

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2Kw เพื่อประเมินและวิเคราะห์คุณภาพน้ำแม่น้ำชี รวมทั้งคาดการณ์คุณภาพน้ำช่วงภาวะน้ำวิกฤตในอนาคต ซึ่งจากการศึกษาในบทที่ 3 สามารถนำเสนอผลการศึกษา โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก ดังนี้

1. ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2Kw
2. ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2Kw
3. ผลการคาดการณ์คุณภาพน้ำในอนาคต
4. ประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษ

1. ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2Kw

1.1 ผลการศึกษาลักษณะทางชลศาสตร์

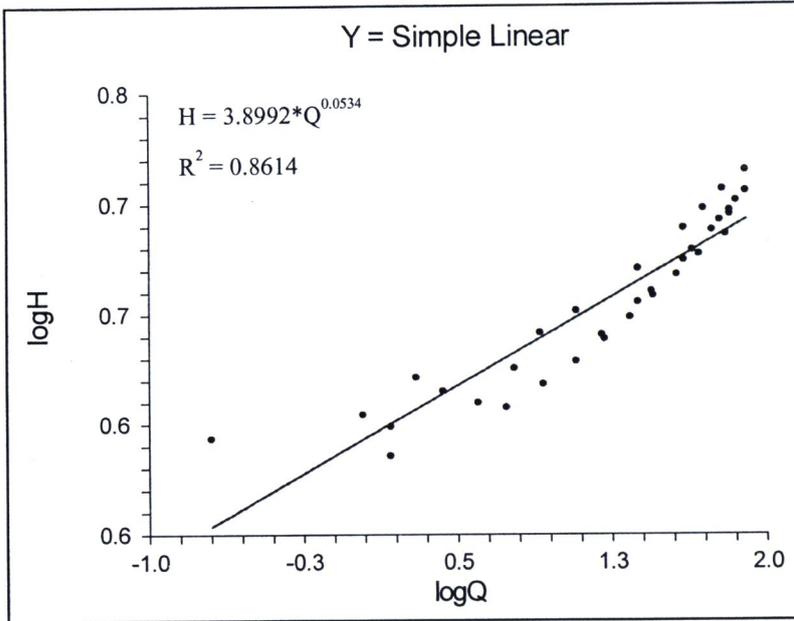
1.1.1 การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับน้ำ

จากการทดลองนำค่า Coefficients (a) และ Exponent (b) ของความเร็วกระแสน้ำและระดับน้ำ ที่ได้จากการทำ Fit Curve ของแต่ละสถานี ดังภาพที่ 12 ถึง 19 ลงในแบบจำลอง QUAL2Kw พบว่า ค่าที่เหมาะสมที่ทำให้อัตราการไหลของน้ำ และระดับน้ำ จากการคำนวณ โดยแบบจำลอง QUAL2Kw มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น ดังตารางที่ 21

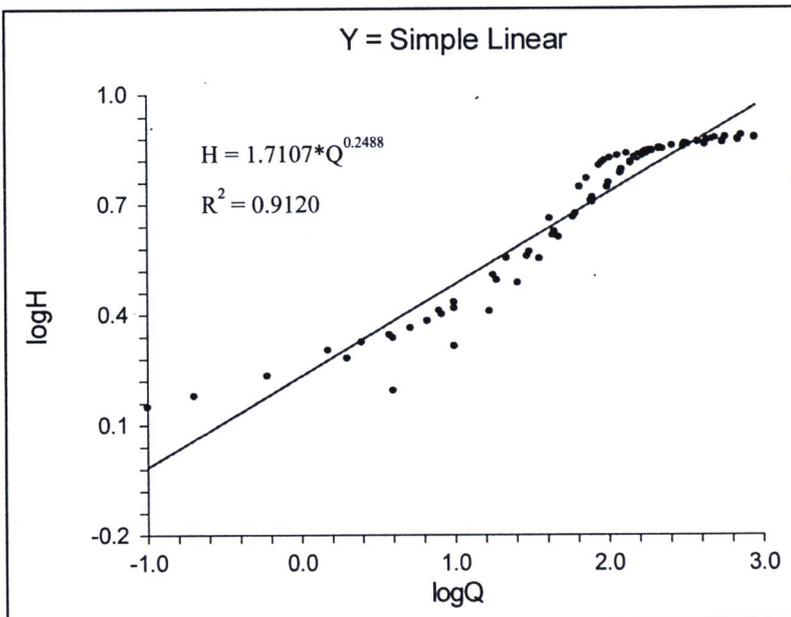
ตารางที่ 21 ค่า Coefficients (a) และ Exponent (b) ของระดับน้ำ

ข้อมูล	สถานี			
	E5	E23	E21	E9
สมการ (m)	$H=3.8992*Q^{0.0534}$	$H=1.7107*Q^{0.2488}$	$H=2.2858*Q^{0.2439}$	$H=2.4899*Q^{0.2590}$
ค่าสัมประสิทธิ์ (R^2)	0.8614	0.9120	0.8945	0.9375
Coefficient	3.8992	1.7107	2.2858	2.4899
Exponent	0.0534	0.2488	0.2439	0.2590

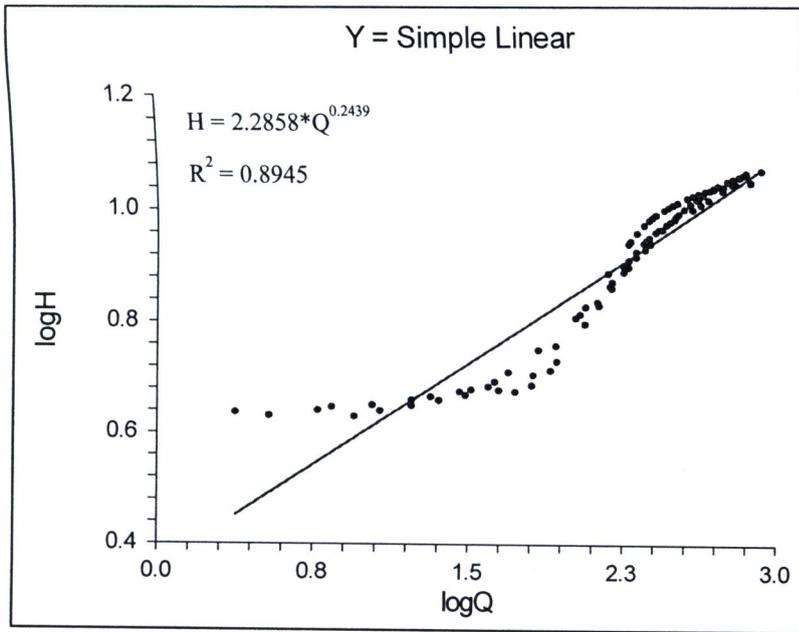
ที่มา: คำนวณ



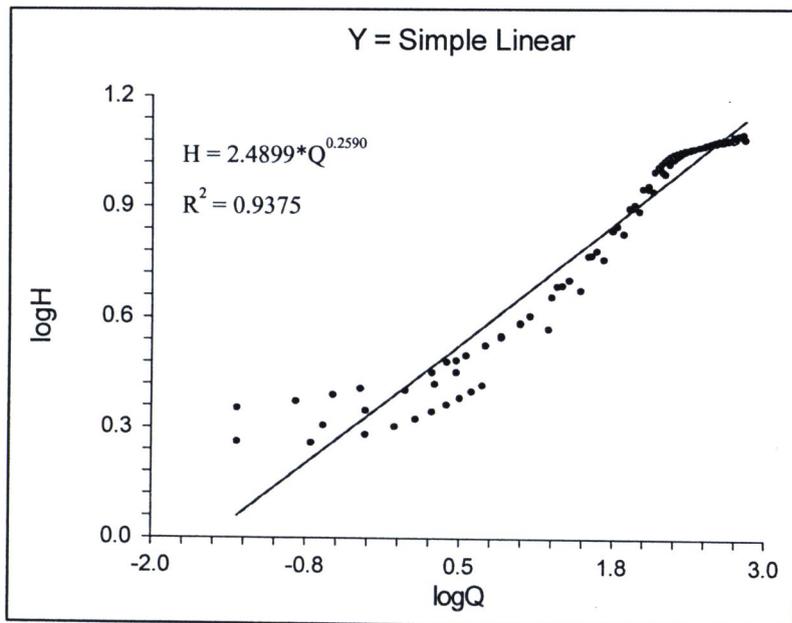
ภาพที่ 12 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (m^3/s) ($\log Q$) กับระดับน้ำ (m) ($\log H$) สถานี E5 สำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น



ภาพที่ 13 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (m^3/s) ($\log Q$) กับระดับน้ำ (m) ($\log H$) สถานี E23 สำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น



ภาพที่ 14 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (m^3/s) ($\log Q$) กับระดับน้ำ (m) ($\log H$) สถานี E21 สำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น



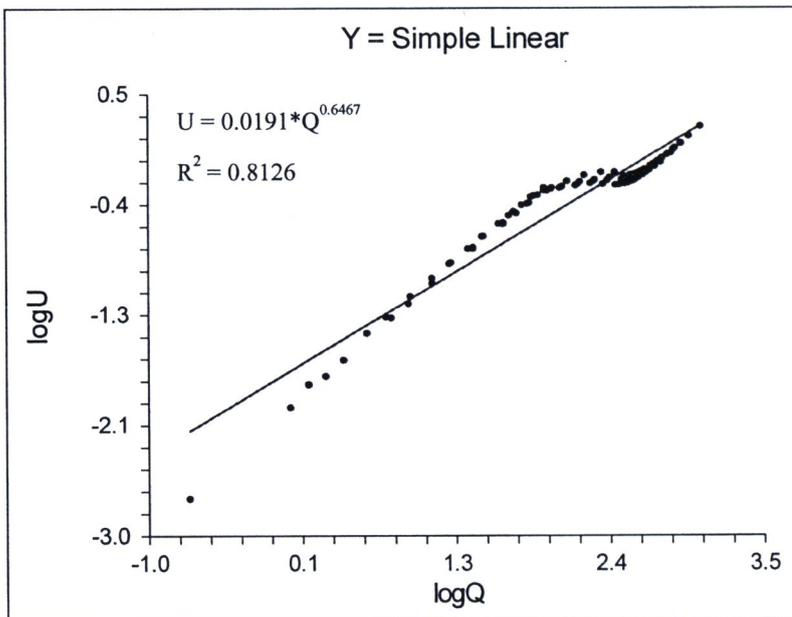
ภาพที่ 15 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (m^3/s) ($\log Q$) กับระดับน้ำ (m) ($\log H$) สถานี E9 สำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น

1.1.2 การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและความเร็วของกระแสน้ำ

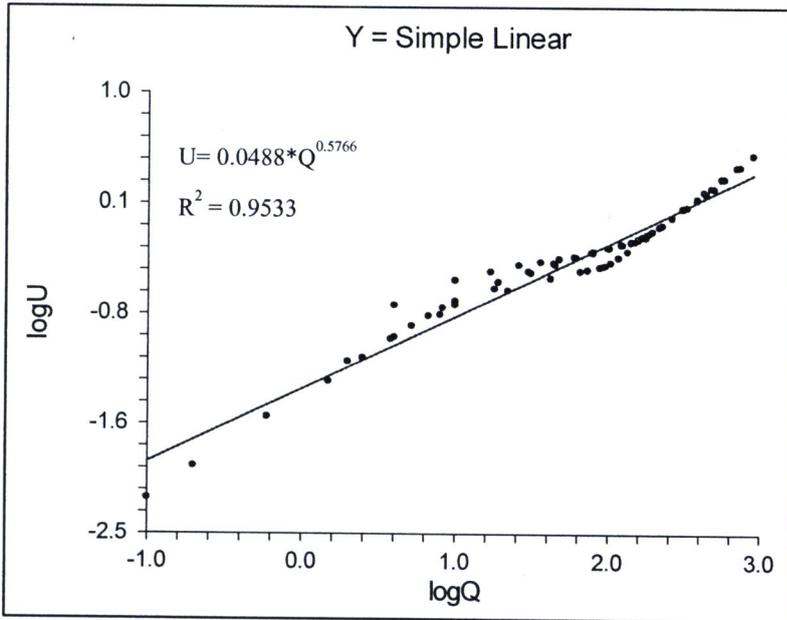
ค่าที่เหมาะสมที่ทำให้อัตราการไหลของน้ำและความเร็วของกระแสน้ำ จากการคำนวณโดยแบบจำลอง QUAL2Kw มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น ดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ค่า Coefficients (a) และ Exponent (b) ของความเร็วของกระแสน้ำ

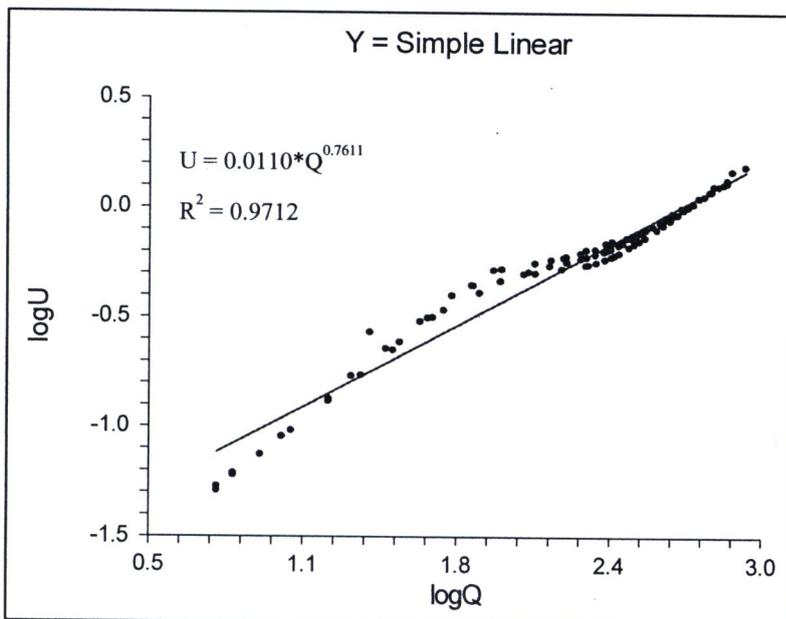
ข้อมูล	สถานี			
	E5	E23	E21	E9
สมการ (m/s)	$U=0.0191*Q^{0.6467}$	$U=0.0488*Q^{0.5766}$	$U=0.0110*Q^{0.7611}$	$U=0.0130*Q^{0.5952}$
ค่าสัมประสิทธิ์ (R^2)	0.8126	0.9533	0.9712	0.9676
Coefficient	0.0191	0.0488	0.0110	0.0130
Exponent	0.6467	0.5766	0.7611	0.5952



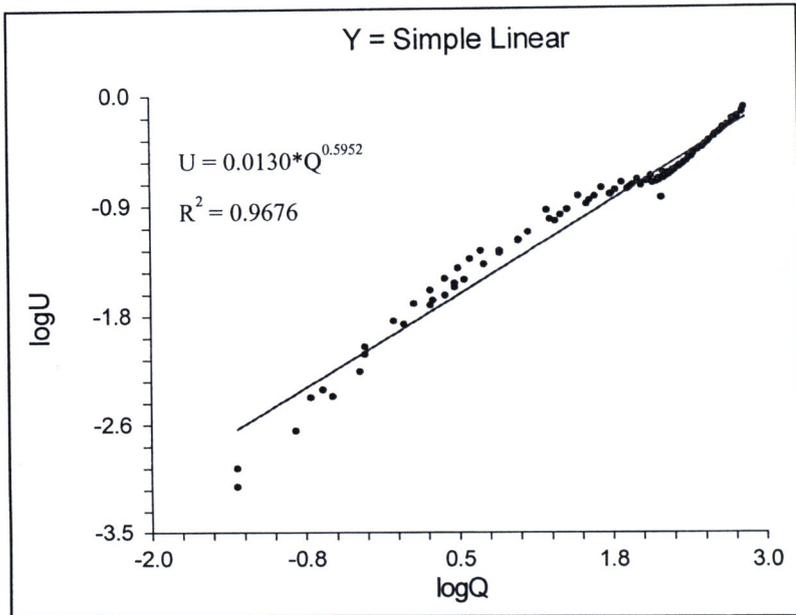
ภาพที่ 16 โคลงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (m^3/s) ($\log Q$) กับความเร็วของกระแสน้ำ (m/s) ($\log U$) สถานี E5 สำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น



ภาพที่ 17 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (m^3/s) ($\log Q$) กับความเร็วของกระแสน้ำ (m/s) ($\log U$) สถานี E23 สำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น



ภาพที่ 18 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (m^3/s) ($\log Q$) กับความเร็วของกระแสน้ำ (m/s) ($\log U$) สถานี E21 สำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น



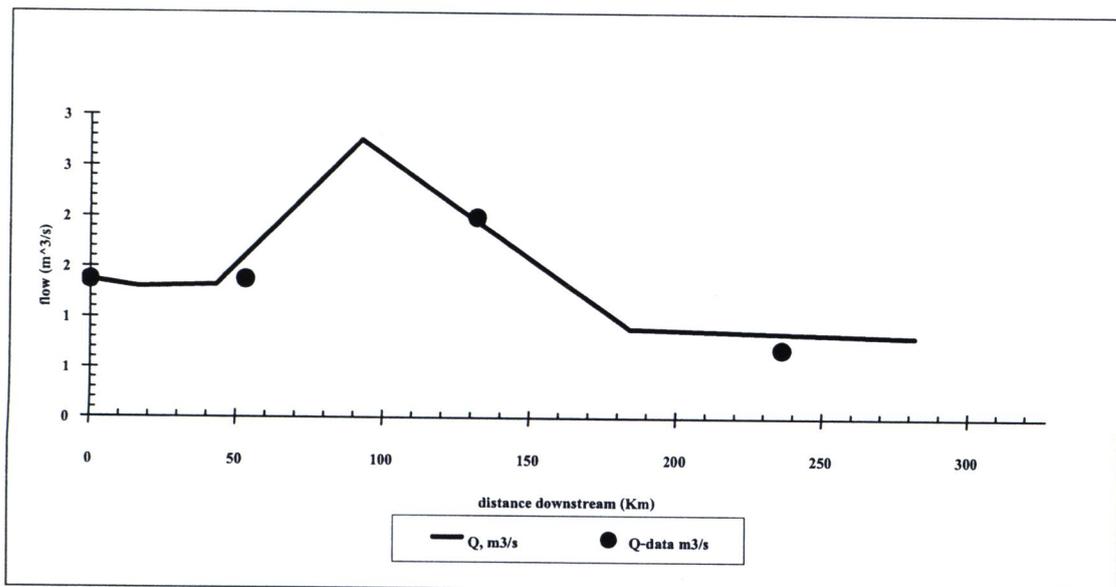
ภาพที่ 19 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (m^3/s) ($\log Q$) กับความเร็วของกระแสน้ำ (m/s) ($\log U$) สถานี E9 สำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น

1.2 การประยุกต์ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากหัวข้อ 1.1.1 และ 1.1.2 ถูกนำเข้าไปใช้ในแบบจำลองเพื่อหาอัตราการไหลของน้ำและระดับน้ำของแม่น้ำชีในแต่ละช่วงการศึกษาเปรียบเทียบกับข้อมูลอัตราการไหลของน้ำ ระดับน้ำ และความเร็วของกระแสน้ำที่ได้จากสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น ผลการศึกษาดังนี้

1.2.1 อัตราการไหลของน้ำแม่น้ำชี

อัตราการไหลของน้ำแม่น้ำชี ในช่วงที่ทำการศึกษาคำนวณโดยแบบจำลอง QUAL2Kw อยู่ในช่วง $0.83-2.76 m^3/s$ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการตรวจวัดของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น พบว่า มีความใกล้เคียงกัน $R^2 = 0.9484$ ดังภาพที่ 20



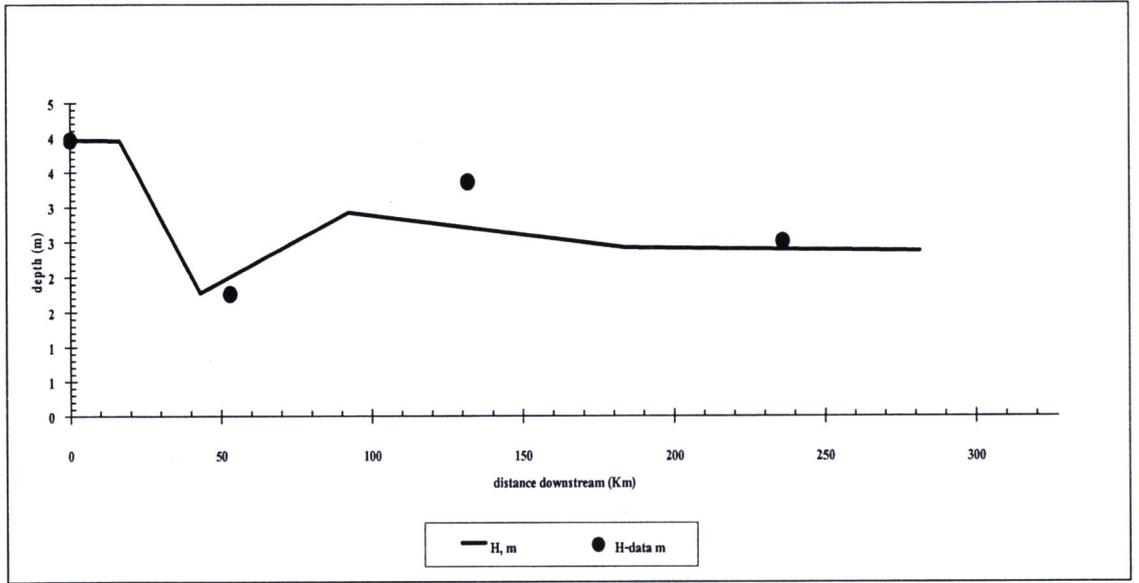
ภาพที่ 20 อัตราการไหลของน้ำจากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับข้อมูลของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น

ตารางที่ 23 ร้อยละของความแตกต่างระหว่างอัตราการไหลของน้ำจากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับข้อมูลของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น

Distance (km)	อัตราการไหลของน้ำ (m ³ /s)		ร้อยละของความแตกต่าง	ร้อยละของความแตกต่างโดยรวม
	Simulate	Measured		
0.000	1.37	1.370	0.00	
53.020	1.62	1.380	17.08	10.55
131.820	1.96	2.000	2.06	
236.030	0.86	0.700	23.06	

1.2.2 ระดับน้ำของแม่น้ำชี

ระดับน้ำของแม่น้ำชี ในช่วงที่ทำการศึกษา คำนวณ โดยแบบจำลอง QUAL2Kw อยู่ในช่วง 1.77 – 3.97 m เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการตรวจวัดของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น พบว่า มีความใกล้เคียงกัน $R^2 = 0.83215$ ดังภาพที่ 21



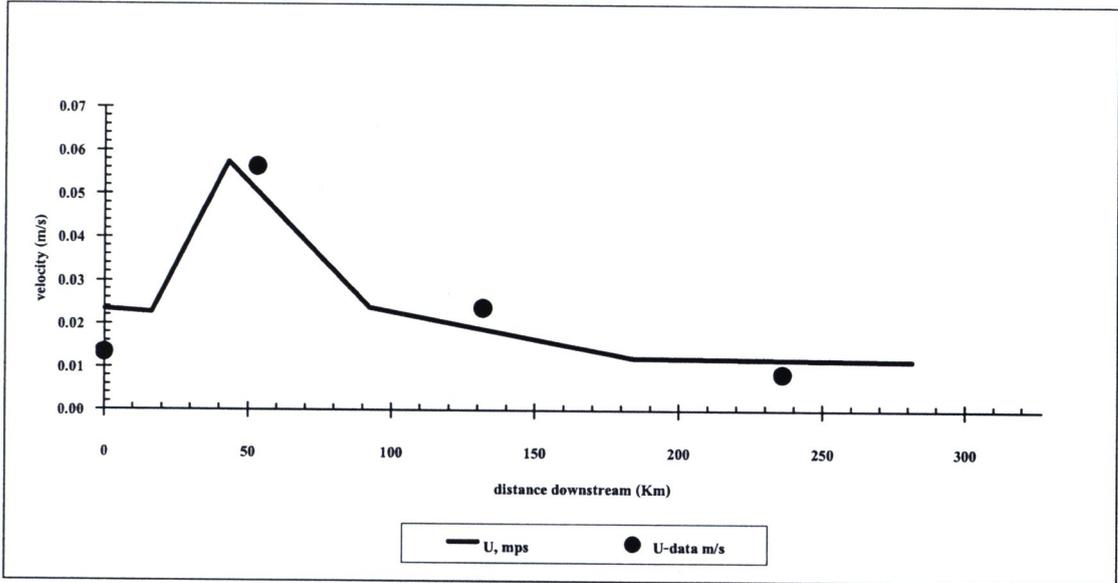
ภาพที่ 21 ระดับน้ำจากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับข้อมูลของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น

ตารางที่ 24 ร้อยละของความแตกต่างระหว่างระดับน้ำจากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับข้อมูลของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น

Distance (km)	ระดับน้ำ (m)		ร้อยละของความแตกต่าง	ร้อยละของความแตกต่างโดยรวม
	Simulate	Measured		
0.00	3.97	3.960	0.13	
53.02	2.06	1.760	16.82	10.21
131.82	2.71	3.360	19.33	
236.03	2.40	2.510	4.58	

1.2.3 ความเร็วของกระแสน้ำแม่น้ำชี

ความเร็วของกระแสน้ำแม่น้ำชี ในช่วงที่ทำการศึกษาคำนวณ โดยแบบจำลอง QUAL2Kw อยู่ในช่วง 0.01- 0.06 m/s เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการตรวจวัดของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน ค่า $R^2 = 0.9593$ ดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 ความเร็วของกระแสน้ำจากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับข้อมูลของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น

ตารางที่ 25 ร้อยละของความแตกต่างระหว่างความเร็วของกระแสน้ำจากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับข้อมูลของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น

Distance (km)	ความเร็วของกระแสน้ำ (m/s)		ร้อยละของความแตกต่าง	ร้อยละของความแตกต่างโดยรวม
	Simulate	Measured		
0	0.02	0.021	11.90	
53.02	0.05	0.078	35.20	18.38
131.82	0.02	0.016	18.52	
236.03	0.01	0.013	7.89	

จากการปรับเทียบของแบบจำลอง QUAL2Kw ในการคำนวณลักษณะการไหลของน้ำนั้นได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ Coefficients และค่า Exponent จากสมการยกกำลัง ซึ่งผลการปรับเทียบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณกับข้อมูลจากการวัดจริงของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่นมีค่าใกล้เคียงกัน พบว่า อัตราการไหลของน้ำ ระดับน้ำของแม่น้ำ ความเร็วของกระแสน้ำ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9486, 0.83215 และ 0.9593 ตามลำดับ สอดคล้องกับ

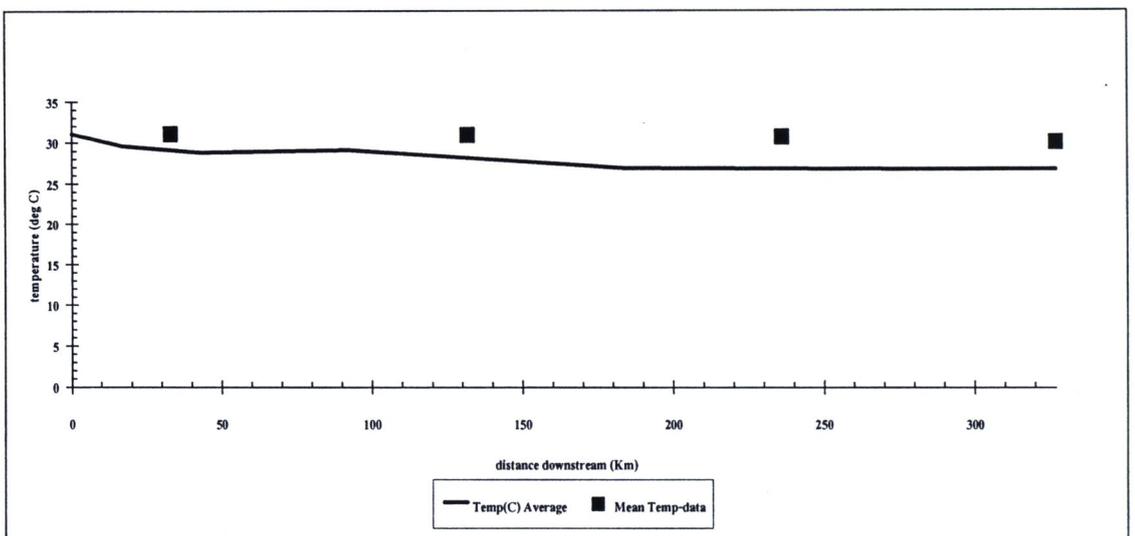
การศึกษาด้านอุทกวิทยาของ วีระพล เต็มสมบัติ (2531) กล่าวว่า โดยทั่วไปแล้วในด้านอุทกวิทยา ค่า R^2 ควรจะมีค่ามากกว่า 0.6 ถึงจะถือตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันอย่างยอมรับได้ และมีค่าความแตกต่างโดยรวมร้อยละ 10.55, 10.21 และ 18.38 ตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบจึงเหมาะสมที่จะนำไปทดสอบความถูกต้องของลักษณะการไหลของน้ำ ณ วันเก็บตัวอย่างน้ำภาคสนามตามต่อไป

1.3 คุณภาพน้ำ

ในการศึกษาคุณภาพน้ำในแม่น้ำชีครั้งนี้ ได้เปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ได้จากแบบจำลอง QUAL2Kw กับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ดังแสดงในภาคผนวก ฉ ที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ โดยประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดประเภทแหล่งน้ำของแม่น้ำชีตั้งแต่บ้านโนนเปลือย ตำบลตลาดแร่ อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ ถึงบ้านท่าพระ ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น อยู่ในประเภทคุณภาพของแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3

1.3.1 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิของแม่น้ำชีที่ไหลผ่านจังหวัดชัยภูมิ นครราชสีมา และขอนแก่นในช่วงภาวะน้ำวิกฤต จากการคำนวณโดยแบบจำลอง QUAL2Kw อยู่ในช่วง 26.67-31.06 °C โดยเปรียบเทียบค่าจริงจาก 4 สถานีของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น อยู่ในช่วง 29.98- 31.06 °C จากกราฟแสดงให้เห็นว่าจากการคำนวณโดยแบบจำลองกับค่าจริงมีค่าใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 23



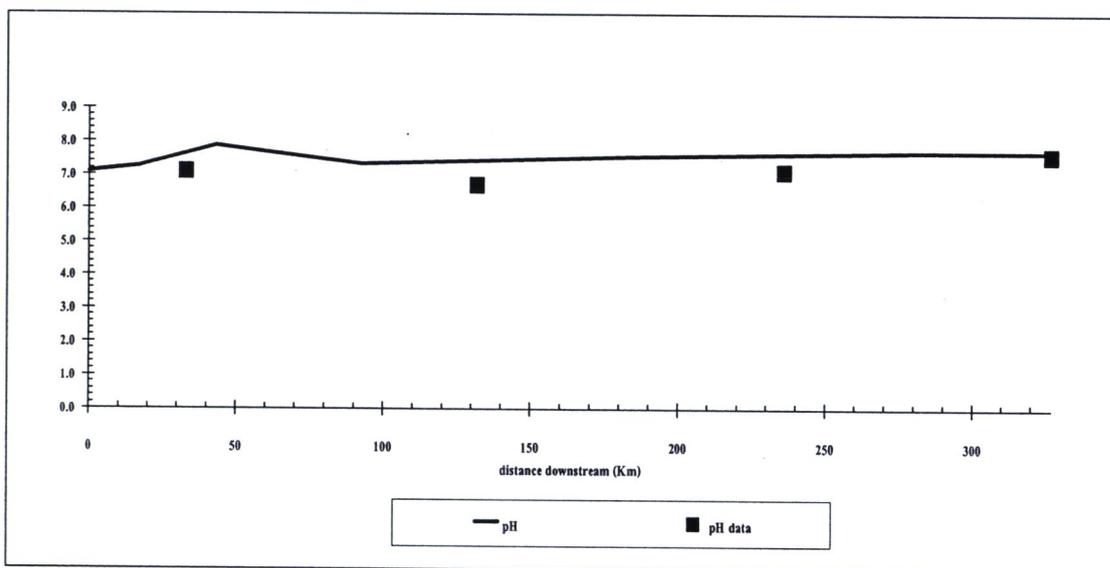
ภาพที่ 23 อุณหภูมิของแม่น้ำชีจากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงภาวะน้ำวิกฤตของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น

ตารางที่ 26 ร้อยละของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของแม่น้ำชีจากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงภาวน้ำวิกฤตของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น

Distance (km)	อุณหภูมิของน้ำ (°C)		ร้อยละของความแตกต่าง	ร้อยละของความแตกต่างโดยรวม
	Simulate	Measured		
33.02	29.12	31.06	6.24	
131.82	28.12	30.90	9.01	
236.03	26.75	30.62	12.63	9.73
326.94	26.67	29.98	11.04	

13.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่างของแม่น้ำชีที่ไหลผ่านจังหวัดชัยภูมิ นครราชสีมา และขอนแก่นในช่วงภาวน้ำวิกฤตจากการคำนวณโดยแบบจำลอง QUAL2Kw อยู่ในช่วง 7.10-7.87 โดยปรับเทียบค่าจริงจาก 4 สถานีของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น อยู่ในช่วง 6.7-7.6 จากกราฟแสดงให้เห็นว่าจากการคำนวณโดยแบบจำลองกับค่าจริงมีค่าใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 24



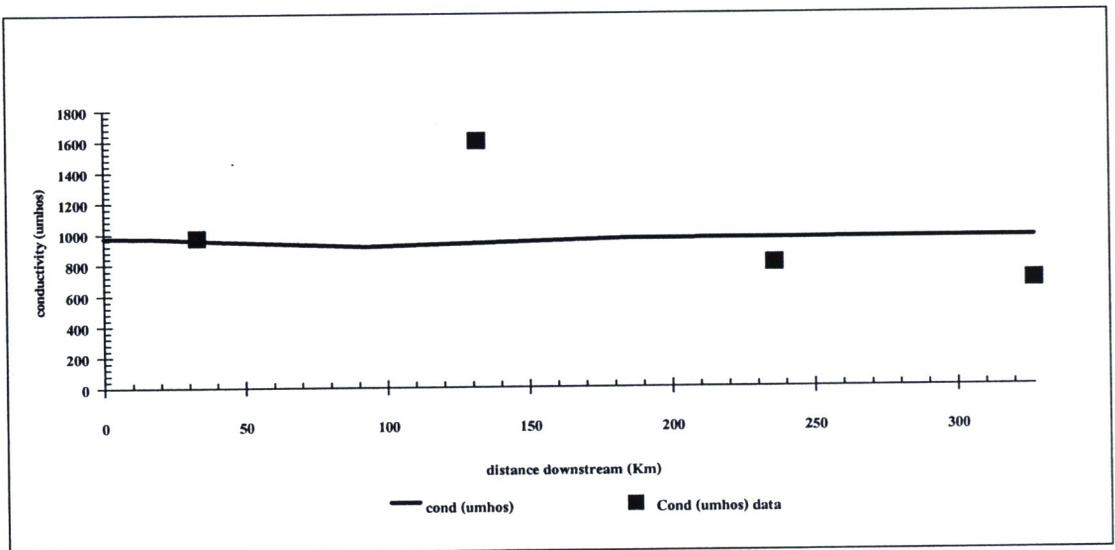
ภาพที่ 24 ค่า pH ของแม่น้ำชีจากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับค่า pH เฉลี่ยในช่วงภาวน้ำวิกฤตของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น

ตารางที่ 27 ร้อยละของความแตกต่างระหว่างค่า pH ของแม่น้ำชีจากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับค่า pH เฉลี่ยในช่วงภาวน้ำวิกฤตของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น

Distance (km)	pH		ร้อยละของความแตกต่าง	ร้อยละของความแตกต่างโดยรวม
	Simulate	Measured		
33.02	7.64	7.10	7.61	
131.82	7.43	6.70	10.89	6.82
236.03	7.64	7.11	7.46	
326.94	7.70	7.60	1.32	

1.3.3 ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)

ค่าการนำไฟฟ้าของแม่น้ำชีที่ไหลผ่านจังหวัดชัยภูมิ นครราชสีมา และขอนแก่น ในช่วงภาวน้ำวิกฤต จากการคำนวณโดยแบบจำลอง QUAL2Kw อยู่ในช่วง 914.52-974.00 $\mu\text{s}/\text{cm}$ โดยปรับเทียบค่าจริงจาก 4 สถานีของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น อยู่ในช่วง 687.8 -1599.20 $\mu\text{s}/\text{cm}$ จากกราฟแสดงให้เห็นว่าจากการคำนวณ โดยแบบจำลองกับค่าจริงมีค่าใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 25



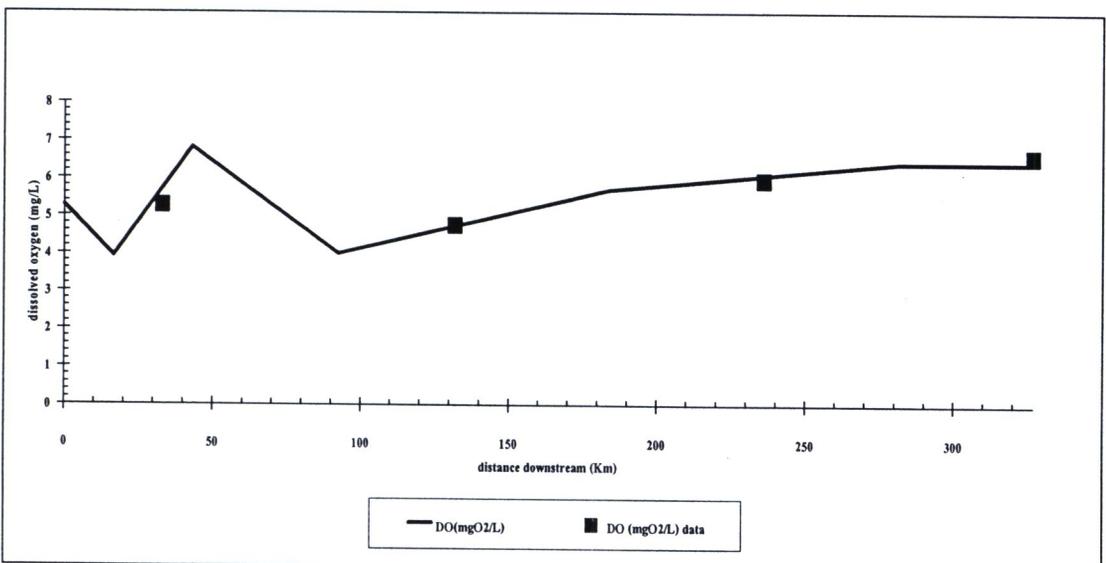
ภาพที่ 25 ค่า Conductivity ของแม่น้ำชีจากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับค่า Conductivity เฉลี่ยในช่วงภาวน้ำวิกฤตของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น

ตารางที่ 28 ร้อยละของความแตกต่างระหว่างค่า Conductivity ของแม่น้ำชีจากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับค่า Conductivity เฉลี่ยในช่วงภาวน้ำวิกฤตของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น

Distance (km)	Conductivity ($\mu\text{s/cm}$)		ร้อยละของความแตกต่าง	ร้อยละของความแตกต่างโดยรวม
	Simulate	Measured		
33.02	956.45	974.00	1.80	
131.82	935.13	1599.20	41.52	25.97
236.03	964.29	802.80	20.12	
326.94	965.94	687.80	40.44	

1.3.4 ปริมาณออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen, DO)

การศึกษานี้ทำการปรับเทียบค่าคงที่ $K_d(20)$ เพื่อปรับเทียบออกซิเจนละลายน้ำ ผลการปรับค่าคงที่ $K_d(20)$ อยู่ในช่วง $0.3 - 1.30 \text{ d}^{-1}$ ที่ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำจากการคำนวณโดยแบบจำลอง QUAL2Kw อยู่ในช่วง $3.92 - 6.81 \text{ mg/l}$ กับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจากการสำรวจของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น อยู่ในช่วง $4.75 - 6.59 \text{ mg/l}$ จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการคำนวณโดยแบบจำลองกับค่าจริงมีค่าใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 26



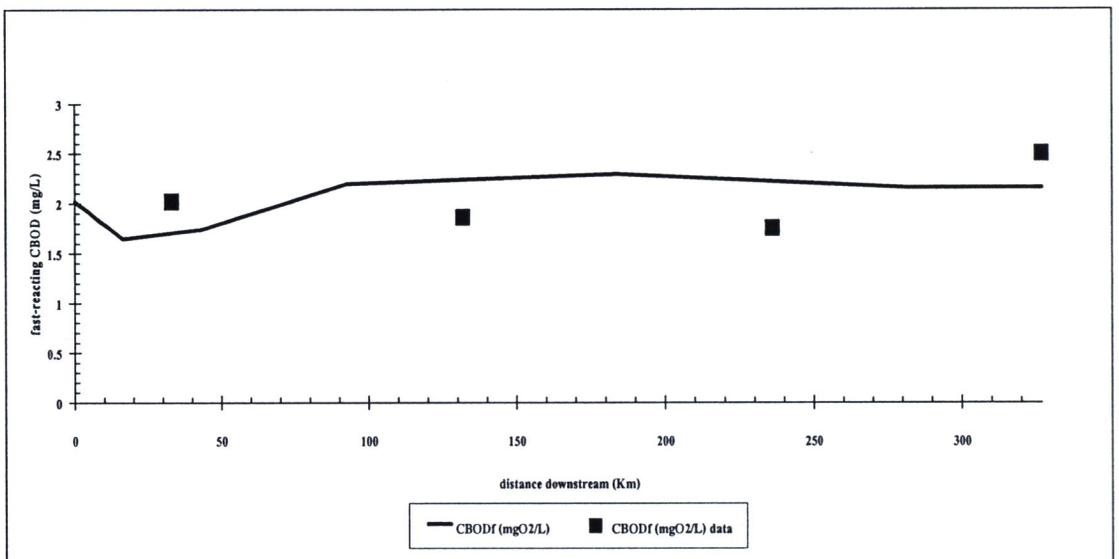
ภาพที่ 26 ค่า DO จากการปรับค่า $K_d(20)$ จากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับ DO เฉลี่ยในช่วงภาวน้ำวิกฤตของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น

ตารางที่ 29 ร้อยละของความแตกต่างระหว่างค่า DO จากการปรับค่า $K_d(20)$ จากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับค่า DO เฉลี่ยในช่วงภาวน้ำวิกฤตของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น

Distance (km)	DO (mg/l)		ร้อยละของความแตกต่าง	ร้อยละของความแตกต่างโดยรวม
	Simulate	Measured		
33.02	5.72	5.27	8.55	
131.82	4.73	4.75	0.45	3.47
236.03	6.08	5.95	2.20	
326.94	6.42	6.59	2.66	

1.3.5 ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD)

การศึกษาค้นคว้านี้ ทำการปรับเทียบค่าคงที่ K_{dc} (The Temperature – Dependent Fast CBOD Hydrolysis Rate) ในแบบจำลอง QUAL2Kw ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง $0.023-3.4 \text{ d}^{-1}$ ผลจากการปรับค่าคงที่ K_{dc} พบว่า ค่าที่เหมาะสมในการศึกษาค่า BOD ในแม่น้ำชี คือ 0.23 d^{-1} และผลจากการปรับเทียบแบบจำลอง พบว่า ค่า BOD อยู่ในช่วง $1.50-2.02 \text{ mg/l}$ จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการคำนวณ โดยแบบจำลองกับค่าจริงมีค่าใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 27



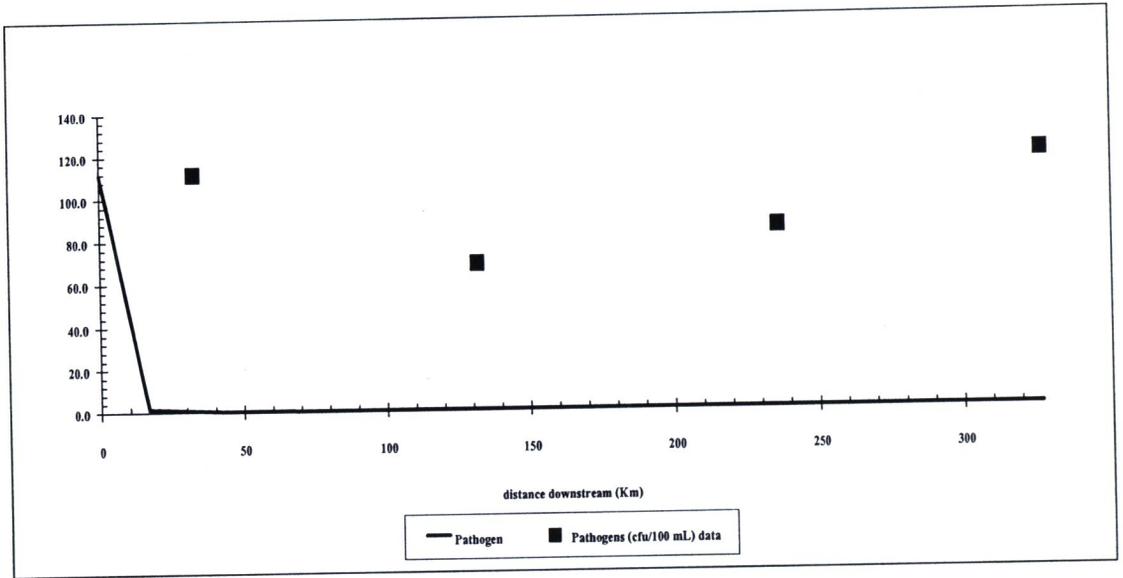
ภาพที่ 27 ค่า BOD จากการปรับค่า K_{dc} จากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับ BOD เฉลี่ยในช่วงภาวน้ำวิกฤตของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น

ตารางที่ 30 ร้อยละของความแตกต่างระหว่างค่า BOD จากการปรับค่า K_{dc} จากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับค่า BOD เฉลี่ยในช่วงภาวน้ำวิกฤตของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น

Distance (km)	BOD (mg/l)		ร้อยละของความแตกต่าง	ร้อยละของความแตกต่างโดยรวม
	Simulate	Measured		
33.02	1.70	2.02	15.65	
131.82	2.24	1.86	20.18	
236.03	2.22	1.75	26.68	19.07
326.94	2.16	2.50	13.75	

1.3.6 ปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (FCB)

ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียของแม่น้ำชีที่ไหลผ่านจังหวัดชัยภูมิ นครราชสีมา และขอนแก่นในช่วงภาวน้ำวิกฤตจากการคำนวณโดยแบบจำลอง QUAL2Kw อยู่ในช่วง 0-111.427 CFU/100 ml โดยปรับเทียบค่าจริงจากสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น อยู่ในช่วง 68.478-111.427 CFU/100 ml จากกราฟแสดงให้เห็นว่าจากการคำนวณโดยแบบจำลองกับค่าจริงมีความแตกต่างกัน เนื่องจากปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียจะมีการลดลงของ Pathogen ที่จะถูกอธิบายด้วยฟังก์ชันของอุณหภูมิ แสงและการตกตะกอน (G.J. Pelletier et al., 2008b) ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองจะมีค่าลดลงจากคุณภาพน้ำของต้นน้ำตามระยะทาง แต่คุณภาพน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำ CI12 CI11 CI10 และ CI9 จากการตรวจวัดของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น ยังพบปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่า จากข้อมูลย้อนหลัง ในปี พ.ศ. 2548-2552 เป็นตัวอย่างน้ำที่เพิ่งมีการปนเปื้อนจากอุจจาระของมนุษย์หรือสัตว์เลี้ยงลูกจากชุมชนบริเวณริมฝั่งแม่น้ำชีในบริเวณที่ศึกษา ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบค่าจากการคำนวณโดยแบบจำลองกับค่าจากการออกภาคสนามจึงมีความแตกต่างกันมาก ซึ่งดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 ค่า FCB ของแม่น้ำชีจากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับค่า FCB เฉลี่ยในช่วง ภาวะน้ำวิกฤตของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น

ตารางที่ 31 ร้อยละของความแตกต่างระหว่างค่า FCB จากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับค่า FCB เฉลี่ยในช่วงภาวะน้ำวิกฤตของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จังหวัดขอนแก่น

Distance (km)	FCB (CFU/100ml)		ร้อยละของความแตกต่าง	ร้อยละของความแตกต่างโดยรวม
	Simulate	Measured		
33.02	0.61	111.43	99.45	
131.82	0.00	68.48	100.00	99.86
236.03	0.00	84.95	100.00	
326.94	0.01	118.82	99.99	

ผลการเปรียบเทียบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพน้ำจากการคำนวณโดยแบบจำลองกับค่าจากการตรวจวัดจริงของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น ปี พ.ศ.2548 - 2552 ของอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี มีค่าใกล้เคียงกัน โดยพิจารณาจากความแตกต่างโดยรวมร้อยละ 9.73, 6.82, 25.97, 3.47 และ 19.07 ตามลำดับ การกำหนดประเภทคุณภาพของ

แหล่งน้ำผิวดินของแม่น้ำชี อยู่ในแหล่งน้ำประเภทที่ 2 และ 3 ทั้งนี้ผลจากการคำนวณโดยแบบจำลองสามารถที่จะนำค่าคงที่ของแบบจำลอง QUAL2Kw ไปใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลคุณภาพน้ำจากภาคสนามต่อไป

1.4 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (RMSE)

ตารางที่ 32 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (RMSE) ของค่าพยากรณ์กับค่าที่วัดจริงในการเปรียบเทียบแบบจำลอง QUAL2Kw

ลำดับที่	พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (RMSE)
1	อัตราการไหลของน้ำ	m ³ /s	0.15
2	ความเร็วของกระแสน้ำ	m/s	0.01
3	ระดับน้ำ	m	0.36
4	ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี	mg/l	0.72
5	ปริมาณออกซิเจนละลาย	mg/l	1.61
6	ค่าการนำไฟฟ้า	μs/cm	816.91
7	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	-	1.07
8	อุณหภูมิของน้ำ	°C	4.02
9	ปริมาณฟีคัล โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	CFU/100 ml	180.68

ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2Kw โดยการเปรียบเทียบผลจากการคำนวณด้วยแบบจำลองกับค่าที่ได้จริง โดยค่าความคลาดเคลื่อนของพารามิเตอร์ที่สำคัญพบว่า RMSE ของอัตราการไหลของน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.15 m³/s, RMSE ของความเร็วของกระแสน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.01 m/s, RMSE ของระดับน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.36 m, RMSE ของปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี (BOD) มีค่าเท่ากับ 0.72 mg/l, RMSE ของออกซิเจนละลายน้ำ มีค่าเท่ากับ 1.61 mg/l RMSE ของความเป็นกรด-ด่าง มีค่าเท่ากับ 1.07 RMSE ของอุณหภูมิ มีค่าเท่ากับ 4.02 °C มีค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ที่ผู้วิจัยยอมรับได้ ส่วน RMSE ของค่าการนำไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 816.91 μs/cm และ RMSE ของปริมาณฟีคัล โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (FCB) มีค่าเท่ากับ 180.68

CFU/100 ml มีความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์มาก จึงควรศึกษาข้อมูล โดยเปรียบเทียบร้อยละของความแตกต่างของข้อมูลในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างน้ำ ซึ่งจะได้ค่าที่เหมาะสมยิ่งขึ้น

1.5 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis)

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลาย (DO) ที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2Kw โดยทำการปรับเพิ่มหรือลดค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของพารามิเตอร์ โดยศึกษาพารามิเตอร์ที่ได้ในขั้นตอนการปรับเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ Depth Coefficient, Depth Exponent, Velocity Coefficient, Velocity Exponent, Headwater Flow $K_d(20)$, และ K_{dc} ได้ผลการศึกษาดังนี้

ตารางที่ 33 ผลการศึกษา Sensitivity Analysis โดยการปรับเพิ่มหรือลดค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ Depth Coefficient ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

ลำดับ	ระยะทาง (km)	DO (mg/l) Calibration	เพิ่มค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ			ลดค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ		
			Depth Coefficient			Depth Coefficient		
			DO (mg/l)	ร้อยละ ของค่า DO ที่ เปลี่ยน แปลง	โดยรวม (ร้อยละ)	DO (mg/l)	ร้อยละ ของค่า DO ที่ เปลี่ยน แปลง	โดยรวม (ร้อยละ)
1	0.00	5.2700	5.2700	0.0000	5.6665	5.2700	0.0000	10.7217
2	16.53	3.9248	4.3405	10.5908		3.2202	17.9539	
3	43.04	6.8115	6.9067	1.3974		6.6202	2.8084	
4	92.42	3.9949	4.5663	14.3028		2.9484	26.1977	
5	183.93	5.6985	6.0650	6.4315		4.9368	13.3660	
6	281.49	6.4188	6.6416	3.4716		5.9462	7.3630	
7	326.94	6.4188	6.6416	3.4716		5.9462	7.3630	

จากผลการศึกษา Sensitivity Analysis โดยการปรับเพิ่มค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ Depth Coefficient ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำ (DO) พบว่า หลังการปรับเพิ่มค่า Depth Coefficient ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำเปลี่ยนแปลงไปโดยรวมร้อยละ 5.6665 หรือการปรับลดค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ Depth Coefficient ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำ (DO) พบว่า หลังการปรับลดค่า Depth Coefficient ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำเปลี่ยนแปลงไปโดยรวมร้อยละ 10.7217

ตารางที่ 34 ผลการศึกษา Sensitivity Analysis โดยการปรับเพิ่มหรือลดค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ Depth Exponent ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

ลำดับ	ระยะทาง (km)	DO (mg/l) Calibration	เพิ่มค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ Depth Exponent			ลดค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ Depth Exponent		
			DO	ร้อยละ	โดยรวม	DO	ร้อยละ	โดยรวม
			(mg/l)	ของค่า DO ที่ เปลี่ยน แปลง	(ร้อยละ)	(mg/l)	ของค่า DO ที่ เปลี่ยน แปลง	(ร้อยละ)
1	0.00	5.2700	5.2700	0.0000	0.7188	5.2700	0.0000	0.7896
2	16.53	3.9248	3.9322	0.1864		3.9175	-0.1873	
3	43.04	6.8115	6.8153	0.0549		6.8076	-0.0572	
4	92.42	3.9949	4.1678	4.3268		3.8026	-4.8138	
5	183.93	5.6985	5.6988	0.0058		5.6972	-0.0234	
6	281.49	6.4188	6.4041	0.2288		6.4331	0.2227	
7	326.94	6.4188	6.4041	0.2288		6.4331	0.2227	

จากผลการศึกษา Sensitivity Analysis โดยการปรับเพิ่มค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ Depth Exponent ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำ (DO) พบว่า หลังการปรับเพิ่มค่า Depth Exponent ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำเปลี่ยนแปลงไปโดยรวมร้อยละ 0.7188 หรือการปรับลดค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ Depth Exponent ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำ (DO) พบว่า หลังการปรับลดค่า Depth Exponent ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำเปลี่ยนแปลงไปโดยรวมร้อยละ 0.7896

ตารางที่ 35 ผลการศึกษา Sensitivity Analysis โดยการปรับเพิ่มหรือลดค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ Velocity Coefficient ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

ลำดับ	ระยะทาง (km)	DO (mg/l) Calibration	เพิ่มค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ Velocity Coefficient			ลดค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ Velocity Coefficient		
			DO	ร้อยละ	โดยรวม	DO	ร้อยละ	โดยรวม
			(mg/l)	ของค่า DO ที่ เปลี่ยน แปลง	(ร้อยละ)	(mg/l)	ของค่า DO ที่ เปลี่ยน แปลง	(ร้อยละ)
1	0.00	5.2700	5.2700	0.0000	0.3997	5.2700	0.0000	0.4153
2	16.53	3.9248	4.0022	1.9715		3.8432	2.0807	
3	43.04	6.8115	6.8025	0.1324		6.8203	0.1288	
4	92.42	3.9949	4.0107	0.3934		3.9794	0.3891	
5	183.93	5.6985	5.6877	0.1905		5.7098	0.1987	
6	281.49	6.4188	6.4153	0.0552		6.4223	0.0550	
7	326.94	6.4188	6.4153	0.0552		6.4223	0.0550	

จากผลการศึกษา Sensitivity Analysis โดยการปรับเพิ่มค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ Velocity Coefficient ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำ (DO) พบว่า หลังการปรับเพิ่มค่า Velocity Coefficient ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำเปลี่ยนแปลงไปโดยรวมร้อยละ 0.3997หรือการปรับลดค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ Velocity Coefficient ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำ (DO) พบว่า หลังการปรับลดค่า Velocity Coefficient ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำเปลี่ยนแปลงไปโดยรวมร้อยละ 0.4153

ตารางที่ 36 ผลการศึกษา Sensitivity Analysis โดยการปรับเพิ่มหรือลดค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ Velocity Exponent ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

ลำดับ	ระยะทาง (km)	DO (mg/l) Calibration	เพิ่มค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ			ลดค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ		
			Velocity Exponent			Velocity Exponent		
			DO (mg/l)	ร้อยละ ของค่า DO ที่ เปลี่ยน แปลง	โดยรวม (ร้อยละ)	DO (mg/l)	ร้อยละ ของค่า DO ที่ เปลี่ยน แปลง	โดยรวม (ร้อยละ)
1	0.00	5.2700	5.2700	0.0000	0.0996	5.2700	0.0000	0.0929
2	16.53	3.9248	3.9386	0.3496		3.9115	0.3410	
3	43.04	6.8115	6.8101	0.0210		6.8129	0.0203	
4	92.42	3.9949	4.0065	0.2896		3.9848	0.2529	
5	183.93	5.6985	5.6999	0.0246		5.6972	0.0234	
6	281.49	6.4188	6.4192	0.0062		6.4184	0.0064	
7	326.94	6.4188	6.4192	0.0062		6.4184	0.0064	

จากผลการศึกษา Sensitivity Analysis โดยการปรับเพิ่มค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ Velocity Exponent ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำ (DO) พบว่า หลังการปรับเพิ่มค่า Velocity Exponent ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำเปลี่ยนแปลงไปโดยรวมร้อยละ 0.0996 หรือการปรับลดค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ Velocity Exponent ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำ (DO) พบว่า หลังการปรับลดค่า Velocity Exponent ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำเปลี่ยนแปลงไปโดยรวมร้อยละ 0.0929



ตารางที่ 37 ผลการศึกษา Sensitivity Analysis โดยการปรับเพิ่มหรือลดค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ Headwater Flow ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

ลำดับ	ระยะทาง (km)	DO (mg/l) Calibration	เพิ่มค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ Headwater Flow			ลดค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ Headwater Flow		
			DO (mg/l)	ร้อยละ ของค่า DO ที่ เปลี่ยน แปลง	โดยรวม (ร้อยละ)	DO (mg/l)	ร้อยละ ของค่า DO ที่ เปลี่ยน แปลง	โดยรวม (ร้อยละ)
			1	0.00	5.2700	5.2700	0.0000	1.4676
2	16.53	3.9248	3.9982	1.8705		3.8376	2.2220	
3	43.04	6.8115	6.8228	0.1649		6.7911	0.3006	
4	92.42	3.9949	4.0936	2.4696		3.8811	2.8491	
5	183.93	5.6985	5.8466	2.5996		5.4521	4.3245	
6	281.49	6.4188	6.5205	1.5842		6.2372	2.8286	
7	326.94	6.4188	6.5205	1.5842		6.2372	2.8286	

จากผลการศึกษา Sensitivity Analysis โดยการปรับเพิ่มค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ Headwater Flow ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำ (DO) พบว่า หลังการปรับเพิ่มค่า Headwater Flow ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำเปลี่ยนแปลงไปโดยรวมร้อยละ 1.4676 หรือ การปรับลดค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ Headwater Flow ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำ (DO) พบว่า หลังการปรับลดค่า Headwater Flow ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำเปลี่ยนแปลงไปโดยรวมร้อยละ 2.1933

ตารางที่ 38 ผลการศึกษา Sensitivity Analysis โดยการปรับเพิ่มหรือลดค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ $K_a(20)$ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

ลำดับ	ระยะทาง (km)	DO (mg/l) Calibration	เพิ่มค่าตัวแปรร้อยละ 20			ลดค่าตัวแปรร้อยละ 20		
			ของ $K_a(20)$			ของ $K_a(20)$		
			DO (mg/l)	ร้อยละ ของค่า DO ที่ เปลี่ยน แปลง	โดยรวม (ร้อยละ)	DO (mg/l)	ร้อยละ ของค่า DO ที่ เปลี่ยน แปลง	โดยรวม (ร้อยละ)
1	0.00	5.2700	5.2700	0.0000	9.1986	5.2700	0.0000	13.6287
2	16.53	3.9248	4.5529	16.0029		3.1441	19.8926	
3	43.04	6.8115	7.0038	2.8234		6.4740	4.9557	
4	92.42	3.9949	4.8171	20.5800		2.8883	27.7017	
5	183.93	5.6985	6.3312	11.1025		4.6690	18.0657	
6	281.49	6.4188	6.8643	6.9407		5.6233	12.3927	
7	326.94	6.4188	6.8643	6.9407		5.6233	12.3927	

จากผลการศึกษา Sensitivity Analysis โดยการปรับเพิ่มค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ $K_a(20)$ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำ (DO) พบว่า หลังการปรับเพิ่มค่า $K_a(20)$ ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำเปลี่ยนแปลงไปโดยรวมร้อยละ 9.1986 หรือการปรับลดค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ $K_a(20)$ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำ (DO) พบว่า หลังการปรับลดค่า $K_a(20)$ ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำเปลี่ยนแปลงไปโดยรวมร้อยละ 13.6287

ตารางที่ 39 ผลการศึกษา Sensitivity Analysis โดยการปรับเพิ่มหรือลดค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ K_{dc} ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

ลำดับ	ระยะทาง (km)	DO (mg/l) Calibration	เพิ่มค่าตัวแปรร้อยละ 20			ลดค่าตัวแปรร้อยละ 20		
			ของ K_{dc}			ของ K_{dc}		
			DO (mg/l)	ร้อยละ ของค่า DO ที่ เปลี่ยน แปลง	โดยรวม (ร้อยละ)	DO (mg/l)	ร้อยละ ของค่า DO ที่ เปลี่ยน แปลง	โดยรวม (ร้อยละ)
1	0.00	5.2700	5.2700	0.0000	1.0714	5.2700	0.0000	1.4419
2	16.53	3.9248	3.8286	2.4509		4.0473	3.1205	
3	43.04	6.8115	6.7961	0.2260		6.8407	0.4286	
4	92.42	3.9949	3.9002	2.3723		4.1139	2.9774	
5	183.93	5.6985	5.6329	1.1516		5.7878	1.5675	
6	281.49	6.4188	6.3771	0.6495		6.4830	0.9997	
7	326.94	6.4188	6.3771	0.6495		6.4830	0.9997	

จากผลการศึกษา Sensitivity Analysis โดยการปรับเพิ่มค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ K_{dc} ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำ (DO) พบว่า หลังการปรับเพิ่มค่า K_{dc} ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำเปลี่ยนแปลงไปโดยรวมร้อยละ 1.0714 หรือการปรับลดค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของ K_{dc} ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำ (DO) พบว่า หลังการปรับลดค่า K_{dc} ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำเปลี่ยนแปลงไปโดยรวมร้อยละ 1.4419

ตารางที่ 40 ลำดับผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) โดยการปรับเพิ่มหรือลดค่าตัวแปรร้อยละ 20 ของพารามิเตอร์

ลำดับที่	พารามิเตอร์	ร้อยละของค่า DO ที่เปลี่ยนแปลงโดยรวม	
		เพิ่มค่าตัวแปรร้อยละ 20	ลดค่าตัวแปรร้อยละ 20
1	Reaeration Rate ($K_a(20)$)	9.1986	13.6287
2	Depth Coefficient	5.6665	10.7217
3	Headwater Flow	1.4676	2.1933
4	The Temperature – Dependent Fast CBOD Hydrolysis Rate (K_{dc})	1.0174	1.4419
5	Depth Exponent	0.7188	0.7896
6	Velocity Coefficient	0.3997	0.4153
7	Velocity Exponent	0.0996	0.0929

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวจากตัวแปรของแบบจำลองคุณภาพน้ำแม่น้ำ โดย การเพิ่มหรือลดค่าตัวแปรร้อยละ 20 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การเติมอากาศในแหล่งน้ำ และค่า สัมประสิทธิ์ Coefficients ของความลึกของน้ำ มีค่าความอ่อนไหวต่อแบบจำลองในระดับสูง ดังนั้น จึงควรทำการแก้ไขค่าดังกล่าว ให้มีค่าถูกต้องตรงตามข้อมูลที่ได้มากที่สุด

2. ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2Kw

ในการศึกษาครั้งนี้ได้เก็บข้อมูลคุณภาพน้ำในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553 เพื่อเป็นตัวแทนของ คุณภาพน้ำในช่วงภาวะน้ำวิกฤตมาใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ QUAL2Kw เนื่องจากภาวะน้ำวิกฤตเป็นช่วงที่มีปริมาณน้ำในแม่น้ำต่ำ ค่าความเข้มข้น ของมลพิษในแม่น้ำมีค่าสูง โดยข้อมูลอัตราการไหลของน้ำที่ต้นน้ำในเวลาดังกล่าว ได้จาก สำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น โดยใช้ข้อมูลมลพิษที่ลงสู่แหล่งน้ำซึ่งเป็นข้อมูล เดียวกับที่ใช้ในขั้นตอนการปรับเทียบแบบจำลองในช่วงภาวะน้ำวิกฤติ

2.1 ลักษณะทางชลศาสตร์

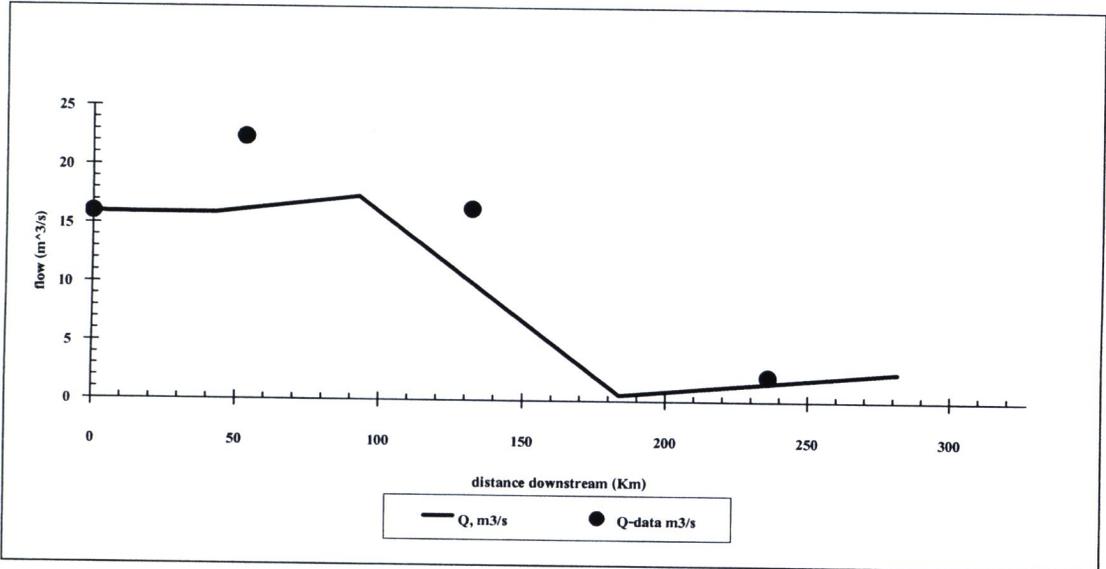
ในการจำลองการไหลของน้ำในวันดังกล่าวได้ใช้ข้อมูลอัตราการไหลที่ต้นน้ำจากสถานีตรวจวัดระดับน้ำและปริมาณน้ำ E5 บ้านโนนเปลือย ตำบลตลาดเรียง อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ ของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น ส่วนข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบลักษณะการไหลของน้ำได้จากสถานีตรวจวัดระดับและปริมาณน้ำ ได้แก่ E5 บ้านโนนเปลือย ตำบลตลาดเรียง อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ E23 บ้านค่าย เทศบาลตำบลบ้านค่ายหมีน้ําแล้ว อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ E21 บ้านชัยเจริญ ตำบลลาดใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ และ E9 บ้านโจด ตำบลกุดเค้า อำเภอมัธยาศีรี จังหวัดขอนแก่น ดังตารางที่ 41

ตารางที่ 41 ข้อมูลลักษณะการไหลของน้ำของสถานีตรวจวัดระดับน้ำและปริมาณน้ำของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553

สถานี	ระดับน้ำ (m)	ปริมาตรน้ำ (m ³ /s)
E5	4.63	16.00
E23	4.12	22.40
E21	2.58	16.32
E9	1.61	2.10

2.1.1 อัตราการไหลของน้ำแม่น้ำชี

อัตราการไหลของน้ำแม่น้ำชีในช่วงภาวะน้ำวิกฤตจากการคำนวณโดยแบบจำลอง QUAL2Kw อยู่ในช่วง 0.5-17.36 m³/s โดยเปรียบเทียบกับค่าจริงของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553 พบว่า ค่าจากการคำนวณโดยแบบจำลองกับค่าจากการวัดจริงมีความใกล้เคียงกัน ค่า $R^2 = 0.8559$ ดังภาพที่ 29



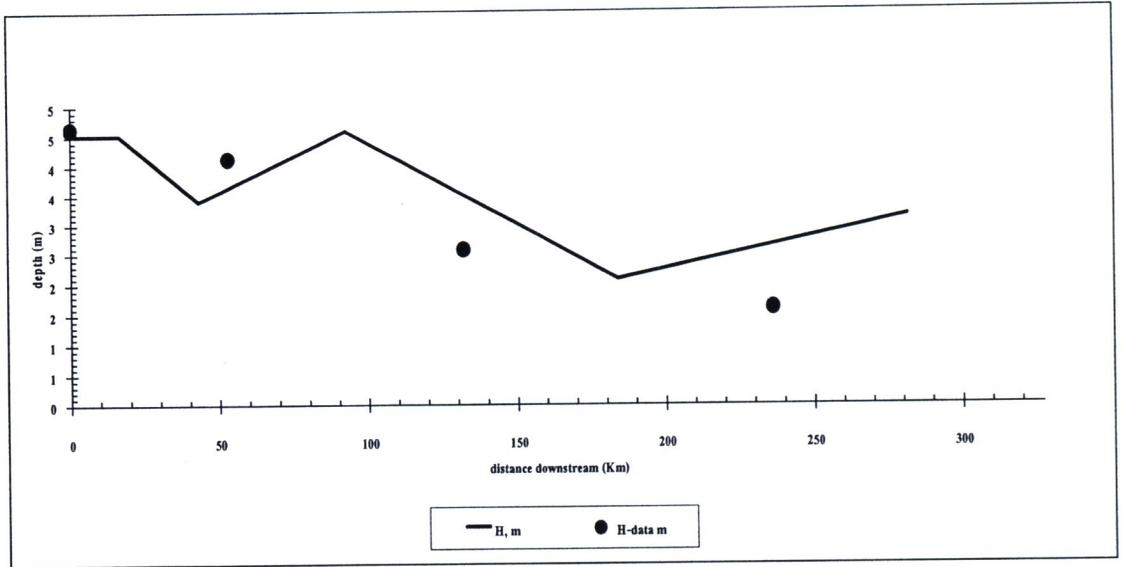
ภาพที่ 29 อัตราการไหลของน้ำจากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับข้อมูลของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553

ตารางที่ 42 ร้อยละของความแตกต่างอัตราการไหลของน้ำจากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับข้อมูลของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553

Distance (km)	อัตราการไหลของน้ำ (m ³ /s)		ร้อยละของความแตกต่าง	ร้อยละของความแตกต่างโดยรวม
	Simulate	Measured		
0	16.00	16.000	0.00	
53.02	16.22	22.400	27.60	
131.82	10.10	16.320	38.10	23.01
236.03	1.55	2.100	26.35	

2.1.2 ระดับน้ำของแม่น้ำชี

ระดับน้ำของแม่น้ำชีในช่วงภาวะน้ำวิกฤตจากการคำนวณโดยแบบจำลอง QUAL2Kw อยู่ในช่วง 2.08-4.91 m โดยเปรียบเทียบกับค่าจริงของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553 พบว่า ค่าจากการคำนวณโดยแบบจำลองกับค่าจากการวัดจริงมีความใกล้เคียงกัน ค่า $R^2 = 0.83771$ ดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 ระดับน้ำจากแบบจำลอง QUAL2Kw ปรับเทียบกับข้อมูลของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553

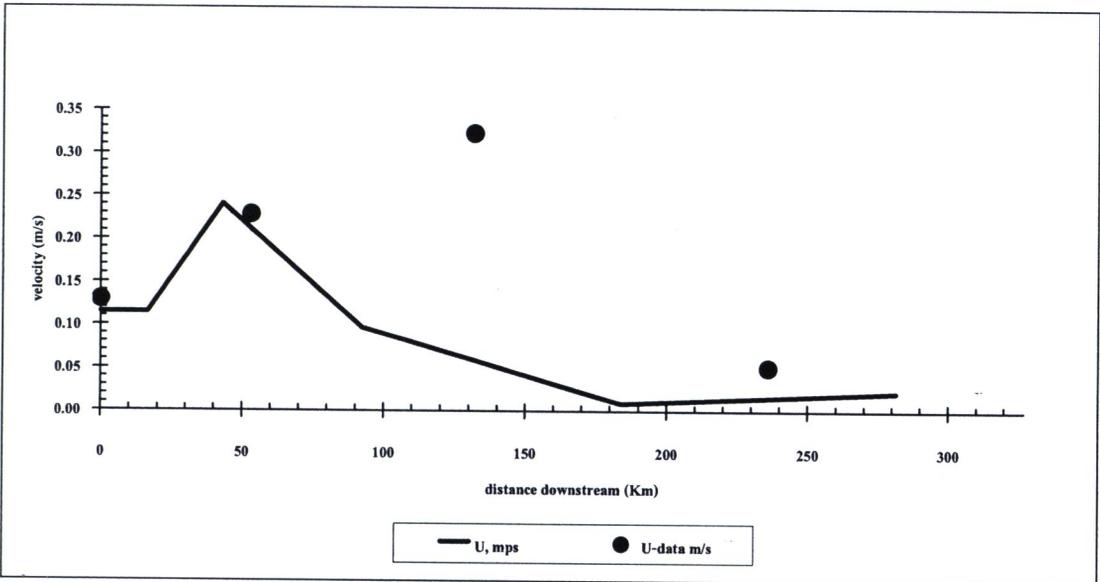
ตารางที่ 43 ร้อยละของความแตกต่างระดับน้ำจากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับข้อมูลระดับน้ำของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553

Distance (km)	ระดับน้ำ (m)		ร้อยละของความแตกต่าง	ร้อยละของความแตกต่างโดยรวม
	Simulate	Measured		
0	4.52	4.630	2.34	
53.02	3.64	4.120	11.54	28.61
131.82	3.51	2.580	35.98	
236.03	2.65	1.610	64.56	

2.1.3 ความเร็วของกระแสน้ำ

ความเร็วของกระแสน้ำแม่น้ำชี ในช่วงภาวะน้ำวิกฤตจากการคำนวณโดยแบบจำลอง QUAL2Kw อยู่ในช่วง 0.01-0.24 m/s โดยปรับเทียบกับค่าจริงของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553 พบว่า ค่าจากการคำนวณโดยแบบจำลองกับค่าจากการวัดจริงของสถานีตรวจวัดระดับน้ำและปริมาณน้ำ E5 E23 และ E9 มีความใกล้เคียงกัน ส่วนสถานีตรวจวัดระดับน้ำและปริมาณน้ำ E21 มีความแตกต่างกันมาก เนื่องจาก

ช่วงเวลาที่ศึกษาเป็นเวลาที่ต่อเนื่องจากสภาพปัญหาหน้าแห่งขาดตอนเป็นช่วงๆ และเริ่มมีอัตราการไหลของน้ำจากต้นน้ำ และมีปริมาณน้ำไหลเข้าแม่น้ำชีจากเขื่อนลำปะทาว จังหวัดชัยภูมิ ทำให้สถานี E21 มีอัตราการไหลของน้ำมากขึ้นเมื่อเทียบกับสถานี E5 และ E23 และอัตราการไหลของน้ำของสถานี E9 มีอัตราการไหลที่ต่ำเมื่อเทียบกับสถานี E23 เนื่องจากช่วงระยะเวลาที่น้ำไหลผ่านตามพื้นที่หน้าตัดลำน้ำใช้เวลานานในการเคลื่อนที่จากต้นน้ำไปท้ายน้ำ ดังภาพที่ 31



ภาพที่ 31 ความเร็วของกระแสน้ำจากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับข้อมูลของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553

ตารางที่ 44 ร้อยละของความแตกต่างของความเร็วของกระแสน้ำจากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับข้อมูลของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553

Distance (km)	ความเร็วของกระแสน้ำ (m/s)		ร้อยละของความแตกต่าง	ร้อยละของความแตกต่างโดยรวม
	Simulate	Measured		
0	0.11	0.130	11.40	
53.02	0.21	0.228	7.30	
131.82	0.06	0.323	81.82	42.29
236.03	0.02	0.051	68.66	

จากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง QUAL2Kw ในการคำนวณลักษณะการไหลของน้ำนั้นได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ Coefficients และค่า Exponent จากการปรับเทียบแบบจำลอง ซึ่งผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณกับค่าจากการวัดจริงของสำนักงานชลประทานที่ 6 จังหวัดขอนแก่น ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553 พบว่า อัตราการไหลของน้ำ ระดับน้ำของแม่น้ำ ความเร็วของกระแสน้ำ มีความใกล้เคียงกัน โดยพิจารณาจากความแตกต่างโดยรวมร้อยละ 23.01, 28.61 และ 42.29 ตามลำดับ

2.2 คุณภาพน้ำจากการออกภาคสนาม

ข้อมูลคุณภาพน้ำที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง QUAL2Kw ในครั้งนี้ได้ใช้ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำในการออกภาคสนาม ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553 โดยจุดเก็บตัวอย่างน้ำที่ 1 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่บ้านโนนเปลือย ตำบลตลาดแร้ง อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ เป็นค่าคุณภาพน้ำที่ต้นน้ำ ส่วนจุดเก็บตัวอย่างน้ำที่ 2-7 ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ซึ่งผลจากการตรวจวัดคุณภาพน้ำในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553 ดังตารางที่ 43

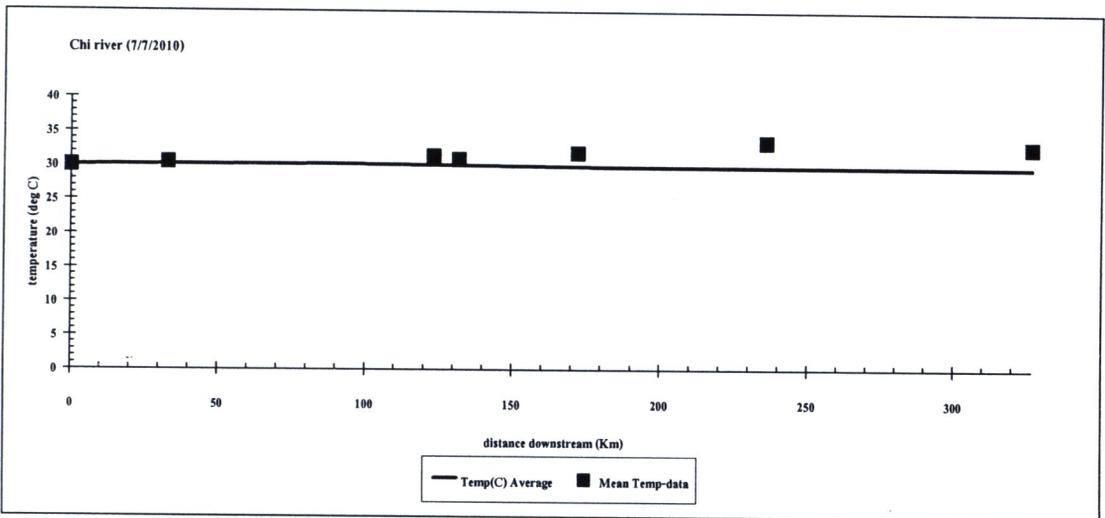
ตารางที่ 45 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำภาคสนาม และห้องปฏิบัติการ ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553

จุดเก็บ	Temperature (°C)	pH	Conductivity (µs/cm)	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	FCB (CFU/100ml)
1	30.00	7.63	119.00	7.40	2.97	240.13
2	30.50	7.57	175.67	4.6	2.27	107.30
3	31.50	7.67	230.00	-	1.88	89.18
4	31.00	7.83	217.67	5.2	2.15	83.06
5	32.00	7.97	417.67	-	2.08	288.40
6	33.67	8.63	1,586.67	5.7	3.52	25.74
7	33.67	8.97	440.67	6	1.75	24.56

2.3 คุณภาพน้ำ

2.3.1 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิของแม่น้ำชีในช่วงภาวะน้ำวิกฤต จากการคำนวณโดยแบบจำลอง QUAL2Kw อยู่ในช่วง 29.98-30.25 °C โดยปรับเทียบกับค่าจากการออกภาคสนาม อยู่ในช่วง 30.00-33.67 °C พบว่า ค่าจากการคำนวณกับค่าจากการออกภาคสนามมีความใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 32



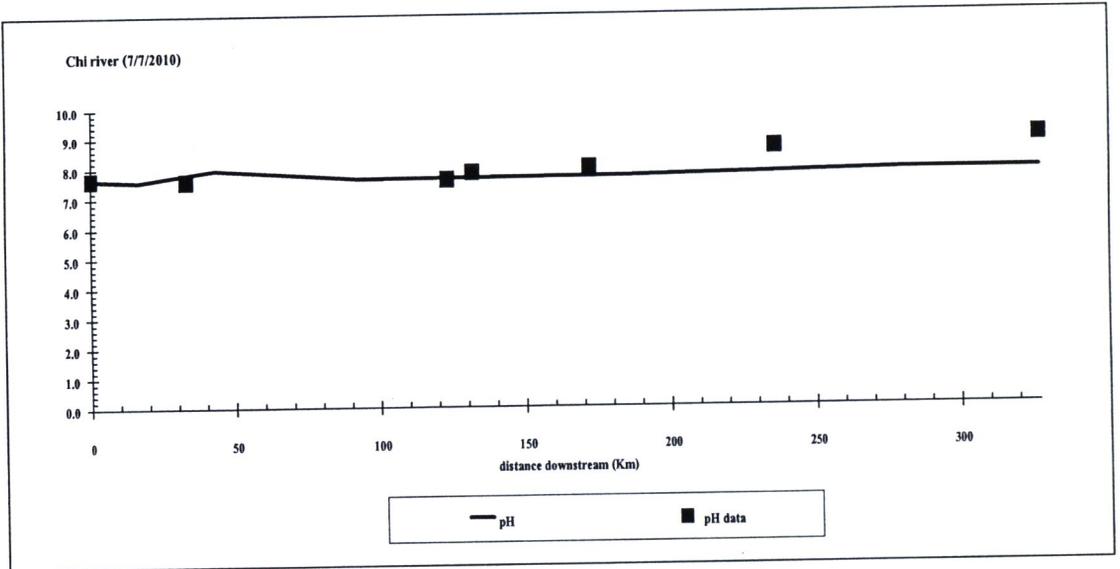
ภาพที่ 32 อุณหภูมิของแม่น้ำชีจากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับการออกภาคสนาม ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553

ตารางที่ 46 ร้อยละของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของแม่น้ำชีจากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับการออกภาคสนาม ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553

จุดเก็บที่	Temperature (°C)		ร้อยละของความแตกต่าง	ร้อยละของความแตกต่างโดยรวม
	Simulate	Measured		
1	30.00	30.00	0.00	
2	30.21	30.50	0.96	
3	30.01	31.50	4.74	
4	30.00	31.00	3.22	5.04
5	29.99	32.00	6.27	
6	29.99	33.67	10.92	
7	29.98	33.00	9.14	

2.3.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่างของแม่น้ำชี ในช่วงภาวะน้ำวิกฤต จากการคำนวณโดยแบบจำลอง QUAL2Kw อยู่ในช่วง 7.56 – 7.96 โดยปรับเทียบกับค่าจากการออกภาคสนาม ความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.57 – 8.97 พบว่า ค่าจากการคำนวณกับค่าจากการออกภาคสนามมีความใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 33



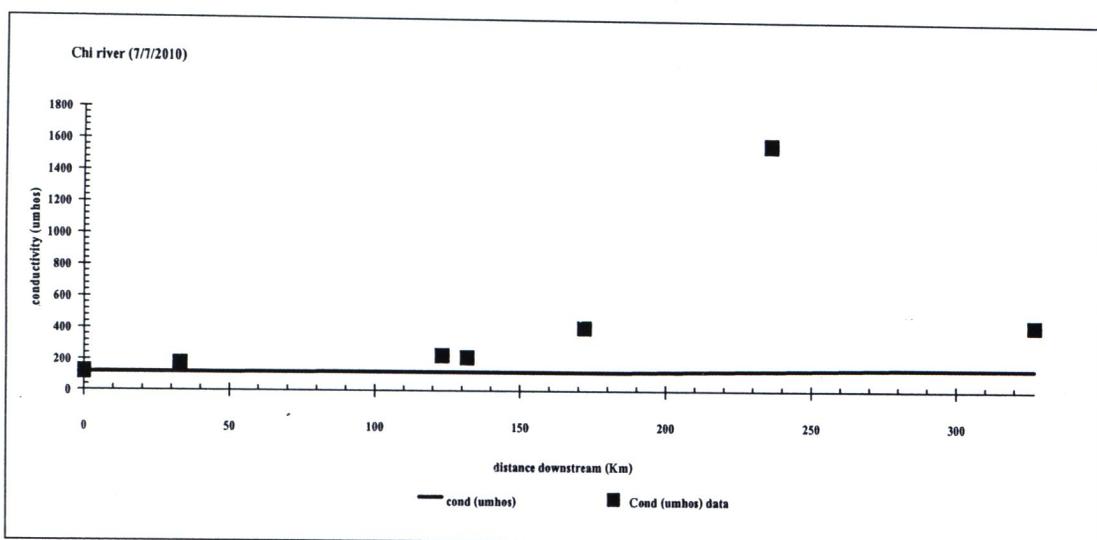
ภาพที่ 33 ค่าความเป็นกรด-ด่างของแม่น้ำชีจากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับการออกภาคสนาม ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553

ตารางที่ 47 ร้อยละของความแตกต่างระหว่างความเป็นกรด-ด่าง จากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับการออกภาคสนามในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553

จุดเก็บที่	pH		ร้อยละของความแตกต่าง	ร้อยละของความแตกต่างโดยรวม
	Simulate	Measured		
1	7.63	7.63	0.00	
2	7.61	7.57	0.54	
3	7.62	7.60	-0.21	
4	7.61	7.83	2.75	4.46
5	7.65	7.97	4.01	
6	7.61	8.63	11.78	
7	7.86	8.97	12.36	

2.3.3 ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)

ค่าการนำไฟฟ้าของแม่น้ำชี ในช่วงภาวะน้ำวิกฤต จากการคำนวณโดยแบบจำลอง QUAL2Kw อยู่ในช่วง 119.00–144.18 $\mu\text{s/cm}$ โดยปรับเทียบกับค่าจากการออกภาคสนามอยู่ในช่วง 119.00–1587.67 $\mu\text{s/cm}$ พบว่า ค่าจากการคำนวณกับค่าจากการออกภาคสนามมีความแตกต่างกัน เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลองจะมีการเปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลเข้าของมลพิษ จะแตกต่างกันไปตามระยะทาง เมื่อนำมาเทียบกับค่าการนำไฟฟ้าจากการออกภาคสนามนาม โดยจุดเก็บตัวอย่างน้ำที่ 5, 6 และ 7 ซึ่งจะมีค่าความเค็ม ค่าการนำไฟฟ้า หรือของแข็งละลายเพิ่มสูงขึ้นกว่าปกติเพราะการแพร่กระจายของเกลือใต้ดินตามลักษณะทางธรณีวิทยาของแหล่งน้ำ (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10, 2551) ดังภาพที่ 34



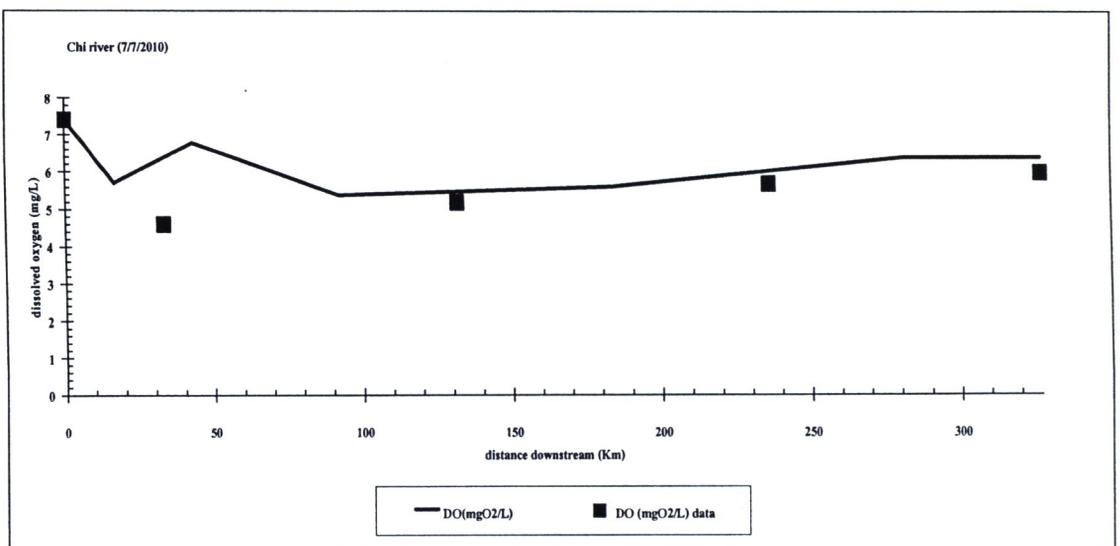
ภาพที่ 34 ค่าการนำไฟฟ้าของแม่น้ำชีจากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับการออกภาคสนาม ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553

ตารางที่ 48 ร้อยละของความแตกต่างระหว่างค่าการนำไฟฟ้า จากแบบจำลอง QUAL2Kw
เปรียบเทียบกับค่าการออกภาคสนาม ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553

จุดเก็บที่	Conductivity ($\mu\text{s/cm}$)		ร้อยละของ ความแตกต่าง	ร้อยละของความ แตกต่างโดยรวม
	Simulate	Measured		
1	119.00	119.00	0.00	
2	120.91	175.67	31.17	
3	120.69	230.00	47.53	
4	117.32	217.67	46.10	51.10
5	114.01	417.67	72.70	
6	112.86	1587.67	92.89	
7	144.18	440.67	67.28	

2.3.4 ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

ออกซิเจนละลายน้ำของแม่น้ำชีในช่วงภาวะน้ำวิกฤตจากการคำนวณโดยแบบจำลอง QUAL2Kw อยู่ในช่วง 5.38 – 7.40 mg/l โดยเปรียบเทียบกับค่าจากการการออกภาคสนามอยู่ในช่วง 4.6-7.40 mg/l พบว่า ค่าจากการคำนวณกับค่าจากการการออกภาคสนามมีความใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 35



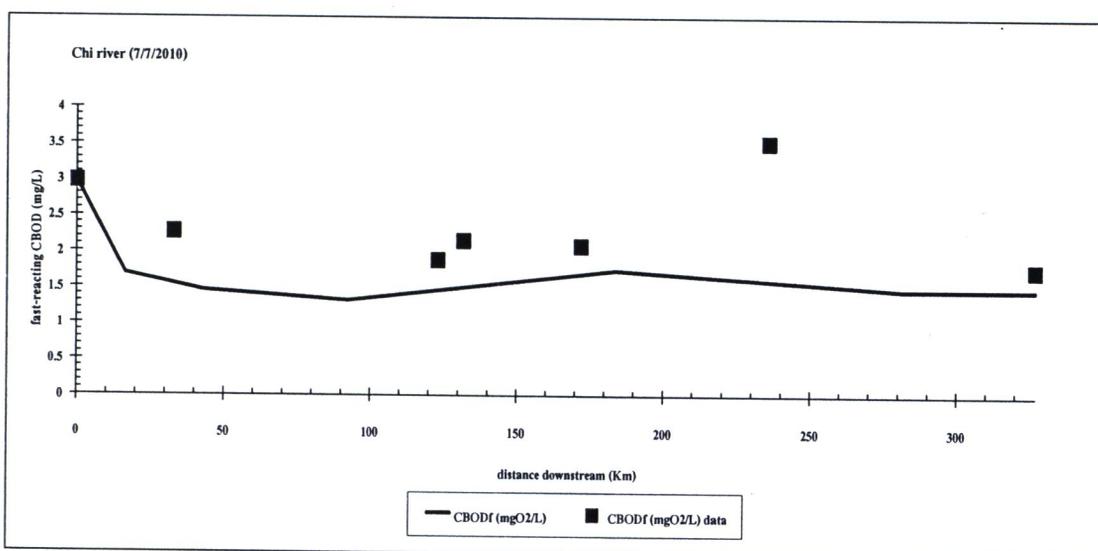
ภาพที่ 35 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำของแม่น้ำชีจากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับการออกภาคสนาม ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553

ตารางที่ 49 ร้อยละของความแตกต่างระหว่างออกซิเจนละลายน้ำจากแบบจำลอง QUAL2Kw
เปรียบเทียบกับผลการออกภาคสนาม ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553

จุดเก็บที่	DO (mg/l)		ร้อยละของความแตกต่าง	ร้อยละของความแตกต่างโดยรวม
	Simulated	Measured		
1	7.40	7.40	0.00	
2	5.50	4.60	19.65	
4	5.20	5.20	0.09	7.00
6	5.22	5.70	8.44	
7	6.41	6.00	6.83	

2.3.5 ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD)

ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี จากการคำนวณโดยแบบจำลอง QUAL2Kw อยู่ในช่วง 1.31 – 2.97 mg/l โดยปรับเทียบกับค่าจากการการออกภาคสนาม อยู่ในช่วง 1.75 – 3.52 mg/l พบว่า ค่าจากการคำนวณกับค่าจากการออกภาคสนามมีความใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 36



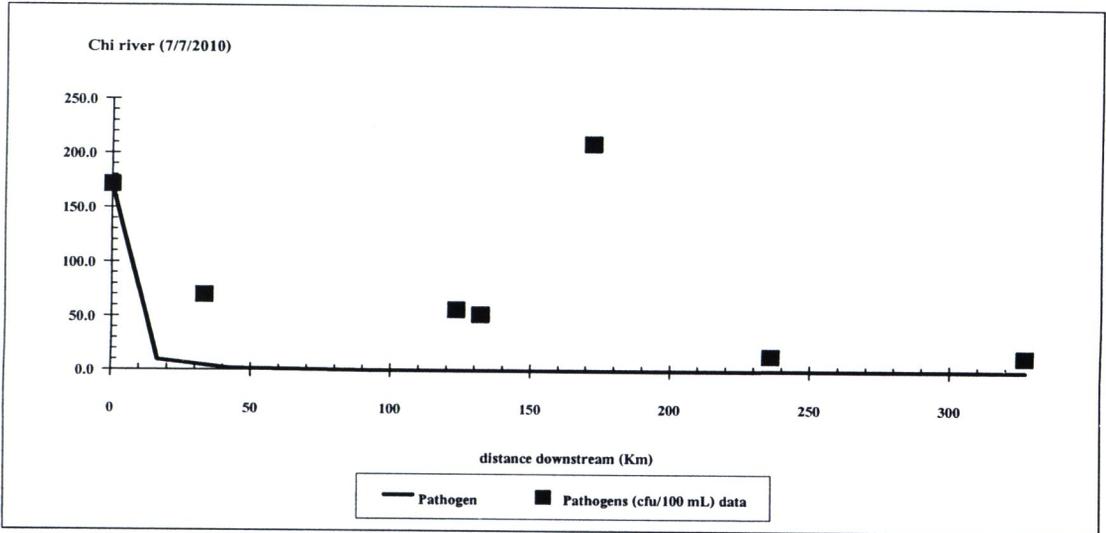
ภาพที่ 36 ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีของแม่น้ำชี จากแบบจำลอง QUAL2Kw
เปรียบเทียบกับผลการออกภาคสนาม ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553

ตารางที่ 50 ร้อยละของความแตกต่างระหว่างปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี จากแบบจำลองQUAL2Kw เปรียบเทียบกับการออกภาคสนาม ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553

จุดเก็บที่	BOD(mg/l)		ร้อยละของความแตกต่าง	ร้อยละของความแตกต่างโดยรวม
	Simulate	Measured		
1	2.97	2.97	0.00	
2	1.46	2.27	35.78	
3	1.90	1.88	1.20	
4	1.93	2.15	10.39	16.73
5	1.88	2.08	9.53	
6	1.96	3.52	44.36	
7	1.47	1.75	15.86	

2.3.6 ปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (FCB)

ปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (FCB) เมื่อทำการเปรียบเทียบจากการคำนวณโดยแบบจำลอง พบว่า ปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (FCB) ของแม่น้ำชี อยู่ในช่วง 0 – 240.13 CFU/100 ml โดยเปรียบเทียบกับค่าจากการการออกภาคสนาม อยู่ในช่วง 25.74 – 288.80 CFU/100 ml พบว่า ค่าจากการคำนวณโดยแบบจำลองกับค่าจากการออกภาคสนามมีความแตกต่างกัน เนื่องจาก ปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (FCB) จะถูกจำลองโดยการลดลงของ Pathogen ที่จะถูกอธิบายด้วยฟังก์ชันของอุณหภูมิ แสงและการตกตะกอน (G.J. Pelletier et al., 2008b) ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองจะมีค่าลดลงจากคุณภาพน้ำของต้นน้ำตามระยะทาง แต่คุณภาพน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำที่ 2 – 7 ยังพบปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าน้ำนั้นเพิ่งมีการปนเปื้อนจากอุจจาระของมนุษย์หรือสัตว์เลื้อยคุ่นจากชุมชนบริเวณริมฝั่งแม่น้ำชิดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบค่าจากการคำนวณโดยแบบจำลองกับค่าจากการออกภาคสนามจึงมีความแตกต่างกันมาก ดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 ปริมาณฟีคัล โคลิฟอร์มแบคทีเรียของแม่น้ำชี จากแบบจำลองQUAL2Kw เปรียบเทียบกับการออกภาคสนาม ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553

ตารางที่ 51 ร้อยละของความแตกต่างระหว่างปริมาณฟีคัล โคลิฟอร์มแบคทีเรีย จากแบบจำลอง QUAL2Kw เปรียบเทียบกับการออกภาคสนาม ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553

จุดเก็บที่	FCB (CFU/100ml)		ร้อยละของความแตกต่าง	ร้อยละของความแตกต่างโดยรวม
	Simulate	Measured		
1	240.13	240.13	0.00	
2	5.014461	107.3	95.33	
3	0.000618	89.18	100.00	
4	0.04561	83.06	99.95	84.76
5	0.110714	288.4	99.96	
6	0.105116	25.74	99.59	
7	0.365742	24.56	98.51	

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าแบบจำลอง QUAL2Kw สามารถประเมินคุณภาพน้ำได้ใกล้เคียงกับค่าคุณภาพน้ำที่ได้จากการออกภาคสนามในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553 โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถประเมินอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ปริมาณความต้องการออกซิเจนทาง

ชีวะเคมี เปรียบเทียบกับการออกภาคสนาม มีความใกล้เคียงกัน โดยพิจารณาจากความแตกต่างโดยรวมร้อยละ 5.04, 4.46, 51.10, 7.00 และ 6.73 ตามลำดับ

2.4 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (RMSE)

ตารางที่ 52 ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (RMSE) ของค่าพยากรณ์กับค่าที่วัดจริง ในการตรวจสอบความถูกต้องแบบจำลอง QUAL2Kw

ลำดับที่	Parameter	หน่วย	ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (RMSE)
1	อัตราการไหลของน้ำ	m ³ /s	4.39
2	ความเร็วของกระแสน้ำ	m/s	0.13
3	ระดับน้ำ	m	1.06
4	ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี	mg/l	0.89
5	ปริมาณออกซิเจนละลาย	mg/l	3.39
6	ค่าการนำไฟฟ้า	μs/cm	571.03
7	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	-	0.64
8	อุณหภูมิ	°C	2.04
9	ปริมาณฟีคัล โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	CFU/100ml	124.05

ผลการตรวจสอบความถูกต้องด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2Kw จากการคำนวณด้วยแบบจำลองกับค่าที่ได้จริงจากการออกภาคสนาม ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2553 โดยค่าความคลาดเคลื่อนของพารามิเตอร์ที่สำคัญ พบว่า RMSE ของอัตราการไหลของน้ำ มีค่าเท่ากับ 4.39 m³/s, RMSE ของความเร็วของกระแสน้ำมีค่าเท่ากับ 0.13 m/s, RMSE ของระดับน้ำ มีค่าเท่ากับ 1.06 m, RMSE ของปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี มีค่าเท่ากับ 0.89 mg/l RMSE, ของออกซิเจนละลายน้ำ มีค่าเท่ากับ 3.39 mg/l, RMSE ของความเป็นกรด-เป็นด่าง มีค่าเท่ากับ 0.64, RMSE ของอุณหภูมิ มีค่าเท่ากับ 2.04 °C มีค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ที่ผู้วิจัยยอมรับได้สามารถที่จะนำไปใช้ในการคาดการณ์คุณภาพน้ำในอนาคตได้ ส่วน ของ RMSE ของค่าการนำไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 571.03 μs/cm RMSE ของปริมาณ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย มีค่าเท่ากับ 124.05 CFU/100 ml ตามลำดับ มีค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์มาก จึงควรศึกษาข้อมูลโดย

เปรียบเทียบร้อยละของความแตกต่างของข้อมูลในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างน้ำ จึงจะสามารถที่จะนำไปใช้ในการคาดการณ์คุณภาพน้ำในอนาคตได้

จากภาพที่ 32 ถึงภาพที่ 37 จะเห็นได้ว่า ค่าคุณภาพน้ำที่ได้จากแบบจำลองกับค่าคุณภาพน้ำที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำในภาคสนามเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-เป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี จึงอาจกล่าวได้ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2Kw ที่ปรับเทียบแล้ว สามารถใช้จำลองค่าคุณภาพน้ำของแม่น้ำชีได้

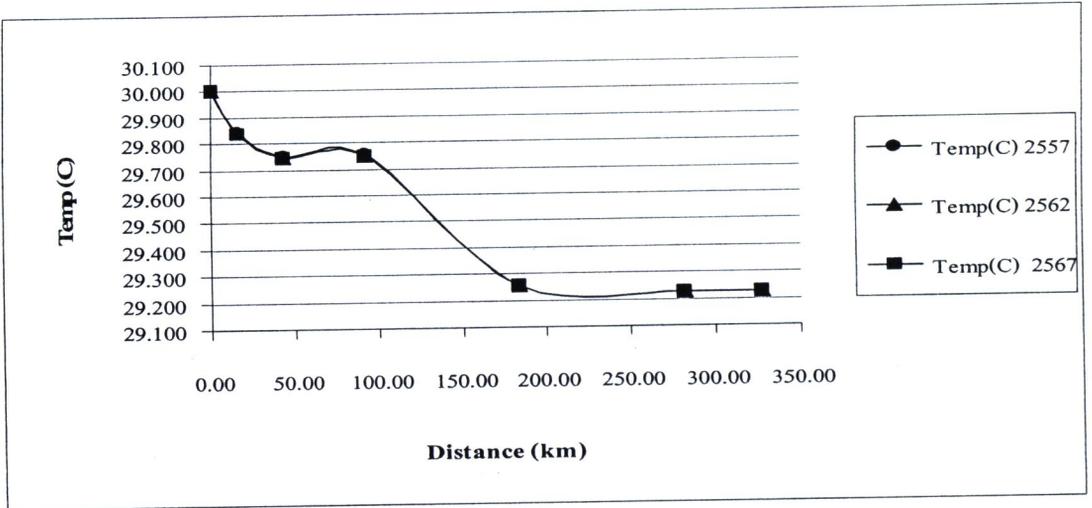
3. ผลการคาดการณ์คุณภาพน้ำในอนาคต

การคาดการณ์คุณภาพน้ำของแม่น้ำชีโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งเป็นค่าเดียวกับค่าที่ผ่านการปรับเทียบมาแล้ว โดยจำลองเหตุการณ์ของแม่น้ำชีในช่วงภาวะน้ำวิกฤตที่มีระดับน้ำและอัตราการไหลของน้ำต่ำสุด และได้รับปริมาณน้ำเสียของชุมชนจากการคาดการณ์จำนวนประชากรในอนาคต ดำเนินการทำนายอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีของแม่น้ำชี โดยจำลองสถานการณ์ดังนี้

การคาดการณ์คุณภาพน้ำแม่น้ำชี ในปี พ.ศ. 2557 ปี พ.ศ. 2562 และ ปี พ.ศ. 2567 ในช่วงภาวะน้ำวิกฤต โดยกำหนดให้ต้นน้ำมีอัตราการไหลของน้ำ $0.33 \text{ m}^3/\text{s}$ ระดับน้ำ 4.06 m ซึ่งเป็นอัตราการไหลของน้ำและระดับน้ำเฉลี่ยต่ำสุดในช่วง 7 วัน โดยใช้ค่าอัตราการไหลของน้ำที่ต่ำสุดในรอบ 10 ปี (พ.ศ. 2541-2551) ใช้ปริมาณน้ำเสียของชุมชนในอนาคต (ภาคผนวก ฉ) จากการคาดการณ์ประชากร (ภาคผนวก ช) และกำหนดคุณภาพน้ำแม่น้ำชีมีคุณภาพไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ซึ่งมีปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี มากกว่า 1.5 mg/l แต่ไม่เกิน 2 mg/l (ภาคผนวก ฉ) ได้ผลการคาดการณ์คุณภาพน้ำ ดังนี้

3.1 อุณหภูมิ (Temperature)

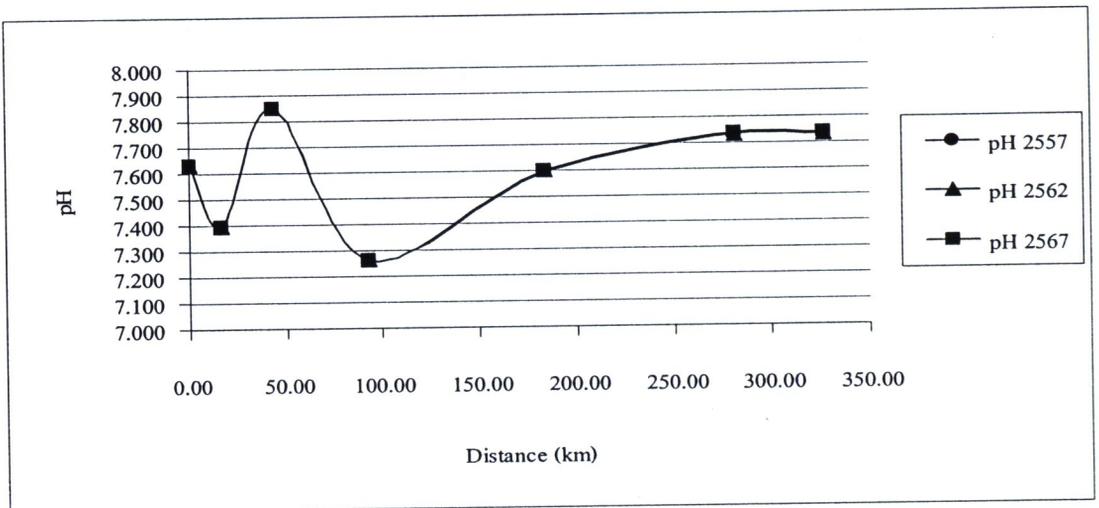
การคาดการณ์อุณหภูมิของแม่น้ำชี โดยการคำนวณจากแบบจำลอง QUAL2Kw พบว่า ปี พ.ศ. 2557 อุณหภูมิอยู่ในช่วง $29.228 - 30.000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ พ.ศ. 2562 อุณหภูมิอยู่ในช่วง $29.227 - 30.000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และพ.ศ. 2567 อุณหภูมิอยู่ในช่วง $29.226 - 30.000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในปี พ.ศ. 2557 พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2567 พบว่า จากการเพิ่มขึ้นของประชากร อุณหภูมิยังคงมีค่าไม่แตกต่างกัน เนื่องจากโดยปกติอุณหภูมิของน้ำตามธรรมชาติจะผันแปรตามอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับฤดูกาล ระดับความสูงและสภาพภูมิประเทศ (นันทนา คชเสนี, 2544) ดังภาพที่ 38



ภาพที่ 38 อุณหภูมิของแม่น้ำชี พ.ศ. 2557 พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2567

3.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

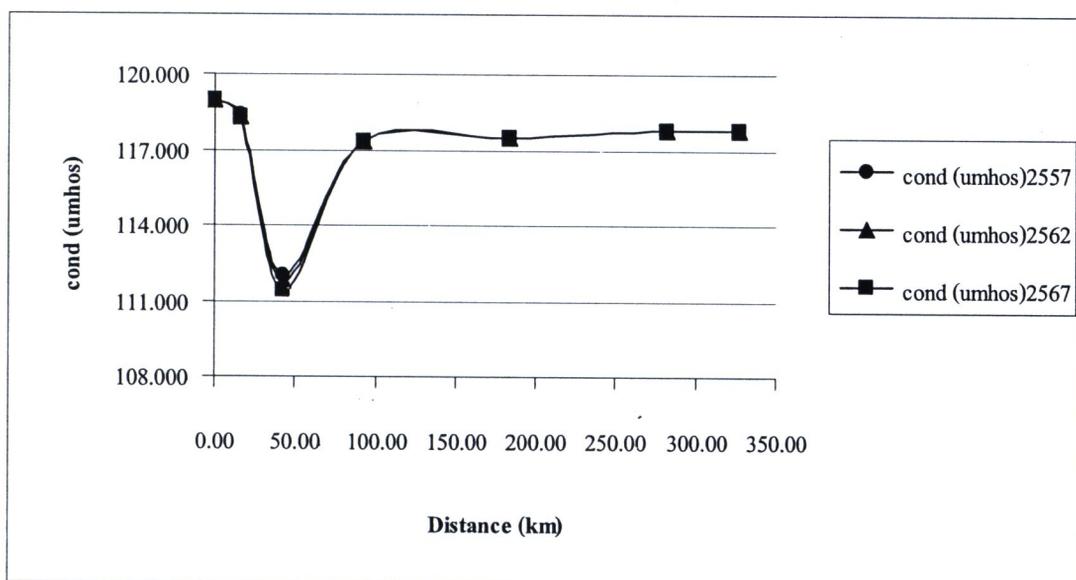
การคาดการณ์ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยการคำนวณจากแบบจำลอง QUAL2Kw พบว่า ปี พ.ศ. 2557 ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.261 – 7.851 พ.ศ. 2562 ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.261 – 7.851 และ พ.ศ. 2567 ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.262–7.851 เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่าง ในปี พ.ศ. 2557 พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2567 พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าไม่แตกต่างกัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างเกิดจาก Inorganic Carbon ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำเสียจากการคาดการณ์ประชากรในอนาคตเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย และขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย (G.J. Pelletier et al., 2008b) ดังภาพที่ 39



ภาพที่ 39 ค่าความเป็นกรด-ด่างของแม่น้ำชี พ.ศ. 2557 พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2567

3.3 ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)

การคาดการณ์ค่าการนำไฟฟ้า โดยการคำนวณจากแบบจำลอง QUAL2Kw พบว่า ปี พ.ศ. 2557 ค่าการนำไฟฟ้า อยู่ในช่วง 112.020 – 119.000 $\mu\text{s/cm}$ พ.ศ. 2562 ค่าการนำไฟฟ้า อยู่ในช่วง 111.781 – 119.000 $\mu\text{s/cm}$ และพ.ศ. 2567 ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 111.376 – 119.000 $\mu\text{s/cm}$ เมื่อเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้า ในปี พ.ศ. 2557 พ.ศ. 2562 และพ.ศ. 2567 พบว่า จากการเพิ่มขึ้นของประชากร ค่าการนำไฟฟ้ายังคงมีค่าไม่แตกต่างกัน เนื่องจากการคาดการณ์จำนวนประชากรและปริมาณน้ำเสียที่คำนวณได้ในอนาคตไม่แตกต่างกัน ทำให้ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้ค่าการนำไฟฟ้าจะเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำจากการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลเข้าของมลพิษสู่แม่น้ำชี (Ali Najah Ahmed et al., 2009) ดังภาพที่ 40

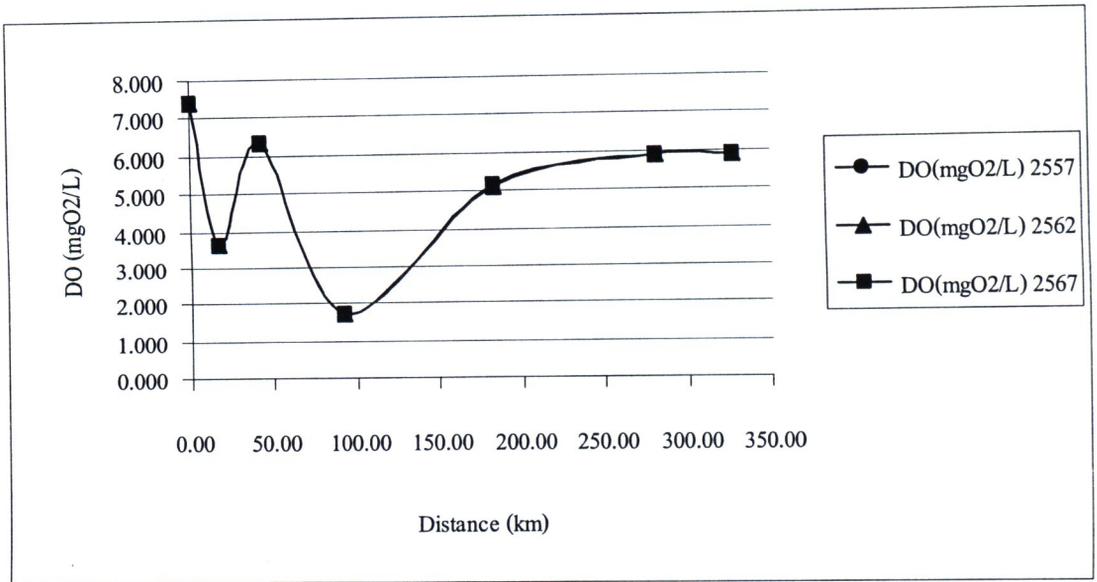


ภาพที่ 40 ค่าการนำไฟฟ้าของแม่น้ำชี พ.ศ. 2557 พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2567

3.4 ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

การคาดการณ์ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ โดยการคำนวณจากแบบจำลอง QUAL2Kw พบว่า ปี พ.ศ. 2557 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 1.711 – 7.400 mg/l พ.ศ. 2562 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 1.719 – 7.400 mg/l และพ.ศ. 2567 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 1.732 – 7.400 mg/l เมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ในปี พ.ศ. 2567 พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2557 พบว่า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าไม่แตกต่างกัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของประชากรในอนาคตริมฝั่งแม่น้ำชีจำนวนน้อย ทั้งนี้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำช่วงกิโลเมตรที่

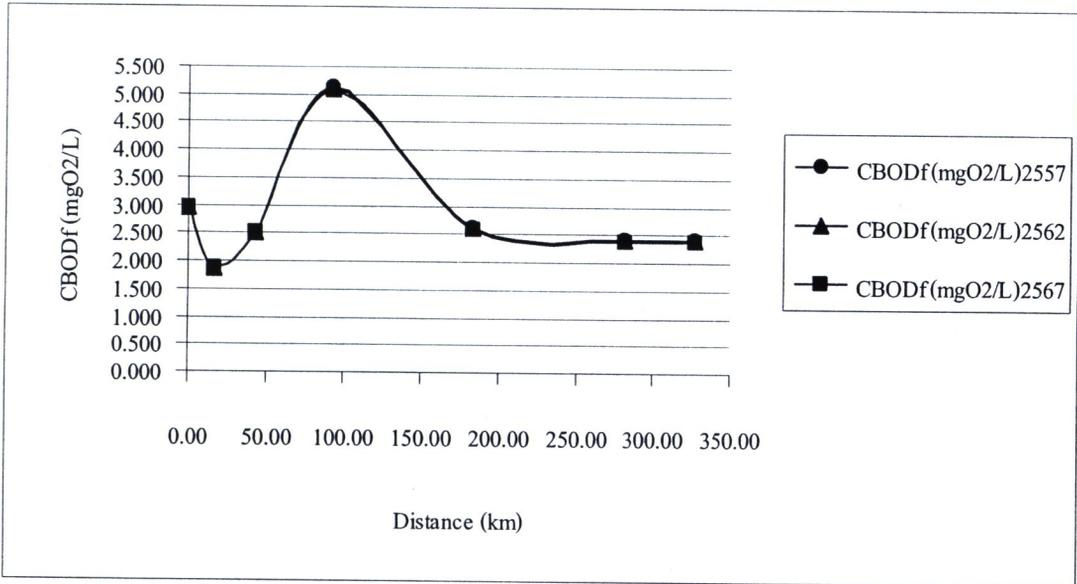
100 ค่อยๆ ลดต่ำลง เนื่องจากเป็นพื้นที่ชุมชนของอำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ ที่มีการปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำชี จากการคาดการณ์โดยแบบจำลอง พบว่า คุณภาพน้ำของแม่น้ำชีจัดเป็นแหล่งน้ำประเภทที่ 3 และ 4 (ภาคผนวก ฉ) ซึ่งยังสามารถเป็นประโยชน์เพื่ออุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ ดังภาพที่ 41



ภาพที่ 41 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำของแม่น้ำชี พ.ศ. 2557 พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2567

3.5 ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD)

ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี จากการคำนวณโดยแบบจำลอง QUAL2Kw พบว่า ปี พ.ศ. 2557 ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี อยู่ในช่วง 1.869 – 5.512 mg/l พ.ศ. 2567 ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี อยู่ในช่วง 1.869 – 5.103 mg/l และปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี อยู่ในช่วง 1.869 – 5.063 mg/l เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี ใน ปี พ.ศ.2557 พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2567 พบว่า ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีมีค่าไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีช่วงกิโลเมตรที่ 100 ค่อยๆ เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นพื้นที่ชุมชนของอำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ ที่มีการปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำชี จากการคาดการณ์โดยแบบจำลอง พบว่า คุณภาพน้ำของแม่น้ำชีจัดเป็นแหล่งน้ำประเภทที่ 3 และ 4 (ภาคผนวก ฉ) ซึ่งยังสามารถเป็นประโยชน์เพื่ออุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ ดังภาพที่ 42



ภาพที่ 42 ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีของแม่น้ำชี พ.ศ. 2557 พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2567

4. ประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษ

การประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษของแม่น้ำชีในแต่ละช่วง โดยแบ่งแม่น้ำชีออกเป็น 5 ช่วง โดยกำหนดให้ต้นน้ำมีอัตราการไหลของน้ำ $0.33 \text{ m}^3/\text{s}$ ระดับน้ำ 4.06 m ซึ่งเป็นอัตราการไหลของน้ำและระดับน้ำเฉลี่ยต่ำสุดในช่วง 7 วัน และกำหนดคุณภาพน้ำแม่น้ำชีมีคุณภาพไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ซึ่งมีปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี มากกว่า 1.5 mg/l แต่ไม่เกิน 2 mg/l แล้วหาค่าความสามารถในการรองรับมลสารของน้ำในรูปของปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีของแม่น้ำชีในช่วงปี พ.ศ. 2557 พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2567

ผลการประเมินความสามารถในการรองรับมลสารในรูปของปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีของแม่น้ำชี โดยการคาดการณ์จากจำนวนประชากรและคุณภาพน้ำในรูปของปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีจากแบบจำลอง QUAL2Kw พบว่า ความสามารถในการรองรับมลสารในช่วงปี พ.ศ. 2557 พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2567 แตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากจำนวนประชากรที่ศึกษาเป็นประชากรริมฝั่งแม่น้ำชี และมีกิจกรรมบางประเภทที่ปล่อยน้ำเสียลงแม่น้ำเสียลงสู่แม่น้ำชี โดยจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นในอนาคตไม่แตกต่างจากปัจจุบันมาก ทำให้ปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากชุมชนไม่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 53

ตารางที่ 53 ความสามารถในการรองรับมลสารในรูปของปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD)

ช่วงที่ศึกษา	ระยะห่างแต่ละช่วง (km)	ความสกปรกในรูปบีโอดี (kg/d)		
		พ.ศ.2557	พ.ศ.2562	พ.ศ.2567
ช่วงที่ 1 สะพานเวชศาสตร์ บ้านโนนน้อย ตำบลกลุ่มลำชี อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ	33.05	536.17	537.66	539.2
ช่วงที่ 2 สะพานข้ามแม่น้ำชีบ้านชัยเจริญ ตำบลลาดใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ	19.97	652.59	660.5	673.92
ช่วงที่ 3 สะพานข้ามแม่น้ำชีบ้านค้าย เทศบาลตำบลบ้านค้ายหมื่นแผ้ว อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ	78.80	1623.59	1647.31	1681.05
ช่วงที่ 4 สะพานข้ามแม่น้ำชีบ้านโจด ตำบลกุดเค้า อำเภอมัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น	104.21	1821.45	1823.93	1849.11
ช่วงที่ 5 สะพานข้ามแม่น้ำชี บ้านท่าพระ ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น	90.91	1450.3	1463.53	1481.23
รวม	326.94	6084.1	6132.93	6224.51