COD ไม่เกิน 120 mg/l) พบว่า น้ำเสียจากบริษัท อุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัด มีค่า COD ก่อนบำบัดอยู่ในช่วง 1389.47 - 1476.92 mg/L ประสิทธิภาพของการลดค่า COD ที่ระยะเวลา 156 ชั่วโมง ค่า COD มีค่าลดลง 95.58 เปอร์เซ็นต์ สำหรับบริษัท เขียมรุ่งเรือง อุตสาหกรรม จำกัด มีค่า COD ก่อนบำบัดอยู่ในช่วง 1472.72 - 1600.00 mg/L ประสิทธิภาพของการลดค่า COD ที่ระยะเวลา 192 ชั่วโมง ค่า COD มีค่าลดลง 93.08 เปอร์เซ็นต์ และน้ำเสียที่ได้จากการ

เตรียมขึ้น มีค่า COD ก่อนบำบัดอยู่ในช่วง 1339.53 – 1404.87 mg/L ประสิทธิภาพของการลดค่า COD ที่ระยะเวลา 144 ชั่วโมง ค่า COD มีค่าลดลง 92.88 เปอร์เซ็นต์

(3) ประสิทธิภาพของการลดค่า BOD ในถังปฏิกรณ์ จะวัดจากน้ำเสียตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดทุก ๆ 12 ชั่วโมง จนกว่าค่า BOD ที่ลดลงจะผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ค่า BOD ไม่เกิน 20 mg/l) พบว่า น้ำเสียจากบริษัท อุตสาหกรรมแปงโคราช จำกัด มีค่า BOD ก่อนบำบัดอยู่ในช่วง 963.93 – 1003.14 mg/L ประสิทธิภาพของการลดค่า BOD ที่ระยะเวลา 156 ชั่วโมง ค่า BOD มีค่าลดลง 98.11 เปอร์เซ็นต์ สำหรับบริษัท เอี่ยมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด มีค่า BOD ก่อนบำบัดอยู่ในช่วง 963.93 – 1003.14 mg/L ประสิทธิภาพของการลดค่า BOD ที่ระยะเวลา 192 ชั่วโมง ค่า BOD มีค่าลดลง 98.39 เปอร์เซ็นต์ และน้ำเสียที่ได้จากการเตรียมขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัด BOD ในถังปฏิกรณ์ มีค่า BOD ก่อนบำบัดอยู่ในช่วง 565.23 – 650.63 mg/L ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ที่ระยะเวลา 144 ชั่วโมง ค่า BOD มีค่าลดลง 96.95 เปอร์เซ็นต์

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัยวิทยานิพนธ์ที่ผ่านมาและผลที่ได้ทำให้เกิดแนวคิดและข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัยต่อไปในอนาคต ดังต่อไปนี้

(1) สามารถนำชุดทดสอบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแปงมันสำปะหลัง ด้วยเทคโนโลยีดีเอสอาร์ทางไฟฟ้าแรงสูงไปใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมชนิดอื่น ๆ

(2) ศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียด้วยเทคโนโลยีดีเอสอาร์ทางไฟฟ้าแรงสูงเพิ่มเติมจากงานวิจัยให้มากขึ้น เพื่อหาข้อดีและข้อเสียที่ได้จากงานวิจัยนี้ แล้วนำมาปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียด้วยเทคโนโลยีดีเอสอาร์ทางไฟฟ้าแรงสูงนั้นให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

รายการอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2539). มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ฉบับที่ 3). 85-89. ได้จาก: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html#s1 หรือ http://infofile.pcd.go.th/law/3_4_water.pdf?CFID=10541294&CFTOKEN=49980956
- การทดลองที่ ANA 05 UV-Visible Spectrophotometer (ม.ป.ป.).
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2542). การบำบัดน้ำเสีย (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สยามสเตชันเนอรีซ์พลาซัส.
- ขวัญใจ แก้วจันทร์. (2550). การผลิตเอนไซม์ย่อยแป้งและย่อยเซลลูโลสเพื่อย่อยสลายกากมันสำปะหลัง โดยใช้เชื้อรา *Aspergillus niger* TISTR 3254. วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ศราวุธ กาญจนเลขา. (2551). การศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซไอโซนโดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงแบบทับซ้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์. (ม.ป.ป.). เครื่องวัดการดูดกลืนแสง. เครื่องมือวิทยาศาสตร์. 227 – 271.
- ธารกมล ถาวรพานิช. (2542). ผลของไอโซนที่มีต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานกระดาษ วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 162.
- ธีรพล วัฒนโกศล. (2548). ฐานข้อมูลระบบผลิตก๊าซชีวภาพในโรงงานแปรรูปมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- เนติยา ตันตชูณห์. (2544). การลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดโดยกระบวนการไอโซนเนชั่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พัชราภรณ์ ไชยศรี. (ม.ป.ป.). เอกสารประกอบการสอนวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อมเพื่อสุขภาพ. คณะสาธารณสุขศาสตร์และเทคโนโลยีสุขภาพ วิทยาลัยนครราชสีมา.

- ภักดิ์วัฒน์ เลาคา. (2549). การเตรียมและศึกษาสมบัติของแป้งมันสำปะหลังดัดแปลงด้วยโอโซน. **วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.**
- แม่น อมรสิทธิ์และอมร เพชรสม. (2539). หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. 33-107. กรุงเทพฯ: ชวนพิมพ์
- วารภรณ์ กัลยาเลิศ. (2540). การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยโอโซน. **วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.**
- ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว. (2549). การศึกษาเครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนด้วยการกระจายสนามไฟฟ้าบนผิวน้ำ. **วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.**
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). (ม.ป.ป.). การวัดการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมของสารสีจากพืชโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/photosynthesis/spectrophotometer/spectrophotometer.htm>
- สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย (Thai Tapioca Starch Association: TTSA). (ม.ป.ป.). สมาชิกสามัญ. ได้จาก: http://www.thaitapiocastarch.org/member_dir.asp
- สันตต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์. (2552). ระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ที่อุป
- สุรพล บุญดวง. (2549). การผลิตโอโซนโดยวิธีโคโรนาดีสชาร์จ. **วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.**
- สุรพล รักปทุม. (2543). โอโซนเพื่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: ภาพพิมพ์.
- สุเมธ ชวเดช. (2541). การพัฒนากระบวนการออกซิเดชันโอโซนสำหรับการบำบัดน้ำเสีย. **วิทยานิพนธ์ปริญญาโท วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.**
- สำรวย สังข์สะอาด. (2547). **วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง (ฉบับปรับปรุง).**
- Adams, C.D., Fusco, W., and Kanzelmeyer, T.C. (1995). Ozone, Hydrogen Peroxide/Ozone Treatment of Chromium and Copper-Complex Dyes: Decolorization and Metal Release. **Ozone Sci. and Eng.** 17: 149 - 162.
- Alfajara, C.G., Migo, V.P., Amarante, J.A., Dallo, R.F., and Matsumura, M. (1999). **Ozone Treatment of Distillery Slop Waste (7th ed.).** IAWQ Asia-pacific Regional Conference, Taipei. 565 - 570.

- Biochemical Oxygen Demand. (2552). เอกสารประกอบการเรียน รายวิชา 432205 ปฏิบัติการเคมี
สิ่งแวดล้อม 2. 33 – 40.
- Chemical Oxygen Demand. (2552). เอกสารประกอบการเรียน รายวิชา 432205 ปฏิบัติการเคมี
สิ่งแวดล้อม 2. 21 – 27.
- Eliasson, B., and Kogelschitz, V. (1991, April). Modeling and Application of Salient Discharges.
IEEE Trans. on Plasma Science. 19(2): 309 – 323.
- Galbraith, M. (1992). **Hazardous and industrial waste.** Proc. 24th Mid-Atlantic industrial waste
conference, Morgantown.
- Gasnov, M. A. (2007, October). Electrical Discharge Treatment of Zeolites for Purifying the
Waste Water of Polymer Manufacturing Plants. **J. Surface Engineering and Applied
Electrochemistry.** 43(5): 398 – 402.
- Geenens, D., Bixio, B., and Thoeye, C. (2000). Combined Ozone-Activated Sludge Treatment of
Landfill Leachate. **Wat. Sci. Tech.** 44 (2-3): 359 - 365.
- Glaze, W.H., and Kang, J.W. (1980). **Oxidation of Water Supply Refractory Species by Ozone
with Ultraviolet Radiation.** US Environment Protection Agency, Washington DC.
- Gottschalk, C., Libra, J. A., and Saup, A. (2000). Ozonation of water and wastewater.
Germany: Wiley-VCH verlag GmbH.
- Hoigne, J., and Bader, H. (1976). A Role of Hydroxyl Radical Reactions in Ozonation Processes
in Aqueous Solution. **J. Water Res.** 10: 376 – 386.
- Hoigne, J., and Bader, H. (1983). Rate constant of the reaction of ozone with organic and
inorganic compounds in water. **Wat. Res.** 17: 173 - 184.
- Humpert, C., and Pietsch, G. J. (2000). Ozone Synthesis in Surface Discharge Arrangement
during Voltage Rise. Proc. **of the 7th Int. Sym. on High Pressure Low Temperature
Plasma Chemistry (Hakone VII).** 334 – 338.
- Khunteegul, O., and Petiraksakul, A. (2007, March – April). Optimization of Ink Wastewater
Treatment by Ozonation. **KKU Engineering Journal.** 34(2): 177 – 188.
- Kornev, J. (2003). Electrical Discharge Treatment of Water Containing Organic Substances. **Proc.
of the 7th Korea – Russia Int. Symp. on Science and Technology.** 2: 243 – 247.
- Liakou, S., Pavlou, S., and Lyberatos, G. (1997). Ozonation of Azo Dyes. **Wat. Sci. Tech.** 35(4):
279 - 286.

- Lin, S.H., and Lin, C.M. (1992). Declorization of textile waste effluents by ozonation, *Environmental system*. 21: 143 - 156.
- Lin, S.H., and Yeh, K. L. (1993). Looking to treat wastewater :Try ozone. **J. Chem. Eng.** 6: 112 - 116.
- Ma, H. B., and Qiu, Y. C. (2003, April). A study of Ozone Synthesis in Coaxial Cylinder Pulse Streamer Corona Discharge Reactors. **J. Ozone: Science and Engineering.** 25(2): 127 – 135.
- Nabel, C., and Gottschling, R.D. (1974). Ozone decolorization of pulp and paper secondary effluents, Welsbach ozone system, Philadelphia, 84.
- Nazarenko, O. B., and Shubin, B. G. (2006, 18 – 22 Febuary). Investigation of Electric Discharge Treatment of Water for Ammonium Nitrogen Removal. **Proc. of the 2nd Environmental Physics Conference.** 85 – 90.
- Oehlschlaeger, H. F. (1978). Reactions of ozone with organic compounds. In R. G. Rice, & J. A. Cotruvo (Eds.), *Ozone/chlorine dioxide oxidation products of organic material.* **Cleveland: Ozone Press International.** 20–37.
- Parisheva, Z., and Demirev, A. (2000). Ozonization of Ethanolamine in Aqueous Medium. **Wat. Res.** 34 (4): 1340 - 1344.
- Pietsch, G. J., and Gibalor, V. I. (1998). Dielectric Barrier Discharges and Ozone Synthesis. **J. Pure & Apply Chem.** 70(6): 1169 – 1174.
- Preis, S., Kamenev, S., Kallas, J., and Munter, R. (1995). Advanced Oxidation Processes Against Phenolic Compounds in Wastewater. **Ozone Sci. and Eng.** 17: 399 - 418.
- Samaranayake, W. J. M., Namihira, T., Katsuki, S., Miyahara, Y., Sakugawa, T., Hackam, R., and Akiyama, H. (2001). Pulsed Power Production of Ozone using Nonthermal Gas Discharges. **IEEE Electrical Insulation Magazine.** 17(4): 17 – 25.

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองระบบของน้ำเสียจากบริษัท อุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัด

เวลา (ชั่วโมง)	ค่า BOD			ประสิทธิภาพของการบำบัดค่า BOD (%)		
	1	2	3	1	2	3
0	793.71	824.66	770.97			
12	690.84	768.53	640.94	12.96	6.81	16.87
24	573.68	654.06	512.16	27.72	20.69	33.57
36	458.39	581.94	456.45	42.25	29.43	40.80
48	416.10	484.68	389.12	47.58	41.23	49.53
60	358.60	422.87	335.38	54.82	48.72	56.50
72	305.08	352.65	321.75	61.56	57.24	58.27
84	249.64	295.68	286.88	68.55	64.16	62.79
96	209.46	259.93	233.80	73.61	68.48	69.67
108	166.71	205.95	201.73	79.00	75.03	73.83
120	111.78	159.95	163.59	85.92	80.60	78.78
132	88.66	107.84	99.71	88.83	86.92	87.07
144	55.37	60.36	62.97	93.02	92.68	91.83
156	14.85	14.97	15.25	98.13	98.18	98.02



ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ผลการวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของตัวอย่างน้ำสีส้ม สีเขียวและสีดำ

ความยาวคลื่น (nm)	ค่าดูดกลืนแสง (OD)		
	น้ำสีส้ม (A)	น้ำสีเขียว (A)	น้ำสีดำ (A)
360	0.036	0.038	0.048
370	0.039	0.033	0.043
380	0.053	0.033	0.043
390	0.069	0.050	0.048
400	0.076	0.059	0.059
410	0.083	0.061	0.055
420	0.064	0.042	0.028
430	0.092	0.065	0.044
440	0.103	0.074	0.049
450	0.122	0.054	0.040
460	0.147	0.047	0.038
470	0.177	0.034	0.038
480	0.195	0.013	0.035
490	0.233	0.017	0.038
500	0.213	0.004	0.042
510	0.202	0.002	0.043
520	0.165	0.000	0.035
530	0.094	-0.008	0.029
540	0.036	-0.010	0.025
550	0.021	0.005	0.036
560	0.019	0.012	0.036
570	-0.015	-0.011	0.012
580	0.001	0.018	0.041
590	-0.013	0.012	0.024
600	-0.001	0.033	0.034
610	0.005	0.035	0.034

ตารางที่ ก.1 ผลการวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของตัวอย่างน้ำสีส้ม สีเขียว และสีดำ (ต่อ)

ความยาวคลื่น (nm)	ค่าดูดกลืนแสง (OD)		
	น้ำสีส้ม (A)	น้ำสีเขียว (A)	น้ำสีดำ (A)
620	-0.005	0.042	0.031
630	-0.003	0.046	0.030
640	0.014	0.050	0.032
650	-0.007	0.051	0.024
660	-0.004	0.053	0.022
670	-0.001	0.055	0.022
680	-0.008	0.045	0.012
690	-0.004	0.036	0.012
700	-0.003	0.021	0.009
710	-0.002	0.009	0.009
720	-0.001	0.001	0.007
730	0.000	0.004	0.004
740	-0.001	0.004	0.000
750	-0.005	0.003	-0.001

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองของตัวอย่างน้ำสีส้มที่ความยาวคลื่น 490 nm

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าดูดกลืนแสง			การลดลงของค่าดูดกลืนแสง (%)		
	1	2	3	1	2	3
0	0.233	0.233	0.233			
1	0.087	0.078	0.088	62.66	66.52	62.23
2	0.076	0.070	0.086	67.38	69.95	63.09
3	0.073	0.045	0.085	68.66	80.68	63.51
4	0.063	0.038	0.074	72.96	83.69	68.24
5	0.052	0.036	0.072	77.68	84.54	69.09
6	0.043	0.034	0.074	81.54	85.40	68.24
7	0.039	0.031	0.074	83.26	86.69	68.24
8	0.038	0.030	0.072	83.69	87.12	69.09
9	0.034	0.029	0.069	85.40	87.55	70.38
10	0.028	0.028	0.069	87.98	87.98	70.38
11	0.024	0.024	0.059	89.69	89.69	74.67
12	0.020	0.019	0.046	91.41	91.84	80.25
13	0.019	0.023	0.031	91.84	90.12	86.69
14	0.015	0.020	0.029	93.56	91.41	87.55
15	0.015	0.017	0.026	93.56	92.70	88.84
16	0.013	0.014	0.018	94.42	93.99	92.27
17	0.011	0.011	0.015	95.27	95.27	93.56
18	0.010	0.012	0.013	95.70	94.84	94.42
19	0.008	0.009	0.012	96.56	96.13	94.84
20	0.007	0.007	0.011	96.99	96.99	95.27
21	0.003	0.005	0.011	98.71	97.85	95.27
22	0.002	0.003	0.010	99.14	98.71	95.70
23	0.002	0.002	0.006	99.14	99.14	97.42
24	0.001	0.001	0.003	99.57	99.57	98.71

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองของตัวอย่างน้ำสีค่าที่ความยาวคลื่น 400 nm

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าดูดกลืนแสง			การลดลงของค่าดูดกลืนแสง (%)		
	1	2	3	1	2	3
0	0.059	0.059	0.059			
1	0.041	0.040	0.038	30.50	32.20	35.59
2	0.038	0.037	0.037	35.59	37.28	37.28
3	0.036	0.027	0.027	38.98	54.23	54.23
4	0.034	0.022	0.025	42.37	62.71	57.62
5	0.033	0.021	0.025	44.06	64.40	57.62
6	0.032	0.021	0.024	45.76	64.40	59.32
7	0.031	0.023	0.026	47.45	61.01	55.93
8	0.041	0.019	0.022	30.50	67.79	62.71
9	0.030	0.016	0.021	49.15	72.88	64.40
10	0.033	0.015	0.017	44.06	74.57	71.18
11	0.035	0.014	0.016	40.67	76.27	72.88
12	0.020	0.011	0.016	66.10	81.35	72.88
13	0.020	0.009	0.015	66.10	84.74	74.57
14	0.022	0.009	0.014	62.71	84.74	76.27
15	0.018	0.015	0.014	69.49	74.57	76.27
16	0.019	0.010	0.015	67.79	83.05	74.57
17	0.019	0.010	0.016	67.79	83.05	72.88
18	0.023	0.010	0.013	61.01	83.05	77.96
19	0.016	0.008	0.012	72.88	86.44	79.66
20	0.015	0.006	0.012	74.57	89.83	79.66
21	0.018	0.012	0.009	69.49	79.66	84.74
22	0.016	0.004	0.013	72.88	93.22	77.96
23	0.016	0.002	0.012	72.88	96.61	79.66
24	0.021	0.001	0.010	64.40	98.30	83.05

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองของตัวอย่างน้ำสีเขียวที่ความยาวคลื่น 440 nm

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าดูดกลืนแสง			การลดลงของค่าดูดกลืนแสง (%)		
	1	2	3	1	2	3
0	0.074	0.074	0.074			
1	0.071	0.089	0.064	4.05	20.27	13.51
2	0.066	0.069	0.062	10.81	6.75	16.21
3	0.065	0.063	0.060	12.16	14.86	18.91
4	0.063	0.074	0.058	14.86	0	21.62
5	0.061	0.068	0.057	17.56	8.10	22.97
6	0.060	0.055	0.052	18.91	25.67	29.72
7	0.057	0.068	0.049	22.97	8.10	33.78
8	0.041	0.057	0.050	44.59	22.97	32.43
9	0.037	0.041	0.044	50.00	44.59	40.54
10	0.031	0.041	0.039	58.10	44.59	47.29
11	0.029	0.038	0.037	60.81	48.64	50.00
12	0.026	0.036	0.036	64.86	51.35	51.35
13	0.025	0.033	0.027	66.21	55.40	63.51
14	0.023	0.030	0.017	68.91	59.45	77.02
15	0.020	0.027	0.016	72.97	63.51	78.37
16	0.016	0.024	0.015	78.37	67.56	79.72
17	0.016	0.024	0.015	78.37	67.56	79.72
18	0.014	0.023	0.013	81.08	68.91	82.43
19	0.011	0.017	0.012	85.13	77.02	83.78
20	0.008	0.013	0.006	89.18	82.43	91.89
21	0.006	0.012	0.005	91.54	83.78	93.24
22	0.004	0.010	0.003	94.59	86.48	95.94
23	0.003	0.008	0.002	95.94	89.18	97.29
24	0.002	0.003	0.001	97.29	95.94	98.64

ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองระบบของน้ำเสียจากบริษัท อุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัด

เวลา (ชั่วโมง)	ค่า COD			ประสิทธิภาพของการบำบัดค่า COD (%)		
	1	2	3	1	2	3
0	1389.47	1476.92	1427.02			
12	1263.15	1353.84	1297.29	9.09	8.33	9.09
24	1136.84	1292.30	1167.56	18.18	12.50	18.18
36	1010.52	1230.76	1037.83	27.27	16.67	27.27
48	884.21	1107.69	908.10	36.36	25.00	36.36
60	757.89	984.61	778.51	45.45	33.33	45.45
72	694.73	861.53	713.51	50.00	41.67	50.00
84	631.57	738.46	648.64	54.55	50.00	54.55
96	505.26	615.38	518.91	63.64	58.33	63.64
108	378.94	492.30	389.18	72.73	66.67	72.73
120	252.63	369.23	324.32	81.82	75.00	77.27
132	189.47	246.15	259.45	86.36	83.33	81.82
144	126.31	123.07	129.72	90.91	91.67	90.91
156	63.15	61.53	64.86	95.46	95.83	95.45

ตารางที่ ก.6 ผลการทดลองระบบของน้ำเสียจากบริษัท เอี่ยมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด

เวลา (ชั่วโมง)	ค่า COD			ประสิทธิภาพของการบำบัดค่า COD (%)		
	1	2	3	1	2	3
0	1531.91	1600.00	1472.72			
12	1429.78	1546.67	1418.18	6.67	3.33	3.70
24	1378.72	1493.33	1363.63	10.00	6.67	7.41
36	1327.65	1386.67	1309.09	13.33	13.33	11.11
48	1225.53	1280.00	1200.00	20.00	20.00	18.52
60	1123.40	1173.33	1145.45	26.67	26.67	22.22
72	1021.27	1120.00	1090.90	33.33	30.00	25.93
84	919.14	1013.33	981.81	40.00	36.67	33.33
96	817.02	960.00	872.72	46.67	40.00	40.74
108	714.89	853.33	763.63	53.33	46.67	48.15
120	612.76	746.67	654.54	60.00	53.33	55.56
132	561.70	640.00	545.45	63.33	60.00	62.96
144	510.63	533.33	490.90	66.67	66.67	66.67
156	408.51	426.67	436.36	73.33	73.33	70.37
168	306.38	320.00	327.27	80.00	80.00	77.78
180	204.25	213.33	218.18	86.67	86.67	85.18
192	102.12	106.67	109.09	93.33	93.33	92.59

ตารางที่ ก.7 ผลการทดลองระบบของน้ำเสียที่เตรียมขึ้นเอง

เวลา (ชั่วโมง)	ค่า COD			ประสิทธิภาพของการบำบัดค่า COD (%)		
	1	2	3	1	2	3
0	1339.53	1404.87	1353.84			
12	1227.90	1346.34	1230.76	8.33	4.17	9.09
24	1116.27	1287.80	1095.38	16.67	8.33	19.09
36	1060.46	1170.73	984.61	20.83	16.67	27.27
48	1004.65	1030.24	923.07	25.00	26.67	31.82
60	893.02	939.58	836.92	33.33	33.12	38.18
72	814.88	819.51	738.46	39.17	41.67	45.45
84	747.90	702.43	615.38	44.17	50.00	54.55
96	669.76	526.82	492.30	50.00	62.50	63.64
108	558.13	351.21	430.76	58.33	75.00	68.18
120	390.69	234.14	369.23	70.83	83.33	72.73
132	245.58	175.60	246.15	81.67	87.50	81.82
144	111.62	93.65	86.15	91.67	93.33	93.64

ตารางที่ ก.9 ผลการทดลองระบบของน้ำเสียจากบริษัท เอี่ยมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด

เวลา (ชั่วโมง)	ค่า BOD			ประสิทธิภาพของการบำบัดค่า BOD (%)		
	1	2	3	1	2	3
0	963.93	1003.14	992.65			
12	896.44	908.75	878.68	7.00	9.41	11.48
24	773.94	870.18	799.64	19.71	13.25	19.44
36	704.29	827.03	750.78	26.94	17.56	24.37
48	663.21	753.64	691.94	31.20	24.87	30.29
60	612.10	708.20	602.36	36.50	29.40	39.32
72	570.67	661.87	527.87	40.80	34.02	46.82
84	485.65	569.60	484.99	49.62	43.22	51.14
96	411.79	526.24	414.63	57.28	47.54	58.23
108	376.18	473.17	358.69	60.97	52.83	63.87
120	333.85	428.66	306.61	65.37	57.29	69.11
132	285.36	357.59	241.62	70.40	64.35	75.66
144	235.25	300.19	203.52	75.59	70.07	79.50
156	160.06	241.30	176.67	83.40	75.95	82.20
168	107.43	122.71	106.70	88.85	87.77	89.25
180	55.42	54.41	47.53	94.25	94.58	95.21
192	14.50	15.44	17.67	98.50	98.46	98.22

ตารางที่ ก.10 ผลการทดลองระบบของน้ำเสียที่เตรียมขึ้นเอง

เวลา (ชั่วโมง)	ค่า BOD			ประสิทธิภาพของการบำบัดค่า BOD (%)		
	1	2	3	1	2	3
0	650.63	618.32	565.23			
12	579.22	579.33	515.75	10.98	6.31	8.75
24	510.29	525.84	493.20	21.57	14.96	12.74
36	441.12	483.09	437.22	32.20	21.87	22.65
48	386.88	454.689	374.77	40.54	26.46	33.70
60	332.34	400.98	306.78	48.92	35.15	45.72
72	282.79	356.67	294.22	56.54	42.32	47.95
84	258.73	299.96	215.27	60.23	51.49	61.91
96	214.04	239.56	204.14	67.10	61.26	63.88
108	146.93	190.95	174.82	77.42	69.12	69.07
120	120.71	124.40	100.85	81.45	79.88	82.16
132	57.21	66.19	60.47	91.21	89.30	89.30
144	19.52	16.62	19.45	97.00	97.31	96.56

ประวัติผู้เขียน

นายเกษม ประดิษฐ์วัฒนกิจ เกิดเมื่อวันที่ 23 กันยายน พ.ศ. 2528 ที่อำเภอบางมูลนาก จังหวัดพิจิตร เริ่มศึกษาระดับอนุบาล ถึงประถมศึกษา ที่โรงเรียนอนุบาลบางมูลนาก “ราษฎร์อุทิศ” อำเภอบางมูลนาก จังหวัดพิจิตร และสำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนบางมูลนากภูมิวิทยาคม อำเภอบางมูลนาก จังหวัดพิจิตร เมื่อ พ.ศ. 2546 ในภายหลังได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมาและสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2550 จากนั้นจึงได้ศึกษาต่อระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ในกลุ่มวิจัยไฟฟ้ากำลังและพลังงาน สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยระหว่างศึกษาระดับปริญญาโท มีประสบการณ์สอนเป็นผู้สอนปฏิบัติการของสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีจำนวน 3 รายวิชา ได้แก่ (1) ปฏิบัติการเครื่องจักรกลไฟฟ้า (2) ปฏิบัติการจักรกลไฟฟ้า 1 และ (3) ปฏิบัติการระบบไฟฟ้ากำลัง 2 โดยมีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษาดังปรากฏในภาคผนวก ทั้งนี้ผู้วิจัยมีความสนใจทางด้านระบบไฟฟ้ากำลังและวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง