บทที่ 4
การทดสอบแบบจำลอง

แบบจำลองที่จัดสร้างขึ้นเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จัดชุดการคำนวณอย่างสลับซับซ้อน ดังนั้นเพื่อเป็นการมั่นใจว่าแบบจำลองที่จัดสร้างขึ้นสามารถคำนวณได้ถูกต้องตรงกับทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ จำเป็นต้องทำการทดสอบความเที่ยงตรงของแบบจำลองก่อนนำไปประยุกต์ใช้ การทดสอบแบบจำลองจะกระทำโดยเปรียบเทียบ ผลการคำนวณจากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์โดยอินทิเกรต (Direct Integration Results) ของระดับน้ำ อัตราไหล และการเคลื่อนย้ายมวลสารในน้ำ ภายใต้เงื่อนไขแบบง่าย (Simplified Condition) พร้อมทั้งได้ทำการทดสอบอิทธิพลของค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ช่วงเวลาที่ใช้คำนวณและการแบ่งช่วงของลำน้ำ เป็นต้น ซึ่งอาจส่งผลต่อเสถียรภาพและความเที่ยงตรงของแบบจำลองด้วย เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการประยุกต์ใช้ต่อไป นอกจากนี้ยังได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองในสภาพจริงซึ่งจะมีการปรับเทียบแบบจำลองกับข้อมูลภาคสนาม (calibration)

4.1 การทดสอบแบบจำลองกับค่าวิเคราะห์จริง

4.1.1 การทดสอบแบบจำลองเชิงปริมาณ

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบความเที่ยงตรงของผลการคำนวณทั้ง ระดับน้ำและอัตราไหลที่ระยะทางและเวลาใดๆ ซึ่งการไหลมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางและเวลา (unsteady non-uniform flow) ในเงื่อนไขที่ง่ายที่สุด คือ ทางน้ำเปิดหน้าตัดสี่เหลี่ยมพื้นผ้ามีขนาดเท่ากันตลอด ด้านต้นน้ำมีระดับน้ำขึ้นลงตลอดเวลา (tide) ส่วนท้ายน้ำปิด ลำน้ำอยู่ในแนวราบและไม่มีแรงเสียดทานการไหล จากเงื่อนไขนี้สามารถอินทิเกรตสมการต่อเนื่องและสมการโมเมนตัม (สมการ 2-1 และสมการ 2-11) ได้ค่าคำนวณของระดับน้ำ อัตราไหล ที่ระยะทางและเวลาใดๆ ดังสมการ 4-1 และสมการ 4-2 ตามลำดับ ซึ่งค่าคำนวณจากอินทิเกรตนี้ จะถือเป็นค่าวิเคราะห์จริงของสมการพื้นฐาน และจะนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองต่อไป Ghailan (1982) [9]

$$H = \frac{E_0}{\cos\left(\frac{\omega L}{\sqrt{gh_0}}\right)} \cos\left[\frac{\omega L}{\sqrt{gh_0}}\left(1 - \frac{x}{L}\right)\right] \cos(\omega t) + h_0 \qquad \text{.....(4-1)}$$

$$Q = \frac{B E_0 \sqrt{gh_0}}{\cos\left(\frac{\omega L}{\sqrt{gh_0}}\right)} \sin\left[\frac{\omega L}{\sqrt{gh_0}}\left(\frac{x}{L} - 1\right)\right] \sin(\omega t) \qquad \text{.....(4-2)}$$

เมื่อ H = ระดับน้ำที่ระยะทาง x และเวลา t , ม.

Q = อัตราไหลที่ระยะทาง x และเวลา t, ลบ.ม./ว.

E_o = amplitude ของน้ำขึ้นน้ำลงที่ต้นน้ำ, ม.

g = ความเร่งของโลก, ม./ว^2.

ω = angular velocity เท่ากับ $2\pi/T$

T = คาบเวลาของน้ำขึ้นน้ำลง (period), ว.

L = ความยาวของลำน้ำ, ม.

h_o = ความลึกของน้ำเฉลี่ย, ม.

x = ระยะทางจากต้นน้ำ, ม.

t = เวลานับจากเริ่มต้น, ว.

ความเที่ยงตรงของแบบจำลอง สามารถคำนวณได้จากผลแตกต่างระหว่างผลการคำนวณกับค่าวิเคราะห์จริงในทุกตำแหน่งและทุกเวลาที่ทำการคำนวณ ในที่นี้แสดงในรูปค่าผิดพลาดเฉลี่ยรวม ถ้าค่าผิดพลาดน้อยแสดงว่าแบบจำลองมีความเที่ยงตรงมาก ค่าผิดพลาดคำนวณได้ดังสมการ 4-3 ถึงสมการ 4-5

$$E_H = \frac{100}{h_0}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_x}(H_{exact} - H_i)^2}{N_x}} \qquad \text{.....(4-3)}$$

$$E_Q = \frac{100}{A_0\sqrt{gh_0}}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_x}(Q_{exact} - Q_i)^2}{N_x}} \qquad \text{.....(4-4)}$$

$$E_{av} = \frac{1}{N_t}\sum_{i=1}^{N_t} E_i \qquad \text{.....(4-5)}$$

H_{exact}, H_i = ระดับน้ำที่คำนวณจากค่าวิเคราะห์จริง และคำนวณโดยแบบจำลอง, ม.

Q_{exact}, Q_i = อัตราไหลที่คำนวณจากค่าวิเคราะห์จริง และคำนวณโดยแบบจำลอง, ลบ.ม./ว.

E_H, E_Q = ค่าผิดพลาดของการคำนวณระดับน้ำ และอัตราไหลทุกตำแหน่งที่เวลาใดๆ, เปอร์เซนต์

N_x = จำนวนผลการคำนวณทุกตำแหน่ง

E_{av} = ค่าผิดพลาดเฉลี่ยตลอดช่วงการคำนวณ, เปอร์เซนต์

N_t = จำนวนช่วงเวลาของการคำนวณ

E_i = ค่าผิดพลาดของระดับน้ำหรืออัตราไหลที่ timestep ที่ i, เปอร์เซนต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้ (ดูรูป 4-1)

1. ลำน้ำหน้าตัดสี่เหลี่ยมพื้นผ้ากว้าง 3 เมตร ตลอดความยาว 2,000 เมตร ไม่มีแรงเสียดทานการไหล (Manning's "n" = 0) และไม่มีความลาดเอียง (slope = 0)
2. ลักษณะของน้ำขึ้นน้ำลง

   period = 600 วินาที

   amplitude = 0.10 เมตร

   ความลึกของน้ำเฉลี่ย = 3 เมตร
3. Initial Condition

   ระดับน้ำและอัตราไหลที่ตำแหน่งใดๆ คำนวณได้จากสมการ 4-1 และสมการ 4-2 โดยกำหนดให้ t = 0 วินาที
4. Boundary Condition

   ต้นน้ำ กำหนดระดับที่เวลาใดๆ ด้วยสมการ 4-1 โดยกำหนดค่า x = 0 เมตร

   ท้ายน้ำ กำหนดอัตราไหลที่เวลาใดๆ เท่ากับศูนย์ (x = 2,000 ม.)

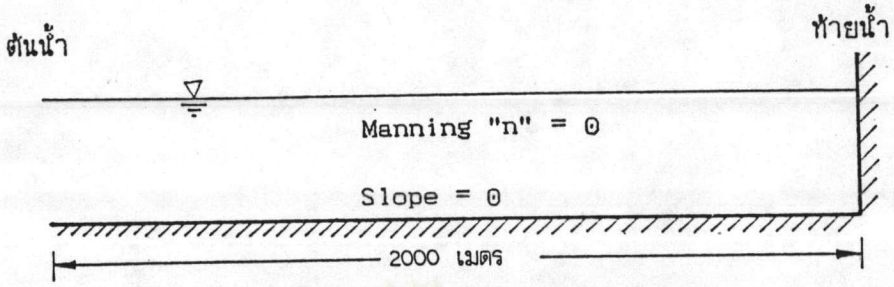
ตัวอย่างผลเปรียบเทียบการคำนวณเชิงปริมาณเทียบกับค่าวิเคราะห์จริง แสดงดังรูป 4-2 และ รูป 4-3

4.1.1.1 การเลือกค่า weighting coefficient, θ ใน time scheme

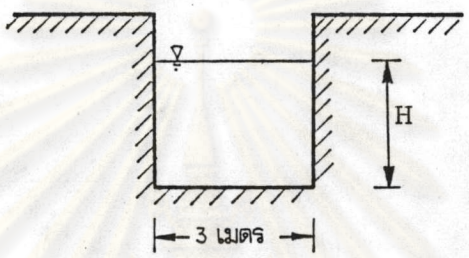
ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 สมการที่ใช้ในการจำลองแบบจำลองเชิงปริมาณเป็นสมการ finite-difference ชนิด implicit scheme จึงมีค่า weighting coefficient, θ สำหรับ weight ค่า derivative ที่เวลาใดๆ กับค่า derivative ที่เวลาถัดไป ดังสมการ 3-12 และสมการ 3-16 ค่า θ มีผลต่อความถูกต้องในการคำนวณ (accuracy) และเสถียรภาพในการคำนวณ (stability) การเลือกค่า θ ได้ใช้เงื่อนไขการทดสอบดังได้กล่าวไว้ตอนต้น และกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ คงที่ คำนวณระยะเวลา 2,400 วินาที ค่า θ ที่ใช้ในการทดสอบคือ 0.50, 0.55, 0.6667, 0.75 และ 1.00

ผลการทดสอบพบว่า ค่าผิดพลาดเฉลี่ยตลอดการคำนวณของการคำนวณระดับน้ำ มีค่าน้อยกว่าค่าผิดพลาดจากการคำนวณอัตราไหลเล็กน้อยทุกๆ ค่า θ ส่วนค่าผิดพลาดของระดับน้ำและอัตราไหลมีลักษณะเหมือนกันคือ ค่าผิดพลาดจะมีค่าต่ำสุดเมื่อ t = 0.55 แต่ค่าผิดพลาดจะสูงขึ้นเมื่อ θ มีค่า 0.5, 0.6667, 0.75 และ 1.0 ตามลำดับ (ดูรูป 4-4)

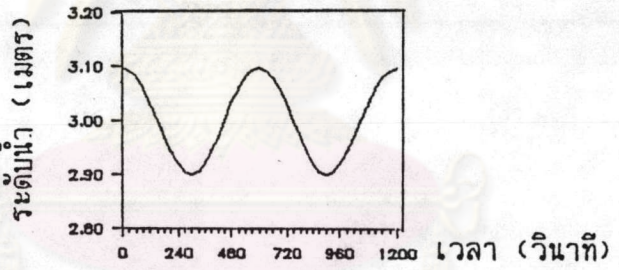
ค่าผิดพลาดเฉลี่ยตลอดการคำนวณกรณี θ = 0.5 และ θ = 0.55 มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อตรวจสอบค่าผิดพลาดทุกตำแหน่งตามเวลาแล้ว จะพบว่า ค่า θ = 0.50 ให้ค่าผิดพลาด



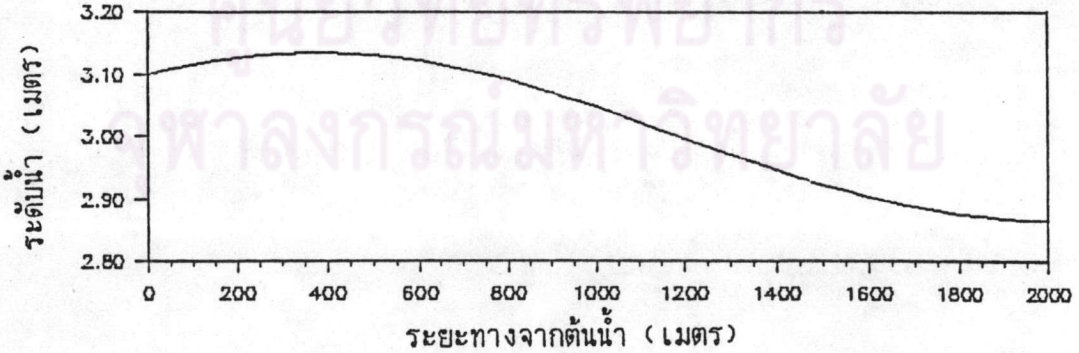
ก) รูปตัดตามยาวลำน้ำ (ท้ายน้ำปิดสนิท)



ข) รูปตัดขวางลำน้ำ

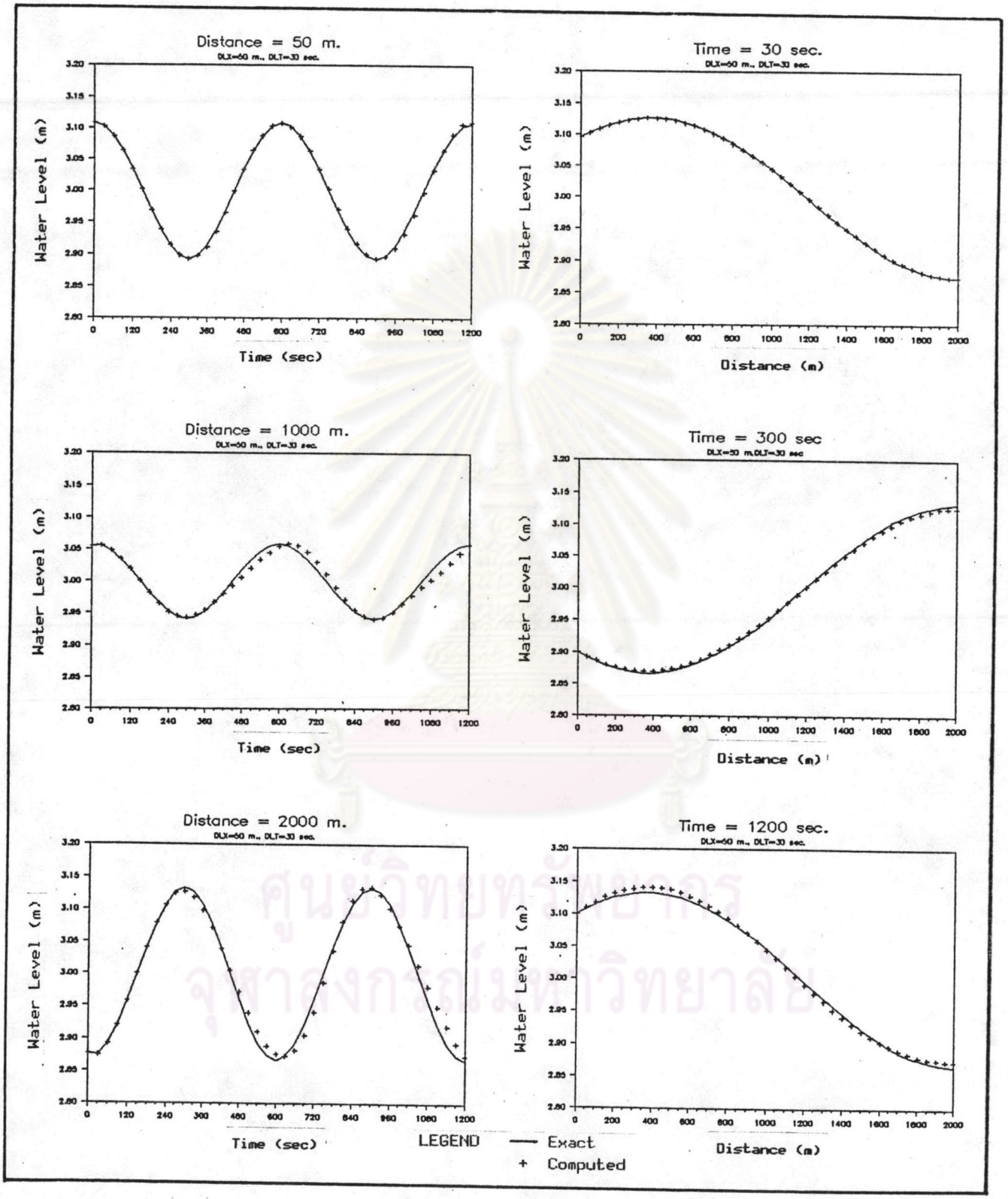


ค) เงื่อนไขขอบเขตที่ต้นน้ำ (Upstream Boundary Condition)

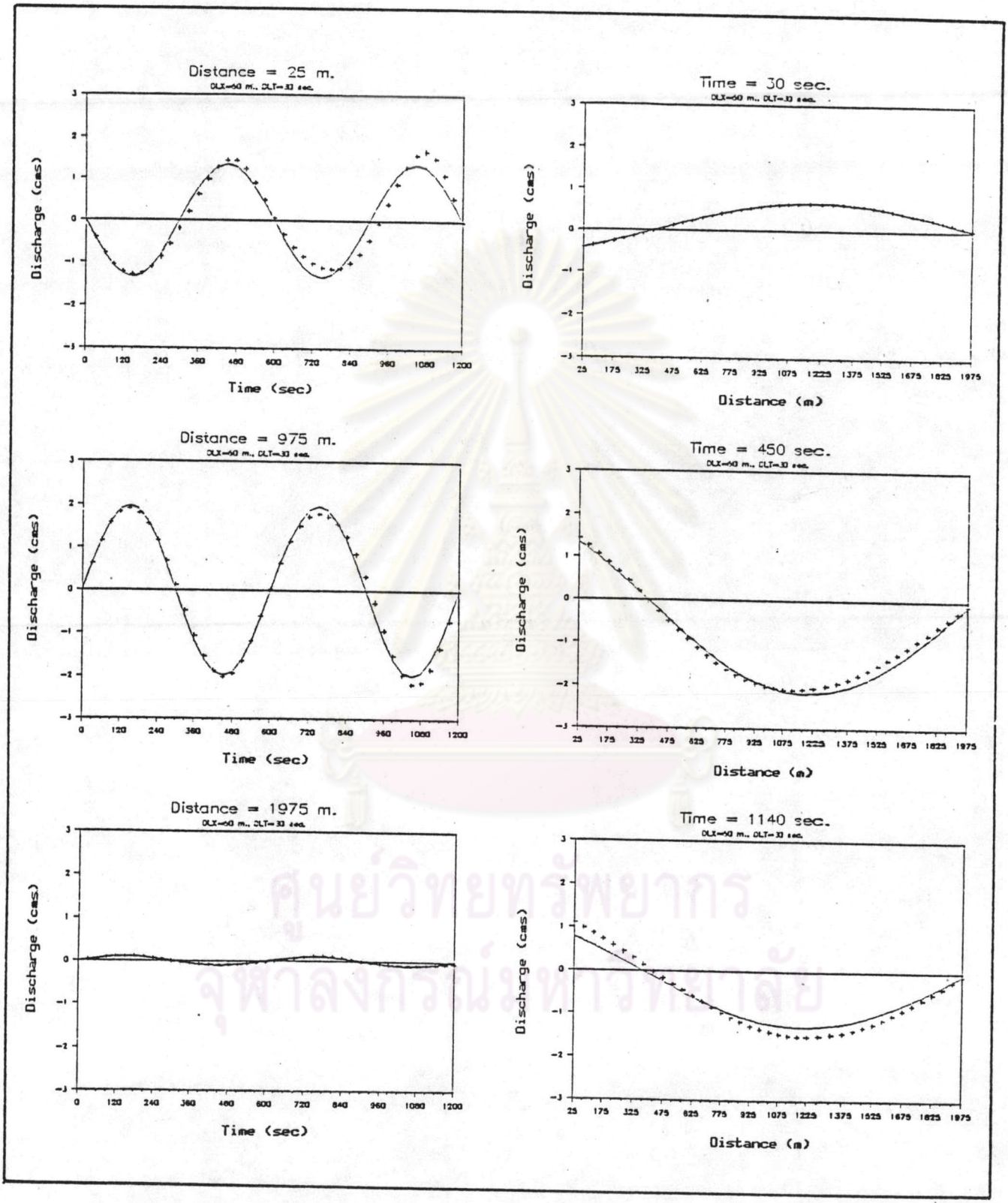


ง) เงื่อนไขเริ่มต้นของระดับน้ำ (Initial Water Level)

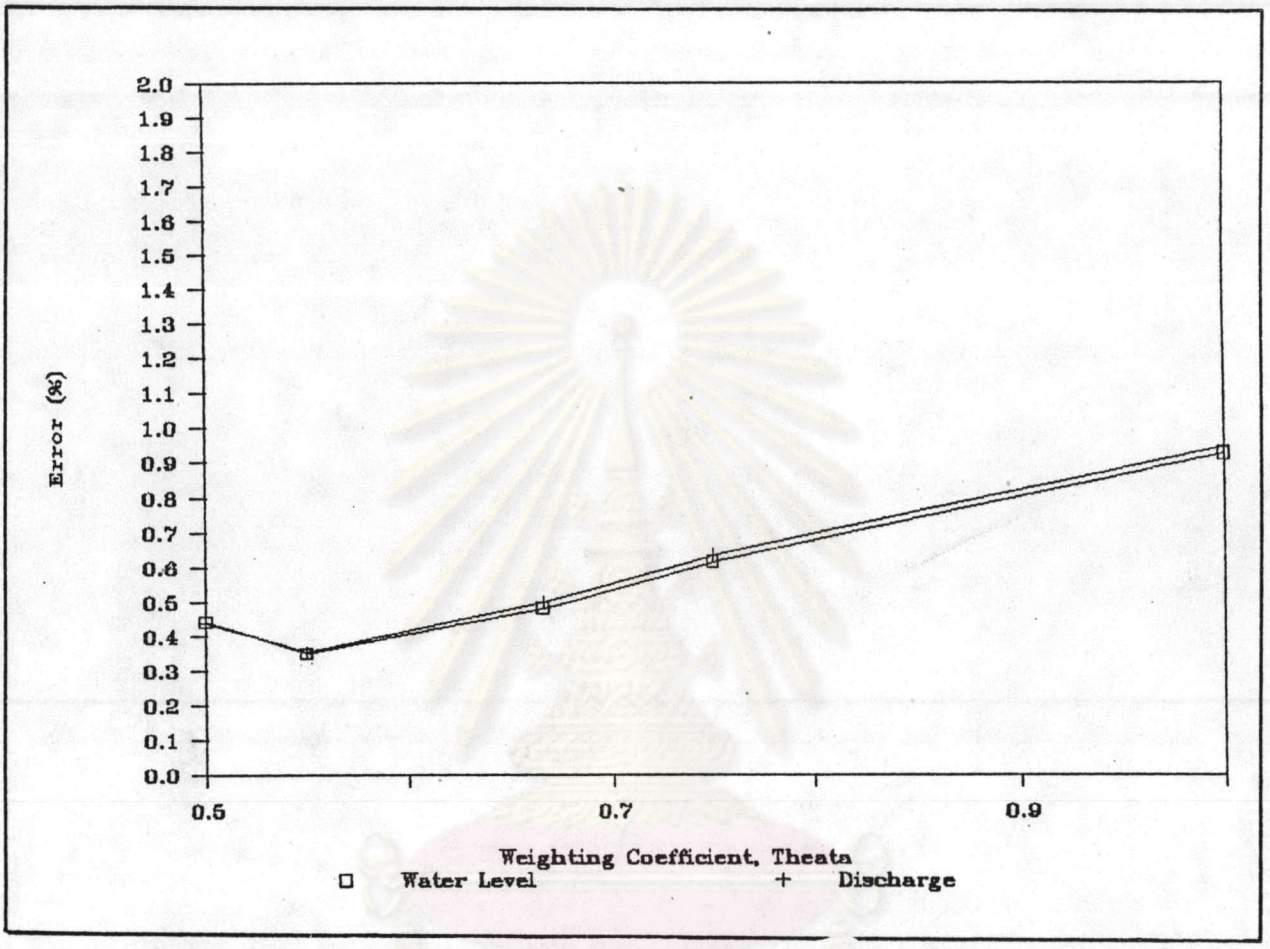
รูป 4-1 เงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบเชิงปริมาณ



รูป 4-2 ตัวอย่างผลเปรียบเทียบการคำนวณระดับน้ำโดยแบบจำลองเทียบกับ ค่าวิเคราะห์จริง



รูป 4-3 ตัวอย่างผลเปรียบเทียบการคำนวณอัตราไหลโดยแบบจำลองเทียบกับค่าวิเคราะห์จริง



รูป 4-4 ค่าผิดพลาดของระดับน้ำและอัตราไหลสำหรับค่า weighting coefficient ต่าง ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ใน timestep แรกๆ น้อย แต่เมื่อเวลาผ่านไปเรื่อยๆ ค่าผิดพลาดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และพิสัย (range) ของค่าผิดพลาดกว้างกว่า แสดงว่าค่า $\theta = 0.55$ ให้เสถียรภาพในการคำนวณของแบบจำลองดีกว่า และแนวโน้มของค่าผิดพลาดตามเวลาไม่เพิ่มขึ้นด้วย (ดูรูป 4-5) กรณีค่า θ อื่นๆ ($\theta = 0.6667, 0.75, 1.00$) ถึงแม้จะมีแนวโน้มของค่าผิดพลาดตามเวลาไม่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับกรณี $\theta = 0.55$ แต่ค่าผิดพลาดโดยเฉลี่ยตลอดการคำนวณมีค่าสูงกว่าและพิสัยของค่าผิดพลาดกว้างกว่าด้วย จากการตรวจสอบค่าผิดพลาดของอัตราไหลตามเวลา มีแนวโน้มเหมือนกับค่าผิดพลาดของระดับน้ำ (ดูรูป 4-6)

จากการทดสอบค่า θ พบว่าค่า $\theta = 0.55$ เหมาะสมสำหรับแบบจำลองมากที่สุด เนื่องจากให้ค่าผิดพลาดเฉลี่ยตลอดเวลาการคำนวณต่ำที่สุด และเสถียรภาพการคำนวณดีที่สุด ข้อสรุปนี้สอดคล้องกับการทดสอบของ Vreudenhill (1968) [10] ในการทดสอบนี้ให้ค่าผิดพลาดเฉลี่ยรวมต่ำกว่า 1 เปอร์เซนต์

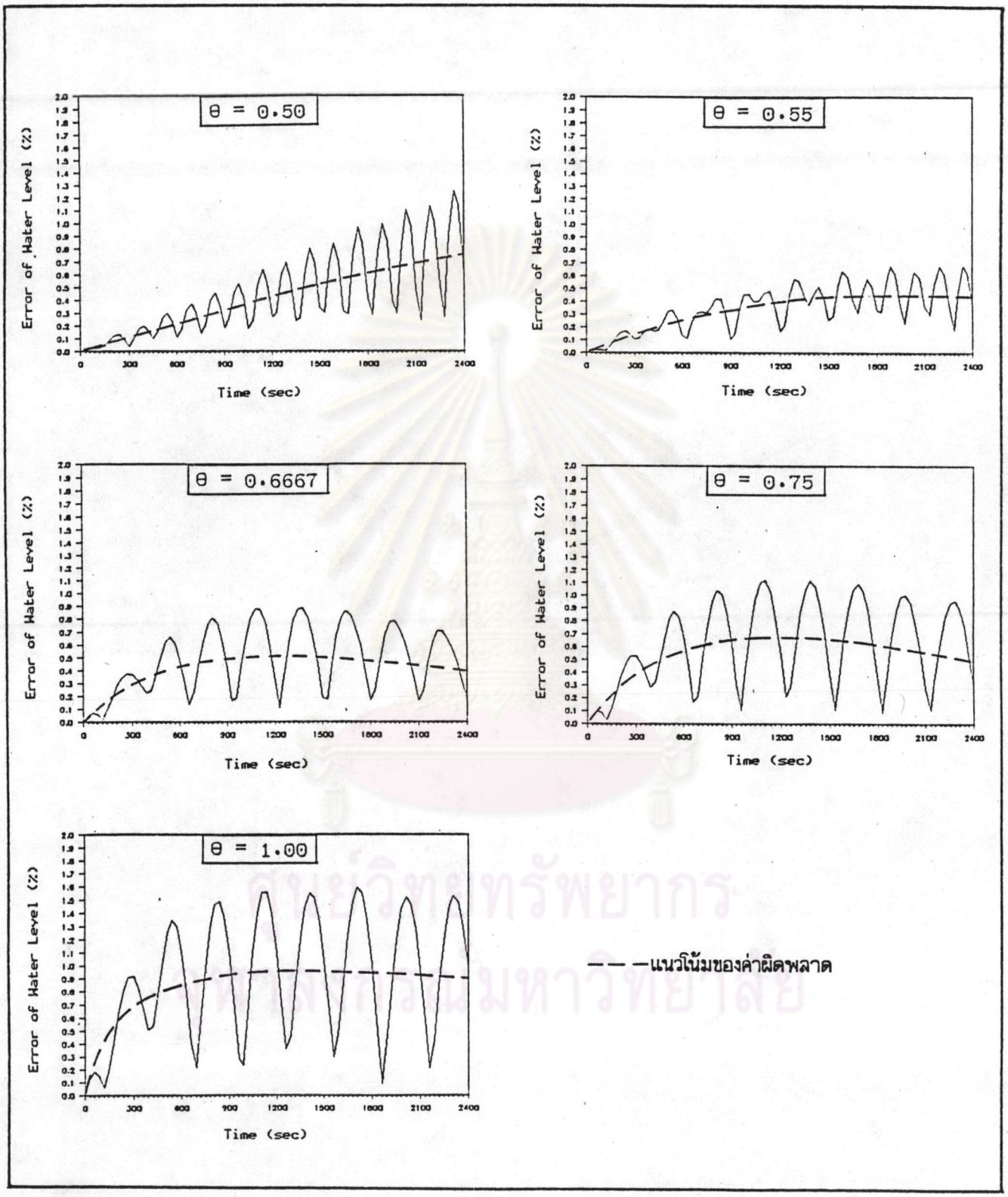
4.1.1.2 <u>ผลของค่าความยาว branch, Δx และช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณ, Δt ต่อความเที่ยงตรง</u>

ในการจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ fixed grid จำเป็นต้องเลือกค่า Δx และ Δt สำหรับใช้ในการคำนวณ ค่า Δx จะแสดงถึงความละเอียดในการคำนวณตามระยะทาง ส่วน Δt แสดงถึงความละเอียดในการคำนวณตามเวลา กรณีแบบจำลองแบบ fixed grid ชนิด explicit scheme การเลือก Δx และ Δt จะต้องรักษา Courant condition ($c\,\Delta t/\Delta x \leq 1$) [11] แต่แบบจำลองชนิด implicit scheme ไม่จำเป็นต้องรักษา Courant condition (สามารถกำหนดค่า $c\,\Delta t/\Delta x > 1$ ได้) ในกรณีค่า Courant number ($c\,\Delta t/\Delta x > 1$) จะส่งผลให้ความถูกต้องในการคำนวณลดลง [10] ในการทดสอบนี้พยายามแสดงความสัมพันธ์ของค่าผิดพลาดในการคำนวณ กับค่า Δx และ Δt ในรูปของ Courant number ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ไร้หน่วยตามแบบที่ Ghailan (1982) ศึกษา

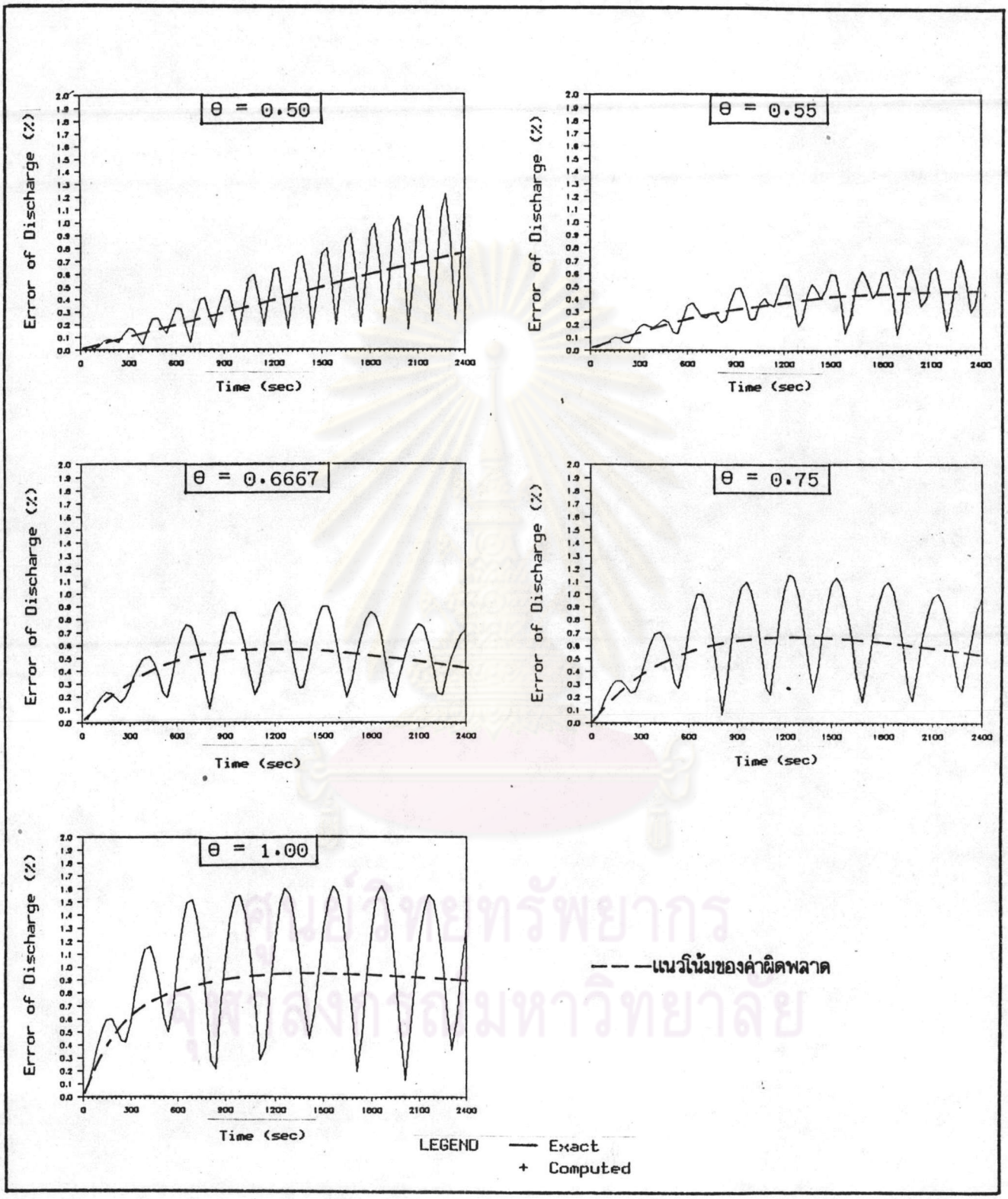
ค่า Δx และ Δt เป็นตัวแปรที่ปรากฏอยู่ในสมการ finite-difference ของสมการต่อเนื่อง (สมการ 3-14) และสมการ finite-difference ของสมการโมเมนตัม (สมการ 3-18) จากสมการ finite-difference ทั้งสองสมการ จะเห็นได้ว่าในการคำนวณปัญหาเดียวกันอาจเลือกค่า Δx และ Δt ได้หลายค่า

เงื่อนไขการทดสอบใช้เงื่อนไขที่กล่าวไว้ตอนต้น และสำหรับค่าตัวแปรต่างๆ อยู่ในช่วงดังนี้ weighting coefficient, $\theta = 0.55$ ความยาว branch, $\Delta x = 50$-200 เมตร และ timestep, $\Delta t = 15$-90 วินาที

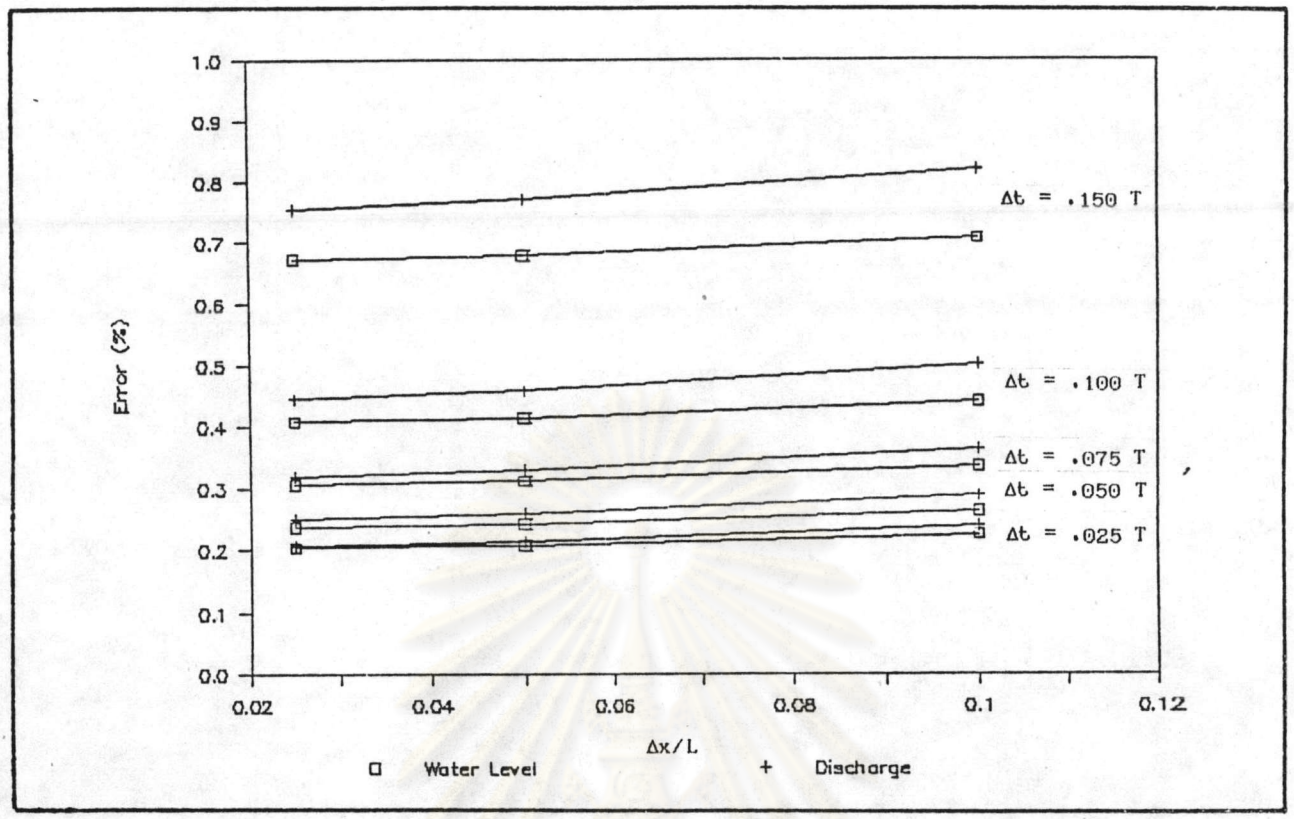
ผลการทดสอบพบว่าเมื่อขนาด Δx หรือ Δt ลดลงความเที่ยงตรงของการคำนวณระดับน้ำและอัตราไหลสูงขึ้น (ค่าผิดพลาดลดลง) ดังรูป 4-7 และรูป 4-8 ซึ่งตรงกับทฤษฎีทั่วไปของการ



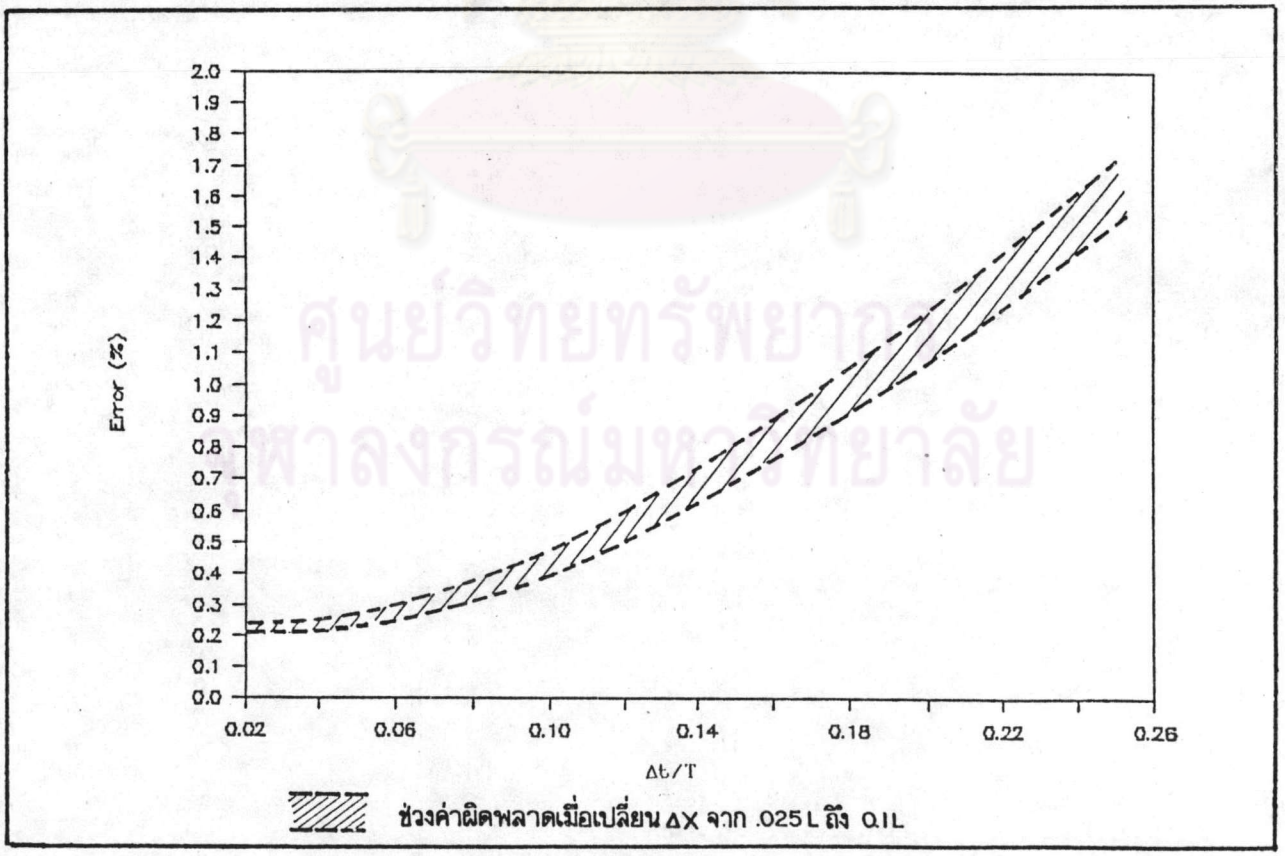
รูป 4-5 ลักษณะของค่าผิดพลาดของการคำนวณระดับน้ำตามเวลา



รูป 4-6 ลักษณะของค่าผิดพลาดของการคำนวณอัตราไหลตามเวลา



รูป 4-7 ผลของค่าผิดพลาดจากการคำนวณเมื่อเปลี่ยนแปลงความยาว branch



รูป 4-8 ผลของค่าผิดพลาดจากการคำนวณเมื่อเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาที่ใช้คำนวณ

วิเคราะห์เชิงตัวเลข (numerical analysis) เมื่อเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงของ Δx และ Δt ต่อความเที่ยงตรง พบว่าการเปลี่ยนแปลง Δx ต่อความเที่ยงตรงมีน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลง Δt (ดูรูป 4-7 และ รูป 4-8)

ในการแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าผิดพลาดในการคำนวณระดับน้ำและอัตราไหล กับค่า Courant number ตามแบบที่ Ghailan ศึกษา พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่า Δt และ Δx ด้วยจะทำให้ความสัมพันธ์ดังกล่าวเปลี่ยนไปคือที่ค่า Courant number เดียวกันค่าผิดพลาดของระดับน้ำและอัตราไหลจะน้อยลงเมื่อใช้ค่า Δx น้อยลง นอกจากนี้ยังพบว่าค่า $\Delta t/T$ ซึ่งแสดงถึงความละเอียดในการคำนวณตามเวลาเทียบกับ period ของการเกิดน้ำขึ้นน้ำลง มีผลต่อค่าผิดพลาดด้วย ท้ายสุดจึงเสนอการแสดงค่าผิดพลาดของการคำนวณ ทั้งระดับน้ำและอัตราไหลกับค่าCourant number คูณด้วย $\Delta t/T$ ที่ค่า Δx ต่าง ๆ ดังรูป 4-9 และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าผิดพลาดจากการคำนวณของระดับน้ำและอัตราไหลมีแนวโน้มเหมือนกันทั้งหมด และค่าผิดพลาดของระดับน้ำน้อยกว่าค่าผิดพลาดของอัตราไหล

โดยทั่วไปการเลือกค่า Δx และ Δt มักเป็นปัญหาในการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ชนิด fixed grid เสมอ จากการทดสอบในเชิงปริมาณ สามารถกำหนดแนวทางในการเลือกค่า Δx และ Δt ให้เหมาะสมดังนี้ เลือกค่า Δx และ Δt ภายใต้ค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้โดยใช้รูป 4-9 เป็นแนวทางในการเลือก ในการทดสอบครั้งนี้ได้ทดสอบตัวแปรต่าง ๆ ในช่วงที่ครอบคลุมค่าตัวแปรที่มักใช้อยู่ในงานประยุกต์ จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองเชิงปริมาณที่พัฒนาขึ้นให้ค่าผิดพลาดทั้งกรณีระดับน้ำและอัตราไหล ไม่เกิน 2 เปอร์เซนต์

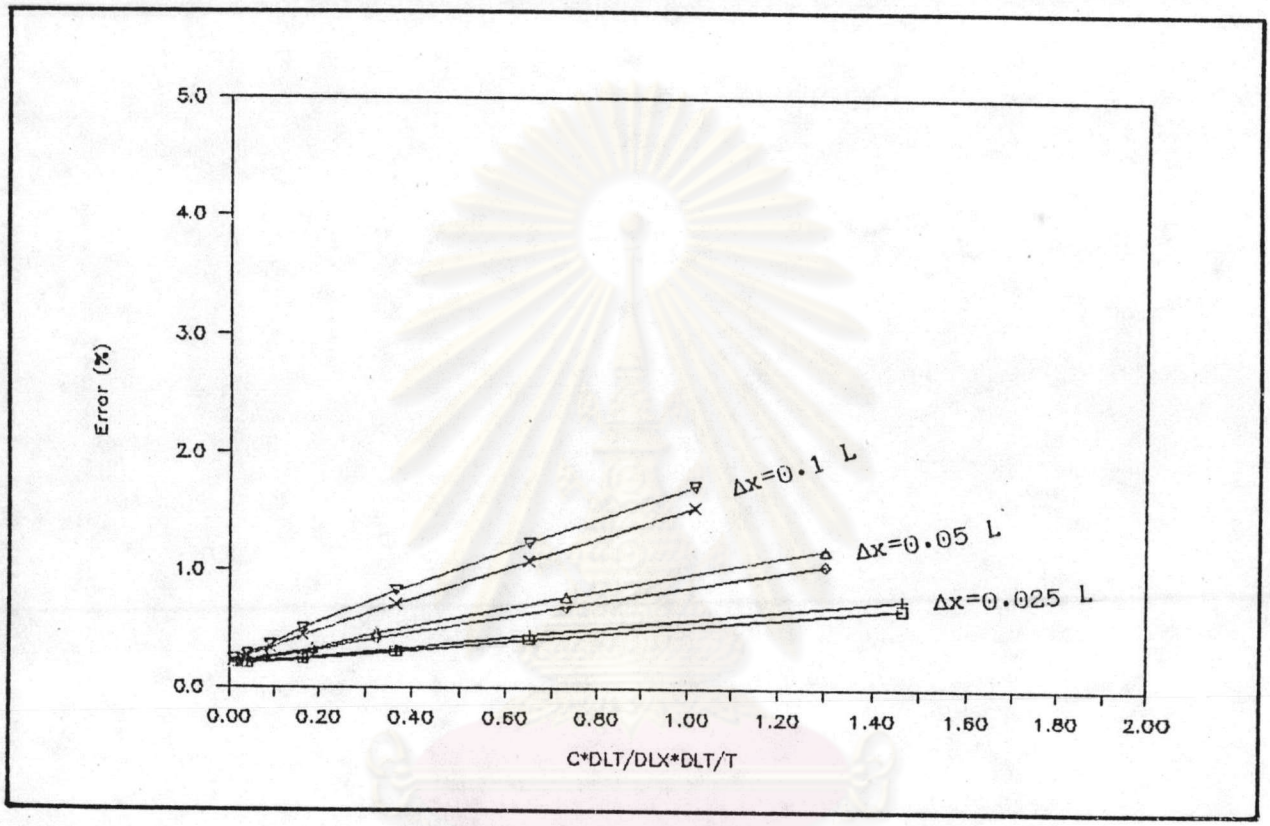
4.1.2 การทดสอบการคำนวณการเคลื่อนย้ายของมวลสารในลำน้ำ

เป็นการทดสอบความเที่ยงตรงของผลการคำนวณของปริมาณมวลสาร ที่ปะปนอยู่ในน้ำที่ระยะทางและเวลาใดๆ ซึ่งมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางและเวลาในทางน้ำเปิดขนาดเท่ากันตลอด โดยกำหนดให้อัตราไหลและระดับน้ำคงที่ทุกตำแหน่งและทุกเวลา (steady uniform flow) ด้านต้นน้ำกำหนดความเข้มข้นของสาร (substance concentration) คงที่ ส่วนภายในลำน้ำเริ่มต้นด้วยความเข้มข้นของสารเป็นศูนย์ ในเงื่อนไขที่ทดสอบนี้สามารถ integration สมการเคลื่อนย้ายมวลได้ค่าวิเคราะห์จริงของความเข้มข้นของสาร ที่ระยะทางและเวลาใดๆ ดังสมการ 4-6 และสมการ 4-7 [12]

$$\frac{c}{c_0} = \frac{1}{2}\,\mathrm{erfc}\left(\frac{x - ut}{2\sqrt{D_x t}}\right) + \frac{1}{2}\, e^{\left(\frac{ux}{D_x}\right)}\, \mathrm{erfc}\left(\frac{x + ut}{2\sqrt{D_x t}}\right) \qquad \text{.....(4-6)}$$

โดยที่

$$\mathrm{erfc} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-u^2}\, du \qquad \text{.....(4-7)}$$



รูป 4-9 ความสัมพันธ์ของค่าผิดพลาดกับค่า Courant number * Δt/T

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อ c = ความเข้มข้นของสารที่ระยะทาง x และเวลา t ใดๆ, มก./ล.

c_o = ความเข้มข้นของสารคงที่ตำแหน่งต้นน้ำ (x = 0)

erfc(y) = complementary error function ของ y

x = ระยะทางจากต้นน้ำ, ม.

t = เวลานับจากเริ่มต้น, ว.

u = ความเร็วของกระแสน้ำ, ม./ว.

D_x = สัมประสิทธิ์ของการแพร่, ตร.ม./ว.

ความเที่ยงตรงของแบบจำลองสามารถคำนวณได้จากความแตกต่างระหว่างผลการคำนวณกับค่าวิเคราะห์จริงในทุกตำแหน่งและทุกเวลาที่ทำการคำนวณ เช่นเดียวกับการทดสอบการคำนวณระดับน้ำและอัตราไหล ค่าผิดพลาดคำนวณโดยสมการ 4-8 และ 4-9

$$E_c = \frac{100}{c_0}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_x}(c_{exact} - c_i)^2}{N_x}} \qquad \text{.....(4-8)}$$

$$E_{av} = \frac{1}{N_t}\sum_{i=1}^{N_t} E_i \qquad \text{.....(4-9)}$$

เมื่อ E_c = ค่าผิดพลาดของการคำนวณความเข้มข้นของสารทุกตำแหน่งที่เวลาใดๆ, เปอร์เซนต์

C_{exact}, C_i = ความเข้มข้นของสารที่คำนวณจากค่าวิเคราะห์จริงและคำนวณโดยแบบจำลอง, มก./ล.

E_{av} = ค่าผิดพลาดเฉลี่ยทุกตำแหน่งตลอดการคำนวณ, เปอร์เซนต์

N_x = จำนวนตำแหน่งที่คำนวณ

N_t = จำนวน timestep ของการคำนวณ

E_i = ค่าผิดพลาดของการคำนวณความเข้มข้นของสารทุกตำแหน่งที่ timestep ที่ i

<u>เงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบ</u>

1. ลำน้ำตรงกว้าง 10 เมตร ยาว 100 เมตร
2. ค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่ (Diffusion Coefficient) คงที่
3. ความลึกการไหลคงที่ตลอดความยาวลำน้ำและตลอดการคำนวณ
4. ความเร็วกระแสน้ำคงที่ ตามระยะทางและเวลา

5. เงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Condition)

- ความเร็ว กำหนดตามข้อ 4
- ความเข้มข้นของสารเป็นศูนย์ตลอดลำน้ำ (c(x,t) = c(x,o)= 0)

6. เงื่อนไขที่ขอบเขต (Boundary Condition)

ต้นน้ำ

- ระดับน้ำคงที่
- ความเร็วกระแสน้ำคงที่
- ความเข้มข้นของสารเป็น c_o (c(x,t) = c(0,t) = c_o)

ท้ายน้ำ

- ระดับน้ำคงที่
- ความเร็วกระแสน้ำคงที่

ค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบกำหนดไว้ดังต่อไปนี้ ความยาวของ branch = 5-20เมตร ช่วงเวลาที่ใช้คำนวณ = 1-20 วินาที สัมประสิทธิ์การแพร่ 1-100 ตารางเมตรต่อวินาที และความเร็ว กระแสน้ำ 0.01-1.00 เมตรต่อวินาที ทั้งนี้ค่าตัวแปรได้พิจารณาตามเงื่อนไขที่จะประยุกต์ใช้จริงเป็นเกณฑ์ รูป 4-10 แสดงตัวอย่างผลการคำนวณการเคลื่อนย้ายมวลที่เวลาต่าง ๆ เทียบกับค่าวิเคราะห์จริง

4.1.2.1 <u>พฤติกรรมของค่าผิดพลาด</u>

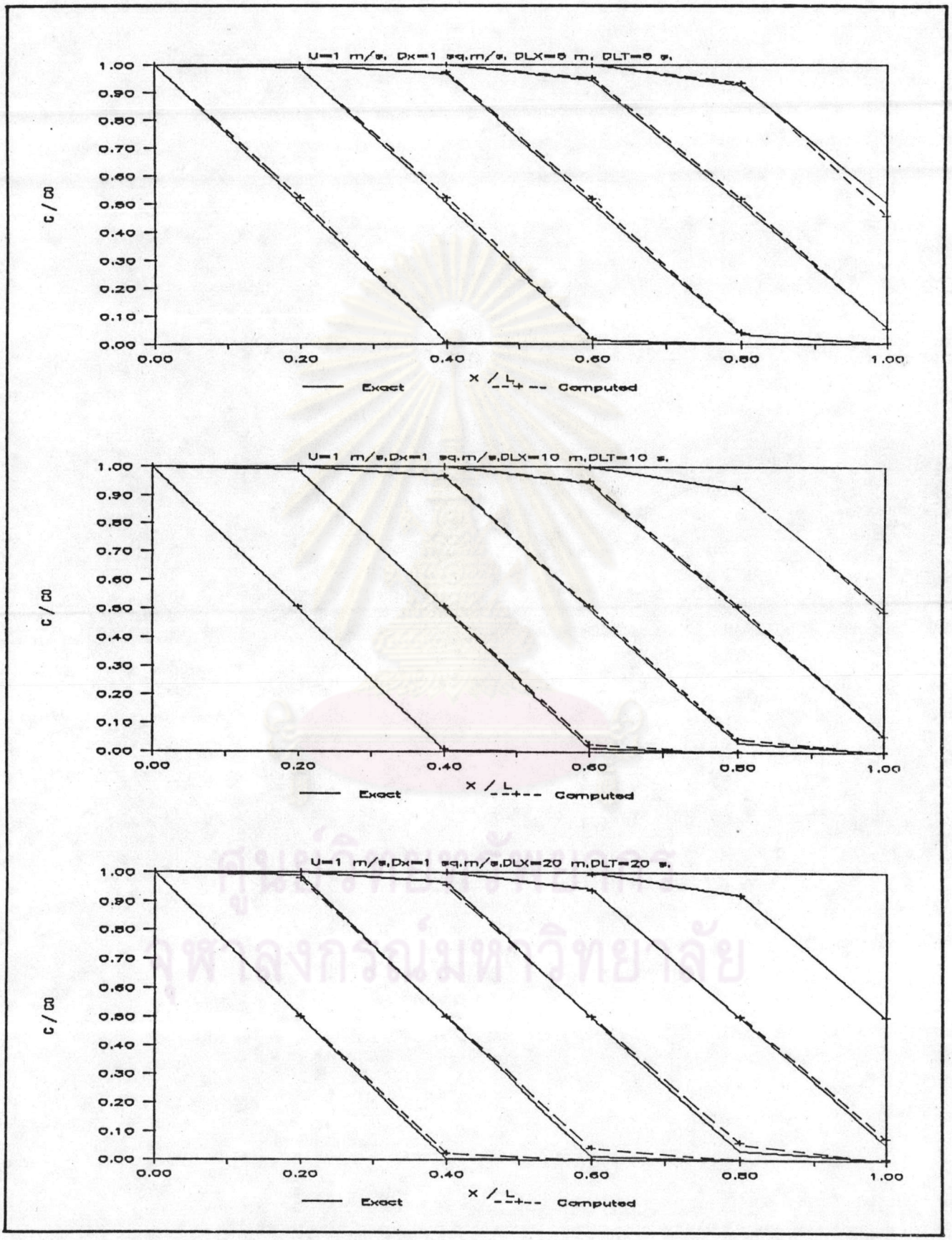
จากผลการทดสอบค่าผิดพลาดโดยเฉลี่ยตลอดการคำนวณ มีพฤติกรรมอย่างเด่นชัด 2 ลักษณะดังนี้

1. การพาเป็นหลัก หมายถึงกระบวนการเคลื่อนย้ายมวลสารในลำน้ำที่เกิดจากอิทธิพลของความเร็วกระแสน้ำมากกว่าอิทธิพลของการแพร่ พารามิเตอร์ไร้หน่วยที่ใช้บอกขนาดของการพา คือ Courant number, F คำนวณได้ดังสมการ 4-10

$$F = u\frac{\Delta t}{\Delta x} \qquad \text{.....(4-10)}$$

2. การแพร่เป็นหลัก หมายถึงกระบวนการเคลื่อนย้ายมวลสารในลำน้ำที่เกิดจากอิทธิพลของการแพร่มากกว่าอิทธิพลของความเร็วกระแสน้ำ พารามิเตอร์ไร้หน่วยที่ใช้บอกขนาดของการแพร่ คือ Diffusion number, G คำนวณได้จากสมการ 4-11

$$G = D_x\frac{\Delta t}{(\Delta x)^2} \qquad \text{.....(4-11)}$$



รูป 4-10 ตัวอย่างผลเปรียบเทียบการคำนวณการเคลื่อนย้ายมวลเทียบกับค่าวิเคราะห์จริง

การแบ่งพฤติกรรมระหว่างการพาเป็นหลักกับการแพร่เป็นหลัก กำหนดได้โดยใช้อัตราส่วนของ Courant number ต่อค่า Diffusion number ซึ่งเรียกว่า Pelect number, P ดังสมการ 4-12 ถ้าค่า Pelect number มีค่ามากแสดงว่ามีลักษณะการพาเป็นหลัก ถ้าค่า Pelect

$$P_e = u\frac{\Delta x}{D_x} \quad \text{.....(4-12)}$$

number มีค่าน้อยแสดงว่ามีลักษณะการแพร่เป็นหลัก แต่การกำหนดค่าอัตราส่วนที่แน่ชัดสำหรับแบ่งพฤติกรรมทั้งสองยังไม่มีการศึกษา จึงได้ทำการวิเคราะห์อัตราส่วนดังกล่าวโดยสังเกตจากค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากรูป 4-12 และรูป 4-13 ผลการวิเคราะห์สามารถประมาณค่า Pelect number ที่เป็นจุดแบ่งระหว่างสองพฤติกรรมดังกล่าว ได้ค่า Pelect number ประมาณ 0.2 ถึง 0.5 ดังรูป 4-11

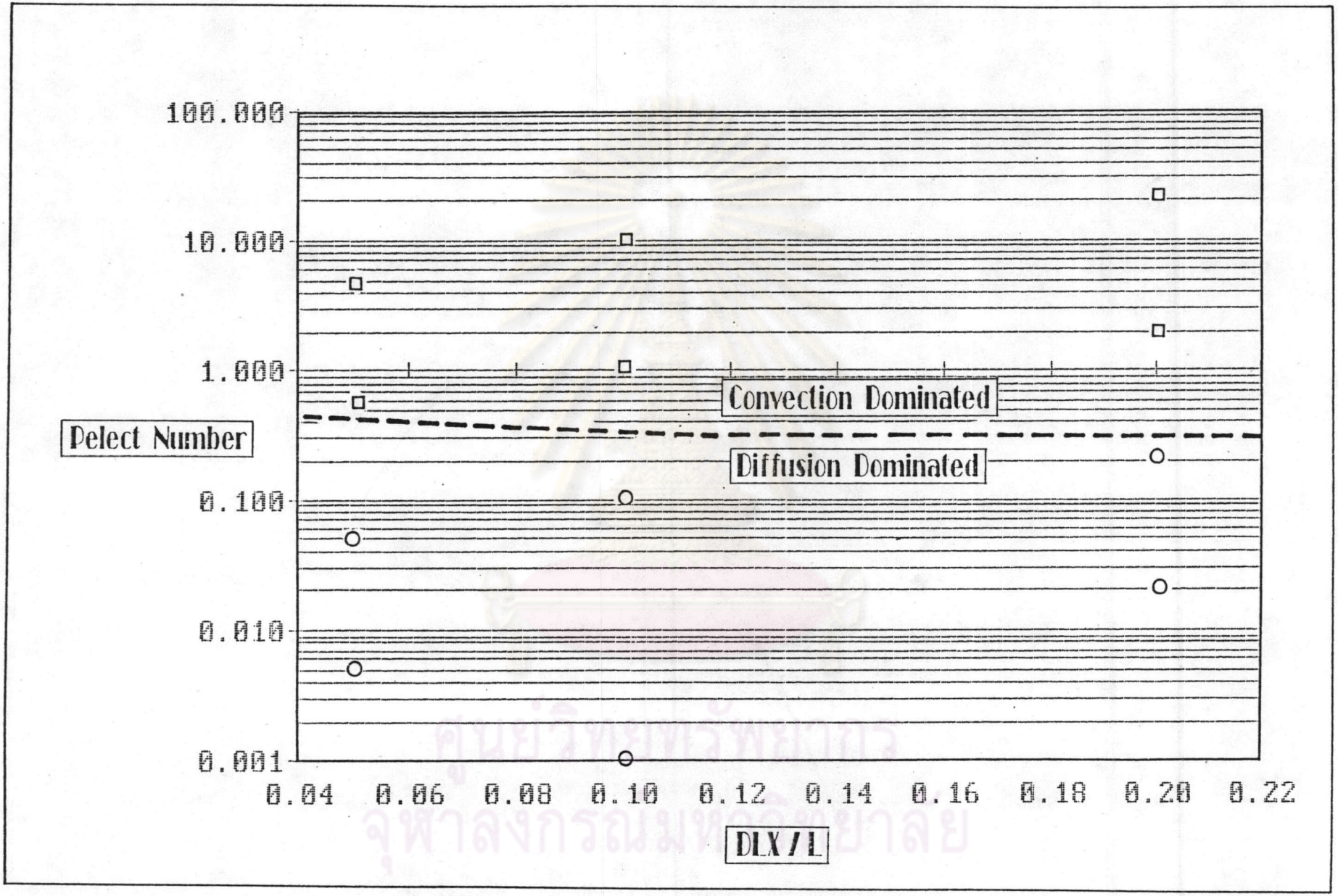
4.1.2.2 <u>ผลของค่าความยาว branch, Δx และช่วงเวลาที่ใช้คำนวณ, Δt ต่อความเที่ยงตรงเชิงคุณภาพ</u>

ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.1.2.1 แล้วว่าพฤติกรรมของค่าผิดพลาดเชิงคุณภาพที่เกิดขึ้นมี 2 ลักษณะคือกรณีการพาเป็นหลัก และกรณีการแพร่เป็นหลัก โดยที่กรณีการพาเป็นหลักจะมีลักษณะของค่าผิดพลาดสัมพันธ์กับค่า Courant number ดังรูป 4-12 หรือตาราง 4-1 ส่วนกรณีการแพร่เป็นหลักจะมีลักษณะของ ค่าผิดพลาดสัมพันธ์กับค่า Diffusion number ดังรูป 4-13 หรือตาราง 4-2 ทั้งค่า Courant number และค่า Diffusion number จะมีค่าขึ้นอยู่กับค่า Δx และ Δt ที่เลือกใช้ ดังนั้นการ เลือกค่า Δx และ Δt จะส่งผลต่อความเที่ยงตรงของการคำนวณทั้งสองกรณี

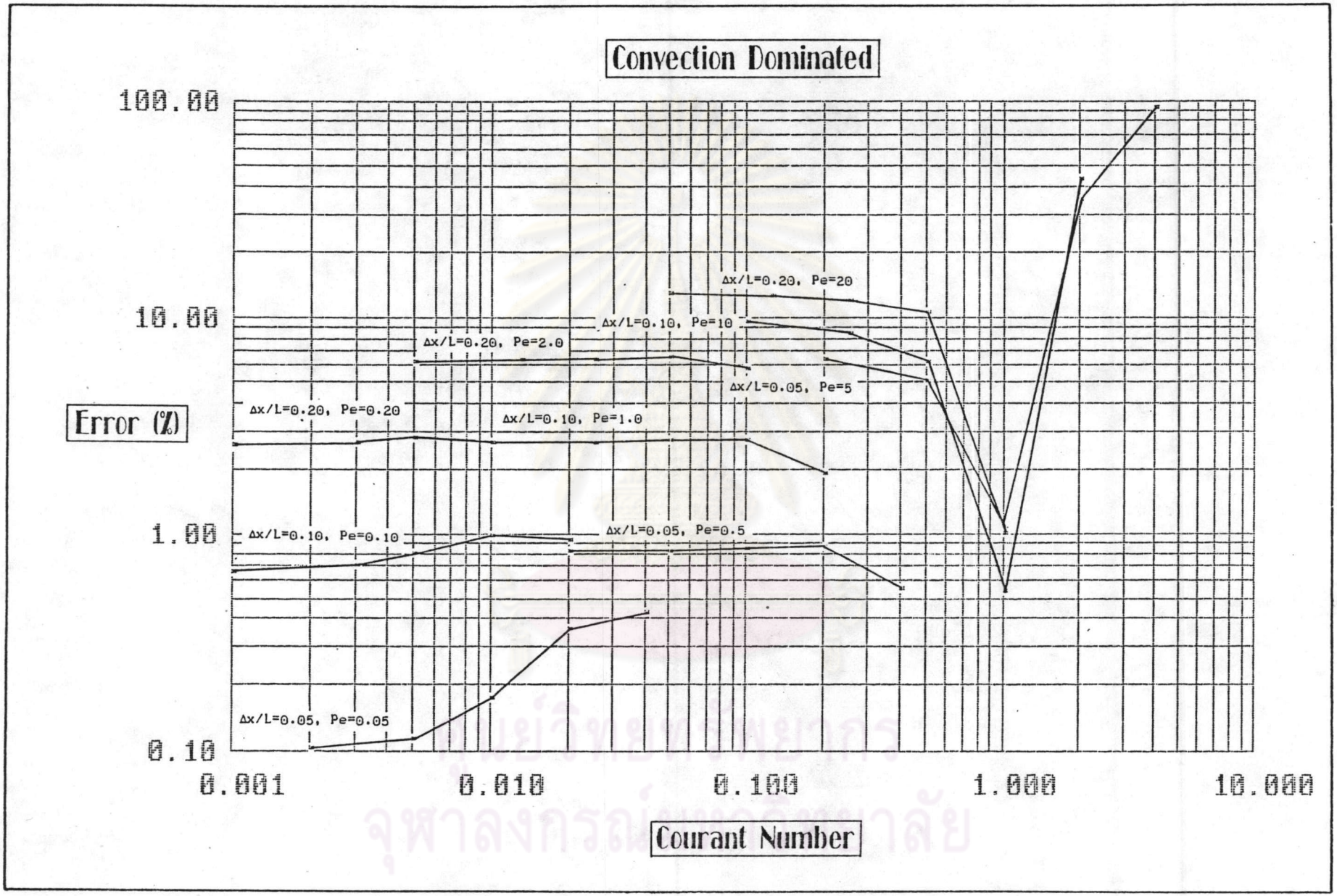
จากการทดสอบแบบจำลองเชิงคุณภาพ สามารถสรุปแนวทางในการเลือกค่า Δx และ Δt ให้เหมาะสมดังนี้ เลือกค่า Δx แล้วคำนวณค่า Pelect number เพื่อตรวจสอบว่ามีลักษณะการพาเป็นหลักหรือการแพร่เป็นหลัก จากรูป 4-11 ถ้ามีลักษณะการพาเป็นหลักการเลือกค่า Δt จะต้องรักษาค่า Courant number ให้มีค่าไม่เกิน 1 เสมอ และถ้ามีลักษณะการแพร่เป็นหลักการเลือกค่า Δt ควรจะรักษาค่า Diffusion number ให้มีค่าไม่เกิน 10 ค่าผิดพลาดเฉลี่ยจากการคำนวณจะมีค่าไม่เกิน 10 เปอร์เซนต์

4.1.3 <u>สรุปการทดสอบแบบจำลองกับค่าวิเคราะห์จริง</u>

การทดสอบนี้ทำให้เกิดความมั่นใจว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น สามารถคำนวณได้ถูกต้องตามทฤษฎีพื้นฐาน นอกจากนี้ยังทราบอิทธิพลของค่า Δx และ Δt ที่ส่งผลต่อความเที่ยงตรงของแบบจำลองในรูปของค่า Courant number และ Diffusion number ทำให้สามารถเลือกค่า Δx และ Δt ได้เหมาะสมโดยการเลือกใช้ควรตรวจลักษณะการเคลื่อนย้ายมวลสาร ถ้าเป็นแบบการพาเป็นหลักจะต้องเลือกค่า Δx และ Δt โดยค่า Courant number มีค่าไม่เกิน 1 แต่ถ้า



รูป 4-11 ค่า Pelect number ที่เป็นแนวแบ่งกรณีการพาเป็นหลัก และการแพร่เป็นหลัก



รูป 4-12 ความสัมพันธ์ของค่าผิดพลาดเชิงคุณภาพ กรณีการพาเป็นหลัก

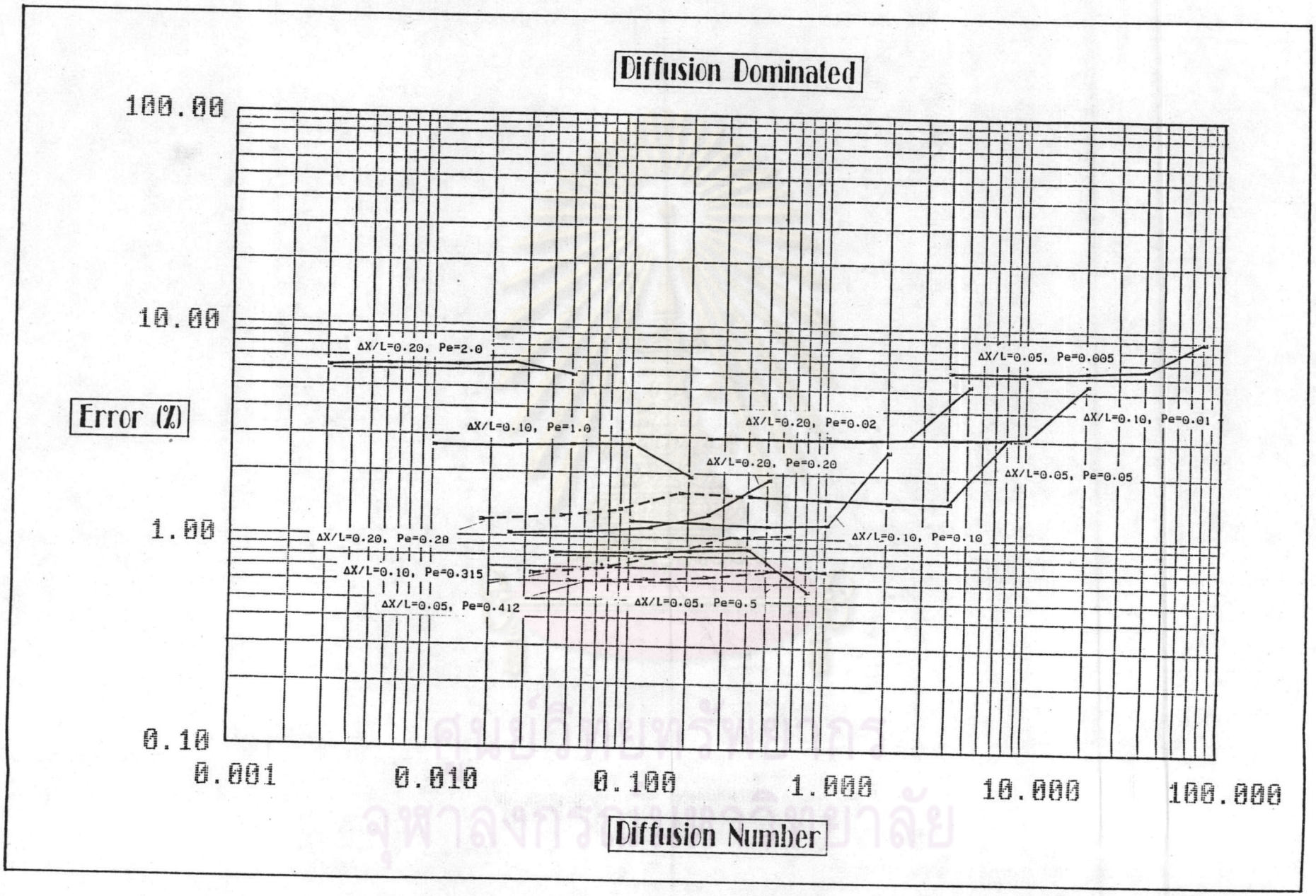
ตาราง 4-1 แสดงช่วงค่าผิดพลาดกรณีการพาเป็นหลัก

Δx	Pelect No. P_e	Courant No. $F = u\,\Delta t/\Delta x$	Range of Error (%)	Range of P_e
0.05 L	≥ 0.412	$0.01 < F \leq 0.1$	0.7 - 0.9	$P_e = 0.5$
		$0.1 < F \leq 1.0$	0.5 - 10	$0.5 < P_e \leq 10$
0.10 L	≥ 0.315	$0.01 < F \leq 0.1$	2 - 10	$1 < P_e \leq 10$
		$0.1 < F \leq 1.0$	1 - 10	$1 < P_e \leq 10$
0.20 L	≥ 0.28	$.01 < F \leq 0.1$	6 - 15	$10 < P_e \leq 20$
		$0.1 < F \leq 1.0$	1 - 15	$10 < P_e \leq 20$

ตาราง 4-2 แสดงช่วงค่าผิดพลาดกรณีการแพร่เป็นหลัก

Δx	Pelect No. P_e	Diffusion No. $G = D_x\,\Delta t/(\Delta x)^2$	Range of Error (%)	Range of P_e
0.05 L	< 0.412	$.01 < G \leq .1$	0.6 - 0.7	$P_e = 0.412$
		$.1 < G \leq 1$	0.6 - 2	$.05 < P_e \leq 0.412$
		$1 < G \leq 10$	0.6 - 7	$.005 < P_e \leq 0.5$
		$10 < G \leq 100$	2 - 10	$.005 < P_e \leq 0.5$
0.10 L	< 0.315	$.01 < G \leq .1$	0.6 - 2	$0.1 < P_e \leq 0.315$
		$.1 < G \leq 1$	0.7 - 2	$0.1 < P_e \leq 0.315$
		$1 < G \leq 10$	1 - 3	$0.01 < P_e \leq .1$
		$10 < G \leq 100$	6 - 9	$Pe = 0.005$
0.20 L	< 0.28	$.01 < G \leq .1$	1 - 2	$0.2 < P_e \leq 0.28$
		$.1 < G \leq 1$	1 - 3	$0.02 < P_e \leq 0.28$
		$1 < G \leq 10$	3 - 10	$< P_e \leq 0.02$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4-13 ความสัมพันธ์ของค่าผิดพลาดเชิงคุณภาพ กรณีการแพร่เป็นหลัก

เป็นแบบการแพร่เป็นหลักจะต้องเลือกค่า Δx และ Δt ให้ค่า Diffusion number ไม่เกิน 10 จะสามารถควบคุมค่าผิดพลาดไว้ไม่เกิน 10 เปอร์เซนต์

4.2 การทดสอบเปรียบเทียบกับข้อมูลภาคสนาม

ในหัวข้อ 4.1.1 และ 4.1.2 เป็นการทดสอบแบบจำลองที่สร้างขึ้นกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ว่าสามารถคำนวณ ได้ถูกต้องตามทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ สำหรับการทดสอบภาคสนามในหัวข้อนี้ เป็นขั้นตอนในการทดสอบแบบจำลองอีกขั้นตอนหนึ่ง ว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นจะสามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในสภาวะจริงได้เพียงใด ในการศึกษาเปรียบเทียบครั้งนี้ได้นำผลจากคำนวณมาเทียบกับค่าที่วัดจากภาคสนาม

4.2.1 ผลการสำรวจภาคสนาม

เนื่องจากข้อมูลสนามที่รวบรวมจากหน่วยงานต่างๆ ในปัจจุบัน มีไม่เพียงพอสำหรับการทดสอบแบบจำลอง จึงจำเป็นต้องเก็บข้อมูลในภาคสนามใหม่ทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลรูปตัดตามขวาง ข้อมูลรูปตัดตามยาวของคลอง ระดับน้ำ ความเร็ว BOD และ DO พร้อมทั้งควบคุมการเปิดปิด ประตูระบายน้ำ โดยทำการเลือกพื้นที่ศึกษาตัวอย่างคือ คลองผดุงกรุงเกษมตลอดคลอง (รูป 1-1) และควบคุมการเปิดปิดประตูระบายน้ำเทเวศน์ ในวันที่ 21 พฤษภาคม พ.ศ. 2530 ตั้งแต่เวลา 6:00 น. ถึง 18:00 น. (รายละเอียดการเก็บข้อมูลและผลการสำรวจข้อมูลได้จากภาคผนวก ก)

4.2.2 การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ยกับความเร็วที่ผิวน้ำ (วัดโดยการปล่อยทุ่น)

เนื่องจากในการศึกษานี้มีข้อจำกัดต่างๆ เช่น งบประมาณ อุปกรณ์ กำลังคน ทำให้การวัดความเร็วเฉลี่ยของหน้าตัดได้เพียงประมาณ โดยใช้การวัดความเร็วที่ผิวน้ำกลางลำน้ำด้วยการปล่อยทุ่นไม้ ให้ลอยตามน้ำพร้อมทั้งวัดความเร็วเฉลี่ยด้วย current meter ที่สะพานเทเวศน์ เพื่อนำมาคำนวณหา อัตราส่วนของความเร็วทั้งสอง และใช้อัตราส่วนนี้สำหรับคำนวณความเร็วเฉลี่ยในหน้าตัดอื่นๆ ซึ่งวัดความเร็วที่ผิวน้ำจากการปล่อยทุ่นไม้ ในทางทฤษฎีกำหนดอัตราส่วนของความเร็วเฉลี่ยต่อความเร็วที่ผิวน้ำกลางลำน้ำอยู่ในช่วง 0.70-0.95 ขึ้นอยู่กับความกว้าง ความลึก และความเสียดทาน

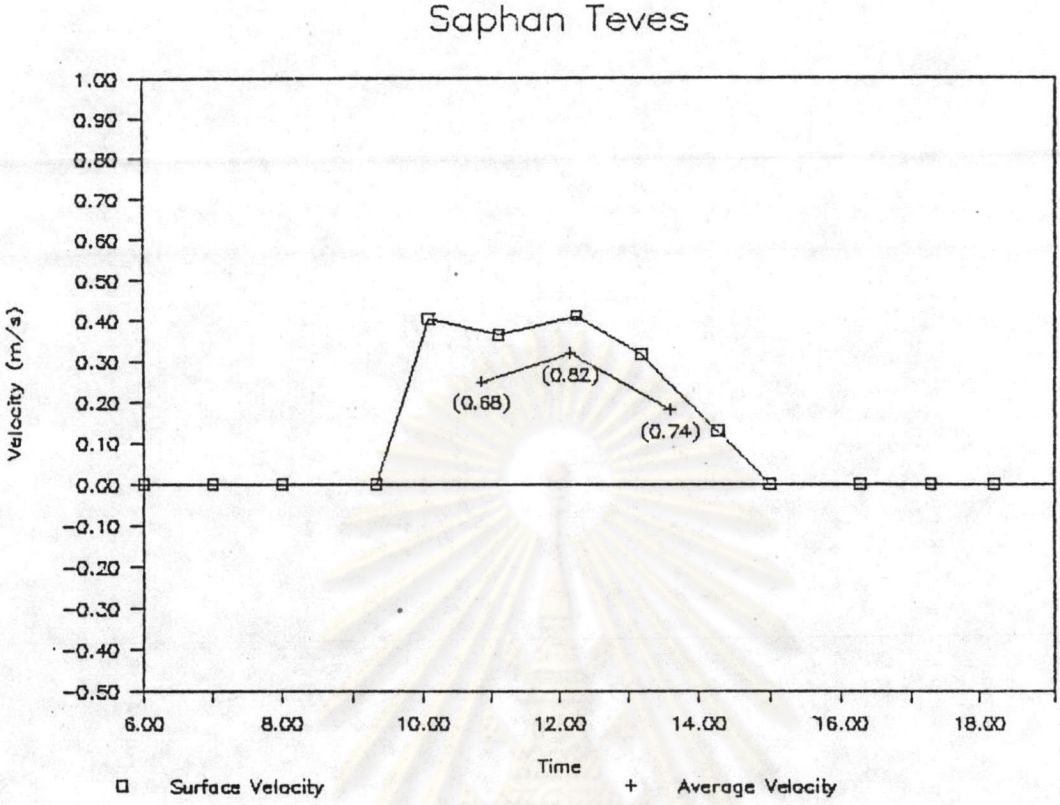
ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างความเร็วเฉลี่ยต่อความเร็วของทุ่นไม้ ทั้ง 3 ครั้ง (เวลา 10:30 น., 11:45 น. 13:20 น.) ได้อัตราส่วนทั้งสามเป็น 0.68, 0.82 และ 0.74

ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยทั้งสามคือ 0.77 ดังรูป 4-14 ดังนั้นสำหรับหน้าตัดอื่น ๆ ซึ่งมีรูปตัดขวางคล้ายกันจึงพอสรุปว่าความเร็วเฉลี่ยของหน้าตัดมีค่าประมาณ 0.77 เท่าของความเร็วของทุ่นไม้

4.2.3 ผลการเปรียบเทียบกับแบบจำลอง

เพื่อให้ผลการคำนวณโดยแบบจำลอง ใกล้เคียงกับเหตุการณ์ที่ปรากฏจริงในพื้นที่ศึกษา จำเป็นจะต้องมีการปรับค่าตัวแปรกำหนดก่อน ซึ่งค่าตัวแปรกำหนดประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง, n ค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่ของ BOD, D_{xB} ค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่ของ DO, D_{xD} ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของ BOD, K_d ค่าสัมประสิทธิ์การเติมออกซิเจน, K_a ค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำของประตูระบายน้ำ, C_d และค่าคงที่ในสมการ 3-22 สำหรับสถานีสูบน้ำ ในการปรับค่าตัวแปรกำหนดทำการปรับ โดยเริ่มจากค่าที่ใช้ในการศึกษาที่ผ่านมา ค่าเริ่มต้นในการปรับตัวแปรกำหนดของ n, D_{xB}, D_{xD}, K_d และ K_a ดังตาราง 4-3 ถึงตาราง 4-6 ตามลำดับ ค่า C_d เริ่มต้นจากค่าประมาณจากการวัดระดับน้ำ และอัตราไหลที่ ปตร. เทเวศน์ ซึ่งได้ค่าประมาณ 0.6 (รูป 4-15) และค่าคงที่ สำหรับประตูระบายน้ำ เริ่มต้นจากค่าคงที่ใน pump characteristic curve (รูป ก-5) การปรับค่า ตัวแปรกำหนดทั้งหมด จะทำการปรับทีละขั้น ในแต่ละขั้นจะปรับจนผลการคำนวณใกล้กับค่าวัดจริง ในสนามมากที่สุด ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ปรับหาค่า n โดยการตัดประตูระบายน้ำเทเวศน์และสถานีสูบน้ำกรุงเกษมออกจากระบบ และใช้ระดับน้ำจากการวัดจริงในสนามเป็นเงื่อนไขที่ขอบเขต ทำการปรับค่า n แล้วตรวจสอบค่าระดับน้ำและความเร็วที่จุดต่างๆ กับค่าวัดจริงในสนาม
2. ปรับหาค่า C_d ของประตูระบายน้ำเทเวศน์ โดยเพิ่มการคิดประตูระบายน้ำลงในแบบจำลอง เงื่อนไขขอบเขตที่ประตูระบายน้ำ ใช้ค่าระดับน้ำแม่น้ำเจ้าพระยา ทำการปรับค่า C_d แล้วตรวจสอบผลการคำนวณระดับน้ำและความเร็วกระแสน้ำที่จุดต่าง ๆ
3. ปรับหาค่าคงที่ ในสมการ 3-23 (PA, PB) สำหรับสถานีสูบน้ำกรุงเกษม โดยการป้อนค่าคงที่ที่อ่านจาก pump characteristic curve ของสถานีสูบน้ำ ปรากฏว่าให้ค่าอัตราการสูบน้ำสูงกว่าอัตราการสูบจากการวัดในสนาม จึงทำการปรับค่าโดยลดอัตราสูบน้ำลง เหลือเป็นเปอร์เซนต์ของอัตราสูบน้ำที่อ่านจาก pump characteristic curve แล้วตรวจสอบความเร็วที่สะพานโสภณ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใกล้ที่สุด (ดูรูป 4-16)
4. ปรับหาค่า D_{xB} โดยสังเกตบริเวณ front ของ BOD ในกราฟค่า BOD ตามเวลาที่ตำแหน่งต่าง ๆ
5. ปรับหาค่า K_d โดยสังเกตค่าความเข้มข้นของ BOD ตามเวลาที่ตำแหน่งต่าง ๆ



$$\frac{\text{ความเร็วเฉลี่ยทั้งหน้าตัด}}{\text{ความเร็วที่ผิวน้ำ}} = (0.68 + 0.82 + 0.74)$$

$$= 0.77$$

รูป 4-14 ผลเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยในหน้าตัดคลองกับความเร็วผิวน้ำ ที่วัดโดยทุ่นไม้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4-3 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง (Manning's Roughness Coefficient, n) จากการศึกษาที่ผ่านมา

ลำน้ำ	Manning 's "n"	ที่มา
แม่น้ำเจ้าพระยา	0.020 - 0.040	Padoong, 2512
แม่น้ำเจ้าพระยา	0.025	Amnat, 2519
แม่น้ำเจ้าพระยา	0.035	Lohani, 2523
แม่น้ำเจ้าพระยา	0.025	สุจริต, 2529
แม่น้ำเจ้าพระยา	0.025	กีรติ , 2531
แม่น้ำบางปะกง	0.025 - 0.045	Emaduddin, 2523
คลองใน กทม. (ชั้นใน)	0.035	BFCD, 2527
คลองใน กทม. (คลองจิก)	0.045	สุรพงษ์ , 2530

ตาราง 4-4 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient, D_x) จากการศึกษาที่ผ่านมา

ลำน้ำ	มลสาร	สัมประสิทธิ์การแพร่ ตารางเมตร/วินาที	ที่มา
แม่น้ำเจ้าพระยา	BOD	6 - 288	Shin-Chang, 2516
	DO	6 - 1155	
แม่น้ำเจ้าพระยา	BOD	2 - 6	Lohani, 2523
	DO	2 - 6	
อ่าวไทย	ทุกชนิด	40	Winai, 2522
		$5.93\ h\ v_*$	
ท่าเรือ Taichung	BOD	45	Dong-Chi'R, 2528
	BOD	108 (ต้นน้ำ)	University of
	BOD	65 (ท้ายน้ำ)	California

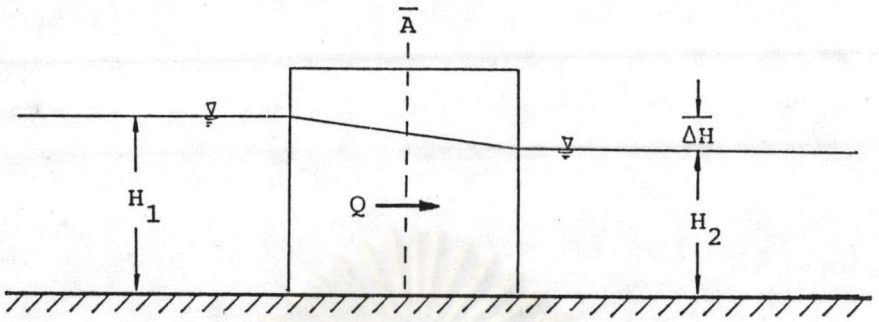
ตาราง 4-5 ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของ BOD (Deoxygenation Coefficient, K_d) จากการศึกษาที่ผ่านมา

ลำน้ำ	สัมประสิทธิ์การลดลงของ BOD ต่อวัน base e ที่ 30 °C	ที่มา
แม่น้ำเจ้าพระยา	0.14 - 0.36	Lohani, 2523
แม่น้ำเจ้าพระยา	0.3	Shin-Chang, 2516
ท่าเรือ Taichung	0.432 - 4.32	Hwang, 2528
ทั่วๆ ไป	0.40 - 2.38	Thomann, 2515

ตาราง 4-6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การเติมออกซิเจน (Reoxygenation Coefficient, K_a) จากการศึกษาที่ผ่านมา

ลำน้ำ	สัมประสิทธิ์การเติมออกซิเจน ต่อวัน base e ที่ 30 °C	ที่มา
แม่น้ำเจ้าพระยา	0.46 - 0.90	Lohani, 2523
แม่น้ำเจ้าพระยา	0.472	Shin-Chang, 2516

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพแสดงลักษณะของประตูระบายเทเวศร์

ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านประตูระบายน้ำเทเวศร์ ในเทอมของค่า C

Time	ΔT (sec)	ΔH (m)	A (sq.m)	T*A*(2g*ΔH)^.5 (cu.m)
10.00	4200	0.27	15.24	147,321
11.00	3600	0.20	15.30	109,108
12.00	3600	0.06	15.12	59,058
13.00	3600	0.01	14.68	23,409
14.00	1800	0.00	13.62	0
			Volume	338,897 * C

ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านประตูระบายน้ำเทเวศร์ โดยวัดที่สะพานเทเวศร์

Time	ΔT (sec)	A (sq.m)	velocity (m/sec)		Volume (cu.m)
			surface	average	
10.00	4200	32.1	0.402	0.310	41732
11.00	3600	43.6	0.364	0.280	43993
12.00	3600	45.9	0.411	0.316	52296
13.00	3600	45.7	0.317	0.244	40158
14.00	1800	44.1	0.129	0.099	7885
			Total Volume		186061

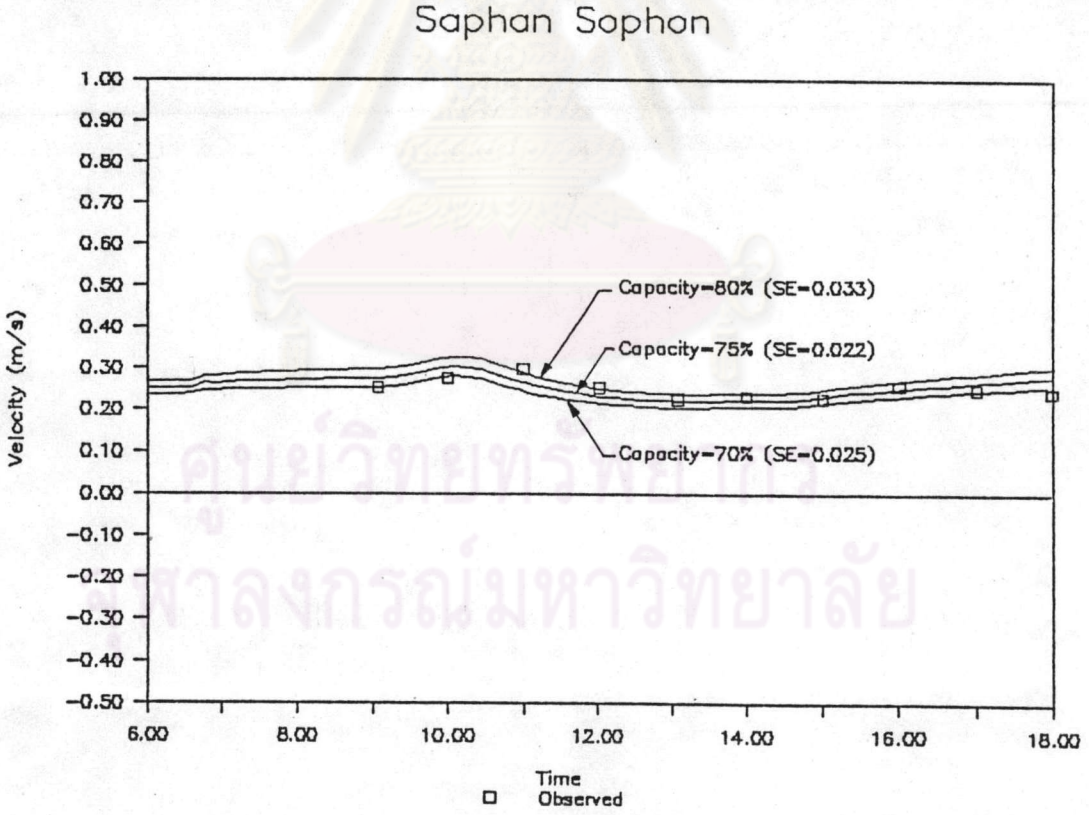
Cd = 0.55

รูป 4-15 ผลการประมาณค่า C_d

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางแสดงการปรับความสามารถในการสูบน้ำของสถานีสูบน้ำกรุงเกษม

No	Time	Observed Velocity (m/s)	Capacity		
			70%	75%	80%
1	9.00	0.253	0.253	0.275	0.298
2	10.00	0.275	0.281	0.304	0.327
3	11.00	0.296	0.243	0.265	0.288
4	12.00	0.253	0.214	0.232	0.250
5	13.00	0.223	0.204	0.221	0.237
6	14.00	0.230	0.207	0.223	0.239
7	15.00	0.226	0.217	0.233	0.250
8	16.00	0.256	0.232	0.250	0.269
9	17.00	0.249	0.245	0.266	0.287
10	18.00	0.241	0.257	0.279	0.303
Standard Error			0.025	0.022	0.033



รูป 4-16 ผลการปรับค่าคงที่สำหรับสถานีสูบน้ำกรุงเกษม

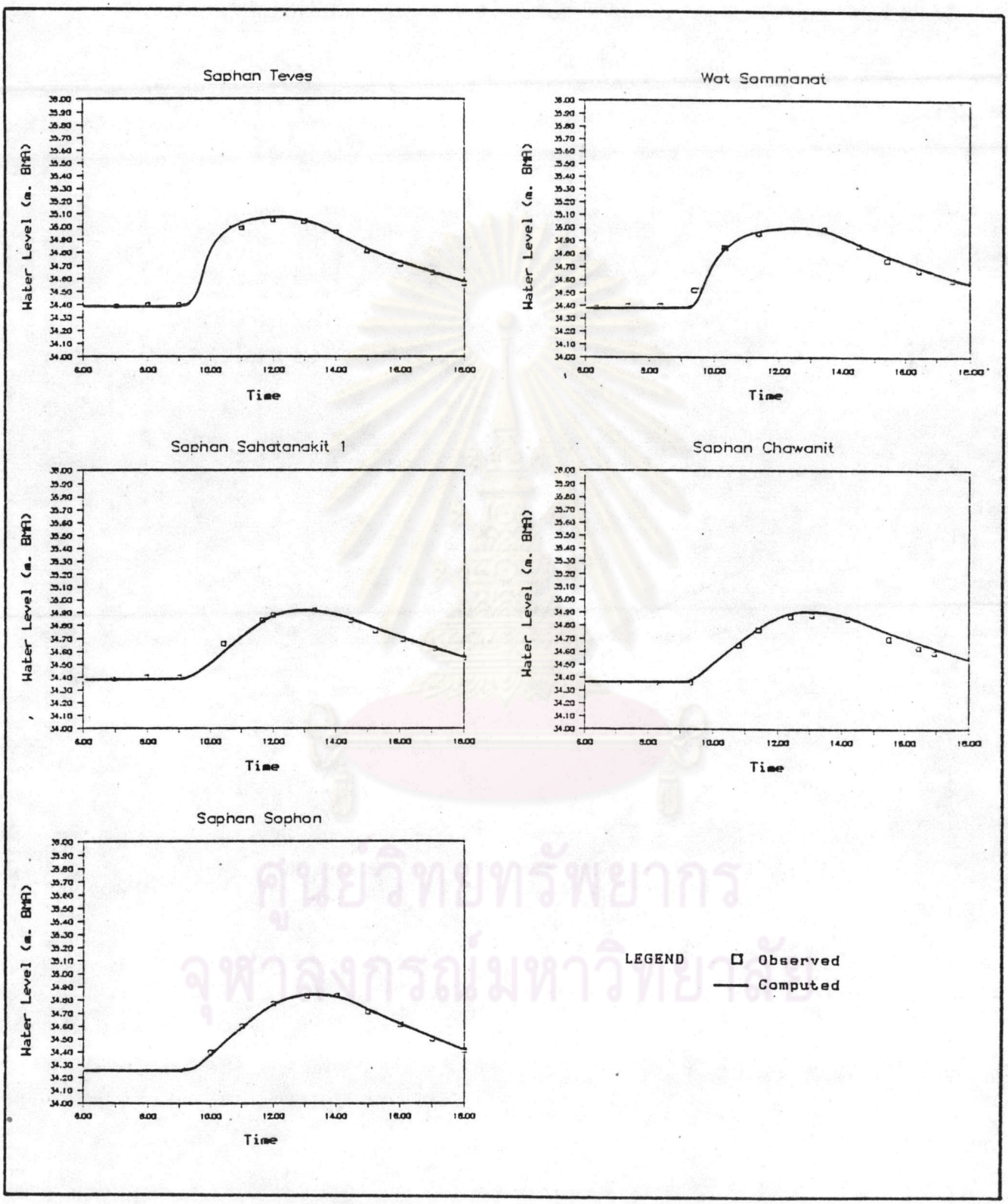
6. ปรับหาค่า D_{xD} โดยสังเกตบริเวณ front ของ DO ในกราฟ DO ตามเวลาที่ตำแหน่งต่าง ๆ
7. ปรับหาค่า K_a โดยสังเกตค่าความเข้มข้นของ DO ในกราฟ DO ตามเวลาที่ตำแหน่งต่าง ๆ

ผลการปรับค่าตัวแปรกำหนดต่างๆ พบว่าได้ผลการคำนวณระดับน้ำ ความเร็วกระแสน้ำ BOD และ DO สอดคล้องกับค่าวัดในสนาม ดังรูปที่ 4-17 ถึง 4-20 โดยเฉพาะผลการคำนวณของระดับน้ำใกล้เคียงมาก ค่าตัวแปรกำหนดที่ปรับแล้วได้ค่าดังนี้ n = 0.035 D_{xB} = 5 ตารางเมตรต่อวินาที D_{xD} = 40 ตารางเมตรต่อวินาที K_d = 0.3 ต่อวัน (base e ที่ 30 °C) K_a = 0.472 ต่อวัน (base e ที่ 30 °C) ซึ่งค่าทั้งหมดนี้อยู่ในพิสัยของการศึกษาที่ผ่านมา แสดงว่าแบบจำลองที่จัดสร้างขึ้น สามารถอธิบายปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงของ ระดับน้ำ ความเร็ว กระแสน้ำ BOD และ DO ได้เป็นอย่างดีและพร้อมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

4.3 สรุปผลการทดสอบแบบจำลอง

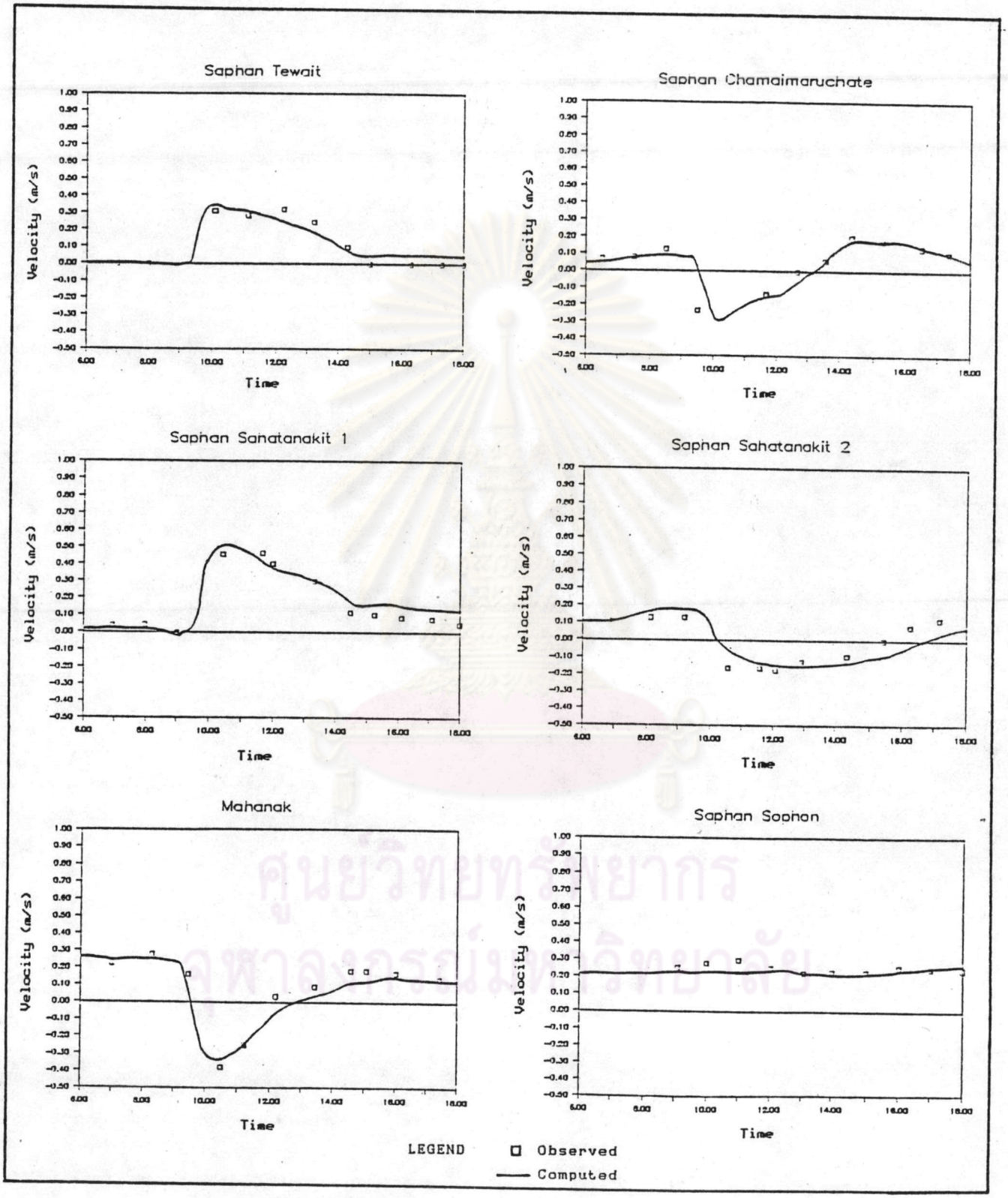
การทดสอบแบบจำลองนับเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง สำหรับแบบจำลองที่จัดสร้างขึ้นใหม่หรือแบบจำลองที่ยังไม่เคยนำมาศึกษา เนื่องจากแบบจำลองประกอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ลำดับการคำนวณไว้อย่างสลับซับซ้อน ถ้าไม่ผ่านการทดสอบจะไม่มีโอกาสทราบได้เลยว่าแบบจำลองดังกล่าวคำนวณได้ถูกต้องตามทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้หรือไม่ และเมื่อคำนวณได้ถูกต้องตามทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้จะสามารถอธิบายปรากฏการณ์จริงได้ถูกต้องเพียงใด ผลการทดสอบพอสรุปเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1. ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่คำนวณโดยแบบจำลองกับค่าวิเคราะห์จริง พบว่าในเชิงปริมาณ (ระดับน้ำและอัตราไหล) คำนวณได้ใกล้เคียงมาก ส่วนในเชิงคุณภาพมีแนวโน้มให้ค่าผิดพลาดสูงกว่า
2. อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆ
   ก. ค่า θ ที่ให้เสถียรภาพในการคำนวณ (stability) ดีที่สุดคือ 0.55 สอดคล้องกับ Vreudenhil (1968)
   ข. ค่า Δx, Δt ส่งผลต่อความถูกต้องในการคำนวณดังนี้
      - กรณีเชิงปริมาณ ความถูกต้องในการคำนวณขึ้นอยู่กับ Δx, Δt ในรูปของค่า Courant number
      - ค่า Pelect number สามารถแบ่งพฤติกรรมการเคลื่อนย้ายมวลสารออกเป็นกรณีการพาเป็นหลัก และกรณีการแพร่เป็นหลัก
      - กรณีเชิงคุณภาพ (สำหรับการพาเป็นหลัก) ความถูกต้องในการคำนวณขึ้นอยู่กับ Δx, Δt ในรูปของค่า Courant number



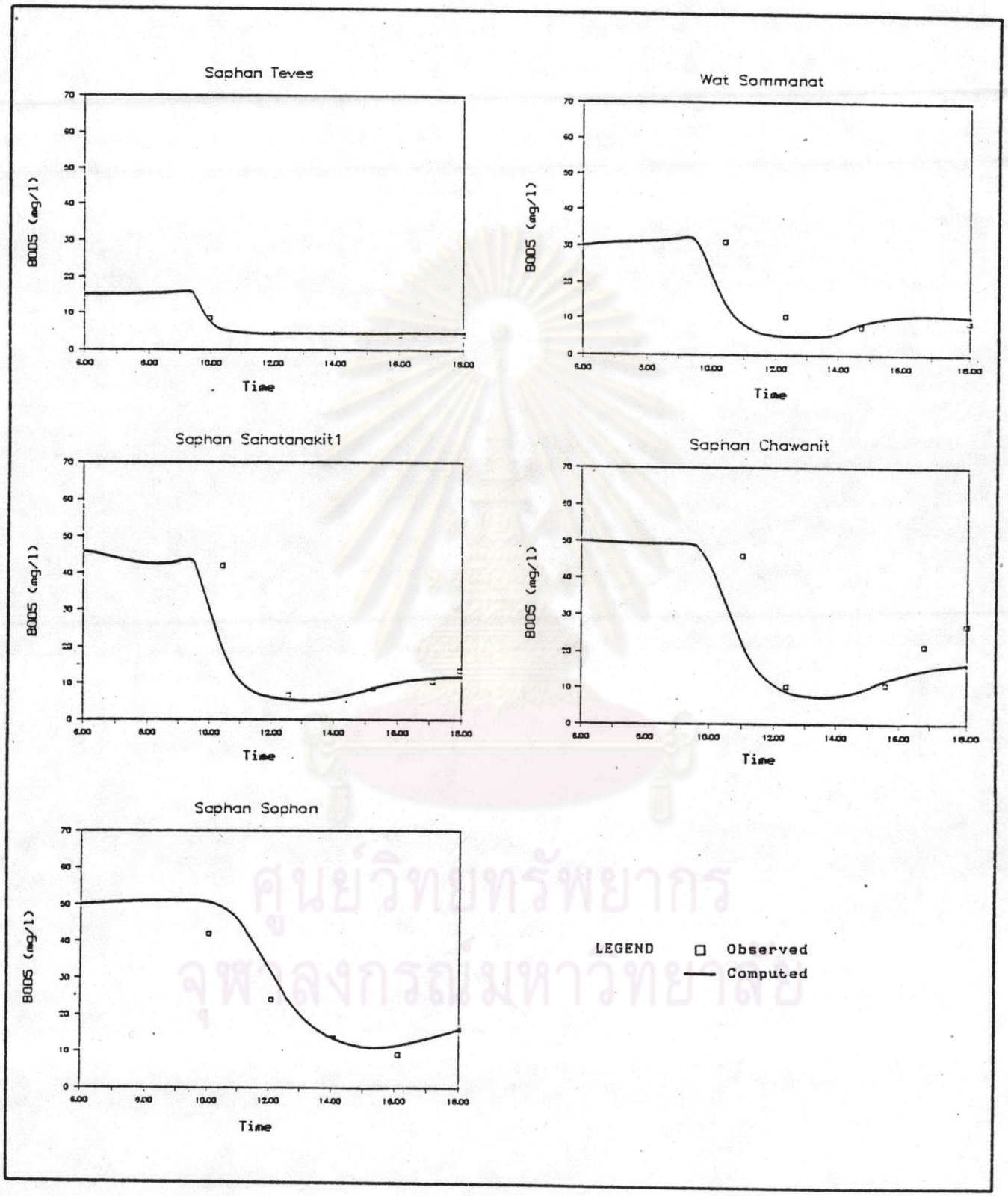
รูป 4-17 ผลเปรียบเทียบการคำนวณระดับน้ำกับค่าวัดจริงในสนาม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



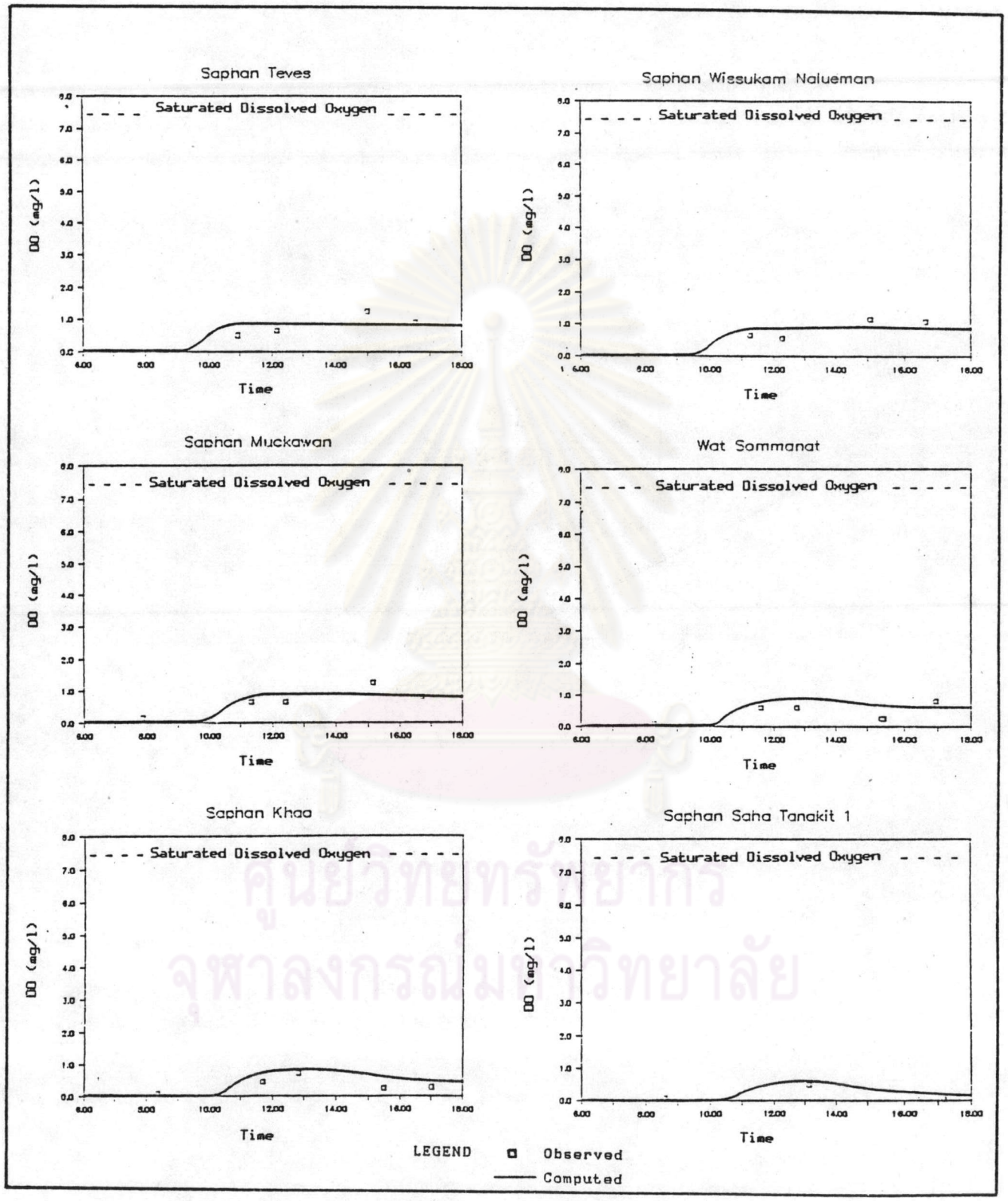
รูป 4-18 ผลเปรียบเทียบการคำนวณความเร็วกับค่าวัดจริงในสนาม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

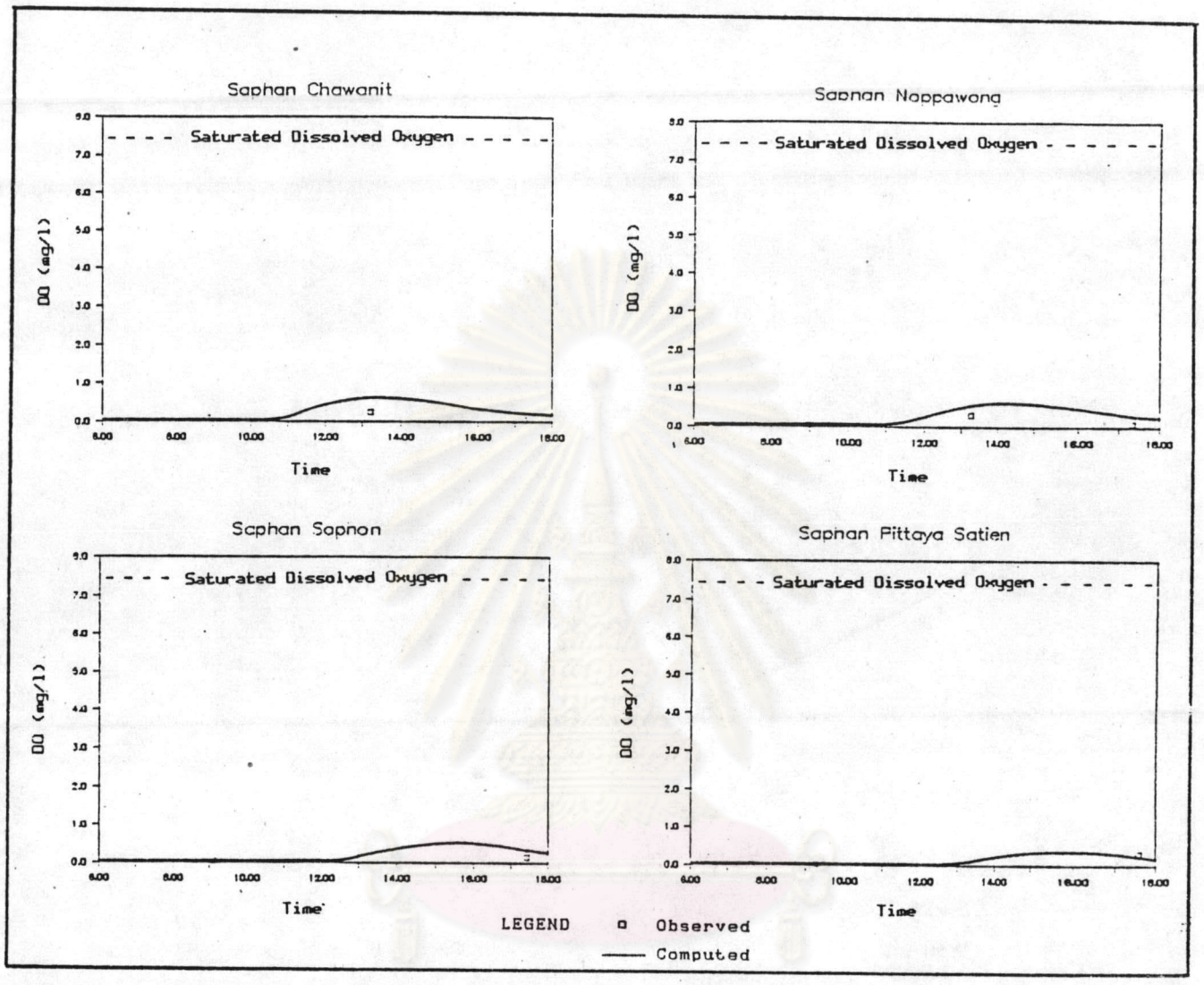


รูป 4-19 ผลเปรียบเทียบการคำนวณ BOD กับค่าวัดจริงในสนาม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4-20 ผลเปรียบเทียบการคำนวณ DO กับค่าวัดจริงในสนาม



รูป 4-20 (ต่อ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- กรณีเชิงคุณภาพ (สำหรับการแพร่เป็นหลัก) ความถูกต้องในการคำนวณขึ้นอยู่กับ Δx, Δt ในรูปของค่า Diffusion number

3. ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่คำนวณโดยแบบจำลองกับค่าวัดจริงในสนาม ให้ค่าสอดคล้องกันทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ (ดังรูป 4-17 ถึงรูป 4-20) แสดงว่าทฤษฎีพื้นฐาน สมมติฐานต่างๆ และค่าตัวแปรกำหนดที่ใช้สามารถอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงปริมาณและคุณภาพน้ำได้ โดยค่าตัวแปรกำหนดต่าง ๆ ปรับค่าได้ดังนี้ $n = 0.035$ $D_{xB} = 5$ ตารางเมตรต่อวินาที $D_{xD} = 40$ ตารางเมตรต่อวินาที $K_d = 0.3$ ต่อวัน (base e ที่ 30 $^{\circ}C$) $K_a = 0.472$ ต่อวัน (base e ที่ 30 $^{\circ}C$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย