บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 การจำลองคุณภาพน้ำ

คุณภาพของทรัพยากรน้ำผิวดินส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทั่วไป มลพิษซึ่งเกิดจากอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และชุมชนยังคงเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกับการเพิ่มขึ้นของประชากรและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ การจัดการทรัพยากรน้ำจึงมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งได้แก่ แบบจำลองคุณภาพน้ำ ซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประเภทหนึ่งที่ใช้ในการทำนายหรือจำลองคุณภาพน้ำที่ได้รับผลกระทบจากน้ำทิ้ง น้ำที่มีการปนเปื้อนหรือน้ำที่ถูกปล่อยมาจากแหล่งกำเนิดมลพิษที่ไม่แน่นอนในแหล่งน้ำประเภทต่าง ๆ ได้แก่ แม่น้ำ ทะเลสาบ มหาสมุทร ภายใต้เงื่อนไขทางสภาพทางอุตุนิยมและลักษณะทางกายภาพที่ต่างกัน

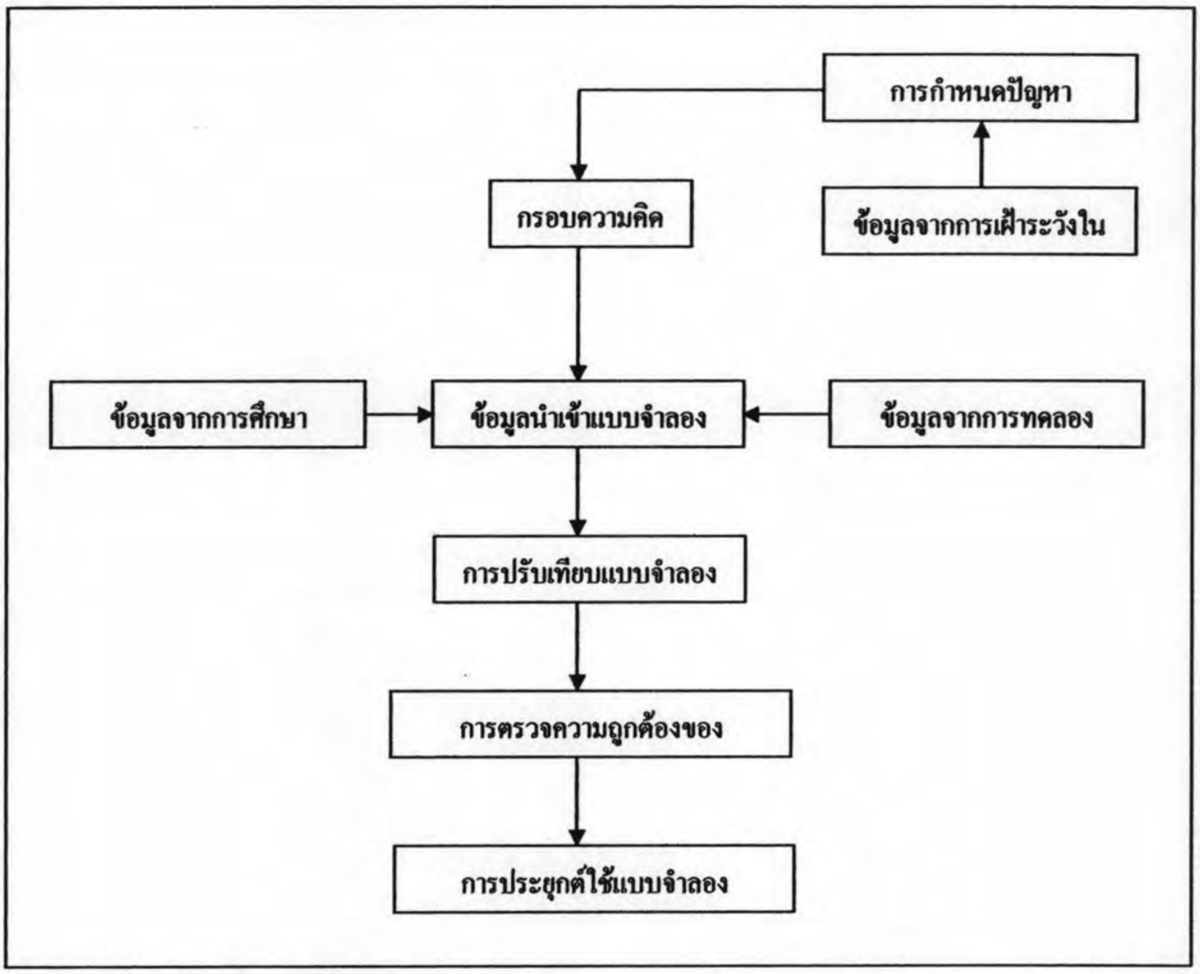
แบบจำลองคุณภาพน้ำมีทั้งแบบจำลองที่ซับซ้อนมากและน้อยขึ้นอยู่กับกระบวนการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำที่สนใจ ยิ่งแบบจำลองมีความซับซ้อนมากจึงต้องการผู้ใช้ที่มีความรู้ความชำนาญมาก เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่มีความซับซ้อนน้อยกว่าซึ่งเป็นแบบจำลองที่พิจารณาเฉพาะกระบวนการเปลี่ยนแปลงในแหล่งน้ำที่สำคัญเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้แบบจำลองที่มีความซับซ้อนน้อยได้รับความนิยมมากกว่า แบบจำลองบางแบบจำลองถูกพัฒนาเพื่อสถานการณ์เฉพาะในขณะที่บางแบบจำลองถูกใช้ในงานทั่ว ๆ ไป ปัจจุบันมีแบบจำลองมากมายที่สามารถทำนายคุณภาพน้ำได้ และประโยชน์อีกอย่างที่สำคัญคือ แบบจำลองสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการจัดการคุณภาพน้ำอย่างยั่งยืนด้วย

Environmental Protection Agency (2005) ให้คำจำกัดความของแบบจำลองคุณภาพน้ำเป็นเครื่องมือที่ใช้จำลองการแพร่กระจายมลสารและดัชนีคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำต่าง ๆ โดยคำนึงถึงกระบวนการทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ ได้แก่ ลักษณะทางอุทกวิทยาของแหล่งน้ำ ปริมาณมลสารที่ลงสู่แหล่งน้ำ และสภาพแวดล้อม ได้แก่ แสงแดด อุณหภูมิ กระแสลม ความเป็นกรดด่างซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการควบคุมการเคลื่อนที่และการเปลี่ยนรูปของมลสารต่าง ๆ

Upstate Fresh Institute (2006) ให้คำจำกัดความของแบบจำลองคุณภาพน้ำเป็นเครื่องมือเชิงปริมาณที่ใช้กันทั่วไปในการจัดการคุณภาพน้ำ เพื่อป้องกันและ/หรือฟื้นฟูแหล่งน้ำต่าง ๆ เช่น ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ แม่น้ำ เมื่อมีการปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้องแล้ว แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะสามารถแสดงให้เห็นภาพรวมของแหล่งน้ำที่ศึกษาได้ นอกจากนี้ยังทำให้ทราบผลกระทบที่มีต่อแหล่งน้ำที่เกิดจากปัจจัยภายนอก เช่น วัฒนธรรม สิ่งมีชีวิตต่างถิ่น และยังสามารถใช้ทดสอบสถานการณ์ต่าง ๆ ที่สมมติขึ้นเพื่อประเมินวิธีการที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการ

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พัฒนาคุณภาพน้ำ การนำแบบจำลองคุณภาพน้ำมาใช้ต้องสัมพันธ์กับองค์ประกอบต่าง ๆ ได้แก่ การตรวจวัด การสำรวจภาคสนาม และการวิเคราะห์ เพื่อหากระบวนการที่สำคัญ ข้อมูลที่จำเป็น และทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองคุณภาพน้ำ

ที่มา : ดัดแปลงจาก Upstate Fresh Institute 2006.

ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองคุณภาพน้ำมีลักษณะเหมือนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั่วไป โดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน (Thomann และ Mueller , 1987)

(1) การปรับเทียบแบบจำลอง (calibration)

ขั้นตอนนี้ประกอบด้วยการปรับค่าในแบบจำลองเพื่อให้ได้ค่าใกล้เคียงหรือตรงกับค่าที่ตรวจวัดได้จริง เนื่องจากแบบจำลองไม่สามารถจำลองสภาพจริงได้ทั้งหมด ค่าที่ได้จึงอาจมีการคลาดเคลื่อน โดยใช้วิธีการลองผิดลองถูก

(2) การตรวจสอบความถูกต้อง (verification)

ขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยใช้แบบจำลองที่ผ่านการปรับเทียบแล้วกับข้อมูลอีกชุดหนึ่งของระบบเดียวกัน ซึ่งส่วนมากจะใช้ข้อมูลที่มีอยู่แล้วในอดีตเป็นตัวทดสอบ เพื่อทดสอบความใกล้เคียงของผลที่ได้จากแบบจำลองและข้อมูลชุดนั้น ถือเป็นการตรวจสอบการทำงานของแบบจำลองอีกครั้ง

(3) การพิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลอง (validation)

ขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบการทำงาน ประสิทธิภาพและความถูกต้องของแบบจำลอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่าง ๆ จากนั้นจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่น ๆ เพื่อการวางแผนและการตัดสินใจในการจัดการต่อไป

2.1.1 องค์ประกอบของการจำลองคุณภาพน้ำ

แบบจำลองคุณภาพน้ำที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีองค์ประกอบต่าง ๆ (Barnwell และ Krenkel , 1982) ได้แก่

(1) ส่วนจำลองการเคลื่อนที่ในแหล่งน้ำ

(2) ส่วนจำลองการเคลื่อนที่ การเจือจางและการแพร่กระจายของสสารที่ละลายน้ำ

(3) ส่วนที่จำลองสมการการย่อยสลายอันดับที่หนึ่งของสสารที่ละลายน้ำ

(4) ส่วนจำลองคุณภาพน้ำ

(5) ส่วนจำลองการเคลื่อนที่ของตะกอน

องค์ประกอบทั้งหมดมีความสัมพันธ์กันซึ่งในการจำลองการเคลื่อนที่ การเจือจางและการแพร่กระจายของสสารที่ละลายน้ำต้องใช้ผลลัพธ์จากการจำลองการเคลื่อนที่ในแหล่งน้ำเช่นเดียวกับการจำลองสมการการย่อยสลายอันดับที่หนึ่งของสสารที่ละลายน้ำ ส่วนที่จำลองคุณภาพน้ำ และส่วนที่จำลองการเคลื่อนที่ของตะกอนต้องใช้ผลลัพธ์จากการจำลองในส่วนของการเคลื่อนที่ในแหล่งน้ำและการจำลองการเคลื่อนที่ การเจือจางและการแพร่กระจายของสสารที่ละลายน้ำ ในแบบจำลองจะใช้สมการแสดงกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในแต่ละองค์ประกอบ ซึ่งสมการเหล่านี้อาจเป็นสมการอนุพันธ์ย่อยที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาในระดับหนึ่ง สอง หรือสามมิติ หรือสมการรูปแบบอื่น ๆ ซึ่งจากความเกี่ยวเนื่องกันของแต่ละองค์ประกอบของแบบจำลองคุณภาพน้ำส่งผลกระทบต่อการนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ดังต่อไปนี้

(1) ข้อมูลคุณภาพน้ำที่ใช้สำหรับการปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคุณภาพน้ำหายากและต้องเสียค่าใช้จ่ายมากในการตรวจวัดคุณภาพน้ำ เช่น ค่าการสังเคราะห์แสงและการหายใจ ต้องบันทึกปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำและอุณหภูมิเป็นเวลา 30 ชั่วโมง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี

(2) สมการคุณภาพน้ำมีค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ มากและค่าสัมประสิทธิ์หลายค่าทำการตรวจวัดยาก เช่น ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท้องน้ำ การกลับขึ้นมาแขวนลอยใหม่ของตะกอนท้องน้ำ

(3) ข้อมูลและค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคุณภาพน้ำมีจำนวนมาก ดังนั้นกระบวนการปรับเทียบและการตรวจสอบความถูกต้องนั้นจึงต้องใช้เวลานานในการลองถูกลองผิด

(4) แบบจำลองคุณภาพน้ำที่มีความซับซ้อนน้อยจะง่ายต่อการปรับเทียบ การตรวจสอบความถูกต้อง และการนำไปใช้ประโยชน์

2.1.2 การประยุกต์ใช้การจำลองคุณภาพน้ำ

แบบจำลองคุณภาพน้ำใช้กันแพร่หลายทั่วโลก ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

(1) ด้านการพัฒนาที่ดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน

แบบจำลองจะถูกใช้ในการทำนายคุณภาพน้ำใช้ที่อาจเปลี่ยนแปลงเนื่องจากผลกระทบจากการพัฒนาที่ดินและการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน

(2) การเพิ่มจุดปล่อยน้ำทิ้งจากกิจกรรมต่าง ๆ ลงสู่แหล่งน้ำ เช่น ระบบบำบัดน้ำเสีย โรงไฟฟ้า การถมทะเล

แบบจำลองถูกใช้ในการชี้ให้เห็นว่า คุณภาพน้ำจะไม่เสื่อมโทรมลงเนื่องจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมต่าง ๆ โดยแบบจำลองคุณภาพน้ำจะใช้ทำนายในสภาพต่าง ๆ เช่น น้ำขึ้นน้ำลงในฤดูใบไม้ผลิ อัตราการไหลของน้ำในรอบ 20 ปี

(3) การสร้างเขื่อน

แบบจำลองจะถูกใช้ชี้ให้เห็นว่า การก่อสร้างเขื่อนและการมีเขื่อนขวางลำน้ำจะไม่ส่งผลกระทบในด้านคุณภาพน้ำทั้งในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ นอกจากแบบจำลองยังใช้ถึงด้านความปลอดภัยของเขื่อนด้วย

(4) การใช้แก้ปัญหาความขัดแย้งเรื่องน้ำอุปโภคบริโภค

ปัญหาคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมลง ปริมาณปลาที่สำคัญทางเศรษฐกิจลดลง ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่นเป็นปัญหาที่นิยมนำเอาแบบจำลองมาใช้แก้ไขปัญหาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

(5) การจัดสรรทรัพยากรน้ำเพื่อการใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ

การชลประทาน การประมง การสันทนาการ รวมถึงการใช้น้ำเพื่อการบริโภคจะใช้แบบจำลองเป็นเครื่องมือในการจัดสรรน้ำ เนื่องจากการจัดสรรน้ำต้องมีการออกแบบข้อกำหนดต่าง ๆ ที่ไม่สามารถปฏิบัติได้จริงในขณะนั้น เช่น ปริมาณการไหลของน้ำต่ำสุดใน 50 ปีข้างหน้า

(6) การชลประทาน

ในอดีตการดึงน้ำจากแหล่งน้ำมาใช้เพื่อการชลประทาน จะคำนึงถึงปริมาณน้ำที่มี ต่อมาจึงเริ่มคำนึงถึงด้านคุณภาพน้ำโดยเฉพาะคุณภาพน้ำบริเวณท้ายน้ำที่มีการใช้ประโยชน์ด้านการประมง แบบจำลองจะถูกนำมาใช้ในการจำลองคุณภาพน้ำและอุณหภูมิบริเวณท้ายน้ำ

(7) การรั่วไหลของน้ำมัน

ในช่วงแรกแบบจำลองถูกใช้ในการแก้ปัญหาน้ำมันรั่วบริเวณชายฝั่งทะเล โดยเป็นแบบจำลองที่ไม่ซับซ้อนและใช้ข้อมูลน้อย ต่อมามีการพัฒนาให้ใช้ได้กับแม่น้ำเพื่อใช้ประโยชน์ในการเตือนการเกิดน้ำมันรั่วไหลบริเวณท้ายน้ำ

2.2 กระบวนการเปลี่ยนแปลงสสารในแหล่งน้ำ

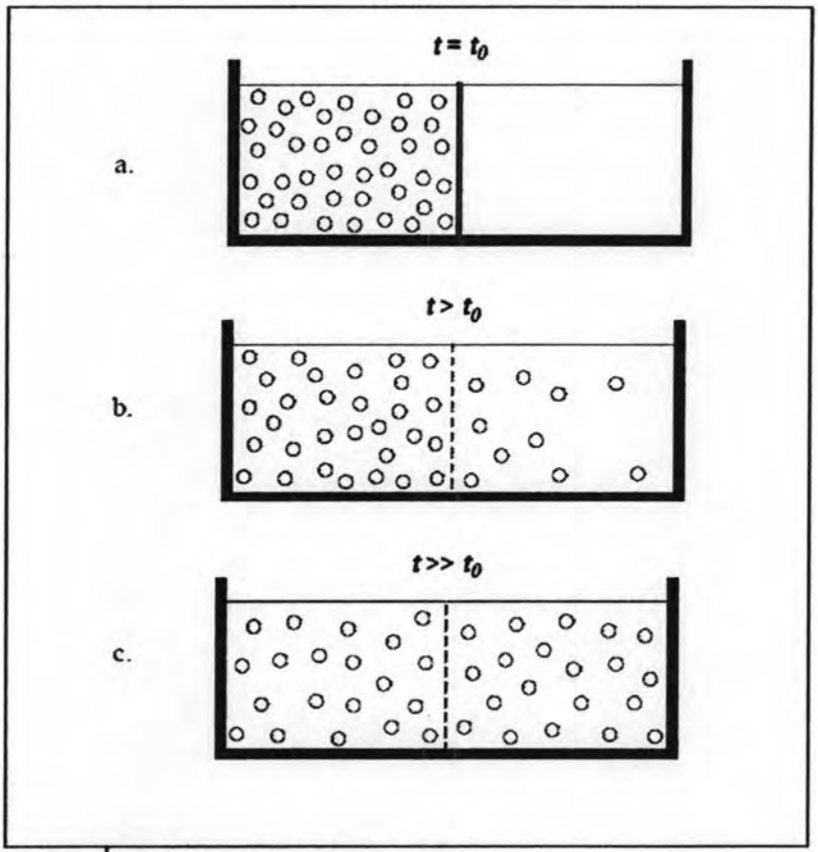
เมื่อสสารถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำมีกระบวนการต่าง ๆ เกิดขึ้นเพื่อเคลื่อนย้าย เจือจางและเปลี่ยนแปลงสสารเหล่านั้น ซึ่งกระบวนการต่าง ๆ เป็นพื้นฐานของแบบจำลองที่ใช้ทำนายคุณภาพน้ำ แต่ละกระบวนการมีความซับซ้อนมากน้อยแตกต่างกัน แบ่งได้เป็น 3 กระบวนการ (Palmer , 2001) ดังต่อไปนี้

2.2.1 กระบวนการทางกายภาพ ประกอบด้วยกระบวนการย่อยดังนี้

(1) การแพร่กระจายและการเคลื่อนย้าย (Dispersion and Advection)

การเคลื่อนย้ายและการแพร่กระจายของสสารในแหล่งน้ำเป็นกระบวนการสำคัญที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของสสารในแหล่งน้ำนั้น ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วของกระแสน้ำ และคุณสมบัติของสสาร โดยการแพร่กระจาย (dispersion) เป็นกระบวนการกวนผสม ซึ่งเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของสสารเป็นวงกลมในของเหลว ความเร็วที่แตกต่างกันในตำแหน่งต่าง ๆ ของของเหลว และระดับความเข้มข้นของสสาร ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Alsaffar , 1996) Techbanoglous และ Schroeder (1987) กล่าวว่า การแพร่กระจายเป็นกระบวนการที่สารจะเคลื่อนที่จากที่ที่มีความเข้มข้นสูงไปที่ที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า ดังแสดงในภาพที่ 2.2 โดย (a) แสดงการกระจายของโมเลกุลของสสารในภาชนะ ณ เวลาเริ่มต้น เมื่อมีสิ่งกีดขวางอยู่ (b) การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสสารเมื่อเอาสิ่งกีดขวางออก (c) การกระจายของโมเลกุลของสสารทั่วภาชนะเมื่อเวลาผ่านไป

การเคลื่อนย้าย (advection) เป็นผลคูณระหว่างความเร็วของกระแสน้ำและความเข้มข้นของสสาร โดยทั่วไปหมายถึงการเคลื่อนที่ของสสารในทิศทางของความเร็ว Techbanoglous และ Schroeder (1987) และ U.S. Geological Survey (1995) ให้คำจำกัดความว่าเป็นการเคลื่อนที่ของกลุ่มสสารสู่ปลายน้ำตามความเร็วของกระแสน้ำ ในหลาย ๆ แบบจำลองถือว่าการเคลื่อนย้ายเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนเพราะทั้งความเร็วและความเข้มข้นเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเวลาและตำแหน่ง



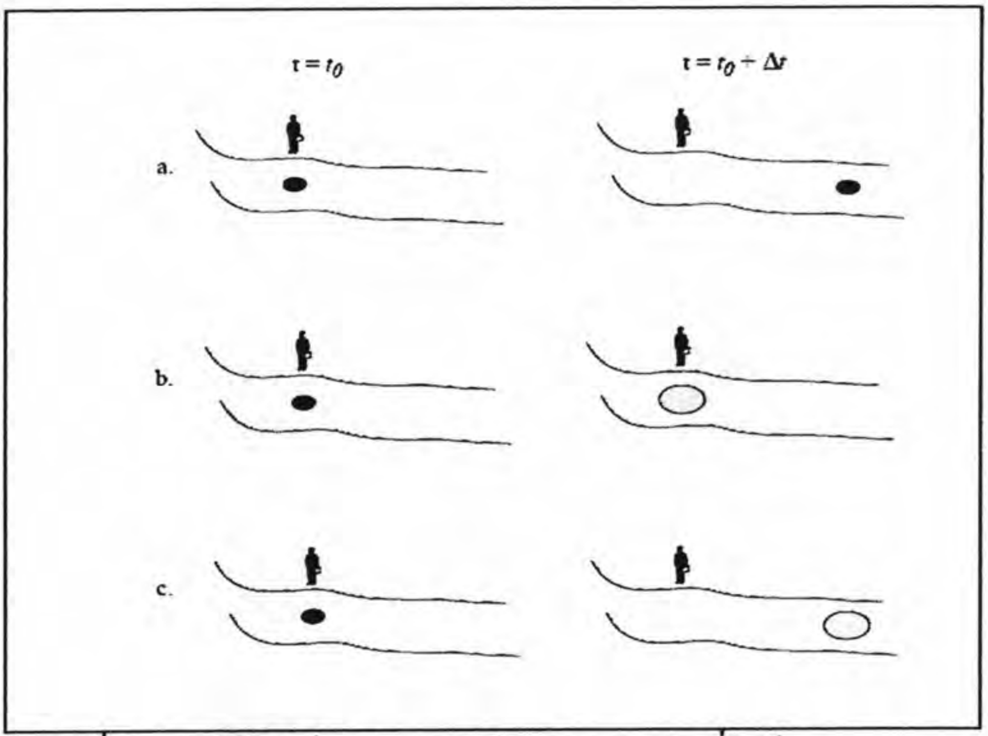
ภาพที่ 2.2 การแพร่กระจายของสสาร

ที่มา : U.S. Geological Survey 1995.

ความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายและการเคลื่อนย้ายสามารถอธิบายได้ในภาพที่ 2.3 โดยทำการปล่อยสีลงสู่แหล่งน้ำและมีการจำลองใน 3 รูปแบบ ได้แก่ (a) พิจารณาการเคลื่อนย้ายเพียงอย่างเดียว เมื่อเวลาผ่านไปตำแหน่งของกลุ่มสีจะเปลี่ยนไปแต่ปริมาตรของกลุ่มสียังคงที่ (b) เมื่อพิจารณาการแพร่กระจายเพียงอย่างเดียว เมื่อเวลาผ่านไปตำแหน่งของกลุ่มสีอยู่ที่ตำแหน่งเดิม แต่มีปริมาตรเพิ่มขึ้น (c) เมื่อพิจารณาทั้งการแพร่กระจายและการเคลื่อนย้าย เมื่อเวลาผ่านไปตำแหน่งและปริมาตรของกลุ่มสีจะเปลี่ยนเนื่องมาจากการเคลื่อนย้ายและการแพร่กระจายตามลำดับ

(2) น้ำขึ้นน้ำลง (Tides)

น้ำขึ้นน้ำลงส่งผลกระทบต่อระดับน้ำซึ่งเปลี่ยนแปลงปริมาตรของน้ำ ดังนั้นจึงมีการเจือจางมากในช่วงเวลาน้ำขึ้นสูง และเจือจางน้อยเมื่อน้ำลดลงต่ำ แต่ในกรณีของน้ำทิ้งที่เป็นน้ำจืดที่ปล่อยลงสู่ทะเลนั้น ความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างน้ำทิ้งและน้ำทะเลจะทำให้อัตราการผสมของน้ำทั้งสองลดลง ในพื้นที่ปากแม่น้ำผลกระทบของน้ำขึ้นน้ำลงที่มีต่อ



ภาพที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายและการเคลื่อนย้าย

ที่มา : U.S. Geological Survey 1995.

คุณภาพน้ำมีความซับซ้อนมาก เพราะต้องมีเกี่ยวข้องกับเวลา ลักษณะทางกายภาพ ฤดูกาลและปริมาณน้ำที่ทิ้งลงสู่ปากแม่น้ำ

อัตราการไหลของแม่น้ำส่วนมากจะเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล และมีช่วงเวลาที่บางช่วงเวลาที่มีปริมาณน้ำฝนเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งอัตราการไหลของแม่น้ำถือเป็นดัชนีคุณภาพน้ำที่สำคัญและในแบบจำลองคุณภาพน้ำถือว่าอัตราการไหลเป็นตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและตำแหน่ง

(3) กระแสน้ำ (Currents)

กระแสน้ำในแหล่งน้ำเกิดจากลม น้ำขึ้นน้ำลง ความหนาแน่น ความแตกต่างของอุณหภูมิหรือการไหล กระแสน้ำและการเปลี่ยนแปลงในเวลาและตำแหน่งต่าง ๆ ทำให้เกิดการเจือจางและการกระจายของมลสารในแหล่งน้ำ ในแม่น้ำแคบ ๆ กระแสน้ำจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการไหล แต่ในแม่น้ำที่กว้าง ทะเลสาบ ปากแม่น้ำ หรือชายฝั่งทะเล กระแสน้ำจะมีความซับซ้อนกว่า กระแสน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ตำแหน่ง และฤดูกาล

(4) การลอยตัว (Buoyancy)

ความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างน้ำทิ้งและน้ำในแหล่งน้ำ การที่น้ำทิ้งเป็นน้ำจืดแล้วถูกทิ้งลงในแหล่งน้ำเค็มก่อให้เกิดความแตกต่างของความหนาแน่นมากที่สุด ซึ่งจะเป็นการลดอัตราการผสมระหว่างน้ำทิ้งและน้ำในแหล่งน้ำ

(5) ความหนาแน่นตามความลึก (Density Stratification)

ความหนาแน่นตามความลึกเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นตามฤดูกาลในทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ และชายฝั่งทะเล ส่วนในบริเวณปากแม่น้ำจะเกิดขึ้นทุกฤดูกาล การเกิดปรากฏการณ์นี้จะทำให้อัตราการผสมและการเคลื่อนย้ายมลสารที่ระดับความลึกต่าง ๆ ในแหล่งน้ำลดลง การแบ่งชั้นตามความลึกในแหล่งน้ำเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพน้ำ และถ้าเกิดปรากฏการณ์นี้ขึ้นจะต้องนำใส่ในแบบจำลองด้วย แบบจำลอง 3 มิติไม่นิยมนำมาใช้ในการศึกษาความหนาแน่นตามความลึก เนื่องจากมีความยากในการปรับเทียบ แต่ในแบบจำลอง 2 มิติบางชนิดสามารถใช้ในบริเวณที่มีความหนาแน่นตามความลึกเข้ามาเกี่ยวข้องได้

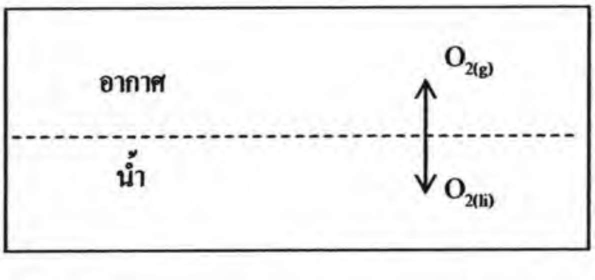
(8) การเคลื่อนที่ของตะกอนแขวนลอย (Suspended Sediment Kinetics)

การเคลื่อนที่ของตะกอนแขวนลอยในแหล่งน้ำเป็นกระบวนการที่สำคัญสำหรับการเคลื่อนที่ของแบคทีเรีย โลหะหนัก สารอินทรีย์ ในแบบจำลองคุณภาพน้ำหนึ่ง ๆ การศึกษาการเคลื่อนที่ของตะกอนแขวนลอยจะรวมถึงการจมตัว การเคลื่อนย้าย การขึ้นมาแขวนลอยใหม่ของตะกอนท้องน้ำ และการแบ่งรูป ความเร็วของการตกตะกอนขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคและความแตกต่างของความหนาแน่นของความหนาแน่นระหว่างอนุภาคและแหล่งน้ำ การกลับขึ้นมาแขวนลอยใหม่ของตะกอนท้องน้ำเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางกายภาพบริเวณท้องน้ำ ลักษณะของท้องน้ำ และขนาดของอนุภาคซึ่งถูกจำแนกโดยความสามารถในการเคลื่อนที่และการเคลื่อนย้าย ค่าสัมประสิทธิ์ของการแบ่งรูปซึ่งจะจำแนกส่วนต่าง ๆ ของโลหะทั้งในรูปที่ละลายและแขวนลอย โดยจะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอย และความพรุน การเคลื่อนที่ของตะกอนค่อนข้างซับซ้อนจึงมีแบบจำลองคุณภาพน้ำจำนวนน้อยที่ใช้การเคลื่อนที่ของตะกอนเป็นตัวแปรในการทำนาย ส่วนใหญ่ใช้เพียงการตกตะกอนและกระบวนการแบ่งรูปของตะกอนเท่านั้น

2.2.2 กระบวนการที่ผิวน้ำ (Surface Process)

(1) กระบวนการเติมอากาศ (Re-aeration)

กระบวนการเติมอากาศเป็นกระบวนการเพิ่มออกซิเจนในแหล่งน้ำโดยการดูดซับออกซิเจนจากอากาศดังแสดงในภาพที่ 2.4 กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนเกี่ยวข้องกับพื้นที่ผิวหน้าของน้ำ การกวนผสม กระแสลม ความเข้มข้นของออกซิเจนใกล้ผิวน้ำอุณหภูมิของอากาศและน้ำ (Palmer,2001) และเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการย่อยสลายมลสารในแหล่งน้ำ



ภาพที่ 2.4 การแลกเปลี่ยนออกซิเจนของน้ำและอากาศ

ที่มา : Thomann และ Mueller , 1987

(2) การระเหย(Volatilization)

การระเหยเป็นการเปลี่ยนรูปของสสารจากของเหลวไปเป็นก๊าซ กระบวนการนี้จะถูกคำนึงถึงมาก เมื่อมลสารที่สนใจเป็นสารอินทรีย์ เช่น PAHs ส่วนใหญ่จะใช้กับแบบจำลองเกี่ยวกับการปนเปื้อนของน้ำมันในแหล่งน้ำ

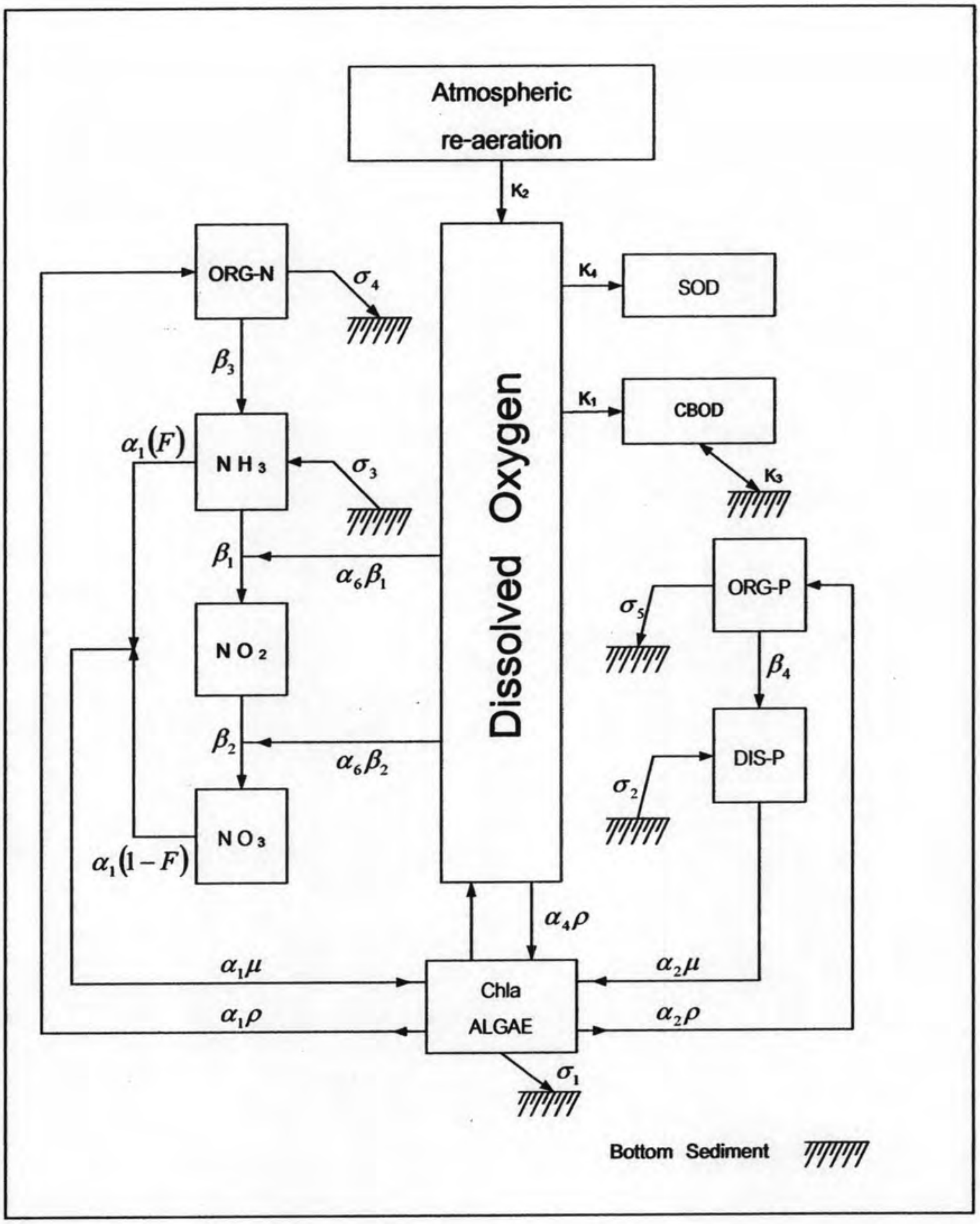
(3) การตกจากบรรยากาศลงสู่แหล่งน้ำ (Atmospheric deposition)

กระบวนการนี้ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับสารอาหาร โดยเฉพาะฟอสฟอรัสในทะเลสาบน้ำจืด ในแบบจำลองคุณภาพน้ำทั่วไปไม่คำนึงถึงกระบวนการนี้

2.2.3 กระบวนการทางชีวเคมี (Biochemical Process)

(1) ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen)

ออกซิเจนเป็นก๊าซที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ กระบวนการของออกซิเจนในแหล่งน้ำเป็นทั้งกระบวนการสร้างและกระบวนการใช้ ดังแสดงในภาพที่ 2.5 กระบวนการของออกซิเจนที่ละลายน้ำเป็นกระบวนการทางชีวภาพ ยกเว้นในส่วนของการเติมอากาศบริเวณผิวน้ำ อัตราการเกิดกระบวนการนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้กิจกรรมทางชีวภาพเพิ่มขึ้นด้วย เช่น การใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ ซึ่งตรวจวัดโดยการบ่มที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน แต่ถ้ามีการทิ้งน้ำเสียที่มีความสกปรกมากและต่อเนื่องเป็นเวลานาน ต้องบ่มไว้มากกว่า 5 วันและค่าที่ได้จากการตรวจวัดเรียกว่า the ultimate BOD การตรวจวัดค่าจริงของปริมาณการเติมอากาศและการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในตะกอนในภาคสนามเป็นไปได้ยาก แต่ทั้งสองค่านี้มักถูกใช้ในการทำนายบ่อยครั้ง ดังนั้นจึงหาค่าของปริมาณการเติมอากาศโดยอ้างอิงจากการไหลของน้ำและความลึกของแหล่งน้ำ ส่วนค่าการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในตะกอนจะอ้างอิงจากความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอนของตะกอนแทน



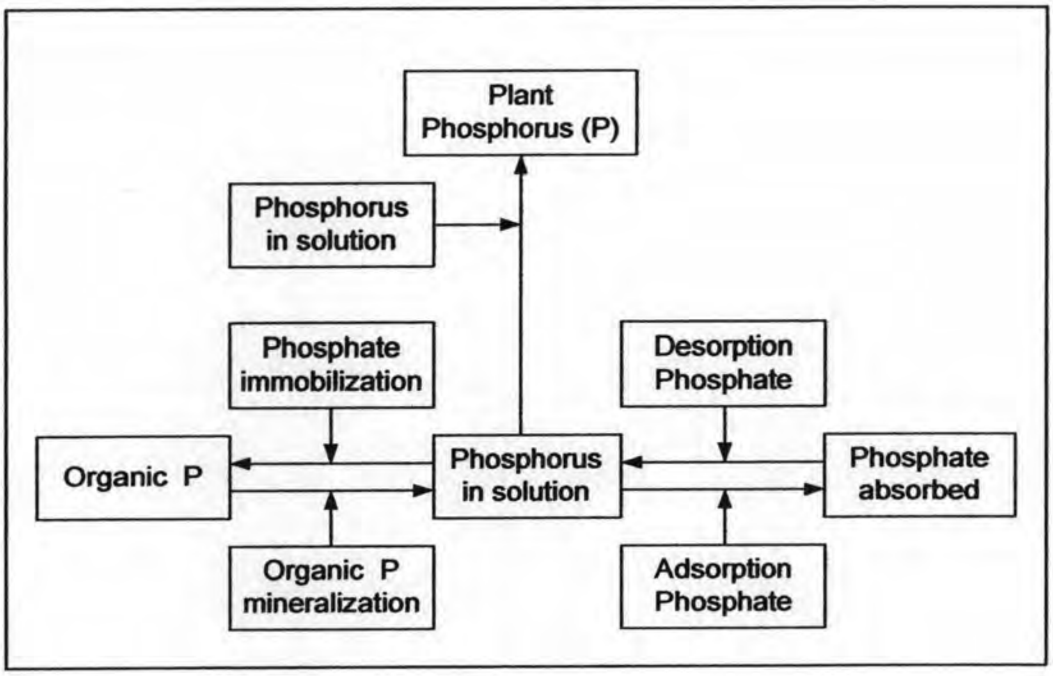
ภาพที่ 2.5 กระบวนการเปลี่ยนแปลงออกซิเจนที่ละลายในแหล่งน้ำ

ที่มา : Palmer 2001.

(2) ฟอสฟอรัส (Phosphorus)

ฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารที่สำคัญต่อพืชน้ำ แต่ในธรรมชาติปริมาณของฟอสฟอรัสมีน้อย รวมถึงในแหล่งน้ำทั่วไปด้วย ซึ่งกระบวนการเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำแสดงในภาพที่ 2.5 และ 2.6 เว้นแต่มีการปนเปื้อนของน้ำเสียจากชุมชนซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสสูง ซึ่งจะส่งผลต่อสมดุลของสารอาหารในแหล่งน้ำนั้น ดังนั้นน้ำทิ้งจากระบบบัดน้ำเสียควรมี

ปริมาณฟอสฟอรัสประมาณ 1 มิลลิกรัมต่อลิตรเท่านั้น เพื่อควบคุมการเกิดยูโทรฟิเคชั่นในแหล่งน้ำ เพราะพืชน้ำต้องการฟอสฟอรัสในปริมาณน้อย



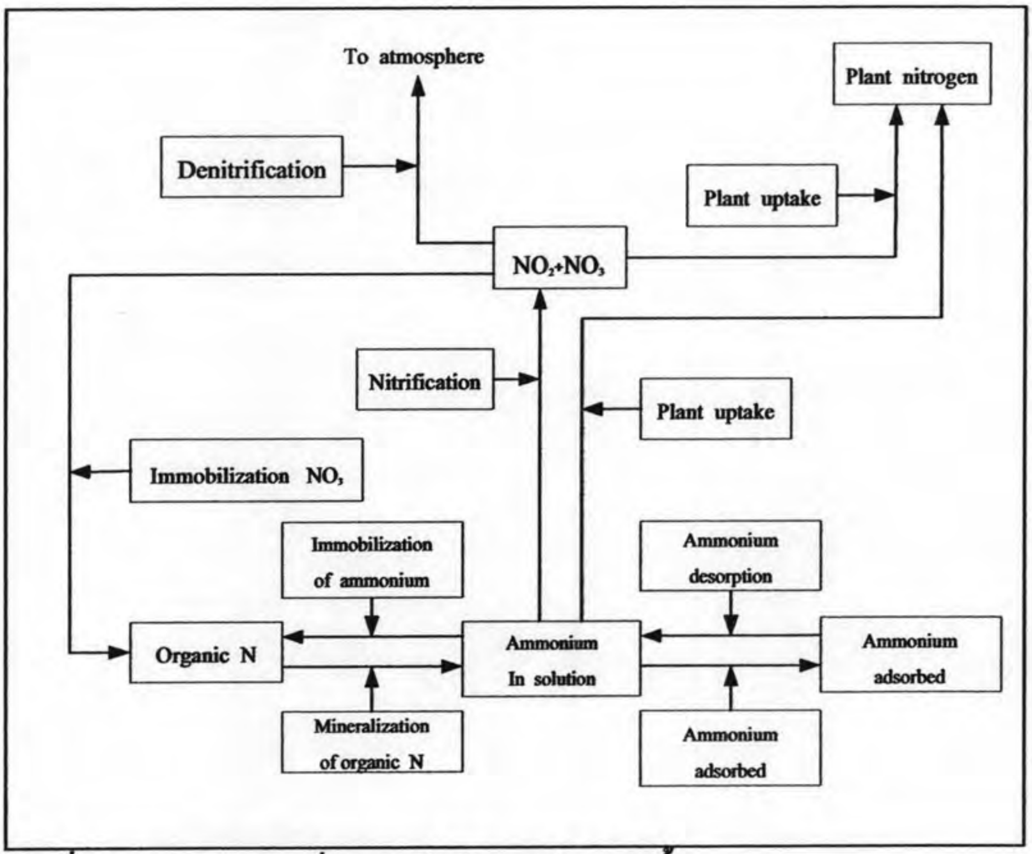
ภาพที่ 2.6 กระบวนการเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ
ที่มา : Palmer 2001.

(3) ไนโตรเจน (Nitrogen)

ไนโตรเจนเป็นสารอาหารที่สำคัญต่อพืชน้ำเช่นเดียวกับฟอสฟอรัส กระบวนการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในแหล่งน้ำแสดงในภาพที่ 2.5 และ 2.7 น้ำเสียจากชุมชนที่มีการปนเปื้อนสิ่งปฏิกูลส่งผลให้มีปริมาณไนโตรเจนในแหล่งน้ำสูง และก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชั่นได้ ในแหล่งน้ำไนโตรเจนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแอมโมเนียซึ่งเป็นรูปแบบที่ใช้ออกซิเจนในแหล่งน้ำมาก และเป็นพิษต่อปลาด้วย

(4) การสังเคราะห์แสงและการหายใจ (Photosynthesis and Respiration)

การสังเคราะห์แสงและการหายใจของพืชน้ำเกี่ยวข้องกับสมดุลของออกซิเจนในแหล่งน้ำนั้น ซึ่งกระบวนการทั้งสองแสดงในภาพที่ 2.5 ในแบบจำลองคุณภาพน้ำ อัตราการเจริญเติบโตของแพลงตอนพืชถูกแสดงในรูปของสมการโดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ แสง สัมประสิทธิ์การตาย ความลึกของแหล่งน้ำ อุณหภูมิและอัตราคาร์บอนต่อคลอโรฟิลล์เอ วิธีการตรวจวัดการสังเคราะห์แสงและการหายใจทำได้โดยวัดความเข้มข้นของออกซิเจนและอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่กำหนดไว้ตลอดเวลา 30 ชั่วโมง



ภาพที่ 2.7 กระบวนการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในแหล่งน้ำ

ที่มา : Palmer 2001.

(5) การเคลื่อนย้ายชีวมวล (Bio-mass Transfers)

การเคลื่อนย้ายชีวมวลในสายใยอาหารของระบบนิเวศแหล่งน้ำมีส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ อนุภาคดินเหนียว แพลงตอนพืชและสัตว์ และตะกอนซากอินทรีย์ ในตะกอนซากอินทรีย์จะประกอบด้วยแบคทีเรียจำนวนมาก โลหะหนัก สารประกอบอินทรีย์ซึ่งจะถูกกินโดยแพลงตอนสัตว์และปลา และตะกอนบางส่วนถูกขับถ่ายออกในรูปของเสียลงสู่แหล่งน้ำ การเคลื่อนย้ายชีวมวลในลักษณะนี้มีความสำคัญต่อการทำนายความเข้มข้นของมลสารต่าง ๆ ในน้ำที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำนั้น ๆ

(6) แบคทีเรีย (Bacteria)

แบคทีเรียที่ใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพน้ำจะพบอยู่ในลำไส้ใหญ่ของสัตว์เลือดอุ่นและจะตายเมื่อลงสู่แหล่งน้ำ อัตราการตายของแบคทีเรียเรียกว่า T90 ซึ่งหมายถึงเวลาที่ความหนาแน่นของแบคทีเรียลดลงมากที่สุด ในน้ำเค็มค่า T90 มีค่าอยู่ระหว่าง 3-6 ชั่วโมง ส่วนในน้ำจืดมีค่าอยู่ระหว่าง 12-13 ชั่วโมง โดยค่า T90 ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ อนุภาคต่าง ๆ ในน้ำ แสงแดด และปัจจัยอื่น ๆ (Palmer , 2000)

(7) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างน้ำและตะกอน (Sediment Water Interactions)

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างน้ำและตะกอนมีความสำคัญสำหรับตัวชี้วัดคุณภาพน้ำที่เกี่ยวข้องกับของแข็งแขวนลอย เช่น แบคทีเรีย โลหะหนัก สารอินทรีย์ สัดส่วนของตัวชี้วัดคุณภาพน้ำในรูปแบบที่ละลายน้ำและแขวนลอยถูกจำแนกโดยค่าสัมประสิทธิ์การแบ่งส่วน (partition coefficient) ซึ่งมีค่าเฉพาะในสสารแต่ละชนิด แบบจำลองคุณภาพน้ำส่วนใหญ่จะทำนายในรูปความเข้มข้นซึ่งมีทั้งองค์ประกอบที่เป็นของแข็งแขวนลอยและละลายน้ำ ซึ่งสัดส่วนของแต่ละองค์ประกอบนี้จะถูกจำแนกด้วยค่าสัมประสิทธิ์การแบ่งส่วน

2.3 ดัชนีคุณภาพน้ำ

ดัชนีคุณภาพน้ำเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณลักษณะทั่วไปของแหล่งน้ำ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำหรือปริมาณมลสารที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ ดังนั้นในการจัดการคุณภาพน้ำโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดัชนีคุณภาพน้ำจึงเป็นตัวแปรที่สำคัญในการทดสอบเงื่อนไขที่ก่อให้เกิดกระบวนการต่าง ๆ ในแหล่งน้ำ ดัชนีคุณภาพน้ำที่มักถูกใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้แก่

2.3.1 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำเป็นดัชนีคุณภาพน้ำที่สำคัญที่สุดในแหล่งน้ำ สิ่งมีชีวิตในน้ำต้องการออกซิเจนที่ละลายน้ำในช่วง 5-8 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทั่วไปในแหล่งน้ำจะมีปริมาณออกซิเจนละลายประมาณ 3-4 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ในบางแห่งมีถึง 5-7 มิลลิกรัมต่อลิตร

กระบวนการเปลี่ยนแปลงออกซิเจนที่ละลายน้ำในแหล่งน้ำค่อนข้างซับซ้อน ดังในภาพที่ 2.5 แสดงถึงที่มาของออกซิเจนในแหล่งน้ำ ซึ่งได้แก่ การสังเคราะห์แสง การเติมอากาศบริเวณผิวน้ำ กระบวนการเปลี่ยนไนเตรทเป็นไนโตรเจน (denitrification) และการใช้ออกซิเจนในน้ำ ได้แก่ การหายใจ การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ การย่อยสลายตะกอน กระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์และไนเตรท (nitrification) โดยกระบวนการเปลี่ยนแปลงออกซิเจนส่วนใหญ่เป็นกระบวนการทางชีวภาพที่เกิดขึ้นตลอดเวลา และอุณหภูมิเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดกระบวนการชีวภาพนี้ด้วย

2.3.2 สารอาหาร (Nutrients)

สารอาหารที่สำคัญในการศึกษาคุณภาพน้ำ ได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เนื่องจากน้ำทิ้งจากชุมชนมีความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง สารอาหารเหล่านี้เป็นอาหารสำหรับแพลงตอนพืช ถ้าในแหล่งน้ำไม่มีสารอาหารหรือมีน้อยเกินไปจะไม่มีสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำนั้น แต่ถ้าในแหล่งน้ำมีสารอาหารมากเกินไป จะทำให้ปริมาณแพลงตอนพืชมากขึ้นจนทำให้คุณภาพน้ำเสื่อมโทรมลง เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำถูกใช้ในการย่อยสลายแพลง

ตอนพืชที่ตายลง สัดส่วนโมเลกุลของฟอสฟอรัสต่อไนโตรเจนต่อคาร์บอนที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของพืชได้แก่ 1:10:40

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำมีทั้งรูปที่ละลายน้ำและรูปที่เป็นของแข็ง และอยู่ในรูปของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ดังแสดงในภาพที่ 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ แบบจำลองที่ซับซ้อนจะสามารถทำนายความเข้มข้นของสารอาหารทั้งสองในหลายรูปแบบได้ แต่รูปแบบที่สำคัญ คือ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ เพราะเป็นรูปแบบที่พืชน้ำสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นในแบบจำลองส่วนใหญ่จึงพิจารณาเฉพาะรูปแบบที่ละลายน้ำ

นอกจากไนโตรเจนในแหล่งน้ำจะเป็นสารอาหารสำคัญต่อพืชน้ำแล้ว แต่ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียกลับเป็นพิษต่อปลา ในขณะที่จุลินทรีย์ในแหล่งน้ำสามารถนำแอมโมเนียไปใช้ประโยชน์ได้ แอมโมเนียถูกกำหนดให้มีในแหล่งน้ำไม่เกิน 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร แม้ว่าในบางมาตรฐานจะกำหนดโดยใช้ค่า LC_{50} ที่ทดลองกับปลาเทราต์ซึ่งมีค่าความเข้มข้นมากที่สุดเท่ากับ 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมโมเนียในแหล่งน้ำมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อุณหภูมิและความเค็ม ดังนั้นเมื่อใช้แบบจำลองคุณภาพน้ำในการทำนายความเป็นพิษของแอมโมเนีย ดัชนีคุณภาพน้ำที่ต้องทำนายด้วย ได้แก่ pH อุณหภูมิและความเค็ม โดยช่วงเวลาที่แอมโมเนียในน้ำจะส่งผลกระทบรุนแรงมากที่สุด คือ เมื่ออุณหภูมิและ pH มีค่าสูงสุด แต่ความเค็มมีค่าต่ำสุด

ฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารสำหรับพืชน้ำในแหล่งน้ำจืดธรรมชาติ ฟอสฟอรัสมักเป็นปัจจัยจำกัดในการเจริญเติบโต แต่เมื่อแหล่งน้ำมีการปนเปื้อนน้ำเสียชุมชนซึ่งมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ จึงทำให้พืชน้ำเจริญเติบโตได้รวดเร็วส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำด้วย

การทำนายความเข้มข้นของสารอาหารในแหล่งน้ำโดยใช้แบบจำลองคุณภาพน้ำต้องคำนึงถึงมวลชีวภาพและชนิดของแพลงตอนพืช รวมถึงมวลชีวภาพของพืชน้ำด้วย

2.3.3 แบคทีเรีย (Indicator Bacteria)

ความหนาแน่นของแบคทีเรียที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณการปนเปื้อนน้ำเสียชุมชนในแหล่งน้ำซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ที่ต้องใช้แหล่งน้ำนั้น ๆ เพื่อการอุปโภคบริโภค ในอดีตการปนเปื้อนน้ำเสียชุมชนถูกวัดโดยดูจากปริมาณแบคทีเรียที่พบในลำไส้ของสัตว์เลือดอุ่น โดยเริ่มจากการวัดปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด และต่อมาเปลี่ยนเป็นการวัดปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มและ *E.coli* แทน หลายองค์กรได้กำหนดความหนาแน่นเฉลี่ยของแบคทีเรียที่พบในแหล่งน้ำไว้ระหว่าง 100-500 cfu/100 ml สำหรับประโยชน์เพื่อการนันทนาการ ส่วนเพื่อใช้สำหรับการบริโภคถูกกำหนดให้มีความหนาแน่นของแบคทีเรียเท่ากับ 0 cfu/100 ml สำหรับฟีคัลโคลิฟอร์มและ $<$ 10 cfu/100 ml สำหรับโคลิฟอร์มทั้งหมด

ในแหล่งน้ำเซลล์ของแบคทีเรียจะติดอยู่กับตะกอนอินทรีย์หรือของแข็งแขวนลอย จึงทำให้ความหนาแน่นของแบคทีเรียจากแต่ละตัวอย่างแตกต่างกันมาก โดยทั่วไปแบคทีเรียใน

ลำไส้ของสัตว์เลือดอุ่นจะมีชีวิตอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่นาน โดยเฉพาะในแหล่งน้ำที่มีความเค็มสูง แบคทีเรียประมาณร้อยละ 90 จะตายในเวลา 3-6 ชั่วโมง สำหรับแหล่งน้ำจืดจะใช้เวลาประมาณ 12-30 ชั่วโมง

การใช้แบบจำลองคุณภาพน้ำกับแบคทีเรียควรทำนายในด้านของความหนาแน่น และในหลายแบบจำลองจะทำนายถึงการเคลื่อนย้ายตะกอนอินทรีย์และของแข็งแขวนลอยซึ่งจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า แบบจำลองที่ใช้ในการทำนายแบคทีเรียมักประกอบด้วยการเคลื่อนย้าย การกระจายและอัตราการตายของแบคทีเรีย การทำนายการเคลื่อนย้ายและการกระจายของแบคทีเรียจะถูกต้องเพียงร้อยละ 50 ถ้าแหล่งน้ำนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ส่วนอัตราการตายของแบคทีเรียอาจเป็นปัจจัยที่ทำให้การทำนายผิดพลาดได้ในกรณีที่เป็นแหล่งน้ำเค็มและในกรณีที่แบคทีเรียมีปริมาณน้อยแม้จะแก้ปัญหาโดยใช้วิธีการเพาะเลี้ยง ซึ่งยังคงส่งผลกระทบต่อการปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองด้วย

2.3.4 ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)

ของแข็งแขวนลอยมีทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อพืชน้ำและสุนทรียภาพ โลหะหนักส่วนใหญ่ เช่น ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว แคดเมียมและเหล็กจะเกาะติดอยู่กับของแข็งแขวนลอย เช่นเดียวกับแบคทีเรียทีและสารประกอบอินทรีย์ เช่น สารฆ่าแมลง และสารกำจัดศัตรูพืชที่มักเกาะติดกับตะกอนอินทรีย์ในน้ำ

การวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยเป็นการวัดมวลซึ่งไม่ได้ให้ความสำคัญกับตะกอนอินทรีย์และมวลชีวภาพของแพลงตอนเท่าที่ควร ส่วนการวัดความขุ่นโดยวัดจากปริมาณการส่องผ่านของแสงในแหล่งน้ำจะใช้แผ่นวัดความโปร่งใสของน้ำ (secchi disc) ในความเป็นจริงความขุ่นและปริมาณของแข็งแขวนลอยไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน ยกเว้นในกรณีที่ในแหล่งน้ำมีแพลงตอนหรือตะกอนอินทรีย์มาก ๆ

น้ำเสียชุมชนมีความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยสูง น้ำเสียก่อนบำบัดมีของแข็งแขวนลอยประมาณ 100-200 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เมื่อทำการบำบัดแล้วจะเหลือเพียง 10-50 มิลลิกรัมต่อลิตร แบบจำลองคุณภาพน้ำที่ใช้ทำนายปริมาณตะกอนแขวนลอยต้องคำนึงถึงความเร็วของการตกตะกอน ความเร็วของการกลับขึ้นมาแขวนลอยใหม่ของตะกอนที่ท้องน้ำ และความเร็วในการเคลื่อนย้ายตะกอน ซึ่งการสำรวจภาคสนามจึงมีความสำคัญต่อความถูกต้องในการทำนาย การทำนายความเข้มข้นและการตกตะกอนของของแข็งแขวนลอยในแหล่งน้ำมีความสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าต้องการทำนายกระบวนการดังกล่าวในตะกอนอินทรีย์จำเป็นอย่างมากที่ต้องใช้แบบจำลองที่มีความซับซ้อนมากขึ้น

2.3.5 โลหะ (Metals)

โลหะที่มีความเข้มข้นสูงเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำโดยเฉพาะโลหะที่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำ โลหะที่สำคัญได้แก่ ทองแดง แคดเมียม สังกะสี ตะกั่ว ปรอท ไซยาไนด์ โครเมียม นิกเกิล สารหนูและเหล็ก ซึ่งความเข้มข้นน้อยที่สุดที่ควรพบในแหล่งน้ำ ได้แก่ ปรอท 0.0002 มิลลิกรัมต่อลิตร แคดเมียม 0.004 มิลลิกรัมต่อลิตร ทองแดง 0.015 มิลลิกรัมต่อลิตร ไซยาไนด์ 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร ปกติความเข้มข้นของโลหะในน้ำเสียชุมชนมีปริมาณน้อยจึงไม่ได้คำนึงถึงมากนัก แต่ถ้าในพื้นที่ชุมชนมีโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กอยู่ เช่น โรงงานชุบเคลือบโลหะ โรงงานผลิตสี ซึ่งท่อน้ำทิ้งของโรงงานเหล่านี้เชื่อมต่อกับระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน น้ำเสียชุมชนนี้อาจมีการปนเปื้อนโลหะได้และควรให้ความสำคัญมากขึ้น โลหะมีความสัมพันธ์กบปริมาณของแข็งแขวนลอยในแหล่งน้ำโดยโลหะเหล่านี้จะสะสมอยู่ในตะกอนและส่งผลกระทบทางลบในระยะยาวต่อแหล่งน้ำ จึงควรมีการทำนายโดยใช้แบบจำลองคุณภาพน้ำ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการทำนายความเข้มข้นของโลหะในแหล่งน้ำได้แก่ การเคลื่อนย้ายของของแข็งแขวนลอยและการเปลี่ยนรูปของโลหะ

2.3.6 สสารที่ละลายน้ำ (Dissolved Substances)

สสารที่ละลายน้ำได้แก่ ความเค็ม ความกระด้าง และเกลือ สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำธรรมชาติไม่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มมาก ๆ ได้ ดังนั้นองค์กรต่าง ๆ จึงกำหนดว่าควรมีการเปลี่ยนแปลงความเค็มไม่เกินร้อยละ 10 ปริมาณความเค็มในทะเลจะมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ดังนั้นการใช้แบบจำลองในการทำนายจึงควรทำในฤดูกาลที่มีค่าความเค็มต่ำด้วย แหล่งน้ำจืดที่มีค่าความเค็มมากกว่า 125 มิลลิกรัมต่อลิตรจะส่งผลกระทบต่อการใช้น้ำในการชลประทาน เช่นเดียวกันถ้ามีปริมาณโซเดียมมากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตรจะต้องคำนึงถึงผลกระทบเมื่อนำน้ำไปใช้บริโภคและการชลประทาน ความกระด้างเป็นดัชนีคุณภาพน้ำที่ต้องคำนึงถึงเนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อระดับความเป็นพิษต่อปลาถ้าความเข้มข้นของโลหะและแอมโมเนียสูงขึ้น

สสารที่ละลายน้ำในแหล่งน้ำจะถูกเจือจางลงโดยการผสมและการกระจาย ซึ่งความเข้มข้นของสสารนี้จะสามารถทำนายได้ โดยความถูกต้องและความแม่นยำของการทำนายความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายทั้งหมดเหมือนกับความถูกต้องและความแม่นยำของแบบจำลองที่ทำนายการเคลื่อนย้ายและการกระจาย สำหรับค่าการนำไฟฟ้าจะมีประโยชน์ในการทำนายคุณภาพน้ำในพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำ ในน้ำเค็มมีค่าการนำไฟฟ้าประมาณ 32,000 μmhos/cm ส่วนในน้ำทิ้งชุมชนมีประมาณ 200-1,000 μmhos/cm ในน้ำจืดค่าความเค็มเท่ากับศูนย์ ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้จากบริเวณปากแม่น้ำสามารถอธิบายถึงปริมาณน้ำจืดที่ไหลลงไปได้

ปริมาณของแข็งแขวนลอยจะถูกวัดในรูปค่าการนำไฟฟ้าซึ่งมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ในการใช้แบบจำลองข้อมูลด้านการนำไฟฟ้ายังสามารถอธิบายถึงความสมดุลเชิงมวลในบริเวณปากแม่น้ำและน้ำเสียที่ปล่อยลงไปสู่ปากแม่น้ำด้วย

2.3.7 ความเป็นกรดด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เป็นดัชนีสำคัญในแหล่งน้ำในด้านของปฏิกิริยาเคมีและความเป็นพิษ เพราะถ้าค่า pH ต่ำโลหะจะอยู่ในรูปของสารละลาย และค่า pH ยังมีความสำคัญต่อสมดุลของไบคาร์บอเนตในแหล่งน้ำจืด ซึ่งมีผลต่อสารพิษต่าง ๆ ที่มีพิษต่อปลา ที่ pH สูงจะทำให้พิษของสารพิษนั้น ๆ น้อยลง pH ไม่สามารถทำนายได้โดยใช้แบบจำลอง

2.3.8 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในแหล่งน้ำในด้านที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีและกิจกรรมทางชีวภาพ อุณหภูมิสำคัญต่อการดำรงชีวิตของปลาที่ต้องการอุณหภูมิเฉพาะในแต่ละช่วงของชีวิต อุณหภูมิของน้ำสามารถทำนายได้โดยแบบจำลองต่าง ๆ ในพื้นที่ปากแม่น้ำการวัดอุณหภูมิต้องใช้เครื่องมือที่ละเอียดมากขึ้น แบบจำลองคุณภาพน้ำที่ใช้กันอยู่สามารถทำนายอุณหภูมิของน้ำได้ถูกต้องและแม่นยำเพียงร้อยละ 3-5 เท่านั้น

2.3.9 น้ำมันและไขมัน

น้ำเสียจากชุมชนเป็นแหล่งกำเนิดหนึ่งของน้ำมันและไขมัน องค์กรส่วนใหญ่กำหนดให้น้ำมันและไขมันที่ลอยอยู่บริเวณผิวหน้าน้ำไม่ควรมีค่าเกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำมันและไขมันไม่สามารถทำนายโดยใช้แบบจำลองคุณภาพน้ำได้ แต่ใช้แบบจำลองของน้ำมันที่ปนเปื้อน(oil spill) ในแหล่งน้ำแทนได้ การวัดปริมาณน้ำมันและไขมันมีความถูกต้องประมาณร้อยละ 15-20 การใช้แบบจำลองน้ำมันที่ปนเปื้อนเพื่อทำนายน้ำมันและไขมันจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลเชิงพื้นที่ซึ่งหาได้ยาก จึงทำให้แบบจำลองมีความถูกต้องเพียงร้อยละ 25-50

2.3.10 โพลีไซคลิกอโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)

โพลีไซคลิกอโรมาติกไฮโดรคาร์บอนเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำแม้จะมีปริมาณเพียง 0.1-10 ไมโครกรัมต่อลิตร สำหรับไฮโดรคาร์บอนส่วนใหญ่เมื่อปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำมักจะลอยอยู่ที่ผิวน้ำ จึงต้องใช้แบบจำลองการปนเปื้อนของน้ำมันในการทำนายซึ่งความถูกต้องมีเพียงร้อยละ 25-50ถ้าไม่มีข้อมูลพื้นฐานเพียงพอ แต่ในขณะเดียวกันโพลีไซคลิกอโรมาติกไฮโดรคาร์บอนสามารถใช้แบบจำลองคุณภาพน้ำทำนายได้ เนื่องจากโพลีไซคลิกอโรมาติกไฮโดรคาร์บอนมีความสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งแขวนลอย จึงสามารถทำนายโดยใช้การเคลื่อนย้ายตะกอนแขวนลอยได้ แต่ถ้ามีปริมาณน้อยจะทำนายได้ยาก ดังนั้นการทำนายโพลีไซคลิกอโรมาติกไฮโดรคาร์บอนส่วนใหญ่เป็นการทำนายเชิงคุณภาพเท่านั้น

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 แบบจำลองคุณภาพน้ำ MIKE11

แบบจำลองคุณภาพน้ำ MIKE11 เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาโดยสถาบันวิจัยแหล่งน้ำ (Danish Hydraulic Institute ; DHI) ประเทศเดนมาร์ก ในปี ค.ศ. 1972 โดยชื่อ MIKE11 เป็นคำย่อมาจาก Mike Abbott ผู้ริเริ่มใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณการไหลในลำน้ำ (สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย, 2548) แบบจำลองคุณภาพน้ำ MIKE11 เป็นแบบจำลองที่มีระบบจำลองพื้นฐานสำหรับคลองและแม่น้ำ เพื่อใช้จำลองสภาพการไหล การแพร่กระจายของสสาร การเคลื่อนที่และการทับถมของตะกอน และการจำลองคุณภาพน้ำบริเวณปากแม่น้ำ แม่น้ำและคลองชลประทาน แบบจำลองคุณภาพน้ำ MIKE11 เป็นแบบจำลองแบบ 1 มิติ ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองย่อย (module) ต่าง ๆ ซึ่งในการศึกษานี้ใช้แบบจำลองย่อยทั้งหมด 3 แบบจำลองย่อย ได้แก่ แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (MIKE11 HD-Hydrodynamics) แบบจำลองการพาและการแพร่กระจาย (MIKE11 AD-Advection-Dispersion) และแบบจำลองนิเวศ (MIKE11 ECOLab-Ecological Modeling) ซึ่งแบบจำลองนิเวศได้รับการพัฒนามาจากแบบจำลองคุณภาพน้ำ (MIKE11 WQ-Water Quality

2.4.1 หลักการทำงานของแบบจำลองอุทกพลศาสตร์

แบบจำลองอุทกพลศาสตร์เป็นแบบจำลองเชิงกายภาพ (Physical Based Model) ใช้ข้อมูลทางกายภาพของลำน้ำเป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อให้แบบจำลองทำการคำนวณ หลักการจึงเหมือนกับการสร้างลำน้ำหรือแม่น้ำในเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยแบบจำลองนี้ โดยมีสภาพเหมือนลำน้ำจริง ข้อมูลนำเข้าที่จำเป็นสำหรับแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ได้แก่

(1) แผนผังหรือเครือข่ายของลำน้ำ (Schematic Diagram of River Network) ข้อมูลนี้แสดงเครือข่ายลำน้ำ แม่น้ำสาขาที่ไหลมาบรรจบกับแม่น้ำสายหลัก

(2) ภาพหน้าตัดลำน้ำ (Cross Section) และความยาวระหว่างภาพหน้าตัด เป็นข้อมูลที่แสดงสภาพลำน้ำ ความชัน ความกว้างของลำน้ำ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละลำน้ำ

(3) อัตราการไหลเข้าด้านข้าง (Side Flow) เป็นข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลจากคลองหรือลำน้ำสาขาที่ไหลมาบรรจบกับแม่น้ำสายหลัก

ในการคำนวณของแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ให้ผลลัพธ์ คือ ระดับน้ำ (water level ; H) หรืออัตราการไหล (discharge; Q) ในทุกตำแหน่งของลำน้ำ ซึ่งได้จากสมการที่ (1) และ (2)

$$\frac{\partial Q}{\partial x}+\frac{\partial A}{\partial t}=0 \qquad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{2Q}{A}\frac{\partial Q}{\partial x}+\left(g\frac{A}{B}-\frac{Q^2}{A^2}\right)\frac{\partial A}{\partial x}+gA\left(S_f-S_0\right)=0 \qquad (2)$$

โดยที่	Q	=	อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)
	A	=	พื้นที่หน้าตัดของการไหล (ตร.ม.)
	t	=	เวลา (วินาที)
	x	=	ระยะทาง (เมตร)
	B	=	ความกว้างของลำคลอง (เมตร)
	g	=	อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (เมตร/วินาที^{2})
	S_f	=	ความเสียดทาน
	S_0	=	ความลาดเอียงของพื้นคลอง

สมการดังกล่าวเป็นสมการแบบ Non-linear Second Order Partial Differential Equation การแก้สมการใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลขและ Finite Difference Method เพื่อแก้สมการข้างต้น และเพื่อให้ผลการคำนวณมีเสถียรภาพควรมีการเลือกช่วงเวลาในการคำนวณ (Time Step ; Δt) ให้เหมาะสม รายละเอียดและสูตรในการคำนวณแสดงในภาพผนวก ก

นอกจากนี้จำเป็นต้องกำหนดขอบเขตเงื่อนไขของค่าระดับน้ำ (H) และอัตราการไหล (Q) เพื่อให้แบบจำลองทำงานและคำนวณค่าทั้งสองที่เวลาต่าง ๆ กัน โดยทั่วไปการกำหนดขอบเขตเงื่อนไขต้นน้ำและปลายน้ำสามารถเลือกใช้ H หรือ Q อย่างใดอย่างหนึ่ง แต่ในกรณีที่พื้นที่ศึกษาเป็นลำน้ำที่ไหลลงทะเล ด้านท้ายน้ำมักถูกกำหนดให้ใช้ H ดังแสดงในภาพที่ 2.8

2.4.2 หลักการทำงานของแบบจำลองการพาและการแพร่กระจายและแบบจำลองนิเวศ

เมื่อมีมลสารแพร่ลงสู่แม่น้ำ การแพร่กระจายของมลสารนั้น ๆ ขึ้นอยู่กับ 3 กระบวนการ ได้แก่

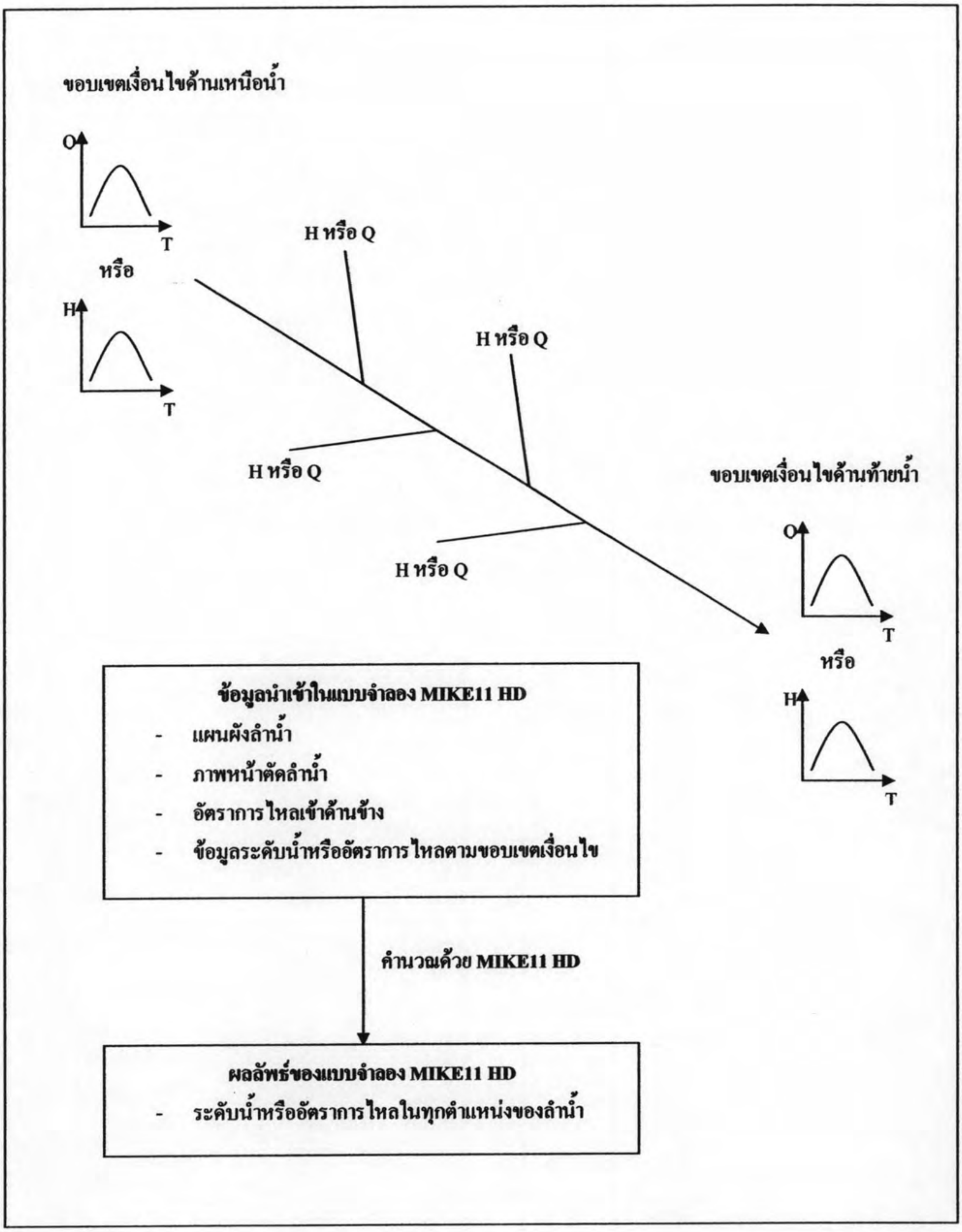
(1) กระบวนการพา (Advection) หมายถึง การพาสสารนั้นเคลื่อนที่ไปตามลำน้ำด้วยความเร็วของกระแสน้ำ ถ้ากระแสน้ำไม่มีความเร็วจะไม่มีกระบวนการพัดพาของมลสารนั้น

(2) กระบวนการแพร่ (Diffusion) หมายถึง การแพร่กระจายของสสารนั้นจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ และจะหยุดเมื่อความเข้มข้นของมลสารในทั้งสองบริเวณมีค่าเท่ากัน

(3) กระบวนการทางชีวเคมี (Biochemical Processes) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงปริมาณของสสารนั้น ๆ เมื่อถูกนำไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรีย เป็นต้น

สมการสำคัญของกระบวนการที่ 1 และ 2 แสดงในสมการที่ (3)

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uhc) = \frac{\partial}{\partial x}\left(hD_x \frac{\partial c}{\partial x}\right) - Fhc + S \qquad (3)$$



ภาพที่ 2.8 แผนผังของแบบจำลอง MIKE11 HD

ที่มา : สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย 2548.

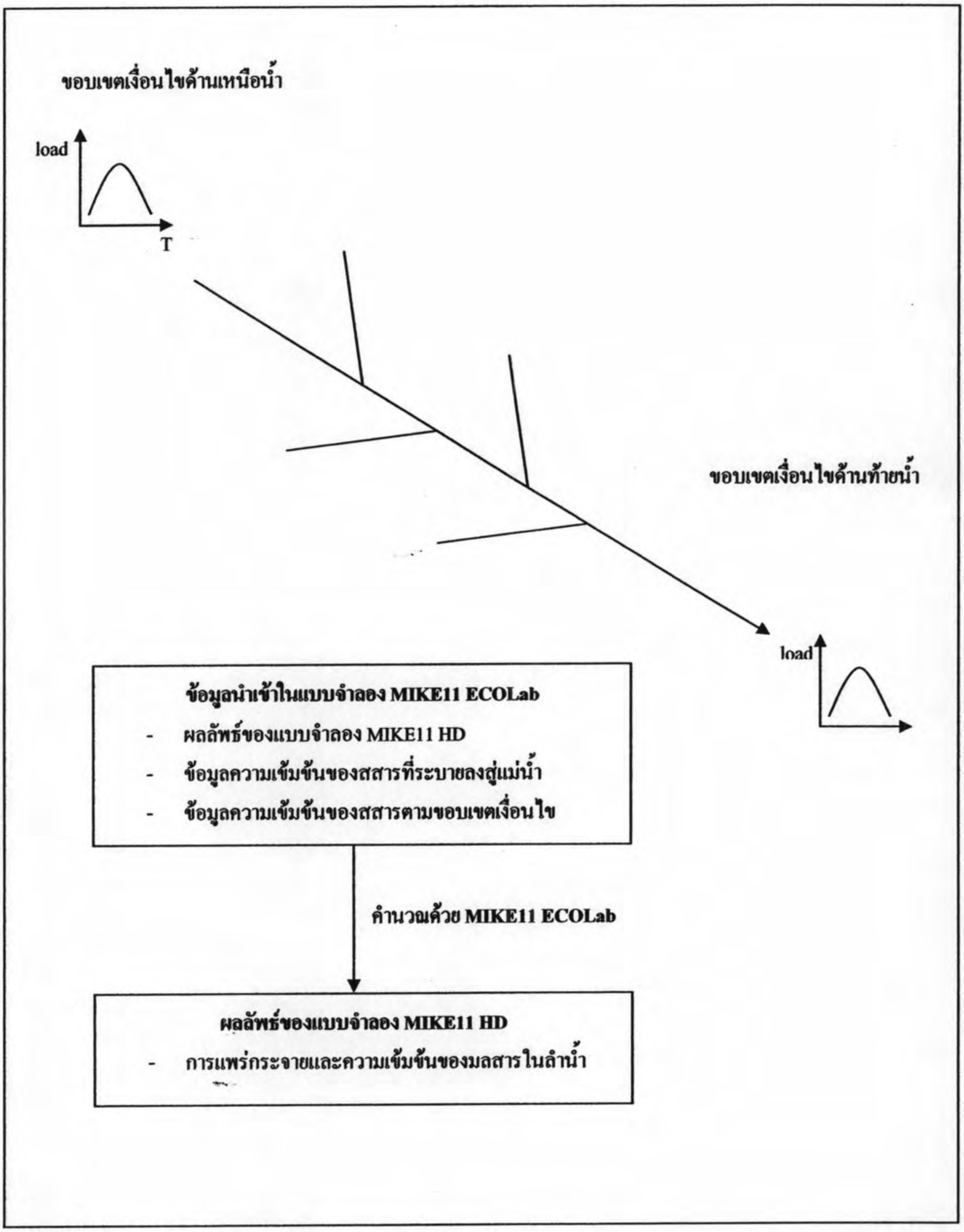
โดยที่ c	=	ความเข้มข้นของสสารที่พิจารณา
u	=	ความเร็วกระแสน้ำตามแนวแกน x (เมตร/วินาที)
h	=	ความลึกของลำน้ำ (เมตร)
D_x	=	สัมประสิทธิ์การแพร่ตามแนวกแกน x และ y ตามลำดับ (เมตร^2/วินาที)
F	=	อัตราการสลายตัวของความเข้มข้นของสสาร (วินาที$^{-1}$)
S	=	ปริมาณสสารที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงตามจุดต่าง ๆ ที่กำหนด (Sources / Sinks) โดยเท่ากับ $S = Q_s(c_s-c)$
Q_s	=	อัตราการไหลของน้ำที่มากับสสารที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงที่จุดต่าง ๆ (ลบ.ม./วินาที/เมตร^2)
c_s	=	ความเข้มข้นของสสารที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงที่จุดต่าง ๆ

ส่วนกระบวนการทางชีวเคมีมีความซับซ้อนแตกต่างกันตามกระบวนการที่นำมาพิจารณาในแบบจำลองโดยแบ่งเป็น 6 ระดับตั้งแต่มีความซับซ้อนน้อยที่สุดไปจนซับซ้อนมากที่สุด โดยแสดงในภาคผนวก ก ภาพที่ 2.9 แสดงขอบเขตเงื่อนไขของแบบจำลอง MIKE11 ECOLab ซึ่งข้อมูลที่ต้องการในการกำหนดขอบเขตเงื่อนไข ได้แก่ ความเข้มข้นของมลสารที่บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ

2.5 การจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม

การพัฒนาประเทศที่มุ่งสู่การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจโดยใช้ทรัพยากรธรรมชาติเป็นฐานการผลิตก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติ สิ่งแวดล้อมและสังคม ปี พ.ศ.2535 ประเทศต่าง ๆ จึงร่วมลงนามรับรองแผนปฏิบัติการ 21 (Agenda 21) ณ กรุงริโอเดจาเนโร ประเทศบราซิล เพื่อมุ่งสร้างความสมดุลระหว่างมิติเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม และก่อให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไป

สำหรับประเทศไทย แม้ว่าจะรับเอาแนวคิดของแผนปฏิบัติการ 21 มาปฏิบัติโดยมีการสอดแทรกไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 8 -10 (พ.ศ. 2540 – ปัจจุบัน) แต่ผลการพัฒนายังคงบ่งชี้ว่า แบบแผนการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศไทยยังคงบั่นทอนรากฐานของทุนทรัพยากรธรรมชาติ สิ่งแวดล้อม และทุนทางสังคมอย่างต่อเนื่อง ทิศทางการพัฒนาในอนาคตของประเทศไทยจำเป็นต้องเสริมสร้างทุนทั้ง 3 ด้าน โดยเชื่อมโยงให้เกิดการบูรณาการและเกื้อกูลกันระหว่างทุนทางด้านเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อมโดยต้องปรับเปลี่ยน



ภาพที่ 2.9 แผนผังของแบบจำลอง MIKE11 ECOLab

ที่มา : สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย 2548.

แบบแผนการเติบโตทางเศรษฐกิจที่ใช้การตลาดเป็นตัวชี้นำ มาสู่การเติบโตทางเศรษฐกิจที่สอดคล้องกับศักยภาพและความเป็นไปได้ของระบบนิเวศ โดยมีการกระจายผลประโยชน์อย่างเป็นธรรม ซึ่งจะเป็นหนทางที่สามารถเสริมสร้างความเข้มเข็ง ความอยู่ดีมีสุข และความมั่งคงยั่งยืนของสังคมได้ตลอดไป เพื่อให้บรรลุผลดังที่กล่าวมาแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนตามแนวคิดภาคนิยมใหม่และปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงจึงถูกนำมาปรับใช้กับแผนพัฒนาต่าง ๆ ของประเทศไทยรวมถึงแผนจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมด้วย ดังแสดงในภาคผนวก ข

2.6 การวางแผนโครงการแบบ ZOPP

ZOPP เป็นคำย่อจากภาษาเยอรมัน "Zeil Orientierte Projekt Planung" หรือเป็นภาษาอังกฤษว่า "Objectives-Oriented Project Planning" ZOPP เป็นระบบ (Massachusetts Institue of Technology, 2008) ขั้นตอนและเครื่องมือสำหรับการวางแผนโครงการ โดยเน้นวัตถุประสงค์เป็นหลักและเป็นเทคนิคการวางแผนซึ่งใช้ในระบบการวางแผนโครงการอย่างเป็นทางการขององค์กรความร่วมมือทางวิชาการเยอรมัน (German Agency for Technical Cooperation,Deutsche Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit ; GTZ) โครงการแต่ละโครงการจะได้รับการวางแผนในขั้นตอนต่าง ๆ โดยวิธีการวางแผนโครงการแบบ ZOPP ผลงานที่ได้จากการวิเคราะห์และวางแผนร่วมกันระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องคือกรอบการดำเนินโครงการในเชิงตรรก (Logical Project Framework) ซึ่งหมายถึงแผนหลักโครงการซึ่งกำหนดโครงสร้างพื้นฐานโดยส่วนรวมของโครงการนั้น ๆ

2.6.1 ขั้นตอนหลักของการทำ ZOPP ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

(1) ขั้นการวิเคราะห์

- การวิเคราะห์บุคคล / องค์กรที่เกี่ยวข้องกับโครงการ (Participation Analysis)
- การวิเคราะห์ปัญหา (Problem Analysis)
- การวิเคราะห์วัตถุประสงค์ (Objectives Analysis)
- การวิเคราะห์ทางเลือกในการแก้ปัญหา (Alternative Analysis)

(2) ขั้นการวางแผนหลักของโครงการ (Project Planning Matrix)

- การกำหนดวัตถุประสงค์ / กิจกรรม (Objective / activities)
- การกำหนดสมมุติฐานเกี่ยวกับปัจจัยภายนอกที่มีผลกระทบต่อโครงการ (Important Assumptions)
- การกำหนดมาตรการชี้วัดความสำเร็จของโครงการและวัตถุประสงค์ (Objectively Verifiable Indicators)
- การกำหนดหลักฐานที่จะใช้ตรวจสอบผลการดำเนินโครงการ (Means of Verification)

(3) ขั้นการกำหนดแผนปฏิบัติงาน (Plan of Operations)

- การกำหนดแผนกิจกรรม (ระยะเวลา)

- ผู้รับผิดชอบ

- งบประมาณ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำเพียง 1 ขั้นตอน คือ การวิเคราะห์ซึ่งรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) ขั้นตอนการวิเคราะห์บุคคล / องค์กรที่เกี่ยวข้องกับโครงการมีจุดประสงค์เพื่อ

- กำหนดภาพรวมของบุคคล กลุ่ม องค์กรและสถาบันทั้งหมดที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงการในทางใดทางหนึ่ง

- วิเคราะห์ผลประโยชน์หรือความสนใจและความคาดหวังของบุคคลและกลุ่มที่มีความสำคัญต่อการดำเนินโครงการ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาบริบทของลุ่มน้ำเพชรบุรีในด้านที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของแม่น้ำสายหลักและลำน้ำสาขา ซึ่งถือเป็นการวิเคราะห์ภาพรวมที่เกี่ยวข้อง

(2) การวิเคราะห์ปัญหา (Problem Analysis)

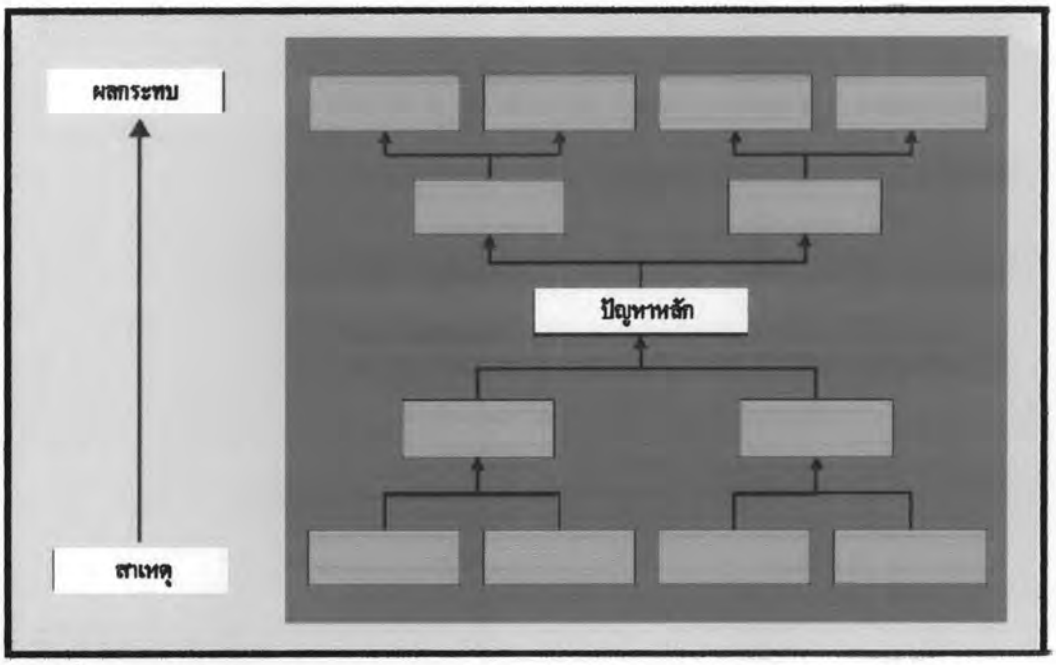
เป็นวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์สถานการณ์แวดล้อมสภาพปัญหาที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน กำหนด / หาปัญหาสำคัญ ๆ ที่เกี่ยวข้อง กำหนด / หาปัญหาหลักของสถานการณ์นั้น ๆ และแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของปัญหาในลักษณะเหตุและผลซึ่งกันและกัน (Cause- Effect Relationships) ในรูปของต้นไม้ปัญหา (Problem Tree) ดังแสดงในภาพที่ 2.10

วิธีจัดทำแผนผังปัญหาประกอบด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

- ขั้นที่ 1 : กำหนดปัญหาสำคัญ ภายในกรอบสถานการณ์นั้น ๆ ร่วมกัน
- ขั้นที่ 2 : เขียนปัญหาหลัก ในรูปประโยคสั้น ๆ
- ขั้นที่ 3 : หาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาหลัก
- ขั้นที่ 4 : หาผลต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากปัญหาหลัก
- ขั้นที่ 5 : เขียนแผนผังแสดงความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลในรูปของต้นไม้ปัญหา
- ขั้นที่ 6 : พิจารณาทบทวนแผนผังโดยส่วนรวมโดยพิจารณาว่าสมเหตุสมผลและสมบูรณ์หรือไม่

(3) การวิเคราะห์วัตถุประสงค์ (Objectives Analysis)

เป็นวิธีการที่ใช้ในการระบุสถานการณ์ในอนาคตที่จะบรรลุถึงได้หลังจากมีการแก้ไขปัญหาแล้วกำหนดหาทางเลือกที่อาจเป็นไปได้ในการดำเนินโครงการ



ภาพที่ 2.10 ต้นไม้ปัญหา (Problem Tree)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Asian Development Bank 2009.

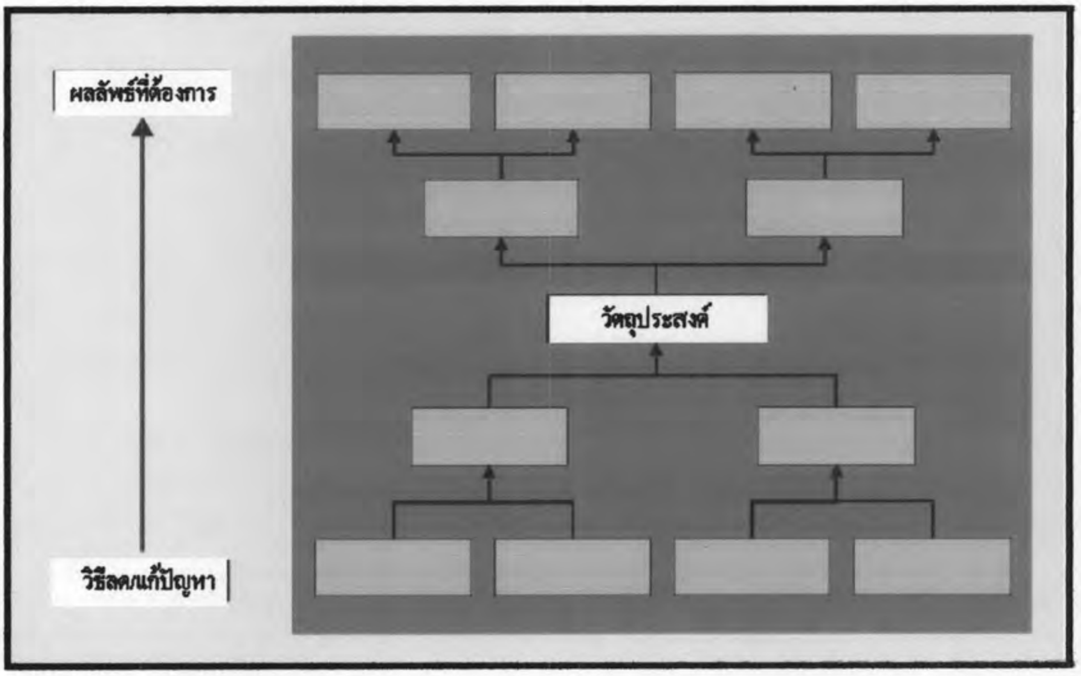
วิธีการวิเคราะห์วัตถุประสงค์ประกอบด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

- ขั้นที่ 1 : เปลี่ยนข้อความที่แสดงสภาพการณ์เชิงลบ จากแผนผังปัญหาเป็นข้อความที่แสดงสภาพการณ์เชิงบวกซึ่งเป็นสิ่งที่พึงปรารถนา และสามารถดำเนินการให้บรรลุถึงได้จริงดังแสดงในภาพที่ 2.11 โดยให้ระวังว่ามิใช่เป็นการเปลี่ยนรูปประโยคปฏิเสธเป็นรูปประโยคตรงข้ามกันเฉย ๆ ต้องคำนึงถึงความเป็นจริงด้วยว่าถ้ามีสถานการณ์ที่เป็นปัญหาเช่นนั้นจะสามารถแก้ไขปัญหาเหล่านั้นจริงๆ ได้อย่างไร และรูปประโยคมักจะอยู่ในรูป passive voice ในภาษาอังกฤษ เช่น สถานการณ์ ก. ได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้น เป็นต้น
- ขั้นที่ 2 : ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการและผลที่พึงจะได้รับ (Means-ends relationship) ว่าสมเหตุสมผลและสมบูรณ์ครบถ้วนหรือไม่
- ขั้นที่ 3 : หากจำเป็นให้ดำเนินการดังนี้

(ก) ทบทวนแก้ไขข้อความที่กำหนดไว้เสียใหม่

(ข) เพิ่มเติมวัตถุประสงค์ที่พิจารณาแล้วว่าจะเกี่ยวข้องและจำเป็นในการที่จะดำเนินการให้บรรลุวัตถุประสงค์ในระดับที่สูงขึ้นไปได้

(ค) ลดวัตถุประสงค์ที่พิจารณาแล้วอาจจะไม่เป็นประโยชน์หรือไม่จำเป็นสำหรับการดำเนินโครงการ



ภาพที่ 2.11 ต้นไม้วัตถุประสงค์ (Objective Tree)
ที่มา : ดัดแปลงจาก Asian Development Bank 2009.

(4) การวิเคราะห์ทางเลือกในการแก้ปัญหา (Alternatives Analysis)

เป็นวิธีการที่ใช้เพื่อกำหนดหาทางเลือกในการแก้ปัญหาในรูปแบบต่าง ๆ ที่อาจจะใช้เป็นยุทธวิธีหรือแนวทางในการดำเนินโครงการต่อไป เป็นวิธีที่ใช้คัดเลือกยุทธวิธีหรือแนวทางในการดำเนินโครงการที่น่าจะเป็นไปได้ไว้ 1 แนวทางหรือมากกว่านั้น หรือตัดสินใจเลือกยุทธวิธีหรือแนวทางในการดำเนินโครงการไว้เพียง 1 วิธี / แนวทาง

วิธีการวิเคราะห์ทางเลือกประกอบด้วย

- ขั้นที่ 1 : คัดวัตถุประสงค์ที่ไม่ต้องการดำเนินการออก (เนื่องจากไม่สามารถดำเนินการได้ เป็นต้น)
- ขั้นที่ 2 : กำหนดหาแนวทางเลือกหรือองค์ประกอบในการดำเนินโครงการ โดยทดลองโยง วิธีการและผลที่จะได้รับต่าง ๆ เข้าด้วยกัน
- ขั้นที่ 3 : พิจารณาว่าทางเลือกใดเป็นแนวทางที่จะสามารถใช้ในการดำเนินการให้ได้ผลประโยชน์สูงสุด โดยใช้เกณฑ์ (criteria) ดังต่อไปนี้

(ก) แหล่งทรัพยากรที่มีอยู่แล้ว

(ข) ความเป็นไปได้ที่จะทำให้บรรลุถึงวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้

(ค) ความเป็นไปได้ในทางการเมือง

(ง) อัตราส่วนระหว่างการลงทุนและผลประโยชน์ที่ได้รับ (cost-benefit ratio)

(จ) อัตราความเสี่ยงด้านสังคม

(ฉ) ระยะเวลาที่จะต้องใช้ในการดำเนินโครงการ

(ช) ความเป็นไปได้ที่โครงการจะสามารถดำเนินการต่อไปได้ด้วยตนเองในอนาคต

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธวิช บูรณธนิต และชุติมันต์ ปรัชญาโฒทัย (2545) ศึกษาคุณภาพน้ำในแม่น้ำท่าจีนตอนล่างในปีอนาคต ตั้งแต่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยาถึงปากแม่น้ำท่าจีน โดยใช้แบบจำลอง MIKE11 ในกรณีมีการสร้างประตูระบายน้ำและไม่มีการสร้างประตูระบายน้ำ ผลการศึกษาพบว่า กรณีไม่มีการสร้างประตูระบายน้ำและไม่มีการบำบัดน้ำเสียเพิ่มเติมจากปี พ.ศ. 2539 ค่าความสกปรกจะมีค่าสูงสุดที่อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม และในปี พ.ศ. 2560 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าเพียง 0.66 มิลลิกรัมต่อลิตรเท่านั้น แม้ในกรณีที่มีการบำบัดน้ำเสียคุณภาพน้ำยังคงอยู่ในมาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทที่ 4 ส่วนในกรณีที่มีการสร้างประตูระบายน้ำและไม่มีการบำบัดน้ำเสีย คุณภาพน้ำมีความสกปรกมากกว่าในกรณีที่ไม่มีประตูระบายน้ำ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเหลือเพียง 0.26 มิลลิกรัมต่อลิตรและอยู่ในมาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทที่ 5 กรณีที่มีการสร้างประตูระบายน้ำและมีการบำบัดน้ำเสีย ส่งผลให้คุณภาพน้ำดีขึ้นแต่ยังคงอยู่มาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทที่ 5

Carlos และคณะ (2001) ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE11 ในการทำนายคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำ Alto Iguaçu ประเทศบราซิล เมื่อมีการขยายระบบรวบรวมน้ำเสียเพิ่มเติมจนเต็มพื้นที่ลุ่มน้ำและมีการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันและอนาคต พบว่า คุณภาพน้ำ ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ค่าความสกปรกในรูป BOD ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด ในแม่น้ำ Iguaçu ซึ่งเป็นแม่น้ำสายหลักยังคงเกินมาตรฐาน ส่วนแอมโมเนียไนโตรเจนเกินมาตรฐานมาก และสันนิษฐานว่าสาเหตุที่คุณภาพน้ำไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานประเภทที่ 2 เนื่องจากมลพิษประเภทที่ไม่มีแหล่งกำเนิดแน่นอน เพราะรวบรวมน้ำเสียในลุ่มน้ำ Alto Iguaçu เป็นระบบแยกระหว่างน้ำฝนและน้ำเสีย และถ้าต้องการให้คุณภาพน้ำในแม่น้ำสายหลักและลำน้ำสาขาอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานประเภทที่ 2 จะต้องจำกัดความหนาแน่นของประชากรที่อาศัยในบริเวณดังกล่าวให้มีความหนาแน่น 1,500 คนต่อตารางกิโลเมตร นอกจากนี้ยังต้องพัฒนาระบบการเก็บกวาดขยะจากถนน การให้ความรู้กับประชาชนที่มีรายได้น้อยในเรื่องการทิ้งขยะลงในแหล่งน้ำ

Jesper Henrik และ Juan (2001) ศึกษามลพิษที่มีแหล่งกำเนิดแน่นอนและไม่แน่นอนที่แพร่กระจายลงสู่แม่น้ำ Pirai ประเทศโบลิเวีย โดยใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ร่วมกับ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ LOAD และ MIKE11 พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุและสารอาหารที่ตรวจวัดได้มีปริมาณสูงมากกว่าที่แบบจำลองคำนวณได้ และระหว่างแหล่งกำเนิดมลพิษที่แน่นอน 2 แหล่งที่ใกล้กันที่สุด ซึ่งมีระยะทางห่างกัน 70 กิโลเมตร ค่าความสกปรกในรูปบีโอดีมาจากสาหร่าย แบคทีเรีย และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ รวมถึงแหล่งกำเนิดมลพิษที่ไม่แน่นอนซึ่งเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ด้วย นอกจากนี้จุดเก็บตัวอย่างที่ห่างกันมากกว่า 100 กิโลเมตรยังวัดค่าอินทรียวัตถุและสารอาหารได้มากกว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองด้วย ทำให้สรุปได้ว่ามลพิษที่แพร่กระจายลงสู่แม่น้ำ Pirai มาจากแหล่งกำเนิดมลพิษที่แน่นอน ได้แก่ โรงงานน้ำตาลบริเวณต้นน้ำ และแหล่งกำเนิดมลพิษที่ไม่แน่นอน ได้แก่ ป่าไม้และพื้นที่เกษตรกรรมบริเวณท้ายน้ำ

Karen Murrell WRC plc, Chris Sedgwick Severn Trent Water Ltd และ Mike Hyde Environment Agency (2001) ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE11 ในการศึกษาปริมาณออกซิเจนต่ำสุดที่ละลายน้ำภายหลังจากเกิดพายุฝนในฤดูร้อนในแม่น้ำ Sowa และแม่น้ำ Avon ประเทศอังกฤษ ที่มีอัตราการไหลค่อนข้างต่ำ และศึกษาผลกระทบของปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในแม่น้ำทั้งสอง เมื่อมีการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียเพิ่มเติม ผลการศึกษาพบว่า การสร้างระบบบำบัดน้ำเสียเพิ่มเติมจะไม่ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลงกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน และภายหลังการเกิดพายุฝนในฤดูร้อน ปริมาณออกซิเจนในแม่น้ำจะมีระดับสูงกว่าในปัจจุบัน

Anjuma (2002) ศึกษาการลดผลกระทบจากการรุกของน้ำเค็มในฤดูแล้งจากอ่าวเบงกอลเข้าสู่แม่น้ำ Ganges ประเทศบังคลาเทศ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE11 เพื่อศึกษาลักษณะการปล่อยน้ำจืดไล่น้ำเค็ม และผลกระทบที่เกิดขึ้น พบว่าในเดือนพฤษภาคม ความเค็มจากน้ำทะเลสามารถรุกเข้าไปในแม่น้ำ Ganges ได้ไกลถึง 135 กิโลเมตร ทำให้การใช้น้ำในการชลประทานและด้านอื่น ๆ ได้รับผลกระทบเล็กน้อย และการปล่อยน้ำจืดในปริมาณมากที่สุดเท่าที่ทำได้เป็นลงสู่อ่าวเบงกอลโดยไม่มีสิ่งก่อสร้างใดขวางลำน้ำเป็นวิธีที่ดีที่สุด และจะทำให้สถานการณ์ดีขึ้น

Alaa, Shaden และ Jan (2003) ทำการศึกษาปริมาณไนเตรทในลุ่มน้ำ Molenbeek ประเทศเบลเยี่ยม โดยใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ DRAINMOD DRAINMOD-N และ MIKE11 โดยใช้แบบจำลอง DRAINMOD DRAINMOD-N ในการจำลองการเปลี่ยนแปลงและความเข้มข้นของไนเตรทที่ถูกระบายลงสู่ลุ่มน้ำ ส่วน MIKE11 ใช้เพื่อจำลองลักษณะการไหลและการพัดพาของสสารในแม่น้ำ และระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ใช้เพื่อแสดงผลของแบบจำลองในรูปของแผนที่และตาราง ในการศึกษามีการแบ่งพื้นที่ออกเป็น 24 ลุ่มน้ำย่อยตามประเภทของดินและลักษณะการใช้ที่ดิน เมื่อทำการปรับเทียบแบบจำลอง MIKE11 พบว่าปริมาณนี่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณน้ำที่ได้จากการวัดและปริมาณไนเตรทที่ปนเปื้อนลงสู่แม่น้ำเป็นรายเดือนตั้งแต่ปี 1990-1993 ที่ได้จากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้

Mona และ Alaa (2005) ศึกษาผลกระทบของโครงสร้างที่กีดขวางลำน้ำต่อผลลัพธ์ของแบบจำลองทางชลศาสตร์และแบบจำลองคุณภาพน้ำในลำธาร Molenbeek ซึ่งเป็นลำน้ำสาขาของแม่น้ำ Dender ประเทศเบลเยี่ยม โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE11 พบว่า ในสถานการณ์สมมติที่หนึ่งที่มีการกักเก็บน้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วมบริเวณท้ายน้ำ คุณภาพน้ำบริเวณต้นน้ำก่อนมีโครงสร้างที่กีดขวางลำน้ำมีคุณภาพดีที่สุด และมีคุณภาพแย่ลงในบริเวณท้ายน้ำที่มีโครงสร้างที่กีดขวางลำน้ำ ส่วนในสถานการณ์สมมติที่สอง เมื่อมีการกักเก็บน้ำเพียงครึ่งหนึ่งของสถานการณ์สมมติที่หนึ่ง พบว่าคุณภาพน้ำบริเวณท้ายน้ำดีขึ้นกว่าสถานการณ์สมมติที่หนึ่ง

Ngo (2005) ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE11 ในการศึกษาคุณภาพน้ำ ได้แก่ ค่าความสกปรกในรูปบีโอดีและปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในแม่น้ำ Nhieu Loc-Thi Nghe (NL-TN) ประเทศเวียดนาม ซึ่งเป็นแม่น้ำสายหลักและแม่น้ำย่อย 2 สาย ได้แก่ Bong และ Van Thanh ในสภาพปัจจุบันพบว่า ค่าความสกปรกในรูปบีโอดีของแม่น้ำ NL-TN สูงเกินมาตรฐาน VSWQS-B ซึ่งไม่เหมาะกับการใช้อุปโภคบริโภค ส่วนปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในบริเวณต้นน้ำมีค่าต่ำกว่าท้ายน้ำ เพราะถูกเจือจางโดยน้ำจากแม่น้ำ Sai Gon เมื่อใช้แบบจำลอง MIKE11 ทำนายคุณภาพน้ำของแม่น้ำ NL-TN และแม่น้ำ Sai Gon เมื่อมีการสร้างระบบรวบรวมน้ำเสียและสถานีสูบน้ำเสีย พบว่า ถ้ามีการปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำ Sai Gon ในอัตรา 2.58 m^3/s จะทำให้ระดับค่าความสกปรกในรูปบีโอดีต่ำกว่ามาตรฐาน แต่ถ้าปล่อยน้ำเสียในอัตรา 10 m^3/s หรือมีค่าความสกปรกในรูปบีโอดีเท่ากับ 60 mg/l ลงสู่แม่น้ำ Sai Gon จะทำให้คุณภาพน้ำเท่ากับมาตรฐานพอดี

Chooaksorn และ Hungspreug (2006) ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ MIKE11 ในการทำนายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในแม่น้ำป่าสักและศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำและการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่าบริเวณที่มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำสูงสุดและต่ำสุด ได้แก่ บริเวณเหนือเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์และบริเวณสถานีท่าแดงและสถานีเสาไห้ตามลำดับ แต่ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและการใช้ประโยชน์ที่ดินไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อทำนายไปในปี 2007 และ 2012 พบว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลงตามลำดับ และมีคุณภาพน้ำต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ดังนั้นมาตรการลดผลกระทบในอนาคตควรควบคุมคุณภาพน้ำที่ปล่อยจากชุมชนต่าง ๆ ที่อยู่เหนือเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์เพื่อป้องกันการเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์