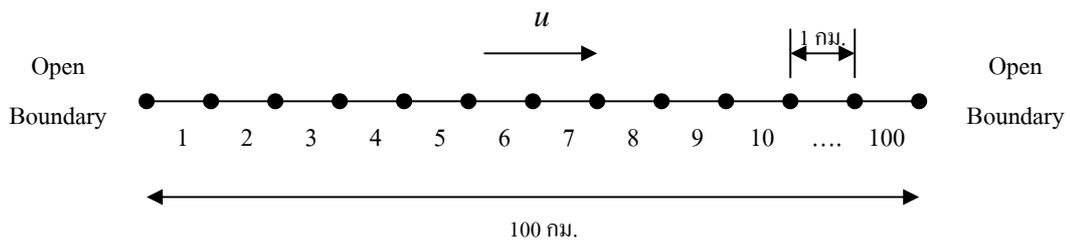


การตรวจพิสูจน์แบบจำลองอุทกพลศาสตร์

ก่อนการนำแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมาประยุกต์ใช้กับลำน้ำที่ทำการศึกษานั้น จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง และหาปัจจัยที่เหมาะสมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สำหรับการตรวจพิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ทำได้โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองคำนวณการไหลของน้ำในลำรางตามแนวยาวที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ ไม่มี ความชัน และเปรียบเทียบผลการคำนวณจากแบบจำลองกับผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ (Analytical Solution) โดยลำรางสำหรับการทดสอบกำหนดให้มีความยาวรวม 100 กิโลเมตร ความกว้าง 250 เมตร ความลึก 5 เมตร และแบ่งพื้นที่ของลำรางออกเป็นเอลิเมนต์ 1 มิติ 100 เอลิเมนต์ แต่ละเอลิเมนต์มีความยาว 1 กิโลเมตร โดยมีจุดต่อทั้งสิ้น 101 จุดต่อ ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ไฟไนต์เอลิเมนต์กริดของลำรางหน้าตัดคงที่สำหรับตรวจพิสูจน์แบบจำลองอุทกพลศาสตร์

โดยปกติแล้ว ค่าการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับความลึกทั้งหมดของลำน้ำ และความเร็วของการไหล จะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่า Celerity จึงสามารถตัดเทอม Coriolis Force ออก สมการทรงมวลสารและสมการโมเมนตัมสำหรับการไหลในแนวเดียว จะเขียนได้ดังนี้ (Ippen, 1996)

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + h_0 \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad (111)$$

และ

$$\frac{\partial u}{\partial t} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \lambda u = 0 \quad (112)$$

เมื่อ η คือ ระดับการเปลี่ยนแปลงของผิวน้ำ (เมตร)
 h_0 คือ ระดับน้ำเฉลี่ย (เมตร)
 u คือ ความเร็วของการไหลในแนวแกน x (เมตรต่อวินาที)
 g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (ตารางเมตรต่อวินาที)
 λ คือ $\frac{g|u|}{hC_h^2}$ (113)

สำหรับกรณีการไหลแบบ 1 มิติ ในลำรางที่มีหน้าตัดคงที่ และไม่มี ความชัน สามารถ คำนวณผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ของค่าระดับน้ำและความเร็วที่ตำแหน่ง x และ เวลา t ได้ ดังนี้ (Ippen, 1996)

$$\eta(x,t) = a_0 e^{-\mu x} \sin(\omega t - kx) \quad (114)$$

และ

$$u(x,t) = \frac{a_0}{h_0} C_0 e^{-\mu x} \frac{k_0}{\sqrt{u^2 + k^2}} \sin(\omega t - kx + \alpha) \quad (115)$$

เมื่อ $\alpha = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{\lambda}{\omega}$ (116)

$$C_0 = \sqrt{gh_0} \quad (117)$$

$$k_0 = \frac{\omega}{\sqrt{gh_0}} \quad (118)$$

$$k = \frac{k_0}{\sqrt{1 - \tan^2 \alpha}} \quad (119)$$

$$\mu = k \tan \alpha \quad (120)$$

ในการคำนวณค่าระดับน้ำและความเร็วของการไหลในลำรางโดยใช้แบบจำลอง คณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น มีการกำหนดให้สภาวะเริ่มต้นเป็นสภาวะที่ลมสงบ ให้ค่า $\eta = 0$ และ

$u = 0$ เมื่อ เวลา $t = 0$ ความเร็วของการไหลในแนวตั้งฉากกับขอบเขตปิด มีค่าเป็นศูนย์ และให้ $a_0 = 1$ เมตร $\omega = \frac{2\pi}{7200}$ เรเดียน/วินาที และ $\lambda = 0.0005$ วินาที⁻¹ และมีการกำหนดค่าเงื่อนไขขอบเขต 2 ชนิด ได้แก่

1) เงื่อนไขขอบเขตที่ขอบเขตปิด กำหนดให้ไม่มีการถ่ายเทปริมาณการไหล (Discharge flux) ผ่านขอบเขตปิด

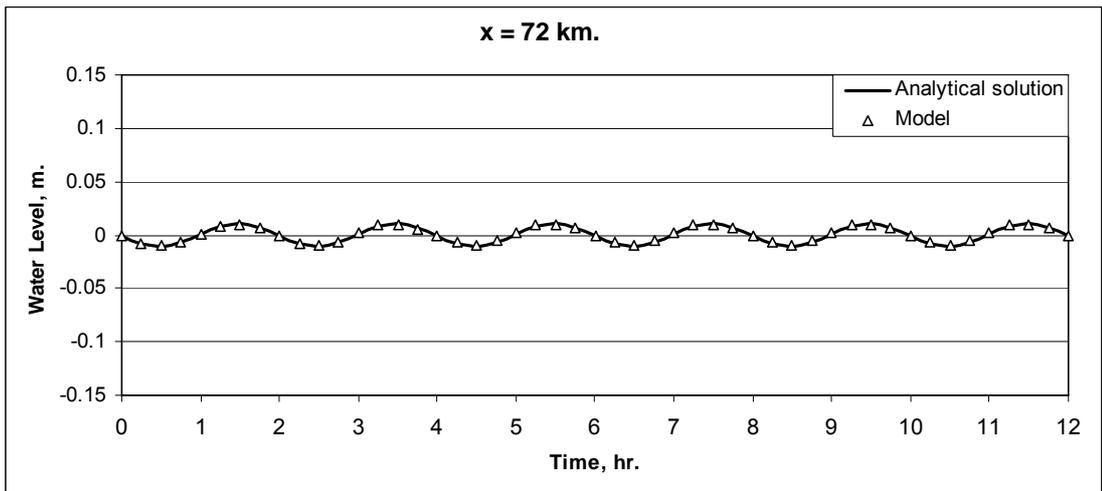
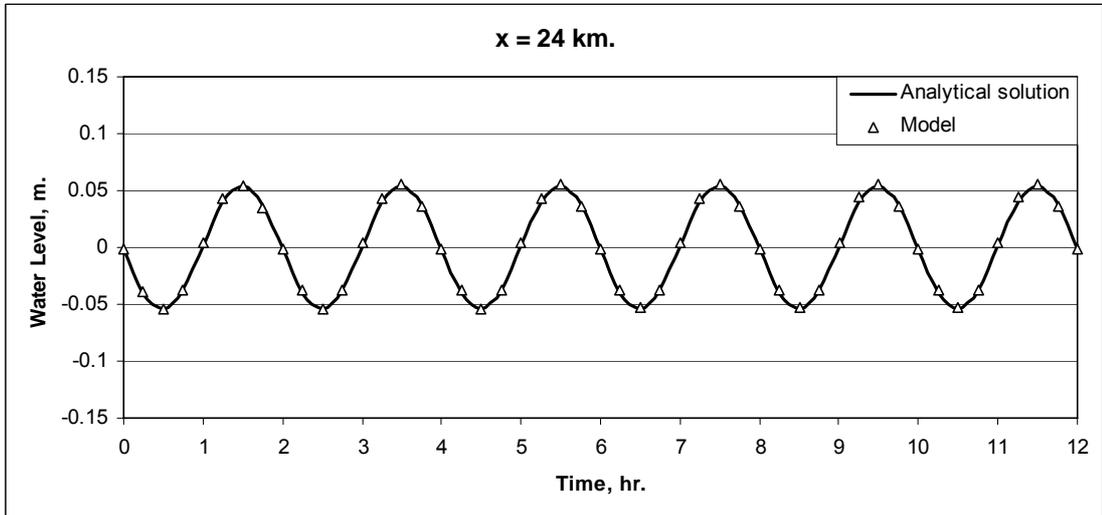
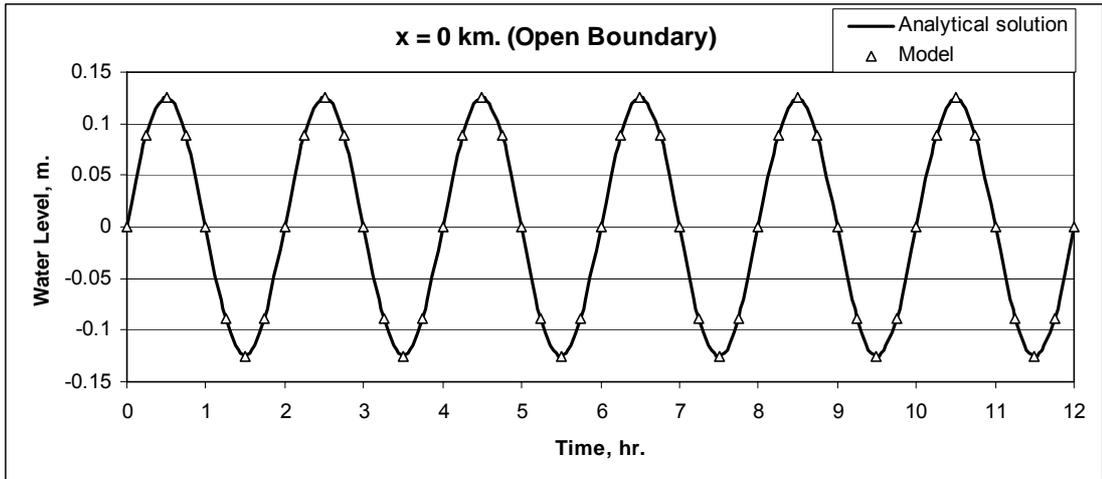
2) เงื่อนไขขอบเขตที่ขอบเขตเปิด ที่ตำแหน่ง $x = 0$ กิโลเมตร กำหนดให้ระดับน้ำเปลี่ยนแปลงไปตามสมการ $\eta_0 = a_0 \sin(\omega t)$ และที่ตำแหน่ง $x = 100$ กิโลเมตรปริมาณการไหลมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามสมการที่ (115)

ปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องในการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์มาคำนวณหาผลลัพธ์ที่จะต้องพิจารณา คือ การแบ่งช่วงเวลา (Time Increment, Δt) ซึ่งต้องทำการทดสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ค่า Δt ที่เหมาะสม โดย Courant – Friedrich – Lewy Condition ได้กำหนดหลักเกณฑ์ในการคำนวณค่า Δt ได้ดังนี้ (Wang และ Connor, 1975)

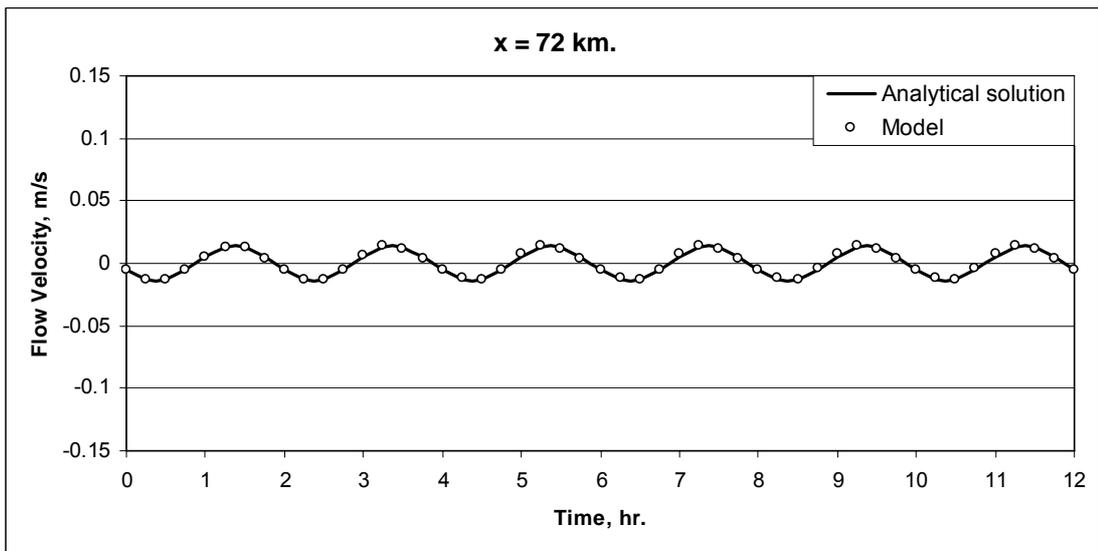
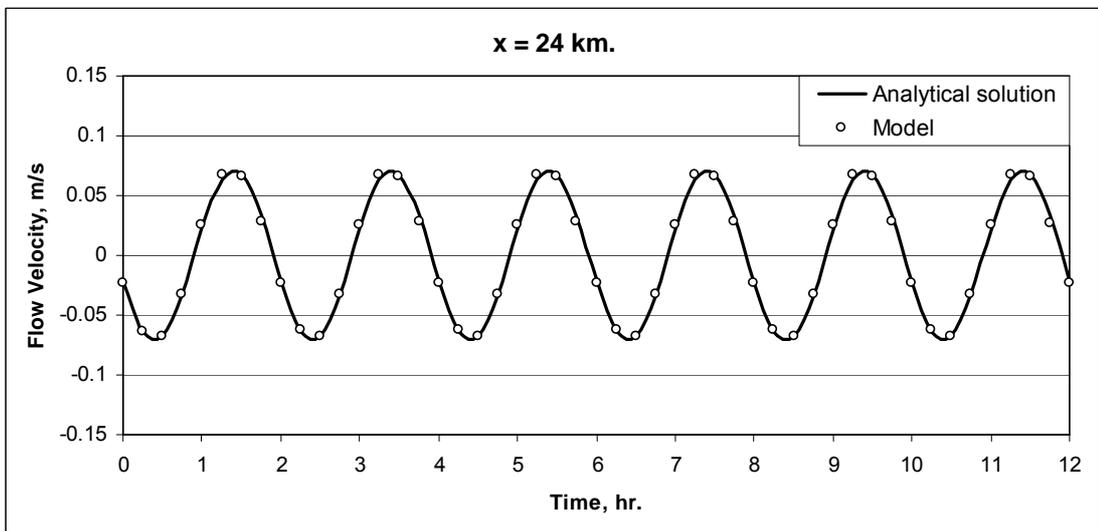
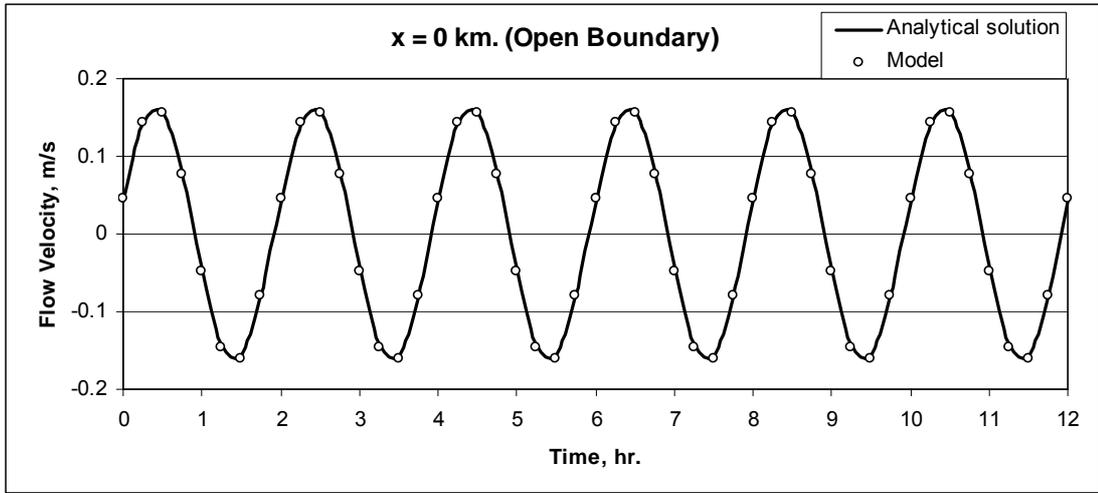
$$\Delta t < \frac{\Delta s}{\sqrt{2gh}} = \Delta t_{cr} \quad (121)$$

| | | |
|-------|------------|---|
| เมื่อ | Δs | คือ ระยะห่างระหว่างเอลิเมนต์ (เมตร) |
| | h | คือ ความลึกของลำน้ำ (เมตร) |
| | g | คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (ตารางเมตรต่อวินาที) |
| | Δt | คือ ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการคำนวณ (วินาที) |

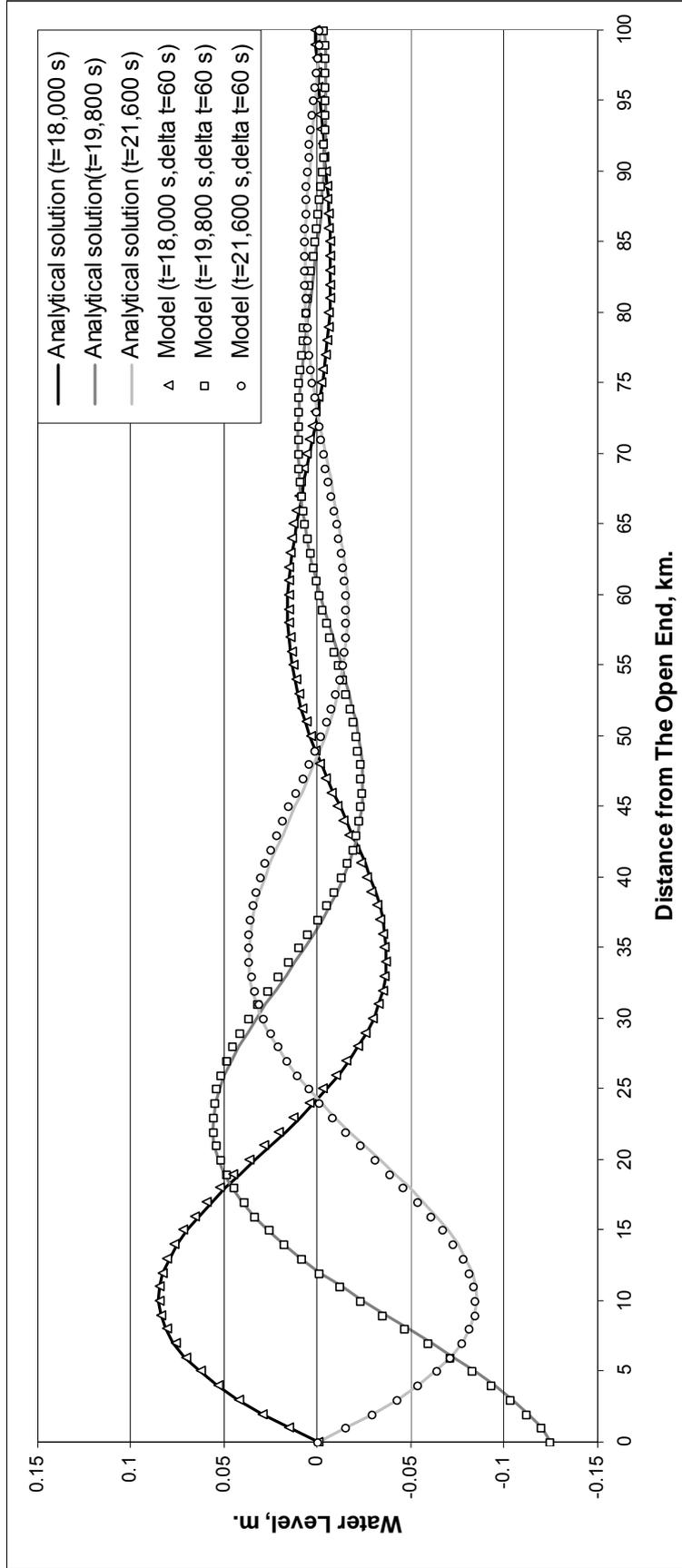
จากสมการข้างต้นจะได้ค่า Δt ที่เหมาะสมสำหรับการตรวจพิสูจน์แบบจำลองอุทกพลศาสตร์มีค่าน้อยกว่า 101 วินาที ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น เมื่อให้มีการคำนวณในลำรางที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ และใช้ช่วงระยะเวลา 60 วินาที ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้แบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับผลเฉลยเชิงวิเคราะห์มีค่าไม่แตกต่างกัน สามารถยอมรับได้ ดังภาพที่ 17-22



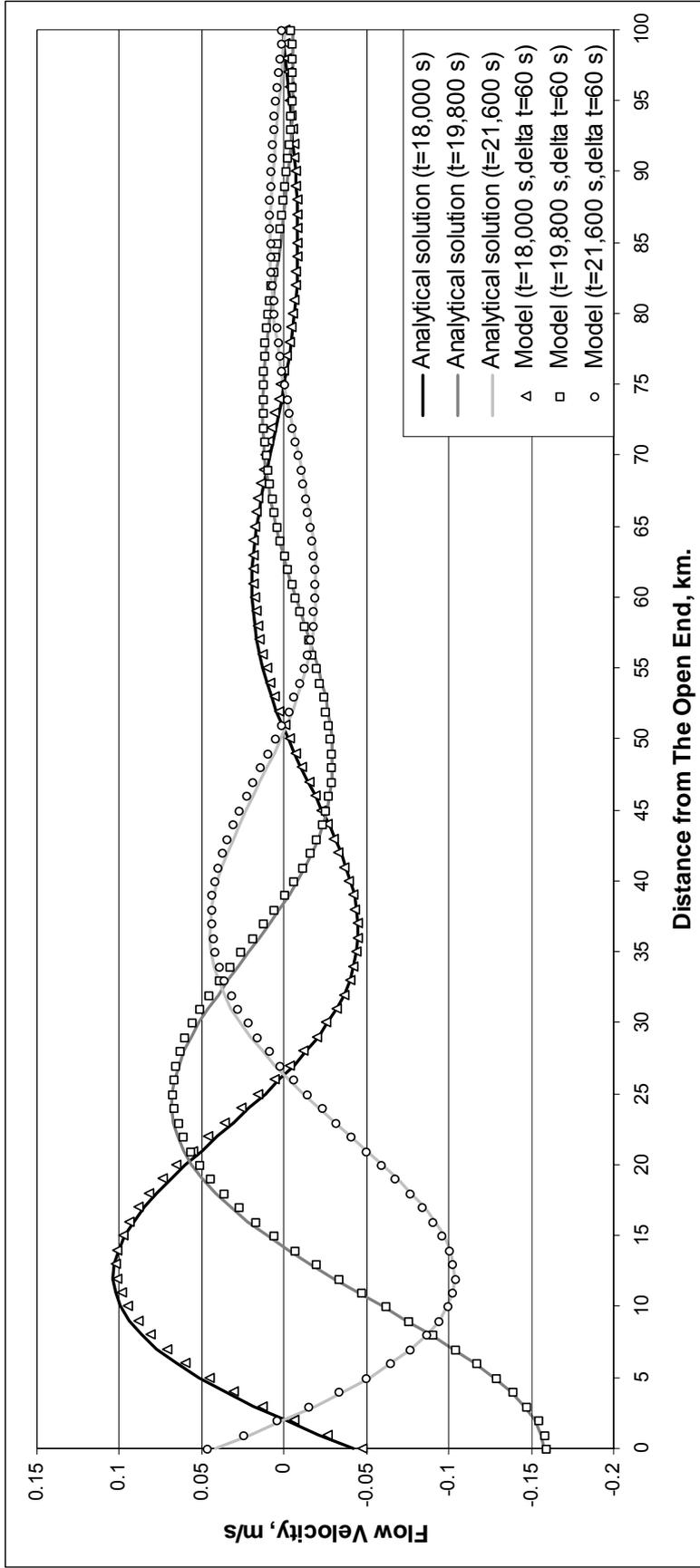
ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่เวลาต่างๆ



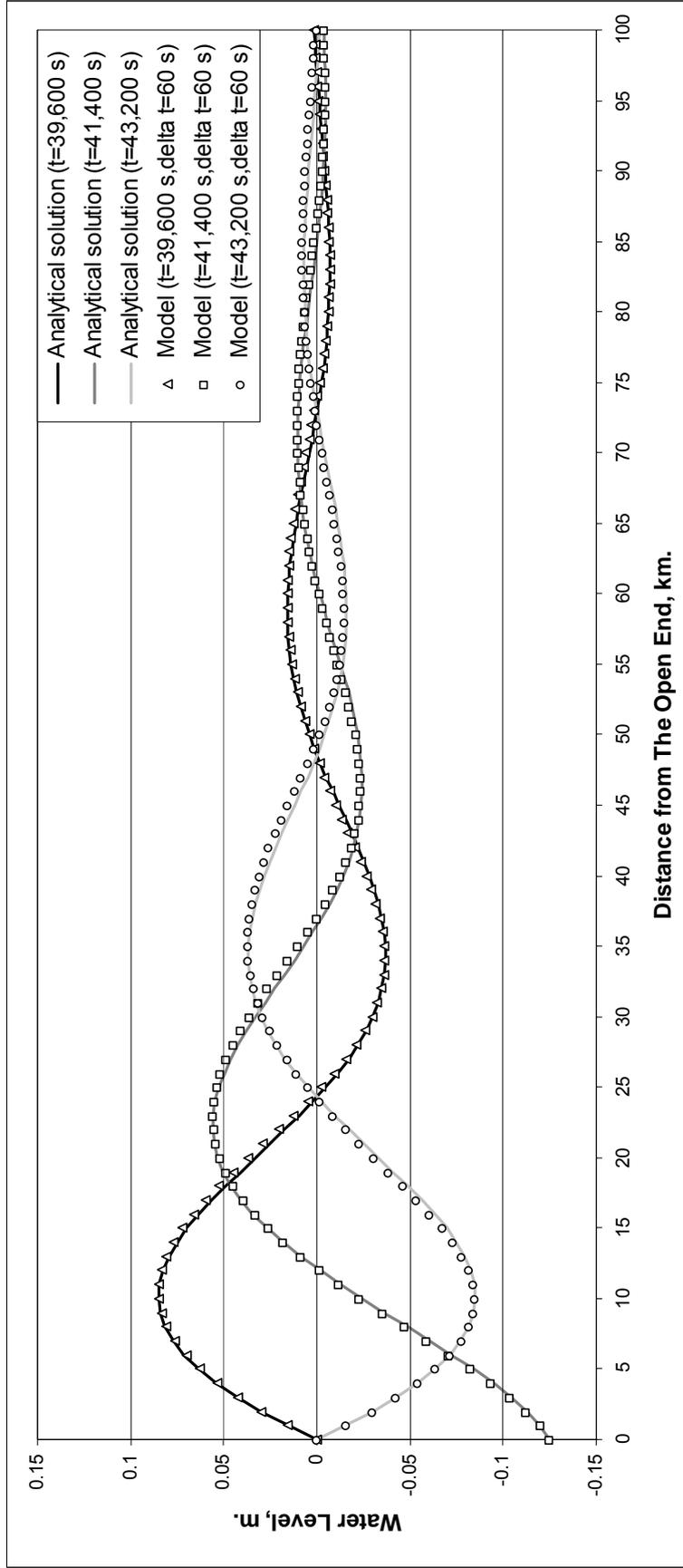
ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงความเร็วการไหลของน้ำที่เวลาต่างๆ



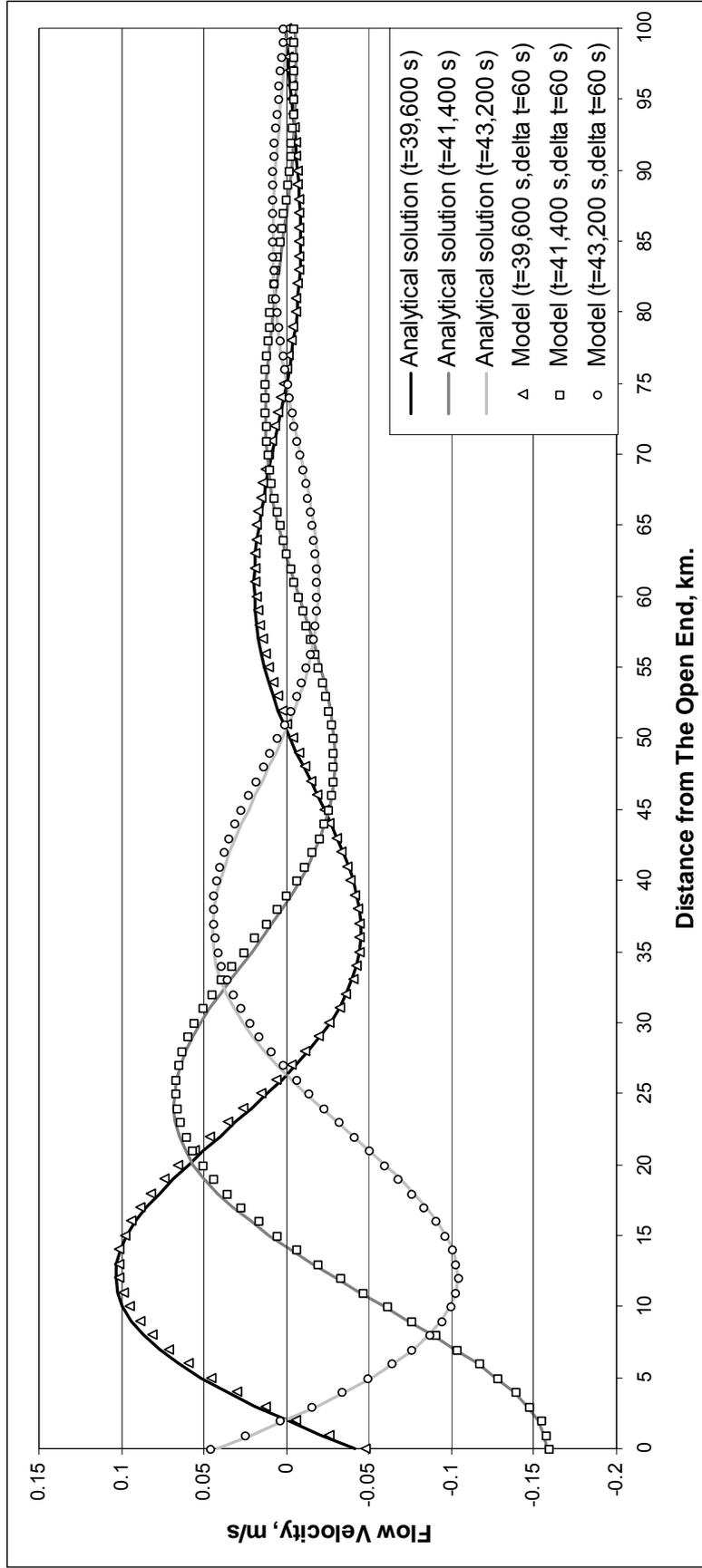
ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่ตำแหน่งต่างๆ ณ เวลา 5, 5.5 และ 6 ชั่วโมง



ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงความเร็วการไหลที่ตำแหน่งต่างๆ ณ เวลา 5, 5.5 และ 6 ชั่วโมง



ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่ตำแหน่งต่างๆ ณ เวลา 11, 11.5 และ 12 ชั่วโมง



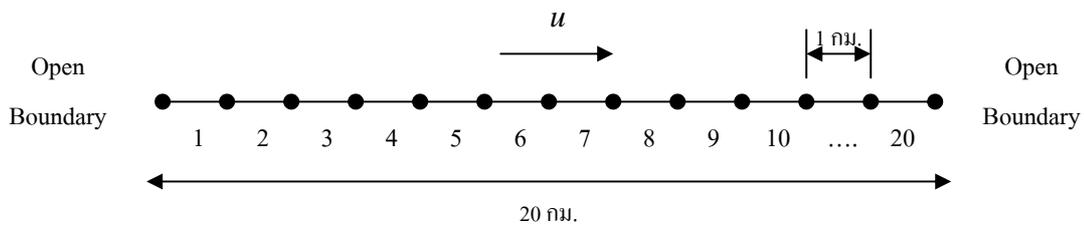
ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงความเร็วการไหลที่ตำแหน่งต่างๆ ณ เวลา 11, 11.5 และ 12 ชั่วโมง

การตรวจพิสูจน์แบบจำลองการแพร่กระจาย

ทำการตรวจพิสูจน์ความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองการแพร่กระจายมวลสารที่พัฒนาขึ้น โดยเปรียบเทียบผลการคำนวณจากแบบจำลองกับผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ (Analytical Solution) ในกรณีการแพร่กระจายในลำราง โดยกำหนดค่าเงื่อนไขเริ่มต้นและค่าเงื่อนไขขอบเขต และสมมติค่าความเร็วของน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย ค่าอัตราการย่อยสลาย

1. กรณีลำรางที่มีการกำหนดค่าความเข้มข้นคงที่ที่ปลายด้านหนึ่ง

สำหรับพื้นที่ศึกษาที่ใช้สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการแพร่กระจายในกรณีลำรางที่มีการกำหนดค่าความเข้มข้นคงที่ที่ปลายด้านหนึ่ง เป็นลำรางที่มีหน้าตัดสม่ำเสมอ ความยาว 20 กิโลเมตร ความกว้าง 250 เมตร ความลึกเฉลี่ย 5 เมตร โดยจะทำการแบ่งพื้นที่ออกเป็นเอลิเมนต์ 1 มิติจำนวน 20 เอลิเมนต์ 21 จุดต่อ แต่ละเอลิเมนต์มีความยาว 1 กิโลเมตร ดังภาพที่ 23 กำหนดให้ความเร็วการไหลของน้ำในแนวแกน x (u) 0.1 เมตร/วินาที ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในแนวแกน x (K_x) 100 ตารางเมตร/วินาที ค่าอัตราการสลายตัว 1 วัน^{-1} เงื่อนไขที่ขอบเขตปิด กำหนดให้ไม่มีการถ่ายเทของมวลสาร (Dispersive Flux) ผ่านขอบเขตปิด



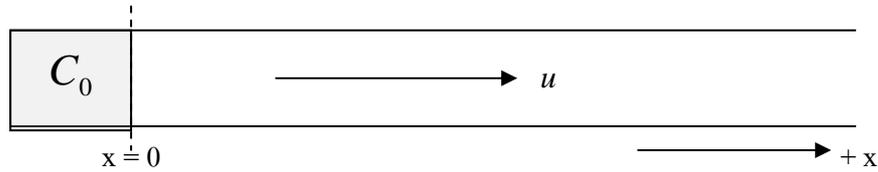
ภาพที่ 23 ไฟไนต์เอลิเมนต์กริดของลำรางหน้าตัดคงที่สำหรับตรวจพิสูจน์แบบจำลองการแพร่กระจาย

กรณีของลำน้ำหน้าคงที่ที่มีการทิ้งมวลสารที่จุดต้นน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 24 มีค่าเงื่อนไขเริ่มต้น และค่าเงื่อนไขขอบเขตเปิด กำหนดการปล่อยมวลสารโดยระบุความเข้มข้นดังนี้

$$C(0,t) = C_0 \quad \text{เมื่อ} \quad t \geq 0 \quad (122)$$

$$C(\infty, t) = 0 \quad \text{เมื่อ } t \geq 0 \quad (123)$$

$$C(x, 0) = 0 \quad \text{เมื่อ } x \geq 0 \quad (124)$$



ภาพที่ 24 ลำรางที่มีหน้าตัดคงที่ และมีการกำหนดความเข้มข้นของสารที่ปลายด้านต้นน้ำ

ในสถานะไม่คงที่ (Unsteady State) และสถานะคงที่ (Steady State) สามารถหาค่าความเข้มข้นของสารที่จุดต่างๆ ได้ดังนี้ (Liengcharernsit , 1979)

Steady State

$$\frac{C}{C_0} = \exp\left\{\frac{x}{2K_x} \left(u - \sqrt{u^2 + 4K_x K}\right)\right\} \quad (125)$$

Unsteady State

$$\begin{aligned} \frac{C}{C_0} = & \frac{1}{2} e^{xu/2K_x} \left[\exp\left(\frac{x}{2D_x} \sqrt{u^2 + 4K_x K}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{x + \sqrt{u^2 + 4K_x K} t}{\sqrt{4K_x t}}\right) \right. \\ & \left. + \exp\left(-\frac{x}{2K_x} \sqrt{u^2 + 4K_x K}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{x - \sqrt{u^2 + 4K_x K} t}{\sqrt{4K_x t}}\right) \right] \quad (126) \end{aligned}$$

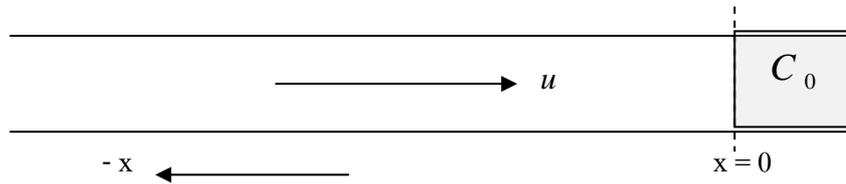
- เมื่อ C = ความเข้มข้นของสารที่ระยะ x (กรัมต่อลิตร)
- C_0 = ความเข้มข้นของสารที่จุดต้นน้ำ (กรัมต่อลิตร)
- x = ระยะทางในแนวแกน x จากต้นน้ำ (เมตร)
- t = เวลา (วินาที)

กรณีของลำน้ำหน้าตัดคงที่ที่มีการกำหนดความเข้มข้นของมวลสารที่จุดปลายด้านท้ายน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 25 มีค่าเงื่อนไขเริ่มต้น และค่าเงื่อนไขขอบเขตเปิด ดังนี้

$$C(0,t) = C_0 \quad \text{เมื่อ} \quad t \geq 0 \quad (127)$$

$$C(-\infty,t) = 0 \quad \text{เมื่อ} \quad t \geq 0 \quad (128)$$

$$C(x,0) = 0 \quad \text{เมื่อ} \quad -\infty < x < 0 \quad (129)$$



ภาพที่ 25 ลำรางที่มีหน้าตัดคงที่ และการกำหนดความเข้มข้นของสารที่ปลายด้านท้ายน้ำ

ในกรณีนี้สามารถหาคำตอบได้โดยการแทน x , u ด้วย $-x$, $-u$ ตามลำดับ ลงในสมการที่ (55) และ (56) จะได้

Steady State

$$\frac{C}{C_0} = \exp\left\{\frac{-x}{2K_x} \left(u - \sqrt{u^2 + 4K_x K}\right)\right\} \quad (130)$$

Unsteady State

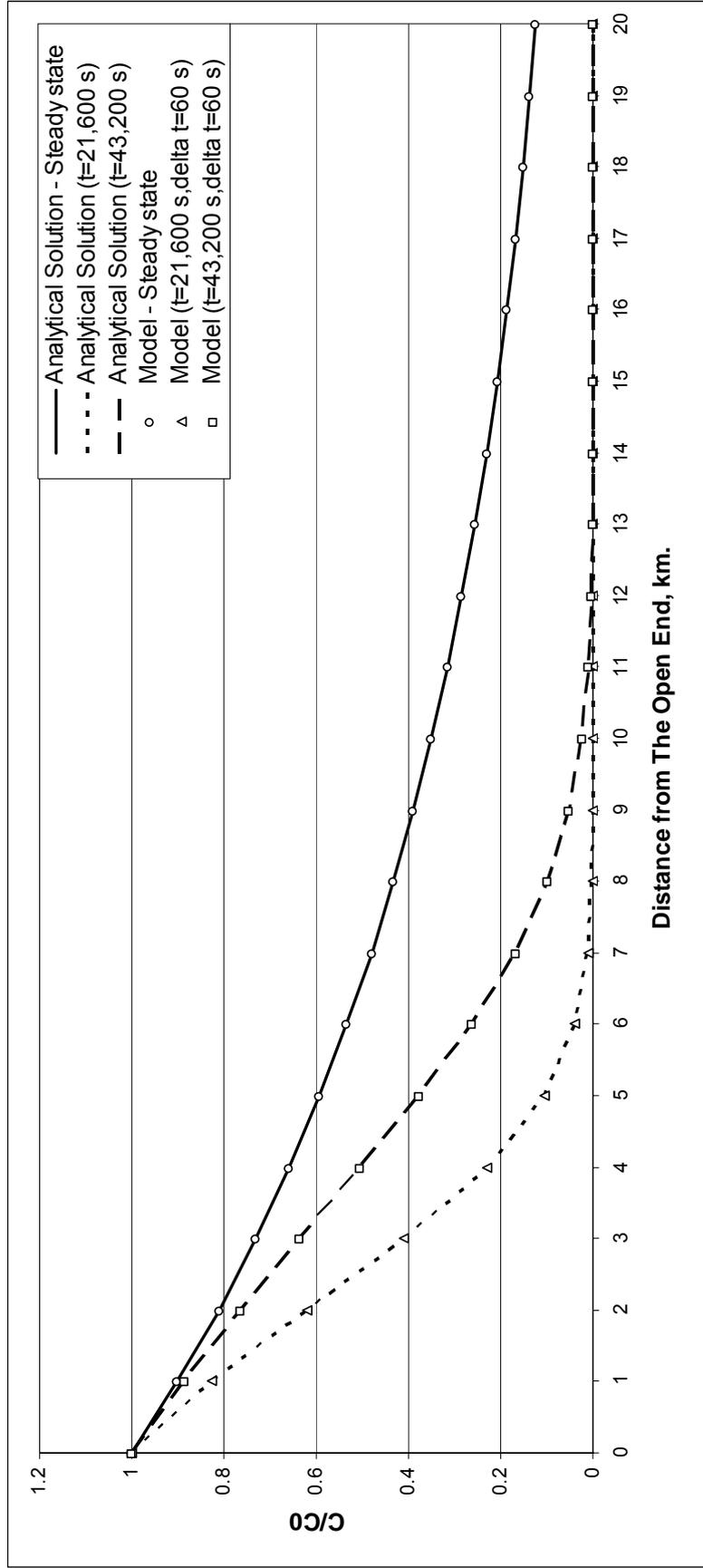
$$\begin{aligned} \frac{C}{C_0} = & \frac{1}{2} e^{-xu/2K_x} \left[\exp\left(\frac{-x}{2K_x} \sqrt{u^2 + 4K_x K}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{-x + \sqrt{u^2 + 4K_x K.t}}{\sqrt{4K_x.t}}\right) \right. \\ & \left. + \exp\left(-\frac{x}{2K_x} \sqrt{u^2 + 4K_x K}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{-x - \sqrt{u^2 + 4K_x K.t}}{\sqrt{4K_x.t}}\right) \right] \quad (131) \end{aligned}$$

การหาค่าการแบ่งช่วงเวลา (Δt) ที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองการแพร่กระจาย มีหลักเกณฑ์ในการคำนวณดังนี้ (Liengcharernsri, 1979)

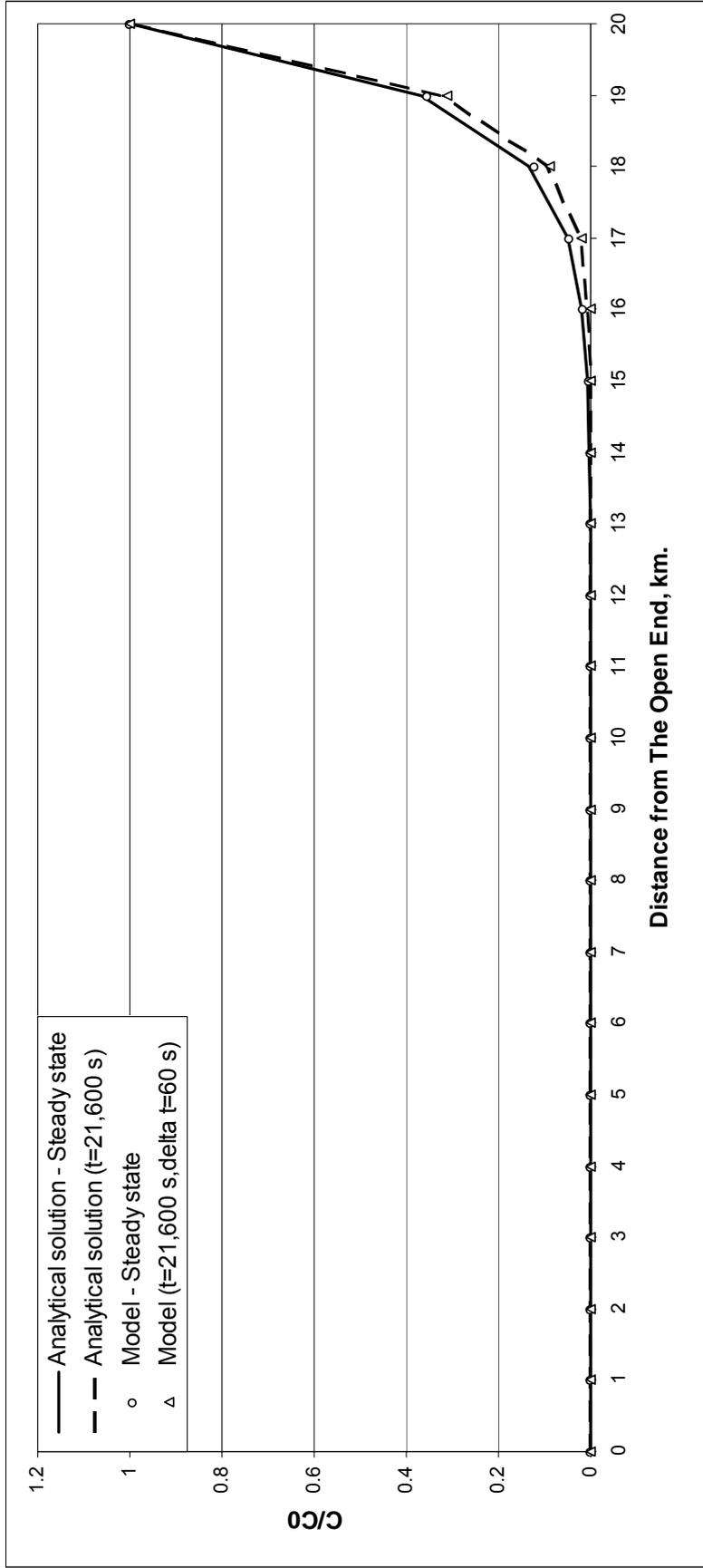
$$\Delta t < \frac{(\Delta s)^2}{2K_x} \quad \text{และ} \quad \Delta t < \frac{\Delta s}{u} \quad (132)$$

| | | |
|-------|------------|--|
| เมื่อ | Δs | คือ ระยะห่างระหว่างเอลิเมนต์ (เมตร) |
| | u | คือ ความเร็วการไหลของน้ำ (เมตรต่อวินาที) |
| | K_x | คือ ค่าคงที่การแพร่กระจาย (ตารางเมตรต่อวินาที) |
| | Δt | คือ ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการคำนวณ (วินาที) |

จากสมการ(136) จะได้ค่า Δt ที่เหมาะสมสำหรับการตรวจพิสูจน์ในกรณีลำรางที่มีการกำหนดความเข้มข้นคงที่ที่ปลายด้านหนึ่งมีค่าน้อยกว่า 5,000 วินาที แต่สำหรับการคำนวณนี้จะใช้ค่า Δt เท่ากับ 60 วินาที เพื่อให้สอดคล้องกับการตรวจพิสูจน์แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ข้างต้น ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทั้งในกรณีกำหนดความเข้มข้นคงที่ที่ปลายด้านน้ำและปลายท้ายน้ำที่สถานะคงที่และไม่คงที่ได้ผลลัพธ์จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลเฉลยเชิงวิเคราะห์มีค่าไม่แตกต่างกันสามารถยอมรับได้ ดังภาพที่ 26-27



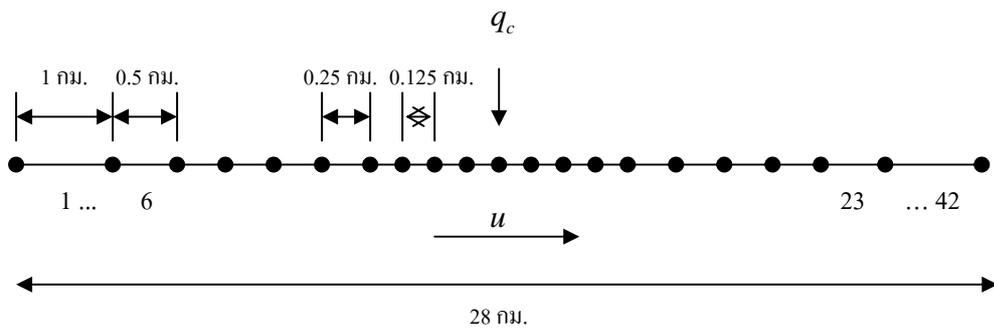
ภาพที่ 26 การแพร่กระจายมลสารผ่านลำรางหน้าตัดสม่ำเสมอเมื่อมีการกำหนดค่าความเข้มข้นคงที่ที่ปลายต้นน้ำ ($K = 1 \text{ day}^{-1}$, $K_x = 100 \text{ m}^2/\text{s}$, $u = 0.1 \text{ m/s}$)



ภาพที่ 27 การแพร่กระจายมลสารผ่านด้านล่างหน้าตัดสม่ำเสมอเมื่อมีการกำหนดค่าความเข้มข้นคงที่ปลายท้ายน้ำ ($K = 0 \text{ day}^{-1}$, $K_x = 100 \text{ m}^2/\text{s}$, $u = 0.1 \text{ m/s}$)

2. กรณีลำรางที่มีการกำหนดจุดระบายมวลสาร และอัตราการระบายมวลสาร

การตรวจสอบในกรณีการกำหนดจุดระบายมวลสาร และอัตราการระบายมวลสารจะกำหนดให้พื้นที่ศึกษาเป็นลำรางหน้าตัดคงที่ ความยาว 28 กิโลเมตร ความกว้าง 250 เมตร และความลึกเฉลี่ย 5 เมตร ทำการแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย 42 เอลิเมนต์ ดังภาพที่ 26 โดยที่บริเวณใกล้กับจุดทิ้งมวลสาร (Discharging Point) จะมีการแบ่งเอลิเมนต์ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้สอดคล้องกับเงื่อนไขสำหรับการทิ้งมวลสารที่จุดหนึ่งๆ ดังภาพที่ 28 โดยในการตรวจสอบนี้จะกำหนดให้มีการทิ้งมวลสารเท่ากับ 5 กรัม/ตารางเมตร.วินาที และกำหนดให้ความเร็วของน้ำค้างที่เท่ากับ 0.05 เมตร/วินาที ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในแนวแกน x (K_x) 10 ตารางเมตร/วินาที และค่าอัตราการสลายตัว 0 วัน⁻¹

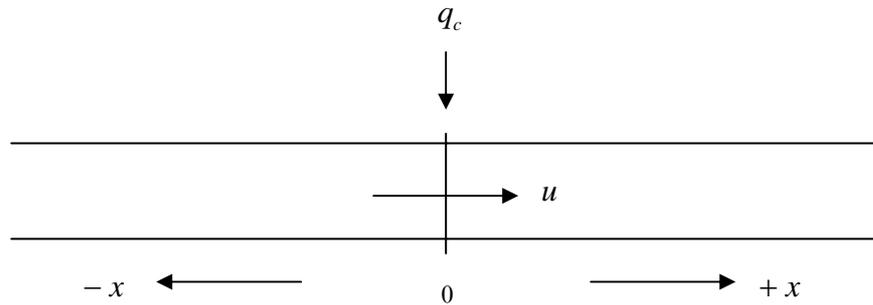


ภาพที่ 28 ไฟไนต์เอลิเมนต์กริดของลำรางหน้าตัดคงที่กรณีมีการกำหนดจุดระบายมวลสาร และอัตราการระบายมวลสาร

สำหรับกรณีลำรางหน้าตัดคงที่ และมีการระบายมวลสาร (Total Mass, Q_c) ลง ณ จุดหนึ่งๆ ในลำรางอย่างต่อเนื่อง ตำแหน่งที่มีการทิ้งมวลสารจะมีค่า $x = 0$ ดังภาพที่ 29 และมีค่าเงื่อนไขเริ่มต้น และค่าเงื่อนไขขอบเขตเปิด ดังนี้

$$C(x,0) = 0 \quad \text{เมื่อ} \quad x \geq 0 \quad (133)$$

$$C(\pm\infty, t) = 0 \quad \text{เมื่อ} \quad t \geq 0 \quad (134)$$



ภาพที่ 29 ลำรางที่มีหน้าตัดคงที่ และมีการกำหนดจุดระบายมวลสารและอัตราการระบายมวลสาร

ในสถานะไม่คงที่ (Unsteady State) และสถานะคงที่ (Steady State) สามารถหาค่าความเข้มข้นของสารที่จุดต่างๆ ได้ดังนี้ (Liengcharernsit, 1979)

Steady State

$$C = \frac{q_c}{A\sqrt{u^2 + 4K_x K}} \exp\left\{\frac{x}{2K_x}(u - \sqrt{u^2 + 4K_x K})\right\} \quad \text{เมื่อ } x > 0 \quad (135)$$

$$C = \frac{q_c}{A\sqrt{u^2 + 4K_x K}} \exp\left\{\frac{x}{2K_x}(u + \sqrt{u^2 + 4K_x K})\right\} \quad \text{เมื่อ } x < 0 \quad (136)$$

Unsteady State

$$C = \frac{q_c e^{xu/2K_x}}{2A\sqrt{u^2 + 4K_x K}} \left[\exp\left(\frac{x}{2K_x}\sqrt{u^2 + 4K_x K}\right) \left\{ \operatorname{erf}\left(\frac{x + \sqrt{u^2 + 4K_x K}}{\sqrt{4K_x t}}\right) - 1 \right\} \right. \\ \left. + \exp\left(-\frac{x}{2K_x}\sqrt{u^2 + 4K_x K}\right) \left\{ \operatorname{erf}\left(\frac{-x + \sqrt{u^2 + 4K_x K}}{\sqrt{4K_x t}}\right) + 1 \right\} \right] \quad (137)$$

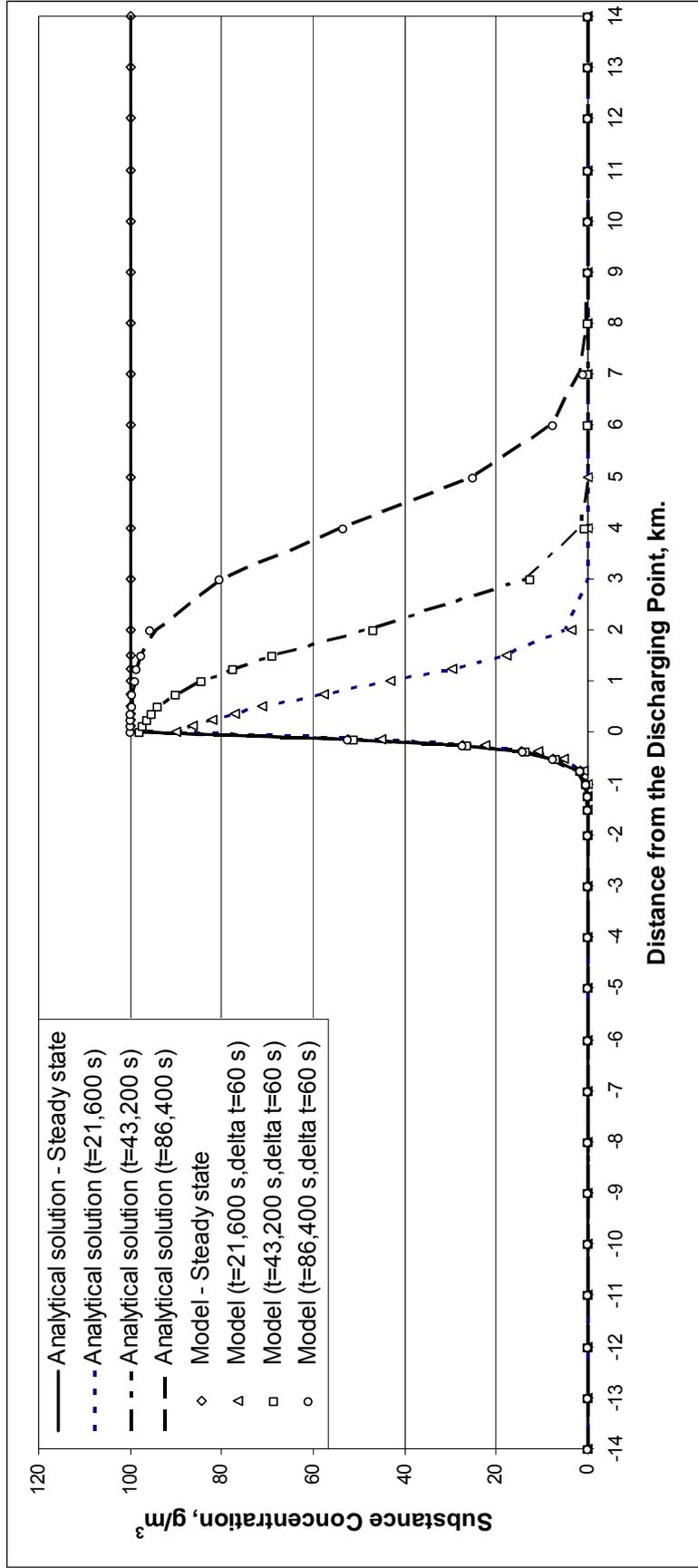
เมื่อ $x > 0$

$$C = \frac{q_c e^{xu/2K_x}}{2A\sqrt{u^2 + 4K_x K}} \left[\exp\left(\frac{x}{2K_x}\sqrt{u^2 + 4K_x K}\right) \left\{ \operatorname{erf}\left(\frac{x + \sqrt{u^2 + 4K_x K}}{\sqrt{4K_x t}}\right) + 1 \right\} \right]$$

$$+ \exp\left(-\frac{x}{2K_x}\sqrt{u^2 + 4K_x K}\right) \left\{ \operatorname{erf}\left(\frac{-x + \sqrt{u^2 + 4K_x K}t}{\sqrt{4K_x t}}\right) - 1 \right\} \quad (138)$$

เมื่อ $x < 0$

การตรวจพิสูจน์แบบจำลองการแพร่กระจายในกรณีลำรางที่มีการกำหนดจุดระบายมวลสารและอัตราการระบายมวลสารจะใช้ค่า Δt เท่ากับ 60 วินาที ในการคำนวณเช่นเดียวกัน ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่สภาวะคงที่และไม่คงที่ได้ผลลัพธ์จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลเฉลยเชิงวิเคราะห์หามีค่าไม่แตกต่างกันสามารถยอมรับได้ ดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 การแพร่กระจายมลสารผ่านลำรางหน้าตัดสม่ำเสมอที่มีการกำหนดจุดกึ่งมลสาร ($K = 0 \text{ day}^{-1}$, $K_x = 10 \text{ m}^2/\text{s}$, $u = 0.05 \text{ m/s}$, discharge loading = $5 \text{ g/m}^2 \text{ cross-sectional area/s}$)

การเปรียบเทียบและประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับแม่น้ำแม่กลอง

การเปรียบเทียบและประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องแล้วกับแม่น้ำแม่กลอง ทำได้โดยการแบ่งพื้นที่แม่น้ำแม่กลองตั้งแต่บริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสงคราม ถึงบริเวณสถานีตรวจวัดปริมาณการไหล K.11A อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี ออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย 1 มิติ ความยาว 1 กิโลเมตร จำนวน 120 เอลิเมนต์ 121 จุดต่อรวมระยะทางทั้งสิ้น 120 กิโลเมตร ขอบเขตเปิดท้ายน้ำจะอยู่บริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง และขอบเขตเปิดเหนือน้ำจะอยู่ที่สถานีตรวจวัดปริมาณการไหล K.11A ดังภาพที่ 31 ซึ่งเป็นขอบเขตที่ทราบค่าการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ ปริมาณการไหล และค่าความเค็ม ส่วนที่ขอบเขตปิด กำหนดให้ไม่มีการถ่ายเทปริมาณน้ำ และความเค็มลงสู่ขอบเขตปิด การประยุกต์ใช้แบบจำลองสำหรับแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ทำการคำนวณที่สภาวะไม่คงที่ ส่วนแบบจำลองการแพร่กระจายทำการคำนวณทั้งแบบสภาวะคงที่ และไม่คงที่โดยนำผลการคำนวณที่สภาวะคงที่ไปใช้เป็นค่าที่สภาวะเริ่มต้นของแบบจำลองไม่คงที่

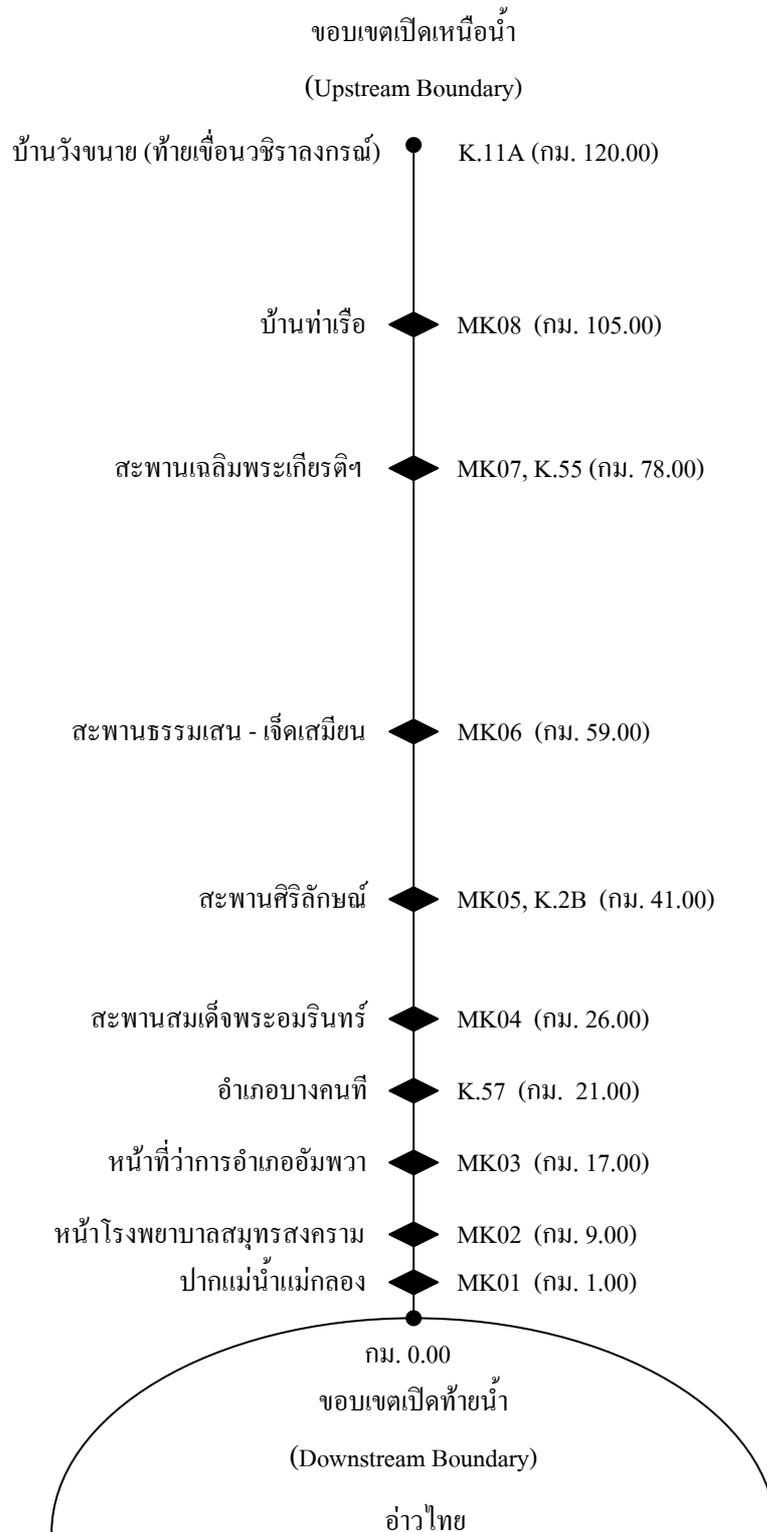
การกำหนดค่าเงื่อนไขที่ขอบเขต สำหรับแบบจำลองอุทกพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่ขอบเขตเปิดท้ายน้ำ เมื่ออาศัยค่าองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงที่บริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง (Tidal Components) แล้วสามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้ (Liengcharernsit, 1979)

$$\eta = a_o + \sum_{i=1}^n a_i \sin\left(\frac{2\pi t}{T_i} + \phi_i\right) \quad (139)$$

| | | | |
|-------|----------|---|--|
| เมื่อ | η | = | ระดับน้ำ |
| | a_o | = | Amplitude ที่เวลา $t = 0$ |
| | a_i | = | Amplitude ขององค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงที่ i |
| | T_i | = | คาบเวลาขององค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงที่ i |
| | ϕ_i | = | เฟสขององค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงที่ i |
| | n | = | จำนวนขององค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลง |

ส่วนที่ขอบเขตเปิดเหนือน้ำจะใช้ข้อมูลปริมาณการไหลของน้ำรายวันจากสถานีตรวจวัดปริมาณการไหล K.11A สำหรับแบบจำลองการแพร่กระจาย กำหนดค่าเงื่อนไขขอบเขตเปิดท้ายน้ำ

เป็นค่าความเค็มที่ทราบค่าของน้ำทะเลบริเวณปากแม่น้ำ และที่ขอบเขตเปิดเหนือน้ำกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.1 ppt

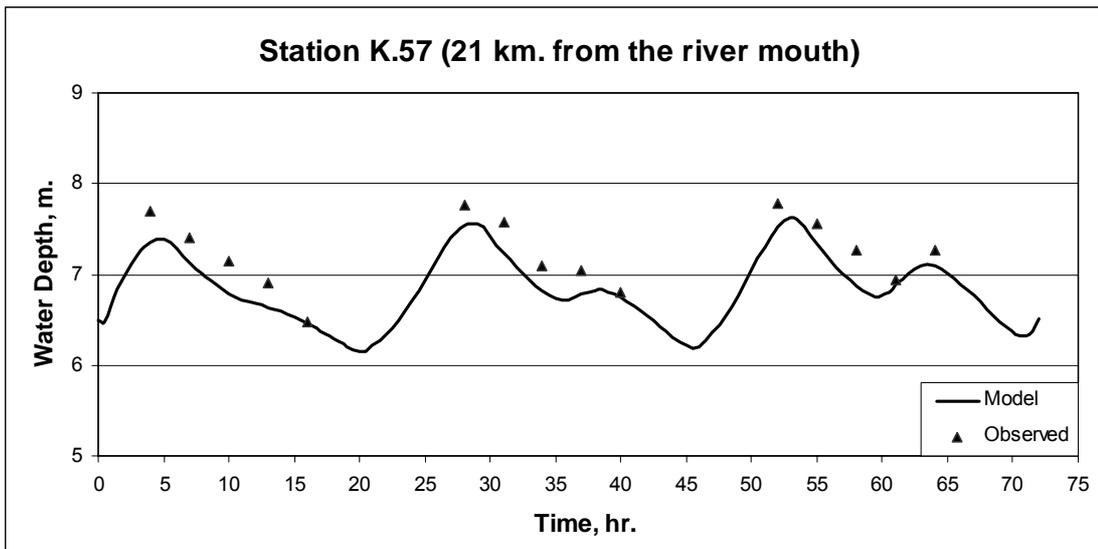


ภาพที่ 31 แผนภูมิจำลองสภาพการไหลของแม่น้ำแม่กลอง และสถานีตรวจวัดสภาพอุทกพลศาสตร์และคุณภาพน้ำ

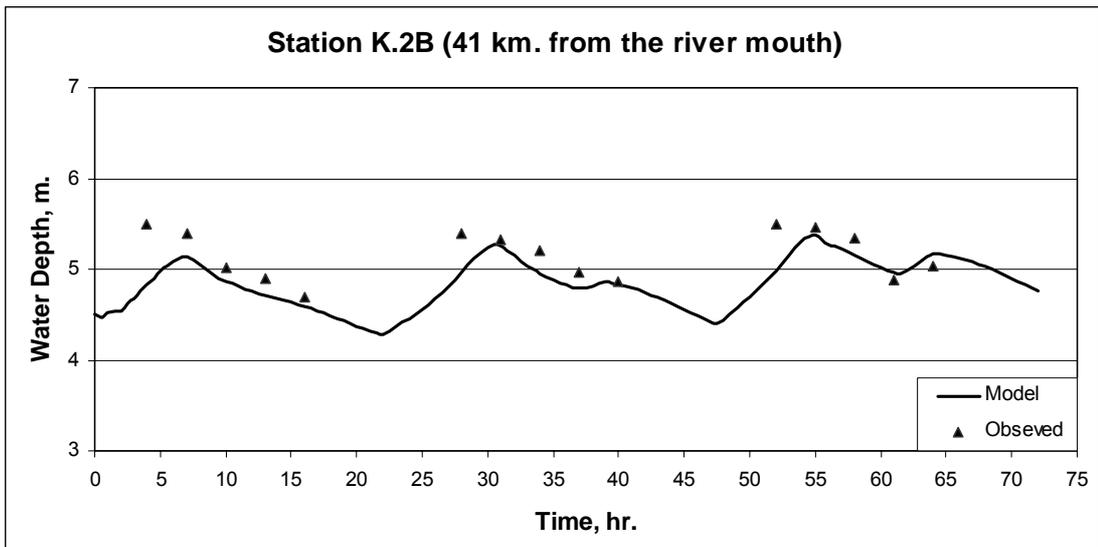
1. การเปรียบเทียบแบบจำลอง

1.1 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์

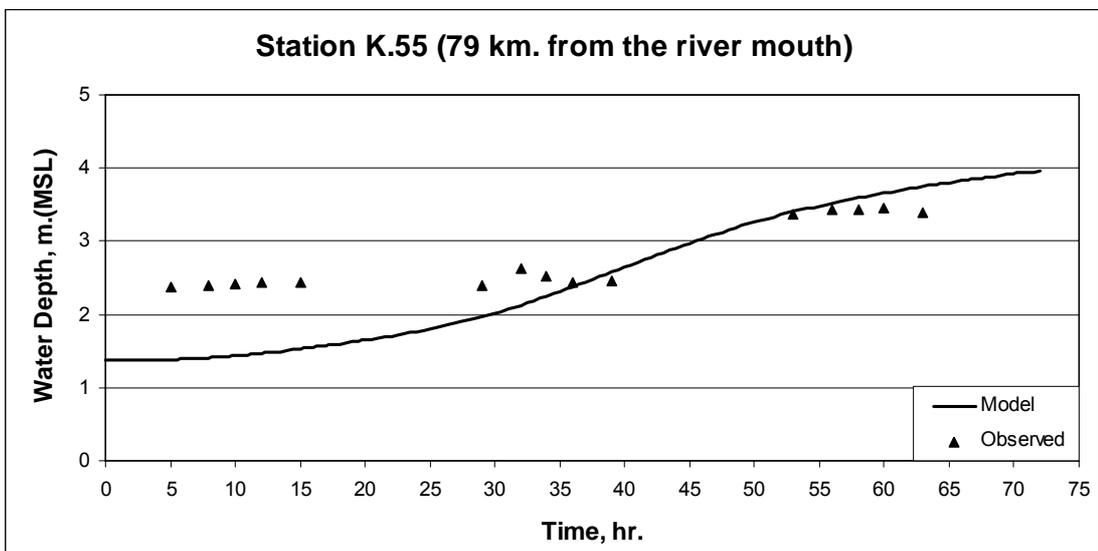
การเปรียบเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์จะใช้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่สถานีตรวจวัดระดับน้ำของกรมชลประทานทั้งสิ้น 3 สถานี ได้แก่ K.55, K.57 และ K.2B ดังภาพที่ 31 เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Chezy (C_h) ที่เหมาะสมสำหรับแม่น้ำแม่กลอง โดยการเปรียบเทียบข้อมูลในช่วงเวลาวันที่ 13 – 15 เมษายน 2546 เป็นตัวแทนของช่วงฤดูแล้งซึ่งมีปริมาณการไหลที่ขอบเขตเปิดเหนือน้ำเท่ากับ 112 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์เมื่อใช้ค่าการแบ่งช่วงเวลา (Δt) เท่ากับ 30 วินาที และค่า C_h เท่ากับ 14 และได้ผลการคำนวณจากแบบจำลองใกล้เคียงกับผลการตรวจวัดจากภาคสนามเป็นที่ยอมรับได้ ดังภาพที่ 32-34



ภาพที่ 32 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์กับผลตรวจวัดภาคสนามที่สถานีตรวจวัดระดับน้ำ K.57 วันที่ 13 – 15 เมษายน 2546 ($C_h=14$, $\Delta t=30$ sec)



ภาพที่ 33 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์กับผลตรวจวัดภาคสนามที่สถานีตรวจวัดระดับน้ำ K.2B วันที่ 13 – 14 เมษายน 2546 ($C_h = 14$, $\Delta t = 30$ sec)

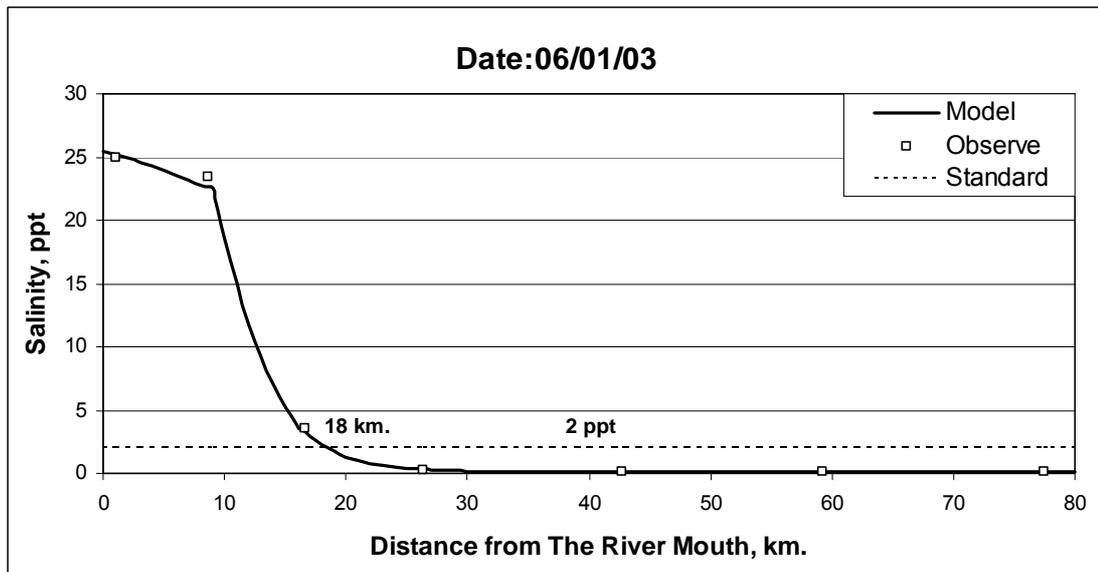


ภาพที่ 34 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์กับผลตรวจวัดภาคสนามที่สถานีตรวจวัดระดับน้ำ K.55 วันที่ 13 – 15 เมษายน 2546 ($C_h = 14$, $\Delta t = 30$ sec)

1.2 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองแพร่กระจาย

การเปรียบเทียบแบบจำลองการแพร่กระจายความเค็มจะทำการเปรียบเทียบที่สภาวะคงที่ โดยใช้ข้อมูลความเค็มจากสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำแม่น้ำแม่กลองของกรมควบคุมมลพิษ(MK) วันที่ 6 มกราคม 2546 ทั้งหมด 8 สถานี ได้แก่ MK01-MK08 ดังภาพที่ 31 เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (K_x) ที่เหมาะสมกับแม่น้ำแม่กลอง ผลการเปรียบเทียบเมื่อใช้ค่า K_x เท่ากับ 1,600 ตารางเมตรต่อวินาที ที่ระยะห่าง 0-9 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำและ 130 ตารางเมตรต่อวินาที ที่ระยะห่าง 10-120 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ ได้ผลการคำนวณจากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับผลตรวจวัดภาคสนามเป็นที่ยอมรับได้ โดยในวันที่ 6 มกราคม 2546 จุดที่มีความเค็มเกิน 2 ppt (มาตรฐานการเฝ้าระวัง) สามารถรูด้ำไปได้ไกลที่สุดประมาณ 18 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ ดังภาพที่ 35

สาเหตุที่แม่น้ำแม่กลองมีการแบ่งช่วงของค่าสัมประสิทธิ์ออกเป็น 2 ช่วง เนื่องจากแม่น้ำแม่กลองที่ช่วง 0-9 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ มีลักษณะแผ่กว้างออกทำให้ได้รับอิทธิพลจากกระแสน้ำขึ้นน้ำลงมาก ระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และมีกระแสน้ำค่อนข้างแรง ทำให้แนวโน้มค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในบริเวณนี้มีค่าสูง ส่วนแม่น้ำแม่กลองที่ช่วง 10-120 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ มีลักษณะค่อๆ ลู่เข้าจากบริเวณปากแม่น้ำ ทำให้แม่น้ำมีความแคบกว่าและแม่น้ำมีความคดเคี้ยว เป็นลักษณะโค้งหักศอก และโค้งกลับไปกลับมา ซึ่งช่วยลดอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง ประกอบกับกระแสน้ำมีความรุนแรงไม่มากนัก ทำให้แนวโน้มค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในช่วงนี้มีค่าต่ำ



ภาพที่ 35 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองการแพร่กระจายที่สภาวะคงที่ ณ วันที่ 6 มกราคม 2546

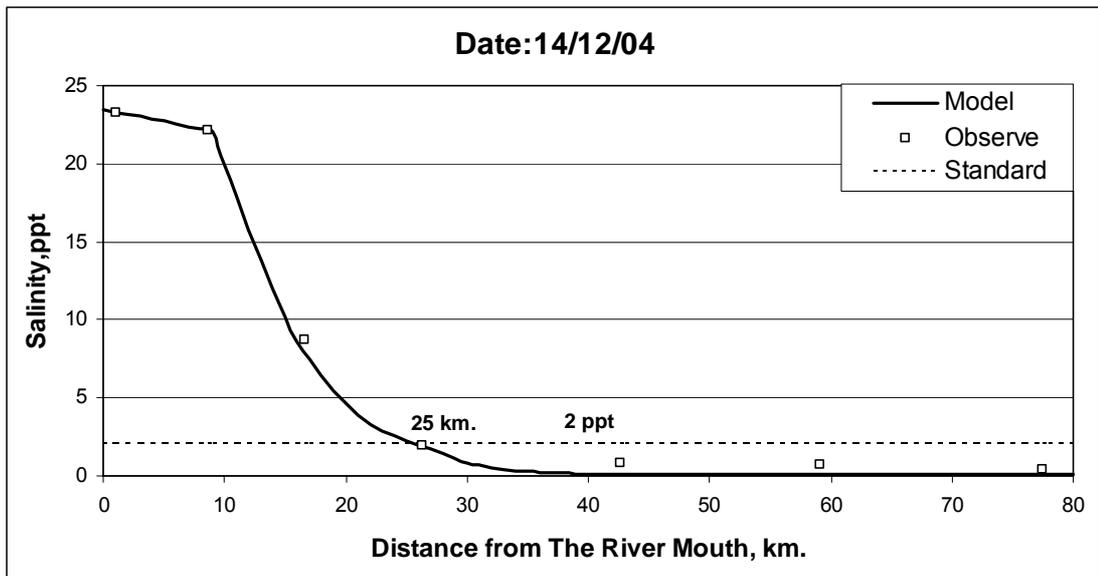
$$(C_h = 14, K_x (0-9 \text{ km.}) = 1,600 \text{ m}^2/\text{s}, K_x (10-120 \text{ km.}) = 130 \text{ m}^2/\text{s})$$

2. การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับแม่น้ำแม่กลองเพื่อควบคุมการรुक้าของความเค็ม

2.1 การแพร่กระจายความเค็มในแม่น้ำแม่กลอง

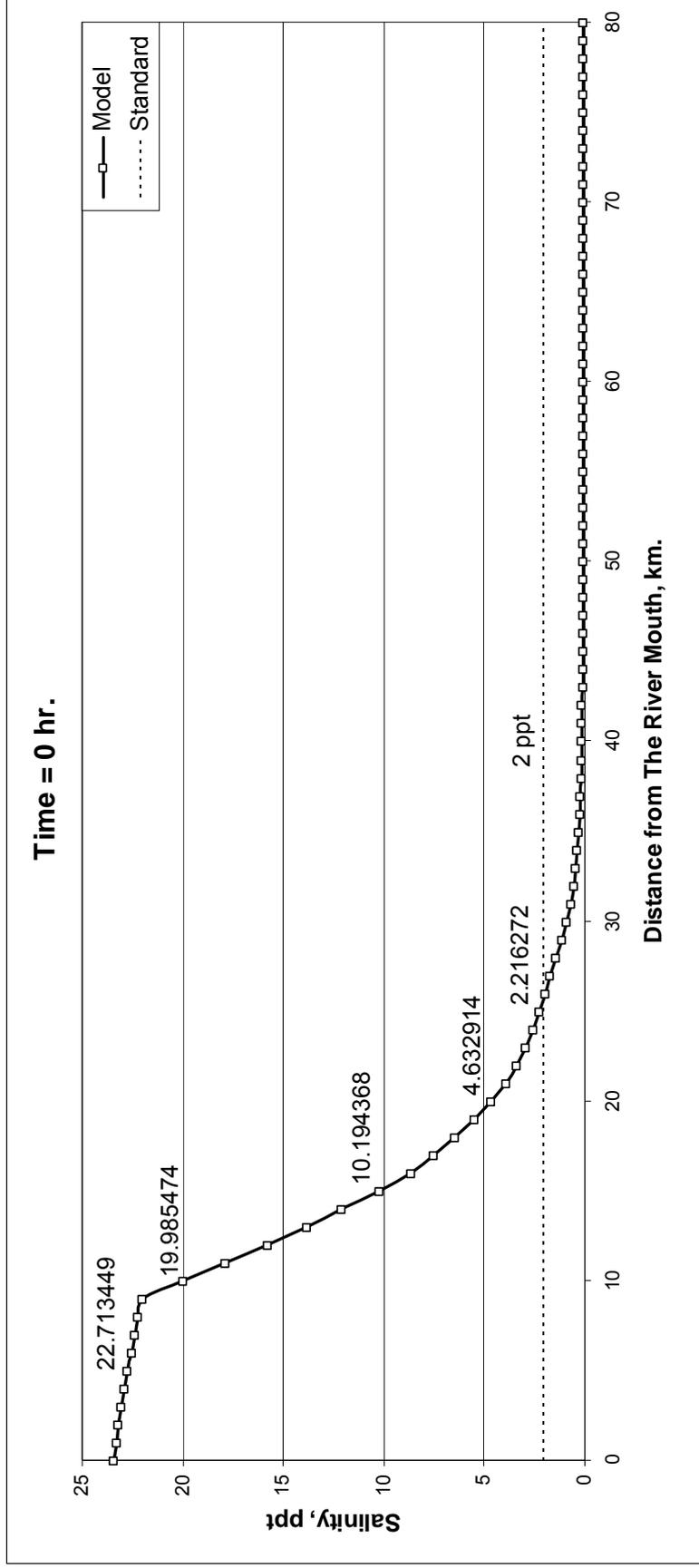
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณการแพร่กระจายความเค็มที่ผ่านการตรวจพิสูจน์ความถูกต้อง และการเปรียบเทียบแล้วสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับแม่น้ำแม่กลองได้ โดยในการศึกษานี้จะประยุกต์ใช้แบบจำลองคำนวณการแพร่กระจายความเค็มของแม่น้ำแม่กลองในวันที่ 14 ธันวาคม 2547 ซึ่งเป็นตัวแทนของช่วงฤดูแล้งมีปริมาณการไหลที่ขอบเขตเปิดเหนือน้ำเท่ากับ 106 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ผลการคำนวณการแพร่กระจายความเค็มที่สภาวะคงที่แสดงให้เห็นว่า การแพร่กระจายของความเค็มจะมีค่าลดลงตามระยะห่างจากปากแม่น้ำ โดยจุดที่มีความเค็มเกิน 2 ppt (มาตรฐานการเฝ้าระวัง) สามารถรูก้าไปได้ไกลที่สุดประมาณ 25 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ ดังภาพที่ 36



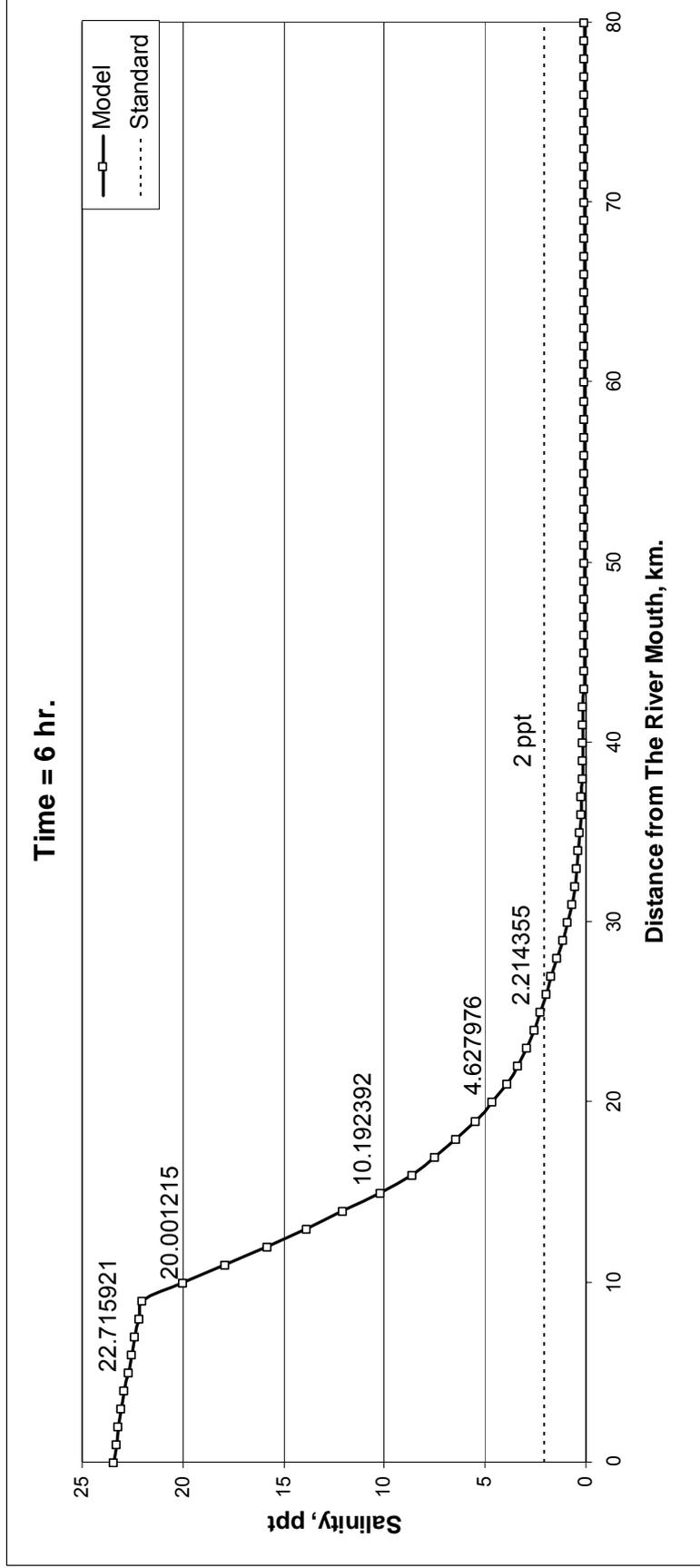
ภาพที่ 36 ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคำนวณการแพร่กระจายความเค็มที่สภาวะคงที่ ณ วันที่ 14 ธันวาคม 2547 ($C_h = 14$, $K_x(0-9 \text{ km.}) = 1,600 \text{ m}^2/\text{s}$, $K_x(10-120 \text{ km.}) = 130 \text{ m}^2/\text{s}$)

ส่วนการคำนวณการแพร่กระจายความเค็มที่สภาวะไม่คงที่จะคำนวณ ณ วันที่ 14 ธันวาคม 2547 เช่นเดียวกัน โดยใช้ค่าการแพร่กระจายความเค็มที่สภาวะคงที่ของวันดังกล่าวเป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณ และใช้ค่าการแบ่งช่วงเวลาเท่ากับ 30 วินาที ค่าความเค็มที่จุดต่างๆ ของแม่น้ำแม่กลองถูกแสดงผลทุกๆ 6 ชั่วโมง ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าการผันแปรของของของความเค็มรายชั่วโมงมีค่าไม่มากนัก ดังภาพที่ 37-41 สาเหตุเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลขึ้นลงบริเวณขอบเขตท้ายน้ำ และปริมาณการไหลที่ขอบเขตด้านเหนือน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายความเค็ม ซึ่งในวันที่ 14 ธันวาคม 2547 ปัจจัยดังกล่าวไม่มีการผันแปรมากนัก จึงส่งผลให้ลักษณะการแพร่กระจายความเค็มค่อนข้างคงที่

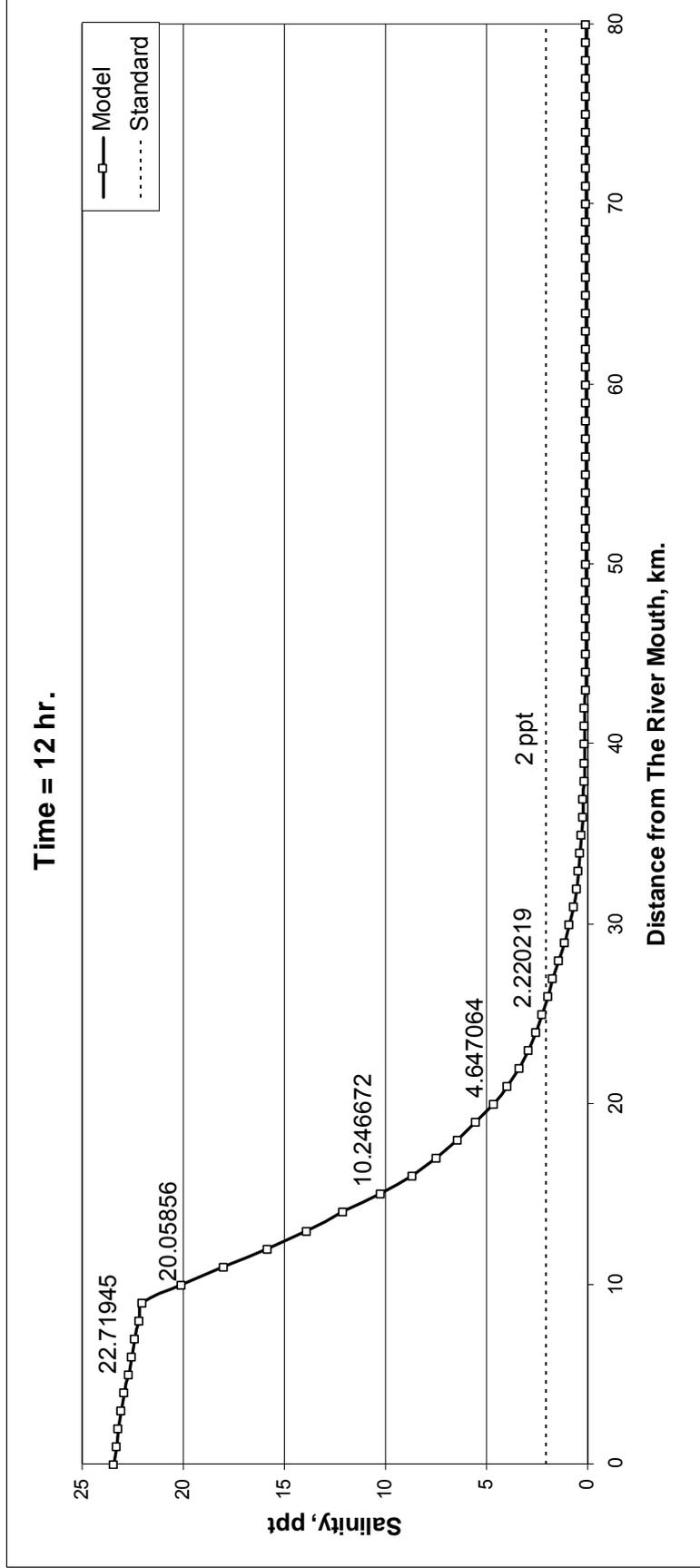


ภาพที่ 37 ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคำนวณการแพร่กระจายความเค็มที่สภาวะไม่คงที่ วันที่ 14 ธันวาคม 2547 ที่เวลา 0 ชั่วโมง

$$(C_h = 14, K_x (0-9 \text{ km.}) = 1,600 \text{ m}^2/\text{s}, K_x (10-120 \text{ km.}) = 130 \text{ m}^2/\text{s}, \Delta t = 30 \text{ sec}, Q = 106 \text{ m}^3/\text{s})$$

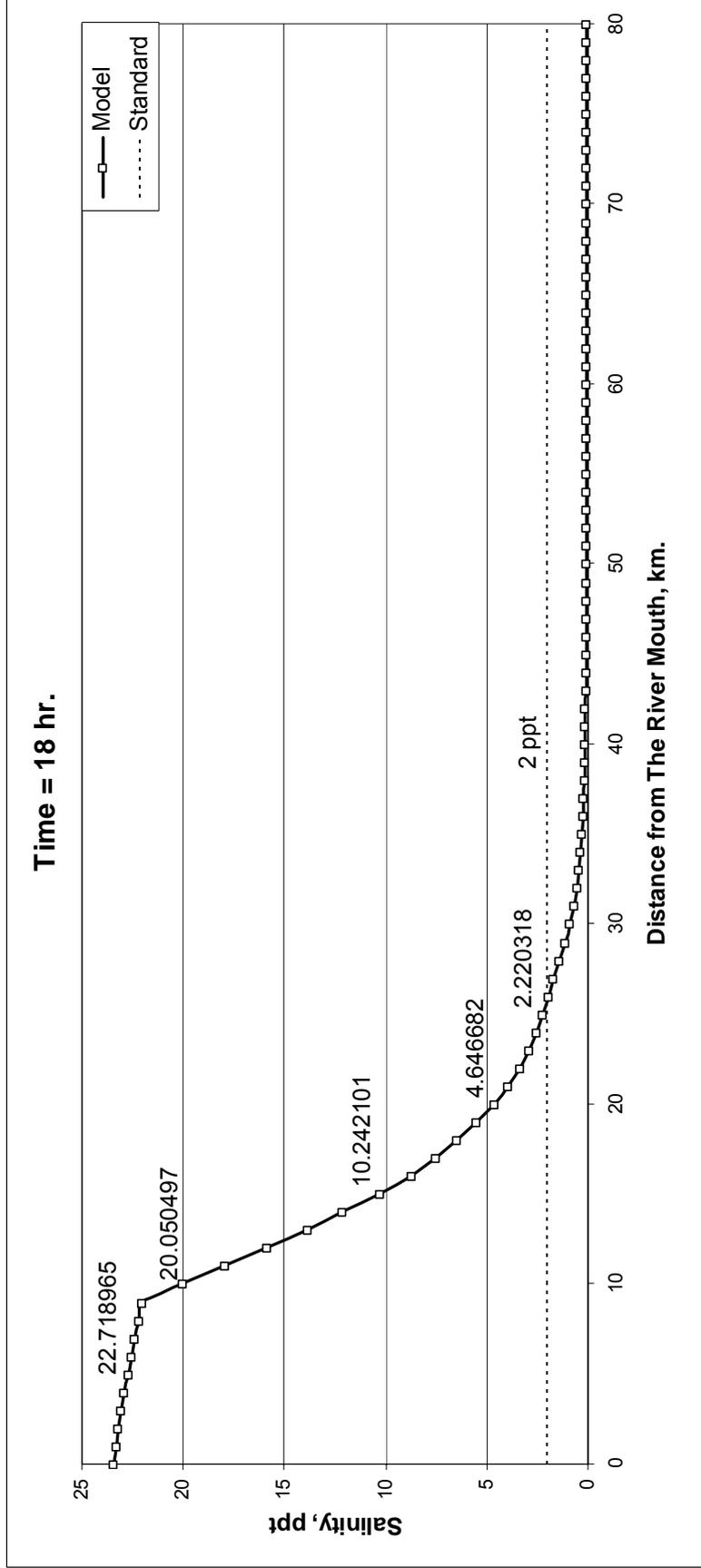


ภาพที่ 38 ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคำนวณการแพร่กระจายความเค็มที่สภาวะไม่คงที่ วันที่ 14 ธันวาคม 2547 ที่เวลา 6 ชั่วโมง
 $(C_h = 14, K_x (0-9 \text{ km.}) = 1,600 \text{ m}^2/\text{s}, K_x (10-120 \text{ km.}) = 130 \text{ m}^2/\text{s}, \Delta t = 30 \text{ sec}, Q = 106 \text{ m}^3/\text{s})$



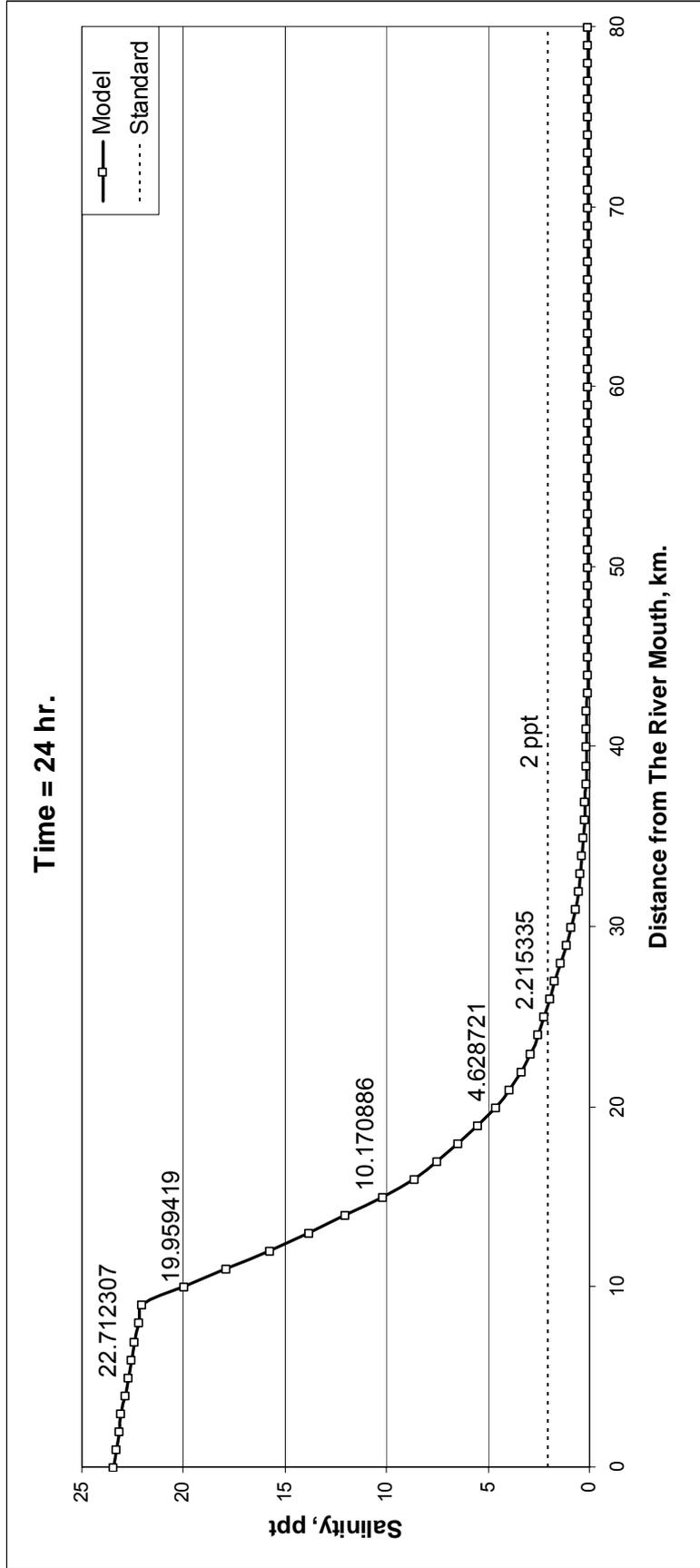
ภาพที่ 39 ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคำนวณการแพร่กระจายความเค็มที่สถานีไม่คงที่ วันที่ 14 ธันวาคม 2547 ที่เวลา 12 ชั่วโมง

$$(C_h = 14, K_x (0-9 \text{ km.}) = 1,600 \text{ m}^2/\text{s}, K_x (10-120 \text{ km.}) = 130 \text{ m}^2/\text{s}, \Delta t = 30 \text{ sec}, Q = 106 \text{ m}^3/\text{s})$$



ภาพที่ 40 ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคำนวณการแพร่กระจายความเค็มที่สภาวะไม่คงที่ วันที่ 14 ธันวาคม 2547 ที่เวลา 18 ชั่วโมง

$$(C_h = 14, K_x (0-9 \text{ km.}) = 1,600 \text{ m}^2/\text{s}, K_x (10-120 \text{ km.}) = 130, \text{ m}^2/\text{s} \Delta t = 30 \text{ sec}, Q = 106 \text{ m}^3/\text{s})$$



ภาพที่ 41 ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคำนวณการแพร่กระจายความเค็มที่สภาวะไม่คงที่ของวันที่ 14 ธันวาคม 2547 ที่เวลา 24 ชั่วโมง

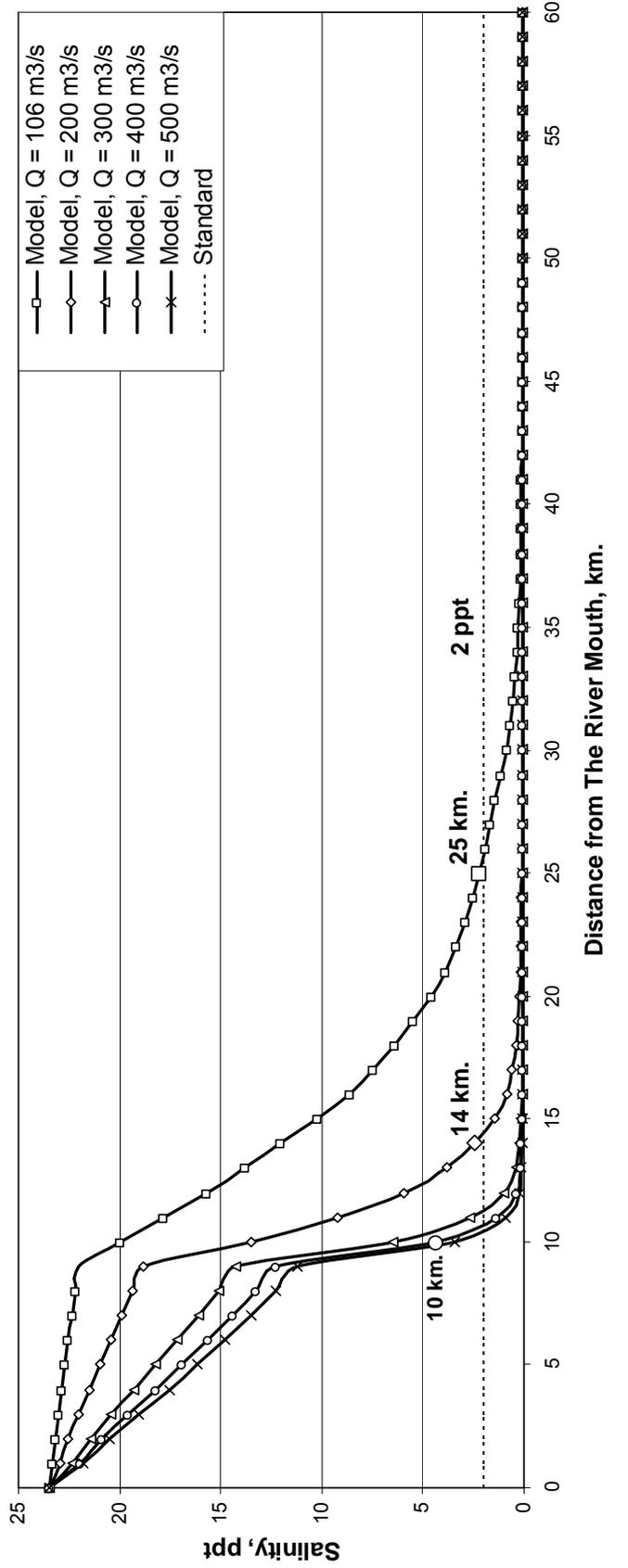
$$(C_h = 20, K_x (0-9 \text{ km.}) = 1,600 \text{ m}^2/\text{s}, K_x (10-120 \text{ km.}) = 130 \text{ m}^2/\text{s}, \Delta t = 30 \text{ sec}, Q = 106 \text{ m}^3/\text{s})$$

2.2 การประเมินแนวทางการแก้ไขการรุกรานของความเค็มในแม่น้ำแม่กลอง

แนวทางการแก้ไขการรุกรานของความเค็มที่สำคัญทางหนึ่ง คือ การควบคุมให้ปริมาณน้ำที่ไหลจากด้านเหนือน้ำมากกว่าปริมาณที่ใช้ในการควบคุมความเค็มในช่วงนั้น ดังนั้นจึงต้องมีการหาปริมาณการไหลที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการควบคุมความเค็ม ซึ่งเราสามารถปรับแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในการคำนวณหาปริมาณการไหลดังกล่าวได้โดยการปรับค่าปริมาณการไหลที่ขอบเขตเหนือน้ำ การศึกษานี้ได้ทำการศึกษา ณ วันที่ 14 ธันวาคม 2547 ซึ่งมีปริมาณการไหลที่ขอบเขตเปิดเหนือน้ำ 106 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีการรุกรานของความเค็มประมาณ 25 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ ปริมาณการไหลที่ขอบเขตเปิดเหนือน้ำที่ทำการศึกษาได้แก่ 200, 300, 400 และ 500 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยสาเหตุที่ใช้ปริมาณการไหลจากด้านเหนือน้ำสูงสุดที่ 500 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เนื่องจากหากมีการเพิ่มปริมาณการไหลจากด้านเหนือน้ำเกินกว่า 500 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที จะส่งผลให้ระดับน้ำที่บริเวณขอบเขตเหนือน้ำล้นขอบตลิ่ง เกิดเป็นสภาวะน้ำท่วมขึ้นส่งผลกระทบต่อบ้านเรือน และชุมชน ที่อาศัยอยู่ในบริเวณดังกล่าว

ผลการศึกษาพบว่า เมื่อปล่อยน้ำจากด้านเหนือน้ำที่ปริมาณการไหล 200, 300, 400 และ 500 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที สามารถลดจุดที่มีความเค็มเกิน 2 ppt จาก 25 กิโลเมตร มาอยู่ที่ 14, 11, 10 และ 10 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ ตามลำดับ โดยสังเกตได้ว่า เมื่อมีปริมาณการไหลจากด้านเหนือน้ำเท่ากับ 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที สามารถลดการรุกรานของความเค็มได้อย่างชัดเจนในช่วงระยะ 10-120 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ เนื่องจากช่วงระยะทางดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายไม่สูงมาก ทำให้การปล่อยน้ำจากด้านเหนือน้ำสามารถควบคุมการรุกรานของความเค็มได้มาก โดยสามารถลดจุดที่มีความเค็มเกิน 2 ppt จาก 25 กิโลเมตร มาอยู่ที่ 14 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ ขณะที่การรุกรานของความเค็มในช่วงระยะ 0-9 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ มีแนวโน้มลดลงไม่มากนัก เนื่องจากเป็นช่วงที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายสูง และได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงจากน้ำทะเล สำหรับช่วงปริมาณการไหลจากด้านเหนือน้ำเท่ากับ 300 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เมื่อเทียบกับการใช้ปริมาณการไหลจากด้านเหนือน้ำเท่ากับ 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พบว่า การควบคุมการรุกรานของความเค็มที่ระยะ 10-120 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ เริ่มมีค่าน้อยลง ในขณะที่การควบคุมการรุกรานของความเค็มที่ระยะ 9-10 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ มีค่ามากขึ้น สาเหตุเนื่องจากความเค็มที่ระยะ 10-120 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ ถูกควบคุมเกือบหมดที่ปริมาณการไหล 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ทำให้ปริมาณน้ำจากด้านเหนือน้ำที่เพิ่มมาอีก 100 ลูกบาศก์เมตรต่อ

Date:14/12/04



ภาพที่ 42 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการไหลที่ขอบเขตเหนือน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงการแพร่กระจายความเค็มของแม่น้ำแม่กลอง วันที่ 14 ธันวาคม 2547

$$(C_h = 14, K_x (0-9 \text{ km.}) = 1,600 \text{ m}^2/\text{s}, K_x (10-120 \text{ km.}) = 130, \Delta t = 30 \text{ sec})$$

วินาที มีผลต่อการควบคุมการรุกรานของความเค็มที่ระยะ 10-120 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ น้อยลง และไปมีผลต่อการควบคุมการรุกรานความเค็มที่ระยะ 0-9 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำมากขึ้น ส่วนเมื่อใช้ปริมาณการไหลจากด้านเหนือน้ำเท่ากับ 400 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที สามารถควบคุมการรุกรานของความเค็มได้หมดที่ช่วงระยะ 10-120 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ โดยจุดที่มีความเค็มเกิน 2 ppt อยู่ที่ 10 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ และเมื่อเพิ่มปริมาณการไหลจากด้านเหนือน้ำเท่ากับ 500 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที การรุกรานของความเค็มมีลักษณะใกล้เคียงกับที่ปริมาณการไหล 400 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการเพิ่มปริมาณการไหลเกิน 400 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที จะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการควบคุมการรุกรานของความเค็มอย่างมีนัยสำคัญ ดังภาพที่ 42

ผลจากการประยุกต์ใช้แบบจำลองข้างต้น สามารถนำมาใช้ในการวางแผนการป้องกันปัญหาการรุกรานของความเค็มในช่วงฤดูแล้งได้ โดยการวางแผนการเก็บกักน้ำในช่วงฤดูน้ำมากของเขื่อนวชิราลงกรณ์ ซึ่งเป็นเขื่อนที่อยู่บริเวณขอบเขตเหนือน้ำ ให้มีปริมาณการไหลมากกว่าปริมาณการไหลที่ต้องใช้ในการควบคุมการรุกรานของความเค็มที่ระยะทางต่างๆ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองข้างต้น ด้วยเหตุนี้หากมีการนำเอาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการแพร่กระจายความเค็มในแม่น้ำแม่กลองไปประยุกต์ใช้ในงานวางแผนการจัดการพัฒนากลุ่มน้ำแม่กลอง จะทำให้การดำเนินงานมีความสะดวกรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น