

## บทที่ 2

### วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 1. คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ

มลสารต่าง ๆ ที่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำในปริมาณต่าง ๆ จะถูกเจือจางโดยน้ำในกรณีที่มีมลสารเป็นสารประเภทสารอินทรีย์ นอกจากจะเกิดจากการเจือจางแล้ว ยังเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ จะถูกใช้ในกระบวนการเป็นผลให้ออกซิเจนมีปริมาณลดลงในระดับต่าง ๆ จนกระทั่งถึงระดับหรือมีปริมาณของมลสารที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำในปริมาณที่แหล่งน้ำนั้น สามารถที่จะรักษาคุณภาพของแหล่งน้ำไม่ให้มีคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปจนเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ หรือเกินกว่ามาตรฐานคุณภาพของแหล่งน้ำที่กำหนดไว้ตามประเภทของการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ หรือเรียกว่าความสามารถในการรองรับน้ำเสียสูงสุดรายวัน (Total maximum daily load) หรืออาจหมายถึงปริมาณสูงสุดที่แหล่งน้ำสามารถยอมให้มีได้ (Carrying capacity)

ลักษณะของแหล่งน้ำที่เป็นลำน้ำตามธรรมชาติหรือที่มนุษย์สร้างขึ้นที่มีลักษณะเป็นท่อเปิดขนาดใหญ่ เป็นคุณลักษณะที่สำคัญอย่างยิ่งที่ทำให้กระบวนการเติมออกซิเจน หรือ เกิดการฟอกตัวของแหล่งน้ำ (Self-purification) ซึ่งความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแหล่งน้ำขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังต่อไปนี้ คือ

1.1 อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ในแหล่งน้ำ รวมทั้งชนิดและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำ

1.2 อัตราการไหลของน้ำ ในแหล่งน้ำที่มีอัตราการไหลของน้ำสูง จะเกิดกระบวนการย่อยสลายสูง ทั้งนี้เนื่องจากการเคลื่อนย้ายของมวลน้ำ เกิดการเติมออกซิเจนสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติได้มาก

1.3 อัตราการถ่ายเทออกซิเจน จากบรรยากาศลงสู่แหล่งน้ำ ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของลำน้ำ เช่น ความลึก ความกว้าง ตลอดจนอัตราการไหลของแหล่งน้ำ

1.4 อุณหภูมิของน้ำ มีผลต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ กล่าวคือ ในน้ำที่มีอุณหภูมิสูง จะมีการย่อยสลายสูง (โชคชัย เกตุสถิต, 2549)

## 2. คุณลักษณะของน้ำ (Water characteristics) แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

2.1 คุณลักษณะทางกายภาพ (Physical characteristics) ได้แก่ อุณหภูมิ ความขุ่น สภาพนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็ง กลิ่น สี และรส เป็นต้น

### 2.1.1 อุณหภูมิ (Temperature)

ค่าความร้อน-เย็นของแหล่งน้ำ ซึ่งมีอิทธิพลทั้งโดยทางตรง และทางอ้อมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ นอกจากนี้ ยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของคุณภาพน้ำในภาคสนามอื่น ๆ อาทิ ค่าออกซิเจนละลาย หรือค่าการนำไฟฟ้า เป็นต้น ปกติในแม่น้ำสายสำคัญของประเทศจะมีค่าอุณหภูมิผันแปรอยู่ในช่วง 23-32 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างมากผิดปกติ อาจเกิดจากการระบาย น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม อุณหภูมิที่สูงกว่าปกติ 2-3 องศาเซลเซียส อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

### 2.1.2 ความขุ่น (Turbidity)

ความขุ่นที่เกิดจากสารที่ไม่ละลายน้ำขนาดเล็กแขวนลอยในน้ำ ทำให้น้ำดูไม่ใส สะอาดไม่น่าใช้ พวกสารตะกอนแขวนลอยสามารถเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพวกจุลชีพ ความขุ่นของน้ำจะมีความสำคัญมากต่อน้ำประปา ระบบการกรองทำให้เครื่องกรองที่ใช้อุดตันและเสียเร็ว ตลอดจนมีผลต่อระบบการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน เพราะทำให้คลอรีนไม่สามารถทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 2.1.3 สี (Color)

สีในน้ำตามธรรมชาติเกิดจากการหมักหมมทับถมกับของพืช ใบไม้ เศษวัสดุอินทรีย์ต่าง ๆ ความสำคัญทางด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมของสีในน้ำ ถ้าเป็นสีที่เกิดโดยธรรมชาติจากการสลายของพืช ใบไม้ ใบหญ้า นั้นถึงแม้จะไม่มีอันตรายต่อผู้บริโภค แต่เนื่องจากสีของมัน เป็นสีเหลืองน้ำตาล จึงอาจทำให้เกิดความรู้สึกที่ไม่ต้องการใช้น้ำดังกล่าวบริโภค จำเป็นต้องกำจัดออกถ้ามีปริมาณมาก

### 2.1.4 รส (Taste)

รสของน้ำเกิดจากจากสารประกอบเกลือละลายอยู่จำนวนมาก สีสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดและด่าง สารประกอบของเหล็ก หรือสารที่ใช้ปรับสภาพน้ำปนอยู่

### 2.1.5 กลิ่น (Odor)

กลิ่นของน้ำเกิดจากจุลินทรีย์ต่าง ๆ เช่น สาหร่าย โปรโตซัว เกิดจากก๊าซที่ละลายน้ำได้ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดจากน้ำเสียของโรงงานต่าง ๆ เช่น พวกคลอโร ฟีนอลฟีนอล (Phenol) หรือจากการใส่สารเคมีฆ่าเชื้อในปริมาณสูงเกินไป เช่น การเติมคลอรีนในน้ำ

2.2 คุณลักษณะทางเคมี (Chemical characteristics) เกิดขึ้นเนื่องจากมีแร่ธาตุหรือสารประกอบต่าง ๆ ละลายอยู่ในน้ำ สารเหล่านี้อาจมีพิษหรือไม่มีพิษก็ได้ ได้แก่ ปริมาณสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ ความกระด้าง ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ โลหะหนัก เป็นต้น

### 2.2.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ความเป็นกรด-ด่างเป็นคุณสมบัติทางเคมีของน้ำอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญมาก และมีความสัมพันธ์กับระบบต่าง ๆ มากมาย งานวิเคราะห์น้ำมักจะวัด pH ด้วยทุกครั้งเนื่องจากสามารถวัดได้ง่าย และสามารถเป็นตัวควบคุมของกระบวนการต่าง ๆ ทั้งในน้ำดีและน้ำเสีย (มันสัน ตัณฑุลเวศม์, 2540) pH เป็นค่าบ่งชี้ถึงระดับความเป็นกรดหรือด่างของแหล่งน้ำ ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด 0 หน่วยและมีค่าสูงที่สุด 14 หน่วย แหล่งน้ำที่มีค่า pH ต่ำกว่า 7 จะถือว่าเป็นแหล่งน้ำแห่งนั้นมีสภาพเป็นกรด ส่วนแหล่งน้ำ ที่มีค่า pH สูงกว่า 7 จะถือว่าเป็นสภาพเป็นด่าง แหล่งน้ำที่ดีควรมีค่า pH ใกล้เคียง 7 ซึ่งไม่เป็นอุปสรรคต่อการนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน อาทิ การอุปโภคบริโภค การดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ การเกษตรและอุตสาหกรรม ตามมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินของประเทศ อนุโลมให้ค่า pH ควรอยู่ในช่วง 5.0-9.0 หน่วย แหล่งน้ำที่มีค่า pH ไม่ได้ตามมาตรฐาน อาจเป็นอันตรายต่อการดำรงชีวิตต่อสัตว์น้ำ

pH หมายถึง ค่าลบของ logarithm ของความเข้มข้นของ  $H^+$

$$pH = -\log[H^+] \dots\dots\dots(1)$$

ดังนั้น การวัดค่าของ pH จึงเป็นการวัดความเข้มข้นของ  $H^+$  ในน้ำ

- pH เท่ากับ 7 แสดงความเป็นกลางของน้ำ
- pH สูงกว่า 7 แสดงความเป็นด่าง
- pH น้อยกว่า 7 แสดงความเป็นกรด

ภาวะความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำมีผลต่อคุณภาพน้ำ ปกติน้ำตามธรรมชาติจะมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.0 – 9.0 ซึ่งเหมาะสำหรับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต (กาญจนา ครองธรรมชาติ, 2545)

### 2.2.2 ความเค็ม (Salinity)

ค่าแสดงระดับความเค็มของแหล่งน้ำ ซึ่งจะแปรผันโดยตรงกับค่าการนำไฟฟ้า ความเค็มมีหน่วยเป็น พีพีที (ppt : part per thousand, หรือส่วนต่อพันส่วน) น้ำที่มีความเค็มมากย่อมไม่เหมาะต่อการนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการประปา การเพาะปลูก และเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ปกติแหล่งน้ำจะเริ่มมีความเค็มที่ระดับความเค็มประมาณ 0.5 พีพีที ซึ่งเริ่มจะไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ทำน้ำประปา ขณะที่ความเค็มประมาณ 1 พีพีที ไม่เหมาะต่อการนำมาใช้เพื่อการชลประทาน

นอกจากนี้ ค่าความเค็มที่มีค่าเกินกว่า 7 พีพีที จะไม่เหมาะต่อการเพาะเลี้ยงและการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำจืด (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 นครราชสีมา, 2551)

### 2.2.3 ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity: EC)

ค่าที่แสดงถึงความสามารถของน้ำในการเป็นสื่อทางการไฟฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของปริมาณเกลือหรือสารละลายอนินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำค่าการนำไฟฟ้าส่วนใหญ่จะแปรผันโดยตรงกับความเค็มของน้ำ ดังนั้น การนำไฟฟ้าของน้ำจะมีผลโดยตรงต่อการใช้ประโยชน์ด้านการอุปโภคบริโภคและการเพาะปลูก แหล่งน้ำที่ปกคึกจะมีค่าการนำไฟฟ้าประมาณ 150-300 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร แหล่งน้ำที่มีค่าการนำไฟฟ้าเกินกว่า 1,000 ไมโครกรัมซีเมนต์ต่อเซนติเมตร อาจไม่เหมาะสำหรับการผลิตน้ำประปา เพราะน้ำจะเริ่มมีรสเค็มหรือมีการปนเปื้อนสารละลาย ขณะที่ แหล่งน้ำที่มีค่าการนำไฟฟ้าเกินกว่า 2,000 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร จะไม่เหมาะต่อการนำมาใช้เพื่อการชลประทาน เพราะจะส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 นครราชสีมา, 2551)

### 2.2.4 ปริมาณสารแขวนลอย (Suspended solids : SS)

คือ สารหรือของแข็งที่ไม่ละลายน้ำแต่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ทำให้เกิดความขุ่นเป็นของแข็งส่วนที่กรองได้ โดยการนำน้ำตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรอง แล้วอบตะกอนที่กรองได้ให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 °C

### 2.2.5 สารหรือของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total solids : TS & Total dissolved solids : TDS)

สิ่งที่อยู่ในน้ำทั้งหมดทั้งในรูปของละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ ตรวจหาได้โดยการระเหยน้ำตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 °C นอกจากนี้ ยังมีวิธีการประมาณปริมาณ TDS ได้จากการวัดค่าการนำไฟฟ้า ค่านี้จะบอกถึงความสามารถที่น้ำตัวอย่างจะนำไฟฟ้าได้มาก หรือน้อยขึ้นกับความเข้มข้นของสารที่แตกตัวเป็นประจุไฟฟ้าอยู่ในน้ำ (มันสิน ตัณฑุสเวศม์, 2540)

### 2.2.6 ความกระด้าง (Hardness)

ความกระด้างของน้ำเกิดจากไอออนของโลหะที่มีเวเลนซ์ 2 ของโลหะแคลเซียมและแมกนีเซียมเป็นส่วนมาก ทำให้การใช้น้ำมีความสิ้นเปลืองในงานซักล้าง รวมทั้งปัญหาในการเกิดตะกอนที่ก้นภาชนะต้มน้ำ ทำให้ต้องใช้ความร้อนสูงในการทำให้น้ำเดือดเป็นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงนอกจากนี้ยังจะทำให้รสของน้ำผิดปกติและอาจทำให้เกิดโรคนี้สำหรับผู้บริโภคดื่มน้ำที่มีความกระด้างสูงเป็นประจำ ในน้ำประปาคำหนดให้มีความกระด้างประมาณ 50 – 80 มิลลิกรัม/ลิตร ในรูปCaCO<sub>3</sub> ทั้งนี้ เนื่องจากน้ำที่มีความกระด้างน้อยเกินไปจะกัดกร่อนท่อโลหะได้ (มันสิน ตัณฑุสเวศม์, 2540)

### 2.2.7 คลอไรด์ (Chloride)

คลอไรด์มีอยู่ทั่วไปในน้ำธรรมชาติโดยเฉพาะในน้ำผิวดินที่ใกล้ปากน้ำหรือบริเวณที่น้ำทะเลหนุนขึ้นมาถึงได้ โดยปกติคลอไรด์ในน้ำไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ เช่นเดียวกับแอมโมเนียและไนเตรท แต่อาจเป็นครรชนของความสกปรกในน้ำได้เนื่องจากพบคลอไรด์ในน้ำเสียที่เกิดจากสิ่งขับถ่ายของมนุษย์ โดยเฉพาะในปัสสาวะ สิ่งสกปรกที่เข้ามาปะปนอาจจะมาจากเกลือสินเธาว์หรือคลอไรด์ของเกลือในน้ำทะเล

### 2.2.8 ไนโตรเจน (Nitrogen)

ไนโตรเจนที่พบในน้ำ เช่น แม่น้ำ ลำคลอง น้ำโสโครก น้ำทิ้งที่มีจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ มีอยู่หลายรูปแบบ คือ ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ที่เรียกว่า ออร์แกนิกไนโตรเจน การหาปริมาณไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนีย และออร์แกนิก สามารถวิเคราะห์โดยวิธี Kjeldahl method ในรูปของ Total kjeldahl nitrogen (TKN) ที่เคเอ็น หมายถึง ผลบวกระหว่างออร์แกนิกไนโตรเจน และแอมโมเนียไนโตรเจนที่อยู่ในโปรตีนของพืชหรือสัตว์ หรือที่เกิดจากกระบวนการของสิ่งมีชีวิต เช่น เกิดจากการขับถ่ายของเสีย

#### 2.2.8.1 แอมโมเนีย (Ammonia)

แอมโมเนีย เป็นสารที่เกิดจากการย่อยสลายสารอนินทรีย์ไนโตรเจนด้วยแบคทีเรียจนกลายเป็นแอมโมเนียจะเป็นตัวบ่งชี้ว่ามีสิ่งปนเปื้อนของน้ำทิ้งจากห้องส้วม ถ้ามีแอมโมเนียในน้ำแสดงว่าน้ำอาจได้รับการปนเปื้อนของน้ำทิ้งจากห้องส้วม ดังนั้นมาตรฐานน้ำดื่มของการประปาฯ ได้กำหนดไว้ว่าห้ามมีแอมโมเนียในน้ำประปาเกิน 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2544) เมื่อน้ำประปามีปริมาณแอมโมเนียทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างคลอรีนที่เติมลงไปในการประปากับแอมโมเนีย ทำให้ระบบประปาต้องเติมคลอรีนมากขึ้น เพราะส่วนหนึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียจะได้สารประเภท Chloramines และจะมีคลอรีนส่วนเกินหลงเหลืออยู่เรียกว่า คลอรีนอิสระ โดยสาร Chloramines ก็สามารถฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปาได้เช่นเดียวกับคลอรีนอิสระแต่มีความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคได้ต่ำกว่าคลอรีนอิสระ สำหรับข้อดีของสาร Chloramines ก็มีตรงที่สามารถคงรูปอยู่ในน้ำประปาได้นานกว่าคลอรีนอิสระทำให้สามารถรักษาความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปาได้นานกว่าและไกลกว่า

#### 2.2.8.2 ไนไตรท์ (Nitrite)

ไนไตรท์ ( $\text{NO}_2$ ) เป็นสารที่เกิดจากการย่อยสลายสารแอมโมเนีย ถ้าพบในน้ำมีไนไตรท์แสดงว่าการย่อยสลายสารอินทรีย์ยังไม่เสร็จสิ้นสมบูรณ์ แต่สำหรับในน้ำประปาไม่ควรจะมีสารไนไตรท์อยู่ในน้ำประปาเลยแม้แต่น้อยเพราะไม่ควรจะมีสารอินทรีย์

ปนเปื้อนอยู่ในน้ำประปาตามมาตรฐานน้ำดื่มของการประปานครหลวง ซึ่งได้กำหนดให้มีค่าไนโตรเจนไนโตรเจน ไม่เกิน 0.001 มิลลิกรัม/ลิตร ของไนโตรเจน (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2544)

### 2.2.8.3 ไนเตรท (Nitrate)

ไนเตรท ( $\text{NO}_3$ ) เป็นสารที่เกิดจากการย่อยสลายสารไนโตรที่ ซึ่งเกิดมาจากสารแอมโมเนีย ถ้าพบว่ามีสารไนเตรทในน้ำแสดงว่าสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำได้ถูกย่อยสลายจนเสร็จสิ้นสมบูรณ์ และโดยทั่วไปจะไม่มีผลอันตรายต่อสุขภาพถ้าในน้ำมีสารไนเตรท อยู่เกินกว่า 45 มิลลิกรัม/ลิตร ของ  $\text{NO}_3$  หรือ 10 มิลลิกรัม/ลิตร (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2544) ของ N น้ำประปานั้นจะเป็นอันตรายต่อเด็กทารก โดยสารไนเตรท จะทำให้เกิดอาการตัวเขียวตัวคล้ำและชัก ทำให้เสียชีวิตได้ (Blue baby หรือ Methemoglobinemia) ปัญหานี้แนะนำให้พิจารณาน้ำประปาที่ใช้ในโรงพยาบาล ซึ่งนำน้ำจากแม่น้ำที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนมา คาดว่าจะมีปริมาณไนเตรทมากและไม่สามารถกำจัดออกได้ด้วยวิธีผลิตน้ำประปาทั่วไป จำเป็นต้องผ่านระบบการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) จึงจะกำจัดไนเตรท ออกจากน้ำประปาได้มาก ก่อนจะนำเข้ามาใช้ในโรงพยาบาล

เมื่อมีการทิ้งสารประกอบไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำ จะพบว่าปริมาณไนเตรทจะเพิ่มขึ้นตามเวลาและระยะเวลาทางที่น้ำไหล ในอดีตจึงใช้ปรากฏการณ์นี้ในการวัดความเน่าเสียของลำน้ำ เช่น ถ้าแหล่งน้ำที่มีแอมโมเนียมาก แสดงว่าแหล่งน้ำเพิ่งได้รับการปนเปื้อน แต่ถ้าพบปริมาณไนเตรทสูงมากกว่าตัวอื่นหรือมากผิดปกติ แสดงว่าลำน้ำนั้นเคยได้รับของเสียมาก่อน และได้ฟื้นตัวกลับสู่สภาพเดิม ปริมาณแอมโมเนียและสารอินทรีย์ไนโตรเจนมักจะใช้เป็นดัชนีในการกำหนดคุณภาพในงานน้ำเสียหรือคุณภาพลำน้ำ

การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนทั้งหมดจะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาทางชีววิทยา โดยมีสภาพแวดล้อมเป็นตัวกำหนด ถ้าอยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอ (Aerobic) ปฏิกิริยาขั้นสุดท้ายของการเปลี่ยนรูปไนโตรเจน จะได้ไนเตรท ( $\text{NO}_3$ ) เรียกว่ากระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) แต่ถ้าอยู่ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic) ก็จะเกิดปฏิกิริยาคีโนตริฟิเคชัน (Denitrification) ซึ่งทำให้ได้ก๊าซไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนได้

### กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification)

กระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการออกซิเดชันที่เกิดขึ้นทางชีววิทยา เพื่อทำการเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียให้กลายเป็นไนเตรท ซึ่งปฏิกิริยานี้ เกิดจากจุลินทรีย์ชนิดไนตริฟายอิง (Nitrifying) โดยจะประกอบด้วยขั้นตอน 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกจะเปลี่ยนแอมโมเนียให้อยู่ในรูปไนโตรที่ โดยอาศัยจุลินทรีย์ไนโตร-

โซโมแนส (Nitrosomonas) ส่วนขั้นตอนที่สอง จะเปลี่ยนไนโตรที่ให้เป็นไนเตรทโดยอาศัย จุลินทรีย์ชนิดไนโตรแบคเตอร์ (Nitrobacter) (เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์, 2543)

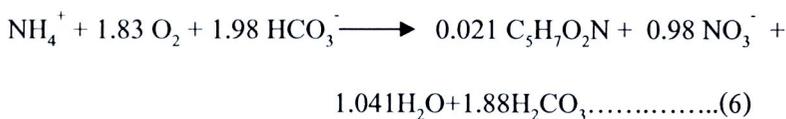


แต่แอมโมเนียมไอออนบางส่วนจะถูกนำไปสังเคราะห์หรือสร้างเซลล์จุลินทรีย์ใหม่ ดังสมการที่ 5 และ 6

ปฏิกิริยาการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ :



ปฏิกิริยารวมของการเกิดออกซิเดชันและการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ :



พบว่าปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนเตรทในสมการที่ 6 เท่ากับ 4.3 มิลลิกรัมออกซิเจน/มิลลิกรัมแอมโมเนียมไนโตรเจน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า 4.57 ที่ได้จากการคำนวณ โดยค่า 4.57 นี้ได้จากสมการที่ 4 โดยจะไม่พิจารณาถึงการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ (เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์, 2543)

ในกระบวนการเกิดไนตริฟิเคชันนั้นพบว่าในขั้นตอนแรกที่มีการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนโตรที่โดยไนโตรโซโมแนสนั้น ค่าพีเอชจะลดต่ำลงเนื่องจากในปฏิกิริยาจะเกิดไฮโดรเจนไอออนขึ้น ทำให้ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของไนโตรแบคเตอร์ ทำให้การเจริญเติบโตของไนโตรแบคเตอร์ลดต่ำลงหรือถูกยับยั้งการเจริญเติบโต การเปลี่ยนไนโตรที่เป็นไนเตรทมีค่าต่ำลงจึงทำให้กระบวนการเกิดไนตริฟิเคชันลดลงหรือช้าลงกว่าเดิม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องควบคุมระดับค่าพีเอช ให้มีค่าเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เพื่อให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันอย่างสมบูรณ์ ซึ่งค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์นั้นควรจะอยู่ในช่วง 7.2 – 8.0 (เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์, 2543)

### กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)

กระบวนการดีไนตริฟิเคชันเป็นขั้นตอนที่ 2 ของกระบวนการกำจัดไนโตรเจนทางชีววิทยา ซึ่งกระบวนการดีไนตริฟิเคชันจะเป็นการเปลี่ยนไนเตรทให้เป็นก๊าซไนโตรเจน โดยเกิดขึ้นที่สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนแต่สามารถนำออกซิเจนจากแหล่งอื่นมาใช้คือ ไนเตรท ไนไตรท์ หรือแม้กระทั่งซัลเฟต โดยอาศัย จุลินทรีย์ชนิดดีไนตริฟายอิง โดยเริ่มแรกจะทำการเปลี่ยนไนเตรทให้เป็นไนไตรท์ ซึ่งในขั้นต่อมาจะผลิตไนตริกออกไซด์ ไนตรัสออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนออกมาแล้วปล่อยสู่บรรยากาศดังสมการที่ 7 โดยไนเตรทจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนมีสารอินทรีย์คาร์บอนเป็นตัวให้อิเล็กตรอน สามารถจำแนกปฏิกิริยานี้ได้เป็น 2 ชนิดคือ Substrate nitrate denitrification คือสารอินทรีย์คาร์บอนที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอนมาจากแหล่งใดก็ได้ที่ไม่ใช่มาจากคาร์บอนในเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยสารอินทรีย์คาร์บอนอาจเป็น ซีโอดี บีโอดี ที่มีอยู่ในน้ำเสีย หรือเป็นสารเคมีที่เติมลงไปก็ได้ ซึ่งชนิดนี้เป็นรูปแบบการเจริญเติบโตของเซลล์จุลินทรีย์แบบปกติ อีกชนิดหนึ่งก็คือ Endogenous nitrate denitrification กรณีนี้จะเกิดขึ้นเมื่อไม่มีแหล่งคาร์บอนจากภายนอก จุลินทรีย์จะใช้แหล่งคาร์บอนภายในเซลล์ของตน ปฏิกิริยานี้จึงเสมือนว่า เป็นการย่อยตัวเอง



เมื่อความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำมีค่ามากกว่า 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร จะยับยั้งเอนไซม์ของระบบดีไนตริฟิเคชัน ค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 0.1 – 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าพีเอชที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 7.0 – 8.0 แต่อย่างไรก็ตาม ค่าความเป็นด่าง ที่ผลิตออกมาในช่วงที่เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันก็เป็นผลทำให้ค่าพีเอช มีค่าสูงขึ้น อุณหภูมิ ก็มีผลต่อปฏิกิริยาอย่างมากซึ่งไม่ควรมีค่าต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส และควรมีอัตราการไหลเข้าระบบต่ำ (เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, 2543)

#### 2.2.9 โลหะหนัก (Heavy metals)

โลหะหนัก หมายถึงโลหะที่มีความหนาแน่นเกินกว่า 5 กรัม/มิลลิลิตร มีเลขอะตอมระหว่าง 23 – 92 อยู่ในคาบที่ 4 – 7 ซึ่งมีอยู่ 68 ธาตุ จากจำนวนธาตุทั้งหมด 105 ธาตุ คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะหนักคือ นำไฟฟ้าและความร้อนดี มีความมันวาว เหนียว สามารถนำมาตีแผ่เป็นแผ่นบาง ๆ ได้ และสะท้อนแสงได้ดี คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญของโลหะหนัก คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ดังนั้นโลหะหนักจึงสามารถที่จะรวมกับสารอื่น ๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex compound) ได้หลายรูป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบเชิงซ้อน ตัวอย่างเช่น เหล็ก ตะกั่ว ซึ่งสมบัติทางกายภาพคล้ายคลึงกันแต่สมบัติทางเคมีแตกต่างทำให้

ความเป็นพิษที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตแตกต่างกัน ซึ่งความเป็นพิษที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตเมื่อมีระดับความเข้มข้นสูงเกินกว่าค่าที่กำหนดและขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น คุณสมบัติของโลหะหนัก ปริมาณหรือขนาดที่ได้รับ เส้นทางที่ได้รับเข้าสู่ร่างกาย ระยะเวลา ความต้านทานในแต่ละคน อายุ และมาตรการป้องกันในการใช้สารเคมี (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11, นครราชสีมา, 2551)

### 2.2.9 ค่าออกซิเจนละลาย (Dissolved oxygen; DO)

ปริมาณออกซิเจนละลายในแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นค่าที่มีความจำเป็นต่อการหายใจของพืชและสัตว์น้ำ ปริมาณออกซิเจนละลายมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (มก./ล.) แหล่งน้ำที่เหมาะสมแก่การดำเนินชีวิต การขยายพันธุ์และการอนุรักษสัตว์น้ำ ควรมีค่า DO ไม่ต่ำกว่า 5 มก./ล. ทั้งนี้โดยทั่วไปสัตว์น้ำส่วนใหญ่จะดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างปกติที่ระดับของค่า DO ไม่ต่ำกว่า 3 มก./ล. อย่างไรก็ตามถ้าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำกว่า 2 มก./ล. จะไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ แหล่งน้ำ โดยเฉพาะอ่างเก็บน้ำบางแห่งอาจตรวจวัดค่า DO ได้สูงมากเกินกว่า 10 มก./ล. การละลายของออกซิเจนขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัย คือ ความดัน อุณหภูมิ และความเค็ม (Salinity) ปริมาณออกซิเจนจะผลิตได้โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงจากสาหร่ายซึ่งจะถูกใช้ในกระบวนการหายใจของพืชน้ำ และสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยกระบวนการหายใจจะเกิดขึ้นตลอดเวลา แต่กระบวนการสังเคราะห์แสงจะเกิดขึ้นเฉพาะในช่วงกลางวันเท่านั้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

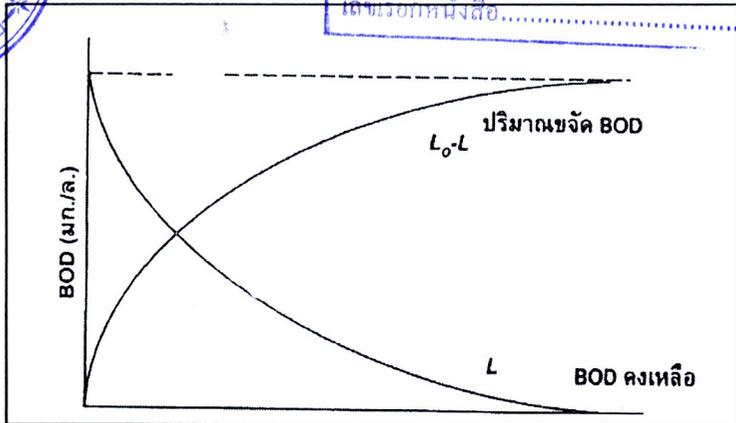
กระบวนการเติมอากาศจะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของออกซิเจนในสภาวะอิ่มตัว ที่ความเข้มข้นของออกซิเจนในสภาวะอิ่มตัว ที่ความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นอิ่มตัว จะเกิดการถ่ายเทออกซิเจนจากอากาศสู่น้ำ หากความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำสูงกว่าความเข้มข้นในสภาวะอิ่มตัว ออกซิเจนในน้ำก็จะถ่ายเทสู่อากาศ อัตราการถ่ายเทอากาศขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความเร็ว ความลึก และความลาดชันของลำน้ำ กล่าวคือถ้าในแหล่งน้ำมีการไหลของกระแสน้ำที่เร็ว ลำน้ำมีความกว้างมากจะเกิดการเติมออกซิเจนได้มาก

#### 2.2.9.1 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ออกซิเจน ซึ่งเกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ กระบวนการดังกล่าวมีความซับซ้อนและเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังแสดงในภาพที่ 1 ทำให้เกิดการจำลองระบบดังกล่าวในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งความสัมพันธ์รูปแบบต่าง ๆ ได้ถูกเสนอขึ้นโดย Streeter and Phelps (1952) ซึ่งพบว่าค่าบีโอดีที่วัดได้ ณ จุดต่าง ๆ ของลำน้ำเป็นฟังก์ชันของระยะทางและสามารถอธิบายได้โดยสมการที่ 8



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ  
 ห้องสมุดงานวิจัย  
 วันที่ 12 ส.ค. 2556  
 เลขทะเบียน 208854  
 เลขเรียกหนังสือ



ภาพที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของบีโอดีเมื่อเทียบกับเวลา  
 ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545

$$Dr = -dL/dt = K_b L \dots\dots\dots(8)$$

- โดย Dr = อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ (มิลลิกรัม/ลิตร)  
 L = ปริมาณความเข้มข้นของบีโอดีที่คงเหลือ(มิลลิกรัม/ลิตร)  
 t = เวลา (วัน)  
 K<sub>b</sub> = ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยสลายสารอินทรีย์ (วัน<sup>-1</sup>)

เมื่อ อินทิเกรต (Integrate) สมการดังกล่าวตั้งแต่ t=0 ถึง t ใดๆ

$$L_t = L_0 e^{-k_b t} \dots\dots\dots(9)$$

- โดย L<sub>t</sub> = ค่าบีโอดี ณ เวลา t ที่บริเวณทำนน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)  
 L<sub>0</sub> = ค่าบีโอดีที่จุดระบายน้ำทิ้ง (มิลลิกรัม/ลิตร)  
 e = ฐานของ log ธรรมชาติมีค่า 2.7183  
 t = เวลา (วัน)  
 K<sub>b</sub> = ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยสลายสารอินทรีย์ (วัน<sup>-1</sup>)

**2.2.9.2 กระบวนการเติมออกซิเจนในแหล่งน้ำ**

กระบวนการเติมออกซิเจนลงในแหล่งน้ำมี 3 วิธี คือ การเติมออกซิเจน

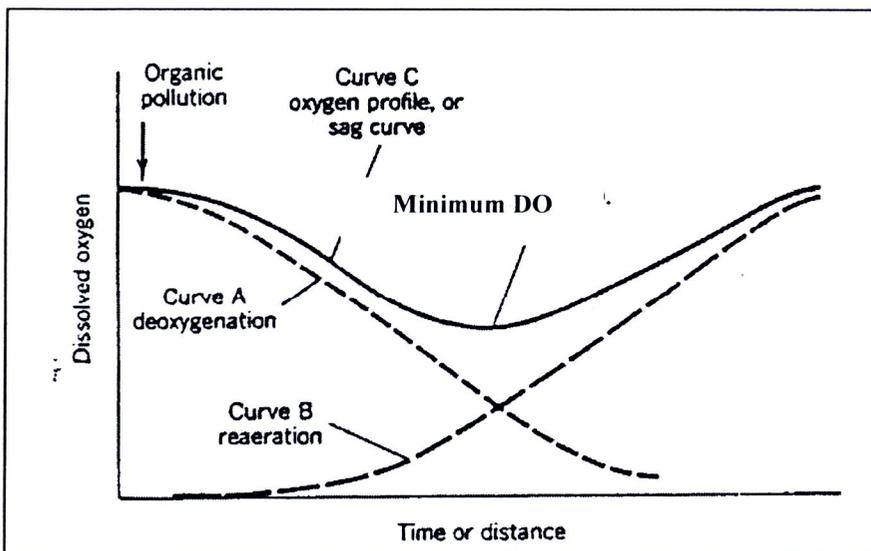
โดยวิธีธรรมชาติ การสังเคราะห์แสง และการเติมออกซิเจนที่ไม่ใช่วิธีธรรมชาติ

### 1) การเติมออกซิเจนโดยวิธีธรรมชาติ (Atmospheric reaeration)

การเติมออกซิเจน หมายถึง กระบวนการถ่ายเทอากาศ (Gas transfer process) ซึ่งเกิดขึ้นตามธรรมชาติตลอดเวลาที่ผิวน้ำ โมเลกุลของออกซิเจนเคลื่อนที่จากบรรยากาศเข้าสู่ผิวน้ำตลอดเวลา ขณะเดียวกันจะมีออกซิเจนซึ่งละลายน้ำเคลื่อนที่ออกจากน้ำสู่บรรยากาศตลอดเวลาเช่นเดียวกัน อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลออกซิเจนทั้งสองขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและตัวแปรอื่น ๆ

ในกรณีที่ความต้องการออกซิเจนเท่ากับศูนย์ กระบวนการนี้จะเข้าสู่สภาพสมดุลทางพลวัต (Dynamic equilibrium) คือ อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลออกซิเจนไปในทิศทางเท่ากันผลที่ได้คือ ความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำจะถึงจุดอิ่มตัว ค่าความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัว เนื่องจากความต้องการออกซิเจนละลายน้ำ อัตราเร็วที่โมเลกุลออกซิเจนจะเคลื่อนที่จากน้ำสู่บรรยากาศก็จะลดลง แต่อัตราเร็วที่โมเลกุลเคลื่อนที่จากบรรยากาศสู่น้ำก็ยังคงเท่าเดิม เนื่องจากความดันบรรยากาศยังคงเท่าเดิม ดังนั้น การเคลื่อนที่ของโมเลกุลออกซิเจนสู่น้ำ จะมากกว่าจากน้ำสู่บรรยากาศผลลัพธ์สุทธิคือ การเติมออกซิเจนไปในน้ำเพื่อทดแทนส่วนที่หายไป

จากภาพที่ 1 จุดเริ่มต้นซึ่งมีการปล่อยของเสียลงไปทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าแตกต่างเป็นช่วงกว้าง คือ ตั้งแต่อิ่มตัวจนถึง 2 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545) ซึ่งน้อยมากความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงทำให้เกิดความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีขึ้นแสดงโดย Deoxygenation curve เมื่อออกซิเจนละลายน้ำลดต่ำกว่าจุดอิ่มตัว Reaeration rate จะเพิ่มขึ้น ออกซิเจนละลายน้ำโดยรวมจากทั้ง 2 เหตุการณ์ เป็นเส้นโค้งแสดงการลดต่ำลงของค่า % ความอิ่มตัวของออกซิเจนละลายน้ำ เรียกว่า DO sag curve หากจุดที่ขาดแคลนออกซิเจนละลายน้ำมีระดับ ต่ำกว่า Minimum DO จะกลายเป็นจุดวิกฤต (Critical point) แต่เมื่อเวลาผ่านไปออกซิเจนละลายในน้ำจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นค่าบีโอดีลดลงมาก อินทรีย์สารน้อยลงไปจนเกือบอยู่ในสภาวะปกติ แหล่งน้ำสามารถบริสุทธิ์ได้เองตามธรรมชาติทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ปริมาณน้ำที่ไหลในแหล่งน้ำ ความเร็วของกระแส น้ำ อุณหภูมิของน้ำ รวมถึงการปล่อยของเสียลงไปแหล่งน้ำนั้น



ภาพที่ 2 แสดงการเปลี่ยนค่า %อิ่มตัวของดีไอในแหล่งน้ำที่มีสารอินทรีย์เจือปน  
ที่มา: สร้อยดาว วินิจนันทรัตน์, 2549

การถ่ายเทของก๊าซโดยพิจารณาเป็น 2 ชั้น คือ ชั้นของเหลวและชั้นก๊าซซึ่งกรณีของการถ่ายเทออกซิเจนจากบรรยากาศไปสู่ชั้นของเหลวมี 3 ขั้นตอน คือ

**ขั้นที่ 1** การถ่ายเทของออกซิเจนจากบรรยากาศเข้าสู่ฟิล์มของก๊าซ ซึ่งอัตราการถ่ายเทของออกซิเจนในบริเวณนี้มีอัตราเร็วมาก เนื่องจากความต้านทานในชั้นฟิล์มของก๊าซมีน้อยมาก ค่าความดันของก๊าซจะค่อย ๆ ลดลงแต่ในปริมาณที่น้อย

**ขั้นที่ 2** การถ่ายเทของออกซิเจนจากบริเวณฟิล์มของก๊าซ เข้าสู่ฟิล์มของของเหลวโดยจะมีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความปั่นป่วนของบริเวณผิวของของเหลว ถ้ามีความปั่นป่วนมากขึ้นบริเวณชั้นฟิล์มของน้ำค่าความเข้มข้นของออกซิเจนจะค่อย ๆ ลดลง

**ขั้นที่ 3** การถ่ายเทของออกซิเจนจากชั้นฟิล์มของของเหลวเข้าสู่ชั้นของเหลวในชั้นนี้ถ้ามีน้ำมีการกวนผสมจะมีความเข้มข้นของออกซิเจนเท่า ๆ กันในทุกส่วนของน้ำ แต่ถ้าไม่มีการกวน ค่าความเข้มข้นของออกซิเจน อาจมีค่าแตกต่างกันตามระดับความลึกน้ำ โดยทั่วไปยิ่งลึกลงไปเท่าใด ค่าความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนจะลดลงเรื่อย ๆ

จากการถ่ายเทของออกซิเจนลงไปใต้น้ำ สามารถเขียนได้ในรูปของสมการ ดังนี้

$$R_r = K_a(C_s - DO) \dots\dots\dots(10)$$

โดย

- $R_r$  = อัตราการเติมออกซิเจน (มิลลิกรัม/ลิตร/วัน)  
 $K_a$  = ค่าสัมประสิทธิ์การเติมอากาศ ( $\text{วัน}^{-1}$ )  
 $C_s$  = ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำอิ่มตัวที่ความดัน 1 บรรยากาศ (มิลลิกรัม/ลิตร)  
 $DO$  = ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำที่ตรวจวัด (มิลลิกรัม/ลิตร)

แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่อธิบายกระบวนการเติมอากาศโดยธรรมชาติสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$\frac{-dC}{dt} = K_L A \left( C_0 - \frac{C}{V} \right) \dots\dots\dots(11)$$

- เมื่อ
- $C$  = ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)  
 $C_0$  = ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)  
 $t$  = เวลา (วัน)  
 $K_L$  = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทอากาศ  
 $A$  = พื้นที่ผิวสัมผัส (ตารางเมตร)  
 $V$  = ปริมาตรน้ำ (ลิตร)

$C_0 - C$  คือ ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นอิ่มตัว (สูงสุด) ของออกซิเจนละลายน้ำ ( $C_0$ ) กับความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ ( $C$ ) ขณะนั้น เรียกว่า ปริมาณออกซิเจนที่ยังขาดอยู่ (DO deficit; D)

$$D = C_0 - C \dots\dots\dots(12)$$

ในลําดับใด ๆ ที่อุณหภูมิคงที่พบว่า พื้นที่ (A), ปริมาตร (V) และ  $C_0$  มีค่าคงที่การเปลี่ยนแปลงของ  $C$  มีค่าเท่ากับ การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรออกซิเจนที่ยังขาดอยู่

$$\frac{dD}{dt} = K_2 D \dots\dots\dots(13)$$

เมื่อ อินทิเกรต (Integrate) จะได้

$$D = D_0 e^{-K_2 t} \dots\dots\dots(14)$$

หรือ  $D = D_0 10^{-K_2 t}$

เมื่อ  $D =$  ปริมาณออกซิเจนที่ยังขาดอยู่  $C_0 - C$  (มิลลิกรัม/ลิตร)  
 $D_0 =$  ปริมาณออกซิเจนที่ยังขาดอยู่เมื่อ  $t = 0$  (มิลลิกรัม/ลิตร)  
 $K_2 =$  สัมประสิทธิ์ของการเติมอากาศ (log ฐาน e)  
 $k_2 =$  สัมประสิทธิ์ของการเติมอากาศ (log ฐาน 10)

กระบวนการเติมออกซิเจนในแหล่งน้ำจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเช่นเดียวกับการลดออกซิเจน เนื่องจากอุณหภูมิทำให้ค่า  $k_2$  และ  $C_0$  เปลี่ยนแปลงไป

$$K_{2(t)} = k_{2(20)} \alpha^{(T-20)} \dots\dots\dots(15)$$

เมื่อ  $K_{2(t)}$  = สัมประสิทธิ์การเติมออกซิเจนที่ T องศาเซลเซียส  
 $k_{2(20)}$  = สัมประสิทธิ์การเติมออกซิเจนที่ 20 องศาเซลเซียส  
 $\alpha$  = ค่าคงที่ 1.0238

ตารางที่ 1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การเติมออกซิเจนในแหล่งน้ำประเภทต่าง ๆ

ประเภทแหล่งน้ำ	$k_2$ ฐาน 10	$K_2$ ฐาน e
สระน้ำ	0.05 – 0.10	0.12 – 0.23
ทะเลสาบ	0.10 – 0.15	0.23 – 0.34
ลำธาร (ความเร็วต่ำ)	0.15 – 0.20	0.34 – 0.46
ลำธาร (ความเร็วปานกลาง)	0.20 – 0.30	0.46 – 0.69
ลำธาร (ความเร็วสูง)	0.30 – 0.50	0.69 – 1.15
น้ำเชี่ยว	> 0.05	> 1.15

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2545

ค่าสัมประสิทธิ์  $k_2$  จะมีผลต่ออัตราการเติมออกซิเจนในแม่น้ำ ถ้าค่า  $k_2$  มีค่าสูง อัตราการเติมออกซิเจน จะเกิดขึ้นเร็วกว่าแหล่งน้ำที่มีค่า  $k_2$  ต่ำ

การประเมินค่าสัมประสิทธิ์การเติมอากาศของการถ่ายเทออกซิเจนในแหล่งน้ำในแบบจำลอง QUAL2K ที่ทำการศึกษา (Steve Chapra and Greg Pelletier, 2003) มีดังนี้

1) Churchill, Elmer and Buckingham ดังสมการต่อไปนี้

$$K_a(20) = \frac{5.026 U}{H^{1.673}} \dots\dots\dots(16)$$

โดย  $K_a$  = ค่าสัมประสิทธิ์การเติมอากาศ (วัน<sup>-1</sup>)  
 $U$  = อัตราเร็วเฉลี่ยของหน้าตัดลำน้ำ (เมตร/วินาที)  
 $H$  = ความลึกของหน้าตัดลำน้ำ (เมตร)

สมการนี้ใช้กับแม่น้ำที่มีความลึกในช่วง 0.61 – 3.35 เมตร และอัตราการเร็วอยู่ระหว่าง 0.55 – 1.50 เมตร/วินาที

2) O'Connor and Dobbins สามารถประยุกต์ใช้กับแม่น้ำที่มีอัตราการไหลต่ำ สมการดังนี้

$$K_a(20) = \frac{3.93 U^{0.5}}{H^{1.5}} \dots\dots\dots(17)$$

โดย  $K_a$  = ค่าสัมประสิทธิ์การเติมอากาศ (วัน<sup>-1</sup>)  
 $U$  = อัตราเร็วเฉลี่ยของหน้าตัดลำน้ำ (เมตร/วินาที)  
 $H$  = ความลึกของหน้าตัดลำน้ำ (เมตร)

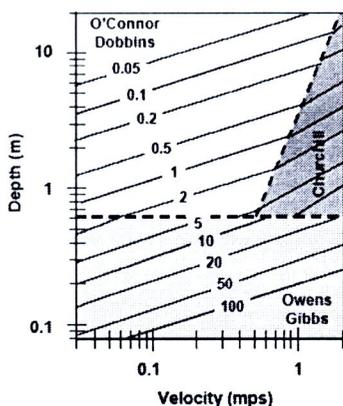
สมการนี้ใช้กับแม่น้ำที่มีความลึกมากกว่า 0.61 เมตร และความลึกมากกว่า  $3.45 U^{2.5}$  เมตร

3) Owens, Edwards and Gibbs สมการดังนี้

$$K_a(20) = \frac{5.32 U^{0.67}}{H^{1.85}} \dots\dots\dots(18)$$

โดย  $K_a$  = ค่าสัมประสิทธิ์การเติมอากาศ (วัน<sup>-1</sup>)  
 $U$  = อัตราเร็วเฉลี่ยของหน้าตัดลำน้ำ (เมตร/วินาที)  
 $H$  = ความลึกของหน้าตัดลำน้ำ (เมตร)

สมการนี้ใช้กับแม่น้ำที่มีความลึกน้อยกว่า 0.61 เมตร



ภาพที่ 3 การเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์การเติมอากาศ (วัน) ตามระดับความลึกและอัตราเร็ว  
ที่มา: Steve Chapra and Greg Pelletier, 2003

## 2) การสังเคราะห์แสง (Photosynthesis)

การสังเคราะห์แสงโดยคลอโรฟิลล์ของพืชสีเขียวในน้ำ โดยเฉพาะสาหร่าย เป็นอีกกลไกหนึ่งที่ทำให้เกิดการเติมออกซิเจนสู่แหล่งน้ำ การสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นเฉพาะช่วงกลางวันที่มีแสงสว่างแต่การหายใจเกิดขึ้นตลอด 24 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณออกซิเจนเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในแต่ละวัน (Diurnal variation)

ออกซิเจนส่วนที่เกินความสามารถในการละลายแต่ยังคงเจือปนอยู่ในน้ำทำให้ภาวะความอิ่มตัวของออกซิเจนละลายมีค่ามากกว่า 100 % เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ว่า ภาวะออกซิเจนอิ่มตัวขวยิ่ง (Super saturation of DO) สภาพเช่นนี้เกิดขึ้นในแหล่งน้ำที่เกิด Eutrophication

## 3) การเติมออกซิเจนที่ไม่ใช่วิธีธรรมชาติ (Artificial oxygenation)

เป็นการเติมอากาศลงไปใต้น้ำ เพื่อรักษาสมดุลออกซิเจนให้อยู่ระดับที่ต้องการ เช่น เติมอากาศโดยแรงกล การเติมอากาศโดยเทอร์ไบน์ การเติมอากาศ

### 2.2.10 ค่าความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ (Biochemical oxygen demand: BOD)

ได้แก่ ค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ แหล่งน้ำที่มีค่าบีโอดีมากย่อมแสดงว่ามีความสกปรกมากเนื่องจากจุลินทรีย์ต้องใช้ออกซิเจนจำนวนมากในการย่อยสลายสารอินทรีย์หรือสิ่งปฏิกูล จึงส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) ในแหล่งน้ำลดลง และอาจเกิดความเน่าเสียได้ โดยทั่วไปแหล่งน้ำผิวดินที่อนุรักษ์ไว้สำหรับการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ และการผลิตประปาขั้นพื้นฐาน ไม่ควรมีค่าบีโอดีเกินกว่า 1.5 มิลลิกรัม/ลิตร ถ้าจะอนุรักษ์ไว้เพื่อกิจกรรมด้านการเกษตร ไม่ควรมีค่าบีโอดีเกินกว่า 2.0

มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนแหล่งน้ำที่จะอนุรักษ์ไว้ใช้ประโยชน์เพื่อกิจกรรมด้านการอุตสาหกรรม ไม่ควรมีค่าบีโอดีเกินกว่า 4.0 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อจุลินทรีย์ที่เกี่ยวกับการลดลงของบีโอดีมีดังนี้

- 1) ชนิดของ Substrate (สารมลพิษ) และปริมาณ (ความเข้มข้น)
- 2) ค่าพีเอชของน้ำ
- 3) ชนิดของสารที่ปนอยู่ และปริมาณ (ความเข้มข้น)
- 4) อุณหภูมิของน้ำ
- 5) แสง
- 6) การป้อนออกซิเจน
- 7) คุณลักษณะของน้ำที่มีผลต่อการป้อนออกซิเจน (ปริมาณน้ำ ความเร็วในการไหล ความลึกของน้ำ ปัจจัยการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent) พื้นน้ำ รูปทรงของชายหาด ความหยาบของพื้นน้ำ ฯลฯ)
- 8) สารอินทรีย์ที่พื้นน้ำ
- 9) คุณสมบัติของดินในอาณาเขตน้ำ (ผลของสารที่ละลายอยู่)
- 10) ชนิดและจำนวนของสิ่งมีชีวิตในน้ำและสภาพของจุลินทรีย์
- 11) เวลาที่ใช้ในการไหลลงทะเล (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)



### 2.2.11 ปริมาณของออกซิเจนทางชีวเคมี (Chemical oxygen demand ; COD)

ปริมาณของออกซิเจนทางชีวเคมีหรือซีโอดี หมายถึง ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้เพื่อออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำ ด้วยสารเคมีซึ่งมีอำนาจในการออกซิไดส์สูงในสารละลายที่เป็นกรด ให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ ค่าซีโอดีมีความสำคัญในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้ง การควบคุมระบบบำบัดน้ำทิ้ง การควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย ค่าซีโอดีนี้มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตร

หลักการของซีโอดีจะคล้ายกับบีโอดี คือสารอินทรีย์ในน้ำจะถูกออกซิไดส์จนได้คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ เพียงแต่บีโอดีต้องใช้แบคทีเรียในการย่อย ส่วนซีโอดีใช้สารเคมี ซีโอดีและบีโอดีต่างก็เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำ แต่ซีโอดีใช้เวลาในการวิเคราะห์เพียง 3 ชั่วโมง ส่วนบีโอดีใช้เวลาถึง 5 วัน อัตราส่วนของซีโอดีและบีโอดีสำหรับน้ำชนิดต่างๆ มีค่าไม่เท่ากันเพราะส่วนประกอบของน้ำแต่ละแหล่งแตกต่างกัน อัตราส่วนระหว่างบีโอดีและซีโอดีอาจเป็นไปได้ถึง 0.1 – 0.8 แต่ไม่เกิน 1 บีโอดีอาจมีค่าสูงกว่าซีโอดีได้แต่มีโอกาสน้อยมาก (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2540)

**2.3 คุณลักษณะทางชีววิทยา (Biological characteristics)** เกิดจากสิ่งมีชีวิตอาศัย ซึ่งมีทั้งที่ทำให้เกิดโรคและไม่ทำให้เกิดโรค ได้แก่ แบคทีเรีย คือ จุลินทรีย์เซลล์เดียว มีขนาดเล็ก ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เป็นผู้ย่อยสลายในแหล่งน้ำและรา เป็นจุลินทรีย์ที่มีหลายเซลล์ ไม่มีคลอโรฟิลล์ รมีความสำคัญในการย่อยสลายพวกคาร์บอนที่มีค่า pH ต่ำ รมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียบางระบบ เป็นต้น

**2.3.1 จุลินทรีย์ที่ไม่ทำให้เกิดโรค (Nonpathogenic microorganisms)** ได้แก่ พวกแบคทีเรีย โปรโตซัว สาหร่าย หรือราบางชนิด

**2.3.2 จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (Pathogenic microorganisms)** มีมากมายหลายชนิดที่ก่อให้เกิดอาการของโรคอย่างรุนแรงถึงขั้นตายได้ และมีอาการถึงเจ็บป่วยเพียงเล็กน้อย ได้แก่ ไวรัส แบคทีเรีย โปรโตซัว และหนอนพยาธิ เพราะน้ำเป็นตัวแพร่กระจายโรคบางชนิดได้ดี โดยกล่าวได้ดังนี้

**2.3.2.1 ไวรัส (Virus)** ไวรัสเป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กมากที่สุด ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าไวรัสที่อาจพบแพร่กระจายในน้ำแล้วทำให้เกิดโรคในมนุษย์

**2.3.2.2 แบคทีเรีย (Bacteria)** เป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดโตกว่าไวรัส สามารถมองใช้กล้องจุลทรรศน์ธรรมดาส่องได้ มีเซลล์เดียว ใช้อาหารในรูปสารละลาย ส่วนใหญ่ก็เป็นโรคที่สามารถป้องกันรักษาได้ ได้แก่ อหิวาตกโรค โรคไข้ไทฟอยด์ โรคบิด แบคทีเรียที่ใช้เป็นคุณลักษณะที่แสดงถึงคุณภาพน้ำที่เกิดจากจุลินทรีย์ที่เจริญในน้ำที่สำคัญ ได้แก่ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย ซึ่งใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ

**2.3.2.3 โปรโตซัว (Protozoa)** เป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดโตกว่าแบคทีเรีย ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า โปรโตซัวที่ทำให้เกิดโรคได้แก่ โรคบิดชนิดอมีบา โรคจิอาร์เดีย ทำให้เกิดท้องเสียท้องร่วงระยะนาน ปวดท้อง น้ำหนักลดลงอย่างรวดเร็ว ปวดเมื่อยตัว ฯลฯ

**2.3.2.4 หนอนพยาธิ (Helminth)** จัดเป็นพวกปรสิตต้องอาศัยอยู่กับสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ แบ่งได้ 3 ประเภท คือ พยาธิตัวกลม พยาธิตัวแบน และพยาธิใบไม้

**ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total coliform bacteria: TCB)** ได้แก่ กลุ่มแบคทีเรียชนิดหนึ่ง ซึ่งส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในลำไส้มนุษย์หรือสัตว์ แต่บางครั้งอาจพบในบริเวณอื่น อาทิเช่น พืช ดิน และเมล็ดธัญพืช เป็นต้น การตรวจแบคทีเรียชนิดนี้ในแหล่งน้ำจะแสดงถึงความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนหรือแพร่กระจายของเชื้อโรคที่ทำให้เกิดโรคในระบบทางเดินอาหารในแหล่งน้ำ อาทิเช่น โรคอหิวาต์ บิด ไทฟอยด์ หรืออุจจาระร่วง เป็นต้น ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด มีหน่วยเป็น MPN (เอ็ม.พี.เอ็น) / 100 มิลลิลิตร (มล.) ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดินกำหนดให้แหล่งน้ำที่เหมาะสมจะนำมาใช้ในการผลิตประปา และสามารถว่ายน้ำเล่นกีฬาทางน้ำ

ได้ ไม่ควรมีค่าปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด เกินกว่า 5,000 หน่วย (เอ็ม.พี.เอ็น. ต่อ 100 มิลลิลิตร) ขณะที่แหล่งน้ำที่เหมาะสมจะอนุรักษ์ไว้ เพื่อใช้สำหรับกิจกรรมการเกษตรกรรม ไม่ควรมีค่าปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด เกินกว่า 20,000 หน่วย (เอ็ม.พี.เอ็น. ต่อ 100 มิลลิลิตร) (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

**ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลลีโคลิฟอร์ม(Fecal coliform bacteria: FCB)** ได้แก่ ปริมาณเชื้อโรคแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม ที่มีอยู่ในอุจจาระของมนุษย์และสัตว์เลือดอุ่น การตรวจพบแบคทีเรียชนิดนี้ในแหล่งน้ำ จะบ่งชี้เฉพาะหรือยืนยันเพิ่มขึ้น จากค่าการตรวจวัดปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด ว่าแหล่งน้ำนั้นมีโอกาสปนเปื้อน หรือมีการแพร่กระจายของเชื้อโรคที่ทำให้เกิดโรคในระบบทางเดินอาหารสูง ส่วนใหญ่แบคทีเรีย กลุ่มฟีคอลลีโคลิฟอร์ม มีหน่วยวัดเช่นเดียวกับ ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดิน แหล่งน้ำที่เหมาะสมจะนำมาใช้ในการผลิตน้ำประปา และสามารถว่ายน้ำเล่นกีฬาทางน้ำได้ ไม่ควรมีค่าปริมาณแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลลีโคลิฟอร์ม เกินกว่า 1,000 หน่วย (เอ็ม.พี.เอ็น.ต่อ 100 มิลลิลิตร) ขณะที่แหล่งน้ำที่เหมาะสมจะอนุรักษ์ไว้เพื่อใช้สำหรับกิจกรรมการเกษตรกรรม ไม่ควรมีค่าปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด เกินกว่า 4,000 หน่วย (เอ็ม.พี.เอ็น.ต่อ 100 มิลลิลิตร) (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

### 3. โครงสร้างของมลพิษน้ำ

#### 3.1 การวัดปริมาณมลพิษน้ำ

การประเมินความสกปรกของมลพิษจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ สามารถประเมินในรูป ค่าความเข้มข้น ค่าสมมูลประชากร และภาวะบรรทุก

##### 3.1.1 ค่าความเข้มข้น (Concentration)

ปริมาณของมลสารจะถูกบ่งบอกเป็นความเข้มข้นของสารประเภทนั้น ในการวัดหาระดับปริมาณมลพิษของน้ำจึงต้องเลือกใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสม เช่น จำนวนของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียที่ออกมาจากครัว เครื่องซักผ้า น้ำชักโครก ฯลฯ จะบอกด้วยค่าของบีโอดีด้วยการวิเคราะห์ปริมาณบีโอดีที่มีอยู่ในน้ำในรูปของความเข้มข้นมีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตรกรัม/ลูกบาศก์เมตร พีพีเอ็ม ฯลฯ

##### 3.1.2 ค่าสมมูลประชากร (Population equivalence)

ค่าสมมูลประชากร หมายถึง ปริมาณมลสารที่วัดต่อหนึ่งหน่วยของแหล่งกำเนิด

$$\text{สมมูลประชากร} = \frac{\text{ความเข้มข้นของมลสารในน้ำ}}{(\text{กรัม/แหล่งกำเนิด/วัน})} \times \frac{\text{ปริมาณน้ำเสียดต่อแหล่งกำเนิด}}{(\text{ลูกบาศก์เมตร/แหล่งกำเนิด/วัน})}$$

เช่น ในกรณีของน้ำเสียจากบ้านเรือน ค่าบีโอดีที่เกิดจากคนหนึ่งคน/วัน มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 35 – 50 กรัม/คน/วัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2545) ซึ่งค่านี้จะมีความแตกต่างกัน ขึ้นกับวิถีชีวิตในสภาพสังคมหนึ่ง ๆ ส่วนในกรณีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรม หน่วยของมลพิษที่ ใช้อยู่มีหลายหน่วยแตกต่างกัน เช่น หน่วยปริมาณที่เกี่ยวกับวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ การขนส่งจาก โรงงาน และอื่น ๆ

**3.1.3 การบรรทุก (Loading)**

ค่าความเข้มข้นเมื่อนำมาคูณด้วยปริมาณของน้ำเสียทั้งหมดจะได้ออก มาเป็น ปริมาณทั้งสิ้นของมลสาร ซึ่งเรียกว่า การบรรทุก (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

$$\begin{matrix} \text{การบรรทุก} & = & \text{ความเข้มข้นของมลสารในน้ำ} & \times & \text{ปริมาณน้ำเสีย} \\ \text{(กรัม/วัน)} & & \text{(กรัม/ลูกบาศก์เมตร)} & & \text{(ลูกบาศก์เมตร/ วัน)} \end{matrix}$$

**3.2 การเปลี่ยนแปลงของสารในสภาพธรรมชาติ**

**3.2.1 การสลายตัวของสารอินทรีย์และกิจกรรมของจุลินทรีย์**

สารอินทรีย์ที่ระบายลงสู่แม่น้ำในสภาวะปกติจะถูกกำจัด โดยแบคทีเรียและ สารเคมีเชิงซ้อนที่เป็นส่วนประกอบอยู่ (C, N, S, P และอื่น ๆ) จะถูกเปลี่ยนเป็นสารออกไซด์ เชิงเดี่ยวจำพวก CO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>2</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> และสารอื่น ๆ เกลื่อนินทรีย์เหล่านี้จะถูกแปลงตอนพืช คูดซึมเข้าไปใช้เป็นธาตุอาหารและถูกเปลี่ยนไปเป็นสารอินทรีย์

ในช่วงของการแตกตัวออกซิเจนละลายน้ำจะถูกนำไปใช้ ดังตัวอย่างการย่อย สลายน้ำตาลกลูโคสที่เกิดปฏิกิริยาตามข้างล่างนี้



พลังงานอิสระ (ΔE) ที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปใช้เป็นพลังงานในการดำเนินชีวิต ของจุลินทรีย์จะถูกย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว และในขณะเดียวกันออกซิเจนที่ถูกใช้ไปจะ ได้รับ การเติมจากอากาศที่สัมผัสอยู่บนผิวน้ำ ดังนั้น ระดับของออกซิเจนละลายจะได้รับการทดแทนอยู่ ตลอดเวลา

$$C_t = C_0 10^{-kt} \dots \dots \dots (20)$$

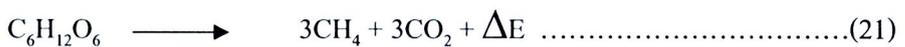
- เมื่อ C<sub>t</sub> = ความเข้มข้นหลังจากเวลาผ่านไป t (ในกรณีของแม่น้ำ เวลา t นับ จากเริ่มปล่อยลงไป) (กรัม/ลูกบาศก์เมตร)
- C<sub>0</sub> = ความเข้มข้นของสารอินทรีย์เริ่มแรก (กรัม/ลูกบาศก์เมตร)
- k = ค่าสัมประสิทธิ์ของการทำตัวเองให้บริสุทธิ์

หากค่าออกซิเจนละลายมีค่าเพียงพอจะอยู่ในสภาพที่เรียกว่า แอโรบิก (Acrobic) สภาพนี้จะทำให้แม่น้ำลำคลองคงความสะอาดอยู่ได้ตรงกันข้ามหากค่าออกซิเจนละลายไม่เพียงพอสิ่งมีชีวิตจำพวกแอโรบิกไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ สภาพนี้เรียกว่า แอนแอโรบิก (Anaerobic) สภาพเช่นนี้อาจจะเกิดขึ้นในกรณี

- 1) ปริมาณของมลพิษที่เป็นสารอินทรีย์มีปริมาณมากในแหล่งน้ำ
- 2) ขาดแคลนการได้รับออกซิเจน เนื่องจากน้ำหยุดนิ่ง หรือ
- 3) การละลายตัวได้ของออกซิเจนลดต่ำลงเนื่องจากน้ำมีอุณหภูมิสูง

แบคทีเรียที่ต้องใช้อากาศไม่สามารถเจริญเติบโตได้ และยังคงแทนที่ด้วยการย่อยสลายตัวจากแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศ ดังนั้น การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนทำให้เกิดก๊าซมีเทน แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมอร์แคปแทน และก๊าซอื่น ๆ จึงทำให้พื้นน้ำดำเนื่องจากเกิดสาร Iron sulfide ทำให้ปลาขาดอากาศหายใจตาย เหตุการณ์นี้มักจะเกิดขึ้นในกรณีที่แม่น้ำไหลผ่านเมือง หรือแหล่งกำเนิดของเสียที่มีการระบายน้ำเสียเป็นปริมาณและความเข้มข้นสูงมาก มลสารที่ถูกปล่อยเข้าไปในแหล่งน้ำจะมีการย่อยสลายตัวไปที่ละน้อย ๆ ในขณะที่ไปทำให้เกิดผลกระทบต่อสภาพของสิ่งแวดล้อม

### 3.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างบีโอดีและค่าออกซิเจนละลาย



การย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวเคมี ปริมาณการลดลงของสารอินทรีย์จะแปรผันกับปริมาณของออกซิเจนที่ใช้ การเปลี่ยนแปลงปริมาณของทั้งสองต่างก็มีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกัน ดังนั้นการลดลงของบีโอดีคู่ได้จากบีโอดีที่เหลือ (Residual BOD) หรือคู่ได้จากความแตกต่างระหว่างบีโอดีที่เหลือกับบีโอดีเริ่มต้นหรือบีโอดีที่ใช้ไป ในขณะเดียวกันก็สามารถดูได้จากการลดลงของค่าออกซิเจนละลายเราเรียกปฏิกิริยาที่ทำให้ค่าออกซิเจนละลายลดลงว่า ปฏิกิริยาแบบ Deoxidation

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของค่าออกซิเจนละลายในน้ำที่ไหล มี 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1) การใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายบีโอดีซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของค่าออกซิเจนละลายลดลง

2) การป้อน (Supply) ออกซิเจนลงสู่ น้ำซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของค่าออกซิเจนละลายเพิ่มขึ้น โดยการป้อนออกซิเจนลงสู่ น้ำมี 3 ทางหลัก ดังนี้

(1) โมเลกุลของออกซิเจนในบรรยากาศละลายลงในน้ำ โดยการละลายจะขึ้นกับสภาพของแม่น้ำลำคลอง ความเร็ว การของผิวหน้า ลักษณะผิวหน้า การไหลต่างระดับลม หรือ คลื่นที่ผิวหน้า อุณหภูมิของน้ำ การเปลี่ยนแปลงของความกดอากาศทำให้การละลายง่าย หรือ ยากขึ้น ความเข้มข้นของเกลือในน้ำ

(2) การไหลเข้ามาของน้ำสะอาด ทำให้คุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าฉางลงพร้อม ๆ กับป้อนค่าออกซิเจนละลายที่มีอยู่จำนวนมากให้

(3) ออกซิเจนที่เกิดจากการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ หรือ แพลงตอน โดยออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงจำพวกพืชจะเกิดขึ้นมากเป็นพิเศษในทะเลสาบ หนอง บึง

**3.2.3 พฤติกรรมของสารมลพิษ**

มลสารต่าง ๆ ที่ถูกปล่อยลงไปในแหล่งน้ำจะถูกเจือจางและผสมปนไปกับน้ำปัจจัยที่มีผลต่อการเจือจาง มีอยู่ดังนี้

3.2.3.1 การเคลื่อนไหวแบบ Brownian ของอนุภาคของมลสารในน้ำ

3.2.3.2 กระแสของความหนาแน่นที่เกิดจากความแตกต่างในความหนาแน่นของน้ำ และความเข้มข้นของมลสาร

3.2.3.3 การที่น้ำไหลปั่นป่วนซึ่งเกิดจากน้ำไหลทะลักไม่เป็นระเบียบเกิดขึ้น การเคลื่อนไหวแบบ Brownian จะมีผลต่อการกระจายหรือการเคลื่อนที่ของโมเลกุลไม่มากนักเมื่อเทียบกับ การไหลแบบปั่นป่วนซึ่งได้รับอิทธิพลจากกระแสลม การเปลี่ยนแปลงความเร็วของกระแสน้ำ ความลึกของน้ำ และสภาพของพื้นล่างของน้ำสำหรับในแม่น้ำ กระบวนการของการเจือจางและการกระจายตัวของมลสารจะไหลเป็นแนวตรงลงไปตามกระแสน้ำ ดังนั้น ความเข้มข้นของมลสารจึงตรวจวัดได้จากอัตราการไหลของกระแสน้ำในแม่น้ำ และสามารถใช้อธิบายได้ด้วยสมการชั้นเดียว โดยสมมติว่าการผสมเจือจางได้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว ดังนี้

$$\text{ความเข้มข้นของมลสาร } C_2 = \frac{C_0 q_0 + C_1 q_1}{q_0 + q_1} \dots\dots\dots(22)$$

- โดยที่  $C_0$  = ความเข้มข้นของมลสารในลำน้ำ (กรัม/ลูกบาศก์เมตร)
- $C_1$  = ความเข้มข้นของมลสารในน้ำที่เดิมหรือเพิ่มลงในลำน้ำ (กรัม/ลูกบาศก์เมตร)
- $q_0$  = อัตราการไหลของกระแสน้ำในลำน้ำ (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)
- $q_1$  = อัตราการไหลของน้ำที่เดิมหรือเพิ่มลงในลำน้ำ (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)

ถ้าน้ำในแม่น้ำไม่ได้ประกอบด้วยมลสารหรือไม่มีการปนเปื้อนก่อนระบายน้ำทิ้งที่มีมลสาร ดังนั้น  $C_0 = 0$  จะได้

$$C_2 = \frac{C_1 q_1}{q_0 + q_1} \dots\dots\dots(23)$$

ถ้าอัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำสูงมากเมื่อเทียบกับการไหลของน้ำที่เดิมหรือเพิ่ม ดังนั้น  $q_0 \gg q_1$  เราจะได้

$$C_2 = \frac{C_1 q_1}{q_0} \dots\dots\dots(24)$$

**3.2.4 ปฏิกริยาการฟอกตัวเองของแม่น้ำ (Self – purification of water)**

การทำความสะอาดตนเองของแม่น้ำที่ไหล หมายถึง การที่สามลพิษในน้ำเสี่ยลดลงในระหว่างที่เวลาผ่านไป หรือในระหว่างที่ไหลผ่านตามเส้นทาง ซึ่งกลไกในการทำปฏิกริยามีดังนี้ (กัณหารีย์ ศรีพงษ์พันธุ์, 2547)

3.2.4.1 การทำปฏิกริยาทางฟิสิกส์ การเจือจางจากแม่น้ำสะอาดที่ไหลมาจากแม่น้ำลำคลองสายย่อย การกระจาย ประปนลง ในแม่น้ำที่มีปริมาณมาก การกำจัดสารมลพิษจากการตกตะกอน หรือ กรองการลดลงของสารมลพิษจากการแผ่กระจายขณะน้ำสาดหรือแผ่กระจายออกพร้อมกับไอน้ำอื่น ๆ

3.2.4.2 การทำปฏิกริยาทางเคมี การเกิดปฏิกริยาออกซิเดชั่น (Oxidation) หรือรีดักชั่น (Reduction) เนื่องจากแสง โอโซนหรือฟ้าผ่า ฯลฯ การเกิดออกซิเดชั่นเนื่องจากออกซิเจนหรือสารประกอบออกไซด์ การดูดซับ การเกิดปฏิกริยาเคมีระหว่างกัน

3.2.4.3 การทำปฏิกริยาทางชีวภาพ การลดลงของกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น จุลินทรีย์ แพลงตอน พืชน้ำ ปลา อื่น ๆ จากการศึกษาของ Katz และ Gaufin ในปี ค.ศ. 1953 พบว่าถ้ามีการปล่อยน้ำเสี่ยชนิดที่เป็นสารอินทรีย์ลงไป ในแม่น้ำแบบเป็นจุด (Point Source) จะทำให้เกิดผลกระทบต่อส่วนของแม่น้ำที่อยู่ได้ลงมา (Downstream) ซึ่งสามารถแบ่งแหล่งน้ำตามปฏิกริยาที่เกิดขึ้นได้เป็นเขตต่าง ๆ (Zone) ต่อเนื่องกัน คือ เขตที่มีการสลายตัว (Decomposition zone), เขตที่มีการเน่าเสี่ย (Septic zone), เขตฟื้นตัว (Recovery zone) และเขตที่มีสภาพปกติ (Clean zone) (กัณหารีย์ ศรีพงษ์พันธุ์, 2547)

#### 4. มลพิษทางน้ำ

ปัจจุบันปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมได้ทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น ปัญหามลพิษทางน้ำเป็นปัญหาหนึ่งที่มีผลกระทบจนเป็นที่น่าเป็นห่วง การศึกษาข้อมูลของแหล่งที่มาของมลพิษทางน้ำที่ถูกต้องย่อมทำให้การจัดการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ในส่วนนี้จะเป็นการนำเสนอเรื่องราวของความรู้เบื้องต้นของมลพิษทางน้ำ แหล่งกำเนิด และผลกระทบของมลพิษทางน้ำ

น้ำเสีย (Waste water) ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพของเหลวรวมทั้งมลสารที่ปะปนและปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น

##### 4.1 แหล่งกำเนิดมลพิษทางน้ำ มี 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่

แหล่งกำเนิดที่มีจุดแน่นอน (Point source) เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางน้ำที่มีการระบายน้ำเสียที่ถาวรและเป็นประจำ ได้แก่ แหล่งชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม

แหล่งกำเนิดที่ไม่มีจุดแน่นอน (Non-point source) เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางน้ำที่กระจัดกระจายโดยทั่วไปเป็นพื้นที่กว้าง ได้แก่ การเกษตร การคมนาคม เป็นต้น

แหล่งกำเนิดมลพิษในแหล่งน้ำ ได้แก่

##### 4.1.1 น้ำเสียจากชุมชน (Domestic wastewater)

น้ำเสียจากชุมชน หมายถึง น้ำที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ เช่น น้ำจากการซักล้าง น้ำจากห้องน้ำห้องส้วม และระบายน้ำทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำ แหล่งรองรับน้ำเสียหรือแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ได้ผ่านการบำบัด ซึ่งจะประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ สบู่ ผงซักฟอก เศษอาหาร ไขมัน สารอนินทรีย์ และสิ่งปฏิกูลอื่นๆ เจือปนอยู่ กิจกรรมที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ก่อให้เกิดน้ำเสียชุมชน ได้แก่ บ้านพักอาศัย น้ำเสียจากบ้านพักอาศัยนั้นเกิดจากเศษอาหาร จากการทำงานและภาชนะในการปรุงอาหาร การทำความสะอาดเสื้อผ้า ซึ่งบ้านพักอาศัยส่วนใหญ่จะมีอัตราการระบายน้ำเสียประมาณ 150 – 216 ลิตร/คน/วัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

##### 4.1.1.1 ปริมาณน้ำเสียชุมชน

ปริมาณน้ำเสียที่ระบายทิ้งจากบ้านเรือน อาคาร จะมีค่าประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำใช้ หรืออาจประเมินได้จากจำนวนประชากรหรือพื้นที่อาคาร

ตารางที่ 2 อัตราการเกิดน้ำเสียต่อคนต่อวัน

ภาค	อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/คน-วัน)					
	2536	2540	2545	2550	2555	2560
กลาง	160-214	165-242	170-288	176-342	183-406	189-482
เหนือ	183	200	226	252	282	316
ตะวันออกเฉียงเหนือ	200-253	216-263	239-277	264-291	291-306	318-322
ใต้	171	195	204	226	240	275

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2545

ตารางที่ 3 อัตราการเกิดน้ำเสียแบ่งตามขนาดของชุมชนในระยะ 20 ปี

เทศบาล/สุขาภิบาล	อัตราการเกิดน้ำเสีย				
	หน่วย: ลิตร/คน/วัน				
	พ.ศ.2539	พ.ศ.2544	พ.ศ.2549	พ.ศ.2554	พ.ศ.2559
สุขาภิบาล	160	167	175	182	190
เทศบาล (<20,000 คน)	180	190	200	210	220
เทศบาล (20,000 – 50,000 คน)	200	212	225	237	250
เทศบาล (>50,000 คน)	250	262	275	287	300

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2545

#### 4.1.1.2 คุณลักษณะของน้ำเสียชุมชน

จากการศึกษารายงานการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการน้ำเสียชุมชน โดยการศึกษาค่าเฉลี่ยลักษณะสมบัติของชุมชนต่าง ๆ ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในท่อระบายน้ำของชุมชนนั้น ๆ เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยทั้งหมด พบว่าค่าเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้ เนื่องจากน้ำเสียชุมชนได้ผ่านการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนมาระดับหนึ่งแล้ว และน้ำเสียที่เป็นน้ำโสโครกก็ผ่านการบำบัดจากบ่อเกรอะ-บ่อซึม มาแล้วเช่นกัน

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของน้ำเสียที่ถ่ายทิ้งสู่แหล่งน้ำ

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้
BOD (mg/l)	105
SS (mg/l)	90
NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	0.25
NH <sub>3</sub> -N (mg/l)	15
TP (mg/l)	3
Fecal Coliform (MPN/100 ml)	1.5 x 10 <sup>6</sup>
Total Coliform (MPN/100 ml)	2.0 x 10 <sup>6</sup>

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2545

#### 4.1.1.3 การประเมินปริมาณของน้ำเสีย

การประเมินปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละชุมชนทำการคำนวณจากปริมาณน้ำใช้จากอัตราการใช้น้ำเฉลี่ยของแต่ละขนาดชุมชน โดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2549 (ตารางที่ 3) คูณด้วยจำนวนประชากรในแต่ละชุมชนแล้วคิดปริมาณน้ำเสียจาก 80 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำที่ใช้ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การประเมินภาระมลพิษจากน้ำเสียชุมชน จังหวัดนครราชสีมา ปี พ.ศ. 2549

อำเภอ	จำนวนประชากรในพื้นที่ศึกษา ปี 2549		
	ประชากร	ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม./วัน)	ปริมาณน้ำเสีย (ลบ.ม./วัน)
เมืองนครราชสีมา	427,099	51,251.88	41,001.50
ขามทะเลสอ	28,112	3,373.44	2,698.75
สีคิ้ว	122,061	14,647.32	11,717.86
สูงเนิน	78,610	9,433.20	7,546.56
<b>รวม</b>	<b>655,882</b>	<b>78,705.84</b>	<b>62,964.67</b>

ที่มา: สำนักงานสถิตินครราชสีมา, 2551

#### 4.1.2 น้ำเสียจากอุตสาหกรรม (Industrial wastewater)

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำทิ้งจากระบบการผลิตระบบการหล่อเย็น อาคารที่อยู่อาศัยและที่ทำการ ร้านค้า และร้านอาหาร สารที่ปะปนมาอาจจะเป็นสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์กรดต่าง โลหะหนัก สารเคมีต่าง ๆ สารกัมมันตภาพรังสี สารพิษ ดินทราย และสิ่งปฏิกูลอื่น ๆ ซึ่งเมื่อทิ้งลงในแม่น้ำลำคลอง จะทำให้เพิ่มปริมาณสารเหล่านั้นหรือเกิดการเป็นพิษกับสิ่งมีชีวิตในน้ำ เกิดการเน่าเหม็น เกิดสี กลิ่น และความไม่สะอาด

ตารางที่ 6 ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ

ประเภทโรงงาน	บีโอดี (มก./ล.)		ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
กระดาษ	100 – 1,000	530	100 – 1,300	830
สบู่	200 – 3,000	1,180	100 – 3,000	560
ผงชูรส	200 – 2,000	890	-	-
สุรา-แอลกอฮอล์	5,000 – 60,000	29,000	1,000 – 10,000	7,800
น้ำอัดลม	150 – 2,400	740	50 – 400	190
นม	200 – 3,600	1,125	100 – 1,100	450
น้ำตาล	200 – 3,900	1,320	100 – 600	320
สิ่งทอ	60 – 900	230	0 – 500	160
ห้องเย็น	250 – 4,000	1,560	100 – 700	410
เครื่องกระป๋อง	500 – 12,700	3,560	100 – 3,000	760
วุ้นเส้น	600 – 4,500	1,840	-	-
เส้นหมี่	1,000 – 14,000	3,620	1,000 – 30,000	8,400
โม้แป้ง แปะแซ	1,000 – 11,000	5,235	500 – 5,000	1,700

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2545

#### 4.1.3 น้ำเสียจากกิจกรรมการเกษตร (Agricultural wastewater)

แหล่งกำเนิดน้ำเสียจากกิจกรรมการเกษตรที่สำคัญแบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินได้เป็นพื้นที่เพาะปลูก ฟาร์มปศุสัตว์ และการเลี้ยงปลา

**4.1.3.1 การเพาะปลูก** เป็นพื้นที่สำคัญเนื่องจากการทำการเพาะปลูกจำนวนมากและอาจมีการใช้สารเคมี มลพิษทางน้ำที่เกิดจากการเกษตรส่วนใหญ่แล้วเกิดมาจากการใช้ปุ๋ยแร่ธาตุหลักที่ใช้ในการเกษตร ได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของฟอสเฟตสามารถยึดติดอยู่กับดินได้ จึงมีส่วนน้อยที่ไหลไปกับน้ำ ดังนั้นสารที่ทำให้เกิดปัญหาคือไนโตรเจน การใช้ปุ๋ยส่วนใหญ่มักใส่กันมากเกินไปซึ่งจะนำไปใช้ได้หมด เมื่อฝนตก น้ำฝนจะชะเอาไนโตรเจนไหลไปตามผิวดิน ลงสู่แม่น้ำลำคลอง ช่วยให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีเป็นจำนวนมาก ทำให้น้ำเกิดสี กลิ่น และรส เมื่อสาหร่ายเหล่านี้ตายลง ก็จะทำให้น้ำเน่าเหม็นและมีฟิโนลสูงขึ้น เกิดฝ้าขาวลอยอยู่ตามผิวน้ำ นอกจากนี้ยังเกิดจากยาฆ่าแมลงและยากำจัดวัชพืช ส่วนใหญ่เป็นสารเคมีที่เป็นสารมีพิษ เมื่อถูกชะล้างลงไปสู่น้ำ ก็จะเป็นพิษแก่พืชและสัตว์ที่อยู่ในน้ำ หากเรานำน้ำไปใช้ก็จะได้รับอันตรายจากสารพิษนั้นด้วย

**4.1.3.2 ฟาร์มปศุสัตว์** การเลี้ยงสัตว์สามารถทำให้เกิดมลพิษทางน้ำ ได้แก่ การเลี้ยงสุกร การเลี้ยงโคกระบือ การเลี้ยงเป็ด ห่าน เป็นต้น เนื่องจากมูลสัตว์สามารถไหลลงไปในลำน้ำ ทำให้มีสารอินทรีย์ในโตรเจน และฟอสฟอรัสในปริมาณสูง เป็นแหล่งกำเนิดเชื้อโรคต่างๆ นอกจากนี้ยังทำให้กลิ่นเหม็น

**4.1.3.3 การเลี้ยงปลา** การเลี้ยงปลาเป็นอีกกิจกรรมหนึ่งที่ก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำ เช่น การเตรียมบ่อเลี้ยงปลา การให้อาหาร การขับถ่ายของปลา และยารักษาโรคในปลา ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้ทำให้เกิดสารเคมี สารประกอบของไนโตรเจน สภาพความเป็นกรด-ด่าง และสิ่งเจือปนต่างๆ ไหลลงสู่แหล่งน้ำทำให้เกิดการเน่าเสียขึ้น

## 4.2 ผลกระทบของน้ำเสีย

### 4.2.1 ผลกระทบต่อสุขภาพและสังคม

**4.2.1.1** รสและกลิ่นของน้ำเปลี่ยนไป มีสีและกลิ่นทำให้ผู้บริโภคได้รับความเดือดร้อน โรงงานบางโรงงานอาจปล่อยน้ำทิ้งที่มีสารบางชนิด ได้แก่ น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตยางเทียม โรงกลั่นน้ำมัน เป็นต้น

**4.2.1.2** การปนเปื้อนจากเชื้อโรค เชื้อโรคบางประเภทติดต่อได้ทางน้ำ เช่น แบคทีเรีย โปรโตซัว ไวรัส เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคอหิวาตกโรค ไข้รากสาด บิด ตับอักเสบ ไชล์สันหลังอักเสบ อันมีแหล่งกำเนิดมาจากน้ำเสียจากบ่อเกรอะ-บ่อซึม จากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น ซึ่งสามารถใช้การวิเคราะห์ค่าแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มเป็นตัวชี้วัดทางอ้อม

4.2.1.3 ผลกระทบของวัตถุมีพิษจากการผ่านห่วงโซ่อาหาร วัตถุมีพิษแม้ว่าจะได้รับในปริมาณที่น้อยมากก็อาจจะทำให้เกิดอาการที่เฉียบพลันหรืออาการเรื้อรังของร่างกาย นอกจากนี้จะมีการสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิตหากได้รับติดต่อกันเป็นระยะเวลาานาน ๆ รวมทั้งร่างกายของคนที่อยู่ในตำแหน่งปลายสุดของห่วงโซ่อาหารสำหรับผลกระทบของวัตถุมีพิษต่อสุขภาพของคน สามารถสรุปได้ดังนี้ ผลกระทบของความเป็นพิษด้วยการดื่มน้ำที่มีมลพิษโดยตรงผลกระทบสำหรับความเป็นพิษด้วยการบริโภคปลาหรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์น้ำซึ่งมีวัตถุมีพิษสะสมอยู่ และผลกระทบจากการบริโภคผลิตภัณฑ์จากการเกษตรซึ่งมีวัตถุมีพิษสะสมอยู่โดยทางน้ำที่ใช้รดหรือจากดินที่มีมลพิษ

#### 4.2.2 ผลกระทบต่อแหล่งน้ำผิวดิน ผลกระทบต่อแหล่งน้ำผิวดิน ได้แก่

4.2.2.1 การทำลายสภาพของแหล่งน้ำ เกิดจากโรงงานหรือกิจกรรมบางประเภทปล่อยของเสียที่ทำลายสภาพของแหล่งน้ำทำให้สภาพทางกายภาพของแหล่งน้ำเสียไป

4.2.2.2 การทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง

4.2.2.3 การปนเปื้อนต่อตะกอนที่จมอยู่ใต้น้ำ

ผลกระทบของน้ำทิ้งต่อสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำผิวดินจะรุนแรงมากหรือน้อย ขึ้นกับปัจจัยสำคัญ คือ ปริมาณและความถี่ของฝน ปริมาณและลักษณะของผิวดิน ปริมาณการไหลของน้ำในแม่น้ำหรือแหล่งน้ำ อุดหนุน และทิศทางของกระแสลม

#### 4.2.3 ผลกระทบต่อการใช้น้ำ

เมื่อปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติทำให้เป็นปัญหาต่อการใช้น้ำในการอุปโภคและบริโภค อาทิเช่น มีผลกระทบต่อแหล่งน้ำดิบที่นำมาผลิตน้ำประปาทำให้ต้องใช้สารเคมีในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในปริมาณที่มากกว่าปกติ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำประปาสูง นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อระบบทรายกรองและทำให้ต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นในการล้างทรายกรอง เป็นต้น

#### 4.2.4 ผลกระทบต่อความสวยงามของแหล่งน้ำและแหล่งพักผ่อนหย่อนใจ

หากมีสารมลพิษลงไปสู่แหล่งน้ำมากเกินไปเกินกว่าความสามารถของแหล่งน้ำที่จะทำให้บริสุทธิ์ด้วยตัวเองได้ ก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น สี กลิ่น และความขุ่น เป็นต้น ซึ่งจะทำให้แหล่งน้ำขาดความสวยงามตามธรรมชาติไป โดยที่จะกลายเป็นน้ำเน่าและก่อความรำคาญให้แก่ผู้ที่อยู่อาศัยอยู่บริเวณใกล้เคียง

#### 4.2.5 ผลกระทบต่อเศรษฐกิจ

กระทบต่อเศรษฐกิจในด้านต่าง ๆ เช่น ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการออกแบบการเดินระบบ และการบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสีย ค่าใช้จ่ายในการป้องกันควบคุมและแก้ไข

ปัญหามลพิษทางน้ำ ค่าความเสียหายอันเนื่องมาจากการสูญเสียประโยชน์ของทรัพยากรและสิ่งมีชีวิตในน้ำ ค่าความเสียหายด้านสุขภาพอนามัยซึ่งไม่สามารถประเมินเป็นตัวเงินได้

## 5. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

แบบจำลองคณิตศาสตร์ (Mathematical model) หมายถึง การสร้างรูปแบบทางปริมาณของกระบวนการทางเคมี กายภาพ และชีววิทยา ที่จำลองการทำงาน (Simulate) ของระบบ

แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้ประเมินคุณภาพน้ำประกอบด้วยแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic model) คือ ข้อมูลทางอุทกวิทยา และแบบจำลองคุณภาพน้ำ (Water quality model) คือ ฐานข้อมูลของกลุ่มน้ำที่ต้องการศึกษา

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นความพยายามของมนุษย์ที่จะจำลองสภาพปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือสิ่งที่มนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้อง โดยอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งช่วยให้สามารถเข้าใจระบบได้ดีขึ้น แบบจำลองที่ดีนั้นสามารถใช้คาดการณ์ว่าจะมีอะไรเกิดขึ้นเมื่อสภาวะภายนอกระบบผันแปรไปจากเดิมหรือช่วยให้ทราบว่าอะไรบ้างเป็นปัจจัยที่สำคัญในการก่อให้เกิดกระบวนการหรือพฤติกรรมต่างๆ วัตถุประสงค์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มี 5 ประการ คือ (ทวิวงส์ ศรีบุรี, 2541)

1. เพื่อบอกถึงข้อเท็จจริงเกี่ยวกับระบบ
2. เพื่อบอกถึงแนวความคิดของผู้สร้างแบบจำลองที่มีต่อระบบและการจัดการระบบ
3. เพื่อให้ผู้สร้างและผู้อื่น ๆ เกิดแนวความคิดต่าง ๆ ในการสร้างและใช้แบบจำลองอย่างละเอียดถี่ถ้วนมากขึ้น
4. เพื่อใช้แบบจำลองคาดการณ์หรือพยากรณ์ว่าระบบจะแสดงพฤติกรรมอย่างไรถ้าสิ่งหนึ่งสิ่งใดหรือหลายสิ่งในระบบผันแปรไป
5. เพื่อเป็นเครื่องมือชี้ให้เห็นว่า อะไรเป็นสาเหตุที่ทำให้ระบบเปลี่ยนแปลงในลักษณะต่าง ๆ ที่บ่งบอกได้ถึงแนวทางในการจัดการ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะแสดงถึงความเป็นจริงหรือทฤษฎีเกี่ยวกับความเป็นจริงและพฤติกรรมของสิ่งนั้น ข้อมูลเบื้องต้นของแบบจำลอง เรียกว่า ข้อมูลเข้า (Input data) และผลที่ได้จากแบบจำลอง เรียกว่า ข้อมูลออก (Output data) ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเข้าและข้อมูลออก เรียกว่า ฟังก์ชันโอนถ่าย (Transfer function)

## 5.1 โครงสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ, 2540)

โครงสร้างของแบบจำลองควรประกอบด้วย

### 5.1.1 องค์ประกอบ

องค์ประกอบทุกระบบระบบงานจะต้องประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญเพื่อใช้ในระบบการทำงานในแบบจำลอง

### 5.1.2 ตัวแปรและพารามิเตอร์

พารามิเตอร์ คือ ค่าคงที่ซึ่งผู้ใช้แบบจำลองเป็นผู้กำหนดให้ อาจจะเป็นค่าที่กำหนดขึ้นเองเพื่อการศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากค่าของพารามิเตอร์นั้น หรือเป็นค่าที่วัดหรือประเมินได้จากข้อมูล

ส่วนตัวแปรนั้นเป็นค่าที่ผันแปรมีค่าได้หลายค่าตามสภาวะจริงของการใช้งาน จำแนกได้ 2 ประเภท คือ

1. ตัวแปรภายนอก (Exogenous variable) หรือตัวแปรนำเข้า (Input variable) หมายถึง ตัวแปรจากนอกระบบซึ่งเข้ามามีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ หรือเป็นตัวแปรที่มีผลเนื่องมาจากปัจจัยภายนอกระบบ

2. ตัวแปรภายใน (Endogenous variable) หมายถึง ตัวแปรที่เกิดขึ้นภายในระบบ ตัวแปรภายในอาจอยู่ในลักษณะตัวแปรสถานภาพ (Status variable) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ใช้บอกสภาพหรือเงื่อนไขของระบบ หรืออยู่ในลักษณะตัวแปรผลลัพธ์ (Output variable) ซึ่งก็คือผลที่ได้จากการใช้ระบบ ในทางสถิติตัวแปรภายนอกคือตัวแปรอิสระและตัวแปรภายในคือ ตัวแปรตาม

### 5.1.3 ฟังก์ชันความสัมพันธ์

ฟังก์ชันความสัมพันธ์ คือ ฟังก์ชันที่อธิบายถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรกับพารามิเตอร์ ฟังก์ชันนี้อาจอยู่ในลักษณะแน่นอนตายตัว เป็นลักษณะที่เมื่อใส่ข้อมูลนำเข้าอาจจะสามารถหาผลได้ว่าเป็นเท่าไรแน่นอน และอาจอยู่ในลักษณะไม่แน่นอน เมื่อใส่ข้อมูลให้กับฟังก์ชันแล้วไม่แน่ว่าจะได้ผลลัพธ์ออกมาเท่าไร โดยลักษณะฟังก์ชันความสัมพันธ์มักจะอยู่ในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งฟังก์ชันความสัมพันธ์เหล่านี้ อาจหาได้จากสมมุติฐานหรือประเมินจากข้อมูลร่วมกับข้อมูลทางสถิติหรือทางคณิตศาสตร์

### 5.1.4 ขอบข่ายจำกัด

ขอบข่ายจำกัด คือ ข้อจำกัดของตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดที่ผู้ใช้แบบจำลองเป็นผู้กำหนด เช่น ข้อจำกัดของทรัพยากรต่าง ๆ ที่มีอยู่ของระบบ ข้อจำกัดของปริมาณที่ผลิตได้ หรือเป็นข้อจำกัดของระบบการใช้งานจริงในธรรมชาติของไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ

### 5.1.5 ฟังก์ชันเป้าหมาย

ฟังก์ชันเป้าหมาย หมายถึง ข้อความที่บอกเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของระบบงานและบอกวิธีประเมินผลตามเป้าหมาย วัตถุประสงค์ของระบบงานอาจแบ่งได้ 2 ประเภท คือ การคงสภาพของระบบงาน (Retentive) ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ที่ทำให้ระบบสามารถคงสภาพของการใช้ทรัพยากร เช่น เวลา พลังงาน ความชำนาญ ฯลฯ หรือคงสภาพของระบบ เช่น ความสะดวก ความปลอดภัย ฯลฯ และวัตถุประสงค์ประเภทแสวงหา (Acquisitive) ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ที่จะทำให้ระบบสามารถเพิ่มทรัพยากรต่างๆ หรือเปลี่ยนแปลงสถานภาพของระบบ

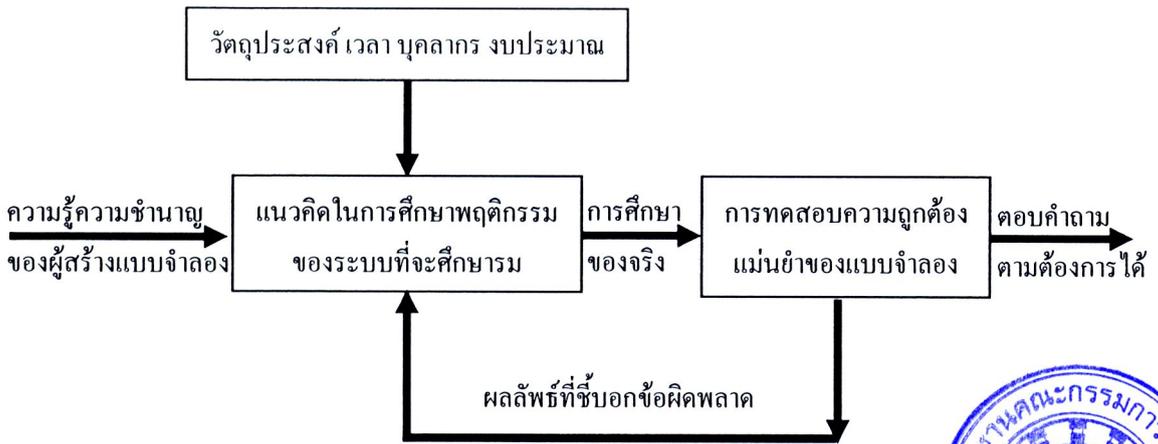
## 5.2 กระบวนการสร้างแบบจำลอง (General modeling procedure)

การสร้างแบบจำลองโดยทั่วไป จะประกอบไปด้วยการจำกัดความหมายและขอบเขตของปัญหา สร้างสมการคณิตศาสตร์จากทฤษฎีที่มีอยู่ หากคำตอบโดยใช้คอมพิวเตอร์ ตรวจสอบผลที่ได้กับข้อมูลจริง ปรับค่าต่าง ๆ ให้ถูกต้อง แล้วทดลองนำไปใช้เพื่อยืนยันความถูกต้อง ซึ่งหลักการหรือขั้นตอนที่ทำให้แบบจำลองสามารถใช้ได้กับระบบการศึกษาโดยทั่วไปประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

5.2.1 การปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration) เป็นการจำลองสภาพของระบบที่ศึกษา ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วยการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์กำหนดของแบบจำลอง จนกระทั่งผลที่ได้ออกมาเทียบเคียงกับข้อมูลจริงได้ โดยวิธีการประเมินค่าอาจเป็นแบบสุ่มหรือการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดซึ่งขึ้นอยู่กับวิจารณ์ญาณของผู้ศึกษาเอง

5.2.2 การตรวจสอบความถูกต้อง (Verification) เป็นการทดสอบผลจากการจำลองสภาพของระบบที่ศึกษา เพื่อบอกถึงประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยใช้แบบจำลองที่ผ่านการปรับเทียบแล้วกับข้อมูลชุดใหม่ อันเป็นการตรวจสอบการทำงานของแบบจำลองอีกครั้ง

5.2.3 การนำไปประยุกต์ใช้ (Validation) เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ผ่านการจำลองสภาพและการตรวจสอบความถูกต้องแล้ว เพื่อการวางแผนและตัดสินใจในการพัฒนาระบบต่อไป



ภาพที่ 4 แสดงกระบวนการหลักในการสร้างแบบจำลองของระบบ  
ที่มา: ทวีวงศ์ ศรีบุรี, 2541



### 5.3 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองนั้นเพื่อสร้างความมั่นใจกับผู้สร้างและผู้ใช้แบบจำลองว่า แบบจำลองที่ได้สามารถใช้แทนระบบงานได้จริง กระบวนการทดสอบและการปรับเทียบแบบจำลองให้สมเหตุสมผลมีจุดมุ่งหมาย 2 ประการ คือ (ทวีวงศ์ ศรีบุรี, 2541)

5.3.1 เพื่อให้สร้างแบบจำลองที่เป็นตัวแทนพฤติกรรมของระบบจริงได้ใกล้เคียง ซึ่งจะทำให้สามารถใช้แบบจำลองนั้นในการทดลองต่างๆ ของระบบงานจริงได้

5.3.2 เพื่อเพิ่มระดับความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ให้ถึงระดับที่ผู้ใช้ยอมรับและนำไปใช้ประโยชน์ในการตัดสินใจ

กรรมวิธีที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ที่ใช้กันโดยทั่วไป ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

1. การตรวจสอบความถูกต้องและปรับเทียบแบบจำลอง (Verification and calibration) การตรวจสอบความถูกต้องและปรับเทียบแบบจำลอง ควรใช้ข้อมูลจากระบบจริง อย่างน้อย 2 ชุด คือ ชุดแรกใช้เปรียบเทียบแบบจำลองให้เหมาะสมที่จะเป็นตัวแทนของระบบ ผู้สร้างและผู้ใช้แบบจำลองจนได้แบบจำลองที่ยอมรับได้ ชุดที่สองสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

1.1 การปรับเทียบแบบจำลอง เป็นกระบวนการที่มีการเปรียบเทียบแบบจำลองกับระบบงานจริง หรือมีการนำพฤติกรรมของแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับพฤติกรรมของระบบจริง แล้วปรับให้ดีขึ้น การเปรียบเทียบและการปรับแบบจำลองอาจจะทำซ้ำหลาย ๆ รอบ จนกว่าได้แบบจำลองที่เหมาะสม

1.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองเป็นการทดสอบความสอดคล้องระหว่างพฤติกรรมของแบบจำลองกับพฤติกรรมของระบบจริง เพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว อาศัย การเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลของระบบงานจริง ที่เงื่อนไขของการใช้ระบบที่เหมือนกัน การวิเคราะห์โดยอาศัยเทคนิคทางสถิติ

2. การทดสอบความถูกต้องของตัวแปรและพารามิเตอร์ (Variable - parameter validity) เป็นวิธีทดสอบความไว (Sensitivity testing) หรือการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity analysis) ของการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรและพารามิเตอร์ ว่ามีผลกระทบต่อผลลัพธ์ที่ได้จากองค์ประกอบในแบบจำลองจะต้องใช้ความระมัดระวังมากต่อการประมาณค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์เหล่านั้น นอกจากนั้นแล้ว การทดสอบความไวนี้ยังช่วยให้ผู้สร้างแบบจำลองได้เห็นว่าองค์ประกอบในแบบจำลองและแบบจำลองมีพฤติกรรมอย่างที่ควรเป็นหรือไม่ เพราะถ้าทราบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรและพารามิเตอร์จะทำให้ผลที่ได้จากระบบงานจริงเปลี่ยนไป ควรต้องทำการแก้ไขให้ถูกต้อง

#### ข้อดีของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1. ได้แบบจำลองที่เป็นจริงและแม่นยำเท่าที่ข้อมูลจะให้ได้ รวมทั้งประมาณ เครื่องอำนวยความสะดวก กำลังคนที่มีพอในการเก็บข้อมูล ซึ่งการเก็บข้อมูลในส่วนนี้จะเป็นงานที่สิ้นเปลืองเวลาและเงินมากที่สุด
2. ข้อมูลจำนวนมากทั้งจริงและสังเคราะห์ สามารถที่จะนำมาวิเคราะห์โดยแบบจำลองได้อย่างรวดเร็วโดยใช้คอมพิวเตอร์เพื่อหา นโยบายในการใช้งาน
3. แบบจำลองที่ผ่านการปรับเทียบแล้วสามารถนำมาทำนายประสิทธิภาพในการใช้งานของนโยบายการใช้งานต่าง ๆ ได้

#### ข้อบกพร่องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

หากการปรับเทียบไม่ได้ค่าที่เป็นจริง ต้องผ่านการทดลองเปลี่ยนค่ามาหลายครั้ง จึงได้คำตอบ ซึ่งอาจใช้เวลามากกว่าจะได้ค่าที่แท้จริง

#### 5.4 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการพยากรณ์น้ำ

แบบจำลองเพื่อการพยากรณ์น้ำ ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ที่มีอยู่หลายแบบ ซึ่งได้สร้างขึ้นเพื่อใช้งานในกลุ่มน้ำแต่ละแห่งโดยเฉพาะ เช่น SSARR model ใช้งานใน Columbia river

basin ส่วน SACRAMENTO model ใช้งานใน San francisco river basin และ TANK model ใช้ในประเทศญี่ปุ่น เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันได้มีการสร้างแบบจำลอง MIKE เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้กับลุ่มน้ำในแถบเอเชีย (Humic zone) และได้นำมาประยุกต์ใช้กับลุ่มน้ำป่าสัก เพื่อพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำ รวมทั้งสามารถทำนายสภาพน้ำที่จุดสนใจตามลำน้ำป่าสัก สำหรับใช้ในการแจ้งเตือนสภาพน้ำท่วมที่อาจจะเกิดขึ้นได้ด้วย (กรมชลประทาน, 2550)

แบบจำลองทรัพยากรน้ำที่นิยมใช้ มีหลายแบบจำลอง ได้แก่

#### 5.4.1 แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ หรือ HD model

แบบจำลอง HD (Hydrodynamic model; HD) เป็นแบบจำลองทางชลศาสตร์ เป็นการจำลองสภาพทางกายภาพของลำน้ำ โดยนำข้อมูลต่าง ๆ เช่น ภาพตัดขวางของลำน้ำ ปริมาณน้ำและระดับน้ำ มาใช้เพื่อทำนายถึงลักษณะการไหลของน้ำ ซึ่งใช้คำนวณการไหลแบบ Gradually varied unsteady flow ในทางน้ำเปิด โดยจะต้องอาศัยการวิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนที่ภายใต้สมการ Saint venant ซึ่งประกอบด้วยสมการต่อเนื่อง (Continuity equation) และสมการโมเมนตัม (Momentum equation) โดยการคำนวณใช้วิธี Implicit finite difference

#### 5.4.2 แบบจำลอง MIKE 11 (อัญชติ เฟื่องหว่ารอ, 2547)

แบบจำลอง MIKE 11 ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยสถาบันเดนิสไฮดรอลิก (Danish dydraulic institute : DHI) ประเทศเดนมาร์ก ในปี พ.ศ. 2515 เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่มีระบบการจำลอง พื้นฐานสำหรับคลองและแม่น้ำ ซึ่งใช้จำลองสภาพการไหล การแพร่กระจายของมลสารการเคลื่อนที่และการทับถมของตะกอน ซึ่งการจำลองคุณภาพน้ำในบริเวณปากแม่น้ำ แม่น้ำลำคลอง และระบบชลประทาน เป็นการจำลองแบบ 1 มิติ MIKE 11 เหมาะสำหรับการออกแบบการจัดการและการดำเนินงานของระบบโครงข่ายในลุ่มน้ำและคลอง

แบบจำลอง MIKE มีส่วนประกอบหลัก คือ Rainfall-runoff และ Hydrodynamic routing ที่ใช้คำนวณหาปริมาณน้ำท่าในลุ่มที่เกิดจากปริมาณน้ำฝน และวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของน้ำจากต้นน้ำไปสู่ปลายน้ำ การประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการปรับเทียบ โดยใช้ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ คือ รูปตัดขวางลำน้ำ และแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็นลุ่มน้ำย่อย พร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่า

#### 5.4.3 แบบจำลอง QUAL2E (Brown and Barnwell, 1987)

แบบจำลอง QUAL2E เป็นแบบจำลองคุณภาพน้ำอีกแบบจำลอง ซึ่งเป็นแบบจำลองแบบหนึ่งมิติ เป็นแบบจำลองย่อยในแบบจำลอง BASINS (Better assessment science integrating point and non-point source) ที่พัฒนาขึ้นโดยองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S Environmental protection agency : US.EP.A) ทั้งนี้เนื่องจากในกฎหมายของ

รัฐบาลกลางของสหรัฐอเมริกาแนะนำให้ทุกรัฐต้องทำการศึกษาความสามารถในการรองรับมลพิษของแหล่งน้ำ ซึ่งแบบจำลอง QUAL2E สามารถทำการจำลองแบบหรือสถานการณ์ (Simulates) ของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในลำน้ำ เช่น ปฏิกิริยาหลักของวัฏจักรธาตุอาหาร (Nutrient cycle) การเจริญเติบโตของสาหร่าย การใช้ออกซิเจนในการหายใจของสิ่งมีชีวิต รวมถึงกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำและการแลกเปลี่ยนออกซิเจนในน้ำและบรรยากาศ ตลอดจนผลของการถ่ายเทของเสียลงสู่แหล่งน้ำ จากแหล่งกำเนิดแบบรู้แหล่งแน่นอน (Point source) และแหล่งกำเนิดแบบไม่รู้แหล่งกำเนิดที่แน่นอน (Non-point source)

แบบจำลอง QUAL2E เป็นแบบจำลองที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้คาดการณ์คุณภาพน้ำในสถานะที่คงตัว (Steady state) คือ มีอัตราการไหลของน้ำคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทาง แต่ในการศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิและผลจากการเจริญเติบโตของสาหร่าย แบบจำลอง QUAL2E สามารถคาดการณ์คุณภาพน้ำได้ภายใต้สถานะที่ไม่คงตัว (Dynamic state) คือ เปลี่ยนไปตามฟังก์ชันของเวลา โดยสามารถคำนวณในรอบวันได้ แบบจำลองดังกล่าวถูกพัฒนาในส่วนของรูปแบบและอุปกรณ์ช่วยต่าง ๆ เพื่อสามารถป้อนข้อมูลและแสดงผลของการคาดการณ์คุณภาพน้ำโดยแบบจำลองได้รวดเร็วขึ้น และสอดคล้องกับการใช้งานบน Window ในรุ่นต่าง ๆ QUAL2E แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของแบบจำลอง

ข้อจำกัดของการใช้แบบจำลอง QUAL2E ได้แก่ จำนวน reach หรือช่วงของลำน้ำไม่เกิน 50 reaches จำนวน element ในแต่ละ Reach ไม่เกิน 20 elements แต่ถ้าตลอดลำน้ำทำการศึกษาไม่เกิน 500 elements จำนวน Head water element ที่ศึกษาไม่เกิน 10 จุด จำนวน Junction element หรือจุดบรรจบของลำน้ำสาขาไม่เกิน 9 จุด element จำนวน element ที่เป็นแหล่งกำเนิดที่แน่นอน (Point source) หรือมีการชักน้ำออก (Withdrawal) ไม่เกิน 50 จุด

#### 5.4.4 แบบจำลอง QUAL2K (Steve Chapra and Greg Pelletier, 2003)

แบบจำลอง QUAL2K หรือ Q2K เป็นแบบจำลองคุณภาพแม่น้ำและลำธาร โดยพัฒนามาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2E ซึ่งทำการพัฒนาโดยภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัย Tufts ในปี ค.ศ. 2003 แบบจำลอง QUAL2K มีความคล้ายกับแบบจำลอง QUAL2E ดังนี้

5.4.4.1 เป็นแบบจำลองแบบ 1 มิติ ประกอบด้วยทางน้ำไหลแบบแนวขวาง

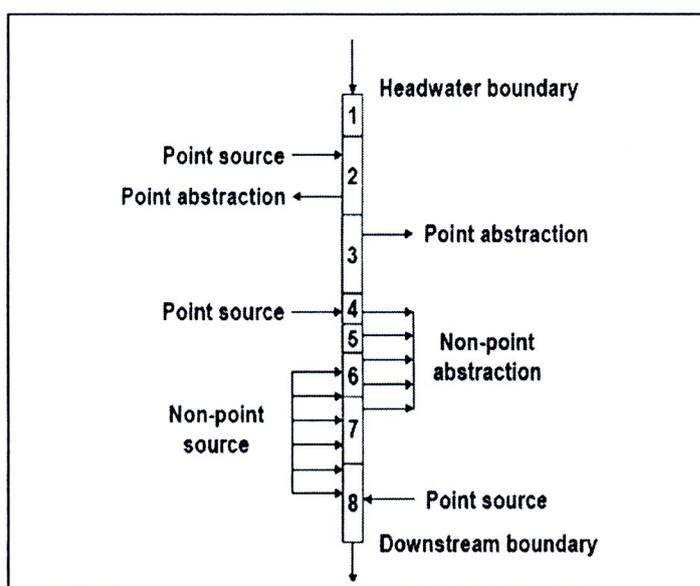
5.4.4.2 ใช้คาดการณ์คุณภาพน้ำในสถานะที่คงตัว (Steady state) คือ มีอัตราการไหลของน้ำคงที่

5.4.4.3 ความร้อน และอุณหภูมิถูกจำลองด้วยฟังก์ชันของอุณหภูมิอากาศในแต่ละช่วงเวลาของแต่ละวัน

5.4.4.4 ตัวแปรคุณภาพน้ำทั้งหมดถูกจำลองในแต่ละช่วงเวลาในแต่ละวัน

5.4.4.5 จำลองแหล่งมลสารทั้งแหล่งกำเนิดที่แน่นอนและไม่แน่นอน

แบบจำลอง QUAL2K เป็น โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Visual basic for applications (VBA) และโปรแกรม Excel การแบ่งช่วงลำน้ำของแบบจำลอง QUAL2K จะแบ่งลำน้ำออกเป็นช่วงที่มีระยะไม่เท่ากัน ซึ่งแตกต่างจาก QUAL2E ที่จะแบ่งเป็นช่วงที่เท่ากัน ในการจำลองสภาพ ของอินทรีย์สารในน้ำจะใช้ค่า CBOD แทนสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ ซึ่งการย่อยสลายสารอินทรีย์ จะมีการเพิ่มออกซิเจนทั้งแบบช้าและแบบเร็ว แบบจำลอง QUAL2K สามารถจำลองสภาพการเกิดสาหร่ายในน้ำได้ ส่วนแสงที่หาย (Light extinction) ไปจะคำนวณได้จากการทำงานของสาหร่าย สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ในการจำลองสภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณของค่า Alkalinity และ ค่า Total inorganic carbon



ภาพที่ 5 หลักการแบ่งช่วงลำน้ำของแบบจำลอง QUAL2K

ที่มา: Steve Chapra and Greg Pelletier, 2003

แบบจำลอง QUAL2K ประกอบด้วยแบบจำลองทางชลศาสตร์ และแบบจำลองคุณภาพน้ำ แบบจำลองคุณภาพน้ำสามารถแบ่งออกเป็น 6 ระดับ เริ่มจาก

### แบบจำลองระดับ 1

พารามิเตอร์ที่พิจารณา คือ ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี ออกซิเจนละลายน้ำ และ

อุณหภูมิ

กระบวนการที่ใช้ในการคำนวณ คือ กระบวนการเติมอากาศ และการย่อยสลายสารอินทรีย์ เป็นแบบจำลองที่ง่ายที่สุด

### **แบบจำลองระดับ 2**

พารามิเตอร์ที่พิจารณา คือ ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี ออกซิเจนละลายน้ำ และอุณหภูมิ

กระบวนการที่ใช้ในการคำนวณ คือ กระบวนการเติมอากาศ การย่อยสลายสารอินทรีย์ และการแลกเปลี่ยนออกซิเจนระหว่างพื้นน้ำและตะกอน

### **แบบจำลองระดับ 3**

พารามิเตอร์ที่พิจารณา คือ ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี ออกซิเจนละลายน้ำ แอมโมเนีย ไนเตรท และอุณหภูมิ

กระบวนการที่ใช้ในการคำนวณ คือ กระบวนการเติมอากาศ การย่อยสลายสารอินทรีย์ และกระบวนการไนตริฟิเคชัน

### **แบบจำลองระดับ 4**

พารามิเตอร์ที่พิจารณา คือ ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี ออกซิเจนละลายน้ำ แอมโมเนีย ไนเตรท และอุณหภูมิ

กระบวนการที่ใช้ในการคำนวณ คือ กระบวนการเติมอากาศ การย่อยสลายสารอินทรีย์ การย่อยสลายสารอินทรีย์ การแลกเปลี่ยนออกซิเจนระหว่างพื้นน้ำและตะกอน กระบวนการไนตริฟิเคชัน และกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

### **แบบจำลองระดับ 5**

พารามิเตอร์ที่พิจารณา คือ ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีแบบละลายแบบแขวนลอย และแบบตะกอน ออกซิเจนละลายน้ำ และอุณหภูมิ

กระบวนการที่ใช้ในการคำนวณ คือ กระบวนการเติมอากาศ การย่อยสลายสารอินทรีย์ และการแลกเปลี่ยนออกซิเจนระหว่างพื้นน้ำและตะกอน

### **แบบจำลองระดับ 6**

พารามิเตอร์ที่พิจารณา คือ ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีแบบละลายแบบแขวนลอย และแบบตะกอน ออกซิเจนละลายน้ำ แอมโมเนีย ไนเตรท และอุณหภูมิ

กระบวนการที่ใช้ในการคำนวณ คือ กระบวนการเติมอากาศ การย่อยสลายสารอินทรีย์ การย่อยสลายสารอินทรีย์ การแลกเปลี่ยนออกซิเจนระหว่างพื้นน้ำและตะกอน กระบวนการไนตริฟิเคชัน และกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

## 6. สภาพทั่วไปของลำตะคอง

ลำตะคอง มีต้นกำเนิดบริเวณสันปันน้ำของกลุ่มน้ำมูล กลุ่มน้ำป่าสัก และกลุ่มน้ำนครนายก ไหลผ่าน อ.ปากช่อง อ.สูงเนิน จ.นครราชสีมา และบรรจบกับแม่น้ำมูลที่อำเภอน้ำ อ.เมือง จ.นครราชสีมา ได้มีการสร้างเขื่อนกั้นน้ำลำตะคอง ทำให้อ่างเก็บน้ำลำตะคองสามารถใช้ในการชลประทานมีพื้นที่กลุ่มน้ำประมาณ 3,518 ตร.กม. มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติประมาณปีละ 510 ล้าน ลบ.ม. หรือประมาณร้อยละ 2.62 ของปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติทั้งหมดของกลุ่มน้ำมูล (กรมชลประทาน, 2550)

ลักษณะทางกายภาพของลำตะคองเป็นลำน้ำขนาดเล็ก เมื่อไหลลงจากอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ จะมีลักษณะใสสะอาด หลังจากนั้นได้ไหลผ่านพื้นที่แหล่งท่องเที่ยวและชุมชนมีแหล่งกำเนิดมลพิษจากโรงแรม รีสอร์ท สนามกอล์ฟ ฟาร์มปศุสัตว์ พื้นที่เกษตรกรรม ชุมชนเทศบาลเมืองปากช่อง ทำให้คุณภาพน้ำเสื่อมสภาพลงก่อนไหลลงอ่างเก็บน้ำลำตะคอง ในช่วงเก็บกักน้ำอยู่ในอ่างเก็บน้ำลำตะคอง จะพบว่าอ่างเก็บน้ำลำตะคองเป็นเสมือนบ่อปรับคุณภาพน้ำ ทำให้ลำตะคองมีคุณภาพน้ำดีขึ้น แต่พบว่าจะมีปัญหาน้ำเป็นสีเขียว เนื่องจากการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ดังนั้นการระบายน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเพื่อใช้ประโยชน์จึงมีปัญหาคุณภาพน้ำส่งผลกระทบต่อการผลิตน้ำประปาของชุมชนต่าง ๆ ในช่วงที่ลำตะคองไหลผ่าน

### เขื่อนลำตะคอง

เขื่อนลำตะคอง สร้างเมื่อ พ.ศ. 2507-2512 เป็นเขื่อนดินสูง 40.3 เมตร ยาว 521 เมตร สามารถกักเก็บน้ำได้ 310 ล้านลูกบาศก์เมตร มีระดับเก็บกักที่ 277 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ซึ่งสามารถส่งน้ำให้พื้นที่ชลประทานได้ 138,000 ไร่ นอกจากนี้ยังใช้ในการประปาของโรงงานอุตสาหกรรมเทศบาล เป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจ

ลำตะคองมีสิ่งปลูกสร้างขวางทางน้ำบนลำตะคอง 6 แห่ง เพื่อเก็บกักน้ำไว้ใช้ประโยชน์และควบคุมการระบายน้ำ คือ เขื่อนระบายน้ำมะเกลือใหม่ เขื่อนระบายน้ำกุศจิก เขื่อนระบายน้ำมะขามเต่า เขื่อนระบายน้ำคนขุม เขื่อนระบายน้ำช่อยงาม และเขื่อนระบายน้ำก้นผม ส่งผลให้ในช่วงฤดูแล้งน้ำลำตะคองไหลไม่ดีหรือหยุดนิ่ง ส่งผลให้คุณภาพน้ำเสื่อมโทรม ในช่วงฤดูฝน กลับมีปัญหาน้ำท่วม เนื่องจากการไหลของน้ำไม่ดี



2. ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ระหว่างปี พ.ศ. 2549-2550

มีพื้นที่รับน้ำฝน 3,518 ตารางกิโลเมตร และมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (ปี พ.ศ. 2549-2550) รายปี 1200.42 มิลลิเมตร ในฤดูฝนมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 976.72 มิลลิเมตร (ช่วงเดือนพ.ค.-ค.ค.) ในฤดูแล้ง มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 223.70 มิลลิเมตร (ช่วงเดือนพ.ย.-เม.ย.) (กรมอุตุนิยมวิทยานครราชสีมา, 2551)

3. ข้อมูลปริมาณน้ำท่า ระหว่างปี พ.ศ. 2549-2550

เป็นพื้นที่ลุ่มน้ำ 3,518 ตารางกิโลเมตร ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 467.47 ล้านลูกบาศก์เมตร ในฤดูฝน ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย 359.58 ล้านลูกบาศก์เมตร (ช่วงเดือนพ.ค.-ค.ค.) และในฤดูแล้ง มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย 107.89 ล้านลูกบาศก์เมตร (ช่วงเดือนพ.ย.-เม.ย.) (กรมอุตุนิยมวิทยานครราชสีมา, 2551)

### การใช้ที่ดิน

จังหวัดนครราชสีมา มีพื้นที่ทำการเกษตรประมาณ 12,798.1 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 62.07 ของพื้นที่รวมทั้งจังหวัด รองลงมาได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ 2,347.2 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 11.42 และพื้นที่ไม่ได้จำแนก 5,425.3 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 26.57 ตามลำดับ การใช้ที่ดินในพื้นที่ทำการเกษตรส่วนใหญ่เป็นนา 6,996.8 ตารางกิโลเมตร รองลงมาได้แก่ พืชไร่ 5,801 ตารางกิโลเมตร (สำนักงานสถิติ นครราชสีมา, 2551)

### การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ในปี พ.ศ. 2545 มีการเลี้ยงปลาในบ่อจำนวน 6,310 ราย เลี้ยงปลาในร่องสวนจำนวน 23 ราย เลี้ยงปลาในที่นาอีกจำนวน 326 ราย และพบว่าลำตะคองไม่มีการเลี้ยงปลาในกระชัง แต่จะพบบริเวณแม่น้ำมูล (สำนักงานสถิติ นครราชสีมา, 2551)

### ชุมชนที่มีผลกระทบต่อลำน้ำ

1. ชุมชนในเขตฝั่งเมืองรวมนครราชสีมา

อำเภอเมืองนครราชสีมา มีพื้นที่ประมาณ 37.50 ตารางกิโลเมตร ประชากรปี 2552 จำนวน 433,838 คน ความหนาแน่น 4,431 คน/ตารางกิโลเมตร (สำนักงานสถิติ นครราชสีมา, 2551) อัตราการใช้้ำของการประปาเทศบาล 275 ลิตร/คน/วัน เป็นเมืองที่มีความเจริญ ประชาชนอยู่กันอย่างหนาแน่น และมีสถานประกอบการต่าง ๆ มากมาย ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดน้ำเสีย ดังนี้ โรงเรียน มหาวิทยาลัย 52 แห่ง ตลาดสด 13 แห่ง โรงแรม 37 แห่ง ภัตตาคาร/ร้านอาหาร 334 แห่ง

โรงพยาบาล 8 แห่ง คลินิก 120 แห่ง ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า ตลาดนัดพบ 9 แห่ง สถานีบริการน้ำมัน 21 แห่ง และการอุตสาหกรรม มีการประกอบการเป็นโรงงานอุตสาหกรรมทุกขนาดส่วนใหญ่เป็นโรงงานขนาดเล็ก-ขนาดกลาง มีอยู่ประมาณ 400 โรง เช่น ทำกุนเชียง การทำเส้นก๋วยเตี๋ยว ทำลูกชิ้น เชื่อมโลหะ ปะยาง ประกอบตัวถังรถยนต์ ซ่อมเครื่องยนต์ ทำไอศกรีม เป็นต้น

เนื่องจากเทศบาลนครนครราชสีมา ตั้งอยู่บนพื้นที่ค่อนข้างราบลาดเอียงไปทางทิศตะวันออก ตอนเหนือของเมืองเป็นที่ราบลุ่ม ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นที่ราบสูง เทศบาลได้มีการสร้างรางระบายน้ำในแนวดินหลายสาย ซึ่งส่วนใหญ่จะรองรับน้ำเสียเฉพาะในเขตชุมชนหนาแน่น

## 2. สีคิ้ว

อำเภอสีคิ้ว มีขนาดพื้นที่ 11.63 ตารางกิโลเมตร ประชากรในปี 2551 มี 122,061 คน ความหนาแน่น 1,605 คน/ตารางกิโลเมตร มีอัตราการใช้น้ำ 88 ลิตร/คน/วัน สีคิ้วเป็นอำเภอที่เป็นทางผ่านกรุงเทพฯ-นครราชสีมา และมีการคมนาคมสะดวกจึงทำให้มีการพัฒนาในด้านต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็ว ทั้งด้านอุตสาหกรรม การเกษตรและการพัฒนาเมือง เทศบาลเมืองสีคิ้วมีท่อระบายน้ำส่วนใหญ่อยู่ด้านทิศใต้ของสถานีรถไฟ ซึ่งเป็นบริเวณตลาดศูนย์ราชการและพาณิชย์กรรม ระบายลงบึงสีคิ้วที่มีพื้นที่ประมาณ 48 ไร่ ส่วนทางด้านทิศเหนือของสถานีรถไฟจะระบายลงคลองข้างทางรถไฟ ทางเทศบาลเมืองสีคิ้วได้ใช้บึงสีคิ้วเป็นบ่อบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งและเป็นสวนสาธารณะในตัว (สำนักงานสถิตินครราชสีมา, 2551)

## 3. โลกกรวด

โลกกรวด ครอบคลุมเนื้อที่ประมาณ 5 ตารางกิโลเมตร มีประชากร 7,124 คน สภาพพื้นที่เป็นที่ราบ มีความลาดเทจากทิศเหนือของถนนมิตรภาพไปทางคลองละลม เนื่องจากโลกกรวดอยู่ในเขตฝั่งเมืองนครราชสีมา จึงใช้บ่อบำบัดร่วมกับเทศบาลนครราชสีมา ดังนั้น ระบบท่อรวบรวมน้ำเสียของโลกกรวด จะคักน้ำเสียก่อนที่จะระบายลงข้างทางรถไฟ นำน้ำเสียเข้ามาพร้อมกับท่อรวบรวมน้ำเสียของขามทะเลสอและนำน้ำไปตามทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2 ร่วมกับระบบบำบัดของนครราชสีมาต่อไป (สำนักงานสถิตินครราชสีมา, 2551)

## 4. ขามทะเลสอ

ขามทะเลสอ มีจำนวนประชากร 28,112 คน ครอบคลุมเนื้อที่ประมาณ 5.16 ตารางกิโลเมตร สภาพทั่วไปเป็นที่ราบ เนื่องจากขามทะเลสออยู่ในเขตฝั่งเมืองนครราชสีมา จึงจะใช้บ่อบำบัดร่วมกับเทศบาลนครราชสีมา ดังนั้น ระบบท่อรวบรวมน้ำเสียขามทะเลสอ จะคักน้ำเสียก่อนแล้วนำน้ำเสียไปตามทางหลวงจังหวัดหมายเลข 2068 ด้วยท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร (สำนักงานสถิตินครราชสีมา, 2551)

## 7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุทธิพร อนันต์พิพัฒน์กิจ (2541) ได้ศึกษา แบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อการจัดการคุณภาพน้ำในลำตะคอง พบว่า แบบจำลองทางชลศาสตร์ที่สร้างขึ้นสามารถเลียนแบบลักษณะทางชลศาสตร์และคุณภาพน้ำของลำตะคองได้ใกล้เคียงกับข้อมูลที่เก็บได้ การทำนายคุณภาพน้ำในปี พ.ศ. 2543, 2548, 2553, 2558 และ 2563 เมื่อไม่มีการจัดการใด ๆ พบว่าคุณภาพน้ำในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์คุณภาพน้ำประเภทที่ 5 เพื่อคุณภาพน้ำในลำตะคองอยู่ในเกณฑ์คุณภาพน้ำประเภทที่ 3 จึงกำหนดแนวทางในการจัดการคุณภาพน้ำ 2 แนวทาง โดยทางเลือกแรกกำหนดให้ขยายระบบบำบัดน้ำเสียในสุขาภิบาล สีคิ้ว ให้บำบัดน้ำเสียได้ 10,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในระยะแรกและขยายเป็น 12,500 และ 15,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในระยะที่ 2 และ 3 สุขาภิบาลสูงเนินให้มีระบบบำบัดน้ำเสีย ที่สามารถบำบัดน้ำเสียได้ 11,500, 13,500 และ 17,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวันในระยะที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ สุขาภิบาลโลกกรวด ให้มีระบบบำบัดน้ำเสียขนาด 27,500, 34,500 และ 44,200 ลูกบาศก์เมตรต่อวันในระยะที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียทั้งหมดเป็นแบบบ่อเติมอากาศ แนวทางเลือกที่หนึ่งใช้เงินลงทุนทั้งสิ้นประมาณ 709.3 ล้านบาท ส่วนแนวทางเลือกที่สองกำหนดให้ขยายระบบบำบัดน้ำเสียในสุขาภิบาลสีคิ้วในระยะที่ 1, 2 และ 3 ให้มีขนาด 10,000 , 13,500 และ 16,500 ลูกบาศก์เมตรต่อวันตามลำดับ ให้สุขาภิบาลสูงเนินมีระบบบำบัดน้ำเสียขนาด 11,500 , 13,500 และ 15,500 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ส่วนสุขาภิบาลโลกกรวดให้มีระบบบำบัดน้ำเสียขนาด 27,000 , 29,500 และ 44,200 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยใช้เงินลงทุนทั้งสิ้นประมาณ 716.1 ล้านบาท โดยทางเลือกทั้งสองสามารถทำให้พื้นที่ศึกษามีคุณภาพน้ำประเภทที่ 3 ได้ทั้งคู่แต่แนวทางเลือกที่สองจะใช้เงินลงทุนสูงกว่าแนวทางเลือกที่หนึ่ง 6.8 ล้านบาท

ชวลิต รัตนธรรมกุล และทรงฤทธิ์ นนทนา (2545) ศึกษาการใช้แบบจำลอง QUAL2E เพื่อประเมินความสามารถของแม่น้ำแม่กลองในการรองรับมลพิษ โดยพิจารณาผลของแหล่งกำเนิดน้ำเสีย 2 ประเภทคือ แหล่งกำเนิดที่แน่นอนและแหล่งกำเนิดที่ไม่แน่นอนในการทำนายคุณภาพน้ำในส่วนของการต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี ออกซิเจนที่ละลายในน้ำและแอมโมเนีย พบว่าแบบจำลองสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในลำน้ำตลอดระยะทางในพื้นที่ศึกษาได้ใกล้เคียงกับข้อมูลที่สำรวจในภาคสนามรวมทั้งมีการประเมินความสามารถสูงสุดในการรองรับมลพิษของแม่น้ำแม่กลอง

สุทัศน์ วิสกุล (2545) แบบจำลองคุณภาพน้ำกรณีศึกษา: ลุ่มน้ำท่าจีน โดยการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษของแม่น้ำท่าจีน โดยใช้แบบจำลอง MIKE 11 พบว่าสถานการณ์คุณภาพน้ำใน แม่น้ำท่าจีนปัจจุบันอยู่ระดับต่ำกว่ามาตรฐานทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน ส่วนสถานการณ์ในอนาคตคุณภาพน้ำจะทวีความรุนแรงมากขึ้น และผลการศึกษา



แบบจำลองคุณภาพน้ำสามารถประยุกต์ใช้ในแม่น้ำท่าจีนได้ดี และสามารถใช้ประเมินปริมาณมลพิษสูงสุดที่แม่น้ำท่าจีนสามารถรองรับน้ำต่อวัน และกำหนดปริมาณน้ำทิ้งที่ยินยอมให้ระบายลงสู่แม่น้ำท่าจีน

อัญชลี เฟื่องห้าวรอ (2547) ได้คาดการณ์พื้นที่น้ำท่วมในกลุ่มน้ำป่าสักโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์: กรณีสึกษา การใช้ประโยชน์ที่ดินตั้งแต่สถานีระบบโทรมาตรเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ จนถึงสถานีระบบโทรมาตรด้านเหนือเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ผลการศึกษาพบว่าสามารถคาดการณ์ปริมาณน้ำหลากสูงสุดได้ ซึ่งสามารถทำให้เกิดน้ำท่วมบริเวณพื้นที่นาข้าวร้อยละ 66.70 ของพื้นที่เสี่ยงภัยทั้งหมด ดังนั้น การจัดการพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมควรคำนึงถึงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยเฉพาะพื้นที่นาข้าว ควรมีการส่งเสริมระบบการระบายน้ำ

รัตนเกล้า อินทรสตัยพงศ์ (2547) ทำการศึกษาสมรรถนะการรองรับปริมาณอินทรีย์สารในแม่น้ำยมโดยใช้แบบจำลอง QUAL2E จากการศึกษาพบว่าคุณภาพน้ำจะมีแนวโน้มที่ต่ำลงในช่วงที่ไหลผ่านชุมชนเมืองและค่าคุณภาพน้ำจะค่อยๆ ขยับสูงขึ้น ดังนั้นจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าปัญหาที่เกิดขึ้นทางด้านคุณภาพน้ำในกลุ่มน้ำยมนั้นส่วนใหญ่จะเกิดจากปัญหาทางด้านน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน แต่ทั้งนี้แหล่งน้ำนั้นจะมีความสามารถในการฟอกตัวเอง จึงทำให้ปัญหาคุณภาพน้ำโดยภาพรวมทั้งกลุ่มน้ำยังไม่ก่อให้เกิดปัญหามากนัก ดังนั้นเพื่อให้สามารถรักษาคุณภาพน้ำให้อยู่ในระดับมาตรฐานนั้นจะต้องกำหนดเป้าหมายในการจัดการคุณภาพน้ำให้อยู่ในมาตรฐานแหล่งน้ำประเภทที่ 3 รวมถึงการนำเอามาตรการในการจัดการน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดมลพิษต่าง ๆ มาใช้ในการลดปริมาณมลพิษอย่างเป็นระบบทั้งกลุ่มน้ำ

โชคชัย เกตุสถิต (2549) ได้ทำการประเมินคุณภาพแม่น้ำน่านในจังหวัดพิษณุโลกโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QAUL2K ผลการศึกษาพบว่าคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 – 3 ซึ่งเมื่อน้ำไหลผ่านในช่วงที่ผ่านชุมชนน้ำจะมีคุณภาพต่ำลง และจากการคาดการณ์คุณภาพน้ำแม่น้ำน่านในอีก 10 ปีข้างหน้า คือ ปี พ.ศ. 2559 พบว่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าระหว่าง 3.46 – 7.61 มิลลิกรัม/ลิตร ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีมีค่าระหว่าง 1.74 – 2.56 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อแบ่งคุณภาพน้ำในจังหวัดพิษณุโลกโดยมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินพบว่า แม่น้ำน่านในจังหวัดพิษณุโลกจัดอยู่ในประเภท 3 – 4 โดยในช่วงต้นน้ำจัดอยู่ในประเภท 3 เมื่อผ่านเทศบาลนครพิษณุโลกจัดอยู่ในประเภท 4 ความสามารถในการรองรับมลพิษของแม่น้ำน่านที่ไหลผ่านจังหวัดพิษณุโลกในแต่ละช่วง ในปี พ.ศ. 2559 พบว่า ช่วงที่ 1 ก่อนไหลเข้าสู่เทศบาลนครพิษณุโลกสามารถรองรับมลสารในรูปของบีโอดีได้เท่ากับ 7,387.37 กิโลกรัม/วัน และช่วงที่ 2 ช่วงไหลผ่านเขตเทศบาลนครพิษณุโลก สามารถรองรับมลสารในรูปของบีโอดีได้เท่ากับ 589.94 กิโลกรัม/วัน

และช่วงที่ 3 หลังจากไหลผ่านเทศบาลนครพิษณุโลกสามารถรองรับมลสารในรูปของบีโอดีได้เท่ากับ 12,929.66 กิโลกรัม/วัน

ทิพาพร เวชกามา (2550) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้แบบการประยุกต์ใช้แบบจำลอง QUAL2K สำหรับประเมินความสามารถในการรองรับของเสียสูงสุดรายวันและคาดการณ์คุณภาพน้ำในกลุ่มน้ำลำเซบาย ในค่า DO และ BOD โดยใช้แบบจำลอง QUAL2K การประเมินการระมลพิษทั้งจากแหล่งกำเนิดที่แน่นอนและไม่แน่นอน และนำข้อมูลเข้าแบบจำลอง QUAL2K เพื่อจำลองคุณภาพน้ำและคาดการณ์คุณภาพน้ำทำการศึกษา 2 ช่วง คือ ช่วงแล้ง (เดือนมีนาคม) และช่วงน้ำหลาก (เดือนสิงหาคม) พบว่า ในสภาวะปัจจุบันคุณภาพน้ำของลำเซบายในช่วงแล้งมีค่า DO ระหว่าง 4.8-7.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และช่วงน้ำหลากมีค่า DO ระหว่าง 5.8-6.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่า DO ในช่วงที่ต่ำที่สุดก็ยังไม่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 และค่า BOD ในช่วงแล้งจะอยู่ในระหว่าง 1.2-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และในช่วงน้ำหลากมีค่าอยู่ระหว่าง 1.5-1.8 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ซึ่งกรมควบคุมมลพิษ (2537) ได้กำหนดไว้ พบว่า ค่า BOD ยังไม่เกินค่ามาตรฐาน

ศิริหทัย แสนบัณฑิต (2550) ได้ศึกษาการประเมินคุณภาพน้ำโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2K และหาศักยภาพในการรองรับมลพิษแม่น้ำน่านจังหวัดอุตรดิตถ์ พบว่าปี 2555 ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ มีค่าระหว่าง 2.33 – 4.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของออกซิเจนทางชีวเคมี มีค่าระหว่าง 0.57 – 3.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และ พ.ศ.2560 พบว่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ มีค่าระหว่าง 2.13 – 4.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของออกซิเจนทางชีวเคมี 0.57 - 3.49 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อแบ่งคุณภาพแม่น้ำน่านที่ไหลผ่านอุตรดิตถ์ โดยใช้มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินพบว่า แม่น้ำน่านที่ไหลผ่านจังหวัดอุตรดิตถ์จัดอยู่ในแหล่งน้ำประเภท 3 – 4 การประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษของแม่น้ำน่านในช่วงที่ไหลผ่านจังหวัดอุตรดิตถ์พบว่า แม่น้ำน่านสามารถรองรับมลสารในรูปของบีโอดี ปี พ.ศ. 2555 สามารถในการรองรับมลพิษตลอดลำน้ำเท่ากับ 132,206.62 กิโลกรัมต่อวัน และ ปี พ.ศ. 2560 สามารถในการรองรับมลพิษตลอดลำน้ำเท่ากับ 112,959.14 กิโลกรัมต่อวัน