



วิทยานิพนธ์

การศึกษาด้านคุณภาพน้ำของแม่น้ำปิงตอนบน โดยการประยุกต์ใช้
แบบจำลอง MIKE 11

WATER QUALITY INVESTIGATION IN THE UPPER PING
RIVER BY AN APPLICATION OF THE MIKE 11 MODEL

นางสาวยุวเรศ เวชกามา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ.2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

ปริญญา

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาด้านคุณภาพน้ำของแม่น้ำปิงตอนบน โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง
MIKE 11

Water Quality Investigation in the Upper Ping River by an Application of the MIKE 11
Model

นามผู้วิจัย นางสาวยุเรศ เวชกามา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัช ลิปิวัฒนาการ, M.Eng.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์วรากร ไผ่เรียง, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์สุวัฒนา จิตตลดากร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาด้านคุณภาพน้ำของแม่น้ำปิงตอนบน โดยการใช้แบบจำลอง MIKE 11

Water Quality Investigation in the Upper Ping River by an Application of the MIKE 11 Model

โดย

นางสาวยุวเรศ เวชกามา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

พ.ศ. 2550

ยุทธ เวชกามา 2550: การศึกษาด้านคุณภาพน้ำของแม่น้ำปิงตอนบน โดยการประยุกต์ใช้
แบบจำลอง MIKE 11 ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)
สาขาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ
ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์, Ph.D. 135 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำของปริมาณ DO, BOD และ SS ในแม่น้ำปิงตอนบน
ระหว่างสถานีวัดน้ำท่า P.20 (อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่) และ P.73 (อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่) โดยการประยุกต์ใช้ 4
แบบจำลองย่อยของชุดแบบจำลอง MIKE 11 ซึ่งประกอบด้วย 1) แบบจำลอง NAM 2) แบบจำลอง MIKE 11 HD
3) แบบจำลอง MIKE 11 AD และ 4) แบบจำลอง MIKE 11 WQ ในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM และ
MIKE 11 HD นั้น ได้พิจารณาเลือกเหตุการณ์น้ำท่วมในปี พ.ศ. 2544, 2546 และ 2548 มาใช้เพื่อประเมิน
พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละแบบจำลองและเพื่อสนับสนุนการดำเนินงานของแบบจำลอง MIKE 11 AD
และ MIKE 11 WQ โดยแบบจำลองย่อยทั้งสองนี้ ได้ถูกสอบเทียบโดยใช้เหตุการณ์น้ำท่วมระหว่างเดือนกันยายน
พ.ศ. 2548 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549 และใช้ข้อมูลคุณภาพน้ำที่ตรวจวัดได้จำนวน 10 ครั้ง ที่สถานีวัดน้ำท่า
ของแม่น้ำปิงและปลายลำน้ำสาขาของแม่น้ำปิง จำนวนทั้งสิ้น 12 สถานี ซึ่งสภาพคุณภาพน้ำที่ตรวจวัดได้ใน
ภาพรวมจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำประเภท 2 และ 3 ผลการสอบเทียบแต่ละแบบจำลองพบว่า
สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning's n) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลอง MIKE 11 HD สำหรับการ
ไหลในลำน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 0.030 ถึง 0.040 และสำหรับการไหลในทุ่งน้ำท่วมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.125 ถึง 0.150
ในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลอง MIKE 11 AD พบว่า มี
ค่าที่เหมาะสมระหว่าง 50-500 เมตร²/วินาที และสำหรับพารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลอง MIKE 11 WQ
ประกอบด้วย 1) สัมประสิทธิ์การย่อยสลายสารอินทรีย์มีค่าเท่ากับ 0.15 วัน⁻¹ 2) ผลผลิตของออกซิเจนสูงสุดโดย
กระบวนการสังเคราะห์แสงมีค่าเท่ากับ 0.75 กรัม ออกซิเจน/เมตร²/วัน 3) การใช้ออกซิเจนโดยกระบวนการ
หายใจของพืชและสัตว์น้ำ มีค่าเท่ากับ 1.0 กรัม ออกซิเจน/เมตร²/วัน 4) Resuspension of organic matter มีค่า
เท่ากับ 0.01 กรัม ออกซิเจน/เมตร²/วัน 5) อัตราการตกตะกอนของสารอินทรีย์มีค่าเท่ากับ 0.05 เมตร/วัน
และ 6) อัตราการย่อยสลายของ SOD มีค่าเท่ากับ 0.2 กรัม ออกซิเจน/เมตร²/วัน สำหรับผลการสอบเทียบและ
ตรวจพิสูจน์แบบจำลองย่อยต่างๆ นับว่าได้ค่าทางสถิติที่อยู่ในเกณฑ์ดีเป็นที่ยอมรับได้ ดังนั้น จึงสามารถนำ
พารามิเตอร์ที่ควบคุมแต่ละแบบจำลองย่อยมาใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพคุณภาพน้ำในอีก 20 ปี
ข้างหน้า ซึ่งผลการศึกษาพบว่า สภาพคุณภาพน้ำในแม่น้ำปิงบริเวณเทศบาลนครเชียงใหม่ฝั่งตะวันออกจะมี
คุณภาพที่ต่ำลงโดยพบความวิกฤตของค่า BOD ซึ่งสูงกว่า 2.0 มิลลิกรัม/ลิตร (เกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำประเภท
4) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียในบริเวณดังกล่าวก่อนสภาวะวิกฤตจะเกิดขึ้น

Yuwaret Vetchagama 2007: Water Quality Investigation in the Upper Ping River by an Application of the MIKE 11 Model. Master of Engineering (Water Resources Engineering), Major Field: Water Resources Engineering, Department of Water Resource Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Nuchanat Sriwongsitanon, Ph.D. 135 pages.

This study aims to investigate water quality parameters consisting of DO, BOD, and SS in the Upper Ping River between gauging stations P.20 (Chiangdaow District, Chiangmai Province) and P.73 (Jomthong District, Chiangmai Province) by the applications of four modules, which are NAM, MIKE 11 HD, MIKE 11 AD and MIKE 11 WQ, of the MIKE 11 model. For the applications of the NAM and MIKE 11 HD modules, flood events for the year 2001, 2003 and 2005 were applied to identify suitable parameters for each module to support usages of the MIKE 11 AD and MIKE 11 WQ modules. These two modules were calibrated using ten values of each water quality parameter that have been collected between September, 2005 and February, 2006 at each location of the overall twelve locations along the Ping River and its downstream tributaries. Water quality standard during this period was distinguished in Type 2 and 3. Results of each model calibration show that the values of roughness coefficient (Manning's n) - the MIKE 11 HD's control parameter - for the channel flow are between 0.030 and 0.040 and for the floodplain flow are between 0.125 and 0.150. The dispersion coefficient - the control parameter of the MIKE 11 AD - was found to be between 50 and 50-500 m²/sec. Suitable value of the control parameters of the MIKE 11 WQ include: 1) the BOD decay coefficient, which is 0.15 day⁻¹, 2) the maximum oxygen production by photosynthesis, which is 0.75 g O₂/m²/day, 3) the oxygen consumption by respiration of plant and animal, which is 1.00 g O₂/m²/day, 4) the resuspension of organic matter, which is 0.01 g O₂/m²/day, 5) the sedimentation rate for organic matter, which is 0.05 m/day, and 6) the sediment oxygen demand (SOD) at 20 degree, which is 0.20 g O₂/m²/day. Calibrated and validated results of these modules have shown acceptable statistical values. Therefore the model parameters can be applied to investigate changes of water quality in the next 20 years. The results show that water quality in the Ping River along Muang Chiangmai District will be critical with BOD values higher than 2.0 mg/l (Type 4). As the result, water treatment plant along this area should be constructed before critical situation occurs.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัย อนุเคราะห์ข้อมูล พร้อมทั้งให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัช ลิปิวัฒนาการ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก รองศาสตราจารย์วรากร ไม้เรียง และ อาจารย์พิพัฒน์ ฐิริปัญญาคณ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณโครงการหน่วยวิจัยการจัดการด้านน้ำท่วมและคุณภาพน้ำอย่างยั่งยืนของประเทศไทย ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งในงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณ กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ กรมควบคุมมลพิษ และกรมโรงงานอุตสาหกรรม ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลด้านอื่นๆ นอกจากนั้นแล้ว ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้ทุนสนับสนุนบางส่วนสำหรับการดำเนินงานวิจัยนี้

งานวิจัยนี้จะไม่สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีถ้าปราศจากการสนับสนุนและกำลังใจที่ได้จากเพื่อน ๆ และ พี่ ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีมาตลอด และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำโครงการวิศวกรรมทรัพยากรน้ำภาคพิเศษทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

คุณประโยชน์อันใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบความดีทั้งปวงแด่บิดามารดา ญาติพี่น้อง ของข้าพเจ้าทุกท่าน ตลอดจนผู้มีพระคุณและคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า

ยุวเรศ เวชกามา

เมษายน 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	74
อุปกรณ์	74
วิธีการ	74
ผลและวิจารณ์	86
สรุปและข้อเสนอแนะ	105
สรุป	105
ข้อเสนอแนะ	107
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	108
ภาคผนวก	113
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	135

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	รายละเอียดลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน	6
2	ค่าเฉลี่ยรายปีและรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศที่สำคัญ	7
3	ปริมาณฝนทั้งลุ่มน้ำปิงตอนบน	10
4	ปริมาณฝนในจังหวัดเชียงใหม่และลำพูนในเขตลุ่มน้ำปิงตอนบน	10
5	ปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปีเฉลี่ยในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบน	12
6	สภาพการใช้ที่ดินในปัจจุบันของลุ่มน้ำปิงตอนบน	11
7	สัมประสิทธิ์ความขรุขระที่ท้องลำนํ้าของทางน้ำเปิด	45
8	ตัวแปรต่างๆสำหรับแต่ละระดับของแบบจำลองคุณภาพน้ำ	62
9	กระบวนการต่างๆในแต่ละระดับของแบบจำลองคุณภาพน้ำ	63
10	ตำแหน่งเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำในแม่น้ำปิงตอนบนและสาขา	75
11	ตำแหน่งที่ตั้งและช่วงปีสถิติข้อมูลของสถานีวัดน้ำฝนที่เก็บรวบรวมได้	78
12	ตำแหน่งที่ตั้งและช่วงปีสถิติข้อมูลของสถานีวัดน้ำน้ำท่าที่เก็บรวบรวมได้	79
13	ปริมาณการระเหยเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละสถานี	80
14	สมการที่ใช้ในการประเมินปริมาณ BOD และ SS	83
15	ผลการประเมินปริมาณ BOD ในแต่ละช่วงเวลาและพื้นที่ที่พิจารณา	83
16	ผลการประเมินปริมาณ SS ในแต่ละช่วงเวลาและพื้นที่ที่พิจารณา	84
17	พารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลอง NAM ที่เลือกใช้	86
18	ค่า Manning's n ในแต่ละช่วงลำนํ้าแม่ปิง	87
19	ผลการประเมินประสิทธิผลของการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานี P.67, P.1 และ P.73	88
20	พารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลอง MIKE 11 WQ	93
21	เงื่อนไขในการประยุกต์ใช้สมการ O'Conner & Dubbins เปรียบเทียบกับ สภาพการไหลของแม่น้ำปิงตอนบน	94
22	ผลการประเมินประสิทธิผลของการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 WO ที่สถานี P.67, P.1 และ P.73	97

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ที่ตั้งและขอบเขตลุ่มน้ำปิงตอนบนตลอดจนลุ่มน้ำย่อย	5
2	ทิศทางของลมมรสุม พายุไต้ฝุ่น และตำแหน่งของร่องความกดอากาศที่พัดผ่านลุ่มน้ำปิงตอนบน	8
3	ตำแหน่งสถานีเก็บตัวอย่างน้ำในแม่น้ำปิง	15
4	จุดที่ตั้งสถานีเก็บตัวอย่างน้ำในแม่น้ำปิงตอนบน	19
5	โครงสร้างของแบบจำลอง NAM	25
6	Computation Grid ของแต่ละหน้าตัดของลำน้ำ	39
7	จุดกึ่งกลางของสมการต่อเนื่องในรูปแบบของ 6-Point Abbott Scheme	40
8	จุดกึ่งกลางของสมการโมเมนตัมในรูปแบบของ 6-Point Abbott Scheme	42
9	ช่วงลำน้ำแสดงหน้าตัดที่กำหนดอัตราการไหล	53
10	กระบวนการพื้นฐานของออกซิเจนละลายน้ำ	58
11	ตำแหน่งเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำในแม่น้ำปิงตอนบนและสาขา	76
12	แผนภูมิแสดงระบบแม่น้ำปิงตอนบน เพื่อประยุกต์ใช้ในการศึกษาด้านอุทกพลศาสตร์และคุณภาพน้ำสภาพปัจจุบัน	81
13	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.67 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2544	88
14	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.67 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2546	89
15	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.67 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2548	89
16	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 สำหรับเหตุการณ์ ในปี พ.ศ. 2544	90
17	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 สำหรับเหตุการณ์ ในปี พ.ศ. 2546	90

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 สำหรับเหตุการณ์ ในปี พ.ศ. 2548	91
19	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.73 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2544	91
20	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.73 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2546	92
21	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.73 สำหรับเหตุการณ์ ในปี พ.ศ. 2548	92
22	ผลการประเมินค่า DO ที่สถานีวัดน้ำท่า P.67 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2548	97
23	ผลการประเมินค่า DO ที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2548	98
24	ผลการประเมินค่า DO ที่สถานีวัดน้ำท่า P.73 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2548	98
25	ผลการประเมินค่า BOD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.67 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2548	99
26	ผลการประเมินค่า BOD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2548	99
27	ผลการประเมินค่า BOD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.73 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2548	100
28	ผลการประเมินค่า SS ที่สถานีวัดน้ำท่า P.67 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2548	100
29	ผลการประเมินค่า SS ที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2548	101
30	ผลการประเมินค่า SS ที่สถานีวัดน้ำท่า P.73 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2548	101
31	ผลการคาดการณ์ปริมาณ DO กรณีในอนาคตปี พ.ศ. 2568	103
32	ผลการคาดการณ์ปริมาณ BOD กรณีในอนาคตปี พ.ศ. 2568	103
33	ผลการคาดการณ์ปริมาณ SS กรณีมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ SS จากปัจจุบัน	104

การศึกษาด้านคุณภาพน้ำของแม่น้ำปิงตอนบนโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11

Water Quality Investigation in the Upper Ping River by an Application of the MIKE 11 Model

คำนำ

แม่น้ำเจ้าพระยาเป็นแหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่มีคุณค่าต่อการใช้ประโยชน์มากมายหลายด้าน ทั้งด้านอุปโภคบริโภค การเกษตรกรรม อุตสาหกรรม การท่องเที่ยวและอื่นๆ ซึ่งสามารถจัดแบ่งการใช้ประโยชน์แม่น้ำออกเป็น 3 ประการหลัก ๆ คือ 1) การใช้ประโยชน์ทางด้านสังคม หมายถึง การนำน้ำมาใช้เพื่อกิจกรรมทั้งในครัวเรือน อุตสาหกรรม การเกษตร และเป็นแหล่งพลังงาน 2) การใช้ประโยชน์ทางด้านนิเวศโดยแหล่งน้ำถือเป็นองค์ประกอบของระบบนิเวศ ซึ่งเป็นทั้งแหล่งเพาะพันธุ์และที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ รวมทั้งเป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจ และ 3) การใช้ประโยชน์ในการเป็นแหล่งรองรับน้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์

อย่างไรก็ตาม ในการใช้ประโยชน์จากแม่น้ำตามลักษณะทั้งสามประการดังกล่าว มักเกิดความขัดแย้งระหว่างการใช้ประโยชน์ด้านสังคมและด้านนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำ กับการใช้ประโยชน์ของแหล่งน้ำเพื่อเป็นแหล่งรองรับน้ำเสีย ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว แหล่งน้ำมีความสามารถในการอันที่จะรองรับและบำบัดของเสียตามธรรมชาติ (Natural Carrying Capacity) ได้ระดับหนึ่ง หากปล่อยของเสียลงสู่แหล่งน้ำในปริมาณที่มากเกินไปจนขีดความสามารถดังกล่าว ปัญหามลพิษที่เกิดขึ้นจะทำให้การใช้ประโยชน์ทางสังคมและนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำลดลง จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการควบคุมมิให้มีการปล่อยน้ำทิ้งและของเสียลงสู่แหล่งน้ำได้อย่างเสรี แต่ในขณะเดียวกันก็ไม่มีควมจำเป็นถึงกับต้องห้ามใช้แหล่งน้ำเพื่อเป็นแหล่งรองรับของเสีย ซึ่งวัตถุประสงค์ของการศึกษาด้านคุณภาพน้ำนั้นก็เพื่อที่จะหาสมดุลที่เหมาะสม ในการยอมให้แหล่งน้ำเป็นแหล่งรองรับของเสียบ้าง ขณะเดียวกันก็ยังสามารถรักษาคุณค่าทางด้านสังคมและคุณค่าทางด้านนิเวศไว้ด้วย เพื่อให้ผู้ใช้แหล่งน้ำได้รับประโยชน์สูงสุด

ในปัจจุบันแม่น้ำเกือบทุกสายของประเทศกำลังประสบปัญหาด้านคุณภาพน้ำอันเนื่องมาจากการใช้ประโยชน์เพื่อเป็นแหล่งรองรับน้ำเสียที่เกินกำลังขีดความสามารถที่แม่น้ำจะบำบัดตัวเองได้ ทั้งนี้หมายรวมถึงแม่น้ำปิงตอนบน ซึ่งเป็นแม่น้ำสายหลักทางภาคเหนือของประเทศ

โดยปัจจุบันแม่น้ำปิงตอนบนประสบปัญหาคุณภาพแหล่งน้ำที่เสื่อมโทรมลงอย่างมาก โดยปัญหาด้านคุณภาพน้ำที่สำคัญของแม่น้ำปิงตอนบนนั้นแบ่งได้ตามฤดูกาล กล่าวคือ ปัญหาที่ประสบในฤดูแล้งคือปริมาณความเข้มข้นของ DO (Dissolved Oxygen) ต่ำ รวมทั้งปริมาณ BOD (Biochemical Oxygen Demand) และ FC (Faecal Coliform) สูง สำหรับในฤดูฝนปัญหาส่วนใหญ่ที่ประสบคือความขุ่นอันเนื่องมาจากปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) มีปริมาณมาก ทั้งนี้สาเหตุของการเกิดปัญหาเหล่านี้เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร อันเป็นผลจากอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวและบริการที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในจังหวัดเชียงใหม่ จากการเพิ่มจำนวนประชากรตลอดจนการขาดจิตสำนึกในการอนุรักษ์สภาพแวดล้อมรวมทั้งแหล่งน้ำที่เป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิต และสภาพสังคมของชุมชน เป็นผลให้แม่น้ำปิงเป็นที่รองรับน้ำเสียจากชุมชน เกษตรกรรม อุตสาหกรรม และกิจกรรมอื่นๆ อันเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้คุณภาพน้ำในลำน้ำเสื่อมโทรมลงโดยเฉพาะลำน้ำบริเวณที่ไหลผ่านชุมชนหนาแน่นเช่น บริเวณตัวเมืองเชียงใหม่ และลำปวน ซึ่งสภาพคุณภาพน้ำอยู่ในระดับที่เสื่อมโทรมมาก จำเป็นต้องอาศัยมาตรการควบคุมและการวางแผนการจัดการตลอดจนการบำบัดน้ำเสียที่ดี เพื่อให้แม่น้ำปิงดำรงอยู่และมีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ อย่างยั่งยืนต่อไป

ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงปัญหาและความจำเป็นในการแก้ปัญหาด้านคุณภาพน้ำของประเทศ จึงได้ยกแม่น้ำปิงตอนบนเป็นตัวอย่างกรณีศึกษา เพื่อการหาช่องทางในการแก้ไขปัญหา โดยได้เน้นในด้านการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์มาอธิบายปรากฏการณ์ ตลอดจนนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหา โดยในการศึกษานี้ได้เลือกใช้แบบจำลอง MIKE 11 ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ได้รับการยอมรับโดยทั่วไปทั้งในและต่างประเทศในการจัดการด้านคุณภาพน้ำ โดยในการศึกษาด้านคุณภาพน้ำโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 นั้น มีความจำเป็นต้องใช้แบบจำลองย่อยทั้งสิ้น 4 แบบจำลอง คือ 1) แบบจำลองย่อยน้ำฝน-น้ำท่า เพื่อใช้สำหรับการประเมินปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลฝนและคุณลักษณะของกลุ่มน้ำ 2) แบบจำลองย่อยอุทกพลศาสตร์ เพื่อการศึกษาการเคลื่อนตัวของน้ำท่าในลำน้ำ 3) แบบจำลองการพาและแพร่กระจาย สำหรับคำนวณการแพร่กระจายของมวลสารในลำน้ำ และ 4) แบบจำลองคุณภาพน้ำ สำหรับคำนวณคุณภาพน้ำในลำน้ำ โดยแบบจำลอง MIKE 11 ได้นำมาใช้เพื่อการศึกษาคุณภาพน้ำในอดีต โดยได้ทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองเพื่อให้ได้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ควบคุมแบบจำลอง จากนั้นจึงจะนำแบบจำลองที่ได้รับการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง มาใช้เพื่อการประเมินสภาพการเปลี่ยนแปลงของปัญหาในอนาคต อันเนื่องมาจากแนวโน้มการใช้ที่ดินที่เปลี่ยนไปจนขาดการควบคุมตามแนวโน้มต่าง ๆ ที่มีความเป็นไปได้ จากนั้นจะเป็นการหามาตรการในการแก้ไขปัญหาที่จะเกิดขึ้นเพื่อการป้องกันที่เป็นรูปธรรมต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสอบเทียบและตรวจพิสูจน์ชุดแบบจำลอง MIKE 11 ซึ่งประกอบด้วย แบบจำลอง NAM, MIKE 11 HD, MIKE 11 AD และ MIKE 11 WQ ที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณ DO, BOD และ SS ของแม่น้ำปิงตอนบน
2. เพื่อประเมินสภาพคุณภาพน้ำในอีกอนาคต 20 ปีข้างหน้า (พ.ศ.2568) ของแม่น้ำปิงตอนบน โดยการประยุกต์ใช้ชุดแบบจำลอง MIKE 11

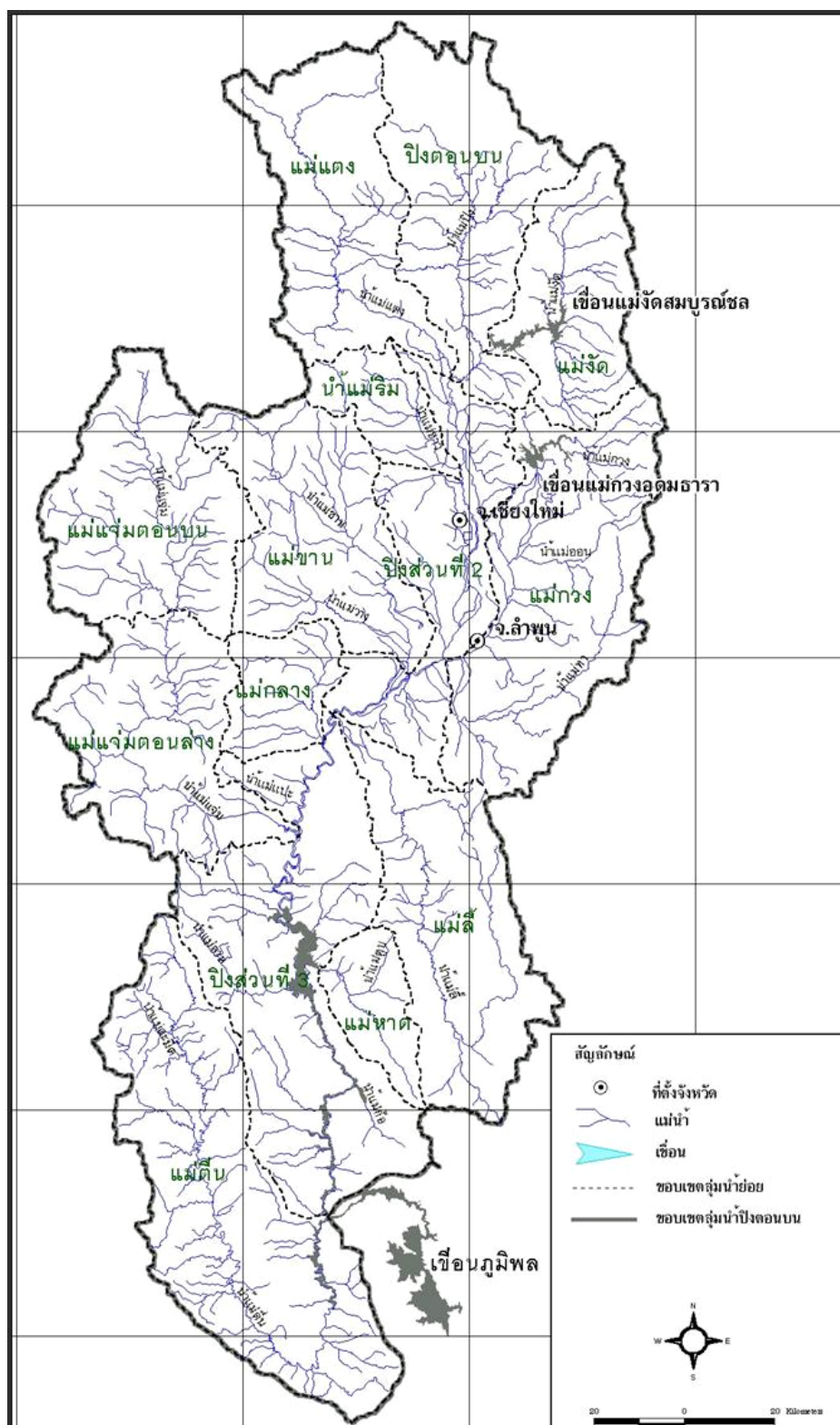
การตรวจเอกสาร

1. พื้นที่ศึกษา

ลุ่มน้ำปิงตอนบนครอบคลุมพื้นที่รับน้ำฝนบริเวณเหนือเขื่อนภูมิพลประมาณ 25,345 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ระหว่างเส้นละติจูดที่ $17^{\circ}14'30''$ ถึง $19^{\circ}47'52''$ เหนือ และระหว่างลองจิจูดที่ $98^{\circ}4'30''$ ถึง $99^{\circ}22'30''$ ตะวันออก อาณาเขตทิศเหนือและทิศตะวันตกติดกับลุ่มน้ำสาละวินและลุ่มน้ำแม่กก และทิศตะวันออกติดกับลุ่มน้ำแม่วัง ความยาวของลำน้ำตั้งแต่ต้นน้ำถึงเขื่อนภูมิพลประมาณ 514 กิโลเมตร ลุ่มน้ำปิงตอนบนประกอบด้วยลุ่มน้ำย่อย 15 ลุ่มน้ำ ซึ่งประกอบด้วย 1) แม่น้ำปิงส่วนที่ 1 2) แม่แตง 3) แม่จัด 4) แม่ริม 5) แม่น้ำปิงส่วนที่ 2 6) แม่กว้ง 7) แม่แจ่ม 8) แม่ขาน 9) แม่กลาง 10) แม่น้ำปิงส่วนที่ 3 11) แม่หาด 12) แม่ลี 13) แม่อาว 14) แม่ทา และ 15) แม่ตื่น โดยที่ตั้งและขอบเขตของลุ่มน้ำปิงตอนบนตลอดจนลุ่มน้ำย่อยแสดงในภาพที่ 1 และในตารางที่ 1 แสดงลุ่มน้ำย่อยและพื้นที่รับน้ำของลุ่มน้ำย่อยต่าง ๆ ในลุ่มน้ำปิงตอนบน

1.1 สภาพภูมิประเทศ

สภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำปิงตอนบนโดยส่วนใหญ่มีสภาพเป็นเทือกเขา สลับซับซ้อนปกคลุมด้วยป่าไม้และมีที่ราบลุ่มหุบเขาตามแหล่งชุมชน บริเวณเขตอำเภอแม่แตง อำเภอเมือง อำเภอหางดง อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ และอำเภอป่าซาง จังหวัดลำพูน แม่น้ำปิงในช่วงที่ไหลผ่านพื้นที่อำเภอเชียงดาวมีระดับความสูงอยู่ระหว่าง 500-1,300 เมตร (รทก.) ความลาดชันท้องน้ำประมาณ 1:40 แม่น้ำปิงที่ไหลมาตามหุบเขาตอนบนของอำเภอแม่แตงมีระดับความสูงอยู่ระหว่าง 300-500 เมตร (รทก.) ความลาดชันท้องน้ำประมาณ 1:50 และแม่น้ำปิงในช่วงที่ไหลผ่านที่ราบในหุบเขาในอำเภอแม่แตง อำเภอแม่ริม อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พื้นที่บริเวณนี้มีระดับความสูงอยู่ระหว่าง 260-300 เมตร (รทก.) ความลาดชันท้องน้ำประมาณ 1:1,800 จากนั้นแม่น้ำปิงจะไหลผ่านพื้นที่ราบบริเวณหุบเขาก่อนไปลงอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพล โดยมีความลาดชันท้องน้ำบริเวณนี้ประมาณ 1:1,590 และมีระดับความสูงอยู่ระหว่าง 140-260 เมตร (รทก.) โดยสภาพความลาดชันของท้องน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิประเทศ



ภาพที่ 1 ที่ตั้งและขอบเขตลุ่มน้ำปิงตอนบนตลอดจนลุ่มน้ำย่อย
ที่มา: นุชนารถ (2550)

ตารางที่ 1 รายละเอียดกลุ่มน้ำย่อยในกลุ่มน้ำปึงตอนบน

รหัสกลุ่มน้ำย่อย	รายชื่อกลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.)
01	แม่น้ำปึงส่วนที่ 1	1,979
02	แม่แดง	1,931
03	แม่จืด	1,287
04	แม่ริม	525
05	แม่น้ำปึงส่วนที่ 2	1,480
06	แม่กวง	1,694
07	แม่แจ่ม	3,896
08	แม่ขาน	1,804
09	แม่กลาง	629
10	แม่น้ำปึงส่วนที่ 3 (จ.เชียงใหม่)	3,171
11	แม่หาด	533
12	แม่ลี	2,080
13	แม่อาว	172
14	แม่ทา	996
15	แม่ตื่น (จ.เชียงใหม่)	3,168
	รวม	25,345

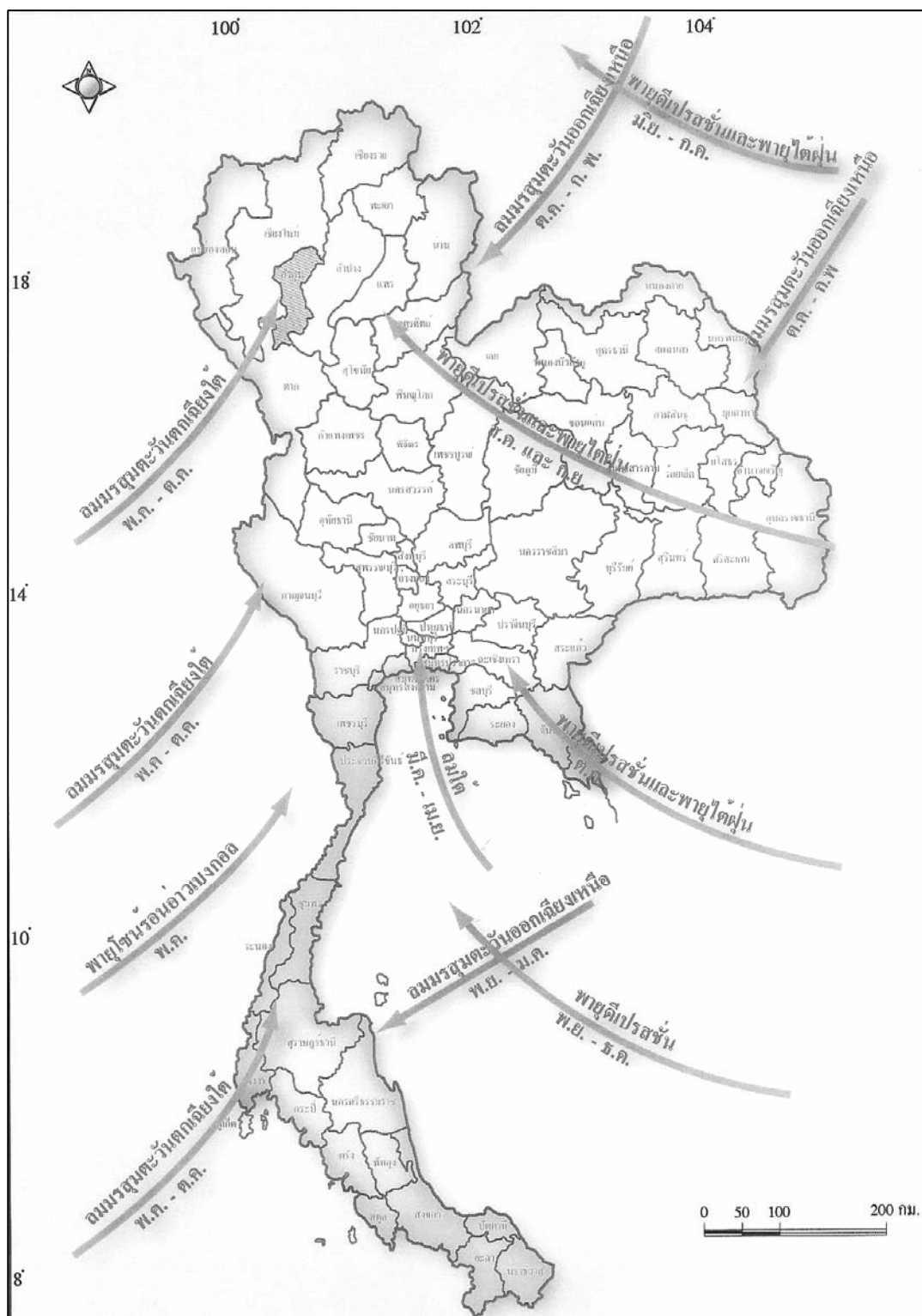
ที่มา: นุชนารถและคณะ (2550)

1.2 สภาพภูมิอากาศ

สภาพอากาศโดยทั่วไปของกลุ่มน้ำปิงตอนบนอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนั้นยังได้รับอิทธิพลจากพายุดีเปรสชันซึ่งมาจากทะเลจีนใต้ ทำให้มีฝนตกตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม โดยทิศทางของลมมรสุม พายุไต้ฝุ่น และตำแหน่งของร่องความกดอากาศที่พัดผ่านกลุ่มน้ำปิงตอนบนแสดงดังภาพที่ 2 เนื่องจากกลุ่มน้ำปิงตอนบนครอบคลุมพื้นที่ 2 จังหวัด คือ จังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำพูน ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลภูมิอากาศที่ทำการตรวจวัดที่สถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา 2 แห่ง คือ อำเภอเมืองเชียงใหม่ และอำเภอเมืองลำพูน เป็นตัวแทนของสภาพภูมิอากาศของกลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยพิจารณาใช้ข้อมูลภูมิอากาศในคาบ 30 ปี คือในระหว่างปี พ.ศ. 2514 ถึง 2543 โดยสภาพภูมิอากาศของสถานี และการผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศที่สถานีตรวจอากาศของสถานีดังกล่าว แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก ซึ่งค่าเฉลี่ยรายปีและรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศที่สำคัญสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยรายปีและรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศที่สำคัญ

ตัวแปรภูมิอากาศ	ค่าเฉลี่ยรายปี	ช่วงพิสัย ค่าเฉลี่ยรายเดือน	ค่าเฉลี่ยสูงสุด รายเดือน	ค่าเฉลี่ยต่ำสุด รายเดือน
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	25.6-26.1	20.9-29.9	36.0-37.7	14.0-14.1
ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)	71.0	51.0-83.0	93.0-96.0	26.0-31.0
ความครึ้มของ เมฆ (0-10 อ็อกต้า)	5.2-5.3	2.0-8.6	-	-
ความเร็วลม (นอต)	1.4-2.4	0.5-3.3	50.0-64.0	-
ปริมาณการ ระเหยจากผิวดิน การระเหย (มม.)	1,639.0-1,734.4	94.4-216.8	-	-



ภาพที่ 2 ทิศทางของลมมรสุม และตำแหน่งร่องความกดอากาศที่พัดผ่านลุ่มน้ำปึงตอนบน
ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

1.2.1 อุณหภูมิ

ลุ่มน้ำปึงตอนบนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 25.6-26.1 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด 36.0-37.7 องศาเซลเซียส ในเดือนเมษายน และอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด 14.1 องศาเซลเซียส ในเดือนมกราคม

1.2.2 ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนมีค่าระหว่าง 51-83 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเฉลี่ยต่ำสุด 26-31 เปอร์เซ็นต์ ในเดือนมีนาคม และค่าเฉลี่ยสูงสุด 93-96 เปอร์เซ็นต์ ในเดือนสิงหาคม กันยายน ตุลาคม และพฤศจิกายน

1.2.3 ปริมาณการระเหย

ปริมาณการระเหยมีความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ โดยเดือนที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำและอุณหภูมิสูง จะมีปริมาณการระเหยสูง โดยลุ่มน้ำปึงตอนบนมีปริมาณน้ำระเหยรายปีเฉลี่ยระหว่าง 1639.0-1734.0 มิลลิเมตร

1.2.4 ความเร็วลม

โดยทั่วไปลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีกำลังแรง แต่จะมีกำลังอ่อนตัวลงในช่วงฤดูหนาว ความเร็วลมโดยเฉลี่ยรายเดือนมีค่าระหว่าง 0.5-3.3 นอต ความแรงและทิศทางของลมจะแปรเปลี่ยนตามทิศทางของลมมรสุมหรือร่องความกดอากาศต่ำ ซึ่งปกติจะเคลื่อนจากทิศใต้ไปทางทิศเหนือ

1.2.5 ฤดูกาล

ลุ่มน้ำปึงตอนบนได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือคราละประมาณ 6 เดือน ทำให้เกิดฤดูกาล 3 ฤดู คือ ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน โดยฤดูฝนเริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ซึ่งจะทำให้เกิดฝนตกหนักระหว่างเดือนสิงหาคม-กันยายน ฤดูหนาวเริ่มจากกลางเดือนตุลาคมถึงกุมภาพันธ์ ซึ่งอากาศจะแห้ง

และเย็นลงจนหนาวจัดที่สุดในช่วงเดือนมกราคมหรือกุมภาพันธ์ และสำหรับฤดูร้อนอยู่ระหว่างเดือนมีนาคมถึงเมษายน โดยช่วงดังกล่าวจะมีอากาศแห้งโดยในเดือนเมษายนจะมีอากาศร้อนอบอ้าวมากที่สุด

1.3 ปริมาณฝน

จากสถิติข้อมูลปริมาณฝนของ 76 สถานี ในบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบนซึ่งทำการจัดเก็บข้อมูลโดยกรมชลประทาน ซึ่งในการศึกษานี้ได้เลือกช่วงเวลาของข้อมูลฝนตั้งแต่เริ่มจัดเก็บในแต่ละสถานีจนถึงปี พ.ศ. 2543 โดยสถานียังกล่าวตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่จำนวน 65 สถานี และตั้งอยู่ในจังหวัดลำพูนจำนวน 11 สถานี ซึ่งสามารถสรุปปริมาณฝนทั้งลุ่มน้ำปิงตอนบนได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณฝนทั้งลุ่มน้ำปิงตอนบน

ปริมาณน้ำฝน (หน่วย : มม.)														
เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	รายปี
49.9	159.3	139.0	163.8	212.8	215.7	125.6	42.2	13.5	7.0	5.9	14.9	1,015.9	133.4	1,149.3

บริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบนมีฝนตกตลอดปี โดยมีค่าเฉลี่ยรายเดือนสูงสุด 215.7 มิลลิเมตรในเดือนกันยายน และต่ำสุด 5.9 มิลลิเมตรในเดือนกุมภาพันธ์ ปริมาณฝนทั้งปีเฉลี่ยของลุ่มน้ำปิงตอนบนมีค่าประมาณ 1,149.3 มิลลิเมตร เป็นปริมาณฝนที่ตกในช่วงฤดูฝนตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ประมาณ 1,015.9 มิลลิเมตร ซึ่งคิดเป็น 88.39 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณฝนรายปี สำหรับปริมาณฝนในจังหวัดเชียงใหม่และลำพูนในเขตลุ่มน้ำปิงตอนบนสรุปได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณฝนในจังหวัดเชียงใหม่และลำพูนในเขตลุ่มน้ำปิงตอนบน

(หน่วย : มม.)															
จังหวัด	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	รายปี
เชียงใหม่	49.3	160.2	143.3	171.6	221.3	218.6	125.7	42.2	14.1	7.4	5.9	14.5	1,040.7	133.4	1,174.1
ลำพูน	53.6	153.8	113.8	117.7	160.6	198.5	124.8	41.9	8.3	4.4	5.9	17.5	869.2	131.6	1,000.8

1.4 ปริมาณน้ำท่า

ข้อมูลปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบนรวบรวมจากข้อมูลที่มีการจัดเก็บไว้โดยกรมชลประทานและกรมทรัพยากรน้ำ โดยทำการรวบรวมข้อมูลสำหรับการศึกษานี้ตั้งแต่เริ่มมีการจัดเก็บข้อมูลจนถึงปี พ.ศ. 2543 โดยสถานีที่รวบรวมได้มีทั้งสิ้น 74 สถานี ซึ่งสถานีเหล่านี้ตั้งอยู่ใน

เขตจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำพูน จำนวน 65 และ 9 สถานี ตามลำดับ จากข้อมูลปริมาณน้ำท่าได้นำมาวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน รายปี และศักยภาพของปริมาณน้ำท่าในแต่ละลุ่มน้ำย่อยในกลุ่มน้ำปิงตอนบนดังสรุปได้ดังตารางที่ 5

จากปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีของกลุ่มน้ำย่อยต่างๆ แสดงให้เห็นว่าลุ่มน้ำแม่แจ่มมีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีสูงสุดประมาณ 1,145.02 ล้าน ลบ.ม. และลุ่มน้ำแม่อาวมีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีต่ำสุดประมาณ 45.61 ล้าน ลบ.ม. ถ้าพิจารณาเปรียบเทียบต่อหน่วยพื้นที่ พบว่าลุ่มน้ำแม่กลางมีศักยภาพการให้น้ำท่าเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 11.95 ลิตร/วินาที/ตารางกิโลเมตร และลุ่มน้ำแม่ลี้มีศักยภาพการให้น้ำท่าต่ำสุดประมาณ 3.20 ลิตร/วินาที/ตารางกิโลเมตร

1.5 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

ลุ่มน้ำปิงตอนบนครอบคลุมพื้นที่ 25,345 ตารางกิโลเมตร หรือ 14,606,250 ไร่ พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ประมาณ 78.18 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่เกษตรกรรมมีประมาณ 2,361,990 ไร่ หรือ 16.17 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่อยู่อาศัยมีอยู่เพียง 3.32 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในเขตพื้นที่ราบลุ่มเชียงใหม่และลำพูน และพื้นที่แหล่งน้ำทั้งที่เป็นแหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำที่สร้างขึ้นมีเพียง 0.72 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทั้งหมด สำหรับสภาพการใช้ที่ดินในปัจจุบันของกลุ่มน้ำปิงตอนบนสรุปได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 สภาพการใช้ที่ดินในปัจจุบันของกลุ่มน้ำปิงตอนบน

ลำดับที่	ประเภทการใช้ที่ดิน	พื้นที่	
		ไร่	เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด
1	พื้นที่เกษตรกรรม	2,361,990	16.17
2	พื้นที่ป่าไม้	11,418,900	78.18
3	พื้นที่แหล่งน้ำ	105,118	0.72
4	พื้นที่อยู่อาศัย	484,744	3.32
5	พื้นที่ใช้งานอื่นๆ	235,498	1.61
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน	14,606,250	100.00

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำทำรายเดือนและรายปีเฉลี่ยในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำปิงตอนบน

12

ลำดับที่	ลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่ (ตร.กม.)	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)															Annual Yield ล./วิ./ตร.กม.
			เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	ทั้งปี	
1	แม่ปิงส่วนที่ 1	1,979	10.01	16.06	31.3	41.53	93.34	133.25	84.29	49.96	31.75	22	15.29	10.77	399.78	139.78	539.55	8.65
2	แม่แตง	1,931	14.7	29.12	39.98	47.13	101.37	121.18	94.17	65.65	42.06	25.63	15.18	14.66	432.94	177.87	610.8	10.03
3	แม่จัด	1,287	3.77	12.16	17.92	27.3	78.15	75.55	47.37	29.32	15.52	11.58	5.3	4.61	258.46	70.1	328.56	8.1
4	แม่ริม	525	3.72	9.36	15.24	17.53	28.17	35.63	28.02	20.09	13.17	8.85	5.69	3.54	133.96	55.06	189.02	11.42
5	แม่ปิงส่วนที่ 2	1,480	6.7	186.16	27.03	33.37	76.56	98.1	66.56	43.29	28.36	13.58	6.77	5.32	319.8	104.03	423.82	9.08
6	แม่กวัง	1,694	4.72	16.56	22.14	41.77	129.17	163.17	96.05	54.27	18.57	8.61	5.09	4.08	468.85	95.33	564.18	10.56
7	แม่แจ่ม	3,896	23.77	42.95	61.8	91.59	199.58	236.24	185.22	112.3	72.22	54.5	35.61	29.23	817.38	327.64	1,145.02	9.32
8	แม่ขาน	1,804	7.07	17.56	25.18	26.83	55.32	85.33	78.95	48.38	30.25	18.48	11.28	6.9	289.17	122.36	411.53	7.23
9	แม่กลาง	629	4	12.59	13.71	13.06	28.27	52.3	50.9	29.79	16.41	8.91	3.84	3.33	170.83	66.27	237.1	11.95
10	แม่ปิงส่วนที่ 3	3,171	13.19	29.78	41.26	68.2	121.7	145.59	113.62	67.41	44.38	24.65	15.63	14	520.14	179.25	699.39	6.99
11	แม่หาด	533	3.02	5.55	5.87	8.69	14.89	19.22	12.8	11.93	7.99	4.5	3.19	3.12	67.01	33.76	100.77	6
12	แม่ลี	2,080	2.93	10.02	13.43	7.87	14.47	62.89	60.59	27.22	6.8	2.23	0.67	0.82	169.26	40.67	209.92	3.2
13	แม่อาว	172	0.25	1.52	2.08	3.19	9.56	13.46	8.45	4.87	1.14	0.51	0.38	0.2	38.25	7.36	45.61	8.41
14	แม่ทา	996	1.56	8.51	11.81	18.95	57.4	81.1	50.55	29.17	6.8	3.06	2.23	1.25	228.31	44.06	272.38	8.67
15	แม่ตื่น	3,168	10.86	33.79	61.77	108.87	193.83	235.8	199.63	82.81	51.28	31.17	15.95	11.71	833.68	203.79	1,037.47	10.38
	ลุ่มน้ำปิงตอนบน	25,345	110.28	263.69	390.51	555.9	1,201.75	1,558.80	1,177.18	676.44	386.72	238.25	142.1	113.53	5,147.82	1,667.32	6,815.14	8.53

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

1.6 คุณภาพน้ำ

ในการศึกษานี้ได้ทำการรวบรวมผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำและการพัฒนาแหล่งน้ำของกลุ่มน้ำปิงตอนบนและกลุ่มน้ำใกล้เคียงมีรายละเอียดดังนี้

1.6.1 โครงการจัดหาข้อมูลพื้นฐานแหล่งกำเนิดมลพิษ และจัดทำแผนปฏิบัติการฟื้นฟูคุณภาพน้ำ บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือ พ.ศ.2542 ของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ผลการศึกษาโครงการจัดหาข้อมูลพื้นฐานแหล่งกำเนิดมลพิษ และจัดทำแผนปฏิบัติการฟื้นฟูคุณภาพน้ำ บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือ พ.ศ.2542 พบว่าคุณภาพน้ำของแม่น้ำปิงตอนบนอยู่ในเกณฑ์ดีคืออยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำประเภทที่ 2 ยกเว้นบางช่วงที่ไหลผ่านบริเวณเทศบาลนครเชียงใหม่ คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ต่ำตามมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำประเภทที่ 3 และ 4 ซึ่งใช้เกณฑ์การกำหนดประเภทแหล่งน้ำผิวดินและมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งเสนอโดยกองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ ได้แสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ข

ในการศึกษาด้านคุณภาพน้ำนี้ได้ทำการศึกษาถึงดัชนีคุณภาพน้ำทั้งสิ้น 10 รายการ ประกอบด้วย 1) อุณหภูมิ 2) pH 3) Dissolved Oxygen (DO) 4) Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5) Total Coliform (TC) 6) Faecal Coliform (FC) 7) Total Phosphorus (TP) 8) Nitrate-Nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$) 9) Ammonium-Nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) 10) โลหะหนัก และ 11) สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช ซึ่งดัชนีคุณภาพน้ำเหล่านี้มีอิทธิพลต่อความสัมพันธ์ของแหล่งน้ำและการใช้น้ำด้านต่างๆ อันได้แก่ การใช้น้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค การดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และการเป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้งจากแหล่งต่างๆ เช่น ชุมชน อุตสาหกรรม เกษตรกรรม เป็นต้น

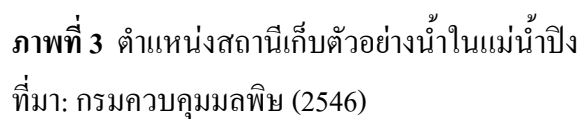
การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในลุ่มน้ำปิงตอนบน ได้ทำการศึกษาจากสถานีเก็บตัวอย่างน้ำในแม่น้ำปิงตอนบน 5 สถานี ซึ่งประกอบด้วย 1) สะพาน(หน้าศูนย์อุทกวิทยากองหิน) บ้านกองหิน ตำบลหางดง อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่ (PI 10) 2) สะพานหนองปลาสาวย-ดงหาดนาค ตำบลสบเตี๊ยะ อำเภอมอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ (PI 11) 3) สะพานป่าแดด ช้างสถานีตำรวจภูธร ภาค 5 ตำบลหนองหอย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ (PI 12) 4) สะพานบ้านวังสิงห์คำ ตำบลป่าตาล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ (PI 13) 5) เทศบาลตำบลเมืองแกนพัฒนา สะพานซ่อแล

บ้านซ่อแล ตำบลซ่อแล อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ (PI 14) โดยแสดงตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างน้ำในแม่น้ำปิงดังภาพที่ 3 ซึ่งรายละเอียดผลการตรวจวิเคราะห์และค่าเฉลี่ยดัชนีของคุณภาพน้ำแสดงในภาคผนวก ข สำหรับผลการศึกษาของดัชนีคุณภาพน้ำที่สำคัญสรุปได้ดังนี้

1) อุณหภูมิ การตรวจวัดอุณหภูมิน้ำตามสถานีเก็บตัวอย่างน้ำนั้น ได้ทำการได้ทำการตรวจวัดจำนวน 6 ถึง 8 ครั้งต่อสถานี โดยตรวจพบอุณหภูมิต่ำสุด 22 องศาเซลเซียส ในช่วงเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2538 ที่สถานี PI 10 ส่วนอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 33 องศาเซลเซียส ในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2538 ที่สถานี PI 11 นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำทุกสถานีมีระดับอุณหภูมิต่ำสุดในช่วงฤดูหนาว ซึ่งแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำและฤดูกาลได้อย่างเด่นชัด สำหรับอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำทุกๆ สถานีตรวจพบว่าอยู่ในช่วง 27 ถึง 31 องศาเซลเซียส โดยเป็นที่น่าสังเกตว่าทางตอนบนของลำน้ำมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำ ส่วนทางตอนล่างของลำน้ำ แนวโน้มของอุณหภูมิเฉลี่ยจะสูงขึ้นเรื่อยๆ

2) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำได้กระทำในทุกสถานี และทำการตรวจวัด 7 ถึง 8 ครั้งต่อสถานี ผลการตรวจวัดพบว่า โดยส่วนใหญ่ น้ำทุกสถานีมี pH สูงกว่า 7 เล็กน้อย ค่า pH เฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.2 ถึง 7.7 ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าน้ำในแม่น้ำปิงมีค่า pH โดยเฉลี่ยใกล้เคียงกัน โดยน้ำมีค่าความเป็นด่างเล็กน้อยตลอดลำน้ำ และอยู่ในเกณฑ์ของแหล่งน้ำประเภทที่ 2, 3 และ 4

3) การตรวจวัดปริมาณ DO ได้ทำการตรวจวัดในทุกสถานี แต่มีความถี่ในการตรวจวัดแตกต่างกันโดยมีความถี่ตั้งแต่ 6 ถึง 9 ครั้งต่อสถานีเก็บตัวอย่าง โดยค่า DO ที่ทำการตรวจวัดได้ในแต่ละครั้งมีค่าไม่น้อยกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า DO เฉลี่ยของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างน้ำพบว่ามีพิสัย 5.4 ถึง 7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสถานีเก็บตัวอย่างน้ำทั้ง 4 สถานี (PI 10 ถึง PI 13) มี DO เฉลี่ย ตั้งแต่ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำประเภทที่ 2 ส่วนสถานีเก็บตัวอย่างน้ำ PI 14 เป็นสถานีเก็บตัวอย่างน้ำที่ตั้งอยู่ที่เทศบาลตำบลเมืองแกนพัฒนา สะพานซ่อแล บ้านซ่อแล ตำบลซ่อแล อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นสถานีที่อยู่เหนือที่สุดของลำน้ำมี DO เฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 5.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำแล้วจึงจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำประเภทที่ 3



ภาพที่ 3 ตำแหน่งสถานีเก็บตัวอย่างน้ำในแม่น้ำปิง
ที่ท่า: กรมควบคุมมลพิษ (2546)

4) BOD ในการตรวจวัดปริมาณ BOD นั้น ได้ทำการตรวจวัดในทุกสถานี ความถี่ในการตรวจวัดคือ 6 ถึง 9 ครั้งต่อสถานีเก็บตัวอย่าง จากผลการตรวจวัดพบว่า ส่วนใหญ่ BOD ของน้ำจากสถานีเก็บตัวอย่างน้ำทั้ง 5 สถานีมีค่าตั้งแต่ 0.2 ถึง 2.6 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการตรวจวัดเพียง 1 ครั้ง ที่พบว่าค่า BOD มีค่าสูงเกิน 2.6 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ การตรวจวัดที่สถานี PI 12 ในเดือนเมษายน พ.ศ. 2540 ซึ่งน้ำมีค่า BOD 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตาม ค่า BOD เฉลี่ยของทุกสถานี ยังอยู่ในระดับที่ใกล้เคียง 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (0.8 ถึง 1.3 มิลลิกรัมต่อลิตร) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์แหล่งน้ำประเภทที่ 2 ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

5) สำหรับการตรวจวัดทางด้านชีวภาพซึ่งครอบคลุมการตรวจวัดทั้ง TC และ FC นั้น ได้ทำการตรวจวัด TC ด้วยความถี่ 6 ถึง 9 ครั้งต่อสถานีเก็บตัวอย่าง จากผลการตรวจวัดพบว่า TC มีค่าอยู่ในช่วง 900 ถึง 790,000 MPN/100 ml ส่วนการตรวจวัด FC ได้ทำการตรวจวัด ด้วยความถี่ 4 ถึง 8 ครั้งต่อสถานีเก็บตัวอย่าง โดยผลการตรวจวัดพบว่า FC มีค่าอยู่ในช่วง 200 ถึง 83,000 MPN/100 ml จากผลการตรวจวัดข้างต้นชี้ให้เห็นว่าแม่น้ำปิงตอนบนได้รับการปนเปื้อนจากน้ำเสียชุมชนเป็นระยะๆ ตลอดลำน้ำและมีผลให้สรุปได้ว่าแม่น้ำปิงจัดเป็นแหล่งน้ำประเภทที่ 3 หรือด้อยกว่า ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำนี้จึงควรเป็นไปด้วยความระมัดระวัง

6) การตรวจวัดปริมาณ Total Phosphorus นั้น มีการตรวจพบในระดับต่ำ โดย TP มีค่าความเข้มข้นไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นส่วนใหญ่ และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัดทุกสถานี สถานีละ 6 ถึง 9 ครั้ง ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 0.042 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ PI 12 อย่างไรก็ตามยังไม่มีมีการกำหนดค่ามาตรฐานของดัชนีคุณภาพน้ำชนิดนี้

7) การตรวจวัด Nitrate-Nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$) ได้ทำการตรวจวัดทุกสถานี สถานีละ 7 ถึง 9 ครั้ง สรุปได้ว่าน้ำมีค่า $\text{NO}_3\text{-N}$ ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นส่วนมาก มีการตรวจวัดเพียงครั้งเดียวที่พบความเข้มข้นสูงสุด คือ 2.43 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเทียบได้ประมาณครึ่งหนึ่งของค่ามาตรฐานที่ระบุไว้ในมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 ถึง 4 ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเทียบกันทั้ง 5 สถานี มีค่าเพียง 0.365 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่านั้น

8) การตรวจวัด $\text{NH}_3\text{-N}$ ซึ่งตรวจวัดสถานีละ 6 ถึง 8 ครั้ง ตรวจพบสูงสุด 0.33 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีพิสัยค่าเฉลี่ยของแต่ละสถานีอยู่ระหว่าง 0.076 ถึง 0.171 มิลลิกรัมต่อ

ลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทที่ 2 ถึง 4 ที่กำหนดไว้ให้มี $\text{NH}_3\text{-N}$ ได้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

9) การตรวจวัดโลหะหนักในแต่ละสถานี ได้ทำการตรวจวัดสถานีละ 6 ถึง 9 ครั้ง โดยผลการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักในแม่น้ำปิงแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข ซึ่งแสดงให้เห็นว่าได้ทำการตรวจวัดโลหะทั้งหมด 9 ชนิดซึ่งประกอบด้วย 1) สารหนู (As) 2) แคดเมียม (Cd) 3) ทองแดง (Cu) 4) แมงกานีส (Mn) 5) นิกเกิล (Ni) 6) สังกะสี (Zn) 7) ตะกั่ว (Pb) 8)ปรอท (Hg) 9) โครเมียม (Cr) โดยโลหะ 6 ชนิดจากทั้งหมด 9 ชนิดได้แก่ Cd, As, Cu, Ni, Mn และ Zn มีความเข้มข้นอยู่ในมาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทที่ 2 ถึง 4 ทั้งสิ้น ซึ่งตามมาตรฐานได้กำหนดไว้ไม่เกิน 5, 10, 100, 100, 1,000 และ 1,000 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับตะกั่ว (Pb) ตรวจพบจำนวน 1 ครั้ง ที่มีความเข้มข้นถึง 93 ไมโครกรัมต่อลิตรซึ่งเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำ ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่วนการตรวจวัดปรอท (Hg) เป็นโลหะอีกชนิดหนึ่งที่มีผลการตรวจวัดเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำ ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 2 ไมโครกรัมต่อลิตรซึ่งค่าที่ตรวจวัดได้อยู่ระหว่าง 3 ถึง 8 ไมโครกรัมต่อลิตร และสำหรับการตรวจวัดโครเมียมทั้งหมด (Total Cromium) นั้นพบตั้งแต่ระดับที่ไม่สามารถตรวจพบได้จนถึง 30 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยในปัจจุบันยังไม่ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของโครเมียมทั้งหมดนี้ไว้ แต่สำหรับ Cr^{+6} ในน้ำนั้นยังอยู่ในระดับที่ไม่เกินกว่าเกณฑ์แหล่งน้ำประเภทที่ 2 ถึง 4

10) การตรวจวัดสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ซึ่งประกอบด้วย สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนทั้งหมด (Total Organochlorine Pesticides) ดีดีที (DDT) บีเอชซี ชนิดแอลฟา (Alpha-BHC) ดิลดริน (Dieldrin) อัลดริน (Aldrin) เฮปตาคลอร์ อีพอกไซด์ (Heptachlorepoxyde) และเอนดริน (Endrin) ตรวจพบอยู่ในมาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทที่ 2 ถึง 4 ทั้งสิ้น (กำหนดไว้ไม่เกิน 50, 1,000, 20, 100, 100 และ 200 ไมโครกรัมต่อลิตร และไม่สามารถตรวจพบได้ตามวิธีการตรวจสอบที่กำหนดได้ตามลำดับ)

1.6.2 โครงการบรรเทาอุทกภัยและการขาดแคลนน้ำ ลุ่มน้ำปิงตอนบน พ.ศ. 2540 ของกรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

การศึกษาโครงการบรรเทาอุทกภัยและการขาดแคลนน้ำ ลุ่มน้ำปิงตอนบน ในส่วนการศึกษาด้านคุณภาพน้ำนั้น กรมชลประทานได้ทำการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในลุ่มน้ำ

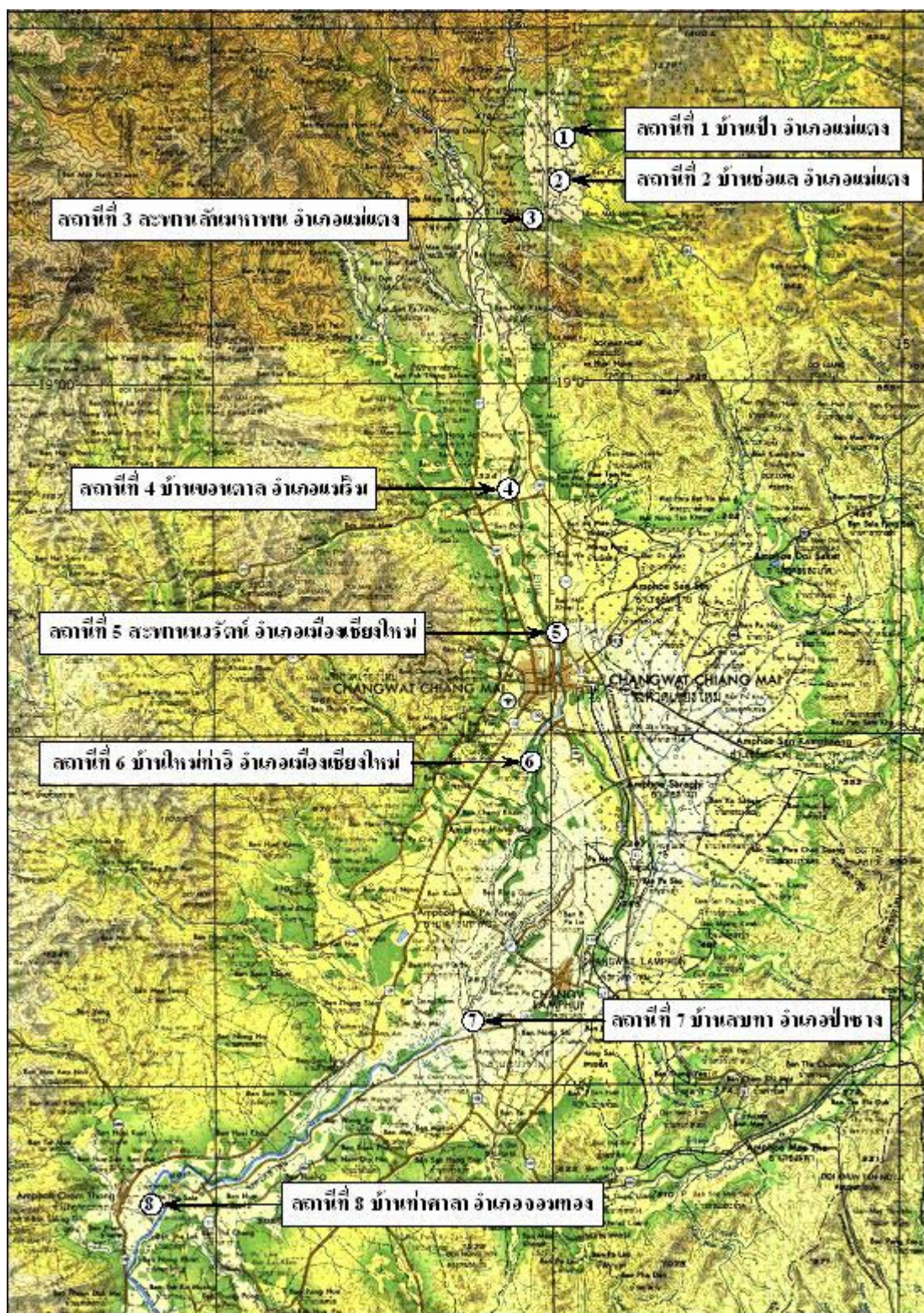
ปึงตอนบน เพื่อการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำตามฤดูกาลในรอบปี ได้ทำการศึกษาโดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างน้ำ กำหนดเป็น 3 ระยะ คือ ในฤดูหนาว ช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2538 ในฤดูร้อน ช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน พ.ศ. 2539 และ ฤดูฝน ช่วงเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม พ.ศ. 2539

2) จุดเก็บตัวอย่างน้ำ กำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำในแม่น้ำปึงตอนบน รวมทั้งสิ้น 8 จุด เป็นระยะทางประมาณ 120 กิโลเมตร โดยครอบคลุมแม่น้ำปึงตอนบน น้ำแม่จัด น้ำแม่แตง และน้ำแม่กวัง ดังแสดงจุดที่ตั้งสถานีเก็บตัวอย่างน้ำทั้ง 8 จุดในภาพที่ 4 ซึ่งสถานีเก็บตัวอย่างน้ำประกอบด้วย 1) สถานีที่ 1 ที่บริเวณบ้านเป้า อำเภอแม่แตง เป็นบริเวณต้นน้ำลุ่มน้ำปึงตอนบน 2) สถานีที่ 2 บริเวณบ้านซ่อแล อำเภอแม่แตง ซึ่งเป็นจุดบรรจบแม่น้ำปึงและน้ำแม่จัด 3) สถานีที่ 3 บริเวณสะพานสันมหาพล อ.แม่แตง โดยเป็นจุดบรรจบแม่น้ำปึงและน้ำแม่แตง 4) สถานีที่ 4 อยู่ที่ บ้านขอนตาล อ.แม่ริม บริเวณสถานีตรวจวัดน้ำของกรมชลประทาน 5) สถานีที่ 5 บริเวณสะพาน นวรัตน์ อ.เมือง เป็นจุดเก็บตัวอย่างน้ำในตัวเมืองเชียงใหม่ 6) สถานีที่ 6 บริเวณบ้านใหม่ท่าอิ อ.เมือง โดยเป็นจุดที่ลำน้ำไหลออกจากเมืองเชียงใหม่ 7) สถานีที่ 7 บริเวณบ้านสบทา อ.ป่าซาง ซึ่งเป็นจุดบรรจบของแม่น้ำปึงและน้ำแม่กวัง 8) สถานีที่ 8 บริเวณบ้านท่าศาลา อ.จอมทอง เป็นจุดปลายของลุ่มน้ำปึงตอนบน

3) ในการศึกษาได้ทำการศึกษาถึงดัชนีคุณภาพน้ำต่างๆ ประกอบด้วย 1) สมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ เวลา ความลึกของน้ำ อุณหภูมิและอากาศ ความโปร่งแสง ความขุ่น ความเป็นกรด ความเป็นด่าง ความกระด้าง ความนำไฟฟ้า ความเป็นกรด-ด่าง สารละลาย น้ำ สารแขวนลอย และ DO 2) ดัชนีมลพิษทางน้ำ ประกอบด้วย BOD FC และ TC 3) Anions ประกอบด้วย SO_4 , NO_3 , HCO_3 , Cl 4) Cations ประกอบด้วย Na, K, Ca, Mg, Mn 5) โลหะหนัก ประกอบด้วย As, Pb, Hg, Zn, Cr, Cu, Fe 6) สารกำจัดศัตรูพืช ประกอบด้วย DDT, BHC, Dieldrin, Aldrin, Heptachlor, Epoxide, Endrin 7) ดัชนีคุณภาพน้ำเพื่อการชลประทาน ประกอบด้วย Residual Sodium Carbonate (RSC), Soluble Sodium Percentage (SSP), Sodium Absorption Ratio (SAR)

โดยจากการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน สามารถสรุปผลได้ดังนี้



ภาพที่ 4 จุดที่ตั้งสถานีเก็บตัวอย่างน้ำในแม่น้ำปิงตอนบน
ที่มา: กรมชลประทาน (2540)

1) คุณภาพน้ำในแม่น้ำปิงในฤดูหนาว

ช่วงต้นน้ำ (สถานีที่ 1) น้ำค่อนข้างใส มีปริมาณสารแขวนลอยต่ำ คือ 7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความโปร่งแสงสูงถึง 100 เซนติเมตร ความขุ่นมีค่าต่ำเพียง 6.3 NTU ปริมาณสารละลายในน้ำมีค่าค่อนข้างสูงถึง 191.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเฉพาะแคลเซียมเท่ากับ 141.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และแมกนีเซียมเท่ากับ 10.4 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นผลให้ความกระด้างของน้ำมีค่าสูงถึง 183.3 มิลลิกรัมต่อลิตร

ช่วงลำน้ำ (สถานีที่ 4-6) น้ำมีความขุ่นเพิ่มขึ้น แต่อยู่ในเกณฑ์ปกติ คือค่าความโปร่งแสงมีค่าเท่ากับ 40 ถึง 60 เซนติเมตร มีปริมาณสารแขวนลอยอยู่ในช่วง 13.0 ถึง 32.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารละลายในน้ำมีค่าใกล้เคียงกับต้นน้ำ คือ 116.5 ถึง 203.0 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ความกระด้างของน้ำในลุ่มน้ำมีค่าต่ำลงคือ 90.3 ถึง 110.3 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากมีปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมต่ำเท่ากับ 72.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 4.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ช่วงปลายน้ำ (สถานีที่ 8) น้ำขุ่นมากขึ้น โดยมีค่าความขุ่นสูงถึง 58 NTU มีปริมาณสารแขวนลอยเท่ากับ 43.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนปริมาณสารละลายในน้ำนั้นมีค่าเท่ากับ 150.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และความกระด้างของน้ำมีค่าเท่ากับ 105.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับบริเวณช่วงลำน้ำ

2) คุณภาพน้ำในแม่น้ำปิง ในฤดูร้อน

ช่วงต้นน้ำ น้ำใสกว่าในฤดูหนาว มีปริมาณสารแขวนลอย 2.2 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความขุ่นเท่ากับ 6.1 NTU และความกระด้างของน้ำมีค่าสูงถึง 171.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

ช่วงลำน้ำ มีค่าความโปร่งแสงน้อยกว่าช่วงฤดูหนาวโดยอยู่ในช่วง 30 ถึง 40 เซนติเมตร ที่สถานีที่ 4 น้ำมีความขุ่นสูงมากคือมีค่าเท่ากับ 113.0 NTU และมีปริมาณสารแขวนลอยสูงถึง 152.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ความกระด้างของน้ำมีค่าใกล้เคียงกับในช่วงฤดูหนาว

ช่วงปลายน้ำ น้ำมีความขุ่น ปริมาณสารแขวนลอย ปริมาณสารละลาย ในน้ำและความกระด้างของน้ำ มีค่าใกล้เคียงกับในช่วงฤดูหนาวคือ มีค่าความขุ่นเท่ากับ 52.0 NTU ปริมาณสารแขวนลอย ปริมาณสารละลายในน้ำและความกระด้างของน้ำมีค่าเท่ากับ 43.2, 134.8 และ 91.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

3) คุณภาพน้ำในแม่น้ำปิง ในฤดูฝน

ช่วงต้นน้ำ น้ำขุ่นมากกว่าในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน โดยมีค่าความขุ่นเท่ากับ 60 NTU และมีค่าความโปร่งแสงต่ำเพียง 20 เซนติเมตร สำหรับปริมาณสารละลายในน้ำ มีค่าเท่ากับ 163.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความกระด้างของน้ำมีค่าเท่ากับ 134.4 มิลลิกรัมต่อลิตร และความนำไฟฟ้ามีค่า 282.1 ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าช่วงลำน้ำและปลายน้ำ รวมทั้งลำน้ำสาขา (น้ำแม่จัด น้ำแม่แดง และน้ำแม่กวง)

ช่วงลำน้ำ น้ำมีค่าความขุ่นอยู่ในช่วง 110 ถึง 138 NTU มีปริมาณสารแขวนลอยและปริมาณสารละลายในน้ำอยู่ในช่วง 127.5 ถึง 176.5 และ 11.3 ถึง 128.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ช่วงปลายน้ำ น้ำมีค่าความขุ่นเท่ากับ 99 NTU มีปริมาณสารแขวนลอย และสารละลายในน้ำเท่ากับ 90.5 และ 141.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

4) คุณภาพน้ำในน้ำแม่จัด (สถานีที่ 2)

ฤดูหนาว น้ำค่อนข้างใส มีปริมาณสารแขวนลอย 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีความโปร่งแสงสูงที่สุดในลุ่มน้ำคือ 110 เซนติเมตร ค่าความกระด้างของน้ำเท่ากับ 86.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมเท่ากับ 31.0 และ 13.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณแอมโมเนียมีค่าสูงที่สุดในลุ่มน้ำคือ 0.217 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีปริมาณเหล็กเท่ากับ 1.100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ฤดูร้อน น้ำมีปริมาณสารแขวนลอย 1.8 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความโปร่งแสงสูงถึง 230 เซนติเมตร มีค่าความกระด้างต่ำที่สุดในลุ่มน้ำคือ 47.3 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีปริมาณสารละลายในน้ำต่ำกว่าลุ่มน้ำอื่นคือ 102.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

ฤดูฝน น้ำมีค่าความโปร่งแสงสูงที่สุดในลุ่มน้ำคือ 50 เซนติเมตร มีปริมาณสารละลายในน้ำ 98.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความกระด้างเท่ากับ 50.4 มิลลิกรัมต่อลิตร และความขุ่นเท่ากับ 33 NTU ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำที่สุดในลุ่มน้ำ

5) คุณภาพน้ำในน้ำแม่แดง (สถานีที่ 3)

ฤดูหนาว น้ำมีความขุ่นกว่าน้ำในน้ำแม่จืด มีค่าความโปร่งแสงเท่ากับ 50 เซนติเมตร มีปริมาณสารแขวนลอยเท่ากับ 21.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารละลายในน้ำเท่ากับ 113.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความกระด้างของน้ำเท่ากับ 74.6 มิลลิกรัมต่อลิตร และพบว่ามีปริมาณเหล็กสูงถึง 1.700 มิลลิกรัมต่อลิตร

ฤดูร้อน น้ำมีความขุ่นกว่าในฤดูหนาว โดยมีค่าความขุ่นเท่ากับ 13.9 NTU ปริมาณแมงกานีสและเหล็กมีค่าเท่ากับ 0.607 และ 1.600 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าลุ่มน้ำอื่น รวมทั้งมีค่า BOD เท่ากับ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงว่ามีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์มากกว่าลุ่มน้ำอื่นในช่วงฤดูร้อน

ฤดูฝน น้ำมีค่าความขุ่น 139 NTU และมีสารแขวนลอยสูงที่สุดในลุ่มน้ำคือ 191.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าในฤดูหนาวและฤดูร้อน โดยมีปริมาณสารละลายในน้ำ ความกระด้าง และความนำไฟฟ้า ก่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับลุ่มน้ำอื่นในลุ่มน้ำเดียวกันคือมีค่าเท่ากับ 104.5, 63.0 และ 140.5 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

6) คุณภาพน้ำในน้ำแม่กวัง (สถานีที่ 7)

ฤดูหนาว มีค่าความโปร่งแสง 50 เซนติเมตร ปริมาณสารละลายในน้ำ มีค่าค่อนข้างสูงคือ 158.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนเตรท คลอไรด์ โซเดียม โปแตสเซียม และสังกะสีสูงที่สุดในลุ่มน้ำคือ 1.040, 20.0, 65.392, 1.287 และ 0.713 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ฤดูร้อน ความขุ่นของน้ำมีค่าใกล้เคียงกับในช่วงฤดูหนาวคือ 9.8 NTU มีปริมาณไนเตรท โซเดียมและสังกะสีสูงกว่าในลำน้ำอื่นคือ 0.431, 38.925 และ 0.596 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ฤดูฝน มีค่าความขุ่นเท่ากับ 59 NTU ปริมาณสารแขวนลอยเท่ากับ 26.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สารละลายในน้ำเท่ากับ 143.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความกระด้างมีค่าเท่ากับ 52.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และความนำไฟฟ้ามีค่า 167.5 ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร สูงกว่าน้ำแม่จัดและแม่แตง แต่ไม่สูงกว่าน้ำแม่ปิง

7) ดัชนีคุณภาพน้ำ

ดัชนีคุณภาพน้ำในช่วงฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน บริเวณต้นน้ำ ลำน้ำและท้ายน้ำของน้ำแม่ปิง น้ำแม่จัด น้ำแม่แตง และน้ำแม่กวง มีค่าปกติ เช่น ความเป็นกรด-ด่างมีค่าอยู่ในช่วง 7.2-8.9 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 5.0-8.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่า BOD เป็นค่าที่แสดงถึงการปนเปื้อนของอินทรีย์สารเล็กน้อยในแม่น้ำปิง และน้ำแม่กวง ในช่วงฤดูหนาวนั้นมีค่าอยู่ในช่วง 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในฤดูร้อนและฤดูฝนมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์สูงขึ้นที่น้ำแม่แตง คือ BOD มีค่า 3 และ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีคุณภาพน้ำในแม่น้ำปิงกับลำน้ำสาขา จะพบว่าแม่น้ำปิงมีสภาพการนำไฟฟ้า ความกระด้าง ปริมาณซัลเฟต ฟอสเฟต และไนเตรท สูงกว่าลำน้ำสาขา ยกเว้นน้ำแม่กวง ซึ่งมีปริมาณไนเตรทสูงที่สุด

จากข้อมูลการศึกษาข้างต้น สรุปได้ว่าน้ำในแม่น้ำปิง น้ำแม่จัด น้ำแม่แตง และน้ำแม่กวง (ในช่วงฤดูหนาว ฤดูร้อน ฤดูฝน) มีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ดี จัดอยู่ในแหล่งน้ำประเภทที่ 1 และ 2 ถ้ายกเว้นค่า BOD และค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย กล่าวคือ ในฤดูหนาว ค่า BOD ของแม่น้ำปิงในช่วงลำน้ำ และของน้ำแม่กวงมีค่า 1 ถึง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ควรจัดเป็นแหล่งน้ำประเภท 2 และ 3 ถ้าพิจารณาจากโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ซึ่งมีปริมาณ FC เท่ากับปริมาณ TC น้ำแม่แตงเท่านั้นที่จัดอยู่ในแหล่งน้ำประเภท 1 และ 2 ส่วนน้ำแม่ปิง แม่จัด และน้ำแม่กวง จัดอยู่ในแหล่งน้ำประเภท 2 และ 3 ส่วนในฤดูร้อน ค่า BOD ของน้ำแม่ปิง ช่วงลำน้ำและปลายน้ำมีค่า 1 ถึง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร จัดเป็นแหล่งน้ำประเภท 2 และ 3 ค่าบีโอดีของน้ำแม่แตง มีค่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจัดเป็นแหล่งน้ำประเภท 3 และ 4 ถ้าพิจารณาเฉพาะค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (ทั้ง FC และ TC) ทุกลำน้ำจัดอยู่ใน

แหล่งน้ำประเภท 2 และ 3 สำหรับในฤดูฝน ปริมาณ BOD ของแม่น้ำปิงช่วงปลายน้ำ และของน้ำแม่แตงมีค่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจัดอยู่ในแหล่งน้ำประเภท 2 และ 3

2. ทฤษฎีและหลักการของแบบจำลอง MIKE 11

แบบจำลอง MIKE 11 เป็นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1972 โดย DHI Water and Environment (DHI, 1995) โดยมีลักษณะเด่นคือการใช้งานได้โดยง่าย (user-friendly) แบบจำลอง MIKE 11 ประกอบด้วยหลายแบบจำลองย่อย (Module) สำหรับในงานวิจัยนี้ได้นำแบบจำลองย่อย 4 แบบจำลองมาใช้ในการศึกษาสภาพคุณภาพน้ำของแม่น้ำปิงตอนบน รายละเอียดของแต่ละแบบจำลองย่อยมีดังนี้

2.1 แบบจำลอง NAM

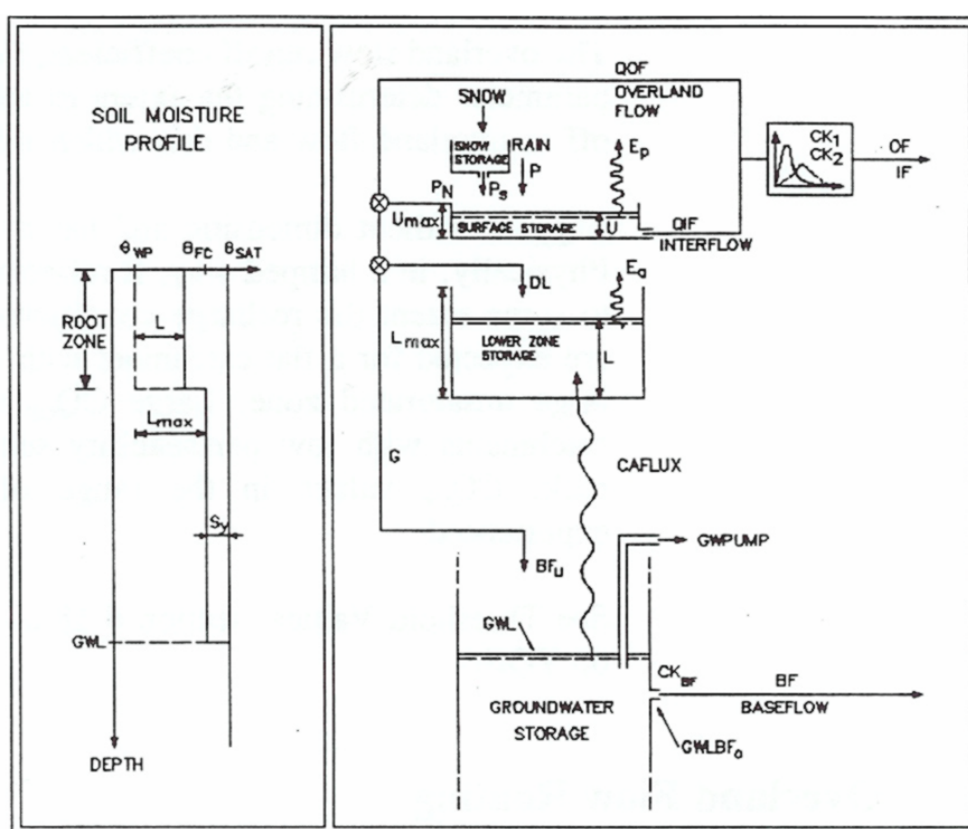
แบบจำลอง NAM เป็นคำย่อของ “Nedbor-Afstromnings-Model” ในภาษา Danish แปลว่าแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff Model) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Neilsen และ Hansen (1973) แห่ง The Hydrological Section of the Institute of Hydrodynamics and Hydraulic Engineering, The Technical University of Denmark โดยจำลองการเกิดน้ำท่าจากข้อมูลหลักคือปริมาณน้ำฝน ต่อมา Danish Hydraulic Institute (DHI) ได้รวมแบบจำลอง NAM ไว้ในซอฟต์แวร์ MIKE 11 โดยแบบจำลอง NAM จะจำลองการเกิดปริมาณน้ำท่าเพื่อนำมาใช้เป็นปริมาณการไหลเข้าด้านข้าง (Lateral Inflow) สำหรับ Hydrodynamic Module (HD) (นุชนารถ, 2545)

2.1.1 ทฤษฎีของแบบจำลอง NAM

แบบจำลอง NAM จัดอยู่ในแบบจำลองประเภท Lumped Model โดยน้ำท่าจะถูกคำนวณในรูปแบบของฟังก์ชันของเวลาอย่างเฉียด ณ จุดที่พิจารณา ซึ่งค่าพารามิเตอร์และตัวแปรที่ใช้จะเป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำนั้นๆ โดยแนวความคิดของแบบจำลองจะเป็นการนำลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำมาประยุกต์ใช้กับสมการ ดังนั้นค่าพารามิเตอร์บางค่าสามารถประเมินได้จากลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ โดยผลที่ได้จากแบบจำลองจะเป็นปริมาณน้ำท่า

ก. โครงสร้างของแบบจำลอง (Model Structure)

โครงสร้างของแบบจำลอง NAM เป็นการเลียนแบบลักษณะกระบวนการน้ำฝน-น้ำท่า ของพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยทำการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็นลุ่มน้ำย่อย ซึ่งจะมีค่าพารามิเตอร์และตัวแปรต่างๆเป็นตัวแทนของลุ่มน้ำย่อยนั้นๆ สำหรับโครงสร้างของแบบจำลอง NAM แสดงในภาพที่ 5 ซึ่งเป็นการจำลองลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำซึ่งปริมาณน้ำจะถูกแบ่งไปเก็บกักไว้ในส่วนของการเก็บกัก 4 ส่วน ดังนี้ (นุชนารถ, 2545)



ภาพที่ 5 โครงสร้างของแบบจำลอง NAM

ที่มา: Danish Hydraulic Institute (1992)

1) การเก็บกักของหิมะ (Snow Storage) จะขึ้นอยู่กับอัตราการละลายตัวของหิมะ (Q_{melt}) ซึ่งจะไปเพิ่มปริมาณน้ำให้กับ การเก็บกักของผิวดิน เนื่องจากประเทศไทยไม่มีหิมะ ดังนั้นส่วนประกอบนี้จึงไม่นำมาพิจารณา

2) การเก็บกักบนผิวดิน (Surface Storage) คือปริมาณน้ำที่ค้างอยู่บนพืช และเก็บกักอยู่ในแอ่งบนพื้นดิน โดยที่ $U_{\max}$ คือปริมาณน้ำมากที่สุดที่จะเก็บได้ในส่วนของการเก็บกักบนผิวดิน

3) การเก็บกักของชั้นดินส่วนล่าง (Lower Zone Storage) คือปริมาณความชื้นของชั้นดินที่อยู่ลึกลงไปจากผิวดิน โดยที่ $L_{\max}$ คือปริมาณน้ำมากที่สุดที่จะเก็บได้ในส่วนของการเก็บกักของชั้นดินส่วนล่าง

4) การเก็บกักของชั้นน้ำใต้ดิน (Groundwater Storage) คือปริมาณน้ำที่ซึมผ่านการเก็บกักบริเวณชั้นดินส่วนล่าง (Lower Zone Storage) มาเก็บกักที่ชั้นนี้

ข. การคำนวณของแบบจำลอง

1) การเก็บกักบนผิวดิน (Surface Storage)

การเก็บกักบนพื้นผิว (Surface Storage) เริ่มต้นการเลียนแบบวัฏจักรทางอุทกวิทยาบนผิวดิน โดยน้ำจะถูกเก็บกักตามแหล่งต่าง ๆ โดยปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาจะถูกดักโดยพืชและยังตามที่ลุ่มในบริเวณชั้นผิวดิน และจะอยู่ในรูปของปริมาณเก็บกักพื้นผิว (Surface Storage) มีค่าเก็บกักสูงสุดเท่ากับ $U_{\max}$ ในเขต Root Zone ในส่วนที่ต่ำกว่าพื้นผิวที่เรียกว่า Lower Zone Storage จะมีค่าเก็บกักสูงสุดเท่ากับ $L_{\max}$ โดยปริมาณน้ำใน Surface Storage (U) จะลดลงอย่างต่อเนื่องโดยการระเหย การใช้น้ำของพืช และการไหลในแนวนอน (Interflow) ปริมาณน้ำในชั้นนี้จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณฝน แต่เมื่อปริมาณน้ำขึ้นถึงระดับ $U_{\max}$ น้ำส่วนเกิน (P_n) จะไหลออกมาในรูปของ Overland Flow และมีบางส่วนไหลซึมลงสู่ Lower Zone Storage และ Groundwater Storage

เมื่อ $U \geq U_{\max}$ น้ำส่วนเกิน (P_n) จะไหลออก เมื่อ QOF เป็นส่วนหนึ่งของ P_n ที่แปรสภาพเป็น Overland Flow โดยเป็นสัดส่วนกับ P_n และแปรผันโดยตรงกับความจุความชื้นสัมพัทธ์ในดิน ($L/L_{\max}$) ของ Lower Zone Storage ดังสมการ

$$QOF = CQOF * \frac{L / L_{max} - TOF}{1 - TOF} * P_n \quad \text{สำหรับ } L/L_{max} > TOF \quad (1)$$

$$= 0 \quad \text{สำหรับ } L/L_{max} \leq TOF$$

เมื่อ CQOF = Overland Flow Runoff Coefficient
 TOF = ค่าคงที่ที่น้ำเริ่มแปรสภาพเป็น Overland Flow
 ($0 \leq TOF \leq 1$)

ปริมาณน้ำส่วนที่กลายเป็น interflow จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณเก็บกัก
 ชั้นบน (U) แปรผันโดยตรงกับความจุความชื้นสัมพัทธ์ (L/L_{max}) ในชั้น Lower Zone Storage

$$QIF = CKIF * \frac{L / L_{max} - TIF}{1 - TIF} * U \quad \text{สำหรับ } L/L_{max} > TIF \quad (2)$$

$$= 0 \quad \text{สำหรับ } L/L_{max} \leq TIF$$

เมื่อ CKIF = Time Constant for Interflow
 TIF = ค่าคงที่สำหรับ Root Zone ที่น้ำเริ่มแปรสภาพ
 เป็น Interflow ($0 \leq TIF \leq 1$)

2) การเก็บกักในชั้นดินส่วนล่าง (Lower Zone Storage)

เมื่อปริมาณฝนส่วนเกิน (P_n) ในส่วนที่ไม่กลายเป็น Overland Flow จะ
 ไหลซึมลงสู่ชั้น Lower Zone Storage ในปริมาณที่เท่ากับ $P_n - QOF$ ซึ่งน้ำส่วนนี้จะแยกลงสู่ชั้นได้
 ดินที่ลึกกว่า คือ Groundwater Storage ในปริมาณเท่ากับ G จะเหลือส่วนที่ยังอยู่ใน Lower Zone
 Storage เท่ากับ DL ดังสมการ

$$G = (P_n - QOF) * \frac{L / L_{max} - TG}{1 - TG} \quad \text{สำหรับ } L/L_{max} > TG \quad (3)$$

$$= 0 \quad \text{สำหรับ } L/L_{max} \leq TG$$

$$DL = (P_n - QOF) - G \quad (4)$$

เมื่อ TG = ค่าคงที่สำหรับ Root Zone ที่น้ำจะไหลซึมลงสู่
Groundwater Storage ($0 \leq TG \leq 1$)

ปริมาณการคายระเหยของพืชจะเป็นข้อมูลตัวแรกที่ต้องทราบค่าเพื่อใช้ในการคำนวณในส่วนของ Surface Storage ถ้าปริมาณน้ำ (U) น้อยกว่าปริมาณการระเหย พืชจะใช้น้ำจาก Lower Zone Storage ในอัตราเท่ากับ E_a ซึ่งเป็นสัดส่วนกับ Potential Evapotranspiration (E_p) ดังสมการ

$$E_a = E_p * (L / L_{max}) \quad (5)$$

3) การเก็บกักของชั้นน้ำใต้ดิน (Groundwater Storage)

ระดับน้ำใต้ดินจะคำนวณจากปริมาณน้ำที่เพิ่มเข้ามา คือ G และ CAFLUX การสูบออก (GWPUMP), Net Groundwater Abstraction และ BF (Baseflow) โดย Baseflow จะคำนวณเป็นการไหลออกจาก Linear reservoir ด้วย CKBF (Time Constant for Baseflow) ดังสมการ

$$\begin{aligned} BF &= (GWLBF_0 - GWL) Sy (CKBF)^{-1} \quad \text{เมื่อ } GWL \leq GWLBF_0 \quad (6) \\ &= 0 \quad \text{เมื่อ } GWL > GWLBF_0 \end{aligned}$$

เมื่อ $GWLBF_0$ คือความลึกของ Groundwater Table ที่มากที่สุดที่ทำให้เกิด Baseflow

Sy คือ Specific Yield ของ Groundwater Reservoir

Capillary Flux ของน้ำจาก Groundwater Table มายัง Lower Zone Storage จะกำหนดให้ขึ้นกับความลึกของน้ำใต้ดินจากระดับผิวดิน (GWL) และความจุความชื้นสัมพัทธ์ (L/L_{max}) ในชั้น Lower Zone Storage ดังสมการ

$$\begin{aligned} CAFLUX &= \left(1 - \frac{L}{L_{max}}\right)^{1/2} * \left(\frac{GWL}{GWLFL_t}\right)^{-\alpha} \quad (7) \\ \alpha &= 1.5 + 0.45 GWLFL_t \end{aligned}$$

$GWLFL_1$ คือค่าความลึกของ Groundwater Table ของดินซึ่งทำให้ Capillary Flux (CAFLUX) มีค่าเท่ากับ 1 มม. ในสภาพที่ Lower Zone Storage แห้งสนิท ($L = 0$)

4) การเคลื่อนตัวของน้ำท่า (Flow Routing)

การเคลื่อนตัวของปริมาณน้ำในส่วนของการไหลระหว่างผิวดินและน้ำใต้ดิน (Interflow) และ ปริมาณน้ำที่ไหลบนผิวดิน (Overland Flow) จะถูกทำให้เคลื่อนตัว (Routing) ในลักษณะของอ่างเก็บน้ำเชิงเส้น 2 ครั้ง ด้วยค่าคงที่ของเวลา CK_1 และ CK_2 ดังสมการ

ปริมาณการไหลระหว่างผิวดินและน้ำใต้ดิน (Interflow)

$$IFI_t = IFI_{t-1} \times e^{-\Delta t / CK_1} + QIF(1 - e^{-\Delta t / CK_1}) \quad (8)$$

$$IF_t = IF_{t-1} \times e^{-\Delta t / CK_2} + IFI_t(1 - e^{-\Delta t / CK_2}) \quad (9)$$

ปริมาณการไหลบนผิวดิน (Overland Flow)

$$OFI_t = OFI_{t-1} \times e^{-\Delta t / CK_1} + QOF(1 - e^{-\Delta t / CK_1}) \quad (10)$$

$$OF_t = OF_{t-1} \times e^{-\Delta t / CK_2} + OFI_t(1 - e^{-\Delta t / CK_2}) \quad (11)$$

เมื่อ CK_1, CK_2 = ค่าคงที่ของเวลาสำหรับการเคลื่อนที่ของ
ปริมาณการไหลระหว่างชั้นน้ำผิวดินกับชั้นน้ำ
ใต้ดิน และปริมาณการไหลบนผิวดิน

Δt = ช่วงเวลาสำหรับการคำนวณ

IFI_t, IFI_{t-1} = ปริมาณการไหลระหว่างผิวดินและน้ำใต้ดินที่
ถูกทำให้เคลื่อนตัวในลักษณะของอ่างเก็บน้ำ
เชิงเส้นครั้งที่ 1 ณ เวลา t และ $t-1$

IF_t, IF_{t-1} = ปริมาณการไหลระหว่างผิวดินและน้ำใต้ดินที่
ถูกทำให้เคลื่อนตัวในลักษณะของอ่างเก็บน้ำ

เชิงเส้นครั้งที่ 2 ณ เวลา t และ $t-1$

OF_t, OF_{t-1} = ปริมาณการไหลบนผิวดินที่ถูกทำให้เคลื่อนตัว
ในลักษณะของอ่างเก็บน้ำ เชิงเส้นครั้งที่ 1
ณ เวลา t และ $t-1$

OF_t, OF_{t-1} = ปริมาณการไหลบนผิวดินที่ถูกทำให้เคลื่อนตัว
ในลักษณะของอ่างเก็บน้ำ เชิงเส้นครั้งที่ 2
ณ เวลา t และ $t-1$

ในส่วนของการปรับแก้ค่าคงที่ของเวลา CK_1 และ CK_2 สำหรับการเคลื่อนตัวของปริมาณน้ำที่ไหลบนผิวดิน (Overland Flow) จะเป็นไปตามสมการ

$$\begin{aligned} CK &= CK_{par} & , OF \leq OF_{min} \\ &= CK_{par} * \left(\frac{OF}{OF_{min}} \right)^{-\beta} & , OF > OF_{min} \end{aligned} \quad (12)$$

เมื่อ OF = อัตราการไหลของ Overland Flow
(มิลลิเมตร/ชั่วโมง)

CK_{par} = ค่าพารามิเตอร์ CK_1 หรือ CK_2 (ชั่วโมง)

OF_{min} = ชีดจำกัดต่ำสุดสำหรับ Non-Linear Routing Dynamic
(0.4 มิลลิเมตร/ชั่วโมง)

β = ค่าสัมประสิทธิ์ทางพลศาสตร์การไหลของ
Chezy (0.33)

ก. พารามิเตอร์ของแบบจำลอง (Model Parameters)

จากเอกสาร NAM Documentation and User's Guide (DHI, 1992) สรุปว่าโดยปกติแล้วจะสามารถประมาณค่าเริ่มต้นของ Parameter ต่าง ๆ จากลักษณะทั่วไปของกลุ่มน้ำ เช่น ความลาดชันของกลุ่มน้ำ ความลาดชันของแม่น้ำ ความหนาแน่นของแม่น้ำในกลุ่มน้ำ ลักษณะดิน ลักษณะชั้นดิน และชนิดของพืชที่ปลูก แต่ในขั้นของการปรับเทียบแบบจำลอง ค่าพารามิเตอร์อาจแปรเปลี่ยนไปโดยยึดเกณฑ์ของความคล้ายคลึงกันของกราฟน้ำท่าจริงกับกราฟน้ำท่าจากแบบจำลอง แบบจำลอง NAM ประกอบด้วยพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

ในการใช้งานแบบจำลอง NAM นั้น หากเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่จะต้องทำการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็นลุ่มน้ำย่อย โดยจะมีพารามิเตอร์และตัวแปรสำหรับแต่ละลุ่มน้ำย่อย โดยปกติแล้วจะสามารถประมาณค่าเริ่มต้นของ Parameter ต่าง ๆ จากลักษณะทั่วไปของลุ่มน้ำ เช่น ความลาดชันของลุ่มน้ำ ความลาดชันของแม่น้ำ ความหนาแน่นของแม่น้ำในลุ่มน้ำ ลักษณะดิน ลักษณะชั้นดิน และชนิดของพืชที่ปลูก อย่างไรก็ตาม ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ที่ถูกต้องไม่สามารถประเมินได้จากการวัดค่าลักษณะพื้นฐานทางกายภาพของดินได้โดยตรง เนื่องจากค่าพารามิเตอร์เกือบทั้งหมดเป็นค่าที่ประเมินขึ้นจากประสบการณ์และข้อเท็จจริงที่ได้จากการข้อมูลของลักษณะทางธรรมชาติที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนาม (an empirical nature) โดยผู้ใช้งานจะต้องทำการปรับเทียบ (Calibrate) ค่าเหล่านั้น และในการปรับเทียบแบบจำลอง ต้องทำการปรับค่าพารามิเตอร์และตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลอง เพื่อให้กราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองและข้อมูลจริงมีความเข้ากันได้มากที่สุด สำหรับพารามิเตอร์แบบจำลอง NAM มีดังต่อไปนี้

1) U_{max} : Maximum Water Content in Surface Storage หมายถึงค่าสูงที่สุดของปริมาณน้ำที่ขังไว้บนผิวดินในลักษณะของแอ่งน้ำตื้น ๆ หรือหลุมบ่อตื้น โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 10-20 มิลลิเมตร

2) L_{max} : Maximum Water Content in Root Zone Storage หมายถึงปริมาณความชื้นสูงสุดที่ดินที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยมีค่าเท่ากับผลต่างของจุดอิ่มตัวของน้ำ (Field Capacity) และจุดเหี่ยวเฉาถาวร (Wilting Point) ของดินคูณกับค่าความลึกใช้การของรากพืช ซึ่งค่าเหล่านี้จะประมาณจากข้อมูลดิน

3) CQOF: Overland Flow Runoff Coefficient หมายถึงพารามิเตอร์ที่ใช้แบ่ง Excess Rainfall ระหว่าง Overland Flow Runoff และ Infiltration ซึ่งไม่สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์นี้ได้โดยตรงจากข้อมูลดิน แต่จะสามารถประมาณความสัมพันธ์ได้คือ ถ้าลุ่มน้ำมีความลาดชันน้อย รวมทั้งมีลักษณะเป็นดินหยาบหรือดินทราย และมีชั้นดินอุ้มน้ำไว้ไม่ลึก ค่า CQOF จะมีค่าต่ำถ้าดินในลุ่มน้ำเป็นดินที่มีค่าความชื้นต่ำ เช่น ดินเหนียวหรือหินจะมีค่า CQOF สูง โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.01-0.90

4) CKIF: Time Constant for Interflow เป็นพารามิเตอร์นี้ไม่มีความสำคัญมากนักเนื่องจาก Interflow ไม่ใช่ตัวหลักที่ทำให้เกิด Streamflow โดย Interflow จะมีค่าลดลงเมื่อ CKIF มีค่าสูงขึ้น ค่าที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 500-1,000 ชั่วโมง

5) TOF: Root Zone Threshold Value for Overland Flow หมายถึงค่าที่เป็นตัวกำหนดให้เกิด Overland Flow ในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีน้ำมากและน้ำน้อยสลับกัน โดยจะเกิด Overland Flow ก็ต่อเมื่อความชื้นในเขตรากพืช (Root Zone) ต้องมากกว่าค่า TOF ค่านี้มีผลอย่างมากต่อเวลาเริ่มต้นของการเกิด Overland Flow หลังจากช่วงน้ำน้อย ปกติจะใช้ค่า 0-70 เปอร์เซ็นต์ของ $L_{\max}$

6) TIF: Root Zone Threshold Value for Interflow หมายถึงค่าที่เป็นตัวกำหนดให้เกิด Interflow มีความหมายทำนองเดียวกับ TOF มีความสำคัญไม่มากนัก ส่วนมากจะกำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์

7) TG: Root Zone Threshold Value for Groundwater Recharge หมายถึงค่าที่เป็นตัวกำหนดให้เกิด Groundwater Recharge มีความหมายทำนองเดียวกับ TOF เป็นแฟกเตอร์สำคัญในการปรับเทียบแบบจำลอง

8) CK_1 , CK_2 : Time Constant for Routing Interflow and Overland Flow หมายถึงพารามิเตอร์เพื่อการอธิบายรูปร่างของกราฟน้ำท่า สำหรับ Overland Flow, Interflow และระยะเวลาการเกิด Peak โดยทั่วไปจะกำหนดให้มีค่าเท่ากัน ทำให้เหลือพารามิเตอร์ระหว่างการปรับเทียบแบบจำลองเพียงตัวเดียว

9) Sy: Specific Yield หมายถึง ค่า Specific Yield ของแหล่งเก็บกักน้ำใต้ดินอาจจะกำหนดจากข้อมูลอุทกธรณีวิทยา หรือ Pumping Test โดยทั่วไปอาจประเมินจากชนิดดิน สำหรับดินเหนียวมีค่า 1-10 เปอร์เซ็นต์ ดินทรายมีค่า 10-30 เปอร์เซ็นต์

10) CKBF: Time Constant for Routing Baseflow หมายถึงค่าที่ประมาณจาก Baseflow Recession Curve ในช่วงเริ่มต้นของฤดูแล้ง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 500-5,000 ชั่วโมง

11) $GWLF_0$: Maximum Groundwater Depth Causing Baseflow หมายถึงค่าความลึกมีหน่วยเป็นเมตร แปรผันอยู่ระหว่างค่าระดับผิวดินเฉลี่ยของพื้นที่ลุ่มน้ำกับระดับน้ำต่ำสุดที่จุดไหลออกสู่ลำน้ำ ที่ระดับน้ำใต้ดินเกือบถึงระดับผิวดินจะได้ค่าที่เหมาะสมคือ $GWLF_0$ มีค่า 20 เมตรและค่า Sy ใช้ค่า 0.5 โดยมีข้อกำหนดว่าระดับน้ำใต้ดินต้องอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดินเฉลี่ย เพราะฉะนั้นค่า Baseflow คำนวณได้จากค่าเริ่มต้นค่านี้

12) $GWFL_1$: Groundwater Depth for Unit Capillary Flux หมายถึงค่าความลึกของระดับน้ำใต้ดิน (Groundwater Table) ที่จะทำให้เกิด Upward Capillary เท่ากับ 1 มม./วัน ในเงื่อนไขที่ Lower Zone Storage อยู่ในสภาพที่แห้งสนิท ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของดินด้วย โดย $GWFL_1$ มีค่าเป็นศูนย์ที่ Zero Capillary Flux

ง. ข้อมูลที่ต้องการในการใช้งานแบบจำลอง NAM (Data Requirements)

ข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง NAM ประกอบด้วย

1) พารามิเตอร์ของแบบจำลอง (Model Parameter) โดยปกติแล้วจะสามารถประมาณค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากลักษณะทั่วไปของกลุ่มน้ำ

2) เงื่อนไขเริ่มต้น (initial conditions) ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณการเก็บกักในส่วน of ปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน (overland flow) ปริมาณการเก็บกักในระหว่างชั้นผิวดินและชั้นน้ำใต้ดิน (interflow) และความลึกของน้ำใต้ดิน (groundwater depth) ที่จุดเริ่มต้นของการจำลองแบบ (simulated)

3) ข้อมูลด้านอุตุนิยมิวิทยา ประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณฝน ข้อมูลการระเหย และอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิใช้ในกรณีมีขบวนการในการละลายของหิมะเท่านั้น โดยผลที่ได้จากแบบจำลองคือปริมาณน้ำท่า ซึ่งแสดงถึงการเกิดน้ำท่าจากผลของกระบวนการน้ำฝน-น้ำท่า

จ. การปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration)

การปรับเทียบแบบจำลองมีจุดประสงค์เพื่อทำให้เกิดความเข้ากันได้ดี (a good fit) ระหว่างข้อมูลที่ได้จากการบันทึกไว้ (recorded data) และค่าที่ได้จากการประมาณโดยแบบจำลอง ซึ่งกระทำได้โดยการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลอง (Control Parameter) ตามที่ได้กล่าวถึงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลอง NAM แล้วข้างต้น ซึ่งค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแต่ละลุ่มน้ำนั้นสามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง เพื่อใช้ในการจำลองแบบการตอบสนองของพื้นที่ลุ่มน้ำสำหรับเหตุการณ์พายุฝนอื่น ๆ ต่อไป

ในการปรับเทียบแบบจำลอง NAM นั้น ควรทำการศึกษาในช่วงเวลาประมาณ 3-5 ปี โดยการปรับเทียบแบบจำลองเพื่อพิจารณาการเข้ากันได้ดีระหว่างกราฟน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองและที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลนั้นสมควรพิจารณาความเข้ากันได้ดีของกราฟทั้งสองในหลาย ๆ องค์ประกอบ ตัวอย่างเช่น ความเข้ากันได้ดีของสมมูลของน้ำ ความเข้ากันได้ดีของน้ำท่าโดยรวม ความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลที่ค่าสูง ๆ ความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลที่ค่าต่ำ ๆ เป็นต้น และในการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าควรแสดงการเปรียบเทียบทีละปีเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา

2.1.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM

แบบจำลอง NAM ได้ถูกนำมาใช้ในการประเมินกราฟน้ำท่ารายวันสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศอย่างมากมายตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน ต่อไปนี้ขอกล่าวถึงตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานดังต่อไปนี้

ไพรัตน์ (2536) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM ในการศึกษาปริมาณน้ำท่ารายวันของกลุ่มน้ำสวย ซึ่งเป็นลุ่มน้ำสาขาของแม่น้ำโขง ลุ่มน้ำสวยมีพื้นที่รับน้ำฝน 1,250 ตารางกิโลเมตร เนื่องจากพื้นที่ของลำน้ำสวยโดยส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลของการเกิดน้ำท่วม (Backwater Effect) จากแม่น้ำโขง ดังนั้นในการเลือกข้อมูลของสถานีวัดน้ำท่าเพื่อใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง NAM นั้น จึงได้เลือกสถานีที่ไม่ได้รับผลกระทบของการเกิดน้ำท่วมคือที่สถานีบ้านสมสะอาด ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำ 170 ตารางกิโลเมตร ผลจากการปรับเทียบแบบจำลองพบว่า ปริมาณน้ำท่าที่

ได้จากแบบจำลองและปริมาณน้ำท่าที่วัดได้มีความสอดคล้องกัน ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองจึงใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำได้

Kawinpoomstan (1998) ได้ศึกษาการพยากรณ์น้ำท่วมเพื่อจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมของกลุ่มน้ำยมในพื้นที่จังหวัดแพร่และสุโขทัยโดยใช้แบบจำลอง NAM ในการประเมินปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำย่อย ซึ่งในการเปรียบเทียบแบบจำลองได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อให้ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง (Volume of Simulated Runoff) เวลาการเกิดการไหลสูงสุด (Timing of Flood Peak) และอัตราการไหลสูงสุด (Flood Peak) เข้ากันได้ดีกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ผลการศึกษาพบว่าหากพิจารณาในภาพรวมของแต่ละกลุ่มน้ำย่อย 6 กลุ่มน้ำที่มีสถานีวัดน้ำท่าค่าที่ได้จากแบบจำลองสามารถยอมรับได้ แต่มีเพียงบางปีของบางสถานีที่ค่าที่ได้จากแบบจำลองเข้ากันได้ไม่ดีนักกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด

ยุพิน (2542) ได้ทำการศึกษาการพยากรณ์สภาพน้ำท่วมในกลุ่มน้ำบางปะกง โดยในการจำลองสภาพน้ำฝน-น้ำท่าได้ใช้แบบจำลอง NAM ในการประเมินปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำย่อยจำนวน 5 สถานี พบว่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) อยู่ในช่วง 0.76 ถึง 0.97 โดยบางปีค่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ได้จากการตรวจวัดมาก ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากมีสถานีวัดน้ำฝนกระจายตัวไม่ทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำ กล่าวคือบางกลุ่มน้ำย่อยใช้ข้อมูลปริมาณฝนเพียงสถานีเดียวเป็นตัวแทนของปริมาณฝนทั้งลุ่มน้ำย่อย

Madsen (2000) ได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบแบบอัตโนมัติของแบบจำลอง NAM ซึ่งการเปรียบเทียบนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเปรียบเทียบซึ่งประกอบด้วย 1) สมดุลน้ำ (Water Balance) 2) ขนาดและรูปร่างของกราฟน้ำท่าโดยรวม (Shape of the Hydrograph) 3) ปริมาณการไหลสูงสุด (Peak Flow) 4) ปริมาณการไหลต่ำสุด (Low Flow) โดยการศึกษาการเปรียบเทียบแบบอัตโนมัติของแบบจำลอง NAM นั้น จะมีกระบวนการและลำดับขั้นตอนในการศึกษาที่ซับซ้อน จากผลการศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำ Danish Tryggevælde ซึ่งมีพื้นที่ 130 ตารางกิโลเมตร ปริมาณฝนเฉลี่ย 710 มิลลิเมตร/ปี และปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย เท่ากับ 240 มิลลิเมตร / ปี พบว่า พารามิเตอร์ชุดใดชุดหนึ่งไม่สามารถให้เกิดจุดที่เหมาะสมที่สุดได้ทุกองค์ประกอบ ดังนั้นการเปรียบเทียบแบบจำลอง พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ควรพิจารณาวัตถุประสงค์ของการประยุกต์ใช้และพิจารณาความสมดุลโดยรวมของวัตถุประสงค์นั่นเอง

Arcelus (2000) ได้ทำการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าด้วยแบบจำลอง HEC-HMS และแบบจำลอง NAM โดยการประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลองทั้งสองในลุ่มน้ำที่มีสถานีวัดน้ำท่า และนำพารามิเตอร์ที่ได้จากแบบจำลอง HEC-HMS ไปปรับใช้กับลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตามสภาพภูมิประเทศและการใช้ที่ดิน จากนั้นจึงประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ในลุ่มน้ำเดียวกันเพื่อให้กราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง NAM เข้ากันได้ดีกับกราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง HEC-HMS พบว่าวิธีการนี้ให้ผลเป็นที่ยอมรับได้สำหรับลุ่มน้ำที่ไม่มีการเก็บข้อมูล

กานดา (2545) ได้ทำการศึกษาหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแบบจำลอง NAM สำหรับลุ่มน้ำน่าน โดยสถานีวัดน้ำท่าที่ได้ทำการศึกษามี 11 สถานี ซึ่งแต่ละสถานีมีพื้นที่รับน้ำฝนอยู่ในช่วง 35 – 4,840 ตารางกิโลเมตร และจากการศึกษาพบว่าพารามิเตอร์ที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงที่ได้มีการแนะนำไว้ในคู่มือการใช้งานของแบบจำลอง NAM ซึ่งผลการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองพบว่า กราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง NAM และที่ได้จากการตรวจวัดมีความใกล้เคียงกัน คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.57 ถึง 0.98 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.82 และค่ายกกำลังสองของค่าความแตกต่างมีค่าอยู่ระหว่าง 12.76 ถึง 219.67 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 111.59 ลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ในการศึกษาค่าความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ต่าง ๆ นั้น ได้พิจารณาที่สถานีวัดน้ำท่า N.17 โดยพิจารณาที่อัตราการไหลสูงๆ และอัตราการไหลต่ำๆ โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลอง ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์แต่ละตัวมีผลต่อองค์ประกอบของน้ำท่าด้วยอัตราที่แตกต่างกัน ตลอดจนมีความไวที่แตกต่างกันต่ออัตราการไหลสูงและอัตราการไหลต่ำ

ศิริกัญญา (2547) ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับ ในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบนจำนวน 13 สถานี ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำฝนระหว่าง 45 ถึง 3,853 ตร.กม. ในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM นั้น ข้อมูลด้านเข้า คือ ปริมาณฝนรายวัน การระเหยรายวัน ค่าเงื่อนไขเริ่มต้น และพารามิเตอร์ของแบบจำลองจำนวน 15 พารามิเตอร์ ผลการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง พบว่า โดยส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วงที่ได้แนะนำไว้ในคู่มือการใช้งานของแบบจำลอง และในการตรวจสอบประสิทธิภาพการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของแบบจำลองทั้งสองได้พิจารณาเงื่อนไขความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำท่า 4 ประการ คือ 1) สมดุลน้ำ 2) กราฟน้ำท่าโดยรวม 3) ปริมาณการไหลสูงๆ และ 4) ปริมาณการไหลต่ำๆ ซึ่งผลการศึกษาพบว่า

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลการประเมินน้ำท่ารายวันที่ถูกต้องกว่าแบบจำลอง NAM ในด้านของสมดุลน้ำ กราฟน้ำท่าโดยรวม และ ปริมาณการไหลสูง ๆ ในทางตรงกันข้ามสำหรับ ปริมาณการไหลต่ำ ๆ แบบจำลอง NAM ให้ผลที่ดีกว่า

2.2 แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic) MIKE 11 HD

แบบจำลองย่อย MIKE 11-HD (Hydrodynamic Model) ตั้งอยู่บนพื้นฐานของสมการ เซนต์-วีแนนท์ ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Barre de Saint-Venant ในปี ค.ศ. 1871 และสามารถวิเคราะห์การไหลในทางน้ำเปิดที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาแบบหนึ่งมิติได้ ผลที่ได้จากแบบจำลองประกอบด้วย ระดับน้ำ ปริมาณการไหล และความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (นุชนารถ, 2545) จะนำไปใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าสำหรับแบบจำลองย่อย MIKE 11-AD (Advection-Dispersion Model) และ MIKE 11-WQ (Water Quality Model)

2.2.1 ทฤษฎีของแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic) MIKE 11 HD

แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Model) เป็นการจำลองสภาพทางกายภาพของแหล่งน้ำ โดยนำข้อมูลต่างๆ เช่น ภาพตัดขวางลำน้ำ ปริมาณน้ำ ระดับน้ำ เป็นต้น มาใช้คำนวณเพื่อทำนายลักษณะการไหลของลำน้ำ โดยใช้การแก้ปัญหาแบบ Implicit Finite Difference ในการคำนวณสภาพการไหลแบบไม่คงที่ (Unsteady Flow) ในลำน้ำและบริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งแบบจำลองอุทกพลศาสตร์สามารถอธิบายสภาพการไหลได้ทั้งการไหลแบบต่ำกว่าวิกฤต (Subcritical Flow) และการไหลแบบเหนือวิกฤต (Supercritical Flow) ตลอดจนสามารถคำนวณการไหลในระบบลำน้ำที่มีการไหลเข้าด้านข้าง และแสดงผลการคำนวณเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Time) และสถานที่ (Space)

ก. สมการเซนต์-วีแนนท์ (Saint-Venant Equations)

MIKE 11 HD ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับลักษณะของคลื่นแบบพลศาสตร์ (Dynamic Wave Description) โดยการแก้สมการของการอินทิเกรชันในแนวดิ่ง (Vertically Integrated Equations) ของสมการต่อเนื่อง (Conservation of Continuity) และสมการโมเมนตัม ซึ่งรวมเรียกว่า Saint Venant Equations โดยมีสมมติฐานดังนี้ (นุชนารถ, 2545)

1) การไหลเป็นแบบหนึ่งมิติ (One-Dimensional Flow) โดยที่ความลึก และความเร็วในการไหลเปลี่ยนแปลงในทิศทางกรไหลตามความยาวของลำน้ำ ซึ่งหมายความว่าความเร็วมีค่าคงที่ และพิกัดอยู่ในแนวระดับกับหน้าตัดใด ๆ ที่ตั้งฉากกับแกนตามแนวความยาว (Longitudinal Axis)

2) สมมุติให้การไหลเป็นแบบค่อย ๆ เปลี่ยนแปลง (Gradually Varied flow) ตามแนวลำน้ำ ดังนั้นแรงดันของน้ำแบบสถิต (Hydrostatic Pressure) และความเร่งในแนวตั้ง (Vertical Accelerations) สามารถไม่นำมาพิจารณาได้

3) แกนตามแนวความยาวของลำน้ำเป็นเส้นตรงโดยประมาณ

4) ความลาดชันของท้องน้ำมีน้อย และท้องน้ำมีลักษณะไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งหมายความว่าผลของการกัดเซาะ (Scour) และการทับถม (Deposition) ของท้องน้ำไม่นำมาพิจารณาในสมการ Saint Venant

5) ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Resistance Coefficients) สำหรับการไหลแบบ Steady Uniform Turbulent Flow สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ ดังนั้นความสัมพันธ์ เช่น สมการของแมนนิงสามารถนำมาใช้เพื่ออธิบายผลที่เกิดจากความเสียดทานได้

6) น้ำมีลักษณะที่ไม่สามารถถูกกดอัดได้ (Incompressible) และเป็นเนื้อเดียวกันซึ่งหมายความว่าไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของน้ำ

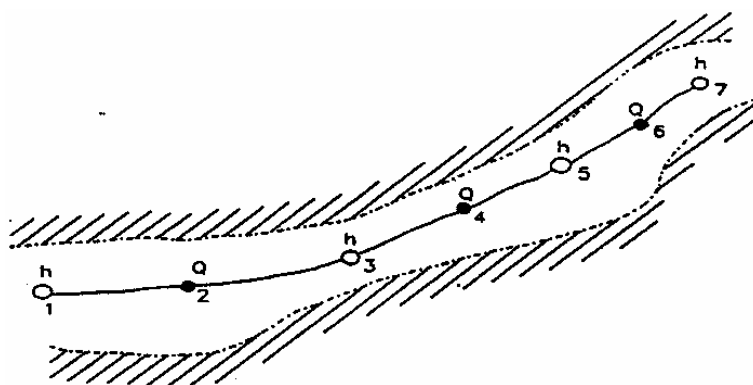
โดยที่สมการเซนต์-เวแนนท์ ได้แสดงไว้ในหัวข้อ การเคลื่อนตัวของน้ำท่า (Flood Routing) โดยวิธีการเคลื่อนที่ของระบบแบบกระจาย (Distributed System Routing)

ข. Implicit Finite Difference Equation

วิธี Implicit Finite Difference Equations เป็นวิธีที่สามารถหาคำตอบของสมการการไหลไม่คงที่ โดยการแบ่งการคำนวณออกเป็นช่วงๆ แล้วเริ่มการคำนวณออกเป็นจากจุดเริ่มต้น (จุดที่ทราบค่า) และคำนวณค่าถัดไปเรื่อยๆ ทีละค่า ซึ่งการคำนวณวิธีนี้จะต้องทราบหรือ

ต้องทำการสมมติเงื่อนไขสภาพเริ่มต้น (Initial Condition) และสภาพขอบเขต (Boundary Condition) ที่แน่นอน

การแก้สมการต่อเนื่อง และสมการ โมเมนตัม กระทำได้โดยใช้วิธี Implicit Finite Difference Equations แบบ 6-points ซึ่งการกำหนดกริดตามวิธีการอิมพลิตเป็นการกำหนดจุดระหว่างตำแหน่งที่ทราบค่า คือ สภาพขอบเขตบน (Upstream Boundary) และสภาพขอบเขตล่าง เพื่อคำนวณค่าระดับน้ำหรือปริมาณน้ำของกริดที่ประมาณตำแหน่งขึ้น โดยกำหนดให้ Computational Grid ของ Q (อัตราการไหล) หรือ h (ระดับน้ำ) อันใดอันหนึ่งสามารถนำมาใช้ดังแสดงในภาพที่ 6 โดยที่ Computational Grid จะถูกสร้างขึ้นมาโดยอัตโนมัติตามความต้องการของผู้ใช้ จุดต่าง ๆ ของ Q (Q point) จะถูกกำหนดไว้ที่จุดกึ่งกลางระหว่างจุดของ h ที่อยู่ติดกัน และตำแหน่งที่มีอาคารชลศาสตร์ ในขณะที่จุดของ h นั้นจะกำหนดไว้ที่รูปหน้าตัดขวางใด ๆ หรือในระหว่างกึ่งกลางของระยะทางระหว่างหน้าตัดขวางใด ๆ ที่มีระยะห่างมากกว่า dx_{max} โดยอัตราการไหลถูกกำหนดให้เป็นบวกในแนวแกน x ที่มีค่าเป็นบวกตามแนวระยะทางที่เพิ่มขึ้น (นุชนารถ, 2545)



ภาพที่ 6 Computation Grid ของแต่ละหน้าตัดของลำน้ำ

ที่มา: MIKE 11 Reference Manual (1992)

การกำหนดกริดสำหรับแบบจำลอง MIKE 11 ใช้วิธีตาม Abbott และ Ionescu ซึ่งพัฒนาการคำนวณกริดที่แสดงด้วยแผนภาพ Centred 6-Points Abbott

1) สมการต่อเนื่อง

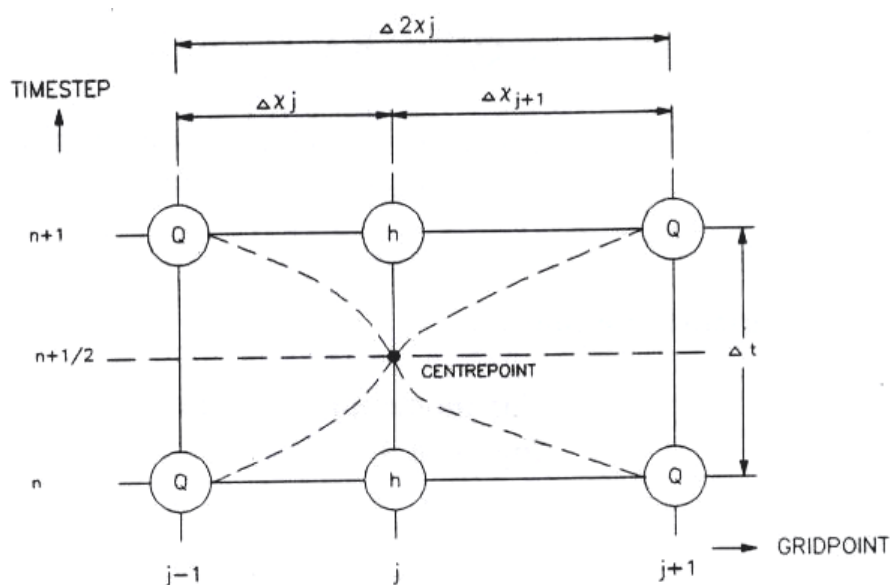
$$\frac{\partial Q}{\partial X} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial X} + b_s \frac{\partial h}{\partial t} = q \quad (13)$$

จากสมการต่อเนื่อง ค่า Q มีความสัมพันธ์กับระยะทาง x เมื่อแก้สมการหาค่า h ที่จุดศูนย์กลางสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 7

สำหรับ Q แสดงค่าสมการอนุพันธ์เทียบกับระยะทางได้ดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial X} \approx \frac{(Q_{j+1}^{n+1} + Q_{j+1}^n) - (Q_{j-1}^{n+1} + Q_{j-1}^n)}{2 \Delta X_j} \quad (14)$$



ภาพที่ 7 จุดกึ่งกลางของสมการต่อเนื่องในรูปแบบของ 6 Point Abbott Scheme
ที่มา: MIKE 11 Reference Manual (1992)

สำหรับ h แสดงค่าสมการอนุพันธ์เทียบกับเวลาได้ดังนี้

$$\frac{\partial h}{\partial X} \approx \frac{(h_j^{n+1} - h_j^n)}{\Delta t} \quad (15)$$

สำหรับ b_s สามารถประมาณค่าได้ดังนี้

$$b_s = \frac{A_{o,j} + A_{o,j+1}}{2 \Delta X_j} \quad (16)$$

เมื่อ $A_{o,j}$ คือ พื้นที่ระหว่าง grid point $j-1$ และ j

$A_{o,j+1}$ คือ พื้นที่ระหว่าง grid point j และ $j+1$

$2\Delta X_j$ คือ ระยะทางระหว่าง $j-1$ และ $j+1$

เมื่อแทนค่าสมการที่ (14), (15) และ (16) ลงในสมการต่อเนื่อง (13) และเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้นได้ดังนี้

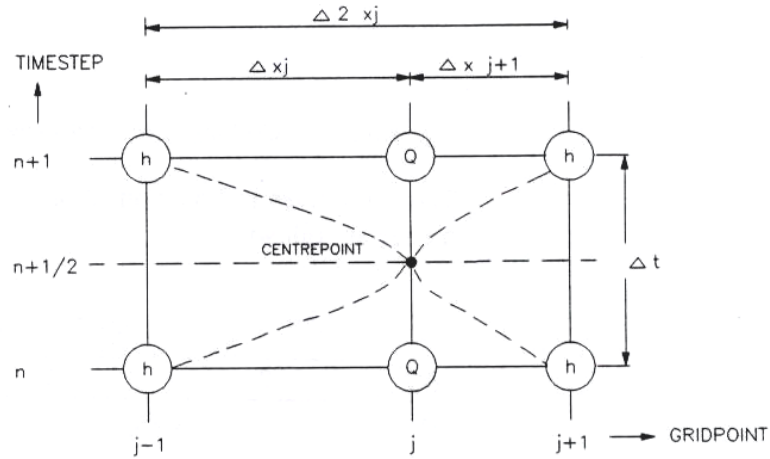
$$\alpha_j Q_{j-1}^{n+1} + \beta_j h_j^{n+1} + \gamma_j Q_{j+1}^{n+1} = \delta_j \quad (17)$$

เมื่อ α, β และ γ เป็นองค์ประกอบของ b และ δ โดยขึ้นอยู่กับ Q และ h ที่ $t = n$ และ Q ที่ $t = n+1/2$

2) สมการโมเมนตัม

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \partial \left[\frac{\alpha Q^2}{A} \right] + gA \frac{\partial h}{\partial X} + g \frac{Q|Q|}{C^2 AR} = 0$$

จากสมการโมเมนตัมค่าที่จุดศูนย์กลางคือค่า Q โดยแสดงได้ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 จุดกึ่งกลางของสมการโมเมนต์ในรูปแบบของ-6 Point Abbott Scheme

ที่มา: MIKE 11 Reference Manual (1992)

เมื่อพิจารณาค่าอนุพันธ์ที่เวลา $n+1/2$ จะสามารถแทนค่าในสมการโมเมนต์ด้วยค่าต่อไปนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial t} \approx \frac{(Q_j^{n+1} - Q_j^n)}{\Delta t} \quad (18)$$

สำหรับสมการที่ 18 อยู่ในรูปของสมการ quadratic ซึ่งมีสูตรคำนวณเพื่อสามารถแสดงทิศทางของ Q ได้อย่างถูกต้องระหว่างการเปลี่ยนระดับเวลาดังนี้

$$\frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial X} \approx \frac{\left(\left[\alpha \frac{Q^2}{A} \right]_{j+1}^{n+\frac{1}{2}} - \left[\alpha \frac{Q^2}{A} \right]_{j-1}^{n+\frac{1}{2}} \right)}{2 \Delta X_j} \quad (19)$$

$$\frac{\partial h}{\partial X} \approx \frac{(h_{j+1}^{n+1} + h_{j+1}^n) - (h_{j-1}^{n+1} + h_{j-1}^n)}{2 \Delta X_j} \quad (20)$$

แปลงเป็น Quadratic term ได้ดังนี้คือ $Q^2 \approx f Q_j^{n+1} Q_j^n - (f-1) Q_j^n Q_j^n$

เมื่อ f คือ ค่าคงที่ (Theta Coefficient) มีค่าระหว่าง 0-1 โดยทั่วไป
ค่าประมาณ 1

ดังนั้นจากการแทนค่าตัวแปรต่างๆ และปรับรูปสมการใหม่ จะได้
สมการโมเมนต์ในรูปแบบสมการเชิงเส้นได้ดังนี้

$$\alpha_j h_{j-l}^{n+l} + \beta_j Q_j^{n+l} + \gamma_j h_{j+l}^{n+l} = \delta_j \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } \alpha_j &= f(A) \\ \beta_j &= f(Q_j^n, \Delta t, \Delta X, C, A, R) \\ \gamma_j &= f(A) \\ \delta_j &= f(A, \Delta X, \Delta t, \alpha, q, v, \phi, Q, h) \end{aligned}$$

ก. ความต้านทานที่ท้องลำน้ำ

ความต้านทานที่ท้องลำน้ำ เป็นค่าที่ใช้พิจารณาถึงลักษณะและสภาพของลำน้ำในแบบราบเรียบหรือขรุขระ หากลำน้ำมีความขรุขระมาก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระจะมีค่าสูงแบบจำลอง MIKE 11 จะสามารถทำการวิเคราะห์ความต้านทานของการไหลเนื่องจากความเสียดทานที่ท้องคลอง ได้สองวิธีจากสมการของ Chezy หรือ Manning สำหรับสมการ Chezy แสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 22

$$Q = AC\sqrt{RS} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } Q &= \text{อัตราการไหล (m}^3/\text{s)} \\ A &= \text{พื้นที่หน้าตัดการไหล (m}^2\text{)} \\ R &= \text{รัศมีชลศาสตร์ (m)} \\ C &= \text{สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Chezy} \end{aligned}$$

สำหรับสมการ Manning แสดงความสัมพันธ์ได้สมการที่ 23 ดังนี้

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} = MAR^{2/3} S^{1/2} \quad (23)$$

เมื่อ n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning
 M = Manning number ซึ่งมีค่าสมมูลกับสัมประสิทธิ์ของ Strickler

โดยที่ค่า M คือ ส่วนกลับของ Manning coefficient n ($M = 1/n$) โดยค่า Manning's n มีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.01 จนถึง 0.10 ดังนั้นค่า M ที่สอดคล้องกันจะมีค่าตั้งแต่ 100 ถึง 10

สัมประสิทธิ์ของ Chezy และสัมประสิทธิ์ของ Manning ซึ่งแสดงความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 24

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} = MR^{1/6} \quad (24)$$

การหาค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล เนื่องจากความขรุขระของทางน้ำ ซึ่งหมายถึงค่า C , n หรือ M นั้นสามารถประเมินได้โดยการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration) โดยการเปรียบเทียบระหว่างลักษณะทางกายภาพที่ได้จากแบบจำลอง และลักษณะทางกายภาพของสภาพความเป็นจริงที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลในสนาม นอกจากนั้นแล้วยังสามารถประเมินค่า Manning's n ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration) ของระบบการทำงานอื่น ๆ ที่มีลักษณะทางกายภาพของภูมิประเทศที่คล้ายคลึงกัน สำหรับค่า Manning's n โดยประมาณของการไหลทางน้ำเปิดทั่วไปแสดงดังตารางที่ 7 (นุชนารถ, 2545)

ตารางที่ 7 สัมประสิทธิ์ความขรุขระที่ท้องลำนํ้าของทางนํ้าเปิด

ชนิดทางนํ้าเปิด		สัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning's n
คอนกรีต		0.012
คลองลาด		
	คลองลาดคอนกรีตแบบผิวเรียบ	0.020
	คลองลาดคอนกรีตแบบธรรมดา	0.023
	หินทิ้ง	0.033
ทางนํ้าธรรมชาติ		
	คลองสะอาด และเป็นคลองตรง	0.030
	คลองสะอาด และเป็นคลองคดเคี้ยว	0.040
	คลองคดเคี้ยวมีวัชพืช และหลุมบ่อ	0.050
	พุ่มไม้หนาแน่น และมีเศษท่อนไม้	0.100
ทุ่งนํ้าท่วม		
	ทุ่งหญ้า	0.035
	พื้นที่เกษตรกรรม (ทุ่งนา)	0.040
	พุ่มไม้เตี้ย ๆ และวัชพืช	0.050
	พุ่มไม้หนาแน่น	0.070
	ต้นไม้น้ำหนาแน่น	0.100

ที่มา: Chow (1959)

ง. สภาพเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions)

เงื่อนไขขอบเขตที่ต้องกำหนดในแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ แบ่งออกเป็น 2
เงื่อนไขขอบเขตคือ

1) ขอบเขตด้านเหนือ (Upstream Boundary) สามารถกำหนดในแบบจำลองโดยอาศัยข้อมูลอัตราการไหลคงที่จากอ่างเก็บน้ำ และข้อมูลอัตราการไหลของกราฟน้ำท่าจากเหตุการณ์ต่าง ๆ

2) ขอบเขตด้านท้ายน้ำ (Downstream Boundary) สามารถกำหนดในแบบจำลองโดยอาศัยข้อมูลระดับน้ำคงที่ เช่น ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ ข้อมูลระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เช่น ระดับน้ำขึ้นลงของน้ำทะเล และข้อมูลโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับและอัตราการไหล (Rating Curve)

เงื่อนไขเสถียรภาพ (Stability Condition)

เสถียรภาพ และความถูกต้องแม่นยำของวิธีการในการแก้สมการ Finite Difference ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขดังต่อไปนี้ คือ Courant Condition (Cr) โดยทั่วไปค่าของ Cr จะมีค่าอยู่ระหว่าง 10 ถึง 15 (MIKE 11 Reference Manual, 1992)

$$Cr = \frac{\Delta t(v + \sqrt{gy})}{\Delta x} \leq 10-15 \quad (25)$$

เมื่อ v	= ความเร็วที่หน้าตัดการไหล (m/s)
g	= ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s ²)
y	= ความลึก (m)
t	= ช่วงเวลา (s)
x	= ระยะทางระหว่างกริดที่คำนวณ (m)

2.2.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic; MIKE 11 HD)

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD (Hydrodynamic) ที่ผ่านมานในอดีต ยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานมีดังนี้

Akhlar (1993) ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 ในการศึกษาการเคลื่อนตัวของน้ำในแม่น้ำและทุ่งน้ำท่วม ซึ่งใช้หลักการสมการ Continuity และ Momentum ทำการแก้สมการ 1 มิติ โดยใช้วิธีการ Implicit Difference Scheme ทั้งนี้แบบจำลองสามารถแก้ปัญหการเคลื่อนตัวของน้ำในลำน้ำและทุ่งน้ำท่วม โดยใช้แนวความคิดของ Quasi 2-D ในการศึกษาได้ทำการสอบเทียบแบบจำลองสำหรับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในปี 1986 ซึ่งผลที่ได้จากการสอบเทียบเป็นที่

นำพหุโศกทางสถิติ และแบบจำลองสามารถนำมาใช้ในการทำนายการไหลของน้ำภายใต้เงื่อนไขต่างๆในการก่อสร้างเขื่อนกั้นน้ำด้วย

DHI and Bangladesh Flood Plain Organization (1994) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 GIS ในการจัดการปัญหาน้ำท่วมในประเทศบังกลาเทศ โดยนำผลของการศึกษาของโครงการมาจัดทำแผนที่น้ำท่วม เพื่อเป็นข้อมูลในการควบคุมน้ำท่วม การระบายปริมาณน้ำท่วม และการควบคุมโครงสร้างที่ใช้ในการควบคุมและป้องกันความเสียหายที่เกิดจากน้ำท่วม และกำหนดแนวทางเลือกในการแก้ไขปัญหาที่น้ำท่วมซึ่งใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดแผนและนโยบายในการป้องกันน้ำท่วมต่อไป

D.A. Post, *et.al.* (2003) ได้ทำการศึกษา โดยใช้แบบจำลอง MIKE 11 ศึกษาสภาพน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำ Ripple Creek ในประเทศออสเตรเลีย ซึ่งได้รับผลกระทบจากการล้นป่าของน้ำในแม่น้ำ Herbert โดยในการศึกษาจะประกอบด้วยการศึกษาถึงระบบระบายน้ำที่มีประสิทธิภาพในการระบายน้ำสู่จุดออกจากการศึกษาพบว่าแบบจำลองสามารถทำนายค่าระดับน้ำท่วม ปริมาณน้ำท่วมและความเร็วได้ค่าสอดคล้องกับข้อมูลจริง และแบบจำลองสามารถนำมาพัฒนาเพื่อศึกษาผลกระทบจากการผันน้ำสู่แม่น้ำ Seymour เพื่อบรรเทาปัญหาน้ำล้นป่าจากแม่น้ำ Herbert ซึ่งจากการคำนวณของแบบจำลองพบว่าปริมาณน้ำป่าลดลง ซึ่งการล้นป่าของแม่น้ำ Herbert จะเกิดเพียงบางช่วงเท่านั้น

นุชนารถ (2540) ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 ในส่วนของ HD module (Hydrodynamic) ในการศึกษาสถานะการน้ำท่วมของลุ่มน้ำปึงตอนบน เพื่อจำลองสถานะการเกิดอุทกภัยในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน โดยการศึกษาได้วิเคราะห์เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจำนวน 2 เหตุการณ์ คือ กราฟน้ำหลากขนาดเล็กสำหรับการไหลในลำน้ำและทุ่งน้ำท่วม และกราฟน้ำหลากขนาดใหญ่สำหรับทุ่งน้ำท่วม จากการสอบเทียบแบบจำลองแสดงให้เห็นว่ากราฟน้ำหลากจากการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง เข้ากันได้ดีกับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดจริงในสนาม และผล การสอบเทียบแบบจำลองทำให้สามารถประเมินค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Roughness Coefficient) หรือค่า Manning's n ทั้งในแม่น้ำและทุ่งน้ำท่วมได้ และได้้นำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาแนวทางการป้องกันและแผนการบรรเทาอุทกภัยในพื้นที่ศึกษาด้วย

อัคราวุฒิ (2544) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE11 ในการพยากรณ์สภาพน้ำท่วมเนื่องจากการสร้างอาคารบังคับน้ำบนลำน้ำท่าตอนบน ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำฝนประมาณ 707 ตารางกิโลเมตร ซึ่งเป็นลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำท่า การศึกษาการพยากรณ์สภาพน้ำท่วมเนื่องจากการสร้างอาคารบังคับน้ำบนลำน้ำท่าตอนบน พิจารณาการเคลื่อนตัวของน้ำท่าจากสถานีบ้านด่านม่วงคำ อำเภอโคกศรีสุพรรณ จังหวัดสกลนคร (kh.63) ถึงสถานีบ้านท่าลาด อำเภอเรณูนคร จังหวัดนครพนม (kh.64A) ผลการเปรียบเทียบมาตรฐานแบบจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำท่วมพบว่า สภาพการไหลและระดับน้ำที่ได้จากการจำลองและที่เกิดขึ้นจริงในลำน้ำท่าตอนบนมีความสอดคล้องมากที่สุดเมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) เท่ากับ 0.066 ผลการทำนายสภาพน้ำท่วมโดยพิจารณาจากระดับน้ำสูงสุดพบว่า สภาพระดับน้ำสูงสุดที่คาบอุบัติต่างๆ ก่อนและหลังการก่อสร้างอาคารบังคับน้ำบนลำน้ำท่าตอนบนแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

นุชนารถ (2545) ได้ทำการประยุกต์แบบจำลอง MIKE 11 ในการพยากรณ์สภาพการไหลของน้ำในแม่น้ำบางปะกงรวมไปถึงลำน้ำสาขา โดยใช้สถานีวัดน้ำท่า KGT.3 เป็นจุดควบคุมด้านเหนือน้ำบนแม่น้ำปราจีนบุรี และใช้สถานีวัดน้ำท่าที่ประตูระบายน้ำบางเม่าเป็นจุดควบคุมด้านท้ายน้ำ ในการประเมินปริมาณการไหลเข้าด้านข้างระหว่างจุดควบคุมด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำได้ประยุกต์แบบจำลอง SCS และเทคนิคกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า การจำลองสภาพการไหลได้ทำการสอบเทียบ และตรวจพิสูจน์แบบจำลองเพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning's n ทั้งในลำน้ำและในทุ่งน้ำท่วมสำหรับแต่ละรูปตัดขวางของลำน้ำ เพื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่วิเคราะห์ได้มาประกอบการพยากรณ์สภาพการเกิดน้ำท่วมสำหรับรอบปีการเกิดซ้ำเท่ากับ 25 10 5 2 และ 50 ปี ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง พบว่ากราฟน้ำหลากที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง และที่ได้จากการบันทึกข้อมูลเข้ากันได้ดี

2.3 แบบจำลองการพาและแพร่กระจาย (Advection-Dispersion Model) MIKE 11-AD

แบบจำลองย่อย MIKE 11-AD เป็นแบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนตัวของสารในลำน้ำแบบหนึ่งมิติ โดยอาศัยหลักการของกฎทรงมวล (mass balance) ในการอธิบายลักษณะการพาและแพร่กระจายของมวลสารในลำน้ำ ทั้งนี้แบบจำลอง MIKE 11-AD จะถูกคำนวณควบคู่ไปกับแบบจำลอง MIKE 11-WQ

2.3.1 ทฤษฎีของแบบจำลอง MIKE 11-AD

แบบจำลองการพาและแพร่กระจายนั้น สามารถอธิบายถึงกลไกการเคลื่อนที่ของสารในลำน้ำ โดยสามารถอธิบายได้ใน 2 ลักษณะ (Fisher, *et.al* 1979; Thomann และ Mueller, 1987) ดังนี้

ก. การพา (Advective or Convective Transport)

การพาเป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายของสารจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยอิทธิพลการไหลของน้ำ ทิศทางการเคลื่อนที่กับทิศทางการไหล ในบริเวณปากแม่น้ำที่ได้รับอิทธิพลกระแสน้ำขึ้นน้ำลงจากทะเล จะมีทิศทางบวกเมื่อการไหลของน้ำไหลออกสู่ทะเล และจะมีทิศทางลบเมื่อไหลย้อนกลับไปในแม่น้ำ

ข. การแพร่กระจาย (Dispersive transport)

การแพร่ (diffuse) เป็นการเคลื่อนที่ของสารในลักษณะฟุ้งกระจายทุกทิศทาง เมื่อรวมกับการเคลื่อนที่ของทิศทางการไหลของน้ำจะเกิดกระบวนการการแพร่กระจาย (dispersion) ในทิศทางการไหลของน้ำ

การแพร่กระจายมวลสาร สามารถแบ่งออกได้ 3 ลักษณะตามแนวการแพร่กระจายคือ

- 1) การแพร่กระจายแนวตั้ง (Vertical Dispersion)
- 2) การแพร่กระจายแนวขวาง (Horizontal or Lateral Dispersion)
- 3) การแพร่กระจายแนวยาว (Longitudinal Dispersion)

ในการแพร่กระจายทั้ง 3 ลักษณะ มีความสำคัญต่อการผสมผสานของมวลสารในแหล่งน้ำเป็นอย่างมาก โดยมีความสำคัญมากกว่าการแพร่ในระดับโมเลกุล (Molecular Diffusion) และการแพร่กระจายความร้อน (Thermal diffusion)

เนื่องจากแบบจำลอง MIKE 11 AD เป็นแบบจำลองแบบ 1 มิติ จึงพิจารณาการแพร่กระจายสารในลักษณะแนวยาวตามลักษณะการไหลของลำน้ำ

จากการเคลื่อนย้ายสารใน 2 ลักษณะที่กล่าวมาตามวิธีการของ Taylor และ Holley (Fischer, 1967) แสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{v\partial C}{\partial x} + D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (26)$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของสารในน้ำ (g/m^3)
 u = ความเร็วของการไหลในลำน้ำ
 D_x = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (m^2/s)
 (Longitudinal Dispersion Coefficient)

สารต่างๆที่อยู่ในลำน้ำ มีลักษณะการเคลื่อนที่ใน 2 ลักษณะดังที่ได้กล่าวมาแล้ว คือ การพาและการแพร่กระจาย ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้ จะใช้ในการอธิบายการเคลื่อนที่ของสารประเภทคงตัว (Conservative Substance) ได้ดี แต่สำหรับสารประเภทไม่คงตัว (Non-Conservative Substance) จะมีกระบวนการเพิ่มขึ้นคือการเกิดปฏิกิริยาโดยส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -KC \quad (27)$$

เมื่อ K = สัมประสิทธิ์การย่อยสลายแบบเส้นตรง (s^{-1})
 (Linear Decay Coefficient)

จากหลักการที่ได้กล่าวมา สามารถสรุปสมการที่ใช้อธิบายการแพร่กระจายของสารในลำน้ำได้ดังนี้ (DHI, 1995)

$$\frac{\partial AC}{\partial t} + \frac{\partial QC}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(AD \frac{\partial C}{\partial x} \right) = -AKC + C_s \cdot q \quad (28)$$

เมื่อ C	= ความเข้มข้นของสารในน้ำ (g/m^3)
D	= สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (m^2/s)
A	= พื้นที่หน้าตัดลำน้ำ (m^2)
K	= สัมประสิทธิ์การย่อยสลายแบบเส้นตรง (s^{-1})
C_s	= ความเข้มข้นของสารที่ปล่อยลงสู่ลำน้ำ (Source/Sink Concentration, g/m^3)
q	= อัตราการไหลของน้ำที่ลงสู่ลำน้ำ ($\text{m}^3/\text{s/m}$)
x	= ระยะห่างระหว่างตำแหน่งกริด (Space Coordinate, m)
t	= เวลา (Time Coordinate, t)

2.3.2 เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)

เงื่อนไขขอบเขตที่ต้องพิจารณาในแบบจำลองการพาและแพร่กระจายนั้น ประกอบด้วย 3 ขอบเขตคือ

ก. ขอบเขตเปิดการไหลออก (Open Boundary Outflow) ซึ่งเป็นขอบเขตที่มีการเชื่อมต่อกับพื้นที่รับน้ำขนาดใหญ่ เช่น ทะเลหรือทะเลสาบ เป็นต้น

ขอบเขตเปิดการไหลออกแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = 0 \quad (29)$$

ข. ขอบเขตเปิดการไหลเข้า (Open Boundary Inflow)

ความเข้มข้นของสารในลำน้ำทั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาหรือเป็นค่าคงที่ ณ ขอบเขตการไหลเข้าจะมีค่าที่คล้ายคลึงกับปริมาณการไหลของน้ำหรือระดับน้ำ

ขอบเขตการไหลออกเข้าสู่เป็นขอบเขตการไหลเข้านี้ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขขอบเขตการไหล สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$C = C_{bf} + (C_{out} - C_{bf})e^{-t_{mix} \cdot K_{mix}} \quad (30)$$

เมื่อ C_{bf} = ความเข้มข้นของสารในลำน้ำที่ขอบเขต

C_{out} = ความเข้มข้นของสารในลำน้ำที่ขอบเขตที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วก่อนเปลี่ยนทิศทางไหลของน้ำ

K_{mix} = ค่า Time Scale, hr⁻¹

t_{mix} = เวลาตั้งแต่เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางไหล

ก. ขอบเขตปิด (Close Boundary) เป็นขอบเขตที่ไม่มีการเชื่อมต่อกับภายนอกหรือเป็นขอบเขตที่สารประกอบในน้ำไม่สามารถเคลื่อนย้ายหรือออกไปจากขอบเขตโครงข่ายลำน้ำได้ เช่น บริเวณเขื่อน เป็นต้น

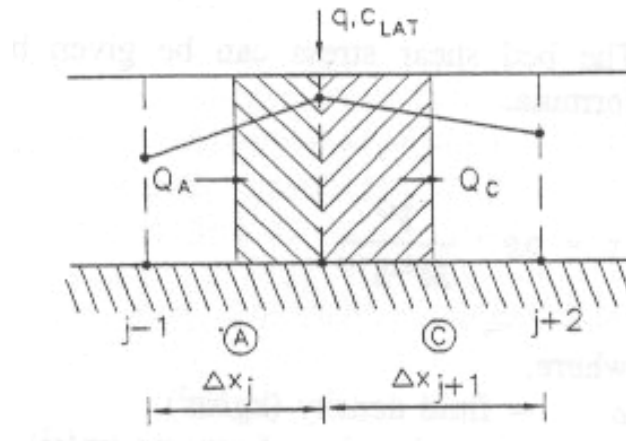
ที่ขอบเขตปิดนี้ไม่มีการไหลผ่านซึ่งเงื่อนไขของขอบเขตคือ $Q = 0$ แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{\partial C}{\partial x} = 0 \quad (31)$$

2.3.3 การคำนวณของแบบจำลอง

การคำนวณสมการความสมดุลของมวลสารในลำน้ำแบบหนึ่งมิตินั้น ใช้วิธี implicit finite difference เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณ โดยอาศัยหลักการของแบบจำลองกล่อง (Box-Model Principle) โดยสมการจะพิจารณาการไหลของมวลฟลักซ์ (mass flux) ที่เข้ามาในพื้นที่กล่องที่อยู่โดยรอบจุด j หรืออธิบายได้ว่าการไหลผ่านช่วงของลำน้ำด้านเหนือและด้านท้ายจุด j ซึ่งขอบเขตของกล่องหรือช่วงลำน้ำประกอบด้วย ท้องลำน้ำ ผิวน้ำ หน้าตัดที่ตำแหน่ง $j - \frac{1}{2}$ และ $j + \frac{1}{2}$ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 9

สมการที่พิจารณามี 2 สมการคือ สมการต่อเนื่อง (Continuity Equation) และสมการการพาและแพร่กระจาย (Advection-Dispersion Equation)



ภาพที่ 9 ช่วงลำน้ำแสดงหน้าตัดที่กำหนดอัตราการไหล
ที่มา : MIKE 11 Reference Manual (1995)

ก. สมการต่อเนื่อง (Continuity Equation)

$$\frac{V_j^{n+1/2} C_j^{n+1/2}}{\Delta t} - \frac{V_j^n C_j^{n+1/2}}{\Delta t} + T_{j+1/2}^{n+1/2} - T_{j-1/2}^{n+1/2} = q^{n+1/2} C_q^{n+1/2} - V_j^{n+1/2} K \quad (32)$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของสารในน้ำ (g/m³)

V = ปริมาตรของช่วงลำน้ำที่พิจารณา (m³)

T = อัตราการไหลของมวลผ่านหน้าตัดที่พิจารณา (g/s)

q = อัตราการไหลเข้าด้านข้าง (m³/s/m)

t = ช่วงเวลา (s)

C_q = ความเข้มข้นของสารในน้ำที่ไหลเข้าด้านข้าง (g/m³)

K = สัมประสิทธิ์การย่อยสลายสารอินทรีย์

(Linear Decay Coefficient, s⁻¹)

j = ตำแหน่ง (Grid Point)

n = จำนวนช่วงเวลา

ข. สมการการพาและแพร่กระจาย (Advection-Dispersion Equation)

$$T_{j+1/2}^{n+1/2} = Q_{j+1/2}^{n+1/2} C_{j+1/2}^* - A_{j+1/2}^{n+1/2} D \frac{C_{j+1}^{n+1/2} - C_j^{n+1/2}}{\Delta x} \quad (33)$$

เมื่อ $Q_{j+1/2}^{n+1/2}$ = อัตราการไหลที่หน้าตัดด้านขวาของช่วงลำน้ำ ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)

$A_{j+1/2}^{n+1/2}$ = พื้นที่หน้าตัดที่ด้านขวาของช่วงลำน้ำ (m^2)

D = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย

(Dispersion Coefficient, m^2/s)

$C_{j+1/2}^*$ = ความเข้มข้นเฉลี่ยทางเหนือ (g/m³) ซึ่งคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$C_{j+1/2}^* = \frac{1}{4} (C_{j+1}^{n+1} + C_j^{n+1} + C_{j+1}^n + C_j^n) - \min \left\{ \frac{1}{6} \left(1 + \frac{\sigma^2}{2} \right), \frac{1}{4\sigma} \right\} (C_{j+1}^n - 2C_j^n + C_{j-1}^n) \quad (34)$$

เมื่อ σ คือ Courant Number ($U\Delta t/\Delta x$)

แทนค่า $C_{j+1/2}^*$ ลงในสมการที่ (34) และจัดเทอมใหม่จะได้สมการ Implicit Finite Difference ที่สามารถคำนวณความเข้มข้นของสารในลำน้ำทั้งสามตำแหน่งกริดที่ติดกันได้ดังสมการ

$$\alpha_j C_{j-1}^{n+1} + \beta_j C_j^{n+1} + \gamma_j C_{j+1}^{n+1} = \delta_j \quad (35)$$

เมื่อกำหนดขอบเขต (Boundary) และเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Condition) ที่เหมาะสมก็สามารถหาคำตอบของสมการข้างต้นได้ ซึ่งจะเป็นค่าความเข้มข้นของสารในลำน้ำ (C) ที่ตำแหน่ง Grid Point ต่างๆ ในแต่ละช่วงเวลา (t)

2.3.4 สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (Dispersion Coefficient)

การพิจารณาการแพร่กระจายของมวลสารในลำน้ำ จะพิจารณาตามความยาวของลำน้ำเป็นสำคัญ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาร่วมระหว่างความเร็วการไหลแบบไม่คงที่ตามเวลา (Non-

uniform velocity) และการแพร่กระจาย (Diffusion) โดยค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายขึ้นฟังก์ชันของความเร็วการไหลเฉลี่ย (Mean Flow Velocity) ซึ่งอาศัยหลักการแพร่กระจายของ Fick (Fick Diffusion Law) โดยค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายสามารถคำนวณได้จากสมการในรูปทั่วไปดังนี้

$$D = fV^{\text{ex}} \quad (36)$$

เมื่อ D = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (m^2/s)
 f = แฟคเตอร์การแพร่กระจาย
 V = ความเร็วการไหล (m/s)
 ex = ค่าคงที่ยกกำลัง (Dimensionless Exponent)

ถ้า $\text{exp} = 0$ แล้ว ความเร็วของการไหลจะไม่มีอิทธิพลต่อความเร็วการแพร่กระจาย และหน่วยของแฟคเตอร์การแพร่กระจาย (f) จะเป็นตารางเมตรต่อวินาที (m^2/s)

ถ้า $\text{exp} = 1$ แล้ว ความเร็วของการไหลจะเป็นฟังก์ชันแบบเส้นตรงกับสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย และหน่วยของแฟคเตอร์การแพร่กระจาย (f) จะเป็นเมตร (m)

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในแม่น้ำ โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 5-10 ตารางเมตรต่อวินาที และจะเพิ่มเป็น 15-200 ตารางเมตรต่อวินาที เมื่อเกิดอิทธิพลการไหลแบบ 2 มิติ เมื่อการเกิดกระแสน้ำหรือเกิดอิทธิพลจากระดับน้ำขึ้นลงบริเวณปากแม่น้ำ (DHI, 1995)

ก. ปัจจัยที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายประกอบด้วย

1) อัตราการไหลของน้ำ

จากสมการของ Fischer แสดงให้เห็นว่า สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายแปรผันโดยตรงกับความเร็วหรืออัตราการไหล โดยเมื่ออัตราการไหลเพิ่มสัมประสิทธิ์จะเพิ่มขึ้นด้วย

2) สถานที่ (กรณีแม่น้ำติดต่อกับทะเลและปากแม่น้ำ)

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทางตอนล่างของลำน้ำ เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากหลายๆปัจจัยที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์เปลี่ยนแปลง เช่น ลักษณะลำน้ำ กระแสน้ำขึ้นน้ำลง เป็นต้น

3) กระแสน้ำขึ้นน้ำลงและความเร็วลม

กระแสน้ำขึ้นน้ำลง ส่งผลต่อการแพร่กระจายสารเนื่องจากการขึ้นลงของน้ำทำให้น้ำเปลี่ยนแปลงความเร็ว ซึ่งบริเวณที่น้ำขึ้นน้ำลงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วตลอดเวลาและจะส่งผลต่อสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย โดยสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายสำหรับแหล่งน้ำประเภทนี้จะมีค่าเป็นช่วง อีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายคือความเร็วลม โดยการแพร่กระจายจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น

ข. การประมาณค่าเบื้องต้นของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายหาได้โดยวิธีการดังนี้

1) จากการทดลอง โดยทำการหาค่าจากการสำรวจจริงในพื้นที่ เช่น การศึกษาลักษณะการไหลของสีย้อม (Dye Study) เป็นต้น

2) จากการคำนวณโดยอาศัยสมการที่ได้ทำการศึกษาไว้ เพื่อให้สามารถประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายได้อย่างใกล้เคียงและถูกต้อง โดยสมการที่นิยมใช้คือสมการของ Fischer (Fischer, 1979) ดังนี้

$$D_x = \frac{0.011v^2W^2}{dv^*} \quad (37)$$

$$v^* = \sqrt{gds} \quad (38)$$

เมื่อ	D_x	= สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (m^2/s)
	v	= ความเร็วเฉลี่ยที่หน้าตัดลำน้ำ (m/s)
	W	= ความกว้างของลำน้ำ (m)
	d	= ความลึกของลำน้ำ (m)
	v^*	= ความเร็วเฉือน (Shear Velocity)
	g	= แรงโน้มถ่วงโลก (m^2/s)
	s	= ความลาดท้องน้ำ

แบบจำลอง MIKE 11 AD ได้แนะนำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายจากสมการดังนี้ (DHI,1995)

$$D_x = fu^{ex} \quad (39)$$

เมื่อ	D_x	= สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (m^2/s)
	f	= Dispersion Factor
	ex	= ค่ายกกำลัง (Dimensionless Exponent)

2.3.5 เงื่อนไขเสถียรภาพ

การคำนวณของแบบจำลองการพาและแพร่กระจายจะมีเสถียรภาพหรือไม่สามารถตรวจสอบได้จากค่า P_e ดังสมการต่อไปนี้

$$P_e = \frac{V\Delta x}{D} > 2 \quad (40)$$

เมื่อ	P_e	= Peclet Number
	V	= ความเร็วการไหล (m/s)
	Δx	= ระยะทางระหว่างกริดที่คำนวณ (m)
	D	= สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (m^2/s)

ช่วงของระยะและเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะขึ้นอยู่กับค่า C_r ซึ่งต้องน้อยกว่า 1
 ดังสมการ

$$C_r = \frac{V\Delta t}{\Delta x} < 1 \quad (41)$$

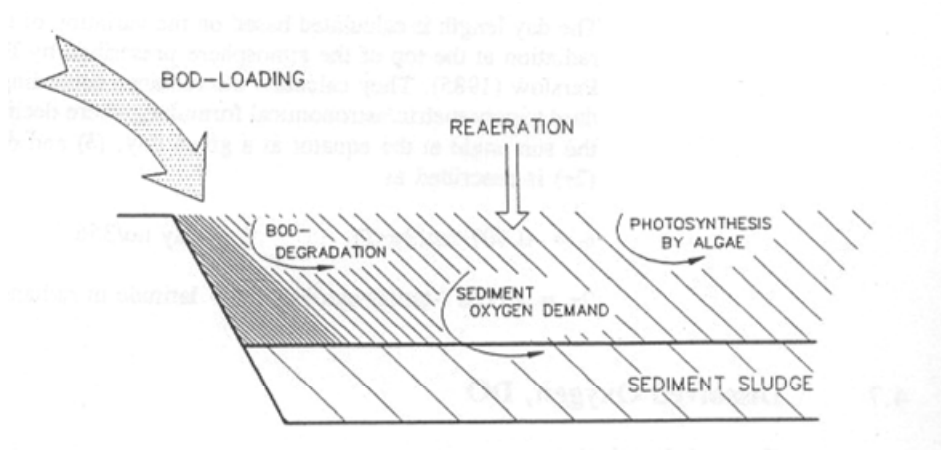
2.3.6 สมมติฐานสำหรับสมการการแพร่กระจาย

ก. สารหรือมลสารต้องผสมเป็นเนื้อเดียวกันที่หน้าตัดลำน้ำ (สำหรับเทอมของการไหลเข้าด้านข้างหรือน้ำทิ้ง)

ข. สารที่พิจารณาต้องเป็นสารประเภทคงตัว หรือสารประเภทไม่คงตัวแบบปฏิกิริยาอันดับหนึ่งหรือการย่อยสลายแบบเส้นตรง (First Order Reaction or Linear Decay)

2.4 แบบจำลองคุณภาพน้ำ (Water Quality Model) MIKE 11 WQ

แบบจำลองย่อย MIKE 11-WQ เป็นแบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำในแม่น้ำที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ เช่น การลดลงของปริมาณออกซิเจน และระดับแอมโมเนียซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณอินทรีย์ที่ถูกระบายลงสู่แม่น้ำ ดังแสดงกระบวนการพื้นฐานของออกซิเจนละลายน้ำในภาพที่ 10 โดยใช้สมการที่สามารถอธิบายกระบวนการเปลี่ยนแปลงของสารที่เกิดขึ้นทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพในลำน้ำ



ภาพที่ 10 กระบวนการพื้นฐานของออกซิเจนละลายน้ำ
 ที่มา : MIKE11 Reference Manual 1995

แบบจำลองคุณภาพน้ำจะถูกคำนวณควบคู่ไปกับแบบจำลองการพาและแพร่กระจาย โดยแบบจำลองคุณภาพน้ำจะใช้อธิบายกระบวนการเปลี่ยนแปลงของสารที่เกิดขึ้นทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ในลำน้ำ โดยแบ่งการจำลองคุณภาพน้ำตามตัวแปรทางคุณภาพน้ำและกระบวนการเกิดปฏิกิริยาของ ตัวแปรต่างๆ เป็น 6 ระดับโดยเริ่มจากง่ายที่สุดจนซับซ้อนมากที่สุด ดังนี้

(1) ระดับที่ 1 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD และ DO โดยมีข้อสรุปของตัวแปร กระบวนการ และสภาพปัญหา ดังนี้

ตัวแปร	BOD, ออกซิเจน และอุณหภูมิ
กระบวนการ	การย่อยสลายสารอินทรีย์ (Degradation)
สภาพปัญหา	การลดลงของปริมาณออกซิเจนที่เกิดจากการปล่อยน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้เป็นองค์ประกอบหลักลงสู่แม่น้ำ

(2) ระดับที่ 2 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD และ DO โดยรวมถึงการถ่ายเทสารอินทรีย์จากพื้นลำน้ำ โดยมีข้อสรุปของตัวแปร กระบวนการ และสภาพปัญหา ดังนี้

ตัวแปร	BOD, ออกซิเจน และอุณหภูมิ
กระบวนการ	การย่อยสลายสารอินทรีย์ (Degradation) กระบวนการตกตะกอน และ Resuspension ของ BOD
สภาพปัญหา	เช่นเดียวกับระดับที่ 1 แต่สามารถใช้วิเคราะห์ลำน้ำบริเวณที่ปล่อยน้ำเสียโดยรวมสภาพตะกอนและ Resuspension ของ BOD

(3) ระดับที่ 3 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD และ DO โดยรวมถึงกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยมีข้อสรุปของตัวแปร กระบวนการ และสภาพปัญหา ดังนี้

ตัวแปร	BOD, ออกซิเจน แอมโมเนีย ไนเตรท และอุณหภูมิ
กระบวนการ	การย่อยสลายสารอินทรีย์ (Degradation) และการย่อยสลายแอมโมเนีย (Nitrification)
สภาพปัญหา	ใช้คำนวณการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนที่เกิดจากการปล่อยน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และแอมโมเนียลงสู่แม่น้ำ รวมทั้งสามารถคำนวณปริมาณแอมโมเนียซึ่งมีผลต่อความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำในแม่น้ำได้

(4) ระดับที่ 4 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD และ DO โดยรวมถึงการถ่ายเทของสารจากพื้นลำน้ำ กระบวนการไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน โดยมีข้อสรุปของตัวแปร กระบวนการ และสภาพปัญหา ดังนี้

ตัวแปร	BOD, ออกซิเจน แอมโมเนีย ไนเตรท และอุณหภูมิ
กระบวนการ	การย่อยสลายสารอินทรีย์ (Degradation) กระบวนการตกตะกอน และ Resuspension ของ BOD กระบวนการย่อยสลายของแอมโมเนีย (nitrification) และกระบวนการลดปริมาณไนเตรท (Denitrification)
สภาพปัญหา	เช่นเดียวกับระดับที่ 3 แต่สามารถใช้วิเคราะห์ลำน้ำบริเวณที่ปล่อยน้ำเสียโดยรวม สภาพการตกตะกอน และ Resuspension ของ BOD รวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทที่เกิดจากแอมโมเนียและการลดของปริมาณไนเตรทในลำน้ำบริเวณที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic Condition) ซึ่งปริมาณไนเตรทนี้จะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตที่อยู๋ในน้ำ การวิเคราะห์ในระดับนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาคุณภาพน้ำที่มีผลมาจากน้ำเสียชุมชน โรงงาน และพื้นที่เกษตรกรรม

(5) ระดับที่ 5 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD และ DO โดยรวมถึงความต้องการออกซิเจนแบบทันที แบบช้าๆ และการถ่ายเทของสารอินทรีย์ของสารจากพื้นลำน้ำ โดยมีข้อสรุปของตัวแปร กระบวนการ และสภาพปัญหา ดังนี้

ตัวแปร	Dissolved BOD, Suspended BOD, Sediment BOD ออกซิเจนและอุณหภูมิ
กระบวนการ	การย่อยสลายสารอินทรีย์ (Degradation) ของ BOD โดยแยกคิดเป็น 3 ส่วน คือ BOD ส่วนที่ละลาย แว่นลอย และตกตะกอน โดยแต่ละส่วนจะยังสามารถเกิดกระบวนการย่อยสลายได้ต่อไป ทำให้เกิดการใช้ออกซิเจนเป็น 2 ส่วน คือ Immediate และ Delayed Oxygen Demand รวมทั้งการตกตะกอน และ Resuspension ของ BOD
สภาพปัญหา	เหมือนระดับที่ 2 แต่สามารถวิเคราะห์ผลของน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียและท่อระบายน้ำฝน (Storm Sewer) ที่มีผลต่อการลดลงของออกซิเจนได้ละเอียดถูกต้องมากขึ้น

(6) ระดับที่ 6 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD และ DO โดยรวมถึงกระบวนการทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยมีข้อสรุปของตัวแปร กระบวนการ และสภาพปัญหา ดังนี้

ตัวแปร	Dissolved BOD, Suspended BOD, Sediment BOD, ออกซิเจน แอมโมเนีย ไนเตรท และอุณหภูมิ
กระบวนการ	การย่อยสลายสารอินทรีย์ (Degradation) ของ BOD โดยแยกคิดเป็น 3 ส่วน คือ BOD ส่วนที่ละลาย แว่นลอย และตกตะกอน โดยแต่ละส่วนจะยังสามารถเกิดกระบวนการย่อยสลายได้ต่อไป ทำให้เกิดการใช้ออกซิเจนเป็น 2 ส่วน คือ Immediate และ delayed oxygen demand รวมทั้งการตกตะกอน และ Resuspension ของ

BOD กระบวนการย่อยสลายของแอมโมเนีย (Nitrification) และ
กระบวนการลดลงของปริมาณไนเตรท (Denitrification)

สภาพปัญหา เหมือนระดับที่ 4 แต่สามารถวิเคราะห์ผลของน้ำเสียจากท่อ
ระบายน้ำเสียและท่อระบายน้ำฝน (Storm Sewer) ที่มีปริมาณ
แอมโมเนียและ ไนเตรทรวมอยู่ด้วยซึ่งมีผลต่อการลดลงของ
ออกซิเจนในน้ำ รวมทั้งสามารถวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทที่มีอยู่
ในลำน้ำซึ่งมีผลต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำได้

ตัวแปรและกระบวนการเปลี่ยนแปลงของสารที่เกิดขึ้นในลำน้ำในแต่ละระดับของ
แบบจำลองคุณภาพน้ำนั้นแสดงได้ดังตารางที่ 8 และ 9 ตามลำดับ

ตารางที่ 8 ตัวแปรต่างๆสำหรับแต่ละระดับของแบบจำลองคุณภาพน้ำ

Model Levels	1	2	3	4	5	6
State Variable						
Temperature	x	x	x	x	x	x
Oxygen	x	x	x	x	x	x
Ammonia	-	-	x	x	-	x
Nitrate	-	-	x	x	-	x
BOD	x	x	x	x	-	-
Dissolved BOD	-	-	-	-	x	x
Suspended BOD	-	-	-	-	x	x
BOD at The Bed	-	-	-	-	x	x
Faecal Coliforms	x	x	x	x	x	x
Total Coliforms	x	x	x	x	x	x

ตารางที่ 9 กระบวนการต่างๆในแต่ละระดับของแบบจำลองคุณภาพน้ำ

Model Levels	1	2	3	4	5	6
Process Types						
Re-aeration	X	x	x	x	x	x
Degradation of Organic Matter						
a) Immediate oxygen demand	x	x	x	x	-	-
b) Immediate and delayed oxygen demand	-	-	-	-	x	x
Exchange with bottom/sediment	-	x	-	x	x	x
Nitrification	-	-	x	x	-	x
Denitrification	-	-	-	x	-	x
Die-off, Coliforms	x	x	x	x	x	x

2.4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา

ก. BOD (Biochemical Oxygen Demand)

ค่า BOD หมายถึงปริมาณความต้องการออกซิเจนของจุลินทรีย์เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์โดยการออกซิไดซ์ ผลผลิตที่ได้จะนำไปใช้ในการสร้างเซลล์และการเจริญเติบโต การตรวจวัดค่า BOD เป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการประเมินระดับมลภาวะของแหล่งน้ำ และเป็นค่าที่แสดงถึงคุณสมบัติของการฟื้นตัวของแหล่งน้ำนั้น BOD สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ (ฉัตรไชย, 2539) คือ

1) Carbonaceous Biochemical Oxygen Demand (CBOD) หมายถึงความต้องการออกซิเจนเพื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการเมตาโบลิซึมของสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนโดยสิ่งมีชีวิต โดยผลที่ได้จากกระบวนการเมตาโบลิซึมคือ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

2) Nitrogenous Biochemical Oxygen ความต้องการออกซิเจนเพื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจน เช่น โปรตีน ยูเรีย โดยผลที่ได้จากกระบวนการคือ แอมโมเนีย

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดนั้นจะต่างกันที่อัตราการย่อยสลาย ซึ่งการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบคาร์บอนเนเชี่ยสจะเกิดในช่วงแรกของการย่อยสลาย ตามด้วยการย่อยสลายแบบไนโตรจีนัส การย่อยสลายแบบคาร์บอนเนเชี่ยสจะเกิดได้เร็วกว่าแบบไนโตรจีนัสเนื่องจากโครงสร้างของสารง่ายต่อการย่อยสลายมากกว่า

ในการศึกษานี้ จะพิจารณาเฉพาะการย่อยสลายแบบคาบอนเนเชี่ยสเท่านั้น เพราะแบบจำลองพิจารณาเฉพาะค่า BOD ที่ 5 วัน เหตุที่ใช้ค่า BOD5 (มันสัน, 2538) เพราะปฏิกิริยาการเกิด ออกซิเดชันทางชีวภาพ (Biological Oxidation) โดยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นช้ามาก ไม่ทราบเวลาที่แน่นอนว่าจะทำการย่อยสลายเสร็จสิ้นสมบูรณ์ลงเมื่อใด แต่คาดว่าจุลินทรีย์จะสามารถทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ 90-95 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมดในเวลาประมาณ 20-30 วัน และเมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายเป็นเวลา 5 วัน จุลินทรีย์จะสามารถทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ 60-70 เปอร์เซ็นต์ จึงนิยมใช้ค่า BOD ที่ 5 วัน เป็นค่าในการบ่งชี้การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ในน้ำและน้ำเสีย เพราะถ้าใช้เวลาในการวิเคราะห์นานถึง 20 วัน จะทำให้ทราบผลช้าเกินไป และที่สำคัญคือถ้าปล่อยให้มีการย่อยสลายสารอินทรีย์นานเกินกว่า 5 วันแล้ว อาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดของค่าที่วิเคราะห์ได้ อันเนื่องมาจากน้ำหรือน้ำเสียอาจมีบัคเตเรียชนิดที่จะใช้ออกซิเจนในการออกซิเดชันสารอินทรีย์ คือ แอมโมเนียเป็นไนเตรท และไนไตรท์เป็นไนเตรทตามลำดับ (พัฒนา, 2539)

ข. DO (Dissolved Oxygen)

ค่า DO คือค่าออกซิเจนละลายน้ำซึ่งเป็นดัชนีคุณภาพน้ำที่สำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และเป็นค่าที่บอกถึงการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพในน้ำที่เกิดขึ้นจากสิ่งมีชีวิตที่ใช้อากาศหรือไม่ใช้อากาศ สิ่งมีชีวิตที่ใช้อากาศจะใช้ออกซิเจนอิสระในการออกซิไดซ์พวกสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ได้ผลสุดท้ายที่ไม่ใช่ของเสียคือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ส่วนพวกที่ไม่ใช้อากาศจะได้ผลสุดท้ายเป็นของเสีย เช่น ก๊าซ

ไข่น้ำ เป็นต้น สิ่งมีชีวิตทั้งสองแบบนี้อยู่ปะปนในธรรมชาติ ดังนั้นจึงควรทำให้สภาวะนั้นเอื้ออำนวยต่อพวกที่ใช้อากาศ เพื่อคุณภาพที่ดีของแหล่งน้ำ (พิชัย, 2532)

ปริมาณการละลายออกซิเจนในระยะเวลาใด ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำ ความกดอากาศ และสารละลายน้ำ เช่น คลอไรด์หรือความเค็มของน้ำ เป็นต้น ความสัมพันธ์ของออกซิเจนละลายน้ำกับอุณหภูมิ ความดัน และสารละลายน้ำ มีการแปรผันแบบผกผันกัน กล่าวคือเมื่อ อุณหภูมิ ความดัน และสารละลายน้ำ มีค่าเพิ่มขึ้น ความสามารถในการละลายของออกซิเจนจะมีค่าลดลง

แหล่งที่มาของออกซิเจนละลายน้ำที่สำคัญได้มาจาก 3 แหล่ง คือ 1) จากบรรยากาศผ่านผิวน้ำ โดยในอากาศมีออกซิเจนอยู่ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ หรือ 210 มิลลิกรัมต่ออากาศ 1 ลิตร โดยออกซิเจนในบรรยากาศคิดเป็นประมาณ 25 เท่าของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ 2) จากการสังเคราะห์แสงของพืชในน้ำ อย่างไรก็ตาม การหายใจของพืชในน้ำจะทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง และ 3) จากลำน้ำสาขาที่ไหลเข้ามาบรรจบ

ก. ตะกอนแขวนลอย

น้ำเสีย น้ำโสโครกต่างๆ จะมีปริมาณสารที่ไม่ละลายน้ำไม่ว่าจะอยู่ในรูปคอลลอยด์หรือเป็นชิ้นใหญ่ที่ห้อยแขวนอยู่ ซึ่งจะเพิ่มความสกปรกให้กับน้ำ ซึ่งสารที่ไม่ละลายน้ำนั้นเรียกว่า ตะกอนแขวนลอย (suspended solids) โดยตะกอนแขวนลอยมีประโยชน์มากในการวิเคราะห์น้ำเสีย เนื่องจากเป็นค่าหนึ่งบ่งบอกถึงความสกปรกของน้ำเสีย ตลอดจนประสิทธิภาพของหน่วยกำจัดน้ำเสียต่างๆ

2.4.2 กระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในลำน้ำ

ก. กระบวนการเปลี่ยนแปลงออกซิเจนในลำน้ำ (Oxygen Processes)

1) การเติมอากาศ (Re-Aeration)

$$\frac{dDO}{dt} = k_2(c_s - DO) \quad (43)$$

$$\begin{aligned}
\text{เมื่อ } cs &= \text{ออกซิเจนละลายน้ำอิ่มตัว} \\
& \quad (\text{Saturation Concentration DO}) \\
& = 14.652 + T(-0.41022 + T(0.007991 - 0.00007774T)) \\
DO &= \text{ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/l)} \\
T &= \text{อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{และ } k_2 &= 27815U^{0.931}h^{-0.692}I^{1.09} \\
k_2 &= 3.9U^{0.5}h^{-1.5} \\
k_2 &= 5.233Uh^{-1.67} \\
k_2 &= a_1U^{b_1}h^{c_1}I^{d_1}
\end{aligned} \tag{44}$$

ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การเติมอากาศ (k_2) จะต้องทราบอัตราการไหล ความลึกของน้ำ และความลาดชันของลำน้ำ โดยสมการแรกเป็นสมการพื้นฐานที่นิยมใช้ในการหาค่า k_2

$$\begin{aligned}
\text{เมื่อ } k_2 &= \text{ค่าคงที่การเติมอากาศที่ 20 องศาเซลเซียส} \\
& \quad (I/\text{Day}) \\
U &= \text{ความเร็วการไหล (m/s)} \\
h &= \text{ความลึก (m)} \\
I &= \text{ความลาดชันลำน้ำ (m/m)} \\
a_1 &= \text{สัมประสิทธิ์การเติมอากาศ} \\
b_1 &= \text{ค่ายกกำลังของความเร็วการไหล} \\
c_1 &= \text{ค่ายกกำลังของความลึก} \\
d_1 &= \text{ค่ายกกำลังของความลาดชันลำน้ำ}
\end{aligned}$$

2) กระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis)

$$\begin{aligned}
P &= P_{\max} \cdot \cos 2\pi \left(\frac{\tau}{\alpha} \right), \text{ if } \tau \in [t_{up}, t_{down}] \\
P &= 0, \text{ if } \tau \notin [t_{up}, t_{down}]
\end{aligned} \tag{45}$$

เมื่อ P = ผลผลิตของออกซิเจน ($\text{g O}_2/\text{m}^2/\text{day}$)
 $P_{\max}$ = ผลผลิตของออกซิเจนสูงสุดเวลากลางวัน
 ($\text{g O}_2/\text{m}^2/\text{day}$)
 τ = เวลาหลังจากเที่ยงวัน
 α = เวลากลางวันที่มีแสงอาทิตย์
 $t_{\text{up,down}}$ = เวลาพระอาทิตย์ขึ้นหรือตก

3) การหายใจของพืชและสัตว์ (Respiration)

$$R = R_{20} \theta_2^{(T-20)} \quad (46)$$

เมื่อ R = อัตราการหายใจของพืช แบคทีเรีย และสัตว์
 ($\text{g O}_2/\text{m}^2/\text{day}$)
 R_{20} = อัตราการหายใจของพืชและสัตว์ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
 θ = สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของ Arrhenius

4) การย่อยสลายสารอินทรีย์ (Consumption from Degradation of Dissolved Organic Matter)

$$\frac{dBOD}{dt} = k_{d3} \cdot BOD_d \cdot \theta_{d3}^{(T-20)} \quad (47)$$

เมื่อ BOD = ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ (mg/l)
 K_{d3} = ค่าคงที่ของสารอินทรีย์ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
 ($1/\text{day}$)
 θ_{d3} = สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของ Arrhenius

5) สมดุลออกซิเจน (Oxygen Balance)

ที่กล่าวข้างต้นเป็นสมการที่อธิบายถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนในลำน้ำ และสามารถสรุปได้เป็นสมการสมดุลออกซิเจนดังนี้

$$\frac{dDO}{dt} = +k_2.(c_s - DO) - k_{d3}.BOD_d.\theta_{d3}^{(T-20)} - y_1.k_4.NH_3.\theta_4^{(T-20)} - y_1.k_4.(NH_3)^{1/2}.\theta_4^{(T-20)} - R_{20}.\theta_2^{(T-20)} + P - B_1 \quad (48)$$

เมื่อ y_1 = แฟกเตอร์ผลผลิต (Yield Factor) ใช้อธิบายปริมาณของออกซิเจนที่ถูกใช้ไปในกระบวนการไนโตรฟิเคชัน

อย่างไรก็ตาม ในการศึกษานี้จะประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 WQ level 2 ซึ่งภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำได้จัดหาไว้ มาใช้เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงปริมาณ DO, BOD และ SS ซึ่ง level ดังกล่าวมีการพิจารณาเฉพาะกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Degradation) กระบวนการตกตะกอน และ Resuspension ของ BOD โดยกระบวนการที่เกี่ยวข้องการไนโตรฟิเคชันมิได้นำมาพิจารณาร่วมด้วย

ข. กระบวนการ BOD (Biological Oxygen Demand Processes)

ปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ หรือ น้ำเสีย โดยจุลินทรีย์ สามารถใช้สมดุลของออกซิเจน (Oxygen Balance) ซึ่งอธิบายได้เช่นเดียวกับกระบวนการของการเปลี่ยนแปลงออกซิเจนในลำน้ำ (Oxygen Processes)

2.4.3 สัมประสิทธิ์คุณภาพน้ำ

สัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำจะขึ้นอยู่กับชนิดของพารามิเตอร์ของคุณภาพน้ำที่พิจารณา โดยในการศึกษานี้จะพิจารณาพารามิเตอร์ 3 พารามิเตอร์ด้วยกันคือ 1) BOD (biochemical oxygen demand) 2) DO (dissolved oxygen) และ 3) SS (suspended solids) ซึ่งสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประกอบด้วย

ก. สัมประสิทธิ์การย่อยสลาย BOD

ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยสลาย BOD เป็นค่าที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำของพารามิเตอร์ BOD โดยบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ คือ อุณหภูมิ โดยสัมประสิทธิ์การย่อยสลายจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิ

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์อาจหาได้จากการทดลองหรือจากเอกสารอ้างอิงของงานวิจัยและผลการศึกษาที่ผ่านมา

ข. ผลผลิตของออกซิเจนโดยกระบวนการสังเคราะห์แสงและอัตราการหายใจ

การเพิ่มและลดปริมาณ DO เกิดจากสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ได้แก่ แพลงก์ตอนพืชและสัตว์น้ำ ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการสังเคราะห์แสง และกระบวนการหายใจ ซึ่งการประเมินค่าผลผลิตของออกซิเจนสูงสุดโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง (P_{max}) และอัตราการหายใจของสิ่งมีชีวิตในน้ำที่ 20°C (R_{20}) จะใช้วิธีการวัดการผันแปรค่า DO ในรอบ 1 วัน (Diurnal Variable of Dissolved Oxygen)

ค. สัมประสิทธิ์การเติมอากาศ

สัมประสิทธิ์การเติมอากาศ เป็นสัมประสิทธิ์ของการถ่ายโอนออกซิเจนจากอากาศลงสู่แม่น้ำ โดยสัมประสิทธิ์ที่มีค่ามากจะแสดงถึงความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำสูง

ง. สัมประสิทธิ์การย่อยสลาย SOD (Sediment Oxygen Demand)

ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยสลาย SOD เป็นค่าที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำของพารามิเตอร์ SS โดยบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ คือ อุณหภูมิ โดยสัมประสิทธิ์การย่อยสลายจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิ

2.4.4 การประยุกต์ใช้แบบจำลองคุณภาพน้ำ (Water Quality Model)

การประยุกต์ใช้แบบจำลองคุณภาพน้ำ (Water Quality Model) MIKE 11 WQ ที่ผ่านมานี้ได้อธิบายตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานได้ดังนี้

Maqsood (1996) ประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำในแม่น้ำราวี ประเทศปากีสถาน โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการศึกษาคือต้องการแสดงให้เห็นว่าการจัดการคุณภาพน้ำเป็นนโยบายที่สำคัญ พารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในแบบจำลองได้แก่ BOD DO และอุณหภูมิ แบบจำลองถูกประยุกต์ใช้เพื่อทำนายคุณภาพน้ำในกรณีที่มีโครงการบำบัดน้ำเสีย และกรณีที่ไม่มีการบำบัดน้ำเสีย เพื่อเป็นทางเลือกในการจัดทำแผนการจัดการคุณภาพน้ำ โดยผลจากการศึกษาได้มีการเสนอแนวทางเลือกในการปรับปรุงคุณภาพน้ำแม่น้ำราวีสองแนวทางเลือก แนวทางแรกคือใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียขั้นสูงที่แหล่งกำเนิดน้ำเสีย แนวทางเลือกที่สองคือการบำบัดน้ำเสียขั้นต่ำไปตลอดความยาวของแม่น้ำราวี

กรมควบคุมมลพิษ (2540) ได้ทำการว่าจ้างบริษัทวิศวกรที่ปรึกษา ให้จัดทำแผนปฏิบัติการจัดการคุณภาพน้ำของพื้นที่ลุ่มน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พื้นที่ในการศึกษาคือลุ่มน้ำโขง ลุ่มน้ำชี ลุ่มน้ำมูล และโครงข่ายสาขา รวมพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด 168,188 ตารางกิโลเมตร โดยบริษัทวิศวกรที่ปรึกษาได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 กับแม่น้ำสายหลัก ได้แก่ แม่น้ำพอง แม่น้ำชี แม่น้ำมูล ลำตะดอง และแม่น้ำสงคราม พารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในแบบจำลอง ได้แก่ BOD DO อุณหภูมิ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ผลจากการศึกษาจากแบบจำลองจะประเมินสถานการณ์คุณภาพน้ำของแม่น้ำสายหลักในปี พ.ศ.2547 2552 2562 และได้ใช้ผลจากการศึกษาจัดทำแผนปฏิบัติการฟื้นฟูคุณภาพน้ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำ และยกระดับมาตรฐานของแหล่งน้ำให้ดีขึ้นในช่วงเวลา 20 ปีข้างหน้า

กรมควบคุมมลพิษ (2542) ได้ทำโครงการศึกษาเพื่อจัดทำแผนปฏิบัติการในการจัดการคุณภาพแหล่งน้ำในแม่น้ำสายหลักต่างๆ รวมทั้งแม่น้ำปิงโดยใช้แบบจำลอง MIKE 11 ในการหาค่าพารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ สำหรับการคาดการณ์คุณภาพน้ำในอนาคต ซึ่งจากการศึกษาพบว่า คุณภาพน้ำในแม่น้ำปิงโดยทั่วไปอยู่ในระดับพอใช้ และมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ดีตามมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำประเภทที่ 2 (เพื่อการอุปโภคบริโภค และการ

อนุรักษ์สัตว์น้ำ) และประเภทที่ 3 ได้ภายใน 10 ปี ข้างหน้า ถ้ามีการจัดการของเสียจากแหล่งกำเนิดประเภทต่างๆ ได้ตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง

ภูวคณ (2544) ได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแม่น้ำบางปะกง โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 โดยกำหนดขอบเขตด้านเหนือน้ำที่จุดเริ่มต้นของแม่น้ำปราจีนบุรี และที่ประตูระบายน้ำปากเม้าซึ่งตั้งอยู่บนแม่น้ำนครนายก สำหรับขอบเขตด้านท้ายน้ำกำหนดที่แม่น้ำบางปะกง ในการเปรียบเทียบ และตรวจพิสูจน์แบบจำลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสม พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายในแบบจำลองอุทกพลศาสตร์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.020-0.035 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของแบบจำลองย่อยการพาและแพร่กระจายมีค่าอยู่ระหว่าง 50-500 ตร.ม./วินาที และค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองคุณภาพน้ำซึ่งประกอบไปด้วย ผลผลิตออกซิเจนสูงสุดจากการสังเคราะห์แสงของพืชมีค่าเท่ากับ 3.5 กรัม ออกซิเจนต่อตารางเมตรต่อวัน อัตราการหายใจของพืช และสัตว์น้ำมีค่าเท่ากับ 3.0 กรัม ออกซิเจนต่อตารางเมตรต่อวัน ค่าสัมประสิทธิ์การเติมอากาศใช้สมการของ O'Connor & Dubbins และค่าสัมประสิทธิ์การย่อยสลายสารอินทรีย์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.05-0.3 วัน⁻¹ จากผลการศึกษาพบว่าแหล่งมลพิษที่ทำให้คุณภาพน้ำในแม่น้ำบางปะกงเสื่อมโทรมลงมากที่สุดมีดังนี้ แหล่งมลพิษเกษตรกรรม ชุมชน และอุตสาหกรรม ตามลำดับ

กฤษฎา (2538) ได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำแม่น้ำเจ้าพระยาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 โดยขอบเขตต้นน้ำอยู่บริเวณ อำเภอบางไทร จ.อยุธยา ขอบเขตท้ายน้ำอยู่บริเวณ ปากแม่น้ำ จ.สมุทรปราการ รวมระยะทาง 112 กิโลเมตร สำหรับการประเมินปริมาณความสกปรก ที่ไหลลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา ในปี 2540 2550 และ 2560 นั้น ได้คำนวณจาก อัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากร อัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจ และ อุตสาหกรรม ในปีนั้น ๆ ผลการคำนวณพบว่า แม่น้ำเจ้าพระยาในสภาพปัจจุบันมีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานแหล่งน้ำประเภทที่ 4 โดยในปี 2537 มีค่าบีโอดีสูงสุด เท่ากับ 6.2 มก./ล. และผลจากการมีโครงการบำบัดน้ำเสียกรุงเทพมหานครระยะที่ 1 คือ แม่น้ำ เจ้าพระยาจะมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำประเภทที่ 4 จนถึง ปี 2540 เท่านั้น คือ มีค่าบีโอดีสูงสุด เท่ากับ 4.5 มก./ล. หลังจากนั้น ค่า บีโอดี จะเพิ่มสูงขึ้นอีก เว้นแต่จะมีการใช้มาตรการที่มีประสิทธิภาพเพื่อ แก้ไขต่อไป

อิสรา (2540) ได้ทำการศึกษาเพื่อการจัดการคุณภาพน้ำผิวดินบริเวณโรงไฟฟ้าและเหมืองแม่เมาะ โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 ซึ่งพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่ศึกษา คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solids; TDS) และซัลเฟต (Sulfate) ซึ่งเป็นมลสารที่สำคัญ อันเนื่องมาจากการดำเนินกิจกรรมของโรงไฟฟ้าและเหมืองแม่ ซึ่งผลการศึกษาได้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิง (Mannings n) มีค่าระหว่าง 0.033-0.050 เมตร(1/3)/วินาที และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (Dispersion Coefficient) มีค่าระหว่าง 700-900 เมตร(2)/ และพบว่าระดับน้ำ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและซัลเฟตจากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลจากการสำรวจ ซึ่งเมื่อนำมาทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย ได้ค่า $r = 0.9201, 0.9461$ และ 0.9429 ตามลำดับ และค่าจากข้อมูลทั้งสอง ไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (Paired t-test) ที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%

ภัทรา (2541) ได้ทำการการศึกษาคุณภาพน้ำ โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 ในแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง จากการศึกษาให้ผลเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณโดยแบบจำลองและข้อมูลจริงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (t-test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และให้ค่า คลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (RMSE) อยู่ในช่วง 3.49-7.62 กรัม/ลิตร สำหรับ ความเค็ม 0.159-0.544 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับออกซิเจนละลายและบีโอดี และ 0.188-0.317 องศาเซลเซียส สำหรับอุณหภูมิ ผลการศึกษาพบว่าแม่น้ำแม่กลองตอนล่างในสภาพปัจจุบันมีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำประเภท 3 แต่พบความวิกฤตบางช่วงเวลา (บีโอดีสูงกว่า 4 มิลลิกรัม/ลิตร) และพื้นที่ที่มีความจำเป็นต้องมีระบบบำบัดน้ำเสีย คือ เทศบาลเมืองราชบุรีและเทศบาล เมืองสมุทรสงคราม

นฤมล (2541) ได้ทำการคาดการณ์คุณภาพน้ำในแม่น้ำแม่กลองตอนบน โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 ผลการสำรวจคุณภาพน้ำและผลการคำนวณคุณภาพน้ำโดยแบบจำลองพบว่าคุณภาพน้ำจะลดลงเรื่อยๆ ตามระยะทางจากต้นน้ำถึงท้ายน้ำ โดยปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำในแม่น้ำแม่กลองโดยรวมขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำและปริมาณน้ำในแม่น้ำ และฤดูกาลที่ทำการศึกษา ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแตกต่าง ระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และผลจากการสำรวจ พบว่า ผลของการเปรียบเทียบระดับน้ำ ฟิคล์โคลิฟอร์มแบคทีเรีย ออกซิเจนละลายบีโอดี และ อุณหภูมิไม่แตกต่างกัน (t-test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ยกเว้นค่าบีโอดี ที่ สถานี MK11 ที่ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99% และเมื่อทดสอบระดับน้ำ โดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

อย่างง่าย (Correlation coefficient) มีค่าเท่ากับ 0.9 ส่วนพารามิเตอร์อื่นทดสอบด้วยสถิติตรวจสอบความถูกต้องของการคาดการณ์โดยใช้รากที่สองของความแตกต่างกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) พบว่าฟังก์ชันโลจิสติกแบบทรีเรีย มีความคลาดเคลื่อนของการคำนวณมากกว่าปริมาณออกซิเจนละลาย บีโอดี และอุณหภูมิ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ไมโครคอมพิวเตอร์พร้อมเครื่องพิมพ์ 1 ชุด
2. แบบจำลอง MIKE 11 Version 3.2 ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองย่อย NAM (NAM Module) แบบจำลองย่อยอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Module, MIKE 11 HD) แบบจำลองย่อยการพาและแพร่กระจาย (Advection-Dispersion Model) และแบบจำลองย่อยคุณภาพน้ำ (Water Quality Module)
3. แผนที่ภูมิประเทศบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน มาตรฐาน 1:250,000
4. ข้อมูลทางอุทกนิยมนิเวศวิทยาและอุทกวิทยาในลุ่มน้ำปิงตอนบน ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน ปริมาณน้ำท่ารายวัน ปริมาณการระเหยรายวัน ข้อมูลด้านชลศาสตร์คือ รูปตัดขวางของแม่น้ำปิง รวมทั้งข้อมูลคุณภาพน้ำ
5. เครื่องวัดพื้นที่ลุ่มน้ำและระยะทางของแม่น้ำ (Planimeter)

วิธีการ

การศึกษาด้านคุณภาพน้ำของแม่น้ำปิงตอนบนโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 มีวิธีการดังต่อไปนี้

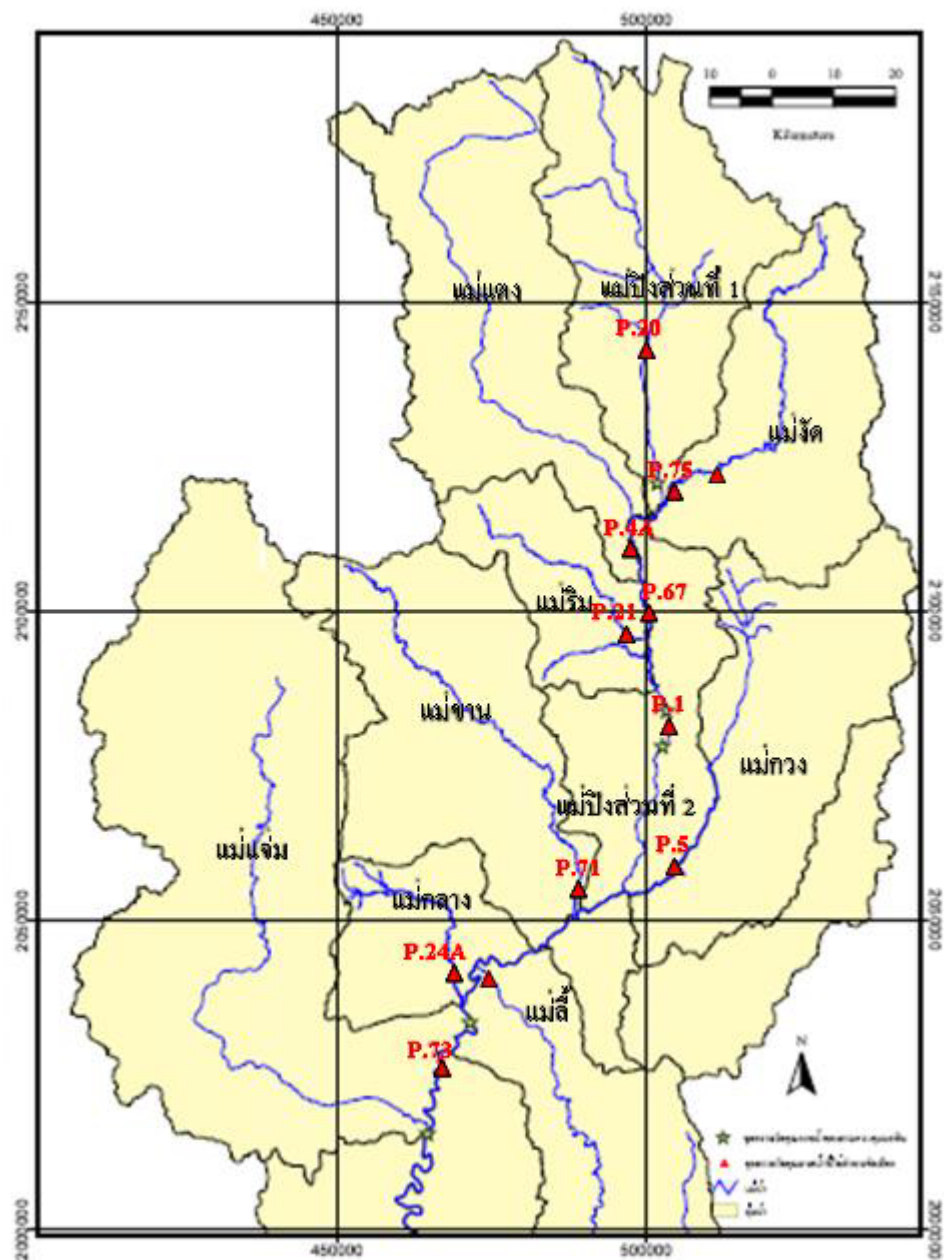
1. ศึกษาสภาพคุณภาพน้ำในแม่น้ำปิงตอนบนสภาพปัจจุบัน จากข้อมูลคุณภาพน้ำซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก “โครงการหน่วยวิจัยการจัดการด้านน้ำท่วมและคุณภาพน้ำอย่างยั่งยืนของประเทศไทย” ซึ่งประกอบด้วย ค่า DO, BOD และ SS ของสถานีเก็บตัวอย่างทั้ง 12 สถานี ใน

แม่น้ำปิงตอนบน ในช่วงเดือนกันยายน 2548 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2549 โดยตำแหน่งที่ตั้งของจุดที่ทำการเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำในแม่น้ำปิงตอนบนและสาขาจำนวน 12 จุด แสดงดังใน ตารางที่ 10 สำหรับตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดโดยประมาณแสดงไว้ในดังในภาพที่ 11

ตารางที่ 10 ตำแหน่งเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำในแม่น้ำปิงตอนบนและสาขา

ลำดับ ที่	รหัส สถานี	แม่น้ำ	ชื่อสถานี	อำเภอ	จังหวัด	พิกัด UTM	
						E	N
1	P.1	น้ำแม่ปิง	แม่น้ำปิงที่สะพานนวรัฐ	เมือง	เชียงใหม่	0500577	2077260
2	P.4A	น้ำแม่แตง	น้ำแม่แตงที่แม่แตง	แม่แตง	เชียงใหม่	0494499	2106413
3	P.5	น้ำแม่กวัง	น้ำแม่กวังที่สะพานท่า สิงห์พิทักษ์	เมือง	ลำพูน	0501393	2054088
4	P.20	น้ำแม่ปิง	แม่น้ำปิงที่เชียงดาว	เชียงดาว	เชียงใหม่	0496912	2139842
5	P.21	น้ำแม่ริม	น้ำแม่ริมที่แม่ริม	แม่ริม	เชียงใหม่	0493996	2092505
6	P.24A	น้ำแม่กลาง	น้ำแม่กลางที่สะพาน ประชาอุทิศ	สันป่าตอง	เชียงใหม่	0465478	2035889
7	P.67	น้ำแม่ปิง	แม่น้ำปิงที่บ้านแม่แต	สันทราย	เชียงใหม่	0497569	2095992
8	P.71	น้ำแม่ขาน	น้ำแม่ขานที่บ้านสบวัง	สันป่าตอง	เชียงใหม่	0485800	2050445
9	P.73	น้ำแม่ปิง	แม่น้ำปิงที่บ้านสบสอย	จอมทอง	เชียงใหม่	0463071	2022134
10	P.75	น้ำแม่ปิง	แม่น้ำปิงที่บ้านช่อแล	แม่งแตง	เชียงใหม่	0501079	2115999
11	-	น้ำแม่จืด	บริเวณท้ายเขื่อนแม่จืด		เชียงใหม่	-	-
12	-	น้ำแม่ลี	ลำน้ำแม่ลี (บริเวณสถานี P.85)		เชียงใหม่	-	-

ที่มา: นุชนารถและคณะ (2550)



ภาพที่ 11 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำในแม่น้ำปิงตอนบนและสาขา
ที่มา: นุชนารถและคณะ (2550)

จากข้อมูลคุณภาพน้ำซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก “โครงการหน่วยวิจัยการจัดการด้านน้ำท่วมและคุณภาพน้ำอย่างยั่งยืนของประเทศไทย” นั้นมีรายละเอียดข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพน้ำของค่า DO BOD และ SS จากสถานีเก็บตัวอย่างทั้ง 12 สถานี ในแม่น้ำปิงตอนบน ในช่วงเดือนกันยายน 2548 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2549 โดยสรุปดังนี้

1) DO

การตรวจวัดปริมาณ DO ตามสถานีเก็บตัวอย่างต่างๆ จำนวน 9-10 ครั้งต่อสถานีพบว่าค่า DO ที่ตรวจวัดได้เกือบทุกครั้ง มีค่าไม่น้อยกว่า 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้นที่สถานี P.5A และที่จุดบรรจบน้ำแม่จิด โดยที่สถานี P.5A มีเพียงครั้งเดียวที่ตรวจวัดค่า DO ได้เท่ากับ 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และสถานีจุดบรรจบน้ำแม่จิดนั้นจากการตรวจวัดค่า DO จำนวน 10 ครั้ง พบว่ามีถึง 4 ครั้ง ที่ค่า DO ต่ำกว่า 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของปริมาณ DO ของสถานีเท่ากับ 4.02 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับค่า DO เฉลี่ยของน้ำทุกๆ สถานีอยู่ในช่วง 4.02-6.94 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์แหล่งน้ำประเภทที่ 1 และ 2

2) BOD

BOD เป็นดัชนีคุณภาพน้ำอีกประเภทหนึ่งที่ทำกรตรวจวัด โดยมีความถี่ในการตรวจวัด 9-10 ครั้งต่อสถานี ซึ่งค่า BOD ที่ตรวจวัดได้มีค่าตั้งแต่ 0.05-5.15 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการเก็บตัวอย่างในวันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549 ที่พบว่า BOD มีค่ามากกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึง 8 จุดเก็บตัวอย่าง โดยในช่วงดังกล่าวเป็นช่วงฤดูแล้งซึ่งปริมาณน้ำในลำน้ำมีค่าน้อย อย่างไรก็ตามจากค่า BOD เฉลี่ยของน้ำทุกๆ สถานียังอยู่ในช่วง 0.94-2.19 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์แหล่งน้ำประเภทที่ 2 และ 3 ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดิน

3) SS

การตรวจวัดตะกอนแขวนลอย (SS) ตามสถานีเก็บตัวอย่างต่างๆ จำนวน 9-10 ครั้งต่อสถานี พบว่าค่า SS ต่ำสุดคือ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร สูงสุดคือ 4,138 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับค่าเฉลี่ยของ SS ทุกๆ สถานีอยู่ในช่วง 67-809 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. ประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM และ MIKE 11 HD เพื่อการประเมินน้ำท่าและการเคลื่อนที่ของน้ำท่า ตามลำดับ โดยพิจารณาเลือกเหตุการณ์น้ำท่วมในปี พ.ศ. 2544, 2546 และ 2548 มาใช้ประเมินพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละแบบจำลองและเพื่อสนับสนุนการดำเนินงานของแบบจำลอง MIKE 11 AD และ MIKE 11 WQ โดยข้อมูลในอดีตของกลุ่มน้ำปิงตอนบนที่รวบรวมและนำมาใช้ ประกอบด้วยข้อมูลน้ำฝน น้ำท่า การระเหย รวมทั้งข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำและฝายในลำน้ำแม่ปิง โดยมีรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

2.1 ปริมาณน้ำฝนรายวัน

ได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลน้ำฝนรายวันจากสถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อสถานีวัดน้ำท่าที่จะทำการประเมินปริมาณน้ำท่าในบริเวณกลุ่มน้ำปิงตอนบนจากกรมชลประทาน ดังแสดงรายละเอียดของสถานีวัดน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษาในตารางที่ 11 นอกจากนั้นแล้วยังได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลปริมาณฝนเพิ่มเติมจากสำนักอุตุนิยมวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน ช่วงวันที่ 1 สิงหาคม 2548 -31 มีนาคม 2549 เพื่อใช้สำหรับช่วงข้อมูลคุณภาพน้ำที่ทำการตรวจวัดในสนาม

ตารางที่ 11 ตำแหน่งที่ตั้งและช่วงปีสถิติข้อมูลของสถานีวัดน้ำฝนที่เก็บรวบรวมได้

รายชื่อสถานี	จังหวัด	รหัสสถานี	พิกัด		ช่วงปีสถิติ ข้อมูล
			ละติจูด	ลองจิจูด	
1. อ.เมือง	เชียงใหม่	07013	18-50-23	98-58-32	2497-2549
2. อ.ฮอด	เชียงใหม่	07092	18-11-26	98-36-52	2497-2549
3. อ.แม่แตง	เชียงใหม่	07112	19-07-08	98-56-52	2497-2549
4. อ.พร้าว	เชียงใหม่	07122	19-21-52	99-12-17	2497-2549
5. อ.จอมทอง	เชียงใหม่	07182	18-24-57	98-40-47	2497-2549
6. สวนป่าแม่หอพระ อ.แม่แตง	เชียงใหม่	07502	19-04-00	99-13-00	2515-2549
7. อ.เมือง	ลำพูน	17012	18-34-38	99-00-34	2497-2549
8. อ.ป่าซาง	ลำพูน	17032	18-31-25	98-56-38	2497-2549
9. อ.แม่ทา	ลำพูน	17042	18-27-35	99-08-14	2466-2549
10. อ.บ้านโฮ้ง	ลำพูน	17052	18-18-52	98-49-21	2497-2549
11. สถานีอากาศเกษตร จ.ลำพูน	ลำพูน	17093	18-35-00	99-20-00	2523-2549

ที่มา: กรมชลประทาน (2549)

2.2 ปริมาณน้ำท่ารายวัน

ได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนจากกรมชลประทาน ดังแสดงรายละเอียดของสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษาดังตารางที่ 12 และได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำท่าเพิ่มเติมจากสำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทานช่วงวันที่ 1 สิงหาคม 2548 -31 มีนาคม 2549 เพื่อใช้สำหรับช่วงข้อมูลคุณภาพน้ำที่ทำการตรวจวัดในสนาม

ตารางที่ 12 ตำแหน่งที่ตั้งและช่วงปีสถิติข้อมูลของสถานีวัดน้ำท่าที่เก็บรวบรวมได้

รายชื่อสถานี	จังหวัด	รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	พิกัด		ช่วงปีสถิติ ข้อมูล
				ละติจูด	ลองจิจูด	
1. แม่น้ำปิง ที่สะพานนารัฐ	เชียงใหม่	P.1	6,355	18-47-09	99-00-29	2497-2549
2 น้ำแม่แตง ที่แม่แตง	เชียงใหม่	P.4A	1,902	19-07-15	98-56-51	2498-2549
3 น้ำแม่กว้ง ที่ลำพูน	ลำพูน	P.5	1,569	18-34-32	99-00-44	2497-2535
4 น้ำแม่กว้ง ที่บ้านท่าจาก	ลำพูน	P.5A	1,740	18-32-32	98-58-17	2536-2549
5 แม่น้ำปิง ที่เชียงดาว	เชียงใหม่	P.20	1,355	19-21-09	98-58-25	2522-2549
6 น้ำแม่ริม ที่แม่ริม	เชียงใหม่	P.21	515	18-55-29	98-56-34	2497-2549
7 น้ำแม่กลาง ที่สะพานประชาอุทิศ	เชียงใหม่	P.24A	460	18-25-01	98-40-29	2516-2549
8 น้ำแม่จัด ที่บ้านใหม่	เชียงใหม่	P.28	1,261	19-10-07	99-03-01	2509-2522
9. บ้านแม่แต	เชียงใหม่	P.67	5,289	19-01-11	98-57-42	2539-2549
10. แม่ขาน	เชียงใหม่	P.71	1,771	18-32-14	98-51-47	2539-2549
11. อ.จอมทอง	เชียงใหม่	P.73	13,353	18-17-18	98-39-11	2541-2549
12. บ้านช่อแล	เชียงใหม่	P.75	3,090	19-08-52	99-00-36	2542-2549

ที่มา: กรมชลประทาน (2549)

2.3 ข้อมูลปริมาณการระเหยรายวัน

ได้ดำเนินการรวบรวมจากข้อมูลการระเหยจากถาดวัดการระเหยรายวันที่สถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา จังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดลำพูน ดังแสดงปริมาณการระเหยเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละสถานีในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ปริมาณการระเหยเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละสถานี

สถานี	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รายปี
จ. เชียงใหม่	108.1	128.7	171.7	189.4	178.6	143.7	129.6	126.3	128.8	129.0	106.8	98.3	1,639
จ. ลำพูน	109.5	142.2	205.0	216.8	197.0	162.1	149.3	136.7	118.1	107.5	94.4	95.8	1,734

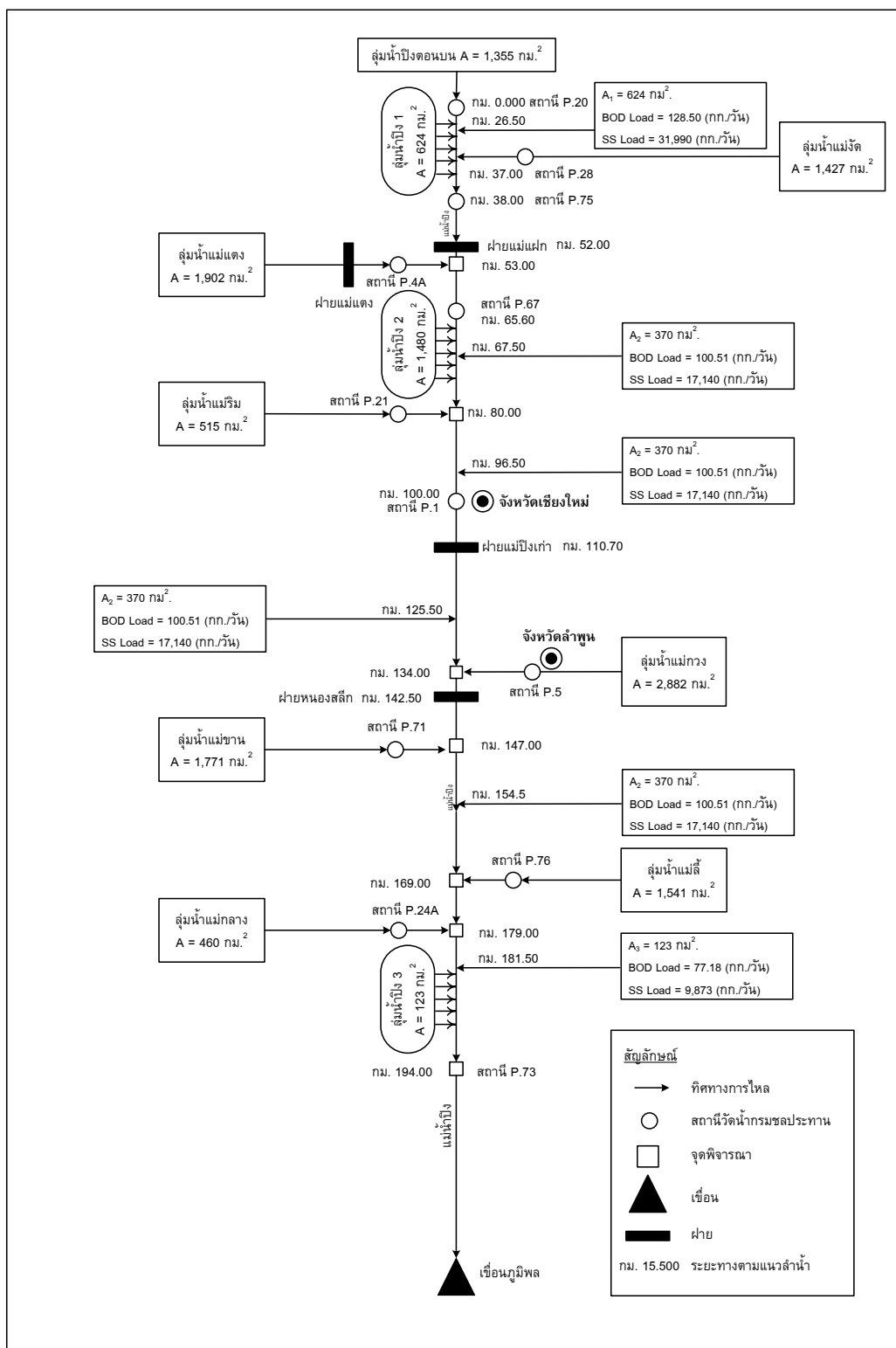
ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2549)

2.4 รูปตัดตามขวางของแม่น้ำปิงและสาขา

ได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลรูปตัดตามขวางของแม่น้ำปิงและลำน้ำสาขาจากกรมชลประทานและกรมทรัพยากรน้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) ข้อมูลรูปตัดขวางของแม่น้ำปิงตั้งแต่สถานีวัดน้ำท่า P.20 ซึ่งตั้งอยู่ที่อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ จนถึงสถานีวัดน้ำท่า P.73 จำนวน 196 รูปตัดขวาง ซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทานเมื่อปี พ.ศ. 2540
- 2) ข้อมูลรูปตัดขวางของแม่น้ำปิงตั้งแต่ฝายหนองสลิกถึงสถานีวัดน้ำท่า P.73 จำนวน 31 รูปตัดขวาง ซึ่งสำรวจโดยกรมทรัพยากรน้ำเมื่อปี พ.ศ. 2548

ในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE11 HD นั้นได้จัดเตรียมโครงข่ายระบบแม่น้ำปิงตอนบน ดังแสดงในภาพที่ 12 ซึ่งมีขอบเขตด้านเหนือน้ำที่สถานี P.20 และด้านท้ายน้ำที่สถานี P.73 สำหรับปริมาณการไหลเข้าของลำน้ำสาขาต่างๆ ใช้ข้อมูลปริมาณการไหลที่มีการตรวจวัดไว้ที่สถานีด้านท้ายน้ำของแต่ละลำน้ำสาขา และที่น้ำแม่จืดใช้ข้อมูลปริมาณน้ำที่ปล่อยท้ายเขื่อนแม่จืดสมบูรณ์ชล สำหรับบริเวณที่ไม่ได้ตรวจวัดการไหล ได้ทำการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลอง NAM ซึ่งใช้พารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลองจากการศึกษาการเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและแบบจำลองอุทกวิทยาในการประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน (ศิริกัญญา, 2547) จากนั้นทำการปรับค่าเพื่อให้ได้ผลการประเมินน้ำท่าที่เหมาะสมที่สุด



ภาพที่ 12 แผนภูมิแสดงระบบแม่น้ำปึงตอนบน เพื่อประยุกต์ใช้ในการศึกษาด้านอุทกพลศาสตร์ และคุณภาพน้ำสภาพปัจจุบัน

3. ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 AD และ MIKE 11 WQ เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ด้านคุณภาพน้ำ สำหรับเหตุการณ์ระหว่างเดือนกันยายน พ.ศ. 2548 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549 โดยใช้ข้อมูลพารามิเตอร์ด้านคุณภาพน้ำดังนี้ คือ DO, BOD, SS และ อุณหภูมิ ที่จุดตรวจวัดจำนวน 12 จุด ดังนี้คือ 1) P.20, 2) ทำยน้ำแม่จัด, 3) P.75, 4) P.4A, 5) P.67, 6) P.21, 7) P.1, 8) ทำยน้ำแม่กวง, 9) P.71, 10) P.76, 11) P.24A และ 12) P.73) สำหรับบริเวณที่ไม่ได้ตรวจวัดพารามิเตอร์ด้านคุณภาพน้ำซึ่งครอบคลุมบริเวณตอนกลางของพื้นที่ริมฝั่งแม่น้ำปิง อันประกอบด้วย

1) พื้นที่บริเวณ ตอนล่างของกลุ่มน้ำสาขาปิงตอนบนซึ่งมีพื้นที่รวม 624 ตร.กม. (A₁) โดยกำหนดให้ปริมาณ BOD และ SS เข้าสู่แม่น้ำปิงที่บริเวณตอนกลางระหว่างสถานี P.20 และจุดบรรจบน้ำแม่แดง (ภาพที่ 12)

2) พื้นที่บางส่วนของกลุ่มน้ำสาขาปิงส่วนที่ 2 ระหว่างจุดบรรจบน้ำแม่แดงกับจุดบรรจบน้ำแม่ลี ซึ่งมีพื้นที่รวม 1,480 ตร.กม. โดยปริมาณ BOD และ SS ที่เข้าสู่แม่น้ำปิงจะกระจายออกเป็น 4 จุด ในระหว่างจุดบรรจบดังกล่าว ซึ่งในแต่ละจุดพิจารณาจะแบ่งการประเมินปริมาณสารสำหรับพื้นที่ 370 ตร.กม. (A₂) (ภาพที่ 12)

3) พื้นที่บริเวณตอนบนของกลุ่มน้ำสาขาปิงส่วนที่ 3 ซึ่งมีพื้นที่รวม 123 ตร.กม. (A₃) โดยกำหนดให้ปริมาณ BOD และ SS เข้าสู่แม่น้ำปิงที่บริเวณตอนกลางระหว่างจุดบรรจบน้ำแม่ลีและสถานี P.73 (ภาพที่ 12)

สำหรับการประเมินปริมาณ BOD และ SS นั้น ได้ประยุกต์ใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดพื้นที่รับน้ำกับปริมาณ BOD และ SS ในแต่ละช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล โดยปริมาณ BOD และ SS จากความสัมพันธ์ดังกล่าวคือค่าเฉลี่ยที่ได้จากการประเมินโดยวิธี B และ E ของวิธีการ Direct Estimate จากรายงานโครงการวิจัยเรื่อง “การจัดการด้านน้ำท่วมและคุณภาพน้ำอย่างยั่งยืนของประเทศไทย” ในหัวข้อที่ 3.3.2 ซึ่งเป็นวิธีการประเมินปริมาณมลสารที่ไหลลงสู่ลำน้ำปิงโดยวิธีการประเมินโดยตรง (direct estimate technique) (นุชนารถ, 2550) สำหรับสมการที่ใช้ในการประเมินปริมาณ BOD และ SS ตามช่วงเวลาแสดงดังในตารางที่ 14 และผลการประเมินปริมาณ BOD และ SS ในแต่ละช่วงเวลาและพื้นที่ที่พิจารณาแสดงดังในตารางที่ 15 และ 16 ตามลำดับ

ตารางที่ 14 สมการที่ใช้ในการประเมินปริมาณ BOD และ SS

ช่วงเวลา	สมการที่ใช้ในการคำนวณ	
	BOD	SS
3 ก.ย. ถึง 11 ก.ย. 2548	$BOD = 0.0185A + 18.184$	$SS = 10.162A - 1496.4$
11 ก.ย. ถึง 15 ก.ย. 2548	$BOD = 0.0145A + 27.46$	$SS = 12.39A + 4896.1$
15 ก.ย. ถึง 22 ก.ย. 2548	$BOD = 0.0077A + 5.7557$	$SS = 7.1208A + 259.33$
22 ก.ย. ถึง 29 ก.ย. 2548	$BOD = 0.0396A + 4.9689$	$SS = 39.835A - 15892$
29 ก.ย. ถึง 10 ต.ค. 2548	$BOD = 0.0449A - 11.719$	$SS = 53.045A - 34175$
10 ต.ค. ถึง 16 พ.ย. 2548	$BOD = 0.0494A + 26.981$	$SS = 34.841A - 33969$
16 พ.ย. ถึง 21 ธ.ค. 2548	$BOD = 0.0378A + 19.494$	$SS = 3.0706A - 2332.6$
21 ธ.ค. 2548 ถึง 13 ก.พ. 2549	$BOD = 0.0664A - 34.106$	$SS = 0.5435A - 150.73$
13 ก.พ. ถึง 9 เม.ย. 2549	$BOD = 0.0814A - 62.035$	$SS = 0.4415A - 151.99$

ตารางที่ 15 ผลการประเมินปริมาณ BOD ในแต่ละช่วงเวลาและพื้นที่ที่พิจารณา

ช่วงเวลา	ปริมาณพารามิเตอร์ (กก/วัน)		
	พื้นที่ $A_1 = 624$ ตร.กม.	พื้นที่ $A_2 = 370$ ตร.กม.	พื้นที่ $A_3 = 123$ ตร.กม.
3 ก.ย. ถึง 11 ก.ย. 2548	3,716.00	3,128.63	2,557.44
11 ก.ย. ถึง 15 ก.ย. 2548	9,127.00	8,206.25	7,310.88
15 ก.ย. ถึง 22 ก.ย. 2548	1,508.64	1,229.24	957.54
22 ก.ย. ถึง 29 ก.ย. 2548	4,239.90	2,802.99	1,405.67
29 ก.ย. ถึง 10 ต.ค. 2548	1,481.69	444.91	0.00
10 ต.ค. ถึง 16 พ.ย. 2548	1,562.34	1,223.22	893.44
16 พ.ย. ถึง 21 ธ.ค. 2548	1,230.89	956.57	689.81
21 ธ.ค. 2548 ถึง 13 ก.พ. 2549	135.70	0.00	0.00
13 ก.พ. ถึง 9 เม.ย. 2549	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ 16 ผลการประเมินปริมาณ SS ในแต่ละช่วงเวลาและพื้นที่ที่พิจารณา

ช่วงเวลา	ปริมาณพารามิเตอร์ (กก/วัน)		
	พื้นที่ $A_1 = 624$ ตร.กม.	พื้นที่ $A_2 = 370$ ตร.กม.	พื้นที่ $A_3 = 123$ ตร.กม.
3 ก.ย. ถึง 11 ก.ย. 2548	605,586	282,943	0
11 ก.ย. ถึง 15 ก.ย. 2548	3,156,865	2,370,100	1,605,018
15 ก.ย. ถึง 22 ก.ย. 2548	671,816	413,432	162,170
22 ก.ย. ถึง 29 ก.ย. 2548	1,280,720	0	0
29 ก.ย. ถึง 10 ต.ค. 2548	0	0	0
10 ต.ค. ถึง 16 พ.ย. 2548	0	0	0
16 พ.ย. ถึง 21 ธ.ค. 2548	0	0	0
21 ธ.ค. 2548 ถึง 13 ก.พ. 2549	3,489	933	0
13 ก.พ. ถึง 9 เม.ย. 2549	7,719	710	0

4. การคาดการณ์สถานการณ์คุณภาพน้ำในแม่น้ำปิงตอนบนในอีก 20 ปีข้างหน้า (พ.ศ. 2568) ในส่วนของปริมาณ DO และ BOD ได้พิจารณาใช้ข้อมูลกราฟน้ำท่าต่ำสุดในรอบ 10 ปี ซึ่งถือเป็นช่วงวิกฤติ ซึ่งตรงกับกราฟน้ำท่าในระหว่างวันที่ 15 ถึง 21 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2545 ในส่วนของ การประเมินปริมาณน้ำเสียในอนาคตพิจารณาใช้การประเมินตามวิธีการของกรมควบคุมมลพิษ (กรมควบคุมมลพิษ, 2542) ที่ใช้อัตราน้ำเสียที่เพิ่มขึ้นตามอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า GPP ของแต่ละจังหวัด ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นของ GPP ในจังหวัดเชียงใหม่และลำพูนที่ได้จากสภาพนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ มีค่าประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ดังนั้นปริมาณ BOD ในอีก 20 ปีข้างหน้า จึงเพิ่มขึ้นประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ของปัจจุบัน สำหรับปริมาณ SS ได้พิจารณาใช้ข้อมูลกราฟน้ำท่าสูงสุดเป็นช่วงวิกฤติ ซึ่งตรงกับกราฟน้ำท่าในระหว่างวันที่ 15 เดือนกรกฎาคม ถึง 31 เดือนธันวาคม ในปี พ.ศ. 2548 ดังนั้น จึงสมมติว่าถ้าในปี พ.ศ. 2548 ปริมาณตะกอนเพิ่มขึ้น 30 เปอร์เซ็นต์จากในกรณีปัจจุบันอันเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อไป

5. การประเมินประสิทธิผลของการประยุกต์ใช้แบบจำลอง

พารามิเตอร์ทางสถิติที่ใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพการประยุกต์ใช้ชุดแบบจำลอง MIKE 11 ประกอบด้วยพารามิเตอร์ดังนี้

1) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Correlation Coefficient (r)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o) \times (Q_{ci} - \bar{Q}_c)}{\left[\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2 \times \sum_{i=1}^N (Q_{ci} - \bar{Q}_c)^2 \right]^{0.5}} \quad (48)$$

2) ค่า Efficiency Index (EI)

$$EI = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2 - \sum_{i=1}^N (Q_{oi} - Q_{ci})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2} \times 100\% \quad (49)$$

เมื่อ Q_i คือ พารามิเตอร์ที่เวลา i ส่วน $\bar{Q}$ คือ ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ โดยที่ subscript O กับ C คือ ค่าที่ตรวจวัดได้และค่าที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลอง ตามลำดับ และ N คือ จำนวนของข้อมูล โดยค่า r มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ถ้า r มีค่าเป็นบวกและเข้าใกล้ 1 แสดงว่าชุดข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์แบบปฏิภาคโดยตรงที่ดีมาก ส่วนค่า Efficiency index (EI) ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 100% แสดงว่าชุดข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด

ผลและวิจารณ์

ในการประยุกต์ใช้ชุดแบบจำลอง MIKE 11 เพื่อศึกษาสภาพคุณภาพน้ำของปริมาณ DO, BOD และ SS ในแม่น้ำปิงตอนบนระหว่างสถานีวัดน้ำท่า P.20 และ P.73 สำหรับเหตุการณ์ในอดีตและการคาดการณ์ในอนาคตนั้น ได้ดำเนินการโดยการประยุกต์ใช้ 4 แบบจำลองย่อยของชุดแบบจำลอง MIKE 11 ซึ่งประกอบด้วย 1) แบบจำลอง NAM 2) แบบจำลอง MIKE 11 HD 3) แบบจำลอง MIKE 11 AD และ 4) แบบจำลอง MIKE 11 WQ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM และ MIKE 11 HD นั้น ได้พิจารณาเลือกเหตุการณ์น้ำท่วมในปี พ.ศ. 2544, 2546 และ 2548 มาใช้เพื่อประเมินพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละแบบจำลองและเพื่อสนับสนุนการดำเนินงานของแบบจำลอง MIKE 11 AD และ MIKE 11 WQ โดยแบบจำลองย่อยทั้งสองนี้ ได้ถูกสอบเทียบโดยใช้เหตุการณ์น้ำท่าระหว่างเดือนกันยายน พ.ศ. 2548 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549 และใช้ข้อมูลคุณภาพน้ำที่ตรวจวัดได้จำนวน 10 ครั้ง ที่สถานีวัดน้ำท่าของแม่น้ำปิงและปลายลำน้ำสาขาของแม่น้ำปิง จำนวนทั้งสิ้น 12 สถานี ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แต่ละแบบจำลองรวมทั้งการคาดการณ์สภาพคุณภาพน้ำในอีก 20 ปีข้างหน้า สรุปได้ดังนี้

1. การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์ชุดแบบจำลอง MIKE 11

1.1 แบบจำลอง NAM และ MIKE 11 HD

ในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM ได้เลือกใช้พารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลองที่ได้จากผลการศึกษาในวิทยานิพนธ์เรื่อง “การเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและแบบจำลองอุทกวิทยาในการประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน” (ศิริกัญญา, 2547) โดยพารามิเตอร์ที่เลือกใช้สรุปได้ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 พารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลอง NAM ที่เลือกใช้

U_{max}	L_{max}	CQOF	CKIF	TOF	TIF	CK1, CK2	TG	Sy	CKBF	$GWLBF_0$	$GWLBF_1$
40	400	0.2	1,000	0.1	0	30	0.9	0.1	2,000	10.0	0

สำหรับแบบจำลอง MIKE 11 HD ซึ่งทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองในงานวิจัยนี้ ได้พารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลองคือ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning's n) สำหรับการไหลในลำน้ำซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.030 ถึง 0.040 และค่า Manning's n สำหรับการไหลในทุ่งน้ำท่วมซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.125 ถึง 0.150 โดยค่า Manning's n ในแต่ละช่วงลำน้ำแม่ปิงสรุปได้ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ค่า Manning's n ในแต่ละช่วงลำน้ำแม่ปิง

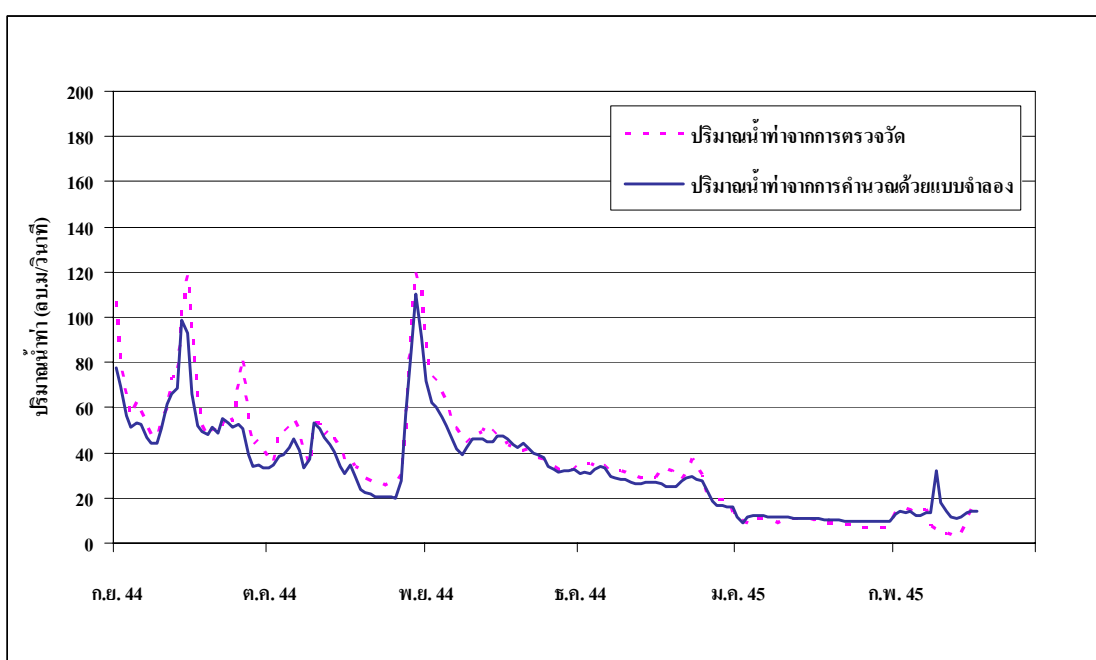
สภาพการไหล	ระยะทาง (ก.ม.)	ค่า Manning's n
การไหลในลำน้ำ	0.00-100.00	0.030
	100.00-157.00	0.035
	157.00-194.00	0.040
การไหลในทุ่งน้ำท่วม	102.00-180.00	0.150
	180.00-194.00	0.125

ในส่วนของการประเมินประสิทธิภาพของการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานี P.67, P.1 และ P.73 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2544, 2546 และ 2548 พบว่า ค่า r มีค่าระหว่าง 0.95 ถึง 0.98 และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.97 สำหรับ ค่า EI มีค่าระหว่าง 85.34 ถึง 94.99 และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 91.00 ซึ่งนับว่าอยู่ในเกณฑ์ดีเป็นที่ยอมรับได้และเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้เพื่อดำเนินงานแบบจำลองด้านคุณภาพน้ำต่อไป โดยผลการประเมินประสิทธิภาพของการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานี P.67, P.1 และ P.73 สรุปได้ดังในตารางที่ 19 และผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 HD สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2544 พ.ศ. 2546 และ พ.ศ.2548 ที่สถานี P.67, P.1 และ P.73 แสดงดังภาพที่ 13 ถึง 21 ซึ่งจากภาพดังกล่าวจะเห็นได้ว่าผลของการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD สำหรับช่วงที่มีปริมาณการไหลสูงๆ (High Flows) จะมีค่าต่ำกว่าปริมาณการไหลที่มีการบันทึกข้อมูลไว้สำหรับทุกเหตุการณ์น้ำท่วม ในขณะที่ช่วงที่มีปริมาณการไหลต่ำๆ (Low Flows) จะมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณการไหลที่มีการบันทึกข้อมูลไว้ ทั้งนี้เนื่องจาก การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาสภาพคุณภาพน้ำในแม่น้ำปิงตอนบนซึ่งจะมีค่าวิกฤติในช่วงฤดูแล้ง ดังนั้น จึงให้ความสำคัญกับผลการประเมินกราฟน้ำท่า

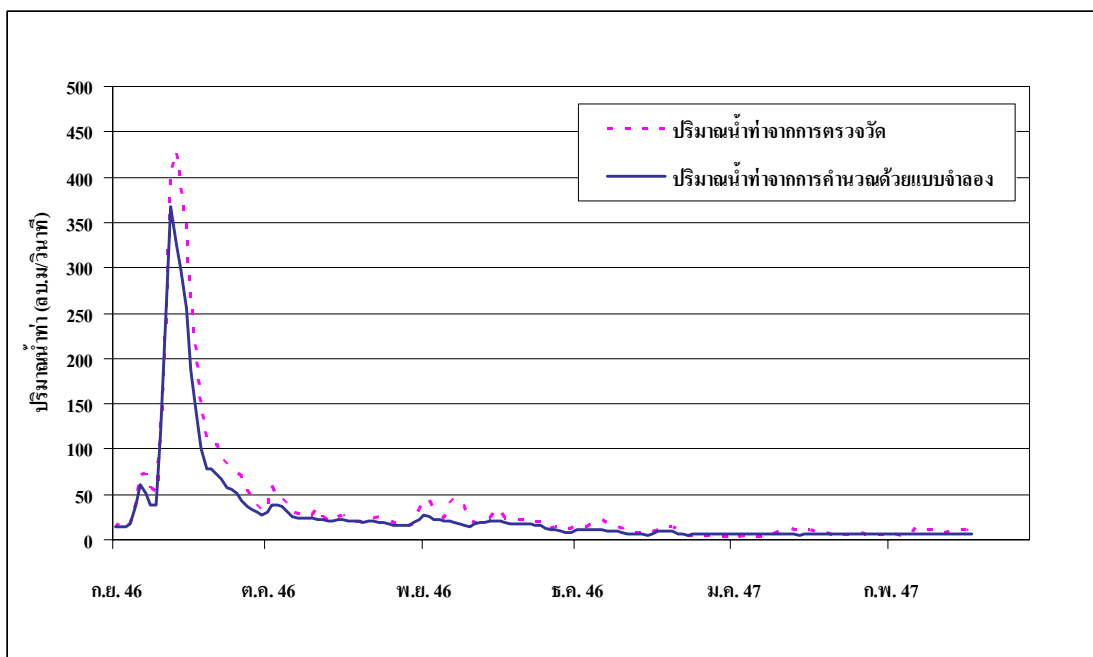
ในช่วงที่มีการไหลต่ำๆ ให้เกิดความถูกต้องมากกว่าในช่วงที่มีการไหลสูงๆ ในกรณีที่มีการปรับพารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลอง MIKE 11 HD (Manning's n) เพื่อให้ปริมาณการไหลสูงๆ มีความถูกต้องมากขึ้น พบว่า จะไปกระทบต่อความถูกต้องของปริมาณการไหลต่ำๆ

ตารางที่ 19 ผลการประเมินประสิทธิภาพของการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง
MIKE 11 HD ที่สถานี P.67, P.1 และ P.73

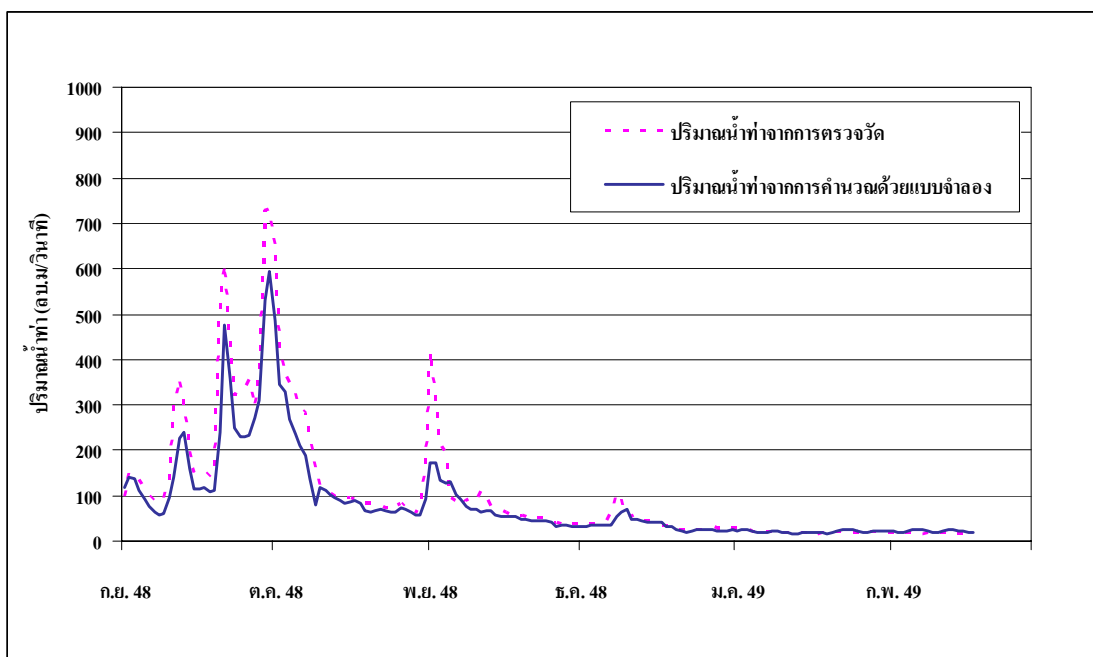
ตัวแปรทางสถิติ	สถานี P.67			สถานี P.1			สถานี P.73		
	สอบเทียบ	ตรวจพิสูจน์		สอบเทียบ	ตรวจพิสูจน์		สอบเทียบ	ตรวจพิสูจน์	
	2544	2546	2548	2544	2546	2548	2544	2546	2548
EI (%)	88.78	92.73	85.34	92.69	93.03	88.10	94.99	93.21	90.17
r	0.95	0.98	0.97	0.97	0.98	0.96	0.97	0.98	0.97



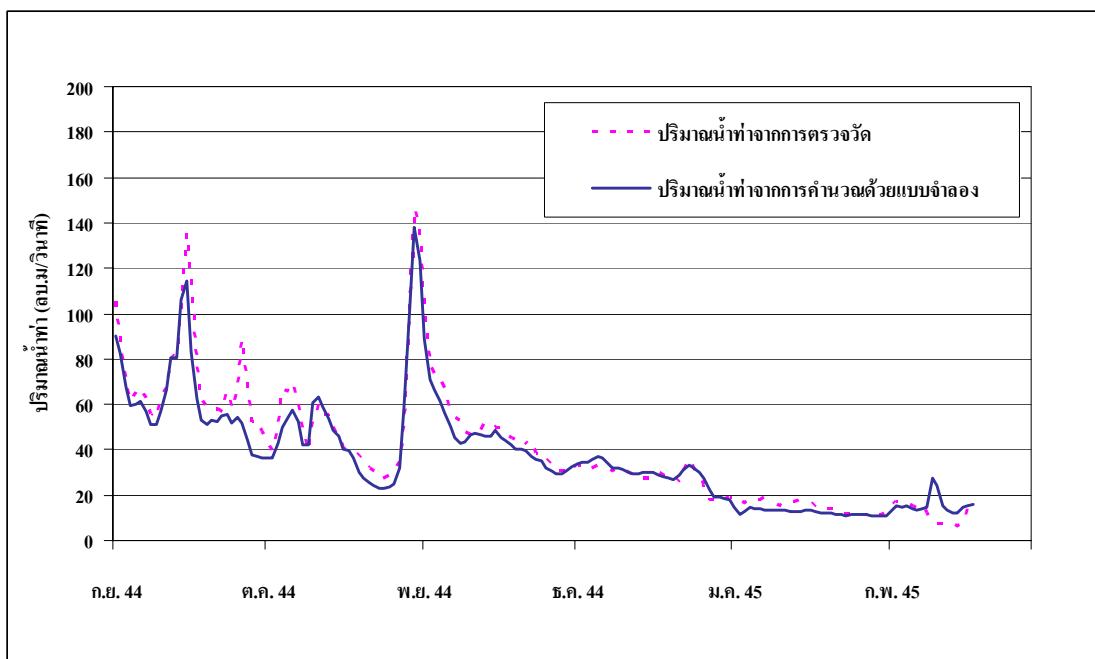
ภาพที่ 13 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.67 สำหรับเหตุการณ์
ในปี พ.ศ. 2544



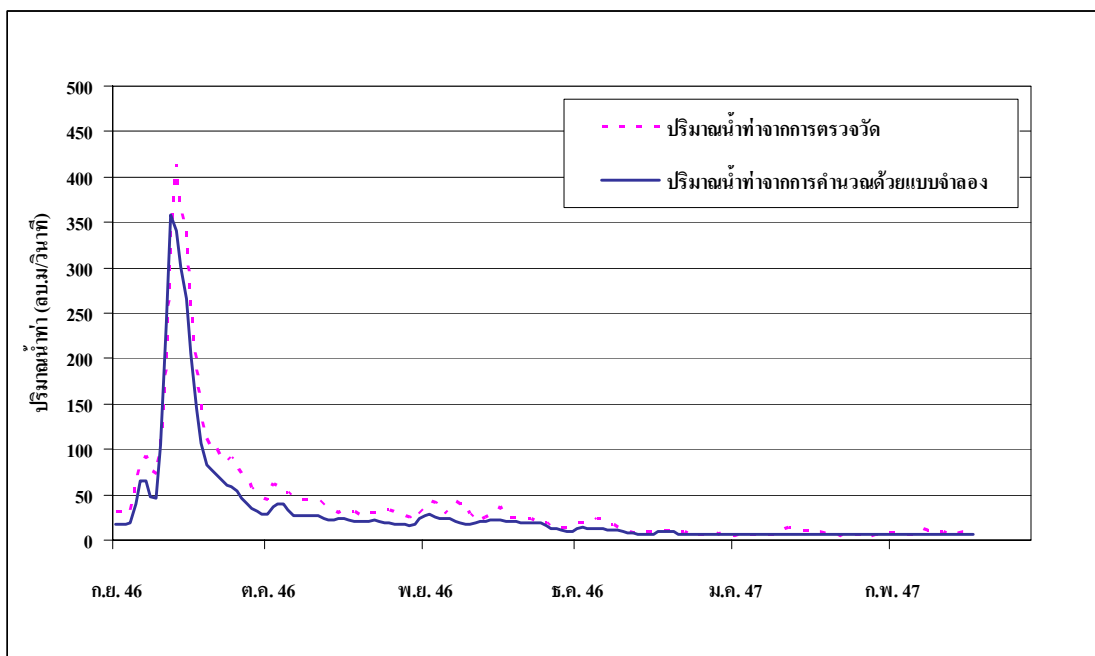
ภาพที่ 14 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.67 สำหรับเหตุการณ์
ในปี พ.ศ. 2546



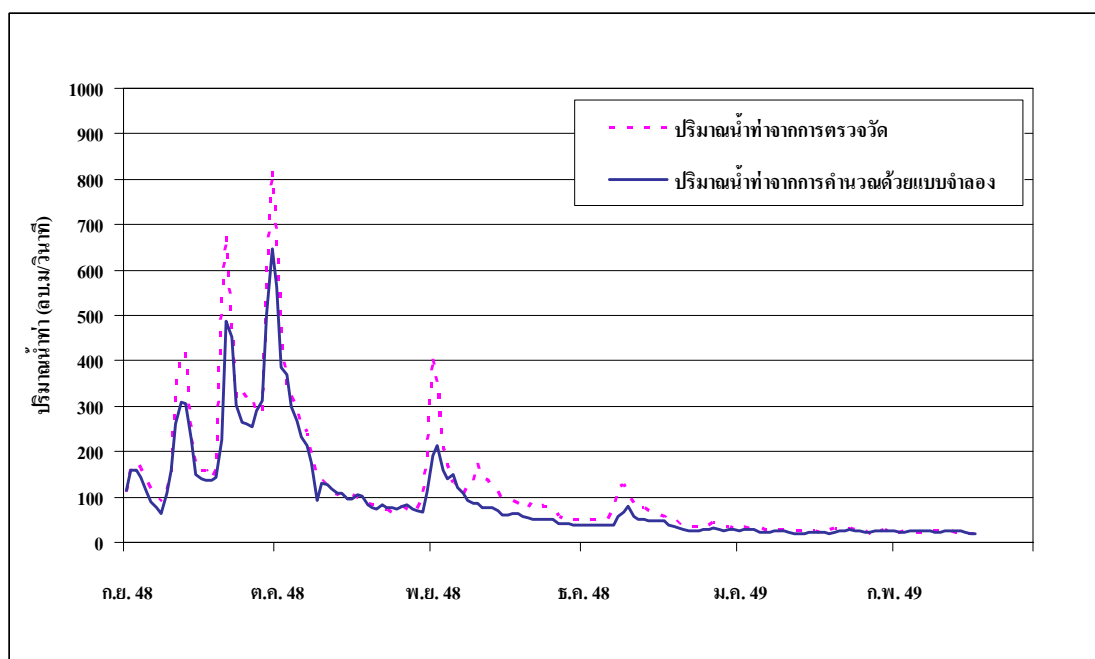
ภาพที่ 15 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.67 สำหรับเหตุการณ์
ในปี พ.ศ. 2548



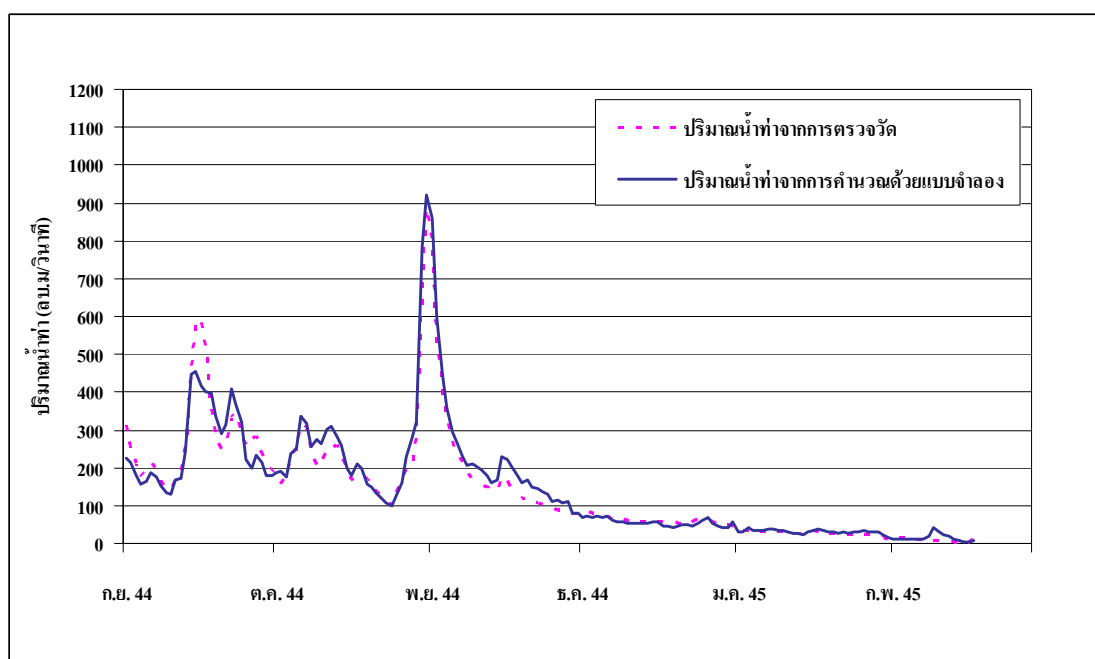
ภาพที่ 16 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 สำหรับเหตุการณ์
ในปี พ.ศ. 2544



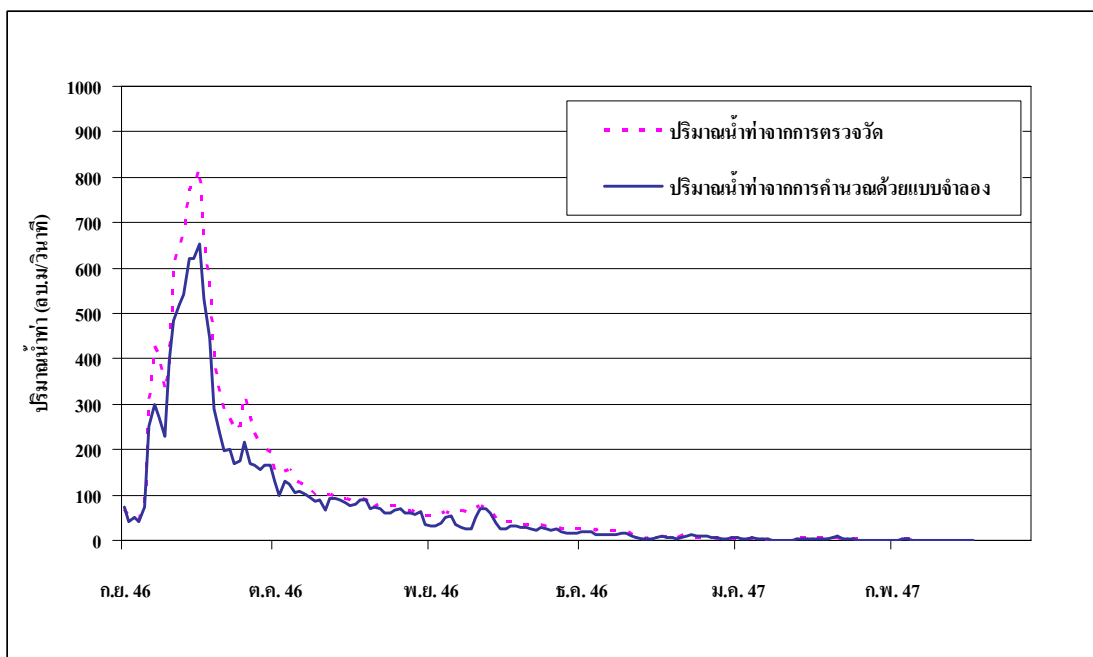
ภาพที่ 17 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 สำหรับเหตุการณ์
ในปี พ.ศ. 2546



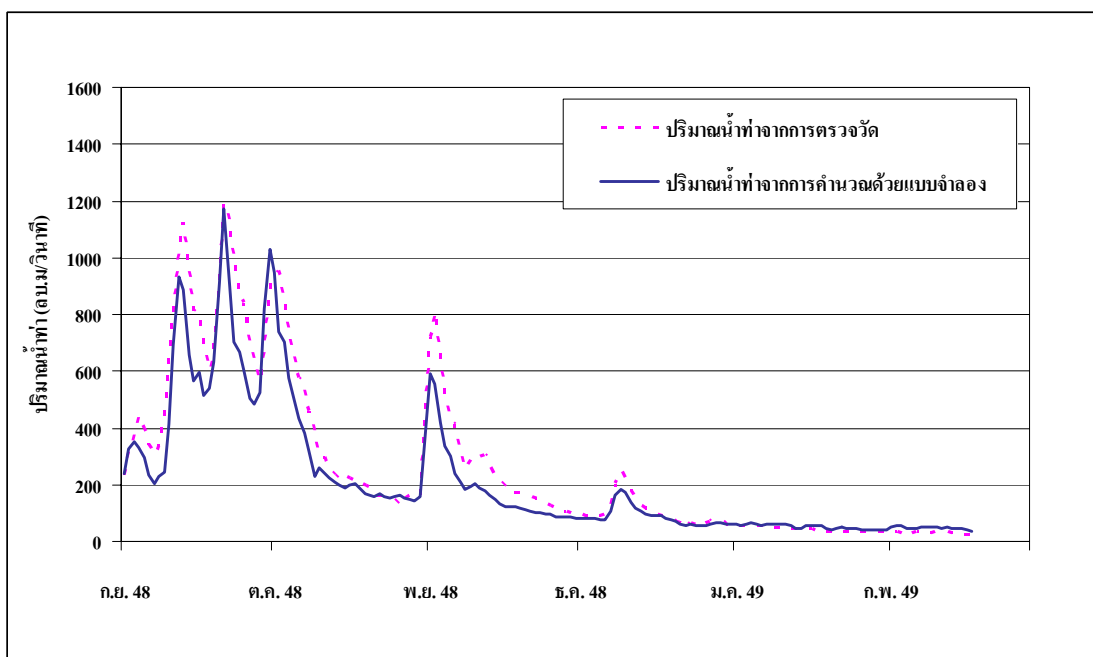
ภาพที่ 18 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 สำหรับเหตุการณ์
ในปี พ.ศ. 2548



ภาพที่ 19 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.73 สำหรับเหตุการณ์
ในปี พ.ศ. 2544



ภาพที่ 20 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.73 สำหรับเหตุการณ์
ในปี พ.ศ. 2546



ภาพที่ 21 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.73 สำหรับเหตุการณ์
ในปี พ.ศ. 2548

1.2 แบบจำลอง MIKE11 AD และ MIKE11 WQ

ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE11 AD นั้น ได้พารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลองคือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายซึ่งอยู่ในช่วง 50-500 เมตร²/วินาที และสำหรับการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 WQ นั้น ได้พารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลองดังแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 พารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลอง MIKE 11 WQ

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้	หน่วย
1) สัมประสิทธิ์การย่อยสลายสารอินทรีย์ (K_d : 1. Order decay rate 20 °C)	0.15	วัน ⁻¹
2) ผลผลิตของของออกซิเจนสูงสุดโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง (P_{max})	0.75	กรัม ออกซิเจน/ ตร.ม./วัน
3) การใช้ออกซิเจนโดยกระบวนการหายใจของพืชและสัตว์น้ำ (R_{20})	1.0	กรัม ออกซิเจน/ ตร.ม./วัน
4) สัมประสิทธิ์การเติมอากาศ (K_a) ใช้สมการของ O'Connor & Dubbins		
5) Resuspension of organic matter	0.01	กรัม ออกซิเจน/ ตร.ม./วัน
6) อัตราการตกตะกอนของสารอินทรีย์	0.05	ม./วัน
7) อัตราการย่อยสลายของ SOD	0.20	กรัม ออกซิเจน/ ตร.ม./วัน

สำหรับรายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลองที่เลือกใช้อธิบายได้ดังนี้

1) การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์พารามิเตอร์สำหรับการศึกษาปริมาณ DO

การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 WQ สำหรับการศึกษาปริมาณ DO นั้น มีพารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลองดังนี้คือ (1) สัมประสิทธิ์การเติมอากาศ (K_a) (2) อัตราการหายใจของพืชและสัตว์ที่ 20 องศาเซลเซียส (R_{20}) และ (3) ผลผลิตของออกซิเจนสูงสุดโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง (P_{max})

ในการปรับค่า K_a จะใช้สมการของ O' Connor – Dubbins ซึ่งมีสมการดังนี้

$$K_a = 3.9 V^{0.5} H^{-1.5} \quad (50)$$

เมื่อ K_a = ค่า Reaeration ที่ 20 °C (วัน⁻¹)

V = ความเร็วของน้ำ (ม./วินาที)

H = ความลึกของน้ำ (ม.)

สาเหตุที่เลือกใช้สมการ O'Conner & Dubbins ในการประเมินค่าสัมประสิทธิ์การเติมอากาศ (K_a) เนื่องจากเป็นสมการที่เหมาะสมกับความลึกและความเร็วของน้ำที่เกิดขึ้นในแม่น้ำปิงตอนบนรวมทั้งเป็นสมการที่นิยมใช้สำหรับลำน้ำโดยทั่วไป สำหรับเงื่อนไขในการประยุกต์ใช้สมการดังกล่าวเปรียบเทียบกับสภาพการไหลของแม่น้ำปิงตอนบนแสดงดังในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 เงื่อนไขในการประยุกต์ใช้สมการ O'Conner & Dubbins เปรียบเทียบกับสภาพการไหลของแม่น้ำปิงตอนบน

เงื่อนไขในการประยุกต์ใช้สมการ O'Conner & Dubbins	สภาพการไหลของแม่น้ำปิงตอนบน
1. ใช้กับความลึก (H) ปานกลางถึงลำน้ำที่มีความลึกสูง $0.3 \leq H \leq 10$ ม.	1. ความลึกโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6-9 ม.
2. ความเร็วการไหลมีค่าอยู่ในช่วง $0.5 \leq V \leq 1.6$ ฟุตต่อวินาที $0.15 \leq V \leq 0.49$ เมตรต่อวินาที	2. ความเร็วการไหลอยู่ในช่วง 0.26-0.42 ม./วินาที

สมการ O'Conner & Dubbins เป็นสมการที่นิยมใช้โดยทั่วไปทั้งในและต่างประเทศ สำหรับการประยุกต์ใช้สมการดังกล่าวในประเทศไทย อาทิเช่น การศึกษาในวิทยานิพนธ์เรื่อง (1) การทำนายคุณภาพน้ำแม่น้ำเจ้าพระยาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 (กฤษฎา, 2538) (2) แบบจำลองคณิตศาสตร์คุณภาพน้ำในแม่น้ำป่าสักตอนล่าง (พรยศ, 2539) (3) การเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ในการคาดการณ์คุณภาพน้ำแม่น้ำแม่กลอง

ตอนล่าง (ภัทรา, 2541) และ (4) การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแม่น้ำบางปะกงโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 (ภูวคณ, 2544)

เมื่อทำการปรับค่า K_d แล้ว จากนั้นจะทำการปรับ R_{20} ซึ่งใช้ค่า R_{20} เท่ากับ 1 กรัม ออกซิเจน/ตร.ม./วัน ซึ่งแนะนำไว้ในคู่มือการใช้งานแบบจำลอง MIKE 11 WQ ว่าควรมีค่าใกล้เคียง 1 กรัม ออกซิเจน/ตร.ม./วัน (DHI, 1995)

จากนั้นจึงทำการปรับค่าผลผลิตของออกซิเจนโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง (P_{max}) ซึ่งจากงานวิจัยของ Thomas and Mueller (1987) พบว่าควรมีค่าอยู่ในช่วง 0.3-3 กรัม ออกซิเจน/ตร.ม./วัน เมื่อการสังเคราะห์แสงปานกลาง และอาจมีค่าสูงถึง 10 กรัม ออกซิเจน/ตร.ม./วัน เมื่อมีการสังเคราะห์แสงสูง และจากงานวิจัยของ Pescod (1973) ซึ่งทำการศึกษาหาค่า P_{max} ที่เหมาะสมสำหรับแม่น้ำเจ้าพระยาที่สะพานพุทธฯ พบว่า P_{max} มีค่าอยู่ระหว่าง 0.2-0.78 กรัม ออกซิเจน/ตร.ม./วัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ค่า P_{max} ระหว่าง 0.2-0.78 กรัม ออกซิเจน/ตร.ม./วัน โดยทำการปรับแก้ค่าที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการเข้ากันได้ระหว่างปริมาณ DO ที่ได้จากแบบจำลองและที่ได้จากการตรวจวัด ซึ่งผลการศึกษาพบว่าค่า P_{max} ที่เหมาะสมที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.75 กรัม ออกซิเจน/ตร.ม./วัน

2) การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์พารามิเตอร์สำหรับการศึกษาปริมาณ BOD

การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 WQ สำหรับการศึกษาปริมาณ BOD นั้น มีพารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลองคือ สัมประสิทธิ์การย่อยสลายสารอินทรีย์ (K_d ; 1st Order decay rate 20 °C) โดยในการสอบเทียบค่า K_d ที่เหมาะสมจะอ้างอิงจากงานวิจัยที่ผ่านมา เช่น งานศึกษาของ Bowie และคณะ (1985) พบว่าค่า K_d อยู่ในช่วง 0.05-0.4 ต่อวัน งานศึกษาของ Camp (1963) พบว่าค่า K_d อยู่ในช่วง 0.01-0.3 ต่อวัน งานศึกษาของ Thomas and Mueller (1987) พบว่าค่า K_d ขึ้นอยู่กับความลึก โดยที่ความลึกน้อยกว่า 5 ฟุต ควรมีค่าอยู่ในช่วง 0.5-3.0 ต่อวัน และที่ความลึกมากกว่า 5 ฟุต ควรมีค่าอยู่ในช่วง 0.1-0.5 ต่อวัน และจากงานศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ (2542) ในงานวิจัยเรื่อง “โครงการจัดหาข้อมูลพื้นฐานแหล่งกำเนิดมลพิษและจัดทำแผนปฏิบัติการฟื้นฟูคุณภาพน้ำบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือ” ซึ่งได้จากการเก็บตัวอย่างและนำมาคำนวณ โดยผลการศึกษาสรุปได้ว่า K_d ของแม่น้ำปิงตอนบนมีค่าอยู่ในช่วง 0.10-0.35 ต่อวัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ค่า K_d ระหว่าง 0.10-0.35 ต่อวัน โดยทำการปรับแก้ค่าที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการเข้ากันได้

ระหว่างปริมาณ BOD ที่ได้จากแบบจำลองและที่ได้จากการตรวจวัด ซึ่งผลการศึกษพบว่าค่า K_d ที่เหมาะสมที่สุดมีค่าเท่ากับ เท่ากับ 0.15 ต่อวัน

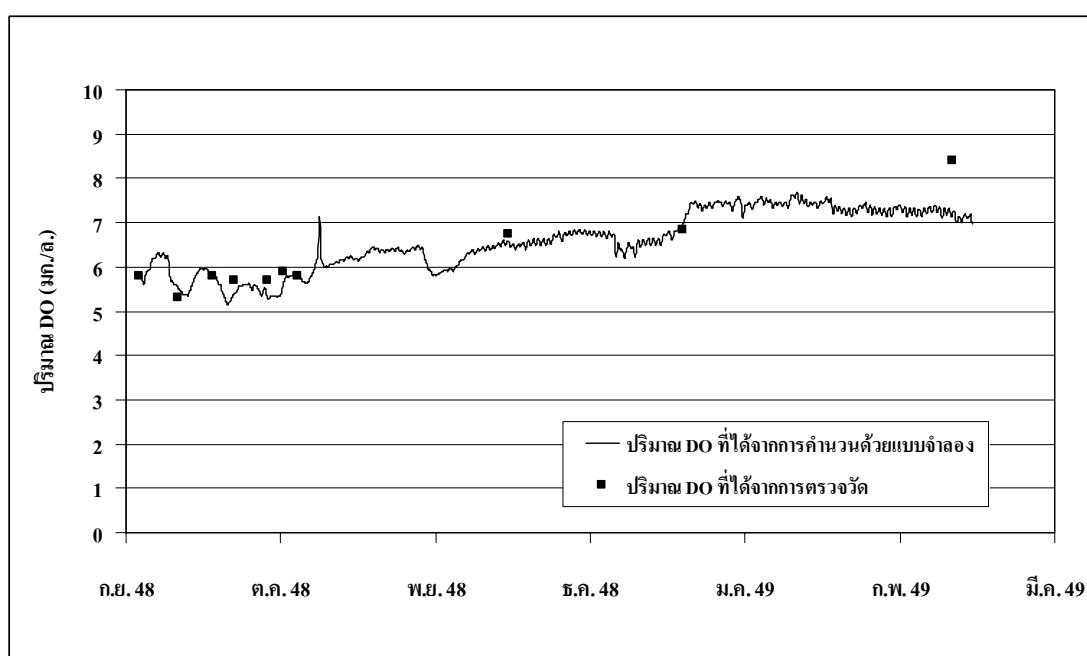
3) การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์พารามิเตอร์สำหรับการศึกษาปริมาณ SS

การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 WQ สำหรับการศึกษาปริมาณ SS นั้น มีพารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลองดังนี้คือ (1) สัมประสิทธิ์การย่อยสลาย SOD (Sediment oxygen demand) (2) Resuspension of oragenic matter และ (3) Sedimentation rate for organic matter โดยในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆจะปรับจากค่าที่ได้จากงานศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ (2542) ในงานวิจัยเรื่อง “โครงการจัดหาข้อมูลพื้นฐานแหล่งกำเนิดมลพิษและจัดทำแผนปฏิบัติการฟื้นฟูคุณภาพน้ำบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือ” ซึ่งได้ทำการเก็บตัวอย่างและนำมาคำนวณหาค่า SOD โดยผลการศึกษาสรุปได้ว่า SOD ของแม่น้ำปิงตอนบนอยู่ในช่วง 0.175-0.246 กรัม ออกซิเจน/ตร.ม./วัน ค่า Resuspension of organic matter สำหรับพื้นที่ภาคเหนือมีค่าประมาณ 0.01 กรัม ออกซิเจน/ตร.ม./วัน และค่า Sedimentation rate for organic matter มีค่าเท่ากับ 0.01-0.10 ม./วัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆจากการศึกษาดังกล่าว โดยทำการปรับแก้ค่าที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการเข้ากันได้ดีระหว่างปริมาณ SS ที่ได้จากแบบจำลองและที่ได้จากการตรวจวัด ซึ่งผลการศึกษพบว่าค่า SOD ที่เหมาะสมที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.20 กรัม ออกซิเจน/ตร.ม./วัน สำหรับค่า Resuspension of oragenic matter มีค่าเท่ากับ 0.01 กรัม ออกซิเจน/ตร.ม./วัน และค่า Sedimentation rate for organic matter มีค่าเท่ากับ 0.05 ม./วัน

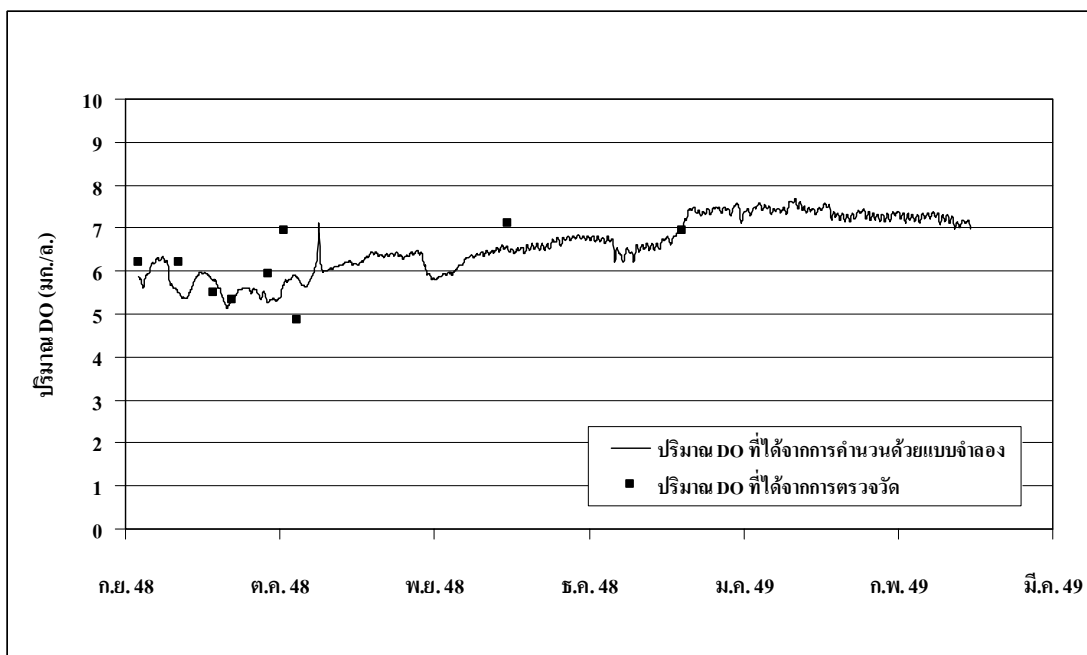
ในส่วนของการประเมินประสิทธิผลของการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 WQ ที่สถานี P.67, P.1 และ P.73 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2548 พบว่า ค่า r มีค่าระหว่าง 0.63 ถึง 0.98 และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.80 สำหรับ ค่า EI มีค่าระหว่าง 61.21 ถึง 97.49 และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 82.10 ซึ่งนับว่าอยู่ในเกณฑ์พอใช้ถึงดีเป็นที่ยอมรับได้และเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้เพื่อวางแผนงานด้านคุณภาพน้ำต่อไป โดยผลการประเมินประสิทธิผลของการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 WQ ที่สถานี P.67, P.1 และ P.73 สรุปได้ดังในตารางที่ 22 และผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 WQ ของปริมาณ DO, BOD และ SS ที่สถานี P.67, P.1 และ P.73 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2548 แสดงดังภาพที่ 22 ถึง 30

ตารางที่ 22 ผลการประเมินประสิทธิภาพของการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง
MIKE 11 WQ ที่สถานี P.67, P.1 และ P.73

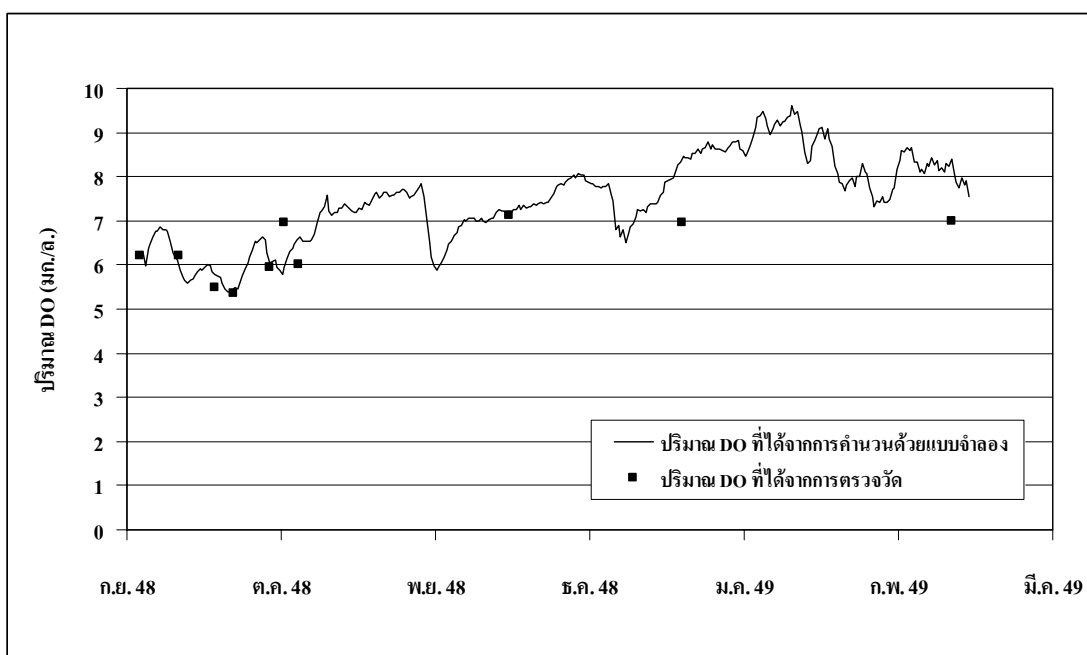
ตัวแปรทาง สถิติ	สถานี P.67			สถานี P.1			สถานี P.73		
	DO	BOD	SS	DO	BOD	SS	DO	BOD	SS
EI (%)	94.58	70.9	97.49	92.48	72.92	81.21	95.21	72.93	61.21
r	0.76	0.85	0.98	0.63	0.80	0.93	0.69	0.79	0.79



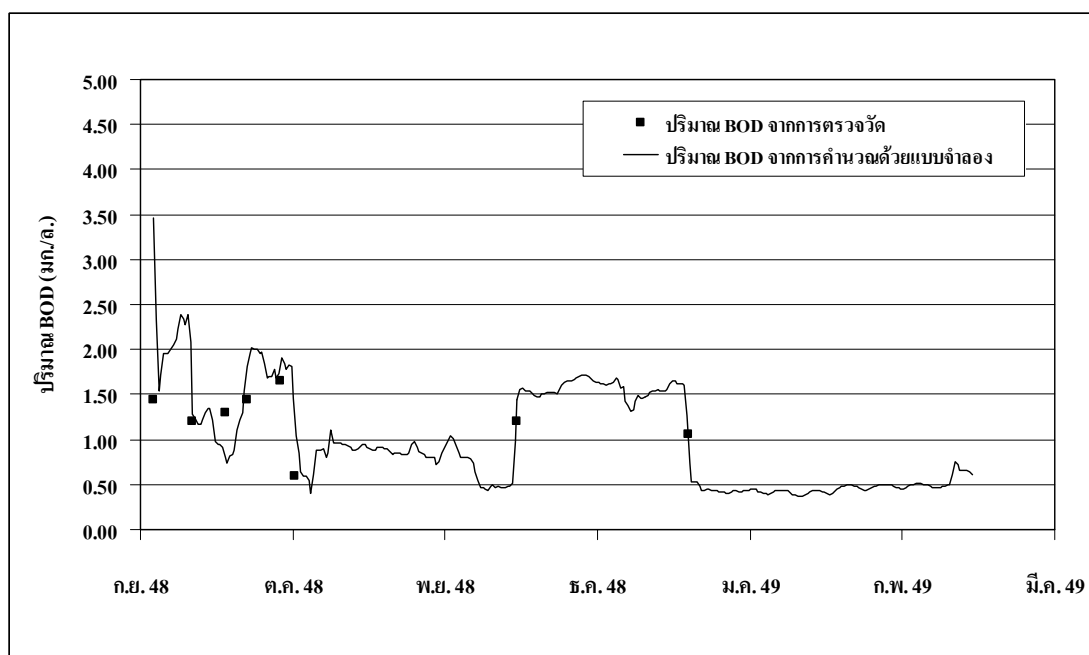
ภาพที่ 22 ผลการประเมินค่า DO ที่สถานีวัดน้ำท่า P.67 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2548



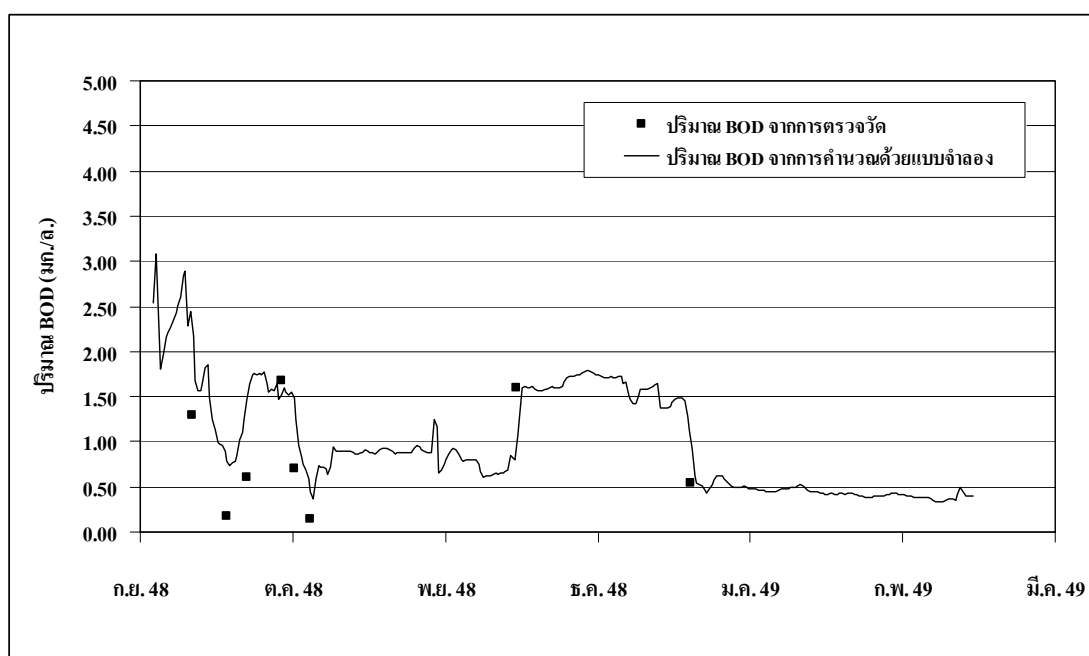
ภาพที่ 23 ผลการประเมินค่า DO ที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2548



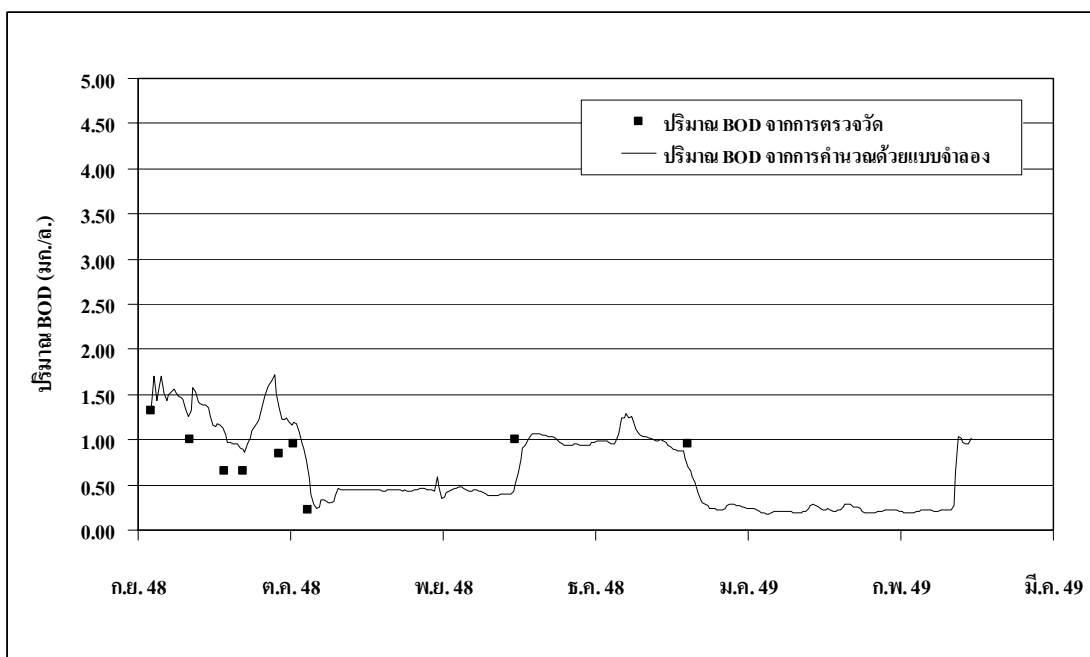
ภาพที่ 24 ผลการประเมินค่า DO ที่สถานีวัดน้ำท่า P.73 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2548



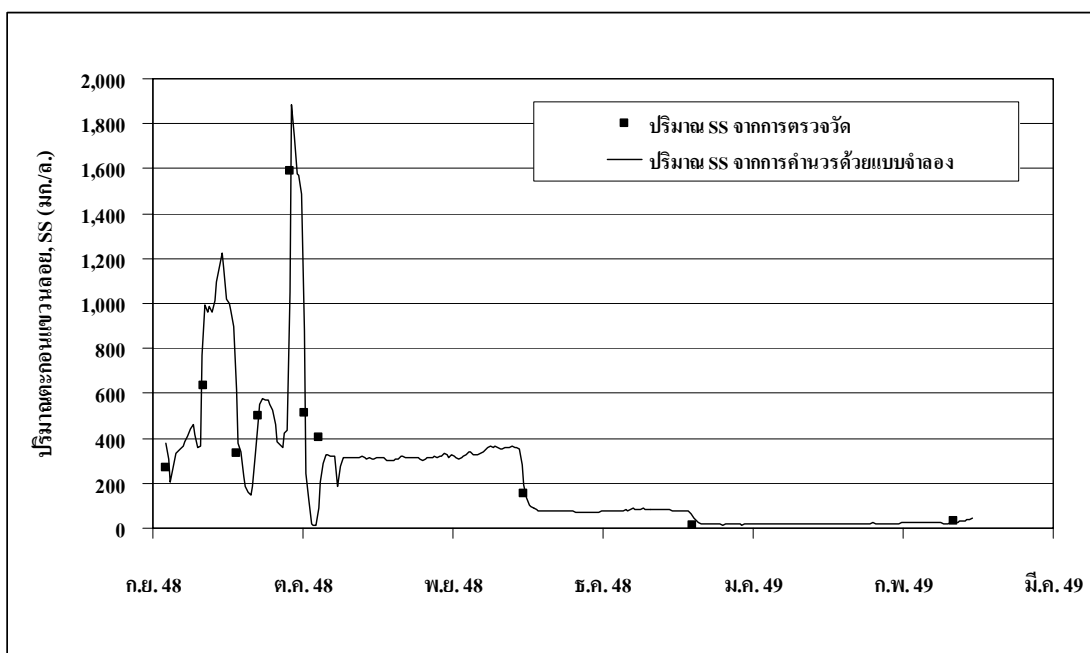
ภาพที่ 25 ผลการประเมินค่า BOD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.67 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2548



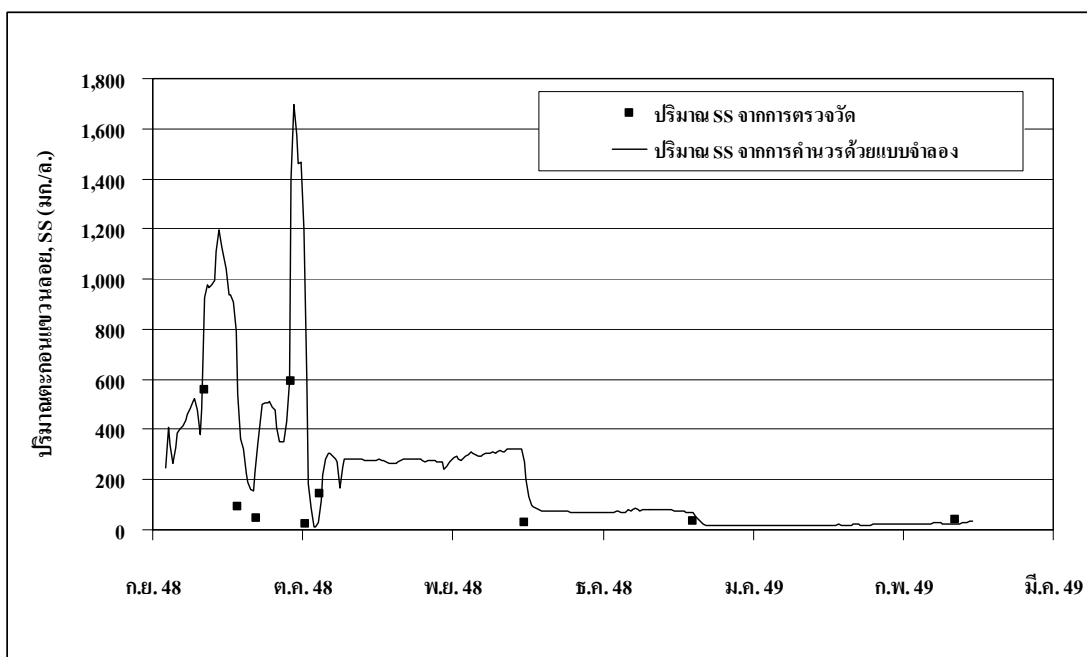
ภาพที่ 26 ผลการประเมินค่า BOD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2548



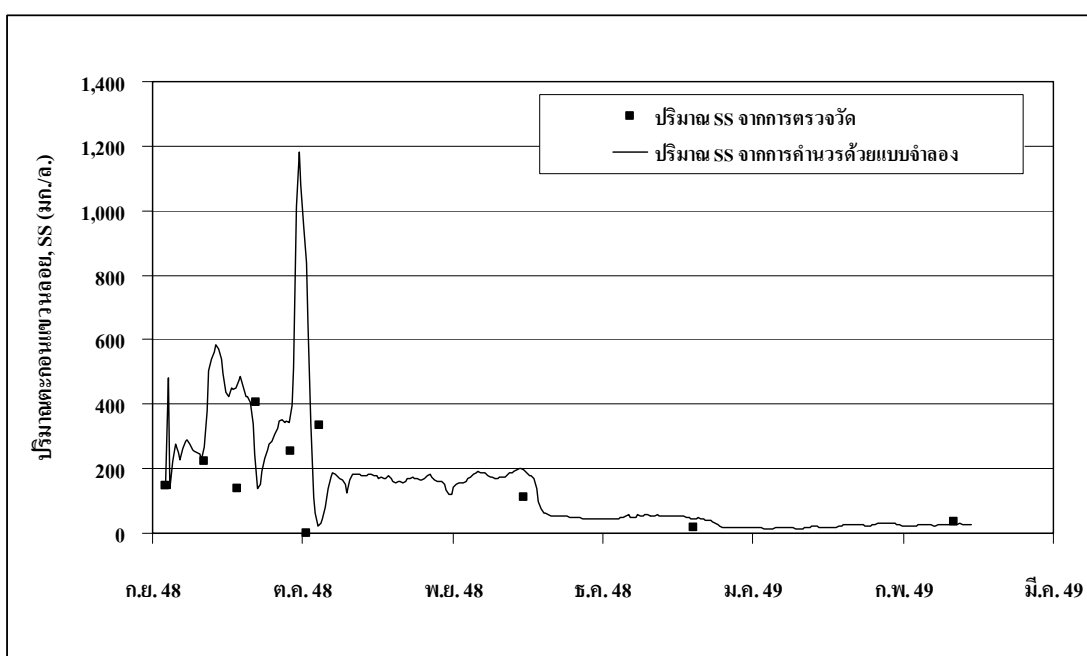
ภาพที่ 27 ผลการประเมินค่า BOD ที่สถานีวัดน้ำท่า P.73 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2548



ภาพที่ 28 ผลการประเมินค่า SS ที่สถานีวัดน้ำท่า P.67 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2548



ภาพที่ 29 ผลการประเมินค่า SS ที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2548



ภาพที่ 30 ผลการประเมินค่า SS ที่สถานีวัดน้ำท่า P.73 สำหรับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2548

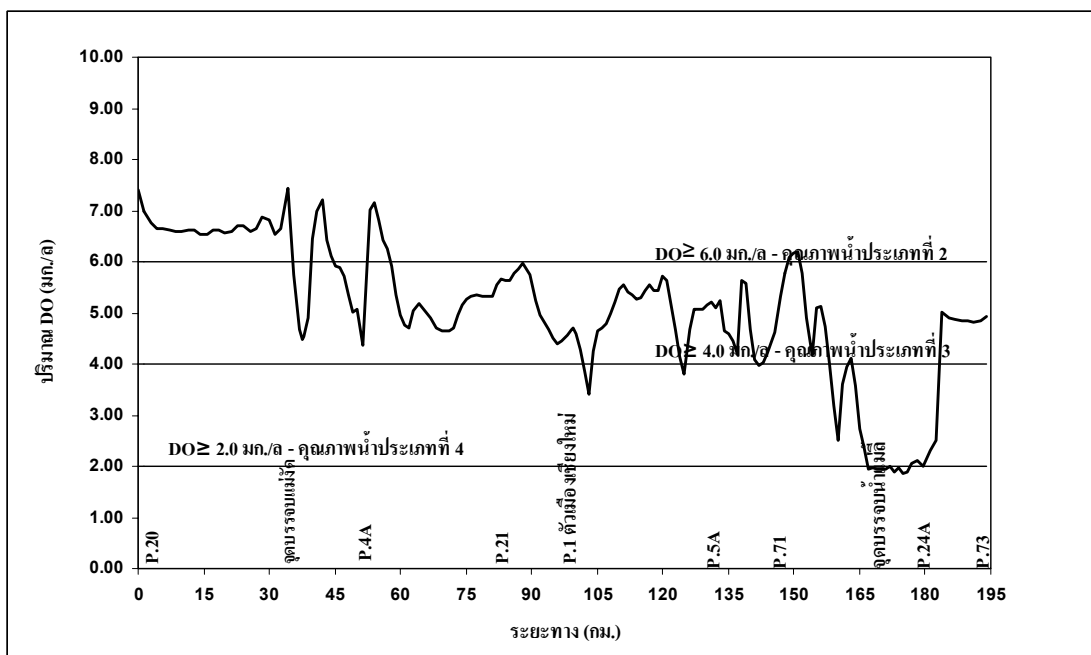
2. การคาดการณ์สถานการณ์คุณภาพน้ำในอนาคต

ผลการคาดการณ์สถานการณ์คุณภาพน้ำของปริมาณ DO, BOD และ SS ในแม่น้ำปิง ตอนบนในอีก 20 ปีข้างหน้า (พ.ศ. 2568) สรุปได้ดังนี้

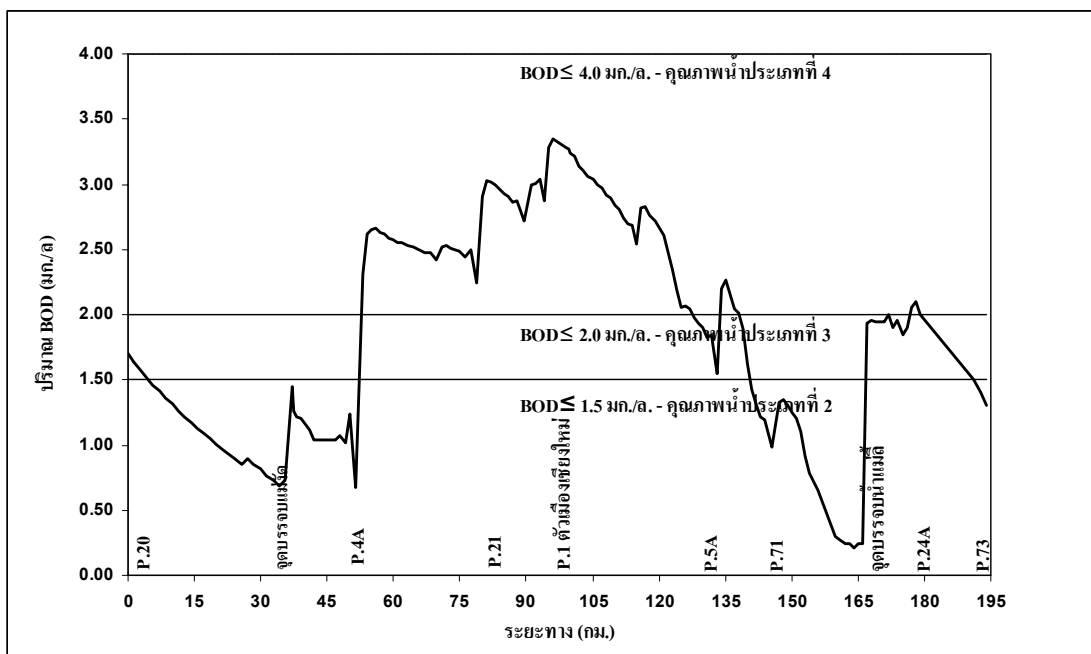
1) DO: ผลการคาดการณ์ค่า DO แสดงดังในภาพที่ 31 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณ DO มีแนวโน้มลดลงจากในกรณีปัจจุบัน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยด้านท้ายน้ำระหว่างจุดบรรจบน้ำแม่จันถึงสถานีวัดน้ำท่า P.73 เท่ากับ 6.53 มิลลิกรัมต่อลิตร (มาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทที่ 1) ลดลงเหลือเพียง 3.29 มิลลิกรัมต่อลิตร (มาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทที่ 3) ในปี พ.ศ. 2568

2) BOD: ผลการคาดการณ์ค่า BOD แสดงดังในภาพที่ 32 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณ BOD มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากในกรณีปัจจุบัน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยระหว่างสถานีวัดน้ำท่า P.4A ถึงจุดบรรจบน้ำแม่กวัง เท่ากับ 1.46 มิลลิกรัมต่อลิตร (มาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทที่ 2) เพิ่มขึ้นเป็น 2.67 มิลลิกรัมต่อลิตร (มาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทที่ 4) ในปี พ.ศ. 2568

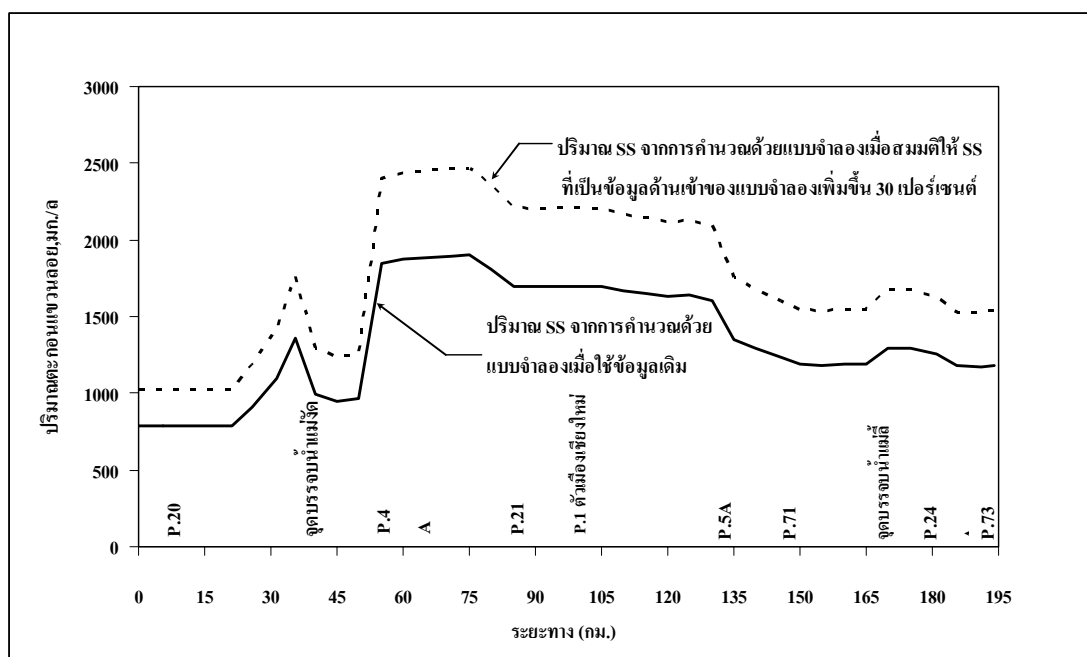
3) SS: ผลการคาดการณ์ค่า SS แสดงดังในภาพที่ 33 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณ SS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากในกรณีปัจจุบัน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝนเท่ากับ 1,290.97 มิลลิกรัมต่อลิตร เพิ่มขึ้นเป็น 1,661.48 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 31 ผลการคาดการณ์ปริมาณ DO กรณีในอนาคตปี พ.ศ. 2568



ภาพที่ 32 ผลการคาดการณ์ปริมาณ BOD กรณีในอนาคตปี พ.ศ. 2568



ภาพที่ 33 ผลการคาดการณ์ปริมาณ SS กรณีมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ SS จากปัจจุบัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำของปริมาณ DO, BOD และ SS ในแม่น้ำปิงตอนบนระหว่างสถานีวัดน้ำท่า P.20 ถึง P.73 โดยการประยุกต์ใช้ชุดแบบจำลอง MIKE 11 ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลอง NAM, MIKE 11 HD, MIKE 11 AD และ MIKE 11 WQ โดย 2 แบบจำลองแรกเกี่ยวข้องกับการศึกษาด้านปริมาณน้ำ และ 2 แบบจำลองหลังเป็นการศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพน้ำ สำหรับขั้นตอนการดำเนินงานที่สำคัญประกอบด้วย 2 ส่วนคือ 1) การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์ชุดแบบจำลอง MIKE 11 และ 2) การคาดการณ์สถานการณ์คุณภาพน้ำในอนาคต โดยผลการศึกษาในแต่ละส่วนสรุปได้ดังนี้

1. การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์ชุดแบบจำลอง MIKE 11

การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์ชุดแบบจำลอง MIKE 11 ในส่วนการศึกษาด้านปริมาณน้ำนั้น ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM และ MIKE 11 HD สำหรับเหตุการณ์น้ำท่วมในปี พ.ศ. 2544, 2546 และ 2548 ผลการศึกษาพบว่า พารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลอง NAM ที่เหมาะสมมีค่าดังนี้คือ $U_{max} = 40$, $L_{max} = 400$, $CQOF = 0.2$, $CKIF = 1,000$, $TOF = 0.1$, $TIF = 0$, $TG = 0.9$, $CK1$ และ $CK2 = 30$, $CKBF = 2,000$, $Sy = 0.1$, $GWLBF_0 = 10$, และ $GWLFL_1 = 0$ และสำหรับพารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลอง MIKE 11 HD (ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning's n) ที่เหมาะสมสำหรับการไหลในลำน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 0.030 ถึง 0.040 และสำหรับการไหลในทุ่งน้ำท่วมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.125 ถึง 0.150 โดยผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองพบว่าอยู่ในเกณฑ์ดี กล่าวคือ ค่า r และ EI โดยเฉลี่ยของทุกเหตุการณ์น้ำท่วมมีค่าเท่ากับ 0.97 และ 91.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สำหรับการศึกษาด้านคุณภาพน้ำนั้น ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 AD และ MIKE 11 WQ โดยใช้เหตุการณ์น้ำท่าระหว่างเดือนกันยายน พ.ศ. 2548 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549 ผลการศึกษาพบว่า พารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลอง MIKE 11 AD ซึ่งหมายถึงค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย พบว่า มีค่าที่เหมาะสมระหว่าง 50-500 เมตร²/วินาที และสำหรับพารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลอง MIKE 11 WQ ซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์ทั้งสิ้น 6 ตัว มีค่า

ดังนี้คือ 1) สัมประสิทธิ์การย่อยสลายสารอินทรีย์มีค่าเท่ากับ 0.15 วัน^{-1} 2) ผลผลิตของออกซิเจนสูงสุดโดยกระบวนการสังเคราะห์แสงมีค่าเท่ากับ $0.75 \text{ กรัม ออกซิเจน/เมตร}^2/\text{วัน}$ 3) การใช้ ออกซิเจนโดยกระบวนการหายใจของพืชและสัตว์น้ำ มีค่าเท่ากับ $1.0 \text{ กรัม ออกซิเจน/เมตร}^2/\text{วัน}$ 4) Resuspension of organic matter มีค่าเท่ากับ $0.01 \text{ กรัม ออกซิเจน/เมตร}^2/\text{วัน}$ 5) อัตราการตกตะกอนของสารอินทรีย์มีค่าเท่ากับ 0.05 เมตร/วัน และ 6) อัตราการย่อยสลายของ SOD มีค่าเท่ากับ $0.2 \text{ กรัม ออกซิเจน/เมตร}^2/\text{วัน}$ โดยผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองพบว่าอยู่ในเกณฑ์ดี กล่าวคือ ค่า r และ EI โดยเฉลี่ยของทุกเหตุการณ์น้ำท่วมมีค่าเท่ากับ 0.80 และ 82.10 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ

2. การคาดการณ์สถานการณ์คุณภาพน้ำในอนาคต

การคาดการณ์สถานการณ์คุณภาพน้ำของแม่น้ำปิงตอนบนในอีก 20 ปีข้างหน้า (พ.ศ. 2568) นั้น ดำเนินการโดยการนำพารามิเตอร์ของทุกแบบจำลองที่ได้ในขั้นตอนการสอบเทียบ และตรวจพิสูจน์แบบจำลองมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนของการคาดการณ์สถานการณ์คุณภาพน้ำ โดยการศึกษาแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) ปริมาณ DO และ BOD และ 2) ปริมาณ SS

สำหรับการคาดการณ์ปริมาณ DO และ BOD นั้น ได้พิจารณาใช้ข้อมูลกราฟน้ำท่าต่ำสุดในรอบ 10 ปี ซึ่งถือเป็นช่วงวิกฤติ ซึ่งตรงกับกราฟน้ำท่าในระหว่างวันที่ 15 ถึง 21 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2545 ผลการศึกษาสรุปได้ว่าปริมาณ DO ในช่วงลำนํ้าที่มีความวิกฤติมีแนวโน้มลดลงจากในกรณีปัจจุบัน ซึ่งหมายถึงบริเวณระหว่างจุดบรรจบน้ำแม่จันถึงสถานีวัดน้ำท่า P.73 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.53 มิลลิกรัมต่อลิตร (มาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทที่ 1) และลดลงเหลือเพียง 3.29 มิลลิกรัมต่อลิตร (มาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทที่ 3) ในปี พ.ศ. 2568 สำหรับปริมาณ BOD ในช่วงลำนํ้าที่มีความวิกฤติมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากในกรณีปัจจุบัน ซึ่งหมายถึงบริเวณระหว่างสถานีวัดน้ำท่า P.4A ถึงจุดบรรจบน้ำแม่กวัง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.46 มิลลิกรัมต่อลิตร (มาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทที่ 2) และเพิ่มขึ้นเป็น 2.67 มิลลิกรัมต่อลิตร (มาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทที่ 4) ในปี พ.ศ. 2568

สำหรับการคาดการณ์ปริมาณ SS ได้พิจารณาใช้ข้อมูลกราฟน้ำท่าสูงสุดเป็นช่วงวิกฤติ ซึ่งตรงกับกราฟน้ำท่าในระหว่างวันที่ 15 เดือนกรกฎาคม ถึง 31 เดือนธันวาคม ในปี พ.ศ. 2548 ผลการศึกษาสรุปได้ว่า ปริมาณ SS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากในกรณีปัจจุบัน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยตลอดช่วงลำนํ้าในช่วงฤดูฝนเท่ากับ 1,290.97 มิลลิกรัมต่อลิตร เพิ่มขึ้นเป็น 1,661.48 มิลลิกรัมต่อลิตร

ผลการคาดการณ์สถานการณ์คุณภาพน้ำของปริมาณ DO, BOD และปริมาณ SS สรุปได้ว่า คุณภาพน้ำในแม่น้ำปิงตอนบนจะมีความวิกฤติในช่วงตั้งแต่ตอนกลางจนถึงตอนล่างของลำน้ำ โดยมีความเสื่อมโทรมลงอย่างเห็นได้ชัดในบริเวณตอนกลางของลำน้ำในช่วงตัวเมืองเชียงใหม่ ซึ่งในปัจจุบันมีโรงบำบัดน้ำเสียเฉพาะฝั่งตะวันตกของตัวเมืองเชียงใหม่ จึงมีความจำเป็นต้องสร้างโรงบำบัดน้ำเสียบริเวณฝั่งตะวันออกเพิ่มเติม รวมทั้งการปรับปรุงขีดความสามารถของการบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียบริเวณฝั่งตะวันตกให้สามารถรองรับน้ำเสียที่เพิ่มขึ้นตามความเจริญและการเปลี่ยนแปลงของการพัฒนาเมืองในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

1. ในการใช้งานชุดแบบจำลอง MIKE 11 นั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงควมมีเสถียรภาพในการดำเนินงานแบบจำลอง ซึ่งตามทฤษฎีแล้วจะต้องพิจารณาจากเงื่อนไขของ Courant (Courant Condition) ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วในการไหลและช่วงเวลาในการดำเนินงานแบบจำลอง (ดูรายละเอียดในหัวข้อ 2.2.1 และหัวข้อ 2.3.5) ซึ่งในคู่มือการใช้งานชุดแบบจำลอง MIKE 11 กำหนดว่าควมมีค่าน้อยกว่า 10 อย่างไรก็ตาม จากการดำเนินงานแบบจำลองพบว่า ค่าที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดควมมีเสถียรภาพสำหรับทุกเหตุการณ์ที่ศึกษาคือ ค่า Courant Condition น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 ซึ่งในการดำเนินงานแบบจำลองเพื่อให้ได้ค่าดังกล่าวได้กำหนดให้ช่วงเวลาในการดำเนินการแบบจำลอง (Δt) เท่ากับ 1 นาที่ และความยาวของช่วงลำน้ำ (Δx) เท่ากับ 1 กิโลเมตร

2. จากผลการดำเนินงานแบบจำลอง MIKE 11 WQ พบว่า การประเมินค่า BOD ในช่วงท้ายน้ำระหว่างสถานีวัดน้ำท่า P.24A (ท้ายน้ำลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่กลาง) ถึง P.73 (อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่) มีการเพิ่มปริมาณอย่างเห็นได้ชัดในขณะที่ไม่มีปริมาณ BOD เพิ่มขึ้นในช่วงดังกล่าว ซึ่งสภาพที่เกิดขึ้นนี้ได้เกิดขึ้นกับการใช้งานแบบจำลอง MIKE 11 WQ สำหรับแม่น้ำอื่นๆ ด้วย ดังนั้น ความผิดพลาดดังกล่าวอาจเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของแบบจำลอง ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงไม่นำผลการประเมินปริมาณ BOD ในช่วงเวลาดังกล่าวมาแสดง แต่จะแสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณ BOD ระหว่างสถานีวัดน้ำท่า P.24 และ P.73 แทนค่าดังกล่าว ดังนั้นผู้ใช้งานแบบจำลอง MIKE 11 WQ ต้องตระหนักถึงความจริงในข้อนี้ด้วย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมชลประทาน. 2540. รายงานฉบับสุดท้าย การศึกษาความเหมาะสมและศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการบรรเทาอุทกภัยและการขาดแคลนน้ำ ลุ่มน้ำปิงตอนบน. โรงพิมพ์กรมชลประทาน, กรุงเทพฯ. 335 น.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2540. รายงานสถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางน้ำ ปี พ.ศ. 2539-2540. โรงพิมพ์กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพฯ. 199 น.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2542. รายงานสถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางน้ำ ปี พ.ศ. 2541-2542. โรงพิมพ์กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพฯ. 199 น.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2542. รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร โครงการจัดหาข้อมูลพื้นฐานแหล่งกำเนิดมลพิษและจัดทำแผนปฏิบัติการฟื้นฟูคุณภาพน้ำ บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือ. โรงพิมพ์กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพฯ. 65 น.
- กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2546. โครงการจัดทำแผนรวม (Integrated Plan) การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง.
- กฤษฎา มหาสันตนะ. 2539. การทำนายคุณภาพน้ำแม่น้ำเจ้าพระยา ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กานดา คงธรรม. 2545. การศึกษาพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM สำหรับลุ่มน้ำน่าน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ฉัตรไชย รัตนไชย. 2539. การจัดการคุณภาพน้ำ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 241 น.

- นฤมล ตั้งประดิษฐ์. 2541. การเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ในการ
คาดการณ์คุณภาพน้ำ แม่น้ำ แม่กลองตอนบน .วิทยานิพนธ์ปริญญาโท .จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย ,กรุงเทพฯ.
- นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์, 2540. การศึกษาสถานะน้ำท่วมของกลุ่มน้ำปิงตอนบนโดยการประยุกต์ใช้
แบบจำลอง MIKE 11.. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์. 2544. เอกสารประกอบวิชาการจำลองสถานะการเกิดน้ำท่วม .ภาควิชา
วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์, 2550. รายงานโครงการวิจัยเรื่อง “การจัดการด้านน้ำท่วมและคุณภาพน้ำ
อย่างยั่งยืนของประเทศไทย”. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- พรยศ เทียนทอง. 2539. แบบจำลองคณิตศาสตร์คุณภาพน้ำในแม่น้ำป่าสักตอนล่าง. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พัฒนา มูลพฤกษ์. 2539. อนามัยสิ่งแวดล้อม. เอน.เอส.แอล.พรินติ้ง, กรุงเทพฯ. 545 น.
- ไพรัตน์ วิรุฒมเสน. 2536. การพัฒนาแหล่งน้ำในกลุ่มน้ำสวาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ภัทรา เฟงธรรมกิริติ. 2541. การเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ในการคาดการณ์
คุณภาพน้ำแม่กลองตอนล่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภูวดล พรหมชา. 2544. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแม่น้ำบางปะกงโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์
MIKE 11 .วิทยานิพนธ์ปริญญาโท .มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ,กรุงเทพฯ.
- มันสิน ดัชนีทุเวสน์. 2538. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. แชนอี 68 แลป, กรุงเทพฯ. 351 น.

ยุพิน จันดา. 2540. การพยากรณ์สภาพน้ำท่วมในลุ่มน้ำบางปะกงโดยใช้แบบจำลอง MIKE 11. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริกัญญา แสงสว่าง, 2547. การเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และแบบจำลองอุทกวิทยาในการประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อัคราวุฒิ อินทรพานิชย์. 2544. การพยากรณ์สภาพน้ำท่วมเนื่องจากเนื่องจากสร้างอาคารบังคับน้ำบนลำน้ำท่าตอนบน จังหวัดนครพนม โดยใช้แบบจำลอง MIKE 11. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อิสรา พิริยะพิเศษพงศ์. 2540. การปรับเปลี่ยนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการจัดการ คุณภาพน้ำผิวดิน บริเวณโรงไฟฟ้าและเหมืองแม่เมาะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

Akhlar, A. 1993. **Flood Control Study of the Sukkur-kotri Reach of the Indus River, Pakistan. Thesis**, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

Arcelus, E.A. 2000. Coupling Two Hydrological Models to Compute Runoff in Ungauged Basins. **Journal of Hydrology**. 101 (2000): 301-309.

Bowie, G.L., Mills, W.B., Porcella, D.B., Campbell, C.L., Pagenkopf, J.R., Rupp, G.L., Johnson, K.M., Chan, P.W.H., Gherini, S.A., and Chamberlin, C.E. 1985. **Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling**. Environmental Protection Agency. U.S.

Camp, T. R. 1963, **Water and Its Impurities**, Reinhold Publishing Corporation, New York.

Chow, V.T., D.R. Maidment. and L.W.Mays. 1988. **Applied Hydrology**. McGraw-Hill, NewYork.

D.A. Post a,b,, A.E. Kinsey-Henderson a, L.K. Stewart a, C.H. Roth a, J. Reghenzani. 2003.
**Optimising drainage from sugar cane fields using a onedimensional flow routing model:
 A case study from Ripple Creek,North Queensland.**

Available ://www.sciencedirect.com,March 20, 2003

Danish Hydraulic Institute (DHI). 1995. **MIKE 11 User Manual**.

Danish Hydraulic Institute (DHI). 1995. **MIKE 11 Reference Manual**.

DHI and Bangladesh Flood Plain Organization. 1994. **Flood Management Model**. Bangladesh.
 Available ://www.dhi.dk/project/Bangla/flood/flood.htm,March 15, 1999

Fischer, H.B. 1967. The mechanics of dispersion in natural stream. **Journal of the Hydraulics
 Division**, Proceedings of the American Society of Civil Engineers. HY 6: 187-216

Fischer, H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J., and Brooks, N.H. 1979. **Mixing in inland
 and coastal waters**. Academic Press. New York.

Kawinpoornstan, W. 1998. **Flood Risk Mapping of the Yom River Basin : Phrae and
 Sukhothai Area**.AIT Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand

Madsen, H. 2000. Automatic Calibration and Uncertainty Assessment in Rainfall-Runoff
 Modelling. **Joint Conference on Water Resources Engineering and Water
 Resources Planning & Management (2000): 1-10.**

Maqsood, I. 1996. **River Water Quality Management in Lahore Pakistan**. AIT Thesis, Asian
 Institute of Technology, Bangkok, Thailand

Pescod, M. B. 1973, **Photosynthetic Oxygen Production in a Polluted Tropical Estuary**, J. Wat. Pollut. Control Fed. 41, 309–321.

Thomann, R.V., and Mueller, J.A. 1987. **Principles of surface water quality modeling and control**.Harper Row. New York.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลพื้นฐาน

**ตารางที่ ก-1 ข้อมูลภูมิอากาศในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543) ที่สถานีตรวจวัดอากาศ อ. เมือง
จ.เชียงใหม่**

สถานี	เชียงใหม่	ระดับของสถานีเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง	312	เมตร
รหัส	48327	ความสูงของบาโรมิเตอร์เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง	314	เมตร
ละติจูด	18 47 N	ความสูงของเทอร์โมมิเตอร์เหนือพื้นดิน	1.20	เมตร
ลองจิจูด	98 59 E	ความสูงของเครื่องวัดลมเหนือพื้นดิน	8.90	เมตร
		ความสูงของที่วัดน้ำฝน	0.80	เมตร

ข้อมูล	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ปี
ความกดอากาศ (+ 1000 หรือ 900 มิลลิบาร์)													
เฉลี่ย	1013.63	1011.39	1009.06	1007.17	1006.07	1004.72	1004.8	1005.19	1007.62	1010.6	1013.25	1015.06	1009.05
สูงสุด	1025.8	1023.68	1025.1	1018.5	1014.3	1012.2	1012.12	1014.5	1015.4	1020.4	1024.88	1025.78	1025.8
ต่ำสุด	1002.85	1000.9	999.3	996.9	996.9	995.5	995.8	995.1	998.2	1001	1003.75	1003.9	995.1
พิสัยรายวันเฉลี่ย	6.44	6.78	6.92	6.64	5.52	4.45	4.25	4.44	5.04	5.31	5.4	5.93	5.59
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)													
เฉลี่ย	20.9	23.3	26.7	28.8	28.1	27.6	27.1	26.7	26.6	25.9	23.8	21.1	25.6
เฉลี่ยสูงสุด	29.3	32.2	34.9	36.0	34.1	32.6	31.8	31.3	31.5	31.2	29.8	28.3	31.9
เฉลี่ยต่ำสุด	14.1	15.5	19	22.3	23.6	23.9	23.7	23.5	23.1	22	19.1	15.2	20.4
สูงที่สุด	34.1	37.7	39.2	41.4	40.1	39.3	37.5	36.5	36.1	37.9	34.5	33.4	41.4
ต่ำที่สุด	3.7	7.3	12.2	15.8	19.2	20	20.5	20.7	16.8	13.3	6	3.8	3.7
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)													
เฉลี่ย	69	60	54	58	71	77	78	81	81	78	75	73	71
เฉลี่ยสูงสุด	91	84	78	80	88	91	91	93	93	93	92	92	89
เฉลี่ยต่ำสุด	39	32	31	37	51	58	61	63	62	57	52	45	49
ต่ำที่สุด	3	5	3	11	0	21	40	41	34	29	30	14	3
จุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)													
เฉลี่ย	14.3	13.9	15.5	18.9	21.8	22.8	22.7	22.8	22.7	21.5	18.7	15.4	19.3
น้ำระเหย (มม.)													
เฉลี่ย-ภาค	108.1	128.7	171.7	189.4	178.6	143.7	129.6	126.3	128.8	129	106.8	98.3	1639
ความถี่ลมมรสุม (0-10)													
เฉลี่ย	2.2	2	2.2	3.7	6.2	7.7	8.4	8.5	7.5	5.9	4.5	3.2	5.2
ชั่วโมงที่มีแสงแดด													
เฉลี่ย	274.9	264.7	271.7	260.2	256.3	171.1	142.1	129.2	165.8	212.8	222.1	245.5	2616.4
ทัศนวิสัย (กม.)													
เวลา 0700	5.9	6.2	5.3	7.5	11	12.1	11.9	11.7	10.5	8.7	7.5	6.2	8.7
เฉลี่ย	8.2	8	7.2	8.9	11.5	12.2	12	11.8	11.3	10.5	9.9	9.1	10.1
ความเร็วลม (น็อต)													
ความเร็วลมเฉลี่ย	1.3	2	2.6	3.3	3.3	3.1	2.7	2.5	2.3	2.2	1.8	1.6	-
ทิศทาง	S	S	S	S	S	S,SW	S,SW	S	S	N	N	N	-
ความเร็วลมสูงสุด	39	44	45	60	64	43	47	56	41	40	45	43	64
ฝน (มม.)													
เฉลี่ย	7.7	9.2	17.3	54.5	155.4	119.4	157.6	224.4	202.4	116.6	51.4	18.1	1134
จำนวนวันที่ฝนตก	0.7	1	2	6.4	14.7	16.1	18.6	21	17.2	11.5	5.2	1.7	116.1
ฝนสูงที่สุดใน 24 ชม.	27.9	65.2	99	119.1	96	72	115.5	123	93.3	79.3	86.5	92.9	123
จำนวนวันที่เกิด													
เมฆหมอก	25.8	27	29.9	21.2	2.2	0	0.1	0.2	1.9	5.3	9.7	17.4	140.7
หมอก	1.3	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0.4	0.8	1.8	3.4	7.9
ลูกเห็บ	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
ฟ้าคะนอง	0.1	0.3	2.1	7	11.1	6.4	5.3	8	9.8	5.8	0.8	0.2	56.9
พายุฝน	0.1	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2

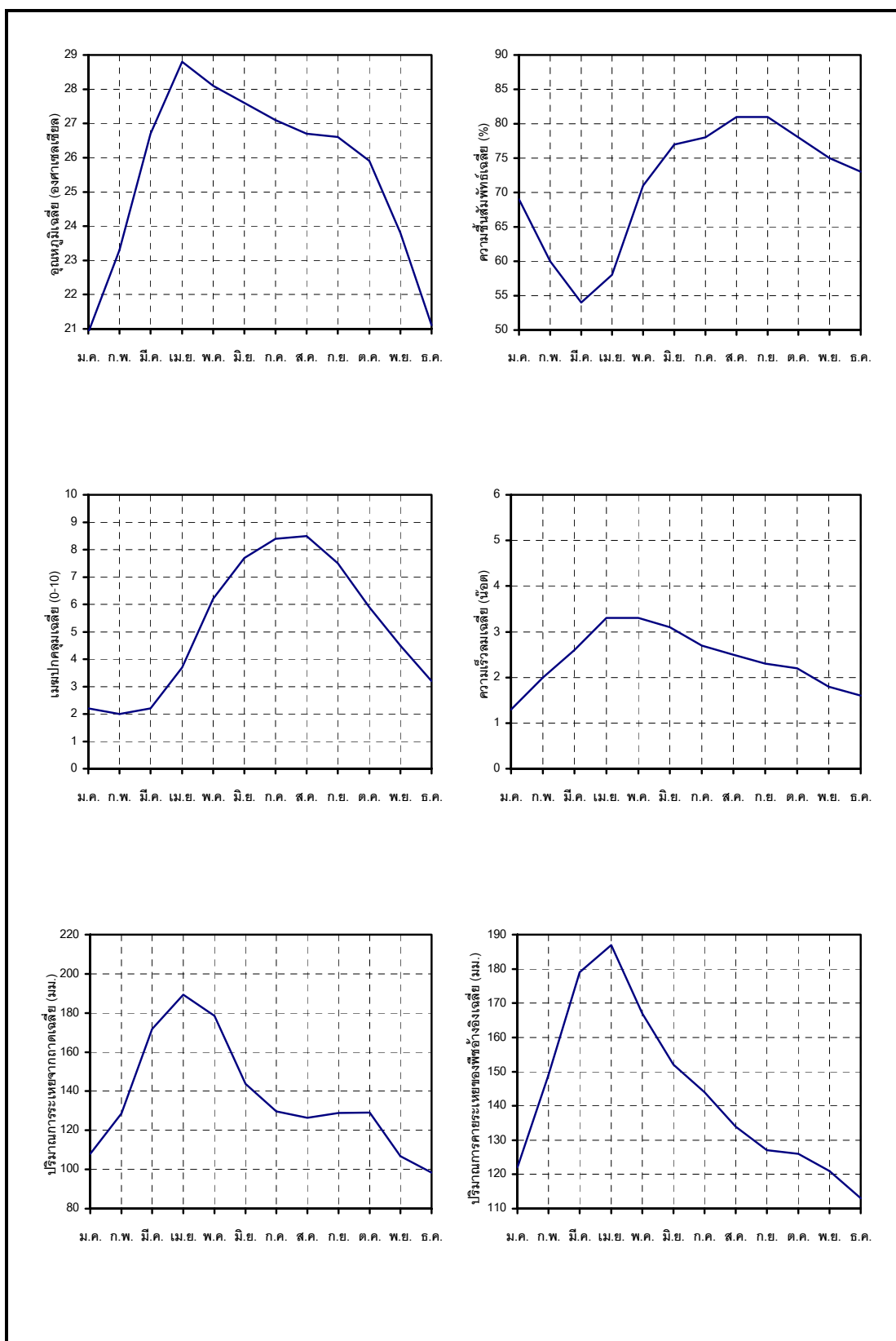
ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา

**ตารางที่ ก-2 ข้อมูลภูมิอากาศในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543) ที่สถานีตรวจวัดอากาศ อ. เมือง
จ.ลำพูน**

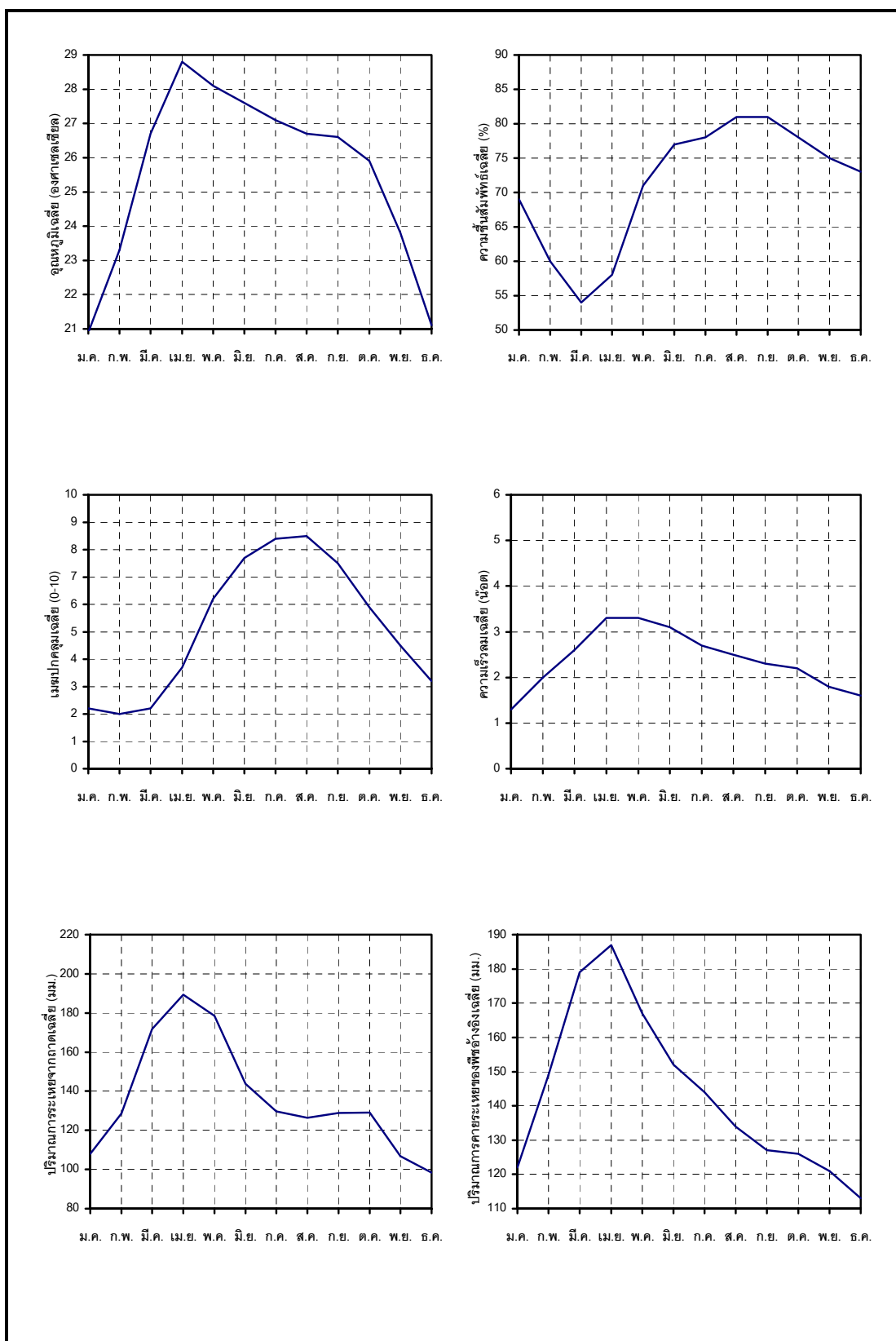
สถานี	ลำพูน	ระดับของสถานีเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง	296	เมตร
รหัส	48329	ความสูงของบาริมาตรเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง	298	เมตร
ละติจูด	18 34 N	ความสูงของเทอร์โมมิเตอร์เหนือพื้นดิน	1.50	เมตร
ลองจิจูด	99 02 E	ความสูงของเครื่องวัดลมเหนือพื้นดิน	12.0	เมตร
		ความสูงของที่วัดน้ำฝน	0.94	เมตร

ข้อมูล	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ปี
ความกดอากาศ (+ 1000 หรือ 900 มิลลิบาร์)													
เฉลี่ย	1013.55	1011.24	1008.57	1006.84	1006.02	1004.67	1004.77	1005.23	1007.62	1010.6	1013.25	1015.17	1008.96
สูงสุด	1025.38	1023.35	1025.41	1018.59	1013.97	1011.78	1012.57	1013.19	1015.86	1020.44	1025.29	1026.55	1026.55
ต่ำสุด	1002.69	1000.4	998.58	996.17	997.1	995.82	995.76	995.8	998.15	1000.22	1003.64	1005.35	995.76
พิสัยรายวันเฉลี่ย	6.52	6.79	6.81	6.43	5.28	4.44	4.28	4.51	5.11	5.51	5.59	6.2	5.62
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)													
เฉลี่ย	21.6	24.2	27.9	29.9	28.9	28.2	27.8	27.3	26.9	26	23.9	21.1	26.1
เฉลี่ยสูงสุด	30.6	33.6	36.8	37.7	35.3	33.3	32.8	32.3	32	31.3	30.2	28.9	32.9
เฉลี่ยต่ำสุด	14	15.4	19.2	22.9	23.8	24.2	23.9	23.7	23.3	22.2	19	14.7	20.5
สูงที่สุด	35.2	38.4	41.7	42.6	42.3	40.8	38.1	37.7	35.1	35.3	34.7	34.7	42.6
ต่ำที่สุด	7.8	9.2	12.5	17	18.2	21.1	21.5	20.8	19.1	13.8	9.3	3.5	3.5
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)													
เฉลี่ย	69	58	51	56	70	75	76	79	83	83	81	75	71
เฉลี่ยสูงสุด	93	87	80	80	88	90	91	94	96	96	96	95	91
เฉลี่ยต่ำสุด	38	29	26	32	48	56	57	60	63	62	56	46	48
ค่าที่ที่สุด	17	12	10	12	17	27	31	39	45	38	32	19	10
จุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)													
เฉลี่ย	14.8	13.9	15.3	18.8	22.1	22.8	22.7	23	23.5	22.7	20	16.1	19.6
น้ำระเหย (มม.)													
เฉลี่ย-ภาค	109.5	142.2	205	216.8	197	162.1	149.3	136.7	118.1	107.5	94.4	95.8	1734.4
ความชื้นลม (0-10)													
เฉลี่ย	2.4	2	2.1	3.8	6.6	8	8.4	8.6	7.7	6.2	4.7	3	5.3
ชั่วโมงที่มีแสงแดด													
เฉลี่ย	0	0	0	0	NO OBSE	0	0	0	0	0	0	0	0
ทัศนวิสัย (กม.)													
เวลา 0700	3.7	4	3.8	6.1	10.9	12.3	12.1	11.2	8.9	5.8	4.9	4	7.3
เฉลี่ย	6.6	6.5	5.9	7.7	11.7	12.6	12.4	11.7	10.4	8.8	8.3	7.2	9.2
ความเร็วลม (ม็อด)													
ความเร็วลมเฉลี่ย	0.7	1.3	1.9	2.2	2	2.4	2.1	1.7	0.9	0.6	0.5	0.5	-
ทิศทาง	SE	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	N	N,SE	-
ความเร็วลมสูงสุด	27	30	36	50	43	35	40	40	40	32	26	20	50
ฝน (มม.)													
เฉลี่ย	2.4	5.9	13.1	42.8	146.4	123.2	118.3	153.2	191.3	110.5	48.1	7.2	962.4
จำนวนวันที่ฝนตก	0.6	1.2	1.4	6	13.7	14.9	16.6	17.9	17.4	11.5	5	1.1	107.3
ฝนสูงที่สุดใน 24 ชม.	18.3	19.2	41.6	58.7	79.8	89.5	82.6	67.3	68.9	63.6	64.5	45.9	89.5
จำนวนวันที่เกิด													
เมฆหมอก	29	26.7	29.8	23.2	2.9	0.1	0	0.3	2.7	9	15.3	24.1	163.1
หมอก	2.8	0.5	0.1	0.1	0	0	0.1	0	0.6	2.8	6.1	5.7	18.8
ลูกเห็บ	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2
ฟ้าคะนอง	0.2	0.8	2.5	6.5	11.5	7.9	4.9	10.5	12.9	8.1	1.4	0.2	67.4
พายุฝน	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา



ภาพที่ ก-1 การผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศที่สถานีตรวจอากาศ อ.เมือง จ.เชียงใหม่



ภาพที่ ก-2 การผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศที่สถานีตรวจอากาศ อ.เมือง จังหวัดลำพูน

ภาคผนวก ข

ข้อมูลด้านคุณภาพน้ำในแม่น้ำปิงจากการศึกษาที่ผ่านมา

ตารางที่ ข-1 การกำหนดประเภทแหล่งน้ำผิวดินตามการใช้ประโยชน์

ประเภทแหล่งน้ำ	การใช้ประโยชน์
ประเภทที่ 1	ได้แก่ แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน (2) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน (3) การอนุรักษ์ระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ
ประเภทที่ 2	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน (2) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ (3) การประมง (4) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ
ประเภทที่ 3	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน (2) การเกษตร
ประเภทที่ 4	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน (2) การอุตสาหกรรม
ประเภทที่ 5	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม

ที่มา: ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537)

ตารางที่ ข-2 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ดัชนีคุณภาพน้ำ ^{1/}	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด ^{2/} ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์					วิธีการตรวจสอบ
			1	2	3	4	5	
1.สี กลิ่นและรส (Colour, Odour and Taste)	-	-	ร	ร'	ร'	ร'	-	-
2.อุณหภูมิ (Temperature)	°ซ	-	ร	ร'	ร'	ร'	-	เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer) วัดขณะทำการเก็บตัวอย่าง
3.ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	-	ร	5-9	5-9	5-9	-	
4.ออกซิเจนละลาย (DO) ^{2/}	มก./ล.	P20	ร	6.0	4.0	2.0	-	Azide Modification
5.บีโอดี (BOD)	มก./ล.	P80	ร	1.5	2.0	4.0	-	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20°ซ เป็นเวลา 5 วันติดต่อกัน
6.แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)	เอ็ม.พี. เอ็น/100 มล.	P80	ร	5,000	20,000	-	-	Multiple Tube Fermentation Technique
7.แบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria)	เอ็ม.พี. เอ็น/100 มล.	P80	ร	1,000	4,000	-	-	Multiple Tube Fermentation Technique
8.ไนเตรด (NO ₃) ในหน่วยไนโตรเจน	มก./ล.	-	ร	5.0			-	Cadmium Reduction
9.แอมโมเนีย (NH ₃) ในหน่วยไนโตรเจน	มก./ล.	-	ร	0.5			-	Distillation Nesslerization
10.ฟีนอล (Phenols)	มก./ล.	-	ร	0.005			-	Distillation, 4-Amino antipyrine
11.ทองแดง (Cu)	มก./ล.	-	ร	0.1			-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
12.นิกเกิล (Ni)	มก./ล.	-	ร	0.1			-	Atomic Absorption -Direct Aspiration

ตารางที่ ข-2 (ต่อ) มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ดัชนีคุณภาพน้ำ ^{1/}	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด ^{2/} ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์					วิธีการตรวจสอบ
			1	2	3	4	5	
13.แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	-	๐	1.0			-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
14.สังกะสี (Zn)	มก./ล.	-	๐	1.0			-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
15.แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	-	๐	0.005* 0.05**			-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
16.โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Cr Hexavalent)	มก./ล.	-	๐	0.05			-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
17.ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	-	๐	0.05			-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
18.ปรอททั้งหมด (Total Hg)	มก./ล.	-	๐	0.002			-	Atomic Absorption-Cold Vapour Technique
19.สารหนู (As)	มก./ล.	-	๐	0.01			-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
20.ไซยาไนด์ (Cyanide)	มก./ล.	-	๐	0.005			-	Pyridine-Barbituric Acid
21.กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) -ค่ารังสีแอลฟา (Alpha) -ค่ารังสีเบตา (Beta)	เบกเคอเรล/ล.	-	๐	0.1 1.0			-	Gas-Chromatography
22.สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนทั้งหมด (Total Organochlorine Pesticides)	มก./ล.	-	๐	0.05			-	Gas-Chromatography
23.ดีดีที (DDT)	มก./ล.	-	๐	1.0			-	Gas-Chromatography
24.บีเอชซีชนิดแอลฟา (Alpha-BHC)	มก./ล.	-	๐	0.02			-	Gas-Chromatography

ตารางที่ ข-2 (ต่อ) มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ดัชนีคุณภาพน้ำ ^{1/}	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด ^{2/} ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์					วิธีการตรวจสอบ
			1	2	3	4	5	
25.ดิลดริน (Dieldrin)	มกก./ล.	-	ธ	0.1			-	Gas-Chromatography
26.อัลดริน (Aldrin)	มกก./ล.	-	ธ	0.1			-	Gas-Chromatography
27.เฮปตาคลอร์และเฮปตาคลออีพอกไซด์ (Heptachor & Heptachlorepoxyde)	มกก./ล.	-	ธ	0.2			-	Gas-Chromatography
28.เอนดริน (Endrin)	มกก./ล.	-	ธ	ไม่สามารถตรวจพบได้ตามวิธีการตรวจสอบที่กำหนด			-	Gas-Chromatography

ที่มา: ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537)

หมายเหตุ: 1/ กำหนดค่ามาตรฐานเฉพาะในแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 สำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามธรรมชาติและแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ไม่กำหนดค่า

2/ ค่า DO เป็นเกณฑ์มาตรฐานต่ำสุด

ธ เป็นไปตามธรรมชาติ

ธ' อุณหภูมิของน้ำจะต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติเกิน 3 องศาเซลเซียส

* น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ CaCO_3 ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

** น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ CaCO_3 เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

P 20 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 20 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

P 80 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 80 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

MPN เอ็ม.พี.เอ็น หรือ Most Probable Number

วิธีการตรวจสอบเป็นไปตามวิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย Standard Methods for Examination of Water and Wastewater ซึ่ง APHA : American Public Health Association ,AWWA : American Water Works Association และ WPCF : Water Pollution Control Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนด

ตารางที่ ข-3 ผลการตรวจคุณภาพน้ำแม่น้ำปิงตอนบน

Sta.	Date/ Time	Depth	Air Temp.	Water Temp.	pH	Conductivity	DO	BOD ₅	TC	FC	Turbidity	TS	SS	TDS	TP	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₃ -N	TKN	Hardness
		m.	°C	°C	S.U.	µmhos/cm	mg/L	mg/L	MPN/100 ml	MPN/100 ml	NTU	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	CaCO ₃
P 10	3/19-26/94	-	-	28.0	7.8	220	7.2	0.3	7,900	-	-	-	8*	-	0.030	0.010	0.010	0.010	-	-
	7/22-29/94	-	-	28.0	7.5	110	7.5	0.8	3,300	2,300	-	-	1232***	-	ND	ND	0.030	0.180	-	-
	1-2/31-16/95	1.5	-	22.0	7.2	190	8.0	0.5	54,000	35,000	16	-	-	-	0.080	0.010	0.020	0.070	-	-
	6/18-23/95	1.5	29.0	29.0	7.1	172	7.3	0.7	33,000	17,000	2	-	256	86	0.010	0.150	0.020	0.090	-	-
	4/28/96, 15:10	0.9	-	28.0	7.7	172	5.9	1.6	35,000	11,000	301	440	292	148	ND	0.120	0.090	0.280	-	-
	4/27-30/97	-	-	27.5	8.0	-	5.9	2.6	22,000	16,000	-	-	-	-	-	0.250	-	0.060	-	93
	Average**			27.1	7.6	173	7.0	1.1	18,152	11,922	106	440	274	117	0.040	0.108	0.034	0.115	-	93
	Minimum			22.0	7.1	110	5.9	0.3	3,300	2,300	2	440	256	86	0.010	0.010	0.010	0.010	-	93
	Maximum			29.0	8.0	220	8.0	2.6	54,000	35,000	301	440	292	148	0.080	0.250	0.090	0.280	-	93
P 11	3/19-26/94	-	-	29.0	7.7	240	7.1	1.9	3,400	-	-	-	8*	-	0.030	0.030	0.010	0.020	-	-
	7/22-29/94	-	-	27.0	7.6	220	6.3	1.6	2,300	2,300	-	-	40	-	0.010	0.080	0.020	0.060	-	-
	1-2/31-16/95	1.5	-	24.0	7.7	240	7.4	0.8	35,000	24,000	31	-	-	-	0.020	0.010	0.040	0.040	-	-
	6/18-23/95	2.5	34.0	32.0	7.7	206	6.3	1.3	79,000	13,000	61	-	46	103	0.080	0.360	0.060	0.070	-	95
	11/4/95,13:05	0.8	29.0	28.0	7.1	210	8.6	1.3	4,900	4,900	58	190	56	107	0.010	0.010	0.010	-	0.29	100
	4/28/96, 14:30	1.0	-	29.0	7.8	188	6.2	0.5	7,900	1,700	64	204	73	131	ND	0.140	0.070	0.330	-	-
	12/1-3/96	-	-	25.7	-	-	5.3	0.5	16,000	1,500	-	-	-	-	-	2.53*	-	0.082	-	-
	4/27-30/97	-	-	27.0	7.8	-	5.5	2.0	28,000	22,000	-	-	-	-	-	0.380	-	<0.02	-	74
	8/4-7/97	-	-		7.6	-	6.2	1.6	3,500	230	-	-	-	-	-	0.530	-	0.120	-	74
	Average**			27.7	7.7	217	6.5	1.3	10,307	3,820	54	197	54	114	0.030	0.193	0.035	0.103	0.29	86
	Minimum			24.0	7.1	188	5.3	0.5	2,300	230	31	190	40	103	0.010	0.010	0.010	0.020	0.29	74
	Maximum			32.0	7.8	240	8.6	2.0	79,000	24,000	64	204	73	131	0.080	0.530	0.070	0.330	0.29	100

ตารางที่ ข-3 (ต่อ) ผลการตรวจคุณภาพน้ำแม่น้ำปิงตอนบน

Sta.	Date/ Time	Depth	Air Temp.	Water Temp.	pH	Conductivity	DO	BOD ₅	TC	FC	Turbidity	TS	SS	TDS	TP	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₃ -N	TKN	Hardness
		m.	°C	°C	S.U.	µmhos/cm	mg/L	mg/L	MPN/100 ml	MPN/100 ml	NTU	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
P 12	3/19-26/94	-	-	29.0	6.9	190	4.4	0.9	54,000	-	-	-	15	-	0.080	0.020	0.010	0.300	-	-
	7/22-29/94	-	-	28.0	7.1	120	5.4	0.9	2,600	1,300	-	-	310	-	ND	ND	0.020	0.100	-	-
	1-2/31-16/95	3.5	-	24.0	6.9	240	7.3	0.5	35,000	18,000	20	-	-	-	0.030	0.010	0.050	0.290	-	-
	6/18-23/95	2.0	34.0	30.0	7.0	168	6.2	0.9	790,000	83,000	183	-	152	85	0.050	0.140	0.030	0.130	-	-
	11/4/95,11:45	2.3	30.0	25.0	7.3	175	7.4	1.2	35,000	17,000	81	230	105	89	0.020	0.040	0.017	-	0.33	82
	4/28/96, 16:50	1.0	-	27.0	7.7	190	6.0	0.7	35,000	7,900	46	148	50	98	0.010	0.040	0.020	0.210	-	-
	12/1-3/96	-	-	25.2	-	-	5.5	0.2	□16,000	1,300	-	-	-	-	-	2.240	-	0.106	-	-
	4/27-30/97	-	-	27.9	7.8	-	5.7	4.0	22,000	17,000	-	-	-	-	-	0.050	-	<0.02	-	81
	8/4-7/97	-	-		7.3	-	6.7	1.6	54,000	230	-	-	-	-	-	0.380	-	0.060	-	87
	Average**			27.0	7.2	181	6.1	1.2	39,265	5,825	83	189	126	91	0.038	0.365	0.025	0.171	0.33	83
	Minimum			24.0	6.9	120	4.4	0.2	2,600	230	20	148	15	85	0.010	0.010	0.010	0.060	0.33	81
	Maximum			30.0	7.8	240	7.4	4.0	790,000	83,000	183	230	310	98	0.080	2.240	0.050	0.300	0.33	87
P 13	3/19-26/94	-	-	26.0	7.2	180	6.2	0.5	2,100	-	-	-	13	-	0.030	0.020	0.010	0.030	-	-
	7/22-29/94	-	-	28.0	7.1	120	4.9	0.8	2,400	1,700	-	-	268	-	ND	0.010	0.020	0.070	-	-
	1-2/31-16/95	2.0	-	24.0	7.2	240	8.0	1.0	17,000	3,300	16	-	-	-	0.010	0.010	0.020	0.070	-	-
	6/18-23/95	2.0	33.0	31.0	7.0	169	6.2	1.1	170,000	-	159	-	152	85	0.010	0.013	0.020	0.020	-	-
	11/4/95, 11:10	2.2	29.0	25.0	7.5	175	6.9	1.0	7,900	7,900	97	236	134	88	0.020	0.030	0.018	-	0.34	-
	4/29/96, 11:00	-	-	26.0	7.6	195	6.3	1.4	7,900	1,700	54	142	64	78	ND	0.120	0.020	0.190	-	-
	4/27-30/97	-	-	29.0	7.8	-	5.9	0.9	22,000	17,000	-	-	-	-	-	0.170	-	<0.02	-	82
	Average**			27.0	7.2	180	6.3	1.0	11,041	4,183	82	189	126	84	0.018	0.070	0.018	0.076	-	82
	Minimum			24.0	7.0	120	4.9	0.5	2,100	1,700	16	142	13	78	0.010	0.010	0.010	0.020	-	82
	Maximum			31.0	7.8	240	8.0	1.4	170,000	17,000	159	236	268	88	0.030	0.170	0.020	0.190	-	82

ตารางที่ ข-3 (ต่อ) ผลการตรวจคุณภาพน้ำแม่น้ำปิงตอนบน

Sta.	Date/ Time	Depth	Air Temp.	Water Temp.	pH	Conductivity	DO	BOD ₅	TC	FC	Turbidity	TS	SS	TDS	TP	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₃ -N	TKN	Hardness
		m.	°C	°C	S.U.	µmhos/cm	mg/L	mg/L	MPN/100 ml	MPN/100 ml	NTU	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	CaCO ₃
P 14	3/19-26/94	-	-	24.0	7.8	110	4.9	-	900	-	-	-	6*	-	0.170	0.010	0.010	0.050	-	-
	7/22-29/94	-	-	28.0	7.5	150	5.4	0.8	54,000	11,000	-	-	175	-	0.010	0.040	0.020	0.070	-	-
	1-2/31-16/95	1.5	-	25.0	7.8	300	7.5	0.5	54,000	35,000	17	-	-	-	0.010	0.010	0.010	0.090	-	-
	6/18-23/95	1.0	34.0	31.0	7.6	182	5.5	0.7	130,000	-	19	-	21	91	0.010	0.030	0.005	0.060	-	-
	11/4/95, 18:00	1.0	24.0	25.0	7.2	110	4.0	0.8	7,900	7,900	34	140	23	91	0.010	0.010	0.017	-	0.35	84
	4/29/96, 9:55	0.8	-	26.0	7.6	196	5.0	0.5	1,300	200	18	124	30	94	ND	0.070	0.020	0.170	-	-
	4/27-30/97	-	-	27.2	7.4	-	5.5	1.2	16,000	9,200	-	-	-	-	-	0.200	-	<0.02	-	61
	Average**			26.6	7.6	175	5.4	0.8	12,792	5,618	22	132	62	92	0.042	0.053	0.014	0.088	0.35	73
	Minimum			24.0	7.2	110	4.0	0.5	900	200	17	124	21	91	0.010	0.010	0.005	0.050	0.35	61
	Maximum			31.0	7.8	300	7.5	1.2	130,000	35,000	34	140	175	94	0.170	0.200	0.020	0.170	0.35	84
COT Water Quality Data																				
* Possible analytical error, not included in summary statistics.																				
** Geometric mean calculated for coliform data, median for pH values.																				
*** Flood																				

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2546)

ตารางที่ ข-4 ค่าเฉลี่ยดัชนีของคุณภาพน้ำ ของแม่น้ำปิงตอนบน

Parameter	Units	Stations				
		PI 10	PI 11	PI 12	PI 13	PI 14
pH*	S.U.	7.6	7.7	7.2	7.2	7.6
Cond.	µmhos/cm	173	217	181	180	175
DO	mg/L	7.0	6.5	6.1	6.3	5.4
BOD ₅	mg/L	1.1	1.3	1.2	1.0	0.8
TC*	MPN/100 ml	18,152	10,307	39,265	11,041	12,792
FC*	MPN/100 ml	11,922	3,820	5,825	4,183	5,618
Turb.	NTU	106	54	83	82	22
TS	mg/L	440	197	189	189	132
SS	mg/L	274	54	126	126	62
TDS	mg/L	117	114	91	84	92
TP	mg/L	0.040	0.030	0.038	0.018	0.042
NO ₃ -N	mg/L	0.108	0.193	0.365	0.070	0.053
NO ₂ -N	mg/L	0.034	0.035	0.025	0.018	0.014
NH ₃ -N	mg/L	0.115	0.103	0.171	0.076	0.088
TKN	mg/L	-	0.29	0.33	-	0.35
CaCO ₃	mg/L	93	86	83	82	73
Period of record March 1994-April 1996.						
* Geometric mean calculated for coliform data.						

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2546)

ตารางที่ ข-5 คุณภาพน้ำในแม่น้ำปิงตอนบน ระหว่างปีพ.ศ. 2531-2535

แหล่งน้ำ	ดัชนีคุณภาพน้ำ						
	อุณหภูมิ (°ซ)	ความโปร่งแสง ชม.	ความเป็นกรด-ด่าง	DO มก./ลิตร	คาร์บอนไดออกไซด์ มก./ลิตร	ความเป็นด่าง มก./ลิตร	ความกระด้าง มก./ลิตร
เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล ^{1/}	26-33	59-170	6.0-7.2	6.4-12.0	2.0-4.0	30-68	60-96
โครงการพัฒนาเบ็ดเสร็จลุ่มน้ำปิง ^{2/}							
อ่างเก็บน้ำห้วยตาผา	30	40	8.0	-	-	158	82.2
อ่างเก็บน้ำยะหมาน้อย	31	30	7.8	-	-	67.4	43.2
อ่างเก็บน้ำห้วยสะแพท	30	30	8.3	-	-	235.2	100
โครงการพัฒนาพื้นที่ห้วยลาน ^{3/}							
อ่างเก็บน้ำห้วยลาน	23-29	90	7.3-7.8	5.4-9.7	0.0-14.0	56.0-116.0	46-72
อ่างเก็บน้ำห้วยป่าไร่	22-30	60	7.0-7.8	5.4-6.8	1.0-15.2	44.6-106.8	40-64
อ่างเก็บน้ำคอยโตน	22-30	60	7.3-7.8	5.6-8.7	0.9-5.0	56.0-125.8	42-72
โครงการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้ ^{3/}	22-32	-	7.5-8.0	5.3-8.0	0.0-12.0	90-170	120-150

ที่มา : กรมชลประทาน, 2540

หมายเหตุ : 1/ กรมประมง (2531) รายงานประจำปี 2531 ของสถาบันวิจัยประมงน้ำจืดแห่งชาติ

2/ กรมประมง (2534) รายงานประจำปี 2534 ของศูนย์พัฒนาประมงน้ำจืดเชียงใหม่

3/ กรมประมง (2535) รายงานประจำปี 2535 ของศูนย์พัฒนาประมงน้ำจืดเชียงใหม่

ตารางที่ ข-6 คุณภาพน้ำในแม่น้ำปิง น้ำแม่จืด น้ำแม่แตงและน้ำแม่กวง เดือน ธันวาคม 2538 (ฤดูหนาว) และเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ

ดัชนีคุณภาพน้ำ	แม่น้ำปิง			ลำน้ำสาขา			มาตรฐาน/เกณฑ์คุณภาพน้ำ					
							การชลประทาน ^{1/}			การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ^{2/}		การประมง ^{3/}
	ต้นน้ำ	ลำน้ำ	ปลายน้ำ	แม่จืด	แม่แตง	แม่กวง	ปัญหาน้อย	ปัญหาปานกลาง	ปัญหารุนแรง	USEPA	ระดับที่แนะนำ	
ความเป็นกรด-ด่าง	8.1	7.9-8.0	8.1	7.2	8.1	8.5	6.5-8.4	-	-	6.5-9.0	6.5-9.0	6.5-9.0
ความนำไฟฟ้า(ไมโครโอมห์/ซม.)	340	260-280	280	130	170	150	<750	750-3,000	>3,000	-	-	-
ความขุ่น (NTU)	6.3	17.2-51.0	58.0	4.9	9.2	11.8				-	<60	<50
सानแขวนลอย (มก./ล.)	7.0	13.0-32.0	43.5	5	21.0	14.0				-	<25	
สารที่ละลายทั้งหมด (มก./ล.)	191.0	116.5-203.0	150.5	81.0	113.0	158.0				250	<400	
ความเป็นด่าง (มก./ล. ในรูป CaCO ₃)	164.8	92.1-107.4	100.0	50.0	79.7	88.1				20	20-200	
ความกระด้าง (มก./ล. ในรูป CaCO ₃)	183.8	90.3-110.3	105.0	86.1	74.6	87.2					<300	
DO (มก./ล.)	8.1	7.6-7.9	7.5	7.1	8.5	8.2					>4.0	
ไนเตรท (มก./ล.)	0.095	0.249	-	0.157	0.123	1.040	<5	5-30	>30	-	-	0.3
ฟอสเฟต (มก./ล.)	0.015	0.074	-	0.022	0.022	0.074						0.1
คลอไรด์ (มก./ล.)	1.0	2.5	-	2.0	0.7	20.0	<140	140-350	>350			
เหล็ก (มก./ล.)	0.400	1.800	-	1.100	1.700	0.800	5.0			1.0	<0.5	
ตะกั่ว (มก./ล.)	0.016	0.013	-	0.015	0.011	0.006	5.0			-	<0.03	<0.10

ที่มา : กรมชลประทาน, 2540

หมายเหตุ : 1/ : กรมชลประทาน (2522) อ้างอิงโดย SEATEC (1994)

2/ : Aquacultural Engineering (1985)4 : 137-138

3/ : Committee on Water Quality Criteria (1972) อ้างอิงโดย SEATEC (1994)

ND = Non-detectable

- = No-analysis

แม่น้ำปิง :	ต้นน้ำ	=	สถานีที่ 1
	ลำน้ำ	=	สถานีที่ 4-6
	ปลายน้ำ	=	สถานีที่ 8
ลำน้ำสาขา :	แม่จืด	=	สถานีที่ 2
	แม่แตง	=	สถานีที่ 3
	แม่กวง	=	สถานีที่ 7

ตารางที่ ข-6 (ต่อ) คุณภาพน้ำในแม่น้ำปิง น้ำแม่จืด น้ำแม่แดงและน้ำแม่กวัง เดือน ธันวาคม 2538 (ฤดูหนาว) และเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ

ดัชนีคุณภาพน้ำ	แม่น้ำปิง			ลำน้ำสาขา			มาตรฐาน/เกณฑ์คุณภาพน้ำ					
							การชลประทาน ^{1/}			การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ^{2/}		การประมง ^{3/}
	ดินน้ำ	ลำน้ำ	ปลายน้ำ	แม่จืด	แม่แดง	แม่กวัง	ปัญหาน้อย	ปัญหากลาง	ปัญหารุนแรง	USEPA	ระดับที่แนะนำ	
โครเมียม (มก./ล.)	ND	ND	-	ND	ND	ND	0.10			0.10	<0.01	<0.05
แคดเมียม (มก./ล.)	0.021	0.046	-	0.003	0.015	0.034					0.2	
สังกะสี (มก./ล.)	0.653	0.224	-	0.148	0.220	0.713	2				<0.03	<0.10
ทองแดง (มก./ล.)	0.066	0.034	-	0.036	0.032	0.033				1	<0.01	
แมงกานีส (มก./ล.)	0.08	0.056	-	0.217	0.049	0.100	0.2			100	<100	
ปรอท (มก./ล.)	0.002	0.002	-	0.001	0.001	0.002					<0.10	<0.10

ที่มา : กรมชลประทาน, 2540

หมายเหตุ : 1/ : กรมชลประทาน (2522) อ้างอิงโดย SEATEC (1994)

2/ : Aquacultural Engineering (1985)4 : 137-138

3/ : Committee on Water Quality Criteria (1972) อ้างอิงโดย SEATEC (1994)

ND = Non-detectable

- = No-analysis

แม่น้ำปิง :	ดินน้ำ	=	สถานีที่ 1
	ลำน้ำ	=	สถานีที่ 4-6
	ปลายน้ำ	=	สถานีที่ 8
ลำน้ำสาขา :	แม่จืด	=	สถานีที่ 2
	แม่แดง	=	สถานีที่ 3
	แม่กวัง	=	สถานีที่ 7

ตารางที่ ข-7 คุณภาพน้ำในแม่น้ำปิง น้ำแม่จืด น้ำแม่แตงและน้ำแม่กวง เดือน มีนาคม 2539 (ฤดูร้อน) และเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ

ดัชนีคุณภาพน้ำ	แม่น้ำปิง			ลำน้ำสาขา			มาตรฐาน/เกณฑ์คุณภาพน้ำ					
							การชลประทาน ^{1/}			การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ^{2/}		การประมง ^{3/}
	ต้นน้ำ	ลำน้ำ	ปลายน้ำ	แม่จืด	แม่แตง	แม่กวง	ปัญหาน้อย	ปัญหาปานกลาง	ปัญหารุนแรง	USEPA	ระดับที่แนะนำ	
ความเป็นกรด-ด่าง	7.8	7.6-7.8	7.7	7.2	7.5	7.7	6.5-8.4	-	-	6.5-9.0	6.5-9.0	6.5-9.0
ความนำไฟฟ้า(ไมโครโอมห์/ซม.)	325.9	214.5-233.4	210.9	112.8	194.1	159.9	<750	750-3,000	>3,000	-	-	-
ความขุ่น (NTU)	6.1	24.0-113.0	52.0	4.0	13.9	9.5				-	<60	<50
सानแขวนลอย (มก./ล.)	2.2	19.8-152.0	43.2	1.8	6.2	4.8				-	<25	
สารที่ละลายทั้งหมด (มก./ล.)	225.8	130.0-178.0	134.8	102.2	158.3	171.2				250	<400	
ความเป็นด่าง (มก./ล.ในรูป CaCO ₃)	168.3	95.5-102.0	89.6	52.2	95.0	67.3				20	20-200	
ความกระด้าง (มก./ล.ในรูป CaCO ₃)	171.2	96.6-104	91.4	47.3	92.4	66.2					<300	
DO (มก./ล.)	7.4	6.4-7.8	6.6	5.0	7.2	7.3					>4.0	
ไนเตรท (มก./ล.)	0.148	0.284	-	0.237	0.184	0.431	<5	5-30	>30	-	-	0.3
ฟอสเฟต (มก./ล.)	ND	0.160	-	ND	ND	0.18						0.1
คลอไรด์ (มก./ล.)	1.5	7.5	-	0.5	0.8	5.00	<140	140-350	>350			
เหล็ก (มก./ล.)	0.470	1.280	-	0.430	1.600	0.150	5.0			1.0	<0.5	
ตะกั่ว (มก./ล.)	0.035	0.004	-	0.004	ND	ND	5.0			-	<0.03	<0.10

ที่มา : กรมชลประทาน, 2540

หมายเหตุ : 1/ : กรมชลประทาน (2522) อ้างอิงโดย SEATEC (1994)

2/ : Aquacultural Engineering (1985)4 : 137-138

3/ : Committee on Water Quality Criteria (1972) อ้างอิงโดย SEATEC (1994)

ND = Non-detectable

- = No-analysis

แม่น้ำปิง :	ต้นน้ำ	=	สถานีที่ 1
	ลำน้ำ	=	สถานีที่ 4-6
	ปลายน้ำ	=	สถานีที่ 8
ลำน้ำสาขา :	แม่จืด	=	สถานีที่ 2
	แม่แตง	=	สถานีที่ 3
	แม่กวง	=	สถานีที่ 7

ตารางที่ ข-7 (ต่อ) คุณภาพน้ำในแม่น้ำปิง น้ำแม่จืด น้ำแม่แดงและน้ำแม่กวัง เดือน มีนาคม 2539 (ฤดูร้อน) และเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ

ดัชนีคุณภาพน้ำ	แม่น้ำปิง			ลำน้ำสาขา			มาตรฐาน/เกณฑ์คุณภาพน้ำ					
							การชลประทาน ^{1/}			การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ^{2/}		การประมง ^{3/}
	ดินน้ำ	ลำน้ำ	ปลายน้ำ	แม่จืด	แม่แดง	แม่กวัง	ปัญหาน้อย	ปัญหากลาง	ปัญหามาก	USEPA	ระดับที่แนะนำ	
โครเมียม (มก./ล.)	ND	ND	-	ND	ND	0.001	0.10			0.10	<0.01	<0.05
แคดเมียม (มก./ล.)	ND	0.001	-	ND	ND	ND					0.2	
สังกะสี (มก./ล.)	0.126	0.339	-	0.142	0.110	0.596	2				<0.03	<0.10
ทองแดง (มก./ล.)	0.039	0.024	-	0.019	0.020	0.026				1	<0.01	
แมงกานีส (มก./ล.)	0.153	0.211	-	0.159	0.607	0.118	0.2			100	<100	
ปรอท (มก./ล.)	ND	ND	-	ND	ND	ND					<0.10	<0.10

ที่มา : กรมชลประทาน, 2540

หมายเหตุ : 1/ : กรมชลประทาน (2522) อ้างอิงโดย SEATEC (1994)

2/ : Aquacultural Engineering (1985)4 : 137-138

3/ : Committee on Water Quality Criteria (1972) อ้างอิงโดย SEATEC (1994)

ND = Non-detectable

- = No-analysis

แม่น้ำปิง :	ดินน้ำ	=	สถานีที่ 1
	ลำน้ำ	=	สถานีที่ 4-6
	ปลายน้ำ	=	สถานีที่ 8
ลำน้ำสาขา :	แม่จืด	=	สถานีที่ 2
	แม่แดง	=	สถานีที่ 3
	แม่กวัง	=	สถานีที่ 7

ตารางที่ ข-8 คุณภาพน้ำในแม่น้ำปิง น้ำแม่จืด น้ำแม่แตงและน้ำแม่กวง เดือน มิถุนายน 2539 (ฤดูฝน) และเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ

ดัชนีคุณภาพน้ำ	แม่น้ำปิง			ลำน้ำสาขา			มาตรฐาน/เกณฑ์คุณภาพน้ำ					
							การชลประทาน ^{1/}			การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ^{2/}		การประมง ^{3/}
	ต้นน้ำ	ลำน้ำ	ปลายน้ำ	แม่จืด	แม่แตง	แม่กวง	ปัญหาน้อย	ปัญหาปานกลาง	ปัญหารุนแรง	USEPA	ระดับที่แนะนำ	
ความเป็นกรด-ด่าง	8.9	7.7-8.3	7.8	7.3	8.4	7.3	6.5-8.4	-	-	6.5-9.0	6.5-9.0	6.5-9.0
ความนำไฟฟ้า(ไมโคร โอห์ม/ซม.)	282.1	160.7-176.1	193.5	131.1	140.5	167.5	<750	750-3,000	>3,000	-	-	-
ความขุ่น (NTU)	60	110-138	99.0	33.0	139	59				-	<60	<50
सानแขวนลอย (มก./ล.)	56.5	127.5-176.5	90.5	18.0	191.5	26.5				-	<25	
สารที่ละลายทั้งหมด (มก./ล.)	163.5	113.5-128.5	141.5	98.0	104.5	143.5				250	<400	
ความเป็นด่าง (มก./ล. ในรูป CaCO ₃)	129.2	64.8-74.7	76.7	58.4	65.3	54.5				20	20-200	
ความกระด้าง (มก./ล. ในรูป CaCO ₃)	134.4	73.5-77.7	84	50.4	63	52.5					<300	
DO (มก./ล.)	6.4	6.2-6.4	6.0	5.8	6.9	5.8					>4.0	
ไนเตรท (มก./ล.)	0.215	0.242	-	0.043	0.176	0.309	<5	5-30	>30	-	-	0.3
ฟอสเฟต (มก./ล.)	0.056	0.122	-	0.032	0.140	0.12						0.1
คลอไรด์ (มก./ล.)	0.5	1.9	-	1.4	1.9	5.700	<140	140-350	>350			
เหล็ก (มก./ล.)	0.032	3.162	-	0.926	0.549	0.133	5.0			1.0	<0.5	
ตะกั่ว (มก./ล.)	0.038	0.003	-	0.022	0.021	0.012	5.0			-	<0.03	<0.10

ที่มา : กรมชลประทาน, 2540

หมายเหตุ : 1/ : กรมชลประทาน (2522) อ้างอิงโดย SEATEC (1994)

2/ : Aquacultural Engineering (1985)4 : 137-138

3/ : Committee on Water Quality Criteria (1972) อ้างอิงโดย SEATEC (1994)

ND = Non-detectable

- = No-analysis

แม่น้ำปิง :	ต้นน้ำ	=	สถานีที่ 1
	ลำน้ำ	=	สถานีที่ 4-6
	ปลายน้ำ	=	สถานีที่ 8
ลำน้ำสาขา :	แม่จืด	=	สถานีที่ 2
	แม่แตง	=	สถานีที่ 3
	แม่กวง	=	สถานีที่ 7

ตารางที่ ข-8 (ต่อ) คุณภาพน้ำในแม่น้ำปิง น้ำแม่จืด น้ำแม่แดงและน้ำแม่กวัง เดือน มิถุนายน 2539 (ฤดูฝน) และเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ

ดัชนีคุณภาพน้ำ	แม่น้ำปิง			ลำน้ำสาขา			มาตรฐาน/เกณฑ์คุณภาพน้ำ					
							การชลประทาน ^{1/}			การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ^{2/}		การประมง ^{3/}
	ดินน้ำ	ลำน้ำ	ปลายน้ำ	แม่จืด	แม่แดง	แม่กวัง	ปัญหาน้อย	ปัญหาปานกลาง	ปัญหารุนแรง	USEPA	ระดับที่แนะนำ	
โครเมียม (มก./ล.)	0.004	0.005	-	ND	0.006	0.003	0.10			0.10	<0.01	<0.05
แคดเมียม (มก./ล.)	0.004	0.001	-	0.003	0.004	0.003					0.2	
สังกะสี (มก./ล.)	0.627	0.257	-	0.469	0.338	0.787	2				<0.03	<0.10
ทองแดง (มก./ล.)	0.03	0.014	-	0.012	0.015	0.014				1	<0.01	
แมงกานีส (มก./ล.)	0.205	0.290	-	0.699	0.374	0.097	0.2			100	<100	
ปรอท (มก./ล.)	ND	ND	-	ND	ND	ND					<0.10	<0.10

ที่มา : กรมชลประทาน, 2540

หมายเหตุ : 1/ : กรมชลประทาน (2522) อ้างอิงโดย SEATEC (1994)

2/ : Aquacultural Engineering (1985)4 : 137-138

3/ : Committee on Water Quality Criteria (1972) อ้างอิงโดย SEATEC (1994)

ND = Non-detectable

- = No-analysis

แม่น้ำปิง :	ดินน้ำ	=	สถานีที่ 1
	ลำน้ำ	=	สถานีที่ 4-6
	ปลายน้ำ	=	สถานีที่ 8
ลำน้ำสาขา :	แม่จืด	=	สถานีที่ 2
	แม่แดง	=	สถานีที่ 3
	แม่กวัง	=	สถานีที่ 7

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวยุวเรศ เวชกามา
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 25 กรกฎาคม 2522
สถานที่เกิด	ศรีสะเกษ
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (ชลประทาน)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรชลประทาน
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท พอล คอนซัลแตนท์ จำกัด