ข้อมูลข่าวสาร วศ.

ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

วศ
กฟ
อว 45

เอกสารรายงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง

นักวิทยาศาสตร์ 8 ว.

เรื่องที่ 2

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของตัวอย่างน้ำเสียและน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โรงงานกำจัดขยะ และอาคาร

โดย

นางพัชรียา ฉัตรเท

นักวิทยาศาสตร์ 7 ว.

กลุ่มงานสิ่งแวดล้อม
กองฟิสิกส์และวิศวกรรม
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

เอกสารรายงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง

นักวิทยาศาสตร์ 8 ว.

เรื่องที่ 2

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของตัวอย่างน้ำเสียและน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โรงงานกำจัดขยะ และอาคาร

ด้วยอภินันทนาการ
จาก
.....

เลขหมู่ ...
เลขทะเบียน 9939
วันที่ 11 พ.ค. 44

โดย

นางพัชรียา ฉัตรเท

นักวิทยาศาสตร์ 7 ว.

กลุ่มงานสิ่งแวดล้อม
กองฟิสิกส์และวิศวกรรม
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำเสียและน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งสกปรกต่าง ๆ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการประมาณค่าบีโอดีก่อนจะทำการวิเคราะห์หาผลที่ถูกต้องของค่าบีโอดี และหาสหสัมพันธ์ (correlation) ของค่าซีโอดีและบีโอดีโดยการใช้สูตรคำนวณทางสถิติคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient, r หรือ r_{xy}) การแปลความหมายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และการทดสอบนัยสำคัญ (Test of significance) ของค่า r ผลจากการศึกษาพบว่า ความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีต่อบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานผลิตสุรามีค่าเฉลี่ย 37.46 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน 0.889 ความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีต่อบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานผลิตยา มีค่าเฉลี่ย 6.03 ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน 0.754 ความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีต่อบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานผลิตเหล็กสเตนเลสและโลหะต่าง ๆ มีค่าเฉลี่ย 5.58 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน 0.891 ความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีต่อบีโอดีของน้ำเสียโรงงานผลิตน้ำอัดลม มีค่าเฉลี่ย 1.67 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน 0.993 ความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีต่อบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำอัดลม มีค่าเฉลี่ย 11.76 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน 0.866 ความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีต่อบีโอดีของน้ำทิ้งจากโรงงานกำจัดขยะมูลฝอย กรุงเทพมหานคร มีค่าเฉลี่ย 11.98 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน 0.755 ความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งจากโรงแรม อาคารพักอาศัย บ้านจัดสรร มีค่าเฉลี่ย 3.62 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน 0.802 สรุปผลได้ว่าค่าซีโอดีและบีโอดีในน้ำเสียและน้ำทิ้งเหล่านี้มีความสัมพันธ์กันจริง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (α) 0.01 และความสัมพันธ์กันทางบวก

นอกจากนี้ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้ยังนำมาใช้ในการออกแบบระบบบำบัดและควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งสกปรกต่าง ๆ เพื่อให้ได้คุณภาพและเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะเป็นการลดปัญหามลพิษทางน้ำ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการศึกษา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 3

1.3 ขอบเขตการศึกษา 3

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ 3

1.5 ระยะเวลาในการดำเนินการ 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 16

บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง 18

3.2 สารละลายมาตรฐาน 19

3.3 กระบวนการศึกษา 21

3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ 22

บทที่ 4 การศึกษาทดลอง

4.1 วิธีดำเนินการทดลอง 24

4.2 ผลการศึกษา 27

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา 32

5.2 ข้อเสนอแนะ 33

กิตติกรรมประกาศ 34

เอกสารอ้างอิง 35

สารบัญภาคผนวก

		หน้า
ภาคผนวก 1	ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำเสีย/น้ำทิ้ง.....	1-1
ภาคผนวก 2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำเสีย/น้ำทิ้ง.....	2-1
ภาคผนวก 3	ตารางแสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน, r_{xy} และค่า t ของน้ำเสีย/น้ำทิ้ง	3-1
	สูตรที่ใช้ในการคำนวณทั้งหมด	3-11
ภาคผนวก 4	ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535	4-1

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ก-1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสุรา	1-1
ก-2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมผลิตยา	1-2
ก-3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็กสเตนเลสและโลหะต่าง ๆ	1-3
ก-4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม	1-4
ก-5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม	1-5
ก-6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานกำจัดขยะมูลฝอยกรุงเทพมหานคร	1-6
ก-7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งโรงแรม อาคารพักอาศัยบ้านจัดสรร	1-7

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ค-1	แสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสุรา	3-1
ค-2	แสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตยา	3-2
ค-3	แสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก สเตนเลสและโลหะต่าง ๆ	3-3
ค-4	แสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม	3-4
ค-5	แสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม	3-5
ค-6	แสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมโรงงานกำจัดขยะมูลฝอย กรุงเทพมหานคร	3-6
ค-7	แสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของงน้ำทิ้งจากโรงแรมอาคารพักอาศัย บ้านจัดสรร	3-7
ค-8	แสดงการทดสอบนัยสำคัญของค่า r_{xy} โดยวิธี t-test และ Pearson correlation coefficient ของค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำเสีย/น้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ	3-8
ค-9	แสดงค่าวิกฤตของค่าที (Critical Values of t)	3-9
ค-10	แสดงค่าวิกฤตของค่า r หรือ r_{xy} (Pearson correlation coefficient)	3-10

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1	เส้นโค้งของบีโอดี	6
รูปที่ 2	ผลของความเป็นกรดด่าง ต่อค่าบีโอดี	9
รูปที่ 3	ผลของการเกิดไนโตรเจน ต่อการวิเคราะห์ค่าบีโอดี	10
รูปที่ 4	ผลความเข้มข้นของจุลินทรีย์ต่อค่าบีโอดี	11
ข-1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งในโรงงาน อุตสาหกรรมผลิตสุรา	2-1
ข-2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงาน อุตสาหกรรมผลิตยา	2-2
ข-3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงาน อุตสาหกรรมผลิตเหล็กสเตนเลสและโลหะต่าง ๆ	2-3
ข-4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำเสียโรงงาน อุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม	2-4
ข-5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงาน อุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม	2-5
ข-6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงาน กำจัดขยะมูลฝอย กรุงเทพมหานคร	2-6
ข-7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้ง โรงแรม อาคารพักอาศัย บ้านจัดสรร	2-7

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการศึกษา

ปัจจัยที่มีความสำคัญยิ่งต่อการดำรงชีพของมนุษย์ สัตว์ และพืช ตลอดจนสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย ปัจจัยหนึ่งคือน้ำ โดยเฉพาะมนุษย์ต้องการใช้น้ำเป็นปริมาณมากทั้งไว้ใช้ดื่มกินและใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ ในอดีตประเทศไทยเคยเป็นดินแดนอุดมสมบูรณ์ คนไทยสมัยนั้นมักตั้งบ้านเรือนอยู่บริเวณที่แม่น้ำไหลผ่านและอาศัยน้ำเพื่อใช้ดื่มกิน ปลูกผัก เลี้ยงสัตว์ ตลอดจนเป็นเส้นทางไปมาหาสู่กัน ปัจจุบันจำนวนคนได้เพิ่มมากขึ้น มีการติดต่อค้าขายและติดต่อกับต่างประเทศ ทำให้การดำเนินชีวิตของคนไทยเปลี่ยนแปลงไป จากเดิมที่เคยมีอาชีพเกษตรกรรม ปลูกผัก เลี้ยงสัตว์ ได้กลายมาเป็นอาชีพอุตสาหกรรม มีการนำเอาทรัพยากรมาใช้กันอย่างมากมาย จนบางอย่างร่อยหรอลงไป บางอย่างไม่สามารถหามาทดแทนหรือฟื้นฟูได้ โดยเฉพาะน้ำ น้ำถูกนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ มากมาย แล้วก็ถูกปล่อยทิ้งระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ การย่อยสลายของน้ำเสียจำนวนมากที่ทิ้งลงน้ำทำให้น้ำนั้นไม่สามารถคืนสู่สภาพเดิมได้ทันท่วงที จึงเกิดการเน่าเสียเป็นน้ำเน่าหรือน้ำเสีย ปัญหามลพิษที่เกิดขึ้นทางน้ำจึงเกิดจากสารจำพวกสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สารอินทรีย์เป็นสารที่มาจากสิ่งมีชีวิต สัตว์หรือพืช ได้แก่ แป้ง น้ำตาล โปรตีน ไขมัน วิตามิน ส่วนใหญ่อยู่ในพวกเศษอาหาร ซากพืช ซากสัตว์ ตลอดจนสิ่งปฏิกูลต่าง ๆ เมื่อปะปนมากับน้ำทิ้งแล้วระบายลงสู่แหล่งน้ำจำนวนมากจะทำให้เกิดจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำทำการย่อยสลายของเสียเหล่านี้โดยใช้ก๊าซออกซิเจนช่วยในการย่อยสลายไปด้วย ถ้าของเสียมีปริมาณมากจุลินทรีย์ประเภทใช้ออกซิเจนย่อยไม่ทันเนื่องจากในน้ำขาดออกซิเจนทำให้จุลินทรีย์พวกนี้ตาย จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะเกิดขึ้นและช่วยย่อยสลายของเสียที่เหลือ การย่อยสลายของจุลินทรีย์พวกนี้จะทำให้น้ำเน่าเสียเพราะจะเกิดก๊าซมีเทน แอมโมเนียและก๊าซไข่เน่าขึ้นมาเหนือผิวน้ำ ส่วนสารอินทรีย์เป็นสารที่มาจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น พลาสติก โฟม รวมทั้งโลหะเป็นพิษต่าง ๆ เช่น สารปรอท ตะกั่ว ทองแดง ตลอดจนสารปราบศัตรูพืช สารฆ่าแมลง สารเหล่านี้เมื่อเจือปนอยู่ในแหล่งน้ำจะทำให้น้ำเกิดการปนเปื้อนสารพิษ มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อยู่อาศัยในบริเวณแหล่งน้ำ สัตว์และพืชบางชนิดจะสะสมสารพิษไว้ เมื่อคนนำมากินก็อาจเกิดอันตรายถึงตายได้

โรงงานอุตสาหกรรมเป็นแหล่งที่มาของน้ำเสียแหล่งใหญ่แหล่งหนึ่งที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ ในการผลิตของอุตสาหกรรมทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมจำพวกอาหาร เครื่องดื่ม อุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล อุตสาหกรรมโลหะ อุตสาหกรรมฟอกหนัง อุตสาหกรรมเคมีและอื่น ๆ จำเป็นต้องใช้น้ำเพื่อล้างทำความสะอาด วัตถุดิบ น้ำหล่อเย็น น้ำล้างโรงงาน ซึ่งน้ำทิ้งจากโรงงานเหล่านี้จะมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ปะปนกันอยู่ จากสถิติของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ปี พ.ศ. 2540 ประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมทั้งสิ้น 141,855 โรงงาน จำแนกตามหมวดอุตสาหกรรมที่สำคัญเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ 18

ประเภท ซึ่งแต่ละกลุ่มได้ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางด้านความเน่าเสียของน้ำมากน้อยต่างกัน เช่น อุตสาหกรรมผลิตสุรา อุตสาหกรรมผลิตยา อุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม อุตสาหกรรมผลิตเหล็ก นอกจากนี้กองขยะมูลฝอยและน้ำทิ้งจากโรงแรม อาคารพักอาศัย บ้านจัดสรร ก็เป็นอีกแหล่งหนึ่งที่ควรศึกษา โดยนำตัวอย่างเหล่านี้มาวิเคราะห์ทางเคมีหรือทางชีวเคมีเพื่อหาความสกปรกหรือความเน่าเสียของน้ำนั้น

การหาความสกปรกหรือความเน่าเสียของน้ำนิยมหาในรูปของค่าบีโอดี (BOD หรือ Biochemical Oxygen Demand) ซึ่งค่าบีโอดีจะบอกถึงกำลังความสกปรกของน้ำเสียต่าง ๆ ในเทอมของออกซิเจนซึ่งต้องการใช้เมื่อปล่อยน้ำเสียนั้นลงสู่แม่น้ำลำคลองซึ่งมีสภาวะที่มีออกซิเจนอยู่ การหาค่าบีโอดียังมีความสำคัญในการควบคุมความสกปรกของลำธาร แม่น้ำต่าง ๆ เพราะค่าบีโอดีจะบอกถึงองศาของความสกปรกของแหล่งน้ำนั้นได้ทันที นอกจากนี้ยังใช้ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาด้วย แต่การวิเคราะห์หาค่าบีโอดีใช้เวลานานถึง 5 วัน ซึ่งเมื่อระบบบำบัดน้ำเสียมีปัญหาจะไม่สามารถแก้ไขได้ทันเวลา เพราะการควบคุมระบบบำบัดทางชีววิทยาต้องควบคุมค่าบีโอดี : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส (BOD : N : P) อย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นควรที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าบีโอดีกับค่าซีโอดี (COD หรือ Chemical Oxygen Demand) ซึ่งค่าซีโอดีเป็นค่าความเน่าเสียทางเคมีซึ่งใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 3 ชั่วโมงก็ทราบผลการวิเคราะห์ ทำให้สามารถแก้ไขควบคุมระบบที่มีปัญหาได้ทันท่วงที ดังนั้นในการวิเคราะห์เบื้องต้นควรทำการวิเคราะห์ควบคู่กันไป เพื่อหาความสัมพันธ์ที่คงที่ในน้ำเสีย/น้ำทิ้ง ของโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละประเภทก่อน หลังจากนั้นจึงนำความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีมาใช้ประโยชน์ในการประมาณค่าบีโอดีได้อย่างใกล้เคียงค่าแท้จริง เพราะค่าบีโอดีเป็นค่าความเน่าเสียของน้ำโดยใช้จุลินทรีย์เป็นตัวช่วยทำลายสารอินทรีย์ การวิเคราะห์จะต้องมีการเจือจางตัวอย่างก่อน มิฉะนั้นออกซิเจนในน้ำอาจไม่พอตลอดช่วงของการทดลอง (ออกซิเจนเป็นก๊าซที่ละลายน้ำได้น้อยคือประมาณ 9 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ 20 องศาเซลเซียส) การทำการเจือจางตัวอย่างน้ำเสียโดยดูจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีจะทำให้เลือกทำการเจือจางตัวอย่างได้ถูกต้องขึ้น การทำการเจือจางที่ผิดพลาดจะทำให้ไม่ได้ผลการวิเคราะห์บีโอดีต้องวิเคราะห์ซ้ำใหม่ แต่ตัวอย่างน้ำเสียไม่เหมาะจะนำมาวิเคราะห์ใหม่เพราะค่าความเน่าเสียหรือค่าความต้องการออกซิเจนจะเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาที่ยาวนาน ทำให้ข้อมูลที่ได้ภายหลังทำการวิเคราะห์ซ้ำไม่ถูกต้องตามความเป็นจริงนัก การนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการแก้ปัญหาระบบจึงอาจมีปัญหาผิดพลาดและเกิดผลเสียหายได้ ดังนั้นการนำความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีมาเป็นตัวช่วยจะทำให้การหาค่าบีโอดีสะดวก แม่นยำขึ้น ข้อผิดพลาดน้อยลง ไม่ต้องวิเคราะห์ซ้ำ และสามารถแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับระบบบำบัดได้ทันท่วงที และยังเป็นการแก้ปัญหามลพิษในแหล่งน้ำได้ดีขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ประโยชน์ในการประมาณค่าบีโอดีของตัวอย่างน้ำเสียและน้ำทิ้ง สามารถเลือกค่าการเจือจางตัวอย่างได้อย่างถูกต้องขึ้นโดยไม่ต้องวิเคราะห์ตัวอย่างซ้ำใหม่ นอกจากนี้ยังนำข้อมูลมาใช้ในการออกแบบระบบบำบัด ควบคุม แก้ไขระบบบำบัด เพื่อให้ได้คุณภาพและเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงแหล่งน้ำสาธารณะ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากแหล่งต่าง ๆ

1.3.1 น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสุรา

1.3.2 น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตยา

1.3.3 น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก สเตนเลสและโลหะต่าง ๆ

1.3.4 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม

1.3.5 น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม

1.3.6 น้ำทิ้งจากโรงงานกำจัดขยะมูลฝอย กรุงเทพมหานคร

1.3.7 น้ำทิ้งจากโรงแรม อาคารพักอาศัย บ้านจัดสรร

ตัวอย่างน้ำเสียและน้ำทิ้ง นำมาวิเคราะห์หาค่าบีโอดีและซีโอดีตามวิธีการ ในหนังสือ Standard methods for the examination of water and wastewater, AWWA APHA 19th ed, 1995 โดย

- วิเคราะห์หาค่าบีโอดี โดย Membrane electrode method โดยใช้เครื่องวัดปริมาณออกซิเจน (Dissolved Oxgen Meter)

- วิเคราะห์หาค่าซีโอดี โดย Open Reflux method โดยวิธีไทเทรต (Titrimatric Method)

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. นำข้อมูลที่ได้จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีมาใช้ในการคาดคะเนค่าบีโอดีของตัวอย่างนั้น เพื่อให้การวิเคราะห์ค่าบีโอดีในห้องปฏิบัติการไม่ผิดพลาด
2. นำข้อมูลที่ได้จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดี มาใช้ในการออกแบบระบบบำบัดและควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อให้ได้คุณภาพและเป็นไปตามมาตรฐานของน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงแหล่งน้ำสาธารณะ และยังสามารถแก้ไขระบบบำบัดได้ทันท่วงทีเมื่อเกิดปัญหาขึ้น
3. สามารถควบคุมการปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะโดยการเจือจางตัวอย่างน้ำก่อน
4. สามารถลดปัญหามลพิษทางน้ำซึ่งเกิดจากน้ำเสีย/น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม
5. เป็นการยืนยันความสัมพันธ์กันจริงระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำเสีย/น้ำทิ้งประเภทนั้น ๆ

6. ข้อมูลที่ได้สามารถนำมาเป็นแนวทางวิจัยในเรื่องที่เกี่ยวข้องต่อไป

1.5 ระยะเวลาในการดำเนินการ

เดือนตุลาคม 2539 – ธันวาคม 2541

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 บีโอดี คือ ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน จากขบวนการนี้แบคทีเรียจะได้รับพลังงานเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและแบ่งตัวต่อไป ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการออกซิไดส์สารอาหารเหล่านี้อาจเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำหรือแอมโมเนีย ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอาหาร [1] [2]

2.1.1.1 การย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย/น้ำทิ้ง และปฏิกิริยาในขวดบีโอดี

การใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียในการย่อยสารอินทรีย์ แบ่งออกเป็น 2 ระยะ ซึ่งอาจแสดงได้ด้วย BOD curve ดังในรูปที่ 1

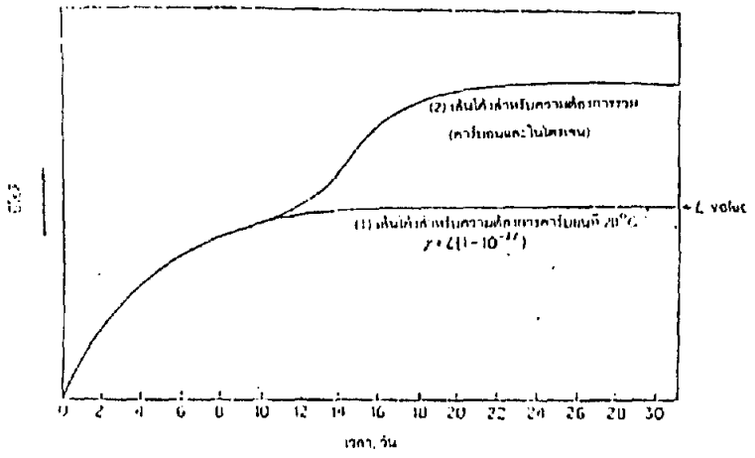
ระยะที่ 1 เป็นการออกซิไดส์ของสารประกอบคาร์บอน ดังสมการ

$$\text{carbohydrate} + O_2 \xrightarrow{\text{saprophytic bacteria}} CO_2 + H_2O \quad \text{.....①}$$

$$\text{protein} + O_2 \xrightarrow{\text{saprophytic bacteria}} CO_2 + NH_3 \quad \text{.....②}$$

ค่าของออกซิเจนในตัวอย่างที่ลดลงเนื่องจากถูกแบคทีเรียใช้ไปคือค่าบีโอดีที่หาได้

ระยะที่ 2 เป็นการออกซิไดส์ของ $NH_3 \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-$ ตามลำดับ โดยพวก autotrophic bacteria ชื่อ nitrifying bacteria ซึ่งมีอยู่น้อยในพวก raw sewage การแบ่งตัวของมันที่ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการหาค่าบีโอดีน้อยมาก ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียพวกนี้ใช้ในช่วงระยะ 5 วัน ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการหาค่าบีโอดีจึงน้อยมาก หลังจาก 10 วัน แบคทีเรียเหล่านี้จะมีจำนวนมากพอที่จะใช้ออกซิเจนในการออกซิไดส์สาร NH_3 [1]



รูปที่ 1 เส้นโค้งของบีโอดี (1) เส้นโค้งปกติในการเกิดออกซิเดชัน ของสารอินทรีย์
(2) อิทธิพลของการเกิดไนโตรเจน

ปฏิกิริยาในขวดบีโอดีก็เช่นเดียวกับปฏิกิริยาภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนดังกล่าวข้างต้น

2.1.1.2 ความสำคัญของค่าบีโอดี จะบอกถึงกำลังความสกปรกของน้ำเสียต่าง ๆ ในเทอมของออกซิเจนซึ่งต้องการใช้เมื่อปล่อยน้ำเสียนั้นลงสู่แม่น้ำลำคลองซึ่งมีสภาวะที่มีออกซิเจนอยู่ การหาค่าบีโอดียังมีความสำคัญในการควบคุมความสกปรกของลำธาร แม่น้ำต่าง ๆ เพราะค่าบีโอดีจะบอกถึงองศาของความสกปรกของแหล่งน้ำนั้นได้ทันที[10] นอกจากนี้ยังใช้ในการออกแบบในการกำจัดน้ำเสียด้วย [5]

การหาค่าบีโอดี เป็น bioassay procedure คือวิธีการที่ใช้สิ่งมีชีวิตในการวิเคราะห์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการวัดค่าออกซิเจนซึ่งแบคทีเรียใช้เพื่อย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสียภายใต้สภาวะที่เหมือนกับที่เกิดในธรรมชาติที่สุด เพื่อที่จะให้การวิเคราะห์เป็นปริมาณวิเคราะห์ จึงต้องทำให้แฟคเตอร์ต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่ออัตรารย่อยสลายคงที่ นั่นคือ ค่าบีโอดีมาตรฐานจะใช้อินคิวเบทที่อุณหภูมิ 20±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน สาเหตุที่ต้องใช้อุณหภูมิและเวลาดังกล่าวก็เพราะที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิของน้ำทั่วไป และ nitrifying bacteria เจริญเติบโตได้ช้าที่อุณหภูมินี้ ส่วนการเลือกใช้เวลาที่อินคิวเบท 5 วัน ก็เพราะถ้าเวลาน้อยกว่านี้ ปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปจะน้อยมาก และเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ออกซิเจนในระยะที่ 2 ดังกล่าวข้างต้น ประการสุดท้าย ถ้าเวลาอิน

คิวเบทนานเกินไปอาจไม่ทันกับการที่จะปล่อยน้ำเสียต่าง ๆ ลงแม่น้ำลำคลอง ซึ่งเขียนสัญญลักษณ์ของค่าบีโอดี ที่ใช้เวลาอินคิวเบท 5 วัน ว่า BOD_5

ในการหาค่าบีโอดี ควรคำนึงถึงแฟคเตอร์ต่าง ๆ ที่จะทำให้ค่าบีโอดีที่ได้มีค่าแน่นอนเชื่อถือได้ [1] โดยยึดหลักทั่วไปดังนี้

1. ใช้อุณหภูมิ 20±1 องศาเซลเซียส ในการอินคิวเบท เป็นเวลา 5 วัน

2. ไม่ควรให้ตัวอย่างสัมผัสกับอากาศและแสงสว่างเพื่อป้องกันการเติมออกซิเจนและการสังเคราะห์แสง (โดยอินคิวเบทในตู้มืด ปิดจุกขวดให้แน่นและใช้น้ำกลั่นหล่อบนจุกขวดสม่ำเสมอ)

3. น้ำบางชนิดมีความสกปรกมากจะต้องทำให้เจือจางก่อน มิฉะนั้นออกซิเจนในน้ำอาจไม่พอตลอดช่วงของการทดลอง (ออกซิเจนเป็นก๊าซที่ละลายน้ำได้น้อย คือประมาณ 9 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ 20 องศาเซลเซียส) ปกติสำหรับ raw sewage ใช้ 1-5% การทำเจือจาง ส่วนน้ำธรรมชาติทั่ว ๆ ไปใช้ 20 – 100% การทำเจือจาง (ด้วยน้ำสำหรับใช้เจือจาง) นอกจากนี้จะต้องให้ปริมาณออกซิเจนลดน้อยลงไปอย่างน้อย 2 มิลลิกรัมต่อลิตร และเหลือออกซิเจน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ของแต่ละตัวอย่าง

4.น้ำสำหรับใช้เจือจางควรปราศจากสารซึ่งไปหยุดยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เช่น ทองแดง คลอรีน นอกจากนี้ควรมีค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสม คือประมาณ 7 และประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นตลอดจนสารอื่น ๆ ที่แบคทีเรียต้องการ เช่น ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน เหล็ก แคลเซียม และแมกนีเซียม ข้อสำคัญคือต้องอิ่มตัวด้วยออกซิเจน

5. การเติมเชื้อ (seeding) เนื่องจากในน้ำตัวอย่างบางชนิดมีแบคทีเรียที่จะย่อยสารอาหารไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงต้องเติมแบคทีเรียชนิดต่าง ๆ ซึ่งพบมากในน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนลงไปด้วย เรียกแบคทีเรียที่เติมลงไปว่าน้ำเชื้อ (seed)

6.เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำสำหรับใช้เจือจางไม่มีสารหรือสิ่งที่จะไปหยุดยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ทุกครั้งที่ทำจึงควรมีตัวอย่างมาตรฐาน เช่น ใช้กลูโคสและกรดกลูตามิคทำควบคู่ไปกับตัวอย่างน้ำด้วย

2.1.1.3 สมการที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาบีโอดี [1]

การย่อยสลายของสารอินทรีย์เนื่องจากแบคทีเรียในน้ำภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน จัดเป็น first order reaction กล่าวคือ อัตราเร็วของปฏิกิริยาเป็นปฏิภาคกับปริมาณสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ ณ เวลานั้น ๆ เพราะฉะนั้นจะเห็นได้ว่าปริมาณสารอินทรีย์จะลดลงเรื่อย ๆ ทำนองเดียวกับออกซิเจนในน้ำที่ลดลง (เพราะต้องใช้ออกซิเจนไปย่อยสารอินทรีย์) และค่าบีโอดีก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งสารถูกย่อยสลายหมด ค่าบีโอดีที่ได้จะเป็นค่าบีโอดีทั้งหมดของน้ำนั้น เรียกกว่า ultimate demand เขียนแทนด้วยอักษร L ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าบีโอดีทั้งหมดของน้ำใดก็เปรียบได้กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำที่ถูกออกซิไดส์ อาจเขียนเป็นสมการของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำได้ดังนี้ [7]

$$-\frac{dC}{dt} = k'C$$

เมื่อ C เป็นความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเมื่อเริ่มต้นเวลา t

k' เป็นค่าคงที่

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ลดลง อาจใช้ L แทน C และ $-\frac{dL}{dt}$ จะแทนอัตราเร็ว ซึ่งสารอินทรีย์ถูกทำลาย เนื่องจากออกซิเจนถูกใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นอัตราส่วนโดยตรงกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดส์ ดังนั้น จึงอาจบอกค่า L ในรูปสารอินทรีย์ในน้ำหรือในรูปของออกซิเจนที่ถูกใช้ไปก็ได้ ดังสมการ

$$-\frac{dL}{dt} = k'L$$

$$-\int \frac{1}{L} dL = \int k' dt$$

$$\ln \frac{Lt}{L} = -k't$$

$$\frac{Lt}{L} = e^{-k't} = 10^{-k't} \text{ (หรือ } Lt = L \times 10^{-kt})$$

เมื่อ $k = \frac{k'}{2.303}$ จากสมการข้างต้น จะทราบถึงปริมาณสารอินทรีย์หรือบีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำที่เวลา t ถ้าต้องการจะทราบค่าบีโอดีที่ถูกใช้ไปก็หาได้โดยการดัดแปลงสมการ ดังนี้

$$1 - \frac{Lt}{L} = 1 - e^{-k't}$$

$$L - Lt = L(1 - e^{-k't})$$

ถ้า $y = L - Lt$ = บีโอดี ที่ถูกใช้ไปในเวลา t

$$y = L(1 - e^{-k't})$$

$$y = L(1 - 10^{-k't})$$

เมื่อ y = ค่าบีโอดี ที่เวลา t หรือคือปริมาณออกซิเจนเป็นมิลลิกรัมต่อลิตรที่ถูกใช้ไปในเวลา t

k = ค่าคงที่ซึ่งแปรผันไปตามอุณหภูมิของน้ำ ชนิดของแบคทีเรียและสารอินทรีย์ อาจหาได้จากการทดลอง มีค่าประมาณ 0.05 –0.3 ต่อวัน, ปกติประมาณ 0.1 ต่อวัน

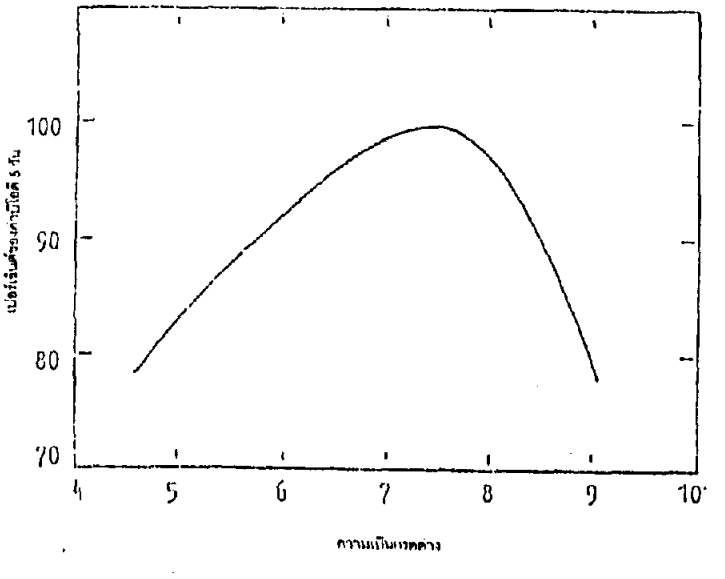
L = ค่าบีโอดีทั้งหมด เป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

2.1.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการหาค่าบีโอดี

การวิเคราะห์หาค่าบีโอดีเป็นวิธีทางชีวเคมีจึงขึ้นกับกิจกรรมของแบคทีเรีย [7] สภาวะแวดล้อมเป็นสิ่งสำคัญคือ ต้องเหมาะสมกับจุลินทรีย์เพื่อทำหน้าที่ได้ตลอดเวลา นั่นคือทุกอย่างที่มีอิทธิพลต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ต้องควบคุมเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ถูกต้อง[5] เพราะฉะนั้นการวิเคราะห์ค่าบีโอดี จึงเกิดการผิดพลาดได้ง่าย ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

2.1.1.4.1 <u>ความเป็นกรดด่าง</u>

Sawyer[5] เสนอว่าความเป็นกรดด่างของน้ำที่ใช้เจือจาง (dilution water) ควรมีค่าความเป็นกรดด่าง อยู่ในช่วง 6.5 – 8.5 เพื่อจะได้ไม่มีผลต่อกิจกรรมของ Saprophytic bacteria การวิเคราะห์บีโอดี ต้องปรับความเป็นกรดด่างของตัวอย่างให้เป็น 6.5 – 7.5 ถ้าความเป็นกรดด่าง อยู่ในช่วง 6.5 – 8.5 จะทำให้ค่าบีโอดี ไม่น่าเชื่อถือ ดังรูปที่ 2 [8]



รูปที่ 2 ผลของความเป็นกรดด่างต่อค่าบีโอดี

2.1.1.4.2 <u>สารอาหารเสริม</u>

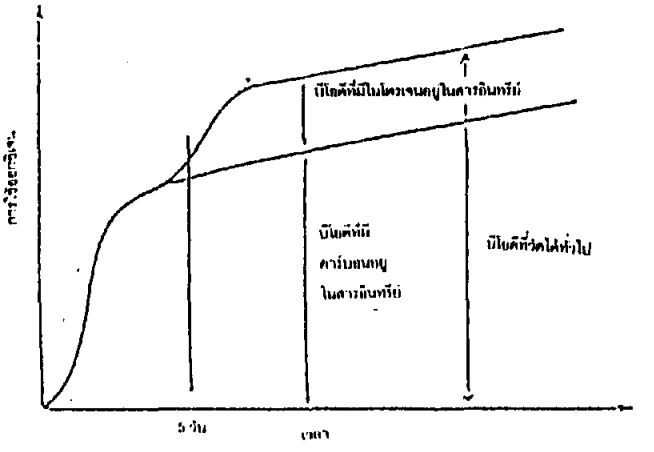
จำเป็นสำหรับแบคทีเรียใช้ในการเจริญเติบโต และการมีกิจกรรมต่าง ๆ สารอาหารเสริมที่สำคัญได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส กำมะถัน และมีโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี โคบอล ทองแดง และโมลิบดินั่มเล็กน้อย การวิเคราะห์หาค่าบีโอดี ถ้าขาดสารอาหารเสริมโดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัส จะทำให้ค่าบีโอดีต่ำกว่าความเป็นจริง [7]

2.1.1.4.3 <u>สารพิษ</u>

ตัวอย่างน้ำที่มีสารพิษ อาจมี bio-toxic หรือ bio-static effect ต่อจุลินทรีย์ ซึ่งทราบผลดังกล่าวโดยพิจารณาการเพิ่มการเจือจางน้ำตัวอย่าง มีผลทำให้บีโอดีเพิ่มตาม [9]

2.1.1.4.4 <u>Nitrification</u>

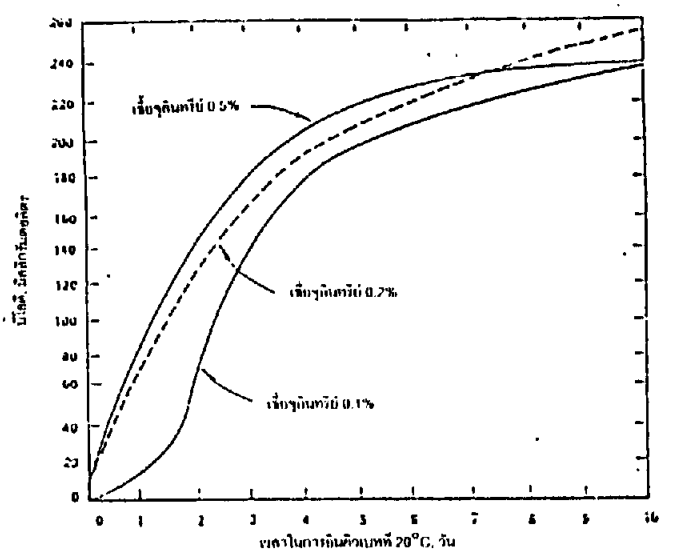
อุณหภูมิ 20°ซ nitrifying Bacteria มีจำนวนน้อย ดังนั้นน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมจะไม่เกิด nitrification ในช่วง 8- 10 วัน นับจากการวิเคราะห์ค่าบีโอดี [5] แต่ในกรณีศึกษาค่าบีโอดี ระยะ 20 วันหรือมากกว่า nitrification จะมีผลต่อค่าบีโอดี [9] ดังรูปที่ 3 ฉะนั้นจำเป็นต้องควบคุมการเกิด nitrification



รูปที่ 3 ผลของการเกิดไนโตรเจนต่อการวิเคราะห์ค่าบีโอดี

2.1.1.4.5 <u>ปริมาณจุลินทรีย์</u>

ปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้ในการวิเคราะห์มีความจำเป็นต้องสนใจ [6] เพราะว่าจากผลการทดลองมักเกิดความผิดพลาดเนื่องจากปริมาณจุลินทรีย์ไม่เพียงพอ จึงไม่ได้อัตราการเกิดออกซิเดชันในอัตราปกติ ผลความเข้มข้นของจุลินทรีย์ต่อค่าบีโอดี เป็นดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลความเข้มข้นของจุลินทรีย์ต่อค่าบีโอดี

2.1.1.4.6 <u>อุณหภูมิ</u>

ปฏิกิริยาทางชีวเคมีสามารถเร่งโดยเพิ่มอุณหภูมิ [11] ปฏิกิริยาของบีโอดี ก็เช่นกันพบว่าอุณหภูมิมีผลต่ออัตราเร็วของบีโอดี [1]

2.1.1.4.7 <u>เวลา</u>

เวลาเป็นปัจจัยสำคัญอันหนึ่งซึ่งมีผลต่อค่าบีโอดี กล่าวคือ มันมีผลต่อปริมาณการเกิดออกซิเดชั่นของสารอินทรีย์ [12] ซึ่งค่าบีโอดีของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเพาะเชื้อ 5 วัน ส่วนมากแปรผันจากร้อยละ 25 –95 ขณะที่น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนส่วนมากเป็นร้อยละ 70 ของค่าบีโอดีทั้งหมด [6]

2.1.1.4.8 <u>ความผิดพลาดอื่น ๆ</u>

ความผิดพลาดอื่น ๆ ที่มีผลต่อความเชื่อถือของค่าบีโอดีมักมีสาเหตุจากองค์ประกอบทางปฏิบัติการ เช่น การหาค่าบีโอดี ควรทำการเจือจางหลายระดับ ซึ่งตาม Standard method for the Examination of water and Wastewater [10] แนะนำว่าควรทำการเจือจาง 3

ระดับ Pranyodhin [13] อ้างถึง Shriver พบว่าตัวอย่างน้ำที่เขย่านานเป็นเหตุให้ค่าบีโอดีต่ำ เพราะว่าช่วงเวลาดังกล่าวจุลินทรีย์ถูกทำลาย ฉะนั้นการเพาะเชื้อช่วงแรกค่าบีโอดีมีค่าน้อย

2.1.2 ซีโอดี คือค่าความต้องการออกซิเจนของน้ำเสีย/น้ำทิ้ง ที่หาได้โดยวิธีการทางเคมี ดังนั้นค่าซีโอดี จึงแสดงถึงปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำทิ้ง ทั้งที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้และย่อยสลายไม่ได้ โดยปกติค่าซีโอดี จึงสูงกว่าค่าบีโอดีเสมอ [2] [10]

2.1.2.1 การย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย/น้ำทิ้ง

กำลังความสกปรกของน้ำเสีย/น้ำทิ้ง อาจบอกได้จากค่าซีโอดีซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการ เพื่อใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ประมาณ 95 – 98% โดยอาศัยหลักที่ว่าสารอินทรีย์เกือบทั้งหมด (ยกเว้นบางตัวเป็นส่วนน้อย) สามารถที่จะถูกออกซิไดส์โดยตัวเติมออกซิเจนอย่างแรงภายใต้สภาวะที่เป็นกรด [10] พวกอมิโนไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน และพวกสารอินทรีย์ไนโตรเจนก็จะถูกเปลี่ยนไนเตรต ดังสมการ [1]

$$C_nH_aO_bN_c + \left(n + \frac{a}{4} - \frac{b}{2} - \frac{3c}{4}\right)O_2 \longrightarrow n\,CO_2 + \left(\frac{a}{2} - \frac{3c}{2}\right)H_2O + c\,NH_3$$

สมการข้างบนนี้เกิดขึ้นทั้งในปฏิกิริยาของบีโอดี และซีโอดี ดังนั้นจะเห็นได้ว่าหลักของการหาซีโอดี คล้ายกับบีโอดี คือ สารอินทรีย์ในน้ำจะถูกออกซิไดส์จนได้คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำต่างกันที่บีโอดี ต้องใช้แบคทีเรียในการย่อยสลาย ส่วนซีโอดี ใช้ตัวเติมออกซิเจน ดังสมการ

$$\text{Organic C} + \text{Chemical Oxidising Agent} \xrightarrow[H^+]{} CO_2 + H_2O + \text{Reduced Oxidising Agent}$$

จากปริมาณตัวเติมออกซิเจนที่ใช้สามารถคำนวณหาปริมาณออกซิเจนที่ต้องการได้

2.1.2.2 หลักการของค่าซีโอดี

สารเติมออกซิเจนที่ใช้ในการหาค่าซีโอดี มีหลายตัว เช่น โพแทสเซียมเปอร์มังกาเนต และโพแทสเซียมไดโครเมต แต่ที่นิยมใช้กันมากเพราะให้ผลเป็นที่น่าเชื่อถือและแน่นอน คือ โพแทสเซียมไดโครเมต [10] นอกจากนี้โพแทสเซียมไดโครเมตยังราคาถูกและสามารถออกซิไดส์สารอินทรีย์ได้มากชนิดจนเกือบสมบูรณ์ได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ นอกจากนี้การวัดปริมาณของไดโครเมตที่เกินพอทำได้ง่ายและได้ผลที่แน่นอน และถ้าใช้สารเคมีนี้ชนิด analytical grade เอามาอบให้แห้งที่ 103 องศาเซลเซียส ก่อนใช้เตรียมน้ำยาให้ได้สารละลายที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน หลักการของวิธีนี้คือ โพแทสเซียมไดโครเมตจะไปออกซิไดส์สารอินทรีย์คาร์บอนในสภาวะที่เป็นกรดอย่างแรง ปฏิกิริยาจะเกิด

ขึ้นอย่างสมบูรณ์ถ้าใช้อุณหภูมิสูง ดังนั้น จึงใช้การรีฟลักซ์เพื่อป้องกันการสูญหายไปของสารที่ระเหยได้ซึ่งมีอยู่เดิมในตัวอย่างหรือซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยาไทเทรตโพแทสเซียมไดโครเมตที่เกินพอด้วยเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต โดยใช้เฟอร์โรอินเป็นอินดิเกเตอร์ ในที่นี้ใช้ Ag^{+} เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้โพแทสเซียมไดโครเมตสามารถออกซิไดส์พวกกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ อย่างไรก็ดีพวก aromatic hydrocarbon และ pyridine จะไม่ถูกออกซิไดส์ภายใต้สภาวะนี้ วัตถุประสงค์ในการเติม $HgSo_4$ ลงไปเพื่อกำจัดการขัดขวางการหาโดยคลอไรด์อิออน ปฏิกิริยาที่เกิดเป็นดังนี้

$$C_nH_aO_b + cCr_2O_7^{-2} + 8cH^{+} \longrightarrow n\,CO_2 + \frac{a+8c}{2}H_2O + 2c\,Cr^{+3}$$

เมื่อ $c = \frac{2}{3}n + \frac{a}{6} - \frac{b}{3}$

หรืออาจเขียนเป็นสมการง่าย ๆ ดังนี้

$$3\ \text{Organic}\ C^{0} + 2\,Cr_2O_7^{-2} + 16H^{+} \longrightarrow 3CO_2 + 4Cr^{+3} + 8H_2O$$

$$Cr_2O_7^{-2} + 6\,Fe^{+2} + 14H^{+} \xrightarrow{\text{Ferroin}} 6Fe^{+3} + 2Cr^{+3} + 7H_2O$$

โครเมียมอิออนในสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ซึ่งอยู่ในรูปของ Cr^{6+} ซึ่งมีสีเหลืองก็จะถูกรีดิวส์ให้เป็น Cr^{3+} ซึ่งมีสีเขียวแทน เมื่อนำมาไทเทรตกับเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (หรือ FAS) โดยใช้ Ferroin เป็นอินดิเคเตอร์จนได้จุดยุติ (end point) เป็นสีน้ำตาลแดง จากนั้นคำนวณหาปริมาณออกซิเจนซึ่งสมมูลย์กับสารอินทรีย์คาร์บอนได้

ในการหาค่าซีโอดี ควรคำนึงถึงแฟคเตอร์ต่าง ๆ ที่ทำให้ค่าซีโอดี ที่ได้มีค่าแน่นอนเชื่อถือได้ โดยยึดถือหลักทั่วไป ดังนี้ [1]

1. สารอินทรีย์คาร์บอนบางตัวไม่ถูกออกซิไดส์โดยไดโครเมต ทำให้ผลที่ได้น้อยกว่าเป็นจริง แก้โดยใช้ Ag^{+} เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2. คลอไรด์ซึ่งพบมากเสมอในน้ำโสโครกเป็นตัวลดออกซิเจนจะไปรีดิวซ์ไดโครเมต ทำให้ค่าซีโอดีที่ได้สูงกว่าที่เป็นจริง และตกตะกอน Ag^{+} ที่เติมลงไป

$$6\,Cl^{-} + Cr_2O_7^{-2} + 14H^{+} \longrightarrow 3\,Cl_2 + 2Cr^{+3} + 7H_2O$$

แก้ได้โดยการเติม $HgSO_4$ ลงไปในตัวอย่างก่อนเติมน้ำยาเคมีอื่น Hg^{+2} จะไปรวมกับ Cl^{-} เกิดเป็น complex $HgCl_2$ ดังนั้น Cl^{-} ที่เหลือจะน้อยมากซึ่งจะไม่สามารถไปรีดิวซ์ไดโครเมตที่ใช้และ Ag^{+} ไม่ตกตะกอน

3. ไนไทรต์ถ้ามีปริมาณมากจะทำปฏิกิริยากับไดโครเมตได้เป็นไนเตรต แก้ได้โดยเติมกรดซัลฟามิคลงในสารละลายไดโครเมต ซึ่งจะไปกำจัดไนไทรต์ ดังสมการ

$$NO_2^- + NH_2 - SO_3H \longrightarrow N_2 + H_2SO_4 + H_2O$$

4. การหาซีโอดี โดยวิธีนี้จะได้ผลดีแน่นอนสำหรับตัวอย่างที่มีค่าซีโอดี 50 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือมากกว่า (ใช้ไทเทรตด้วยไดโครเมต 0.25 นอร์มัล) ในกรณีที่ตัวอย่างมีค่าซีโอดีน้อยกว่านี้ ให้เพิ่มปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ แต่ต้องให้ปริมาตรของตัวอย่าง + ปริมาตรไดโครเมตต่อปริมาตรของกรดกำมะถัน เท่ากับ 1 ต่อ 1 เสมอ และให้ไทเทรตด้วยไดโครเมต 0.025 นอร์มัลแทนเพื่อลดข้อผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น

5. ต้องทำแบลงค์ทุกครั้ง แล้วนำไปลบออกจากตัวอย่าง เพื่อให้ได้ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ในตัวอย่างเท่านั้น

2.1.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์ค่าซีโอดี

1. อุณหภูมิและความเข้มข้นของกรด

อุณหภูมิที่ใช้ในการวิเคราะห์จะอยู่ในช่วง 146 – 150 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้สารอินทรีย์ส่วนใหญ่ถูกออกซิไดส์ได้ดี แต่มีสารประกอบบางตัวจะต้องอาศัยตัวเร่งและอุณหภูมิสูง ๆ ช่วยจึงถูกออกซิไดส์ได้ เช่น pyridine และอนุพันธ์สารประกอบพวก N-methylene และ S-methylene การเพิ่มของอุณหภูมิจะมีผลต่อปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ ที่ถูกใช้ไปและมีผลต่อการสลายตัวของ $K_2Cr_2O_7$ ด้วย อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 130 องศาเซลเซียส จะไม่มีการสลายตัวของ $K_2Cr_2O_7$ เลย แต่อุณหภูมิที่สูง 150 – 230 องศาเซลเซียสขึ้นไป ทำให้อัตราการสลายตัวของ $K_2Cr_2O_7$ เร็วมาก ทำให้ค่าซีโอดีที่วิเคราะห์ได้ผิดไป

ส่วนความเข้มข้นของกรดมีผลต่อการสลายตัวของ $K_2Cr_2O_7$[14] การสลายตัวได้เอง (self – decomposition) ของ $K_2Cr_2O_7$ จะเริ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดสูงเกินกว่า 45% v/v และจะสลายตัวอย่างสมบูรณ์เมื่อใช้ความเข้มข้นของกรดที่เหมาะสมที่สุด คือ 54.4% v/v

นอกจากอุณหภูมิและความเข้มข้นของกรดจะมีผลต่อการสลายตัวของ $K_2Cr_2O_7$ แล้ว ยังมีผลต่อการละลายของ $HgCl_2$ และ $HgSO_4$ ด้วย และเมื่อเติมสาร $HgSO_4$ ลงไปในสารละลายที่มีคลอไรด์ $HgSO_4$ จะจับกับคลอไรด์ เกิดเป็นสารประกอบ ดังสมการ

$$Hg^{2+} + Cl^- \longrightarrow HgCl^+$$

$$HgCl^+ + Cl^- \longrightarrow HgCl_2$$

$$HgCl_2 + Cl^- \longrightarrow HgCl_3^-$$

$$HgCl_3^- + Cl^- \longrightarrow HgCl_4^{2-}$$

เมื่อเติม Ag_2SO_4 ลงไปเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวเร่งและช่วยทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน (co-complexing agent) กับคลอไรด์ ดังสมการ

$$Ag^+ + Cl^- \longrightarrow AgCl$$

$$AgCl + Cl^- \longrightarrow AgCl_2$$

อุณหภูมิและความเข้มข้นของกรดจะไปมีผลต่อความสามารถในการที่ $HgSO_4$ และ Ag_2SO_4 จะจับกับ Cl^- เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของ $HgCl_2$ และ $AgCl_2$ ทำให้การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนนี้ลดต่ำลง การลดอิทธิพลของคลอไรด์ซึ่งขัดขวางการวิเคราะห์ซีโอดี ก็จะต่ำลงด้วย

2. ระยะในการย่อยสลาย (digestion time)

ถ้าระยะเวลาในการย่อยสลายเกิดอย่างต่อเนื่องนานหลายชั่วโมง จะทำให้การเกิดจุดยุติ (end point) ไม่คงที่แน่นอน โดยเฉพาะสารที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายและสารบางตัวความสามารถในการออกซิไดส์ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการย่อยสลาย ซึ่งผลจากการศึกษาของ Foulds และ Lunsford [19] พบว่าค่าซีโอดี จะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการย่อยสลายนานขึ้น

3. จุดยุติ (end point)

จุดยุติโดยวิธีไดโครเมตจะเกิดสีน้ำตาลแดง (red-brown) ของ Ferroin ($Fe(C_{12}H_8N_2)_3^{2+}$) ซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์ โดยเมื่อเติมอินดิเคเตอร์ลงไปในสารละลายที่มี $K_2Cr_2O_7$ อยู่ จะถูกออกซิไดส์เป็น ($Fe(C_{12}H_8N_2)_3^{3+}$) ซึ่งมีสี pale-blue เมื่อทำการไทเทรตด้วย FAS ไปเรื่อย ๆ ไดโครเมตก็จะถูกรีดิวซ์เป็น Cr^{3+} หมด เมื่อเติม FAS ต่อไป จะทำให้มี Fe^{2+} เหลือเกินพอ ก็จะปรากฏสีน้ำตาลแดงขึ้น แสดงว่าปฏิกิริยาได้ดำเนินถึงจุดยุติแล้ว

4. การหาความเข้มข้นของ FAS (standardization)

การหาความเข้มข้นของสารละลาย Ferrous Ammonium sulfate หรือ FAS ซึ่งใช้ในการไทเทรต จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาความเข้มข้นที่แน่นอนก่อนนำมาใช้ทุกครั้ง เพราะว่าความเข้มข้นของ FAS นี้จะลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากมีปริมาณความเข้มข้นของกรดต่ำ และ FAS เองก็มีคุณสมบัติเป็น reducing agent จึงถูกออกซิไดส์โดยออกซิเจนในอากาศ ทำให้ความเข้มข้นเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

5. การสลายตัวของ Dichromate reagent

$K_2Cr_2O_7$ ในกรดกำมะถันเข้มข้นที่เก็บไว้ในขวดแก้วใสหรือขวดแก้วสีชาที่อุณหภูมิห้องจะมีอัตราการสลายตัวของมันเองในอัตรา 3.7 – 0.62% ต่อสัปดาห์ แต่ถ้าเก็บในขวดแก้วใสใส่ไว้ในตู้เย็นจะทำให้สารนี้อยู่ตัวได้นานถึง 16 สัปดาห์

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ข้อดีและข้อเสียของ COD [1]

ข้อดี 1. รวดเร็ว ใช้เวลาในการหาเพียง 3 ชั่วโมงก็จะทราบผล ในขณะที่การหาค่า BOD ต้องใช้เวลาถึง 5 วัน

2. มีตัวแปรผันน้อย เมื่อเทียบกับการหา BOD และค่าที่ได้มีความแน่นอนน่าเชื่อถือกว่า

3. สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการหา BOD เหมาะสำหรับงานประจำ

4. สารมีพิษไม่ขัดขวางการหา COD ดังนั้นจึงเป็นวิธีเดียวที่ใช้หาค่าสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำเสีย ซึ่งมีสารมีพิษ ค่าที่ได้สามารถใช้ประมาณค่า BOD ทั้งหมดของน้ำเสีย

ข้อเสีย 1. ไม่สามารถที่จะใช้แยกค่าสารอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดส์ทางชีวะ หรือไม่ถูกออกซิไดส์ทางชีวะออกจากกันได้

2. ไม่สามารถให้ข้อคิดใด ๆ เกี่ยวกับอัตราที่สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายหรือออกซิไดส์ทางชีวะภายใต้สภาวะตามธรรมชาติ

ความสัมพันธ์ระหว่าง COD และ BOD

โดยปกติแล้วค่า COD จะสูงกว่าค่า BOD ทั้งนี้เนื่องจากสารอินทรีย์คาร์บอนถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยไม่ต้องอาศัยความสามารถในการดูดซึมทางชีวะ (biological asimilability) ของสารนั้น เช่น กลูโคสและลิกนินจะถูกออกซิไดส์อย่างสมบูรณ์ ผลก็คือทำให้ค่า COD สูงกว่า BOD และจะสูงกว่ามากถ้ามีสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถถูกออกซิไดส์ทางชีวะอยู่ด้วย เช่น เซลลูโลส น้ำเสียจากโรงงานกระดาษมีสารลิกนินอยู่สูง มีค่า COD สูงกว่า BOD แต่ในบางกรณีถ้าน้ำนั้นมีพวก aromatic hydrocarbon และ pyridine ซึ่งไม่ถูกออกซิไดส์ทางเคมี ค่า COD จะน้อยกว่าค่า BOD

สำหรับงานประจำ จากข้อมูลของ COD อาจใช้บอกค่า BOD อย่างคร่าว ๆ ได้โดยการพล็อตกราฟ ระหว่างค่า COD และ BOD เพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองของน้ำเสียแต่ละชนิด ซึ่งจาก Curve นี้สามารถจะใช้ประมาณค่า BOD ได้

ค่า COD ใช้มากในการวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังใช้ในการสำรวจออกแบบเพื่อพิจารณาและควบคุมเกี่ยวกับระบบท่อน้ำเสีย เนื่องจากผลที่ได้เร็วใช้เวลาไม่กี่ชั่วโมงในการหาจึงสามารถแก้ไขข้อผิดพลาดได้ทันที นอกจากนี้ถ้าใช้ร่วมกับ BOD จะบอกถึงสภาวะที่เป็นพิษหรือการมีสารอินทรีย์ที่ต้านต่อการออกซิไดส์ทางชีวะได้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Michael Meybeck และคณะ [15] ได้ทำการศึกษาอัตราส่วนของซีโอดีและบีโอดี ของน้ำเสียจากแหล่งต่าง ๆ พบว่าอัตราส่วนของน้ำเสียจากโรงงานผลิตนม น้ำเสียจากโรงงานผลิตสิ่งทอ น้ำโสโครกและน้ำโสโครกที่ผ่านการบำบัด เท่ากับ 1.62, 2.21 – 2.52, 1.68 – 2.43 และ 2.0 – 3.0 ตามลำดับ

Chen, Minyu : Fan, Luxin [17] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของบีโอดี และซีโอดี ของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น โรงงานผลิตอาหาร โรงงานพิมพ์ย้อม โรงงานผลิตกระดาษ พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง

Krishna, D; Reddy; P.J. และคณะ [18] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของบีโอดีและซีโอดี ของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอื่น ๆ พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงเช่นกัน

เสริมพล รัตสุข, ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์ [2] พบว่าค่าซีโอดีกับบีโอดี ของน้ำทิ้งชนิดหนึ่งไม่มีความสัมพันธ์กันแน่นอน แต่ในบางกรณีค่าซีโอดีกับบีโอดี อาจมีความสัมพันธ์กันแน่นอน สามารถประมาณค่าบีโอดี ได้จากค่าซีโอดี

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ [4] พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง BOD_5/COD เท่ากับ 0.40 ถึง 0.80

บทที่ 3
การดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

3.1.1 ขวดพลาสติกสำหรับบรรจุตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการทดลอง ขนาด 1 ลิตร มีฝาปิด ทำความสะอาดโดยล้างด้วยผงซักฟอก น้ำประปา น้ำกลั่น คว่ำทิ้งไว้ให้แห้ง

3.1.2 ตู้เย็น สำหรับเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ สามารถรักษาระดับอุณหภูมิได้คงที่ ที่ 4 องศาเซลเซียส

3.1.3 ตู้เพาะเชื้อ (incubator) พร้อมเครื่องควบคุมอุณหภูมิปรับอุณหภูมิได้โดยอัตโนมัติ 20±1 องศาเซลเซียส และสามารถป้องกันมิให้แสงผ่านเข้าไปได้

3.1.4 เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบจานเดียว (electronic balance) ชั่งได้ละเอียดถึง 0.00001 กรัม สำหรับชั่งสารเคมี เพื่อเตรียมสารเคมีมาตรฐานต่าง ๆ

3.1.5 ตู้อบ (hot air oven) ชนิดใช้อากาศ สามารถปรับอุณหภูมิได้โดยอัตโนมัติที่ 103±2 องศาเซลเซียส

3.1.6 ขวดบีโอดี (incubation bottle) ขนาด 300 มิลลิลิตร พร้อมจุกแก้วที่เป็นกราวจอยท์ และ BOD cap ก่อนนำมาใช้ทำความสะอาดด้วยการล้างด้วยน้ำยา Extran น้ำประปา และน้ำกลั่นตามลำดับ ทิ้งไว้ให้แห้ง

3.1.7 ขวดรีฟลักซ์ (refluxing flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร พร้อมเครื่องควบแน่น (condenser) ซึ่งมีแจ็กเก็ต (jacket) ขนาด 300 มม. มีกราวจอยท์ด้านนอก ขนาด 20/40

3.1.8 เครื่องวัดออกซิเจน (oxygen meter) ยี่ห้อ YSI รุ่น 59

3.1.9 เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH meter)

3.1.10 เดซิเคเตอร์ (desicator) สำหรับเก็บสารเพื่อดูดความชื้น

3.1.11 แท่นความร้อน (hot plate)

3.1.12 เครื่องแก้วต่าง ๆ

3.1.12.1 โหลแก้วขนาดบรรจุ 20 ลิตร สำหรับเตรียมน้ำกลั่นเจือจาง

3.1.12.2 ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 1 ลิตร

3.1.12.3 ปิเปตชนิด volumetric pipette ขนาด 1, 2, 5, 10, 20, 25, 50 และ 100 มิลลิลิตร

3.1.12.4 ปิเปตชนิด graduated pipettes ขนาด 1, 2, 5 และ 10 มิลลิลิตร

3.1.12.5 บิวเรต (burette) ขนาด 50 มิลลิลิตร

3.1.12.6 บีกเกอร์ (beaker) ขนาด 20, 50, 100 และ 1000 มิลลิลิตร

3.2 สารละลายมาตรฐาน (reagent)

3.2.1 น้ำกลั่น จะต้องมีคุณภาพดี กลั่นจากเครื่องกลั่นที่ทำด้วยแก้ว และต้องเป็นน้ำกลั่นซึ่งมีปริมาณของทองแดง (copper) น้อยกว่า 0.01 มก.ต่อลิตร และต้องปราศจากคลอรีน (chlorine) คลอรามีน (chloramines) ความเป็นด่างเนื่องจากไฮดรอกไซด์ (caustic alkalinity) อินทรีย์สารและกรด

3.2.2 สารละลายฟอสเฟต บัฟเฟอร์ (phosphate buffer solution) ละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 8.5 กรัม ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) 21.75 กรัม ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต เฮปต้าไฮเดรท ($Na_2HPO_4.7H_2O$) 33.4 กรัม และแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 1.7 กรัม ในน้ำกลั่น 500 ลบ.ซม. แล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้จะมีค่าความเป็นกรดด่าง เท่ากับ 7.2

3.2.3 สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride solution) ละลายแอนไฮดรัสแคลเซียมคลอไรด์ (anhydrous $CaCl_2$) 27.5 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร

3.2.4 สารละลายเฟอริคคลอไรด์ (Ferric chloride solution) ละลายเฟอริคคลอไรด์เฮกซาไฮเดรท ($FeCl_3.6H_2O$) 0.25 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร

3.2.5 สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต (Magnesium sulfate solution) ละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเฮปต้าไฮเดรท ($MgSO_4.7H_2O$) 22.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร

3.2.6 สารละลายแมงกานีสซัลเฟต (Manganese sulfate solution) ละลายแมงกานีสซัลเฟตเตต้าไฮเดรท ($MnSO_4.4H_2O$) 480 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตไดไฮเดรท ($MnSO_4.2H_2O$) 400 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรท ($MnSO_4.H_2O$) 364 กรัม ในน้ำกลั่น กรองแล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้จะต้องไม่เกิดสีกับน้ำแป้ง เมื่อเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide solution)

3.2.7 สารละลายกรดและด่าง (acid and alkali solution) เข้มข้น 1 นอร์มัล ใช้สำหรับปรับตัวอย่างน้ำที่เป็นกรดและด่างให้เป็นกลาง ก่อนที่จะนำมาวิเคราะห์

3.2.8 อัลคาร์ไล-ไอโอไดด์-เอไซดีรีเอเจนท์ (alkali-iodide-azine reagent) เตรียม 2 วิธี

3.2.8.1 ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 500 กรัม (หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 700 กรัม และโซเดียมไอโอไดด์ (NaI) 135 กรัม (หรือโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 150 กรัม) ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร เติมโซเดียมเอไซด์ (NaN_3) 10 กรัม ซึ่งเตรียมได้จากการละลายโซเดียมเอไซด์ 10 กรัม ในน้ำกลั่น 40 ลบ.ซม. สารละลายนี้ไม่ควรเกิดสีกับน้ำแป้ง เมื่อทำให้เป็นกรดหรือทำให้เจือจางลง

3.2.8.2 ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 กรัม ในน้ำกลั่น ซึ่งต้มไล่คาร์บอนไดออกไซด์ และทำให้เย็นเท่ากับอุณหภูมิห้อง จะเกิดความร้อนขึ้น ทิ้งไว้ให้เย็นอีกครั้งหนึ่ง เติมโซเดียมไอโอไดด์ 900 กรัม เติมโซเดียมเอไซด์ 10 กรัม ซึ่งเตรียมได้จากการละลายโซเดียมเอไซด์ 10 กรัม ในน้ำกลั่น 40 ลบ.ซม. ถ้าปริมาตรของสารละลายที่เตรียมยังไม่ถึง 1 ลิตร ทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร แต่ในทางปฏิบัติสารละลายที่เตรียมขึ้นนี้จะมีปริมาตรเกิน 1 ลิตร เล็กน้อยอยู่แล้ว โดยไม่ต้องทำให้เจือจางอีกเนื่องจากมีความเข้มข้นของเกลือที่ละลายอยู่สูง

3.2.9 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ชนิด analytical grade (sulfuric acid; H_2SO_4, conc.) ความเข้มข้นประมาณ 36 นอร์มัล

3.2.10 น้ำแป้ง (starch solution) ละลายแป้ง (soluble starch) 5 กรัม ในน้ำเย็นเล็กน้อย แล้วเทลงในน้ำซึ่งกำลังต้มเดือด 800 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร ต้มให้เดือนต่อไปอีก 2-3 นาที ตั้งทิ้งให้เย็น เติมกรด salicylic 1.25 กรัม เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำแป้งบูด

3.2.11 สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล ละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) 6.205 กรัม ในน้ำกลั่นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 นอร์มัล จำนวน 1.5 ลบ.ซม. หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัม แล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร

3.2.12 สารละลายกลูโคสและกรดกลูตามิค (glucose-glutamic acid) อบกลูโคสและกรดกลูตามิคที่ 103°C นาน 1 ชั่วโมง ชั่งอย่างละ 150 มก. ละลายในน้ำกลั่น นำมาผสมกัน แล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร

3.2.13 สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ (sodium sulfite solution) 0.025 นอร์มัล ละลาย Na_2SO_3 1.575 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร สารละลายนี้ไม่อยู่ตัวต้องเตรียมแต่ละครั้งที่จะใช้

3.2.14 สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นสำหรับซีโอดี (sulfuric acid reagent for ซีโอดี) ละลาย Ag_2SO_4 22 กรัม ลงใน H_2SO_4 conc. 2.5 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ Ag_2SO_4 ละลาย

3.2.15 เมอร์คิวริคซัลเฟต ($HgSO_4$) ชนิดผง Analytical grade

3.2.16 เงินซัลเฟต (Ag_2SO_4) ชนิดผง Ag_2SO_4

3.2.17 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.25 นอร์มัล ละลาย $K_2Cr_2O_7$ 12.259 กรัม (ซึ่งอบให้แห้งที่ 103 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง นำออกมาใส่เดซิเคเตอร์เป็นเวลา 20 นาที) ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร

3.2.18 สารละลายเฟอโรอิน อินดิเคเตอร์ (ferroin indicator solution) ละลาย 1, 10 Phenathroline Monohydrate 1.485 กรัม และ $FeSO_4.7H_2O$ 0.695 กรัม ในน้ำกลั่น ทำให้เจือจางเป็น 100 มิลลิลิตร

3.2.19 สารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.10 นอร์มัล ละลาย $Fe(NH_4)_2.6H_2O$ 39.2 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็น แล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร

สารละลายนี้จะต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอน ด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.25 นอร์มัล

การหาโดยนำสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 10 มิลลิลิตร เติมน้ำ 90 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 30 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็นแล้วนำมาไทเทรตกับสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต โดยหยดเฟอโรอิน อินดิเคเตอร์ 2-3 หยด

การคำนวณความเข้มข้นสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต

$$\text{นอร์มัล} = \frac{\text{ปริมาตรของ } 0.25\text{ N } K_2Cr_2O_7 \times 0.25}{\text{ปริมาตร } Fe(NH_4)_2.6H_2O \text{ ที่ใช้ในการไทเทรต}}$$

3.3 กระบวนการศึกษา

3.3.1 การวิเคราะห์หาค่าบีโอดีและซีโอดี

3.3.1.1 การวิเคราะห์หาค่าบีโอดี

ค่าบีโอดีที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้เป็นค่า BOD_5 คือใช้ในเวลาบ่ม 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20±1 องศาเซลเซียส วิธีการหาใช้วิธี Direct pipette หาค่าออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen) โดยใช้เครื่องวัดออกซิเจน (Dissolved Oxygen Meter) โดยทำการปรับตั้งเครื่องด้วยวิธี Azide Modification of Iodometric ตามที่กำหนดไว้ในเอกสารการวิเคราะห์ Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater 19th ed.1995[10] และคู่มือของเครื่องวัดออกซิเจน

3.3.1.2 การวิเคราะห์หาค่าซีโอดี

การวิเคราะห์ค่าซีโอดี ใช้วิธี Dichromate Open Reflux, Titrimetric Method ซึ่งกำหนดไว้ใน Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater 19th ed.1995 [10]

3.3.2 การเก็บและรักษาตัวอย่างน้ำ

3.3.2.1 การเก็บและรักษาตัวอย่างน้ำสำหรับหาค่าบีโอดี

ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการทดลองนี้ เก็บรักษาไว้ในตู้เย็นเก็บตัวอย่างที่มีอุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส และทำการวิเคราะห์ภายใน 48 ชั่วโมง

3.3.2.2 การเก็บและรักษาตัวอย่างน้ำสำหรับหาค่าซีโอดี

ทำให้มีสภาพเป็นกรดประมาณ 2 โดยเติม กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2 มิลลิลิตรต่อน้ำตัวอย่าง 1 ลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บไว้ได้นาน 7 วัน

3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ [3]

นำข้อมูลทั้งสองชุด คือค่า ซีโอดี (x) และค่าบีโอดี (y) ของตัวอย่างน้ำเสีย/น้ำทิ้ง ที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ ดังนี้

3.4.1 วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (mean, x หรือ y) ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) ค่าผลรวม (Σ) ค่าสูงสุด (maximum) ค่าต่ำสุด (minimum) ค่าผลรวมกำลังสองของตัวแปร Σx^2 หรือ Σy^2) ผลรวมของผลคูณของตัวแปรทั้งสอง (Σxy)

3.4.2 วิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient, r หรือ r_{xy}) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีซึ่งเป็นตัวแปรสองตัวว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ระดับใด และสัมพันธ์กันอย่างไร โดยพิจารณาดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าอยู่ระหว่าง –1 ถึง +1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสูงที่สุด แต่สัมพันธ์ในทิศทางที่ต่างกัน ส่วนค่า 0.00 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน

ถ้าค่า r_{xy} เป็นบวก แสดงว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางตามกันหรือมีความสัมพันธ์กันทางบวก

ถ้าค่า r_{xy} เป็นลบ แสดงว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกันหรือมีความสัมพันธ์กันทางลบ

ถ้าค่า r_{xy} เข้าใกล้ 1 (ประมาณ .70 ถึง .90) แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันสูง (ถ้าสูงกว่า .90 ถือว่าอยู่ในระดับสูงมาก)

ถ้าค่า r_{xy} เข้าใกล้ 0.05 (ประมาณ .30 ถึง .70) แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันอยู่ในระดับปานกลาง

ถ้าค่า r_{xy} เข้าใกล้ 0.00 (ประมาณ .30 และต่ำกว่า) แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันอยู่ในระดับต่ำ

ถ้าค่า r_{xy} เป็น 0.00 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรง

3.4.3 การทดสอบนัยสำคัญ (Test of significance) ของค่า r หรือ r_{xy}ที่คำนวณได้เพื่อการแปลผลได้อย่างถูกต้อง วิธีการทดสอบมี 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 ใช้การทดสอบค่าที (t – test)

วิธีการทดสอบมีขั้นตอน ดังนี้

(1) คำนวณค่า t จากสูตร

(2) เปิดตาราง หาค่า t ที่ df = N – 2 ณ ระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) = 0.01

(3) เปรียบเทียบค่า t ที่คำนวณได้กับค่า t ที่เปิดจากตาราง

ถ้า t คำนวณ $\geq$ t ตาราง แสดงว่าค่า r ที่คำนวณได้มีนัยสำคัญทางสถิติ แปลความหมายได้ว่าตัวแปร 2 ตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.....

ถ้า t คำนวณ $<$ t ตาราง แสดงว่าค่า r ที่คำนวณได้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แปลความหมายได้ว่า ตัวแปร 2 ตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

วิธีที่ 2 ใช้ตารางสำเร็จที่มีชื่อว่า ค่าวิกฤตของสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Critical values of the Pearson, r)

วิธีการทดสอบมีขั้นตอน ดังนี้

(1) เปิดตาราง – หาค่า r โดยกำหนดค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) = 0.01 และค่า df = N – 2

(2) เปรียบเทียบค่า r ที่คำนวณได้กับค่า r ที่เปิดจากตาราง

ถ้า r คำนวณ $\geq$ r ตาราง แสดงว่าค่า r ที่คำนวณได้มีนัยสำคัญทางสถิติ แปลความหมายได้ว่า ตัวแปร 2 ตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.....

ถ้า r คำนวณ $<$ r ตาราง แสดงว่าค่า r ที่คำนวณได้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แปลความหมายได้ว่า ตัวแปร 2 ตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

การคำนวณ และสูตรที่ใช้ในการคำนวณ แสดงในภาคผนวก 3

บทที่ 4
การศึกษาทดลอง

4.1 วิธีดำเนินการทดลอง

ทดลองกับตัวอย่างน้ำเสีย/น้ำทิ้ง จากโรงงานอุตสาหกรรม ผลิตสุรา ผลิตยา ผลิตเหล็ก สเตนเลส และโลหะต่าง ๆ ผลิตน้ำอัดลม ขยะมูลฝอย จาก กรุงเทพมหานคร และโรงแรม อาคารพักอาศัย บ้านจัดสรร โดยนำมาหาค่าบีโอดี และซีโอดี

4.1.1 วิธีวิเคราะห์หาค่าบีโอดี

4.1.1.1 การเตรียมน้ำกลั่นสำหรับเจือจางตัวอย่าง

น้ำกลั่นที่ใช้จะต้องปราศจากสารเป็นพิษ (toxic substance) จะต้องปรับอุณหภูมิของน้ำกลั่นให้มีอุณหภูมิ 20°C โดยนำไปแช่ในตู่เย็น เมื่อได้น้ำกลั่นที่ต้องการแล้ว นำมาเติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอ แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์ และเฟอริคคลอไรด์ อย่างละ 1 ml. ต่อน้ำ 1 ลิตร เพื่อที่จะทำให้มี pH อาหารและอุณหภูมิเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และทำให้มี O_2 ละลายจนอิ่มตัวโดยการเติมอากาศลงในน้ำกลั่นนั้น

4.1.1.2 การเติมจุลินทรีย์ (seeding) เพื่อที่จะให้มีจุลินทรีย์เพียงพอที่จะย่อยสลายอินทรีย์สาร การเลือกใช้ seed จะต้องให้เหมาะสมกับตัวอย่างนั้น ๆ ในการทดลองนี้ใช้ polyseed เตรียมโดยนำ polyseed 1 capsule เปิดฝา capsule ออก เทผง seed ลงในน้ำกลั่น 500 มล. พ่นอากาศประมาณ 1 ชั่วโมง เมื่อได้ seed ที่ต้องการแล้ว นำมาใช้โดยใส่ในขวดบีโอดี ขวดละ 2 ml

4.1.1.3 การเตรียมตัวอย่างน้ำก่อนการวิเคราะห์ (Pretreatment)

- ในกรณีที่ตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่เป็นกลาง จะต้องทำให้เป็นกลางโดยการเติมกรดซัลฟิวริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีความเข้มข้น 1 นอร์มัล จนกระทั่งตัวอย่างนั้นมีความเป็นกรดด่าง ประมาณ 7.0

- ในกรณีที่น้ำตัวอย่างมีสารประกอบพวกคลอรีนตกค้าง (residual chlorine) จะต้องกำจัดก่อน โดยปกติคลอรีนตกค้างจะลดลงเองเมื่อตั้งตัวอย่างทิ้งไว้ 1-2 ชั่วโมง แต่ในตัวอย่างซึ่งมีคลอรีนตกค้างปริมาณมาก ๆ จะต้องกำจัดโดยการเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ ซึ่งจะทราบปริมาณว่าต้องเติมไปเท่าใด (โดยนำน้ำตัวอย่างมาในปริมาณที่เหมาะสม ระหว่าง 100-1000 ml เติม 10 ml กรดอาซิติก 1 + 1 หรือกรดซัลฟิวริก 1 + 50 เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 10 ลบ.ซม. (ทำได้โดยละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 10 กรัม ในน้ำกลั่น 100 ml) แล้วไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ 0.025 นอร์มัล โดยใช้น้ำแป้ง-ไอโอไดด์ (Starch-iodide) เป็นอินเดเตอร์ จากนี้ก็จะทราบปริมาณของโซเดียมซัลไฟต์

ที่ใช้เติมลงไปในตัวอย่าง หลังจากเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ ตามปริมาณที่คำนวณได้ลงในตัวอย่างแล้ว กวนให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 10-20 นาที

4.1.1.4 ขั้นตอนการหาบีโอดี

4.1.1.4.1 วิธีทำให้ตัวอย่างมีความสกปรกเจือจางลง (Dilution technic) ทดลองอย่างน้อย 3 ความเข้มข้น ในกรณีที่พอจะทราบความสกปรกแล้ว ก็อาจทำเป็น 2 ความเข้มข้นได้ สามารถดูจากตารางได้ ดังนี้

ตารางที่ 1 การเจือจางของตัวอย่างน้ำชนิดต่าง ๆ

การเจือจาง	ชนิดของตัวอย่าง
0.1 – 1.0%	น้ำเสียมาก
1 – 5%	น้ำเสีย
5 – 25%	น้ำทิ้ง
25 – 100%	น้ำแม่น้ำ

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า ตัวอย่างที่มีความเน่าเสียมากจะใช้เปอร์เซ็นต์การเจือจางน้อย ตัวอย่างที่มีความเน่าเสียน้อยจะใช้เปอร์เซ็นต์การเจือจางมาก

ตารางที่ 2 ค่าบีโอดีกับค่าการเจือจางตัวอย่าง

โดยวิธีเติมสารเจือจางโดยตรงในขวดบีโอดี (direct pipette)	
มิลลิลิตร	ค่าบีโอดี
0.02	30,000 – 105,000
0.05	12,000 – 42,000
0.10	6,000 – 21,000
0.20	3,000 – 10,500
0.50	1,200 – 4,200
1.0	600 – 2,100
2.0	300 – 1,050
5.0	120 – 420
10.0	60 – 210
20.0	30 – 105
50.0	12 – 42
100	6 – 21
300	0 - 7

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า บีโอดีที่มีค่ามากจะใช้ปริมาณการเจือจางตัวอย่างน้อย ส่วนบีโอดีที่มีค่าน้อยจะใช้ปริมาณการเจือจางตัวอย่างมาก เป็นวิธีการหาโดยเติมปริมาณการเจือจางลงในขวดบีโอดี ซึ่งมีความจุ 300 มิลลิลิตร โดยตรง

การเจือจางได้อัตราที่เหมาะสมแล้ว ปิเปตต์ตัวอย่างลงในขวดบีโอดีแล้วเติมน้ำที่ใช้ในการเจือจางตัวอย่างลงในขวดบีโอดี 3 ขวด ขวดหนึ่งนำไปหาค่า DO วันแรก (initial DO) อีกสองขวดปิดจุกให้แน่น นำไปเพาะเชื้อ (incubate) ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน หลังจากเพาะเชื้อครบ 5 วันแล้ว นำมาหาค่า DO ตัวอย่างที่ใช้ได้จะต้องมีค่า DO เหลืออยู่อย่างน้อย 1mg/l และมีการใช้ออกซิเจนไปอย่างน้อย 2 mg/l

4.1.1.4.2 การตรวจสอบคุณภาพของน้ำกลั่นซึ่งใช้ทำให้ความเข้มข้นของตัวอย่างเจือจางลง (dilution water control = DWC)

เติม dilution water ที่ยังไม่ได้ใส่ seed ลงในขวดบีโอดี 3 ขวด ขวดหนึ่งนำไปหาค่า DO ก่อน อีก 2 ขวดปิดจุกนำไปเข้าตู้เพาะเชื้อ หลังจากนั้นนำมาหาค่าการใช้ออกซิเจนไปหลังจาก incubate 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20°C ค่าที่ได้นี้ไม่ควรเกิน 0.2 ml ถ้าเกินไม่ควรนำไปใช้เป็นค่า blank correction

4.1.1.4.3 การตรวจสอบโดยใช้กลูโคส-กรดกลูตามิค (glucose-glutamic acid check)

เนื่องจากน้ำกลั่นที่ใช้อาจจะมีสารเป็นพิษเจือปนอยู่ โดยเฉพาะทองแดง ซึ่งจะทำให้ seed มีประสิทธิภาพลดลง ผลที่ได้ก็คือค่า BOD จะต่ำลง ควรตรวจสอบโดยใช้สารประกอบอินทรีย์บริสุทธิ์ ที่ทราบค่า BOD แล้ว ซึ่งได้แก่ กลูโคส และ กรดกลูตามิค โดยใช้อย่างละ 150±1 mg/l นำสารละลายกลูโคส และ กรดกลูตามิค ปิเปตใส่ขวดบีโอดี 5 มล. จำนวน 3 ขวด เติมน้ำที่ใช้ในการเจือจางที่เติม seed แล้ว ขวดหนึ่งนำไปหาค่า DO ก่อน อีก 2 ขวดปิดจุกนำไปเข้าตู้เพาะเชื้อ หลังจาก 5 วัน นำมาหาค่า DO 5 วัน เพื่อคำนวณเป็นค่าบีโอดี

4.1.2 การวิเคราะห์หาค่าซีโอดี

4.1.2.1 ปิเปตตัวอย่างน้ำหรือตัวอย่างน้ำที่ทำให้เจือจางลงไป 20 มล. ในขวดรีฟลักซ์ซึ่งมีเมอคิวรี (II) ซัลเฟต ($HgSO_4$) ประมาณ 0.4 กรัม เติมกรดซัลฟิวริคที่มีซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 2 มล. เขย่าให้เข้ากัน สังเกตว่ามีตะกอนสีขาวเกิดขึ้นหรือไม่ ถ้ามีแสดงว่ายังมีคลอไรด์อยู่ในตัวอย่างเติม $HgSO_4$ ลงไปอีกจนไม่เกิดตะกอนขาวเกิดเป็นสารละลายใสแทน ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 10 มล. ใส่ลูกแก้ว (glass bead) ลงไป 5-6 เม็ด เพื่อป้องกันการกระเด็นของสารเมื่อเกิดความร้อน นำขวดริฟลักซ์ต่อเข้ากับเครื่องควบแน่น เปิดน้ำเย็นให้ไหลผ่าน เติมกรดซัลฟิวริคที่มีซิลเวอร์ซัลเฟตอีก 28 มล. (รวมเป็น 30 มล.) ด้านบนของเครื่องควบแน่นเขย่าให้เข้ากัน ใช้บีกเกอร์เล็ก ๆ ปิดปลายด้านเปิดของเครื่อง

ควบแน่น เพื่อป้องกันสิ่งแปลกปลอมหลุดเข้าไป รีฟลักซ์ที่อุณหภูมิประมาณ 148°C เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น ล้างเครื่องควบแน่นด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย

4.1.2.2 เจือจางของผสมในขวดรีฟลักซ์ด้วยน้ำกลั่น จนมีปริมาตรรวมกันประมาณ 140 มล. ปล่อยให้เย็นลงเท่าอุณหภูมิห้อง นำมาไทเทรตหาปริมาณไดโครเมตที่มากเกินพอด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต โดยใช้เฟอโรอิน 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ เมื่อถึงจุดยุติจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินแกมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

4.1.2.3 ทำแบลงค์ (blank) โดยใช้น้ำกลั่นในปริมาตรที่เท่ากับตัวอย่างคือใช้น้ำกลั่น 20 มล. ทำการรีฟลักซ์เหมือนตัวอย่างทุกประการรวมทั้งน้ำยาเคมีที่ใช้ก็เท่ากันด้วย

4.2 ผลการศึกษา

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีและบีโอดี สรุปได้ดังนี้

4.2.1 โรงงานอุตสาหกรรมผลิตสุรา

ผลการศึกษาค่าความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสุรา ตามตารางที่ ก - 1 (ภาคผนวก1 - 1) เป็นผลของการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีระหว่าง 103 มก. ต่อลิตร ถึง 440 มก.ต่อลิตร และค่าบีโอดีระหว่าง 2 มก.ต่อลิตร ถึง 18 มก.ต่อลิตร พบว่าค่าซีโอดีต่อบีโอดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 37.46 และค่าบีโอดีต่อซีโอดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.03 และเมื่อนำค่าซีโอดีและบีโอดีมาหาความสัมพันธ์กัน โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน มีค่าเท่ากับ 0.889 ดังแสดงในตารางที่ ค - 1 (ภาคผนวก 3 - 1) เมื่อนำค่า r ที่คำนวณได้มาทดสอบนัยสำคัญดังแสดงในตารางที่ ค - 8 (ภาคผนวก 3 - 8) เมื่อพิจารณาการแปลผลว่าถูกต้องจริงโดยวิธี t-test พบว่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตสุรา ค่า t คำนวณจากสูตรมีค่า 8.237 ค่า t เปิดตารางที่ α 0.01 df 18 มีค่า 2.878 ดังนั้นผลที่ได้คือ t คำนวณ > t ตาราง แสดงว่า r ที่คำนวณได้มีนัยสำคัญทางสถิติ แปลความได้ว่าตัวแปร 2 ตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และเมื่อใช้วิธีจากตารางสำเร็จที่เรียกว่าค่าวิกฤตของสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ค่า r คำนวณจากสูตรมีค่า 0.889 ค่า r เปิดตามตารางที่ α 0.01 df 18 มีค่า 0.561 ดังนั้นผลที่ได้คือ r คำนวณ > r ตาราง แสดงว่า r ที่คำนวณได้มีนัยสำคัญทางสถิติ แปลความได้ว่าตัวแปร 2 ตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และมีความสัมพันธ์กันในทิศทางตามกันหรือมีความสัมพันธ์กันทางบวก แสดงว่าข้อมูลซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสุรามีความสัมพันธ์กันจริง มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (linear relationship) สัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกันดังแสดงในรูป ข – 1 (ภาคผนวก 2 – 1)

4.2.2 โรงงานอุตสาหกรรมผลิตยา

ผลการศึกษาค่าความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตยา ตามตารางที่ ก - 2 (ภาคผนวก1 - 2) เป็นผลของการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีระหว่าง. 90 มก.ต่อลิตร ถึง 1636 มก.ต่อลิตร และค่าบีโอดีระหว่าง 17 มก.ต่อลิตร ถึง 960 มก.ต่อลิตร พบว่าค่าซีโอดีต่อบีโอดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.03 และค่าบีโอดีต่อซีโอดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.22 และเมื่อนำค่าซีโอดีและบีโอดีมาหาความสัมพันธ์กัน โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน มีค่าเท่ากับ 0.754 ดังแสดงในตารางที่ ค - 2 (ภาคผนวก 3 - 2) เมื่อนำค่า r ที่คำนวณได้มาทดสอบนัยสำคัญดังแสดงในตารางที่ ค - 8 (ภาคผนวก 3 - 8) เมื่อพิจารณาการแปลผลว่าถูกต้องจริงโดยวิธี t-test พบว่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตยา ค่า t คำนวณจากสูตรมีค่า 4.870 ค่า t เปิดตารางที่ α 0.01 df 18 มีค่า 2.878 ดังนั้นผลที่ได้คือ t คำนวณ > t ตาราง แสดงว่า r ที่คำนวณได้มีนัยสำคัญทางสถิติ แปลความได้ว่าตัวแปร 2 ตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และเมื่อใช้วิธีจากตารางสำเร็จที่เรียกว่าค่าวิกฤตของสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ค่า r คำนวณจากสูตรมีค่า 0.754 ค่า r เปิดตามตารางที่ α 0.01 df 18 มีค่า 0.561 ดังนั้นผลที่ได้คือ r คำนวณ > r ตาราง แสดงว่า r ที่คำนวณได้มีนัยสำคัญทางสถิติ แปลความได้ว่าตัวแปร 2 ตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และมีความสัมพันธ์กันในทิศทางตามกันหรือมีความสัมพันธ์กันทางบวก แสดงว่าข้อมูลซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตยามีความสัมพันธ์กันจริง มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (linear relationship) สัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกันดังแสดงในรูป ข – 2 (ภาคผนวก 2 – 2)

4.2.3 โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก สเตนเลสและโลหะต่าง ๆ

ผลการศึกษาค่าความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก สเตนเลสและโลหะต่าง ๆ ตามตารางที่ ก - 3 (ภาคผนวก1 - 3) เป็นผลของการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีระหว่าง 14 มก.ต่อลิตร ถึง 100 มก.ต่อลิตร และค่าบีโอดีระหว่าง 3 มก.ต่อลิตร ถึง 20 มก.ต่อลิตร พบว่าค่าซีโอดีต่อบีโอดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.58 และค่าบีโอดีต่อซีโอดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.19 และเมื่อนำค่าซีโอดีและบีโอดีมาหาความสัมพันธ์กัน โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน มีค่าเท่ากับ 0.891 ดังแสดงในตารางที่ ค – 3 (ภาคผนวก 3 - 3) เมื่อนำค่า r ที่คำนวณได้มาทดสอบนัยสำคัญดังแสดงในตารางที่ ค - 8 (ภาคผนวก 3 - 8) เมื่อพิจารณาการแปลผลว่าถูกต้องจริงโดยวิธี t-test พบว่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเหล็ก สเตนเลสและโลหะต่าง ๆ ค่า t คำนวณจากสูตรมีค่า 8.327 ค่า t เปิดตารางที่ α 0.01 df 18 มีค่า 2.878 ดังนั้นผลที่ได้คือ t คำนวณ > t ตาราง แสดงว่า r ที่คำนวณได้มีนัยสำคัญทางสถิติ แปลความได้ว่าตัวแปร 2 ตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และเมื่อใช้วิธีจากตารางสำเร็จที่เรียกว่าค่าวิกฤตของสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ค่า r คำนวณจากสูตรมีค่า 0.891 ค่า r เปิดตามตารางที่ α 0.01 df 18 มีค่า 0.561 ดังนั้นผลที่ได้คือ r คำนวณ > r ตาราง แสดงว่า r

ที่คำนวณได้มีนัยสำคัญทางสถิติ แปลความได้ว่าตัวแปร 2 ตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และมีความสัมพันธ์กันในทิศทางตามกันหรือมีความสัมพันธ์กันทางบวก แสดงว่าข้อมูลซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก สเตนเลสและโลหะต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กันจริง มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (linear relationship) สัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกันดังแสดงในรูป ข – 3 (ภาคผนวก 2 – 3)

4.2.4 โรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม (น้ำเสีย)

ผลการศึกษาค่าความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม ตามตารางที่ ก - 4 (ภาคผนวก1 - 4) เป็นผลของการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีระหว่าง 925 มก.ต่อลิตร ถึง 2320 มก.ต่อลิตร และค่าบีโอดีระหว่าง 553 มก.ต่อลิตร ถึง 1422 มก.ต่อลิตร พบว่าค่าซีโอดีต่อบีโอดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.67 และค่าบีโอดีต่อซีโอดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.60 และเมื่อนำค่าซีโอดีและบีโอดีมาหาความสัมพันธ์กัน โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน มีค่าเท่ากับ 0.993 ดังแสดงในตารางที่ ค – 4 (ภาคผนวก 3 - 4) เมื่อนำค่า r ที่คำนวณได้มาทดสอบนัยสำคัญดังแสดงในตารางที่ ค - 8 (ภาคผนวก 3 - 8) เมื่อพิจารณาการแปลผลว่าถูกต้องจริงโดยวิธี t-test พบว่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำอัดลม ค่า t คำนวณจากสูตรมีค่า 35.669 ค่า t เปิดตารางที่ α 0.01 df 18 มีค่า 2.878 ดังนั้นผลที่ได้คือ t คำนวณ > t ตาราง แสดงว่า r ที่คำนวณได้มีนัยสำคัญทางสถิติ แปลความได้ว่าตัวแปร 2 ตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และเมื่อใช้วิธีจากตารางสำเร็จที่เรียกว่าค่าวิกฤตของสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ค่า r คำนวณจากสูตรมีค่า 0.993 ค่า r เปิดตามตารางที่ α 0.01 df 18 มีค่า 0.561 ดังนั้นผลที่ได้คือ r คำนวณ > r ตาราง แสดงว่า r ที่คำนวณได้มีนัยสำคัญทางสถิติ แปลความได้ว่าตัวแปร 2 ตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และมีความสัมพันธ์กันในทิศทางตามกันหรือมีความสัมพันธ์กันทางบวก แสดงว่าข้อมูลซีโอดีและบีโอดีของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม มีความสัมพันธ์กันจริง มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (linear relationship) สัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกันดังแสดงในรูป ข – 4 (ภาคผนวก 2 – 4)

4.2.5 โรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม (น้ำทิ้ง)

ผลการศึกษาค่าความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม ตามตารางที่ ก - 5 (ภาคผนวก1 - 5) เป็นผลของการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีระหว่าง 51 มก.ต่อลิตร ถึง 111 มก.ต่อลิตร และค่าบีโอดีระหว่าง 4 มก.ต่อลิตร ถึง 11 มก.ต่อลิตร พบว่าค่าซีโอดีต่อบีโอดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.76 และค่าบีโอดีต่อซีโอดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.09 และเมื่อนำค่าซีโอดีและบีโอดีมาหาความสัมพันธ์กัน โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน มีค่าเท่ากับ 0.866 ดังแสดงในตารางที่ ค – 5 (ภาคผนวก 3 – 5) เมื่อนำค่า r ที่คำนวณได้มาทดสอบนัยสำคัญดังแสดงในตารางที่ ค - 8 (ภาคผนวก 3 - 8) เมื่อพิจารณาการแปลผลว่าถูกต้องจริงโดยวิธี t-test พบว่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งจากโรง

งานผลิตน้ำอัดลม ค่า t คำนวณจากสูตรมีค่า 7.348 เปิดตารางที่ α 0.01 df 18 มีค่า 2.878 ดังนั้นผลที่ได้คือ t คำนวณ > t ตาราง แสดงว่า r ที่คำนวณได้มีนัยสำคัญทางสถิติ แปลความได้ว่าตัวแปร 2 ตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และเมื่อใช้วิธีจากตารางสำเร็จที่เรียกว่าค่าวิกฤตของสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ค่า r คำนวณจากสูตรมีค่า 0.866 ค่า r เปิดตามตารางที่ α 0.01 df 18 มีค่า 0.561 ดังนั้นผลที่ได้คือ r คำนวณ > r ตาราง แสดงว่า r ที่คำนวณได้มีนัยสำคัญทางสถิติ แปลความได้ว่าตัวแปร 2 ตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และมีความสัมพันธ์กันในทิศทางตามกันหรือมีความสัมพันธ์กันทางบวก แสดงว่าข้อมูลซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม มีความสัมพันธ์กันจริง มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (linear relationship) สัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกันดังแสดงในรูป ข – 5 (ภาคผนวก 2 – 5)

4.2.6 โรงงานกำจัดขยะมูลฝอย กรุงเทพมหานคร

ผลการศึกษาค่าความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งจากโรงงานกำจัดขยะมูลฝอย กรุงเทพมหานคร ตามตารางที่ ก - 6 (ภาคผนวก1 - 6) เป็นผลของการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีระหว่าง 9 มก.ต่อลิตร ถึง 21 มก.ต่อลิตร และค่าบีโอดีระหว่าง 1 มก.ต่อลิตร ถึง 2 มก.ต่อลิตร พบว่าค่าซีโอดีต่อบีโอดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.98 และค่าบีโอดีต่อซีโอดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.09 และเมื่อนำค่าซีโอดีและบีโอดีมาหาความสัมพันธ์กัน โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน มีค่าเท่ากับ 0.755 ดังแสดงในตารางที่ ค – 6 (ภาคผนวก 3 – 6) เมื่อนำค่า r ที่คำนวณได้มาทดสอบนัยสำคัญดังแสดงในตารางที่ ค - 8 (ภาคผนวก 3 - 8) เมื่อพิจารณาการแปลผลว่าถูกต้องจริงโดยวิธี t-test พบว่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำเสียจากโรงงานกำจัดขยะมูลฝอย กรุงเทพมหานคร ค่า t คำนวณจากสูตรมีค่า 4.885 เปิดตารางที่ α 0.01 df 18 มีค่า 2.878 ดังนั้นผลที่ได้คือ t คำนวณ > t ตาราง แสดงว่า r ที่คำนวณได้มีนัยสำคัญทางสถิติ แปลความได้ว่าตัวแปร 2 ตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และเมื่อใช้วิธีจากตารางสำเร็จที่เรียกว่าค่าวิกฤตของสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ค่า r คำนวณจากสูตรมีค่า 0.755 ค่า r เปิดตามตารางที่ α 0.01 df 18 มีค่า 0.561 ดังนั้นผลที่ได้คือ r คำนวณ > r ตาราง แสดงว่า r ที่คำนวณได้มีนัยสำคัญทางสถิติ แปลความได้ว่าตัวแปร 2 ตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และมีความสัมพันธ์กันในทิศทางตามกันหรือมีความสัมพันธ์กันทางบวก แสดงว่าข้อมูลซีโอดีและบีโอดีของน้ำเสียจากโรงงานกำจัดขยะมูลฝอย กรุงเทพมหานคร มีความสัมพันธ์กันจริง มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (linear relationship) สัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกันดังแสดงในรูป ข – 6 (ภาคผนวก 2 – 6)

4.2.7 โรงแรม อาคารพักอาศัย บ้านจัดสรร

ผลการศึกษาค่าความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งจากโรงแรม อาคารพักอาศัย บ้านจัดสรร ตามตารางที่ ก - 7 (ภาคผนวก1 - 7) เป็นผลของการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีระหว่าง 31 มก.ต่อลิตร ถึง 294 มก.ต่อลิตร และค่าบีโอดีระหว่าง 9 มก.ต่อลิตร ถึง 120 มก.ต่อลิตร พบว่าค่าซีโอดี

ต่อบีโอดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.62 และค่าบีโอดีต่อซีโอดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.38 และเมื่อนำค่าซีโอดีและบีโอดีมาหาความสัมพันธ์กัน โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน มีค่าเท่ากับ 0.802 ดังแสดงในตารางที่ ค – 7 (ภาคผนวก 3 – 7) เมื่อนำค่า r ที่คำนวณได้มาทดสอบนัยสำคัญดังแสดงในตารางที่ ค - 8 (ภาคผนวก 3 - 8) เมื่อพิจารณาการแปลผลว่าถูกต้องจริงโดยวิธี t-test พบว่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำเสียจากโรงแรม อาคารพักอาศัย บ้านจัดสรร ค่า t คำนวณจากสูตรมีค่า 5.696 เปิดตารางที่ α 0.01 df 18 มีค่า 2.878 ดังนั้นผลที่ได้คือ t คำนวณ > t ตาราง แสดงว่า r ที่คำนวณได้มีนัยสำคัญทางสถิติ แปลความได้ว่าตัวแปร 2 ตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และเมื่อใช้วิธีจากตารางสำเร็จที่เรียกว่าค่าวิกฤตของสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ค่า r คำนวณจากสูตรมีค่า 0.802 ค่า r เปิดตามตารางที่ α 0.01 df 18 มีค่า 0.561 ดังนั้นผลที่ได้คือ r คำนวณ > r ตาราง แสดงว่า r ที่คำนวณได้มีนัยสำคัญทางสถิติ แปลความได้ว่าตัวแปร 2 ตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และมีความสัมพันธ์กันในทิศทางตามกันหรือมีความสัมพันธ์กันทางบวก แสดงว่าข้อมูลซีโอดีและบีโอดีของน้ำเสียโรงแรม อาคารพักอาศัย บ้านจัดสรร มีความสัมพันธ์กันจริง มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (linear relationship) สัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกันดังแสดงในรูป ข – 7 (ภาคผนวก 2 – 7)

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีและค่าบีโอดีของน้ำเสีย/น้ำทิ้ง จากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ รวมทั้งน้ำทิ้งจากโรงกำจัดขยะมูลฝอย น้ำทิ้งจากโรงแรมอาคารพักอาศัย บ้านจัดสรร รวมทั้งหมด 7 ประเภท พบว่าจากการศึกษาหาสหสัมพันธ์ (correlation) ของค่าซีโอดีและค่าบีโอดี โดยการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ การแปลความหมายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และการทดสอบนัยสำคัญของค่า r น้ำเสีย/น้ำทิ้ง ทุกประเภทข้างต้น ค่าซีโอดีและค่าบีโอดีมีความสัมพันธ์กันจริง เป็นความสัมพันธ์ระดับสูงและระดับสูงมาก มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และเป็นความสัมพันธ์กันทางบวก โดย

ความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีต่อบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานผลิตสุรามีค่าเฉลี่ย 37.46
ความสัมพันธ์ของค่าบีโอดีต่อซีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานผลิตสุรามีค่าเฉลี่ย 0.03
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน 0.889

ความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีต่อบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานผลิตยามีค่าเฉลี่ย 6.03
ความสัมพันธ์ของค่าบีโอดีต่อซีโอดีตของน้ำทิ้งโรงงานผลิตยามีค่าเฉลี่ย 0.22
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน 0.754

ความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีต่อบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานผลิตเหล็กสเตนเลสและโลหะต่าง ๆ มีค่าเฉลี่ย 5.58
ความสัมพันธ์ของค่าบีโอดีต่อซีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานผลิตเหล็กสเตนเลสและโลหะต่าง ๆ มีค่าเฉลี่ย 0.19
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน 0.891

ความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีต่อบีโอดีของน้ำเสียโรงงานผลิตน้ำอัดลม มีค่าเฉลี่ย 1.67
ความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีต่อบีโอดีของน้ำเสียโรงงานผลิตน้ำอัดลม มีค่าเฉลี่ย 0.60
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน 0.993

ความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีต่อบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำอัดลม มีค่าเฉลี่ย 11.76
ความสัมพันธ์ของค่าบีโอดีต่อซีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำอัดลม มีค่าเฉลี่ย 0.09
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน 0.866

ความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีต่อบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานกำจัดขยะมูลฝอย กรุงเทพมหานคร มีค่าเฉลี่ย 11.98
ความสัมพันธ์ของค่าบีโอดีต่อซีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานกำจัดขยะมูลฝอย กรุงเทพมหานคร มีค่าเฉลี่ย 0.09

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน 0.755

ความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีต่อบีโอดีของน้ำทิ้งโรงแรม อาคารบ้านพักอาศัย บ้านจัดสรร มีค่าเฉลี่ย 3.62
ความสัมพันธ์ของค่าบีโอดีต่อซีโอดีของน้ำทิ้งโรงแรม อาคารบ้านพักอาศัย บ้านจัดสรร มีค่าเฉลี่ย 2.38
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน 0.802

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาหาความสัมพันธ์ของค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำเสียและน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งสกปรกอื่น ๆ ยังมีอีกหลายประการที่ยังไม่ได้ศึกษา เมื่อมีข้อมูลเพียงพอควรจะต้องนำมาศึกษาต่อไป เพื่อให้ได้ข้อมูลที่กว้างขึ้นและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น เพื่อสามารถนำมาสรุปผลและนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์แก่โรงงานอุตสาหกรรมอย่างแท้จริง รวมทั้งการศึกษาวิจัยต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานฉบับนี้ได้จัดทำสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยการให้คำแนะนำปรึกษาและเอื้อเฟื้อจาก ผู้อำนวยการกองฟิสิกส์และวิศวกรรม หัวหน้ากลุ่มงานสิ่งแวดล้อม รวมทั้งเจ้าหน้าที่ในกลุ่มงานสิ่งแวดล้อม ข้าพเจ้าขอขอบคุณทุกท่าน ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. กรรณิการ์ สิริสิงห. เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพมหานคร : ประยูรวงศ์, 2525.

2. เสริมพล รัตสุข, ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน. (Treatment of Liquid wastes of Industrial and Domestic Origins) มิถุนายน 2518.

3. ชูศรี วงศ์รัตนะ. เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย พิมพ์ครั้งที่ 7 เทพเนรมิตรการพิมพ์, มิถุนายน 2541.

4. เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. การบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Trectment) พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ.2539, 41

5. Sawyer, Clair N, McCarty, Perry L. Chemistry for Sanitary Engineers. 2nd ed. New York : McGraw-Hill Book Company, 1967 394-410.

6. Eckenfelder, W. Wesley, Jr. Principles of Water Quality Management. Boston : CBI Publishing Company, 1980 : 22-28.

7. Klein, Louis, River Pollution : Chemical Analysis. London : Butterworth Co., 1959 : 31-33.

8. Eckenfelder, W.W., Ford, D.L. Water Pollution Control : Experimental Procedures for Process Design. New York : The Pemberton Press, 1970 : 1-4.

9. McKinney, Ross E. Microbiology for Sanitary Engineers. New York : McGraw-Hill Book Company, 1962 : 172-177.

10. Standard method for the examination of water and wastewater 19th ed., AWWA, APHA 1995.

11. Phelps, Earle B. Public Health Engineering. London : John Wiley & Sons, 1948 : 309-312.

12. Gaudy, A.F. and Ramanathan, M.A Colorimetric Method for Determining Chemical Oxygen Demand. Water Pollution Control Federal 1964 : 36, 12 : 1479-1487.

13. Pranyodhin, Kasemsri. Standard Method for BOD Determination in the Tropics. M.S. Asian Institute of Technology, 1980 : 18-24.

14. Stones, T. The Effect of Acid Concentration on the Determination of Dichromate Value. Water Pollution Control 1974 : 73 : 673-684.

15. Michael Meybeck et.al. Global Fresh Water Quality, WHO and WNEP. USA. 1990.

16. Sherrard, J.H., Friedman, A.A., Rand, M.C. BOD : are there Alternatives Available. J. WPCF 1979; 51 : 1799-1804.

17. Chen, Minyu; Fan, Luxin. Correlation of BOD_5 to COD_{cr} in industrial Wastewater. Shanghai Juanjing Kexue 1991, 10(9), 32-3.

18. Krishna, D.; Reddy, P.J.; Gajghate, D.; Nandi, T. Association of COD and BOD for industrial Wastewaters. Indian J. Environ Prot. 1991, 11(12), 927-9.

19. Foulds, J.M. and Lunsford, J.V. An Analysis of the COD Method & Sewage Works, 1968; 115 : 112-115.

ภาคผนวก

ภาคผนวก 1

ลำดับที่	ซีโอดี มก.ต่อลิตร	บีโอดี มก.ต่อลิตร	ซีโอดี/บีโอดี	บีโอดี/ซีโอดี
1	440	18	24.44	0.04
2	414	17	24.35	0.04
3	369	16	23.06	0.04
4	345	10	34.50	0.03
5	312	6	52.00	0.02
6	289	8	36.13	0.03
7	289	10	28.90	0.03
8	287	6	47.83	0.02
9	285	6	47.50	0.02
10	280	7	40.00	0.03
11	235	9	26.11	0.04
12	233	5	46.60	0.02
13	206	8	25.75	0.04
14	202	5	40.40	0.02
15	201	5	40.20	0.02
16	176	5	35.20	0.03
17	172	4	43.00	0.02
18	164	4	41.00	0.02
19	163	4	40.75	0.02
20	103	2	51.50	0.02
ค่าต่ำสุด	103	2	23.06	0.02
ค่าสูงสุด	440	18	52.00	0.04
ผลรวม	5165	155	749.22	0.55
ค่าเฉลี่ย	258.25	7.75	37.46	0.03
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	89.00	4.51	9.40	0.01
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (r_{xy}) = 0.889				

ตารางที่ ก – 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานผลิตสุราที่มีค่าซีโอดี 103 มก. ต่อลิตร ถึง 440 มก.ต่อลิตร

ลำดับที่	ซีโอดี มก.ต่อลิตร	บีโอดี มก.ต่อลิตร	ซีโอดี/บีโอดี	บีโอดี/ซีโอดี
1	1636	278	5.88	0.17
2	1561	373	4.18	0.24
3	1390	960	1.45	0.69
4	1325	681	1.95	0.51
5	887	220	4.03	0.25
6	841	228	3.69	0.27
7	809	103	7.85	0.13
8	643	60	10.72	0.09
9	640	60	10.67	0.09
10	500	111	4.50	0.22
11	500	62	8.06	0.12
12	474	49	9.67	0.10
13	427	62	6.89	0.15
14	425	127	3.35	0.30
15	413	88	4.69	0.21
16	398	42	9.48	0.11
17	302	112	2.70	0.37
18	256	30	8.53	0.12
19	127	17	7.47	0.13
20	90	19	4.74	0.21
ค่าต่ำสุด	90	17	1.45	0.09
ค่าสูงสุด	1636	960	10.72	0.69
ผลรวม	13644	3682	120.50	4.49
ค่าเฉลี่ย	682.20	184.10	6.03	0.22
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	462.38	241.08	2.90	0.15
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (r_{xy}) = 0.754				

ตารางที่ ก – 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานผลิตยาที่มีค่าซีโอดี 90 มก. ต่อลิตร ถึง 1636 มก.ต่อลิตร

ลำดับที่	ซีโอดี มก.ต่อลิตร	บีโอดี มก.ต่อลิตร	ซีโอดี/บีโอดี	บีโอดี/ซีโอดี
1	100	20	5.00	0.20
2	88	18	4.89	0.20
3	79	18	4.39	0.23
4	72	12	6.00	0.17
5	69	17	4.06	0.25
6	67	17	3.94	0.25
7	65	10	6.50	0.15
8	62	10	6.20	0.16
9	59	7	8.43	0.12
10	57	8	7.13	0.14
11	48	12	4.00	0.25
12	45	6	7.50	0.13
13	37	10	3.70	0.27
14	37	9	4.11	0.24
15	36	5	7.20	0.14
16	32	5	6.40	0.16
17	32	4	8.00	0.13
18	21	4	5.25	0.19
19	16	3	5.33	0.18
20	14	4	3.50	0.29
ค่าต่ำสุด	14	3	3.50	0.12
ค่าสูงสุด	100	20	8.43	0.29
ผลรวม	1036	199	111.53	3.85
ค่าเฉลี่ย	51.80	9.95	5.58	0.19
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	23.904	5.48	1.53	0.05
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (r_{xy}) = 0.891				

ตารางที่ ก – 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานผลิตเหล็ก สเตนเลสและโลหะต่าง ๆ ที่มีค่าซีโอดี 14 มก. ต่อลิตร ถึง 100 มก.ต่อลิตร

ลำดับที่	ซีโอดี มก.ต่อลิตร	บีโอดี มก.ต่อลิตร	ซีโอดี/บีโอดี	บีโอดี/ซีโอดี
1	2320	1320	1.76	0.57
2	2296	1422	1.61	0.62
3	2218	1284	1.73	0.58
4	2048	1222	1.68	0.60
5	1927	1129	1.71	0.59
6	1802	1020	1.77	0.57
7	1698	1075	1.58	0.63
8	1611	960	1.68	0.60
9	1573	936	1.68	0.60
10	1490	894	1.67	0.60
11	1410	846	1.67	0.60
12	1315	795	1.65	0.60
13	1300	765	1.70	0.59
14	1221	742	1.65	0.61
15	1180	709	1.66	0.60
16	1158	747	1.55	0.65
17	1157	690	1.68	0.60
18	1051	637	1.65	0.61
19	1042	621	1.68	0.60
20	925	553	1.67	0.60
ค่าต่ำสุด	925	553	1.55	0.57
ค่าสูงสุด	2320	1422	1.77	0.65
ผลรวม	30742	18367	33.41	11.98
ค่าเฉลี่ย	1537.10	918.35	1.67	0.60
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	439.14	253.84	0.05	0.02
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (r_{xy}) = 0.993				

ตารางที่ ก – 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำเสียโรงงานผลิตน้ำอัดลม ที่มีค่าซีโอดี 925 มก.ต่อลิตร ถึง 2320 มก.ต่อลิตร

ลำดับที่	ซีโอดี มก.ต่อลิตร	บีโอดี มก.ต่อลิตร	ซีโอดี/บีโอดี	บีโอดี/ซีโอดี
1	90	8	11.25	0.09
2	82	7	11.71	0.08
3	86	7	12.29	0.08
4	68	6	11.33	0.09
5	80	7	11.43	0.09
6	70	5	14.00	0.07
7	71	7	10.14	0.10
8	72	7	10.29	0.10
9	66	5	13.20	0.08
10	91	7	13.00	0.08
11	90	8	12.38	0.09
12	72	5	14.40	0.07
13	57	4	14.25	0.07
14	111	11	10.09	0.10
15	101	10	10.10	0.10
16	111	8	13.88	0.07
17	74	7	10.57	0.09
18	62	5	12.40	0.08
19	57	6	9.50	0.10
20	51	5	10.20	0.10
ค่าต่ำสุด	51	4	9.50	0.07
ค่าสูงสุด	111	11	14.40	0.10
ผลรวม	1562	135	235.28	1.73
ค่าเฉลี่ย	78.10	6.75	11.76	0.09
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	17.11	1.74	1.57	0.01
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (r_{xy}) = 0.866				

ตารางที่ ก – 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำอัดลม ที่มีค่าซีโอดี 51 มก. ต่อลิตร ถึง 90 มก.ต่อลิตร

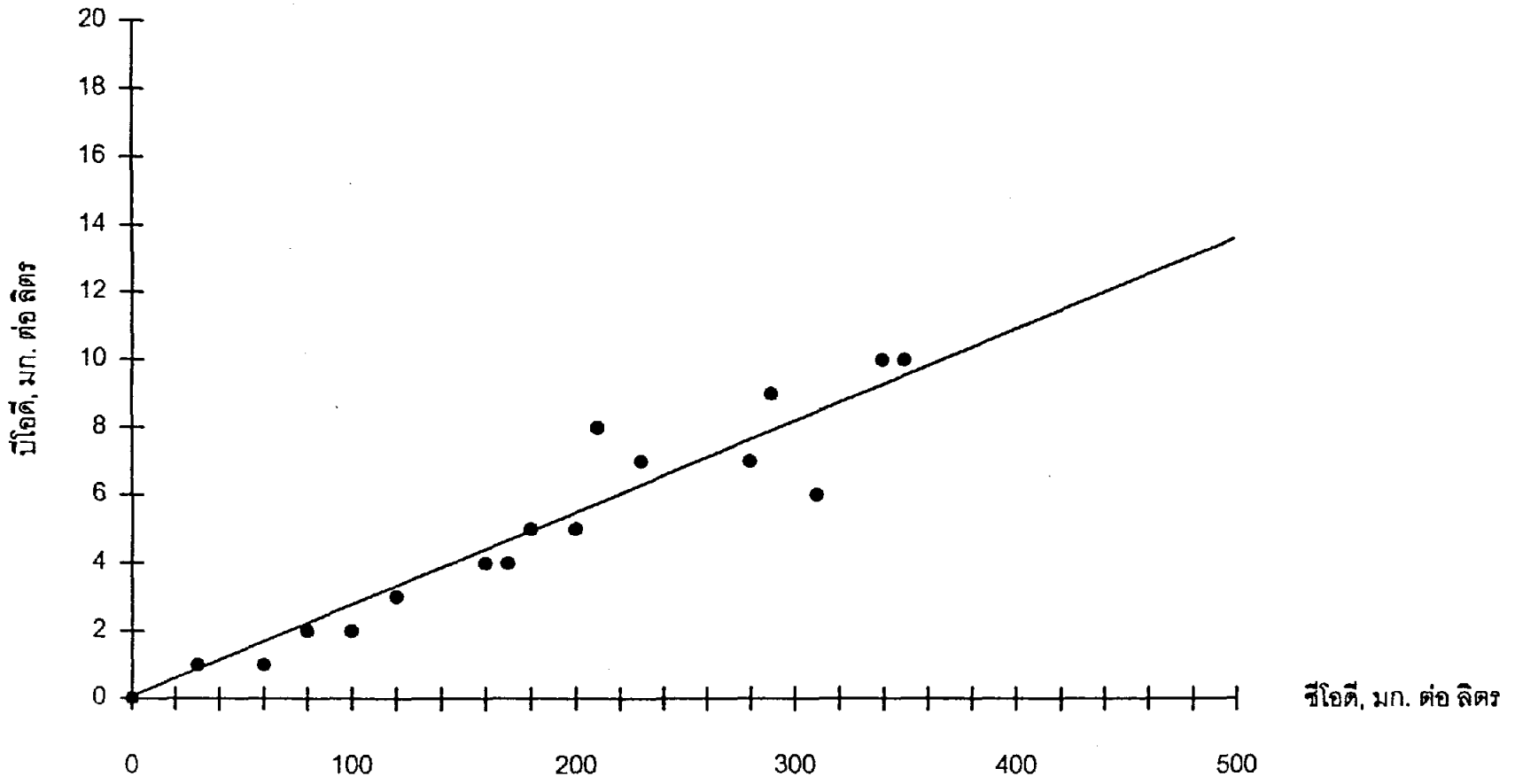
ลำดับที่	ซีโอดี มก.ต่อลิตร	บีโอดี มก.ต่อลิตร	ซีโอดี/บีโอดี	บีโอดี/ซีโอดี
1	21	2	10.5	0.10
2	18	2	9.00	0.11
3	18	2	9.00	0.11
4	18	2	9.00	0.11
5	16	1	16.00	0.06
6	15	1	15.00	0.07
7	15	1	15.00	0.07
8	15	1	15.00	0.07
9	14	1	14.00	0.07
10	14	1	14.00	0.07
11	14	1	14.00	0.07
12	14	1	14.00	0.07
13	14	1	14.00	0.07
14	11	1	11.00	0.09
15	11	1	11.00	0.09
16	10	1	10.00	0.10
17	10	1	10.00	0.10
18	10	1	10.00	0.10
19	10	1	10.00	0.10
20	9	1	9.00	0.11
ค่าต่ำสุด	9	1	9	0.06
ค่าสูงสุด	21	2	21	0.11
ผลรวม	277	24	239.50	1.74
ค่าเฉลี่ย	13.85	1.20	11.98	0.09
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	3.33	0.41	2.50	0.02
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (r_{xy}) = 0.755				

ตารางที่ ก – 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานกำจัดขยะมูลฝอย กรุงเทพมหานคร ที่มีค่าซีโอดี 9 มก. ต่อลิตร ถึง 21 มก.ต่อลิตร

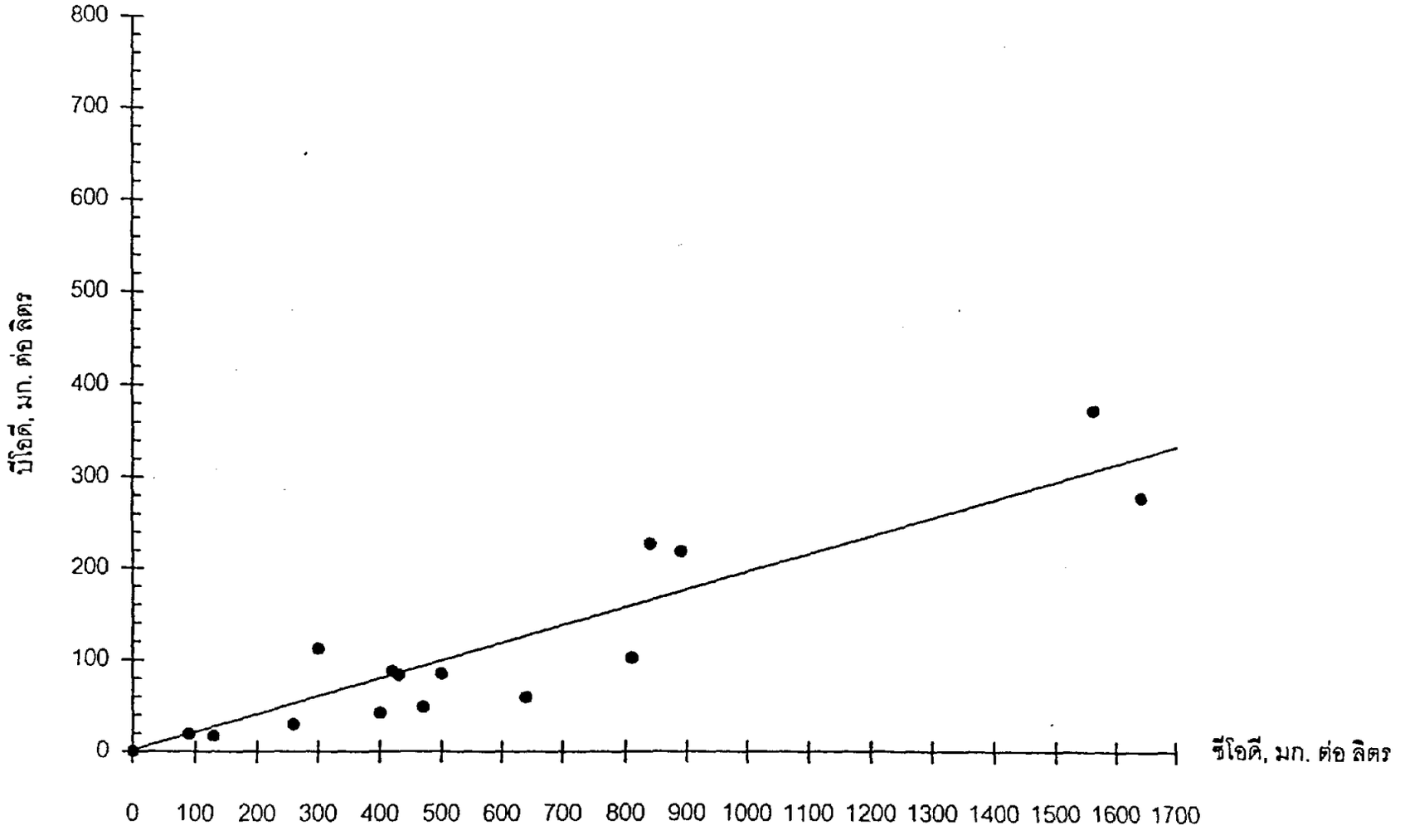
ลำดับที่	ซีโอดี มก.ต่อลิตร	บีโอดี มก.ต่อลิตร	ซีโอดี/บีโอดี	บีโอดี/ซีโอดี
1	294	93	3.15	0.32
2	283	120	2.36	0.42
3	254	50	5.08	0.20
4	253	60	4.22	0.24
5	218	39	5.59	0.18
6	155	35	4.43	0.23
7	152	28	5.43	0.18
8	150	29	5.17	0.19
9	127	48	2.65	0.38
10	118	60	1.97	0.51
11	115	31	3.71	0.27
12	101	59	1.71	0.58
13	77	29	2.66	0.37
14	68	35	1.94	0.51
15	66	21	3.14	0.32
16	63	24	2.63	0.38
17	55	9	6.11	0.16
18	47	13	3.62	0.28
19	33	12	2.75	0.36
20	31	14	2.21	0.45
ค่าต่ำสุด	31	9	1.71	0.16
ค่าสูงสุด	294	120	6.11	0.58
ผลรวม	2660	809	72.46	47.70
ค่าเฉลี่ย	133	40.45	3.62	2.38
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	85.24	27.92	1.27	9.32
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (r_{xy}) = 0.802				

ตารางที่ ก – 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำทิ้งจากโรงแรม อาคารพักอาศัย บ้านจัดสรร ที่มีค่าซีโอดี 31 มก. ต่อลิตร ถึง 294 มก.ต่อลิตร

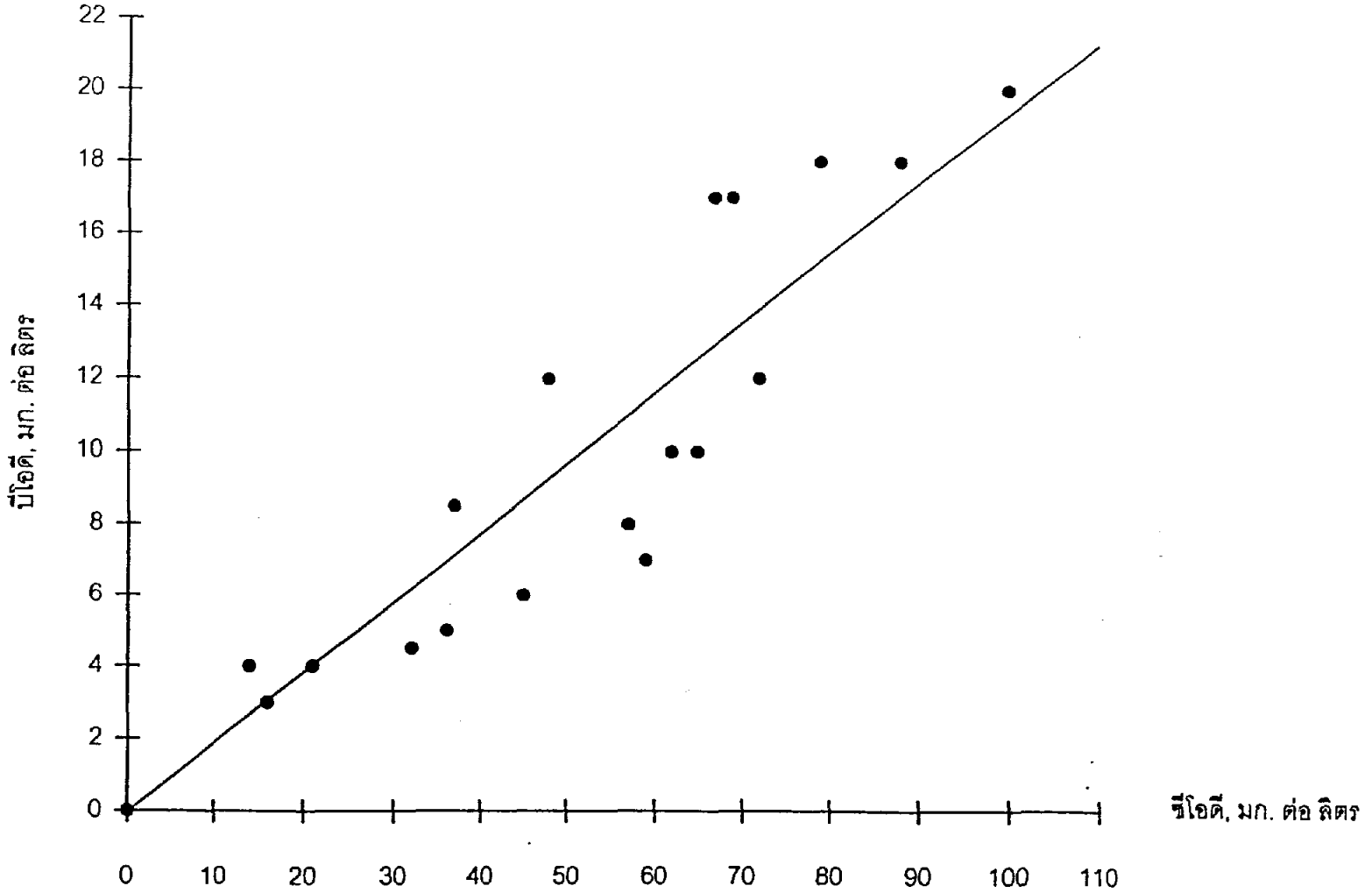
ภาคผนวก 2



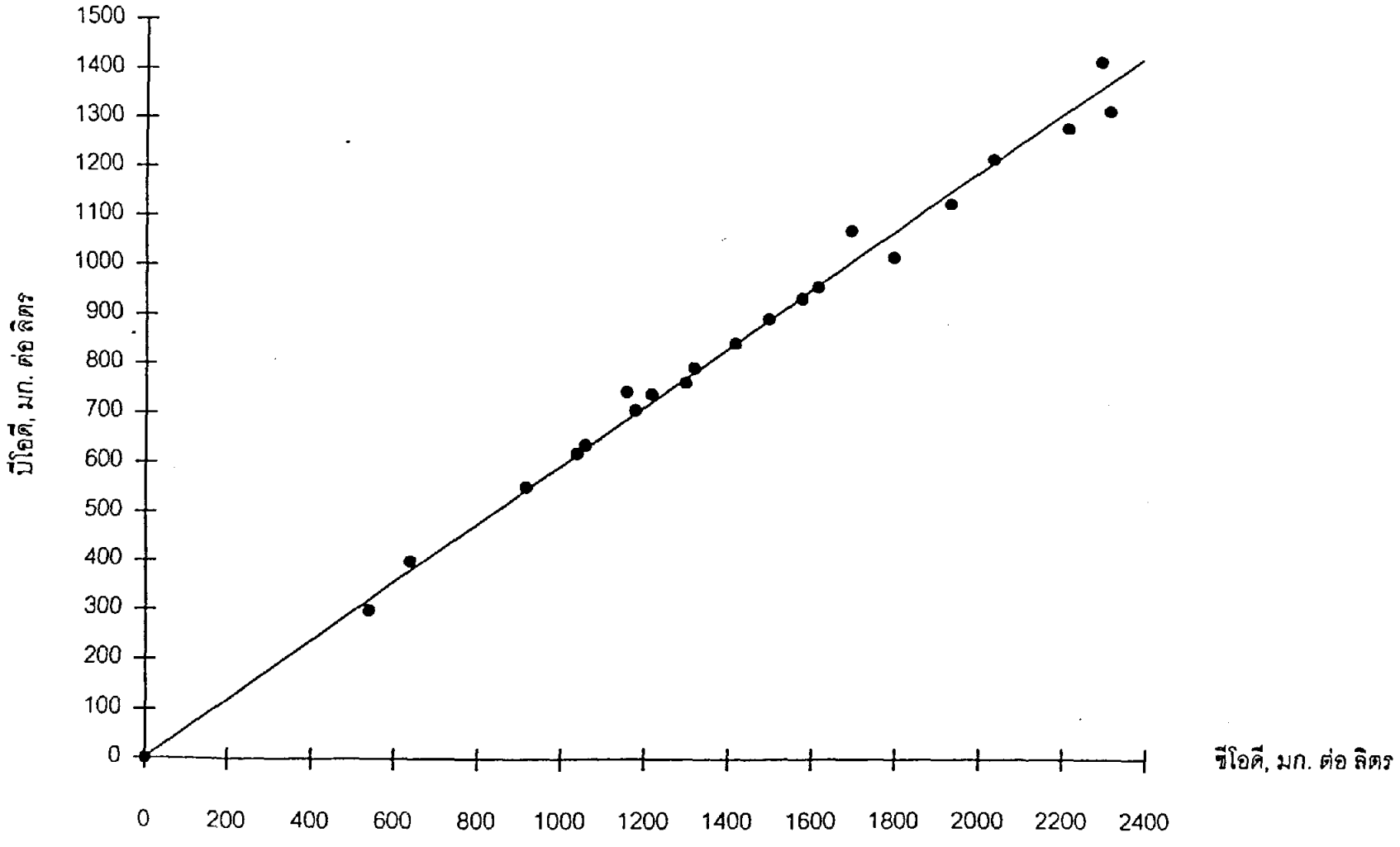
รูปที่ ข - 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าซีโอดี และ บีโอดี ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตสุรา



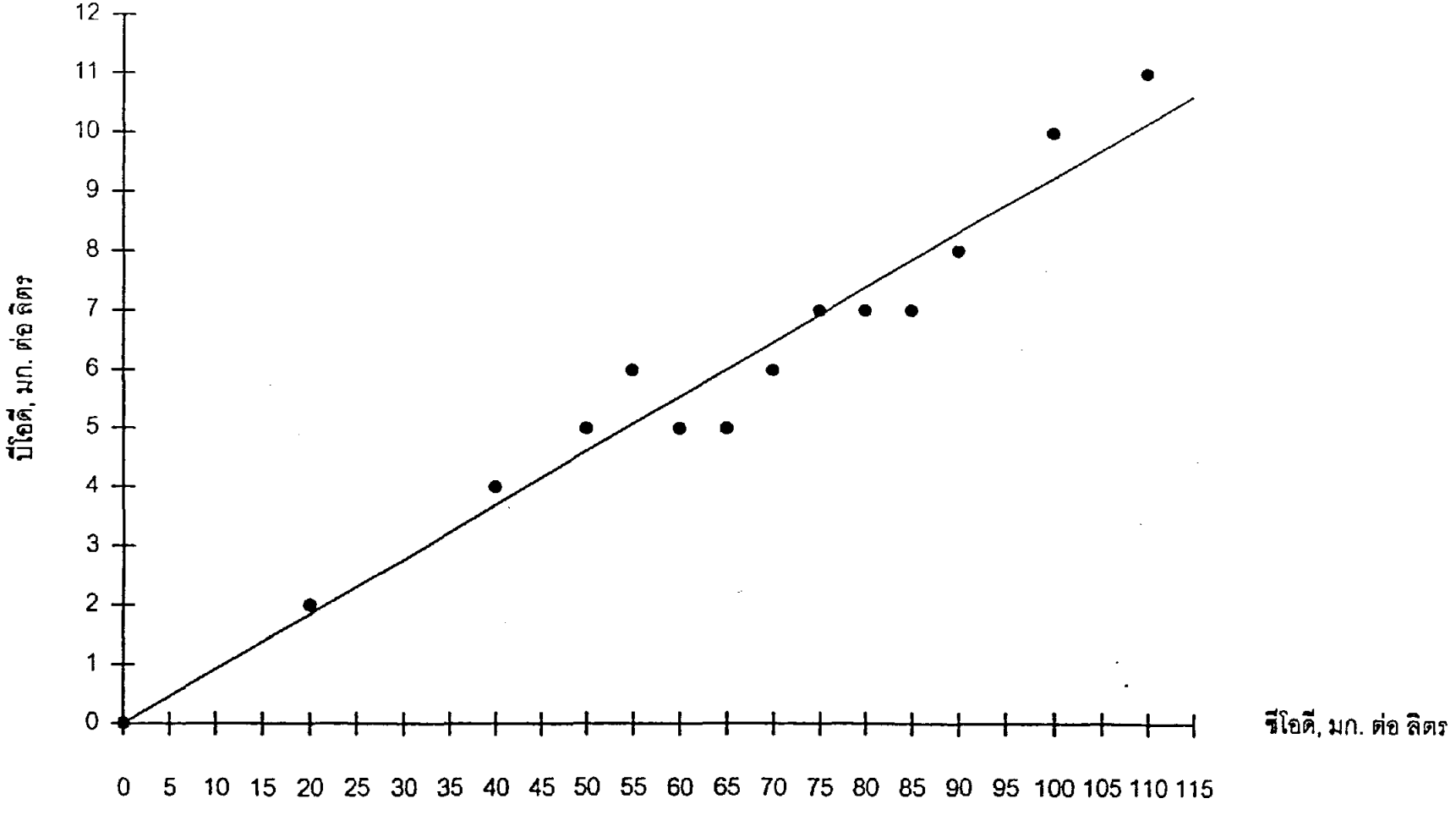
รูปที่ ข - 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าซีโอดี และ บีโอดี ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตยา



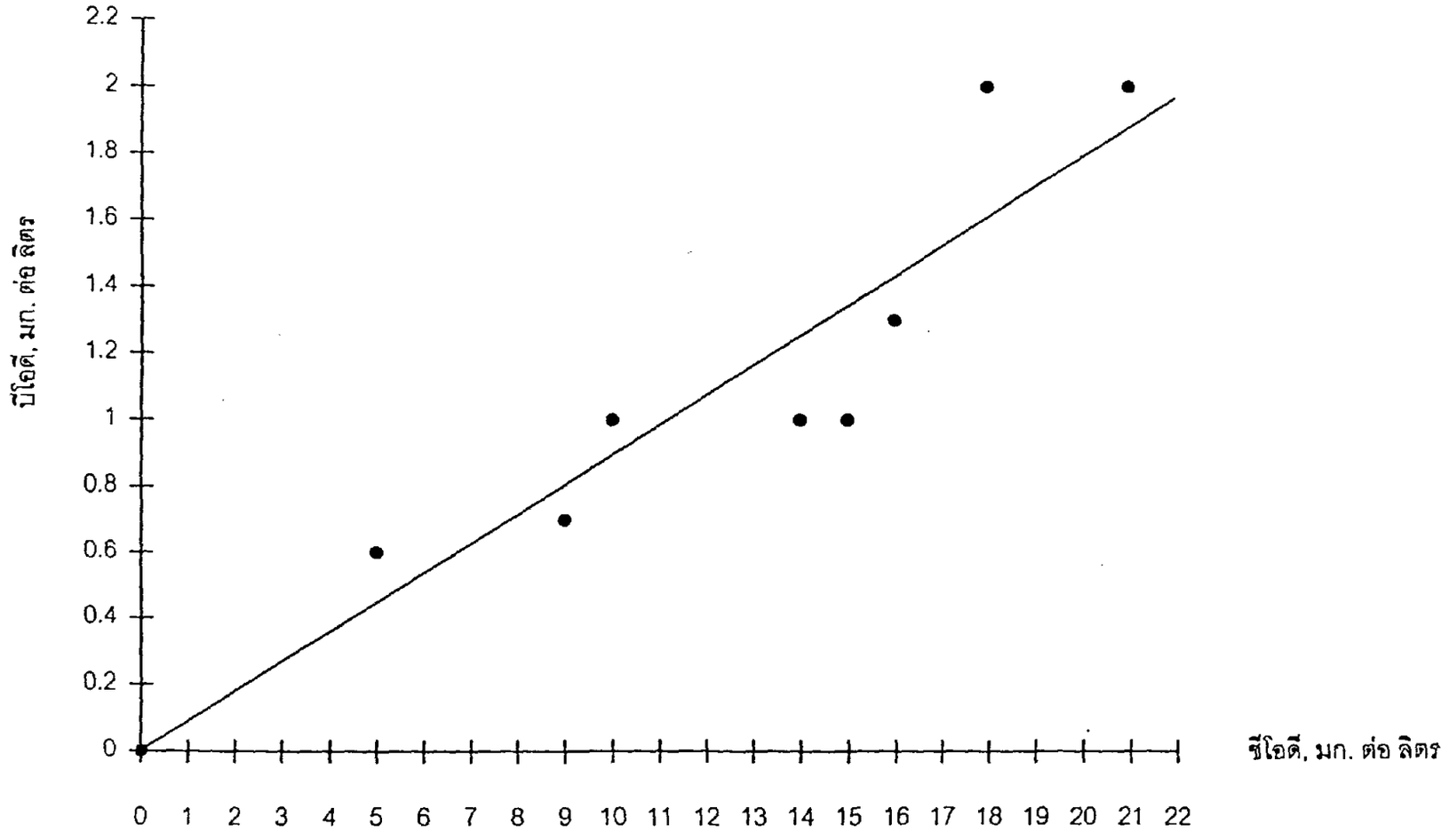
รูปที่ ข - 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าซีโอดี และ บีโอดี ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตเหล็ก สเตนเลส และโลหะต่างๆ



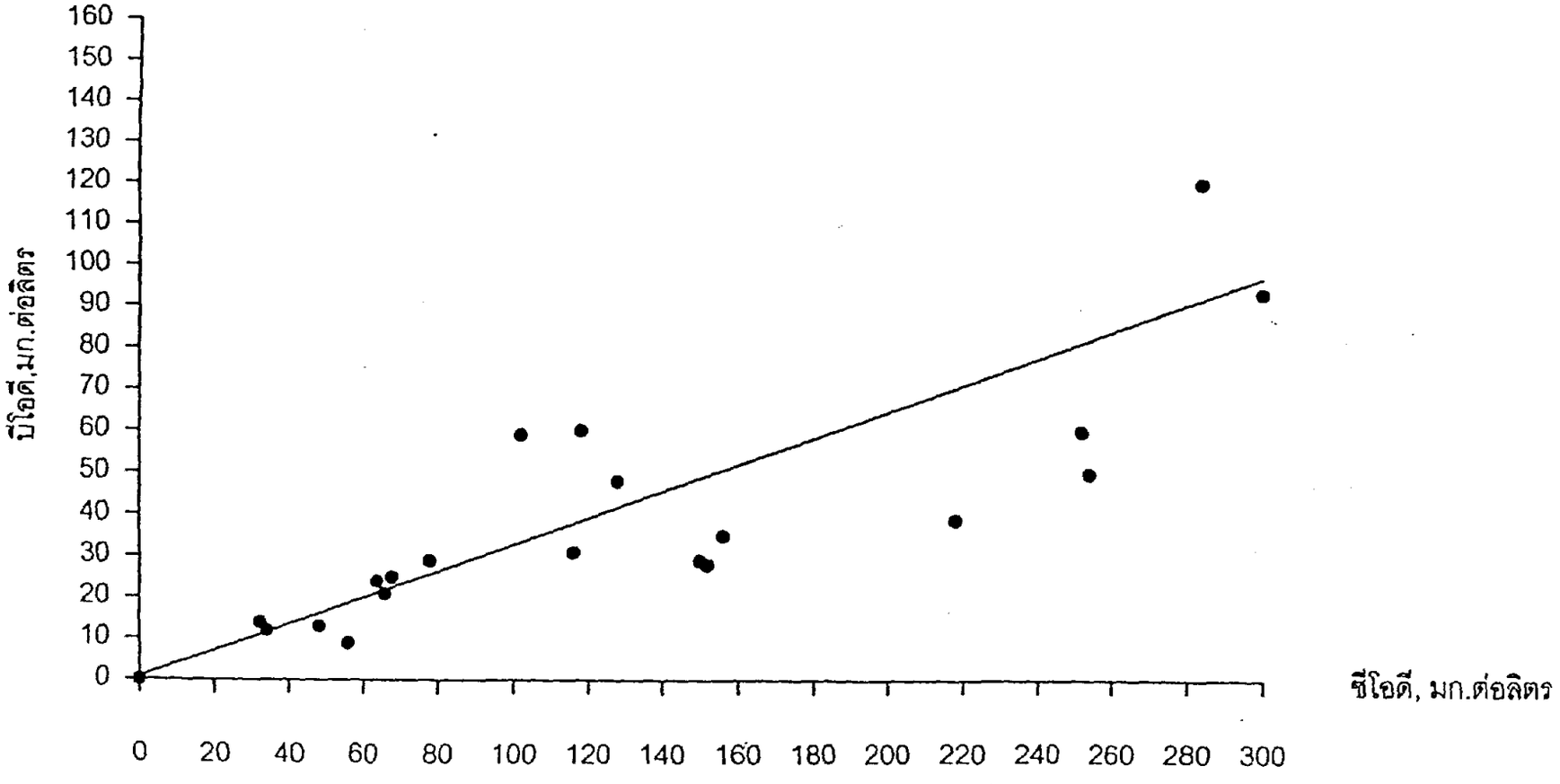
รูปที่ ข - 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าซีโอดี และ บีโอดี ของน้ำเสียโรงงานผลิตน้ำอัดลม



รูปที่ ข - 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ซีโอดี และ บีโอดี ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำอัดลม



รูปที่ ข - 6 *กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าซีโอดี และ บีโอดี ของน้ำทิ้งโรงงานกำจัดขยะมูลฝอย กรุงเทพมหานคร*



รูปที่ ข-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดี และบีโอดี ของน้ำทิ้ง โรงแรม อาคารพักอาศัยและบ้านจัดสรร

ภาคผนวก 3

ลำดับที่	x	y	x^2	y^2	xy
1	440	18	193600	324	7920
2	414	17	171396	289	7028
3	369	16	136161	256	5904
4	345	10	119025	100	3450
5	312	6	97344	36	1872
6	289	8	83521	64	2312
7	289	10	83521	100	2890
8	287	6	82369	36	1722
9	285	6	81225	36	1710
10	280	7	78400	49	1960
11	235	9	55225	81	2115
12	233	5	54289	25	1165
13	206	8	42436	64	1648
14	202	5	40804	25	1010
15	201	5	40401	25	1005
16	176	5	30976	25	880
17	172	4	29584	16	688
18	164	4	26896	16	656
19	163	4	26569	16	652
20	103	2	10609	4	206
ผลรวม (Σ)	5165	155	148435	1587	46803
r_{xy} = 0.889					

ตารางที่ ค – 1 แสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตสุรา

ลำดับที่	x	y	x^2	y^2	xy
1	1636	278	2676496	77284	454808
2	1561	373	2436721	139129	582253
3	1390	960	1932100	921600	1334400
4	1325	681	1755625	463761	902325
5	887	228	786769	48400	195140
6	809	103	707281	51984	191748
7	643	60	654481	10609	83327
8	640	60	413449	3600	38580
9	500	111	409600	3600	38400
10	500	62	250000	12321	55500
11	474	49	250000	3844	31000
12	427	62	224676	2401	23226
13	425	127	182329	3844	26474
14	413	88	180625	16129	53975
15	398	42	170569	7744	36344
16	302	112	158404	1764	16716
17	256	30	91204	12544	33824
18	127	17	65536	900	7680
19	90	19	16129	289	2159
20	90	17	8100	361	1710
ผลรวม (Σ)	13644	3682	13370094	1782108	4109589
r_{xy} = 0.754					

ตารางที่ ค – 2 แสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตยา

ลำดับที่	x	y	x^2	y^2	xy
1	100	20	10000	400	2000
2	88	18	7744	324	1584
3	79	18	6241	324	1422
4	72	12	5184	144	864
5	69	17	4761	289	1173
6	67	17	4489	289	1139
7	65	10	4225	100	650
8	62	10	3844	100	620
9	59	7	3481	49	413
10	57	8	3249	64	456
11	48	12	2304	144	576
12	45	6	2025	36	270
13	37	10	1369	100	370
14	37	9	1369	81	333
15	36	5	1296	25	180
16	32	5	1024	25	160
17	32	4	1024	16	128
18	21	4	441	16	84
19	16	3	256	9	48
20	14	4	196	16	56
ผลรวม (Σ)	1036	199	64522	2551	12526
r_{xy} = 0.891					

ตารางที่ ค – 3 แสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตเหล็กสเตนเลสและโลหะต่าง ๆ

ลำดับที่	x	y	x^2	y^2	xy
1	2320	1320	5382400	1742400	3062400
2	2296	1422	5271616	2022084	3264912
3	2218	1284	4919524	1648656	2847912
4	2048	1222	4194304	1493284	2502656
5	1927	1129	3713329	1274641	2175583
6	1802	1020	3247204	1040400	1838040
7	1698	1075	2883204	1155625	1825350
8	1611	960	2595321	921600	1546560
9	1573	936	2474329	876096	1472328
10	1490	894	2220100	799236	1332060
11	1410	846	1988100	715716	1192860
12	1315	795	1729225	632025	1045425
13	1300	765	1690000	585225	994500
14	1221	742	1490841	550564	905982
15	1180	709	1392400	502681	836620
16	1158	747	1340964	558009	865026
17	1157	690	1338649	476100	798330
18	1051	637	1104601	405769	669487
19	1042	621	1085764	385641	647082
20	925	553	855625	305809	511525
ผลรวม (Σ)	30742	18367	50917500	18091561	30334638
r_{xy} = 0.993					

ตารางที่ ค – 4 แสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ของน้ำเสียโรงงานผลิตน้ำอัดลม

ลำดับที่	x	y	x^2	y^2	xy
1	90	8	8100	64	720
2	82	7	6724	49	574
3	86	7	7396	49	602
4	68	6	4624	36	408
5	80	7	6400	49	560
6	70	5	4900	25	350
7	71	7	5041	49	497
8	72	7	5184	49	504
9	66	5	4356	25	330
10	91	7	8281	49	637
11	90	8	8100	64	720
12	72	5	5184	25	360
13	57	4	3249	16	228
14	111	11	12321	121	1221
15	101	10	10201	100	1010
16	111	8	12321	64	888
17	74	7	5476	49	518
18	62	5	3844	25	310
19	57	6	3249	36	342
20	51	5	2601	25	255
ผลรวม (Σ)	1562	135	127552	969	11034
r_{xy} = 0.866					

ตารางที่ ค – 5 แสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำอัดลม

ลำดับที่	x	y	x^2	y^2	xy
1	9	1	81	1	9
2	10	1	100	1	10
3	10	1	100	1	10
4	10	1	100	1	10
5	10	1	100	1	10
6	11	1	121	1	11
7	11	1	121	1	11
8	14	1	196	1	14
9	14	1	196	1	14
10	14	1	196	1	14
11	14	1	196	1	14
12	14	1	196	1	14
13	15	1	225	1	15
14	15	1	225	1	15
15	15	1	225	1	15
16	16	1	256	1	16
17	18	2	324	4	36
18	18	2	324	4	36
19	18	2	324	4	36
20	21	2	441	4	42
ผลรวม (Σ)	277	24	4047	32	352
r_{xy} = 0.755					

ตารางที่ ค – 6 แสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ของน้ำทิ้งโรงงานกำจัดขยะมูลฝอย กรุงเทพมหานคร

ลำดับที่	x	y	x^2	y^2	xy
1	294	93	86436	8649	27342
2	283	120	80089	14400	33960
3	254	50	64516	2500	12700
4	253	60	64009	3600	15180
5	218	39	47524	1521	8502
6	155	35	24025	1225	5425
7	152	28	23104	784	4256
8	150	29	22500	841	4350
9	127	48	16129	2304	6096
10	118	60	13924	3600	7080
11	115	31	13225	961	3565
12	101	59	10201	3481	5959
13	77	29	5929	841	2233
14	68	35	4624	1225	2380
15	66	21	4356	441	1386
16	63	24	3969	576	1512
17	55	9	3025	81	495
18	47	13	2209	169	611
19	33	12	1089	144	396
20	31	14	961	196	434
ผลรวม (Σ)	2660	809	491844	47539	143862
r_{xy} = 0.802					

ตารางที่ ค – 7 แสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ของน้ำทิ้งโรงแรม อาคารพักอาศัย บ้านจัดสรร

	วิธี t - test (t)		วิธี Pearson correlation coeffiecient (r หรือ r_{xy})		ผลที่ได้
	จากการคำนวณ	จากตาราง เมื่อ α 0.01 df 18	จากการคำนวณ	จากตาราง เมื่อ α 0.01 df 18	
1. โรงงานอุตสาหกรรมผลิตสุรา r_{xy} = 0.889 (คำนวณ) $\therefore r^2$ = 0.790321 $\therefore t$ = 8.237 (คำนวณ)	8.237	2.878	0.889	0.561	t คำนวณ>t ตาราง r คำนวณ> r ตาราง
2. โรงงานอุตสาหกรรมผลิตยา r_{xy} = 0.754 (คำนวณ) $\therefore r^2$ = 0.568516 $\therefore t$ = 4.870 (คำนวณ)	4.870	2.878	0.754	0.561	t คำนวณ>t ตาราง r คำนวณ> r ตาราง
3. โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก สเตนเลส และโลหะต่าง ๆ r_{xy} = 0.891 (คำนวณ) $\therefore r^2$ = 0.7903881 $\therefore t$ = 8.327 (คำนวณ)	8.327	2.878	0.891	0.561	t คำนวณ>t ตาราง r คำนวณ> r ตาราง
4. โรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม (น้ำเสีย) r_{xy} = 0.993 (คำนวณ) $\therefore r^2$ = 0.986049 $\therefore t$ = 35.669 (คำนวณ)	35.669	2.878	0.993	0.561	t คำนวณ>t ตาราง r คำนวณ> r ตาราง
5. โรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม (น้ำทิ้ง) r_{xy} = 0.866 (คำนวณ) $\therefore r^2$ = 0.749956 $\therefore t$ = 7.348 (คำนวณ)	7.348	2.878	0.866	0.561	t คำนวณ>t ตาราง r คำนวณ> r ตาราง
6. โรงงานกำจัดขยะมูลฝอย กรุงเทพฯ r_{xy} = 0.755 (คำนวณ) $\therefore r^2$ = 0.570025 $\therefore t$ = 4.885 (คำนวณ)	4.885	2.878	0.755	0.561	t คำนวณ>t ตาราง r คำนวณ> r ตาราง
7. โรงแรม อาคารพักอาศัย บ้านจัดสรร r_{xy} = 0.802 (คำนวณ) $\therefore r^2$ = 0.643204 $\therefore t$ = 5.696 (คำนวณ)	5.696	2.878	0.802	0.561	t คำนวณ>t ตาราง r คำนวณ> r ตาราง

ตาราง ค – 8 แสดงการทดสอบนัยสำคัญของค่า r_{xy} โดยวิธี t-test และPearson correlation coefficient ของค่าซีโอดีและค่าบีโอดี ของน้ำเสีย/น้ำทิ้ง โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ

การทดสอบค่า r_{xy} โดยการคำนวณ

จากสูตร

$$r_{xy} = \frac{n\Sigma xy - \Sigma x \Sigma y}{\sqrt{[n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2][n\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2]}}$$

1. โรงงานอุตสาหกรรมผลิตสุรา

$$r_{xy} = \frac{20(46803) - (5165)(155)}{\sqrt{[20(148435) - (5165)^2][20(1587) - (155)^2]}}$$

$$= 0.889$$

2. โรงงานอุตสาหกรรมผลิตยา

$$r_{xy} = \frac{20(4109589) - (13644)(3682)}{\sqrt{[20(13370094) - (13644)^2][20(1782108) - (3682)^2]}}$$

$$= 0.754$$

3. โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก สเตนเลส และโลหะต่าง ๆ

$$r_{xy} = \frac{20(12526) - (1036)(199)}{\sqrt{[20(64522) - (1036)^2][20(2551) - (199)^2]}}$$

$$= 0.891$$

4. โรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม

$$r_{xy} = \frac{20(30334638) - (30742)(18367)}{\sqrt{[20(50917500) - (30742)^2][20(18091561) - (18367)^2]}}$$

$$= 0.993$$

5. โรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม

$$r_{xy} = \frac{20(11034) - (1562)(135)}{\sqrt{[20(127552) - (1562)^2][20(969) - (135)^2]}}$$

$$= 0.866$$

6. โรงงานกำจัดขยะมูลฝอย กรุงเทพมหานคร

$$r_{xy} = \frac{20(352) - (277)(24)}{\sqrt{[20(4047) - (277)^2][20(32) - (24)^2]}}$$

$$= 0.755$$

7. โรงแรม อาคารพักอาศัย บ้านจัดสรร

$$r_{xy} = \frac{20(143862) - (2660)(809)}{\sqrt{[20(491844) - (2660)^2][20(47539) - (809)^2]}}$$

$$= 0.802$$

การทดสอบค่า ที (t-test) โดยการคำนวณ

จากสูตร

$$t = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

1. โรงงานอุตสาหกรรมผลิตสุรา

$r = 0.889$ $r^2 = 0.790321$

$$t = \frac{0.889\sqrt{20-2}}{\sqrt{1-0.790321}} = \frac{0.889 \times 4.2426}{\sqrt{0.209679}}$$

$$= \frac{3.77167}{0.4579} = 8.23688$$

$$= 8.237$$

2. โรงงานอุตสาหกรรมผลิตยา

$r = 0.754$ $r^2 = 0.568516$

$$t = \frac{0.754\sqrt{20-2}}{\sqrt{1-0.568516}} = \frac{0.754 \times 4.2426}{\sqrt{0.431484}}$$

$$= \frac{3.19892}{0.65687} = 4.870$$

$$= 4.870$$

3. โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก สเตนเลส และโลหะต่าง ๆ

$r = 0.891$ $\quad t = \dfrac{0.891\sqrt{20-2}}{\sqrt{1-0.793881}} = \dfrac{0.891 \times 4.2426}{\sqrt{0.206119}}$

$r^2 = 0.793881$

$= \dfrac{3.78015}{0.45398} = 8.32668$

$= 8.327$

4. โรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม (น้ำเสีย)

$r = 0.993$ $\quad t = \dfrac{0.993\sqrt{20-2}}{\sqrt{1-0.986049}} = \dfrac{0.993 \times 4.2426}{\sqrt{0.013951}}$

$r^2 = 0.986049$

$= \dfrac{4.21290}{0.11811} = 35.669$

5. โรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม (น้ำทิ้ง)

$r = 0.866$ $\quad t = \dfrac{0.866\sqrt{20-2}}{\sqrt{1-0.749956}} = \dfrac{0.866 \times 4.2426}{\sqrt{0.250044}}$

$r^2 = 0.749956$

$= \dfrac{3.67409}{0.50004} = 7.348$

6. โรงงานกำจัดขยะมูลฝอย กรุงเทพมหานคร

$r = 0.755$ $\quad t = \dfrac{0.755\sqrt{20-2}}{\sqrt{1-0.570025}} = \dfrac{0.755 \times 4.2426}{\sqrt{0.429975}}$

$r^2 = 0.570025$

$= \dfrac{3.20316}{0.65572} = 4.885$

7. โรงแรม อาคารพักอาศัย บ้านจัดสรร

$r = 0.802$ $\quad t = \dfrac{0.802\sqrt{20-2}}{\sqrt{1-0.643204}} = \dfrac{0.802 \times 4.2426}{\sqrt{0.356796}}$

$r^2 = 0.643204$

$= \dfrac{3.40256}{0.59732} = 5.696$

	LEVEL OF SINGNIFICANCE FOR ONE-TAILED TEST					
	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005
	LEVEL OF SIGNIFICANCE FOR TWO-TAILED TEST					
df	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001
1	3.079	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	1.836	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	1.415	1.825	2.365	2.998	3.499	5.405
8	1.397	1.860	2.306	2.826	3.355	5.041
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	1.363	1.776	2.201	2.718	3.106	4.437
12	1.356	1.728	2.179	2.681	3.055	4.318
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	1.370	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	1.321	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
22	1.321	1.717	20.74	2.508	2.819	3.792
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	1.316	1700	2.060	2.485	2.787	3.725
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.207
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
40	1.203	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	1.276	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
120	1.202	1.650	1.980	2.358	2.617	3.373
	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

ตารางที่ ค – 9 ค่าวิกฤตของค่า t (critical values of t)

Note : Table is taken from Table III of Fisher and Yates Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research, published by Longman Group Ltd., London (previously published by Oliver and Boyd, Edinburgh), and by permission of the authors and publishers.

df	α สำหรับการทดสอบแบบทางเดียว			
	0.05	0.025	0.01	0.005
	α สำหรับการทดสอบแบบสองทาง			
	0.01	0.05	0.02	0.01
1	0.988	0.997	0.9995	0.9999
2	0.900	0.950	0.980	0.990
3	0.805	0.878	0.934	0.959
4	0.729	0.811	0.882	0.917
5	0.669	0.754	0.833	0.874
6	0.622	0.707	0.789	0.834
7	0.582	0.666	0.750	0.798
8	0.549	0.632	0.716	0.765
9	0.521	0.602	0.685	0.735
10	0.497	0.576	0.658	0.708
11	0.476	0.553	0.634	0.684
12	0.458	0.532	0.612	0.661
13	0.441	0.514	0.592	0.641
14	0.426	0.497	0.574	0.623
15	0.412	0.482	0.558	0.606
16	0.400	0.468	0.542	0.590
17	0.389	0.456	0.528	0.575
18	0.378	0.444	0.516	0.561
19	0.369	0.433	0.503	0.549
20	0.360	0.423	0.492	0.537
21	0.352	0.413	0.482	0.526
22	0.344	0.404	0.472	0.515
23	0.337	0.396	0.462	0.505
24	0.330	0.388	0.453	0.496
25	0.323	0.381	0.445	0.487
26	0.317	0.374	0.437	0.479
27	0.311	0.367	0.430	0.471
28	0.306	0.361	0.423	0.463
29	0.301	0.355	0.416	0.456
30	0.296	0.349	0.409	0.449
35	0.275	0.325	0.381	0.418
40	0.257	0.324	0.358	0.393
45	0.243	0.288	0.338	0.372
50	0.231	0.273	0.322	0.354
60	0.211	0.250	0.295	0.325
70	0.195	0.232	0.274	0.303
80	0.183	0.217	0.256	0.283
90	0.173	0.205	0.242	0.267
100	0.164	0.195	0.230	0.254

ตารางที่ ค – 10 ค่าวิกฤตของ r สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Peason correlation coefficient)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณทั้งหมด

1. สูตรที่ใช้ในการคำนวณทางสถิติ

ค่าเฉลี่ย $\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $SD = \sqrt{\frac{\sum (x-\bar{x})^2}{n-1}}$

$\bar{x}$ คือค่าเฉลี่ย

x คือข้อมูลแต่ละจำนวน

n คือข้อมูลทั้งหมด

$\sum x$ คือผลรวมข้อมูลทั้งหมด

SD คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

$$r_{xy} = \frac{n\sum xy - \sum x\sum y}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

r_{xy} ค่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร x และตัวแปร y

$\sum x\sum y$ คือผลรวมที่วัดจากจาก x และ y ตามลำดับ

$\sum xy$ คือผลรวมของผลคูณระหว่าง x และ y

$\sum x^2\sum y^2$ คือผลรวมกำลังสองของข้อมูลจาก x และ y

n คือจำนวนตัวอย่าง

ค่า ที (t-test)

$$t = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

r = คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้

N = คือจำนวนข้อมูลทั้งหมด

2. สูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าบีโอดีและค่าซีโอดี

2.1 $\text{mg/l COD} = \dfrac{(a-b)\ N \times 8000}{\text{ml sample}}$

เมื่อ

a = จำนวน ml ของ $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ ที่ใช้สำหรับ blank

b = จำนวน ml ของ $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ ที่ใช้สำหรับตัวอย่าง

N = ความเข้มข้นของ $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$

2.2 $\text{mg/l BOD} = \dfrac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2)\ f}{P}$

เมื่อ

D_1 = Do ของ diluted sample at zero time

D_2 = Do ของ diluted sample after incubation

B_1 = Do ของ dilution of seed control before incubation

B_2 = Do ของ dilution of seed control after incubation

P = อัตราส่วนของตัวอย่างที่ใช้

f = อัตราส่วนของ seed ในตัวอย่างต่อ seed control

$= \dfrac{\%\ \text{seed ใน}\ D_1}{\%\ \text{seed ใน}\ B_1}$

ภาคผนวก 4

(สำเนา)

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535

เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 14 แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ.2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 ที่ระบุว่า "ห้ามระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงานเว้นแต่ได้ทำการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างจนน้ำทิ้งนั้นมีลักษณะเป็นไปตามที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา แต่ทั้งนี้ต้องไม่ใช้วิธีทำให้เจือจาง (Dilution)" รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมจึงออกประกาศกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ดังนี้

ข้อ 1 คำจำกัดความ

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แห่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศนี้

ข้อ 2 น้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีคุณสมบัติดังนี้

(1) ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่มากกว่า 9.0

(2) ทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้

2.1 ค่า ทีดีเอส ไม่มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2 น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานลงสู่แห่งน้ำที่มีค่าความเค็ม (Salinity) มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่า ค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

(3) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

(4) โลหะหนักมีค่าดังนี้

4.1 ปรอท (Mercury)	ไม่มากกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.2 เซเลเนียม (Selenium)	ไม่มากกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.3 แคดเมียม (Cadmium)	ไม่มากกว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.4 ตะกั่ว (Lead)	ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.5 อาร์เซนิค (Arsenic)	ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.6 โครเมียม (Chromium)	
4.6.1 Hexavalent Chromium	ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.6.2 Trivalent Chromium	ไม่มากกว่า 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.7 บาเรียม (Barium)	ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.8 นิเกิล (Nickel)	ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.9 ทองแดง (Copper)	ไม่มากกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.10 สังกะสี (Zinc)	ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.11 แมงกานีส (Manganese)	ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(5) ซัลไฟด์ (Sulphide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(6) ไซยาไนด์ (Cyanide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

(7) ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
(8) สารประกอบฟีนอล (Phenols Compound)	ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
(9) คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
(10) เพสติไซด์ (Pesticide)	ต้องไม่มี
(11) อุณหภูมิ	ไม่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส
(12) สี	ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
(13) กลิ่น	ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

(14) น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แห่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

(15) ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง

หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร

(16) ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

(17) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม แต่ต้องไม่มากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ 3 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ 2 ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

(1) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำทิ้ง ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter)

(2) การตรวจสอบค่า ทีดีเอส ให้ใช้วิธีการระเหยแห้ง ระหว่างอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ถึง อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง

(3) การตรวจสอบค่าสารแขวนลอย ให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fibre Filter Disc)

(4) การตรวจสอบค่าโลหะหนัก ให้ใช้วิธีการดังนี้

4.1 การตรวจสอบค่าสังกะสี โครเมียม ทองแดง แคดเมียม แบเรียม ตะกั่ว นิเกิล และแมงกานีส ให้ใช้วิธีอะตอมมิค แอบซอฟชั่น สเปคโตรโฟโตเมตตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไดเร็คแอสไพเรชั่น (Direct Aspiration) หรือวิธีพลาสม่า อีมิสชั่น สเปคโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอันดัสทีฟลี คัพเพิล พลาสม่า (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.2 การตรวจสอบค่าอาร์เซนิค และเซเลเนียม ให้ใช้วิธีอะตอมมิคแอบซอฟชั่น สเปคโตรโฟโตเมตตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไฮไดรด์ เจนเนอเรชั่น (Hydride Generation) หรือวิธีพลาสม่า อีมิสชั่น สเปคโตรสโคปี (Plasma Emission spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสม่า (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.3 การตรวจสอบปรอท ให้ใช้วิธีอะตอมมิคแอบซอฟชั่น โคลด์ เวเปอร์ เทคนิค (Atomic Absorption Cold Vapour Technique)

(5) การตรวจสอบค่าซัลไฟด์ ให้ใช้วิธีการไตเตรท (Titrate)

(6) การตรวจสอบค่าไซยาไนด์ ให้ใช้วิธีกลั่นและตามด้วยวิธีไพริดิน บาร์บิทูริคแอซิด (Pyridine-Barbituric Acid)

(7) การตรวจสอบค่าฟอร์มาลดีไฮด์ ให้ใช้วิธีเทียบสี (Spectrophotometry)

(8) การตรวจสอบค่าสารประกอบฟีนอล ให้ใช้วิธีกลั่น และตามด้วยวิธี 4-อะมิโนแอนติไพรีน (Distillation, 4-Aminoantipyrine)

(9) การตรวจสอบค่าคลอรีนอิสระ ให้ใช้วิธีไอโอโดเมตริค (Iodometric Method)

(10) การตรวจสอบค่าสารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ ให้ใช้วิธีก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas-Chromatography)

(11) การตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำ ให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ

(12) การตรวจสอบค่าน้ำมันและไขมัน ให้ใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน

(13) การตรวจสอบค่าบีโอดี ให้ใช้วิธีอะไซด์ โมดิฟิเคชั่น (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน หรือวิธีการอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมให้ความเห็นชอบ

(14) การตรวจสอบค่าทีเคเอ็น ให้ใช้วิธีเจลดาห์ล (Kjeldahl)

(15) การตรวจสอบค่าซีโอดี ให้ใช้วิธีย่อยสลาย โดยโปตัสเซียม ไดโครเมต (Potassium Dichromate digestion)

ข้อ 4 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามข้อ 3 จะต้องเป็นไปตามคู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย ของสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย หรือ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ซึ่ง American Public Health Association, American Water Work Association และ Water Environment Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนดไว้ด้วย

ประกาศ ณ วันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ.2539

(ลงชื่อ) ไชยวัฒน์ สินสุวงศ์)

(นายไชยวัฒน์ สินสุวงศ์)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

สำเนาถูกต้อง

(ลงชื่อ) เสถียร วีระวงศ์

เจ้าหน้าที่บริหารงานธุรการ 5

ประกาศราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 113 ตอนที่ 52 ง วันที่ 27 มิถุนายน 2539