บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. สภาพทั่วไปของแม่น้ำชี

1.1 ลักษณะภูมิประเทศ

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2537) กล่าวว่าลุ่มน้ำชีมีเนินเขาสูงทางด้านทิศเหนือ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตกของลุ่มน้ำ พื้นที่ส่วนมากเป็น ที่ราบถึงลูกคลื่นลอน และมีลาดสลับเนินเล็กน้อยด้านทิศใต้ ความสูงของพื้นที่โดยเฉลี่ย 200 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง มีแนวเทือกเขาสูงเพชรบูรณ์เป็นแนวแบ่งเขตลุ่มน้ำทางด้านทิศตะวันตก เป็นแหล่งต้นกำเนิดของลำน้ำพองและแม่น้ำชี แม่น้ำชีเป็นแม่น้ำที่ไหลมาจากจังหวัดชัยภูมิ เข้าสู่จังหวัดขอนแก่น บริเวณอำเภอแวงน้อย ผ่านอำเภอแวงใหญ่ อำเภอชนบท อำเภอมัญจาคีรี อำเภอบ้านไผ่ และอำเภอเมือง เข้าสู่จังหวัดมหาสารคามที่อำเภอโกสุมพิสัย ผ่านอำเภอ กันทรวิชัย และอำเภอเมือง เข้าสู่จังหวัดกาฬสินธุ์ ร้อยเอ็ด ยโสธร และไหลไปบรรจบแม่น้ำมูลเขตอำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี ลำน้ำสาขาที่สำคัญ ลำน้ำพอง ลำน้ำปาว ลำน้ำยัง ลำน้ำเชิญ และลำน้ำพรม เป็นต้น

ลุ่มน้ำชีมีต้นกำเนิดจากทิวเขาพังเหยเป็นสันน้ำของลุ่มน้ำป่าสักและลุ่มน้ำชี มีพื้นที่ 49,477 ตารางกิโลเมตร หรือ 30,923,123 ไร่ ตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 15° 30" เหนือ ถึงเส้นรุ้งที่ 17 ° 30" เหนือ และระหว่างเส้นแวงที่ 101 ° 30" ตะวันออก ถึงเส้นแวงที่ 104 ° 30" ตะวันออก ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 14 จังหวัด มีพื้นที่คลอบคลุมบางส่วนของภาคอีสานตอนกลาง และบางส่วนของภาคอีสานตอบบน มีจังหวัดที่มีพื้นที่ทั้งหมดอยู่ในลุ่มน้ำ 2 จังหวัด ได้แก่ ชัยภูมิและกาฬสินธุ์ จังหวัดที่มีพื้นที่บางส่วนอยู่ในลุ่มน้ำ 12 จังหวัด ได้แก่ เพชรบูรณ์ มุกดาหาร อุบลราชธานี นครราชสีมา มหาสารคาม เลย ยโสธร ขอนแก่น ร้อยเอ็ด ศรีสะเกษ อุดรธานี

การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาแม่น้ำชีตั้งแต่สะพานบ้านโนนเปลือย ตำบลตลาดแร้ง อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ ไหลผ่านอำเภอจัตุรัส อำเภอเมือง อำเภอคอนสวรรค์ จังหวัดชัยภูมิ ผ่านอำเภอบ้านเหลื่อม อำเภอแก้งสนามนาง จังหวัดนครราชสีมา และเข้าสู่จังหวัดขอนแก่น ผ่านอำเภอแวงน้อย อำเภอแวงใหญ่ อำเภอโคกโพธิ์ไชย อำเภอมัญจาคีรี อำเภอชนบท อำเภอพระยืน อำเภอบ้านแฮด อำเภอพระยืน จนถึงสะพานข้ามแม่น้ำชีบ้านท่าพระ ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

1.2 สภาพภูมิอากาศ

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2537) กล่าวว่า สภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และในบางครั้งมีลมดีเปรสชั่นพัดมาจากทะเลจีนใต้ ทำให้มีฝนตกหนักในช่วงฤดูฝน จากอิทธิพลของลมมรสุมทั้งสองนี้ ทำให้เกิดฤดูกาล 3 ฤดู คือ ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน

ฤดูฝนของลุ่มน้ำชี ตามปกติจะเริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม มีระยะเวลาเกือบ 6 เดือน การกระจายของฝนในลุ่มน้ำชีจะมีลักษณะแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนมิถุนายน ช่วงที่สองระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคม เป็นฝนที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้รวมกับฝนที่เกิดจากพายุหมุน โดยปกติในลุ่มน้ำจะมีฝนตกชุกในเดือนสิงหาคมและกันยายน

ฤดูหนาวของลุ่มน้ำชี เริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ เป็นฤดูที่มีอากาศหนาวและแห้งมาก ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดผ่านภาคพื้นทวีปเอเชียตอนบนซึ่งมีลักษณะอากาศที่แห้งและหนาวเย็น ในช่วงเริ่มต้นฤดูหนาวเมื่อลมมรสุมนี้เริ่มพัดเข้ามาสู่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในขณะที่อากาศยังคงมีความชื้นสูง ลมมรสุมนี้อาจก่อให้เกิดฝนตกได้บ้างเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากแนวปะทะอากาศหนาวหรือเกิดแนวปะทะอากาศอุ่นตามแต่โอกาส

ฤดูร้อนของลุ่มน้ำชี เริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงกลางเดือนพฤษภาคม เนื่องจากเป็นฤดูที่ต่อจากฤดูหนาว ดังนั้นอากาศจึงเริ่มอุ่นเมื่อเริ่มต้นฤดู และอากาศจะร้อนเพิ่มมากขึ้นจนถึงร้อนที่สุดประมาณสัปดาห์สุดท้ายของเดือนเมษายน และหลังจากนั้นอุณหภูมิอากาศจะลดลง เมื่อเริ่มต้นฤดูร้อนอาจจะมีฝนตกบ้างเล็กน้อยและนาน ๆ ครั้ง ในช่วงหลังของฤดูร้อนจะได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งมีอากาศร้อนและชื้น จึงทำให้เกิดฝนตกเนื่องจากการพาความร้อนของอากาศมีมากและหนาแน่นขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อฝนตกมากจึงมีผลทำให้อากาศในช่วงหลังของฤดูร้อนไม่ร้อนเพิ่มขึ้นหลังผ่านช่วงเดือนเมษายนมาแล้ว

1.3 ปริมาณน้ำฝน-ปริมาณน้ำท่า

จากการรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝน จากสถานีตรวจวัดน้ำฝนของศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน จังหวัดขอนแก่น ปี พ.ศ. 2497-2551 ทั้งหมด 17 แห่ง พบว่า ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี เท่ากับ 1,250.7 mm อยู่ในช่วงพิสัย 1,033.6 -1,533.0 mm และจากการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากสถานีอุทกวิทยาของศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน จังหวัดขอนแก่น ปี พ.ศ. 2497-2551 ทั้งหมด 16 แห่ง พบว่า ปริมาณ

น้ำท่าเฉลี่ยรายปี เท่ากับ 3,201.9 ล้านลูกบาศก์เมตร อยู่ในช่วงพิสัย 972.2-8,093.3 ล้านลูกบาศก์เมตร (ศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน, 2553)

2. มลพิษทางน้ำและประเภทแหล่งกำเนิดมลพิษทางน้ำ

2.1 มลพิษทางน้ำ

หมายถึง น้ำที่เสียคุณภาพหรือน้ำที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิมตามธรรมชาติ เช่น มีสิ่งปฏิกูลที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำเจือปน จนทำให้เกิดผลเสียหายต่อการใช้ประโยชน์ของน้ำและแหล่งน้ำ (ณรงค์ ณ เชียงใหม่, 2525)

ปราณี พันธุมสินชัย (2535) กล่าวว่า แหล่งกำเนิดมลพิษ หมายถึง ชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม อาคาร สิ่งก่อสร้าง ยานพาหนะ สถานที่ประกอบการ หรือสิ่งอื่นใด ซึ่งเป็นแหล่งที่มาของมลพิษ โดย กัณฑรีย์ ศรีพงศ์พันธ์ (2542) จำแนกแหล่งกำเนิดมลพิษออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) แหล่งกำเนิดที่แน่นอน (Point Sources) เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางน้ำที่ระบายน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำที่ถาวร และเป็นประจำ ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม บ้านเรือนและชุมชน

2) แหล่งกำเนิดมลพิษที่ไม่แน่นอน (Non-Point Source) หมายถึง แหล่งกำเนิดของมลพิษที่ไม่ทราบแหล่งกำเนิดแน่นอน แหล่งกำเนิดแบบนี้สารมลพิษจะกระจายและแพร่ทั่วไปโดยไม่ทราบตำแหน่งที่ถูกปล่อยออกมาว่ามาจากตำแหน่งที่เฉพาะเจาะจงแน่นอนตรงไหน ซึ่งอาจเนื่องมาจากสาเหตุตามธรรมชาติและอื่นๆ ประกอบกันก็ได้ เช่น น้ำล้นผิวดินที่ผ่านแหล่งต่างๆ มามากอาจมีปัญหาเรื่องการปนเปื้อนของดินหรือปัญหาอื่นๆ ตามมาได้ ซึ่งทางด้านสิ่งแวดล้อมเรามักสนใจมุ่งเน้นการแก้ปัญหาไปที่แหล่งกำเนิดแบบที่แน่นอนมากกว่า เพราะทำได้ง่ายกว่า

2.2 ประเภทแหล่งกำเนิดมลพิษทางน้ำ

2.2.1 แหล่งกำเนิดน้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater)

หมายถึง น้ำที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ และระบายน้ำทิ้งสู่ท่อระบายน้ำ แหล่งรองรับน้ำเสีย หรือแหล่งน้ำตามธรรมชาติ โดยไม่ผ่านการบำบัดน้ำเสียให้มีลักษณะดีขึ้นก่อน ทำให้เกิดการเน่าเสีย กิจกรรมที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ก่อให้เกิดน้ำเสียชุมชน ได้แก่ บ้านพักอาศัย น้ำเสียจากบ้านพักอาศัยนั้นเกิดจากเศษอาหาร จากการล้างจานและภาชนะในการปรุงอาหาร การทำความสะอาดเสื้อผ้า ซึ่งบ้านพักอาศัยส่วนใหญ่จะมีอัตราการระบายน้ำเสียประมาณ 150 - 216 ลิตร/คน/วัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

2.2.1.1 ปริมาณน้ำเสียชุมชน

ปริมาณน้ำเสียที่ระบายทิ้งจาก บ้านเรือน อาคาร จะมีค่าประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำใช้ หรืออาจประเมินได้จากจำนวนประชากรหรือพื้นที่อาคาร

ตารางที่ 1 อัตราการเกิดน้ำเสียแบ่งตามภาค ปี พ.ศ. 2536-2660

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	225	252	282	316
ตะวันออกเฉียงเหนือ	200-253	216-263	239-277	264-291	291-306	318-322
ใต้	171	195	204	226	249	275

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2545

ตารางที่ 2 อัตราการเกิดน้ำเสียแบ่งตามขนาดของชุมชนในระยะ 20 ปี

เทศบาล/สุขาภิบาล	อัตราการเกิดน้ำเสีย (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

2.2.1.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียในชุมชน

จากรายงานการศึกษาที่เกี่ยวกับการจัดการน้ำเสียชุมชนโดยการศึกษาค่าเฉลี่ยลักษณะสมบัติน้ำทิ้งชุมชนต่าง ๆ โดยพารามิเตอร์เป็นค่าเฉลี่ยของลักษณะสมบัติของชุมชนต่าง ๆ ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในท่อระบายน้ำของชุมชนนั้น ๆ เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยทั้งหมด พบว่าค่าเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียชุมชนได้ผ่านการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนมาระดับหนึ่งแล้ว และน้ำเสียที่เป็นน้ำโสโครกก็ผ่านการบำบัดจากบ่อเกรอะ-บ่อซึมมาแล้วเช่นกัน

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของน้ำเสียที่ถ่ายทิ้งสู่แหล่งน้ำ

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้
BOD (mg/l)	105
SS (mg/l)	90
NO_3-N (mg/l)	0.25
NH_3-N (mg/l)	15
TP (mg/l)	3
Fecal Coliform Bacteria (MPN/100 ml)	1.5×10^6
Total Coliform Bacteria (MPN/100 ml)	2.0×10^6

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2545

2.2.1.3 การประเมินปริมาณน้ำเสียในชุมชน

ทำการคำนวณจากปริมาณน้ำใช้จากอัตราการใช้น้ำเฉลี่ยของแต่ละขนาดชุมชนโดยใช้ข้อมูล ปี พ.ศ. 2552 คูณด้วยจำนวนประชากรในแต่ละชุมชนแล้วคิดปริมาณน้ำเสียจาก 80 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำที่ใช้

2.2.2 แหล่งกำเนิดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม (Industrial Wastewater)

เขตอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ตำบลโนนสำราญ อำเภอแก้งสนามนาง จังหวัดนครราชสีมา ห่างจากแม่น้ำชี 2 กิโลเมตร มีพื้นที่ 3,000 ไร่ เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 ปัจจุบันโรงงานน้ำตาลอ่างเวียงแห่งเดียวที่ตั้งอยู่ โดยมีบ่อบำบัดน้ำเสียจำนวน 3 บ่อ ซึ่งในอดีตที่ผ่านมา กรมโรงงานอุตสาหกรรมเคยสั่งปิดกิจการโรงงานน้ำตาลแห่งนี้มาแล้ว เนื่องจากโรงงานสร้างบ่อบำบัดน้ำเสียเพียง 3 บ่อ จากข้อบังคับ 7 บ่อ และติดตั้งหีบขนาด 4 ล้านตัน/ปี จากที่ได้รับอนุญาตเพียง 1.8 ล้านตัน/ปี (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

การประเมินปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน โดยการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากกรมควบคุมมลพิษ (2541) และข้อมูลจากสำนักงานอุตสาหกรรมนครราชสีมา โดยประเมินความสกปรกในรูปของบีโอดีจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้ข้อมูลความเข้มข้นของบีโอดีน้ำเสียปริมาณน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละประเภทแล้วจึงหาค่าความสกปรกในรูปบีโอดี โดยใช้สูตร

ปริมาณความสกปรกในรูปบีโอดี (kg/d) = บีโอดี (mg/l)xปริมาณน้ำเสีย(m^3/d)x 10^{-3}

2.2.3 แหล่งกำเนิดน้ำเสียจากการเกษตร (Agricultural Wastewater)

กิจกรรมด้านการเกษตรกรรม ที่สำคัญเป็นด้านการปศุสัตว์ จากโครงสร้างการผลิตภาคปศุสัตว์ พบว่า การเลี้ยงสุกรทำให้เกิดน้ำเสียที่มีปริมาณความสกปรกสูงและระบายลงสู่แหล่งน้ำมากที่สุด จึงเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำ การประเมินปริมาณความสกปรกที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำ จึงคำนวณจากการเลี้ยงสุกรเป็นหลัก

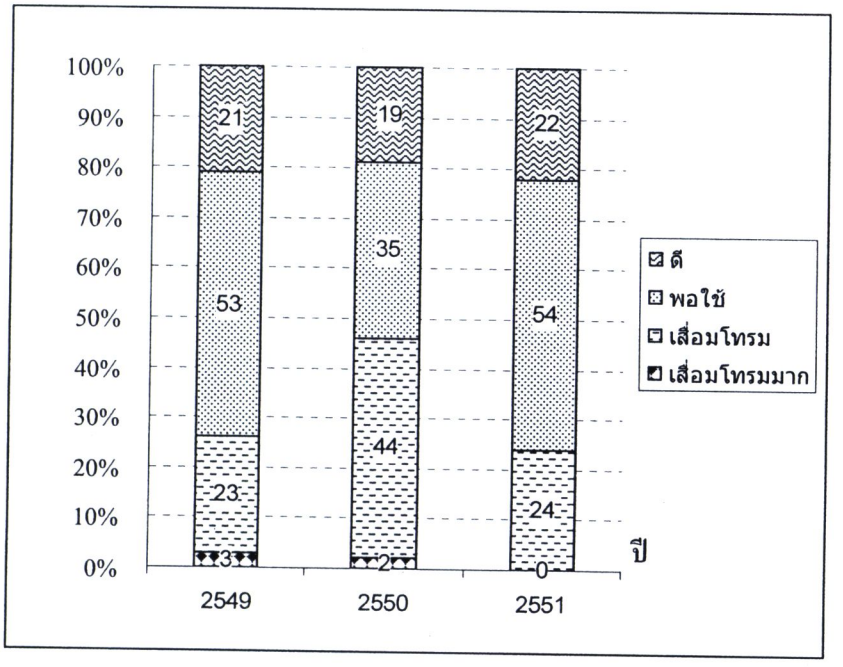
ตารางที่ 4 อัตราการเกิดน้ำเสียและอัตราภาระ BOD ที่ผลิตจากปศุสัตว์

ชนิดของปศุสัตว์	อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/ตัว/วัน)	อัตราภาระ BOD ที่ผลิต (mg/l)
สุกร(Swines)	40	3,400
เป็ด-ไก่ (Duck-Chicken)	17	176.47
โค (Cattle)	150	906.67

ที่มา: บริษัท โปรเอ็น เทคโนโลยี, 2545

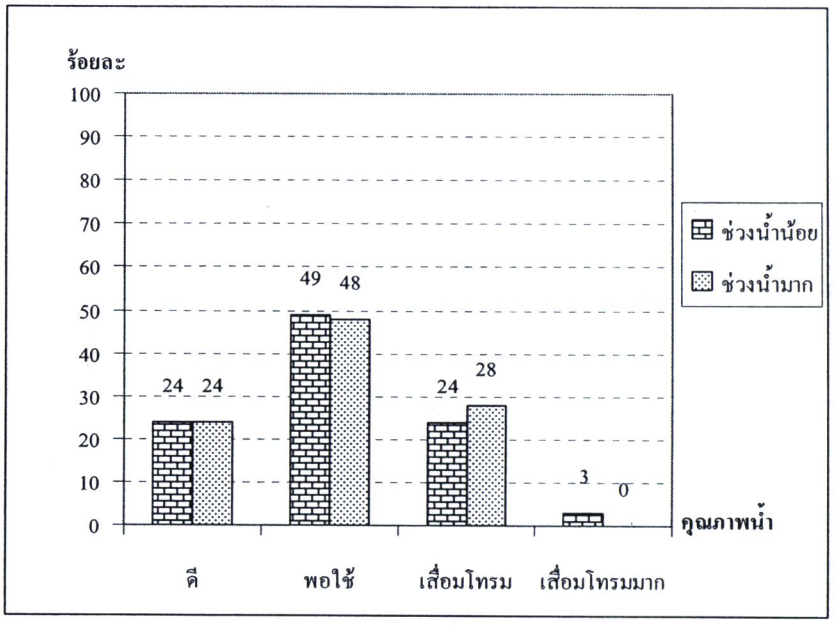
3. คุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดิน

คุณภาพน้ำในแม่น้ำสายสำคัญ 49 สาย และแหล่งน้ำนิ่ง 4 แหล่ง (ก๊วนพะเยา บึงบอระเพ็ด หนองหาน และทะเลสาบสงขลา) ในปี พ.ศ. 2551 โดยใช้ดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปร่วมกับมาตรฐานแหล่งน้ำผิว พบว่า คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ดี พอใช้ และเสื่อมโทรม คิดเป็นร้อยละ 22, 53 และ 25 ตามลำดับ ดังภาพที่ 1 โดยเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำ ปี พ.ศ. 2549-2550 พบว่า แหล่งน้ำ ปี พ.ศ. 2551 มีคุณภาพน้ำโดยรวมดีขึ้น โดยพิจารณาจากแหล่งน้ำที่อยู่ในเกณฑ์ดีและพอใช้เพิ่มขึ้นจากปีที่ผ่านมา โดยปี พ.ศ. 2551 ไม่มีแหล่งน้ำที่อยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรมมาก



ภาพที่ 1 คุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดิน ปี พ.ศ. 2549 -2551 (กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

คุณภาพน้ำแหล่งน้ำจืดในช่วงฤดูน้ำน้อย เดือนมกราคม-มิถุนายน 2551 พารามิเตอร์ที่บ่งชี้คุณภาพน้ำ คือ แอมโมเนีย (NH_3) ปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (FCB) ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (TCB) ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) และปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) คิดเป็นร้อยละ 31, 26, 24, 10 และ 9 ตามลำดับ ในช่วงฤดูน้ำมาก เดือนกรกฎาคม-ธันวาคม 2551 พารามิเตอร์ที่บ่งชี้คุณภาพน้ำ คือ FCB TCB NH_3 BOD และDO คิดเป็นร้อยละ 36, 33, 17, 10 และ 4 ตามลำดับ



ภาพที่ 2 คุณภาพน้ำแหล่งน้ำจืดช่วงฤดูน้ำน้อย และช่วงฤดูน้ำมาก (กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

จากการประเมินคุณภาพน้ำรายสถานีตรวจวัดทั่วประเทศ ปี 2551 พบว่า พารามิเตอร์ที่บ่งชี้ปัญหาคุณภาพน้ำ คือ ปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (FCB) ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (TCB) แอมโมเนีย (NH_3) ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) และปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) คิดเป็นร้อยละ 30, 28, 25, 9 และ 8 ตามลำดับ หากพิจารณาคุณภาพน้ำในแต่ละภาคเป็นดังนี้ ภาคเหนือได้แก่ TCB FCB NH_3 BOD และ DO คิดเป็นร้อยละ 34, 30, 24, 10 และ 2 ตามลำดับ ภาคกลางได้แก่ FCB TCB NH_3 DO และBOD คิดเป็นร้อยละ 29, 28, 26, 11 และ 6 ตามลำดับ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ FCB NH_3 TCB BOD และ DO คิดเป็นร้อยละ 31, 29, 26, 10 และ 4 ภาคตะวันออก ได้แก่ TCB NH_3 FCB BOD และ DO คิดเป็นร้อยละ 37, 25, 18, 10 และ 10 ตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
วันที่ 11 มี.ค. 2556
เลขทะเบียน 203814
เลขเรียกหนังสือ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำแม่น้ำชี ปี พ.ศ. 2547-2549

ปี	ประเภทแหล่งน้ำ	ค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำที่สำคัญ					คุณภาพน้ำที่ไม่ได้ตามมาตรฐาน
		DO (mg/l)	BOD (mg/l)	TCB MPN/100 ml	FCB MPN/100 ml	NH_3 (mg/l)	
2547	3	5.6	1.5	4,000	700	0.5	-
2548	3	5.5	1.8	2,800	1,000	0.31	-
2549	3	5.8	1.5	600	40	0.4	-
มาตรฐานประเภทที่ 3		≥ 4.0	≤ 2.0	≤ 20,000	≤ 4,000	≤ 0.5	-

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2550

ตารางที่ 6 ค่าต่ำสุด - สูงสุดของคุณภาพน้ำแม่น้ำชี ปี พ.ศ. 2550-2551

ปี	ประเภทแหล่งน้ำ	ค่าต่ำสุด - สูงสุดของคุณภาพน้ำที่สำคัญ					คุณภาพน้ำที่ไม่ได้ตามมาตรฐาน
		DO (mg/l)	BOD (mg/l)	TCB (MPN/100 ml)	FCB (MPN/100 ml)	NH_3 (mg/l)	
2550	3	1.5-7.9	0.8-14.0	5-3,500	5-172,000	0.00-3.07	DO, BOD, FCB, NH_3
2551	3	4.2-7.3	0.6-3.0	20-13,000	18-3,300	0.03-0.74	-
มาตรฐานประเภทที่ 3		≥ 4.0	≤ 2.0	≤ 20,000	≤ 4,000	≤ 0.5	-

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2550

จากการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำแม่น้ำชีตอนบน ในช่วงปี พ.ศ.2547-2549 โดยสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น พบว่า ในช่วงฤดูแล้งแม่น้ำชีจะมีปัญหามากกว่าฤดูฝน เนื่องจากช่วงฤดูแล้งปริมาณน้ำในแม่น้ำลดลงในขณะที่ปริมาณของเสียจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ยังคงเท่าเดิมหรือเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดปัญหาการลดลงของปริมาณออกซิเจนละลาย ในขณะที่ค่าความเค็ม ค่าการนำไฟฟ้า หรือของแข็งละลายเพิ่มสูงขึ้นกว่าปกติเพราะการแพร่กระจายของเกลือใต้ดินตามลักษณะทางธรณีวิทยาของแหล่งน้ำและแนวโน้มจะเกินกว่าระดับมาตรฐานเพื่อการ

อุปโภคบริโภค หรือเป็นแหล่งน้ำเพื่อการเกษตร ในบางส่วนของแม่น้ำชี อันเป็นอุปสรรคต่อการผลิตประปาและการดำรงชีวิตตามปกติของสัตว์น้ำ ช่วงที่มีความเสี่ยงต่อปัญหาความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำ คือ บริเวณตำบลลาดใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ และตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ซึ่งเป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้งจากชุมชน (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10, 2551)

จากการตรวจสอบคุณภาพน้ำแม่น้ำชี ปี พ.ศ. 2552 ณ จุดเก็บตัวอย่างน้ำที่ 1 บ้านปากห้วยเดื่อ ตำบลคูเมือง อำเภอหนองบัวแดง และจุดที่ 2 บ้านกุดเวียน ตำบลลาดใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ โดยทั่วไป เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ และใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แต่ในช่วงฤดูฝนน้ำหลาก ความโปร่งแสงของแม่น้ำชีมีค่าค่อนข้างต่ำ เพราะมีตะกอนที่เกิดจากการชะล้างหน้าดินทำให้น้ำมีสีแดงขุ่น ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 คุณภาพน้ำแม่น้ำชี จุดที่ 1 บ้านปากห้วยเดื่อ ตำบลคูเมือง อำหนองบัวแดง จังหวัดชัยภูมิ และจุดที่ 2 บ้านกุดเวียน ตำบลลาดใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ

พารามิเตอร์	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 4		ค่าเฉลี่ย	
	จุด1	จุด2	จุด1	จุด2	จุด1	จุด2	จุด1	จุด2	จุด1	จุด2
อุณหภูมิอากาศ (°C)	18.0	19.5	22.0	24.5	27.0	27.0	24.0	29.0	22.8	25.0
อุณหภูมิน้ำ (°C)	20.5	23.5	27.8	32.9	26.5	29.5	25.0	30.4	24.9	29.1
ระดับน้ำ (m)	2.1	5.1	1.4	4.3	2.88	6.18	3.23	6.57	2.4	5.5
ความโปร่งแสง (cm)	69	50	77	90	15	15	14	16	44	43
ความเป็นกรด-ด่าง	7.5	7.0	7.5	7.5	8.4	7.8	8.6	8.4	8.0	7.7
ความเป็นด่าง (mg/l)	119	85	119	119	51	51	68	68	89	81
ความกระด้าง (mg/l)	90	100	90	140	150	70	50	50	95	90
ออกซิเจนละลาย (mg/l)	8.07	6.59	5.96	6.72	7.57	5.80	7.46	6.37	7.26	6.37
คลอโรฟิลล์เอ (mg/l)	-	-	-	-	-	-	5.84	6.29	5.84	6.29
ค่าการนำไฟฟ้า (µs/cm)	-	-	-	-	-	-	108.5	257.0	108.5	257.0

ที่มา: สำนักงานประมงน้ำจืดจังหวัดชัยภูมิ, 2552

4. ดัชนีคุณภาพน้ำที่ใช้ในการศึกษา

4.1 อุณหภูมิ (Temperature, T)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิตในน้ำ เพราะอุณหภูมิจะมีผลต่อกระบวนการต่าง ๆ ในแหล่งน้ำ ทั้งในเชิงกายภาพ ชีวภาพและเคมี ซึ่งอุณหภูมินี้จะมีผลต่อการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิต ความหนาแน่นของน้ำ และการละลายของก๊าซและธาตุต่าง ๆ เช่น

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการละลายน้ำของออกซิเจนลดลง หรือทำให้สารพิษบางอย่างมีความเป็นพิษมากขึ้น เป็นต้น โดยปกติอุณหภูมิของน้ำตามธรรมชาติจะผันแปรตามอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับฤดูกาล ระดับความสูงและสภาพภูมิประเทศ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแสงจากดวงอาทิตย์ กระแสลม ปริมาณสารแขวนลอยหรือความขุ่น และสภาพแวดล้อมทั่ว ๆ ไปของแหล่งน้ำ (นันทนา คชเสนี, 2544)

4.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

เป็นค่าบ่งชี้ระดับความเป็นกรดหรือด่างของแหล่งน้ำ ซึ่งมีค่าต่ำสุด 0 หน่วย และมีค่าสูงสุด 14 หน่วย แหล่งน้ำที่มีค่า pH ต่ำกว่า 7 จะถือว่าเป็นแหล่งน้ำ ที่มีสภาพเป็นกรด แหล่งน้ำที่มีค่า pH สูงกว่า 7 จะถือว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีสภาพเป็นด่าง แหล่งน้ำที่ดีควรมีค่า pH ใกล้เคียง 7 ซึ่งภาวะความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีผลต่อคุณภาพน้ำ ปกติน้ำตามธรรมชาติจะมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.0-9.0 ซึ่งเหมาะสำหรับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต (กาญนิถา ครองธรรมชาติ, 2545)

4.3 ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)

เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของน้ำในการเป็นสื่อนำทางไฟฟ้าซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของปริมาณเกลือหรือสารละลายอนินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำ ค่าการนำไฟฟ้าส่วนใหญ่จะแปรผันโดยตรงกับความเค็มของน้ำ ซึ่งน้ำตามธรรมชาติโดยทั่วไปจะมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 150 -300 µs/cm แหล่งน้ำที่มีค่าการนำไฟฟ้าเกินกว่า 1,000 µs/cm อาจไม่เหมาะสมต่อการผลิตประปา เพราะเริ่มจะมีรสเค็ม หรือมีการปนเปื้อนสารละลายขณะที่มีแหล่งน้ำที่มีค่าการนำไฟฟ้าเกินกว่า 2,000 µs/cm จะไม่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้เพื่อการชลประทาน เพราะจะส่งกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพืช ค่าการนำไฟฟ้าของแม่น้ำจะแตกต่างกันไปตามระยะทาง (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ, 2528)

4.4 ปริมาณออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen; DO)

ปริมาณออกซิเจนละลายเป็นค่าที่มีความจำเป็นต่อการหายใจของพืชน้ำและสัตว์น้ำ เป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดความสามารถในการฟอกตัวเองของแหล่งน้ำธรรมชาติโดยทั่วไป แหล่งน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิต การขยายพันธุ์ และการอนุรักษ์สัตว์น้ำ ควรมีค่า DO ไม่ต่ำกว่า 5 mg/l ทั้งนี้ สัตว์น้ำส่วนใหญ่จะดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างปกติที่ระดับของค่า DO ไม่ต่ำกว่า 3 mg/l (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ, 2546) กรรณิการ์ สิริสิงห์ (2544) กล่าวว่า ความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำแปรผันโดยตรงกับความดัน และแปรผันแบบผกผันกับอุณหภูมิและปริมาณเกลือ

แร่ที่ละลายในน้ำนอกจากนี้ หากในแหล่งน้ำมีอัตราการสังเคราะห์แสงมาก ปริมาณออกซิเจนก็ละลายมาก และหากมีการสลายตัวของสารอินทรีย์มาก ออกซิเจนในน้ำจะถูกนำไปใช้ ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายลดลง

กรรณิการ์ สิริสิงห์ (2544) ได้กล่าวถึงความสำคัญของค่า DO ไว้ดังนี้

1) ค่า DO เป็นตัวชี้ว่าปฏิกิริยาทางชีวะที่จะเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ สำหรับ Aerobic Organism จะใช้ออกซิเจนอิสระเพื่อการออกซิไดซ์สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีอันตราย ในขณะที่ Anaerobic Organism ทำให้เกิดการรีดิวซ์เกลืออนินทรีย์บางตัว เช่น S_2O^{4-} เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นเหม็น สิ่งมีชีวิตทั้งสองชนิดนี้พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ ดังนั้นจึงต้องรักษาพวก Aerobic Organism เพื่อรักษาสภาวะ Aerobic Condition ในน้ำธรรมชาติ

2) ค่า DO มีความสำคัญในการที่จะรักษาสภาวะของน้ำให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของปลาและสัตว์น้ำอื่น คือ ให้มีค่า DO ในปริมาณที่พอเหมาะ เช่น ไม่น้อยกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

3) ค่า DO เป็นค่าพื้นฐานของค่าปริมาณสารอินทรีย์ในรูปบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) เพื่อหาความสกปรกของน้ำเสียและอัตราการออกซิเดชันทางชีวะ ซึ่งวัดได้โดยการหาค่า DO ที่เหลือ ณ เวลาต่าง ๆ

4) ค่า DO เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการกัดกร่อนของเหล็ก โดยเฉพาะในท่อน้ำประปา และหม้อต้มน้ำ

4.5 ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical Oxygen Demand; BOD)

ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี คือ ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ ค่าบีโอดีสูง หมายถึง แหล่งน้ำมีความสกปรกมากเนื่องจากจุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์หรือสิ่งปฏิกูล ทำให้ออกซิเจนละลายในแหล่งน้ำลดลงจนทำให้น้ำเน่าเสีย โดยทั่วไปแหล่งน้ำผิวดินที่อนุรักษ์ไว้สำหรับการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำและการผลิตน้ำประปาไม่ควรมีค่าบีโอดีเกินกว่า 1.5 mg/l ด้านเกษตรกรรมไม่ควรมีค่าบีโอดีเกินกว่า 2.0 mg/l ด้านอุตสาหกรรมไม่ควรมีค่าบีโอดีเกินกว่า 4.0 mg/l (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ, 2546)

กรรณิการ์ สิริสิงห์ (2544) กล่าวถึงความสำคัญของค่า BOD ว่า

1) เพื่อหากำลังของน้ำเสียชุมชนและของเสียจากอุตสาหกรรมในเทอมของออกซิเจนที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์

2) ใช้หาปริมาณความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเพื่อนำไปคำนวณอัตราการออกซิไดส์ที่เกิดหรือเพื่อหาอัตราที่ BOD จะถูกใช้ไป

3) เพื่อใช้ในการควบคุมความสกปรกของแม่น้ำลำธารว่าควรจะบำบัดสารอินทรีย์ที่จะทิ้งลงน้ำแค่ไหน เพื่อให้ได้ระดับออกซิเจนในน้ำตามที่ต้องการ

4) ใช้วัดความสามารถของแหล่งน้ำที่จะกำจัดความสกปรกโดยธรรมชาติ

5) ใช้ตรวจคุณภาพของ Effluent ที่ปล่อยทิ้งลงแหล่งน้ำ

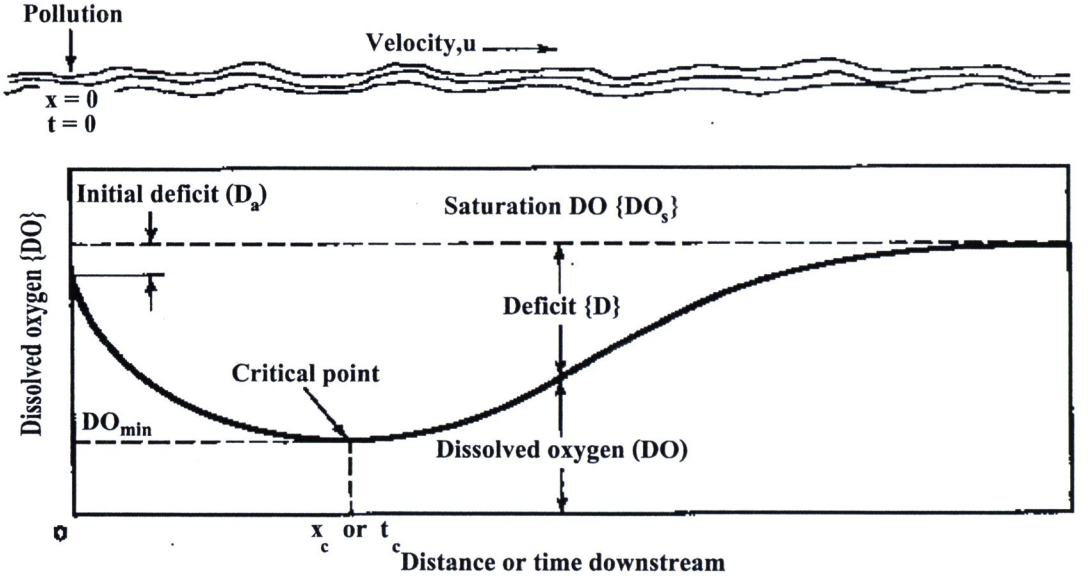
6) ใช้หาประสิทธิภาพของโรงบำบัดน้ำโสโครก

4.6 ปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Fecal Coliform Bacteria, FCB)

ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย เป็นโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่มีแหล่งกำเนิดมาจากอุจจาระของมนุษย์และสัตว์เลือดอุ่น มีคุณสมบัติสามารถย่อยสลายน้ำตาลแลคโทส ที่อุณหภูมิ 44.5 ± 0.2 องศาเซลเซียส ให้กรดและก๊าซ ภายในเวลา 24 ชั่วโมง ได้แก่ แบคทีเรียกลุ่ม *Escherichia* ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ใช้เป็นดัชนี แสดงให้เห็นว่า น้ำนั้นมีการปนเปื้อนด้วยอุจจาระ และอาจมีการปนเปื้อนด้วยแบคทีเรียก่อโรค ซึ่งฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียสามารถมีชีวิตอยู่นอกลำไส้ได้ไม่นาน ดังนั้น เมื่อตรวจพบ *Escherichia coli* แสดงว่า น้ำนั้นเพิ่งมีการปนเปื้อนจากอุจจาระของมนุษย์หรือสัตว์เลือดอุ่น (อุไรวรรณ อินทร์ม่วง, 2545)

5. Dissolved Oxygen Sag Curve หรือ DO Sag Curve

ออกซิเจนละลายเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำและช่วยบ่งชี้ให้ทราบถึงคุณภาพของแหล่งน้ำได้ด้วย ออกซิเจนละลายในน้ำตามธรรมชาติจะสัมพันธ์กันระหว่างออกซิเจนซ้ำ (Reoxygenation) และการลดออกซิเจน (Deoxygenation) ซึ่งเกิดขึ้นพร้อมกัน โดยการเติมออกซิเจนซ้ำอาจโดยการถ่ายเทจากบรรยากาศแพร่กระจายลงสู่ผิวน้ำและจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำ ส่วนการลดออกซิเจนก็โดยการหายใจของสิ่งมีชีวิตในน้ำและการสลายของสารอินทรีย์โดยแบคทีเรีย ถ้าการลดออกซิเจนมากกว่าการเติมออกซิเจนซ้ำ จะทำให้ออกซิเจนละลายในน้ำลดลง เมื่อมีการปล่อยของเสียประเภทสารอินทรีย์ซึ่งถูกสลายได้ลงไปสู่ต้นน้ำที่กระแสน้ำไหลในทิศทางเดียวจะทำให้ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 Streeter-Phelps DO Sag Curve

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณหาค่า DO ที่ระยะทางหรือระยะเวลาใด ๆ มักนิยมใช้ Streeter-Phelps Equation ดังสมการที่ 1

$$\frac{dD}{dt} = \frac{d}{dt}\left[\frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1}(10^{-K_1 t} - 10^{-K_2 t}) + (D_0 . 10^{-K_2 t})\right] \qquad \text{.....(1)}$$

หากกำหนดให้ $\frac{dD}{dt} = 0$ จะได้สมการที่สามารถคำนวณหาระยะเวลาวิกฤต (Critical Time) ซึ่งจะทำให้ค่า DO ต่ำสุด ดังสมการที่ 2

$$t_c = \frac{1}{K_2 - K_1}\log\left[\frac{K_2}{K_1}\left(1 - D_0\frac{K_2 - K_1}{K_1 L_0}\right)\right] \qquad \text{.....(2)}$$

โดยที่ D คือ ค่า DO ที่ลดลง ($DO_{deficit}$) ที่ t = DO_s-DO_t (mg/l)

DO_s คือ ออกซิเจนละลายน้ำอิ่ม ตัวที่อุณหภูมิของน้ำในสภาวะนั้นๆ (mg/l)

DO_t คือ ออกซิเจนละลายน้ำที่เวลา t (mg/l)

t คือ ระยะเวลาที่น้ำอยู่ในแม่น้ำเคลื่อนที่ไปทางท้ายน้ำ (d)

t_c คือ ระยะเวลาวิกฤต (Critical Time) เวลาที่ค่าออกซิเจนละลายมีค่าต่ำสุด (d)

D_0 คือ $DO_{deficit}$ เริ่ม ต้น (mg/l)

L_0 คือ BOD ผสมของน้ำในแม่น้ำ (mg/l)

$$= \frac{BOD_5}{(1-10^{-5K_1})}$$

K_1 คือ Deoxygenation Rate Constant (d^{-1})

K_2 คือ Reaeration Rate Constant (d^{-1})

จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของออกซิเจนซึ่งอิ่มตัวบริเวณต้นน้ำจะค่อย ๆ ลดลงใต้จุดที่มีการปล่อยของเสียลงไปเพราะว่าออกซิเจนจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้

เส้นโค้งที่แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจนกับระยะทางตามลำน้ำหรือระยะเวลาในการไหลเรียกว่า Dissolved Oxygen Sag Curve หรือ DO Sag Curve

จุดวิกฤติเป็นจุดที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนมีค่าต่ำสุด โดยตรงจุดนี้อัตราการลดออกซิเจนเท่ากับอัตราการเติมออกซิเจนซ้ำ

โดยทั่วไปถ้าแบคทีเรียไม่ได้ดึงออกซิเจนในน้ำไปใช้ในการสันดาปสารอินทรีย์จนหมดแล้วและไม่มีการปล่อยของเสียลงไปในแหล่งน้ำจนเกินความสามารถของแหล่งน้ำ ตามธรรมชาติแหล่งน้ำสามารถทำให้บริสุทธิ์ด้วยตัวเองได้

6. แบบจำลอง

แบบจำลอง หมายถึง “แนวคิดของระบบซึ่งยังรักษาคุณลักษณะที่สำคัญของระบบเพื่อวัตถุประสงค์นั้น” นั่นคือแบบจำลองอาจจะมีรายละเอียดไม่มากเท่ากับระบบจริง แต่มีโครงสร้างที่ถูกต้องโดยเมื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ระบบ จะสามารถให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ทั้งนี้แบบจำลองมี 2 ลักษณะ คือ การจำลองระบบ และการเลือกค่าที่ดีที่สุด

1) การจำลองระบบเป็นการแสดงคุณลักษณะของระบบโดยใช้ข้อแม้และกระบวนการเป็นตัวแทนของระบบ ทั้งนี้ข้อมูลบางส่วนของระบบและผลลัพธ์ ขณะนั้นจะต้องทราบค่าเพื่อใช้ในการสอบเทียบระบบ ในการพัฒนาระบบจะต้องระบุวัตถุประสงค์ให้ชัดเจน เพื่อให้ผู้ใช้เป็นผู้ตัดสินใจปรับค่าของข้อมูลที่ควบคุมได้จนกว่าจะได้รับคำตอบที่พึงพอใจ

2) การหาค่าที่ดีที่สุดจะคล้ายกับการจำลองระบบ แต่ต่างกันที่กระบวนการในการปรับค่าของข้อมูลที่ควบคุมได้จะเป็นลักษณะอัตโนมัติ โดยอาศัยเกณฑ์ที่สะท้อนถึงวัตถุประสงค์เป็นตัววัด

ประสิทธิผล ทั้งนี้การปรับแก้จะดำเนินการจนกระทั่งคำตอบที่ได้รับเป็นคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับข้อแม้และวัตถุประสงค์ที่กำหนด (บัญชา ขวัญยืน, 2541)

6.1 ชนิดของแบบจำลอง

แบบจำลองสามารถแบ่งออกได้หลายแบบตามโครงสร้าง รูปแบบและลักษณะการใช้งานดังนี้

6.1.1 Conceptual Model หมายถึงแบบจำลองซึ่งสามารถรักษาคุณลักษณะในด้านการตอบสนองต่อปัจจัยได้อย่างถูกต้อง แต่กระบวนการอาจมีความไม่ชัดเจนหรืออธิบายได้ยาก

6.1.2 Physical Model หมายถึงแบบจำลองทางกายภาพหรือการจำลองของจริงด้วยการจัดสร้างแบบจำลองซึ่งย่อส่วนตามสัดส่วนที่กำหนด

6.1.3 Mathematical Model หมายถึงแบบจำลองที่แสดงระบบโดยใช้ความสัมพันธ์ทางด้านคณิตศาสตร์ หรือใช้เทคนิคสมการอนุพันธ์ในการแก้ปัญหา

6.1.4 Computer Model หมายถึงแบบจำลองที่สร้างโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือสามารถใช้งานด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์

6.1.5 Satistics Model หมายถึงแบบจำลองที่ใช้คุณลักษณะทางสถิติในการจำลองหรืออธิบายความสัมพันธ์ของระบบ

6.1.6 Deterministic Model หมายถึงแบบจำลองที่ใช้ข้อมูลซึ่งได้มาจากการวัดจริงทั้งหมด

6.1.7 Distributed (Probabilistic) Model หมายถึง แบบจำลองที่ใช้ความสัมพันธ์เกี่ยวกับด้านความน่าจะเป็นประกอบการวิเคราะห์หรือการตัดสินใจ หรือการสร้างข้อมูลเพิ่มเติมโดยใช้กระบวนการทาง Stochastic

อนึ่งแบบจำลองเหล่านี้จะไม่สามารถแยกกันออกได้อย่างชัดเจน นั่นคือแบบจำลองอันเดียวอาจจะมีลักษณะหลายประการหรือสามารถจัดเข้าได้หลายแบบตามแต่ความเหมาะสมและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน (บัญชา ขวัญยืน, 2541)

6.2 ลักษณะโครงสร้างของแบบจำลอง

บัญชา ขวัญยืน (2541) จำแนกลักษณะโครงสร้างของแบบจำลองออกเป็น 2 ประเภท คือ

6.2.1 กล่องดำ (Black Box) ได้แก่ ระบบที่ไม่ทราบโครงสร้างภายในที่ชัดเจน หรือระบบที่มีความซับซ้อนมากเกินกว่าจะแสดงโดยละเอียด เช่น การไหลของน้ำใต้ดิน

6.2.2 กล่องโปร่งใส (Transparent Box) ได้แก่ ระบบที่ทราบกระบวนการและผลลัพธ์ที่แน่นอน ซึ่งงานด้านการจำลองระบบแหล่งน้ำจะจัดอยู่ในประเภทนี้ด้วย

6.3 กระบวนการสร้างแบบจำลอง (Modeling Process)

บัญชา ขวัญยืน (2541) ได้แบ่งขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองโดยมีรายละเอียดต่อไปนี้

6.3.1 การระบุปรากฏการณ์ (Phenomena) เป็นการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจและหาความรู้เกี่ยวกับระบบในเบื้องต้น

6.3.2 การระบุปัญหา (Problem) เป็นการตรวจสอบข้อมูลและพฤติกรรมโดยอาจใช้เวนน์ Diagram เพื่อช่วยในการแสดงปัญหาให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

6.3.3 แนวคิด/คำจำกัดความของปัญหา (Conceptualization/Problem Definition) เป็นการหาแนวทางที่เหมาะสม รวมทั้งสิ่งที่เกี่ยวข้อง และหลักการในการจำลองระบบ

6.3.4 การย่อปัญหา (Abstract) เป็นการลดขนาดของปัญหาลง แต่ยังรักษาคุณสมบัติที่สำคัญของระบบไว้ คำตอบที่ได้จึงมีความถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้

6.3.5 วัตถุประสงค์ ข้อดี เกณฑ์ (Objective, Constrants, Criteria) เป็นการค้นหารายละเอียดทั้ง 3 อย่างให้มีความชัดเจนและสามารถนำเอาไปใช้งานได้

6.3.6 การระบุแบบจำลอง (Model Definition) เป็นขั้นตอนในการระบุรายละเอียดของแบบจำลองซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบดังต่อไปนี้

6.3.6.1 การระบุตัวแปร (ตัวขับ ตัวผ่าน ตัวผล)

6.3.6.2 การสร้างตัวแปร

6.3.6.3 การระบุพารามิเตอร์ที่ต้องทราบค่า

6.3.6.4 การระบุสถานะเริ่มต้น ขอบเขต และมิติต่าง ๆ (มวล ระยะทาง เวลา)

6.3.7 โครงสร้างแบบจำลอง (Model Structure) คือการสร้างแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของปัญหาโดยใช้ Box and Arrow Diagram

6.3.8 การบัญญัติแบบจำลอง (Model Formulation) เป็นการเลือกสมการคณิตศาสตร์และวิธีการคำนวณ เพื่อแสดงความสัมพันธ์ของระบบ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ ทางทฤษฎี (Theoretical) ทางเอ็มไพริคอล (Empirical) และทางปฏิบัติ (Operational)

6.3.9 การตรวจสอบแบบจำลอง (Model Verification) คือ การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์โครงสร้าง ตรรกศาสตร์ การสร้างสมการ เพื่อเปรียบเทียบกับของจริง เป็นต้น

6.3.10 การระบุพารามิเตอร์ (Parameterization) คือ การหาค่าของค่าคงที่ สัมประสิทธิ์และค่ายกกำลังในสมการกระบวนการของระบบ

6.3.11 การเขียนแบบจำลอง (Coding) ในปัจจุบันการสร้างแบบจำลองมักใช้การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งจะดำเนินการในขั้นตอนนี้

6.3.12 การสอบเทียบแบบจำลอง (Model Calibration) เป็นการทดสอบความถูกต้องขั้นต้นของแบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลจริงทดสอบ ทั้งนี้อาจมีการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ในขั้นตอนนี้

6.3.13 การทดสอบ 1, N (Simulation 1,N) เป็นการทดสอบการทำงานจริงของระบบทีละขั้นเพื่อทำการแก้ไขความผิดพลาดจากขั้นตอนที่ 7 ถึง 11

6.3.14 การประมวล (Model Evaluation) เป็นการทดลองการใช้งานจริงของแบบจำลองโดยอาจเปรียบเทียบคำตอบกับปัญหาที่ทราบคำตอบแล้ว เพื่อทำการแก้ไขจากขั้นที่ 6 ถึง 11

6.3.15 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ทั้งนี้ควรทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของคุณสมบัติทุกอย่างโดยเฉพาะตัวแปรและสัมประสิทธิ์

6.3.16 การตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) เป็นการตรวจสอบครั้งสุดท้ายว่าระบบทำงานตามที่ประสงค์หรือใช้ได้ตามเกณฑ์ที่ต้องการหรือไม่

6.3.17 การใช้งานจริง (Simulation N)

6.4 แบบจำลองคุณภาพน้ำ

Thomann และ Muller (1987) แบ่งประเภทแบบจำลองคุณภาพน้ำออกเป็น 2 ประเภท คือ แบบจำลองแบบหนึ่งมิติ (One Dimension Model) และแบบจำลองแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ (Two and Three Dimension Models) โดยแบบจำลองแบบ 1 มิติ เป็นแบบจำลองที่ใช้ศึกษาคุณภาพน้ำในลำน้ำภายใต้สภาวะคงตัว (Steady State) มีการไหลของน้ำในทิศทางเดียว โดยมีสมมติฐานว่ากระบวนการที่เกิดขึ้นในลำน้ำไม่มีความแตกต่างกันทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง ตัวอย่างแบบจำลองประเภทหนึ่งมติ เช่น QUAL2K, QUAL2E, HSPE, SWMM, DYRESM-WQ, MIKE11 และ WASP เป็นต้น ส่วนแบบจำลอง 2 มิติ และ 3 มิติ เป็นแบบจำลองที่ใช้ศึกษาคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำ ทะเลสาบ และบริเวณปากแม่น้ำ ที่มีลักษณะการไหลของน้ำ 2 ทิศทางในแนวระดับ โดยมีสมมติฐานว่า การเปลี่ยนแปลงของกระบวนการต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันในแนวดิ่ง ตัวอย่างของแบบจำลอง 2 มิติ และ 3 มิติ เช่น MIKE21, CORMIX, POM และ ECOM-si เป็นต้น แบบจำลองทรัพยากรน้ำที่ใช้ มีหลายแบบจำลอง ได้แก่

6.4.1 แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ หรือ HD Model

แบบจำลอง HD (Hydrodynamic Model ; HD) เป็นแบบจำลองทางชลศาสตร์ เป็นการจำลองสภาพทางกายภาพของลำน้ำ โดยนำข้อมูลต่างๆ เช่น ภาพตัดขวางของลำน้ำ ปริมาณน้ำและระดับน้ำ มาใช้เพื่อทำนายถึงลักษณะการไหลของน้ำ ซึ่งใช้คำนวณการไหลแบบ Gradually Varied Unsteady Flow ในทางน้ำเปิด โดยจะต้องอาศัยการวิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนที่ภายใต้สมการ Saint Venant ซึ่งประกอบด้วยสมการต่อเนื่อง (Continuity Equation) และสมการโมเมนตัม (Momentum Equation) โดยการคำนวณใช้วิธี Implicit Finite Difference

6.4.2 แบบจำลอง MIKE 11

แบบจำลอง MIKE 11 เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่มีระบบการจำลองพื้นฐานสำหรับคลองและแม่น้ำซึ่งใช้จำลองสภาพการไหล การแพร่กระจายของมลสาร การเคลื่อนที่และการทับถมของตะกอน ซึ่งการจำลองคุณภาพน้ำในบริเวณปากแม่น้ำ แม่น้ำ ลำคลอง และระบบชลประทาน เป็นการจำลองแบบ 1 มิติ MIKE11 เหมาะสำหรับการออกแบบ การจัดการและการดำเนินงานของระบบโครงข่ายในลุ่มน้ำและคลอง

แบบจำลอง MIKE มีส่วนประกอบหลัก คือ Rainfall-Runoff และ Hydrodynamic Routing ที่ใช้คำนวณหาปริมาณน้ำท่าในที่ลุ่มที่เกิดจากปริมาณน้ำฝน และวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของน้ำจากต้นน้ำไปสู่ปลายน้ำ การประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการปรับเทียบโดยใช้ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ คือ รูปตัดขวางของลำน้ำ และแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็นลุ่มน้ำย่อย พร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลบริเวณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่า

6.4.3 แบบจำลอง DOSAG หรือแบบจำลอง Streeter - Phelps

อาศัยการคำนวณคำตอบจากสมการ Streeter - Phelps (DO Sag Equation) ซึ่งเป็นสมการคงที่แบบที่ 1 มิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างออกซิเจนละลายและค่า BOD มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถจำลองการแพร่กระจายมลสารในแนวยาว (Longitudinal Eispersion) ได้ใช้จำลองพารามิเตอร์ 2 ตัว คือ ออกซิเจนละลายและค่า BOD

ในปี ค.ศ. 1970 Texas Water Development Board ได้พัฒนาแบบจำลอง DOSAG I ขึ้นจากแบบจำลอง DOSAG ให้มีความสามารถสูงขึ้นโดยการปรับปรุงสมการ Streeter - Phelps ทำให้สามารถคำนวณค่าออกซิเจนละลายและค่า BOD ได้ละเอียดมากขึ้น โดยการเพิ่มการเติมอากาศ การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบคาร์บอนและไนโตรเจนได้

6.4.4 แบบจำลอง WASP (Water Quality Analysis Simulation Program)

เป็นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดย USEPA ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1983 ในช่วงแรกแบบจำลอง WASP ถูกใช้เพื่อแก้ปัญหาการเกิดยูโทรฟิเคชันของแหล่งน้ำในประเทศอเมริกา แต่ใน

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาแบบจำลอง WASP ให้สามารถจำลองพารามิเตอร์คุณภาพน้ำได้มากขึ้นโดยแบ่งเป็น 2 แบบจำลองย่อย คือ แบบจำลองย่อย EUTRO สำหรับจำลองพารามิเตอร์คุณภาพน้ำโดยทั่วไป เช่น ปริมาณออกซิเจนละลาย ค่า BOD ไนโตรเจน ฟอสเฟต เป็นต้น และแบบจำลองย่อย TOXI สำหรับจำลองพารามิเตอร์ประเภทสารพิษ เช่น โลหะหนัก สารกำจัดศัตรูพืช เป็นต้น นอกจากนี้แบบจำลอง WASP ยังสามารถเชื่อมต่อกับแบบจำลองอุทกศาสตร์เพื่อนำเข้าข้อมูลเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของน้ำที่จำเป็น โดยสามารถเชื่อมต่อได้ทั้งแบบอุทกศาสตร์ แบบ 1 มิติ 2 มิติ และ 3 มิติ ปัจจุบันแบบจำลองทางอุทกศาสตร์ที่นิยมใช้เชื่อมต่อกับแบบจำลอง WASP มากที่สุด คือแบบจำลอง DYNHYE

แบบจำลอง WASP ถือเป็นแบบจำลองหนึ่งที่เหมาะสมในการใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการประเมิน TMDL ของแหล่งน้ำ เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่ออกแบบมา ให้มีฟังก์ชันที่สะดวกในการเพิ่มหรือลด Load ที่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งขั้นตอนการปรับ Load ถือเป็นขั้นตอนสำคัญในการประเมิน TMDL ของแหล่งน้ำ

6.4.5 แบบจำลอง QUAL2E

แบบจำลอง QUAL2E เป็นแบบจำลองย่อย (Sub Model) ของแบบจำลอง BASIN 2.0 (Better Assessment Science Integrating Point and Non –Point Source) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยหน่วยงานป้องกันสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (United State's Environmental Protection Agency; US.EPA.) สามารถประเมินและทำนายคุณภาพน้ำ โดยพิจารณาถึงปริมาณของเสียที่ระบายออกจากแหล่งกำเนิดที่มีจุดกำเนิดแน่นอน (Point Source) และแหล่งกำเนิดที่มีจุดกำเนิดไม่แน่นอน (Non-Point Source) (Brown and Barnwell, 1987) สามารถศึกษาถึงกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในลำน้ำ เช่น การเติมออกซิเจน การเจริญเติบโตและการหายใจของสาหร่าย วัฏจักรไนโตรเจนและฟอสฟอรัส กระบวนการ Sedimentation เป็นต้น (IWA., 2001) เป็นแบบจำลองที่มีความยืดหยุ่นในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์และแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยผลที่ได้จากการคำนวณมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ (Tischler, 1984)

แบบจำลอง QUAL2E เป็นแบบจำลองที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้คาดการณ์คุณภาพน้ำในสภาวะที่คงตัว (Steady State) คือ มีอัตราการไหลของน้ำคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาแต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทาง แต่ในการศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิและผลจากการเจริญเติบโตของสาหร่าย แบบจำลอง QUAL2E สามารถคาดการณ์คุณภาพน้ำได้ภายใต้สภาวะที่ไม่คงตัว (Dynamic State) คือ เปลี่ยนไปตามฟังก์ชั่นของเวลา โดยสามารถคำนวณในรอบวันได้ แบบจำลองดังกล่าวถูกพัฒนาในส่วนของรูปแบบและอุปกรณ์ช่วยต่าง ๆ เพื่อสามารถป้อนข้อมูล

และแสดงผลของการคาดการณ์คุณภาพน้ำโดยแบบจำลองได้รวดเร็วขึ้น และสอดคล้องกับการใช้งานบน Windows ในรุ่นต่าง ๆ QUAL2E แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของแบบจำลอง

แบบจำลอง QUAL2E มีหลักการและฐานข้อมูลที่สำคัญ คือ

6.4.5.1 ฐานข้อมูลอุทกวิทยาและชลศาสตร์

1) ปริมาณน้ำไหลเข้า-ออกจากจุดที่พิจารณาที่มีการตรวจวัดข้อมูล

2) ปริมาณน้ำไหลบ่าบนผิวดิน ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณน้ำในพื้นที่ศึกษา ปริมาณน้ำฝนปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน

3) ปริมาณน้ำทิ้งจากกิจกรรมหรือประเภทการใช้ประโยชน์ต่างๆ เป็นการรวบรวมขนาดและปริมาณกิจกรรมต่าง ๆ ของชุมชน อุตสาหกรรม และเกษตรกรรม เช่น น้ำทิ้งชุมชน BOD_5 เท่ากับ 105 mg/l สารแขวนลอย (SS) เท่ากับ 90 mg/l เป็นต้น

6.4.5.2 ฐานข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและคุณภาพน้ำ

เป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับสภาพอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ ความดันอากาศ ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ ความเร็วลม และข้อมูลคุณภาพน้ำที่ทำการตรวจวัดในพื้นที่ศึกษา

6.4.5.3 หลักการทำงานของแบบจำลอง QUAL2E

สมการหลักของแบบจำลอง QUAL2E คือ

$$v\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial(AcE\frac{\partial c}{\partial x})}{\partial x}dx - \frac{\partial(AcUc)}{\partial x}dx + V\frac{dc}{t} + s$$

Accumulation Dispersion Transport Advection Kinetics External Source/Sinks

.....(3)

กำหนดให้

E = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายมลสารในทิศทางการไหลของน้ำ

X = ระยะทางในแนวราบ

U = ความเร็วเฉลี่ย

S = ของเสียจากภายนอกที่เข้ามา (External Sources) ในการหลุดออกของเสีย (Sink)

6.4.5.4 ข้อดีและข้อจำกัดของแบบจำลอง QUAL2E

ข้อดีคือสามารถแสดงให้ทราบถึงรูปแบบลำน้ำและระบุถึงจุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งลำน้ำ เป็นการลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเนื่องจากแบบจำลองสามารถแนะนำทางเลือกในการกรอกข้อมูลตลอดทั้งลำน้ำเดี่ยวและลำน้ำสาขา เพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ ดัชนีคุณภาพน้ำที่สามารถศึกษา ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลาย ปริมาณความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ สารประกอบไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรท สารประกอบฟอสฟอรัสแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม เป็นต้น

ข้อจำกัดของแบบจำลอง QUAL2E คือ

1) จำนวนช่วงหลัก (Reach) ลำน้ำสามารถแบ่งได้ไม่เกิน 50 ช่วง

2) จำนวนช่วงย่อย (Element) สามารถแบ่งได้ไม่เกิน 20 ช่วงย่อยของแต่ละช่วงหลัก (Reach) และช่วงย่อยทั้งหมดมีได้ไม่เกิน 500 ช่วง

3) จำนวนต้นน้ำที่ศึกษามีไม่เกิน 10 สาย

4) จำนวนจุดบรรจบ (Joint Element) ลำน้ำสาขามีไม่เกิน 9 จุด

5) จำนวนช่วงย่อยที่เป็นแหล่งมลพิษ (Point Source) หรือจุดผันน้ำออกจากลำน้ำ (Withdrawal) มีไม่เกิน 50 จุด

6.4.6 แบบจำลอง QUAL2K

Barnwell et al. (1989) กล่าวไว้ว่า แบบจำลอง QUAL2K เป็นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสำหรับนำมาใช้แทนแบบจำลอง QUAL2E ซึ่งเป็นแบบจำลองย่อยในแบบจำลอง BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Non-Point Source) ที่พัฒนาขึ้นโดยองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. Environmental Protection Agency : U.S.EPA) ทั้งนี้เนื่องจากในกฎหมายของรัฐบาลกลางของสหรัฐอเมริการะบุให้ทุกรัฐต้องทำการศึกษาความสามารถในการรองรับของเสียสูงสุดรายวัน (Total Maximum Daily Loads) ของแหล่งน้ำ

6.4.6.1 หลักการทำงานของ QUAL2K

แบบจำลอง QUAL2K มีความเหมือนกับแบบจำลอง QUAL2E คือ เป็นแบบจำลองคุณภาพน้ำประเภท 1 มิติ ใช้จำลองกลไกการเคลื่อนที่และแพร่กระจายของมลสารในลำน้ำในลักษณะทิศทางเดียวตามทิศทางการไหลของน้ำ เป็นแบบจำลองที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ศึกษาคุณภาพน้ำ โดยมีสมการหลักเช่นเดียวกับแบบจำลอง QUAL2E ดังสมการที่ (3)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

6.4.6.2 ข้อดีของแบบจำลอง QUAL2K

Gregory et al. (2006) กล่าวว่าแบบจำลอง QUAL2K มีการพัฒนามาจากแบบจำลอง QUAL2E ในปี ค.ศ. 2003 เพื่อลดข้อจำกัดที่พบในการใช้งานแบบจำลอง QUAL2E ดังนี้

1) การแบ่งช่วงลำน้ำในการจำลองคุณภาพน้ำ ข้อจำกัดแบบจำลอง QUAL2E คือจำเป็นต้องแบ่งช่วงลำน้ำให้มีความยาวเท่ากันทุกช่วง และกำหนดให้ใส่คุณสมบัติของช่วงย่อยลำน้ำ(Elements) เพียงคุณสมบัติเดียว เช่น Headwater (H), Upstream of Junction (U), Junction (J), Point Sources (P) และ Withdrawal (W) เป็นต้น แต่แบบจำลอง QUAL2K ไม่จำเป็นต้องแบ่งช่วงลำน้ำให้เท่ากัน รวมทั้งสามารถระบุจุดระบายน้ำและมลพิษลงสู่หรือลำน้ำออกได้หลายจุดในแต่ละช่วงลำน้ำ (Multiple Loading and Withdrawals)

2) แบบจำลอง QUAL2K สามารถจำลองค่า BOD ทั้งในรูปแบบที่เป็น Fast CBOD และSlow CBOD รวมทั้งทำการจำลองค่า BOD ที่ใช้สำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์ของอนุภาคที่ไม่มีชีวิต (Non-Living Particulate) เช่น ตะกอนแขวนลอยซึ่งมีคาร์บอน ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบและสามารถจำลองปฏิกิริยาในขณะที่น้ำมีปริมาณออกซิเจนละลายน้อยหรือในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนละลายน้ำ (ค่า DO เท่ากับ 0) (Anoxia) โดยแบบจำลอง QUAL2K จะมีการจำลองปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยกระบวนการ Denitrification แทนกระบวนการ Oxidizing

3) แบบจำลอง QUAL2K ได้รับการพัฒนาในส่วนของรูปแบบและอุปกรณ์ช่วยต่าง ๆ เพื่อให้สามารถใช้งานในระบบปฏิบัติการ Windows ME/2000/XP ใช้โปรแกรม Microsoft Excel สำหรับนำเข้าข้อมูลและแสดงผลเป็นกราฟเส้น ส่วนการคำนวณใช้โปรแกรม Fortran 90 และโปรแกรมเสริมใช้ Visual Basic for Application (VBA)

7. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2Kw (G.J. Pelletier et al, 2008b)

แบบจำลอง QUAL2Kw หรือ Q2K เป็นแบบจำลองคุณภาพน้ำและลำธาร โดยพัฒนามาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2E หรือ Q2E (Brown and Barnwell, 1987) โดยที่แบบจำลอง QUAL2Kw ปรับปรุงมาจากแบบจำลอง QUAL2K ซึ่งทำการพัฒนาโดยภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัย Tufts (Chapra and Pelletier, 2003) แบบจำลอง Q2K มีความคล้ายกับแบบจำลอง Q2E ดังนี้

- เป็นแบบจำลองแบบ 1 มิติ เป็นการไหลตามขวางในลำน้ำ ซึ่งมีการเคลื่อนที่และแพร่กระจายมลสารในลำน้ำในลักษณะทิศทางเดียวตามทิศทางการไหลของน้ำ ลำน้ำมีการผสมกันอย่างทั่วถึงระหว่างแนวดิ่งและแนวราบ

- ใช้คาดการณ์คุณภาพน้ำในสภาวะที่คงตัว (Steady State) คือ มีอัตราการไหลของน้ำคงที่

- ความร้อนและอุณหภูมิถูกจำลองด้วยฟังก์ชั่นของอุตุนิยมวิทยาในแต่ละช่วงของแต่ละวัน

- ตัวแปรคุณภาพน้ำทั้งหมดถูกจำลองในแต่ละช่วงเวลาในแต่ละวัน

- จำลองความร้อนและแหล่งมลสารทั้งแหล่งกำเนิดที่แน่นอนและไม่แน่นอน

สำหรับสิ่งที่เพิ่มขึ้นมาใน QUAL2Kw สรุปได้ดังนี้

- Q2Kw ทำงานในระบบปฏิบัติการวินโดว์ โดยโปรแกรมสร้างจาก Visual Basic for Application (VBA) โดยใช้งานผ่านโปรแกรม Excell

- ใน Q2E ระบบการแบ่งลำน้ำจะแบ่งเป็น Reach ซึ่งประกอบไปด้วยหลาย ๆ Element ที่มีระยะทางเท่ากัน แต่ใน Q2Kw ไม่มีการแบ่งดังกล่าวโดยผู้ใช้สามารถใส่ค่าที่ต่อเนื่องของ Loading และ Abstraction ลงใน Reach ใดก็ได้

- Q2Kw ใช้ 2 รูปแบบของ Caboneceous BOD เป็นตัวแทนของ Organic Carbon โดยมีรูปแบบดังนี้ คือ Slow Oxidizing Form (Slow CBOD) และ Rapidly Oxidizing Form (Fast CBOD)

- Anoxia โดย Q2Kw ได้ปรับให้มีความเหมาะสม โดยที่ลดค่า Oxidation Reaction เป็นศูนย์เมื่อระดับออกซิเจนต่ำ ตัวอย่างเช่น Denitrification จะถูกจำลองโดย First – Order Reaction ซึ่งเป็นที่แน่ชัดว่าความเข้มข้นของออกซิเจนมีค่าต่ำ

- ความสัมพันธ์ร่วมกันของ Sediment-Water โดย Sediment-Water Fluxed ของ Dissolved Oxygen และ Nutrients จะถูกจำลองอยู่ภายใน โดย Flux ของออกซิเจน (SOD) และ Nutrients จะถูกจำลองโดยเป็นฟังก์ชันของการตกตะกอนของ Particulate Organic Matter, ปฏิกิริยาใน Sediment ความเข้มข้นของสารในรูปที่ละลายน้ำที่อยู่ในมวลน้ำ

- ในเรื่องของ pH โดยทั้ง Alkalinity และ Total Inorganic Carbon จะถูกจำลองโดย pH ของแม่น้ำ โดยที่ขึ้นกับปริมาณทั้งสองนี้

- Pathogen เช่น Fecal Coliform Bacteria จะถูกจำลองโดยการลดลงของ Pathogen ที่จะถูกอธิบายด้วยฟังก์ชันของอุณหภูมิ แสงและการตกตะกอน

- กระบวนการเมตาบอลิซึมในบริเวณชั้นใต้ผิวพื้นท้องน้ำ ถูกจำลองให้เกิดการแลกเปลี่ยนบริเวณชั้นใต้ผิวพื้นท้องน้ำและน้ำที่อยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคของตะกอนดิน รวมถึงการจำลองกระบวนการเมตาบอลิซึมกลุ่มของจุลินทรีย์หลายชนิดซึ่งมีทั้งใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนในบริเวณชั้นใต้ผิวพื้นท้องน้ำ

- การปรับเทียบแบบจำลองแบบอัตโนมัติ โดยการใช้กระบวนการ Genetic algorithm เป็นการหาค่าประมาณที่สูงสุดสำหรับพารามิเตอร์ทางด้านจลนพลศาสตร์ถูกเปรียบเทียบข้อมูลของแบบจำลองกับข้อมูลจริงได้ใกล้เคียงกันมากที่สุด

- การจำลองแบบ Monte Carlo simulation ใช้ในแบบจำลอง YASAIw ตามหลักการของการจำลองโดยใช้เลขสุ่ม (Random Number) มาช่วยในการคาดการณ์ พยากรณ์ หาคำตอบที่ต้องการศึกษา สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ขั้นตอนของวิธีการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลที่ใช้กันในปัจจุบันแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ คือ

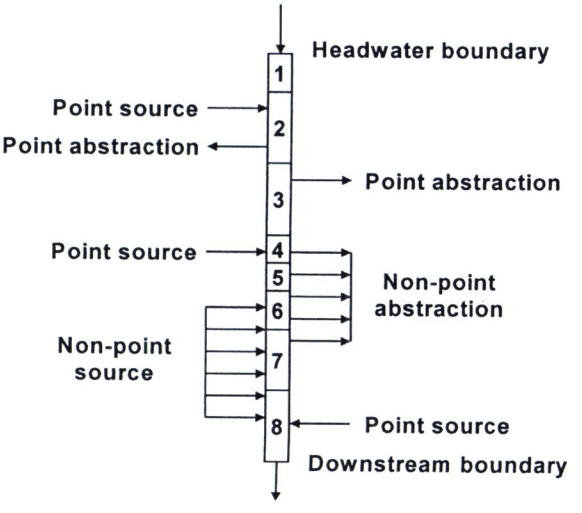
1) การสร้างตัวเลขสุ่ม จะใช้ตัวเลขสุ่มมาช่วยในการหาคำตอบของปัญหาโดยลักษณะของตัวเลขสุ่มที่นำมาใช้ จะมีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอในช่วง (0, 1) ตัวเลขสุ่มแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกัน และมีช่วงยาวก่อนจะเกิดเลขสุ่มซ้ำ (มีวัฏจักรยาว)

2) การนำตัวเลขสุ่มมาประยุกต์ใช้กับปัญหาที่ต้องการศึกษา ซึ่งขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา บางปัญหาอาจจะไม่ใช่ตัวเลขสุ่มโดยตรง แต่จะนำไปผลิตเป็นเลขสุ่มแบบอื่นต่อไป

3) การทดลองกระทำ เมื่อนำตัวเลขสุ่มมาประยุกต์ให้เข้ากับปัญหาที่ต้องการศึกษาได้แล้ว ขั้นต่อไปคือ การทดลองโดยกระบวนการของการสุ่ม (Random Process) มากระทำในลักษณะซ้ำ ๆ กันหลาย ๆ ครั้ง เพื่อหาคำตอบที่ต้องการ

7.1 Segmentation and Hydraulic

เป็นการจำลองแม่น้ำสาขาหลักที่ทำให้ทราบแหล่งกำเนิดที่แน่นอน ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การแบ่งลำน้ำในแบบจำลอง QUAL2Kw (G.J. Pelletier et al., 2008b)

7.2 Flow Balance

สมดุลการไหลแบบคงที่ (Steady - State Flow Balance) ที่ใช้ในแบบจำลอง QUAL2K ดังสมการ (4)

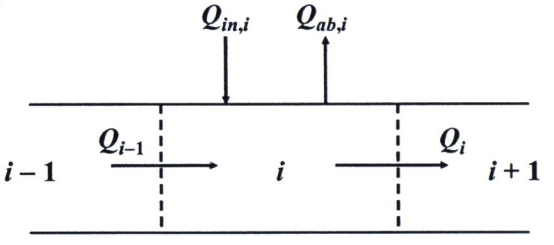
$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{ab,i} \qquad \text{.....(4)}$$

โดยที่ Q_i = อัตราการไหลจาก Reach i ไปสู่ Reach i+1 (m^3/d)

Q_{i-1} = อัตราการไหลจาก Reach i ที่อยู่เหนือน้ำ (m^3/d)

$Q_{in,i}$ = อัตราการไหลที่เพิ่มเข้าสู่ Reach i (m^3/d)

$Q_{ab,i}$ = อัตราการไหลที่ออกจาก Reach i (m^3/d)



ภาพที่ 5 Reach Flow Balance (G.J. Pelletier et al., 2008b)

Total Inflow สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Q_{in,i} = \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} + \sum_{j=1}^{npsi} Q_{nps,i,j} \qquad \text{.....(5)}$$

โดยที่ $Q_{ps,i,j}$ = อัตราการไหลเข้าลำดับที่ j ของ Point Source ที่เข้าสู่ Reach i (m^3/d)

$_{ps,i,j}$ = จำนวนรวมของ Point Sources ที่เข้าสู่ Reach i

$Q_{nps,i,j}$ = อัตราการไหลเข้าลำดับที่ j ของ Non - Point Source ที่เข้าสู่ Reach i (m^3/d)

$_{nps,i,j}$ = จำนวนรวมของ Non - Point Sources ที่เข้าสู่ Reach i

Total Outflow สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Q_{ab,i} = \sum_{j=1}^{pai} Q_{pa,i,j} + \sum_{j=1}^{npai} Q_{npa,i,j} \qquad \text{.....(6)}$$

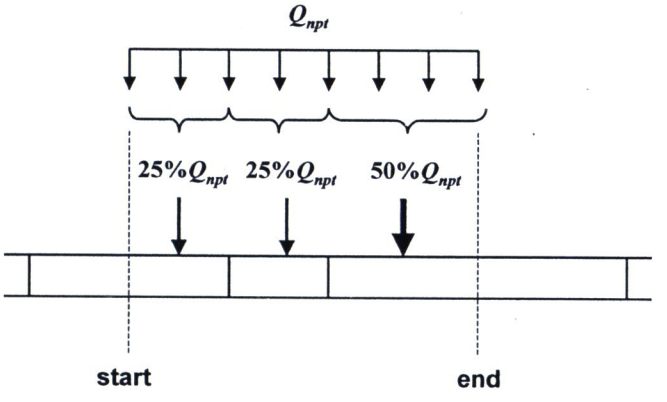
โดยที่ $Q_{pa,i,j}$ = อัตราการไหลออกลำดับที่ j ของ Point Abstraction ที่เข้าสู่ Reach i (m^3/d)

$_{pa,i,j}$ = จำนวนรวมของ Point Abstraction ที่เข้าสู่ Reach i

$Q_{npa,i,j}$ = อัตราการไหลออกลำดับที่ j ของ Non - Point Abstraction ที่เข้าสู่ Reach i (m^3/d)

$_{npa,i,j}$ = จำนวนรวมของ Non - Point Abstraction ที่เข้าสู่ Reach i

โดยแหล่งกำเนิดของเสียที่เป็นแบบ Non-Point Source และ Abstraction จะจำลองในรูปแบบของ Line Source ดังภาพที่ 6 ซึ่ง Non-Point Source และ Abstraction จะถูกกำหนดโดยกำหนดจุดกิโลเมตรเริ่มต้นและจุดกิโลเมตรสิ้นสุด



ภาพที่ 6 ลักษณะของ Non-Point Source Flow ที่เข้าสู่ Reach (G.J. Pelletier et al., 2008b)

7.3 Hydraulic Characteristic

ในแต่ละครั้งที่ Out Flow ของแต่ละ Reach ถูกคำนวณนั้น ความลึกของน้ำและความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำจะถูกคำนวณจาก 1 ใน 3 วิธี คือ Weir Rating Curves และ Manning Equations สำหรับงานวิจัยครั้งนี้คำนวณโดยใช้ Rating Curves โดยเป็นสมการที่แสดงถึงข้อมูลการไหลของน้ำที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของกระแสน้ำและความลึกของน้ำ

Rating Curves

$$U = aQ^b \quad \text{.....(7)}$$

$$H = \alpha Q^\beta \quad \text{.....(8)}$$

โดยที่ a , b , α และ β เป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้จากความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำและ Rating Curves ของกระแสน้ำ และนำค่าความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำและความลึกของน้ำแทนที่ด้วยพื้นที่หน้าตัดแม่น้ำและความกว้าง ดังสมการ

$$A_c = \frac{Q}{U} \quad \text{.....(9)}$$

$$B = \frac{A_c}{H} \quad \text{.....(10)}$$

เลขยกกำลัง b และ β จากตารางที่ 8 และผลรวมของเลขยกกำลัง b และ β จะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 ถ้าผลรวมเท่ากับ 1 หมายถึงลำน้ำเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ตารางที่ 8 ค่า Exponent ของสมการ Rating Curves ที่ใช้ในการคำนวณจากความเร็วของกระแสน้ำและระดับของน้ำจากข้อมูลการไหลของน้ำ (Barnwell et al., 1989)

Equation	Exponent	ค่า	Range
$U = aQ^b$	b	0.43	0.4-0.6
$H = \alpha Q^\beta$	β	0.45	0.3-0.5

7.4 Mass Balance

สมการที่ 11 Mass Balance ที่ใช้กับมลสารต่าง ๆ ใน Reach ยกเว้น Bottom Algae สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i}c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i}c_i - \frac{Q_{ab,i}}{V_i}c_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i}(c_{i-1} - c_i) + \frac{E'_i}{V_i}(c_{i+1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i + \frac{E'_{hyp,i}}{V_i}(c_{2,i} - c_i)$$

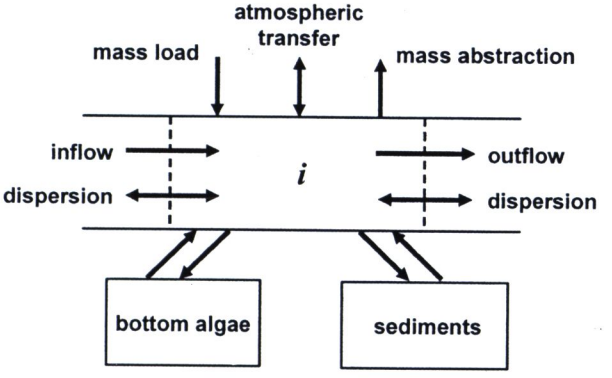
.....(11)

โดยที่ W_i = ภาระบรรทุกของมลสารที่เข้ามาสู่ Reach i (g/d หรือ mg/d)

S_i = การเกิดและการสลายของมลสารที่เกิดจากปฏิกิริยาและกระบวนการเคลื่อนย้ายมลสาร (g/m^3/d หรือ mg/m^3/d)

$E'_{hyp,i}$ = การแลกเปลี่ยนมลสารระหว่างผิวน้ำและตะกอนบริเวณพื้นใต้ผิวน้ำที่มีการไหลของมลสารน้ำใน Reach i (m^3/d)

และความแตกต่างของความเข้มข้นบริเวณผิวน้ำ(c_i) และความเข้มข้นตะกอนบริเวณพื้นใต้ผิวน้ำ ($c_{2,i}$)



ภาพที่ 7 Mass Balance (G.J. Pelletier et al., 2008b)

7.5 Dissolved Oxygen

ออกซิเจนละลายน้ำนั้นจะเพิ่มขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชแต่มันจะลดลงจากกระบวนการ Fast CBOD Oxidation, Nitrification และการหายใจของพืช นอกจากนั้นยังขึ้นกับภาวการณ์อิ่มตัวของน้ำซึ่งมีผลในกระบวนการ Reaeration

$$S_o = r_{oa}\text{PhytoPhoto} + r_{od}\text{BotAlgPhoto} - r_{oc}\text{FastCBODoxid} - r_{oc}\text{SlowCBODoxid} - r_{on}\text{NH4Nitr} - r_{oa}\text{PhytoResp} - r_{od}\text{BotAlgResp} + \text{OxReaer} - \text{CODoxid} \quad \text{.....(12)}$$

$$\text{OxReaer} = k_a(T)(o_s(T,\text{elev}) - o) \quad \text{.....(13)}$$

โดยที่ k_a (T) = สัมประสิทธิ์การเติมออกซิเจนโดยขึ้นกับอุณหภูมิ (/d)

o_s(T,elev) = ความเข้มข้นที่อิ่มตัวของออกซิเจน (mgO_2/L) ที่อุณหภูมิ (T) และความสูงเหนือระดับน้ำทะเล

7.6 Oxygen Saturation

สมการที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างออกซิเจนอิ่มตัวกับอุณหภูมิ แสดงได้ดังนี้

$$\ln o_s(T,0) = -139.34411 + \frac{1.575701.10^5}{T_a} - \frac{6.642308.10^7}{T_a^3} + \frac{1.243800.10^{10}}{T_a^3} - \frac{8.621949.10^{11}}{T_a^4} \quad \text{.....(14)}$$

โดยที่ $o_s(T,0)$ = ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนที่ละลายในน้ำบริสุทธิ์ที่ความดัน 1 atm (mgO_2/L)

T_a = Absolute Temperature (K) โดยที่ $T_a = T + 273.15$

ผลของความสูงคำนวณดังนี้

$$o_s(T,elev) = e^{\ln o_s(T,o)}(1 - 0.0001148elev)$$

โดยที่ elev = ความสูงของระดับน้ำทะเล (The Elevation Above Sea Level)(m)

7.7 Reaeration Formulas

โดยสัมประสิทธิ์การเติมอากาศนั้นสามารถกำหนดได้ใน Reach Worksheet ถ้าไม่ได้กำหนดค่าดังกล่าวสัมประสิทธิ์การเติมอากาศสามารถกำหนดได้จากสูตรใดสูตรหนึ่งข้างล่างนี้

O'Connor-Dobbins

$$k_a(20) = 3.93\frac{U^{0.5}}{H^{1.5}} \quad \text{.....(15)}$$

Churchill

$$k_{ah}(20) = 5.026\frac{U}{H^{1.67}} \quad \text{.....(16)}$$

Owens-Gibbs

$$k_{ah}(20) = 5.32\frac{U^{0.67}}{H^{1.85}} \qquad \text{.....(17)}$$

โดยที่ U = ค่าเฉลี่ยของความเร็วของกระแสน้ำ [m/s]

H = ค่าเฉลี่ยของความลึกของน้ำ [m]

การเติมอากาศสามารถกำหนดให้คำนวณแบบ Internally ได้ โดยอาศัยรูปแบบที่พัฒนาโดย Covar (1976)

- ถ้า H < 0.61 เมตร ใช้สูตรของ Owens-Gibbs
- ถ้า H > 0.61 เมตร และ $H > 3.45U^{2.5}$ ใช้สูตรของ O'Connor-Dobbin
- นอกเหนือจากนี้จะใช้สูตร Churchill

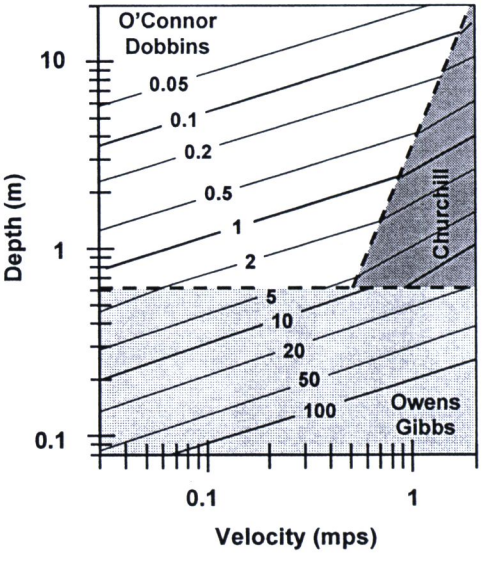
การวิจัยครั้งนี้ ทำการประเมินคุณภาพน้ำแม่น้ำชี โดยกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การเติมอากาศของการถ่ายเทออกซิเจนในแหล่งน้ำ ใน Reach Worksheet ในโปรแกรม QULA2Kw version 5.1 โดยเปรียบเทียบจากค่าเฉลี่ยของความลึกของแม่น้ำชี มีค่าอยู่ในช่วง 1.76-3.96 m และค่าเฉลี่ยของความเร็วของกระแสน้ำของแม่น้ำชี มีค่าในช่วง 0.009-0.013 m/s พบว่า

จากสมการของ Owens-Gibbs ที่ใช้กับแม่น้ำที่มีค่าเฉลี่ยของความลึกของน้ำมีค่าน้อยกว่า 0.61 m ซึ่งค่าเฉลี่ยของความลึกของแม่น้ำชีมีค่ามากกว่า 0.61 m จึงไม่เลือกใช้สมการของ Owens-Gibbs

จากสมการ Churchill ที่ใช้กับแม่น้ำที่มีความลึกในช่วง 0.61-3.35 m และค่าเฉลี่ยของความเร็วของกระแสน้ำ อยู่ในช่วง 0.55-1.5 m/s ซึ่งค่าเฉลี่ยของความลึกของแม่น้ำชี อยู่นอกช่วงดังกล่าว และค่าเฉลี่ยของความเร็วของกระแสน้ำของแม่น้ำชี อยู่นอกช่วงดังกล่าว จึงไม่เลือกใช้สมการของ Churchill

จากสมการ O'Connor-Dobbin ที่ใช้กับแม่น้ำที่มีอัตราการไหลต่ำ ที่มีค่าความลึกมากกว่า 0.61 m และความลึกของน้ำ มากกว่า $3.45U^{2.5}$ ซึ่งค่าเฉลี่ยของความลึกของแม่น้ำชี อยู่ในช่วงดังกล่าว สมการ O'Connor-Dobbin เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด จึงนำมาคำนวณด้วยสมการ O'Connor-Dobbin พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การเติมอากาศในแหล่งน้ำ มีค่าอยู่ในช่วง 0.058-0.399 d^{-1} และทดสอบนำค่าสัมประสิทธิ์การเติมอากาศดังกล่าวลงในแบบจำลอง เปรียบเทียบค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ได้จากแบบจำลองกับค่าออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ย จากสำนักนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น ซึ่งมีค่าแตกต่างกัน

ดังนั้น จึงได้กำหนด Reaeration Model เป็นแบบ Internal ซึ่งเป็นค่า Default จากแบบจำลอง เพื่อให้สามารถคำนวณแบบ Internally ที่ขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยของความลึกของน้ำและค่าเฉลี่ยของความเร็วของกระแสน้ำได้อย่างเหมาะสม



ภาพที่ 8 อัตราการเติมอากาศ (d^{-1}) โดยขึ้นกับความลึก (Depth) และความเร็ว (Velocity) (Covar, 1976)

7.8 pH

จากหลักสมดุลสมการ Mass Balance และ Electroneutrality Equations ได้แสดงถึงลักษณะของน้ำจืดที่เกิดผลจาก Inorganic Carbon ไว้ดังนี้ (Stumm and Morgan,1996)

$$K_1 = \frac{[HCO_3^-][H^+]}{[H_2CO_3^*]} \quad \text{.....(18)}$$

$$K_2 = \frac{[CO_3^{2-}][H^+]}{[H_2CO_3^-]} \quad \text{.....(19)}$$

$$K_w = [H^+][OH^-] \quad \text{.....(20)}$$

$$c_T = [HCO_3^-]+[H_2CO_3^-]+[CO_3^{2-}] \quad \text{.....(21)}$$

$$Alk = [HCO_3^-]+2[CO_3^-]+[OH^-]-[H^+] \quad \text{.....(22)}$$

โดยที่ K_1, K_2, และ K_w คือ Acidity Constants

Alk = Alkalinity (eqL^{-1})

H_2CO_3 = ผลรวมของ Dissolved Carbon Dioxide และ Carbonic Acid

HCO_3 = Bicarbonic Acid

CO_3^{2-} = Carbonic Acid

H^+ = Hydronium Ion

OH^- = Hydroxyl Ion

c_T = Total Inorganic Carbon Concentration (mole L^{-1})

alkalinity นั้นมีหน่วย คือ eq/L แต่ในข้อมูลสำหรับ Input และ Output จะแสดงในหน่วย mg$CaCO_3$/L ซึ่งทั้ง 2 หน่วยมีความสัมพันธ์กัน คือ

$$Alk(mgCaCO_3/L) = 50{,}000.Alk\ (eq/L) \quad \text{.....(23)}$$

Equilibrium Constants ถูกแก้ไขตามอุณหภูมิโดย

Harned and Hamer (1993):

$$pK_w = \frac{4787.3}{T_a} + 7.1321\log_{10}(T_a) + 0.010365T_a - 22.8 \quad \text{.....(24)}$$

Plummer and Busenberg (1982):

$$\log K_1 = -356.3094 - 0.06091964T_a + 21834.3/T_a + 126.8339\log T_a - 1{,}684{,}915/T_a^2 \quad \text{.....(25)}$$

Plummer and Busenberg (1982):

$$\log K_2 = -107.8871 - 0.03252849T_a + 5151.79/T_a + 38.9256\log T_a - 563{,}713.9/T_a^2 \quad \text{.....(26)}$$

ระบบที่เป็น Nonlinear ของ 5 สมการข้างต้นที่เกิดพร้อมกันนั้น สามารถแก้สมการสำหรับ 5 ตัวแปรที่ไม่ทราบค่าได้ : [H2CO_3*], [HCO_3^-], [CO_3^{2-}], [OH^-] และ [H^+] วิธีการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพนั้นได้มาจากการรวมสมการทั้งสามข้างต้นเพื่ออธิบายปริมาณ (Stumm and Morgan, 1996)

$$\alpha_0 = \frac{[H^+]^2}{[H^+]^2 + K_1[H^+] + K_1K_2} \quad \text{.....(27)}$$

$$\alpha_1 = \frac{K_1[H^+]^2}{[H^+]^2 + K_1[H^+] + K_1K_2} \qquad \text{.....(28)}$$

$$\alpha_2 = \frac{K_1K_2}{[H^+]^2 + K_1[H^+] + K_1K_2} \qquad \text{.....(29)}$$

โดยที่ α_0, α_1, α_2 = The Fraction of Total Inorganic Carbon Dioxide, Bicarbonate และ Carbonate ตามลำดับ สมการดังกล่าวถูกรวมเพื่อใช้ดังนี้

$$Alk = (\alpha_1 + 2\alpha_2)c_T + \frac{K_w}{[H^+]} - [H^+] \qquad \text{.....(30)}$$

ด้วยเหตุนี้การแก้ปัญหาสำหรับ pH จึงสนใจที่ $[H^+]$

$$f([H^+]) = (\alpha_1 + 2\alpha_2)c_T + \frac{K_w}{[H^+]} - [H^+] - Alk \qquad \text{.....(31)}$$

โดยที่ pH ถูกคำนวณด้วย

$$pH = -\log_{10}[H^+] \qquad \text{.....(32)}$$

7.9 Temperature Model

Heat Balance ใช้อธิบายถึง Heat Transfer ของ Reach ต่างๆ ที่อยู่ติดกัน ความร้อนจากภายนอก ความร้อนที่ออกไป ความร้อนจากบรรยากาศ และจากตะกอน ซึ่ง Heat Balance สำหรับ Reach i สามารถเขียนได้สมการที่ 33 ดังนี้

$$\frac{dT_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i}T_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i}T_i - \frac{Q_{ab,i}}{V_i}T_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i}(T_{i-1} - T_i) + \frac{E'_i}{V_i}(T_{i+1} - T_i)$$

$$+ \frac{W_{h,i}}{\rho_w C_{pw} V_i}\left(\frac{\text{m}^3}{10^6\ \text{cm}^3}\right) + \frac{J_{h,i}}{\rho_w C_{pw} H_i}\left(\frac{\text{m}}{100\ \text{cm}}\right) + \frac{J_{s,i}}{\rho_w C_{pw} H_i}\left(\frac{\text{m}}{100\ \text{cm}}\right)$$

.....(33)

โดยที่ T_i = อุณหภูมิในช่วง Reach i

t = เวลา (d)

E_i = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในช่วง Reach i and i+1(m^3/d)

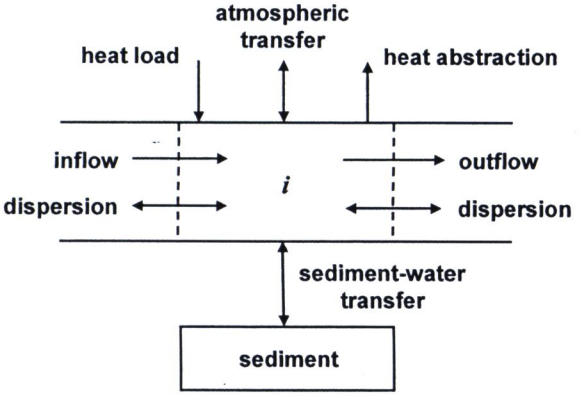
$W_{h,i}$ = ปริมาณความร้อนสุทธิจากแหล่งกำเนิดมลพิษที่แน่นอนและไม่แน่นอนภายในช่วง Reach i (cal/d)

ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำ (g/cm^3)

C_{pw} = ความจำเพาะของน้ำ (cal/(g°C)

$J_{h,i}$ = พลังงานความร้อนบริเวณผิวของน้ำและอากาศ (cal/(cm^3d))

$J_{s,i}$ = พลังงานความร้อนบริเวณตะกอนใต้น้ำ (cal/(cm^3d))



ภาพที่ 9 Heat Balance (G.J. Pelletier et al., 2008b)

8. ประโยชน์และการประยุกต์ใช้แบบจำลอง

แบบจำลองเป็นเครื่องมือที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาพฤติกรรมของระบบหรือสิ่งที่สนใจในกรณีที่ไม่ศึกษาระบบได้โดยตรง โดยการจำลองสถานการณ์ของระบบ ซึ่งข้อมูลที่ได้สามารถใช้เป็นพื้นฐานในการตัดสินใจหรือใช้ศึกษา เพื่อเตรียมการป้องกัน และรับมือกับเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นโดยไม่ต้องรอให้เกิดสถานการณ์จริงก่อน นอกจากนี้ยังช่วยลดต้นทุน ค่าใช้จ่าย ก่อนการดำเนินการในโครงการต่าง ๆ ที่ใช้งบประมาณสูง สำหรับประเทศไทย การสร้างแบบจำลองและการจำลองสถานการณ์ยังมีการใช้งานอยู่ในวงจำกัด เช่น การศึกษาด้านสิ่งแวดล้อม การศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ เป็นต้น

การใช้แบบจำลองทางสิ่งแวดล้อมเพื่อทำนายผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นภายใต้สภาพปัญหาที่เป็นความเสี่ยงในรูปแบบต่าง ๆ ของพื้นที่โดยแบบจำลองส่วนใหญ่สร้างขึ้นภายใต้

กฎเกณฑ์ทางคณิตศาสตร์ และระบบข้อมูลที่น่าเชื่อถือด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถทำนายผลที่ได้ใกล้เคียงกับความจริงได้ และจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการบริหารจัดการ การวางแผนป้องกัน และเป็นแนวทางในการดำเนินนโยบายสิ่งแวดล้อมของชุมชนได้อย่างมีเหตุผลและมีประสิทธิภาพ ซึ่งปัจจุบันมีการพัฒนาโปรแกรมและรูปแบบของแบบจำลองขึ้นมาและหลากหลายทั้งด้านสิ่งแวดล้อมทางน้ำ น้ำใต้ดิน น้ำทะเล การแพร่กระจายของสารพิษ การแพร่กระจายของน้ำมัน และสิ่งแวดล้อมทางอากาศ และเสียง เป็นต้น โปรแกรมต่าง ๆ ที่พัฒนามีทั้งข้อดี ข้อเสีย ราคา หรือคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้ที่ต้องเลือกใช้ตามความเหมาะสม ซึ่งการพัฒนาและความรุดหน้าของเทคโนโลยีทางด้านแบบจำลองที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลให้นักวิชาการและนักวิจัยหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างงานวิจัยและทำให้เกิดประโยชน์ต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมทั้งระดับชาติและระดับโลก (ศูนย์แบบจำลองและประเมินความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม, 2547)

9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

9.1 คุณภาพน้ำแม่น้ำชี

สรัญกริช นามไพร (2546) ได้ศึกษาผลกระทบของการเลี้ยงปลาในกระชังต่อคุณภาพน้ำในแม่น้ำชี พบว่า โดยทั่วไปในสัปดาห์ที่ 1 ซึ่งเป็นช่วงที่ปลามีการกินอาหารมากที่สุด และอุณหภูมิอากาศสูงที่สุด ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด มีค่ามากที่สุด แต่ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าน้อยที่สุด ส่วนค่า pH มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรคุณภาพน้ำใน 24 ชั่วโมงทั้งบริเวณต้นน้ำเหนือกระชังและบริเวณภายในกระชัง พบว่า ทั้งสองบริเวณมีแบบแผนที่เหมือนกัน

มนตรี ยะราไสย์ (2550) ได้ศึกษาคุณภาพน้ำของแม่น้ำชีบริเวณกระชังปลาในจังหวัดมหาสารคาม ศึกษาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และปริมาณความต้องออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) พบว่า 1) ปลาบ้านกอก-หนองผือ มีมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินอยู่ในประเภทที่ 3 และ 4 2) บ้านขี้เหล็ก-หินปูน มีมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินอยู่ในประเภทที่ 3 และ 4 ซึ่งเป็นผลมาจากการเลี้ยงปลาในกระชังและการใช้ประโยชน์ของประชาชนริมฝั่งแม่น้ำรวมถึงการระบายน้ำเสียจากชุมชน 3) กระชังปลาบ้านม่วง มีมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน อยู่ในประเภทที่ 3 เนื่องจากได้รับผลกระทบจากการปล่อยของเสียจากกิจกรรมต่าง ๆ ของชุมชน

9.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2E

Joy (1994) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการรองรับของเสียสูงสุดรายวันในแม่น้ำ Snoqualmie ประเทศสหรัฐอเมริกา ในช่วงฤดูแล้ง โดยใช้แบบจำลอง QUAL2E ดัชนีที่ทำการศึกษาได้แก่ ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี แอมโมเนีย และปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ผลการศึกษาพบว่า มีปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียอยู่ในสภาวะวิกฤติ ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีและแอมโมเนียมีปริมาณที่สูงกว่ามาตรฐาน และได้เสนอแนวทางการจัดการคุณภาพน้ำ โดยการจัดทำแผนบำบัดน้ำเสียจาก 3 เทศบาล เพื่อลดปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีและแอมโมเนีย

Chatprasert (2000) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง QUAL2E ศึกษาคุณภาพน้ำในแม่น้ำนครนายกซึ่งเป็นลุ่มน้ำขนาดเล็ก โดยดัชนีที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลาย ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี แอมโมเนีย ไนโตรเจน ไนไตรท์ไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน ฟอสฟอรัสละลายและอุณหภูมิ จากการศึกษาพบว่า ภายหลังจากที่ได้มีการปรับเทียบแบบจำลองแล้ว สามารถนำมาจำลองกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในลำน้ำ โดยค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดจริง

ชวลิต รัตนธรรมกุล และทรงฤทธิ์ นนทนำ (2545) อ้างถึงใน สุรินทร์ สุขุมาลานนท์ (2547) ได้ศึกษาการใช้แบบจำลอง QUAL2E เพื่อประเมินความสามารถของแม่น้ำกลองในการรองรับมลพิษ โดยพิจารณาผลของแหล่งกำเนิดน้ำเสีย 2 ประเภท คือ แหล่งกำเนิดที่แน่นอนและแหล่งกำเนิดที่ไม่แน่นอน ในการทำนายคุณภาพน้ำในส่วนของปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและแอมโมเนีย พบว่า แบบจำลองสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในลำตลอดระยะทางในพื้นที่ศึกษาได้ใกล้เคียงกับข้อมูลที่สำรวจในภาคสนาม รวมทั้งมีการประเมินความสามารถสูงสุดในการรองรับมลพิษทางน้ำ

ทรงศักดิ์ วิชุมา (2547) ทำการศึกษาสมรรถนะการรองรับปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี และสารแขวนลอยในลุ่มน้ำวัง โดยทำการศึกษาสถานการณ์คุณภาพน้ำในช่วงน้ำหลากและช่วงแล้ง และทำการประเมินภาระมลพิษจากแหล่งกำเนิดประเภทต่าง ๆ พบว่า ความเข้มข้นของมลสารที่มาจากชุมชนมีมากที่สุด รองลงมา คือ แหล่งอุตสาหกรรม และเกษตรกรรม ตามลำดับ และมีการใช้แบบจำลอง QUAL2E ผลการศึกษาโดยใช้แบบจำลองพบว่า หากทุกเทศบาลมีระบบบำบัดน้ำเสียจะทำให้ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีของแม่น้ำวัง มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำประเภทที่ 2 ส่วนกรณีเทศบาลนครลำปางมีระบบบำบัดน้ำเสีย คุณภาพน้ำจะไม่แตกต่างจากปัจจุบัน

รัตน์เกล้า อินทรสัตยพงศ์ (2547) ทำการศึกษาสมรรถนะการรองรับปริมาณอินทรีย์สารในแม่น้ำยม โดยทำการศึกษาสถานการณ์คุณภาพน้ำ และใช้แบบจำลอง QUAL2E ทำการประเมินสมรรถนะในการรองรับของเสียประเภทอินทรีย์สาร ดัชนีที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลายและปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี ผลการศึกษาพบว่า ปัญหาคุณภาพน้ำในแม่น้ำยม มีสาเหตุหลักมาจากแหล่งชุมชนโดยคุณภาพน้ำในช่วงที่ไหลผ่านชุมชนเมืองมีแนวโน้มเสื่อมโทรมมาก แบบจำลองที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำหนดแนวทางการจัดการมลพิษจากเกษตรกรรม ชุมชนและอุตสาหกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำ

อชิระ วังไธสง (2548) ได้ศึกษาความสามารถในการรองรับปริมาณสารอินทรีย์ในรูปบีโอดีและปริมาณออกซิเจนละลายในลุ่มน้ำปิง โดยแบบจำลอง QUAL2E พบว่า ค่าที่ได้จากการตรวจวัดภาคสนามมีความสอดคล้องและสัมพันธ์กับค่าที่ได้จากแบบจำลองโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในระดับสูง (R^2>0.600) โดยจำลองสถานการณ์การก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียในเทศบาลนครเชียงใหม่ เทศบาลเมืองตาก เทศบาลกำแพง และเทศบาลนครสวรรค์ พบว่า เมื่อมีการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียทำให้ความสามารถในการรองรับปริมาณสารอินทรีย์ในรูปบีโอดีและปริมาณออกซิเจนละลายเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสถานการณ์คุณภาพน้ำในปัจจุบันและมาตรฐานคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดิน

9.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2K

นฤชัย คูณทอง (2548) ได้ศึกษาประเมินมลพิษในแม่น้ำปราจีนบุรีโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2K ใน 2 ช่วงฤดู คือ ช่วงฤดูฝนและช่วงฤดูแล้ง โดยพารามิเตอร์ที่ศึกษาได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี อุณหภูมิ ความเป็นกรดด่าง แอมโมเนีย ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสรวม พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2K สามารถทำนายค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำในช่วงฤดูฝนได้แตกต่างจากค่าที่วัดได้จากสถานีวัดคุณภาพน้ำของกรมควบคุมมลพิษร้อยละ 7.97, 10.94, 0.39, 2.18, 14.10, 20.20 และ 23.35 ตามลำดับ ส่วนในช่วงฤดูแล้งมีความแตกต่างร้อยละ 17.41, 21.78, 1.43, 1.10, 29.33, 27.39 และ 93.70 ตามลำดับ และทำนายค่าพารามิเตอร์แตกต่างจากค่าที่ได้จากการออกภาคสนามร้อยละ 8.05, 31.98, 5.22, 3.00, 59.45, 18.50 และ 26.83 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์คุณภาพน้ำในอนาคต พบว่า คุณภาพน้ำของแม่น้ำปราจีนบริเวณเขตอำเภอศรีมหาโพธิ์ในช่วงฤดูแล้งจะมีคุณภาพต่ำลงและไม่เหมาะสมต่อการบริโภคและอุปโภค เนื่องจากมีค่า BOD สูงกว่า 4 mg/l ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4

โชคชัย เกตุสถิต (2549) ได้ประเมินคุณภาพน้ำแม่น้ำน่านในจังหวัดพิษณุโลก โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2K แล้วทำการคาดการณ์คุณภาพน้ำและสมรรถนะการรองรับมลพิษอินทรีย์ทางน้ำของแม่น้ำน่านในสภาวะวิกฤตอีก 10 ปีข้างหน้า พ.ศ. 2559 พบว่า มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ อยู่ในช่วง 3.46 – 7.61 mg/l ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี อยู่ในช่วง 1.74 – 2.56 mg/l จะจัดอยู่ประเภทที่ 3 และ 4 ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน และความสามารถในการรองรับมลพิษของแม่น้ำน่านที่ไหลผ่านจังหวัดพิษณุโลก ในปี พ.ศ. 2559 พบว่า ช่วงที่ 2 ช่วงไหลผ่านเทศบาลนครพิษณุโลก จะมีความสามารถรองรับมลสารในรูปของบีโอดี ได้เท่ากับ 589.94 kg/d น้อยที่สุด

ทิพาพร เวชกามา (2550) ได้ประเมินภาระมลพิษที่เกิดจากแหล่งกำเนิดมลพิษที่แน่นอนและไม่แน่นอนในพื้นที่ลุ่มน้ำลำเซบาย และคาดการณ์คุณภาพน้ำในลุ่มน้ำลำเซลาย โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2K โดยแบ่งลำเซบายออกเป็น 4 ช่วง ศึกษาดัชนีคุณภาพน้ำ 2 ดัชนี คือ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี ในช่วงแล้งและในช่วงน้ำหลาก พบว่า เมื่อใช้แบบจำลอง QUAL2K ประมวลคุณภาพน้ำและปรับเทียบโดยใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดจริง พบว่า ลำเซบายจะสามารถรองรับของเสียสูงสุดในช่วงหน้าแล้งและช่วงน้ำหลาก เท่ากับ 2,259.15 และ 45,534.25 kg/d และการนำแบบจำลอง QUAL2K ไปประยุกต์ใช้ในการคาดการณ์คุณภาพน้ำในอนาคต ปี พ.ศ. 2555, 2560, 2565 และ 2570 พบว่า ค่า DO ไม่แตกต่างจากปัจจุบัน ส่วนค่า BOD เพิ่มขึ้นจากสภาวะปัจจุบัน แต่ยังไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ยกเว้นลำน้ำช่วงที่ 4

กิตติพงษ์ จันดาเบ้า (2551) ได้ประเมินคุณภาพน้ำแม่น้ำชี โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2K ตั้งแต่จุดเก็บตัวอย่างน้ำ CI09 สะพานข้ามแม่น้ำชีบ้านท่าพระ ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ถึงบริเวณจุดเก็บตัวอย่างน้ำ CI06 วัดวารินทราวาส ตำบลท่าตูม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม พบว่า อีก 10 ปีข้างหน้า ในปี พ.ศ. 2560 ยังพบว่าแม่น้ำชียังอยู่ในแหล่งน้ำประเภทที่ 3 เหมือนเดิม โดยมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) มีอยู่ในช่วง 5.10-5.85 mg/l ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) มีค่าอยู่ในช่วง 1.63-1.80 mg/l และความสามารถในการรองรับมลพิษของแม่น้ำชีตั้งแต่จุดเก็บตัวอย่างน้ำ CI09 ถึง CI06 ได้ 847,704.095 kg/d รวมระยะทาง 148 km

ศิริหทัย แสนบัณฑิต (2551) ได้ประเมินคุณภาพน้ำแม่น้ำน่านในจังหวัดอุตรดิตถ์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2K และหาศักยภาพในการรองรับมลพิษแม่น้ำน่านจังหวัดอุตรดิตถ์ พบว่า คุณภาพน้ำแม่น้ำน่าน มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ อยู่ในช่วง 4.26-4.80 mg/l ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี อยู่ในช่วง 0.50-0.80 mg/l ซึ่งจัดอยู่ในแหล่งน้ำผิวดิน

ประเภท 2 ต่อไปในปี พ.ศ. 2550 มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ อยู่ในช่วง 2.33 – 4.80 mg/l ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี อยู่ในช่วง 0.57-3.49 mg/l และพ.ศ.2560 พบว่า มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ อยู่ในช่วง 2.13-4.80 mg/l ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี อยู่ในช่วง 0.57-3.49 mg/l จะจัดอยู่ในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 และ 4 และความสามารถในการรองรับมลพิษของแม่น้ำน่านในช่วงไหลผ่านจังหวัดอุตรดิตถ์ในรูปของบีโอดี ปี พ.ศ. 2555 และพ.ศ. 2560 เท่ากับ 132,206.62 และ 112,959.14 kg/d ตามลำดับ

9.4 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ WASP

กนกทัศน์ ยลปราโมทย์ (2549) ได้ประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษสูงสุดต่อวันในรูปของปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีเคมีในแม่น้ำแม่กลองตอนบน โดยใช้แบบจำลองทางอุทกศาสตร์ RMA2 และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ WASP ผลการปรับเทียบปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) ด้วยข้อมูลคุณภาพน้ำในปี พ.ศ. 2546 และข้อมูลจากการออกภาคสนามในปี พ.ศ. 2549 พบว่า ในช่วงฤดูฝนแม่น้ำแม่กลองตอนบนมีความสามารถในการรองรับมลพิษในรูปของปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายอินทรีย์รวม เท่ากับ 109,341.52 kg/d โดยแบ่งเป็นช่วงกิโลเมตรที่ 1 ถึง 16 เท่ากับ 55,008.18 kg/d และช่วงกิโลเมตรที่ 17 ถึง 70 เท่ากับ 54,333.34 kg/d ส่วนในช่วงฤดูแล้งแม่น้ำแม่กลองตอนบนมีความสามารถในการรองรับมลพิษในรูปของปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีรวม เท่ากับ 57,227.38 kg/d แบ่งเป็นช่วงกิโลเมตรที่ 1 ถึง 16 เท่ากับ 30,060.40 กิโลกรัมต่อวัน และช่วงกิโลเมตรที่ 17 ถึง 70 เท่ากับ 27,166.98 kg/d

ประภาชื่น จันทรไช้ (2549) ได้ประเมินคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำแม่กลองตอนล่างโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ WASP 7.0 โดยทำการแบ่งลำน้ำแม่กลองออกเป็น 21 Segment พบว่าคุณภาพน้ำแม่น้ำแม่กลอง ในปี พ.ศ. 2545 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 โดยมีค่าความสกปรกในรูป BOD ที่ปล่อยจากชุมชนลงสู่แม่น้ำแม่กลอง เท่ากับ 2,215.26 kg/d จากโรงงานอุตสาหกรรม มีค่าเท่ากับ 20,927.70 kg/d เมื่อประเมินภาระมลพิษจากชุมชน ใน ปี พ.ศ. 2550, 2555 และ 2560 พบว่า มีค่าความสกปรกในรูปบีโอดี เท่ากับ 4,222.17, 6,966.29 และ 10,416.20 kg/d ตามลำดับ เมื่อประมวลผลจากแบบจำลอง WASP 7.0 ผลจากการประเมินคุณภาพน้ำ พบว่า ในปี พ.ศ. 2550, 2555 และ 2560 พบว่า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าลดลงแต่ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ส่วนค่าความสกปรกในรูปบีโอดีมีค่าเพิ่มขึ้นมากซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4

9.5 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE-11

กฤษฎา มหาสันทนะ (2538) ได้ศึกษาการทำนายคุณภาพน้ำแม่น้ำเจ้าพระยาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE-11 พบว่า แม่น้ำเจ้าพระยาในสภาพปัจจุบันมีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานแหล่งประเภทที่ 4 โดยปี พ.ศ. 2537 มีค่าบีโอดีสูงสุด เท่ากับ 6.2 mg/l และผลจาการมีโครงการบำบัดน้ำเสียกรุงเทพมหานครระยะที่ 1 คือ แม่น้ำ เจ้าพระยาจะมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำประเภทที่ 4 จนถึงปี พ.ศ. 2540 เท่านั้น คือ มีค่าบีโอดีสูงสุด เท่ากับ 4.5 mg/l หลังจากนั้นค่าบีโอดี จะเพิ่มสูงขึ้นอีก

สุธิดา โรหิตรัตนะ (2546) ได้ศึกษาคาดการณ์คุณภาพน้ำในคลองประวัติศาสตร์ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ในคลองคูเมืองเดิม (คลองหลอด) คลองรอบกรุง (คลองบางลำพู –โอ่งอ่าง) และคลองผดุงกรุงเกษม โดยปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองชลศาสตร์ แบบจำลองการแพร่กระจายของมลสาร และสัมประสิทธิ์ทางคุณภาพน้ำ โดยพิจารณาพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2544 และ เดือนมกราคม พ.ศ. 2545 พบว่าคลองคูเมืองเดิม (คลองหลอด) ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำและปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี อยู่ในช่วง 0.13-3.10 และ 5.28-14.00 น. mg/l และคลองผดุงเกษม อยู่ในช่วง 0.18-3.47 และ 4.43-12.09 mg/l ตามลำดับ อุณหภูมิของคลองทั้ง 3 จะอยู่ในช่วง 26.5-28.5 °C

วิชญาณ เจริญกุล (2550) ได้ศึกษาคาดการณ์ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีในแม่น้ำปากพนังโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ตั้งแต่บริเวณสถานีประตูระบายน้ำอุทกวิภาชประสิทธิ ถึงบริเวณสถานีบ้านการะเกด พบว่า สถานีประตูระบายน้ำอุทกวิภาชประสิทธิ มีความสอดคล้องกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ผลการคาดการณ์ พบว่า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและปริมาณความต้องการทางชีวเคมีบริเวณสถานีประตูระบายน้ำอุทกวิภาชประสิทธิ โดยใช้ข้อมูลน้ำเสียจากเทศบาลชะอวด เทศบาลหัวไทร เทศบาลเชียรใหญ่ และเทศบาลปากพนัง ในปี พ.ศ. 2550, 2555 และ 2560 พบว่า ออกซิเจนละลายน้ำเมื่อเปิดประตูระบายน้ำอุทกวิภาชประสิทธิ มีค่าเฉลี่ย 3.13, 3.13 และ 3.14 mg/l ตามลำดับ และปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีมีค่าเฉลี่ย 3.56, 3.56 และ 3.58 mg/l ตามลำดับ ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4

9.6 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2Kw

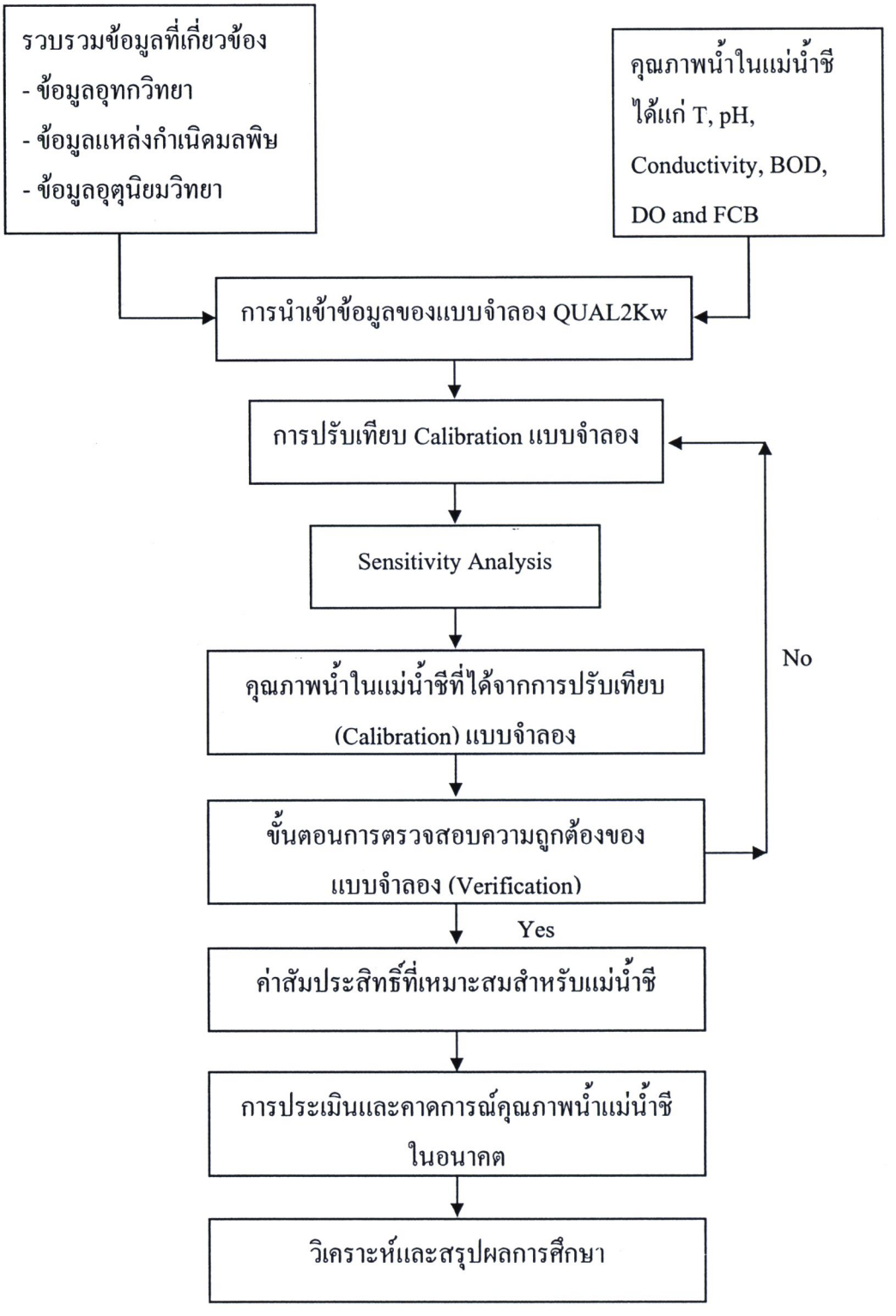
Gregory et al. (2005) ได้ทำการพัฒนาแบบจำลอง QUAL2Kw ของ USEPA โดยใช้กระบวนการของพันธุกรรมคอมพิวเตอร์ (Genetic Algorithm) ในการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) และใช้ GA Charbonneau and Knapp Version 1.2 ในการปรับเทียบสัมประสิทธิ์

ภายในแบบจำลอง QUAL2Kw เพื่อทำนายคุณภาพน้ำของแม่น้ำ Boulder Creek, USA. พบว่า รูปแบบของ GA Operators ที่เหมาะสมที่สุดในขั้นตอนการคัดเลือกสายพันธุ์ (Selection) ใช้วิธีกลยุทธ์การคัดเลือกหัวกระทิ (Elitist Strategy) รวมกับ Full Generational Replacement ขั้นตอนการสลับสายพันธุ์ (Crossover) ใช้วิธี Equal Probability of Either One-Point, Two-Point or Uniform ขั้นตอนการกลายพันธุ์ (Mutation) ใช้วิธี One-Point Mutation, Fixed Rate และ Population Size, Generation เท่ากับ 100 ซึ่งใช้เวลาในการคำนวณ 6 ชั่วโมง (3.2 GHz Pentium 4 Processor) นอกจากนี้ยังได้เสนอแนวทางในการพัฒนา GA สำหรับการ Calibration แบบจำลองคุณภาพน้ำในอนาคต คือ หา GA Operators ที่เหมาะสมเพื่อลดเวลาของการ Calibration

Kannel et al. (2007) ได้ศึกษาประยุกต์ใช้แบบจำลอง QUAL2Kw ในการจำลองคุณภาพน้ำและการควบคุมออกซิเจนละลายน้ำในแม่น้ำ Bagmati โดยทำการปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้องกับข้อมูลจากภาคสนามย้อนหลังให้มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อค่าออกซิเจนละลายน้ำ ได้แก่ ปริมาณมลพิษอัตราการไหล ระดับออกซิเจนละลายที่ตำแหน่งต่างๆ จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป และเมื่อมีของเสียไหลลงแหล่งน้ำ ที่ตำแหน่งนั้นจะมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำลง จึงควรใช้แบบจำลอง QUAL2Kw นำมาควบคุมคุณภาพน้ำแม่น้ำในอนาคต

Kannel et al. (2007) ได้ศึกษารูปแบบและการบริหารจัดการคุณภาพน้ำ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2Kw แบบอัตโนมัติ ในแม่น้ำ Bagmati ของประเทศเนปาล พบว่า ของเสียในแม่น้ำประกอบด้วยอินทรีย์ และการปนเปื้อนของเชื้อโรค ทั้งยังพบโลหะหนักในระดับที่เป็นอันตรายจนทำให้ออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลงปกติ การตรวจวัดคุณภาพของแหล่งน้ำ พิจารณาจากค่าต่าง ๆ อาทิ ปริมาณไนโตรเจนรวม (TN) ฟอสฟอรัสรวม (TP) อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ปริมาณความต้องการออกซิเจนของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอน (CBOD) พบว่า ผลของการสร้างแบบจำลองจากการวิจัยชี้ให้เห็นว่าหากคุณภาพน้ำในภาวะวิกฤต มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำต่ำสุด 4 mg/l จะมีค่า CBOD สูงสุด 3 mg/l ไนโตรเจนรวม 2.5 mg/l ที่ระดับอุณหภูมิ 20 °C และน้ำมีค่า pH ช่วง 6.5-8.5 ค่า CBOD ที่ระดับสูงสุด 3 mg/l

ปฏิวิชช์ สาระพิน (2551) ได้ประยุกต์ใช้พันธุกรรมคอมพิวเตอร์ (Genetic Algorithms : GA) ในการปรับเทียบสัมประสิทธิ์ภายในแบบจำลอง QUAL2Kw โดยเปรียบเทียบกระบวนการคัดเลือกทางพันธุกรรมคอมพิวเตอร์ (GA Operators) ระหว่าง GA Operators ของ Charbonneau and Knapp กับ GA Operators ของ Goldberg Michalewicz ผลการศึกษาพบว่า GA Operators ทั้ง 2 รูปแบบสามารถคาดการณ์คุณภาพน้ำทั้งด้านกายภาพและด้านเคมีของลำน้ำตะคองได้ใกล้เคียงกับ

สถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำของกรมควบคุมมลพิษและเทศบาลนครราชสีมา ให้ผลการคาดการณ์คุณภาพน้ำทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งของลำน้ำลำตะคองในช่วง 5 ปี (พ.ศ. 2553) และ 10 ปี (พ.ศ. 2558) ข้างหน้า กรณีไม่มีการจัดการคุณภาพน้ำใด ๆ พบว่า คุณภาพน้ำตั้งแต่เขื่อนระบายน้ำมะขามเฒ่าจนถึงเขื่อนระบายน้ำกันผม (Reach NO.4 ถึง Reach NO.6) มีค่าเกินมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4

10. กรอบแนวคิด