บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

1. รูปแบบการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ (Applied Research) โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2Kw เพื่อการประเมินและวิเคราะห์คุณภาพน้ำแม่น้ำชี รวมทั้งคาดการณ์คุณภาพน้ำในช่วงภาวะน้ำวิกฤต ในอนาคตอีก 5 ปี (พ.ศ.2557) 10 ปี (พ.ศ. 2562) และ15 ปี (พ.ศ. 2567) โดยเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน ได้แก่ ข้อมูลทุติยภูมิ ประกอบด้วย ข้อมูลอุทกวิทยา ข้อมูลคุณภาพน้ำ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษทั้งปริมาณการใช้และปริมาณมลพิษ และข้อมูลปฐมภูมิจากการเก็บตัวอย่างน้ำจริงภาคสนาม เริ่มจากสถานีตรวจวัดระดับน้ำและปริมาณน้ำ E5 แม่น้ำชี บ้านโนนเปลือย ตำบลตลาดแร้ง อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ ของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น ถึงจุดเก็บตัวอย่างน้ำ CI09 สะพานข้ามแม่น้ำชีบ้านท่าพระ ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น พร้อมนำข้อมูลไปทำการปรับเทียบ (Calibration) และตรวจสอบความถูกต้อง (Verification) ของตัวแปรในโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

2.1 โปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2Kw Version 5.1

2.2 เครื่องคอมพิวเตอร์ ยี่ห้อ Acer รุ่น Aspire 4925

2.3 โปรแกรม Microsoft Windows XP 2006

2.4 โปรแกรม Microsoft Office 2003 (Visual Basic for Application : VBA)

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 รวบรวมข้อมูลพื้นฐาน

3.1.1 ข้อมูลอุทกวิทยา

รวบรวมข้อมูลอัตราการไหลของน้ำ (Discharge) ความเร็วของกระแสน้ำ (Velocity) และระดับน้ำ (Water Level) จากสถานีตรวจวัดระดับน้ำและปริมาณน้ำของศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน สำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 พิกัดของสถานีตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำ (Discharge) ความเร็วของกระแสน้ำ (Velocity) และระดับน้ำ (Water Level)

รหัส	หมู่บ้าน	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	พิกัด	
					Latitude	Longgitude
E5	บ้านโนนเปลือย	ตลาดแร้ง	บ้านเขว้า	ชัยภูมิ	15.770850	101.813298
E23	บ้านค่าย	บ้านค่ายหมื่นแผ้ว	เมือง	ชัยภูมิ	15.682009	102.010366
E21	บ้านชัยเจริญ	ลาดใหญ่	เมือง	ชัยภูมิ	15.752964	102.252889
E9	บ้านโจด	กุดเค้า	มัญจาคีรี	ขอนแก่น	16.097020	103.274716

3.1.2 ข้อมูลคุณภาพน้ำ

รวบรวมข้อมูลคุณภาพน้ำ ได้แก่ Temperature, pH, Conductivity, DO, BOD และ FCB จากการตรวจวัดของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น ในปี พ.ศ. 2548-2552 ซึ่งมีจุดเก็บตัวอย่างน้ำ ทั้งหมด 4 จุด ดังภาพที่ 10 เพื่อนำมาใช้ในการประเมินและคาดการณ์คุณภาพน้ำด้วยแบบจำลอง QUAL2Kw ดังนี้

ภาพที่ 10 จุดเก็บตัวอย่างน้ำแม่น้ำชีของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น

3.1.2.1 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ CI12 สะพานเวชศาสตร์ บ้านโนนน้อย ตำบลลุ่มลำชี อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ พิกัด X= 825634 พิกัด Y=1733612 Zone = 47

3.1.2.2 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ CI11 สะพานข้ามแม่น้ำชีบ้านชัยเจริญ ตำบลลาดใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ พิกัด X= 835688 พิกัด Y= 1733240 Zone = 47

3.1.2.3 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ CI10 สะพานข้ามแม่น้ำชีบ้านโจด ตำบลกุดเค้า อำเภอมัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น พิกัด X=906436 พิกัด Y=1812335 Zone = 47

3.1.2.4 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ CI9 สะพานข้ามแม่น้ำชีบ้านท่าพระ ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น พิกัด X= 835688 พิกัด Y= 1733240 Zone = 47

3.1.3 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

รวบรวมข้อมูลอุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) อุณหภูมิที่จุดน้ำค้างแข็ง (Dew Point Temperature) ความเร็วลม (Wind Speed) ปริมาณเมฆปกคลุม (Cloud Cover) ระยะเวลาของแสงแดด (Shade) และปริมาณน้ำฝน จากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 2 สถานี ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 สถานีอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ศึกษา

ID. Station	Monitoring Station	Latitude	Longitude	Elevation above MSL(Meters)
381201	Khon Kaen	16.27.48 N	102.47.12 E	186.97
403201	Chaiyaphum	15.48.0 N	102.2.0 E	182.15

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา, 2552

3.1.4 ข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษ

รวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้น้ำและปริมาณมลพิษจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทที่ทราบแหล่งกำเนิดที่แน่นอน (Point Source) และแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทที่ไม่ทราบแหล่งกำเนิดทีแน่นอน (Non Point Source)

3.2 นำเข้าข้อมูลในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2Kw

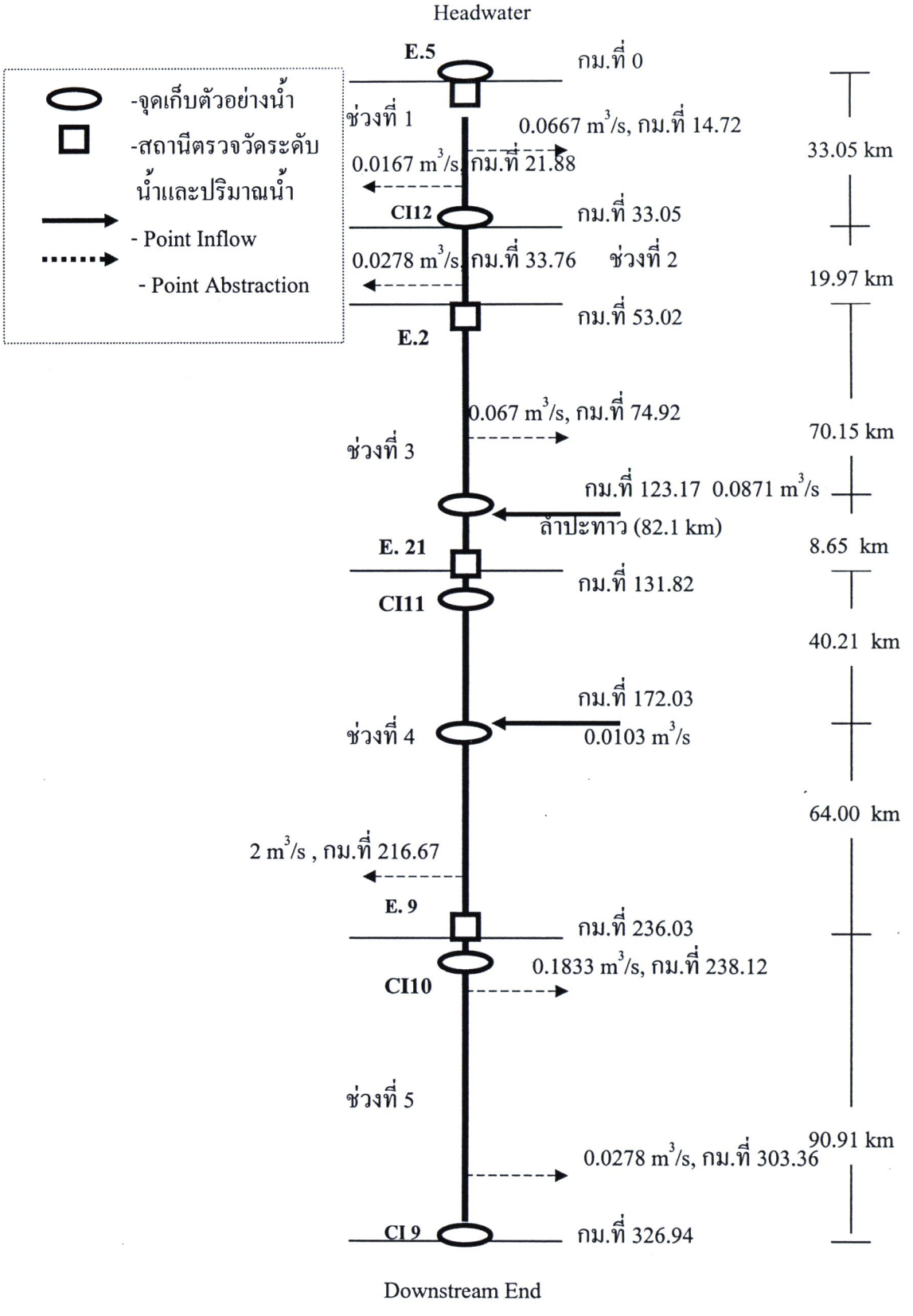
3.2.1 แบ่งช่วงลำน้ำ (Reach) ของแม่น้ำชี

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อประเมินและคาดการณ์คุณภาพน้ำแม่น้ำชีตั้งแต่สถานีตรวจวัดระดับน้ำและปริมาณน้ำ E5 บ้านโนนเปลือย ตำบลตลาดแร้ง อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ ของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่นถึงจุดเก็บตัวอย่างน้ำ CI9 สะพานข้ามแม่น้ำชีบ้านท่าพระ ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น ดังภาพที่ 12 โดยมีความยาวของแม่น้ำที่ทำการศึกษาประมาณ 326.94 km ซึ่งได้แบ่งแม่น้ำออกเป็น 5 ช่วง ดังตารางที่ 11 ที่มีลักษณะของ Hydraulic Characteristic แบบเดียวกัน โดยแบ่งตามระยะห่างของสถานีตรวจวัดระดับน้ำและปริมาณน้ำ และระยะห่างของจุดเก็บตัวอย่างน้ำ ทำให้แต่ละช่วงลำน้ำมีระยะทางไม่เท่ากัน ช่วงลำน้ำที่มีระยะทางมาก จะมีจำนวนประชากรบริเวณริมฝั่งแม่น้ำชีมากขึ้นตามระยะทาง เมื่อประชากรเพิ่มขึ้น ปริมาณของเสีย Loading ของความสกปรก จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อความสามารถในการรองรับมลพิษของแม่น้ำชีแตกต่างกัน ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 11 การแบ่งช่วงลำน้ำ (Reach) ของแม่น้ำชี

Reach Number	Description				Reach Length (km)
	Upstream Label	Upstream Distance (km)	Downstream Label	Downstream Distance (km)	
1	E5	0	CI12	33.05	33.05
2	CI12	33.05	E23	53.02	19.97
3	E23	53.02	E21	131.82	78.80
4	E21	131.82	E09	236.03	104.21
5	E09	236.03	CI9	326.94	90.91
		Total Chi River			326.94

ที่มา: สำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น, 2552



ภาพที่ 11 การแบ่งช่วงลำน้ำแม่น้ำชี ที่ไหลผ่าน ณ สถานีตรวจวัดระดับน้ำและปริมาณน้ำ E5 ถึงจุดเก็บตัวอย่างน้ำ CI9

ตารางที่ 12 จำนวนประชากร ปริมาณของเสีย Loading ของความสกปรก และอัตราการไหล แยกตาม Reach

Reach Number	ระยะทางที่ (km)	จำนวนประชากร (คน)	ปริมาณของเสีย (m^3/d)	Loading ของความสกปรก(kg/d)	อัตราการไหล (m^3/s)
1	0-33.05	25,434	5,087	534.11	0.0589
2	33.05-53.02	30,876	6,174	648.27	0.0715
3	53.02-131.82	76,456	15,291	1,605.58	0.1770
4	131.82-236.03	83,161	16,632	1,746.38	0.1955
5	236.03-326.94	68,019	13,604	1,428.40	0.1575
	รวม	283,940	56,788	5,962.74	0.6573

ที่มา: สำนักงานทะเบียนราษฎร์จังหวัดชัยภูมิ, 2552

3.2.2 นำเข้าข้อมูลลักษณะทางชลศาสตร์

โดยในการคำนวณลักษณะการไหลของน้ำในแม่น้ำชีในแบบจำลอง QUAL2Kw ในครั้งนี้ใช้ข้อมูลอัตราการไหลของน้ำและระดับน้ำ ปี พ.ศ. 2548-2551 ซึ่งมีลักษณะ Rating Curves ที่มีลักษณะความสัมพันธ์เป็นเส้นโค้ง ทำการนำเข้าข้อมูลระยะทางความกว้างของลำน้ำและระดับพื้นที่ของรูปตัดลำน้ำ ปี พ.ศ. 2548-2551 จากภาคผนวก ก เข้าไปคำนวณโดยใช้โปรแกรม Xsection Plot ได้ข้อมูลพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำ จากนั้นคำนวณหาความเร็วของกระแสน้ำ โดยใช้ข้อมูลพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำและอัตราการไหลของน้ำ ได้ความเร็วของกระแสน้ำ ปี พ.ศ. 2548 – 2551 และทำการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำ ระดับน้ำ และความเร็วของกระแสน้ำ จากภาคผนวก ข ให้อยู่ในรูปลอการิทึม เพื่อที่จะนำมาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำกับความเร็วของกระแสน้ำ และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ กับระดับน้ำของแต่ละสถานี และทำการ Fit Curve เพื่อหาค่า Coefficients (a) และ Exponent (b) จากสมการที่เหมาะสมของความเร็วกระแสน้ำ และระดับน้ำ ทำได้โดยใช้โปรแกรมช่วย คือ NCSS Statistic System ซึ่งเป็น Shareware สามารถดาวน์โหลดได้ จากเวปไซต์ www.ncss.com ลงในแบบจำลอง QUAL2Kw

การนำเข้าข้อมูลอัตราการไหลของน้ำในสถานีต้นน้ำ ได้ใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดระดับน้ำและปริมาณน้ำของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น E5 บ้านโนนเปลือย ตำบลตลาดแร้ง อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ เป็นข้อมูลอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยเดือนมีนาคม 2550 และนำเข้าข้อมูลอัตราการไหลของน้ำ ระดับน้ำและความเร็วของกระแสน้ำของ

สถานีตรวจวัดระดับน้ำและปริมาณน้ำ E23 E21 และ E9 เป็นข้อมูลเฉลี่ยเดือนมีนาคม 2550 ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 อัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยเดือนมีนาคม 2550

รหัส	หมู่บ้าน	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	Q-data (m^3/s)	H-data (m)	U-data (m/s)
E5	บ้านโนเปลือย	ตลาดแร้ง	บ้านเขว้า	ชัยภูมิ	1.370	3.960	0.013
E23	บ้านค่าย	บ้านค่ายหมื่นแผ้ว	เมือง	ชัยภูมิ	1.380	1.760	0.056
E21	บ้านชัยเจริญ	ลาดใหญ่	เมือง	ชัยภูมิ	2.000	3.360	0.024
E9	บ้านโจด	กุดเค้า	มัญจาคีรี	ขอนแก่น	0.700	2.510	0.009

ที่มา: สำนักชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น, 2552

3.2.3 นำเข้าข้อมูลคุณภาพน้ำต้นน้ำ

ข้อมูลคุณภาพน้ำที่ต้นน้ำใช้ข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น ซึ่งจุดเก็บตัวอย่างน้ำที่ต้นน้ำ คือ CI12 สะพานเวชศาสตร์บ้านโนนน้อย ตำบลลุ่มลำชี อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ เป็นข้อมูลคุณภาพน้ำเฉลี่ยในช่วงภาวะน้ำวิกฤต ในปี พ.ศ. 2548-2552 โดยได้จากการคำนวณจากข้อมูลคุณภาพน้ำของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น ซึ่งแสดงในภาคผนวก ง ได้ผลการคำนวณ ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 คุณภาพน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำ CI12 ของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น เฉลี่ยเดือนมีนาคม ในปี พ.ศ. 2548-2552

ตัวแปรพารามิเตอร์	หน่วย	ค่าพารามิเตอร์
อุณหภูมิ (Temperature)	°C	31.06
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	7.1
ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)	µs/cm	974.0
ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO)	mg/l	5.27
ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD)	mg/l	2.02
ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (FCB)	MPN/100 ml	73.00 MPN/100 ml
	หรือ CFU/100 ml*	111.427 CFU/100 ml

* แปลงหน่วย MPN/100 ml เป็น CFU/100 ml โดยใช้สูตร (Log Petrifilm EC Plate Result) = 0.37 + 0.90 * (Log MPN Result) (3M Microbiology, 1997)

3.2.4 นำเข้าข้อมูลพิษที่ลงสู่แหล่งน้ำ

ในการประเมินมลพิษต่าง ๆ ที่ลงสู่แม่น้ำชี ได้ทำการศึกษามลพิษประเภททราบแหล่งกำเนิดที่แน่นอน (Point Source) ได้แก่ มลพิษที่เกิดจากแหล่งชุมชน

3.2.5 กำหนดตัวแปรในแบบจำลอง (Model Parameter)

ทำการกำหนดค่าตัวแปรในแบบจำลอง QUAL2Kw ได้ดังนี้

3.2.5.1 ที่ตั้งของลุ่มน้ำ

แม่น้ำชีที่ทำการศึกษาตั้งอยู่ระหว่างละติจูด 15°-46'-12"E ถึง 16°- 21'-21"E ลองติจูด 101° -46'-45"N ถึง 102°-48'-45"N

3.2.5.2 ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา

ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยาที่ต้องใส่ในแบบจำลองมีดังนี้

1) อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature)
2) อุณหภูมิที่จุดน้ำค้างแข็ง (Dew Point Temperature)
3) ความเร็วลม (Wind Speed)
4) เมฆปกคลุม (Clound Cover)
5) ระยะเวลาที่มีแสงแดด (Shade)

ตารางที่ 15 ข้อมูลภูมิอากาศเฉลี่ยเดือนมีนาคมของสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดชัยภูมิและขอนแก่นในแม่น้ำชีตอนบน ปี พ.ศ.2548-2552

ตัวแปรภูมิอากาศ	จังหวัดขอนแก่น	จังหวัดชัยภูมิ	หน่วย
อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature)	27.7	28.84	°C
อุณหภูมิที่จุดน้ำค้างแข็ง (Dew Point Temperature)	19.48	19.92	°C
ความเร็วลม (Wind Speed)	3.76	1.28	m/s
เมฆปกคลุม (Clound Cover)	38	34	ร้อยละ
ระยะเวลาที่มีแสงแดด (Shade)	62	62	ร้อยละ

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา, 2552

3.2.6 แสงและความร้อน (Light and Heat Parameter)

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในเรื่องของแสงและความร้อนได้ใช้ค่าคงที่ตามที่แบบจำลองได้กำหนดให้ ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ค่าพารามิเตอร์ในเรื่องของแสงและความร้อน

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย	สัญลักษณ์
Photosynthetically Available Radiation	0.47	-	-
Background Light Extinction	0.2	/m	k_{eb}
Linear Chlorophyll Light Extinction	0.0088	1/m-(ugA/L)	a_p
Nonlinear Chlorophyll Light Extinction	0.054	$1/m\text{-}(ugA/L)^{2/3}$	a_{pn}
ISS Light Extinction	0.052	1/m-(mgD/L)	a_i
Detritus Light Extinction	0.174	1/m-(mgD/L)	a_o

ที่มา: Gregory et al., 2008b

3.2.7 พารามิเตอร์ในการประเมินมลพิษ (Pollutant Parameter assessment)

ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองแต่ละพารามิเตอร์ของคุณภาพน้ำที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ Temperature(T), pH, Conductivity, Dissolved Oxygen (DO), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Fecal Coliform Bacteria(FCB) โดยผลของค่าตัวแปรที่ใช้ในการปรับเทียบ คือ Reaeration Rate (K_a (20)) และ The Temperature – Dependent Fast CBOD Hydrolysis Rate (K_{dc})

ค่าคงที่ต่าง ๆ ที่ใช้ในแบบจำลองในครั้งนี้ได้ใช้ค่าคงที่ตามที่แบบจำลอง QUAL2Kw เสนอ ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ค่าคงที่ที่ใช้ในการประเมินมลพิษในแม่น้ำชี

Description	Value	Unit	Symbol
Oxygen			
Reaeration Model	**Internal**		
Reaeration Rates @20 °C	0.3-1.30	d^{-1}	K_2
Temperature Correction (Reaeration)	1.024		q_a
O_2 for CBOD Oxidation	2.69	gO_2/gC	r_{oc}
Oxygen Inhibition C Oxidation Model	Exponential	L/mgO2	
Oxygen Inhibition C Parameter	0.6	L/mgO2	K_{socf}
Fast CBOD			
Deoxygenation Rate @20 °C	0.23	d^{-1}	K_1
Temperature Correction	1.024		q_{dc}
pH			
Partial Pressure of CO_2	347	ppm	P_{CO2}

ที่มา: Gregory et al., 2008b

3.3 การปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration)

การปรับเทียบแบบจำลองก็คือการปรับค่าพารามิเตอร์บางตัวในแบบจำลองเพื่อทำให้ผลที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด ที่ต้องอาศัยข้อมูลชนิดเดียวกันกับที่ได้จากการตรวจวัด การตรวจสอบผลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลภาคสนามจะทำให้บอกได้ว่าแบบจำลองที่ทำขึ้นมา สามารถจำลองลักษณะต่าง ๆ ได้ใกล้เคียงกับความจริงมากเพียงใด (สุทธิพร อนันต์พิพัฒน์กิจ, 2542)

เมื่อนำเข้าข้อมูลครบทุกพารามิเตอร์ของแบบจำลองแล้ว จากนั้นทำการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์ในแบบจำลอง QUAL2Kw เพื่อให้ค่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงให้มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด

โดยนำเข้าข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ในแบบจำลอง เปรียบเทียบข้อมูลอัตราการไหลของน้ำระดับน้ำ และความเร็วของกระแสน้ำที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองกับข้อมูลของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น ให้มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยพิจารณาความใกล้เคียงกันจากแนวโน้มสหสัมพันธ์ทางสถิติ (R^2 : Coefficient of Determination) และเปรียบเทียบ

ข้อมูลคุณภาพน้ำจากแบบจำลองและข้อมูลการเก็บตัวอย่างน้ำภาคสนามของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่นให้มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด และพิจารณาความคลาดเคลื่อนโดยใช้สถิติวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (Root Mean Square Error : RMSE)

3.4 การวิเคราะห์ค่าความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ค่าตัวแปรของแบบจำลองคุณภาพแม่น้ำชีในการปรับเทียบแบบจำลอง ได้แก่ Depth Coefficient, Depth Exponent, Velocity Coefficient, Velocity Exponent, Headwater Flow, $K_a(20)$ (Reaeration Rate) และ K_{dc}(The Temperature – Dependent Fast CBOD Hydrolysis Rate) โดยการปรับเพิ่มหรือลดค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของค่าพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบทำให้ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) มีการเปลี่ยนแปลงไป เพราะถ้าทราบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรและพารามิเตอร์จะทำให้ผลที่ได้จากระบบจริงเปลี่ยนไป จะต้องทำการแก้ไขให้มีค่าถูกต้องตรงตามข้อมูลที่ได้มากที่สุด

3.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Verification)

ในขั้นตอนนี้ จะมีวิธีการดำเนินการ เช่นเดียวกับขั้นการปรับเทียบแบบจำลอง แต่การคำนวณจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์จากขั้นการปรับเทียบแบบจำลอง จากนั้นทำการคำนวณผลโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ได้จากการปรับเทียบ เปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์จากการเก็บตัวอย่างน้ำจริงในภาคสนาม และห้องปฏิบัติการ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณออกซิเจนละลาย ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี และปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่นำเข้าในแบบจำลอง QAUL2Kw โดยใช้ข้อมูลอัตราการไหลของน้ำ ระดับน้ำ และความเร็วของกระแสน้ำที่ต้นน้ำจากสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากกรมอุตุนิยมวิทยา ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553 โดยข้อมูลมลพิษเหล่งน้ำเป็นข้อมูลเดียวกับที่ใช้ในขั้นตอนการปรับเทียบแบบจำลอง

เปรียบเทียบข้อมูลอัตราการไหลของน้ำ ระดับน้ำ และความเร็วของกระแสน้ำที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองกับข้อมูลของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่นให้มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยพิจารณาความใกล้เคียงกันจากแนวโน้มสหสัมพันธ์ทางสถิติ (R^2 : Coefficient of Determination) และเปรียบเทียบข้อมูลคุณภาพน้ำที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองกับค่าพารามิเตอร์จากการเก็บตัวอย่างน้ำจริงในภาคสนามให้มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด และพิจารณาความคลาดเคลื่อนโดยใช้สถิติวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (Root Mean Square Error : RMSE)

3.6 การเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำ

3.6.1 กำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำแบ่งออกเป็น 4 จุด ของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น และกำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำเพิ่มอีก 3 จุด รวมเป็น 7 จุด ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 จุดเก็บตัวอย่างน้ำที่ระยะต่าง ๆ

ลำดับที่	จุดเก็บ	ระยะที่ (km)
1	สะพานข้ามแม่น้ำชีบ้านโนนเปลือย ตำบลตลาดแร้ง อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ	0.00
2	สะพานเวชศาสตร์บ้านโนนน้อย ตำบลลุ่มลำชี อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ	33.05
3	จุดบรรจบลำปะทาวกับแม่น้ำชี ตำบลกุดตุ้ม อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ	123.17
4	สะพานข้ามแม่น้ำชีบ้านชัยเจริญ ตำบลลาดใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ	131.82
5	สะพานนครกาหลง-ท่าวังเวิน อำเภอคอนสวรรค์ จังหวัดชัยภูมิ	172.03
6	สะพานข้ามแม่น้ำชี เชื่อม บ้านโจด ตำบลกุดเค้า อำเภอมัญจาคีรี กับ บ้านท่านางเลื่อม อำเภอชนบท จังหวัดขอนแก่น	236.00
7	สะพานข้ามแม่น้ำชีบ้านท่าพระ ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น	326.94

3.6.2 วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำ

ดำเนินการสำรวจพื้นที่เพื่อเตรียมความพร้อมก่อนลงเก็บตัวอย่างน้ำในภาคสนาม จำนวน 7 จุด ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553 ทำการวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมี โดยเก็บตัวอย่างน้ำ ณ บริเวณกลางความกว้างของแม่น้ำชี และกึ่งกลางของความลึกของระดับน้ำ ตามข้อมูลระดับน้ำของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น แต่ในทางปฏิบัติจะเก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึกจากผิวน้ำ 1 m ส่วนการวิเคราะห์ทางชีวภาพ จะเก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึกจากผิวน้ำ 30 cm โดยเก็บน้ำตัวอย่างแบบจ้วง (Grab Sampling) ด้วยเครื่องมือเก็บตัวอย่างน้ำ (Water Sampler) ทำการวิเคราะห์ภาคสนามด้วยเครื่องมือ (ดังตารางที่ 20) และรักษาสภาพน้ำโดยแช่ในน้ำกล่องโฟมใส่น้ำแข็งอุณหภูมิ 4 °C (ดังตารางที่ 19) พร้อมนำตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการต่อไป

3.6.3 การเก็บและรักษาตัวอย่างน้ำ

ตารางที่ 19 ภาชนะและขนาดภาชนะ การรักษาสภาพตัวอย่าง และระยะเวลาที่สามารถเก็บไว้ก่อนการวิเคราะห์ จำแนกตามพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	ภาชนะ, ปริมาตรตัวอย่าง (ml)	การรักษาสภาพตัวอย่าง	ระยะเวลาที่สามารถเก็บไว้ก่อนการวิเคราะห์
1. อุณหภูมิ	พลาสติก, แก้ว	วิเคราะห์ทันที	0.25 ชั่วโมง
2. ค่าความเป็นกรด-ด่าง	พลาสติก, แก้ว (50)	วิเคราะห์ทันที	6 ชั่วโมง
3. ค่าการนำไฟฟ้า	พลาสติก, แก้ว	วิเคราะห์ทันที	7 วัน
4. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	ขวดบีโอดี (300)	เติม $MnSO_4$ 1 ml และ AIA 1 ml แช่เย็น 4 °C	8 ชั่วโมง
5. ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี	พลาสติก (1,500)	แช่เย็น 4 °C	6 ชั่วโมง
6. ปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย	ขวดแบคทีเรียสีชาที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว (100)	เย็น 4 °C	24 ชั่วโมง

ที่มา: APHA, AWWA and WEF, 2005

3.6.4 พารามิเตอร์และการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ตารางที่ 20 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและหน่วยการวัดตัวแปร จำแนกพารามิเตอร์ที่ศึกษา

พารามิเตอร์ที่ศึกษา	วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	หน่วยการวัด
1. อุณหภูมิ	ใช้เครื่องมือวัด Thermometer	°C
2. ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ใช้เครื่องมือวัด pH Meter	-
3. ค่าการนำไฟฟ้า	ใช้เครื่องมือวัด Conductivity Meter	µs/cm
4. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	Azide Modification Method	mg/l
5. ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี	Azide Modification Method ที่อุณหภูมิ 20 °C เป็นเวลา 5 วัน	mg/l
6. ปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย	MPN Tecnique	MPN/100 ml

ที่มา: APHA, AWWA and WEF, 1998

3.7 การคาดการณ์คุณภาพน้ำ

การคาดการณ์คุณภาพน้ำในอนาคตโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ขอบเขตเงื่อนไขคุณภาพน้ำต้นน้ำ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา เป็นข้อมูลเดียวกับที่ใช้ในการปรับเทียบ ส่วนขอบเขตเงื่อนไขของการไหลเข้าด้านข้าง คือ ปริมาณความสกปรกที่ไหลเข้าด้านข้างจะเปลี่ยนแปลงตามการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนประชากรสูงขึ้น ทำการศึกษาการไหลในช่วงภาวะน้ำวิกฤต ซึ่งกำหนดให้การอัตราการไหลของน้ำต้นน้ำในแม่น้ำชีเท่ากับอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยต่ำสุดในช่วง 7 วัน ที่มีอัตราการไหลของน้ำต่ำสุดในรอบสถิติ 10 ปี และทำการคาดการณ์คุณภาพน้ำแม่น้ำชี ที่ไหลผ่านตั้งแต่สถานีตรวจวัดระดับน้ำและปริมาณน้ำ E5 บ้านโนนเปลือย ตำบลตลาดแร้ง อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิภูมิ ถึงจุดเก็บตัวอย่างน้ำ CI9 สะพานข้ามแม่น้ำชีบ้านท่าพระ ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ในช่วงภาวะน้ำวิกฤติ 5 ปี (พ.ศ. 2557) 10 ปี (พ.ศ.2562) และ 15 ปีข้างหน้า (พ.ศ. 2567) ในการศึกษาครั้งนี้จะดำเนินการศึกษากรณีไม่มีการดำเนินการบำบัดน้ำเสีย ทำการประเมินภาระมลพิษในอนาคต โดยทำการคาดการณ์จำนวนประชากรคน ในปี พ.ศ. 2557 พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2567 ใช้อัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรปีฐาน พ.ศ. 2552 และปริมาณค่า BOD ที่เปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากรคนในอนาคตนำเข้าในแบบจำลองและประมวลผลคุณภาพน้ำในอนาคต

3.8 การประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษของแม่น้ำชี

ประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษของแม่น้ำชีที่ไหลผ่าน ณ สถานีตรวจวัดระดับน้ำและปริมาณน้ำ E5 บ้านโนนเปลือย ตำบลตลาดแร้ง อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ ถึงจุดเก็บตัวอย่างน้ำ CI9 สะพานข้ามแม่น้ำชีบ้านท่าพระ ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ในช่วงภาวะน้ำวิกฤต อีก 5 ปี (พ.ศ. 2557) 10 ปี (พ.ศ. 2562) และอีก 15 ปีข้างหน้า (พ.ศ. 2567) โดยกำหนดให้แม่น้ำชีสามารถรองรับมลพิษในรูปของปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical Oxygen Demand : BOD) อยู่ในเกณฑ์คุณภาพน้ำประเภทที่ 3 ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน ซึ่งกรมควบคุมมลพิษ (2537) กำหนดไว้ว่า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ไม่ต่ำกว่า 4.0 mg/l มีปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี ไม่เกิน 2 mg/l และประเมินการรองรับของเสียของลำน้ำในปัจจุบันโดยการนำค่าความเข้มข้นของ BOD (mg/l) ในแต่ละช่วงลำน้ำคูณกับอัตราการไหลของน้ำในแต่ละช่วงลำน้ำ (m^3/day)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติที่เชิงสถิติเชิงพรรณนา เช่น ค่าเฉลี่ย ร้อยละ แผนภูมิ และรูปภาพ

4.2 สถิติที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Calibration)

การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์โดยใช้สมการรีเกรซชั่นเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Liner Regression) ดังสมการที่ 34

$$y = a + bx \qquad \text{.....(34)}$$

โดย y = ตัวแปรตาม

x = ตัวแปรอิสระ

a, b = ค่าสัมประสิทธิ์

เมื่อ a และ b สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \qquad \text{.....(35)}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \qquad \text{.....(36)}$$

โดย $\bar{x}$ และ $\bar{y}$ คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปร x และ y ตามลำดับ

สำหรับการประมาณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทำได้โดยการพล๊อตกราฟระหว่างตัวแปรทั้งสอง ค่าการกระจายของจุดที่พล๊อตเป็นตัวบอกว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ดังสมการที่ 37

$$R = \frac{N\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{(N\sum x^2 - (\sum x)^2)(N\sum y^2 - (\sum y)^2}} \qquad \text{..... (37)}$$

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 และสามารถบอกขนาดและทิศทางของสหสัมพันธ์ได้ดังนี้

ถ้า R มีค่าเป็น +1 หมายถึง ตัวแปรงทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ และมีทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ถ้าตัวแปรหนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น อีกตัวแปรก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

ถ้า R มีค่าเป็น -1 หมายถึง ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์แต่มีทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือ ถ้าตัวแปรหนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น อีกตัวแปรก็จะมีค่าลดลง

ถ้า R มีค่าเป็น 0 หรือใกล้เคียงศูนย์ แสดงว่า ตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กันหรือมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก

โดยทั่วไปแล้วในด้านอุทกวิทยาค่า R^2 ควรจะมีค่ามากกว่า 0.6 ถึงจะถือว่า y และ x มีความสัมพันธ์กันอย่างยอมรับได้ (วีระพล แต้สมบัติ, 2531)

4.3 การกำหนดความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์

โดยการประมาณค่าสูงสุดของข้อมูลการปรับเทียบกับข้อมูลจริงที่ได้จากการเก็บตัวอย่างมาแล้วจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งค่าที่ได้ของแบบจำลองจะนำมาปรับเทียบโดยใช้สถิติที่มีประชากรแจกแจงปกติ คือ สถิติ Root Mean Squared Error (RMSE) ของแบบจำลองสำหรับการคาดการณ์คุณภาพน้ำกับข้อมูลคุณภาพน้ำที่ได้จาการเก็บจริงมาแล้ว ซึ่งฟังก์ชันสำหรับหาค่าสูงสุดที่เหมาะสม ดังสมการที่ 38

$$f(x) = \left[\sum_{i=1}^{n} w_i\right]\left[\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{w_i}\left[\frac{\left(\sum_{j=1}^{m} o_{ij} / m\right)}{\left[\sum \left(p_{ij} - o_{ij}\right)^2 / m\right]^{1/2}}\right]\right] \qquad \text{.....(38)}$$

โดยที่ o_{ij} = Observed Value

p_{ij} = Predicted Value

m = Number of Pairs of Predicted and Observed Values

w_i = Weighting Factor

n = Number of Different State Variables (e.g. DO ,pH, etc.) Included in The Reciprocal of the Weighted Normalized RMSE. (Gregory et al., 2005)