การใช้วิธีการจำลองสภาพในการทำนายคุณภาพน้ำในลำน้ำ

(The use of simulation modets in river water quality prediction)

ดร.สุรวุฒิ ประดิษฐานนท์*

บทคัดย่อ

การรักษาคุณภาพน้ำในลำน้ำเพื่อการใช้ประโยชน์ให้ได้เต็มที่ อาจกระทำได้โดยการวางมาตราฐานของลำน้ำนั้นขึ้นอย่างเหมาะสม การจำลองสภาพของคุณภาพน้ำในลำน้ำเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยให้การวางมาตรฐานน้ำในลำน้ำ และการควบคุมมาตรฐานดังกล่าวเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและตรงกับความเป็นจริงมาก การจำลองสภาพอาศัยการสังเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของลำน้ำในเครื่องคำนวณ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของลำน้ำมีด้วยกันหลายชนิด ความเหมาะสมของแบบจำลองแต่ละชนิดกับงานที่ต้องการ ขึ้นอยู่กับความละเอียดละออของคำตอบที่ต้องการ ข้อมูลที่มี และงบประมาณ การเลือกใช้แบบจำลองที่เหมาะสมในการจำลองสภาพคุณภาพของน้ำในลำน้ำจะยังประโยชน์ในการแก้ปัญหามูลภาวะของลำน้ำได้สมกับงบประมาณที่ได้ทุ่มเทลงไป

บทนำ

ถึงแม้ว่าในประเทศไทยอาจถือได้ว่ามีน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก แต่จำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นทุกปีและอุตสาหกรรมที่ขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้ความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมหาศาล ในขณะเดียวกันแหล่งประชากรและอุตสาหกรรมก็ได้ปล่อยน้ำเสียทิ้งลงในแหล่งน้ำต่าง ๆ โดยไม่ค่อยที่จะคำนึงถึงผลเสียที่จะติดตามมา ทำให้แหล่งน้ำสำคัญ ๆ ของประเทศ เช่น แม่น้ำสายต่าง ๆ เป็นต้นว่า แม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง แม่น้ำแม่กลอง อยู่ในสภาพที่ไม่อาจใช้ประโยชน์ได้เต็มที่เท่าที่ควร การที่จะให้ใครเป็นแพะรับบาปแต่ผู้เดียวนั้นมิได้ช่วยให้การแก้ปัญหามลภาวะต่าง ๆ ได้ การศึกษาวิเคราะห์วิจัยที่ถูกต้องเท่านั้นที่อาจจะแบ่งเบาปัญหาได้บางส่วน การใช้การจำลองสภาพของลำน้ำเป็นวิธีการวิเคราะห์ชนิดหนึ่งที่อาศัยการสร้างสภาพจำลองของคุณภาพน้ำในลำน้ำเพื่อศึกษาพฤติกรรมต่าง ๆ ของลำน้ำ ที่มีต่อมลภาวะที่เข้ามาสู่ส่วนต่าง ๆ ของลำน้ำจากที่ต่าง ๆ กัน จากการศึกษาพฤติกรรมเหล่านี้อาจจะกำหนดได้ว่าปริมาณของเสียที่เข้ามาที่จุดต่าง ๆ ควรจะมีปริมาณสูงสุดเท่าใด

มลภาวะ และมาตรฐานของลำน้ำ

ความต้องการใช้น้ำจากลำน้ำต่าง ๆ มักจะเกิดขึ้นมาตามระยะเวลา เริ่มแรกถ้าจำนวนประชากรที่ใช้น้ำมีไม่มากนัก ปัญหาที่เกิดขึ้นก็มักจะไม่ค่อยมีหรืออีกนัยหนึ่งปริมาณน้ำ

* ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มีมากพอที่จะให้คนใช้โดยที่คุณภาพไม่ได้ด้อยลงไปจนเป็นที่ผิดสังเกต ต่อมาเมื่อจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นการใช้น้ำเพื่อการต่าง ๆ ก็มีมากขึ้น ปัญหาขัดแย้งก็จะเริ่มมีตามมา เนื่องจากต่างคนก็ต่างต้องการน้ำเพื่อใช้ประโยชน์ของตัว การเพิ่มปริมาณน้ำที่มีใช้โดยการสร้างเขื่อน คลองส่งน้ำ ก็มีขีดจำกัดที่จะทำได้ในแต่ละลำน้ำ ดังนั้นจึงจำต้องหาวิธีการอื่นที่จะเพิ่มการใช้ประโยชน์ของลำน้ำให้เต็มที่เท่าที่จะเป็นไปได้ วิธีการดังกล่าววิธีหนึ่งก็คือ การพยายามรักษาคุณภาพน้ำในลำน้ำให้อยู่ในระดับที่การใช้น้ำเพื่อประโยชน์ต่าง ๆ จากลำน้ำเป็นไปได้ตลอดสาย วิธีการนี้จำต้องอาศัยการวางมาตรฐานของคุณภาพน้ำในลำน้ำเป็นบรรทัดฐาน

การใช้น้ำเพื่อประโยชน์ประเภทต่าง ๆ กันไป ถ้าเกิดมีสารบางชนิดในน้ำมากเกินไปน้ำนั้นก็ไม่อาจใช้ประโยชน์บางอย่างได้ มลภาวะของน้ำจึงเป็นลักษณะสัมพัทธ์ของปริมาณสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำกับการใช้ประโยชน์ของน้ำเพื่อการต่าง ๆ โดยการวางมาตรฐานของลำน้ำ หรือการกำหนดปริมาณสูงสุดของสารต่าง ๆ ที่พึงมีอยู่ได้ในลำน้ำ การใช้น้ำเพื่อประโยชน์ต่าง ๆ ก็อาจทำได้ตลอดลำน้ำอันเป็นการใช้ประโยชน์สูงสุดจากทรัพยากรน้ำมีอยู่จำกัด มาตรฐานของลำน้ำที่จะยังไม่ให้เกิดมลภาวะของลำน้ำอาจจะเปลี่ยนแปลงได้สุด-แต่ลำน้ำ ถึงแม้ว่าจะเป็นลำน้ำเดียวกันมาตรฐานก็อาจเปลี่ยนแปลงได้เป็นช่วง ๆ ขึ้นอยู่กับว่าน้ำในช่วงนั้นจะใช้เพื่อประโยชน์อะไร

สารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสียที่ทิ้งลงสู่ลำน้ำมีผลต่าง ๆ กันต่อคุณภาพน้ำในลำน้ำ-กระนั้นก็ตามสารบางชนิดสามารถถูกทำลายลงได้จำนวนหนึ่งจากขบวนการตามธรรมชาติที่มี-อยู่ในลำน้ำแต่ละสาย ปริมาณของสารดังกล่าวเป็นปริมาณจำกัดและขึ้นอยู่กับสภาพของลำน้ำแต่ละสายความสามารถในการทำลายสารบางชนิดในจำนวนจำกัดดังกล่าวของลำน้ำเรียกกันว่าความสามารถในการฟอกตัวเอง

สารบางชนิดมีผลโดยทางอ้อมต่อคุณภาพน้ำ กล่าวคือไปกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ในระบบนิเวศน์ซึ่งในที่สุดทำให้เกิดมลภาวะของลำน้ำ ปฏิกิริยาสอดคล้องทางด้านชีวเคมี-กายภาพในระบบชลวัตเป็นสิ่งซึ่งสลับซับซ้อนและไม่ค่อยจะเป็นที่เข้าใจกันดีนัก ดังนั้นการที่จะทำนายผลทางอ้อมของสารใด ๆ ที่มีต่อระบบนิเวศน์เมื่อเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นสิ่งที่ทำได้ไม่ง่ายเลย ดังนั้นเราจึงเผชิญหน้าอยู่กับสิ่งที่ว่า "ความสามารถของคนเราที่จะเปลี่ยนแปลงธรรมชาตินั้นรวดเร็วกว่าความสามารถที่จะคาดหมายถึง ผลกระทบกระเทือนที่มาจากการเปลี่ยนแปลงนั้น" (Bella, 1974)

ถึงแม้ว่าการวางมาตรฐานคุณภาพของลำน้ำจะช่วยให้คุณภาพน้ำในลำน้ำดีขึ้นใน-บางโอกาส แต่ปัญหาในการวางมาตรฐานและการควบคุมเป็นสิ่งที่พึงใคร่ครวญอย่างรอบ -คอบ ประการแรกที่สุดเนื่องจากเราไม่ทราบอย่างแน่นอนถึงการตอบสนองของระบบนิเวศน์ต่อสารใดสารหนึ่ง ดังนั้นการที่จะกำหนดแน่นอนว่าปริมาณสูงสุดของสารใด ๆ ที่ควรมีอยู่ได้จึงค่อนข้างจะไม่มีหลักประกันที่แน่นอนนัก ในทางปฏิบัติอาจต้องกำหนดมาตรฐานที่เหมาะสมอันหนึ่งขึ้นมาแล้วจึงมีการตรวจสอบและควบคุม แต่เนื่องจากแต่ละลำน้ำต่างก็มีลักษณะพิเศษ

เฉพาะตัว ดังนั้นมาตรฐานซึ่งเหมาะกับลำน้ำสายหนึ่งอาจจะใช้ไม่ได้เลยในอีกสายหนึ่ง ปัญหาที่เกิดขึ้นโดยมากมักจะมาจากความจำกัดของคุณสมบัติของระบบที่ใช้ซึ่งอาจจะไม่ได้รวมถึงสารบางอย่างที่ไม่มีผลโดยตรงแต่อาจมีผลทางอ้อมสูงที่ไม่ตรงกับความสามารถในการฟอกตัวเองตามธรรมชาติของลำน้ำเป็นกฎหมาย น้ำเสียที่ทิ้งลงมาในบางจุดของลำน้ำอาจไม่ต้องผ่านขบวนการกำจัดซึ่งเป็นการประหยัดสำหรับผู้ทิ้ง ดังนั้นจึงมีการกดดันในการที่จะให้มาตรฐานของลำน้ำต่ำพอที่จะให้ผู้ทิ้งได้ประโยชน์มากที่สุดอันตรายมีอยู่ตรงที่ว่า เมื่อประชากรเพิ่มขึ้นคุณภาพของลำน้ำอาจจะเลวลงจนเกือบหมดประโยชน์ใช้สอยในตอนนั้น

ในการที่จะประยุกต์ใช้มาตรฐานคุณภาพของลำน้ำ เพื่อควบคุมการใช้ประโยชน์ของลำน้ำอย่างเต็มที่จำเป็นที่จะต้องหาวิธีทำนายผลของของเสียที่ทิ้งลงมาต่อคุณภาพน้ำในลำน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะการไหลวิกฤตหรือในการขยายตัวของการใช้ประโยชน์ในอนาคต เนื่องจากความสลับซับซ้อนของระบบชลวัดจึงเป็นการสมควรที่จะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการศึกษาการจำลองสภาพแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาระบบลำน้ำมีข้อดีหลายประการที่สำคัญก็คือเป็นการเพิ่มพูนความรู้ถึงโครงร่างของระบบอันเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่าง ๆ ของคุณภาพน้ำในลำน้ำที่กำลังศึกษา

แบบจำลองคุณภาพน้ำในลำน้ำ

แบบจำลองคุณภาพน้ำ ที่จะได้กล่าวถึงต่อไปมิได้รวมแบบจำลองทุก ๆ แบบที่ใช้กันอยู่ แต่จะกล่าวถึงบางแบบที่อาจกล่าวได้ว่าเป็นตัวแทนของแบบจำลองชนิดต่าง ๆ ที่ใช้กัน

สมการที่ใช้กันมากที่สุดในการอธิบายถึงการสลายตัวของของเสียในการไหลทางเดียวได้มาจากการคิด mass balance ของส่วนเล็ก ๆ ในการไหลซึ่งเขียนได้ในรูป

$$\frac{\partial}{\partial t}(AC) = \frac{\partial}{\partial x}\left(AD\frac{\partial C}{\partial x}\right) = \frac{\partial}{\partial x}(VAC) + R + S \qquad (๑)$$

ในเมื่อ C = ความเข้มข้นของของเสีย, t = เวลา, x = ระยะทางตามลำน้ำ, A = พื้นที่ภาคตัด, D = สัมประสิทธิ์การกระจายเชิงเส้น, V = ความเร็วเฉลี่ยที่ภาคตัด, R = อัตราการสูญเสียหรือเพิ่มพูนเนื่องจากปฏิกิริยาชีวเคมี, การเปลี่ยนแปลงสภาพ, หรือการเอาออกทางกายภาพ (เช่น การตกตะกอน) และ S = แหล่งที่มาหรือสูญหายอื่น ๆ เทอมแรกในสมการ (๑) เป็นเทอมที่เกี่ยวกับการกระจายและเป็นตัวแทนวัตถุที่ถูกนำพาเนื่องจากการเปลี่ยนแปรที่ไม่สม่ำเสมอของความเร็วของการไหลตลอดภาคตัด เทอมที่สองเป็นเทอมที่เกี่ยวกับการนำ (advection) ของวัตถุ เนื่องจากการไหลของน้ำในลำน้ำ ในกรณีของปากแม่น้ำ (estuaries) ความเร็ว (V) และพื้นที่ (A) อาจเปลี่ยนแปลงตามเวลาและระยะทาง

แบบจำลองชนิดคำตอบตรงตัว

คำตอบตรงตัว (exact solution) ของสมการที่ ๑ แบ่งออกได้เป็นสามกรณีใหญ่ ๆ ขึ้นอยู่กับสมมุติฐานที่ใช้กับตัวกำหนด (parameter), A (พื้นที่), V (ความเร็ว), และ D (การกระจาย)

ในประเภทแรกรวมคำตอบที่ขึ้นอยู่กับสมมุติฐานที่ว่าเป็นสภาพคงตัว (steady - state) ดังนั้นตัวกำหนดทั้งหมดต่างก็คงที่ไม่ขึ้นกับเวลาและระยะทาง(Asano, 1967: Bain, 1968) การหาคำตอบของสมการ (๑) ภายใต้สภาพดังกล่าว ค่า BOD (biochemical oxygen demand) และ DO (dissolved oxygen) ของแม่น้ำ Delaware (O'Connor, 1960) ที่คำนวณหาได้ใกล้เคียงกับความเข้มข้นประจำปีที่วัดได้ แบบจำลอง DOSAG (Texas Water Development Board, 1970) คิดหา BOD และ DO ในกรณีที่การนำ เป็นขบวนการที่สำคัญ (D $\approx$ 0) ต่อมา Teledyne Isotopes ได้ดัดแปลงแบบจำลอง DOSAG มาประยุกต์ใช้กับแม่น้ำ Raritan และ Schuylkill ในการหาคำตอบตรงตัวขององค์ประกอบที่กำหนดคุณภาพน้ำ ๑๓ ชนิด Battelle Memorial Institue ได้ดัดแปลงแบบจำลอง DOSAG มาใช้กับแม่น้ำ South Platte โดยหาองค์ประกอบที่กำหนดคุณภาพน้ำหลายตัวเช่นกัน แต่ได้เปลี่ยนวิธีการหาคำตอบตรงตัวมาเป็น numerical integration ที่ Utah Water Research Laboratory ได้พัฒนาแบบจำลองที่หาคำตอบตรงตัวสำหรับองค์ประกอบของคุณภาพน้ำ ๘ ชนิด โดยใช้กับแม่น้ำ Bear (Grenny and Huber, 1974)

ในประเภทที่สองของการหาคำตอบตรงตัวจัดอยู่ในจำพวกที่ให้ค่า V และ D คงที่แต่ให้ A เปลี่ยนแปลงเป็นความสัมพันธ์อย่างง่ายกับระยะทาง วิธีการนี้ได้ประยุกต์ใช้กับแม่น้ำ Delaware, Upper East และ James (O'Connor, 1965) โดยที่ V มีค่าเท่ากับความเร็วเฉลี่ยของการไหลภายใต้ระยะเวลาที่ศึกษา ต่อมา O'Connor, St.John and Di Toro (1968) ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์เดียวกันเพียงแต่คราวนี้แบ่งลำน้ำออกเป็นช่วง ๆ ทำให้ได้สมการของแบบจำลองเป็นสมการหลายชั้นที่อาศัยวิธีการแก้ matrix เพื่อหาคำตอบที่ต้องการ

ประเภทที่สามของคำตอบตรงตัวของสมการที่ (๑) ที่ใช้กับปากแม่น้ำอาศัยสมมุติฐานที่ว่า D และ A คงที่ และ V เปลี่ยนแปรเป็นรูปคลื่น (sinusoidal) กับเวลา Holly (1969) ใช้วิธีการนี้ในการวิจัยการเพิ่มพูนของน้ำเสีย เนื่องจากการไหลไม่สม่ำเสมอ แต่คงตัว (unsteady - uniform flow) ในการศึกษานี้อัตราการทิ้งของเสียเปลี่ยนแปรเป็นความสัมพันธ์ง่าย ๆ กับเวลา ข้อจำกัดที่สำคัญของวิธีการนี้ก็คือพื้นที่ภาคตัดของลำน้ำที่ถือว่าคงตัวตลอดระยะปากแม่น้ำ

แบบจำลองที่ใช้วิธีการประมาณ

เนื่องจากความจริงแล้วพื้นที่ภาคตัดของลำน้ำไม่คงที่ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมักไม่คงตัว มีการวนกลับ (feedback) หรือการไหลไม่สม่ำเสมอในปากแม่น้ำ คำตอบตรงตัวของ

สมการที่ (๑) จึงหาได้ไม่ง่ายนัก ดังนั้นจึงได้มีการใช้วิธีการประมาณ (numerical method) เพื่อหาคำตอบที่ตัวกำหนดมีอิสระในเปลี่ยนแปรมากขึ้น วิธีการประมาณที่ใช้กันก็มีแบบจำลองชนิดใช้ finite-difference ของ Thomann (1963), และ Dresnack กับ Dobbins (1968) แบบจำลองชนิด implicit central differenceของ Harleman Lee กับ Hall (1968) ที่ใช้กับปากแม่น้ำ Protomac ในแบบจำลองนี้ ลำน้ำถูกแบ่งออกเป็นช่วงเท่า ๆ กันแล้วหาพื้นที่ภาคตัดเฉลี่ย (A) ของแต่ละช่วงความเร็ว (V) ที่ใช้เป็นความสัมพันธ์รูปคลื่นกับเวลา, สัมประสิทธิ์การกระจาย (D) เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นกับความเร็ว, และอัตราการทิ้งของเสียเข้ามามีทั้งชนิดติดต่อเนื่องกันและเข้าเป็นพัก ๆ

ในการศึกษาปากแม่น้ำ Delaware โดย Pence, Jeglic กับ Thomann (1968) ได้ร่วมสมการ (๑) กับสมการสภาพสมดุลย์ของออกซิเจนเข้าด้วยกันเป็นรูปสมการ differential-difference และแก้สมการด้วยวิธีประมาณของ Runge-Kutta ชนิด order ที่สี่ความเร็วของการไหลหามาจากการไหลเข้าของน้ำจืด โดยไม่คิดถึงการขึ้นลงของน้ำทะเล (tidal fluctuation) ที่ปากแม่น้ำ การคิดรวมเอาผลจากการขึ้นลงของน้ำทะเลเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยทำโดยเพิ่มสัมประสิทธิ์ของการนำ ξ เข้าไปในสมการ เมื่อค่า ξ เปลี่ยนจาก ๑.๐ เป็น ๕.๐ สมการที่ใช้เปลี่ยนจากสมการ backward difference มาเป็น central difference ดังนั้นถ้า ξ มีค่าต่ำลงค่าความเข้มข้นขององค์ประกอบของคุณภาพน้ำในช่วงใด ๆ จะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นขององค์ประกอบของคุณภาพน้ำนั้นทางด้านท้ายน้ำมากขึ้น ผลของการจำลองสภาพจากแบบจำลองนี้ค่าเฉลี่ย DO ในระยะยาว ที่หาได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมาก

Orlob (1967) ทดลองใช้สมการ (๑) กับปากแม่น้ำในรูป ๒ มิติโดยการแบ่งปากแม่น้ำออกเป็นตารางจัตุรัส แล้วคิดแต่ละช่องตามเส้นแบ่งเป็นลำน้ำที่มีมิติเดียว ความเร็วของการไหลของน้ำขึ้นลงในลำน้ำคำนวณมาจากแบบจำลองที่แยกออกมาต่างหาก การจำลองมลภาวะในแบบจำลองนี้ได้มาจากการใช้ explicite finite-difference กับสมการที่ (๑) โดยคิดกับลำน้ำมิติเดียวตามแต่ละช่องที่แบ่งไว้ แบบจำลองนี้เป็นแบบเริ่มต้นของแบบจำลอง Dynamic Estuary ของ EPA ซึ่งพัฒนาต่อมาโดย Callaway, Byram กับ Ditsworth (1969) และ Feigner กับ Harris (1970) แบบจำลอง QUAL-1 ของ Texas Water Development Board (1970) พัฒนาขึ้นมาจากระบบลำน้ำมิติเดียวที่กำหนดให้ V และ A เปลี่ยนแปลงกับระยะทางแต่สมมุติว่าคงที่กับเวลา แบบจำลองคำนวณหา BOD, DO และอุณหภูมิต่อมา Envivonmental Dynamics ได้ดัดแปลงแบบจำลอง QUAL-1 มาใช้กับแม่น้ำ Jordan ใน Utah โดยคิดองค์ประกอบของคุณภาพน้ำ ๑๑ อย่าง ที่ Utah Water Research Laboratory แบบจำลอง QUAL-1 ดังกล่าวได้รับการดัดแปลงโดยแก้ไขวิธีการป้อนข้อมูล การสรุปผลที่ได้ออกมา กระสวนของปริมาณของเสียที่เข้า ทั้งยังแก้ไขแบบจำลองให้สามารถเปลี่ยนแปลงค่า Δx ได้ตามต้องการ

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

แบบจำลองอื่น ๆ ของลำน้ำมีที่สมมุติให้ลำน้ำมีลักษณะเป็นช่อง (cell) ซึ่งแต่ละช่องในเวลาจำกัดที่กำหนดให้ทราบค่าปริมาตร และมีความเข้มข้นของสารคงตัว (Bella กับ Dobbins, 1968;Grennyกับ Bella, 1972) ค่าการพา (Convection) และการกระจายคำนวณมาจากค่าเฉลี่ยของการนำพาสารข้ามขอบเขตของแต่ละช่อง และการเสื่อมสภาพที่มาจากการลดค่าความเข้มข้นของแต่ละช่อง ในแต่ละช่วงเวลา การใช้วิธีการขั้นเชิงซ้อน (multi-step) ในแบบจำลองทำให้สามารถหาผลที่เกิดจากแต่ละองค์ประกอบ - เป็นอิสระจากกันได้ในแต่ละขั้น

Fisher (1969) ใช้มโนคติของ Lagrange ในการคำนวณหาการกระจายของมลภาวะใน Bolinas lagoon แคลิฟอร์เนีย แหล่งน้ำถูกแบ่งออกเป็นช่องแต่ให้การไหลในแต่ละช่องเป็นการไหลมิติเดียว การคำนวณในแต่ละช่วงเวลาหาการพา การกระจาย และการเสื่อมสลาย การจำลอง การพา กระทำโดยให้น้ำเสียไหลไปด้วยความเร็วเฉลี่ยของการไหลการกระจายหามาจากความสัมพันธ์สำเร็จรูป (empirical relationship) ที่ขึ้นกับความเข้มข้นของสารเปลี่ยนแปร

แบบจำลองอื่น ๆ

Thomann (1967) ใช้วิธีการวิเคราะห์ time-seriesในการหาความเข้มข้นของสารในปากแม่น้ำ Delaware วิธีการวิเคราะห์ที่ใช้หาค่า DO และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำจากการวิเคราะห์โดยใช้ Fourier series, Power spectrum พบว่าค่าvariance สูงสุดที่เกิดขึ้นนั้นเนื่องมาจาก hamonic ประจำปี การวิเคราะห์ความถี่ที่ปลายของ Spectrum กระทำอย่างละเอียดเพื่อหาการประมาณครั้งแรกของค่าการกระจายในช่วงระยะสั้น-ของ DO รอบค่าเฉลี่ย จากค่า variance นี้ ผู้บริหารสามารถที่จะตัดสินใจในการวางพื้นฐานของการใช้น้ำได้อย่างถูกต้องว่าจากค่าเฉลี่ย DO ใด ๆ ความเปลี่ยนแปรที่อาจเกิดขึ้นจะทำให้ค่า DO ต่ำลงถึงค่าวิกฤตหรือไม่

Wastler กับ Walter (1968) ใช้วิธีการแบบเดียวกันกับที่กล่าวมาข้างต้นในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในอ่าว Charleston ในกรณีนี้วัตถุประสงค์ของการศึกษาก็เพื่อที่จะหาผลจากการลดปริมาณน้ำจืดที่ไหลลงอ่าวต่อคุณภาพน้ำในอ่าว ในการศึกษาได้ใช้วิธีการวิเคราะห์ power spectrum ในการหาสหสัมพันธ์ระหว่าง chloride intrusion กับปริมาณการไหลของน้ำจืดซึ่งชี้ให้เห็นว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอย่างชัดแจ้ง Thayer (1967) ใช้แบบจำลองชนิดคาดคะเน (stochastic model) ในการหาการกระจายที่เป็นไปได้ของ BOD และ DO สมมุติฐานที่ใช้ในแบบจำลองนี้คือค่าตัวกำหนดคงที่และระบบได้อยู่ในสถานะคงที่แล้วถึงแม้ว่าแบบจำลองชนิดนี้จะไม่สมบูรณ์พอที่จะใช้จำลองสภาพลำน้ำใด ๆ ได้ แต่ผลที่ได้ออกมาที่น่าสนใจก็คือ variance ของความเข้มข้นของ DO นั้นมีมากที่สุดเมื่อค่าเฉลี่ย DO ต่ำ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือความไม่แน่นอนของค่า DO มีมากที่สุดเมื่อค่าความเข้ม-

ขึ้นอยู่ในระดับวิกฤต

การจำลองสภาพ และการวางมาตรฐานลำน้ำ

ดังจะเห็นแล้วว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้กับระบบชลวัตมีอยู่จำนวนไม่น้อย แบบจำลองเหล่านี้แตกต่างกันพอสมควรในเชิงการจำลองสภาพของของจริงทั้งในด้านความละเอียดและความสมจริง ดังนั้นการจะเลือกแบบจำลองใดเพื่อใช้ในการจำลองสภาพลำน้ำที่กำลังศึกษาจึงเป็นสิ่งสำคัญ

ถ้าต้องการรายละเอียดในแบบจำลองเพิ่มขึ้น แบบจำลองก็จะต้องยุ่งยากขึ้น ข้อมูลที่ต้องการใช้ก็มีจำนวนเพิ่มขึ้นเป็นเงาตามตัว เนื่องจากเคยชี้ให้เห็นแล้วว่าความแม่นยำของแบบจำลองในการจำลองสภาพของจริงนั้นขึ้นอยู่กับความแม่นยำของข้อมูลที่มีอยู่ (ประดิษฐานนท์, ๒๕๒๒) ในการเลือกพัฒนาแบบจำลองใดมาเพื่อใช้งาน จำต้องอาศัยการตัดสินใจที่เหมาะสม การแลกเปลี่ยนระหว่างการใช้งานได้กับค่าใช้จ่ายของแบบจำลอง อีกทั้งความละเอียดละออของผลที่พึงจะได้จากแบบจำลอง

จากประสบการณ์พบว่าการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพของลำน้ำแบ่งออกได้ตามความละเอียดเป็นสามระดับคือ ๑) สภาวะคงที่ สำหรับระบบที่สมมุติว่าปฏิกิริยาเป็นลำดับแรกเชิงเส้น (linear first-order reaction) ๒) สภาวะคงที่ สำหรับระบบที่ปฏิกิริยาเชิงสาย (nonlinear reaction) และ ๓) สภาพเปลี่ยนแปรตามเวลา สำหรับระบบเชิงสาย แบบจำลองในระดับแรกเหมาะสำหรับการประมาณค่าความเข้มข้นของ - สารที่ไม่มีการเปลี่ยนแปร, coliform bactiria, แอมโมเนีย, ไนเตรท,ฟอสฟอรัสชนิดละลาย, คาร์บอเนต, BOD และ DO ในแบบจำลองชนิดนี้อาศัยสมมุติฐานที่ว่า สารทั้งหลายมีปฏิกิริยาต่อเนื่องกันเป็นลำดับแรกเชิงเส้น การกระจายในสภาพคงที่เกิดขึ้นได้ถ้าสภาพภายนอก (อุณหภูมิ, แสง, การไหล, การทิ้งของเสีย และอื่น ๆ) มีค่าคงที่ในระยะเวลาที่เท่ากับเวลาที่น้ำไหลจากต้นน้ำมาถึงท้ายน้ำในระบบลำน้ำ

ในระดับที่สองสภาพยังคงเป็นแบบคงที่ แต่ปฏิกิริยาของสารต่าง ๆ ในระบบเป็นแบบเชิงสายและมีวงจรส่งกลับ เนื่องจากลักษณะเช่นนี้ของแบบจำลองการเจริญเติบโตของสาหร่ายซึ่งเกิดจากความเข้มข้นจำกัดของธัญญาหารสามารถนำเข้ามารวมในแบบจำลองได้ ดังนั้นการประเมินผลจากการมีธัญญาหารต่อคุณภาพน้ำจึงทำได้ในแบบจำลองประเภทนี้

เนื่องจากสภาพภายนอกอาจเปลี่ยนแปลงได้ทุกชั่วโมง ดังนั้นระบบจริงจึงอาจไม่เคยอยู่ในสภาพคงที่ แต่อยู่ในสภาพเปลี่ยนแปรตลอดเวลา ตัวอย่างเช่น DO อาจเปลี่ยนแปลงค่าอย่างมากมายตลอดวัน แบบจำลองในระดับที่ ๓ ค่อนข้างจะสลับซับซ้อนและเสียค่าใช้จ่ายสูง แต่สามารถหาผลที่เกิดจากจำนวนของเสียสูงสุดที่ทิ้งลงมาในระหว่างเวลาวิกฤตได้ดีที่สุด

ไม่ว่าจะเลือกใช้แบบจำลองชนิดใด เพื่อใช้ควบคู่กับการกำหนดมาตรฐานของลำ

น้ำ การพัฒนาแบบจำลองตามขั้นตอนที่ถูกต้องเท่านั้น จึงจะทำให้แบบจำลองนั้น ๆ มีประโยชน์อย่างเต็มที่ในการใช้ควบคุมและการจัดการลำน้ำ นอกจากนี้การพัฒนาแบบจำลองที่ถูกขั้นตอนยังจะให้ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับระบบอีกทั้งยังชี้ให้เห็นว่าการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ควรจะจัดระบบอย่างใดเพื่อจะให้มีประสิทธิภาพที่สุด

จะเห็นได้ว่าการกำหนดมาตรฐานของลำน้ำเป็นการกำหนดคุณภาพน้ำทิ้งที่จะเข้ามาในลำน้ำโดยทางอ้อม และเป็นการกำหนดที่ไม่ตายตัวและแน่นอนคุณภาพของน้ำที่ทิ้งลงมาขึ้นอยู่กับสภาพของลำน้ำเป็นสำคัญ วิธีการกำหนดคุณภาพของน้ำทิ้งลงในลำน้ำ ซึ่งไม่ก่อให้เกิดมลภาวะแก่ลำน้ำตามที่กำหนดหน่วยงานที่รับผิดชอบก็สะดวกในการควบคุม เนื่องจากถ้าเกิดมลภาวะในตอนใดของลำน้ำตรวจสอบได้ง่ายว่าสาเหตุเกิดจากกิจการตอนใดของลำน้ำไม่จำเป็นต้องเสียเวลาไปตรวจสอบระบบน้ำทิ้งของโรงงาน การกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งแบบตายตัวอย่างที่กระทำกันอยู่ในปัจจุบัน ถึงแม้ว่าน้ำที่ทิ้งลงมาจะมีคุณภาพตามที่กำหนด แต่ถ้ามลภาวะยังเกิดกับลำน้ำก็แสดงให้เห็นว่ามาตรฐานที่ใช้ไม่ถูกต้องตามความเป็นจริง สมควรที่จะได้มีการแก้ไขมาตรฐานที่ใช้หรือเปลี่ยนแปลงวิธีการควบคุมเสียใหม่

บทสรุป

ด้วยปริมาณการใช้ประโยชน์ของลำน้ำที่ทวีสูงขึ้น การรักษาคุณภาพของลำน้ำจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อที่จะได้มีการใช้ประโยชน์จากลำน้ำให้ได้ดีที่สุดการจำลองสภาพโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ร่วมกับเครื่องคำนวณเป็นอีกวิธีหนึ่งซึ่งอาจใช้ในการควบคุม ตรวจสอบและกำหนดมาตรฐานของลำน้ำแบบจำลองที่มีอยู่ในปัจจุบันมีด้วยกันหลายแบบ การประยุกต์มาใช้กับงานใดงานหนึ่งจำต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ร่วมถึงความต้องการของงานที่จะใช้ การพัฒนาการจำลองสภาพตามขั้นตอนที่ถูกต้อง อาจช่วยแก้หรือลดปัญหามลภาวะของลำน้ำต่าง ๆ ในประเทศไทยเราได้สมกับงบประมาณที่ได้ทุ่มลงไปเพื่องานนี้

เอกสารอ้างอิง

Asano, Takashi. 1967. Distribution of pollutional loadinge in Suisun Bay. National Symposium on Estuarine Pollution, Stanford University, Stanford, California. August. pp. 441-461

Bain, Richard D. 1968. Predicting DO variations caused by algae Journal of the Sanitary Engineering Division, American Society of Civil Engineers 94:867-881

Bella, David A. 1974. Fundamentals of comprehensive environmen-

tal planning. Engineering Issues, American Society of Civil Engineers. January. pp. 17-16

Bella, David A. and William Dobbins. 1968. Difference modeling of stream pollution. Journal of the Sanitary Engineering Division, American Society of Civil Engineers 94:995-1016

Callaway, R.J., K.V. Byram, and G.R. Ditsworth. 1969. Mathematical model of the Columbia River from the Pacific Ocean to Bonneville Dam. Federal Water Pollution Control Administration, Pacific Northwest Water Laboratory, Corvallis, Oregon.

Dresnack, Robert and William E. Dobbins. 1968. Numerical analysis of BOD and DO profiles, Journal of the Sanitary Engineering Division, American Society of Civil Engineers 94:789-807

Feigner, K.D. and H.S. Harris. 1970. Dynamic estuary model. Documentation Report EPA. Washington, D.C.

Fisher, Hugo B. 1969. A Lagrangian method for predicting dispersion in Bolinas Lagoon, California, Menlo Park, California. United States Departrment of the Interior, Geological Survey, Water Resources Division. (Open-file report.)

Grenney, W.J. and D.A. Bella. 1972. Field study and mathematical model of the slack water buildup of a pollutant in an estuary. Lomnology and Oceanography 17:229

Grenney, W.J. and A.L. Huber, 1974. Mathematical model used for water quality management in a waste load allocation study of the Bear River, Utah Water Research Laboratory, Utah State University, Logan, Utah. 52 p.

Harleman, Donald R., Chok-hung Lee, and L.C. Hall. 1968. Numerical studies of unsteady dispersion in estuaries. Journal of the Sanitary Engineering Division, American Society of Civil Engineers 94:897-911

Holley, Edward R. 1969. Discussion of difference modeling of stream pollution by David A. Bella and William E. Dobbins, Journal of the Sanitary Engineering Division, American Society of Civil Engineers 95:968-972

O'Connor, Donald J. 1960. Oxygen balance of an estuary. Journal of the Sanitary Engineering Division, American Society of Civil Engineers 86:35-55

O'Connor, Donald J. 1965. Estuarine distribution of non-conservative substances, Journal of the Sanitary Engineering Division, American Society of Civil Engineers 91:23-42

O'Connor, Donald J., John St. John, and Dominic M. Di Toro. 1968. Water quality analysis of the Delaware River Estuary. - Journal of the Sanitary Engineering Division, American Society of Civil Engineers 94:1225-1252

Orlob, G.T., R.P. Shubinski, and K.D. Feigner. 1967. Mathematical modeling of water quality. National Symposium on Estuarine Pollution, Stanford University, Stanford, California. August. pp. 646-675

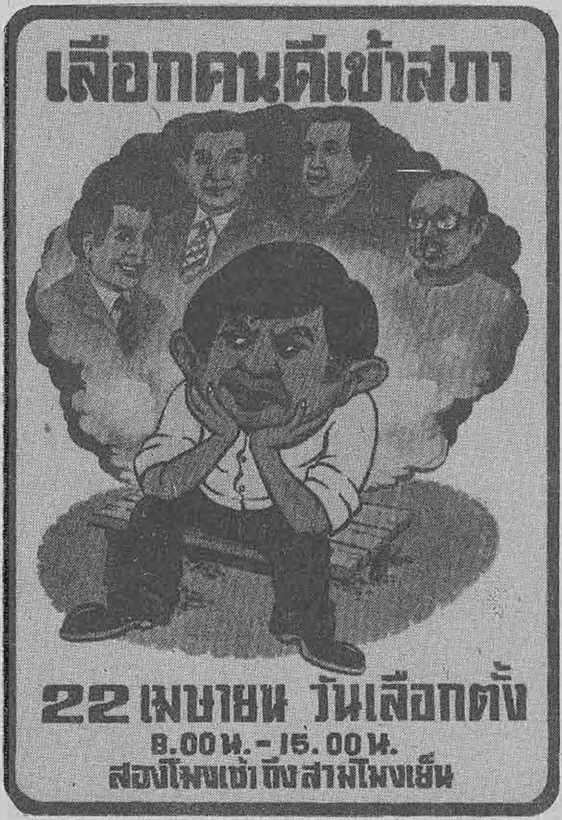
Pence, George D., John Jeglic, and Robert Thomann. 1968. Timevarying dissolved-oxygen model. Journal of the Sanitary Engineering Division, American Society of Civil Engineers 94:381-401

Texas Water Development Board. 1970. DOSAG-1-Simulation of water quality in streams and canals--Program Documentation and Users Manual. Austin, Texas.

Thayer, Richard P. and Richard G. Krutchkoff. 1967. Stochastic model for BOD and DO in streams. Journal of the Sanitary Engineering Division, American Society of Civil Engineers 93:59-72

Thomann, Robert V. 1963. Mathematical model for dissolved oxygen. Journal of the Sanitary Engineering Division, American

Society of Civil Engineers 89:1-30

Thomann, Robert V. 1967. Time-series analysis of water-quality data. Journal of the Sanitary Engineering Division, American Society of Civil Engineers 93:1-23

Wastler, T.C. and Carl M. Walter. 1968. Statistical approach to estuarine behavior. Journal of the Sanitary Engineering Division, American Society of Civil Engineers 94:1175-1193