

## การหาความสัมพันธ์ของค่า BOD, COD, และ TOC ในน้ำเสียและน้ำทิ้ง จากระบบบำบัดน้ำเสียชนิดตะกอนเร่ง

### The Correlation of BOD, COD, and TOC in Influent and Effluent from Activated Sludge Process

#### คำนำ

ในอดีตที่ผ่านมาการออกแบบและควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพ หรือการควบคุมการระบายน้ำลงสู่แหล่งรองรับน้ำทิ้งตามธรรมชาติมีค่า BOD<sub>5</sub> (Biochemical Oxygen Demand) ซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดที่สำคัญในการบ่งบอกกำลังความสกปรกของสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำ แต่การวิเคราะห์มีข้อจำกัดในแง่ของระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ซึ่งต้องใช้เวลานานถึง 5 วัน อีกทั้งมีตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์มากมาย เช่น เวลาในการรักษาตัวอย่าง ก่อนการวิเคราะห์, การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในตู้เพาะเชื้อ, การเลือกช่วงในการเจือจางของตัวอย่าง, ชนิดและจำนวนจุลินทรีย์ที่ใช้สำหรับย่อยสลายสารอินทรีย์ และนอกจากนั้นยังต้องใช้ความชำนาญและประสบการณ์ของผู้วิเคราะห์ ซึ่งทำให้อาจจะไม่ทันต่อการแก้ไขข้อผิดพลาดได้ทันทั่วทั้ง และได้ผลการวิเคราะห์ที่อาจคลาดเคลื่อนมาก ดังนั้นที่ผ่านมาจึงได้มีนักวิจัยจำนวนมากพยายามคิดค้นหาวิธีการหาความสัมพันธ์ของดัชนีวิเคราะห์น้ำเสียอื่น ๆ ที่สามารถบ่งบอกถึงกำลังความสกปรกของสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำ เพื่อเปรียบเทียบกับค่า BOD<sub>5</sub> ซึ่งมีวิธีการรวมทั้งระยะเวลาในการวิเคราะห์ที่สะดวกรวดเร็วกว่า หรือมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์ที่น้อยกว่า เช่น ค่า COD (Chemical Oxygen Demand), ค่า TOC (Total Organic Carbon), ค่า TVS (Total Volatile Solids) และอื่น ๆ เพื่อนำมาใช้ในการพยากรณ์หาค่า BOD<sub>5</sub>

BOD<sub>5</sub> เป็นค่าดัชนีหนึ่งที่ใช้ในการคำนวณสำหรับควบคุมการนำตะกอนจุลินทรีย์กลับให้สัมพันธ์กับปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพชนิดตะกอนเร่ง (Activated Sludge Process) หากน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียมีปริมาณของสารอินทรีย์คงที่ จะไม่ทำให้เกิดปัญหาในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย แต่หากคุณสมบัติของน้ำเสียไม่คงที่ประกอบกับบ่อปรับสภาพน้ำมีขนาดไม่เพียงพอ เนื่องจากมีปริมาณน้ำเสียมากในบางช่วงเวลา จะทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียทำงานได้อย่างไม่เต็มประสิทธิภาพ และนอกจากนั้นหากคุณภาพน้ำเสียไม่คงที่ หากยังใช้ค่าปริมาณ

สารอินทรีย์ เข้าสู่ระบบในรูปของน้ำหนักรวมทุก  $BOD_5$  จะทำให้ไม่ทันต่อการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากการวิเคราะห์ค่า  $BOD_5$  จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 5 วัน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการหาเทคนิคในการพยากรณ์เพื่อใช้ทดแทนค่า  $BOD_5$  โดยต้องมีความคลาดเคลื่อนน้อย ใช้ระยะเวลาอันรวดเร็วในการวิเคราะห์ สำหรับการวิจัยในครั้งนี้จึงศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $BOD_5$  กับ COD และ TOC เพื่อใช้ในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียและการระบายน้ำลงสู่แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรืออย่างน้อยข้อมูลนี้อาจจะเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไปในอนาคต

### วัตถุประสงค์

ศึกษาหาความสัมพันธ์ในการพยากรณ์ค่า  $BOD_5$  จากค่า COD หรือ TOC ในการทดแทนค่า BOD ให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยใช้ทฤษฎีทางสถิติในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์

### ขอบเขตการศึกษา

ตัวอย่างน้ำทิ้งที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มาจากน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียชนิดตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง และโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ สำนักงานการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผู้ควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพชนิดตะกอนเร่ง (Activated Sludge Process) สามารถนำเทคนิคการพยากรณ์ค่า  $BOD_5$  ไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและทันต่อการแก้ไขปัญหา อีกทั้งใช้เป็นแนวทางในการศึกษาเทคนิคการพยากรณ์ค่า  $BOD_5$  สำหรับใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียชนิดอื่น ๆ หรือนำผิวดินตามธรรมชาติต่อไป

## การตรวจเอกสาร

### คุณสมบัติทั่วไปของน้ำเสีย

Tehobanoglous and Gerge (1972) กล่าวว่า การศึกษาคุณสมบัติของน้ำเสียมีประโยชน์ต่อการออกแบบและควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย และการควบคุมคุณภาพสิ่งแวดล้อมด้วย ดังนั้นเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ดังกล่าวต้องศึกษาคุณสมบัติทางชีวภาพของน้ำเสียไปพร้อม ๆ กัน ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพเคมี และชีวภาพของน้ำเสียจากแหล่งต่าง ๆ ซึ่งนำมาใช้ในการพิจารณาจัดการคุณภาพน้ำเสีย

**ตารางที่ 1** คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ

| คุณสมบัติ                 | แหล่งของน้ำเสีย                                                  |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------|
| <b>คุณสมบัติทางกายภาพ</b> |                                                                  |
| สี                        | - น้ำเสียชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม เกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ |
| กลิ่น                     | - จากการย่อยสลายของน้ำเสียชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม               |
| ของแข็ง                   | - น้ำเสียจากชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม และจากการกีดกร่อนของดิน       |
| อุณหภูมิ                  | - น้ำเสียชุมชน และโรงงานอุตสาหกรรม                               |
| <b>คุณสมบัติทางเคมี</b>   |                                                                  |
| สารอินทรีย์ :             |                                                                  |
| คาร์โบไฮเดรต              | - น้ำทิ้งชุมชน ย่านการค้าและโรงงานอุตสาหกรรม                     |
| ไขมัน                     | - น้ำทิ้งชุมชน ย่านการค้าและโรงงานอุตสาหกรรม                     |
| ยาฆ่าแมลง                 | - น้ำทิ้งจากกระบวนการทางการเกษตร                                 |
| ฟีนอล                     | - น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม                                     |
| โปรตีน                    | - น้ำทิ้งจากชุมชน และย่านอุตสาหกรรม                              |

## ตารางที่ 1 (ต่อ)

| คุณสมบัติ           | แหล่งของน้ำเสีย                                                               |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| ผงซักฟอก            | - น้ำทิ้งจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม                                          |
| อื่น ๆ              | - การย่อยสลายทางธรรมชาติของสารอินทรีย์                                        |
| สารอนินทรีย์ :      |                                                                               |
| ค่าความเป็นด่าง     | - น้ำทิ้งและน้ำใช้สำหรับชุมชน น้ำได้ดิน                                       |
| คลอไรด์             | - น้ำทิ้งและน้ำใช้สำหรับชุมชน น้ำได้ดินและน้ำที่ผ่านกระบวนการกำจัดความกระด้าง |
| โลหะหนัก            | - น้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม                                                     |
| ไนโตรเจน            | - น้ำทิ้งชุมชน น้ำทิ้งจากกระบวนการทาง<br>การเกษตร                             |
| ฟิเอช               | - น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม                                                  |
| ฟอสฟอรัส            | - น้ำทิ้งชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม และน้ำที่ไหลบ่าตามผิวดิน                      |
| กำมะถัน             | - น้ำทิ้งและน้ำใช้ชุมชน น้ำทิ้งโรงงาน<br>อุตสาหกรรม                           |
| สารเคมี             | - น้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม                                                     |
| ก๊าซที่ละลายในน้ำ : |                                                                               |
| ไฮโดรเจนซัลไฟด์     | - น้ำทิ้งชุมชนที่เกิดการย่อยสลาย                                              |
| มีเทน               | - น้ำทิ้งชุมชนที่เกิดการย่อยสลาย                                              |
| ออกซิเจน            | - น้ำใช้ชุมชน                                                                 |
| คุณสมบัติทางชีวภาพ  |                                                                               |
| สัตว์               | - ในแหล่งน้ำ และระบบบำบัดน้ำเสีย                                              |
| พืช                 | - ในแหล่งน้ำ และระบบบำบัดน้ำเสีย                                              |
| โปรติสตา (Protista) | - น้ำทิ้งชุมชน ระบบบำบัดน้ำเสีย                                               |
| ไวรัส               | - น้ำทิ้งชุมชน                                                                |

ที่มา: Tchbanoglous (1972)

Tebbutt (1977) ได้จำแนกองค์ประกอบของน้ำเสียที่ยังไม่ได้ผ่านระบบบำบัด (Raw sewage) ไว้ดังนี้

คุณสมบัติของน้ำเสียสามารถแปรเปลี่ยนตามปัจจัย 3 ปัจจัย ดังนี้ คือ

1. การเปลี่ยนแปลงระยะสั้น (Short-term Variation) เป็นการแปรเปลี่ยนคุณสมบัติของน้ำเสียในช่วงชั่วโมง วันหรือสัปดาห์ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากน้ำทิ้งชุมชน
2. การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล (Seasonal- Variation) เช่น การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในลำน้ำ
3. การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากกระบวนการทางอุตสาหกรรม (Industrial Variation) ขึ้นกับกิจการในอุตสาหกรรมนั้น ๆ

## 1. สารอินทรีย์ในน้ำเสีย

สารอินทรีย์เป็นสารประกอบ ได้แก่ คาร์บอนไฮโดรเจน ออกซิเจน และในบางประเภทอาจมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบด้วย นอกจากนี้ยังมีพวก กำมะถัน ฟอสฟอรัส และเหล็ก รวมอยู่ด้วย น้ำเสียที่มีกำลังความสกปรกปานกลางจะมีของแข็งแขวนลอยประมาณ 75 % เป็นสารอินทรีย์ และในของแข็งละลายน้ำ 100 % เป็นสารอินทรีย์ประมาณ 40 % การควบคุมปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียมีความจำเป็นมาก เพราะสารอินทรีย์ในลำน้ำเป็นตัวก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำ เนื่องจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์นั้นต้องอาศัยออกซิเจน ซึ่งถ้ามีสารอินทรีย์จากน้ำเสียระบายลงสู่แหล่งรองรับน้ำทิ้งตามธรรมชาติมากจะทำให้ใช้ออกซิเจนในลำน้ำถูกใช้หมดไป ทำให้สิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในน้ำตาย นอกจากนั้นในสภาวะที่ลำน้ำขาดออกซิเจนสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย เช่น มีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งทำให้น้ำเน่า มีสีดำและมีกลิ่นเหม็น ดังนั้นการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียก่อนระบายลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง

สารอินทรีย์ในน้ำเสียอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1.1 โปรีตินในน้ำเสียมีโปรีตินเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 40-60 % องค์ประกอบหลักของโปรีติน ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน ซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็นสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจน นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุพวก กำมะถัน ฟอสฟอรัสและเหล็กประกอบอยู่ด้วยเล็กน้อย โปรีตินเมื่อถูกย่อยเล็กลงจะเป็นกรดอะมิโน นอกจากนี้แล้วสารประกอบอินทรีย์ไฮโดรเจนที่มักพบในน้ำเสียเสมอเช่นกัน คือ ยูเรีย ทั้งโปรีติน กรดอะมิโน และยูเรียจะถูกย่อยสลายกลายเป็นสาร

1.2 คาร์โบไฮเดรตในน้ำเสียมีคาร์โบไฮเดรตอยู่ประมาณ 25- 50 % องค์ประกอบหลักของคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน สารประกอบคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ น้ำตาล แป้ง เซลลูโลส น้ำตาลเมื่อละลายน้ำจะถูกย่อยสลายโดยน้ำย่อยของแบคทีเรียและยีสต์ได้เป็นแอลกอฮอล์ และคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนแป้งไม่ละลายน้ำจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโดยแบคทีเรียหรือกรดแร่ แต่เซลลูโลสในน้ำเสียจะย่อยสลายโดยแบคทีเรียได้ยาก แต่ถ้าอยู่ใต้ดินจะถูกย่อยสลายโดยเชื้อรา

1.3 ไขมันเป็นสารประกอบเอสเตอร์ (Ester) ของแอลกอฮอล์ หรือกลีเซอรอลกับกรดไขมัน องค์ประกอบหลัก คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนอีกเล็กน้อย ในน้ำเสียมีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 10 % โดยแบคทีเรียส่วนใหญ่ย่อยไขมันไม่ได้ นอกจากนี้ไขมันยังก่อให้เกิดการอุดตันของท่อระบายน้ำ เป็นปัญหาต่อระบบบำบัดน้ำเสีย คราบไขมันที่ปิดหน้าของลำน้ำ จะเป็นตัวกั้นไม่ให้ก๊าซออกซิเจนละลายน้ำเป็นผลเสียต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่

นอกจากนี้สารอินทรีย์ทั้ง 3 ประเภทดังกล่าวแล้ว ยังมีสารอินทรีย์บางประเภทที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้น ซึ่งนับวันจะมีความสำคัญและปนเปื้อนลงในแหล่งน้ำมากขึ้น ได้แก่ พวงชักฟอก ฟีนอล และยาฆ่าแมลงที่ใช้ในการเกษตร เป็นต้น สารประกอบไนเตรต คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำในที่สุด

## 2. ความต้องการออกซิเจนในกระบวนการกำจัดมลพิษของน้ำเสีย

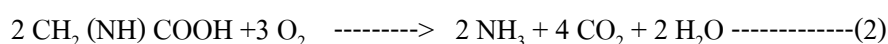
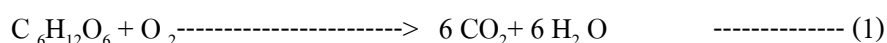
น้ำเสียที่ระบายทิ้งลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติประกอบไปด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งแบคทีเรีย Autotrophic bacteria บางชนิดสามารถย่อยสลายได้โดยกระบวนการที่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นในระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางชีววิทยาและในการปรับสภาพแหล่งน้ำตามธรรมชาติ (Self purification) จึงจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารปนเปื้อน ซึ่งลักษณะการนำไปใช้จะแบ่งเป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.1 ออกซิเจนที่ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอน (Carbonaceous oxygen demand)

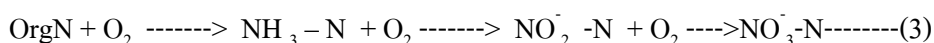
2.2 ออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจน (Nitrogenous oxygen demand)

2.3 ออกซิเจนที่ย่อยสลายสารอินทรีย์บางตัว (Oxygen demand for some chemical reducing agents)

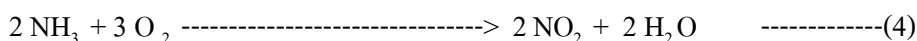
2.1 ออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอน (Carbonaceous oxygen demand)  
สารประกอบอินทรีย์ปกติจะไม่คงตัวและสามารถถูกย่อยสลายโดยกระบวนการทางชีววิทยา หรือกระบวนการทางเคมีจนได้เป็นสารที่มีความคงตัวและไม่ย่อยสลายต่อไป เช่น  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_3$  และน้ำ ออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนนี้ คือ ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในส่วนที่เป็นองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ จนได้เป็น  $\text{CO}_2$  และน้ำ ตัวอย่างการย่อยสลายของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน เช่น การย่อยสลายของน้ำตาลกลูโคสและไกลซีน ดังแสดงในสมการ (1) และ (2)



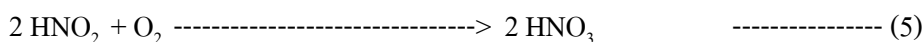
2.2 ออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจน (Nitrogenous oxygen demand) คือ ออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจน อันได้แก่ แอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) ซึ่งเกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น โปรตีน กรดอะมิโน และยูเรีย หรือแอมโมเนียซึ่งละลายลงในน้ำเสียหรือน้ำธรรมชาติ และสารประกอบไนไตรท์ ( $\text{NO}_2^-$ ) ให้เป็น ไนเตรท ( $\text{NO}_3^-$ ) แสดงดังในสมการที่ (3) แสดงกระบวนการย่อยสลายของอินทรีย์ไนโตรเจน การย่อยสลาย  $\text{NH}_3$  และ  $\text{NO}_2^-$  โดยแบคทีเรียในกระบวนการใช้ออกซิเจน แสดงดังในสมการที่ (4) และ (5)



nitrite - forming bacteria



nitrite - forming bacteria



2.3 ออกซิเจนที่ย่อยสลายในสารอินทรีย์บางตัว (Oxygen demand for some chemical reducing agents) นอกจากสารอินทรีย์จะเป็นสาเหตุให้ออกซิเจนในลำน้ำลดลงแล้วยังมีสารเคมีบางตัวที่ปนเปื้อนในลำน้ำ และสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในน้ำได้ เช่น เหล็กเฟอร์รัส ( $\text{Fe}^{+2}$ ), ซัลไฟต์ ( $\text{SO}_3^{2-}$ ) และซัลไฟด์ ( $\text{S}^{2-}$ ) เป็นต้น

### การวิเคราะห์สารอินทรีย์ในน้ำ

น้ำทิ้งที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติมีสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนหลายชนิด การที่จะวิเคราะห์สารอินทรีย์แต่ละชนิดจะไม่สะดวกจึงวิเคราะห์ในปริมาณรวม ๆ ค่าที่นิยมใช้บอกปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำที่แพร่หลายอยู่ในปัจจุบัน คือ ค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand), และอีกค่าหนึ่งซึ่งเริ่มนิยมวิเคราะห์กันมากขึ้น เพราะสะดวกและรวดเร็วกว่า คือ ค่า TOC (Total Organic Carbon) โดยแบ่งวิธีการวิเคราะห์สารอินทรีย์ได้เป็น 2 หลักการ คือ

## 1. การวิเคราะห์สารอินทรีย์ในรูปปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์

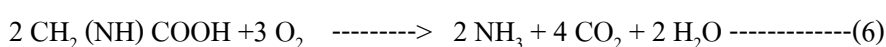
1.1 BOD (Biochemical Oxygen Demand) เป็นการวัดปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์ในน้ำในสภาพที่มีออกซิเจน วิธีนี้ใช้เวลาประมาณ 5 วัน

1.2 COD (Chemical Oxygen Demand) คือ ปริมาณออกซิเจนที่สารอินทรีย์ต้องการใช้ เมื่อถูกย่อยสลายด้วยสารเคมี (Chemical oxidizing agent) ในสภาวะที่เป็นกรด วิธีนี้ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง

1.3 TOD (Total Organic Demand) ด้วยวิธีนี้สารอินทรีย์ในน้ำเสีย และสารอินทรีย์บางตัว ถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปสารประกอบที่มีความคงตัวกว่าโดยการเผาไหม้ในเตาเผาที่มีแพลตตินัม (Pt) เป็นตัวเร่ง (Platinum – catalyzed combustion chamber) โดยใช้  $O_2$  จากลำก๊าซไนโตรเจน ซึ่งเป็น ก๊าซตัวพา (Carrier gas) ในเครื่อง TOD ออกซิเจนที่ถูกใช้ไปหรือค่า TOD หาได้จากการแปรสัณฐาน จากความต่างศักย์ที่ต่ำลงของเครื่อง TOD วิธีนี้ได้ผลรวดเร็วแต่ควรทำควบคู่กับค่าอื่น ๆ เช่น COD ไปด้วย

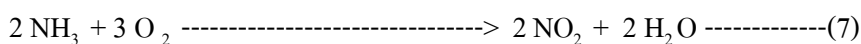
1.4 ThOD (Theoretical Oxygen Demand) สารอินทรีย์จากสัตว์พืช ประกอบไปด้วย ธาตุหลัก คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และ ออกซิเจน อาจมีไนโตรเจน เมื่อรู้สูตรองค์ประกอบ ทางเคมีของสารอินทรีย์เหล่านั้น ก็สามารถคำนวณหาปริมาณออกซิเจน ที่ใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้นได้ ค่าออกซิเจนที่คำนวณได้ คือ ค่า ThOD ดังตัวอย่างการหา ThOD ของไกลซีน ( $CH_2(NH)COOH$ ) แสดงดังในสมการ (6) (7) และ (8) จะต้องหาปริมาณ ออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนให้เป็น  $CO_2$  และ  $H_2O$  จากนั้นหาปริมาณ ออกซิเจนที่ใช้เปลี่ยน แอมโมเนียที่แตกตัวออกมาเป็นไนเตรต ค่า ThOD ก็คือ ผลรวมของ ออกซิเจนที่ใช้ไปทั้งหมด

### Carbonaceous demand

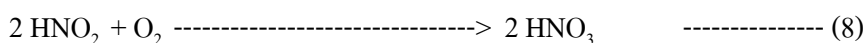


### Nitrogenous demand

nitrite - forming bacteria



nitrite - forming bacteria



$$\therefore \text{ThOD} = (3/2 + 4/2) \text{ โมล } \text{O}_2 / \text{โมล ไกลซีน} = 112 \text{ กรัม } \text{O}_2 / \text{โมลของ ไกลซีน}$$

## 2. การวิเคราะห์สารอินทรีย์ในน้ำโดยตรง

2.1 VSS (Volatile Suspended Solids) หรือของแขวนลอยระเหย คือ น้ำหนักของสารอินทรีย์ที่หายไปเมื่อนำไปเผาที่ 550 °C เป็นเวลา 15 นาทีเมื่อเทียบกับน้ำหนักของแข็งที่มีอยู่เมื่ออบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง วิธีนี้เป็นวิธีบอกปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำที่เก่าและไม่ค่อยนิยมใช้กันในปัจจุบัน

2.2 TOC (Total Organic Carbon) มีหลักการ คือ สารอินทรีย์ในน้ำจะถูกเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงในเครื่อง TOC ได้เป็น CO<sub>2</sub> และ H<sub>2</sub>O ในสถานะที่มีตัวกระตุ้นปฏิกิริยาก๊าซ CO<sub>2</sub> ที่เกิดขึ้นจะถูกวัดด้วยแสงอินฟราเรด (Nondispersived infrared) วิธีการนี้เป็นวิธีการที่สะดวกและรวดเร็วที่สุดในปัจจุบันคือ ใช้เวลาประมาณ 3-5 นาที

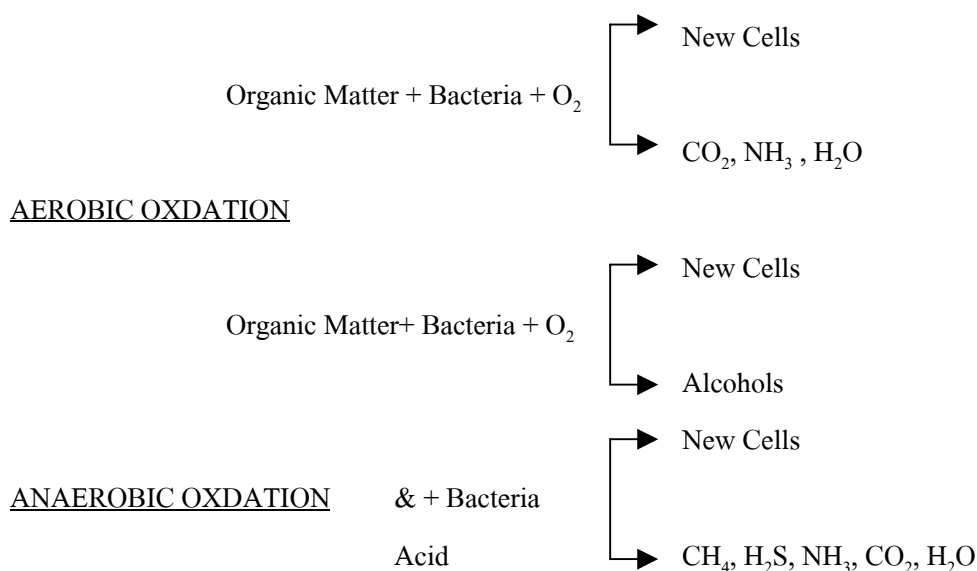
### BOD (Biochemical Oxygen Demand)

#### 1. ความหมายของ BOD

ออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ (Biodegradable organic matter) ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน หรืออาจกล่าวได้ว่า BOD เป็นการหาปริมาณของสารอินทรีย์ที่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพโดยวัดออกมาในรูปของออกซิเจนที่แบคทีเรียต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์

## 2. การย่อยสลายทางชีวภาพของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในลำน้ำ และที่ปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งสามารถถูกย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีววิทยาโดยจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน โดยในสถานะที่มีออกซิเจนจะย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน(Aerobic oxidation) แบคทีเรียจะใช้ส่วนหนึ่งของสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายไปสร้างเซลล์ใหม่ส่วนที่เหลือจะเปลี่ยนไปเป็นสภาพเสถียร ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และแอมโมเนียขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดซ์ และสำหรับในสถานะที่ไม่มีออกซิเจนการย่อยสลายจะเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic oxidation) ผลของการย่อยสลายได้แบคทีเรียเซลล์ใหม่เช่นกัน และได้ผลผลิตที่ไม่เป็นที่พึงประสงค์ ซึ่งทำให้เกิดภาวะมลพิษของแหล่งน้ำ เช่น กรดอินทรีย์ อัลกอฮอล์ คีโตน และมีเทน ดังแสดงในภาพที่ 1

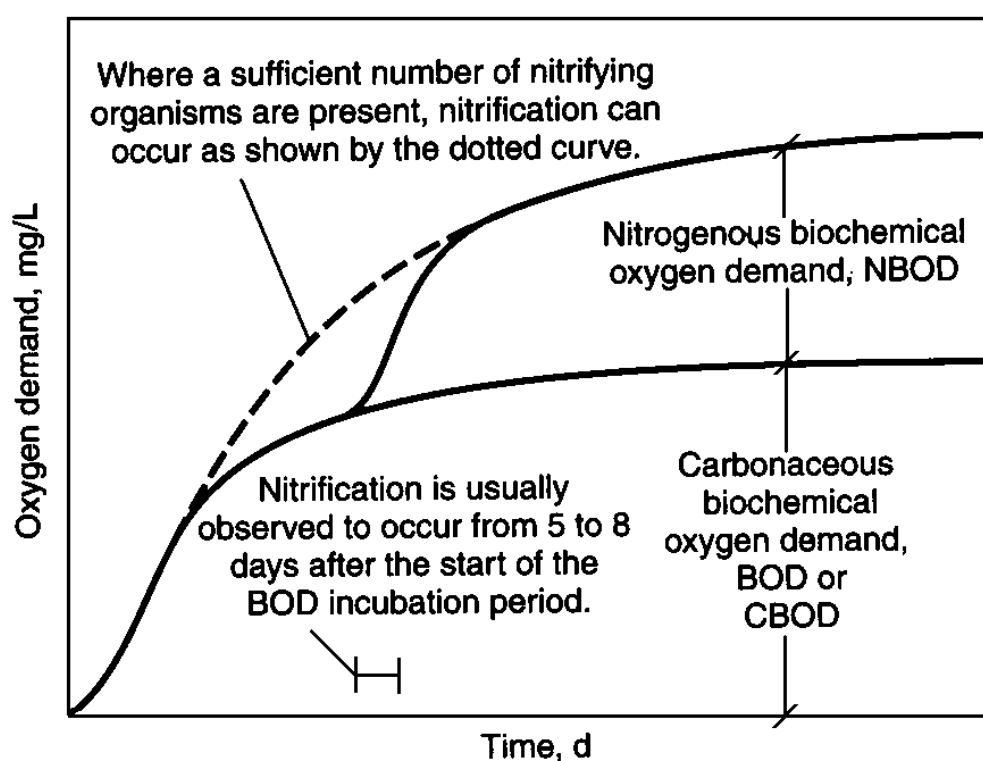


**ภาพที่ 1** แสดงกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในลำน้ำโดยกระบวนการทางชีววิทยา

ที่มา: Tebbt (1977)

การควบคุมมลพิษทางน้ำต้องควบคุมสภาพย่อยสลายทางชีวภาพให้อยู่ในสภาพที่ใช้ ออกซิเจนคือ มีออกซิเจนเพียงพอ การใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ เป็นเวลาหลายวัน ในทางปฏิบัติเมื่อใช้เวลา 20 วันจะสามารถ ออกซิไดซ์สารอินทรีย์ได้ประมาณ 95 – 99 % ของทั้งหมด

Metcalf and Eddy (2003) กล่าวว่า การใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียในการย่อยสลาย สารอินทรีย์แบ่งเป็น 2 ระยะ ซึ่งอาจแสดงได้ด้วย BOD Curve ในภาพที่ 2

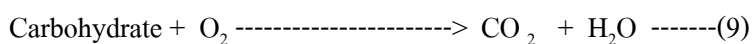


**ภาพที่ 2** แสดงการใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์

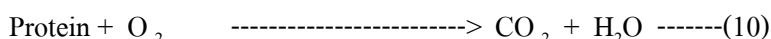
ที่มา: Metcalf and Eddy (2003)

ระยะที่ 1 เป็นการออกซิไดซ์ของสารคาร์บอน แสดงดังในสมการ (9) และ (10)

Saprophytic Bacteria



Saprophytic bacteria



ระยะที่ 2 เป็นการออกซิไดซ์ของ  $\text{NH}_3$  ----->  $\text{NO}^{2-}$  ----->  $\text{NO}^{3-}$  ตามลำดับโดยพวก Autotrophic bacteria ที่มีชื่อว่า Nitrifying bacteria ซึ่งมีอยู่น้อยในน้ำทิ้งที่ไม่ผ่านระบบบำบัด

ค่า BOD เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับบอกปริมาณออกซิเจนที่ต้องการสำหรับน้ำทิ้งชุมชน น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและในลำน้ำที่เกิดมลพิษ ดังนั้นค่า BOD จึงมีความสำคัญในการควบคุมภาวะมลพิษของแหล่งน้ำเพราะเป็นภาวะที่เกิดขึ้นคล้ายคลึงกับแหล่งน้ำธรรมชาติ และยังใช้ในการประมาณขนาดของระบบบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งบอกประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

การวิเคราะห์ค่า BOD เป็น Bioassay procedure ซึ่งเกี่ยวกับการวัดค่าออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งหาในขวด BOD โดยกำหนดปัจจัยต่าง ๆ คงที่เป็นสภาวะมาตรฐานเดิมหน่วยงาน The Royal Commission on Sewage Disposal ของประเทศอังกฤษ กำหนดการหาค่า BOD ให้ใช้เวลาในการเพาะเชื้อ (Incubate) 5 วัน ที่อุณหภูมิ  $65^\circ\text{F}$  ( $= 18.3^\circ\text{C}$ ) ทั้งนี้เนื่องจากเป็นอุณหภูมิของน้ำโดยเฉลี่ยของประเทศอังกฤษ และลำน้ำต่าง ๆ ในประเทศอังกฤษ ใช้เวลาไหลลงทะเลไม่เกิน 5 วัน โดยขณะนั้นเรียกว่า Dissolved oxygen taken up in 5 day at  $65^\circ\text{F}$  และ Lederer ได้เปลี่ยนชื่อเสียใหม่เป็น Biochemical Oxygen Demand โดยมีตัวย่อเป็น BOD ต่อมา The Ministry of Housing and Local Government ของสหรัฐอเมริกาได้เปลี่ยนอุณหภูมิมาตรฐานที่ใช้กำหนดค่า BOD เป็น  $20^\circ\text{C}$  ซึ่งเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำโดยทั่วไปที่ใช้อยู่จนทุกวันนี้ สำหรับเวลาในการเพาะเชื้อปัจจุบันยังคงใช้ 5 วัน ด้วยเหตุผลที่ว่าถ้าใช้เวลา 20 วัน ซึ่งใกล้เคียงความต้องการออกซิเจนจริง ๆ ในธรรมชาติที่สุด แต่จะนานเกินไปไม่ทันกับการที่จะปล่อยน้ำเสียต่าง ๆ ลงสู่แม่น้ำลำคลอง และที่เวลาเพาะเชื้อ 5 วันนี้จะได้ออกซิเจนที่หลีกเลี่ยงการใช้ออกซิเจนในระยะที่ 2 ของแบคทีเรีย แต่ถ้าใช้นานน้อยกว่านี้ ปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้จะน้อยเกินไป Klein (1959) กล่าวว่า เวลาที่เพาะเชื้อ 5 วัน สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งชุมชนได้ประมาณ

65 % ส่วนเหตุผลที่เลือกใช้อุณหภูมิ 20 °C เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียในระยะที่ 2 ด้วยเช่นกัน กรรณิการ์ (2525) ให้เหตุผลว่า Nitrifying bacteria จะเติบโตช้าที่อุณหภูมิ 20 °C

Tchobanous (1972) ยังกล่าวอีกว่าที่อุณหภูมิ 20 °C นั้น เป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิน้ำในลำน้ำที่ไหลเอื่อย ๆ โดยทั่วไปนอกจากนี้ยังเป็นการง่ายต่อการควบคุมในตู้เพาะเชื้อ

### 3. สมการที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา BOD

3.1 สมการ BOD กรรณิการ์ (2525) กล่าวว่า การย่อยสลายของสารอินทรีย์เนื่องจากแบคทีเรียในน้ำเสียภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน จัดเป็น First order reaction กล่าวคืออัตราเร็วของปฏิกิริยาเป็นปฏิกากับปริมาณสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ ณ เวลา นั้น ๆ จะเห็นว่าสารอินทรีย์จะลดลงเรื่อย ๆ ทำนองเดียวกับออกซิเจนในน้ำที่ลดลงเพราะต้องใช้ ออกซิเจนย่อยสลายสารอินทรีย์ และค่า BOD ก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งสารถูกย่อยสลายหมด ค่า BOD ที่ได้จะเป็นค่า BOD ทั้งหมดของน้ำนั้นเรียกว่า Ultimate demand เขียนแทนด้วยตัวอักษร L ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า BOD ทั้งหมดของน้ำ ก็เปรียบได้กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำที่ถูกออกซิไดซ์ได้ด้วยแบคทีเรีย อาจเขียนสมการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ แสดงดังในสมการที่ (11)

$$-\frac{dC}{dt} = k' C \quad \text{----- (11)}$$

เมื่อ C เป็นความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเมื่อเริ่มต้นเวลา t  
K เป็นค่าคงที่

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ลดลงอาจใช้ L ซึ่งเป็นค่า Ultimate demand หรือค่า BOD ทั้งหมดของน้ำแทน C และ  $-dL / dt$  จะแทนอัตราเร็วของอินทรีย์ ซึ่งถูกทำลายเนื่องจากออกซิเจนถูกใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นอัตราส่วนโดยตรงกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดซ์ ดังนั้นจึงอาจบอก ค่า L ในรูปสารอินทรีย์ในน้ำหรือในรูปของออกซิเจนที่ถูกใช้ไป แสดงดังสมการที่ (12) ถึง (20)

$$-\frac{dL}{dt} = k' L \text{ ----- (12)}$$

$$-\int \frac{dL}{dt} = -\int k' dt \text{ ----- (13)}$$

$$-\ln \frac{L_t}{L} = k' t \text{ ----- (14)}$$

$$-\frac{L_t}{L} = e^{-k' t} = 10^{-k' t} \text{ ----- (15)}$$

$$\text{หรือ } -L_t = L \times 10^{-k' t} \text{ ----- (16)}$$

เมื่อ  $k = k' / 2.303$  จากสมการที่ 16 จะทราบถึงปริมาณสารอินทรีย์หรือ BOD ที่เหลืออยู่ในน้ำที่เวลา  $t$  ถ้าต้องการจะทราบว่า BOD ที่ถูกใช้ไปก็หาได้โดยการดัดแปลงสมการที่ 16 ดังนี้

$$1 - \frac{L_t}{L} = 1 - e^{-k' t} \text{ ----- (17)}$$

$$L - L_t = L(1 - e^{-k' t}) \text{ ----- (18)}$$

$$\text{ถ้า } Y = L - L_t = \text{BOD ที่ถูกใช้ไปในเวลา } t \text{ ----- (19)}$$

$$Y = L(1 - 10^{-k' t}) \text{ ----- (20)}$$

ในสมการ ที่ 14 นี้

$Y$  = ค่า BOD ที่เวลา  $t$  หรือปริมาณออกซิเจนเป็นมิลลิกรัม/ ลิตรที่ถูกใช้ไป  
ในเวลา  $t$

$K$  = ค่าคงที่ซึ่งแปรผันไปตามอุณหภูมิของน้ำ ชนิดของแบคทีเรียและสารอินทรีย์  
อาจหาได้จากการทดลองมีค่าประมาณ 0.05 - 0.3 ต่อวัน ปกติประมาณ 0.1 ต่อวัน

$L$  = Total หรือ Ultimate demand เป็นมิลลิกรัม/ ลิตร

3.2 การหา % Remaining เป็นการหา BOD ที่หามาได้คิดเป็นร้อยละเท่าไรของค่า BOD  
ทั้งหมด

#### 4. หลักการหาค่า BOD

ค่า BOD เป็นผลต่างของ DO (Dissolved oxygen) ในวันเริ่มต้นซึ่งเรียก Day zero ( $DO_0$ )  
กับค่า DO ของตัวอย่างเดียวกันภายหลังการเพาะเชื้อ (Incubate) ไว้ 5 วัน ที่  $20 \pm 1^\circ C$  ซึ่งใช้  
สัญลักษณ์  $DO_5$  มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร ดังนั้นอาจเขียนได้ดังสมการที่ (21)

$$BOD = DO_0 - DO_5 \quad \text{-----}(21)$$

ในการหาค่า BOD นั้น ถ้าน้ำตัวอย่างมีความสกปรกน้อย ค่า  $BOD_5$  ไม่เกิน 7 มิลลิกรัม/ ลิตร  
ไม่ต้องทำการเจือจางตัวอย่างก่อน (Dilution method) แต่ถ้า  $BOD_5$  มากกว่า 7 มิลลิกรัม/ ลิตร  
ต้องทำให้เจือจางก่อน โดยใช้ น้ำสำหรับเจือจาง (Dilution water) และถ้าในน้ำมีแบคทีเรียไม่เพียงพอ  
ต้องทำการเติมน้ำเชื้อ (Seeding) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ( $DO$ ) ที่ต้องการทราบในการหาค่า BOD  
อาจทดสอบได้หลายวิธีดังนี้ คือ

1. The Winkler Method

2. The Azide Modification of the Winkler Method

3. Rideal – Stewart Modification of the Winkler Method
4. The Alkali – hypochlorite Modification
5. Alum Flocculation Modification
6. Membrane Electrode Method

วิธี Winkler method นี้เป็นวิธีมาตรฐานสำหรับหา DO หรืออาจเรียกว่า Lodomeric Method ส่วนวิธีที่ 2 -5 เป็นการปรับปรุงวิธี Winkler method นี้ไปใช้ในกรณีกำจัดวัชกรวนต่าง ๆ ที่มีผลต่อการหาค่า DO ส่วนในการหา BOD ของน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบจะใช้วิธี Azide Modification of the Winkler Method เพื่อการจัดการรบกวนของไนไตรท์ ซึ่งพบบ่อยในน้ำทิ้งที่ผ่านระบบบำบัดทางชีววิทยา รวมทั้งน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ

## 5. ปัจจัยที่ผลต่อการหาค่า BOD

Klein (1959) กล่าวว่า การวิเคราะห์ค่า BOD เป็นกระบวนการทดสอบทางชีวเคมี ซึ่งขึ้นอยู่กับกิจกรรมของแบคทีเรียเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่จะส่งผลกระทบต่อกิจกรรมต่าง ๆ ของแบคทีเรียให้คงที่ สภาวะแวดล้อมเป็นสิ่งสำคัญที่สุดในกระบวนการทางชีวเคมี คือ จะต้องเหมาะสมกับจุลชีพ ปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึง เช่น

**5.1 เวลา** เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการหาค่า BOD เพราะมีอิทธิพลต่อปริมาณการออกซิเดชันของสารอินทรีย์ จากสมการ  $BOD = Y = L(1 - 10^{-k \cdot t})$  จะเห็นว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายเพิ่มขึ้น

**5.2 อุณหภูมิ** อุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับระบบทางชีววิทยาของแบคทีเรีย ในปฏิกิริยาการหา BOD เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจะมีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราการย่อยสลาย ( $k$ ) เปลี่ยน

**5.3 การเจือจางตัวอย่าง** ในตัวอย่างที่มีความสกปรกน้อย คือ  $BOD_5$  ไม่เกิน 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่จำเป็นต้องมีการเจือจาง แต่ถ้า  $BOD_5$  ของตัวอย่างเกินกว่า 7 มิลลิกรัมต่อลิตร จำเป็นต้องมีการเจือจางตัวอย่างให้มีความเข้มข้นเหมาะสม จะต้องทำให้ออกซิเจน ( $DO_0$ ) มีค่าไม่น้อยกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร และเหลือออกซิเจนในวันอยู่ที่ 5 ( $DO_5$ ) ไม่ต่ำกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร ในทางปฏิบัติเมื่อหาค่า BOD ของน้ำเสียจะทำการเจือจางตัวอย่างประมาณ 3 ช่วงความเจือจาง ถ้าในแต่ละความเข้มข้นให้ค่า BOD ออกมาแตกต่างกันมากจำเป็นต้องพิจารณาโดยยึดหลักว่า ค่า BOD ที่เหมาะสม คือ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำวันที่ 5 ( $DO_5$ ) ลดลงอยู่ในช่วง 40 – 70 % ของเมื่อวันที่ 1 ( $DO_0$ )

**5.4 จุลชีพที่ช่วยย่อยสารอินทรีย์** เนื่องจากการหาค่า BOD อาศัยจุลชีพเป็นตัวย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่าง ปริมาณและชนิดของจุลชีพที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญต่อการหาค่า BOD น้ำทิ้งจากบ้านเรือนที่ไม่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน น้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ รวมทั้งน้ำในแม่น้ำมักมีจำนวนจุลชีพเพียงพอ แต่มีน้ำทิ้งบางประเภทที่มีจุลินทรีย์ไม่พอ เช่น น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท อาทิ น้ำทิ้งที่มีความเป็นกรด – ด่างสูง น้ำทิ้งที่มีสารพิษ และน้ำทิ้งที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งทำให้มีจุลชีพไม่เพียงพอต่อการหาค่า BOD ต้องมีการเติมจุลชีพ (Seeding)

จุลชีพที่ใช้การหาค่า BOD เป็นพวกที่ใช้ ออกซิเจน (Aerobic organism) ถ้าในน้ำเสียมีจุลชีพที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic organism) อยู่มากกว่า เช่น ในน้ำเสียจากบ่อเกรอะ (Septic sewage) ในกากของเสียที่ถูกย่อยสลาย (Digested sludge) โคลนได้น้ำ น้ำใสจากถังย่อยกากตะกอนจะมีผลทำให้เกิด Lag phase ขึ้นในช่วงแรกของการหาค่า BOD คือประมาณ 1-3 วัน ทำให้ค่า BOD ต่ำกว่าความเป็นจริง

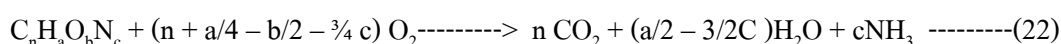
### **COD (Chemical Oxygen Demand)**

#### **1. ความหมายของ COD**

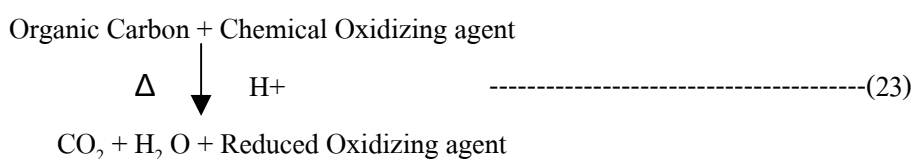
ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำโดยตัวออกซิเจนอย่างแรง (Strong oxidizing agent) ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด

## 2. หลักการทั่วไป

การวัดกำลังความสกปรกของน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนและน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบโดยใช้ค่า COD นั้น อาศัยหลักการที่ว่าสารอินทรีย์เกือบทั้งหมด (ยกเว้นเป็นส่วนน้อย) สามารถถูกออกซิไดซ์โดยตัวเดิมออกซิเจนอย่างแรงภายใต้สภาวะที่เป็นกรด สารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำทิ้งประมาณ 95 – 100 % ถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรต และพวกอะมิโนไนโตรเจน ก็ถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน ปฏิกริยาพื้นฐานของการเติมออกซิเจนอาจเขียนได้ดังแสดงในสมการที่ 22 ดังนี้



การหาค่า COD ออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ดังสมการ 22 ได้มาจากตัวเดิมออกซิเจนอย่างแรง แสดงดังในสมการที่ (23)



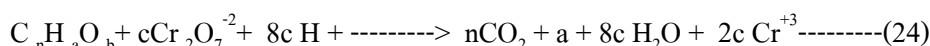
เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาปริมาณตัวเดิมออกซิเจนที่ถูกใช้ไปจะถูกนำไปคำนวณหาค่าปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้สำหรับย่อยสลายสารอินทรีย์ ถ้าปริมาณออกซิเจนถูกใช้ไปมากจะแสดงว่าสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายมีจำนวนมาก

สารเติมออกซิเจนที่ใช้ในการหาค่า COD ของน้ำมีหลายตัว เช่น โพตัสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $KMnO_4$ ) เซริกซัลเฟต ( $Ce_2(SO_4)_3$ ) โพตัสเซียมไอโอเดต ( $KIO_3$ ) และกรดไอโอติก ( $HIO_3$ )

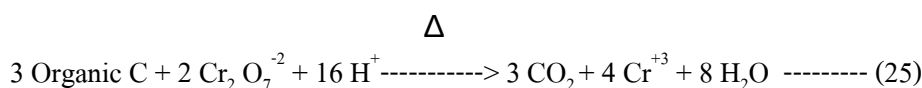
โพตัสเซียมเปอร์ซัลเฟต ( $K_2S_2O_8$ ) และโพตัสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) แต่ละตัวมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน แต่ที่นิยมใช้มากในปัจจุบันและเป็นวิธีที่เป็นมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา ตามข้อกำหนดของ APHA คือ โพตัสเซียมไดโครเมต เพราะมีความสามารถในการออกซิเดชันสูง และเหมาะสมกับตัวอย่างน้ำหลายชนิด โดยเฉพาะน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน สามารถออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์ได้มากชนิดจนเกือบสมบูรณ์ได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ นอกจากนี้

การวัดปริมาณของไดโครเมตไอออน ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$ ) ยังทำได้ง่าย ได้ผลแน่นอนและยังเป็นสารที่มีราคาถูก นอกจากนี้ยังมีข้อดีของปฏิกิริยาดิโครเมตอีกอย่างหนึ่งคือถ้าใช้  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ชนิด Analytical grade เามาอบให้แห้งที่  $103^\circ\text{C}$  ก่อนใช้เตรียมน้ำยาก็ได้สารละลายที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน (Primary Standard)

หลักการหาค่า COD โดยใช้  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  คือ สารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำตัวอย่างไม่ต่ำกว่า 95-98 % จะถูกออกซิไดซ์ด้วย  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดอย่างแรง และอุณหภูมิสูงได้เป็น  $\text{CO}_2$  และ  $\text{H}_2\text{O}$  ส่วนแอมโมเนียรวมทั้งสารอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น พวก Amino- และ Nitrite-nitrogen จะถูกเปลี่ยนเป็น Ammonium Sulfate ( $\text{NH}_4$ ) $_2\text{SO}_4$  ซึ่งจะไม่ถูกออกซิไดซ์อีก จะเกิดความผิดพลาดประมาณ 2-3 % เนื่องจากสารระเหยได้บางตัวที่ไม่ถูกออกซิไดซ์ เช่น มีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ดังนั้นปฏิกิริยาจึงอาศัย กระบวนการกลั่นย้อนกลับ (Reflux) หรือกระทำในระบบปิดเพื่อป้องกันการสูญหายไปของสารระเหยที่มีอยู่เดิมในตัวหรือน้ำ หรือที่เกิดขึ้นในระหว่างปฏิกิริยาย่อยสลาย นอกจากนั้นยังมีสารอินทรีย์บางตัวที่ย่อยสลายด้วย  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ได้ยาก เช่น Fatty acid straight-chain, Aliphatic straight-chain, Alcohol และ Straight-chain acid จึงจำเป็นต้องเติมซิลเวอร์ซัลเฟต ( $\text{AgSO}_4$ ) เป็น Catalyst และใช้  $\text{HgSO}_4$  เป็นตัวกำจัดขี้ขาวของพวกคลอไรด์ไอออน ซึ่งมักพบเสมอในน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนและน้ำเสียจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ปฏิกิริยาการย่อยสลายเป็นแสดงดังในสมการ (24)



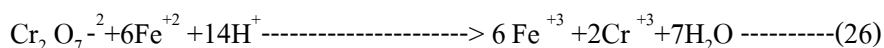
เมื่อ  $c = 2/3 n + a/6 - b/3$  หรืออาจเขียนสมการง่าย ๆ ดังในสมการที่ (25)



ในการวิเคราะห์จะเติมสารละลาย  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ที่ทราบความเข้มข้นและปริมาตรจำนวนมากเกินพอลงไป หลังจากสิ้นสุดปฏิกิริยาการย่อยสลายแล้ว  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ที่คงเหลือจะถูกไทเทรตด้วยสารละลาย Ferrous Ammonium Sulfate (FAS) โดยใช้เฟอโรอิน ( $\text{Fe}(\text{C}_12\text{H}_8\text{N}_2)_3^{+2}$ ) เป็นอินดิเคเตอร์

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในช่วงนี้ แสดงดังในสมการที่ (26)

Ferrouin



โครเมียมอ็อกไซด์ในสารละลาย  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ที่เหลืออยู่ใน  $\text{Cr}^{+6}$  มีสีเหลืองจะถูกรีดิวซ์ด้วย  $\text{Fe}^{+2}$  ในสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตให้เป็น  $\text{Cr}^{+3}$  ซึ่งมีสีเขียวแทนแต่เนื่องจากสีเหลืองของ  $\text{Cr}^{+6}$  และสีเขียวของ  $\text{Cr}^{+3}$  ต่างกันไม่ชัดเจน จึงใช้เฟอร์โรอินเป็นอินดิเคเตอร์ทำให้จุดยุติ (End point) เป็นสีน้ำตาล (Reddish brown) ซึ่งชัดเจนว่าสีเขียวของเกลือโครมิก จากนั้นคำนวณหาปริมาณออกซิเจนซึ่งสมมูลกับปริมาณสารอินทรีย์ได้

### 3. ปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์ค่า COD

ในการวิเคราะห์ค่า COD นั้นมีปัจจัยหลายสิ่งซึ่งส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์ ซึ่งจะทำให้ค่า COD ที่วิเคราะห์ได้มีความถูกต้องแม่นยำหรือคลาดเคลื่อนได้ เช่น อุณหภูมิความเข้มข้นของกรด จุดยุติของปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในการย่อยสลายและความเข้มข้นของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต Stone (1974) ได้นำเสนอผลการวิจัยของเขาซึ่งเปรียบเทียบการหาค่า COD โดยวิธีไดโครเมต โดยใช้เวลาริฟลักซ์นาน 1, 2 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ กับตัวอย่างน้ำทิ้งบ้านพักอาศัย และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าระยะเวลาเพียง 1 ชั่วโมงก็เพียงพอในการย่อยสลาย แต่ที่ระยะเวลาการริฟลักซ์ 2 ชั่วโมงให้ค่าสูงที่สุดเขาจึงแนะนำให้ใช้เวลาริฟลักซ์ 2 ชั่วโมง ผลการวิจัยแสดงในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ผลของระยะเวลา Reflux ต่อการหาค่า COD วิธี Dichromate โดยใช้  $\text{AgSO}_4$  เป็น Catalyst

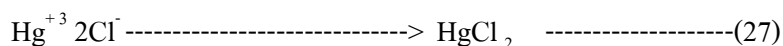
| การทดลองที่ | ค่า COD (mg/l) |             |             |                         |             |             |
|-------------|----------------|-------------|-------------|-------------------------|-------------|-------------|
|             | น้ำทิ้งชุมชน   |             |             | น้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม |             |             |
|             | รีฟลักซ์นาน    | รีฟลักซ์นาน | รีฟลักซ์นาน | รีฟลักซ์นาน             | รีฟลักซ์นาน | รีฟลักซ์นาน |
|             | 1 ชั่วโมง      | 2 ชั่วโมง   | 4 ชั่วโมง   | 1 ชั่วโมง               | 2 ชั่วโมง   | 4 ชั่วโมง   |
| 1           | 652            | 656         | 648         | 1,004                   | 1,004       | 100         |
| 2           | 832            | 840         | 844         | 1,064                   | 1,072       | 1,076       |
| 3           | 740            | 736         | 724         | 972                     | 972         | 964         |
| 4           | 720            | 736         | 708         | 940                     | 948         | 948         |
| 5           | 820            | 824         | 820         | 832                     | 840         | 832         |
| 6           | 680            | 684         | 680         | 916                     | 920         | 916         |
| ค่าเฉลี่ย   | 741            | 746         | 737         | 955                     | 976         | 956         |

ที่มา: Stone (1974)

#### 4. ตัวขัดขวาง (Interference)

วัตถุประสงค์ของการหาค่า COD ของน้ำตัวอย่างก็เพื่อหาปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายของสารอินทรีย์คาร์บอนโดยอาศัยสารออกซิไดซ์อย่างแรง เป็นตัวให้ออกซิเจนในปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox) ดังนั้นอาจจะมีสารอินทรีย์บางตัวสามารถออกซิไดซ์หรือสามารถออกซิไดซ์ตัวออกซิไดซ์ที่ใช้ในปฏิกิริยาหาค่า COD ซึ่งในที่นี้คือ  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  มีผลทำให้ค่า COD ที่หาได้มากขึ้นหรือน้อยลงกว่าความเป็นจริงตามลำดับตัวขัดขวางหรือตัวรบกวน เช่น  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{SO}_2$  และอนุมูลลบของธาตุกลุ่มเฮไลด์ เช่น  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  และ  $\text{I}^-$  โดยเฉพาะ  $\text{Cl}^-$  ซึ่งมักพบในน้ำทิ้งจากอาคารบ้านพักอาศัยจะไปทำปฏิกิริยากับ  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ได้ มีผลทำให้ COD ที่หาได้สูงกว่าความเป็นจริงและนอกจากนี้  $\text{Cl}^-$  ยังสามารถทำปฏิกิริยาทำให้  $\text{AgSO}_4$  ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการหา COD ตกตะกอนทำให้สารอินทรีย์บางตัวไปถูกย่อยสลาย

Dobbs and Williams (1963) พบว่า การใส่  $\text{HgSO}_4$  ในตัวอย่างที่จะรีฟลักซ์ เพื่อให้  $\text{HgSO}_4$  ทำปฏิกิริยากับ  $\text{Cl}^-$  ได้เป็น  $\text{HgCl}_2$  ซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำมาก ( $K_{sp} = \text{Solubility Products}$  ที่  $25^\circ\text{C} = 2.6 \times 10^{-15}$ ) ปฏิกิริยาการจับ  $\text{Cl}^-$  ของ  $\text{Hg}^{+2}$  ใน  $\text{HgSO}_4$  ดังแสดงในสมการ (27)



การใช้  $\text{HgCl}_2$  เป็นตัวลดอิทธิพลของ  $\text{Cl}^-$  ในการวิเคราะห์ค่า COD ก็มีข้อจำกัด คือ สามารถใช้ได้ดีในตัวอย่างน้ำที่ปริมาณคลอไรด์ไม่เกิน 2,000 mg/l และปริมาณของ  $\text{HgSO}_4$  ที่ได้ต้องอยู่ในอัตราส่วน  $\text{HgSO}_4 : \text{Cl}^- = 10 : 1$  โดยน้ำหนัก ดังนั้นในน้ำตัวอย่างที่มีปริมาณคลอไรด์สูง ๆ เช่น น้ำทะเล จึงไม่สามารถใช้วิธี Dichromate Reflux แบบธรรมดาได้

นราพร (1979) ได้ทดลองหาค่า COD ของตัวน้ำที่มีคลอไรด์สูงและได้รวบรวมแนวทางการกำจัด  $\text{Cl}^-$  สำหรับตัวอย่างที่มี  $\text{Cl}^-$  สูง ๆ เช่น น้ำทะเลไว้ดังนี้

#### 1. กำจัด $\text{Cl}^-$ ก่อนจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

1.1 โดยการตกตะกอนคลอไรด์แล้วกรองตะกอนออกก่อนทำการวิเคราะห์ค่า COD โดยค่าที่ได้จะค่อนข้างต่ำ เพราะ  $\text{AgSO}_4$  ตะกอนเป็น  $\text{AgCl}$  จะไปชักนำให้สารประกอบอินทรีย์ที่จะหาค่า COD บางตัวตกตะกอนลงด้วย ซึ่งเรียกว่าเกิดการ Occlusion

1.2 โดยการตกตะกอนในรูปของ  $\text{AgCl}$  แต่ไม่กรองออก แล้วเพิ่ม  $\text{Ag}^+$  ของ  $\text{Cl}^-$  ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของ  $\text{AgSO}_4$  ลงไป

1.3 โดยการใช้  $\text{HgSO}_4$  ลงไป จับกับ  $\text{Cl}^-$  ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่เป็น Non ionic ไม่รบกวนการออกซิเดชันด้วย  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ในการหา COD และไม่มีผล

1.4 โดยการทำให้  $\text{Cl}^-$  ระเหยออกมาในรูปของก๊าซ  $\text{HCl}$  โดยการใช้กรด  $\text{H}_2\text{SO}_4$  แล้วใช้ความร้อนช่วย แต่วิธีค่อนข้างยากและกำจัด  $\text{Cl}^-$  ได้ไม่ทั้งหมด

## 2. โดยการปรับแก้ค่าคลอไรด์ (Chloride correction)

Burns and Marshall (1965) ทดลองใช้ NaCl ขนาดความเข้มข้นต่าง ๆ กัน เพื่อหาค่า COD เนื่องจากการออกซิเดชันของคลอไรด์และนำไปสร้างสมการแก้ไขผลกระทบของ  $\text{Cl}^-$  ในการหาค่า COD

การปรับค่า COD เนื่องจากการรบกวนของ  $\text{Cl}^-$  ทำให้ได้โดยใช้สมการ (28)

$$\text{COD mg/L} = \left[ \frac{(A - B) C \times 8,000 - D}{\text{ml sample}} \right] \times 1.20 \text{ -----(28)}$$

- เมื่อ A = ml ของ  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2 (\text{SO}_4)_2$  สำหรับ blank  
 B = ml ของ  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2 (\text{SO}_4)_2$  สำหรับตัวอย่าง  
 C = Normality ของ  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2 (\text{SO}_4)_2$   
 D = Chloride correction

วิธีการปรับค่า COD ทำให้ได้โดยหาปริมาณความเข้มข้นของ  $\text{Cl}^-$  ในน้ำตัวอย่างเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับเนื่องจากการออกซิเดชัน  $\text{Cl}^-$  ได้เป็นค่า D จากนั้นนำมาเข้าสู่สูตรดังสมการที่ 28

## 3. สารที่ย่อยสลายด้วยวิธี COD – dichromate ได้ยาก

ตารางที่ 3 แสดงสารอินทรีย์โดยทั่วไปจะสามารถถูกออกซิไดซ์ด้วย  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ได้ถึง 95 – 98 % ได้เป็น  $\text{CO}_2$  และ  $\text{H}_2\text{O}$  แต่ก็ยังมีสารอินทรีย์บางชนิดที่ย่อยสลายได้น้อยจนเกือบไม่ย่อยสลายเลย ถ้าไม่เติม  $\text{AgSO}_4$  ได้แก่ Volatile straight chain, Aliphatic compounds เพราะพวกนี้ถูกเปลี่ยนเป็นไอลอยขึ้นเหนือสารละลายไม่กลับคืนลงมาในสารละลายที่กำลังถูก Refluxed การเติม  $\text{AgSO}_4$  เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ย่อยสลายได้มากขึ้น โดยเฉพาะพวก Short - chain carbon acid และ Alcohol เช่น Acetic และ Amino acid และทำการย่อยสลายในระบบปิด (Closed reflux) ก็จะช่วยให้ Volatile Organic Compounds ย่อยสลายได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

**ตารางที่ 3** สารที่สามารถถูกออกซิไดซ์ด้วย  $K_2Cr_2O_7$  ได้ถึง 95 – 98 %

|                      |                      |                      |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| Methanol             | Ethanol              | Butanol              |
| Glycol               | Glycerol             | Mannite              |
| Formaldehyde         | Acetaldehyde         | Acetone              |
| Formic acid          | Acetic acid          | Butyric acid         |
| Isobutyric acid      | Soap                 | Oxalic acid          |
| Adipic acid          | Succinic acid        | Maleic acid          |
| Lactic acid          | Tartaric acid        | Citric acid          |
| Pyromucic acid       | Glucose              | Saccharose           |
| Lactose              | Sorbose              | Glycocol             |
| Aminocaproic acid    | Valine               | Glutamic acid        |
| Cystine              | Histidine            | Formamide            |
| Acetamide            | Peptone              | Casein               |
| KCN                  | $K_2Fe(CN)_6$        | KCNS                 |
| Phenol               | O-cresol             | 2-Naphthol           |
| Pyrocatechol         | 8-oxyquinoline       | Nitrobenzene         |
| Benzoic acid         | Salicylic acid       | Phthalic acid        |
| p-aminobenzoic acid  | Sulfanilic acid      | Phenylacetic acid    |
| Cinnamic acid        | Aniline              | Benzidine            |
| Toluenesulfonic acid | Aminonaphthol        | Piperidine           |
| Dode cylbenzene-     | Dioxane              | Disulfonic acid      |
| Sulfonic acid        | 3-methylindole       | Tetrahydrofuran      |
| Indole               | $\beta$ -Nathylamine | Protein hydrolysates |

ที่มา: Leithe et al. (1975)

สารบางตัวไม่สามารถย่อยสลายได้โดยวิธี COD Dichromate แม้ว่าจะใช้  $AgSO_4$  เป็นตัวเร่ง  
แล้วก็ตาม สารเหล่านั้น ได้แก่ Aromatic hydrocarbon เช่น Benzene Toluene และ Pyridines  
สารประกอบ N-containing Heterocyclic compounds บางตัว เช่น Pyrrole, Pyrrolidine, Proline  
และ Nicotinic acid รวมทั้งพวก Hydrocarbon บางตัวที่ละลายน้ำได้น้อย, Benzene และอนุพันธ์  
ของมัน, Paraffins และ Napthenes

## TOC (Total Organic Carbon)

### 1. ความหมายของ TOC

การหาปริมาณสารอินทรีย์ที่มีในน้ำโดยให้สารอินทรีย์ถูกเปลี่ยนเป็น  $\text{CO}_2$  หรือ  $\text{CH}_4$  และวัดปริมาณสารอินทรีย์ในรูป C ใน  $\text{CO}_2$  หรือ  $\text{CH}_4$  แล้วแต่กรณี

สารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำและน้ำเสียประกอบด้วยสารอินทรีย์หลายประเภทและหลาย Oxidation states ซึ่งสารอินทรีย์บางชนิดก็สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพหรือทางเคมีค่า BOD หรือ COD สามารถบอกปริมาณสารอินทรีย์ได้ แต่สำหรับสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพหรือทางเคมี การบ่งบอกปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของ TOC จะเหมาะสมกว่า เพราะหาได้สะดวกกว่าและบ่งบอกปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำได้ถูกต้องกว่าค่า BOD หรือ COD แต่ค่าที่ได้บ่งบอกปริมาณสารอินทรีย์ในลักษณะที่ต่างกัน โดยค่า BOD หรือ COD จะบอกสารอินทรีย์ในรูปของการใช้ออกซิเจนในการแปรรูปหรือย่อยสลายสารอินทรีย์ให้อยู่ในสภาพที่เสถียร ( $\text{CO}_2$  และ  $\text{H}_2\text{O}$ ) ปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปในการนี้จะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่หลักการนี้เรียก Oxygen-base basis ส่วนการหาค่า TOC คือ ปริมาณคาร์บอนในน้ำตัวอย่างนั้นโดยตรง โดยการทำให้สารอินทรีย์อยู่ในสภาพที่เสถียร เช่นการเผาจนเป็น  $\text{CO}_2$  และ  $\text{H}_2\text{O}$  จากนั้นหาปริมาณคาร์บอนใน  $\text{CO}_2$  จะบอกปริมาณของสารอินทรีย์ทั้งหมด หลักการนี้เรียก Carbon-base basis ดังนั้นค่า TOC ที่หาได้จึงไม่เหมือนค่า BOD หรือ COD ซึ่งไม่ขึ้นกับ Oxidation state ของสารอินทรีย์ และไม่ได้วัด Organically bound element อื่น เช่น ไนโตรเจนและไฮโดรเจนรวมทั้งไม่ได้วัดพวก Reduced inorganic species อื่น ๆ เช่น วิธี BOD หรือ COD ด้วย จะเห็นได้ว่าค่า TOC บอกปริมาณสารอินทรีย์ ๆ ได้ถูกต้องมากที่สุด แต่ก็ไม่สามารถบอกกำลังการออกซิเดชันของสารอินทรีย์ในลำน้ำได้ Tchobanobolous (1972) พบว่า แม้แต่วิธีการวิเคราะห์ TOC ก็ยังไม่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้หมด 100%

### 2. หลักการหาค่า TOC

การหาสารอินทรีย์คาร์บอน (TOC) มีหลักการหา 2 หลักการ คือ Dry combustion methods และ Wet combustion methods ซึ่งแต่ละหลักการมีวิธีหาหลายวิธีดังนี้

## 2.1 การหาค่า TOC ด้วยวิธี Dry combustion methods

ด้วยวิธีนี้สารอินทรีย์คาร์บอนจะถูกเปลี่ยนเป็น  $\text{CO}_2$  หรือ  $\text{CH}_4$  ที่อุณหภูมิสูงก๊าซ  $\text{CO}_2$  ที่เกิดขึ้นจะถูกวัดด้วยการดูดซับรังสีอินฟราเรด (Infrared absorption) ในขณะที่  $\text{CH}_4$  จะถูกวัดด้วยวิธี Flame ionizing ทั้ง 2 วิธี ต้องอาศัยเครื่องมือตรวจวัดโดยเฉพาะและมีประสิทธิภาพสูง

## 2.2 การหาค่า TOC ด้วยวิธี Wet combustion methods

วิธีนี้ใช้สารเคมี เช่น กรดโครมิกและกรดซัลฟูริกที่ทำให้ร้อน หรือ Peroxodisulfate ไปออกซิไดซ์สารอินทรีย์คาร์บอนให้เป็น  $\text{CO}_2$  ซึ่งจะถูกดูดซับด้วยสารละลายมาตรฐานของ Barium hydroxide ปริมาณของ  $\text{CO}_2$  ที่เกิดขึ้นจะวิเคราะห์โดยวิธี Conductometric วิธี Wet combustion ต้องอาศัยเครื่องแก้วเฉพาะที่ปราศจากสารอินทรีย์

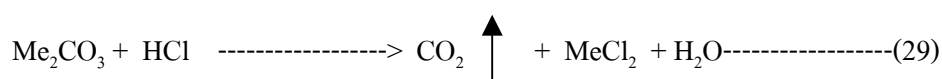
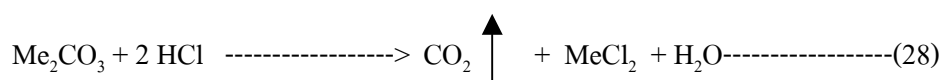
การหา TOC จะต้องกำจัดสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนที่ปนเปื้อนอยู่กับน้ำตัวอย่างให้หมดก่อน ถ้าไม่กำจัด Inorganic carbon ก่อนทำการวัด ค่าที่ได้จะเป็นค่า Total carbon ถ้าทำการวัดค่า Inorganic carbon ไปหักออกจาก Total carbon หรือกำจัด Inorganic carbon ก่อนทำการวิเคราะห์ ค่าที่วิเคราะห์ได้ก็คือ Total Organic Carbon (TOC) นอกจากตัวอย่างที่ถูกกรองผลที่ได้ออกมาจึงเรียกว่า Dissolved Organic Carbon และการกรอง (Filtration) ต้องใช้ใยแก้ว (Glass fiber filter) เป็นตัวกรอง เครื่องมือและเครื่องแก้วทำให้ปราศจากการเจือปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ด้วยการนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ  $700^\circ\text{C}$

## 2.3 หลักการหาค่า TOC ด้วยวิธี Dry combustion – infrared detection

นำตัวอย่างจำนวนเพียงเล็กน้อยขนาดไมโครลิตร ( $\mu\text{m}$ ) ฉีดเข้าไปในเครื่องมือหาค่า TOC (TOC – Analyzer) ด้วยเข็มฉีดยาขนาดเล็ก (Microlitre syringes) โดยตัวอย่างจะถูกส่งเข้าไปใน Combustion tube ที่มีอุณหภูมิ  $950^\circ\text{C}$  และมีลำก๊าซ  $\text{O}_2$  ผ่านตลอด Combustion tube นี้บรรจุไว้ด้วย Asbestos ซึ่งชุ่มไปด้วย Cobalt oxide เป็นการช่วยกระจายตัวอย่างและเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการออกซิเดชัน สารอินทรีย์ในตัวอย่างจะถูกออกซิไดซ์ได้เป็นลำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) และไอน้ำ ไอน้ำจะถูกควบแน่นออกไป คงไว้แต่  $\text{CO}_2$  จะถูกส่งเข้าสู่เครื่องวิเคราะห์ด้วยรังสี Non-depressives infrared เพื่อหาค่า  $\text{CO}_2$  โดยอาศัยหลักการที่ว่า รังสีอินฟราเรด (Non-depressives

infrared) นี้จะไม่ถูกดูดกลืน (Absorbed) โมเลกุลของสารที่ประกอบด้วยอะตอมประเภทเดียวกัน เช่น โมเลกุลของ  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2$  แต่จะถูกดูดกลืน โมเลกุลของสารที่ประกอบด้วยอะตอมชนิดที่ต่างกัน ซึ่งก็คือโมเลกุลของสารประกอบนั่นเอง เช่น  $CO_2$  และ  $CH_4$  เป็นต้น โดยสารประกอบต่างชนิดกันจะดูดกลืนคลื่นของรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่น (Wavelength) แตกต่างกัน โดย  $CO_2$  สามารถดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ช่วงคลื่น  $4.3 \mu m$  ที่ความถี่หนึ่ง ๆ จำนวนความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืนจะมากหรือน้อยแปรผันตามความเข้มข้นของก๊าซที่ถูกดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ช่วงคลื่นนั้น ๆ ตามกฎของ Lambert-Beer's Absorption Law ดังนั้นความเข้มข้นของ  $CO_2$  จึงบอกได้จากปริมาณของรังสีอินฟราเรดที่ถูกดูดกลืนไป เครื่อง Non-depressives infrared analyzer จะต่อเข้ากับ Recorder ซึ่งแปรสัญญาณออกมาในรูปของกราฟซึ่งมีขนาดความสูงและพื้นที่ใต้กราฟแปรผันตามความเข้มข้นหรือจำนวนมากน้อยของ  $CO_2$  ที่อยู่ในลำของ  $O_2$  - carrier gas ซึ่งแปรผันตามจำนวนสารอินทรีย์ที่มีในน้ำตัวอย่างด้วย

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วสารอินทรีย์คาร์บอน ( $CO_3^{2-}$  และ  $HCO_3^-$ ) จะต้องกำจัดออกก่อนทำการวิเคราะห์ TOC เมื่อใช้เครื่องวิเคราะห์ TOC แบบ Single-channel instrument การกำจัด  $CO_3^{2-}$  และ  $HCO_3^-$  กระทำได้โดยการทำให้เป็นกรดด้วย HCl (Acidify) จนมี pH เท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า แล้วเป่าก๊าซ  $N_2$  ที่ไม่มี  $CO_2$  ปะปนอยู่ลงไปใต้น้ำตัวอย่างนั้นประมาณ 10 นาที เพื่อขับไล่  $CO_2$  ที่เกิดออกไปก่อน ปฏิกริยาดังแสดงในสมการ (28) และ (29)



ดังนั้นค่าที่วัดได้โดยใช้ Single – channel instrument จึงเป็นค่า TOC ของตัวอย่างน้ำ

## 2.4 หลักการหาค่า TOC ด้วยวิธี Dry Combustion flame ionization

ด้วยวิธีนี้หลังจากปรับตัวอย่างนี้ให้เป็นกรด เพื่อกำจัดสารอนินทรีย์คาร์บอนและเป่าไล่ด้วยก๊าซไนโตรเจนแล้วสารอินทรีย์คาร์บอนก็ถูกเปลี่ยนเป็น  $CO_2$  ใน Combustion tube ที่อุณหภูมิ  $900^\circ C$  ซึ่งบรรจุไว้ด้วย Cupric oxide  $CO_2$  ที่เกิดขึ้นจะถูกส่งผ่านมายัง Reduction tube ซึ่งมีนิกเกิล (Ni) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ  $450^\circ C$   $CO_2$  จะถูกเปลี่ยนเป็นมีเทน ( $CH_4$ ) ซึ่งจะถูกวัดด้วย Flame ionization detector

## 2.5 หลักการหาค่า TOC ด้วยวิธี Wet combustion – infrared detection

สารอินทรีย์คาร์บอนจะถูกออกซิไดซ์เป็น  $\text{CO}_2$  ด้วย Peroxodissulfate ในสารละลายกรด ซึ่งมี  $\text{Ag}^+$  เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา  $\text{CO}_2$  จะถูกไล่ออกจากตัวอย่างในรูป  $\text{CO}_2$  ก๊าซเพื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย Barium hydroxide ค่า Conductivity (ความนำไฟฟ้า) ของสารละลายจะเปลี่ยนตามความเข้มข้นของคาร์บอนในตัวอย่าง ตัวรับกวนปฏิกิริยา  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  รวมทั้ง  $\text{CO}_2$  ที่ละลายในน้ำ ตัวอย่างจะมีผลกระทบต่อการวิเคราะห์จึงต้องกำจัดออกก่อน

## 2.6 การหาค่า TOC วิธี Wet combustion – titrimetric detection

วิธีนี้สารอินทรีย์คาร์บอนในตัวอย่างถูกเปลี่ยนเป็น  $\text{CO}_2$  โดยการออกซิเดชันด้วยกรดโครมิก และกรดซัลฟิวริกที่ถูกทำให้ร้อน  $\text{CO}_2$  ที่เกิดขึ้นถูกดูดซึมด้วยสารละลายมาตรฐานเบสเลียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ) ปริมาณ  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  ที่เหลือหาได้โดยการไตเตรทกับกรด  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  ที่ถูกไปใช้แปรผันตามปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำตัวอย่าง

ด้วยวิธีนี้สารอินทรีย์คาร์บอน ได้แก่  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  และก๊าซ  $\text{CO}_2$  จะถูกทำปฏิกิริยา จึงกำจัดออกก่อนข้อควรระวังก็คือความผิดพลาดจากการสูญหายของ Volatile organic และการแตกตัวของสารอินทรีย์ในกรดได้เป็น CO และปฏิกิริยาอาจเกิดก๊าซที่เป็นกรดบางตัว เช่น HCl และฟุ้งของ  $\text{SO}_3$  ซึ่งส่งผลกระทบต่อการหา TOC

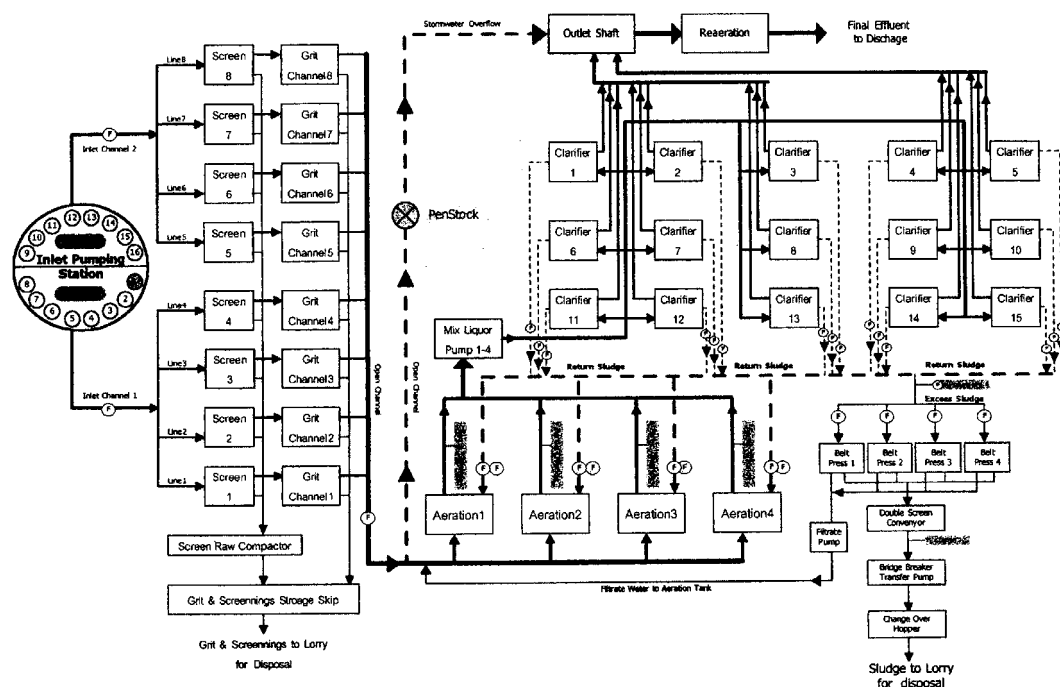
## 2.7 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการหาค่า TOC

แม้ว่าการหาค่า TOC จะไม่มีผลกระทบจากสารอินทรีย์พวก Reduced species เช่น  $\text{Fe}^{+2}$  ก็ตามแต่ก็ยังมียปัจจัยบางประการส่งผลกระทบ ซึ่งต้องคำนึงถึง เช่น การทำให้เป็นกรด (Acidification) ถ้าปรับ pH ต่ำมากเกินไป ( $\text{pH} < 2$ ) จะก่อให้เกิด Infrared absorbing fogs การกรองตัวอย่าง, ขนาดของตัวอย่างและลักษณะการฉีดตัวอย่าง เป็นต้น

## ระบบบำบัดน้ำเสีย

### โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

ระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพชนิดตะกอนเร่ง (Activated Sludge Process) สามารถลดอินทรีย์สารในน้ำเสียทั้งที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอยและสารละลาย ระบบบำบัดน้ำเสียประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ คือ ถังเติมอากาศ (Aeration Tank) ทำหน้าเป็นถังเลี้ยงจุลชีพ และถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) ทำหน้าที่แยกจุลชีพและน้ำใสออกจากกัน โดยน้ำใสจะไหลล้นออกไป และตะกอนจะสูบย้อนกลับเข้าในถังเติมอากาศใหม่ ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ฟังขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

### 1. ถังเติมอากาศ (Aeration Tank)

ถังเติมอากาศมีจำนวน 4 ถัง สามารถเลือกใช้งานได้อย่างอิสระ เป็นถังคอนกรีตเสริมเหล็กมีกำแพงยาว 78 เมตร (ทางเดินตรงกลาง) ก้นกลางตั้งแต่หัวถึง-เกือบท้าย ทำให้ถังมีลักษณะคล้ายตัวยูการไหลของน้ำเสียในถังเติมอากาศจัดเป็น 10 โซน โดยใช้แผ่นพีวีซีทึบและโปร่งเป็นตัวขัดขวางทิศทางการไหลของน้ำในถัง โดยกำหนดให้โซนที่ 3-10 มีการติดตั้งหัวจ่ายอากาศซึ่งการควบคุมการจ่ายอากาศได้จาก Air Value ซึ่งจะทำงานประสานกับสัญญาณวัดค่า DO จาก DO meter ซึ่งสามารถควบคุมปริมาณอากาศให้กับโซน 3-10 เพื่อให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเหมาะสมกับขบวนการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอน (CBOD), ไนโตรเจน (N), และฟอสฟอรัส (P) ในน้ำเสีย

### 2. ถังรับน้ำตะกอน (Mixed Liquor Tank)

เนื่องจากระบบบำบัดชีวภาพได้ก่อสร้างถังเติมอากาศไว้ ชั้นที่ 2 แต่ถังตกตะกอนอยู่ชั้นที่ 3 จึงต้องสูบส่งน้ำตะกอนขึ้นไปใส่ถังตกตะกอน โดยเครื่องสูบน้ำตะกอนขนาด 600 kW (จำนวน 4 ชุด)

### 3. ถังตกตะกอน (Clarifier Tank)

น้ำตะกอนที่สูบส่งมาจาก Mixed Liquor Sump จะไหลมาลงรางระบายเปิด เพื่อส่งน้ำตะกอนไปยัง Clarifier No. 1-15 บริเวณด้านหน้าถังตกตะกอนแต่ละถัง จะมีประตูกั้นน้ำ Stop Logs สำหรับ เปิด-ปิด เพื่อให้เลือกใช้งานถังตกตะกอนได้อย่างอิสระ

ถังตกตะกอน (Clarifier Tank) เป็นถังคอนกรีตเสริมเหล็กรูปทรงกระบอก ปริมาตรของถัง 3,774 ลูกบาศก์เมตร บริเวณก้นถังเรียบ กลางถังติดตั้งใบกวาดตะกอน (Scraper) บริเวณท่อดูดตะกอนมีลักษณะเป็นท่อที่ถูกเจาะรูขนาดเท่ากันแต่มีระยะห่างต่าง ๆ กัน ขึ้นออกจากแกนกลางคล้ายแขน 2 ด้าน เมื่อใบกวาดเคลื่อนที่ไปรอบถังช้า ๆ และตะกอนจุลชีพที่ตกก้นถังจะไหลเข้าสู่ท่อดูดตะกอนโดยอาศัยความแตกต่างของระดับน้ำภายใน Clarifier กับถังเติมอากาศ (ซึ่งอยู่ในระดับต่ำกว่า) ตะกอนจาก Clarifier แต่ละถังจะไหลย้อนกลับมาที่ถังเติมอากาศด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยมารวมกันที่ท่อหลัก (Header Pipe) แล้วจึงมีท่อแยกออกไปที่ถังเติมอากาศ 4 ท่อ ซึ่งท่อแยกแต่ละท่อจะมีทางออก 2 ด้าน ที่ท่อระบายตะกอนของ Clarifier แต่ละถังติดตั้ง Magnetic Flow เพื่อวัดอัตราการไหลของตะกอนที่ระบายออกจากถัง

#### 4. รางรับน้ำทิ้ง (Out-fall และ Outlet Shaft)

น้ำใสที่ผ่านการแยกตะกอนออกแล้วจะไหลล้นออกจากผิวหน้าของถังตะกอนแต่ละถัง แล้วจึงไหลรวมกันลงสู่รางรับน้ำใส 1 และ 2 จากรางทั้งสองจะไหลไปรวมกันที่ช่องระบายน้ำออก (Outlet Shaft) ก่อนระบายออกไปยังบึงมักกะสัน

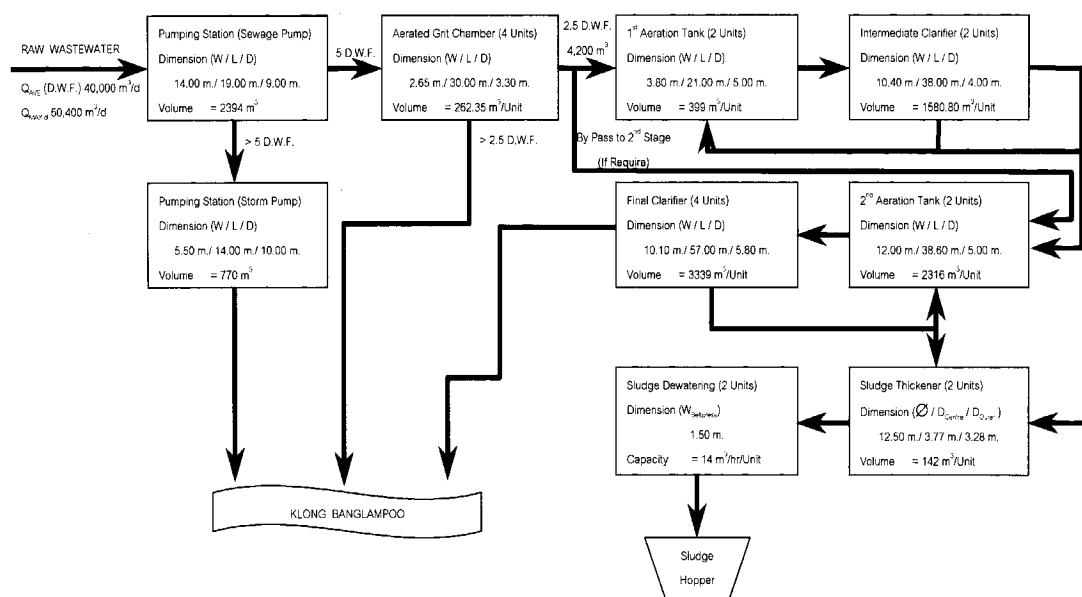
#### 5. การเติมอากาศขั้นสุดท้าย (Re-aeration)

- น้ำใสที่ระบายออกจากช่องระบายน้ำออก (Outlet Shaft) และน้ำเสียที่ถูก bypass มาจาก Open Channel จะถูกเติมอากาศอีกครั้งก่อนระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ซึ่งน้ำทิ้งจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงสามารถระบายออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ได้แก่ คลองสามเสน และ บึงมักกะสัน

ที่จุดระบายน้ำออกมีการติดตั้ง DO meter เพื่อให้สามารถตรวจวัดค่าออกซิเจนละลาย (DO) ในน้ำทิ้ง ณ จุดปล่อยออกได้ตลอดเวลา โดยสามารถอ่านค่า DO ได้ที่หน้าจอและที่ SCADA ส่วนการเติมอากาศ (Re-aeration) ใช้เครื่องปั๊มลม (Air Compressor) จ่ายอากาศผ่านหัวกระจายอากาศ (Diffuser) ซึ่งปัจจุบันจ่ายอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

#### โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

ระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ชนิดตะกอนเร่งแบบสองขั้นตอน (Two-Stage Activated Sludge) โดยถังเติมอากาศขั้นแรกจะเป็นแบบ High rate aeration และถังที่สองเป็น Extended aeration เพื่อควบคุมกระบวนการให้เป็นแบบ Anoxic ให้มีการกำจัดไนโตรเจนและในถังเติมอากาศขั้นที่สองจะมีการเติมเกลืออลูมิเนียม เพื่อกำจัดฟอสฟอรัส โดยน้ำเสียจะไหลเข้าถังตกตะกอนแล้วเติมคลอรีนฆ่าเชื้อก่อนระบายลงสู่ คลองสาธารณะ ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย แสดงดังภาพที่ 4



**ภาพที่ 4** ฟังชั่นตอนการบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตน โกสินทร์

#### 1. ถังเติมอากาศขั้นตอนที่1 (First Stage Aeration Tank)

ถังเติมอากาศ ขั้นตอนที่ 1 มีจำนวน 2 ถัง ซึ่งถูกออกแบบมาให้สามารถรับภาระน้ำเสีย ต่อหน้าหนักตะกอนในสัดส่วนสูง (อัตราส่วนสารอินทรีย์ ต่อมวลตะกอนสูงเท่ากับ 5 กิโลกรัม BOD ต่อ กิโลกรัม ตะกอนต่อวัน) สถานะนี้จะทำให้ตะกอนจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและ ทำให้ระบบปรับตัวได้ดีกับการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของภาระสารอินทรีย์และภาระน้ำเข้า เมื่อมีการเติมอากาศให้กับตะกอนย้อนกลับและน้ำเสีย จุลินทรีย์จากตะกอนย้อนกลับจะเริ่มแบ่งตัว อย่างรวดเร็วและเกาะกันเป็นกลุ่มตะกอนใหม่ ตะกอนใหม่นี้เรียกว่า “ตะกอนเร่ง” เพราะประกอบไปด้วยจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศที่เติบโตอย่างรวดเร็วทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD และตะกอนแขวนลอยอยู่ที่ประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการเติมอากาศเป็นระบบอัดอากาศผ่านเชรามิคพอร์ โดยควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำไว้ที่ 0.30-1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และระยะเวลาเติมอากาศ 4-6 ชั่วโมง

## 2. ถังตกตะกอนระหว่างกลาง (Intermediate Clarifier)

ถังตกตะกอนระหว่างกลาง 2 ถัง มีไว้เพื่อให้ตะกอนที่เกิดขึ้นจากถังเดิมอากาศชั้นตอนที่ 1 จมลงแยกออกจากน้ำ จากนั้นตะกอนที่ได้บางส่วนจะถูกนำกลับไปยังถังเดิมอากาศตามสัดส่วนสารอินทรีย์ต่อตะกอนที่ออกแบบไว้ (ตะกอนย้อนกลับประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์) สำหรับตะกอนส่วนเกินจะสูบไปยังถังเพิ่มความเข้มข้นตะกอนต่อไป

## 3. สถานีแยกขยะและสูบตะกอนกลับ-ตะกอนส่วนเกิน สำหรับขั้นตอนที่ 1 (Filter Screen and Return- Excess Sludge for the First Stage)

สถานีแยกขยะทำหน้าที่ กรองดักเศษขยะออกจากตะกอนที่สูบออกมาจากถังตกตะกอนระหว่างกลาง ตะกอนนี้เป็นตะกอนอายุสั้น ซึ่งบางส่วนจะนำกลับไปยังถังเดิมอากาศ ชั้นตอนที่ 1 สำหรับตะกอนส่วนเกินจะถูสูบไปยังถังเพิ่มความเข้มข้นตะกอน เครื่องสูบตะกอนที่ใช้เป็นแบบจมน้ำได้ทั้งหมด 5 เครื่อง ใช้สูบตะกอนกลับไปยังถังเดิมอากาศชั้นตอนที่ 1 ส่วนอีก 2 เครื่อง ใช้สูบตะกอนส่วนเกินไปยังถังเพิ่มความเข้มข้นตะกอน

## 4. ถังเดิมอากาศชั้นตอนที่ 2 (Second Stage Aeration Tank)

ถังเดิมอากาศ ชั้นตอนที่ 2 เป็นถังปฏิกิริยาแบบมีอากาศและกึ่งไร้อากาศ ซึ่งทำให้เกิดกระบวนการทางชีวภาพ เพื่อกำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสไปพร้อม ๆ กับการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD ทั่วไป ถังเดิมอากาศนี้ประกอบไปด้วยถังไหลตามยาวหรือคลองวนเวียนสองถัง ในแต่ละถังจะประกอบไปด้วยสองส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนมีอากาศ โดยจะมีการเติมอากาศด้วยหัวจ่ายอากาศแบบเซรามิกทรงกระบอก ในขณะที่ส่วนที่สองเป็นส่วนกึ่งไร้อากาศคือ มีใบพัดติดตั้งเอาไว้ เพื่อกวนตะกอนให้กระจายสัมผัสน้ำเสียได้ดีทั่วทั้งถัง ในส่วนที่มีการเติมอากาศ แบคทีเรียจะเปลี่ยนแอมโมเนียและไนโตรเจนในสารอินทรีย์ไปเป็นไนเตรท ส่วนของถังที่ไม่มีการเติมอากาศ แบคทีเรียจะใช้ไนเตรท เพื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์แทนออกซิเจนและทำให้ไนเตรทเปลี่ยนไปเป็นก๊าซไนโตรเจน กระบวนการสลายไนเตรทนี้สามารถประหยัออกซิเจนและทำให้ไนเตรทเปลี่ยนไปเป็นก๊าซไนโตรเจน ดังนั้นถูกออกแบบให้รับภาระสารอินทรีย์ต่อมวลตะกอนต่ำ จึงทำให้ตะกอนจากถังนี้มีความหนาแน่นสูงและจมน้ำดี

### 5. ถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย (Final Clarifier)

ถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย ทำให้ตะกอนจากถังเดิมอากาศ ขั้นตอนที่ 2 แยกออกจากน้ำใส โดยกระบวนการตกตะกอน ตะกอนบางส่วนจะถูกสูบกลับไปยังถังเดิมอากาศ ขั้นตอนที่ 2 เพื่อรักษาความเข้มข้นตะกอนในถังเดิมอากาศให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม สำหรับตะกอนส่วนเกิน จะถูกส่งไปยังถังเพิ่มความเข้มข้นตะกอน

### 6. สถานีสูบตะกอนกลับ- ตะกอนส่วนเกิน สำหรับขั้นตอนที่ 2 (Return and Excess Sludge Pumps for the Second Stage)

ในสถานีสูบตะกอนกลับนี้ มีเครื่องสูบตะกอนกลับแบบจมน้ำได้ และปรับความเร็วรอบได้ จำนวน 4 เครื่อง เพื่อใช้สูบตะกอนกลับไปยังถังเดิมอากาศขั้นตอนที่ 2 สำหรับตะกอนส่วนเกินจะมีเครื่องสูบแบบจมน้ำอีก 2 เครื่อง เพื่อใช้สูบตะกอนส่งไปยังถังเพิ่มความเข้มข้นตะกอน

### 7. ถังเพิ่มความเข้มข้นตะกอน (Sludge Thickener)

ถังเพิ่มความเข้มข้นตะกอนเป็นถังทรงกระบอก จำนวน 2 ถัง มีหน้าที่ทำให้ตะกอนมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นโดยกระบวนการตกตะกอนพร้อมทั้งแยกน้ำใสออก ตะกอนข้นจะถูกนำไปผสมกับสารโพลีเมอร์เหลวก่อนจะเข้าสู่เครื่องรีดน้ำออกจากตะกอน ส่วนน้ำใสจะถูกสูบกลับไปยังถังเดิมอากาศ ขั้นตอนที่ 1

## ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มลพิษในแหล่งน้ำตามธรรมชาติเกิดขึ้น เนื่องจากการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (Biodegradable content of organics) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องหาค่าลังความสกปรกของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ การวิเคราะห์ทำได้ 2 ประการ คือ การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์โดยกระบวนการทางชีววิทยา หรือโดยการหาปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ Jones (1972) เรียกหลักการ Oxygen – based approach และ carbon – based approach หรืออาจกล่าวได้ว่า คือ การวัด Total carbon change หรือวัด Thermodynamic energy change ของ  $O_2$

Busch (1966) พบว่า ปริมาณของสารอินทรีย์คาร์บอนจะเปลี่ยนแปลงไปตามกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์คาร์บอนควรจะมีความสัมพันธ์กับการใช้  $O_2$  ในแหล่งน้ำ ดังนั้นจึงได้มีการวิจัยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า TOC ที่มีต่อค่า BOD หรือ COD หรืออีกนัยหนึ่ง คือ หาความสัมพันธ์ของปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนกับการใช้  $O_2$  ในการย่อยสลายสารอินทรีย์

Jones (1972) กล่าวว่า สัดส่วนองค์ประกอบของน้ำเสียชนิดหนึ่ง ๆ มีความคงที่แม้ว่าความเข้มข้นของน้ำเสียจะเปลี่ยนแปลง น้ำเสียนั้นก็สามารถหาความสัมพันธ์ของค่า  $BOD_5$ , COD, และ TOC

Davis (1971) กล่าวว่า ความสัมพันธ์ของค่า  $BOD_5$ , COD และ TOC แปรเปลี่ยนไปตามกระบวนการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากองค์ประกอบของน้ำเสียในแต่ละหน่วยบำบัดของระบบบำบัดน้ำเสียมีความแตกต่างกัน

ในทางปฏิบัติการหาความสัมพันธ์ของทั้ง 3 ค่า คือ  $BOD_5$ , COD และ TOC ของน้ำตัวอย่างนั้นจะเกิดความสัมพันธ์ขึ้นหรือไม่ และมากน้อยเพียงใด มีนักวิจัยหลายท่านสรุปไว้ในแนวเดียวกันว่าขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของน้ำตัวอย่างนั้นเป็นประการสำคัญ

### ความสัมพันธ์ของค่า $BOD_5/TOC$

Davis (1971) ได้เสนอแนวทางการหาความสัมพันธ์ของ TOC ที่มีต่อ BOD ในทางทฤษฎี (Theoretical correlation) โดยที่ค่าแฟกเตอร์ 0.95 แสดงถึงค่า Ultimate BOD จะประมาณ 95% ของค่า Theoretical Oxygen Demand และ 0.80 หมายถึงค่า  $BOD_5$  มีค่าประมาณ 80 % ของค่า Ultimate BOD โดยอัตราส่วนของ  $BOD_5/TOC$  จากการศึกษาความสัมพันธ์มีค่าอยู่ระหว่าง 1.36–2.63

$$\frac{BOD_5}{TOC} = \frac{\text{mol.wt. } O_2}{\text{mol.wt. } C} = \frac{(32)}{12} (0.95) (0.80) = 2.03$$

Eckenfelder (1970) ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ของ TOC ที่มีต่อ BOD ในทางทฤษฎี (Theoretical correlation) ด้วยหลักการเช่นเดียวกันว่าความสัมพันธ์ของ BOD<sub>5</sub>/TOC ในน้ำทิ้งชุมชน มีค่าอยู่ในช่วง 1.32–2.62 โดยค่า Ultimate BOD ประมาณ 90% ของค่าทางทฤษฎี และให้ BOD<sub>5</sub> มีค่าประมาณ 77% ของ Ultimate BOD

$$\frac{\text{BOD}_5}{\text{TOC}} = \frac{\text{mol.wt.O}_2}{\text{mol.wt.C}} = \frac{(32) (0.90) (0.77)}{12} = 1.85$$

เกรียงศักดิ์ (2539) กล่าวถึง ความสัมพันธ์ของ BOD<sub>5</sub>/TOC มีความสัมพันธ์ในทุกชนิดของ น้ำเสีย และสำหรับความสัมพันธ์ของ BOD<sub>5</sub>/TOC ในน้ำเสียจากบ้านเรือนทั่วไป อยู่ในช่วงระหว่าง 1.00 ถึง 1.60

### ความสัมพันธ์ของค่า COD/TOC

หลักการทางทฤษฎี (Theoretical correlation) สามารถหาค่าอัตราเฉลี่ยของ COD/TOC โดยค่าอัตราส่วนทางทฤษฎีระหว่าง COD/TOC นี้สามารถแปรเปลี่ยนได้ตั้งแต่เป็น 0 ในความสัมพันธ์ ของน้ำทิ้งที่สารเคมีประเภทที่ไม่ถูกออกซิไดซ์ด้วย Dichromate เช่น Pyridine และอาจมีค่าถึง 5.33 หรืออาจมีค่าสูงกว่านี้ได้อีกเล็กน้อยถ้ามี Inorganic reducing agents รวมอยู่ด้วย

Jones (1972) ได้ศึกษาอัตราส่วนทางทฤษฎีของ COD/TOC พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 3.32–4.68

Eckenfelder (1970) พบว่า COD/TOC ของน้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์ประกอบมีค่าอยู่ในช่วง 1.75–6.65 โดยประมาณว่าค่า COD Dichromate มีค่าประมาณเท่ากับ Ultimate Oxygen Demand นั้นแสดงว่า ความสัมพันธ์ของ COD/TOC ตามสมการนี้ประมาณ 2.67

$$\frac{\text{COD}}{\text{TOC}} = \frac{\text{mol.wt.O}_2}{\text{mol.wt.C}} = \frac{32}{12} = 2.67$$

Eckenfelder (1970) ได้กล่าวไว้เช่นเดียวกันในกรณี COD/TOC ว่าสัดส่วนองค์ประกอบของน้ำเสียชนิดหนึ่ง ๆ มีความคงที่แม้ว่าความเข้มข้นของน้ำเสียจะเปลี่ยนแปลง น้ำเสียนั้นก็สามารถหาความสัมพันธ์ของค่า COD/TOC

### ความสัมพันธ์ของค่า BOD<sub>5</sub>/COD

มีการวิจัยมากมาย ที่ทำการศึกษาและวิเคราะห์หาค่า BOD<sub>5</sub> ในน้ำทิ้งโดยเฉพาะน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน พบว่า มีค่า BOD<sub>5</sub> ประมาณ 60-80% ของค่า COD โดยมีงานวิจัยบางฉบับประมาณว่า COD มีค่าประมาณเท่ากับค่า Ultimate BOD หรือ BOD<sub>20</sub> นั่นเอง ซึ่งมีค่าประมาณ 90% ของ Theoretical oxygen demand และค่า BOD<sub>5</sub> ประมาณ 80% ของ Ultimate demand ทางทฤษฎีอาจเขียนได้ดังนี้ คือ

$$\frac{\text{BOD}_5}{\text{COD}} = \frac{\text{mol.wt.O}_2}{\text{mol.wt.O}_2} = \frac{32(0.90)(0.80)}{32(0.90)} = 0.8$$

วัฒนา และ อุทัย (2541) พบว่า อัตราส่วน BOD<sub>5</sub>/COD ของน้ำเสียจากหมู่บ้านจัดสรรในเขตกรุงเทพมหานคร เท่ากับ 0.42

เกรียงศักดิ์ (2539) กล่าวถึง ความสัมพันธ์ของ BOD<sub>5</sub>/COD มีความสัมพันธ์ในทุกชนิดของน้ำเสีย และสำหรับความสัมพันธ์ของ BOD<sub>5</sub>/COD ในน้ำเสียจากบ้านเรือนทั่วไป อยู่ในช่วงระหว่าง 0.40 ถึง 0.80

Tebbutt (1977) ได้เสนอสมการแสดงความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอน และสารอินทรีย์ไนโตรเจน รวมทั้งแอมโมเนีย (NH<sub>3</sub>) และไนไตรท์-ไนโตรเจน (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N) ในแหล่งน้ำไว้ดังนี้

$$\text{Ultimate Oxygen demand (UOD): mg / l} = 2.67 \times \text{Organic carbon; mg / l} + 4.57 (\text{Org.N+Amm.N.}); \text{mg/l} + 1.14 \text{NO}_2^- \text{-N; mg / l}$$

Eckenfelder (1970) ได้รวบรวมผลการทดลองหาค่า  $BOD_5$  และ COD ของสารประกอบจำพวก Aliphatic, Aromatics และอินทรีย์ในโตรเจนจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์หาค่า  $BOD_5$  และ COD สามารถบอกค่าได้ร้อยละเท่าไร ของความต้องการออกซิเจนจริงตามทฤษฎี และได้ศึกษาความสัมพันธ์ของค่า COD/TOC ในสารอินทรีย์คาร์บอนชนิดต่าง ๆ ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4, 5, 6, 7 และ 8

**ตารางที่ 4** การเปรียบเทียบค่า COD และ  $BOD_5$  ของสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนชนิด Nitrogenous organics เทียบกับความต้องการออกซิเจนตามทฤษฎี

| ชนิดของสารเคมี       | Th OD<br>(mg/mg) | COD<br>ที่หาได้<br>(mg/mg) | COD<br>Th OD<br>(%) | $BOD_5$<br>ที่หาได้<br>(mg/mg) | $BOD_5$<br>Th OD<br>(%) |
|----------------------|------------------|----------------------------|---------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Nitrogenous organics |                  |                            |                     |                                |                         |
| Monoethanolamine     | 2.49             | 1.27                       | 51                  | 0.83                           | 33                      |
| Acrylonitrile        | 3.17             | 1.39                       | 44                  | 0.0                            | 0.0                     |
| Aniline              | 3.18             | 2.34                       | 74                  | 1.42                           | 45                      |
| Average              |                  |                            | 56                  |                                | 26                      |

ที่มา: Eckenfelder (1970)

**ตารางที่ 5** การเปรียบเทียบค่า COD และ BOD<sub>5</sub> ของสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนชนิด Aliphatic  
เทียบกับความต้องการออกซิเจนตามทฤษฎี

| ชนิดของสารเคมี      | ThOD<br>(mg/mg) | COD<br>ที่หาได้<br>(mg/mg) | COD<br>ThOD<br>(%) | BOD <sub>5</sub><br>ที่หาได้<br>(mg/mg) | BOD <sub>5</sub><br>ThOD<br>(%) |
|---------------------|-----------------|----------------------------|--------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|
| Aliphatic           |                 |                            |                    |                                         |                                 |
| Methanol            | 1.50            | 1.05                       | 70                 | 1.12                                    | 75                              |
| Ethanol             | 2.08            | 2.11                       | 101                | 1.58                                    | 76                              |
| Ethylene glycal     | 1.26            | 1.21                       | 96                 | 0.36                                    | 29                              |
| Isopropanol         | 2.39            | 2.12                       | 89                 | 0.16                                    | 67                              |
| Maleic acid         | 0.83            | 0.80                       | 96                 | 0.64                                    | 77                              |
| Acetone             | 2.20            | 2.07                       | 94                 | 0.81                                    | 37                              |
| Methyl ethyl ketone | 2.44            | 2.20                       | 90                 | 1.81                                    | 74                              |
| Ethyl acetate       | 1.82            | 1.54                       | 85                 | 1.24                                    | 68                              |
| Oxalic acid         | 0.18            | 0.18                       | 100                | 0.16                                    | 89                              |
| Average             |                 |                            | 91                 |                                         | 66                              |

ที่มา: Eckenfelder (1970)

**ตารางที่ 6** การเปรียบเทียบค่า COD และ BOD<sub>5</sub> ของสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนชนิด Aromatic เทียบกับความต้องการออกซิเจนตามทฤษฎี

| ชนิดของสารเคมี | Th OD<br>(mg/mg) | COD<br>ที่หาได้<br>(mg/mg) | COD<br>Th OD<br>(%) | BOD <sub>5</sub><br>ที่หาได้<br>(mg/mg) | BOD <sub>5</sub><br>Th OD<br>(%) |
|----------------|------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|
| Aromatic       |                  |                            |                     |                                         |                                  |
| Toluene        | 3.13             | 1.41                       | 45                  | 0.86                                    | 27                               |
| Benzaldehyde   | 2.42             | 1.98                       | 82                  | 1.62                                    | 67                               |
| Benzoic acid   | 1.96             | 1.95                       | 99                  | 1.45                                    | 74                               |
| Hydroquinone   | 1.89             | 1.83                       | 97                  | 1.00                                    | 53                               |
| O-Cresol       | 2.52             | 2.38                       | 94                  | 1.76                                    | 70                               |
| Average        |                  |                            | 83                  |                                         | 58                               |

ที่มา: Eckenfelder (1970)

**ตารางที่ 7** การเปรียบเทียบค่า COD และ BOD<sub>5</sub> ของสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนชนิด Refractory เทียบกับความต้องการออกซิเจนตามทฤษฎี

| ชนิดของสารเคมี    | Th OD<br>(mg/mg) | COD<br>ที่หาได้<br>(mg/mg) | COD<br>Th OD<br>(%) | BOD <sub>5</sub><br>ที่หาได้<br>(mg/mg) | BOD <sub>5</sub><br>Th OD<br>(%) |
|-------------------|------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|
| Refractory        |                  |                            |                     |                                         |                                  |
| Tertiary butanol  | 2.59             | 2.18                       | 84                  | 0                                       | 0                                |
| Diethylene glycol | 1.51             | 1.06                       | 70                  | 0.15                                    | 10                               |
| Pyridine          | 3.13             | 0.05                       | 2                   | 0.06                                    | 2                                |
| Average           |                  |                            | 52                  |                                         | 4                                |

ที่มา: Eckenfelder (1970)

**ตารางที่ 8** แสดงความสัมพันธ์ COD/TOC ของสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ

| ชนิดของสารเคมี | COD/TOC     | COD/TOC     |
|----------------|-------------|-------------|
|                | จากการคำนวณ | จากการทดลอง |
| Acetone        | 3.56        | 2.44        |
| Ethanol        | 4.00        | 3.35        |
| Benzene        | 3.12        | 2.96        |
| Pyridine       | 3.34        | 0.84        |
| Salicylic acid | 3.33        | N.D.        |
| Methanol       | 2.86        | 2.83        |
| Benzoic acid   | 4.00        | 3.89        |
| Sucrose        | 2.86        | 2.90        |
| Average        | 2.67        | 2.44        |

**หมายเหตุ** N.D. = Non Detected

ที่มา: Eckenfelder (1970)

Eckenfelder (1970) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของค่า  $BOD_5$ , COD และ TOC กับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 9

**ตารางที่ 9** Oxygen Demand และ Organic Carbon ของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

| ชนิดของน้ำทิ้ง          | $BOD_5$<br>(mg/l) | COD<br>(mg/l) | TOC<br>(mg/l) | BOD/TOC | COD/TOC |
|-------------------------|-------------------|---------------|---------------|---------|---------|
| Chemical <sup>(*)</sup> | -                 | 4,260         | 640           | -       | 6.66    |
| Chemical <sup>(*)</sup> | -                 | 2,440         | 370           | -       | 6.59    |
| Chemical <sup>(*)</sup> | -                 | 2,690         | 420           | -       | 6.40    |
| Chemical                | -                 | 576           | 122           | -       | 4.72    |
| Chemical                | 24,000            | 41,300        | 9,500         | 2.53    | 4.35    |

**ตารางที่ 9** (ต่อ)

| ชนิดของน้ำทิ้ง       | BOD <sub>5</sub><br>(mg/l) | COD<br>(mg/l) | TOC<br>(mg/l) | BOD/TOC | COD/TOC |
|----------------------|----------------------------|---------------|---------------|---------|---------|
| Chemical – refinery  | -                          | 580           | 160           | -       | 3.63    |
| Petrochemical        | -                          | 3,340         | 900           | -       | 3.71    |
| Chemical             | 850                        | 1,900         | 580           | 1.47    | 3.28    |
| Chemical             | 700                        | 1,400         | 450           | 1.56    | 3.11    |
| Chemical             | 8,000                      | 17,500        | 5,800         | 1.38    | 3.02    |
| Chemical             | 60,700                     | 78,000        | 26,000        | 2.33    | 3.00    |
| Chemical             | 62,000                     | 143,000       | 48,140        | 1.29    | 2.97    |
| Chemical             | -                          | 165,000       | 58,000        | -       | 2.84    |
| Chemical             | 9,700                      | 15,000        | 5,500         | 1.76    | 2.73    |
| Nylon polymer        | -                          | 23,400        | 8,800         | -       | 2.66    |
| Petrochemical        | -                          | -             | -             | -       | 2.70    |
| Nylon polymer        | -                          | 112,600       | 44,000        | -       | 2.56    |
| Olefin processing    | -                          | 321           | 133           | -       | 2.41    |
| Butadiene processing | -                          | 359           | 156           | -       | 2.30    |
| Chemical             | -                          | 350,000       | 160,000       | -       | 2.19    |
| Synthetic rubber     | -                          | 192           | 110           | -       | 1.75    |

**หมายเหตุ** (\*) Sulfides และ Thiosulfates ปนอยู่มาก

ที่มา: Eckenfelder (1970)

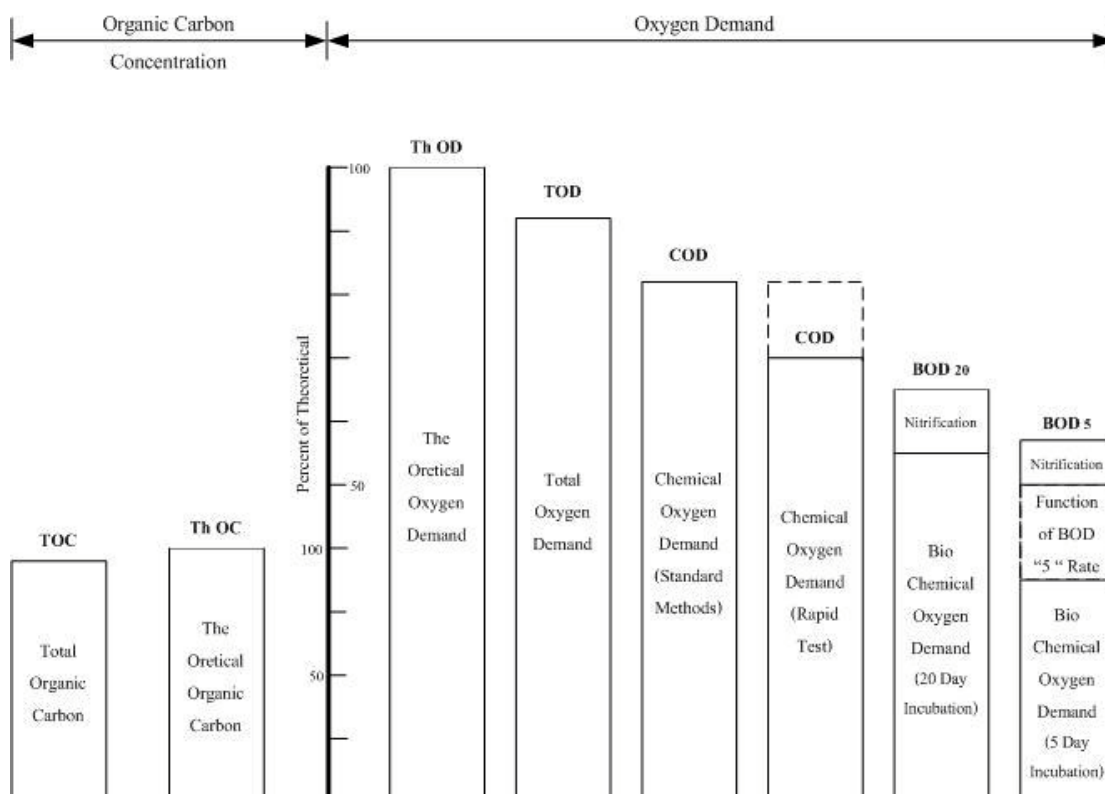
Jones (1972) อ้างถึงการทดลองของ Blackmore and Voshel ซึ่งหาความสัมพันธ์ของค่า BOD/COD ของน้ำเสียชุมชน มีค่าประมาณ 0.32-0.36 BOD/TOC ของน้ำเสียชุมชน มีค่าประมาณ 1.31-1.62 และ COD/TOC ของน้ำเสียชุมชน มีค่าประมาณ 3.32-4.68 โดยผู้ทดลองคนเดียวกันได้ รายงานไว้ว่าอัตราส่วน BOD/COD ของน้ำทิ้งจาก Final effluent มีค่าประมาณ 0.14-0.24 BOD/TOC มีค่าประมาณ 1.31-1.62 และ COD/TOC มีค่าประมาณ 2.03-2.58 แสดงดังตารางที่ 10

**ตารางที่ 10** Oxygen Demand และ Organic Carbon ของน้ำทิ้งชุมชน

| ขั้นตอนกำจัดน้ำทิ้ง | BOD <sub>5</sub><br>(mg/l) | COD<br>(mg/l) | TOC<br>(mg/l) | BOD/COD | BOD/TOC | COD/TOC |
|---------------------|----------------------------|---------------|---------------|---------|---------|---------|
| Raw                 | -                          | 136           | 41            | -       | -       | 3.32    |
| Raw                 | 105                        | 304           | 65            | 0.35    | 1.62    | 4.68    |
| Raw                 | 92                         | 264           | 70            | 0.35    | 1.31    | 3.77    |
| Raw                 | 84                         | 235           | 57            | 0.36    | 1.47    | 4.12    |
| Raw                 | 76                         | 227           | 49            | 0.33    | 1.55    | 4.63    |
| Raw                 | 89                         | 263           | 61            | 0.34    | 1.46    | 4.31    |
| Raw                 | 72                         | 228           | 55            | 0.32    | 1.31    | 4.15    |
| Primary Effluent    | 68                         | 299           | 51            | 0.23    | 1.33    | 5.86    |
|                     | 66                         | 220           | 61            | 0.30    | 1.08    | 3.61    |
|                     | 59                         | 200           | 58            | 0.30    | 1.02    | 3.45    |
|                     | 50                         | 161           | 44            | 0.31    | 1.14    | 3.66    |
|                     | 57                         | 197           | 54            | 0.29    | 1.06    | 3.65    |
|                     | 46                         | 146           | 46            | 0.32    | 1.00    | 3.17    |
| Final Effluent      | 16                         | 85            | 35            | 0.19    | 0.46    | 2.43    |
|                     | 19                         | 95            | 38            | 0.20    | 0.5     | 2.50    |
|                     | 20                         | 85            | 33            | 0.24    | 0.61    | 2.58    |
|                     | 11                         | 77            | 30            | 0.14    | 0.37    | 2.57    |
|                     | 14                         | 81            | 40            | 0.17    | 0.35    | 2.03    |
|                     | 11                         | 78            | 35            | 0.14    | 0.31    | 2.23    |

ที่มา: Jones (1972)

จากผลการทดลองทั้งหมดสรุปความสัมพันธ์ของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการออกซิไดซ์ Theoretical Oxygen Demand (ThOD), Total Oxygen Demand (TOD), COD, BOD<sub>20</sub>, BOD<sub>5</sub> กับค่าปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำ จากการคำนวณสูตร ThOC และค่า TOC ไว้ในรูปเดียวกันแสดงในภาพที่ 5



**ภาพที่ 5** ความสัมพันธ์ของ Oxygen และ Carbon Parameter

ที่มา: Eckenfelder (1970)

นฤมล (2532) ศึกษาความสัมพันธ์ของค่า BOD<sub>5</sub>, COD และ TOC ของน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ น้ำทิ้งจากชุมชนแฟลตพิบูลย์วัฒนา กรุงเทพมหานคร โดยสามารถเขียนสมการถดถอยเชิงเส้น รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 11

**ตารางที่ 11** สมการความสัมพันธ์ของ ค่า BOD<sub>5</sub> COD และ TOC ของน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ เป็นองค์ประกอบ

| ความสัมพันธ์           |                    | สมการความสัมพันธ์     |
|------------------------|--------------------|-----------------------|
| BOD <sub>5</sub> / COD | BOD <sub>5</sub> = | 0.50129 COD + 2.52388 |
| BOD <sub>5</sub> / TOC | BOD <sub>5</sub> = | 1.47934 TOC - 2.16638 |
| COD/ TOC               | COD =              | 2.92720 TOC - 7.94196 |

ที่มา: นฤมล (2532)

Viraraghavn (1973) พยายามศึกษาความสัมพันธ์ของค่า BOD<sub>5</sub>, COD และ TOC ในรูปของ สมการโดยใช้วิธี East squares ของตัวอย่างน้ำ 3 ประเภท คือ น้ำทิ้งชุมชน (Raw Sewage) น้ำทิ้งที่ผ่าน บ่อเกรอะ (Septic tank effluent) และน้ำในแหล่งน้ำที่ถูกปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ ผลการศึกษา แสดงดังตารางที่ 12 และ 13 สามารถสรุปความสัมพันธ์ของค่า BOD<sub>5</sub>, COD และ TOC ของน้ำทิ้ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

**ตารางที่ 12** ค่า BOD, COD และ Soluble Organic Carbon ในน้ำทิ้ง และน้ำผิวดิน

| Sample                | No. of samples | BOD <sub>5</sub><br>(mg/l) |      | COD<br>(mg/l) |       | Soluble organic<br>(mg/l) |      |
|-----------------------|----------------|----------------------------|------|---------------|-------|---------------------------|------|
|                       |                | Range                      | Mean | Range         | Mean  | Range                     | Mean |
| Raw sewage            | 10             | 244-1,312                  | 560  | 310-2,880     | 1,224 | 90-1,040                  | 295  |
| Septic tank effluent  | 20             | 140-666                    | 280  | 240-2,026     | 568   | 24-190                    | 73   |
| Polluted ground water | 28             | 13-257                     | 78   | 0-290         | 130   | 5-57                      | 25   |

ที่มา: Vararaghavan (1973)

**ตารางที่ 13** Correlation Equation and Coefficients

| Sample                | Equation                                              | Correlation coefficient |
|-----------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------|
| Raw sewage            | $BOD_5 = 0.031 (\text{soluble organic carbon}) + 554$ | 0.016                   |
|                       | $COD = 1.17 (\text{soluble organic carbon}) + 879$    | 0.344                   |
| Septic tank effluent  | $BOD_5 = 1.27 (\text{soluble organic carbon}) + 187$  | 0.395                   |
|                       | $COD = 3.56 (\text{soluble organic carbon}) + 368$    | 0.341                   |
| Polluted ground water | $BOD_5 = 120 (\text{soluble organic carbon}) + 48$    | 0.340                   |
|                       | $COD = 3.32 (\text{soluble organic carbon}) + 47$     | 0.559                   |

ที่มา: Vararaghavan (1973)

## อุปกรณ์และวิธีการ

### วัสดุและอุปกรณ์

#### 1. เครื่องมือ

- 1.1 เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบจานเดียว (Electric Balance) ยี่ห้อ OHAUS Model AR2140
- 1.2 ตู้อบ (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert Model UE400
- 1.3 ตู้เพาะเชื้อ (Incubator)
- 1.4 เครื่องวิเคราะห์ Total organic carbon ยี่ห้อ SHIMADSU Model TOC-5000A
- 1.5 เครื่องปั่นตัวอย่าง (Sample blander)
- 1.6 ตู้เย็น สามารถรักษาระดับอุณหภูมิไว้คงที่ที่  $4^{\circ}\text{C}$
- 1.7 เติลิกเคเตอร์ สำหรับเก็บสารเคมีเพื่อป้องกันความชื้น

#### 2. วัสดุและอุปกรณ์

- 2.1 ขวดเก็บตัวอย่างพลาสติก ขนาด 0.5 ลิตร
- 2.2 ขวดเก็บตัวอย่างน้ำสำหรับวิเคราะห์ TOC ขวดแก้วสีชาขนาด 60 มิลลิลิตร
- 2.3 ขวด BOD (Incubation bottle) ขนาด 300 มิลลิลิตร

## 2.4 เครื่องแก้วต่างๆ

- โหลแก้ว
- ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)
- บีกเกอร์ (Beaker)
- ปิเปต (Pipettes) ชนิด Graduated
- ปิเปต (Pipettes) ชนิด Volumetric
- บิวเรตอัตโนมัติ (Automatic buret)
- บิวเรต (Burette)
- กระบอกตวง (Graduated cylinder)
- กรวยแก้ว (Funnel)
- ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
- หลอดทดลองชนิดฝาจุกเกลียว (Digestion vessels)
- แท่งแก้วคน (Stirring rod)

## 2.5 กระดาษวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH paper)

## 2.6 ตะแกรงใส่หลอดทดลอง (Rack)

### 3. สารเคมี

#### 3.1 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ BOD

- ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Phosphate buffer)
- แมกนีเซียมซัลเฟต (Magnesium sulfate)
- แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride)
- เฟอริกคลอไรด์ (Ferric chloride)
- กรดและด่าง (Acid solution and Alkali)
- แมงกานีสซัลเฟต (Manganese sulfate solution)
- Alkali – iodide azide reagent
- กรดซัลฟูริกเข้มข้น (Sulfuric acid:  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , conc.)
- น้ำแป้ง (Starch solution)
- โพตัสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate)
- โซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium thiosulfate)

### 3.2 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ COD

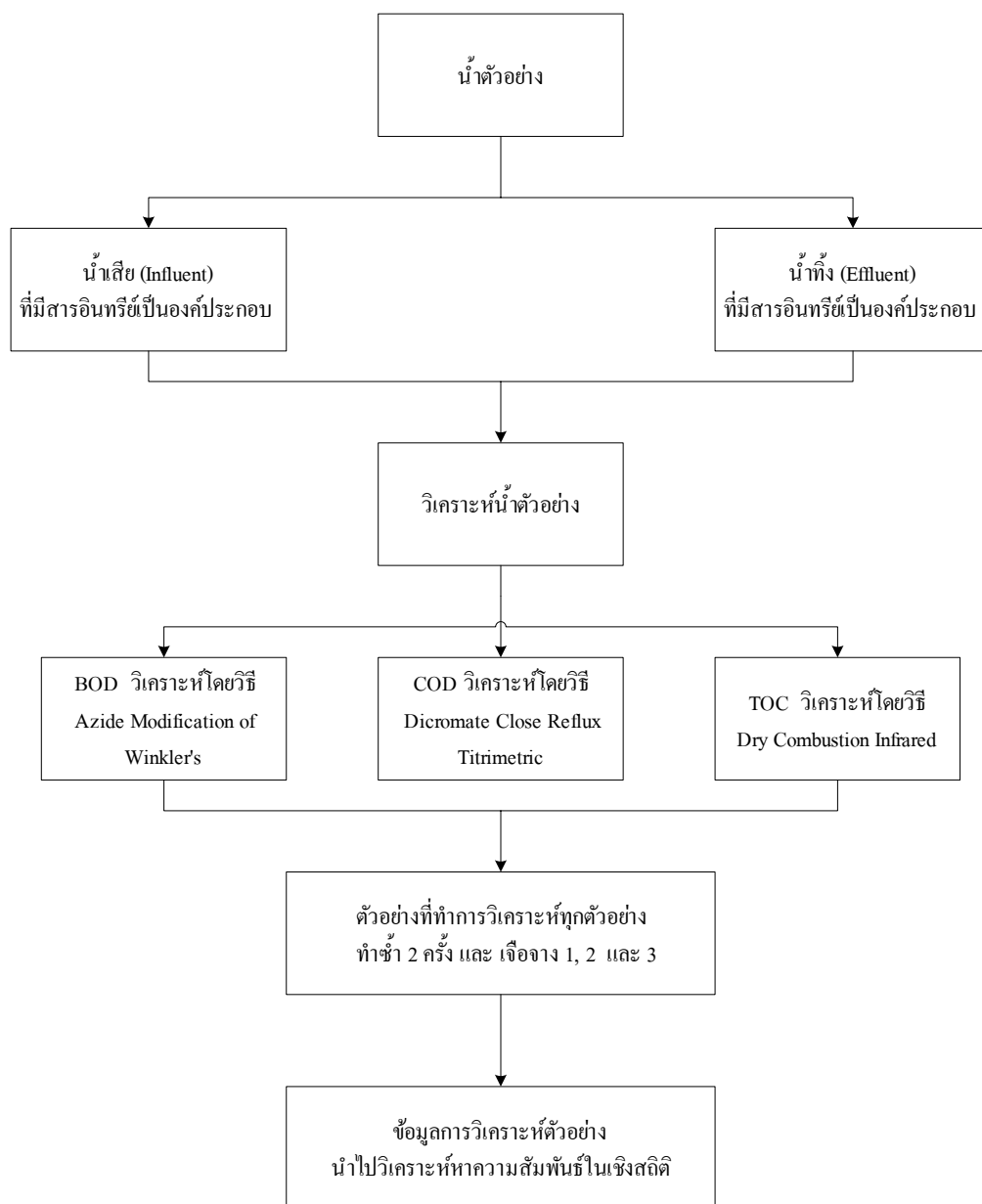
- โพตัสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate)
- กรดซัลฟูริกและซิลเวอร์ซัลเฟต (Sulfuric acid and Silver sulfate)
- เฟอโรโรอิน อินดิเคเตอร์ (Ferro indicator)
- ซิลเวอร์ซัลเฟต  $\text{AgSO}_4$
- เมอร์คิวรีซัลเฟต ( $\text{HgSO}_4$ )
- สารละลาย Ferrous Ammonium sulfate (FAS)

### 3.3 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ TOC

- โพแทสเซียมไบฟทาเรต (Potassium biphthalate;  $\text{C}_8\text{H}_5\text{KO}_4$ )
- กรดไฮโดรคลอริก (HCl)

### วิธีการทดลอง

การทดลอง เริ่มตั้งแต่การเก็บตัวอย่างน้ำจากน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย และน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย ตัวอย่างน้ำดังกล่าวจะถูกนำมาวิเคราะห์  $\text{BOD}_5$ , COD และ TOC ตามลำดับ และนำข้อมูลผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตัวอย่าง หาค่าความสัมพันธ์ของค่า  $\text{BOD}_5$ , COD และ TOC ในตัวอย่างน้ำด้วยวิธีทางสถิติขั้นตอนการศึกษา แสดงผังแผนภูมิการทดลองภาพที่ 6



**ภาพที่ 6** แผนภูมิขั้นตอนการทดลอง

## 1. การเก็บและการรักษาตัวอย่างน้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย และน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย ชนิดตะกอนเร่ง (Activated Sludge Process) ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง ใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบรวม (Composite samples) และสำหรับโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ ใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบจงเก็บ (Grab sample)

### 1.1 การเก็บและรักษาตัวอย่างน้ำสำหรับหาค่า BOD

ตัวอย่างน้ำที่ถูกเก็บมาในการทดลองนี้เก็บตัวอย่างแบบตัวอย่างแยกการวิเคราะห์ค่า BOD ของตัวอย่างน้ำควรวิเคราะห์โดยเร็ว เพราะหากปล่อยทิ้งไว้ สารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างจะถูกย่อยสลายไปก่อน เป็นเหตุให้ค่า BOD ที่หาได้มีค่าน้อยกว่าความเป็นจริงในการเก็บตัวอย่างแบบแยก ถ้าสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำได้ทันทีภายใน 2 ชั่วโมง ให้เก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้องได้ แต่หากวิเคราะห์ไม่ได้ภายใน 2 ชั่วโมง จะต้องเก็บรักษาตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ  $< 4^{\circ}\text{C}$  และทำการวิเคราะห์ภายใน 6 ชั่วโมง

ในกรณีที่ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ ได้ภายในเวลา 6 ชั่วโมง ให้เก็บรักษาตัวอย่างน้ำไว้ที่อุณหภูมิ  $< 4^{\circ}\text{C}$  แต่ต้องวิเคราะห์ภายใน 48 ชั่วโมง และรายงานระยะเวลาและอุณหภูมิที่เก็บรักษาตัวอย่างน้ำร่วมกับการรายงานผลการวิเคราะห์ด้วย สำหรับตัวอย่างที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันให้ทำการปั่นด้วยเครื่องปั่นจนเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous)

### 1.2 การเก็บและรักษาตัวอย่างน้ำสำหรับหาค่า COD

เก็บตัวอย่างน้ำด้วยขวดแก้วสีชา โดยวิธีการเก็บเช่นเดียวกับการหาค่า BOD กรณีที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ทันที ทำให้เป็นกรดโดยเติม  $\text{H}_2\text{SO}_4$  conc. จนมี  $\text{pH} < 2$  เก็บไว้ที่อุณหภูมิ  $< 4^{\circ}\text{C}$  ทำการวิเคราะห์ภายใน 7 วัน ในตัวอย่างที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันให้ปั่นเป็นเนื้อเดียวกันก่อนทำการทดลองทำให้ตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง

### 1.3 การเก็บและรักษาตัวอย่างน้ำสำหรับหาค่า TOC

เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยการปั่นในขวดแก้วสีชาที่เตรียมไว้สำหรับเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่า TOC โดยเฉพาะทำให้เป็นกรดด้วยการเติมสารละลาย (1+1) HCl จนมี pH < 2 เก็บไว้ในที่ที่ถูกแสงน้อยที่สุด รักษาอุณหภูมิเป็น  $< 4^{\circ}\text{C}$  ทำการวิเคราะห์ภายใน 7 วัน

## 2. กระบวนการวิเคราะห์ตัวอย่าง

นำตัวอย่างน้ำมาทำการวิเคราะห์หาค่า BOD<sub>5</sub>, COD และ TOC ตามวิธีการวิเคราะห์ที่ระบุใน Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water โดยแต่ละตัวอย่างน้ำทำการวิเคราะห์ซ้ำ 2 ครั้ง (Duplicate) เลือกกระดับการเจือจางที่เหมาะสม 3 ช่วง

2.1 วิเคราะห์ค่า BOD โดยใช้วิธี The Azide Modification of the Winkler's Method

2.2 วิเคราะห์ค่า COD โดยใช้วิธี Dichromate Close Reflux Titrimetric Method

2.3 วิเคราะห์ค่า TOC โดยใช้วิธี Dry Combustion Infrared Method

## 3. การวิเคราะห์ทางสถิติ

หลังจากการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ค่า BOD, COD และ TOC ในตัวอย่างน้ำ นำข้อมูลผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำวิเคราะห์ด้วยสถิติบรรยาย (Descriptive Statistics) นอกจากนั้นนำข้อมูลผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหาความสัมพันธ์เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามเพื่อนำไปสู่การสร้างสมการความสัมพันธ์ และเพื่อพิสูจน์ความใช้ได้ของสมการถดถอยเชิงเส้นในการพยากรณ์ตัวแปรตาม โดยใช้สถิติดังต่อไปนี้

3.1 การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง (Measures of Central Tendency) เป็นการบรรยายลักษณะของข้อมูลด้วยตัวแทน (Representative) ของชุดข้อมูลนั้น ได้แก่ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Mean), ค่าสูงสุด (Maximum), ค่าต่ำสุด (Minimum)

### ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Mean)

$$\begin{aligned} X &= \frac{\sum X_i}{n} \\ X &= \text{ค่าเฉลี่ย} \\ \sum X_i &= \text{ผลรวมของค่าตัวแปร} \\ n &= \text{จำนวนตัวแปร} \end{aligned}$$

3.2 การวัดการกระจายตัว (Measures of Variability) เป็นการบอกความแตกต่างของข้อมูลแต่ละตัวหรือข้อมูลชุดนั้นมีความแตกต่างกันหรือคล้ายคลึงกันมากน้อยเพียงใด ได้แก่ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Deviation)

### ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard deviation)

$$\begin{aligned} SD &= \frac{\sqrt{\sum X_i^2}}{n-1} \\ SD &= \text{ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน} \\ \sum X_i^2 &= \text{ผลรวมของค่าตัวแปรยกกำลังสอง} \\ n &= \text{จำนวนตัวแปร} \end{aligned}$$

3.3 การหาอัตราส่วน (Ratio) เป็นการนำตัวเลขหรือสัญลักษณ์ตั้งแต่สองจำนวนมาเปรียบเทียบกับกัน เป็นการเปรียบเทียบส่วนย่อยกับส่วนย่อยด้วยกัน เพื่อให้ทราบว่าเป็นกี่เท่าของกันและกัน

### อัตราส่วน (Ratio)

$$\begin{aligned} \text{Ratio} &= \frac{X}{Y} \\ X &= \text{ตัวแปร } X \\ Y &= \text{ตัวแปร } Y \end{aligned}$$

3.4 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Linear simple regression) เป็นการพยากรณ์ตัวแปรตาม โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งในการวิเคราะห์จะมี 3 ตัวแปร ได้แก่  $r$ ,  $r^2$ , และ Adjusted  $r^2$

จากนี้เป็นรายละเอียดของการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient;  $r$ ) เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ในลักษณะทิศทางตามกัน (Positive correlation) หรือทิศทางผกผันกัน (Negative correlation) ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และ สัมประสิทธิ์การทำนายของสมการเชิงเส้น (Coefficient of determination;  $r^2$ ) โดยการวิเคราะห์ Adjusted  $r^2$  จะได้อธิบายรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

#### สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient; $r$ )

คูติต (2544) กล่าวว่า เมื่อต้องการหาขนาดและทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ซึ่งเป็นความสัมพันธ์โดยตรง สหสัมพันธ์เป็นดัชนีวัดปริมาณของความสัมพันธ์ของตัวแปร โดยมีค่า  $-1 < r < 1$  ถ้าค่าสหสัมพันธ์มีค่าสูง (เข้าใกล้ 1 หรือ -1) แสดงว่ามีขนาดของความสัมพันธ์สูง ถ้าค่า  $r$  เข้าใกล้ศูนย์ถือว่ามีความสัมพันธ์กันน้อย หรือไม่มีความสัมพันธ์กัน ส่วนเครื่องหมาย + นั้นมีความหมายถึงทิศทางของความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองมีทิศเดียวกัน หรือเรียกว่าทั้ง  $x$  และ  $y$  มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก คือ การเปลี่ยนแปลง  $x$  เพิ่มขึ้น  $y$  จะเพิ่มขึ้นด้วย หรือ  $x$  มีการเปลี่ยนแปลงลดลง  $y$  จะลดลงด้วย แต่ถ้าค่า  $r$  มีค่าเป็นลบ มีความหมายว่าตัวแปร  $x$  และ  $y$  มีความสัมพันธ์เชิงลบ คือถ้า  $x$  เปลี่ยนแปลงลดลง  $y$  จะเพิ่มขึ้น แต่ถ้า  $x$  เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น  $y$  จะลดลงด้วย โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

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

|          |   |                                                |
|----------|---|------------------------------------------------|
| $r_{xy}$ | = | สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Correlation Coefficient |
| $x$      | = | ค่าของตัวแปรชุดที่ 1                           |
| $y$      | = | ค่าของตัวแปรชุดที่ 2                           |
| $n$      | = | จำนวนคู่ของข้อมูล                              |

### สัมประสิทธิ์การทำนาย Coefficient of Determination ( $r^2$ )

คูติต (2544) กล่าวว่า สัมประสิทธิ์การทำนาย Coefficient of Determination ( $r^2$ ) เป็นค่าที่อยู่ระหว่าง 0-1 ซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการทำนายของสมการว่าทำนายได้ถูกต้องเพียงใด ถ้าค่านี้มีค่าเท่ากับ 0.8 แสดงว่าสมการนั้นสามารถทำนายค่าได้ถูกต้องถึง 80%

$$\begin{aligned} r^2 &= \frac{SSR}{SST} \\ SSR &= bS_{xy} \\ SST &= S_{yy} \\ S_{xy} &= \sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n} \\ S_{yy} &= \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \end{aligned}$$

### สัมประสิทธิ์การทำนายแบบปรับ Adjusted Coefficient of Determination ( $r_a^2$ )

ศ.บุญธรรม (2542) กล่าวว่า เนื่องจากค่า  $r^2$  เป็นค่าของ  $r$  นำมายกกำลังสอง แต่ถ้าเป็น  $r_a^2$  จะเป็นค่าปรับของ  $r^2$  ทั้งนี้เนื่องจากค่าของ  $r^2$  ขึ้นอยู่กับขนาดของกลุ่มตัวอย่างและจำนวนตัวแปรอิสระที่ใช้คำนวณ ดังนั้นในการพยากรณ์ค่าของตัวแปรตามที่จะอ้างสรุปไปถึงประชากรจึงนิยมใช้ค่าปรับมากกว่า ซึ่งจะมีค่าต่ำกว่าค่า  $r^2$

อีกนัยหนึ่ง ค่า  $r_a^2$  เป็นค่าที่มีความหมายเหมือนกับ  $r^2$  แต่ค่านี้ถูกปรับค่าตามจำนวนตัวอย่างปกติค่า  $r^2$  จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อ  $n$  เพิ่มมากขึ้น แต่ค่า  $r_a^2$  ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมี  $n$  เพิ่มขึ้นภายใต้เงื่อนไขของรูปแบบความสัมพันธ์ที่คงที่

$$\begin{aligned} r_a^2 &= 1 - \frac{SSE/(n-p)}{SST/(n-1)} \\ &= 1 - 1 - (1-r^2) \left[ \frac{n-1}{n-p} \right] \end{aligned}$$

### การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบนัยสำคัญ

#### - การตั้งสมมติฐาน

$H_0: \beta_1 = 0$  หรือ ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามไม่มีความสัมพันธ์กัน

$H_1: \beta_1 \neq 0$  หรือ ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กัน

#### - สถิติที่ใช้ในการทดสอบ

ใช้สถิติ F-Test จากตาราง ANOVA (แสดงดังตารางที่ 14) โดยการทดสอบ F สำหรับ Regression เป็นการทดสอบสมการทำนายตัวแปรตาม (y) โดยตัวแปรอิสระ (x) ได้ดีเพียงใด หรือ อีกนัยหนึ่งเป็นการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง x, y จากสมการ คือการทดสอบ  $b \rightarrow \beta_1$  ภายใตสมมติฐานดังกล่าวข้างต้น

**ตารางที่ 14** การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบนัยสำคัญ

| Source     | Df  | Sum Square               | Mean Square | F       |
|------------|-----|--------------------------|-------------|---------|
| Regression | 1   | $bS_{xy} = SSR$          | MSR         | MSR/MSE |
| Residual   | n-2 | $S_{yy} - bS_{xy} = SSE$ | MSE         |         |
| Total      | n-1 | $S_{yy} = SST$           |             |         |

**หมายเหตุ** df = Degree of Freedom

b = between group

SSR = Sum Squares Regression

SSE = Sum Square Error

SST = Sum Square Total

MSR = Mean Square Regression

MSE = Mean Square Error

$$\begin{aligned}
S_{xx} &= \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n} \\
S_{yy} &= \sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n} \\
S_{xy} &= \sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n} \\
MSR &= \frac{\text{Sum Square regression}}{df \text{ of regression}} \\
MSE &= \frac{\text{Sum Square Error}}{df \text{ of Error}}
\end{aligned}$$

ที่มา: คูสิต (2544); สุวิธาน (2544)

#### - การแปลผล

คูสิต (2544) กล่าวว่า ค่า  $f$  ที่คำนวณได้ ไปเปิดตารางสถิติการแจกแจงแบบ  $f$  ที่  $df$  แสดงดังตารางที่ 15 ตามที่คำนวณได้ ในระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ถ้าหากว่าค่า  $f$  ที่คำนวณได้ มีค่ามากกว่าค่า  $f$  จากตารางสถิติ หรือถ้าค่านัยสำคัญทางสถิติ หรือที่เรียกว่า Significant หรือ Sig ที่คำนวณได้น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  นั่นคือ ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (สำหรับการยอมรับ หรือปฏิเสธ  $H_0$  ของการกระจายตัวแบบ  $f$  นั้น แสดงดังภาพที่ 7)

3.5 วิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของความเบี่ยงเบนจากเส้นสมการถดถอย (Standard Error of the Estimation; SEE) เพื่อหาความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

**ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของความเบี่ยงเบนจากเส้นสมการถดถอย (Standard Error of the Estimation; SEE)**

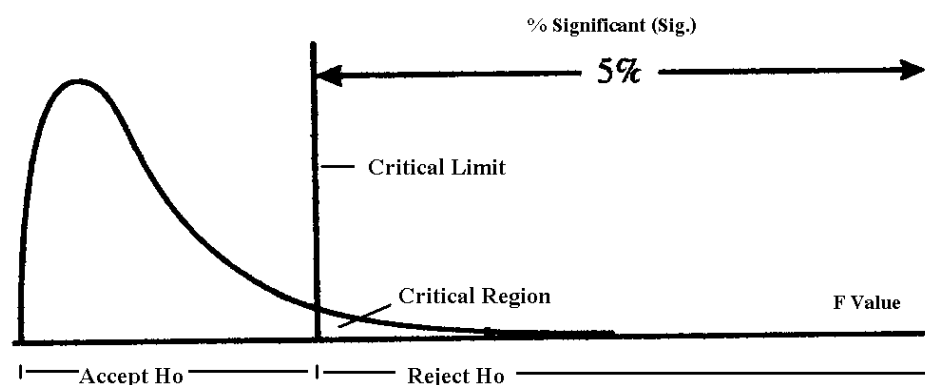
Polit (1996) กล่าวว่า ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของความเบี่ยงเบนจากเส้นสมการถดถอย (Standard error of the estimation; SEE) เป็นดัชนีเพื่อใช้ในการบ่งชี้ความคลาดเคลื่อนในการทำนาย โดยจะมีค่าน้อยกว่า 1 ค่า SEE ยิ่งน้อยเท่าไร หมายถึงความถูกต้องยิ่งมาก มีสูตรดังนี้

$$S_{y-x} = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{n - 2}}$$

$$\begin{aligned}
 S_{y-x} &= \text{ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของ } y \text{ ซึ่งถดถอยจาก } x \\
 \sum (Y - \hat{Y})^2 &= \text{ผลรวมของการคลาดเคลื่อนของ } \hat{Y} \text{ ยกกำลังสอง} \\
 n &= \text{จำนวนตัวอย่าง}
 \end{aligned}$$

**ตารางที่ 15** ตารางสถิติการแจกแจงแบบ  $f: \alpha = 0.05$

| $\frac{df_B}{df_W}$ | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 8     | 12    | 24    | $\infty$ |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 1                   | 161.4 | 199.5 | 215.7 | 224.6 | 230.2 | 234.0 | 238.9 | 243.9 | 249.0 | 254.3    |
| 2                   | 18.51 | 19.00 | 19.16 | 19.25 | 19.30 | 19.33 | 19.37 | 19.41 | 19.45 | 19.50    |
| 3                   | 10.13 | 9.55  | 9.28  | 9.12  | 9.01  | 8.94  | 8.84  | 8.74  | 8.64  | 8.53     |
| 4                   | 7.71  | 6.94  | 6.59  | 6.39  | 6.26  | 6.16  | 6.04  | 5.91  | 5.77  | 5.63     |
| 5                   | 6.61  | 5.79  | 5.41  | 5.19  | 5.05  | 4.95  | 4.82  | 4.68  | 4.53  | 4.26     |
| 6                   | 5.99  | 5.14  | 4.76  | 4.53  | 4.39  | 4.28  | 4.15  | 4.00  | 3.84  | 3.67     |
| 7                   | 5.59  | 4.74  | 4.35  | 4.12  | 3.97  | 3.87  | 3.73  | 3.57  | 3.41  | 3.23     |
| 8                   | 5.32  | 4.46  | 4.07  | 3.84  | 3.69  | 3.58  | 3.44  | 3.28  | 3.12  | 2.93     |
| 9                   | 5.12  | 4.26  | 3.86  | 3.63  | 3.48  | 3.37  | 3.23  | 3.07  | 2.90  | 2.71     |
| 10                  | 4.96  | 4.10  | 3.71  | 3.48  | 3.33  | 3.22  | 3.07  | 2.91  | 2.74  | 2.54     |
| 11                  | 4.84  | 3.98  | 3.59  | 3.36  | 3.20  | 3.09  | 2.95  | 2.79  | 2.61  | 2.40     |
| 12                  | 4.75  | 3.88  | 3.49  | 3.26  | 3.11  | 3.00  | 2.85  | 2.69  | 2.50  | 2.30     |
| 13                  | 4.67  | 3.80  | 3.41  | 3.18  | 3.02  | 2.92  | 2.77  | 2.60  | 2.42  | 2.21     |
| 14                  | 4.60  | 3.74  | 3.34  | 3.11  | 2.96  | 2.85  | 2.70  | 2.53  | 2.35  | 2.13     |
| 15                  | 4.54  | 3.68  | 3.29  | 3.06  | 2.90  | 2.79  | 2.64  | 2.48  | 2.29  | 2.07     |
| 16                  | 4.49  | 3.63  | 3.24  | 3.01  | 2.85  | 2.74  | 2.59  | 2.42  | 2.24  | 2.01     |
| 17                  | 4.45  | 3.59  | 3.20  | 2.96  | 2.81  | 2.70  | 2.55  | 2.38  | 2.19  | 1.96     |
| 18                  | 4.41  | 3.55  | 3.16  | 2.93  | 2.77  | 2.66  | 2.51  | 2.34  | 2.15  | 1.92     |
| 19                  | 4.38  | 3.52  | 3.13  | 2.90  | 2.74  | 2.63  | 2.48  | 2.31  | 2.11  | 1.88     |
| 20                  | 4.35  | 3.49  | 3.10  | 2.87  | 2.71  | 2.60  | 2.45  | 2.28  | 2.08  | 1.84     |
| 21                  | 4.32  | 3.47  | 3.07  | 2.84  | 2.68  | 2.57  | 2.42  | 2.25  | 2.05  | 1.81     |
| 22                  | 4.30  | 3.44  | 3.05  | 2.82  | 2.66  | 2.55  | 2.40  | 2.23  | 2.03  | 1.78     |
| 23                  | 4.28  | 3.42  | 3.03  | 2.80  | 2.64  | 2.53  | 2.38  | 2.20  | 2.00  | 1.76     |
| 24                  | 4.26  | 3.40  | 3.01  | 2.78  | 2.62  | 2.51  | 2.36  | 2.18  | 1.98  | 1.73     |
| 25                  | 4.24  | 3.38  | 2.99  | 2.76  | 2.60  | 2.49  | 2.34  | 2.16  | 1.96  | 1.71     |
| 26                  | 4.22  | 3.37  | 2.98  | 2.74  | 2.59  | 2.47  | 2.32  | 2.15  | 1.95  | 1.69     |
| 27                  | 4.21  | 3.35  | 2.96  | 2.73  | 2.57  | 2.46  | 2.30  | 2.13  | 1.93  | 1.67     |
| 28                  | 4.20  | 3.34  | 2.95  | 2.71  | 2.56  | 2.44  | 2.29  | 2.12  | 1.91  | 1.65     |
| 29                  | 4.18  | 3.33  | 2.93  | 2.70  | 2.54  | 2.43  | 2.28  | 2.10  | 1.90  | 1.64     |
| 30                  | 4.17  | 3.32  | 2.92  | 2.69  | 2.53  | 2.42  | 2.27  | 2.09  | 1.89  | 1.62     |
| 40                  | 4.08  | 3.23  | 2.84  | 2.61  | 2.45  | 2.34  | 2.18  | 2.00  | 1.79  | 1.51     |
| 60                  | 4.00  | 3.15  | 2.76  | 2.52  | 2.37  | 2.25  | 2.10  | 1.92  | 1.70  | 1.39     |
| 120                 | 3.92  | 3.07  | 2.68  | 2.45  | 2.29  | 2.17  | 2.02  | 1.83  | 1.61  | 1.25     |
| $\infty$            | 3.84  | 2.99  | 2.60  | 2.37  | 2.21  | 2.09  | 1.94  | 1.75  | 1.52  | 1.00     |



**ภาพที่ 7** F distributions หรือการกระจายตัวของค่า F ที่คำนวณได้ สำหรับใช้ในการตัดสินใจวิกฤต เพื่อการยอมรับหรือปฏิเสธการตั้งสมมติฐาน

3.6 วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Linear Simple Regression) เพื่อพยากรณ์ตัวแปรเนื่องจากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient;  $r$ ) ที่กล่าวมาข้างต้นจะแสดงให้เห็นแต่เพียงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ แต่ไม่สามารถใช้ในการพยากรณ์ได้ การวิเคราะห์การถดถอยจะเป็นเทคนิคที่ใช้ในการประมาณค่า และพยากรณ์ค่าของตัวแปรหนึ่งจากตัวแปรอีกตัวหนึ่งลักษณะสมการเป็นดังนี้

$$\hat{Y} = a + bX$$

$$\hat{Y} = \text{ค่าของตัวแปรตามที่ได้จากการพยากรณ์}$$

$$a = \text{ค่า Y-intercept หรือ ค่าคงที่ (constant)}$$

$$a = \hat{Y} - bX$$

$$b = \text{สัมประสิทธิ์การทำนาย เป็นค่า Unstandardized regression coefficient (b-weight) ค่าที่คำนวณจากคะแนนดิบ ซึ่งค่านี้จะใช้เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย}$$

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

### ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในแต่ละ $\beta$ -weight (Standard Error)

อัจฉริยา (2548) ได้แสดงสูตรความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในแต่ละ  $\beta$ -weight หรือความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่า Constant (a) และ (b) ดังต่อไปนี้

$$e_j = y_j (\alpha + \beta x_j)$$

$$= y_j - \mu_{y/x}$$

$e_j$  = ปริมาณที่  $y$  เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยของประชากรย่อยของ  $Y$  ซึ่งได้จากการสุ่ม

$x_j$  = ความคลาดเคลื่อน

$y_j$  = ค่าตัวหนึ่งที่ได้จากประชากรย่อยกลุ่มหนึ่งของ  $Y$

$\alpha, \beta$  = สัมประสิทธิ์การถดถอยการถดถอยของประชากร

### สัมประสิทธิ์การทำนายในรูปคะแนนมาตรฐาน หรือ Standardized Coefficients Beta ( $\beta$ -weight)

สุวิ خان (2544) กล่าวว่า ค่า Beta เป็นสัมประสิทธิ์การทำนายในรูปคะแนนมาตรฐาน ซึ่งจะมีสมการถดถอยในรูปของคะแนนมาตรฐานเป็น  $\hat{Z}_y = \text{Beta} \hat{Z}_{y-x}$

$$\text{Beta}_i = b_i \frac{S_i}{S_y}$$

$b_i$  = สัมประสิทธิ์การถดถอยบางส่วน

$S_i$  = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรทำนายที่  $i$

$S_y$  = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรตาม  $Y$

การทดสอบนัยสำคัญของค่า  $a$  และ  $b$  ในสมการถดถอย

- การตั้งสมมติฐาน

$H_0: \rho = 0$  หรือตัวแปรอิสระไม่สามารถใช้เป็นตัวพยากรณ์ตัวแปรตามได้

$H_1: \rho \neq 0$  หรือตัวแปรอิสระสามารถใช้เป็นตัวพยากรณ์ตัวแปรตามได้

- สถิติที่ใช้ในการทดสอบ

ค่า  $t$  ใน Regression เป็นการทดสอบอิทธิพลของปัจจัย หรือตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรตาม โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$t = \frac{r\sqrt{n-m}}{\sqrt{1-r^2}} \quad df = n - m$$

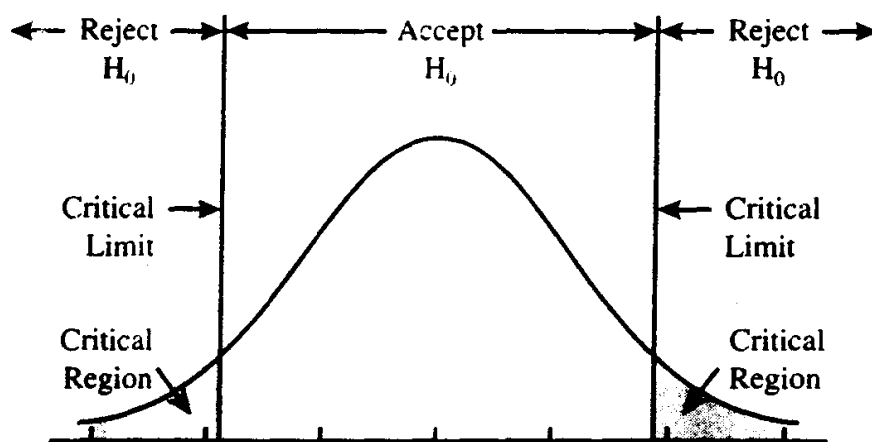
$t$  = ค่าสถิติ  $t$  ที่มีการแจกแจงแบบ  $t$  ที่มี degree of freedom =  $n-m$

$n$  = จำนวนคู่ของตัวแปร

$m$  = จำนวนตัวแปร

- การแปลผล

สุวิธาน (2544) กล่าวว่า ค่า  $t$  ที่คำนวณได้ ให้นำไปเปิดตารางสถิติการแจกแจงแบบ  $t$  ที่  $df$  ตามที่คำนวณได้ ในระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงดังตารางที่ 16 ถ้าหากว่าค่า  $t$  ที่คำนวณได้ มีค่ามากกว่าค่า  $t$  จากตารางสถิติ หรือ ถ้าค่านัยสำคัญทางสถิติ หรือที่เรียกว่า Significant หรือ Sig (2 tailed) ที่คำนวณได้น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  นั่นคือ ตัวแปรอิสระสามารถใช้เป็นตัวพยากรณ์ตัวแปรตามได้โดยใช้สมการ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (สำหรับการยอมรับ หรือปฏิเสธ  $H_0$  ของการกระจายตัวแบบ  $t$  นั้น แสดงดังภาพที่ 8)



**ภาพที่ 8** t distributions หรือการกระจายตัวของค่า t ที่คำนวณได้สำหรับใช้ในการตัดสินใจวิกฤต  
เพื่อการยอมรับ หรือปฏิเสธการตั้งสมมติฐาน

ตารางที่ 16 ตารางสถิติการแจกแจงแบบ t

| df       | Test                | Level of Significance |       |       |       |        |
|----------|---------------------|-----------------------|-------|-------|-------|--------|
|          | 2-Tailed $\alpha$ : | .10                   | .05   | .02   | .01   | .001   |
| 1        |                     | 6.31                  | 12.71 | 31.82 | 63.66 | 636.62 |
| 2        |                     | 2.92                  | 4.30  | 6.97  | 9.93  | 31.60  |
| 3        |                     | 2.35                  | 3.18  | 4.54  | 5.84  | 12.94  |
| 4        |                     | 2.13                  | 2.78  | 3.75  | 4.60  | 8.61   |
| 5        |                     | 2.02                  | 2.57  | 3.37  | 4.03  | 6.86   |
| 6        |                     | 1.94                  | 2.45  | 3.14  | 3.71  | 5.96   |
| 7        |                     | 1.90                  | 2.37  | 3.00  | 3.45  | 5.41   |
| 8        |                     | 1.86                  | 2.31  | 2.90  | 3.36  | 5.04   |
| 9        |                     | 1.83                  | 2.26  | 2.82  | 3.25  | 4.78   |
| 10       |                     | 1.81                  | 2.23  | 2.76  | 3.17  | 4.58   |
| 11       |                     | 1.80                  | 2.20  | 2.72  | 3.11  | 4.44   |
| 12       |                     | 1.78                  | 2.18  | 2.68  | 3.06  | 4.32   |
| 13       |                     | 1.77                  | 2.16  | 2.65  | 3.01  | 4.22   |
| 14       |                     | 1.76                  | 2.15  | 2.62  | 2.98  | 4.14   |
| 15       |                     | 1.75                  | 2.13  | 2.60  | 2.95  | 4.07   |
| 16       |                     | 1.75                  | 2.12  | 2.58  | 2.92  | 4.02   |
| 17       |                     | 1.74                  | 2.11  | 2.57  | 2.90  | 3.97   |
| 18       |                     | 1.73                  | 2.10  | 2.55  | 2.88  | 3.92   |
| 19       |                     | 1.73                  | 2.09  | 2.54  | 2.86  | 3.88   |
| 20       |                     | 1.73                  | 2.09  | 2.53  | 2.85  | 3.85   |
| 21       |                     | 1.72                  | 2.08  | 2.52  | 2.83  | 3.82   |
| 22       |                     | 1.72                  | 2.07  | 2.51  | 2.82  | 3.79   |
| 23       |                     | 1.71                  | 2.07  | 2.50  | 2.81  | 3.77   |
| 24       |                     | 1.71                  | 2.06  | 2.49  | 2.80  | 3.75   |
| 25       |                     | 1.71                  | 2.06  | 2.49  | 2.79  | 3.73   |
| 26       |                     | 1.71                  | 2.06  | 2.48  | 2.78  | 3.71   |
| 27       |                     | 1.71                  | 2.05  | 2.47  | 2.77  | 3.69   |
| 28       |                     | 1.70                  | 2.05  | 2.47  | 2.76  | 3.67   |
| 29       |                     | 1.70                  | 2.05  | 2.46  | 2.76  | 3.66   |
| 30       |                     | 1.70                  | 2.04  | 2.46  | 2.75  | 3.65   |
| 40       |                     | 1.68                  | 2.02  | 2.42  | 2.70  | 3.55   |
| 60       |                     | 1.67                  | 2.00  | 2.39  | 2.66  | 3.46   |
| 120      |                     | 1.66                  | 1.98  | 2.36  | 2.62  | 3.73   |
| $\infty$ |                     | 1.65                  | 1.96  | 2.33  | 2.58  | 3.29   |
| df       | 1-Tailed $\alpha$ : | .05                   | .025  | .01   | .005  | .0005  |

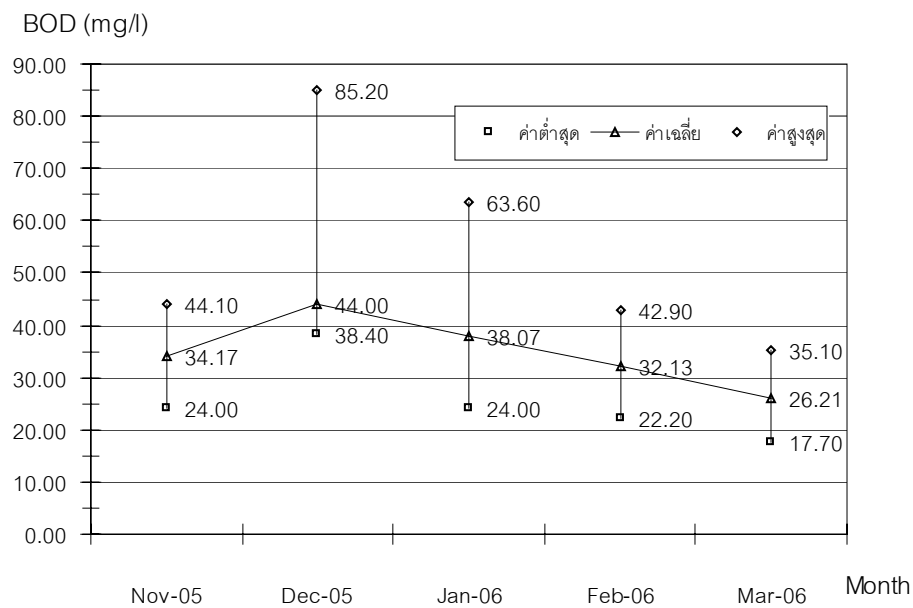
## ผลการทดลองและวิจารณ์

### ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

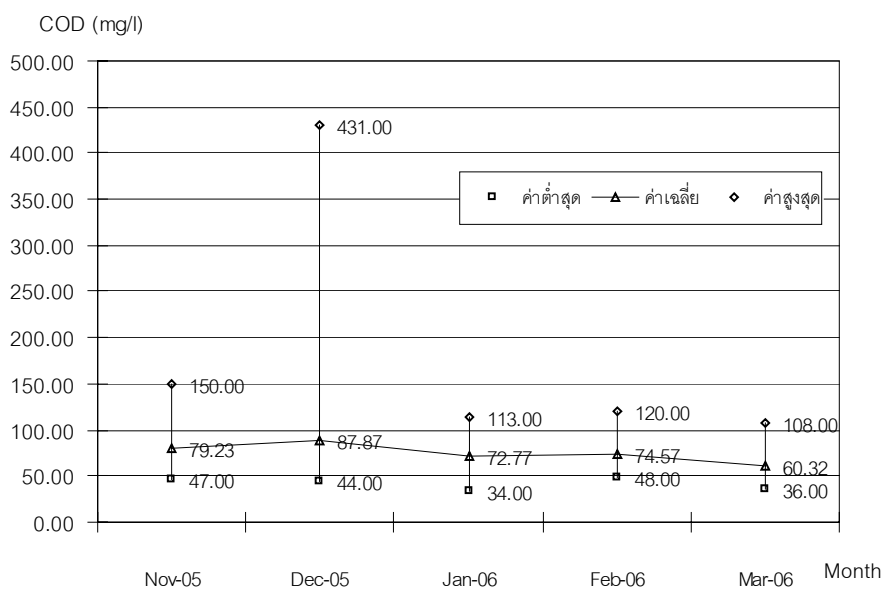
ผู้วิจัยได้นำข้อมูลคุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียและน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2548 ถึง เดือนมีนาคม 2549 และคุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียและน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ ระหว่างเดือนมกราคม-ธันวาคม 2545-2547 เพื่อต้องการนำข้อมูลในอดีตมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งของการวิจัยในครั้งนี้ แต่ทั้งนี้เนื่องจากมีข้อจำกัดของจำนวนข้อมูลคุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งที่สมบูรณ์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือก ค่า BOD<sub>5</sub> และ COD เฉพาะในช่วงเวลาดังกล่าวข้างต้น ข้อมูลคุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง และโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ ได้แก่ ค่า BOD<sub>5</sub> และ COD แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 17 กราฟแสดงช่วงของค่า BOD<sub>5</sub> และ COD ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง แสดงดังภาพที่ 9 – 16 รายละเอียดข้อมูลคุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้ง แสดงดังภาคผนวก ก

**ตารางที่ 17** ข้อมูลคุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้ง BOD<sub>5</sub> และ COD

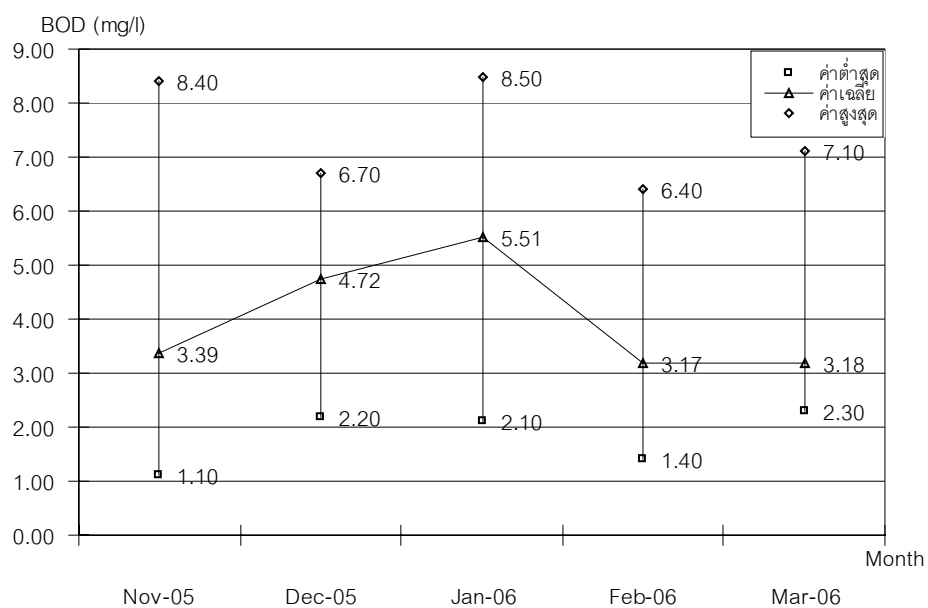
| ค่าทางสถิติ                                                        | น้ำเสีย        |                | น้ำทิ้ง        |                |
|--------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                                                                    | BOD<br>(mg /l) | COD<br>(mg /l) | BOD<br>(mg /l) | COD<br>(mg /l) |
| <b>โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง (พฤศจิกายน 2548 - มีนาคม 2549)</b>     |                |                |                |                |
| ค่าต่ำสุด                                                          | 17.70          | 34.00          | 1.10           | 10.00          |
| ค่าสูงสุด                                                          | 85.20          | 431.00         | 8.50           | 85.00          |
| ค่าเฉลี่ย                                                          | 33.79          | 74.95          | 3.99           | 27.80          |
| <b>โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ (มกราคม – ธันวาคม 2545-2547)</b> |                |                |                |                |
| ค่าต่ำสุด                                                          | 73.18          | 104.21         | 5.10           | 9.02           |
| ค่าสูงสุด                                                          | 190.70         | 250.00         | 15.59          | 35.24          |
| ค่าเฉลี่ย                                                          | 106.75         | 156.46         | 10.50          | 19.93          |



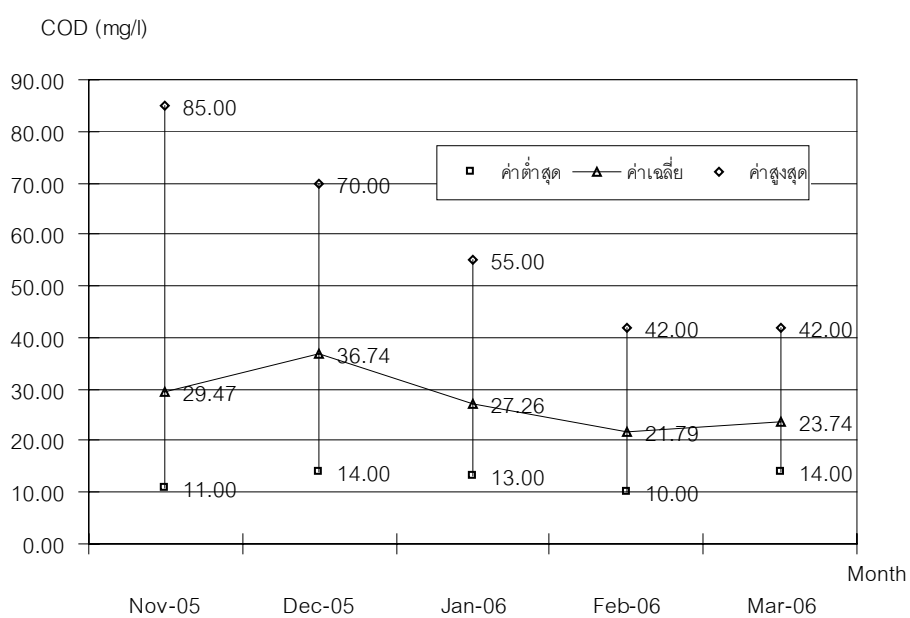
**ภาพที่ 9** กราฟแสดงช่วงค่า BOD ของน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง



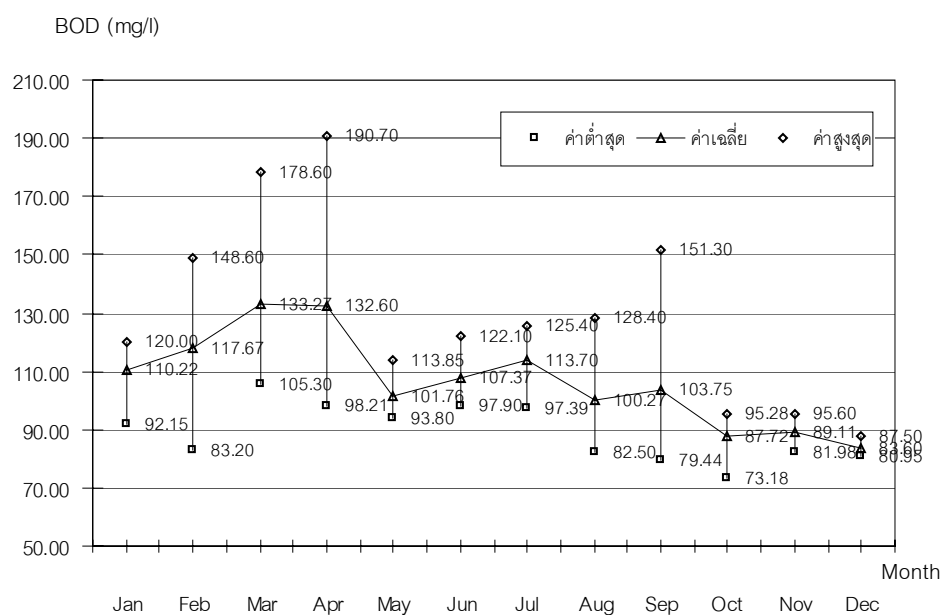
**ภาพที่ 10** กราฟแสดงช่วงค่า COD ของน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง



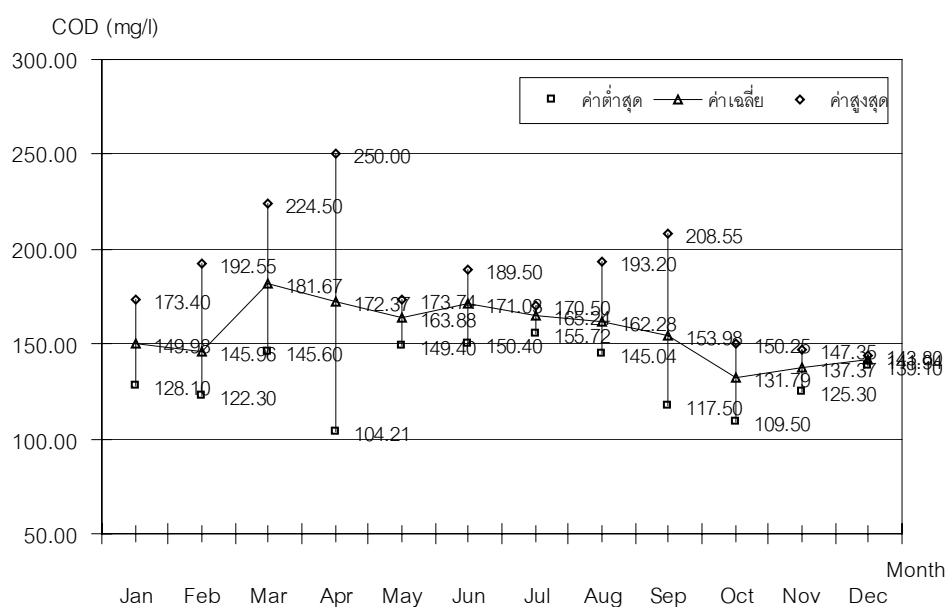
**ภาพที่ 11** กราฟแสดงช่วงค่า BOD ของน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง



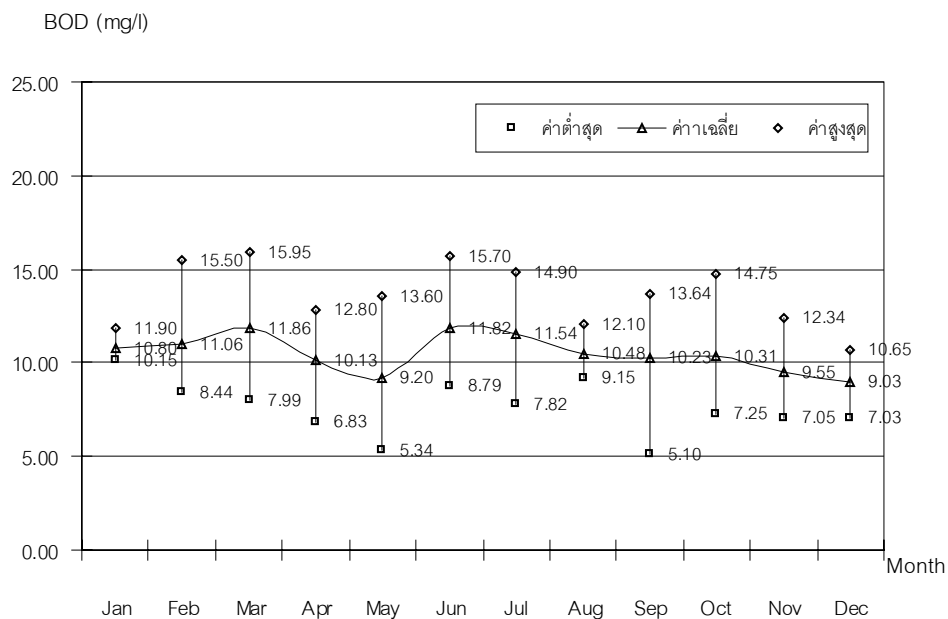
**ภาพที่ 12** กราฟแสดงช่วงค่า COD ของน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง



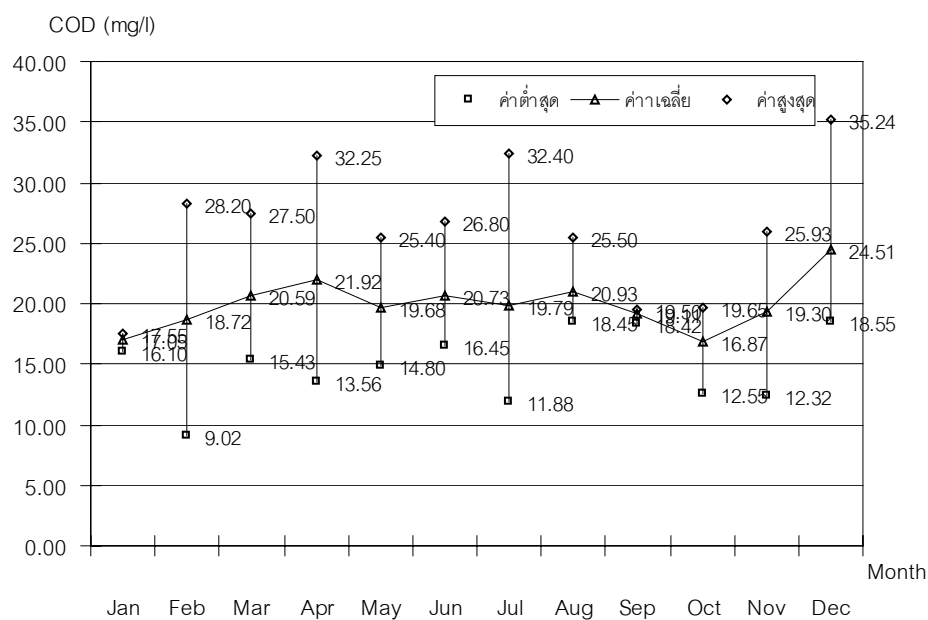
**ภาพที่ 13** กราฟแสดงช่วงค่า BOD ของน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์



**ภาพที่ 14** กราฟแสดงช่วงค่า COD ของน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์



**ภาพที่ 15** กราฟแสดงช่วงค่า BOD ของน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์



**ภาพที่ 16** กราฟแสดงช่วงค่า COD ของน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

จากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง ระหว่างวันที่ 12 - 28 เมษายน 2549 และตัวอย่างน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย ระหว่างวันที่ 17 มีนาคม 2549 ถึง 28 เมษายน 2549 และตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ ระหว่างวันที่ 14 - 28 เมษายน 2549 และตัวอย่างน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย ระหว่างวันที่ 11 มีนาคม 2549 ถึง 28 เมษายน 2549 เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่า BOD<sub>5</sub>, COD และ TOC แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 18 ประสิทธิภาพการกำจัดค่า BOD<sub>5</sub>, COD และ TOC แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 19 และค่าอัตราส่วน BOD<sub>5</sub>, COD และ TOC แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 20 รายละเอียดผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้ง แสดงดังภาคผนวก ข

**ตารางที่ 18** ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้ง

| ค่าทางสถิติ                           | น้ำเสีย                       |                               |                 | น้ำทิ้ง                       |                               |                 |
|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|
|                                       | BOD<br>(mg O <sub>2</sub> /l) | COD<br>(mg O <sub>2</sub> /l) | TOC<br>(mg C/l) | BOD<br>(mg O <sub>2</sub> /l) | COD<br>(mg O <sub>2</sub> /l) | TOC<br>(mg C/l) |
| <b>โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง</b>       |                               |                               |                 |                               |                               |                 |
| ค่าต่ำสุด                             | 55.90                         | 122.85                        | 35.53           | 3.90                          | 70.44                         | 1.99            |
| ค่าสูงสุด                             | 95.60                         | 234.65                        | 60.55           | 7.70                          | 148.20                        | 4.84            |
| ค่าเฉลี่ย                             | 76.14                         | 170.20                        | 47.99           | 5.62                          | 101.78                        | 3.33            |
| ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน                  | 13.75                         | 34.42                         | 8.80            | 0.87                          | 17.63                         | 0.64            |
| จำนวนตัวอย่าง                         | 17                            | 17                            | 17              | 39                            | 39                            | 39              |
| <b>โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์</b> |                               |                               |                 |                               |                               |                 |
| ค่าต่ำสุด                             | 70.60                         | 155.60                        | 45.36           | 2.30                          | 45.52                         | 1.50            |
| ค่าสูงสุด                             | 108.50                        | 200.45                        | 70.24           | 5.90                          | 122.68                        | 4.74            |
| ค่าเฉลี่ย                             | 85.26                         | 178.56                        | 55.42           | 4.39                          | 86.86                         | 3.27            |
| ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน                  | 12.43                         | 14.68                         | 7.86            | 0.86                          | 17.24                         | 0.71            |
| จำนวนตัวอย่าง                         | 12                            | 12                            | 12              | 31                            | 31                            | 31              |

**หมายเหตุ**    น้ำเสีย    คือ    น้ำก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย  
                   น้ำทิ้ง    คือ    น้ำหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย

**ตารางที่ 19** ประสิทธิภาพการกำจัดค่า BOD<sub>5</sub>, COD และ TOC

| รายการ                                | ประสิทธิภาพ (%) |        |        |
|---------------------------------------|-----------------|--------|--------|
|                                       | ต่ำสุด          | สูงสุด | เฉลี่ย |
| <b>โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง</b>       |                 |        |        |
| BOD <sub>5</sub>                      | 91.28           | 95.05  | 92.83  |
| COD                                   | 22.97           | 67.39  | 42.54  |
| TOC                                   | 91.30           | 95.68  | 93.42  |
| <b>โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์</b> |                 |        |        |
| BOD <sub>5</sub>                      | 93.42           | 96.46  | 94.98  |
| COD                                   | 34.98           | 59.66  | 51.88  |
| TOC                                   | 92.76           | 96.00  | 94.32  |

**ตารางที่ 20** ค่าอัตราส่วน BOD<sub>5</sub>, COD และ TOC

| ค่าอัตราส่วน                          | น้ำเสีย                         | น้ำทิ้ง                         |
|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                                       | ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด (ค่าเฉลี่ย) | ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด (ค่าเฉลี่ย) |
| <b>โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง</b>       |                                 |                                 |
| BOD <sub>5</sub> /COD Ratio           | 0.380-0.503 (0.450)             | 0.046-0.064 (0.055)             |
| BOD <sub>5</sub> /TOC Ratio           | 1.544-1.771 (1.589)             | 1.512-1.960 (1.699)             |
| COD/TOC Ratio                         | 3.249-4.155 (3.546)             | 27.197-39.424 (30.726)          |
| <b>โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์</b> |                                 |                                 |
| BOD <sub>5</sub> /COD Ratio           | 0.422-0.555 (0.476)             | 0.040-0.059 (0.051)             |
| BOD <sub>5</sub> /TOC Ratio           | 1.490-1.663 (1.539)             | 1.214-1.538 (1.353)             |
| COD/TOC Ratio                         | 2.699-3.687 (3.249)             | 23.399-33.575 (26.770)          |

**หมายเหตุ**    น้ำเสีย    คือ    น้ำก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย  
                   น้ำทิ้ง    คือ    น้ำหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย

## ค่า BOD<sub>5</sub>

ค่า BOD ของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงและโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 76.14 และ 85.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 18) ซึ่งน้ำเสียของทั้งสองโรงควบคุมคุณภาพน้ำมีค่า BOD ไม่ต่างกันมากนัก เนื่องจากน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของทั้งสองโรงควบคุมคุณภาพน้ำ เป็นน้ำเสียชุมชนจากกิจกรรมเพื่อการพาณิชย์กรรมและที่พักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานครเหมือนกัน แต่แตกต่างกันเพียงขนาดของชุมชนเท่านั้น ดังนั้นคุณลักษณะน้ำเสียจึงมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียชนิดใช้ออกซิเจนสามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวเคมีเช่นเดียวกันและนอกจากนั้นยังมีส่วนประกอบของปริมาณสารอินทรีย์ใกล้เคียงกัน เมื่อนำค่า BOD ของน้ำเสียที่ผ่านมาของโรงควบคุมคุณภาพทั้งสองแห่ง เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย BOD จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียการวิจัยในครั้งนี้ พบว่า ค่าเฉลี่ย BOD ของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงอยู่ในช่วงของค่า BOD ที่ผ่านมาในช่วงเวลาเดียวกัน (เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ผ่านมาเดือนมีนาคม ภาพที่ 9) แต่ค่าเฉลี่ย BOD ของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์มีค่าต่ำกว่าช่วงของค่า BOD ที่ผ่านมาในช่วงเวลาเดียว (เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ผ่านมาเดือนมีนาคม ภาพที่ 13) อาจเนื่องมาจากช่วงเวลาการทำการวิจัยมีฝนตกหนักจากอิทธิพลของมรสุม ประกอบกับที่ตั้งของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์อยู่ติดใกล้กับแม่น้ำเจ้าพระยา ดังนั้นน้ำเสียในท่อระบายก่อนเข้าสู่โรงควบคุมคุณภาพน้ำอาจได้รับการเจือจางจากหนุนของน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาเข้าสู่ท่อระบายน้ำ

ค่า BOD ของน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงและโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.62 และ 4.39 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 18) ซึ่งน้ำทิ้งของทั้งสองโรงควบคุมคุณภาพน้ำมีค่า BOD ไม่ต่างกันมากนัก เนื่องจากน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้งสองแห่งมีค่าใกล้เคียงกัน และระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้งสองแห่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียชนิดตะกอนเร่งเช่นเดียวกัน ประสิทธิภาพในการบำบัดค่า BOD ของระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงและโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 92.83 และ 94.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 19) ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดค่า BOD ของทั้งสองโรงควบคุมคุณภาพแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นจึงทำให้ค่า BOD ของน้ำทิ้งทั้งสองโรงควบคุมคุณภาพ มีค่าไม่แตกต่างกัน เมื่อนำค่า BOD ของน้ำทิ้งที่ผ่านมาของโรงควบคุมคุณภาพทั้งสองแห่ง เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย

BOD จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้งการวิจัยในครั้งนี้ พบว่า ค่าเฉลี่ย BOD ของน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงอยู่ในช่วงของค่า BOD ที่ผ่านมาในช่วงเวลาเดียวกัน (เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ผ่านมาเดือนมีนาคม ภาพที่ 11) แต่ค่าเฉลี่ย BOD ของน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์มีค่าต่ำกว่าช่วงของค่า BOD ที่ผ่านมาในช่วงเวลาเดียวกัน (เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ผ่านมาเดือนมีนาคม ภาพที่ 15) อาจเนื่องมาจากช่วงเวลาการทำวิจัยมีฝนตกหนักจากอิทธิพลของมรสุม ประกอบกับที่ตั้งของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์อยู่ติดใกล้กับแม่น้ำเจ้าพระยา ดังนั้นน้ำทิ้งในท่อระบายน้ำทิ้งของโรงควบคุมคุณภาพน้ำอาจได้รับการเจือจางจากหนุนของน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาเข้าสู่ท่อระบายน้ำทิ้ง

### ค่า COD

ค่า COD ของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงและโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 170.20 และ 178.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 18) ซึ่งน้ำเสียของทั้งสองโรงควบคุมคุณภาพน้ำมีค่า COD ไม่ต่างกันมากนัก เนื่องจากน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของทั้งสองโรงควบคุมคุณภาพน้ำ เป็นน้ำเสียชุมชนจากกิจกรรมเพื่อการพาณิชย์กรรมและที่พักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานครเหมือนกัน แต่แตกต่างกันเพียงขนาดของชุมชนเท่านั้น ดังนั้นคุณลักษณะน้ำเสียจึงมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียชนิดใช้ออกซิเจนไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวเคมี เช่นเดียวกัน เมื่อนำค่า COD ของน้ำเสียที่ผ่านมาของโรงควบคุมคุณภาพทั้งสองแห่ง เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย COD จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียการวิจัยในครั้งนี้ พบว่า ค่าเฉลี่ย COD ของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงมีค่ามากกว่าในช่วงของค่า COD ที่ผ่านมาในช่วงเวลาเดียวกัน (เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ผ่านมาเดือนมีนาคม ภาพที่ 10) และค่าเฉลี่ย COD ของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์มีค่ามากอยู่ในช่วงสูงของค่า COD ที่ผ่านมาในช่วงเวลาเดียวกัน (เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ผ่านมาเดือนมีนาคม ภาพที่ 14) เนื่องจากการวิเคราะห์ค่า COD สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธี Close Flux แต่สำหรับการวิเคราะห์ค่า COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้งสองแห่งใช้วิธี Open Flux ดังนั้นจึงทำให้ค่า COD จากงานวิจัยมากกว่าข้อมูลค่า COD ในช่วงเวลาเดียวกัน

ค่า COD ของน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงและโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 101.78 และ 86.86 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 18) ซึ่งน้ำทิ้งของทั้งสองโรงควบคุมคุณภาพน้ำมีค่า COD ที่ต่างกันไม่มาก เนื่องจากน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้งสองแห่งมีค่าใกล้เคียงกัน และระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้งสองแห่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียชนิดตะกอนเร่งเช่นเดียวกัน

ประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD ของระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงและโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 42.54 และ 51.88 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 19) ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD ของทั้งสองโรงควบคุมคุณภาพ แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นจึงทำให้ค่า COD ของน้ำทิ้งทั้งสองโรงควบคุมคุณภาพ มีค่าไม่แตกต่างกัน เมื่อนำค่า COD ของน้ำทิ้งที่ผ่านมาของโรงควบคุมคุณภาพทั้งสองแห่ง เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย COD จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้งการวิจัยในครั้งนี้ พบว่า ค่าเฉลี่ย COD ของน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงมีค่ามากกว่าในช่วงของค่า COD ที่ผ่านมาในช่วงเวลาเดียวกัน (เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ผ่านมาเดือนมีนาคม ภาพที่ 12) และค่าเฉลี่ย COD ของน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์มีค่าสูงกว่าช่วงของค่า COD ที่ผ่านมาในช่วงเวลาเดียว (เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ผ่านมาเดือนมีนาคม ภาพที่ 16) เนื่องจากการวิเคราะห์ค่า COD สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธี Close Flux แต่สำหรับการวิเคราะห์ค่า COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้งสองแห่งใช้วิธี Open Flux ดังนั้นจึงทำให้ค่า COD จากงานวิจัยมากกว่าข้อมูลค่า COD ในช่วงเวลาเดียวกัน ประกอบกับคาดว่าปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำทิ้งของช่วงเวลาการวิจัยมีปริมาณมาก เนื่องมาจากทั้งสองโรงควบคุมคุณภาพน้ำในช่วงการวิจัยมีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนต่ำ และเนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียของทั้งสองโรงควบคุมคุณภาพน้ำมีระบบกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนซึ่งเป็นปฏิกิริยาไม่ใช้ออกซิเจน (De-nitrification) จากกระบวนการดังกล่าวจะก่อให้เกิดก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) จากเหตุผลทั้งสามประการที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจึงทำให้ค่าเฉลี่ย COD จากการวิจัยในครั้งนี้มีค่าสูงมากกว่าค่า COD ที่ผ่านมาในช่วงเวลาเดียวอย่างมาก

## ค่า TOC

ค่า TOC ของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงและโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 47.99 และ 55.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 18) ซึ่งน้ำเสียของทั้งสองโรงควบคุมคุณภาพน้ำมีค่า TOC ไม่ต่างกันมากนัก เนื่องจากน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของทั้งสองโรงควบคุมคุณภาพน้ำ เป็นน้ำเสียชุมชนจากกิจกรรมเพื่อการพาณิชย์กรรมและที่พักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานครเหมือนกัน แต่แตกต่างกันเพียงขนาดของชุมชนเท่านั้น ดังนั้นคุณลักษณะน้ำเสียจึงมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์คาร์บอนเช่นเดียวกัน

ค่า TOC ของน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงและโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.33 และ 3.27 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 18) ซึ่งน้ำทิ้งของทั้งสองโรงควบคุมคุณภาพน้ำมีค่า TOC ไม่ต่างกันมากนัก เนื่องจากน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้งสองแห่งมีค่าใกล้เคียงกัน และระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้งสองแห่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียชนิดตะกอนเร่งเช่นเดียวกัน ประสิทธิภาพในการบำบัดค่า TOC ของระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงและโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 93.42 และ 94.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 19) ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดค่า TOC ของทั้งสองโรงควบคุมคุณภาพน้ำ แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นจึงทำให้ค่า TOC ของน้ำทิ้งทั้งสองโรงควบคุมคุณภาพน้ำ มีค่าไม่แตกต่างกัน

ค่า TOC ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ควรมีค่ามากกว่าค่าที่รายงานในผลการวิจัย เนื่องมาจากการวิจัยในครั้งนี้ การเตรียมน้ำตัวอย่างจำเป็นต้องกรองของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) ออกจากน้ำตัวอย่างก่อนการนำเข้าวิเคราะห์ในเครื่อง TOC Analyzer ดังนั้นค่า TOC ที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้เป็นเพียงปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนจากของแข็งละลายน้ำ (Dissolve Solids) และของแข็งแขวนลอยบางส่วนเท่านั้น

## ความสัมพันธ์ของค่า $BOD_5$ / COD

จากการวิจัยในครั้งนี้ มีค่าอัตราส่วน  $BOD_5$ /COD ของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงและโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.450 และ 0.476 ตามลำดับ (ตารางที่ 20) สำหรับการวิจัยในครั้งนี้มีค่าอัตราส่วน  $BOD_5$ /COD สอดคล้องและ

ใกล้เคียงกับการวิจัยในอดีตที่ผ่านมา โดยอ้างอิงงานวิจัยของ Blackmore และ Voshel ศึกษาอัตราส่วนค่า  $BOD_5/COD$  ของน้ำเสียชุมชน มีค่าประมาณ 0.32 - 0.36 วัฒนา และ อุทัย (2541) ศึกษาอัตราส่วน  $BOD_5/COD$  ของน้ำเสียจากหมู่บ้านจัดสรรในเขตกรุงเทพมหานคร เท่ากับ 0.42 และ เกรียงศักดิ์ (2539) กล่าวว่าอัตราส่วน  $BOD_5 / TOC$  ในน้ำเสียจากบ้านเรือนทั่วไป อยู่ในช่วงระหว่าง 0.40 ถึง 0.80

จากการวิจัยในครั้งนี้ มีค่าอัตราส่วน  $BOD_5/COD$  ของน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงและโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.055 และ 0.051 ตามลำดับ (ตารางที่ 20) การทดลองในครั้งนี้มีค่าอัตราส่วน  $BOD_5/COD$  อยู่ในช่วงที่แตกต่างกับการวิจัยในอดีตที่ผ่านมา เนื่องจากตัวอย่างน้ำทิ้งที่ใช้สำหรับการวิจัยในอดีตที่ผ่านมาเป็นน้ำทิ้งจากชุมชนที่ไม่ผ่านการบำบัดหรือผ่านการบำบัดแต่ประสิทธิภาพการบำบัดไม่สูงมากนัก จึงทำให้น้ำทิ้งมีค่า  $BOD_5$  สูง แต่สำหรับการวิจัยในครั้งนี้มีค่าอัตราส่วน  $BOD_5/COD$  ต่ำ เนื่องมาจากระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพชนิดตะกอนเร่ง (Activated Sludge Process) มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีประมาณ 90-95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 19) แต่มีประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 19) ทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีค่า  $COD$  สูงแต่มีค่า  $BOD_5$  ต่ำ กล่าวคือ น้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดมีปริมาณสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ในปริมาณมากนั่นเอง ดังนั้นจึงทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียชนิดตะกอนเร่งมีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า  $BOD_5$  ต่อหนึ่งหน่วยการเปลี่ยนแปลง  $COD$  ต่ำ

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าอัตราส่วนน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียและน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียของทั้งสองโรงควบคุมคุณภาพน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน แต่สำหรับค่าอัตราส่วนน้ำเสียและน้ำทิ้งจะมีค่าที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง กล่าวคือ อัตราส่วนค่า  $BOD_5/COD$  ในน้ำทิ้งจะน้อยกว่าประมาณ 10 เท่าของอัตราส่วน  $BOD_5/COD$  ในน้ำเสียเนื่องจากค่าอัตราส่วนค่า  $BOD_5/COD$  ในน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการลดค่า  $BOD_5$  และ  $COD$  เป็นประการสำคัญ

### ความสัมพันธ์ของค่า $BOD_5 / TOC$

จากการวิจัยในครั้งนี้ พบว่า มีค่าอัตราส่วน  $BOD_5 / TOC$  ของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงและโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.589 และ 1.539 ตามลำดับ (ตารางที่ 20) การวิจัยในครั้งนี้มีค่าอัตราส่วน  $BOD_5 / TOC$  สอดคล้องกับการวิจัยในอดีตที่ผ่านมา โดยอ้างอิงงานวิจัยของ Eckenfelder (1970) ศึกษาอัตราส่วน  $BOD_5 / TOC$  ในน้ำทิ้งชุมชน มีค่าอยู่ในช่วง 1.32 – 2.62 Blackmore และ Voshel ศึกษาอัตราส่วนค่า  $BOD_5 / TOC$  ของน้ำเสียชุมชน มีค่าประมาณ 1.31 – 1.62 และ เกรียงศักดิ์ (2539) กล่าวว่า อัตราส่วนค่า  $BOD_5 / TOC$  ในน้ำเสียจากบ้านเรือนทั่วไป อยู่ในช่วงระหว่าง 1.00 ถึง 1.60

จากการวิจัยในครั้งนี้ พบว่า มีค่าอัตราส่วน  $BOD_5 / TOC$  ของน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงและโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.699 และ 1.353 ตามลำดับ (ตารางที่ 20) การวิจัยในครั้งนี้มีค่าอัตราส่วน  $BOD_5 / TOC$  สอดคล้องกับการวิจัยในอดีตที่ผ่านมา เนื่องจากน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียชนิดตะกอนเร่งของโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดค่า  $BOD_5$  และ  $TOC$  อยู่ในวงใกล้เคียงกันประมาณ 90-95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 19) ดังนั้นจึงทำให้ค่า  $BOD_5$  และ  $TOC$  ลดลงในเปอร์เซ็นต์ที่ใกล้เคียงกันเช่นกัน ส่งผลทำให้ค่าอัตราส่วน  $BOD_5 / TOC$  ของน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย ไม่แตกต่างกับน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียมากนัก

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าอัตราส่วนน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย และน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย ของทั้งสองโรงควบคุมคุณภาพน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับค่าอัตราส่วนน้ำเสียและน้ำทิ้งมีค่าที่ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียชนิดตะกอนเร่งมีประสิทธิภาพในการลด  $BOD_5$  และ  $TOC$  ในเปอร์เซ็นต์ที่ไม่แตกต่างกันนั่นเอง จากการวิจัยในครั้งนี้จึงเสนอแนะให้ใช้ค่าอัตราส่วน  $BOD_5 / TOC$  ในการพยากรณ์ค่า  $BOD_5$  เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียชนิดตะกอนเร่งประสิทธิภาพของระบบจะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน  $BOD_5 / TOC$  แต่อย่างใด

### ความสัมพันธ์ของค่า COD / TOC

จากการวิจัยในครั้งนี้ มีค่าอัตราส่วน COD/TOC ของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงและโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.546 และ 3.249 ตามลำดับ (ตารางที่ 20) การวิจัยในครั้งนี้มีค่าอัตราส่วน COD/TOC สอดคล้องกับการวิจัยในอดีตที่ผ่านมา โดยอ้างอิงงานวิจัยของ Eckenfelder (1970) ศึกษาอัตราส่วน COD/TOC ของน้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์ประกอบมีค่าอยู่ในช่วง 1.75 – 6.65 Blackmore และ Voshel ศึกษาอัตราส่วนค่า COD/TOC ของน้ำเสียชุมชน มีค่าประมาณ 3.32 – 4.68

จากการวิจัยในครั้งนี้ มีค่าอัตราส่วน COD/TOC ของน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงและโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.055 และ 0.051 ตามลำดับ (ตารางที่ 20) การวิจัยในครั้งนี้มีค่าอัตราส่วน COD/TOC อยู่ในช่วงที่แตกต่างกับการวิจัยในอดีตที่ผ่านมา เนื่องจากตัวอย่างน้ำทิ้งที่ใช้ในการวิจัยเป็นน้ำทิ้งจากชุมชนที่ไม่ผ่านการบำบัดหรือผ่านการบำบัดแต่ประสิทธิภาพการบำบัดไม่สูงมากนัก จึงทำให้น้ำทิ้งมีค่า TOC สูง แต่สำหรับการทดลองในครั้งนี้มีค่าอัตราส่วน COD/TOC สูง เนื่องมาจากระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ชนิดตะกอนเร่ง (Activated Sludge Process) ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ 90-95 เปอร์เซ็นต์ แต่มีประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดี 40-50 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 19) ทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีค่า COD สูงแต่มีค่า TOC ต่ำ กล่าวคือ น้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดมีปริมาณสารอินทรีย์ในปริมาณมากนั่นเอง ดังนั้นจึงทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียชนิดตะกอนเร่งมีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า TOC ต่อหนึ่งหน่วย การเปลี่ยนแปลง COD สูง

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าอัตราส่วนน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของทั้งสองโรงควบคุมคุณภาพน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน และน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียของทั้งสองโรงควบคุมคุณภาพน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน แต่สำหรับค่าอัตราส่วนน้ำเสียและน้ำทิ้งจะมีค่าที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง กล่าวคือ อัตราส่วนค่า COD/TOC ในน้ำทิ้งจะน้อยกว่าประมาณ 10 เท่าของอัตราส่วน COD/TOC ในน้ำเสีย ดังนั้นค่าอัตราส่วนค่า COD/TOC ในน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดจึงสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการลดค่า COD และ TOC เป็นประการสำคัญ

### สมการความสัมพันธ์

จากข้อมูลผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าสู่โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง ระหว่างวันที่ 12 - 28 เมษายน 2549 และตัวอย่างน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย ระหว่างวันที่ 17 มีนาคม 2549 ถึง 28 เมษายน 2549 และตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ ระหว่างวันที่ 14 - 28 เมษายน 2549 และตัวอย่างน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย ระหว่างวันที่ 11 มีนาคม 2549 ถึง 28 เมษายน 2549 สามารถนำผลการวิเคราะห์ค่า  $BOD_5$ , COD และ TOC มาทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง เพื่อพยากรณ์ตัวแปรตามที่ต้องการทราบค่าแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 21 รายละเอียดการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติ แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ง และ จ

**ตารางที่ 21** ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรง

| สมการถดถอยเชิงเส้นตรง<br>(Sample linear regression equation) | สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์<br>(Correlation coefficient; r) | สัมประสิทธิ์การทำนาย<br>(Coefficient of determination; $r^2$ ) |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>โรงควบคุมคุณภาพดินแดง</b>                                 |                                                        |                                                                |
| <b>น้ำเสีย</b>                                               |                                                        |                                                                |
| $BOD_5 = 0.370 \text{ COD} + 13.179$                         | 0.926                                                  | 0.858                                                          |
| $BOD_5 = 1.527 \text{ TOC} + 2.851$                          | 0.977                                                  | 0.955                                                          |
| $COD = 3.634 \text{ TOC} - 4.191$                            | 0.929                                                  | 0.862                                                          |
| $BOD_5 = 0.055 \text{ COD} + 1.329 \text{ TOC} + 3.080$      | 0.978                                                  | 0.951                                                          |
| <b>น้ำทิ้ง</b>                                               |                                                        |                                                                |
| $BOD_5 = 0.045 \text{ COD} + 0.998$                          | 0.922                                                  | 0.850                                                          |
| $BOD_5 = 1.294 \text{ TOC} + 1.305$                          | 0.954                                                  | 0.911                                                          |
| $COD = 25.525 \text{ TOC} + 16.670$                          | 0.927                                                  | 0.859                                                          |
| $BOD_5 = 0.013 \text{ COD} + 0.958 \text{ TOC} + 1.086$      | 0.959                                                  | 0.921                                                          |

ตารางที่ 21 (ต่อ)

| สมการถดถอยเชิงเส้นตรง<br>(Sample linear regression equation) | สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์<br>(Correlation coefficient; r) | สัมประสิทธิ์การทำนาย<br>(Coefficient of determination; r <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| <b>โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์</b>                        |                                                        |                                                                         |
| <b>น้ำเสีย</b>                                               |                                                        |                                                                         |
| $BOD_5 = 0.758 \text{ COD} - 50.069$                         | 0.895                                                  | 0.801                                                                   |
| $BOD_5 = 1.532 \text{ TOC} + 0.347$                          | 0.969                                                  | 0.939                                                                   |
| $COD = 1.664 \text{ TOC} + 86.353$                           | 0.891                                                  | 0.794                                                                   |
| $BOD_5 = 0.013 \text{ COD} + 1.316 \text{ TOC} + 0.856$      | 0.971                                                  | 0.943                                                                   |
| <b>น้ำทิ้ง</b>                                               |                                                        |                                                                         |
| $BOD_5 = 0.047 \text{ COD} + 0.314$                          | 0.941                                                  | 0.885                                                                   |
| $BOD_5 = 1.153 \text{ TOC} + 0.621$                          | 0.953                                                  | 0.909                                                                   |
| $COD = 22.745 \text{ TOC} + 12.430$                          | 0.939                                                  | 0.882                                                                   |
| $BOD_5 = 0.019 \text{ COD} + 0.718 \text{ TOC} + 0.384$      | 0.962                                                  | 0.926                                                                   |

### ความสัมพันธ์ของค่า $BOD_5$ , COD และ TOC ในตัวอย่างน้ำเสีย

สรุปจากการวิเคราะห์ทางสถิติของสมการความสัมพันธ์ของค่า  $BOD_5$ , COD และ TOC ในตัวอย่างน้ำเสีย พบว่า การพยากรณ์ค่าตัวแปรตาม (ตัวแปรที่ต้องการทราบค่า) จากความสัมพันธ์สามารถพยากรณ์ตัวแปรตามในช่วงของข้อมูลคุณภาพน้ำเสียในการวิจัยนี้ได้แม่นยำที่สุดสำหรับน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง ได้แก่ ความสัมพันธ์ของสมการ  $BOD_5/TOC$  (95.50 เปอร์เซ็นต์) และความสัมพันธ์ของสมการ  $BOD_5/COD/TOC$  (95.10 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ และสามารถพยากรณ์ตัวแปรตามได้แม่นยำที่สุดสำหรับน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ ได้แก่ ความสัมพันธ์ของสมการ  $BOD_5/COD/TOC$  (94.30 เปอร์เซ็นต์) และความสัมพันธ์ของสมการ  $BOD_5/TOC$  (93.90 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ แต่ถึงอย่างไรก็ตามการพยากรณ์ตัวแปรตามควรต้องรวดเร็ว ประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย ดังนั้นสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานเพื่อความแม่นยำผู้วิจัยแนะนำให้ใช้สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง  $BOD_5/TOC$  ในการพยากรณ์ค่า  $BOD_5$

แต่ถึงอย่างไรก็ตามการแทนค่าตัวแปรอิสระ ในสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง เพื่อพยากรณ์ค่าตัวแปรตาม ไม่สามารถอธิบายลักษณะของความสัมพันธ์ตามทฤษฎีระหว่างค่าตัวแปรอิสระและตัวแปรตามได้ เนื่องจากสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเป็นสมการทางคณิตศาสตร์มีค่าคงที่ จะสามารถอธิบายตามทฤษฎีได้ก็ต่อเมื่ออยู่ในช่วงของข้อมูลในการวิจัยนี้เท่านั้น การพยากรณ์นอกเหนือจากช่วงของข้อมูลในการวิจัยนี้ ควรเก็บข้อมูลเพื่อหาสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในช่วงของข้อมูลนั้น ๆ เพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าตัวแปรตามต่อไป

### สมการความสัมพันธ์ของค่า BOD<sub>5</sub>/COD

จากการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่า BOD/COD ของตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง ( $BOD_5 = 0.370 \text{ COD} + 13.179$ ) และโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ ( $BOD_5 = 0.758 \text{ COD} - 50.069$ ) มีค่าความชัน (Slope) ที่แตกต่างกัน คือ 0.370 และ 0.758 ตามลำดับ (ตารางที่ 21) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่า BOD และ COD มีความสัมพันธ์กันในทางบวก คือ BOD เพิ่มขึ้น COD จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกันในทิศทางเดียวกัน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงและโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ 0.926 เท่ากับ 0.895 ตามลำดับ (ตารางที่ 19) สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงนี้มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (P-value = 0.05) จากความสัมพันธ์สามารถพยากรณ์ค่า BOD ในช่วงของข้อมูลคุณภาพน้ำเสียในการทดลองนี้ ได้แม่นยำ 85.80 เปอร์เซนต์ และ 80.10 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ

### สมการความสัมพันธ์ของค่า BOD<sub>5</sub>/TOC

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD<sub>5</sub>/TOC ของตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง ( $BOD_5 = 1.527 \text{ TOC} + 2.851$ ) และโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ ( $BOD_5 = 1.532 \text{ TOC} + 0.347$ ) มีค่าความชัน (Slope) ใกล้เคียงกัน คือ 1.527 และ 1.532 ตามลำดับ (ตารางที่ 21) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่า BOD และ TOC มีความสัมพันธ์กันในทางบวก คือ BOD เพิ่มขึ้น TOC จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกันในทิศทางเดียวกัน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงและโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ 0.977 เท่ากับ 0.969 ตามลำดับ (ตารางที่ 19) สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงนี้มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (P-value = 0.05) จากความสัมพันธ์สามารถพยากรณ์ค่า BOD ในช่วงของข้อมูลคุณภาพน้ำเสียในการวิจัยนี้ ได้แม่นยำ 95.50 เปอร์เซนต์ และ 93.90 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ

### สมการความสัมพันธ์ของค่า COD/TOC

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD/TOC ของตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง ( $COD = 3.634 TOC - 4.191$ ) และโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ ( $COD = 1.664 TOC + 86.353$ ) มีค่าความชัน (Slope) ต่างกัน คือ 3.634 และ 1.664 ตามลำดับ (ตารางที่ 21) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่า COD และ TOC มีความสัมพันธ์กันในทางบวก คือ COD เพิ่มขึ้น TOC จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกันในทิศทางเดียวกัน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) ของน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงและโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ 0.929 เท่ากับ 0.891 ตามลำดับ (ตารางที่ 19) สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงนี้มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ( $P\text{-value} = 0.05$ ) จากความสัมพันธ์สามารถพยากรณ์ค่า COD ในช่วงของข้อมูลคุณภาพน้ำเสียในการวิจัยนี้ได้แม่นยำ 86.20 เปอร์เซนต์ และ 79.40 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ

### สมการความสัมพันธ์ของค่า $BOD_5$ /COD /TOC

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $BOD_5$ /COD /TOC ของตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง ( $BOD_5 = 0.055 COD + 1.329 TOC + 3.080$ ) และโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ ( $BOD_5 = 0.013 COD + 1.316 TOC + 0.856$ ) (ตารางที่ 21) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่า  $BOD_5$ /COD /TOC มีความสัมพันธ์กันในทางบวก คือ  $BOD_5$  เพิ่มขึ้น COD /TOC จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกันในทิศทางเดียวกัน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) ของน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงและโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ 0.978 เท่ากับ 0.971 ตามลำดับ (ตารางที่ 19) สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงนี้มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ( $P\text{-value} = 0.05$ ) จากความสัมพันธ์สามารถพยากรณ์ค่า COD ในช่วงของข้อมูลคุณภาพน้ำเสียในการวิจัยนี้ได้แม่นยำ 95.10 เปอร์เซนต์ และ 94.30 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ

### ความสัมพันธ์ของค่า $BOD_5$ , COD และ TOC ในตัวอย่างน้ำทิ้ง

สรุปจากการวิเคราะห์ทางสถิติของสมการความสัมพันธ์ของค่า  $BOD_5$ , COD และ TOC ในตัวอย่างน้ำทิ้ง พบว่า การพยากรณ์ค่าตัวแปรตาม (ตัวแปรที่ต้องการทราบค่า) จากความสัมพันธ์สามารถพยากรณ์ตัวแปรตามในช่วงของข้อมูลคุณภาพน้ำทิ้งในการวิจัยนี้ได้แม่นยำที่สุดสำหรับน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง ได้แก่ ความสัมพันธ์ของสมการ  $BOD_5$ /COD/TOC (92.10

เปอร์เซ็นต์) และความสัมพันธ์ของสมการ  $BOD_5/TOC$  (91.10 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ และสามารถพยากรณ์ตัวแปรตามได้แม่นยำที่สุดสำหรับน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ ได้แก่ ความสัมพันธ์ของสมการ  $BOD_5/COD/TOC$  (92.60 เปอร์เซ็นต์) และความสัมพันธ์ของสมการ  $BOD_5/TOC$  (90.90 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามการพยากรณ์ตัวแปรตามควรต้องรวดเร็ว ประหยัดทั้งเวลา และค่าใช้จ่าย ดังนั้นสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานเพื่อความแม่นยำ ผู้วิจัยแนะนำให้ใช้สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง  $BOD_5/TOC$  ในการพยากรณ์ค่า  $BOD_5$

แต่ถึงอย่างไรก็ตามการแทนค่าตัวแปรอิสระ ในสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง เพื่อพยากรณ์ค่าตัวแปรตาม ไม่สามารถอธิบายลักษณะของความสัมพันธ์ตามทฤษฎีระหว่างค่าตัวแปรอิสระและตัวแปรตามได้ เนื่องจากสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเป็นสมการทางคณิตศาสตร์มีค่าคงที่ จะสามารถอธิบายตามทฤษฎีได้ก็ต่อเมื่ออยู่ในช่วงของข้อมูลในการวิจัยนี้ เท่านั้น การพยากรณ์นอกเหนือจากช่วงของข้อมูลในการวิจัยนี้ ควรเก็บข้อมูลเพื่อหาสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในช่วงของข้อมูลนั้น ๆ เพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าตัวแปรตามต่อไป

### สมการความสัมพันธ์ของค่า $BOD_5/COD$

จากการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่า  $BOD/COD$  ของตัวอย่างน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง ( $BOD_5 = 0.045 COD + 0.998$ ) และโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ ( $BOD_5 = 0.047 COD + 0.314$ ) มีค่าความชัน (Slope) ที่แตกต่างกัน คือ 0.045 และ 0.047 ตามลำดับ (ตารางที่ 21) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่า  $BOD$  และ  $COD$  มีความสัมพันธ์กันในทางบวก คือ  $BOD$  เพิ่มขึ้น  $COD$  จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกันในทิศทางเดียวกัน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) ของน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงและโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ 0.922 เท่ากับ 0.941 ตามลำดับ (ตารางที่ 19) สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงนี้มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $P\text{-value} = 0.05$ ) จากความสัมพันธ์สามารถพยากรณ์ค่า  $BOD$  ในช่วงของข้อมูลคุณภาพน้ำทิ้งในการวิจัยนี้ได้แม่นยำ 85.00 เปอร์เซ็นต์ และ 88.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

### สมการความสัมพันธ์ของค่า BOD<sub>5</sub>/TOC

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD<sub>5</sub>/TOC ของตัวอย่างน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง ( $BOD_5 = 1.294 TOC + 1.305$ ) และโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ ( $BOD_5 = 1.153 TOC + 0.621$ ) มีค่าความชัน (Slope) ใกล้เคียงกัน คือ 1.294 และ 1.153 ตามลำดับ (ตารางที่ 21) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่า BOD และ TOC มีความสัมพันธ์กันในทางบวก คือ BOD เพิ่มขึ้น TOC จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกันในทิศทางเดียวกัน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงและโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ 0.954 เท่ากับ 0.953 ตามลำดับ (ตารางที่ 19) สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงนี้มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P-value = 0.05) จากความสัมพันธ์สามารถพยากรณ์ค่า BOD ในช่วงของข้อมูลคุณภาพน้ำเสียในการทดลองนี้ได้ถูกต้อง 91.10 เปอร์เซ็นต์ และ 90.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

### สมการความสัมพันธ์ของค่า COD/TOC

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD/TOC ของตัวอย่างน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง ( $COD = 25.525 TOC + 16.670$ ) และโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ ( $COD = 22.745 TOC + 12.430$ ) มีค่าความชัน (Slope) ต่างกัน คือ 25.525 และ 22.745 ตามลำดับ (ตารางที่ 21) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่า COD และ TOC มีความสัมพันธ์กันในทางบวก คือ COD เพิ่มขึ้น TOC จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกันในทิศทางเดียวกัน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงและโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ 0.927 เท่ากับ 0.939 ตามลำดับ (ตารางที่ 19) สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงนี้มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P-value = 0.05) จากความสัมพันธ์สามารถพยากรณ์ค่า COD ในช่วงของข้อมูลคุณภาพน้ำเสียในการทดลองนี้ได้ถูกต้อง 85.90 เปอร์เซ็นต์ และ 88.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

### สมการความสัมพันธ์ของค่า BOD<sub>5</sub>/COD /TOC

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD<sub>5</sub>/COD /TOC ของตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง (BOD<sub>5</sub> = 0.013 COD + 0.958TOC + 1.086) และโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ (BOD<sub>5</sub> = 0.019 COD + 0.718 TOC + 0.384) (ตารางที่ 21) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่า BOD<sub>5</sub>/COD /TOC มีความสัมพันธ์กันในทางบวก คือ BOD<sub>5</sub> เพิ่มขึ้น COD และ TOC จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกันในทิศทางเดียวกัน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงและโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ 0.959 เท่ากับ 0.962 ตามลำดับ (ตารางที่ 19) สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงนี้มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (P-value = 0.05) จากความสัมพันธ์สามารถพยากรณ์ค่า COD ในช่วงของข้อมูลคุณภาพน้ำเสียในการวิจัยนี้ได้ถูกต้อง 92.10 เปอร์เซนต์ และ 92.60 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ

### ทวนสอบความสัมพันธ์

#### อัตราส่วน

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้จะทดสอบการใช้ได้ของความสัมพันธ์ในรูปแบบของอัตราส่วน BOD<sub>5</sub>/COD เนื่องจากการวิจัยในครั้งนี้มีข้อจำกัดในด้านของระยะเวลาการทำวิจัย ดังนั้นจึงขอใช้ข้อมูลในอดีตที่ผ่านมาเฉพาะเท่าที่มีอยู่ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของค่า BOD<sub>5</sub> และ COD ของน้ำเสียและน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงเฉพาะเดือนมีนาคม 2549 และโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ระหว่างเดือนมกราคม – ธันวาคม 2547 เพื่อทดสอบการใช้ได้ของความสัมพันธ์ที่ได้จากชุดข้อมูลในการวิจัยในครั้งนี้ สรุปการทวนสอบความสัมพันธ์ในรูปแบบของอัตราส่วนแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 22 รายละเอียดการทวนสอบ แสดงดังภาคผนวก จ กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่า BOD<sub>5</sub> จากข้อมูลในอดีตและค่า BOD<sub>5</sub> จากการพยากรณ์ด้วยความสัมพันธ์ในรูปแบบของอัตราส่วน แสดงดังภาพที่ 17 – 20

จากการนำข้อมูลผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียและน้ำทิ้ง หลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียมาหาความสัมพันธ์ของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระในรูปแบบของ อัตราส่วน เพื่อใช้อัตราส่วนดังกล่าวในการพยากรณ์ค่าตัวแปรตาม (ตัวแปรที่ต้องการทราบค่า) ซึ่งจำเป็นต้องทวนสอบความใช้ได้ของความสัมพันธ์ สำหรับการประยุกต์ใช้งานจริง โดยคาดว่าจะ เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้ความสัมพันธ์ในรูปแบบของอัตราส่วนจากการวิจัย ในครั้งนี้ สำหรับนำไปประยุกต์ใช้

จากการทวนสอบความใช้ได้ของความสัมพันธ์ในรูปแบบของอัตราส่วน พบว่า สำหรับ น้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง การพยากรณ์ค่า  $BOD_5$  เหลือได้น้อยกว่าความเป็นจริง 0.07 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากค่าตัวแปรอิสระ หรือ ค่า COD ของข้อมูลในอดีตใกล้เคียงกับชุดข้อมูลจาก การวิจัยในครั้งนี้ แต่สำหรับน้ำทิ้ง การพยากรณ์ค่า  $BOD_5$  เหลือได้น้อยกว่าความเป็นจริง 163.64 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากค่าตัวแปรอิสระ หรือ ค่า COD ของข้อมูลในอดีตน้อยกว่ากับชุดข้อมูลจาก การวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างมาก ทำให้การพยากรณ์ค่า  $BOD_5$  ได้น้อยกว่าความเป็นจริง และสำหรับ น้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ การพยากรณ์ค่า  $BOD_5$  เหลือได้น้อยกว่าความเป็นจริง 39.68 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากค่าตัวแปรอิสระ หรือ ค่า COD ของข้อมูลในอดีตน้อยกว่าชุดข้อมูลจาก การวิจัยในครั้งนี้ จึงทำให้แต่สำหรับน้ำทิ้งให้การพยากรณ์ค่า  $BOD_5$  ได้น้อยกว่าความเป็นจริง การพยากรณ์ค่า  $BOD_5$  เหลือได้น้อยกว่าความเป็นจริง 850.71 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากค่าตัวแปรอิสระ หรือ ค่า COD ของข้อมูลในอดีตน้อยกว่าชุดข้อมูลจากการวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างมากทำให้การพยากรณ์ ค่า  $BOD_5$  ได้น้อยกว่าความเป็นจริง

**ตารางที่ 22** การทดสอบความสัมพันธ์ของอัตราส่วนในการพยากรณ์ค่า BOD

| Item                           | INFLUENT                 |             | EFFLUENT                 |             | Prediction (mg/l) |                    | % Error of Prediction |                    |
|--------------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|-------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
|                                | BOD <sub>5</sub><br>mg/l | COD<br>mg/l | BOD <sub>5</sub><br>mg/l | COD<br>mg/l | BOD <sub>In</sub> | BOD <sub>Eff</sub> | BOD <sub>In</sub>     | BOD <sub>Eff</sub> |
| โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง       |                          |             |                          |             |                   |                    |                       |                    |
| Min                            | 26.21                    | 60.32       | 3.17                     | 21.79       | 27.15             | 1.20               | -16.25                | -267.51            |
| Max                            | 38.40                    | 87.87       | 5.51                     | 36.74       | 39.54             | 2.02               | 5.38                  | -108.97            |
| Ave.                           | 33.79                    | 75.13       | 3.99                     | 27.80       | 33.81             | 1.53               | -0.07                 | -163.64            |
| SD                             | 5.00                     | 10.05       | 1.07                     | 5.82        | 4.52              | 0.32               | 9.09                  | 61.42              |
| โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ |                          |             |                          |             |                   |                    |                       |                    |
| Min                            | 80.50                    | 122.30      | 5.10                     | 17.50       | 58.21             | 0.89               | -60.29                | 1,371.84           |
| Max                            | 125.40                   | 174.90      | 15.95                    | 35.24       | 83.25             | 1.80               | -24.44                | -415.46            |
| Ave.                           | 98.00                    | 146.93      | 12.11                    | 26.32       | 69.94             | 1.34               | -39.68                | -850.71            |
| SD                             | 13.31                    | 16.52       | 3.32                     | 5.47        | 7.86              | 0.28               | 10.66                 | 282.11             |

**หมายเหตุ** โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

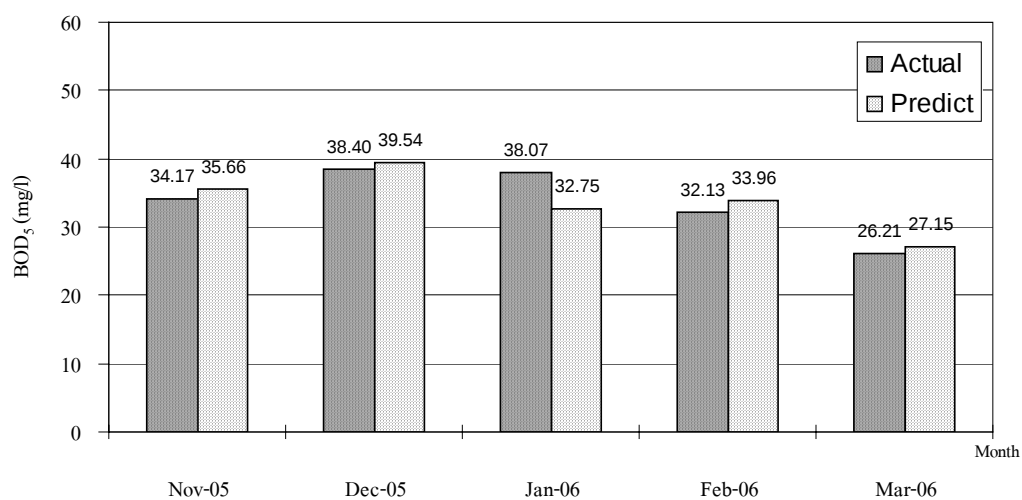
$$\text{BOD}_5 = 0.450 \times \text{COD (Influent)}$$

$$\text{BOD}_5 = 0.055 \times \text{COD (Effluent)}$$

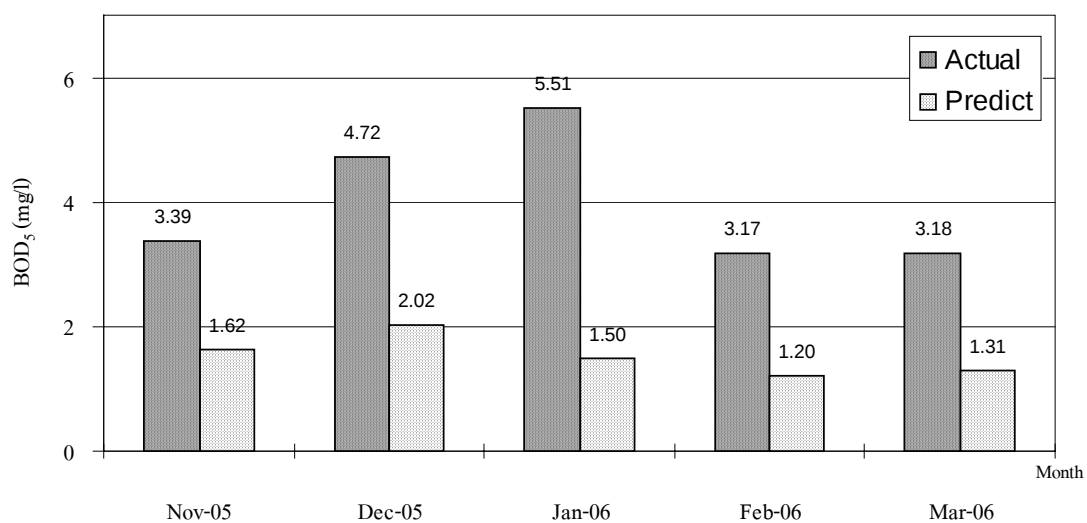
โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

$$\text{BOD}_5 = 0.476 \times \text{COD (Influent)}$$

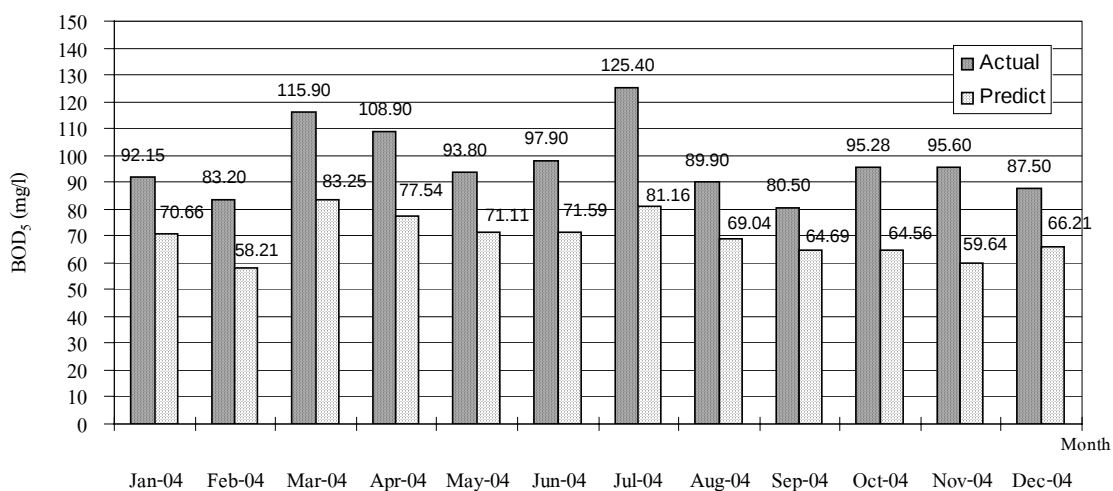
$$\text{BOD}_5 = 0.051 \times \text{COD (Effluent)}$$



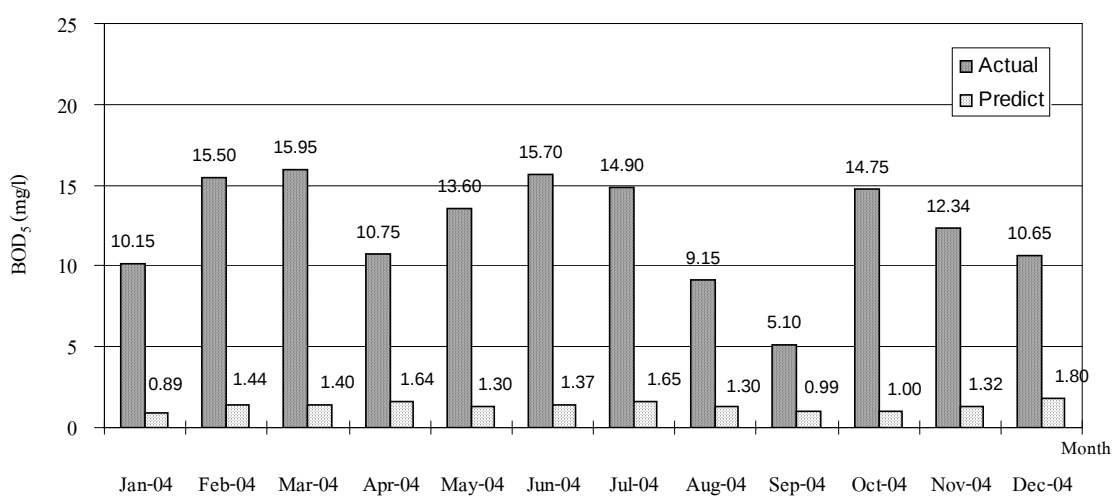
**ภาพที่ 17** กราฟแสดง BOD<sub>5</sub> ของน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง จากการวิเคราะห์และการพยากรณ์ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความสัมพันธ์



**ภาพที่ 18** กราฟแสดง BOD<sub>5</sub> ของน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง จากการวิเคราะห์และการพยากรณ์ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความสัมพันธ์



**ภาพที่ 19** กราฟแสดง BOD<sub>5</sub> ของน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ จากการวิเคราะห์การพยากรณ์ความสัมพัทธ์ของอัตราส่วนความสัมพัทธ์



**ภาพที่ 20** กราฟแสดง BOD<sub>5</sub> ของน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ จากการวิเคราะห์และการพยากรณ์ความสัมพัทธ์ของอัตราส่วนความสัมพัทธ์

### สมการความสัมพันธ์

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้จะทดสอบการใช้ได้ของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของ  $BOD_5/COD$  เนื่องจากการวิจัยในครั้งนี้มีข้อจำกัดในด้านของระยะเวลาการทำวิจัย ดังนั้นจึงขอใช้ข้อมูลในอดีตที่ผ่านมาเฉพาะเท่าที่มีอยู่ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของค่า  $BOD$  และ  $COD$  ของน้ำเสียและน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงเฉพาะเดือนมีนาคม 2549 และโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ระหว่างเดือนมกราคม – ธันวาคม 2547 เพื่อทดสอบการใช้ได้ของความสัมพันธ์ที่ได้จากชุดข้อมูลในการวิจัยในครั้งนี้ รายละเอียดสรุปการทวนสอบความสัมพันธ์ของสมการเชิงเส้นตรงแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 23 รายละเอียดกราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่า  $BOD_5$  จากข้อมูลในอดีตและค่า  $BOD_5$  จากการพยากรณ์ด้วยความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงแสดงดังภาพที่ 21 – 24

จากการนำข้อมูลผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียและน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย มาดำเนินการจัดรูปแบบการกระจายตัว เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ในรูปแบบเชิงเส้น และดำเนินการสร้างสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง เพื่อให้สมการดังกล่าวในการพยากรณ์ค่าตัวแปรตาม (ตัวแปรที่ต้องการทราบค่า) ซึ่งจำเป็นต้องทวนสอบการใช้ได้ของสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงสำหรับการประยุกต์ใช้งานจริง โดยคาดว่าจะจะเป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้สมการความสัมพันธ์จากการวิจัยในครั้งนี้ สำหรับผู้นำไปประยุกต์ใช้

จากการทวนสอบการใช้ได้ของความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง พบว่า สำหรับน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง การพยากรณ์ค่า  $BOD_5$  เฉลี่ยได้มากกว่าความเป็นจริง 17.73 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากค่าตัวแปรอิสระ หรือ ค่า  $COD$  ของข้อมูลในอดีตมากกว่ากับชุดข้อมูลจากการวิจัยในครั้งนี้ แต่สำหรับน้ำทิ้งการพยากรณ์ค่า  $BOD_5$  เฉลี่ยได้น้อยกว่าความเป็นจริง 77.12 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากค่าตัวแปรอิสระ หรือ ค่า  $COD$  ของข้อมูลในอดีตน้อยกว่ากับชุดข้อมูลจากการวิจัยในครั้งนี้ ทำให้การพยากรณ์ค่า  $BOD_5$  ได้น้อยกว่าความเป็นจริง และสำหรับน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ การพยากรณ์ค่า  $BOD_5$  เฉลี่ยได้น้อยกว่าความเป็นจริง 64.19 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากค่าตัวแปรอิสระ หรือ ค่า  $COD$  ของข้อมูลในอดีตน้อยกว่าชุดข้อมูลจากการวิจัยในครั้งนี้ จึงทำให้แต่สำหรับน้ำทิ้งให้การพยากรณ์ค่า  $BOD_5$  ได้น้อยกว่าความเป็นจริง การพยากรณ์ค่า  $BOD_5$  เฉลี่ยได้น้อยกว่าความเป็นจริง 706.87 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากค่าตัวแปรอิสระ หรือ ค่า  $COD$  ของข้อมูลในอดีตน้อยกว่าชุดข้อมูลจากการวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างมาก ทำให้การพยากรณ์ค่า  $BOD_5$  ได้น้อยกว่าความเป็นจริง

**ตารางที่ 23** การทดสอบความสัมพันธ์ของสมการความสัมพันธ์ในการพยากรณ์ค่า BOD

| Item                           | INFLUENT                 |             | EFFLUENT                 |             | Prediction (mg/l) |                    | % Error of Prediction |                    |
|--------------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|-------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
|                                | BOD <sub>5</sub><br>mg/l | COD<br>mg/l | BOD <sub>5</sub><br>mg/l | COD<br>mg/l | BOD <sub>In</sub> | BOD <sub>Eff</sub> | BOD <sub>In</sub>     | BOD <sub>Eff</sub> |
| โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง       |                          |             |                          |             |                   |                    |                       |                    |
| Min                            | 26.21                    | 60.32       | 3.17                     | 21.79       | 35.50             | 1.98               | 5.07                  | -147.67            |
| Max                            | 38.40                    | 87.87       | 5.51                     | 36.74       | 45.69             | 2.65               | 26.18                 | -45.73             |
| Ave.                           | 33.79                    | 75.13       | 3.99                     | 27.80       | 40.98             | 2.25               | 17.73                 | -77.12             |
| SD                             | 5.00                     | 10.05       | 1.07                     | 5.82        | 3.72              | 0.26               | 7.98                  | 41.21              |
| โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ |                          |             |                          |             |                   |                    |                       |                    |
| Min                            | 80.50                    | 122.30      | 5.10                     | 17.50       | 42.63             | 1.14               | -112.88               | 1,091.87           |
| Max                            | 125.40                   | 174.90      | 15.95                    | 35.24       | 82.51             | 1.97               | -40.48                | -316.05            |
| Ave.                           | 98.00                    | 146.93      | 12.11                    | 26.32       | 61.30             | 1.55               | -64.19                | -706.87            |
| SD                             | 13.31                    | 16.52       | 3.32                     | 5.47        | 12.52             | 0.26               | 22.21                 | 227.14             |

**หมายเหตุ** โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

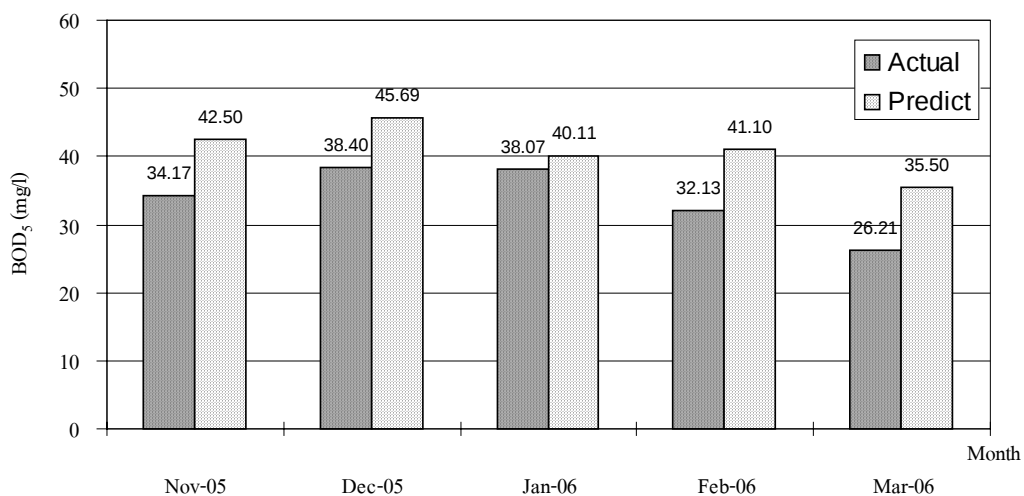
$$\text{BOD}_5 = 0.370 \times \text{COD} + 13.179 \text{ (Influent)}$$

$$\text{BOD}_5 = 0.045 \times \text{COD} + 0.998 \text{ (Effluent)}$$

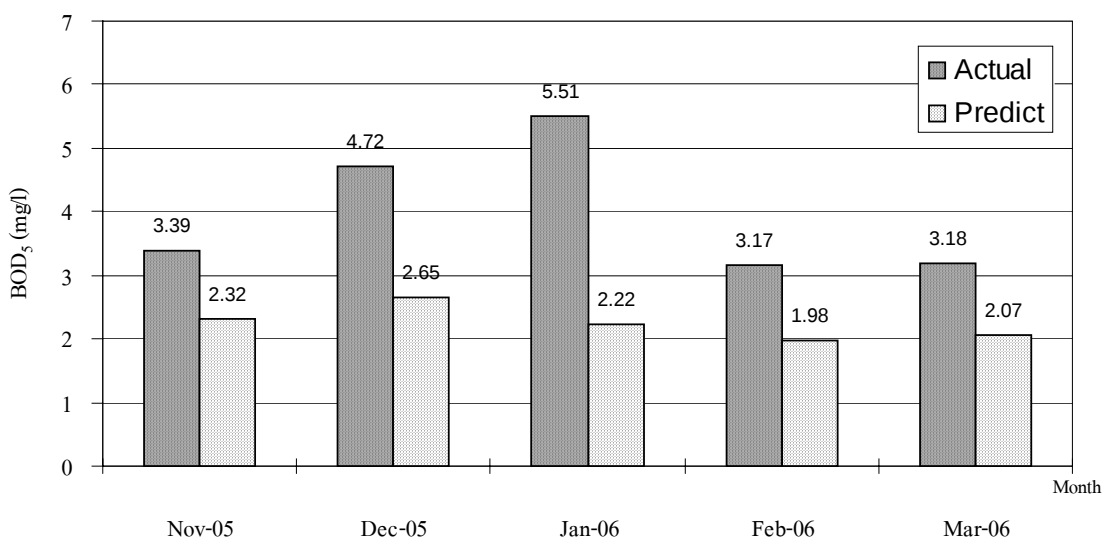
โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

$$\text{BOD}_5 = 0.758 \times \text{COD} - 50.069 \text{ (Influent)}$$

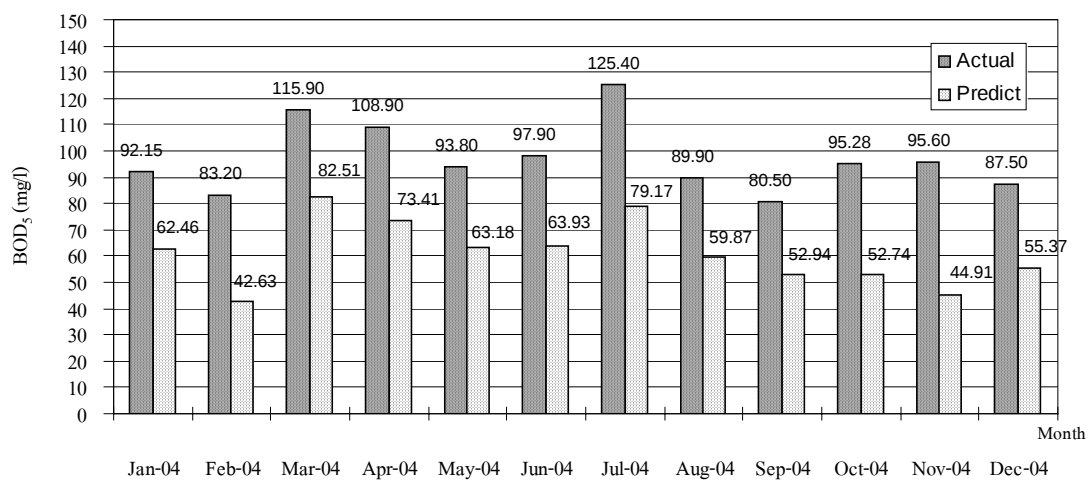
$$\text{BOD}_5 = 0.047 \times \text{COD} + 0.314 \text{ (Effluent)}$$



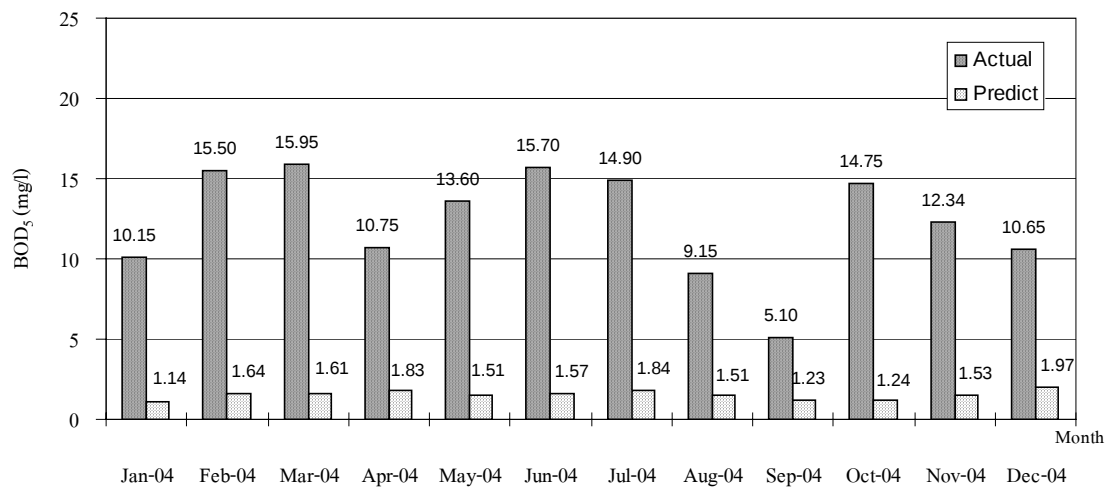
**ภาพที่ 21** กราฟแสดง BOD<sub>5</sub> ของน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง จากการวิเคราะห์และการพยากรณ์ความสัมพันธ์ของสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง



**ภาพที่ 22** กราฟแสดง BOD<sub>5</sub> ของน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง จากการวิเคราะห์และการพยากรณ์ความสัมพันธ์ของสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง



**ภาพที่ 23** กราฟแสดง BOD<sub>5</sub> ของน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ จากการวิเคราะห์และการพยากรณ์ความสัมพันธ์ของสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง



**ภาพที่ 24** กราฟแสดง BOD<sub>5</sub> ของน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ จากการวิเคราะห์และการพยากรณ์ความสัมพันธ์ของสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

## สรุปผลการทดลอง

จากผลการวิจัยความสัมพันธ์ของค่า  $BOD_5$ , COD, และ TOC ในน้ำเสียและน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพชนิดตะกอนเร่ง (Activated Sludge Process) ความสัมพันธ์ในรูปของอัตราส่วนจะเป็นเพียงการพยากรณ์ค่า  $BOD_5$  โดยประมาณ สำหรับการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียชนิดตะกอนเร่ง ความสัมพันธ์ของค่า  $BOD_5$ , COD, และ TOC ในรูปแบบของอัตราส่วน ก็พอเพียงต่อการใช้งานสำหรับการพยากรณ์ค่า  $BOD_5$  เพื่อใช้คาดการณ์ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย แต่ทั้งนี้ค่าอัตราส่วนระหว่าง  $BOD_5/COD$  และ  $COD/TOC$  ของน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดจะมีอัตราส่วนที่แตกต่างกับอัตราส่วนของน้ำเสียก่อนผ่านการบำบัดประมาณ 10 เท่าตัว เนื่องจากประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ หรือ ค่า BOD และ ปริมาณสารอินทรีย์หรือปริมาณสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ยาก หรือ ค่า COD ไม่เท่ากัน ดังนั้นหากจะใช้ความสัมพันธ์ในรูปแบบของค่าอัตราส่วนระหว่าง  $BOD_5/COD$  และ  $COD/TOC$  ในการใช้งาน ควรศึกษาความสัมพันธ์ของน้ำจากหน่วยบำบัดนั้น ๆ หรือน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชนิดนั้น ๆ สำหรับอัตราส่วนของค่า  $BOD_5/TOC$  ของน้ำเสียก่อนผ่านการบำบัด และน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดไม่แตกต่างกัน เนื่องจากประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ และสารอินทรีย์คาร์บอนของระบบบำบัดน้ำเสียชนิดตะกอนเร่งใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า อัตราส่วนของค่า  $BOD_5/TOC$  มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานกับระบบบำบัดน้ำเสียชนิดตะกอนเร่งมากกว่าอัตราส่วนของค่า  $BOD_5/COD$  และ  $COD/TOC$  และสำหรับความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ระหว่างค่า  $BOD_5/TOC$  มีความแม่นยำเมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ในการทำนายของสมการ (Coefficient of determination,  $r^2$ ) และเหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณาจากความรวดเร็วในการวิเคราะห์ เมื่อเทียบกับสมการความสัมพันธ์อื่น ๆ

แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้น อ้างอิงได้เฉพาะชุดของข้อมูลในการวิจัยเท่านั้น ซึ่งความสัมพันธ์อาจเปลี่ยนแปลงไปตามองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำ ความสัมพันธ์ในรูปแบบอัตราส่วนและสมการความสัมพันธ์ดัดแปลงเชิงเส้นตรงสามารถใช้พยากรณ์ค่า  $BOD_5$  ได้แม่นยำเฉพาะกับระบบบำบัดน้ำเสียชนิดนั้น ๆ เท่านั้น ดังนั้นจึงควรทดลองหาค่าความสัมพันธ์กับหน่วยบำบัดน้ำเสียต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียชนิดนั้น ๆ เพื่อให้สามารถพยากรณ์ค่า  $BOD_5$  ได้แม่นยำยิ่งขึ้นต่อไป

### ข้อเสนอแนะ

การสุ่มตัวอย่างน้ำเสียและน้ำทิ้งชุมชน เพื่อนำมาทดลองและวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่า  $BOD_5$ , COD และ TOC สำหรับการวิจัยในครั้งนี้มีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ระยะเวลาในการทดลอง และงบประมาณ ทำให้มีจำนวนข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ไม่มากนัก ดังนั้นหากมีการทดลองในขั้นต่อไป จึงมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ควรเก็บตัวอย่างน้ำให้เป็นตัวแทนของตัวอย่างน้ำเสียและน้ำทิ้งในแต่ละวัน ด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบรวม (Composite samples) และควรเพิ่มจำนวนตัวอย่าง โดยจะทำให้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เป็นไปอย่างแม่นยำ และคาดว่าจะทำให้การพยากรณ์ค่า  $BOD_5$  แม่นยำยิ่งขึ้นเช่นกัน
2. ควรศึกษาความสัมพันธ์ของค่า  $BOD_5$ , COD และ TOC ในตัวอย่างน้ำจากหน่วยบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพชนิดตะกอนเร่ง (Activated Sludge Process)
3. ควรทำการทดลองกับตัวอย่างน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพชนิดอื่น ๆ เพื่อหาความสัมพันธ์ของค่า  $BOD_5$ , COD และ TOC เปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพชนิดตะกอนเร่ง (Activated Sludge Process)

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรรณิการ์ สิริสิงห์. 2525. เคมีของน้ำ น้ำโสโครก และการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 2. ประยูรวงศ์, กรุงเทพฯ.
- เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- จรัญ จันทลักขณา และ อนันต์ชัย เขื่อนธรรม. 2529. สถิติเบื้องต้นแบบประยุกต์. พิมพ์ครั้งที่ 2. ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพฯ.
- ดุสิต สุจิรารัตน์. 2544. การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS for windows เล่มที่ 2. เจริญดีการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- นฤมล แก้วกล้า. 2523. การหาความสัมพันธ์ของค่า BOD COD และ TOC ของน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบและน้ำธรรมชาติ. ม.ป.ท.
- ราไฟ สุขสวัสดิ์ ณ อยุธยา. 2526. สถิติการวิจัย. หจก. เอช – เอน การพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- วัฒนา คล้ายรัศมี และ อุทัย เอี่ยมศรีเพ็ง. 2541. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีกับค่าบีโอดีของน้ำทิ้งจากหมู่บ้านจัดสรรในเขตกรุงเทพมหานคร. ม.ป.ท.
- สุวิธาน มนแพวงสานนท์. 2544. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS for windows. ซีเอ็ดดูเคชั่น, กรุงเทพฯ.
- APHA, AWWA and WPCF. 1985. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 16<sup>th</sup> ed. Washington D.C; American Public Health Association  
43: 413 – 419, 507 – 511, 525 – 537.
- Tchnobaglous, G. 1972. **Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse.** 2<sup>nd</sup> ed. Mc Graw – Hill Inc., U.S.A.

- Tebbutt, T.HY. 1977. **Principles of water Quality Control**. 2<sup>nd</sup> ed. Pergamon press, London
- Metcalf and Eddy, Inc. 2003. **Wastewater Engineering Treatment and Reuse**. 4<sup>th</sup> ed. McGraw-Hill.
- Klein, L. 1959. **River Pollution. Vol 1 Chemical Analysis**. 3<sup>nd</sup> ed. Butterworth Publish, London.
- Leithe, W., and L.N. Linz. 1975. **The Analysis of Organic Pollutants in Water and Wastewater**. 2<sup>nd</sup> ed. ann Arbor Science Publishers, Inc., Michigan.
- Stone, T. 1974. An Appraisal of the Use of Silver catalyzed Dichromate for the Determination of the Strength of Sewage and the Assessment of Treatment Plant Performance. **Wat. Pollut. Control**. 673 – 684.
- Dobbs, R.A., and R.T. William. 1963. Elimination of Chloride Interference in the Chemical Oxygen Demand Test. **Analyst. Chem.** 1064 – 1067
- Hanvajanawong, N. 1979. **Chemical Oxygen Demand for the Seawater**. M.S. No EV 79 -82 A.I.T. Bangkok, Thailand.
- Burns, E.R. and Marshall C. 1965. Correction of Chloride Interference in the Chemical Oxygen Demand Test. **Wat Pollut. Control**. 1716 – 1721.
- Moore, W.A., F.J. Ladzack and C.C. Ruchhoft. 1952. Determination of Oxygen Consumed Values of Organic Wastes. **Analyst. Chem.** 1227 – 1230.

Suess, M.J. 1982. **Examination of Water for Pollution Control**. A Reference Hand book.

Vol. 2. World Health Organization Regional Office for Europe. Pergamon Press,  
United Kingdom.

Shimadzu, C. n.d. **Instruction Manual: for Total Organic Carbon Analyzer**

TOC – 10 B (Part No. 630 – 91028).

Busch, A.W. 1966. **Energy Total Carbon and Oxygen Demand**. Water Resources Research.  
59 – 69.

Jones, R.H. 1971. **TOC: How valid is it ? Water and Wastes Engineering**. 32 – 33

Davis, E.M. 1972. **BOD vs COD vs TOC vs TOD Water and Wastes Engineering**.  
32 – 34, 38.

Eckfelder, W.W. and D.L. Ford. 1970. **Water Pollution Control Experimental Procedures  
for Process design**. The Pemberton press, New York.

Varaghavan, T. 1973. Correlation of BOD COD and Soluble Organic Carbon. **J WPCF**.  
9: 2213 – 2214.

Chatterjee S., and B. Price. 1977. Regression. **Regression Analysis By Example**.  
John Wiley & Sons, Inc.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลคุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้ง

**ตารางผนวกที่ ก1** ข้อมูลคุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้ง BOD<sub>5</sub> และ COD โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง  
เดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม 2547

| Date | Nov-05           |        |                  |       | Dec-05           |        |                  |       |
|------|------------------|--------|------------------|-------|------------------|--------|------------------|-------|
|      | INFLUENT         |        | EFFLUENT         |       | INFLUENT         |        | EFFLUENT         |       |
|      | BOD <sub>5</sub> | COD    | BOD <sub>5</sub> | COD   | BOD <sub>5</sub> | COD    | BOD <sub>5</sub> | COD   |
|      | mg/l             | mg/l   | mg/l             | mg/l  | mg/l             | mg/l   | mg/l             | mg/l  |
| 1    | 41.10            | 108.00 | 8.40             | 21.00 | 36.60            | 96.00  | 2.30             | 16.00 |
| 2    | 38.40            | 150.00 | 1.10             | 85.00 | 43.20            | 56.00  | 3.60             | 23.00 |
| 3    | 41.70            | 62.00  | 2.40             | 12.00 | 28.80            | 55.00  | 4.00             | 21.00 |
| 4    | 39.60            | 69.00  | 4.30             | 11.00 | 26.40            | 67.00  | 2.20             | 29.00 |
| 5    | 35.40            | 67.00  | 2.30             | 12.00 | 33.00            | 79.00  | 4.80             | 46.00 |
| 6    | 29.70            | 79.00  | 3.00             | 47.00 | 47.70            | 86.00  | 4.10             | 50.00 |
| 7    | 24.30            | 63.00  | 3.00             | 32.00 | 35.40            | 62.00  | 3.60             | 54.00 |
| 8    | 42.30            | 95.00  | 5.40             | 48.00 | 39.60            | 89.00  | 3.80             | 52.00 |
| 9    | 42.00            | 85.00  | 3.20             | 26.00 | 34.50            | 95.00  | 3.60             | 32.00 |
| 10   | 24.60            | 109.00 | 2.20             | 16.00 | 39.00            | 152.00 | 3.40             | 24.00 |
| 11   | 33.00            | 63.00  | 2.00             | 31.00 | 38.70            | 56.00  | 5.80             | 28.00 |
| 12   | 38.00            | 96.00  | 2.40             | 32.00 | 37.20            | 75.00  | 5.90             | 40.00 |
| 13   | 31.50            | 79.00  | 2.00             | 24.00 | 36.00            | 88.00  | 5.80             | 70.00 |
| 14   | 27.00            | 48.00  | 2.10             | 16.00 | 42.90            | 77.00  | 6.60             | 40.00 |
| 15   | 24.00            | 80.00  | 2.00             | 32.00 | 37.80            | 66.00  | 5.30             | 27.00 |
| 16   | 25.20            | 73.00  | 2.20             | 43.00 | 39.00            | 120.00 | 5.90             | 42.00 |
| 17   | 35.10            | 84.00  | 3.40             | 65.00 | 43.20            | 117.00 | 4.70             | 41.00 |
| 18   | 31.50            | 49.00  | 3.00             | 18.00 | 38.40            | 65.00  | 3.20             | 44.00 |
| 19   | 33.60            | 72.00  | 3.90             | 23.00 | 42.30            | 69.00  | 5.10             | 14.00 |
| 20   | 29.10            | 66.00  | 2.30             | 21.00 | 30.30            | 73.00  | 3.90             | 28.00 |
| 21   | 38.40            | 79.00  | 2.70             | 32.00 | 29.40            | 83.00  | 5.10             | 27.00 |

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

| Date | Nov-05           |        |                  |       | Dec-05           |        |                  |       |
|------|------------------|--------|------------------|-------|------------------|--------|------------------|-------|
|      | INFLUENT         |        | EFFLUENT         |       | INFLUENT         |        | EFFLUENT         |       |
|      | BOD <sub>5</sub> | COD    | BOD <sub>5</sub> | COD   | BOD <sub>5</sub> | COD    | BOD <sub>5</sub> | COD   |
|      | mg/l             | mg/l   | mg/l             | mg/l  | mg/l             | mg/l   | mg/l             | mg/l  |
| 22   | 32.70            | 79.00  | 3.00             | 32.00 | 61.20            | 84.00  | 6.40             | 38.00 |
| 23   | 27.90            | 96.00  | 4.20             | 32.00 | 85.20            | 431.00 | 6.70             | 66.00 |
| 24   | 41.10            | 47.00  | 3.90             | 24.00 | 42.00            | 51.00  | 6.70             | 31.00 |
| 25   | 27.90            | 80.00  | 5.70             | 32.00 | 37.20            | 60.00  | 6.60             | 45.00 |
| 26   | 42.60            | 96.00  | 5.40             | 13.00 | 40.20            | 89.00  | 6.30             | 29.00 |
| 27   | 32.10            | 83.00  | 4.50             | 56.00 | 40.50            | 44.00  | 5.40             | 40.00 |
| 28   | 30.90            | 63.00  | 4.80             | 16.00 | 46.20            | 98.00  | 4.20             | 39.00 |
| 29   | 40.20            | 80.00  | 2.40             | 16.00 | 26.70            | 81.00  | 4.00             | 47.00 |
| 30   | 44.10            | 77.00  | 4.40             | 16.00 | 37.80            | 66.00  | 5.00             | 40.00 |
| -    | -                | -      | -                | -     | 30.60            | 90.00  | 4.70             | 32.00 |
| Min. | 24.00            | 47.00  | 1.10             | 11.00 | 26.40            | 44.00  | 2.20             | 14.00 |
| Ave. | 34.17            | 79.23  | 3.39             | 29.47 | 38.40            | 87.87  | 4.72             | 36.74 |
| Max. | 44.10            | 150.00 | 8.40             | 85.00 | 85.20            | 431.00 | 6.70             | 70.00 |

**ตารางผนวกที่ ก2** ข้อมูลคุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้ง BOD<sub>5</sub> และ COD โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง  
เดือนมกราคม - มีนาคม 2548

| Date | Jan-06           |       |                  |       | Feb-06           |        |                  |       | Mar-06           |        |                  |       |
|------|------------------|-------|------------------|-------|------------------|--------|------------------|-------|------------------|--------|------------------|-------|
|      | INFLUENT         |       | EFFLUENT         |       | INFLUENT         |        | EFFLUENT         |       | INFLUENT         |        | EFFLUENT         |       |
|      | BOD <sub>5</sub> | COD   | BOD <sub>5</sub> | COD   | BOD <sub>5</sub> | COD    | BOD <sub>5</sub> | COD   | BOD <sub>5</sub> | COD    | BOD <sub>5</sub> | COD   |
|      | mg/l             | mg/l  | mg/l             | mg/l  | mg/l             | mg/l   | mg/l             | mg/l  | mg/l             | mg/l   | mg/l             | mg/l  |
| 1    | 25.20            | 53.00 | 4.40             | 24.00 | 36.90            | 87.00  | 5.40             | 25.00 | 33.00            | 66.00  | 3.10             | 12.00 |
| 2    | 26.10            | 88.00 | 4.10             | 40.00 | 33.90            | 83.00  | 5.60             | 28.00 | 17.70            | 79.00  | 3.20             | 24.00 |
| 3    | 31.50            | 46.00 | 4.20             | 14.00 | 36.30            | 91.00  | 5.50             | 20.00 | 24.60            | 63.00  | 2.60             | 40.00 |
| 4    | 30.00            | 59.00 | 4.50             | 13.00 | 35.70            | 58.00  | 6.40             | 19.00 | 26.10            | 63.00  | 3.00             | 40.00 |
| 5    | 36.30            | 35.00 | 8.50             | 25.00 | 42.00            | 94.00  | 4.00             | 18.00 | 35.10            | 48.00  | 3.40             | 24.00 |
| 6    | 35.10            | 74.00 | 5.50             | 32.00 | 42.90            | 83.00  | 5.20             | 17.00 | 30.60            | 80.00  | 2.30             | 40.00 |
| 7    | 30.60            | 68.00 | 7.70             | 20.00 | 35.10            | 78.00  | 4.20             | 14.00 | 32.10            | 64.00  | 2.40             | 24.00 |
| 8    | 28.20            | 69.00 | 6.20             | 21.00 | 27.90            | 61.00  | 2.20             | 17.00 | 31.80            | 72.00  | 2.70             | 18.00 |
| 9    | 39.00            | 89.00 | 6.00             | 34.00 | 32.70            | 120.00 | 2.70             | 27.00 | 25.50            | 43.00  | 2.40             | 29.00 |
| 10   | 27.90            | 45.00 | 5.20             | 33.00 | 26.40            | 68.00  | 2.00             | 18.00 | 29.40            | 93.00  | 2.30             | 31.00 |
| 11   | 27.30            | 80.00 | 4.80             | 45.00 | 22.20            | 69.00  | 1.40             | 19.00 | 30.90            | 91.00  | 2.40             | 30.00 |
| 12   | 37.20            | 70.00 | 7.40             | 51.00 | 34.20            | 106.00 | 2.20             | 16.00 | 25.50            | 52.00  | 2.60             | 18.00 |
| 13   | 32.40            | 90.00 | 4.10             | 55.00 | 31.80            | 48.00  | 1.60             | 21.00 | 23.70            | 108.00 | 2.40             | 42.00 |
| 14   | 43.50            | 77.00 | 6.00             | 22.00 | 28.80            | 70.00  | 2.00             | 24.00 | 27.30            | 62.00  | 2.40             | 18.00 |
| 15   | 47.40            | 98.00 | 6.40             | 17.00 | 28.20            | 72.00  | 2.20             | 30.00 | 26.40            | 56.00  | 3.20             | 19.00 |
| 16   | 36.00            | 73.00 | 5.80             | 43.00 | 28.20            | 52.00  | 2.40             | 13.00 | 25.80            | 64.00  | 2.80             | 14.00 |
| 17   | 62.30            | 95.00 | 2.10             | 48.00 | 39.30            | 55.00  | 2.70             | 10.00 | 24.90            | 67.00  | 3.30             | 30.00 |
| 18   | 24.00            | 34.00 | 5.10             | 18.00 | 31.50            | 62.00  | 3.00             | 13.00 | 29.40            | 57.00  | 2.90             | 25.00 |
| 19   | 56.40            | 99.00 | 6.80             | 36.00 | 26.00            | 64.00  | 2.20             | 15.00 | 26.40            | 73.00  | 4.00             | 26.00 |
| 20   | 60.00            | 83.00 | 7.10             | 23.00 | 32.40            | 69.00  | 3.00             | 26.00 | 31.20            | 46.00  | 2.40             | 15.00 |
| 21   | 45.60            | 82.00 | 4.20             | 27.00 | 35.70            | 92.00  | 2.00             | 42.00 | 26.40            | 43.00  | 4.00             | 18.00 |

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

| Date | Jan-06           |        |                  |       | Feb-06           |        |                  |       | Mar-06           |        |                  |       |
|------|------------------|--------|------------------|-------|------------------|--------|------------------|-------|------------------|--------|------------------|-------|
|      | INFLUENT         |        | EFFLUENT         |       | INFLUENT         |        | EFFLUENT         |       | INFLUENT         |        | EFFLUENT         |       |
|      | BOD <sub>5</sub> | COD    | BOD <sub>5</sub> | COD   | BOD <sub>5</sub> | COD    | BOD <sub>5</sub> | COD   | BOD <sub>5</sub> | COD    | BOD <sub>5</sub> | COD   |
|      | mg/l             | mg/l   | mg/l             | mg/l  | mg/l             | mg/l   | mg/l             | mg/l  | mg/l             | mg/l   | mg/l             | mg/l  |
| 22   | 42.60            | 100.00 | 5.60             | 24.00 | 32.10            | 80.00  | 2.80             | 32.00 | 30.00            | 59.00  | 4.70             | 21.00 |
| 23   | 42.00            | 113.00 | 5.60             | 24.00 | 26.40            | 96.00  | 2.00             | 30.00 | 32.10            | 60.00  | 3.70             | 17.00 |
| 24   | 37.20            | 104.00 | 7.40             | 24.00 | 30.30            | 58.00  | 3.40             | 15.00 | 22.80            | 50.00  | 3.40             | 23.00 |
| 25   | 60.00            | 66.00  | 7.40             | 33.00 | 30.30            | 55.00  | 2.60             | 25.00 | 23.40            | 56.00  | 3.90             | 22.00 |
| 26   | 63.60            | 63.00  | 7.00             | 17.00 | 27.00            | 66.00  | 2.80             | 30.00 | 20.10            | 63.00  | 3.90             | 21.00 |
| 27   | 43.00            | 77.00  | 6.00             | 22.00 | 36.00            | 60.00  | 4.00             | 19.00 | 29.70            | 67.00  | 7.10             | 23.00 |
| 28   | 32.40            | 83.00  | 5.70             | 21.00 | 29.40            | 91.00  | 3.30             | 27.00 | 22.80            | 62.00  | 3.50             | 20.00 |
| 29   | 31.20            | 51.00  | 5.50             | 26.00 | -                | -      | -                | -     | 33.30            | 36.00  | 4.00             | 20.00 |
| 30   | 31.80            | 89.00  | 3.50             | 23.00 | -                | -      | -                | -     | 24.60            | 36.00  | 4.00             | 23.00 |
| 31   | 39.60            | 56.00  | 5.40             | 14.00 | -                | -      | -                | -     | 22.80            | 57.00  | 3.60             | 21.00 |
| Min  | 24.00            | 34.00  | 2.10             | 13.00 | 22.20            | 48.00  | 1.40             | 10.00 | 17.70            | 36.00  | 2.30             | 14.00 |
| Ave  | 38.07            | 72.77  | 5.51             | 27.26 | 30.81            | 74.52  | 2.98             | 20.89 | 26.21            | 60.32  | 3.18             | 23.74 |
| Max  | 63.60            | 113.00 | 8.50             | 55.00 | 42.90            | 120.00 | 6.40             | 42.00 | 35.10            | 108.00 | 7.10             | 42.00 |

**ตารางผนวกที่ ก3** ข้อมูลคุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้ง BOD<sub>5</sub> และ COD โรงควบคุมคุณภาพน้ำ  
รัตนโกสินทร์ ปี พ.ศ. 2545 – 2547

| Month | 2002             |        |                  |       | 2003             |        |                  |       | 2004             |        |                  |       |
|-------|------------------|--------|------------------|-------|------------------|--------|------------------|-------|------------------|--------|------------------|-------|
|       | INFLUENT         |        | EFFLUENT         |       | INFLUENT         |        | EFFLUENT         |       | INFLUENT         |        | EFFLUENT         |       |
|       | BOD <sub>5</sub> | COD    | BOD <sub>5</sub> | COD   | BOD <sub>5</sub> | COD    | BOD <sub>5</sub> | COD   | BOD <sub>5</sub> | COD    | BOD <sub>5</sub> | COD   |
|       | mg/l             | mg/l   | mg/l             | mg/l  | mg/l             | mg/l   | mg/l             | mg/l  | mg/l             | mg/l   | mg/l             | mg/l  |
| Jan   | 120.00           | 128.10 | 11.90            | 16.10 | 118.50           | 173.40 | 10.35            | 17.55 | 92.15            | 148.45 | 10.15            | 17.50 |
| Feb   | 121.20           | 123.04 | 8.44             | 9.02  | 148.60           | 192.55 | 9.23             | 18.94 | 83.20            | 122.30 | 15.50            | 28.20 |
| Mar   | 105.30           | 145.60 | 7.99             | 15.43 | 178.60           | 224.50 | 11.65            | 18.85 | 115.90           | 174.90 | 15.95            | 27.50 |
| Apr   | 98.21            | 104.21 | 6.83             | 13.56 | 190.70           | 250.00 | 12.80            | 19.95 | 108.90           | 162.90 | 10.75            | 32.25 |
| May   | 97.63            | 173.74 | 5.34             | 18.84 | 113.85           | 168.50 | 8.65             | 14.80 | 93.80            | 149.40 | 13.60            | 25.40 |
| Jun   | 102.11           | 173.20 | 8.79             | 18.94 | 122.10           | 189.50 | 10.97            | 16.45 | 97.90            | 150.40 | 15.70            | 26.80 |
| Jul   | 97.39            | 155.72 | 7.82             | 11.88 | 118.30           | 169.50 | 11.90            | 15.10 | 125.40           | 170.50 | 14.90            | 32.40 |
| Aug   | 128.40           | 193.20 | 10.20            | 18.45 | 82.50            | 148.60 | 12.10            | 18.85 | 89.90            | 145.04 | 9.15             | 25.50 |
| Sep   | 151.30           | 208.55 | 13.64            | 18.42 | 79.44            | 117.50 | 11.94            | 19.50 | 80.50            | 135.90 | 5.10             | 19.40 |
| Oct   | 94.70            | 150.25 | 7.25             | 12.55 | 73.18            | 109.50 | 8.94             | 18.40 | 95.28            | 135.63 | 14.75            | 19.65 |
| Nov   | 89.75            | 147.35 | 7.05             | 12.32 | 81.98            | 139.45 | 9.25             | 19.65 | 95.60            | 125.30 | 12.34            | 25.93 |
| Dec   | 82.35            | 142.92 | 7.03             | 18.55 | 80.95            | 143.80 | 9.40             | 19.75 | 87.50            | 139.10 | 10.65            | 35.24 |
| Min   | 82.35            | 104.21 | 5.34             | 9.02  | 73.18            | 109.50 | 8.65             | 14.80 | 80.50            | 122.30 | 5.10             | 19.40 |
| Max   | 151.30           | 208.55 | 13.64            | 18.94 | 190.70           | 250.00 | 12.80            | 19.95 | 125.40           | 174.90 | 15.95            | 35.24 |
| Ave.  | 107.85           | 156.20 | 8.41             | 15.07 | 118.01           | 170.22 | 10.64            | 18.08 | 98.44            | 146.81 | 12.26            | 27.15 |

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลการทดลอง

**ตารางผนวกที่ ข1** ค่า BOD, COD และ TOC ของน้ำเสียจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

| No.            | Date          | Parameter (mg/l) |       |                | Ratio   |         |         |
|----------------|---------------|------------------|-------|----------------|---------|---------|---------|
|                |               | COD              | BOD   | Organic Carbon | BOD/COD | BOD/TOC | COD/TOC |
| 1              | 12 April 2006 | 122.85           | 55.90 | 35.56          | 0.455   | 1.572   | 3.455   |
| 2              | 13 April 2006 | 135.65           | 60.40 | 38.17          | 0.445   | 1.582   | 3.554   |
| 3              | 14 April 2006 | 234.65           | 95.60 | 60.36          | 0.407   | 1.584   | 3.888   |
| 4              | 15 April 2006 | 220.45           | 92.30 | 58.57          | 0.419   | 1.576   | 3.764   |
| 5              | 16 April 2006 | 216.03           | 90.90 | 58.47          | 0.421   | 1.555   | 3.695   |
| 6              | 17 April 2006 | 145.13           | 65.70 | 42.56          | 0.453   | 1.544   | 3.410   |
| 7              | 18 April 2006 | 135.93           | 60.80 | 38.65          | 0.447   | 1.573   | 3.517   |
| 8              | 19 April 2006 | 145.09           | 65.50 | 42.01          | 0.451   | 1.559   | 3.454   |
| 9              | 20 April 2006 | 138.41           | 62.30 | 35.53          | 0.450   | 1.753   | 3.896   |
| 10             | 21 April 2006 | 150.23           | 70.20 | 45.42          | 0.467   | 1.546   | 3.308   |
| 11             | 22 April 2006 | 200.15           | 76.10 | 48.17          | 0.380   | 1.580   | 4.155   |
| 12             | 23 April 2006 | 163.64           | 78.30 | 50.36          | 0.478   | 1.555   | 3.249   |
| 13             | 24 April 2006 | 176.30           | 88.60 | 50.03          | 0.503   | 1.771   | 3.524   |
| 14             | 25 April 2006 | 203.68           | 95.20 | 60.55          | 0.467   | 1.572   | 3.364   |
| 15             | 26 April 2006 | 180.52           | 85.80 | 55.08          | 0.475   | 1.558   | 3.277   |
| 16             | 27 April 2006 | 179.27           | 85.50 | 54.45          | 0.477   | 1.570   | 3.292   |
| 17             | 28 April 2006 | 145.45           | 65.20 | 41.82          | 0.448   | 1.559   | 3.478   |
| Average        |               | 170.20           | 76.14 | 47.99          | 0.450   | 1.589   | 3.546   |
| Max            |               | 234.65           | 95.60 | 60.55          | 0.503   | 1.771   | 4.155   |
| Min            |               | 122.85           | 55.90 | 35.53          | 0.380   | 1.544   | 3.249   |
| S.D.           |               | 34.42            | 13.75 | 8.80           | 0.030   | 0.066   | 0.254   |
| r              |               |                  |       |                | 0.9262  | 0.9772  | 0.9286  |
| r <sup>2</sup> |               |                  |       |                | 0.8579  | 0.9548  | 0.8623  |
| SEE            |               |                  |       |                | 5.3510  | 3.0168  | 13.1911 |

**ตารางผนวกที่ ข2** ค่า BOD, COD และ TOC ของน้ำทิ้งจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

| No. | Date          | Parameter (mg/l) |      |                | Ratio   |         |         |
|-----|---------------|------------------|------|----------------|---------|---------|---------|
|     |               | COD              | BOD  | Organic Carbon | BOD/COD | BOD/TOC | COD/TOC |
| 1   | 17 March 2006 | 71.70            | 3.90 | 1.99           | 0.054   | 1.960   | 36.030  |
| 2   | 18 March 2006 | 125.95           | 6.80 | 3.92           | 0.054   | 1.735   | 32.130  |
| 3   | 19 March 2006 | 100.72           | 5.50 | 3.20           | 0.055   | 1.719   | 31.475  |
| 4   | 20 March 2006 | 105.95           | 5.70 | 3.56           | 0.054   | 1.601   | 29.761  |
| 5   | 21 March 2006 | 90.52            | 5.20 | 2.88           | 0.057   | 1.806   | 31.431  |
| 6   | 22 March 2006 | 99.80            | 5.40 | 3.07           | 0.054   | 1.759   | 32.508  |
| 7   | 23 March 2006 | 98.76            | 5.60 | 3.09           | 0.057   | 1.812   | 31.961  |
| 8   | 24 March 2006 | 88.16            | 4.80 | 2.79           | 0.054   | 1.720   | 31.599  |
| 9   | 25 March 2006 | 109.80           | 5.90 | 3.78           | 0.054   | 1.561   | 29.048  |
| 10  | 26 March 2006 | 115.20           | 6.30 | 4.07           | 0.055   | 1.548   | 28.305  |
| 11  | 27 March 2006 | 144.30           | 7.60 | 4.72           | 0.053   | 1.610   | 30.572  |
| 12  | 28 March 2006 | 138.10           | 7.60 | 4.84           | 0.055   | 1.570   | 28.533  |
| 13  | 29 March 2006 | 122.50           | 6.50 | 4.15           | 0.053   | 1.566   | 29.518  |
| 14  | 30 March 2006 | 148.20           | 7.70 | 4.80           | 0.052   | 1.604   | 30.875  |
| 15  | 31 March 2006 | 118.40           | 6.80 | 3.94           | 0.057   | 1.726   | 30.051  |
| 16  | 1 April 2006  | 109.12           | 6.30 | 3.86           | 0.058   | 1.632   | 28.269  |
| 17  | 2 April 2006  | 83.90            | 4.50 | 2.67           | 0.054   | 1.685   | 31.423  |
| 18  | 3 April 2006  | 102.72           | 5.50 | 3.56           | 0.054   | 1.545   | 28.854  |
| 19  | 4 April 2006  | 108.45           | 5.70 | 3.76           | 0.053   | 1.516   | 28.843  |
| 20  | 5 April 2006  | 83.50            | 4.50 | 2.66           | 0.054   | 1.692   | 31.391  |
| 21  | 6 April 2006  | 98.48            | 5.50 | 3.11           | 0.056   | 1.768   | 31.666  |
| 22  | 7 April 2006  | 115.15           | 5.70 | 3.77           | 0.050   | 1.512   | 30.544  |
| 23  | 12 April 2006 | 95.63            | 5.30 | 3.43           | 0.055   | 1.545   | 27.880  |
| 24  | 13 April 2006 | 90.25            | 4.80 | 2.63           | 0.053   | 1.825   | 34.316  |
| 25  | 14 April 2006 | 88.36            | 5.60 | 3.24           | 0.063   | 1.728   | 27.272  |

**ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)**

| No. | Date           | Parameter (mg/l) |      |                | Ratio   |         |         |
|-----|----------------|------------------|------|----------------|---------|---------|---------|
|     |                | COD              | BOD  | Organic Carbon | BOD/COD | BOD/TOC | COD/TOC |
| 26  | 15 April 2006  | 80.64            | 4.70 | 2.53           | 0.058   | 1.858   | 31.874  |
| 27  | 16 April 2006  | 70.44            | 4.50 | 2.59           | 0.064   | 1.737   | 27.197  |
| 28  | 17 April 2006  | 83.84            | 4.90 | 2.63           | 0.058   | 1.863   | 31.878  |
| 29  | 18 April 2006  | 89.61            | 5.30 | 3.19           | 0.059   | 1.661   | 28.091  |
| 30  | 19 April 2006  | 97.04            | 5.50 | 3.25           | 0.057   | 1.692   | 29.858  |
| 31  | 20 April 2006  | 106.62           | 5.10 | 3.09           | 0.048   | 1.650   | 34.505  |
| 32  | 21 April 2006  | 108.81           | 5.00 | 2.76           | 0.046   | 1.812   | 39.424  |
| 33  | 22 April 2006  | 103.50           | 6.20 | 3.48           | 0.060   | 1.782   | 29.741  |
| 34  | 23 April 2006  | 108.45           | 6.00 | 3.39           | 0.055   | 1.770   | 31.991  |
| 35  | 24 April 2006  | 95.20            | 6.00 | 3.41           | 0.063   | 1.760   | 27.918  |
| 36  | 25 April 2006  | 89.45            | 5.00 | 3.09           | 0.056   | 1.618   | 28.948  |
| 37  | 26 April 2006  | 89.30            | 5.50 | 3.08           | 0.062   | 1.786   | 28.994  |
| 38  | 27 April 2006  | 96.12            | 5.60 | 3.03           | 0.058   | 1.848   | 31.723  |
| 39  | 28 April 2006  | 96.75            | 5.10 | 3.03           | 0.053   | 1.683   | 31.931  |
|     | Average        | 101.78           | 5.62 | 3.33           | 0.055   | 1.699   | 30.726  |
|     | Max            | 148.20           | 7.70 | 4.84           | 0.064   | 1.960   | 39.424  |
|     | Min            | 70.44            | 3.90 | 1.99           | 0.046   | 1.512   | 27.197  |
|     | S.D.           | 17.63            | 0.87 | 0.64           | 0.004   | 0.111   | 2.474   |
|     | r              |                  |      |                | 0.922   | 0.954   | 0.927   |
|     | r <sup>2</sup> |                  |      |                | 0.850   | 0.911   | 0.859   |
|     | SEE            |                  |      |                | 0.340   | 0.263   | 6.705   |

**ตารางผนวกที่ ข3** ประสิทธิภาพการกำจัดค่า BOD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

| <b>Date</b>   | <b>BOD<sub>เข้า</sub></b> | <b>BOD<sub>ออก</sub></b> | <b>Efficiency (%)</b> |
|---------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 12 April 2006 | 55.90                     | 5.30                     | 90.52                 |
| 13 April 2006 | 60.40                     | 4.80                     | 92.05                 |
| 14 April 2006 | 95.60                     | 5.60                     | 94.14                 |
| 15 April 2006 | 92.30                     | 4.70                     | 94.91                 |
| 16 April 2006 | 90.90                     | 4.50                     | 95.05                 |
| 17 April 2006 | 65.70                     | 4.90                     | 92.54                 |
| 18 April 2006 | 60.80                     | 5.30                     | 91.28                 |
| 19 April 2006 | 65.50                     | 5.50                     | 91.60                 |
| 20 April 2006 | 62.30                     | 5.10                     | 91.81                 |
| 21 April 2006 | 70.20                     | 5.00                     | 92.88                 |
| 22 April 2006 | 76.10                     | 6.20                     | 91.85                 |
| 23 April 2006 | 78.30                     | 6.00                     | 92.34                 |
| 24 April 2006 | 88.60                     | 6.00                     | 93.23                 |
| 25 April 2006 | 95.20                     | 5.00                     | 94.75                 |
| 26 April 2006 | 85.80                     | 5.50                     | 93.59                 |
| 27 April 2006 | 85.50                     | 5.60                     | 93.45                 |
| 28 April 2006 | 65.20                     | 5.10                     | 92.18                 |
| Average       | 76.14                     | 5.30                     | 92.83                 |
| Max           | 95.60                     | 6.20                     | 95.05                 |
| Min           | 60.40                     | 4.50                     | 91.28                 |
| S.D.          | 13.75                     | 0.48                     | 1.33                  |

**ตารางผนวกที่ ๔4** ประสิทธิภาพการกำจัดค่า COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

| Date          | COD <sub>เข้า</sub> | COD <sub>ออก</sub> | Efficiency (%) |
|---------------|---------------------|--------------------|----------------|
| 12 April 2006 | 122.85              | 95.63              | 22.16          |
| 13 April 2006 | 135.65              | 90.25              | 33.47          |
| 14 April 2006 | 234.65              | 88.36              | 62.34          |
| 15 April 2006 | 220.45              | 80.64              | 63.42          |
| 16 April 2006 | 216.03              | 70.44              | 67.39          |
| 17 April 2006 | 145.13              | 83.84              | 42.23          |
| 18 April 2006 | 135.93              | 89.61              | 34.08          |
| 19 April 2006 | 145.09              | 97.04              | 33.12          |
| 20 April 2006 | 138.41              | 106.62             | 22.97          |
| 21 April 2006 | 150.23              | 108.81             | 27.57          |
| 22 April 2006 | 200.15              | 103.50             | 48.29          |
| 23 April 2006 | 163.64              | 108.45             | 33.73          |
| 24 April 2006 | 176.30              | 95.20              | 46.00          |
| 25 April 2006 | 203.68              | 89.45              | 56.08          |
| 26 April 2006 | 180.52              | 89.30              | 50.53          |
| 27 April 2006 | 179.27              | 96.12              | 46.38          |
| 28 April 2006 | 145.45              | 96.75              | 33.48          |
| Average       | 170.20              | 93.53              | 42.54          |
| Max           | 234.65              | 108.81             | 67.39          |
| Min           | 135.65              | 70.44              | 22.97          |
| S.D.          | 34.42               | 10.14              | 14.09          |

**ตารางผนวกที่ ข5** ประสิทธิภาพการกำจัดค่า TOC ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

| Date          | TOC <sub>เข้า</sub> | TOC <sub>ออก</sub> | Efficiency (%) |
|---------------|---------------------|--------------------|----------------|
| 12 April 2006 | 35.56               | 3.43               | 90.35          |
| 13 April 2006 | 38.17               | 2.63               | 93.11          |
| 14 April 2006 | 60.36               | 3.24               | 94.63          |
| 15 April 2006 | 58.57               | 2.53               | 95.68          |
| 16 April 2006 | 58.47               | 2.59               | 95.57          |
| 17 April 2006 | 42.56               | 2.63               | 93.82          |
| 18 April 2006 | 38.65               | 3.19               | 91.75          |
| 19 April 2006 | 42.01               | 3.25               | 92.26          |
| 20 April 2006 | 35.53               | 3.09               | 91.30          |
| 21 April 2006 | 45.42               | 2.76               | 93.92          |
| 22 April 2006 | 48.17               | 3.48               | 92.78          |
| 23 April 2006 | 50.36               | 3.39               | 93.27          |
| 24 April 2006 | 50.03               | 3.41               | 93.18          |
| 25 April 2006 | 60.55               | 3.09               | 94.90          |
| 26 April 2006 | 55.08               | 3.08               | 94.41          |
| 27 April 2006 | 54.45               | 3.03               | 94.44          |
| 28 April 2006 | 41.82               | 3.03               | 92.75          |
| Average       | 47.99               | 3.05               | 93.42          |
| Max           | 60.55               | 3.48               | 95.68          |
| Min           | 35.53               | 2.53               | 91.30          |
| S.D.          | 8.80                | 0.32               | 1.48           |

**ตารางผนวกที่ ข6** ค่า BOD, COD และ TOC ของน้ำเสียจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

| No.            | Date          | Parameter (mg/l) |        |                | Ratio   |         |         |
|----------------|---------------|------------------|--------|----------------|---------|---------|---------|
|                |               | COD              | BOD    | Organic Carbon | BOD/COD | BOD/TOC | COD/TOC |
| 1              | 11 April 2006 | 167.25           | 70.60  | 45.36          | 0.422   | 1.556   | 3.687   |
| 2              | 12 April 2006 | 188.67           | 89.70  | 60.19          | 0.475   | 1.490   | 3.135   |
| 3              | 15 April 2006 | 192.20           | 87.50  | 58.29          | 0.455   | 1.501   | 3.297   |
| 4              | 18 April 2006 | 155.60           | 71.50  | 46.50          | 0.460   | 1.538   | 3.346   |
| 5              | 19 April 2006 | 189.57           | 105.30 | 70.24          | 0.555   | 1.499   | 2.699   |
| 6              | 20 April 2006 | 200.45           | 108.50 | 65.26          | 0.541   | 1.663   | 3.072   |
| 7              | 21 April 2006 | 198.56           | 95.10  | 62.40          | 0.479   | 1.524   | 3.182   |
| 8              | 24 April 2006 | 165.52           | 75.20  | 49.25          | 0.454   | 1.527   | 3.361   |
| 9              | 25 April 2006 | 166.72           | 76.40  | 50.10          | 0.458   | 1.525   | 3.328   |
| 10             | 26 April 2006 | 172.34           | 80.70  | 51.86          | 0.468   | 1.556   | 3.323   |
| 11             | 27 April 2006 | 175.60           | 82.10  | 55.11          | 0.468   | 1.490   | 3.186   |
| 12             | 28 April 2006 | 170.23           | 80.50  | 50.52          | 0.473   | 1.593   | 3.370   |
| Average        |               | 178.56           | 85.26  | 55.42          | 0.476   | 1.539   | 3.249   |
| Max            |               | 200.45           | 108.50 | 70.24          | 0.555   | 1.663   | 3.687   |
| Min            |               | 155.60           | 70.60  | 45.36          | 0.422   | 1.490   | 2.699   |
| S.D.           |               | 14.68            | 12.43  | 7.86           | 0.037   | 0.050   | 0.233   |
| r              |               |                  |        |                | 0.8948  | 0.9688  | 0.8911  |
| r <sup>2</sup> |               |                  |        |                | 0.8007  | 0.9386  | 0.7940  |
| SEE            |               |                  |        |                | 5.8214  | 3.2307  | 6.9889  |

**ตารางผนวกที่ ข7** ค่า BOD, COD และ TOC ของน้ำทิ้งจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

| No. | Date          | Parameter (mg/l) |      |                | Ratio   |         |         |
|-----|---------------|------------------|------|----------------|---------|---------|---------|
|     |               | COD              | BOD  | Organic Carbon | BOD/COD | BOD/TOC | COD/TOC |
| 1   | 14 March 2006 | 64.15            | 3.50 | 2.63           | 0.055   | 1.331   | 24.392  |
| 2   | 15 March 2006 | 93.46            | 4.80 | 3.84           | 0.051   | 1.250   | 24.339  |
| 3   | 16 March 2006 | 57.57            | 3.40 | 2.43           | 0.059   | 1.399   | 23.691  |
| 4   | 17 March 2006 | 90.32            | 4.70 | 3.86           | 0.052   | 1.218   | 23.399  |
| 5   | 20 March 2006 | 66.00            | 3.80 | 2.47           | 0.058   | 1.538   | 26.721  |
| 6   | 21 March 2006 | 98.52            | 4.60 | 3.65           | 0.047   | 1.260   | 26.992  |
| 7   | 22 March 2006 | 92.00            | 4.60 | 3.79           | 0.050   | 1.214   | 24.274  |
| 8   | 23 March 2006 | 90.16            | 4.70 | 3.61           | 0.052   | 1.302   | 24.975  |
| 9   | 24 March 2006 | 99.80            | 4.80 | 3.74           | 0.048   | 1.283   | 26.684  |
| 10  | 25 March 2006 | 109.00           | 5.50 | 4.08           | 0.050   | 1.348   | 26.716  |
| 11  | 28 March 2006 | 105.00           | 5.10 | 3.91           | 0.049   | 1.304   | 26.854  |
| 12  | 29 March 2006 | 116.00           | 5.90 | 4.74           | 0.051   | 1.245   | 24.473  |
| 13  | 30 March 2006 | 83.00            | 4.40 | 3.25           | 0.053   | 1.354   | 25.538  |
| 14  | 31 March 2006 | 113.00           | 5.50 | 4.23           | 0.049   | 1.300   | 26.714  |
| 15  | 3 April 2006  | 90.24            | 4.60 | 3.42           | 0.051   | 1.345   | 26.386  |
| 16  | 4 April 2006  | 72.96            | 3.50 | 2.30           | 0.048   | 1.522   | 31.722  |
| 17  | 5 April 2006  | 45.52            | 2.30 | 1.50           | 0.051   | 1.533   | 30.347  |
| 18  | 7 April 2006  | 80.15            | 4.50 | 3.21           | 0.056   | 1.402   | 24.969  |
| 19  | 10 April 2006 | 95.64            | 5.10 | 3.34           | 0.053   | 1.527   | 28.635  |
| 20  | 11 April 2006 | 78.96            | 3.90 | 2.86           | 0.049   | 1.364   | 27.608  |
| 21  | 12 April 2006 | 122.68           | 5.90 | 4.36           | 0.048   | 1.353   | 28.138  |
| 22  | 15 April 2006 | 78.23            | 3.10 | 2.33           | 0.040   | 1.330   | 33.575  |
| 23  | 18 April 2006 | 80.56            | 4.20 | 3.23           | 0.052   | 1.300   | 24.941  |
| 24  | 19 April 2006 | 78.40            | 4.00 | 3.10           | 0.051   | 1.290   | 25.290  |
| 25  | 20 April 2006 | 95.32            | 5.10 | 3.74           | 0.054   | 1.364   | 25.487  |

ตารางผนวกที่ ข7 (ต่อ)

| No. | Date           | Parameter (mg/l) |      |                | Ratio   |         |         |
|-----|----------------|------------------|------|----------------|---------|---------|---------|
|     |                | COD              | BOD  | Organic Carbon | BOD/COD | BOD/TOC | COD/TOC |
| 26  | 21 April 2006  | 89.75            | 5.00 | 3.35           | 0.056   | 1.493   | 26.791  |
| 27  | 24 April 2006  | 79.50            | 4.00 | 2.93           | 0.050   | 1.365   | 27.133  |
| 28  | 25 April 2006  | 80.56            | 3.70 | 2.88           | 0.046   | 1.285   | 27.972  |
| 29  | 26 April 2006  | 69.52            | 3.30 | 2.50           | 0.047   | 1.320   | 27.808  |
| 30  | 27 April 2006  | 100.45           | 5.20 | 3.49           | 0.052   | 1.490   | 28.782  |
| 31  | 28 April 2006  | 76.12            | 3.50 | 2.67           | 0.046   | 1.311   | 28.509  |
|     | Average        | 86.86            | 4.39 | 3.27           | 0.051   | 1.353   | 26.770  |
|     | Max            | 122.68           | 5.90 | 4.74           | 0.059   | 1.538   | 33.575  |
|     | Min            | 45.52            | 2.30 | 1.50           | 0.040   | 1.214   | 23.399  |
|     | S.D.           | 17.24            | 0.86 | 0.71           | 0.004   | 0.094   | 2.300   |
|     | r              |                  |      |                | 0.941   | 0.953   | 0.939   |
|     | r <sup>2</sup> |                  |      |                | 0.885   | 0.909   | 0.882   |
|     | SEE            |                  |      |                | 0.297   | 0.264   | 6.018   |

**ตารางผนวกที่ ข8** ประสิทธิภาพการกำจัดค่า BOD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

| No. | Date          | BOD <sub>In</sub> | BOD <sub>Eff</sub> | Effeciency (%) |
|-----|---------------|-------------------|--------------------|----------------|
| 1   | 11 April 2006 | 70.60             | 3.90               | 94.48          |
| 2   | 12 April 2006 | 89.70             | 5.90               | 93.42          |
| 3   | 15 April 2006 | 87.50             | 3.10               | 96.46          |
| 4   | 18 April 2006 | 71.50             | 4.20               | 94.13          |
| 5   | 19 April 2006 | 105.30            | 4.00               | 96.20          |
| 6   | 20 April 2006 | 108.50            | 5.10               | 95.30          |
| 7   | 21 April 2006 | 95.10             | 5.00               | 94.74          |
| 8   | 24 April 2006 | 75.20             | 4.00               | 94.68          |
| 9   | 25 April 2006 | 76.40             | 3.70               | 95.16          |
| 10  | 26 April 2006 | 80.70             | 3.30               | 95.91          |
| 11  | 27 April 2006 | 82.10             | 5.20               | 93.67          |
| 12  | 28 April 2006 | 80.50             | 3.50               | 95.65          |
|     | Average       | 85.26             | 4.24               | 94.98          |
|     | Max           | 108.50            | 5.90               | 96.46          |
|     | Min           | 71.50             | 3.10               | 93.42          |
|     | S.D.          | 12.43             | 0.87               | 0.97           |

**ตารางผนวกที่ ข9** ประสิทธิภาพการกำจัดค่า COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

| No. | Date          | COD <sub>In</sub> | COD <sub>Eff</sub> | Effeciency (%) |
|-----|---------------|-------------------|--------------------|----------------|
| 1   | 11 April 2006 | 167.25            | 78.96              | 52.79          |
| 2   | 12 April 2006 | 188.67            | 122.68             | 34.98          |
| 3   | 15 April 2006 | 192.20            | 78.23              | 59.30          |
| 4   | 18 April 2006 | 155.60            | 80.56              | 48.23          |
| 5   | 19 April 2006 | 189.57            | 78.40              | 58.64          |
| 6   | 20 April 2006 | 200.45            | 95.32              | 52.45          |
| 7   | 21 April 2006 | 198.56            | 89.75              | 54.80          |
| 8   | 24 April 2006 | 165.52            | 79.50              | 51.97          |
| 9   | 25 April 2006 | 166.72            | 80.56              | 51.68          |
| 10  | 26 April 2006 | 172.34            | 69.52              | 59.66          |
| 11  | 27 April 2006 | 175.60            | 100.45             | 42.80          |
| 12  | 28 April 2006 | 170.23            | 76.12              | 55.28          |
|     | Average       | 178.56            | 85.84              | 51.88          |
|     | Max           | 200.45            | 122.68             | 59.66          |
|     | Min           | 155.60            | 69.52              | 34.98          |
|     | S.D.          | 14.68             | 14.44              | 7.16           |

**ตารางผนวกที่ ข10** ประสิทธิภาพการกำจัดค่า TOC ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

| No. | Date          | Organic Carbon <sub>In</sub> | Organic Carbon <sub>Eff</sub> | Effeciency (%) |
|-----|---------------|------------------------------|-------------------------------|----------------|
| 1   | 11 April 2006 | 45.36                        | 2.86                          | 93.69          |
| 2   | 12 April 2006 | 60.19                        | 4.36                          | 92.76          |
| 3   | 15 April 2006 | 58.29                        | 2.33                          | 96.00          |
| 4   | 18 April 2006 | 46.50                        | 3.23                          | 93.05          |
| 5   | 19 April 2006 | 70.24                        | 3.10                          | 95.59          |
| 6   | 20 April 2006 | 65.26                        | 3.74                          | 94.27          |
| 7   | 21 April 2006 | 62.40                        | 3.35                          | 94.63          |
| 8   | 24 April 2006 | 49.25                        | 2.93                          | 94.05          |
| 9   | 25 April 2006 | 50.10                        | 2.88                          | 94.25          |
| 10  | 26 April 2006 | 51.86                        | 2.50                          | 95.18          |
| 11  | 27 April 2006 | 55.11                        | 3.49                          | 93.67          |
| 12  | 28 April 2006 | 50.52                        | 2.67                          | 94.71          |
|     | Average       | 55.42                        | 3.12                          | 94.32          |
|     | Max           | 70.24                        | 4.36                          | 96.00          |
|     | Min           | 46.50                        | 2.33                          | 92.76          |
|     | S.D.          | 7.86                         | 0.56                          | 0.97           |

### ภาคผนวก ค

#### การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวอย่างน้ำเสีย

## 1. ความสัมพันธ์ของค่า BOD, COD และ TOC ของตัวอย่างน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

### 1.1 ความสัมพันธ์ของค่า BOD และ COD

เมื่อนำค่า BOD และ COD ของตัวอย่างน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงมาทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงและสหสัมพันธ์ รายละเอียดแสดงดังตารางผนวกที่ ค1

**ตารางผนวกที่ ค1** ผลการวิเคราะห์ความถดถอย และสหพันธ์ของตัวอย่างน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

| Model Summary |                   |          |                   |                            |
|---------------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model         | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1             | .926 <sup>a</sup> | .858     | .848              | 5.35100                    |

a Predictors: (Constant), VAR00001

จากตารางผนวกที่ ค1 การวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่า BOD และ COD มีความสัมพันธ์กันในทางบวก คือ BOD เพิ่มขึ้น COD จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกันในทิศทางเดียวกัน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) เท่ากับ 0.926 ความสัมพันธ์นี้มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ( $P\text{-value} = 0.05$ ) จากความสัมพันธ์สามารถพยากรณ์ค่า BOD ได้ถูกต้อง 85.80 เปอร์เซนต์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า BOD และ COD ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust  $R^2$  แสดงดังตารางผนวกที่ ค2

**ตารางผนวกที่ ค2** การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA<sup>b</sup>) เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust  $R^2$

| ANOVA <sup>b</sup> |            |                |    |             |        |                   |
|--------------------|------------|----------------|----|-------------|--------|-------------------|
| Model              |            | Sum of Squares | df | Mean Square | F      | Sig.              |
| 1                  | Regression | 2593.761       | 1  | 2593.761    | 90.586 | .000 <sup>a</sup> |
|                    | Residual   | 429.498        | 15 | 28.633      |        |                   |
|                    | Total      | 3023.259       | 16 |             |        |                   |

a Predictors: (Constant), VAR00001

b Dependent Variable: VAR00002

ตารางผนวกที่ ค2 พบว่า ค่า  $F = 90.586$  ค่า Sig. Of  $F = 0.000$  ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธ  $H_0$  (ไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน) นั่นคือ ค่า COD และ ค่า BOD มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

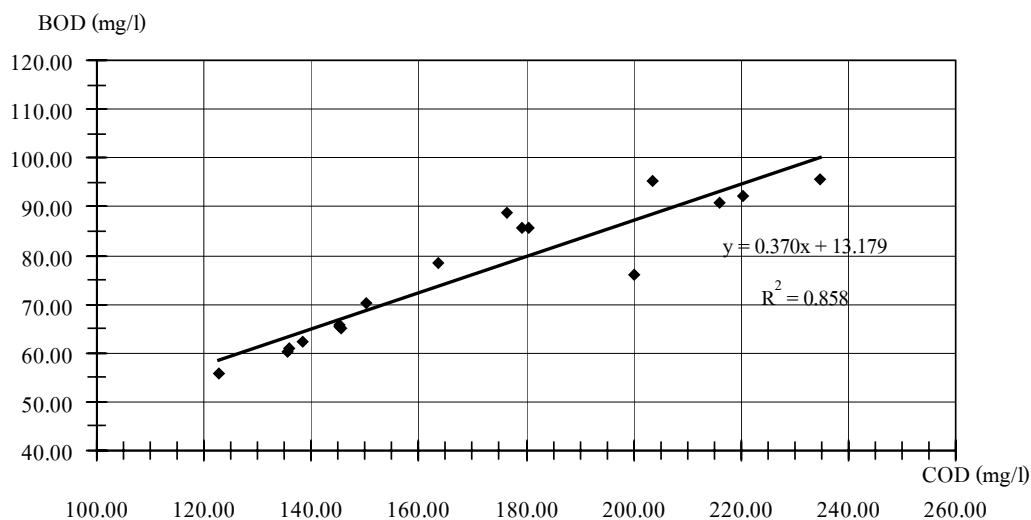
จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า BOD และ COD ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows ในการทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สมการถดถอย โดยพิจารณาจาก ค่า B-Unstandardized Coefficients ของค่า Y-intercept (a) และ ค่า Unstandardized regression Coefficients (b-weight) แสดงดังตารางผนวกที่ ค3

**ตารางผนวกที่ ค3** การทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สมการถดถอย

| Coefficients <sup>a</sup> |            |                             |            |                           |       |      |
|---------------------------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|-------|------|
| Model                     |            | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t     | Sig. |
|                           |            | B                           | Std. Error | Beta                      |       |      |
| 1                         | (Constant) | 13.179                      | 6.741      |                           | 1.955 | .069 |
|                           | VAR00001   | .370                        | .039       | .926                      | 9.518 | .000 |

a. Dependent Variable: VAR00002

จากตารางผนวกที่ ค3 พบว่า ค่า  $t = 9.518$  มีค่า Sig. Of  $t = 0.000$  ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรอิสระหรือค่า COD พยากรณ์ตัวแปรตามหรือค่า BOD ได้โดยใช้สมการ  $BOD = 0.370 \text{ COD} + 13.179$  เมื่อค่า COD เพิ่มขึ้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ค่า BOD เพิ่มขึ้น 0.370 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นกัน เส้นความสัมพันธ์ระหว่าง BOD/COD แสดงดังภาพผนวกที่ ค1



**ภาพผนวกที่ ค1** เส้นสมการถดถอยเชิงเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่าง BOD และ COD ของน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

## 1.2 ความสัมพันธ์ของค่า BOD และ TOC

เมื่อนำค่า BOD และ TOC ของตัวอย่างน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงมาทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงและสหสัมพันธ์ รายละเอียดแสดงดังตารางผนวกที่ ค4

**ตารางผนวกที่ ค4** ผลการวิเคราะห์ความถดถอย และสหพันธ์ของตัวอย่างน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

| Model Summary |                   |          |                   |                            |
|---------------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model         | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1             | .977 <sup>a</sup> | .955     | .952              | 3.01680                    |

a Predictors: (Constant), VAR00001

จากตารางผนวกที่ ค4 การวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่า BOD และ TOC มีความสัมพันธ์กันในทางบวก คือ BOD เพิ่มขึ้น TOC จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกันในทิศทางเดียวกัน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.977 ความสัมพันธ์นี้มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (P-value = 0.05) จากความสัมพันธ์สามารถพยากรณ์ค่า BOD ได้ถูกต้อง 95.50 เปอร์เซนต์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า BOD และ TOC ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust R<sup>2</sup> แสดงดังตารางผนวกที่ ค5

**ตารางผนวกที่ ค5** การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA<sup>b</sup>) เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust R<sup>2</sup>

| ANOVA <sup>b</sup> |            |                |    |             |         |                   |
|--------------------|------------|----------------|----|-------------|---------|-------------------|
| Model              |            | Sum of Squares | df | Mean Square | F       | Sig.              |
| 1                  | Regression | 2886.742       | 1  | 2886.742    | 317.186 | .000 <sup>a</sup> |
|                    | Residual   | 136.516        | 15 | 9.101       |         |                   |
|                    | Total      | 3023.259       | 16 |             |         |                   |

a Predictors: (Constant), VAR00001

b Dependent Variable: VAR00002

จากตารางผนวกที่ ค5 พบว่า ค่า F = 317.186 ค่า Sig. Of F = 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธ H<sub>0</sub> (ไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน) นั่นคือ ค่า TOC และ ค่า BOD มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

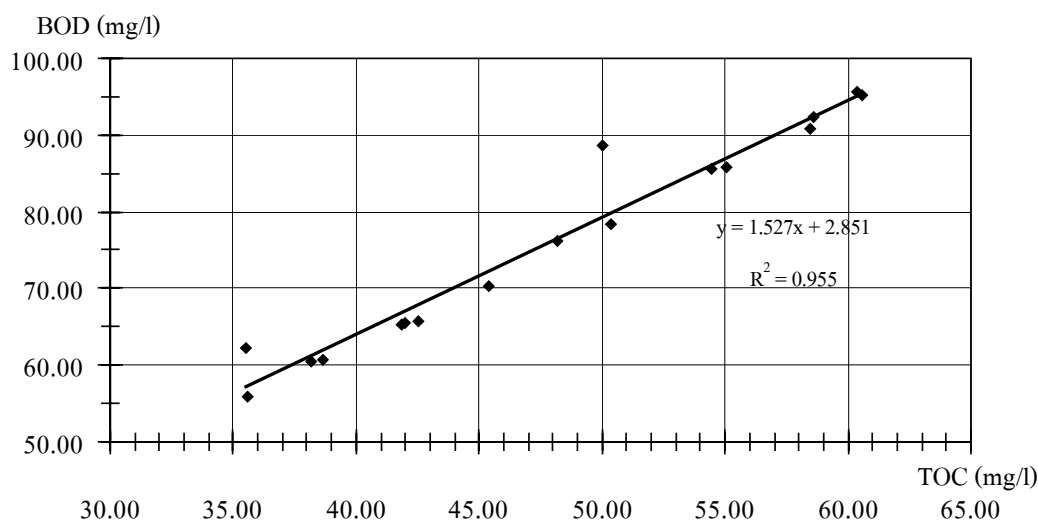
จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า BOD และ TOC ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows ในการทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สมการถดถอย โดยพิจารณาจาก ค่า B-Unstandardized Coefficients ของค่า Y-intercept (a) และ ค่า Unstandardized regression Coefficients (b-weight) แสดงดังตารางผนวกที่ ค6

**ตารางผนวกที่ ค6** การทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สมการถดถอย

| Coefficients <sup>a</sup> |            |                             |            |                           |        |      |
|---------------------------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| Model                     |            | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t      | Sig. |
|                           |            | B                           | Std. Error | Beta                      |        |      |
| 1                         | (Constant) | 2.851                       | 4.179      |                           | 0.682  | .506 |
|                           | VAR00001   | 1.527                       | .086       | .977                      | 17.810 | .000 |

a Dependent Variable: VAR00002

จากตารางผนวกที่ ค6 พบว่า ค่า t = 17.810 มีค่า Sig. Of t = 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรอิสระหรือค่า TOC พยากรณ์ตัวแปรตามหรือค่า BOD ได้โดยใช้สมการ BOD = 1.527 TOC + 2.851 เมื่อค่า TOC เพิ่มขึ้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ค่า BOD เพิ่มขึ้น 0.370 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นกัน เส้นความสัมพันธ์ระหว่าง BOD/COD แสดงดังภาพผนวกที่ ค2



**ภาพผนวกที่ ค2** เส้นสมการถดถอยเชิงเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่าง BOD และ TOC ของน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

### 1.3 ความสัมพันธ์ของค่า COD และ TOC

เมื่อนำค่า COD และ TOC ของตัวอย่างน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงมาทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงและสหสัมพันธ์ รายละเอียดแสดงดังตารางผนวกที่ ค7

**ตารางผนวกที่ ค7** ผลการวิเคราะห์ความถดถอย และสหพันธ์ของตัวอย่างน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

| Model Summary |                   |          |                   |                            |
|---------------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model         | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1             | .929 <sup>a</sup> | .862     | .853              | 13.19110                   |

a Predictors: (Constant), VAR00001

จากตารางผนวกที่ ค7 การวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่า COD และ TOC มีความสัมพันธ์กันในทางบวก คือ COD เพิ่มขึ้น TOC จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกันในทิศทางเดียวกัน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.929 ความสัมพันธ์นี้มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (P-value = 0.05) จากความสัมพันธ์สามารถพยากรณ์ค่า COD ได้ถูกต้อง 86.20 เปอร์เซนต์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า COD และ TOC ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust R<sup>2</sup> แสดงดังตารางที่ ค8

**ตารางผนวกที่ ค8** การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA<sup>b</sup>) เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust R<sup>2</sup>

| ANOVA <sup>b</sup> |            |                |    |             |        |                   |
|--------------------|------------|----------------|----|-------------|--------|-------------------|
| Model              |            | Sum of Squares | df | Mean Square | F      | Sig.              |
| 1                  | Regression | 16347.242      | 1  | 16347.242   | 93.947 | .000 <sup>a</sup> |
|                    | Residual   | 2610.078       | 15 | 174.005     |        |                   |
|                    | Total      | 18957.320      | 16 |             |        |                   |

a Predictors: (Constant), VAR00001

b Dependent Variable: VAR00002

จากตารางผนวกที่ ค8 พบว่า ค่า F = 93.947 ค่า Sig. Of F = 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธ H<sub>0</sub> (ไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน) นั่นคือ ค่า COD และ ค่า TOC มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

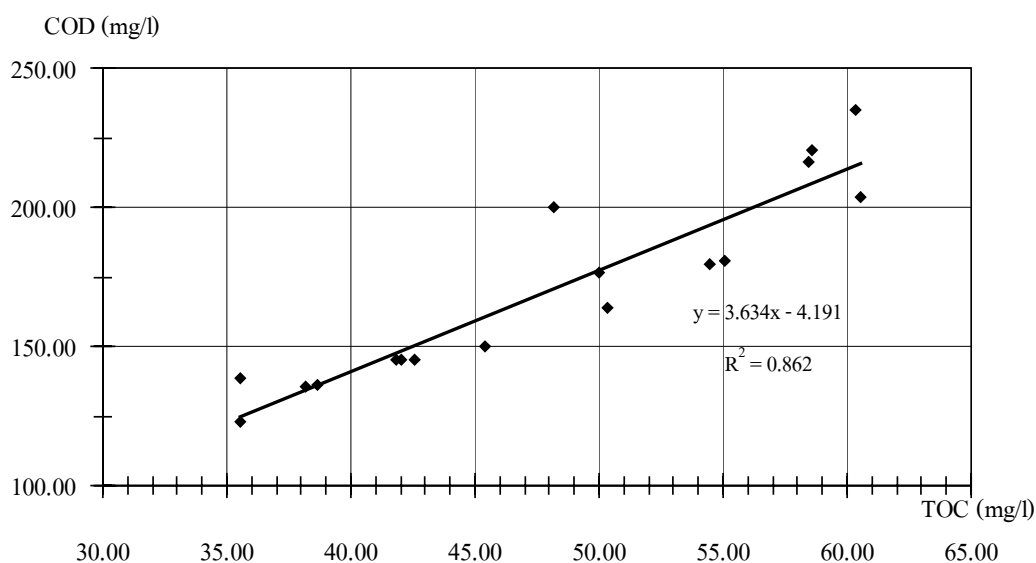
จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า COD และ TOC ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows ในการทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สมการถดถอย โดยพิจารณาจาก ค่า B-Unstandardized Coefficients ของค่า Y-intercept (a) และ ค่า Unstandardized regression Coefficients (b-weight) แสดงดังตารางผนวกที่ ค9

**ตารางผนวกที่ ค9** การทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สมการถดถอย

| Coefficients <sup>a</sup> |            |                             |            |                           |        |      |
|---------------------------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| Model                     |            | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t      | Sig. |
|                           |            | B                           | Std. Error | Beta                      |        |      |
| 1                         | (Constant) | -4.191                      | 18.275     |                           | -.229  | .506 |
|                           | VAR00001   | 3.634                       | .375       | .929                      | 9.6693 | .000 |

a Dependent Variable: VAR00002

จากตารางพหุคูณที่ ค9 พบว่า ค่า  $t = 9.6693$  มีค่า Sig. Of  $t = 0.000$  ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรอิสระหรือค่า TOC พยากรณ์ตัวแปรตามหรือค่า COD ได้โดยใช้สมการ  $COD = 3.634 TOC - 4.191$  เมื่อค่า TOC เพิ่มขึ้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ค่า COD เพิ่มขึ้น 1.527 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นกัน เส้นความสัมพันธ์ระหว่าง COD / TOC แสดงดังภาพพหุคูณที่ ค3



**ภาพพหุคูณที่ ค3** เส้นสมการถดถอยเชิงเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่าง COD และ TOC ของน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

## 2. ความสัมพันธ์ของค่า BOD, COD และ TOC ของตัวอย่างน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

### 2.1 ความสัมพันธ์ของค่า BOD และ COD

เมื่อนำค่า BOD และ COD ของตัวอย่างน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ มาทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงและสหสัมพันธ์ รายละเอียดแสดงดังตารางพหุคูณที่ ค10

**ตารางผนวกที่ ค10** ผลการวิเคราะห์ความถดถอย และสหพันธ์ของตัวอย่างน้ำเสียโรงควบคุม  
คุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

| Model Summary |                   |          |                   |                            |
|---------------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model         | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1             | .895 <sup>a</sup> | .801     | .781              | 5.82140                    |

a Predictors: (Constant), VAR00001

จากตารางผนวกที่ ค10 การวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่า BOD และ COD มีความสัมพันธ์กัน  
ในทางบวก คือ BOD เพิ่มขึ้น COD จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกันในทิศทางเดียวกัน  
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.895 ความสัมพันธ์นี้มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์  
(P-value = 0.05) จากความสัมพันธ์สามารถพยากรณ์ค่า BOD ได้ถูกต้อง 80.10 เปอร์เซนต์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า BOD และ COD ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows  
ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust R<sup>2</sup> แสดงดังตารางผนวกที่ ค11

**ตารางผนวกที่ ค11** การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA<sup>b</sup>) เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust R<sup>2</sup>

| ANOVA <sup>b</sup> |            |                |    |             |        |                   |
|--------------------|------------|----------------|----|-------------|--------|-------------------|
| Model              |            | Sum of Squares | df | Mean Square | F      | Sig.              |
| 1                  | Regression | 1361.763       | 1  | 1361.763    | 40.183 | .000 <sup>a</sup> |
|                    | Residual   | 338.887        | 10 | 33.889      |        |                   |
|                    | Total      | 1700.649       | 11 |             |        |                   |

a Predictors: (Constant), VAR00001

b Dependent Variable: VAR00002

จากตารางผนวกที่ ค11 พบว่า ค่า F = 40.183 ค่า Sig. Of F = 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05  
แสดงว่าปฏิเสธ H<sub>0</sub> (ไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน) นั่นคือ ค่า COD และ ค่า BOD มีความสัมพันธ์  
ซึ่งกันและกัน

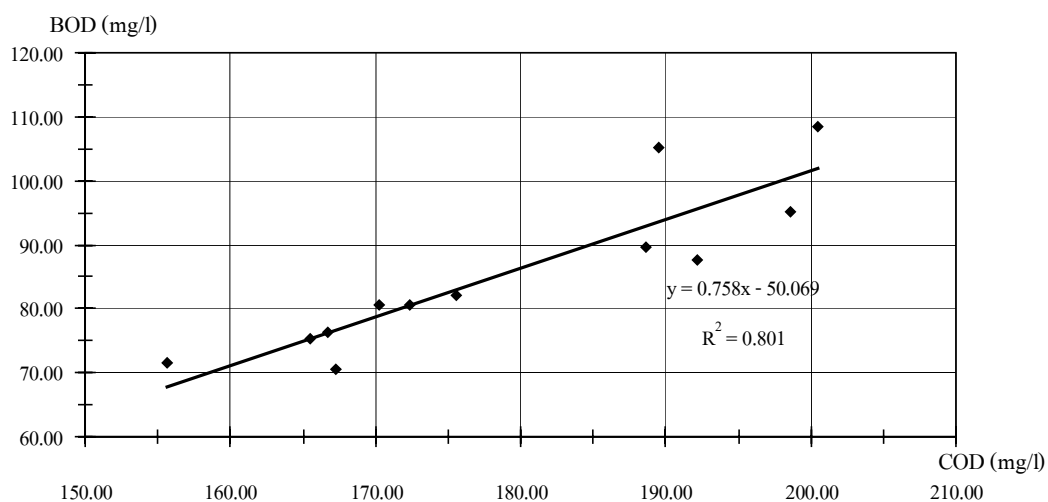
จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า BOD และ COD ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows  
ในการทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สมการถดถอย โดยพิจารณาจาก ค่า B-Unstandardized  
Coefficients ของค่า Y-intercept (a) และ ค่า Unstandardized regression Coefficients (b-weight)  
แสดงดังตารางผนวกที่ ค12

**ตารางผนวกที่ ค12** การทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สัมพรรคถอย

| Coefficients <sup>a</sup> |            |                             |            |                           |        |      |
|---------------------------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| Model                     |            | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t      | Sig. |
|                           |            | B                           | Std. Error | Beta                      |        |      |
| 1                         | (Constant) | -50.069                     | 21.414     |                           | -2.338 | .041 |
|                           | VAR00001   | .758                        | .120       | .895                      | 6.339  | .000 |

a. Dependent Variable: VAR00002

จากตารางผนวกที่ ค12 พบว่า ค่า  $t = 6.339$  มีค่า Sig. Of  $t = 0.000$  ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรอิสระหรือค่า COD พยากรณ์ตัวแปรตามหรือค่า BOD ได้โดยใช้สมการ  $BOD = 0.758 \text{ COD} - 50.069$  เมื่อค่า COD เพิ่มขึ้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ค่า BOD เพิ่มขึ้น 0.047 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นกัน เส้นความสัมพันธ์ระหว่าง BOD/COD แสดงดังภาพผนวกที่ ค4



**ภาพผนวกที่ ค4** เส้นสมการถดถอยเชิงเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่าง BOD และ COD ของน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

## 2.2 ความสัมพันธ์ของค่า BOD และ TOC

เมื่อนำค่า BOD และ TOC ของตัวอย่างน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ มาทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงและสหสัมพันธ์ รายละเอียดแสดงดังตารางผนวกที่ ค13

**ตารางผนวกที่ ค13** ผลการวิเคราะห์ความถดถอย และสหสัมพันธ์ของตัวอย่างน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

| Model Summary |                   |          |                   |                            |
|---------------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model         | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1             | .969 <sup>a</sup> | .939     | .932              | 3.23065                    |

a Predictors: (Constant), VAR00001

จากตารางผนวกที่ ค13 การวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่า BOD และ TOC มีความสัมพันธ์กันในทางบวก คือ BOD เพิ่มขึ้น TOC จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกันในทิศทางเดียวกัน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.969 ความสัมพันธ์นี้มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (P-value = 0.05) จากความสัมพันธ์สามารถพยากรณ์ค่า BOD ได้ถูกต้อง 93.90 เปอร์เซนต์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า BOD และ TOC ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust R<sup>2</sup> แสดงดังตารางผนวกที่ ค14

**ตารางผนวกที่ ค14** การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA<sup>b</sup>) เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust R<sup>2</sup>

| ANOVA <sup>b</sup> |            |                |    |             |         |                   |
|--------------------|------------|----------------|----|-------------|---------|-------------------|
| Model              |            | Sum of Squares | df | Mean Square | F       | Sig.              |
| 1                  | Regression | 1596.278       | 1  | 1596.278    | 152.942 | .000 <sup>a</sup> |
|                    | Residual   | 104.371        | 10 | 10.437      |         |                   |
|                    | Total      | 1700.649       | 11 |             |         |                   |

a Predictors: (Constant), VAR00001

b Dependent Variable: VAR00002

จากตารางพหุคูณที่ ค14 พบว่า ค่า  $F = 152.942$  ค่า  $\text{Sig. Of } F = 0.000$  ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธ  $H_0$  (ไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน) นั่นคือ ค่า TOC และ ค่า BOD มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

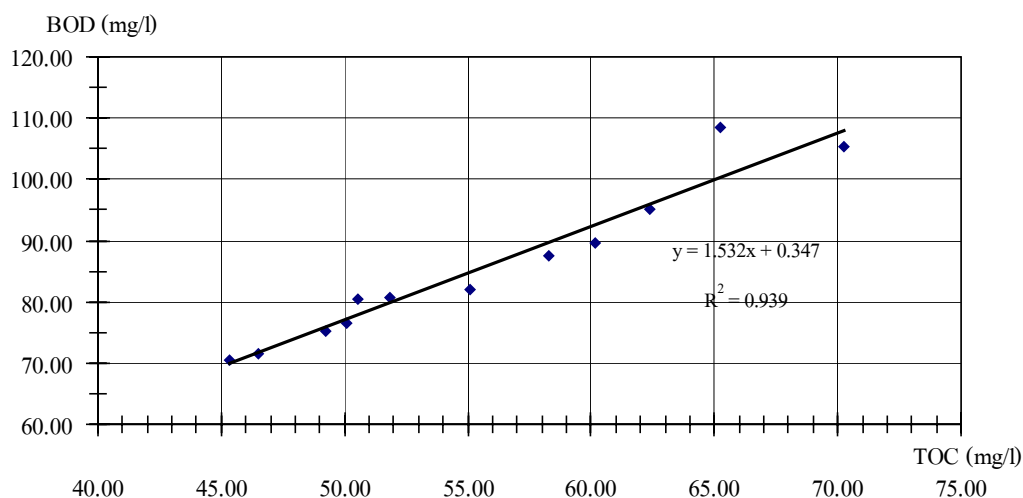
จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า BOD และ TOC ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows ในการทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สมการถดถอย โดยพิจารณาจาก ค่า B-Unstandardized Coefficients ของค่า Y-intercept (a) และ ค่า Unstandardized regression Coefficients (b-weight) แสดงดังตารางพหุคูณที่ ค15

**ตารางพหุคูณที่ ค15** การทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สมการถดถอย

| Coefficients <sup>a</sup> |            |                             |            |                           |        |      |
|---------------------------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| Model                     |            | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t      | Sig. |
|                           |            | B                           | Std. Error | Beta                      |        |      |
| 1                         | (Constant) | .347                        | 6.929      |                           | 0.050  | .961 |
|                           | VAR00001   | 1.532                       | .124       | .969                      | 12.367 | .000 |

a. Dependent Variable: VAR00002

จากตารางพหุคูณที่ ค15 พบว่า ค่า  $t = 12.367$  มีค่า  $\text{Sig. Of } t = 0.000$  ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรอิสระหรือค่า TOC พยากรณ์ตัวแปรตามหรือค่า BOD ได้โดยใช้สมการ  $BOD = 1.532 \text{ TOC} + 0.347$  เมื่อค่า TOC เพิ่มขึ้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ค่า BOD เพิ่มขึ้น 1.153 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นกัน เส้นความสัมพันธ์ระหว่าง BOD/ TOC แสดงดังภาพพหุคูณที่ ค5



**ภาพผนวกที่ ค5** เส้นสมการถดถอยเชิงเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่าง BOD และ TOC ของน้ำเสีย โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

### 2.3 ความสัมพันธ์ของค่า COD และ TOC

เมื่อนำค่า COD และ TOC ของตัวอย่างน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ มาทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงและสหสัมพันธ์ รายละเอียดแสดงดังตารางผนวกที่ ค16

**ตารางผนวกที่ ค16** ผลการวิเคราะห์ความถดถอย และสหพันธ์ของตัวอย่างน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

| Model Summary |                   |          |                   |                            |
|---------------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model         | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1             | .891 <sup>a</sup> | .794     | .773              | 6.98894                    |

a. Predictors: (Constant), VAR00001

จากตารางที่ ค-16 การวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่า COD และ TOC มีความสัมพันธ์กันในทางบวก คือ COD เพิ่มขึ้น TOC จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกันในทิศทางเดียวกัน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.891 ความสัมพันธ์นี้มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (P-value = 0.05) จากความสัมพันธ์สามารถพยากรณ์ค่า COD ได้ถูกต้อง 79.40 เปอร์เซนต์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า COD และ TOC ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust R<sup>2</sup> แสดงดังตารางผนวกที่ ค17

**ตารางผนวกที่ ค17** การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA<sup>b</sup>) เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust R<sup>2</sup>

| ANOVA <sup>b</sup> |            |                |    |             |        |                   |
|--------------------|------------|----------------|----|-------------|--------|-------------------|
| Model              |            | Sum of Squares | df | Mean Square | F      | Sig.              |
| 1                  | Regression | 1882.345       | 1  | 1882.345    | 38.537 | .000 <sup>a</sup> |
|                    | Residual   | 488.453        | 10 | 48.845      |        |                   |
|                    | Total      | 2370.798       | 11 |             |        |                   |

a Predictors: (Constant), VAR00001

b Dependent Variable: VAR00002

จากตารางผนวกที่ ค17 พบว่า ค่า F = 38.537 ค่า Sig. Of F = 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธ H<sub>0</sub> (ไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน) นั่นคือ ค่า COD และ ค่า TOC มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

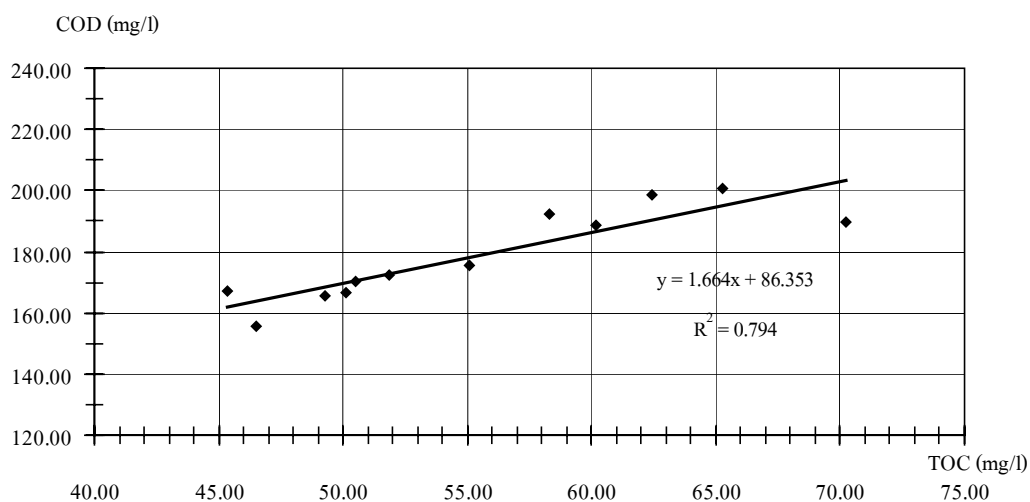
จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า COD และ TOC ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows ในการทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สมการถดถอย โดยพิจารณาจาก ค่า B-Unstandardized Coefficients ของค่า Y-intercept (a) และ ค่า Unstandardized regression Coefficients (b-weight) แสดงดังตารางผนวกที่ ค18

**ตารางผนวกที่ ค18** การทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สมการถดถอย

| Coefficients <sup>a</sup> |            |                             |            |                           |       |      |
|---------------------------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|-------|------|
| Model                     |            | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t     | Sig. |
|                           |            | B                           | Std. Error | Beta                      |       |      |
| 1                         | (Constant) | 86.353                      | 14.990     |                           | 5.761 | .000 |
|                           | VAR00001   | 1.664                       | .368       | .891                      | 6.208 | .000 |

a Dependent Variable: VAR00002

จากตารางพหุคูณที่ ค18 พบว่า ค่า  $t = 6.208$  มีค่า Sig. Of  $t = 0.000$  ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรอิสระหรือค่า TOC พยากรณ์ตัวแปรตามหรือค่า COD ได้โดยใช้สมการ  $COD = 1.664 TOC + 86.353$  เมื่อค่า TOC เพิ่มขึ้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ค่า COD เพิ่มขึ้น 22.745 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นกัน เส้นความสัมพันธ์ระหว่าง COD / TOC แสดงดังภาพพหุคูณที่ ค6



**ภาพพหุคูณที่ ค6** เส้นสมการถดถอยเชิงเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่าง COD และ TOC ของน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

### ภาคผนวก ง

#### การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวอย่างน้ำทิ้ง

## 1. ความสัมพันธ์ของค่า BOD, COD และ TOC ของตัวอย่างน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

### 1.1 ความสัมพันธ์ของค่า BOD และ COD

เมื่อนำค่า BOD และ COD ของตัวอย่างน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงมาทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงและสหสัมพันธ์ รายละเอียดแสดงดังตารางผนวกที่ 1

**ตารางผนวกที่ 1** ผลการวิเคราะห์ความถดถอย และสหสัมพันธ์ของตัวอย่างน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

| Model Summary |                   |          |                   |                            |
|---------------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model         | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1             | .922 <sup>a</sup> | .850     | .846              | .34039                     |

a Predictors: (Constant), VAR00001

จากตารางผนวกที่ 1 การวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่า BOD และ COD มีความสัมพันธ์กันในทางบวก คือ BOD เพิ่มขึ้น COD จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกันในทิศทางเดียวกัน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.922 ความสัมพันธ์นี้มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P-value = 0.05) จากความสัมพันธ์สามารถพยากรณ์ค่า BOD ได้ถูกต้อง 85.00 เปอร์เซ็นต์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า BOD และ COD ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust R<sup>2</sup> แสดงดังตารางผนวกที่ 2

**ตารางผนวกที่ 2** การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA<sup>b</sup>) เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust R<sup>2</sup>

| ANOVA <sup>b</sup> |            |                |    |             |         |                   |
|--------------------|------------|----------------|----|-------------|---------|-------------------|
| Model              |            | Sum of Squares | df | Mean Square | F       | Sig.              |
| 1                  | Regression | 24.330         | 1  | 24.330      | 209.992 | .000 <sup>a</sup> |
|                    | Residual   | 4.287          | 37 | .116        |         |                   |
|                    | Total      | 28.617         | 38 |             |         |                   |

a Predictors: (Constant), VAR00001

b Dependent Variable: VAR00002

จากตารางพหุคูณที่ ๓2 พบว่า ค่า  $F = 209.992$  ค่า  $\text{Sig. Of } F = 0.000$  ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธ  $H_0$  (ไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน) นั่นคือ ค่า COD และ ค่า BOD มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

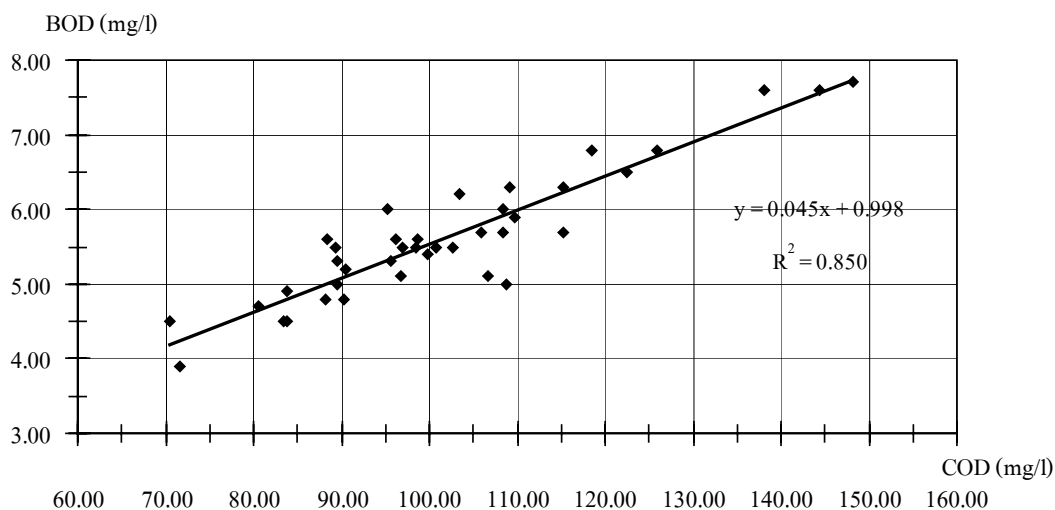
จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า BOD และ COD ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows ในการทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สมการถดถอย โดยพิจารณาจาก ค่า B-Unstandardized Coefficients ของค่า Y-intercept (a) และ ค่า Unstandardized regression Coefficients (b-weight) แสดงดังตารางพหุคูณที่ ๓3

**ตารางพหุคูณที่ ๓3** การทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สมการถดถอย

| Coefficients <sup>a</sup> |            |                             |            |                           |        |      |
|---------------------------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| Model                     |            | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t      | Sig. |
|                           |            | B                           | Std. Error | Beta                      |        |      |
| 1                         | (Constant) | 0.998                       | .323       |                           | 3.086  | .004 |
|                           | VAR00001   | .045                        | .003       | .922                      | 14.491 | .000 |

a. Dependent Variable: VAR00002

จากตารางพหุคูณที่ ๓3 พบว่า ค่า  $t = 14.491$  มีค่า  $\text{Sig. Of } t = 0.000$  ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรอิสระหรือค่า COD พยากรณ์ตัวแปรตามหรือค่า BOD ได้โดยใช้สมการ  $BOD = 0.045 \text{ COD} + 0.998$  เมื่อค่า COD เพิ่มขึ้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ค่า BOD เพิ่มขึ้น 0.045 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นกัน เส้นความสัมพันธ์ระหว่าง BOD/COD แสดงดังภาพพหุคูณที่ ๓1



**ภาพผนวกที่ ๓1** เส้นสมการถดถอยเชิงเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่าง BOD และ COD  
ของน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

## 1.2 ความสัมพันธ์ของค่า BOD และ TOC

เมื่อนำค่า BOD และ TOC ของตัวอย่างน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงมาทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงและสหสัมพันธ์ รายละเอียดแสดงดังตารางผนวกที่ ๓4

**ตารางผนวกที่ ๓4** ผลการวิเคราะห์ความถดถอย และสหพันธ์ของตัวอย่างน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำ  
ดินแดง

| Model Summary |                   |          |                   |                            |
|---------------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model         | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1             | .954 <sup>a</sup> | .911     | .908              | .26298                     |

a Predictors: (Constant), VAR00001

จากตารางผนวกที่ ๓4 การวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่า BOD และ TOC มีความสัมพันธ์กันในทางบวก คือ BOD เพิ่มขึ้น TOC จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกันในทิศทางเดียวกัน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.954 ความสัมพันธ์นี้มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (P-value = 0.05) จากความสัมพันธ์สามารถพยากรณ์ค่า BOD ได้ถูกต้อง 91.10 เปอร์เซนต์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า BOD และ TOC ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust R<sup>2</sup> แสดงดังตารางผนวกที่ ๖5

**ตารางผนวกที่ ๖5** การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA<sup>b</sup>) เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust R<sup>2</sup>

| ANOVA <sup>b</sup> |            |                |    |             |         |                   |
|--------------------|------------|----------------|----|-------------|---------|-------------------|
| Model              |            | Sum of Squares | df | Mean Square | F       | Sig.              |
| 1                  | Regression | 26.059         | 1  | 26.059      | 376.804 | .000 <sup>a</sup> |
|                    | Residual   | 2.559          | 37 | .069        |         |                   |
|                    | Total      | 28.617         | 38 |             |         |                   |

a Predictors: (Constant), VAR00001

b Dependent Variable: VAR00002

จากตารางผนวกที่ ๖5 พบว่า ค่า F = 376.804 ค่า Sig. Of F = 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธ H<sub>0</sub> (ไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน) นั่นคือ ค่า TOC และ ค่า BOD มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า BOD และ TOC ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows ในการทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สมการถดถอย โดยพิจารณาจาก ค่า B-Unstandardized Coefficients ของค่า Y-intercept (a) และ ค่า Unstandardized regression Coefficients (b-weight) แสดงดังตารางผนวกที่ ๖6

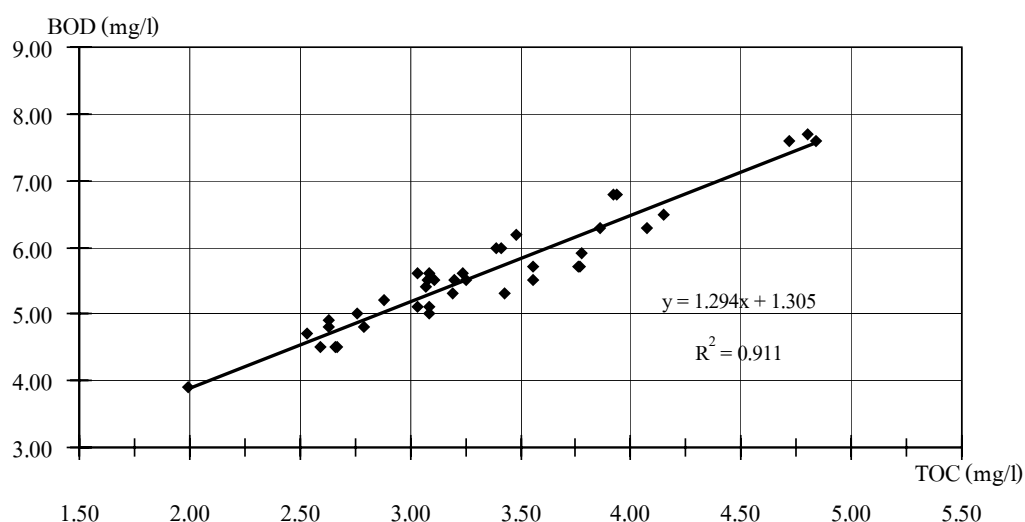
**ตารางผนวกที่ ๖6** การทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สมการถดถอย

| Coefficients <sup>a</sup> |            |                             |            |                           |        |      |
|---------------------------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| Model                     |            | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t      | Sig. |
|                           |            | B                           | Std. Error | Beta                      |        |      |
| 1                         | (Constant) | 1.305                       | .226       |                           | 5.768  | .000 |
|                           | VAR00001   | 1.294                       | .067       | .954                      | 19.411 | .000 |

a Dependent Variable: VAR00002

จากตารางพหุนกที่ 6 พบว่า ค่า  $t = 19.411$  มีค่า Sig. Of  $t = 0.000$  ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรอิสระหรือค่า TOC พยากรณ์ตัวแปรตามหรือค่า BOD ได้โดยใช้สมการ  $BOD = 1.294 TOC + 1.305$  เมื่อค่า TOC เพิ่มขึ้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ค่า BOD เพิ่มขึ้น 1.294 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นกัน

เส้นความสัมพันธ์ระหว่าง BOD/ TOC แสดงดังภาพพหุนกที่ 2



**ภาพพหุนกที่ 2** เส้นสมการถดถอยเชิงเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่าง BOD และ TOC ของน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

### 1.3 ความสัมพันธ์ของค่า COD และ TOC

เมื่อนำค่า COD และ TOC ของตัวอย่างน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงมาทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงและสหสัมพันธ์ รายละเอียดแสดงดังตารางพหุนกที่ 7

**ตารางพหุนกที่ 7** ผลการวิเคราะห์ความถดถอย และสหพันธ์ของตัวอย่างน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

| Model Summary |                   |          |                   |                            |
|---------------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model         | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1             | .927 <sup>a</sup> | .859     | .855              | 6.70466                    |

a Predictors: (Constant), VAR00001

จากตารางผนวกที่ ๗ การวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่า COD และ TOC มีความสัมพันธ์กันในทางบวก คือ COD เพิ่มขึ้น TOC จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกันในทิศทางเดียวกัน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.927 ความสัมพันธ์นี้มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (P-value = 0.05) จากความสัมพันธ์สามารถพยากรณ์ค่า COD ได้ถูกต้อง 85.90 เปอร์เซนต์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า COD และ TOC ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust R<sup>2</sup> แสดงดังตารางผนวกที่ ๘

**ตารางผนวกที่ ๘** การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA<sup>b</sup>) เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust R<sup>2</sup>

| ANOVA <sup>b</sup> |            |                |    |             |         |                   |
|--------------------|------------|----------------|----|-------------|---------|-------------------|
| Model              |            | Sum of Squares | df | Mean Square | F       | Sig.              |
| 1                  | Regression | 10145.297      | 1  | 10145.297   | 225.689 | .000 <sup>a</sup> |
|                    | Residual   | 1663.241       | 37 | 44.952      |         |                   |
|                    | Total      | 11808.538      | 38 |             |         |                   |

a Predictors: (Constant), VAR00001

b Dependent Variable: VAR00002

จากตารางผนวกที่ ๘ พบว่า ค่า F = 225.689 ค่า Sig. Of F = 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธ H<sub>0</sub> (ไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน) นั่นคือ ค่า COD และ ค่า TOC มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

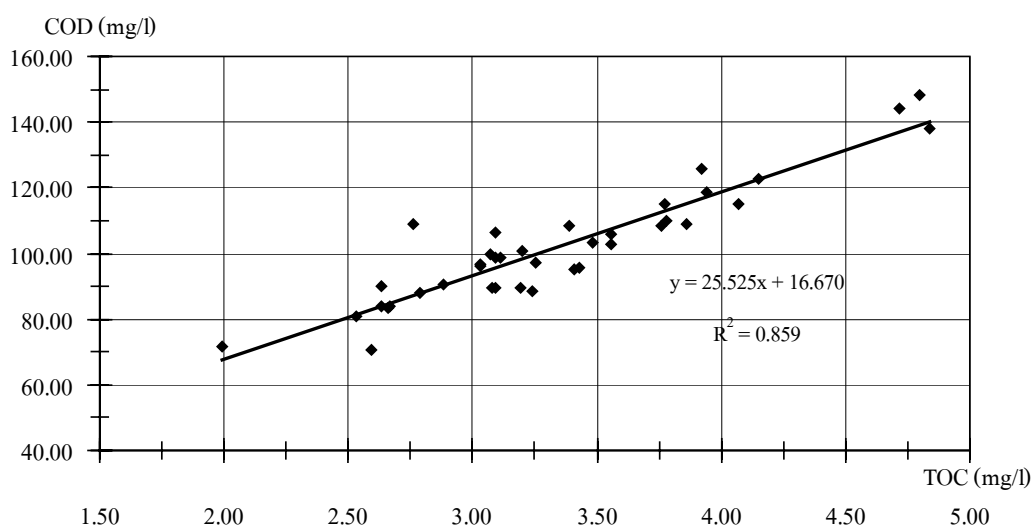
จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า COD และ TOC ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows ในการทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สมการถดถอย โดยพิจารณาจาก ค่า B-Unstandardized Coefficients ของค่า Y-intercept (a) และ ค่า Unstandardized regression Coefficients (b-weight) แสดงดังตารางผนวกที่ ๙

**ตารางผนวกที่ 9** การทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สัมพรรคถอย

| Coefficients <sup>a</sup> |            |                             |            |                           |        |      |
|---------------------------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| Model                     |            | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t      | Sig. |
|                           |            | B                           | Std. Error | Beta                      |        |      |
| 1                         | (Constant) | 16.670                      | 5.766      |                           | 2.891  | .006 |
|                           | VAR00001   | 25.525                      | 1.699      | .927                      | 15.023 | .000 |

a. Dependent Variable: VAR00002

จากตารางผนวกที่ 9 พบว่า ค่า  $t = 15.023$  มีค่า Sig. Of  $t = 0.000$  ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรอิสระหรือค่า TOC พยากรณ์ตัวแปรตามหรือค่า COD ได้โดยใช้สมการ  $COD = 25.525 \text{ TOC} + 16.670$  เมื่อค่า TOC เพิ่มขึ้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ค่า COD เพิ่มขึ้น 25.525 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นกัน เส้นความสัมพันธ์ระหว่าง COD / TOC แสดงดังภาพผนวกที่ 3



**ภาพผนวกที่ 3** เส้นสมการถดถอยเชิงเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่าง COD และ TOC ของน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

## 2. ความสัมพันธ์ของค่า BOD, COD และ TOC ของตัวอย่างน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

### 2.1 ความสัมพันธ์ของค่า BOD และ COD

เมื่อนำค่า BOD และ COD ของตัวอย่างน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ มาทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงและสหสัมพันธ์ รายละเอียดแสดงดังตารางผนวกที่ 10

**ตารางผนวกที่ 10** ผลการวิเคราะห์ความถดถอย และสหพันธ์ของตัวอย่างน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

| Model Summary |                   |          |                   |                            |
|---------------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model         | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1             | .941 <sup>a</sup> | .885     | .881              | .29705                     |

a Predictors: (Constant), VAR00001

จากตารางผนวกที่ 10 การวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่า BOD และ COD มีความสัมพันธ์กันในทางบวก คือ BOD เพิ่มขึ้น COD จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกันในทิศทางเดียวกัน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.941 ความสัมพันธ์นี้มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (P-value = 0.05) จากความสัมพันธ์สามารถพยากรณ์ค่า BOD ได้ถูกต้อง 88.50 เปอร์เซนต์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า BOD และ COD ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust R<sup>2</sup> แสดงดังตารางผนวกที่ 11

**ตารางผนวกที่ 11** การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA<sup>b</sup>) เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust R<sup>2</sup>

| ANOVA <sup>b</sup> |            |                |    |             |         |                   |
|--------------------|------------|----------------|----|-------------|---------|-------------------|
| Model              |            | Sum of Squares | df | Mean Square | F       | Sig.              |
| 1                  | Regression | 19.660         | 1  | 19.660      | 222.809 | .000 <sup>a</sup> |
|                    | Residual   | 2.559          | 29 | .088        |         |                   |
|                    | Total      | 22.219         | 30 |             |         |                   |

a Predictors: (Constant), VAR00001

b Dependent Variable: VAR00002

จากตารางพหุคูณที่ 11 พบว่า ค่า  $F = 222.809$  ค่า Sig. Of  $F = 0.000$  ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธ  $H_0$  (ไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน) นั่นคือ ค่า COD และ ค่า BOD มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

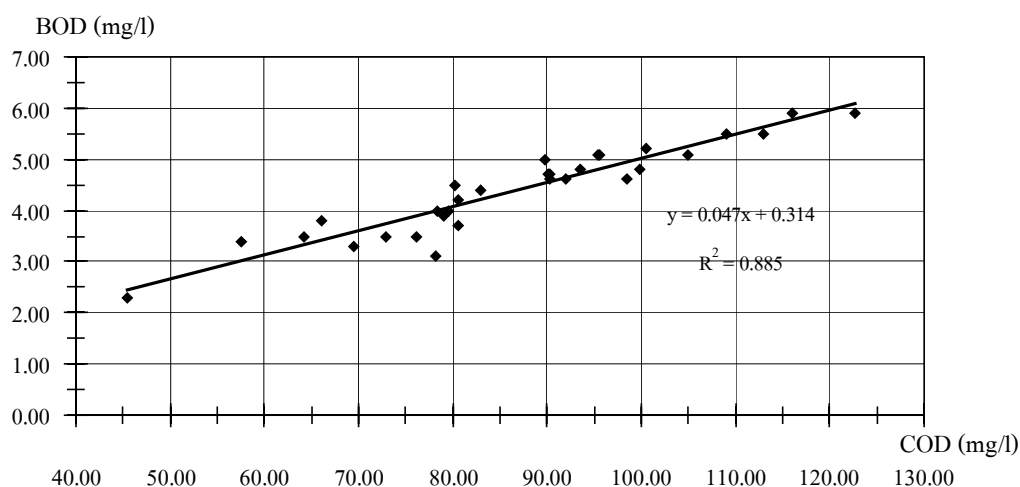
จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า BOD และ COD ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows ในการทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สมการถดถอย โดยพิจารณาจาก ค่า B-Unstandardized Coefficients ของค่า Y-intercept (a) และ ค่า Unstandardized regression Coefficients (b-weight) แสดงดังตารางพหุคูณที่ 12

**ตารางพหุคูณที่ 12** การทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สมการถดถอย

| Coefficients <sup>a</sup> |            |                             |            |                           |        |      |
|---------------------------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| Model                     |            | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t      | Sig. |
|                           |            | B                           | Std. Error | Beta                      |        |      |
| 1                         | (Constant) | 0.314                       | .278       |                           | 1.129  | .268 |
|                           | VAR00001   | .047                        | .003       | .941                      | 14.927 | .000 |

a. Dependent Variable: VAR00002

จากตารางพหุคูณที่ 12 พบว่า ค่า  $t = 14.927$  มีค่า Sig. Of  $t = 0.000$  ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรอิสระหรือค่า COD พยากรณ์ตัวแปรตามหรือค่า BOD ได้โดยใช้สมการ  $BOD = 0.047 COD + 0.314$  เมื่อค่า COD เพิ่มขึ้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ค่า BOD เพิ่มขึ้น 0.047 มิลลิกรัมต่อลิตรเช่นกัน เส้นความสัมพันธ์ระหว่าง BOD/COD แสดงดังภาพพหุคูณที่ 14



**ภาพผนวกที่ ๑4** เส้นสมการถดถอยเชิงเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่าง BOD และ COD ของน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

## 2.2 ความสัมพันธ์ของค่า BOD และ TOC

เมื่อนำค่า BOD และ TOC ของตัวอย่างน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์มาทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงและสหสัมพันธ์ รายละเอียดแสดงดังตารางผนวกที่ ๑3

**ตารางผนวกที่ ๑3** ผลการวิเคราะห์ความถดถอย และสหพันธ์ของตัวอย่างน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

| Model Summary |                   |          |                   |                            |
|---------------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model         | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1             | .953 <sup>a</sup> | .909     | .906              | .26395                     |

a Predictors: (Constant), VAR00001

จากตารางผนวกที่ ๑3 การวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่า BOD และ TOC มีความสัมพันธ์กันในทางบวก คือ BOD เพิ่มขึ้น TOC จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกันในทิศทางเดียวกัน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) เท่ากับ 0.953 ความสัมพันธ์นี้มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (P-value = 0.05) จากความสัมพันธ์สามารถพยากรณ์ค่า BOD ได้ถูกต้อง 90.90 เปอร์เซนต์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า BOD และ TOC ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust R<sup>2</sup> แสดงดังตารางผนวกที่ ง14

**ตารางผนวกที่ ง14** การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA<sup>b</sup>) เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust R<sup>2</sup>

| ANOVA <sup>b</sup> |            |                |    |             |         |                   |
|--------------------|------------|----------------|----|-------------|---------|-------------------|
| Model              |            | Sum of Squares | df | Mean Square | F       | Sig.              |
| 1                  | Regression | 20.198         | 1  | 20.198      | 289.921 | .000 <sup>a</sup> |
|                    | Residual   | 2.020          | 29 | .070        |         |                   |
|                    | Total      | 22.219         | 30 |             |         |                   |

a Predictors: (Constant), VAR00001

b Dependent Variable: VAR00002

จากตารางผนวกที่ ง14 พบว่า ค่า F = 289.921 ค่า Sig. Of F = 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธ H<sub>0</sub> (ไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน) นั่นคือ ค่า TOC และ ค่า BOD มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

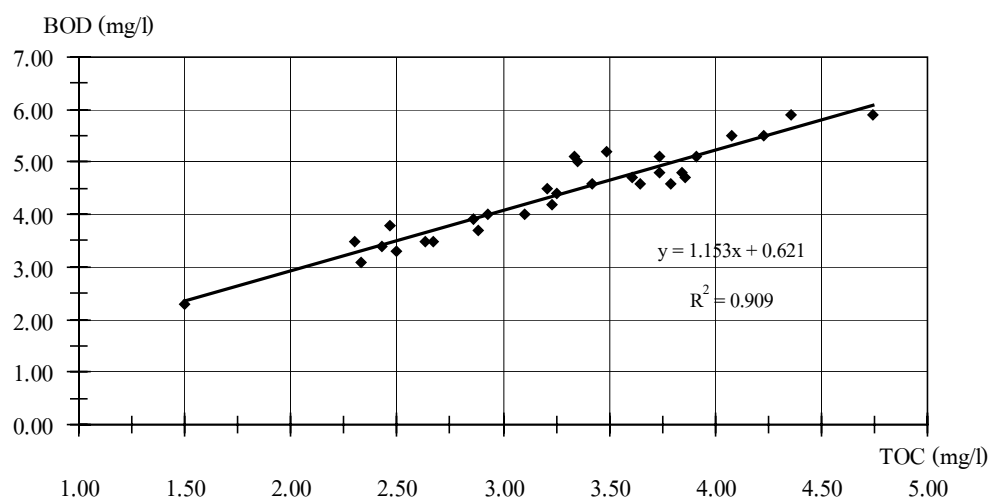
จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า BOD และ TOC ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows ในการทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สมการถดถอย โดยพิจารณาจาก ค่า B-Unstandardized Coefficients ของค่า Y-intercept (a) และ ค่า Unstandardized regression Coefficients (b-weight) แสดงดังตารางผนวกที่ ง15

**ตารางผนวกที่ ง15** การทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สมการถดถอย

| Coefficients <sup>a</sup> |            |                             |            |                           |        |      |
|---------------------------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| Model                     |            | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t      | Sig. |
|                           |            | B                           | Std. Error | Beta                      |        |      |
| 1                         | (Constant) | .621                        | .227       |                           | 2.743  | .010 |
|                           | VAR00001   | 1.153                       | .068       | .953                      | 17.027 | .000 |

a Dependent Variable: VAR00002

จากตารางพหุคูณที่ 15 พบว่า ค่า  $t = 17.027$  มีค่า Sig. Of  $t = 0.000$  ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรอิสระหรือค่า TOC พยากรณ์ตัวแปรตามหรือค่า BOD ได้โดยใช้สมการ  $BOD = 1.153 \text{ TOC} + 0.621$  เมื่อค่า TOC เพิ่มขึ้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ค่า BOD เพิ่มขึ้น 1.153 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นกัน เส้นความสัมพันธ์ระหว่าง BOD/ TOC แสดงดังภาพพหุคูณที่ 5



**ภาพพหุคูณที่ 5** เส้นสมการถดถอยเชิงเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่าง BOD และ TOC ของน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

### 2.3 ความสัมพันธ์ของค่า COD และ TOC

เมื่อนำค่า COD และ TOC ของตัวอย่างน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์มาทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงและสหสัมพันธ์ รายละเอียดแสดงดังตารางพหุคูณที่ 16

**ตารางพหุคูณที่ 16** ผลการวิเคราะห์ความถดถอย และสหพันธ์ของตัวอย่างน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

| Model Summary |                   |          |                   |                            |
|---------------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model         | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1             | .939 <sup>a</sup> | .882     | .878              | 6.01761                    |

a Predictors: (Constant), VAR00001

จากตารางผนวกที่ 16 การวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่า COD และ TOC มีความสัมพันธ์กัน  
ในทางบวก คือ COD เพิ่มขึ้น TOC จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกันในทิศทางเดียวกัน  
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.939 ความสัมพันธ์นี้มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์  
(P-value = 0.05) จากความสัมพันธ์สามารถพยากรณ์ค่า COD ได้ถูกต้อง 88.20 เปอร์เซ็นต์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า COD และ TOC ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows  
ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust R<sup>2</sup> แสดงดังตารางผนวกที่ 17

**ตารางผนวกที่ 17** การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA<sup>b</sup>) เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า Adjust R<sup>2</sup>

| ANOVA <sup>b</sup> |            |                |    |             |         |                   |
|--------------------|------------|----------------|----|-------------|---------|-------------------|
| Model              |            | Sum of Squares | df | Mean Square | F       | Sig.              |
| 1                  | Regression | 7862.926       | 1  | 7862.926    | 217.138 | .000 <sup>a</sup> |
|                    | Residual   | 1050.137       | 29 | 36.212      |         |                   |
|                    | Total      | 8913.064       | 30 |             |         |                   |

a Predictors: (Constant), VAR00001

b Dependent Variable: VAR00002

จากตารางผนวกที่ 17 พบว่า ค่า F = 217.138 ค่า Sig. Of F = 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05  
แสดงว่าปฏิเสธ H<sub>0</sub> (ไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน) นั่นคือ ค่า COD และ ค่า TOC มีความสัมพันธ์  
ซึ่งกันและกัน

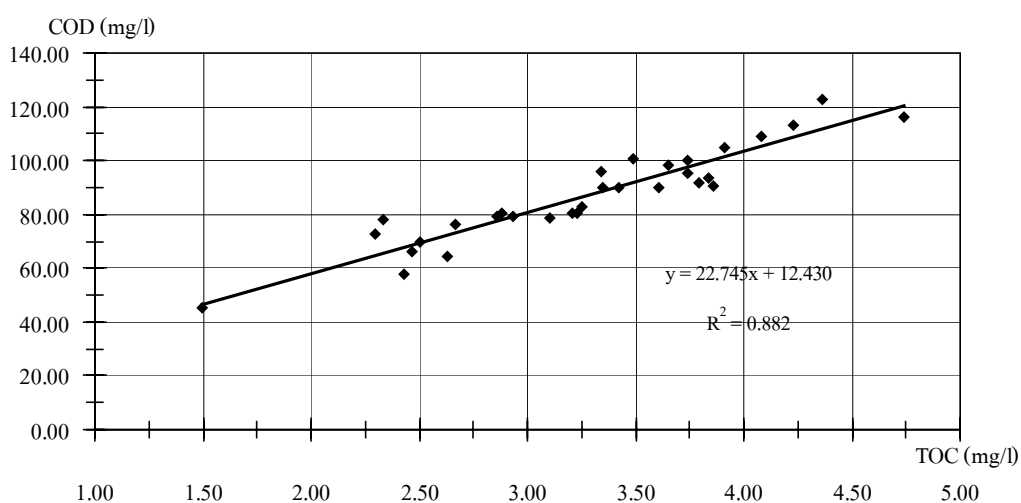
จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่า COD และ TOC ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS 14.0 for Windows  
ในการทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สมการถดถอย โดยพิจารณาจาก ค่า B-Unstandardized  
Coefficients ของค่า Y-intercept (a) และ ค่า Unstandardized regression Coefficients (b-weight)  
แสดงดังตารางผนวกที่ 18

**ตารางผนวกที่ 18** การทดสอบนัยสำคัญของการพยากรณ์สมการถดถอย

| Coefficients <sup>a</sup> |            |                             |            |                           |        |      |
|---------------------------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| Model                     |            | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t      | Sig. |
|                           |            | B                           | Std. Error | Beta                      |        |      |
| 1                         | (Constant) | 12.430                      | 5.165      |                           | 2.406  | .023 |
|                           | VAR00001   | 22.745                      | 1.544      | .939                      | 14.736 | .000 |

a. Dependent Variable: VAR00002

จากตารางผนวกที่ 18 พบว่า ค่า  $t = 14.736$  มีค่า Sig. Of  $t = 0.000$  ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรอิสระหรือค่า TOC พยากรณ์ตัวแปรตามหรือค่า COD ได้โดยใช้สมการ  $COD = 22.745 \text{ TOC} + 12.430$  เมื่อค่า TOC เพิ่มขึ้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ค่า COD เพิ่มขึ้น 22.745 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นกัน เส้นความสัมพันธ์ระหว่าง COD / TOC แสดงดังภาพผนวกที่ 6



**ภาพผนวกที่ 6** เส้นสมการถดถอยเชิงเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่าง COD และ TOC ของน้ำทิ้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

### ภาคผนวก จ

#### การทวนสอบความสัมพัทธ์

**ตารางผนวกที่ ๑** การทดสอบความสัมพันธ์ของอัตราส่วนในการพยากรณ์ค่า BOD  
โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

| Date   | INFLUENT                 |             | EFFLUENT                 |             | Prediction (mg/l) |                    | % Error of Prediction |                    |
|--------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|-------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
|        | BOD <sub>5</sub><br>mg/l | COD<br>mg/l | BOD <sub>5</sub><br>mg/l | COD<br>mg/l | BOD <sub>In</sub> | BOD <sub>Eff</sub> | BOD <sub>In</sub>     | BOD <sub>Eff</sub> |
| Nov-05 | 34.17                    | 79.23       | 3.39                     | 29.47       | 35.66             | 1.62               | 4.17                  | -108.97            |
| Dec-05 | 38.40                    | 87.87       | 4.72                     | 36.74       | 39.54             | 2.02               | 2.89                  | -133.70            |
| Jan-06 | 38.07                    | 72.77       | 5.51                     | 27.26       | 32.75             | 1.50               | -16.25                | -267.51            |
| Feb-06 | 32.13                    | 75.46       | 3.17                     | 21.79       | 33.96             | 1.20               | 5.38                  | -164.68            |
| Mar-06 | 26.21                    | 60.32       | 3.18                     | 23.74       | 27.15             | 1.31               | 3.46                  | -143.33            |
| Min    | 26.21                    | 60.32       | 3.17                     | 21.79       | 27.15             | 1.20               | -16.25                | -267.51            |
| Max    | 38.40                    | 87.87       | 5.51                     | 36.74       | 39.54             | 2.02               | 5.38                  | -108.97            |
| Ave.   | 33.79                    | 75.13       | 3.99                     | 27.80       | 33.81             | 1.53               | -0.07                 | -163.64            |
| SD     | 5.00                     | 10.05       | 1.07                     | 5.82        | 4.52              | 0.32               | 9.09                  | 61.42              |

**หมายเหตุ** BOD<sub>5</sub> = 0.450 x COD (Influent)

BOD<sub>5</sub> = 0.055 x COD (Effluent)

**ตารางผนวกที่ ๑2** การทดสอบความสัมพันธ์ของสมการความสัมพันธ์ในการพยากรณ์  
ค่า BOD โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

| Date   | INFLUENT                 |             | EFFLUENT                 |             | Prediction<br>(mg/l) |                    | % Error of<br>Prediction |                    |
|--------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|
|        | BOD <sub>5</sub><br>mg/l | COD<br>mg/l | BOD <sub>5</sub><br>mg/l | COD<br>mg/l | BOD <sub>In</sub>    | BOD <sub>Eff</sub> | BOD <sub>In</sub>        | BOD <sub>Eff</sub> |
| Nov-05 | 34.17                    | 79.23       | 3.39                     | 29.47       | 42.50                | 2.32               | 19.60                    | -45.73             |
| Dec-05 | 38.40                    | 87.87       | 4.72                     | 36.74       | 45.69                | 2.65               | 15.96                    | -78.12             |
| Jan-06 | 38.07                    | 72.77       | 5.51                     | 27.26       | 40.11                | 2.22               | 5.07                     | -147.67            |
| Feb-06 | 32.13                    | 74.57       | 3.17                     | 21.79       | 40.77                | 1.98               | 21.20                    | -60.31             |
| Mar-06 | 26.21                    | 60.32       | 3.18                     | 23.74       | 35.50                | 2.07               | 26.18                    | -53.77             |
| Min    | 26.21                    | 60.32       | 3.17                     | 21.79       | 35.50                | 1.98               | 5.07                     | -147.67            |
| Max    | 38.40                    | 87.87       | 5.51                     | 36.74       | 45.69                | 2.65               | 26.18                    | -45.73             |
| Ave.   | 33.79                    | 75.13       | 3.99                     | 27.80       | 40.98                | 2.25               | 17.73                    | -77.12             |
| SD     | 5.00                     | 10.05       | 1.07                     | 5.82        | 3.72                 | 0.26               | 7.98                     | 41.21              |

**หมายเหตุ** BOD<sub>5</sub> = 0.370 x COD + 13.179 (Influent)

BOD<sub>5</sub> = 0.045 x COD + 0.998 (Effluent)

**ตารางผนวกที่ จ3** การทดสอบความสัมพันธ์ของอัตราส่วนในการพยากรณ์ค่า BOD โรงควบคุม  
คุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

| Month  | INFLUENT                 |             | EFFLUENT                 |             | Prediction (mg/l) |                    | % Error of Prediction |                    |
|--------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|-------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
|        | BOD <sub>5</sub><br>mg/l | COD<br>mg/l | BOD <sub>5</sub><br>mg/l | COD<br>mg/l | BOD <sub>In</sub> | BOD <sub>Eff</sub> | BOD <sub>In</sub>     | BOD <sub>Eff</sub> |
| Jan-04 | 92.15                    | 148.45      | 10.15                    | 17.50       | 70.66             | 0.89               | -30.41                | -1,037.25          |
| Feb-04 | 83.20                    | 122.30      | 15.50                    | 28.20       | 58.21             | 1.44               | -42.92                | -977.74            |
| Mar-04 | 115.90                   | 174.90      | 15.95                    | 27.50       | 83.25             | 1.40               | -39.22                | -1,037.25          |
| Apr-04 | 108.90                   | 162.90      | 10.75                    | 32.25       | 77.54             | 1.64               | -40.44                | -553.59            |
| May-04 | 93.80                    | 149.40      | 13.60                    | 25.40       | 71.11             | 1.30               | -31.90                | -949.87            |
| Jun-04 | 97.90                    | 150.40      | 15.70                    | 26.80       | 71.59             | 1.37               | -36.75                | -1,048.67          |
| Jul-04 | 125.40                   | 170.50      | 14.90                    | 32.40       | 81.16             | 1.65               | -54.51                | -801.72            |
| Aug-04 | 89.90                    | 145.04      | 9.15                     | 25.50       | 69.04             | 1.30               | -30.22                | -603.58            |
| Sep-04 | 80.50                    | 135.90      | 5.10                     | 19.40       | 64.69             | 0.99               | -24.44                | -415.46            |
| Oct-04 | 95.28                    | 135.63      | 14.75                    | 19.65       | 64.56             | 1.00               | -47.58                | -1,371.84          |
| Nov-04 | 95.60                    | 125.30      | 12.34                    | 25.93       | 59.64             | 1.32               | -60.29                | -833.13            |
| Dec-04 | 87.50                    | 139.10      | 10.65                    | 35.24       | 66.21             | 1.80               | -32.15                | -492.58            |
| Min    | 80.50                    | 122.30      | 5.10                     | 17.50       | 58.21             | 0.89               | -60.29                | -1,371.84          |
| Max    | 125.40                   | 174.90      | 15.95                    | 35.24       | 83.25             | 1.80               | -24.44                | -415.46            |
| Ave.   | 98.00                    | 146.93      | 12.11                    | 26.32       | 69.94             | 1.34               | -39.68                | -850.71            |
| SD     | 13.31                    | 16.52       | 3.32                     | 5.47        | 7.86              | 0.28               | 10.66                 | 282.11             |

**หมายเหตุ** BOD<sub>5</sub> = 0.476 x COD (Influent)

BOD<sub>5</sub> = 0.051 x COD (Effluent)

**ตารางผนวกที่ ๑4** การทดสอบความสัมพันธ์ของสมการความสัมพันธ์ในการพยากรณ์  
ค่า BOD โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

| Month  | INFLUENT                 |             | EFFLUENT                 |             | Prediction (mg/l) |                    | % Error of Prediction |                    |
|--------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|-------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
|        | BOD <sub>5</sub><br>mg/l | COD<br>mg/l | BOD <sub>5</sub><br>mg/l | COD<br>mg/l | BOD <sub>In</sub> | BOD <sub>Eff</sub> | BOD <sub>In</sub>     | BOD <sub>Eff</sub> |
| Jan-04 | 92.15                    | 148.45      | 10.15                    | 17.50       | 62.46             | 1.14               | -47.54                | -793.09            |
| Feb-04 | 83.20                    | 122.30      | 15.50                    | 28.20       | 42.63             | 1.64               | -95.15                | -845.47            |
| Mar-04 | 115.90                   | 174.90      | 15.95                    | 27.50       | 82.51             | 1.61               | -40.48                | -892.84            |
| Apr-04 | 108.90                   | 162.90      | 10.75                    | 32.25       | 73.41             | 1.83               | -48.35                | -487.51            |
| May-04 | 93.80                    | 149.40      | 13.60                    | 25.40       | 63.18             | 1.51               | -48.47                | -801.98            |
| Jun-04 | 97.90                    | 150.40      | 15.70                    | 26.80       | 63.93             | 1.57               | -53.13                | -897.71            |
| Jul-04 | 125.40                   | 170.50      | 14.90                    | 32.40       | 79.17             | 1.84               | -58.39                | -711.19            |
| Aug-04 | 89.90                    | 145.04      | 9.15                     | 25.50       | 59.87             | 1.51               | -50.16                | -504.96            |
| Sep-04 | 80.50                    | 135.90      | 5.10                     | 19.40       | 52.94             | 1.23               | -52.05                | -316.05            |
| Oct-04 | 95.28                    | 135.63      | 14.75                    | 19.65       | 52.74             | 1.24               | -80.66                | -1091.87           |
| Nov-04 | 95.60                    | 125.30      | 12.34                    | 25.93       | 44.91             | 1.53               | -112.88               | -705.11            |
| Dec-04 | 87.50                    | 139.10      | 10.65                    | 35.24       | 55.37             | 1.97               | -58.03                | -440.53            |
| Min    | 80.50                    | 122.30      | 5.10                     | 17.50       | 42.63             | 1.14               | -112.88               | -1,091.87          |
| Max    | 125.40                   | 174.90      | 15.95                    | 35.24       | 82.51             | 1.97               | -40.48                | -316.05            |
| Ave.   | 98.00                    | 146.93      | 12.11                    | 26.32       | 61.30             | 1.55               | -64.19                | -706.87            |
| SD     | 13.31                    | 16.52       | 3.32                     | 5.47        | 12.52             | 0.26               | 22.21                 | 227.14             |

**หมายเหตุ** BOD<sub>5</sub> = 0.758 x COD – 50.069 (Influent)

BOD<sub>5</sub> = 0.047 x COD + 0.314 (Effluent)

## ประวัติการศึกษาและการทำงาน

|                      |                                                     |
|----------------------|-----------------------------------------------------|
| ชื่อ                 | นายทวี สิทธิคู่ตระกูล                               |
| เกิดวันที่           | 26 มกราคม พ.ศ. 2514                                 |
| สถานที่เกิด          | แขวงท่าพระ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพมหานคร              |
| ประวัติการศึกษา      | วท.บ. (สาธารณสุขศาสตร์) มหาวิทยาลัยมหิดล (พ.ศ.2536) |
| ตำแหน่งปัจจุบัน      | ผู้จัดการทั่วไป                                     |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน | บริษัท โกลบอล เอ็นไวรอนเมนทัล แมเนจเม้นท์ จำกัด     |