

บทที่ 6

การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลที่ได้จากชุดการทดลอง

ในการจำลองเพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองในบทที่ 5 จะอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีชื่อว่า PHOENICS เวอร์ชัน 2.1 ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้หลักการของเทคนิค CFD ในการคำนวณผล โดยในการจำลองจะใช้ข้อมูลชุดเดียวกับที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 กรณี คือ กรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก กรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก และกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

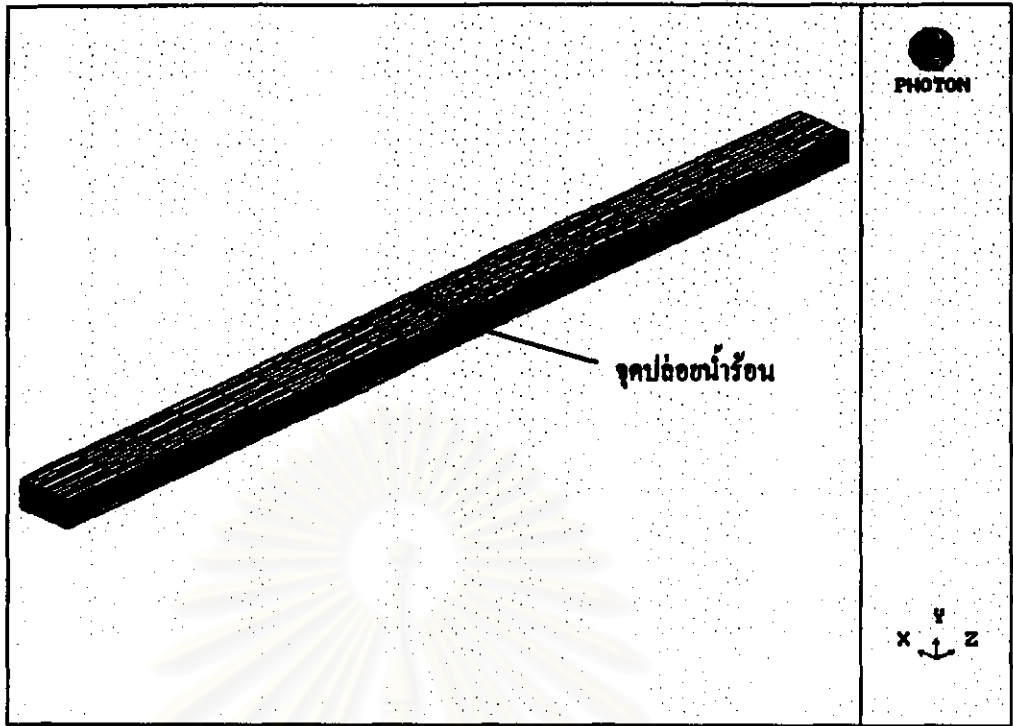
6.1 รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

6.1.1 กรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก

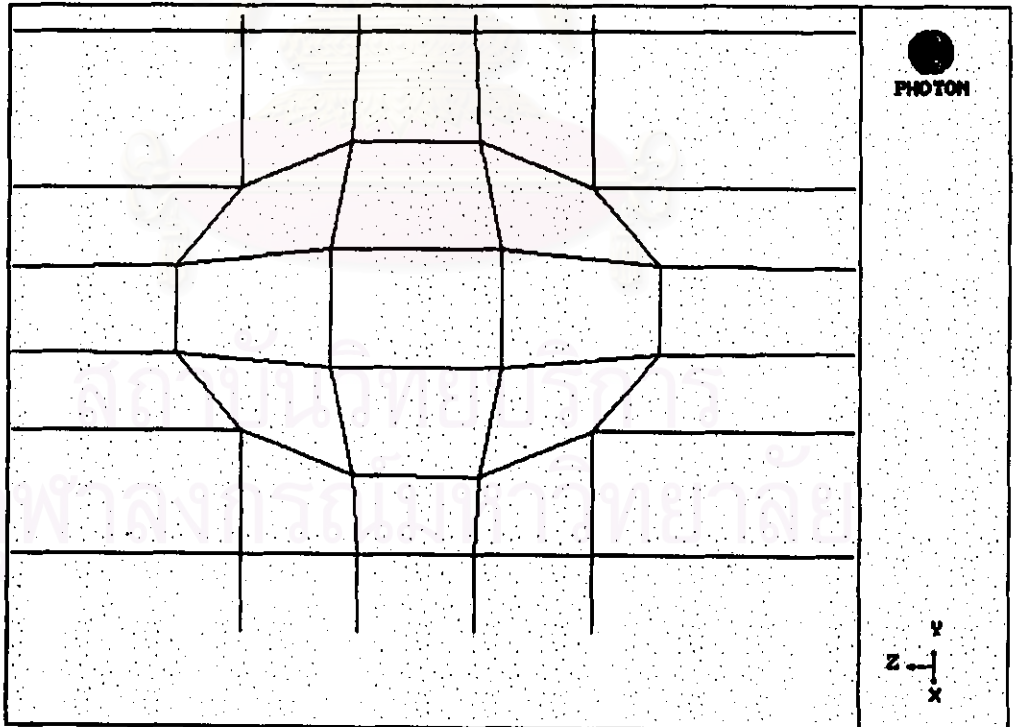
6.1.1.1 การกำหนดกริด

การจำลองในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลักจะแบ่งออกเป็น 3 กรณีคือ การทดลองที่ 1, 2 และ 3 โดยกำหนดให้โดเมนที่ใช้ในการจำลองมีขนาด กว้าง 0.2 เมตร ยาว 3.35 เมตร และสูง 0.1 เมตร ซึ่งในการกำหนดกริดที่ใช้ในการคำนวณจะกำหนดให้จำนวนและระยะห่างของเส้นกริดมีค่าเท่ากันทั้งสามการทดลองคือ กำหนดให้จำนวนของกริดตามความกว้างของท่อหลัก (IX), จำนวนกริดตามความสูงของท่อ (IY) และจำนวนกริดตามความยาวของท่อหลัก (IZ) มีค่าเท่ากับ 10, 15 และ 45 ตามลำดับ โดยกำหนดให้ระยะห่างของกริดมีขนาดเล็กในบริเวณที่เริ่มต้นเกิดการผสมระหว่างน้ำร้อนที่ปล่อยออกมาจากท่อข้างกับน้ำที่อยู่ในท่อหลัก จากนั้นระยะห่างของกริดจะมีขนาดมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อไกลจากบริเวณดังกล่าว ดังแสดงได้ดังรูปที่ 6.1 การสร้างกริดในลักษณะนี้สามารถทำได้โดยการกำหนดให้ระยะห่างของกริดมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราที่ไม่เท่ากันตลอดระยะทางที่กำหนด (non-uniform grids) ทำให้สามารถลดจำนวนของกริดที่ต้องการใช้ถึงและลดเวลาที่ใช้ในการคำนวณให้น้อยลง อีกทั้งยังสามารถกำหนดให้กริดมีความละเอียดเฉพาะในบริเวณที่สนใจได้

ที่บริเวณจุดปล่อยน้ำร้อนจากท่อข้างจะกำหนดให้มีรูปร่างเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร อยู่ที่ตำแหน่งกริด IZ = 15 ถึง 17 และที่ตำแหน่งกริด IY = 9 ถึง 11 ดังมีลักษณะแสดงได้ในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.1 ลักษณะของกริดที่ใช้ในเทคนิค CFD ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหัก



รูปที่ 6.2 ลักษณะของกริดที่ใช้แทนท่อปล่อยน้ำในเทคนิค CFD

6.1.1.2 สภาวะขอบเขต (Boundary Condition)

6.1.1.2.1 บริเวณทางเข้าของท่อหลัก

- ความเร็วของน้ำที่ไหลเข้ามาในท่อหลักแสดงได้ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ความเร็วของน้ำที่ไหลเข้ามาในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก

การทดลองที่	แนวแกน x (\bar{x}) เมตร/วินาที	แนวแกน y (\bar{y}) เมตร/วินาที	แนวแกน z (\bar{z}) เมตร/วินาที
1	0	0	0.12
2	0	0	0.12
3	0	0	0.12

- พลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความปั่นป่วน, k และค่าอัตราการกระจายตัวของพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความปั่นป่วน, ε สามารถประมาณค่าได้จากสมการต่อไปนี้ตามลำดับ

$$k = (0.05\bar{w})^2 \quad (6.1)$$

และ

$$\varepsilon = \frac{0.09^{0.75} * k^{1.5}}{L} \quad (6.2)$$

โดยที่

$$L = \frac{0.1D_{eq}}{2} \quad (6.3)$$

เมื่อ D_{eq} คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า มีค่าเท่ากับ 0.133 เมตร

- อุณหภูมิของน้ำมีค่าเท่ากับ 26.6 องศาเซลเซียส

6.1.1.2.2 บริเวณทางเข้าของน้ำร้อน

- ความเร็วของน้ำร้อนแสดงได้ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ความเร็วของน้ำร้อนที่ปล่อยจากท่อข้างในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก

การทดลองที่	แนวแกน x (\bar{x}) เมตร/วินาที	แนวแกน y (\bar{y}) เมตร/วินาที	แนวแกน z (\bar{z}) เมตร/วินาที
1	0.85	0	0
2	0.56	0	0
3	0.25	0	0

- พลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความปั่นป่วน, k สามารถประมาณค่าได้

จากสมการ

$$k = (0.05\bar{u})^2 \quad (6.4)$$

และค่าอัตราการกระจายตัวของพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความปั่นป่วน, ε สามารถประมาณได้เช่นเดียวกับสมการ (6.2) เมื่อ D_{eff} มีค่าเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อข้าง

- อุณหภูมิของของน้ำร้อนมีค่าเท่ากับ 46.5 องศาเซลเซียส

6.1.1.2.3 บริเวณผนังของท่อหลัก

ที่บริเวณผนังทุกด้านของท่อหลักจะกำหนดให้องค์ประกอบของความเร็วในทุกทิศทางมีค่าเท่ากับ 0 เมตร/วินาที (no-slip condition) และกำหนดให้ไม่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นที่บริเวณผนัง โดยจะกำหนดให้ค่าเกรเดียนท์ของอุณหภูมิในทิศทางตั้งฉากกับผนังที่บริเวณใกล้ผนังมีค่าเป็นศูนย์ (adiabatic wall) ดังสมการ

$$\left(\frac{\partial T}{\partial n}\right)_{\text{near wall}} = 0 \quad (6.5)$$

เมื่อ n คือทิศทางที่ตั้งฉากกับผนัง

รวมทั้งกำหนดให้บริเวณใกล้ๆ ผนัง เป็นไปตามฟังก์ชันผนังในหัวข้อ 3.3.2.1.1

6.1.1.3 คุณสมบัติทางกายภาพเฉลี่ยของน้ำในระบบแสดงได้ดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 คุณสมบัติทางกายภาพเฉลี่ยของน้ำในระบบในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก

การทดลองที่	T_{ave} ($^{\circ}\text{C}$)	ρ (kg/m^3)	\hat{C}_p ($\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}$)	$\mu \times 10^6$ (kg/m sec)	k ($\text{J/m sec}^{\circ}\text{C}$)
1	26.9	996.57	4.182	880.63	0.6080
2	26.8	996.59	4.182	882.36	0.6078
3	26.7	996.62	4.182	884.09	0.6077

หมายเหตุ :

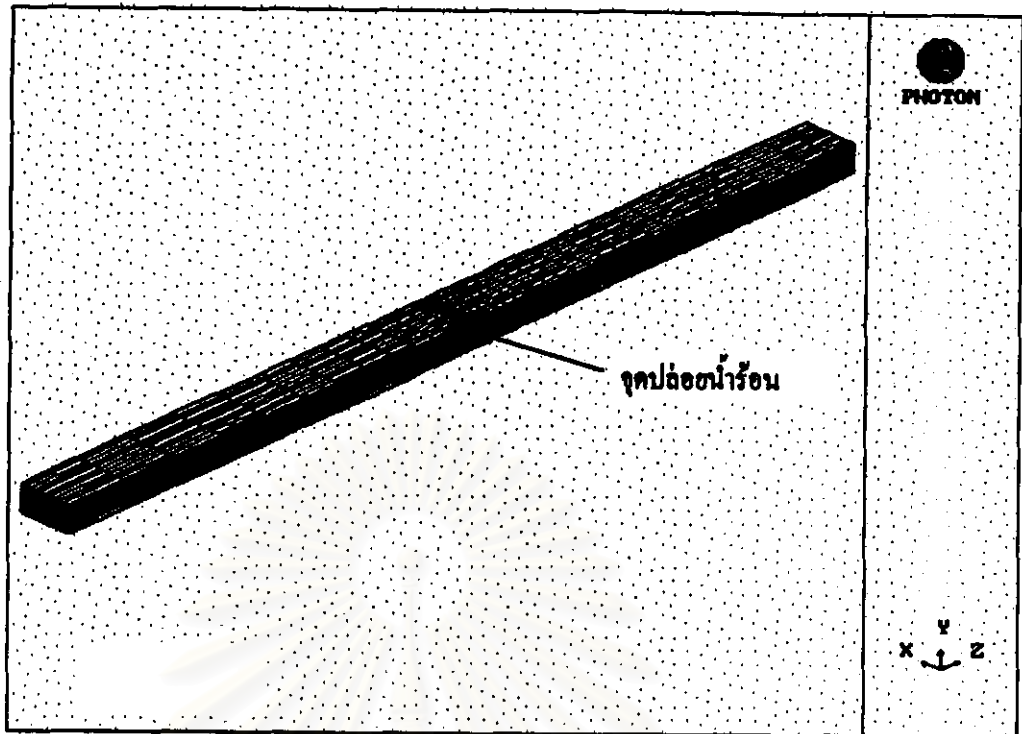
- T_{ave} คำนวณได้จากสมการ 3.17
- ρ, \hat{C}_p, μ, k เป็นค่าที่คำนวณ ณ อุณหภูมิเท่ากับ T_{ave}

6.1.2 กรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก

เมื่อน้ำไหลไม่เต็มท่อหลักจะทำให้ระดับน้ำในท่อหลักมีค่าลดลงจาก 10 เซนติเมตร เป็น 9 เซนติเมตร ดังนั้นในการจำลองจึงกำหนดให้ความสูงของโดเมนที่ใช้มีค่าเท่ากับ 9 เซนติเมตร โดยมีความกว้างและยาวเท่ากับที่ใช้ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อ

6.1.2.1 การกำหนดกริด

ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลักสามารถแบ่งการจำลองได้เป็น 3 กรณี คือ การทดลองที่ 1, 2, และ 3 โดยกำหนดให้จำนวนกริดตามความกว้างของท่อหลัก (IX), จำนวนกริดตามความสูงของท่อ (IY) และจำนวนกริดตามความยาวของท่อหลัก (IZ) มีค่าเท่ากับ 10, 14 และ 45 ตามลำดับ ในทั้ง 3 การทดลอง และกำหนดให้ระยะห่างของกริดมีขนาดเล็กในบริเวณที่เริ่มต้นเกิดการผสมกันระหว่างน้ำร้อนกับน้ำที่อยู่ในท่อหลักและระยะห่างของกริดจะมีขนาดมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อไกลจากบริเวณดังกล่าวดังแสดงได้ดังรูปที่ 6.3 ซึ่งอาศัยหลักการกำหนดกริดเช่นเดียวกับที่กล่าวมาในหัวข้อ 6.1.1.1 บริเวณจุดปล่อยของน้ำร้อนจะกำหนดให้มีรูปร่างเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร อยู่ตรงตำแหน่งกริด IZ = 15 ถึง 17 และที่ตำแหน่งกริด IY = 9 ถึง 11 เช่นเดียวกับในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก ดังแสดงในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.3 ลักษณะของกริดที่ใช้ในเทคนิค CFD ในกรณีของน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก

6.1.2.2 สภาวะขอบเขต

6.1.2.2.1 บริเวณทางเข้าของท่อหลัก

- ความเร็วของน้ำที่ไหลเข้ามาในท่อหลักแสดงได้ดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ความเร็วของน้ำที่ไหลเข้ามาในท่อหลักในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก

การทดลองที่	แนวแกน x (\bar{u}) เมตร/วินาที	แนวแกน y (\bar{v}) เมตร/วินาที	แนวแกน z (\bar{w}) เมตร/วินาที
1	0	0	0.1
2	0	0	0.1
3	0	0	0.1

- พลังงานเฉื่อยที่เกิดขึ้นเนื่องจากความปั่นป่วน, ϵ และค่าอัตราการกระจายตัวของพลังงานเฉื่อยที่เกิดขึ้นเนื่องจากความปั่นป่วน, ϵ สามารถประมาณค่าได้จากสมการ (6.1) – (6.3) เมื่อ D_{eq} มีค่าเท่ากับ 0.124 เมตร

- อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 27.2 องศาเซลเซียส

6.1.2.2.2 บริเวณทางเข้าของน้ำร้อน

- ความเร็วของน้ำร้อน แสดงได้ดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 ความเร็วของน้ำร้อนที่ปล่อยจากท่อข้างในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก

การทดลองที่	แนวแกน x (\bar{x}) เมตร/วินาที	แนวแกน y (\bar{y}) เมตร/วินาที	แนวแกน z (\bar{z}) เมตร/วินาที
1	0.85	0	0
2	0.56	0	0
3	0.25	0	0

- พลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความปั่นป่วน, k และค่าอัตราการกระจายตัวของพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความปั่นป่วน, ϵ สามารถประมาณค่าได้จากสมการ (6.4) และ (6.2) ตามลำดับ

- อุณหภูมิของของน้ำร้อนมีค่าเท่ากับ 46.8 องศาเซลเซียส

6.1.2.2.3 บริเวณผนัง

ที่บริเวณผนังทุกด้านของท่อหลักจะกำหนดให้องค์ประกอบของความเร็วกทุกทิศทางที่ผนังมีค่าเป็นศูนย์ (no-slip condition) และกำหนดให้ไม่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นที่บริเวณผนังเช่นเดียวกับกรณีน้ำไหลเต็มท่อ รวมทั้งกำหนดให้บริเวณใกล้ๆ ผนัง เป็นไปตามฟังก์ชันผนัง

6.1.2.2.4 บริเวณผิวอิสระ (free boundary)

ในกรณีที่มีน้ำไหลไม่เต็มท่อบริเวณผิวบนสุดของน้ำจะมีการเคลื่อนที่อย่างอิสระ การกำหนดสภาวะขอบเขตของผิวอิสระทำได้โดยการกำหนดให้ที่บริเวณของผิวน้ำความเร็วตามแนวแกน y (\bar{y}) มีค่าเท่ากับ 0 เมตร/วินาที และเกรเดียนท์ของ \bar{x}, \bar{z} ตามแนวแกน y มี

ค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะเรียกเงื่อนไขในลักษณะนี้ว่า “ลิจิตลิด” (rigid lid) นอกจากนี้ยังกำหนดให้ไม่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกับที่บริเวณผนัง

6.1.2.3 คุณสมบัติทางกายภาพเฉลี่ยของน้ำในระบบแสดงได้ดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 คุณสมบัติทางกายภาพเฉลี่ยของน้ำในระบบในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก

การทดลองที่	T_{avg} ($^{\circ}C$)	ρ (kg/m^3)	\hat{C}_p ($kJ/kg^{\circ}C$)	$\mu \times 10^6$ ($kg/m \text{ sec}$)	k ($J/m \text{ sec}^{\circ}C$)
1	27.6	996.35	4.182	868.52	0.6090
2	27.5	996.37	4.182	870.25	0.6088
3	27.3	996.43	4.182	873.71	0.6085

6.1.3 กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก

6.1.3.1 กรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก

การกำหนดกริดเพื่อใช้ในการจำลองในกรณีนี้จะมีลักษณะเหมือนกับการกำหนดกริดในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลักในหัวข้อ 6.1.1

6.1.3.1.1 สภาวะขอบเขต

- บริเวณทางเข้าของน้ำร้อน

ความเร็วและอุณหภูมิของน้ำร้อนจะแสดงได้ดังตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 ความเร็วและอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ปล่อยจากท่อข้างกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลักในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก

การทดลองที่	แนวแกน x (\bar{u}) เมตร/วินาที	แนวแกน y (\bar{v}) เมตร/วินาที	แนวแกน z (\bar{w}) เมตร/วินาที	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
1	0.56	0	0	46.5
2	0.56	0	0	51.5
3	0.56	0	0	56.0

สำหรับสภาวะขอบเขตในบริเวณทางเข้าของท่อหลักและบริเวณผนังของท่อหลักจะถูกกำหนดในลักษณะเดียวกับที่กล่าวมาในหัวข้อ 6.1.1.2

6.1.3.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพเฉลี่ยของน้ำในระบบแสดงได้ดังตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 คุณสมบัติทางกายภาพเฉลี่ยของน้ำในระบบกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลักในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก

การทดลองที่	T_{ave} ($^{\circ}\text{C}$)	ρ (kg/m^3)	\hat{C}_p ($\text{kJ}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$)	$\mu \times 10^6$ ($\text{kg}/\text{m sec}$)	k ($\text{J}/\text{m sec}^{\circ}\text{C}$)
1	26.8	996.59	4.182	882.36	0.6078
2	26.9	996.57	4.182	880.63	0.6080
3	26.9	996.57	4.182	880.63	0.6080

6.1.3.2 กรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก

การกำหนดกริดเพื่อใช้ในการจำลองในกรณีนี้จะมีลักษณะเหมือนกับการกำหนดกริดในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลักในหัวข้อ 6.1.2

6.1.3.2.1 สภาวะขอบเขต

- บริเวณทางเข้าของน้ำร้อน

ความเร็วและอุณหภูมิของน้ำร้อนจะแสดงได้ดังตารางที่ 6.9

ตารางที่ 6.9 ความเร็วและอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ปล่อยจากท่อข้างกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิจากน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลักในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก

การทดลองที่	แนวแกน x (\bar{u}) เมตร/วินาที	แนวแกน y (\bar{v}) เมตร/วินาที	แนวแกน z (\bar{w}) เมตร/วินาที	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
1	0.56	0	0	46.8
2	0.56	0	0	52.0
3	0.56	0	0	57.3

สำหรับสภาวะขอบเขตในบริเวณทางเข้าของท่อหลัก บริเวณผนังของท่อหลัก และบริเวณผิวอิสระจะถูกกำหนดในลักษณะเดียวกับที่กล่าวมาในหัวข้อ 6.1.2.2

6.1.3.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพเฉลี่ยของน้ำในระบบแสดงได้ดังตารางที่ 6.10

ตารางที่ 6.10 คุณสมบัติทางกายภาพเฉลี่ยของน้ำในระบบกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลักในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก

การทดลองที่	T_{ave} ($^{\circ}\text{C}$)	ρ (kg/m^3)	\hat{C}_p ($\text{kJ}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$)	$\mu \times 10^6$ ($\text{kg}/\text{m sec}$)	k ($\text{J}/\text{m sec}^{\circ}\text{C}$)
1	27.5	996.37	4.182	870.25	0.6088
2	27.6	996.35	4.182	868.52	0.6090
3	27.7	996.32	4.182	868.48	0.6090

6.2 ผลที่ได้จากการจำลองโดยใช้เทคนิค CFD

6.2.1 กรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก

6.2.1.1 ลักษณะการไหลของน้ำภายในท่อหลัก

ลักษณะการไหลของน้ำภายในท่อหลักจะแสดงในรูปแบบของเวกเตอร์ โดยที่ค่าของเวกเตอร์จะมีค่าแตกต่างกันไปตามเฉลี่ยที่ปรากฏทางด้านข้างของรูปที่แสดง ซึ่งค่าที่อ่านได้จะมีหน่วยเป็น เมตร/วินาที

รูปที่ 6.4 เป็นภาพตัดของบริเวณ IX = 7 หรือที่ตำแหน่ง 0.13 เมตร เมื่อวัดตามแกน x และ IZ = 8 ถึง IZ = 12 รวมเป็นระยะทางประมาณ 0.3 เมตร เมื่อวัดตามความยาวของท่อหลัก จากรูปจะพบว่าของไหลจะมีความเร็วสูงที่สุดบริเวณกลางๆ ท่อหลัก และจะมีความเร็วลดน้อยลงเรื่อยๆ ตามทิศทางเข้าหาผนังท่อทั้งสองด้าน จนมีความเร็วที่น้อยที่สุดที่บริเวณใกล้ๆ กับผนังท่อ ทั้งนี้เนื่องมาจากการกำหนดให้ความเร็วที่บริเวณผนังท่อทุกด้านมีค่าเป็นศูนย์จึงทำให้ความเร็วในบริเวณที่ใกล้ๆ กับผนังท่อมักน้อย

6.2.1.2 การกระจายตัวของความเร็ว

การกระจายตัวของความเร็วจะแสดงในรูปแบบของเวกเตอร์ โดยที่ค่าของเวกเตอร์จะมีค่าแตกต่างกันไปตามเฉลี่ยที่ปรากฏทางด้านข้างของรูปที่แสดง ค่าที่อ่านได้จะมีหน่วยเป็น เมตร/วินาที สำหรับบริเวณที่แสดงจะอยู่ในช่วง $IZ=13-30$ รวมเป็นระยะทางประมาณ 0.5 เมตร

6.2.1.2.1 การกระจายตัวของความเร็วในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้าง

เมื่อพิจารณาถึงลักษณะการกระจายตัวของความเร็วของน้ำร้อนที่ถูกปล่อยออกมาในการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ดังแสดงในรูปที่ 6.5-6.7 ตามลำดับ จะพบว่าลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำร้อนที่เกิดขึ้นในทั้ง 3 การทดลองจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันนั่นคือ ในช่วงแรกน้ำร้อนจะพุ่งออกมาด้วยความเร็วที่สูงในทิศทางเดียวกับท่อข้างผ่านเข้าไปในน้ำที่ไหลอยู่ภายในท่อหลักจนทำให้เกิดการปะทะกันระหว่างน้ำร้อนกับน้ำที่ไหลอยู่ภายในท่อหลักซึ่งมีมวลมากกว่า ทำให้น้ำร้อนมีการเคลื่อนที่เบี่ยงเบน ไปจากเดิมและมีแนวโน้มของการเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของการเคลื่อนที่ของน้ำที่ไหลอยู่ภายในท่อหลักจนในที่สุดการเคลื่อนที่ของน้ำร้อนก็จะอยู่ในแนวเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของน้ำในท่อหลัก แต่เนื่องจากค่าอัตราการไหลของน้ำร้อนที่ใช้ในทั้ง 3 การทดลองจะมีค่าที่แตกต่างกัน โดยในการทดลองที่ 1 จะมีค่ามากที่สุด จึงทำให้ระยะทางที่น้ำร้อนสามารถที่จะเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในน้ำที่ไหลอยู่ภายในท่อหลักโดยที่ยังไม่เกิดการเคลื่อนที่เบี่ยงเบนไปจากทิศทางเดิมในการทดลองที่ 1 มีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับการทดลองที่ 2 และ 3

6.2.1.3 การกระจายตัวของอุณหภูมิ

การกระจายตัวของอุณหภูมิจะแสดงในรูปแบบของสีต่างๆ โดยที่ค่าของอุณหภูมิจะแตกต่างกันไปตามเฉลี่ยที่ปรากฏทางด้านข้างของรูปที่แสดง ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จะมีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส สำหรับบริเวณที่แสดงจะอยู่ในช่วง $IZ = 13-30$ รวมเป็นระยะทางประมาณ 0.5 เมตร

6.2.1.3.1 การกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้าง

เมื่อพิจารณาถึงลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ดังรูปที่ 6.8-6.10 ตามลำดับ จะพบว่าลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในทั้ง 3 การทดลองจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันนั่นคือ ในบริเวณที่อยู่ใกล้กับท่อข้างการกระจายตัวของอุณหภูมิจะมีลักษณะเป็นลำของอุณหภูมิพุ่งออกมาจากท่อข้างโดยจะมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำร้อน ทั้งนี้เพราะในบริเวณดังกล่าวน้ำร้อนจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงทะลุผ่านเข้าไป

ในน้ำที่ไหลอยู่ภายในท่อหลัก โดยที่ยังสามารถรักษาสภาพของน้ำร้อนเอาไว้ได้ ซึ่งยิ่งความเร็วที่ใช้ในการปล่อยน้ำร้อนมีมากค่าของน้ำร้อนก็จะสามารถเคลื่อนที่ไปได้เป็นระยะทางที่ไกลออกจากท่อข้างได้มากขึ้น ดังจะเห็นได้จากการกระจายตัวของอุณหภูมิในการทดลองที่ 1 (รูปที่ 6.8) ซึ่งใช้อัตราการปล่อยน้ำร้อนมากที่สุดจะมีค่าของน้ำร้อนพุ่งออกมาได้เป็นระยะทางที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับการทดลองที่ 2 และ 3 จากนั้นเนื่องจากมวลของน้ำร้อนที่ปล่อยออกมาจะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับมวลของน้ำที่ไหลอยู่ภายในท่อหลักทำให้เมื่อเกิดการปะทะกันน้ำในท่อหลักซึ่งมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าน้ำร้อนจึงสามารถเข้าไปผสมกับน้ำร้อนจนทำให้อุณหภูมิจึงของน้ำร้อนมีค่าลดลงและไม่สามารถรักษาสภาพของน้ำร้อนเอาไว้ได้ ดังจะเห็นได้จากการลดลงของอุณหภูมิของน้ำร้อนที่เกิดขึ้นและลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เริ่มมีการกระจายตัวออกทางด้านข้างของต้นน้ำร้อน จนเมื่อน้ำร้อนเคลื่อนที่ออกมาห่างจากท่อข้างมากขึ้นการกระจายตัวออกทางด้านข้างของอุณหภูมิก็จะขยายตัวมากขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะเกิดการเคลื่อนที่เข้าผสมกันอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำที่ไหลอยู่ภายในท่อหลัก แต่การลดลงของอุณหภูมิของน้ำร้อนจะเป็นไปอย่างช้าๆ ดังจะเห็นได้จากจำนวนเฉลี่ยที่ปรากฏในบริเวณนี้จะมีจำนวนที่น้อยลงจนในที่สุดเฉลี่ยที่ปรากฏก็จะกลายเป็นทีเดียวกกันซึ่งแสดงว่าอุณหภูมิของน้ำร้อนในบริเวณดังกล่าวมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของน้ำที่ไหลอยู่ภายในท่อหลัก ซึ่งจะพบว่าในการทดลองที่ 3 (รูปที่ 6.10) จะใช้ระยะทางที่อุณหภูมิของน้ำร้อนมีค่าลดลงจนมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของน้ำในท่อหลักมากที่สุด

6.2.1.3.2 การกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบตัดของท่อหลัก

รูปที่ 6.11 – 6.16 แสดงถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิของการทดลองที่ 1 ในระนาบ $IZ = 16, 18, 20, 22, 24, 27$ ตามลำดับ ซึ่งเป็นระนาบที่มีระยะทางห่างจากจุดศูนย์กลางของท่อข้างมาตามความยาวของท่อหลักเป็นระยะทางประมาณ 0, 0.01, 0.04, 0.12, 0.25 และ 0.3 เมตร ตามลำดับ พบว่าในรูปที่ 6.11 ซึ่งเป็นระนาบที่อยู่ตรงบริเวณเดียวกันกับท่อข้าง การกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นค่าของน้ำร้อนพุ่งออกมาโดยมีขนาดเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อข้าง จากนั้นเมื่อพิจารณาในรูปที่ 6.12 - 6.16 จะพบว่าบริเวณที่อุณหภูมิของน้ำในท่อหลักมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมจะมีบริเวณที่กว้างขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะทางที่ห่างจากจุดศูนย์กลางของท่อข้างเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นก็จะมีแนวโน้มที่ลดลง แต่เมื่อระยะทางที่ห่างจากจุดศูนย์กลางของท่อข้างเพิ่มขึ้นมากๆ กลับพบว่าบริเวณที่อุณหภูมิของน้ำในท่อหลักมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมจะมีบริเวณที่น้อยลงและมีอุณหภูมิลดลงจนเกือบจะเท่ากับอุณหภูมิของน้ำที่ไหลภายในท่อหลัก

สำหรับลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในการทดลองที่ 2 และ 3 ก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 เพียงแต่ความเร็วที่ใช้ในการปล่อยน้ำร้อนจะมีค่าลดลงจึงทำให้การกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะอยู่ในบริเวณใกล้ๆ กับผนังทางด้านข้างของท่อหลัก

ลงจึงทำให้การกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะอยู่ในบริเวณใกล้ๆ กับผนังทางด้านข้างของท่อหลัก ในด้านที่มีการปล่อยน้ำร้อนออกมา ซึ่งจะต่างจากที่เกิดขึ้นในการทดลองที่ 1 ซึ่งการกระจายตัวของอุณหภูมิจะอยู่ในบริเวณที่ห่างออกไปจากผนังทางด้านข้างของท่อหลักในด้านที่มีการปล่อยน้ำร้อนออกมา ดังแสดงได้ในรูปที่ 6.17-6.22 ในการทดลองที่ 2 และ รูปที่ 6.23-6.28 ในการทดลองที่ 3

6.2.2 กรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก

6.2.2.1 ลักษณะการไหลของน้ำภายในท่อหลัก

จากรูปที่ 6.29 พบว่าลักษณะการไหลของของไหลภายในท่อหลักในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อจะมีความแตกต่างจากกรณีน้ำไหลเต็มท่อ (รูปที่ 6.4) คือ ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อของไหลจะมีความเร็วมากที่สุดที่บริเวณผิวอิสระจากนั้นความเร็วของของไหลจะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จนมามีความเร็วที่น้อยที่สุดที่บริเวณใกล้ๆ กับผนังท่อ ทั้งนี้เนื่องมาจากการกำหนดลักษณะของผิวอิสระดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อ 6.1.2.2.4

6.2.2.2 การกระจายตัวของความเร็วในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้าง

ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อปล่อยน้ำร้อนในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลักจะมีลักษณะคล้ายกับในกรณีของน้ำไหลเต็มท่อหลักเพียงแต่ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลักปริมาณของน้ำในท่อหลักจะมีค่าลดลงจึงทำให้ความเร็วของน้ำที่ไหลอยู่ภายในท่อหลักในบริเวณที่ทำการปล่อยน้ำร้อนจะมีค่าลดลงจากในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก (พิจารณาจากรูปที่ 6.4 และ 6.29 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลักและน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก ตามลำดับ) ทำให้ความสามารถของน้ำร้อนที่จะทะลุผ่านเข้าไปในน้ำที่ไหลอยู่ภายในท่อหลักมีมากขึ้นเนื่องจากแรงปะทะที่เกิดขึ้นกับน้ำร้อนกับน้ำที่ไหลอยู่ภายในท่อหลักมีค่าลดลง น้ำร้อนจึงสามารถเคลื่อนที่ได้เป็นระยะทางที่ไกลขึ้นก่อนที่จะเกิดการเบี่ยงเบนไปตามทิศทางการไหลของน้ำในท่อหลัก ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 6.30 ซึ่งใช้อัตราในการปล่อยน้ำร้อนมากที่สุด น้ำร้อนจะสามารถเคลื่อนที่ไปกระทบบริเวณผนังตรงข้ามกับท่อข้างได้ สำหรับรูปที่ 6.31 และ 6.32 จะแสดงการกระจายตัวของความเร็วในการทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

6.2.2.3. การกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้าง

ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้างของการทดลองที่ 1, 2 และ 3 แสดงได้ในรูปที่ 6.33–6.35 ตามลำดับ โดยทั่วไปลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิก็น่าจะมีลักษณะที่ขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายตัวของความเร็วที่กล่าวมาในหัวข้อ 6.2.2.2 นั้นคือเมื่อทำการเพิ่มอัตราการป้อนน้ำร้อนก็จะทำให้การกระจายตัวของน้ำร้อนไปในทิศทางความกว้างของท่อหลักมีมากขึ้น โดยจะเห็นลำของน้ำร้อนที่พุ่งออกมาเป็นระยะทางที่ไกลขึ้น

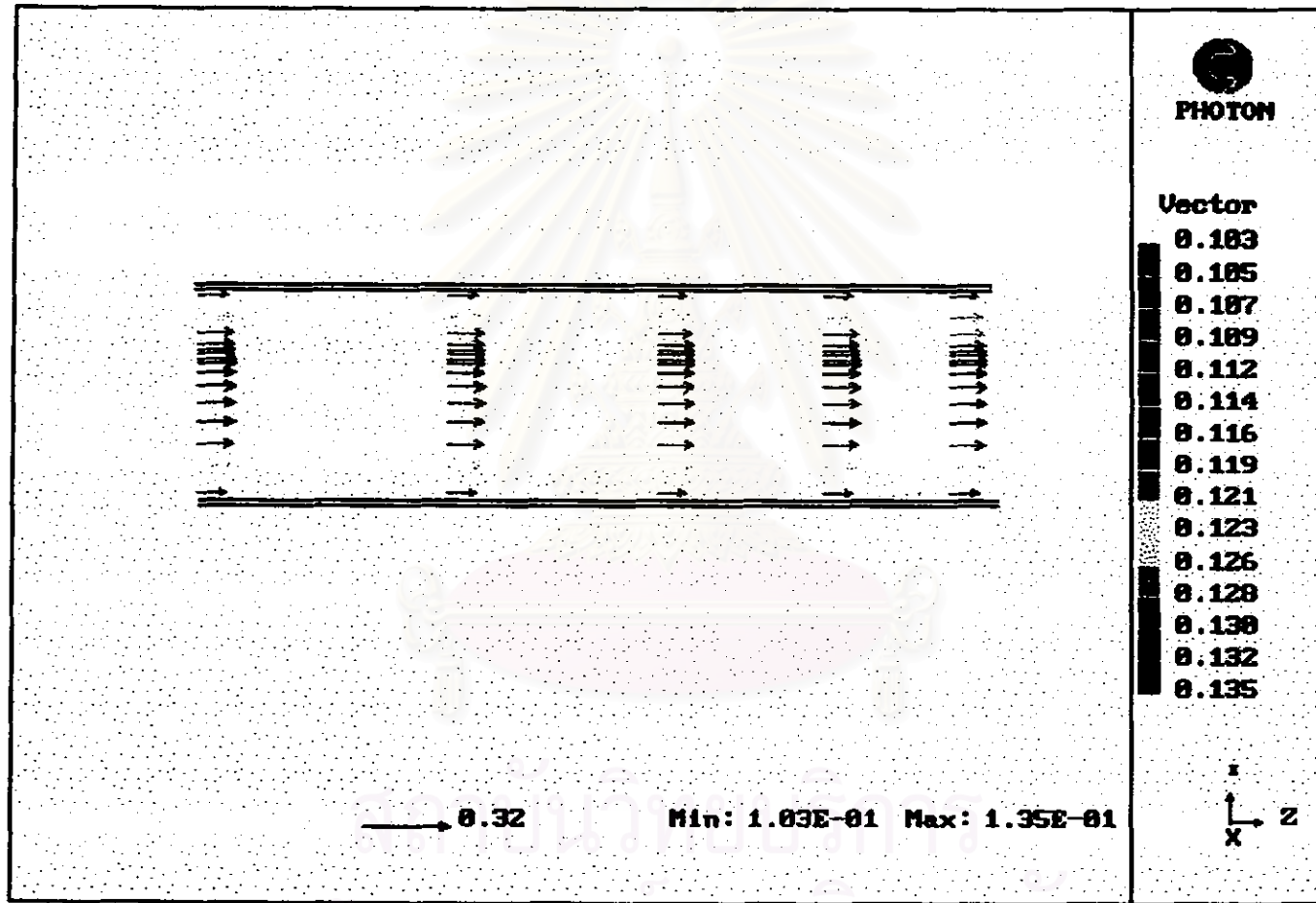
6.2.3 กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก

6.2.3.1 การกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้าง

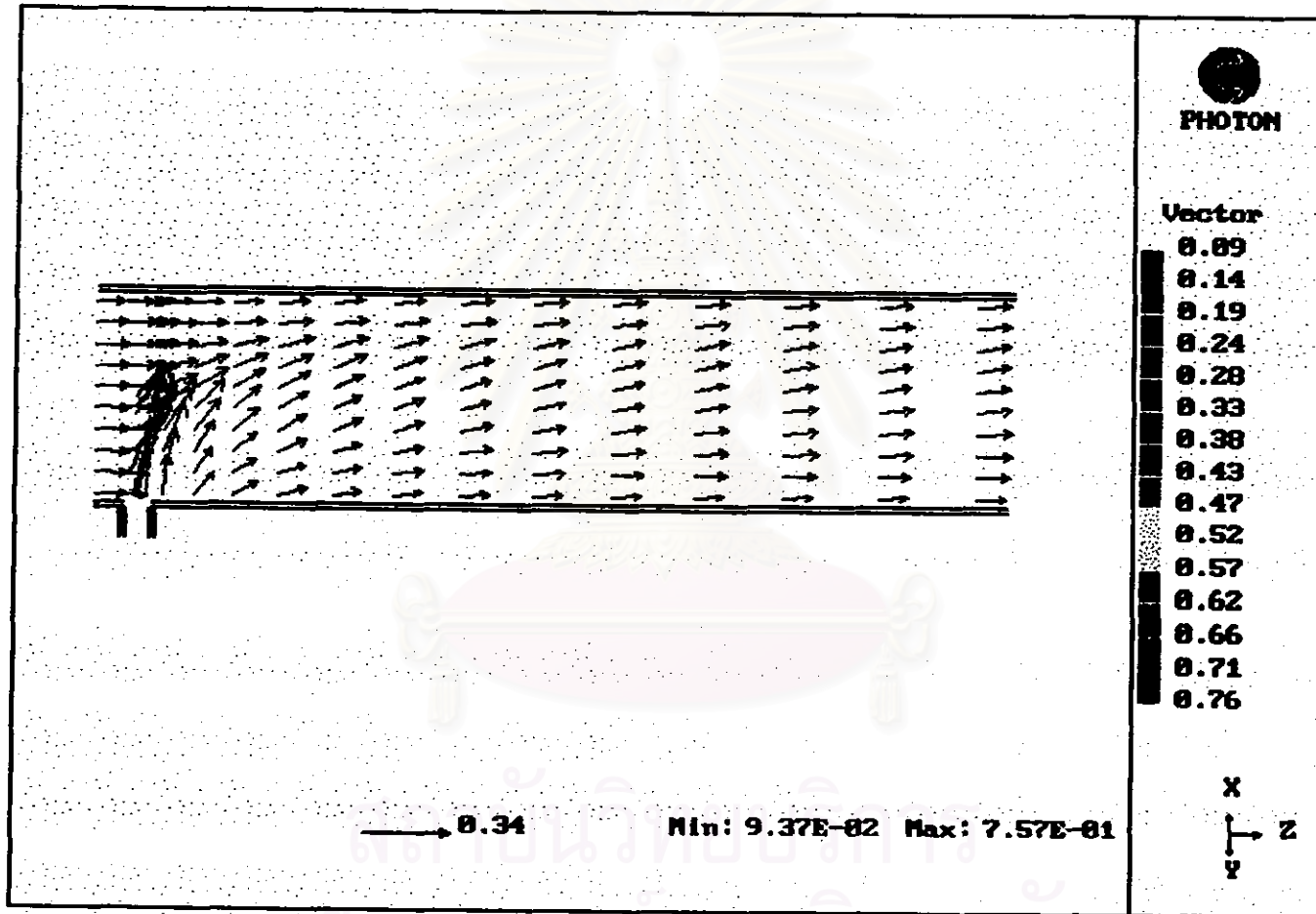
ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้าง โดยทั่วไปลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิก็น่าจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันแม้ว่าจะใช้ผลต่างของอุณหภูมระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลักที่แตกต่างกัน แต่จะพบว่าอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ป้อนออกมาจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามผลต่างของอุณหภูมระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลักที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงได้ในรูปที่ 6.36 –6.38 ซึ่งแสดงลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณีน้ำไหลเต็มท่อเมื่อกำหนดให้ผลต่างของอุณหภูมระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลักมีค่าเท่ากับ 20, 25 และ 30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

รูปที่ 6.39 –6.41 จะแสดงลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อเมื่อกำหนดให้ผลต่างของอุณหภูมระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลักมีค่าเท่ากับ 20, 25 และ 30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

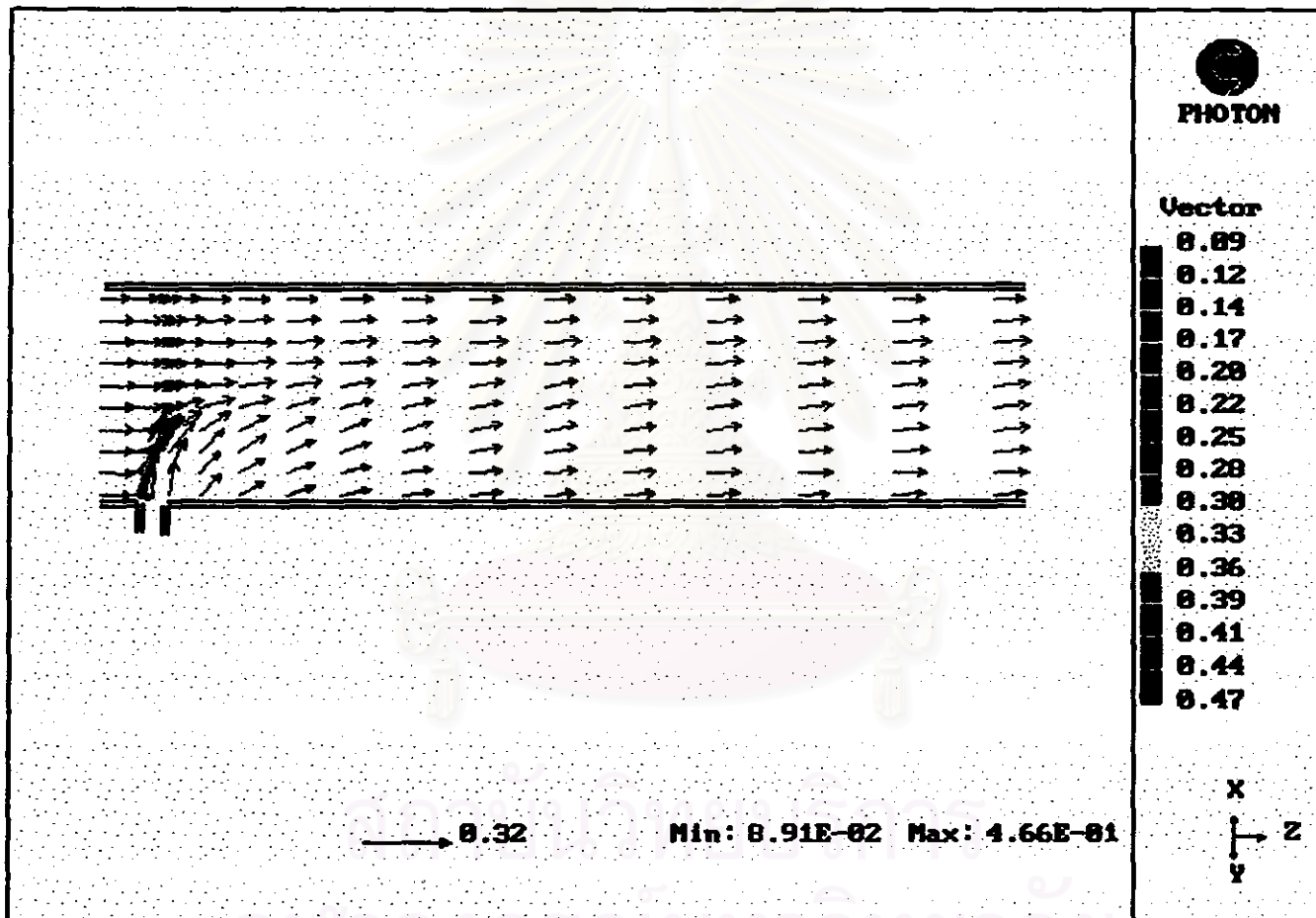
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



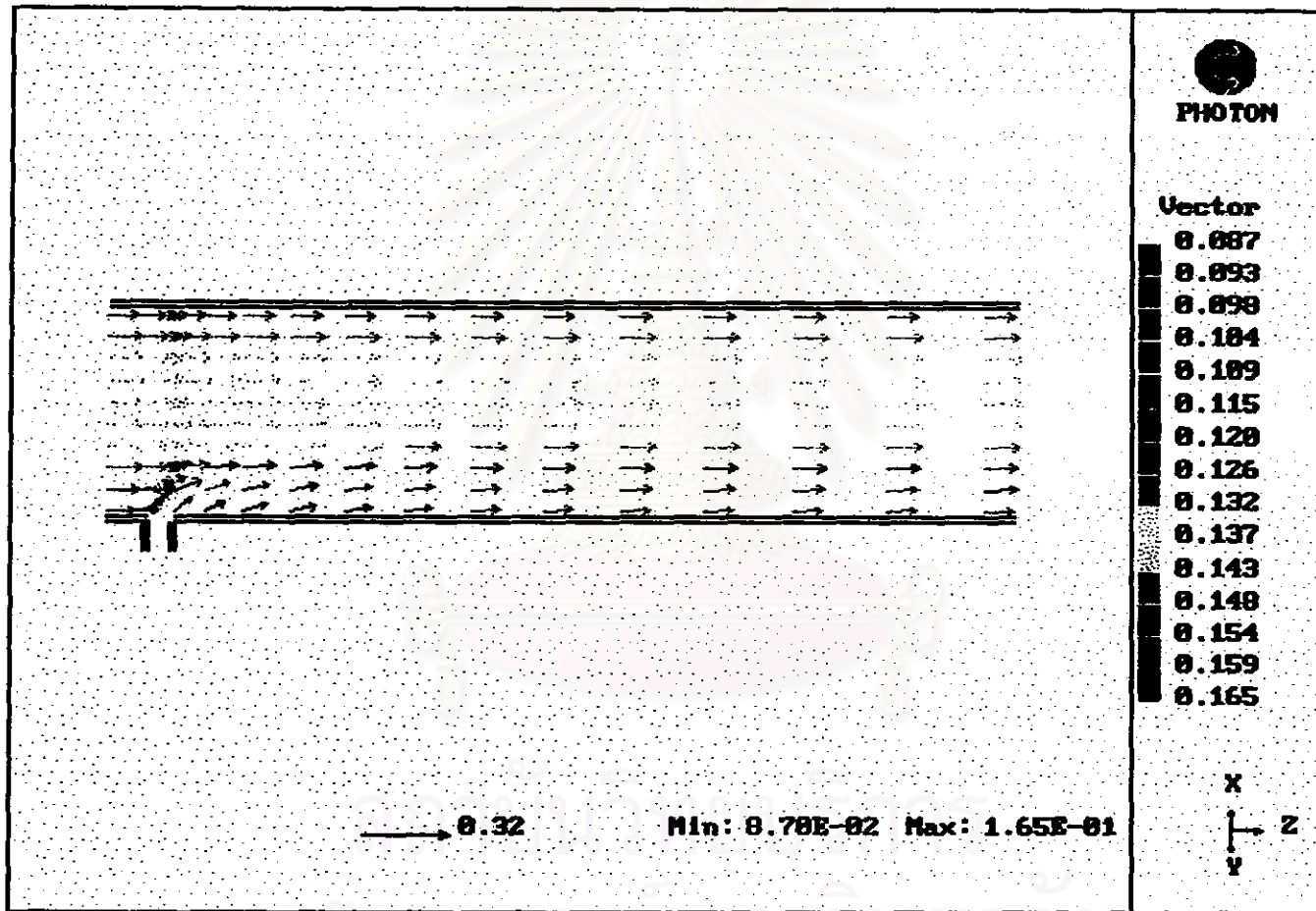
รูปที่ 6.4 ลักษณะการเคลื่อนที่ของนำภายในท่อหัก ในกรณีนำไหลเต็มท่อหัก



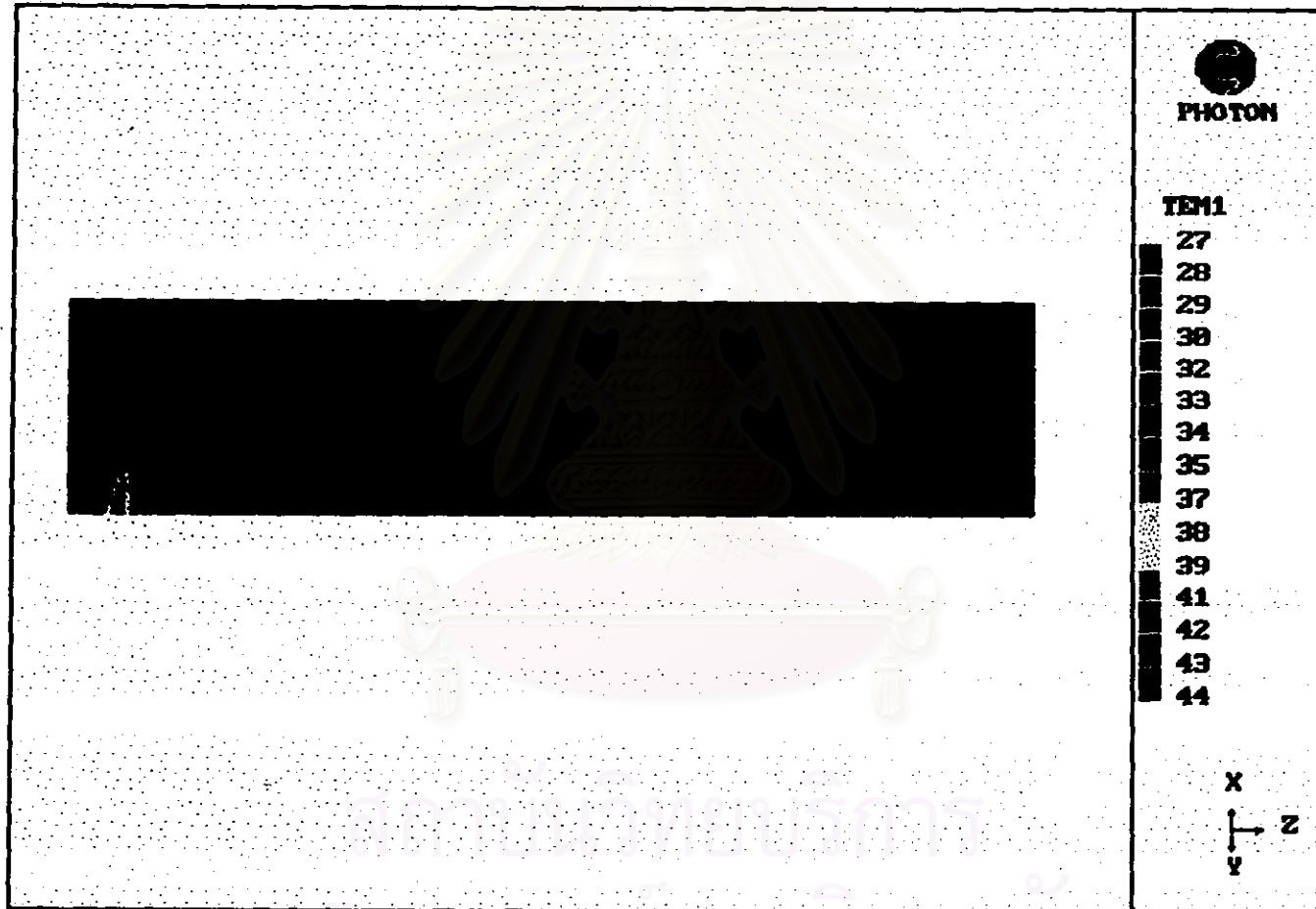
รูปที่ 6.5 ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้างของการทดลองที่ 1 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก



รูปที่ 6.6 ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้างของการทดลองที่ 2 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหัก



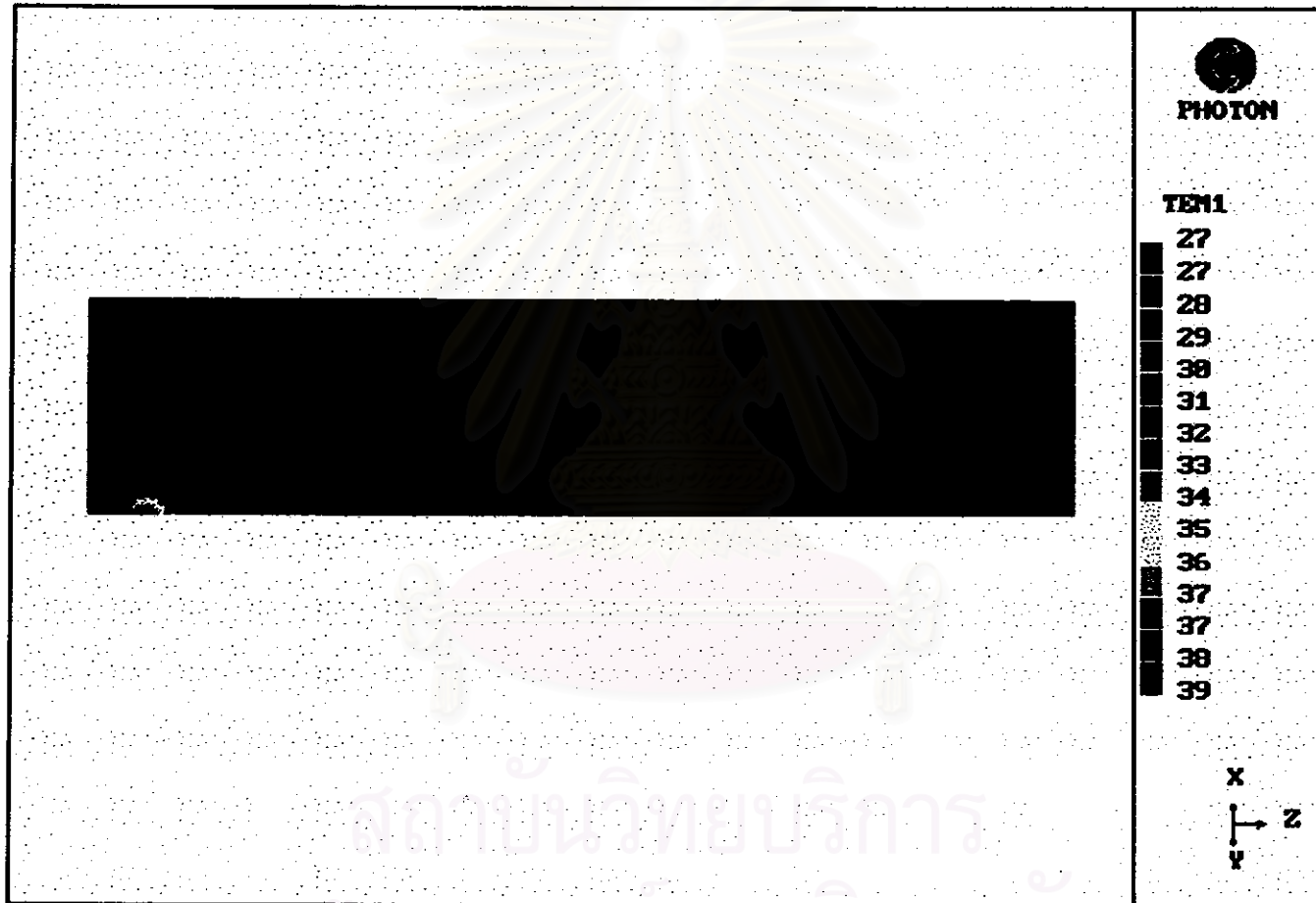
รูปที่ 6.7 ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้างของการทดลองที่ 3 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก



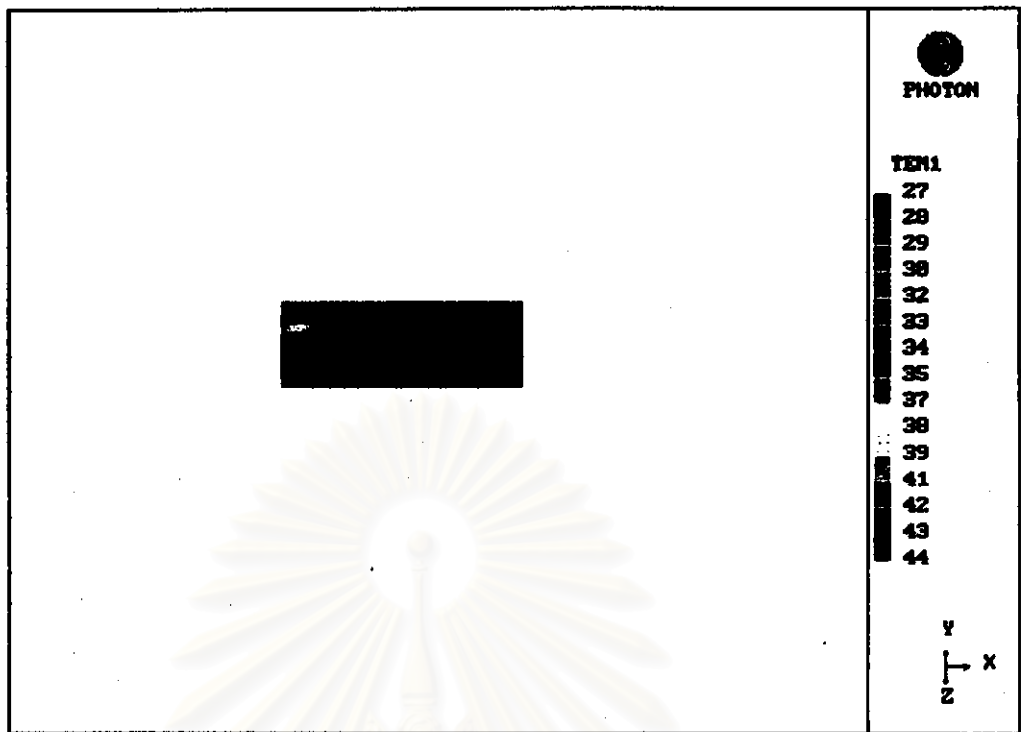
รูปที่ 6.8 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคนาโนในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้างของการทดลองที่ 1 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก



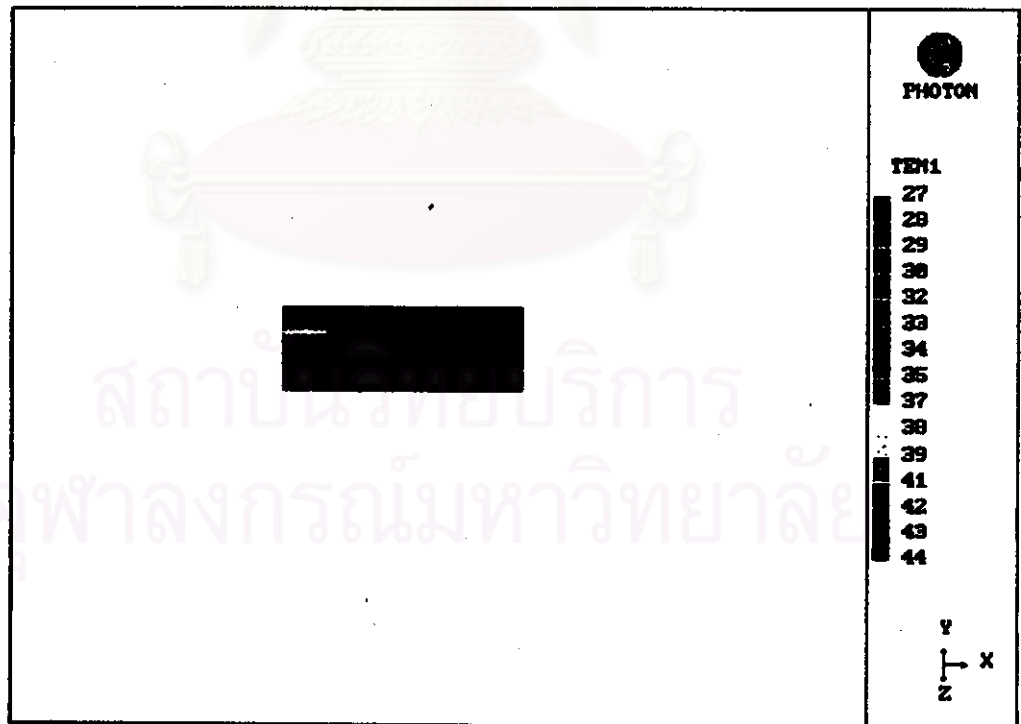
รูปที่ 6.9 ลักษณะการกระจายตัวของจุดหมึกในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้างของการทดลองที่ 2 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก



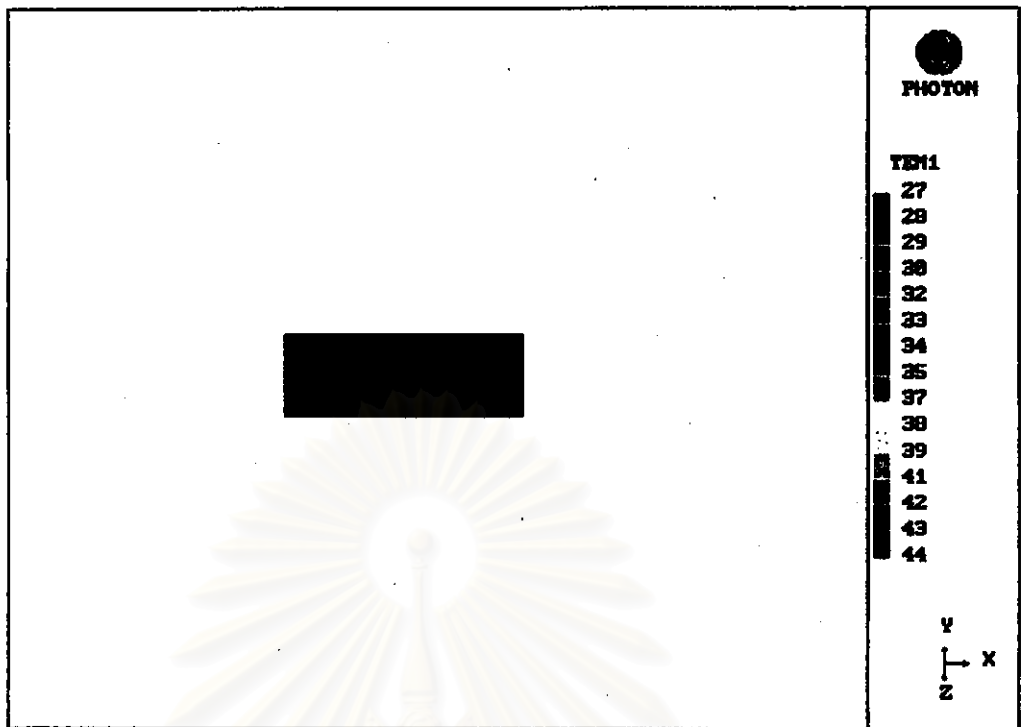
รูปที่ 6.10 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคนาโนที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้างของการทดลองที่ 3 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก



รูปที่ 6.11 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิจานานาในระนาบ $IZ=16$ ของการทดลองที่ 1 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อ



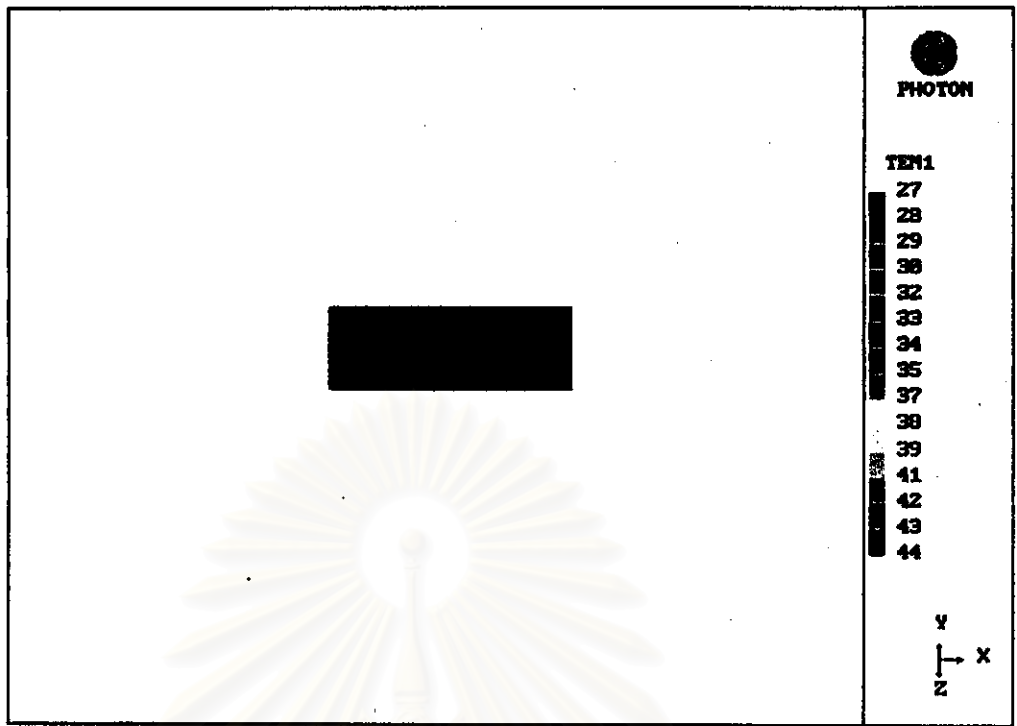
รูปที่ 6.12 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิจานานาในระนาบ $IZ=18$ ของการทดลองที่ 1 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อ



รูปที่ 6.13 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคนาโนในระนาบ IZ=20 ของการทดลองที่ 1 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อ



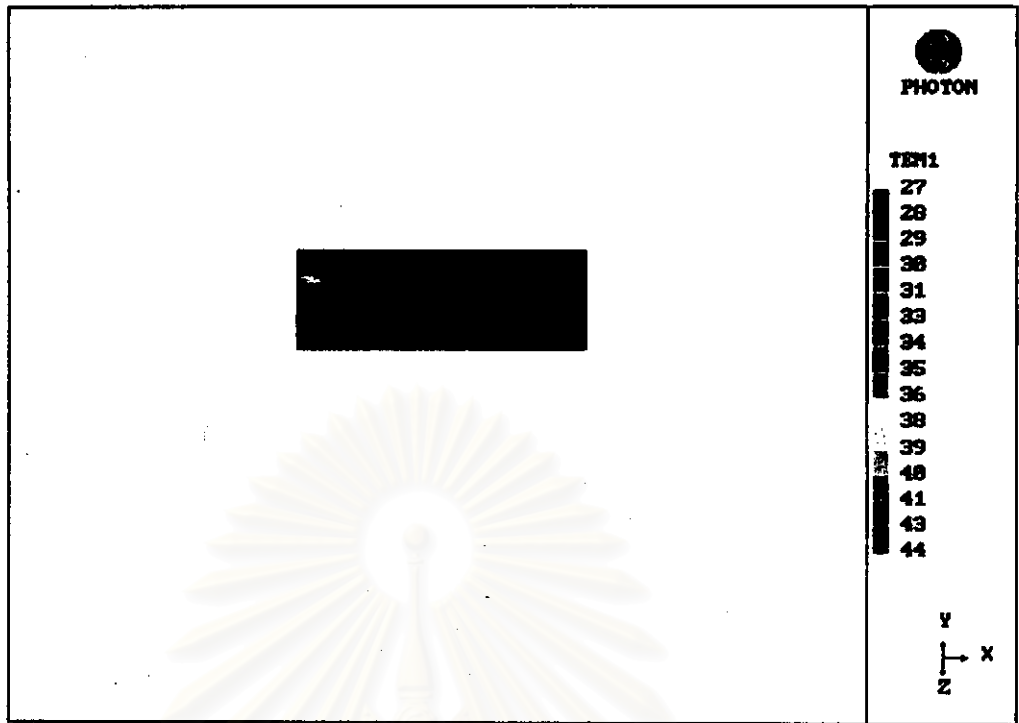
รูปที่ 6.14 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคนาโนในระนาบ IZ=22 ของการทดลองที่ 1 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อ



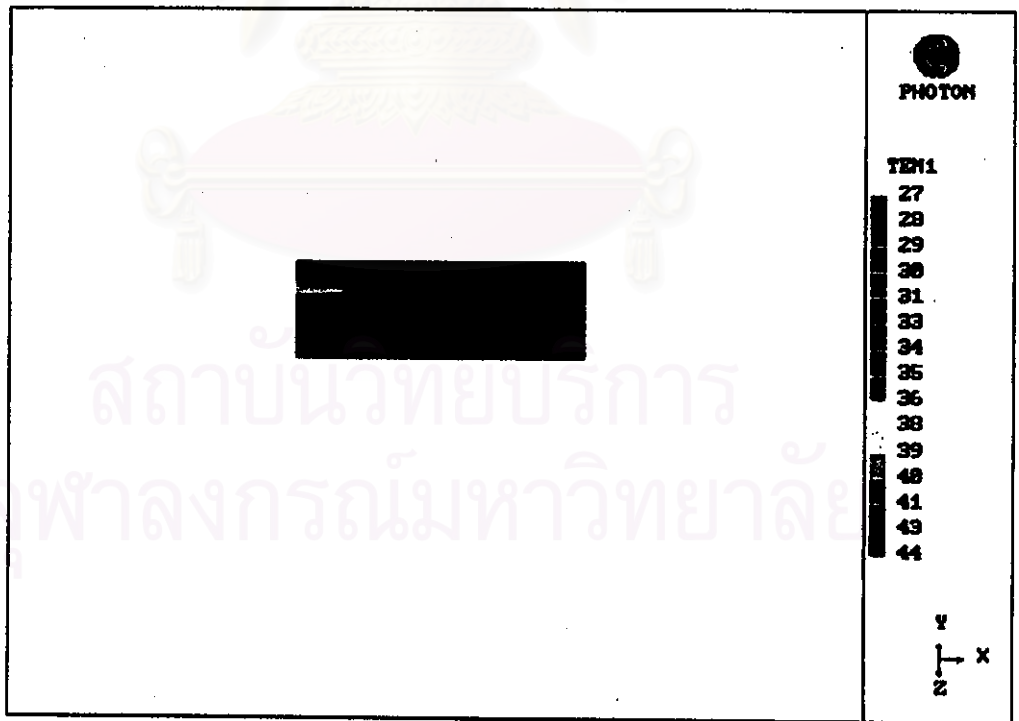
รูปที่ 6.15 ลักษณะการกระจายตัวของจุดทงูมิในระนาบ IZ-24 ของการทดลองที่ 1 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อ



รูปที่ 6.16 ลักษณะการกระจายตัวของจุดทงูมิในระนาบ IZ-27 ของการทดลองที่ 1 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อ



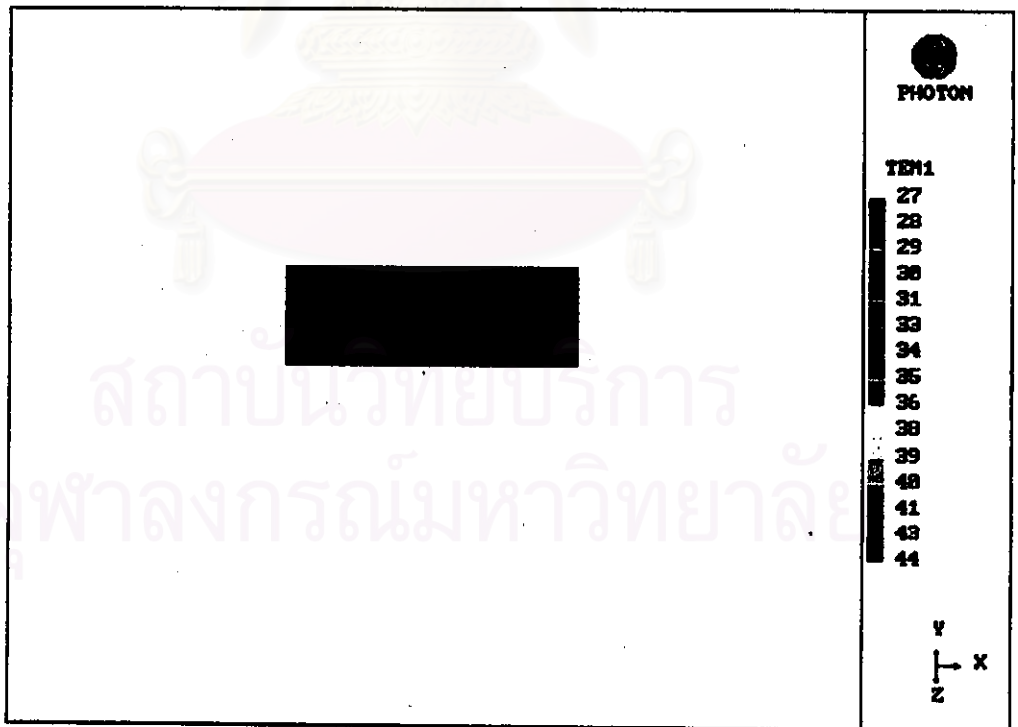
รูปที่ 6.17 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคในระนาบ $IZ=16$ ของการทดลองที่ 2 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อ



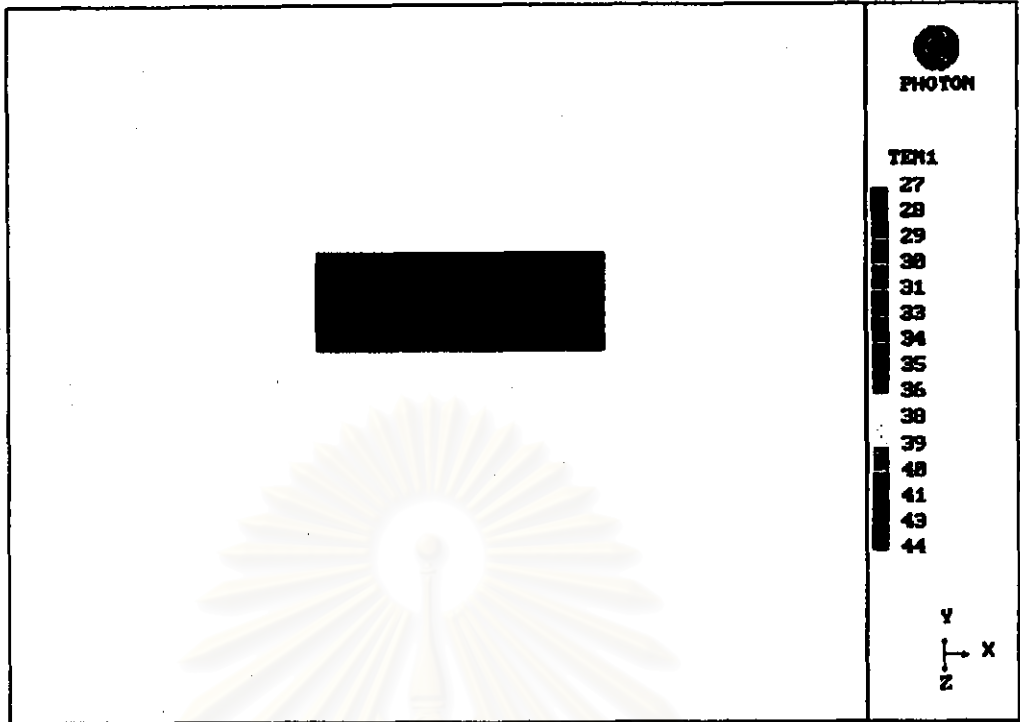
รูปที่ 6.18 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคในระนาบ $IZ=18$ ของการทดลองที่ 2 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อ



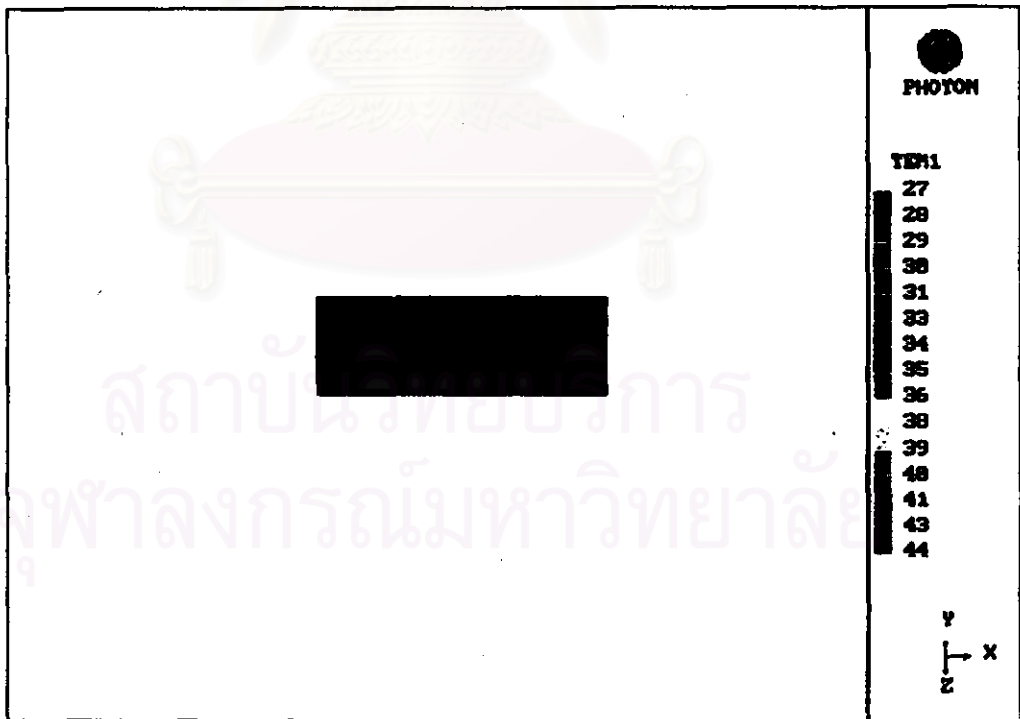
รูปที่ 6.19 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคในระนาบ IZ-20 ของการทดลองที่ 2 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อ



รูปที่ 6.20 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคในระนาบ IZ-22 ของการทดลองที่ 2 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อ



รูปที่ 6.21 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคนิวตริโนในระนาบ IZ-24 ของการทดลองที่ 2 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อ



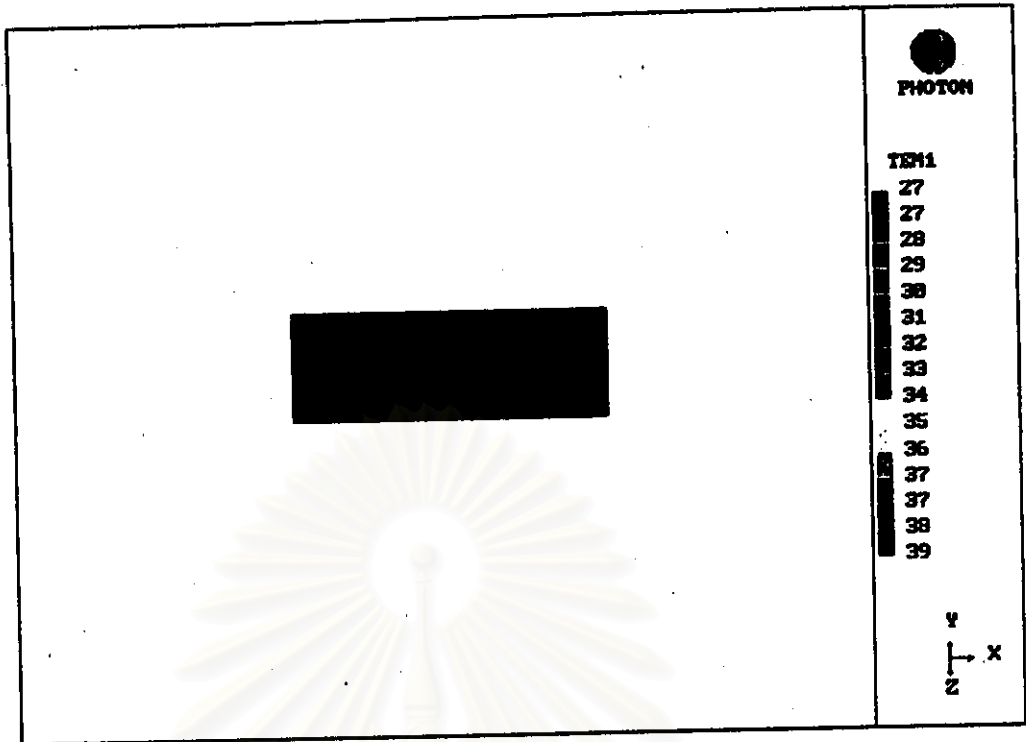
รูปที่ 6.22 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคนิวตริโนในระนาบ IZ-27 ของการทดลองที่ 2 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อ



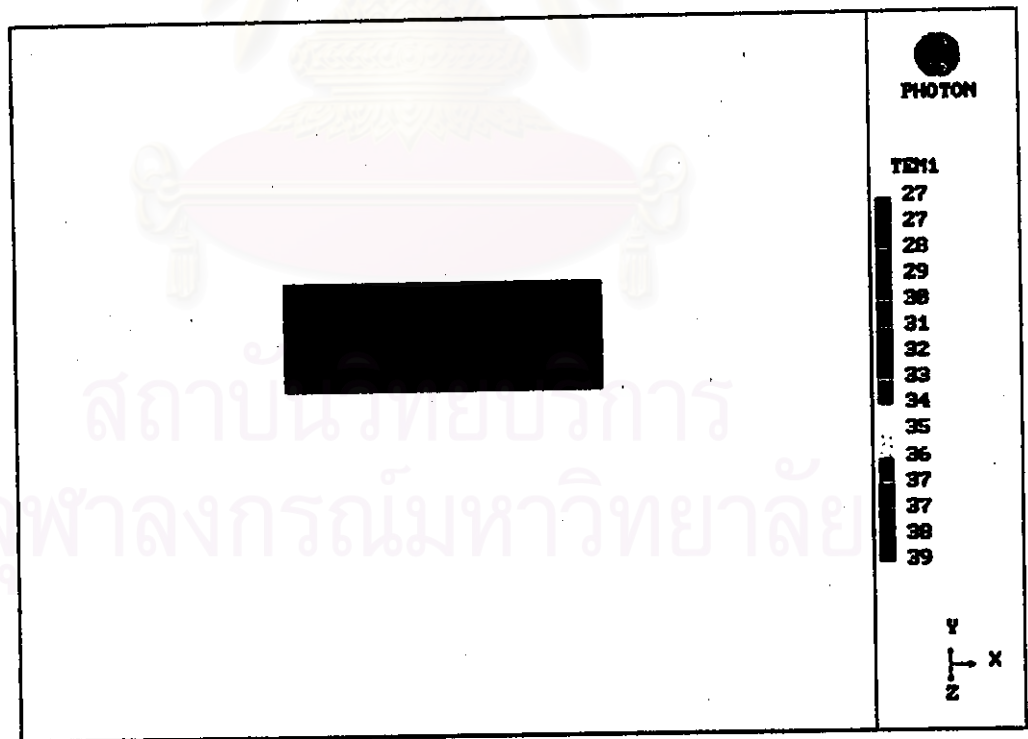
รูปที่ 6.23 ลักษณะการกระจายตัวของจุดหมึกในระนาบ $IZ=16$ ของการทดลองที่ 3 ในกรณีน้ำไหลเค็มท่อ



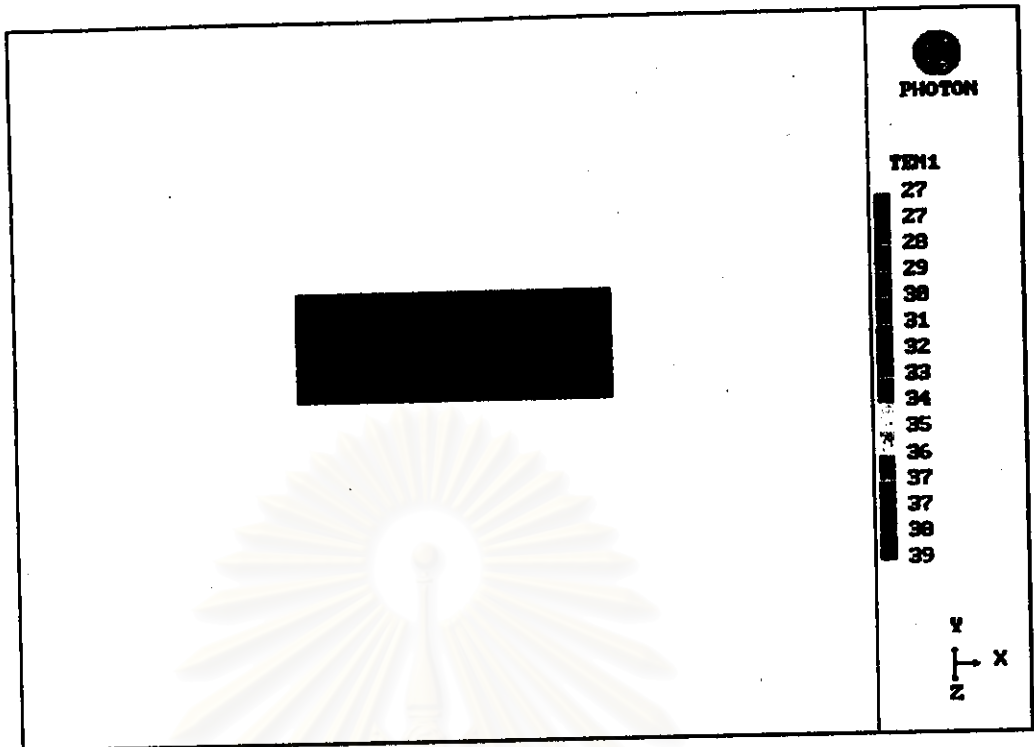
รูปที่ 6.24 ลักษณะการกระจายตัวของจุดหมึกในระนาบ $IZ=18$ ของการทดลองที่ 3 ในกรณีน้ำไหลเค็มท่อ



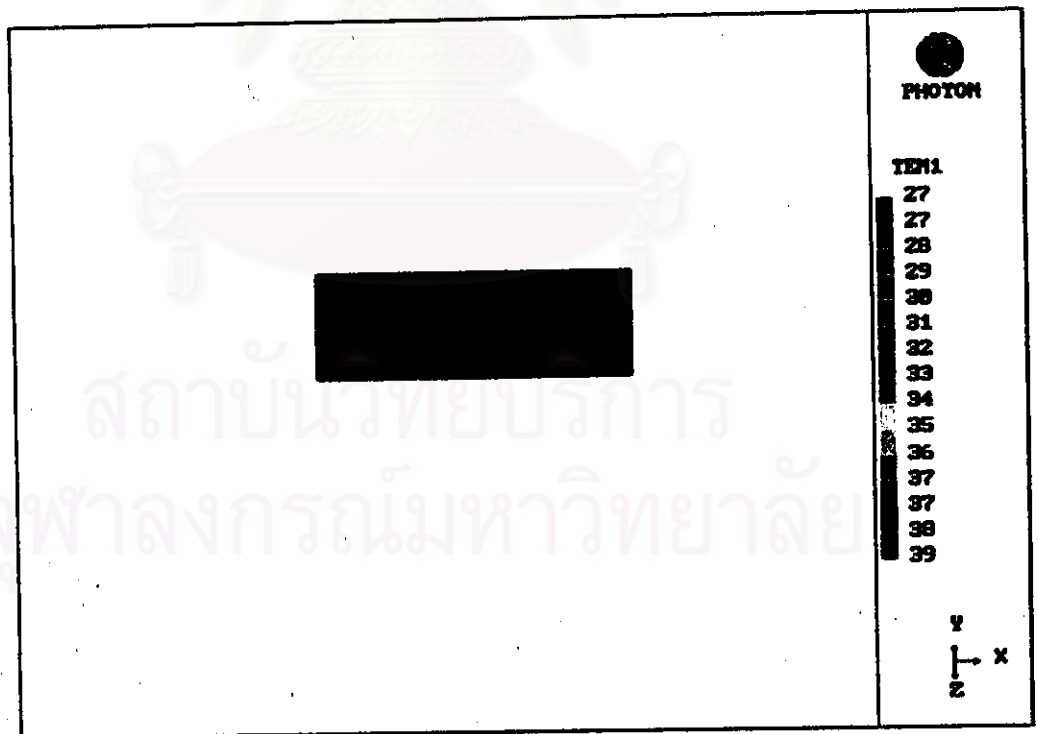
รูปที่ 6.25 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคในระนาบ IZ=20 ของการทดลองที่ 3 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อ



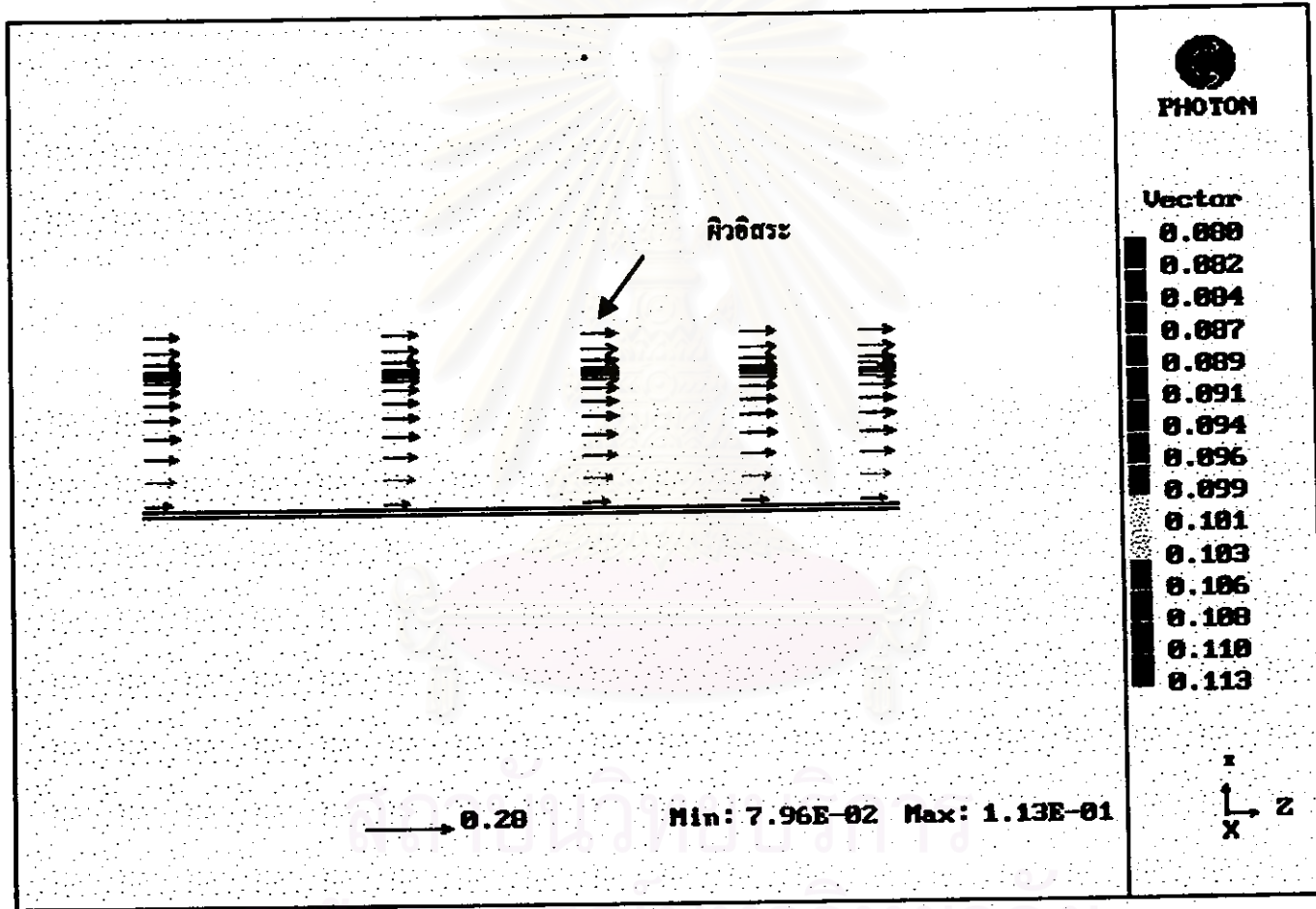
รูปที่ 6.26 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคในระนาบ IZ=22 ของการทดลองที่ 3 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อ



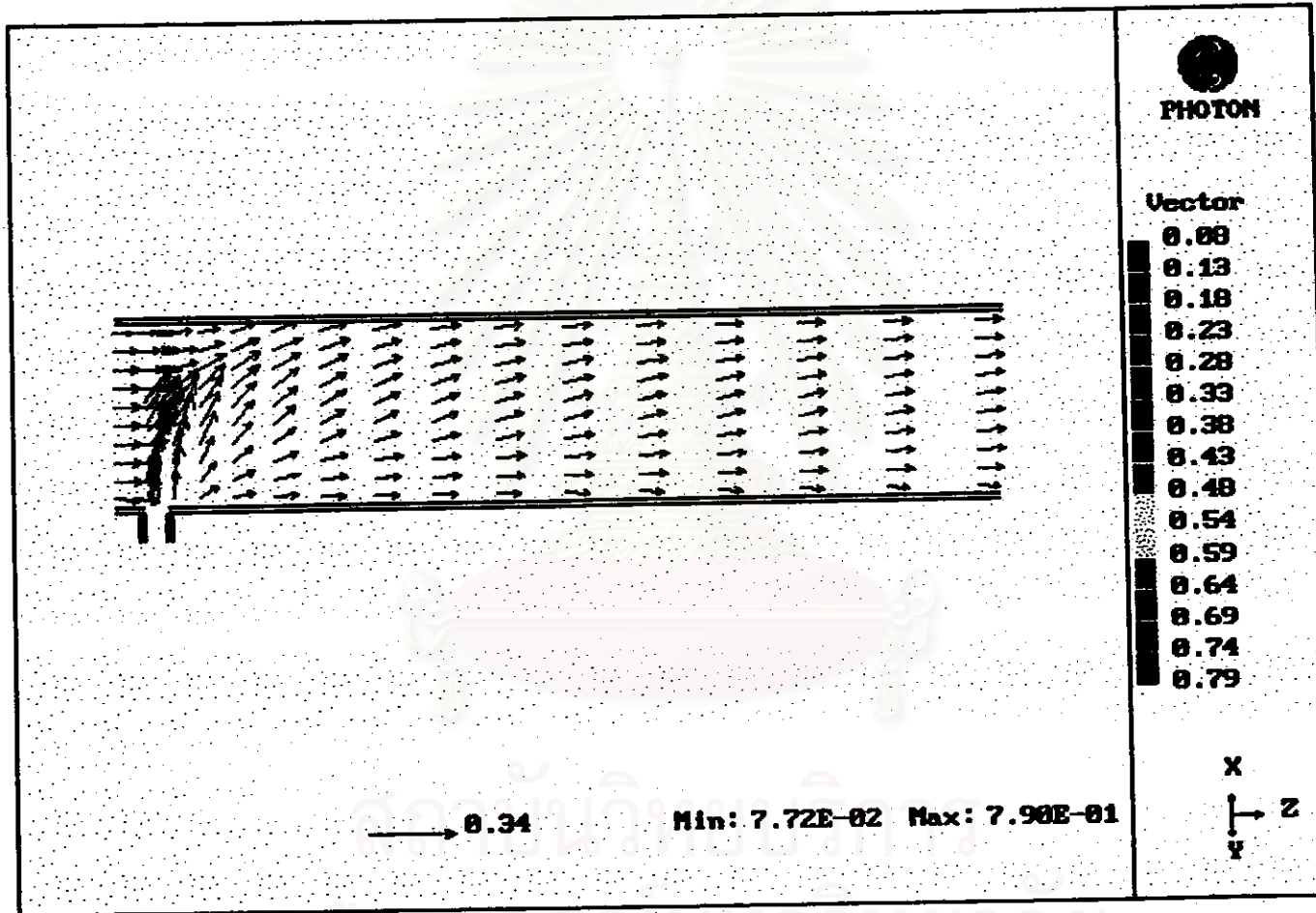
รูปที่ 6.27 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคนิวตรอนในระนาบ IZ-24 ของการทดลองที่ 3 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อ



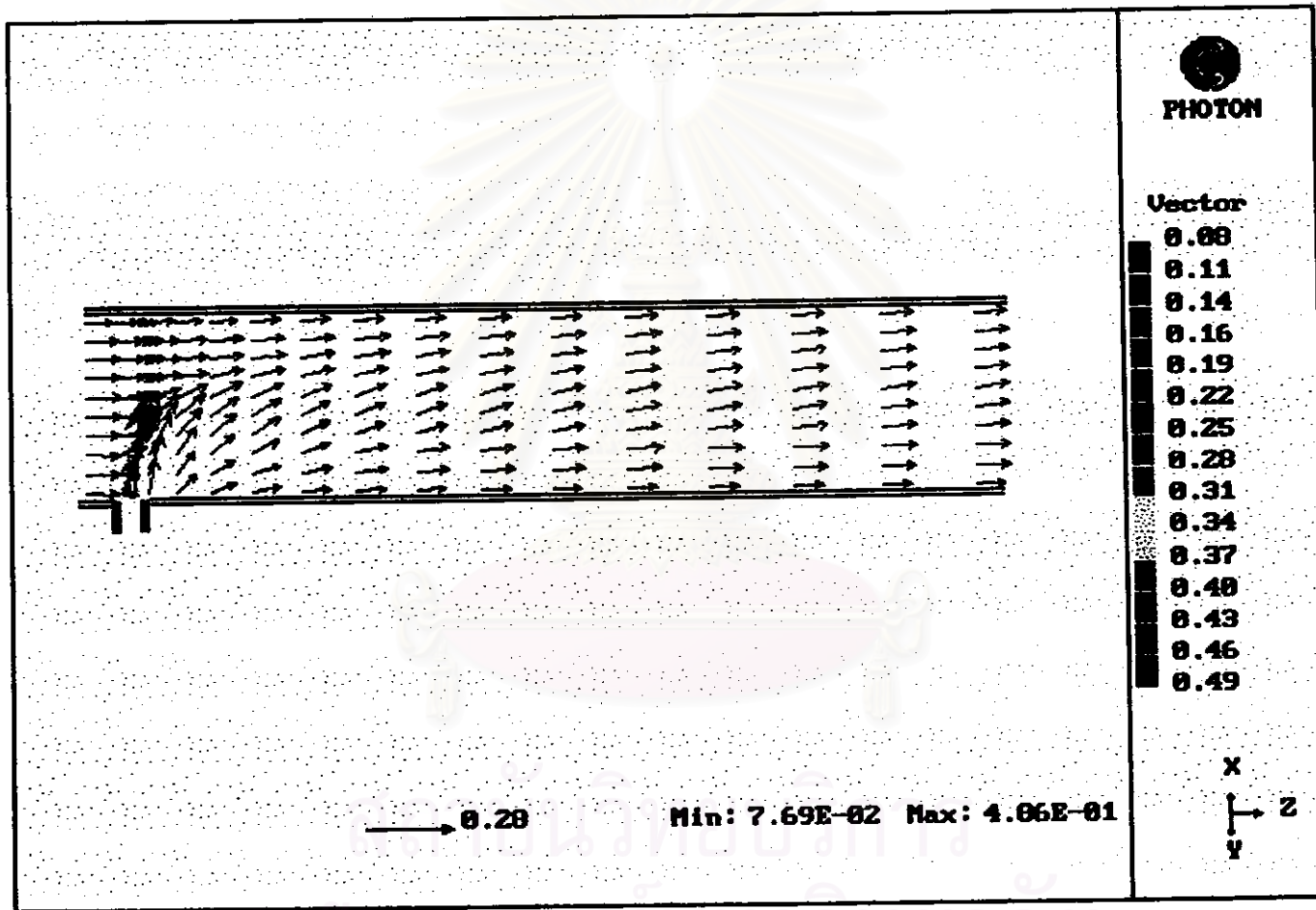
รูปที่ 6.28 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคนิวตรอนในระนาบ IZ-27 ของการทดลองที่ 3 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อ



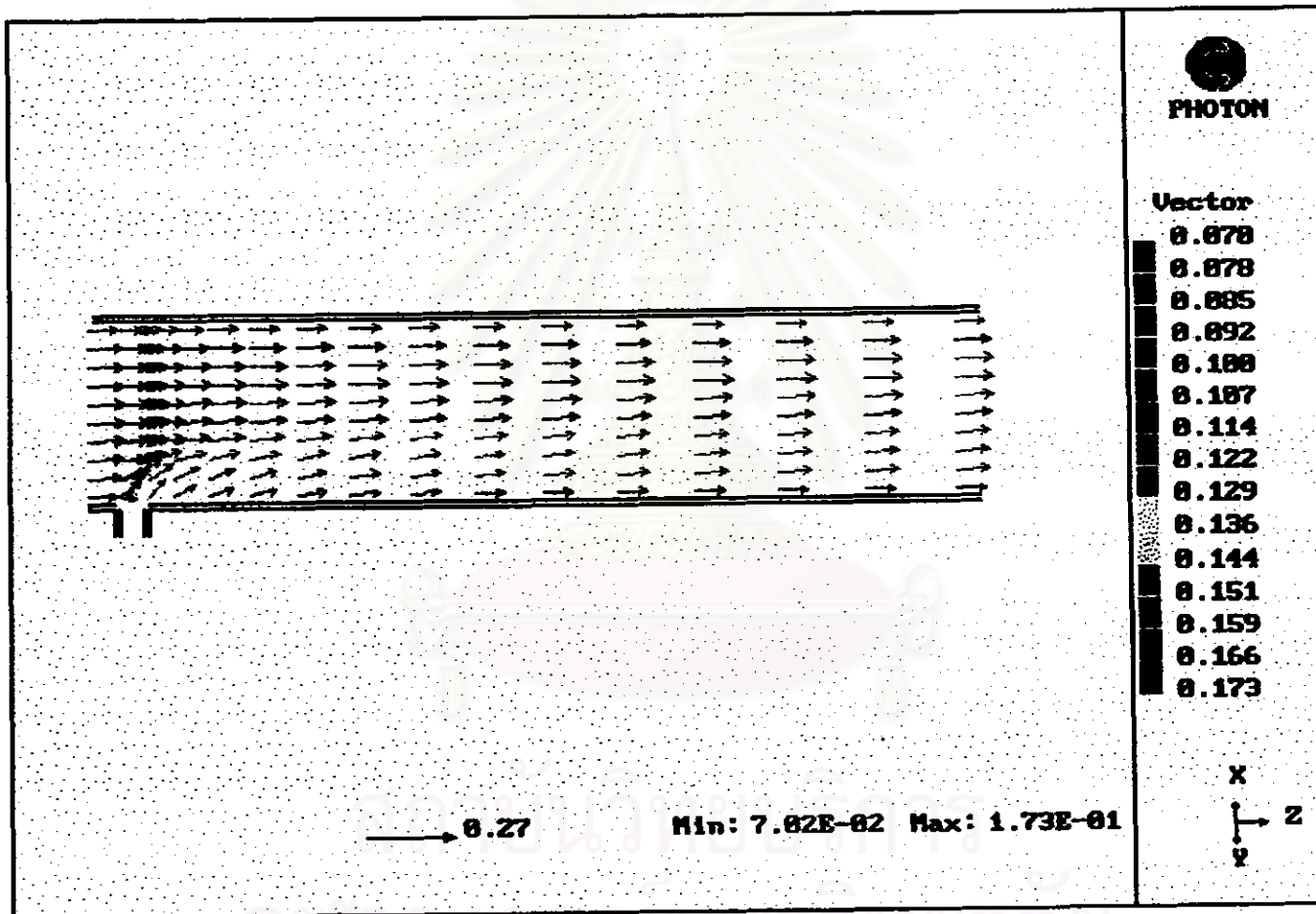
รูปที่ 6.29 ลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำภายในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก



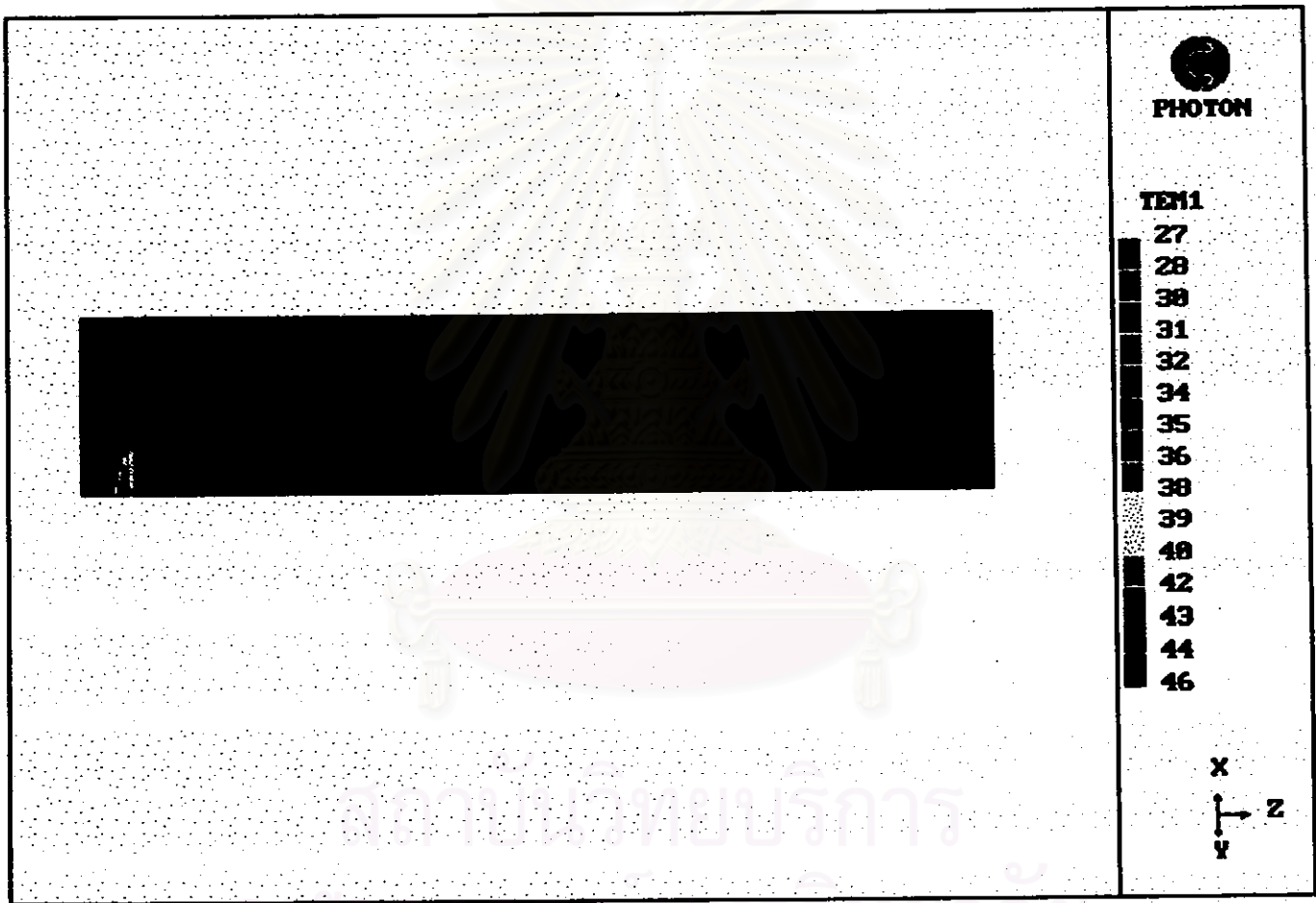
รูปที่ 6.30 ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้างของการทดลองที่ 1 ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก



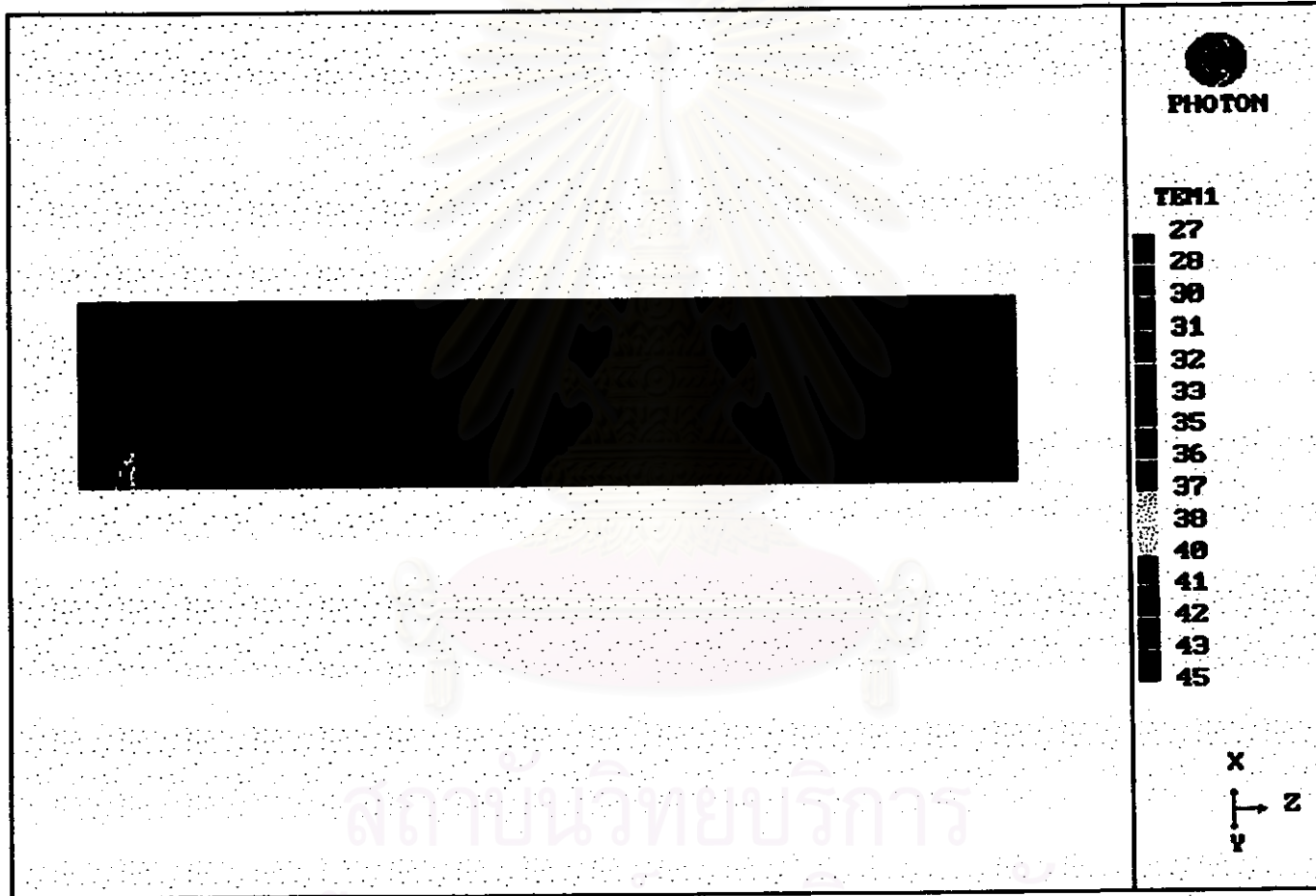
รูปที่ 6.31 ตัณณะการกระจายตัวของความเร็วในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้างของการทดลองที่ 2 ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก



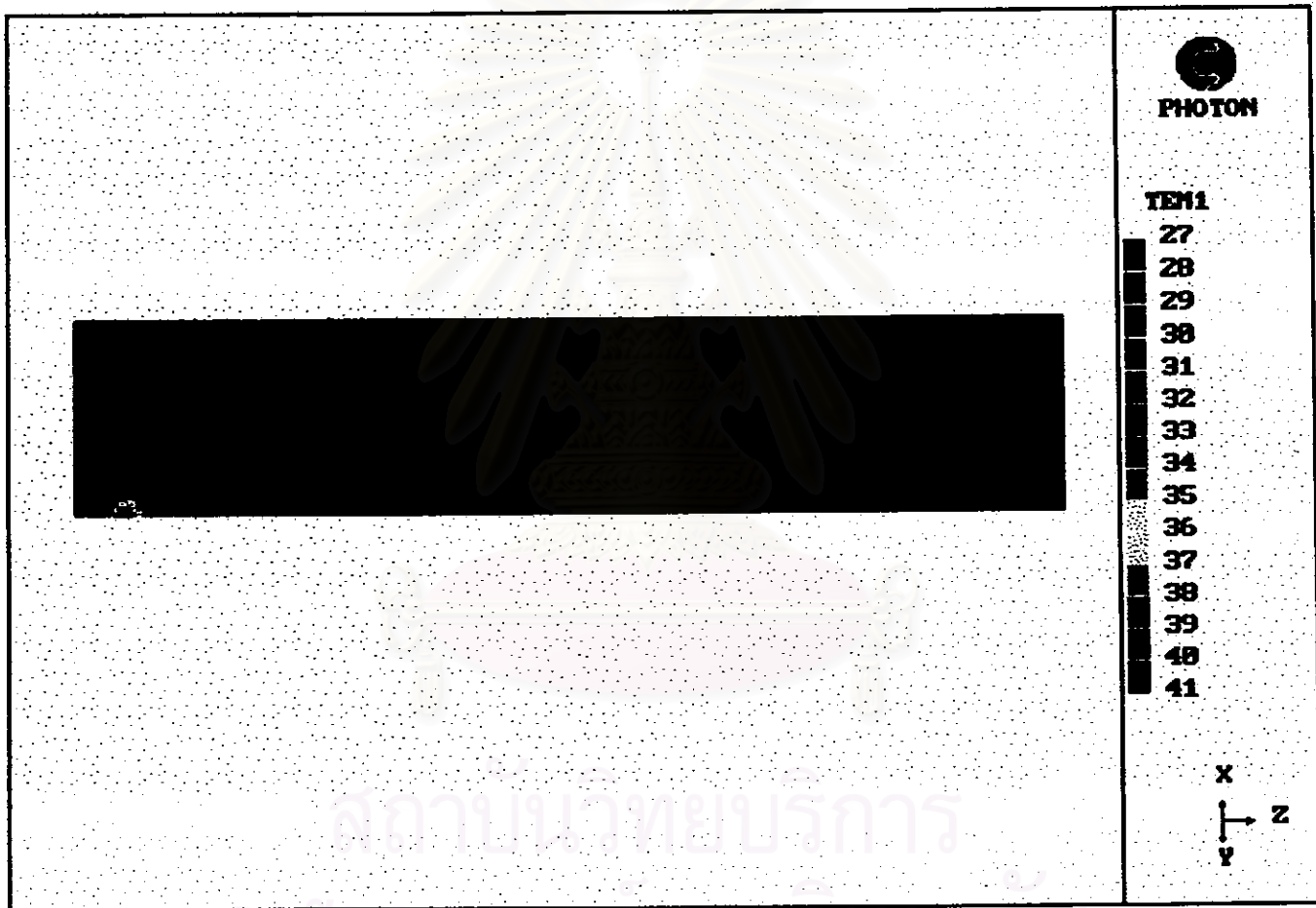
รูปที่ 6.32 ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้างของการทดลองที่ 3 ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อ



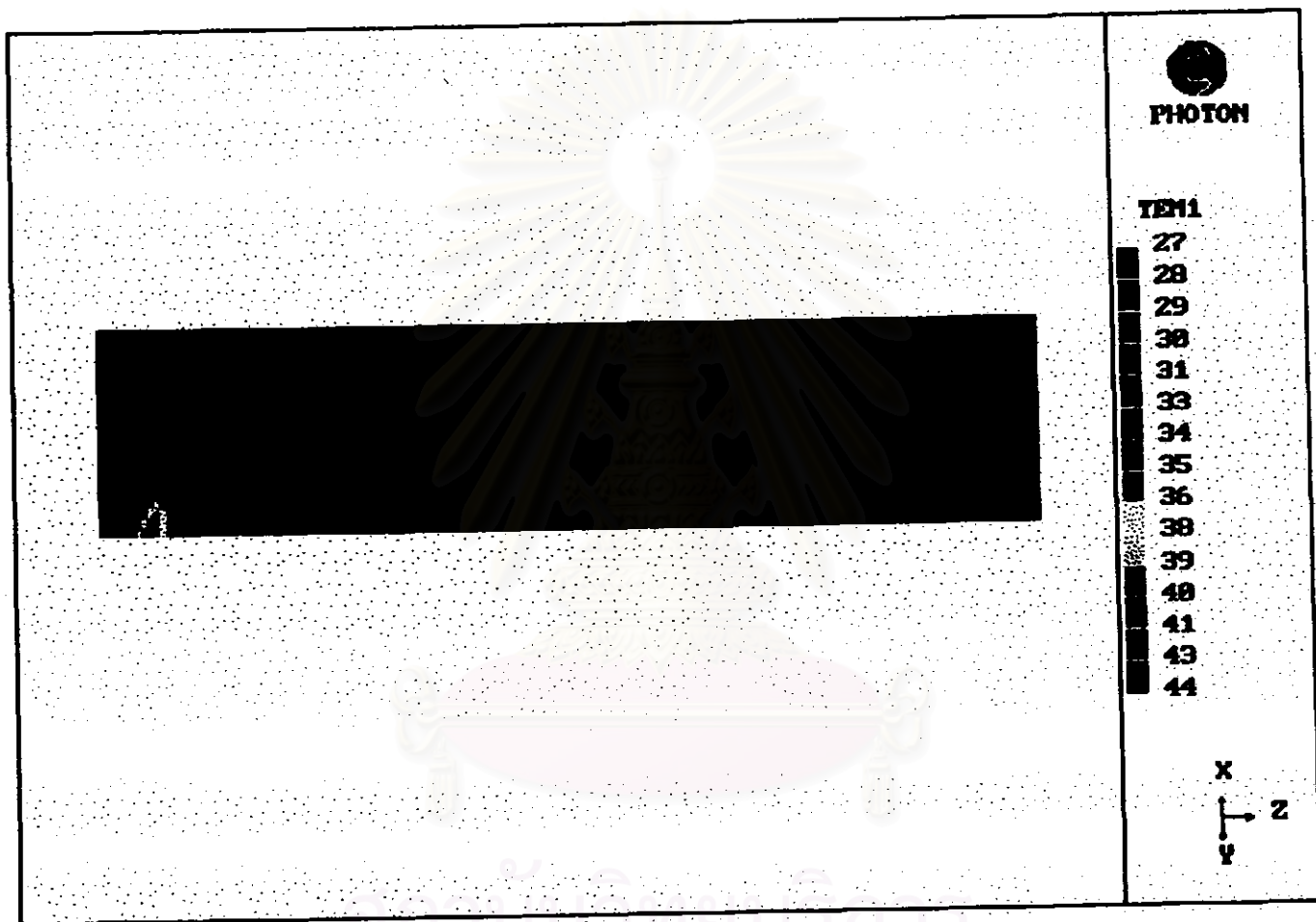
รูปที่ 6.33 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้างของการทดลองที่ 1 ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหัก



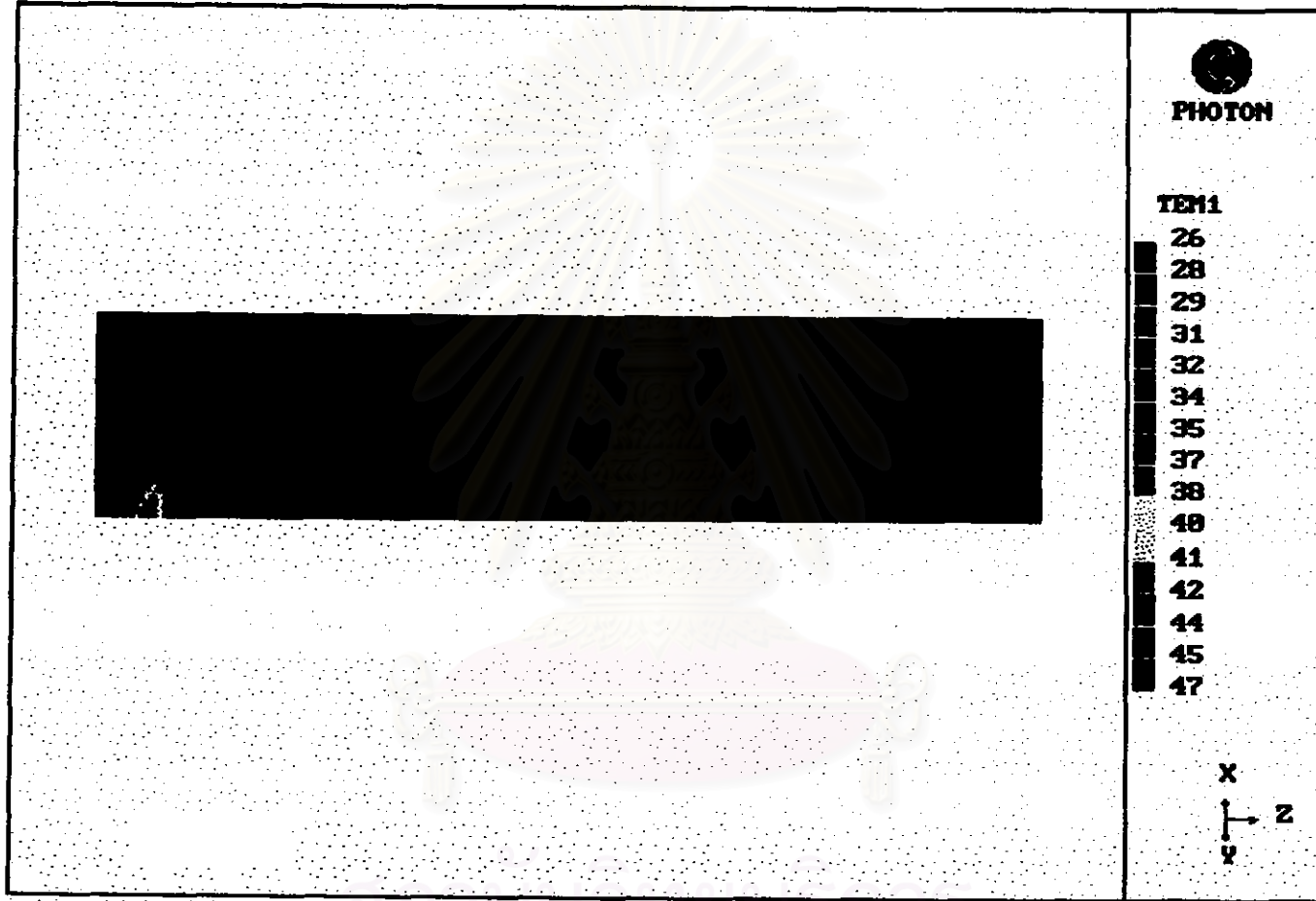
รูปที่ 6.34 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้างของการทดลองที่ 2 ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหัก



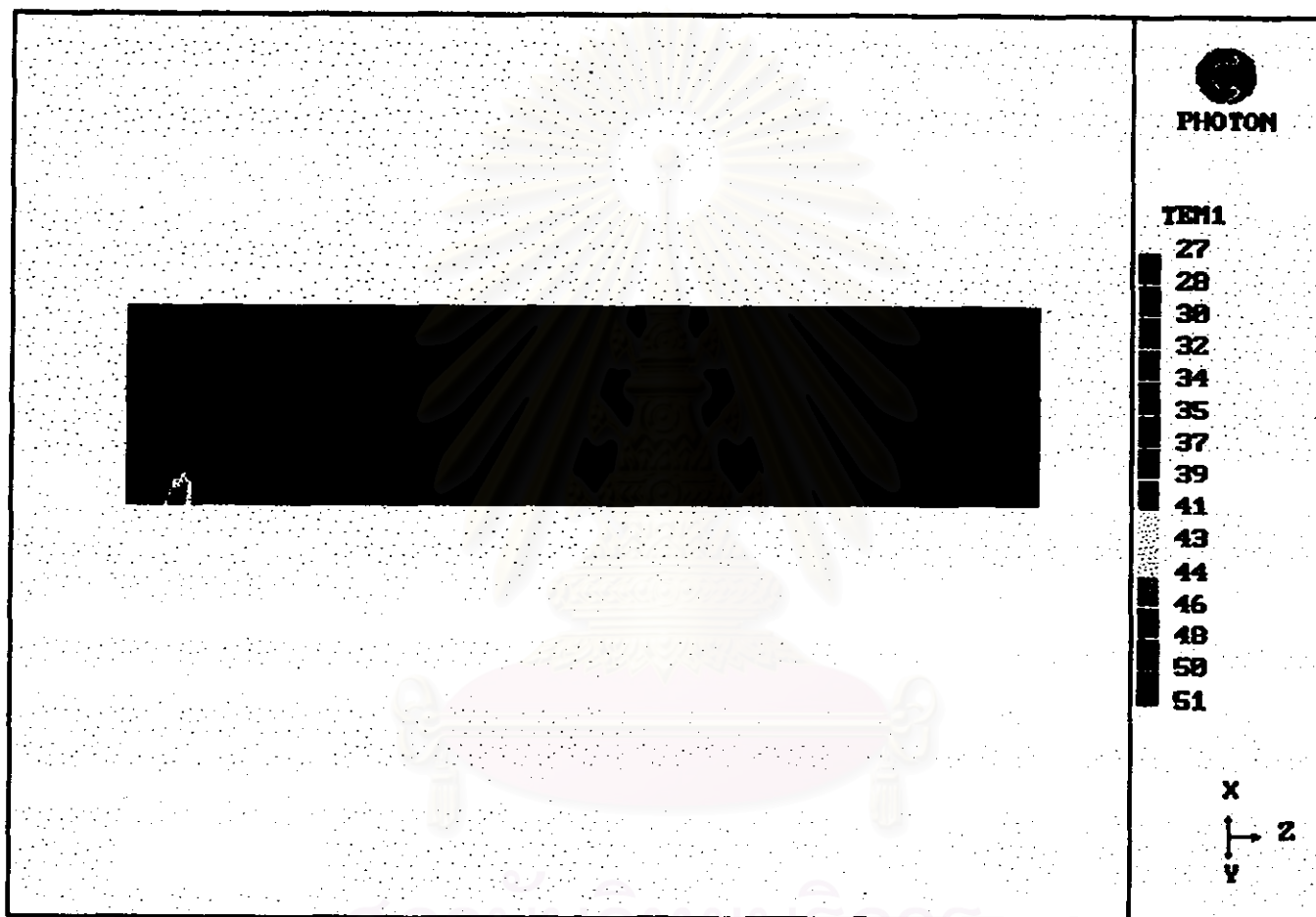
รูปที่ 6.35 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้างของการทดลองที่ 3 ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก



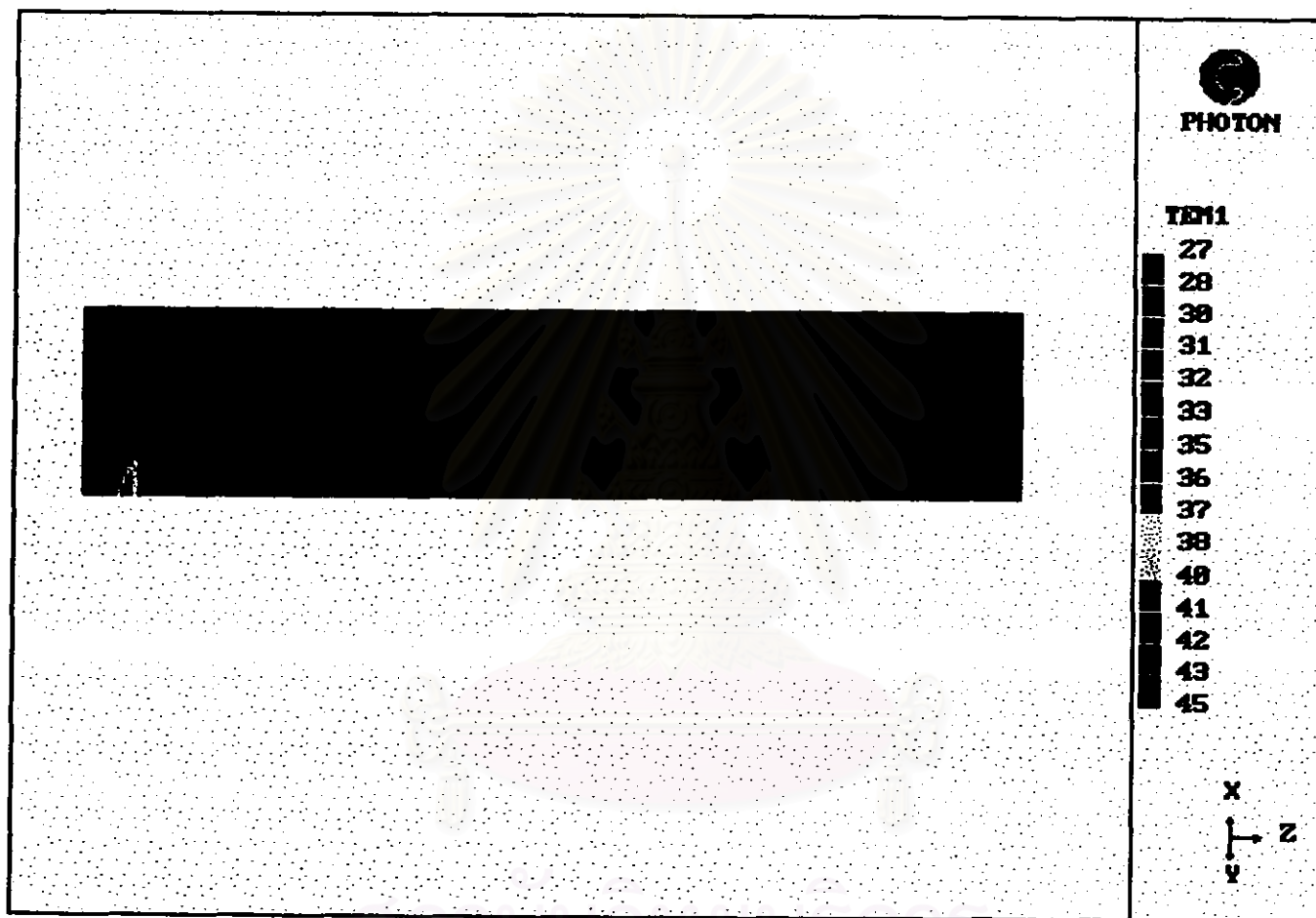
รูปที่ 6.36 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้างของการทดลองที่ 1
กรณีเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก



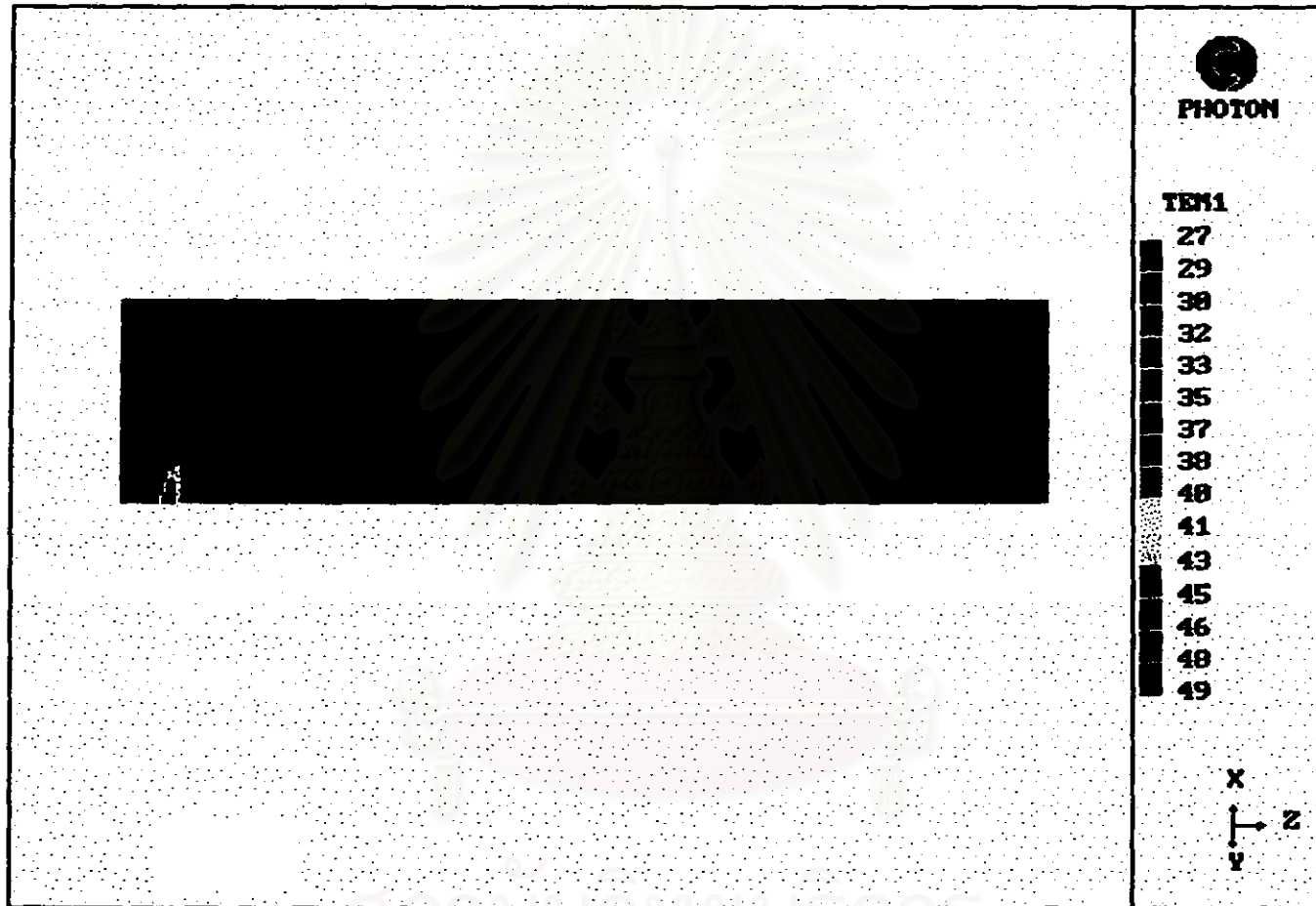
รูปที่ 6.37 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิต่อตำแหน่งของท่อข้างของการทดลองที่ 2
กรณีเปลี่ยนแปลงหตุค่าของอุณหภูมิต่อหน้าร้อนกับน้ำในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก



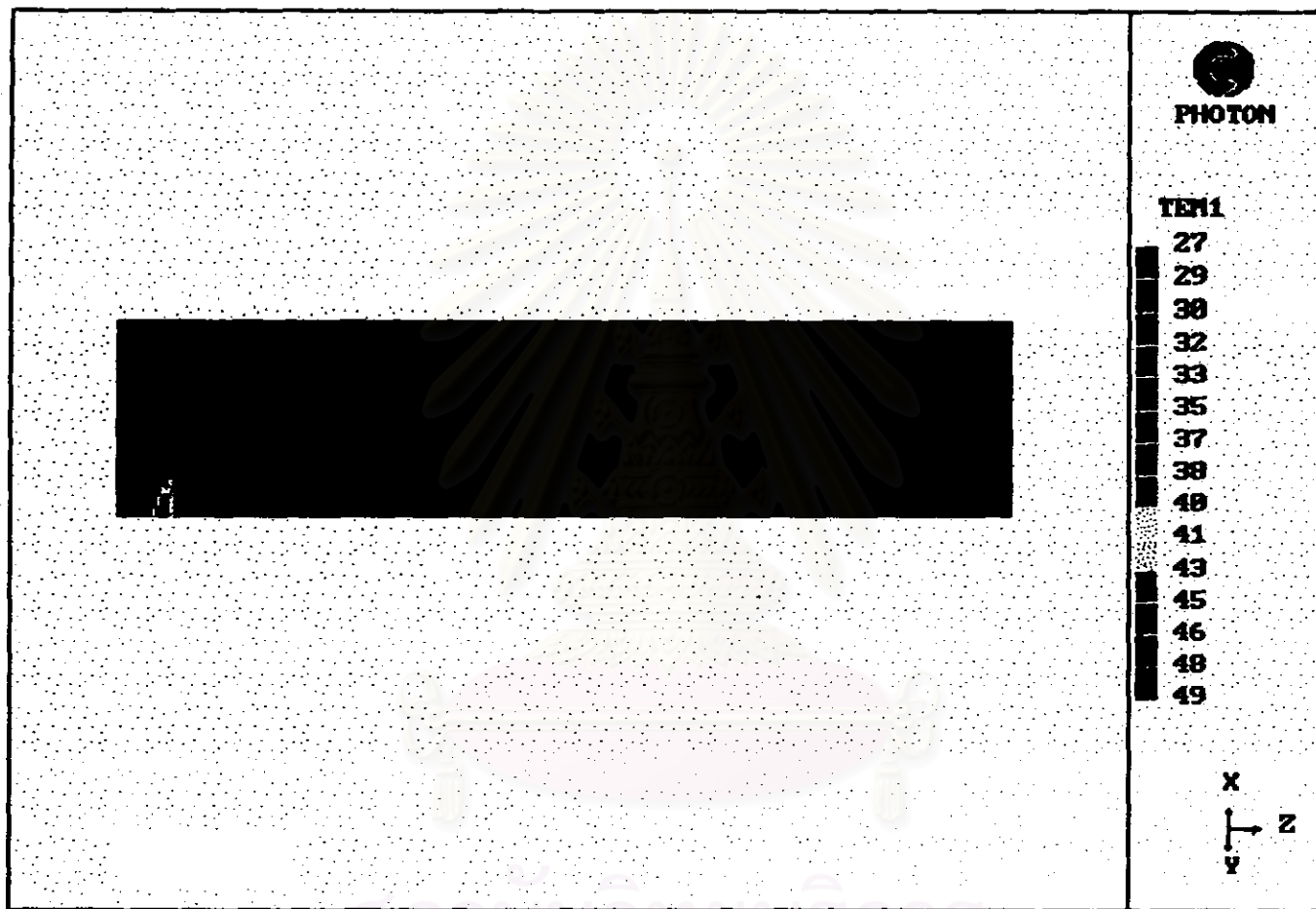
รูปที่ 6.38 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคนาโนในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้างของการทดลองที่ 3
กรณีเปลี่ยนแปลงหาค่าของอนุภาคนาโนระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก



รูปที่ 6.39 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคนาโนในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้างของการทดลองที่ 1
กรณีเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหัดก ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหัดก



รูปที่ 6.40 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิจากการทดลองที่ 2
กรณีเปลี่ยนแปรอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก



รูปที่ 6.41 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคนิวตริโนในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้างของการทดลองที่ 3
กรณีเปลี่ยนแปลงผลต่างของอนุภาคนิวตริโนระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก

ตารางที่ 6.12 ผลการจำลองในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหัก

ตำแหน่งวัด	การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			การทดลองที่ 3		
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	ล่าง (IY=7)	กลาง (IY=10)	บน (IY=13)	ล่าง (IY=7)	กลาง (IY=10)	บน (IY=13)	ล่าง (IY=7)	กลาง (IY=10)	บน (IY=13)
1 (IX=3,IZ=16)	27.3	33.9	27.2	27.2	29.5	27.2	27.2	27.3	27.2
2 (IX=5,IZ=16)	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2
3 (IX=7,IZ=16)	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2
4 (IX=9,IZ=16)	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2
5 (IX=3,IZ=21)	27.8	28.7	28.4	28.5	29.5	28.5	28.2	30.0	27.6
6 (IX=5,IZ=21)	29.3	29.8	28.2	29.1	30.1	27.8	27.2	27.3	27.2
7 (IX=7,IZ=21)	29.3	30.1	27.7	27.7	28.3	27.3	27.2	27.2	27.2
8 (IX=9,IZ=21)	28.2	28.8	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2
9 (IX=3,IZ=23)	27.4	27.8	28.0	27.9	28.3	28.2	28.6	29.3	28.0
10 (IX=5,IZ=23)	28.4	28.5	28.1	29.0	29.0	27.8	27.3	27.5	27.2
11 (IX=7,IZ=23)	29.1	28.9	27.6	28.6	28.9	27.5	27.2	27.2	27.2
12 (IX=9,IZ=23)	29.0	29.1	27.6	27.4	27.4	27.2	27.2	27.2	27.2
13 (IX=3,IZ=25)	27.3	27.8	27.7	27.5	27.8	27.9	28.5	28.7	28.1
14 (IX=5,IZ=25)	27.9	28.0	27.9	28.5	28.3	27.7	27.5	27.7	27.3
15 (IX=7,IZ=25)	28.4	28.1	28.6	28.7	28.7	27.7	27.2	27.2	27.2
16 (IX=9,IZ=25)	28.8	28.6	27.9	27.8	27.8	27.3	27.2	27.2	27.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.13 ผลการจำลองกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลักในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก

ตำแหน่งวัด	การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			การทดลองที่ 3		
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	ล่าง (IY=7)	กลาง (IY=10)	บน (IY=13)	ล่าง (IY=7)	กลาง (IY=10)	บน (IY=13)	ล่าง (IY=7)	กลาง (IY=10)	บน (IY=13)
1 (IX=3,IZ=16)	26.6	27.6	26.6	26.6	27.8	26.6	26.6	28.2	26.6
2 (IX=5,IZ=16)	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6
3 (IX=7,IZ=16)	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6
4 (IX=9,IZ=16)	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6
5 (IX=3,IZ=21)	28.2	29.2	28.1	28.5	29.6	28.4	29.0	30.4	28.9
6 (IX=5,IZ=21)	27.8	28.7	27.4	28.0	29.1	27.6	28.4	29.8	27.9
7 (IX=7,IZ=21)	26.7	26.7	26.6	26.6	26.7	26.6	26.8	26.9	26.6
8 (IX=9,IZ=21)	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6
9 (IX=3,IZ=23)	27.6	27.9	27.7	27.7	28.1	27.9	28.1	28.6	28.4
10 (IX=5,IZ=23)	28.1	28.5	27.8	28.4	28.8	28.0	28.9	29.4	28.5
11 (IX=7,IZ=23)	26.9	27.0	26.8	27.0	27.1	26.8	27.1	27.3	27.0
12 (IX=9,IZ=23)	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6
13 (IX=3,IZ=25)	27.2	27.4	27.4	27.3	27.5	27.5	27.5	27.8	27.8
14 (IX=5,IZ=25)	27.9	28.0	27.8	28.1	28.2	28.0	28.6	28.7	28.4
15 (IX=7,IZ=25)	27.2	27.4	27.0	27.4	27.5	27.1	27.6	27.8	27.4
16 (IX=9,IZ=25)	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.14 ผลการจำลองกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลักในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก

ตำแหน่งวัด	การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			การทดลองที่ 3		
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	ล่าง (IY=7)	กลาง (IY=10)	บน (IY=13)	ล่าง (IY=7)	กลาง (IY=10)	บน (IY=13)	ล่าง (IY=7)	กลาง (IY=10)	บน (IY=13)
1 (IX=3,IZ=16)	27.2	29.5	27.2	27.2	30.1	27.2	27.2	30.5	27.2
2 (IX=5,IZ=16)	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2
3 (IX=7,IZ=16)	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2
4 (IX=9,IZ=16)	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2
5 (IX=3,IZ=21)	28.5	29.5	28.5	28.9	30.0	28.8	29.0	30.5	29.0
6 (IX=5,IZ=21)	29.1	30.1	27.8	29.5	30.9	27.2	29.9	31.5	27.9
7 (IX=7,IZ=21)	27.7	28.3	27.3	27.8	28.6	27.2	27.8	28.8	27.2
8 (IX=9,IZ=21)	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2
9 (IX=3,IZ=23)	27.9	28.3	28.2	28.0	28.6	28.5	28.0	28.7	28.8
10 (IX=5,IZ=23)	29.0	29.0	27.8	29.5	29.5	27.9	29.2	29.7	28.0
11 (IX=7,IZ=23)	28.6	28.9	27.5	28.9	29.3	27.6	29.0	29.6	27.5
12 (IX=9,IZ=23)	27.4	27.4	27.2	27.4	27.5	27.2	27.3	27.4	27.2
13 (IX=3,IZ=25)	27.5	27.8	27.9	27.6	28.0	28.1	27.5	28.0	28.2
14 (IX=5,IZ=25)	28.5	28.3	27.7	28.8	28.6	27.9	29.0	28.7	27.9
15 (IX=7,IZ=25)	28.7	28.7	27.7	29.1	29.0	27.8	29.4	29.3	27.8
16 (IX=9,IZ=25)	27.8	27.8	27.3	28.0	28.0	27.3	28.0	28.0	27.2

6.3.2 ความแตกต่างของอุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับผลการทดลอง

เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองในกรณีต่างๆ ไปลบออกจากค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะได้ค่าที่แสดงถึงความแตกต่างของอุณหภูมิที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับค่าที่ได้จากการทดลองในกรณีน้ำไหลเต็มท่อ กรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อ และกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก ดังตารางที่ 6.15-6.18 ตามลำดับ โดยเครื่องหมาย + หมายถึงค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองจะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการทดลอง และเครื่องหมาย -

หมายเหตุ - หมายถึงค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการทดลอง สำหรับค่าที่อยู่ในวงเล็บคือค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลองซึ่งสามารถคำนวณได้จาก $\frac{|\text{อุณหภูมิ}_{\text{การจำลอง}} - \text{อุณหภูมิ}_{\text{การทดลอง}}|}{\text{อุณหภูมิ}_{\text{การทดลอง}}} \times 100\%$

อุณหภูมิ_{การทดลอง}

ตารางที่ 6.15 ความแตกต่างของอุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับผลการทดลองในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก

ตำแหน่งวัด	การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			การทดลองที่ 3		
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	ล่าง (IY=7)	กลาง (IY=10)	บน (IY=13)	ล่าง (IY=7)	กลาง (IY=10)	บน (IY=13)	ล่าง (IY=7)	กลาง (IY=10)	บน (IY=13)
1 (IX=3,IZ=16)	0.0 (0.00)	+1.1 (3.77)	-0.1 (0.37)	-0.2 (0.75)	+0.3 (1.10)	-0.1 (0.37)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)
2 (IX=5,IZ=16)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	-0.1 (0.37)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)
3 (IX=7,IZ=16)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)
4 (IX=9,IZ=16)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)
5 (IX=3,IZ=21)	+0.7 (2.59)	+0.8 (2.89)	+0.7 (2.57)	+0.9 (3.30)	+1.3 (4.66)	+1.2 (4.46)	+0.4 (1.49)	+0.5 (1.81)	+0.3 (1.12)
6 (IX=5,IZ=21)	+0.8 (2.88)	+0.7 (2.43)	+0.7 (2.55)	+0.7 (2.58)	+1.0 (3.61)	+0.5 (1.86)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)
7 (IX=7,IZ=21)	+0.8 (2.96)	+0.6 (2.15)	+0.2 (0.74)	+0.1 (0.38)	+0.1 (0.38)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)
8 (IX=9,IZ=21)	+0.1 (0.38)	+0.1 (0.38)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)
9 (IX=3,IZ=23)	+0.1 (0.37)	+0.1 (0.37)	+0.3 (1.11)	+0.9 (3.37)	+1.0 (3.72)	+1.0 (3.75)	+0.5 (1.85)	+0.8 (2.93)	+0.2 (0.74)
10 (IX=5,IZ=23)	+0.6 (2.19)	+0.7 (2.55)	+0.7 (2.57)	+0.7 (2.55)	+0.9 (3.26)	+0.6 (2.21)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)

ตารางที่ 6.16 ความแตกต่างของอุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลอง กับผลการทดลองในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก (ต่อ)

ตำแหน่งวัด	การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			การทดลองที่ 3		
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	ล่าง (IY=7)	กลาง (IY=10)	บน (IY=13)	ล่าง (IY=7)	กลาง (IY=10)	บน (IY=13)	ล่าง (IY=7)	กลาง (IY=10)	บน (IY=13)
3 (IX=7,IZ=16)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)
4 (IX=9,IZ=16)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)
5 (IX=3,IZ=21)	+0.5 (1.83)	+0.9 (3.24)	+0.6 (2.16)	+0.7 (2.52)	+1.6 (5.73)	+0.7 (2.52)	+0.6 (2.17)	+1.5 (5.26)	+0.3 (1.10)
6 (IX=5,IZ=21)	+1.2 (4.27)	+1.6 (5.67)	+0.3 (1.08)	+1.1 (3.93)	+1.9 (6.74)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	+0.1 (0.37)	0.0 (0.00)
7 (IX=7,IZ=21)	+1.5 (5.40)	+2.1 (7.50)	+0.4 (1.47)	+0.4 (1.47)	+0.4 (1.43)	+0.1 (0.37)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)
8 (IX=9,IZ=21)	+0.8 (2.92)	+1.1 (3.97)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)
9 (IX=3,IZ=23)	+0.2 (0.74)	+0.5 (1.83)	+0.8 (2.94)	+0.2 (0.72)	+0.5 (1.80)	+0.6 (2.17)	+1.0 (3.62)	+1.1 (3.90)	+0.5 (1.82)
10 (IX=5,IZ=23)	+1.0 (3.65)	+1.1 (4.01)	+0.8 (2.93)	+1.1 (3.94)	+1.0 (3.57)	+0.2 (0.72)	+0.1 (0.37)	+0.3 (1.10)	0.0 (0.00)
11 (IX=7,IZ=23)	+1.6 (5.82)	+0.9 (3.21)	+0.1 (0.36)	+0.9 (3.25)	+0.8 (2.85)	+0.2 (0.73)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)
12 (IX=9,IZ=23)	+1.3 (4.69)	+1.2 (4.30)	+0.3 (1.10)	+0.2 (0.74)	+0.1 (0.37)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)
13 (IX=3,IZ=25)	+0.1 (0.37)	+0.5 (1.83)	+0.5 (1.84)	+0.2 (0.73)	+0.2 (0.72)	+0.5 (1.82)	+1.1 (4.01)	+0.7 (2.50)	+0.4 (1.44)
14 (IX=5,IZ=25)	+0.7 (2.57)	+0.6 (2.19)	+0.7 (2.57)	+0.9 (3.26)	+0.5 (1.80)	0.0 (0.00)	+0.2 (0.73)	+0.2 (0.73)	+0.1 (0.37)
15 (IX=7,IZ=25)	+0.9 (3.27)	+0.3 (1.08)	+1.2 (4.38)	+1.2 (4.36)	+1.0 (3.61)	+0.3 (1.09)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)
16 (IX=9,IZ=25)	+1.2 (4.35)	+0.7 (2.51)	+0.7 (2.57)	+0.4 (1.46)	-0.1 (0.36)	+0.1 (0.37)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)

ตารางที่ 6.18 ความแตกต่างของอุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลอง กับผลการทดลองในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก กรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก (ต่อ)

ตำแหน่งวัด	การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			การทดลองที่ 3		
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	ล่าง (IY=7)	กลาง (IY=10)	บน (IY=13)	ล่าง (IY=7)	กลาง (IY=10)	บน (IY=13)	ล่าง (IY=7)	กลาง (IY=10)	บน (IY=13)
3 (IX=7,IZ=16)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)
4 (IX=9,IZ=16)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)
5 (IX=3,IZ=21)	+0.7 (2.52)	+1.6 (5.73)	+0.7 (2.52)	+0.7 (2.48)	+1.8 (6.38)	+0.8 (2.86)	+0.8 (2.84)	+1.6 (5.54)	+0.7 (2.47)
6 (IX=5,IZ=21)	+1.1 (3.93)	+1.9 (6.74)	0.0 (0.00)	+1.4 (4.98)	+2.2 (7.57)	0.0 (0.00)	+1.4 (4.91)	+2.0 (6.78)	-0.6 (2.11)
7 (IX=7,IZ=21)	+0.4 (1.47)	+0.4 (1.43)	+0.1 (0.37)	+0.5 (1.83)	+0.6 (2.14)	0.0 (0.00)	+0.4 (1.46)	+0.5 (1.77)	0.0 (0.00)
8 (IX=9,IZ=21)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)
9 (IX=3,IZ=23)	+0.2 (0.72)	+0.5 (1.80)	+0.6 (2.17)	0.0 (0.00)	+0.6 (2.14)	+0.7 (2.52)	-0.1 (0.36)	+0.2 (0.70)	+0.6 (2.13)
10 (IX=5,IZ=23)	+1.1 (3.94)	+1.0 (3.57)	+0.2 (0.72)	+1.7 (6.12)	+1.0 (3.51)	-0.3 (1.06)	+0.8 (2.82)	+1.0 (3.48)	-0.2 (0.71)
11 (IX=7,IZ=23)	+0.9 (3.25)	+0.8 (2.85)	+0.2 (0.73)	+1.0 (3.58)	+1.1 (3.90)	+0.3 (1.10)	+0.7 (2.47)	+1.4 (4.93)	+0.2 (0.73)
12 (IX=9,IZ=23)	+0.2 (0.74)	+0.1 (0.37)	0.0 (0.00)	+0.2 (0.74)	+0.3 (1.10)	0.0 (0.00)	+0.1 (0.37)	+0.2 (0.74)	0.0 (0.00)
13 (IX=3,IZ=25)	+0.2 (0.73)	+0.2 (0.72)	+0.5 (1.82)	0.0 (0.00)	+0.4 (1.45)	+0.6 (2.18)	+0.3 (1.10)	+0.5 (1.82)	+0.6 (2.17)

ตารางที่ 6.18 ความแตกต่างของอุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลอง กับผลการทดลองในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิต่างกันน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก กรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก (ต่อ)

ตำแหน่งวัด	การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			การทดลองที่ 3		
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	ล่าง (IY=7)	กลาง (IY=10)	บน (IY=13)	ล่าง (IY=7)	กลาง (IY=10)	บน (IY=13)	ล่าง (IY=7)	กลาง (IY=10)	บน (IY=13)
14 (IX=5,IZ=25)	+0.9 (3.26)	+0.5 (1.80)	0.0 (0.00)	+1.1 (3.97)	+0.5 (1.78)	+0.1 (0.36)	+1.0 (3.57)	+0.7 (2.50)	+0.2 (0.72)
15 (IX=7,IZ=25)	+1.2 (4.36)	+1.0 (3.61)	+0.3 (1.09)	+1.5 (5.43)	+1.0 (3.57)	+0.4 (1.46)	+1.4 (5.00)	+1.0 (3.53)	+0.4 (1.46)
16 (IX=9,IZ=25)	+0.4 (1.46)	-0.1 (0.36)	+0.1 (0.37)	+0.4 (1.45)	+0.2 (0.72)	+0.1 (0.37)	+0.5 (1.82)	-0.1 (0.36)	0.0 (0.00)

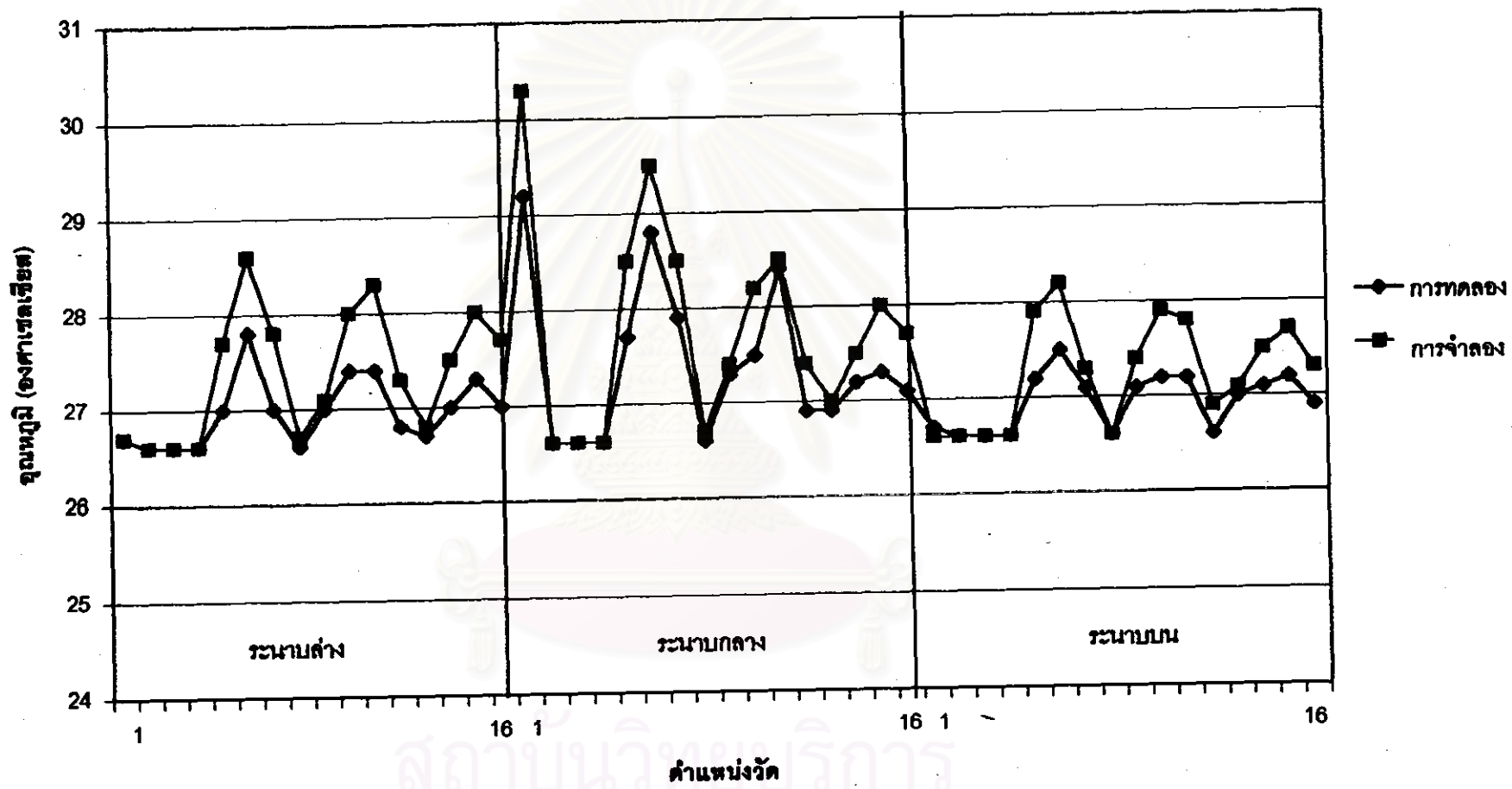
จากตารางแสดงความแตกต่างระหว่างค่าอุณหภูมิที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับค่าที่ได้จากการทดลอง ดังตารางที่ 6.15-6.18 พบว่าในทุกๆ กรณี ค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะมีค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลอง ดังจะเห็นได้จากค่าที่ปรากฏในตาราง โดยส่วนมากจะแสดงด้วยเครื่องหมาย + ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้จะมีค่าที่สูงเกินกว่าความเป็นจริง (overestimate) ทั้งนี้ส่วนหนึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการกำหนดสถานะขอบเขตในบริเวณผนังท่อและบริเวณผิวอิสระ ไม่ให้มีการถ่ายเทความร้อนออกนอกระบบ ในขณะที่ในการทดลองอาจจะมีการถ่ายเทความร้อนออกนอกระบบในบริเวณดังกล่าว ทำให้ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากการทดลองจึงมีค่าต่ำกว่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

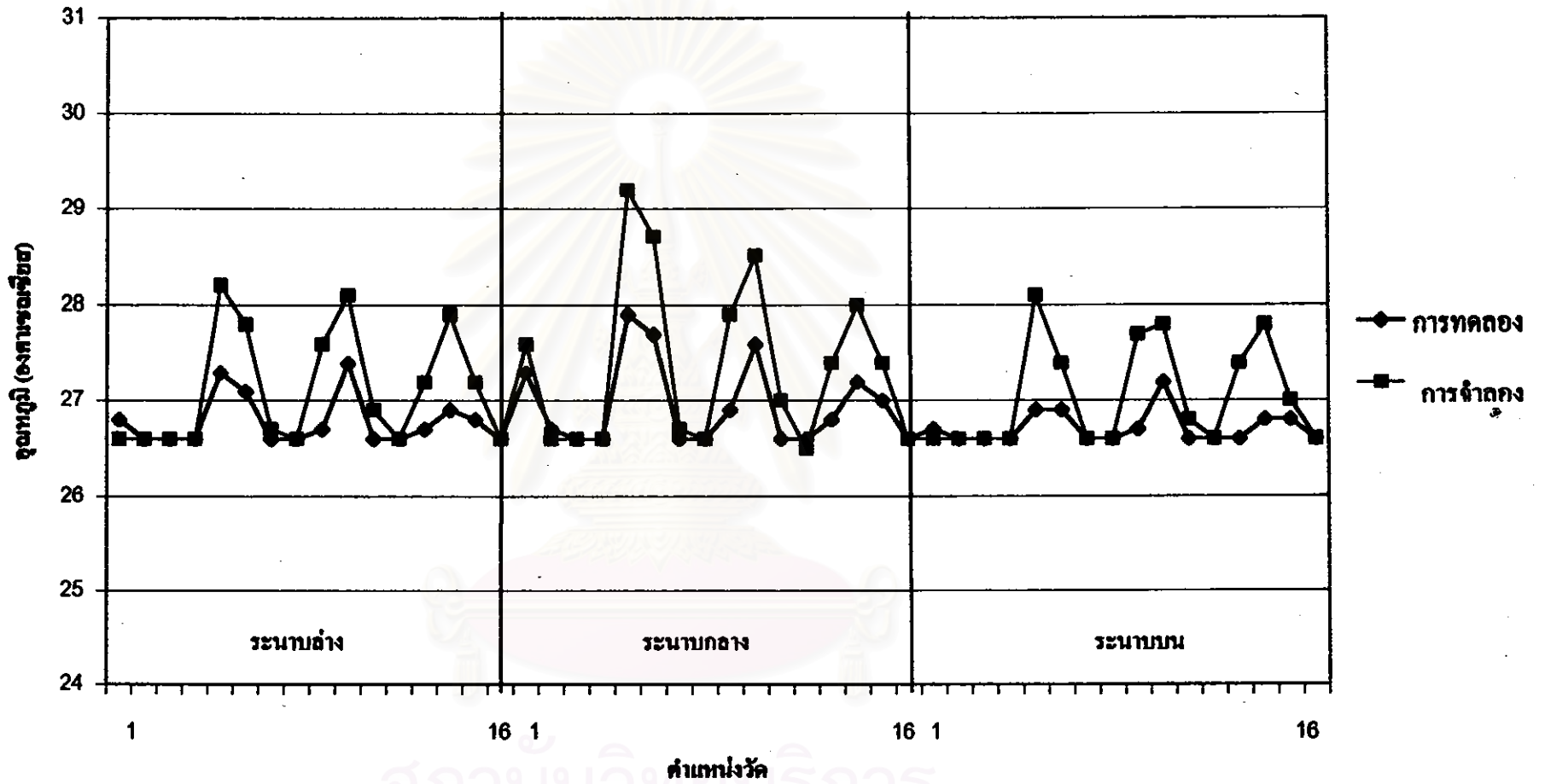
6.3.3 เปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลอง

ในการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับค่าที่ได้จากการทดลอง จะแสดงในลักษณะของกราฟซึ่งเขียนแสดงค่าของอุณหภูมิในจุดต่างๆ ในบริเวณที่ทำการศึกษารวม 48 จุดเรียงต่อเนื่องกันไปโดยแบ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการวัดผล และแบ่งบริเวณของกราฟออกเป็น 3 ช่วงคือ “ระนาบต่ำ” “ระนาบกลาง” และ “ระนาบบน” ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละช่วงจะประกอบด้วยตำแหน่งวัดทั้งหมด 16 จุด ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อ้างอิงเช่นเดียวกันกับในบทที่ 5

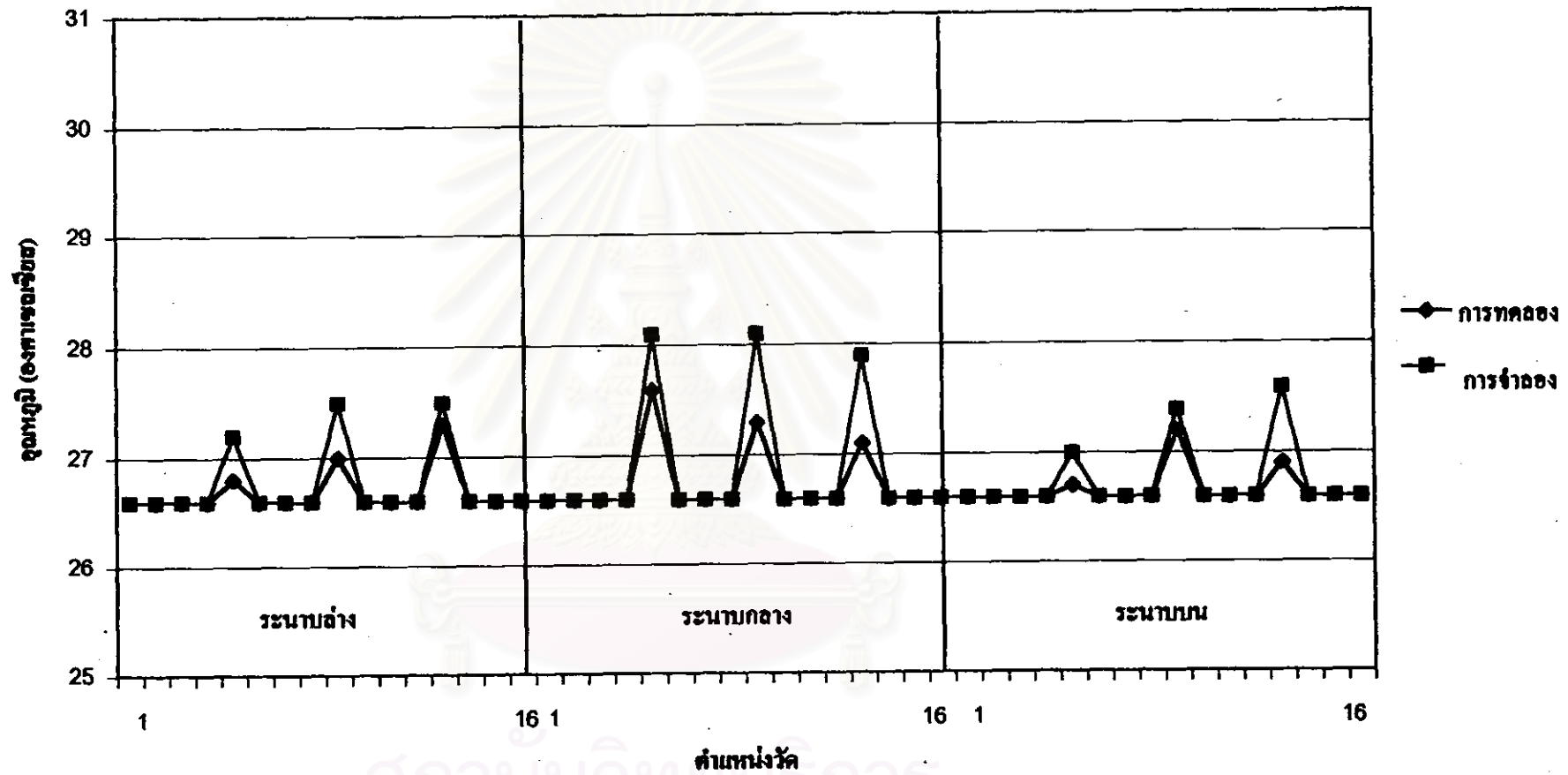
กราฟที่แสดงจะแบ่งได้เป็น 4 กรณี คือกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลักจะแสดงในรูปที่ 6.42-6.44 ซึ่งเป็นกราฟเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิของการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ กรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อจะแสดงในรูปที่ 6.45-6.47 ซึ่งเป็นกราฟเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิของการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ กรณีเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลักในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลักแสดงในรูปที่ 6.48-6.50 ซึ่งเป็นกราฟเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิของการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และกรณีเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลักในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลักแสดงในรูปที่ 6.51-6.53 ซึ่งเป็นกราฟเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิของการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



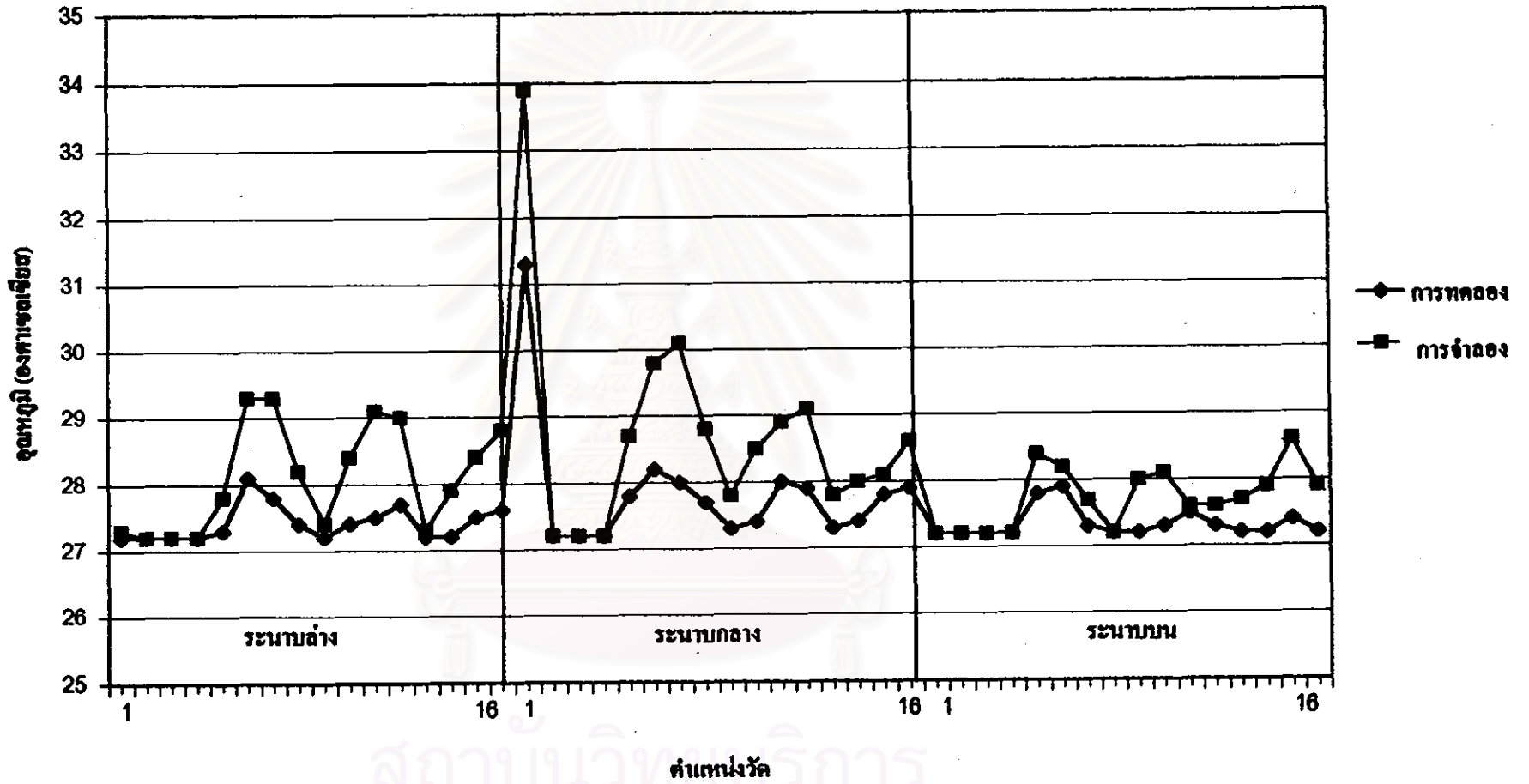
รูปที่ 6.42 เปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองที่ 1 กรณีน้ำไหลเต็มท่อ



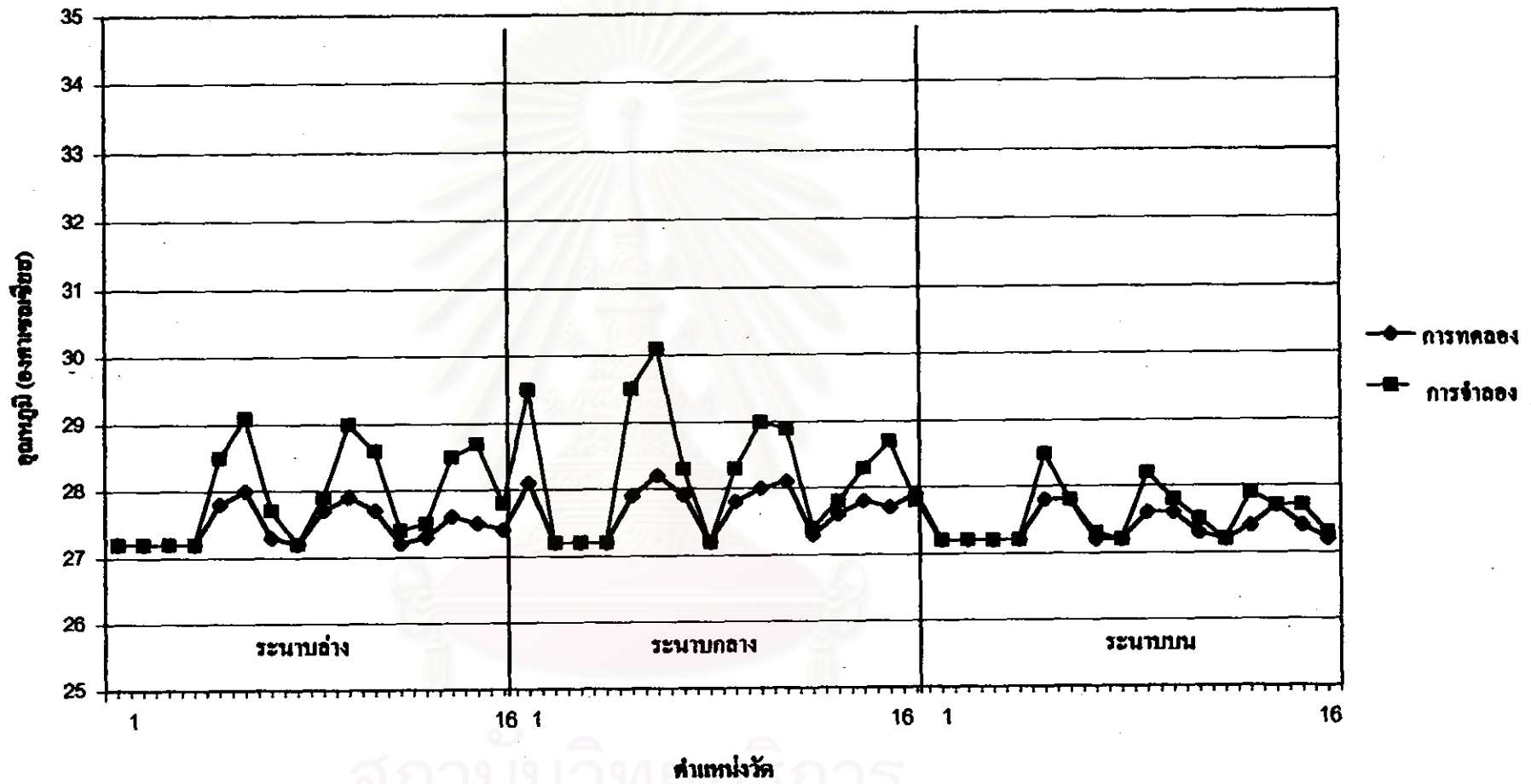
รูปที่ 6.43 เปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองที่ 2 กรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก



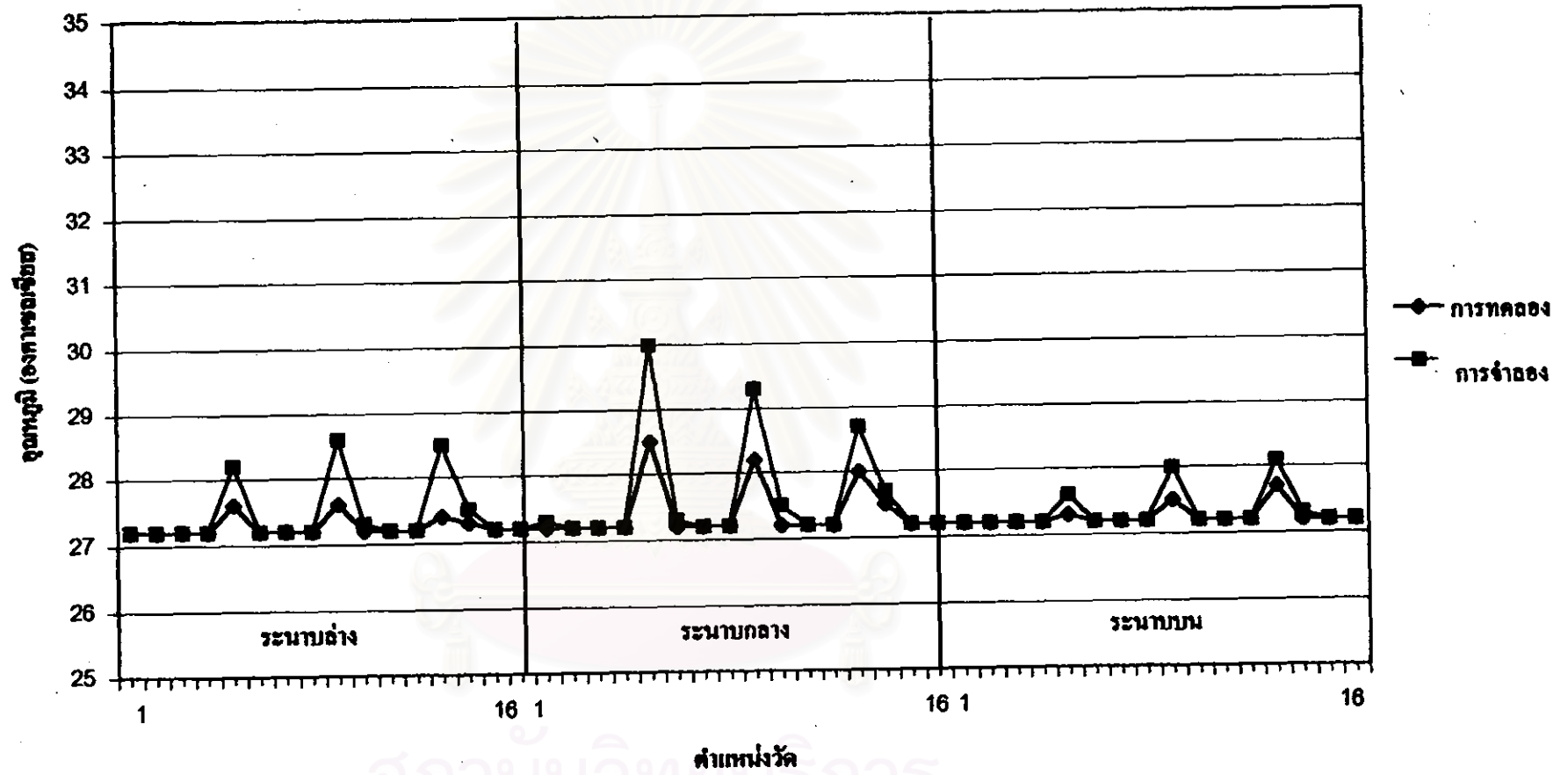
รูปที่ 6.44 เปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองที่ 3 กรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก



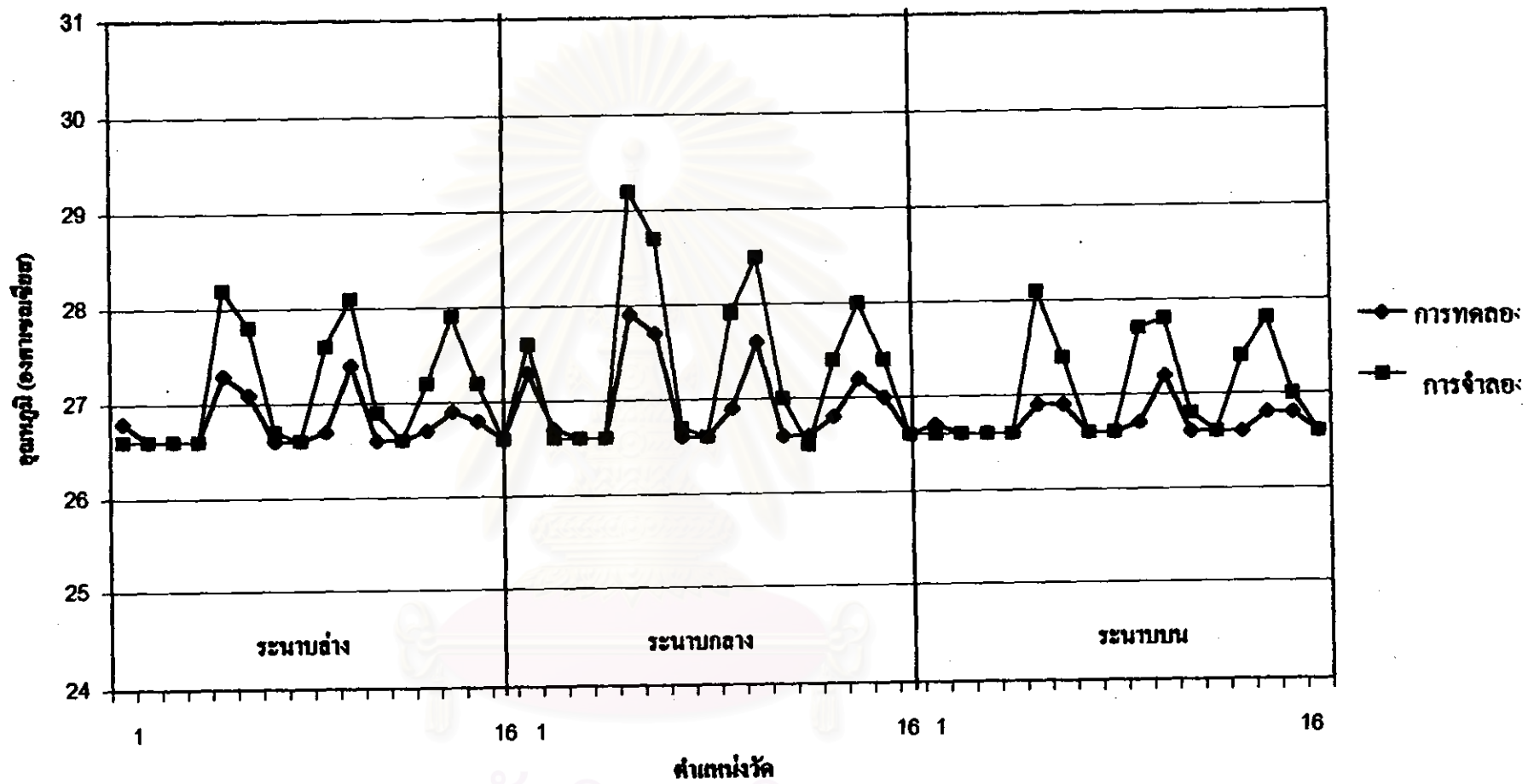
รูปที่ 6.45 เปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองที่ 1 กรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก



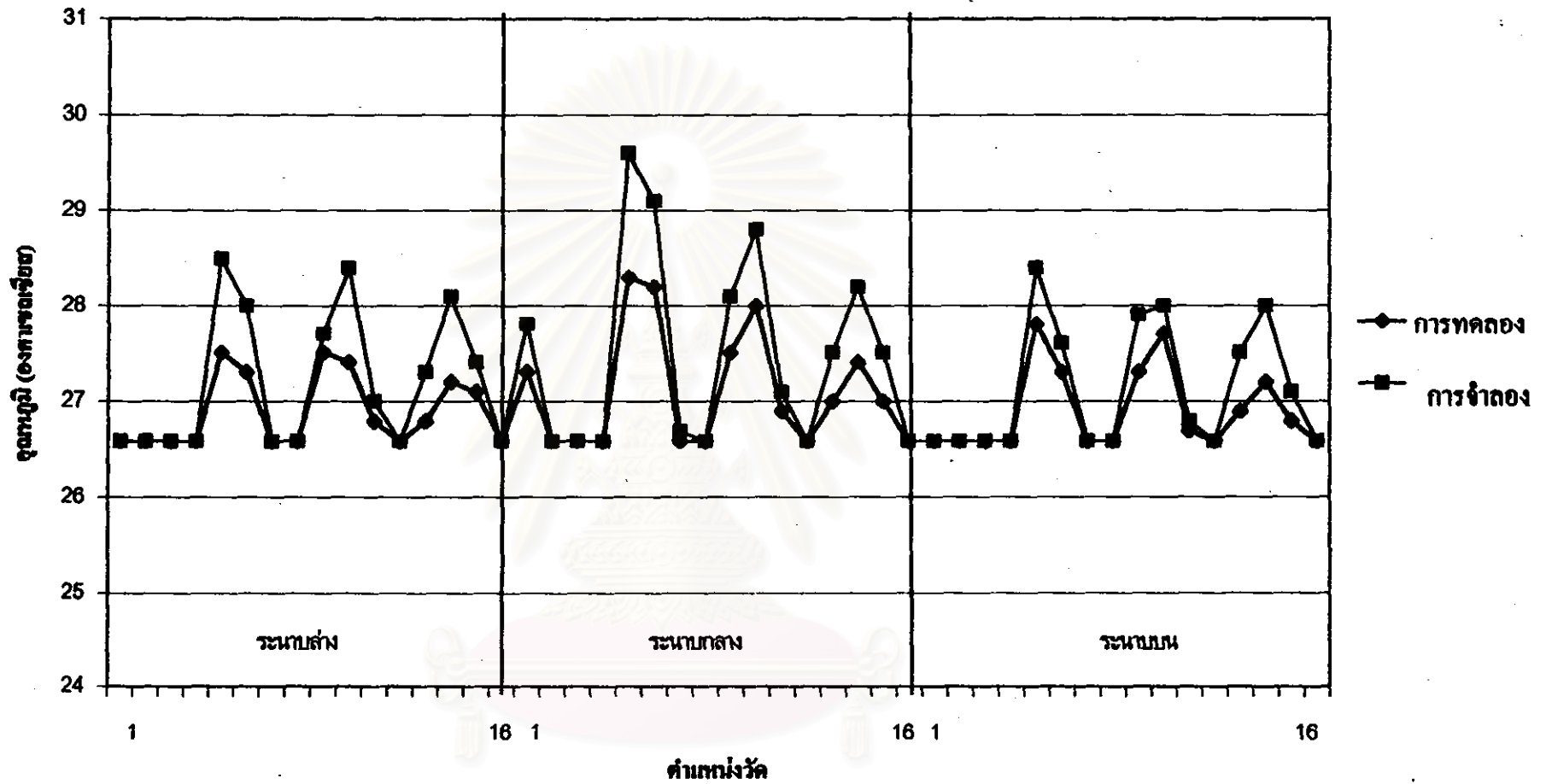
รูปที่ 6.46 เปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองที่ 2 กรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก



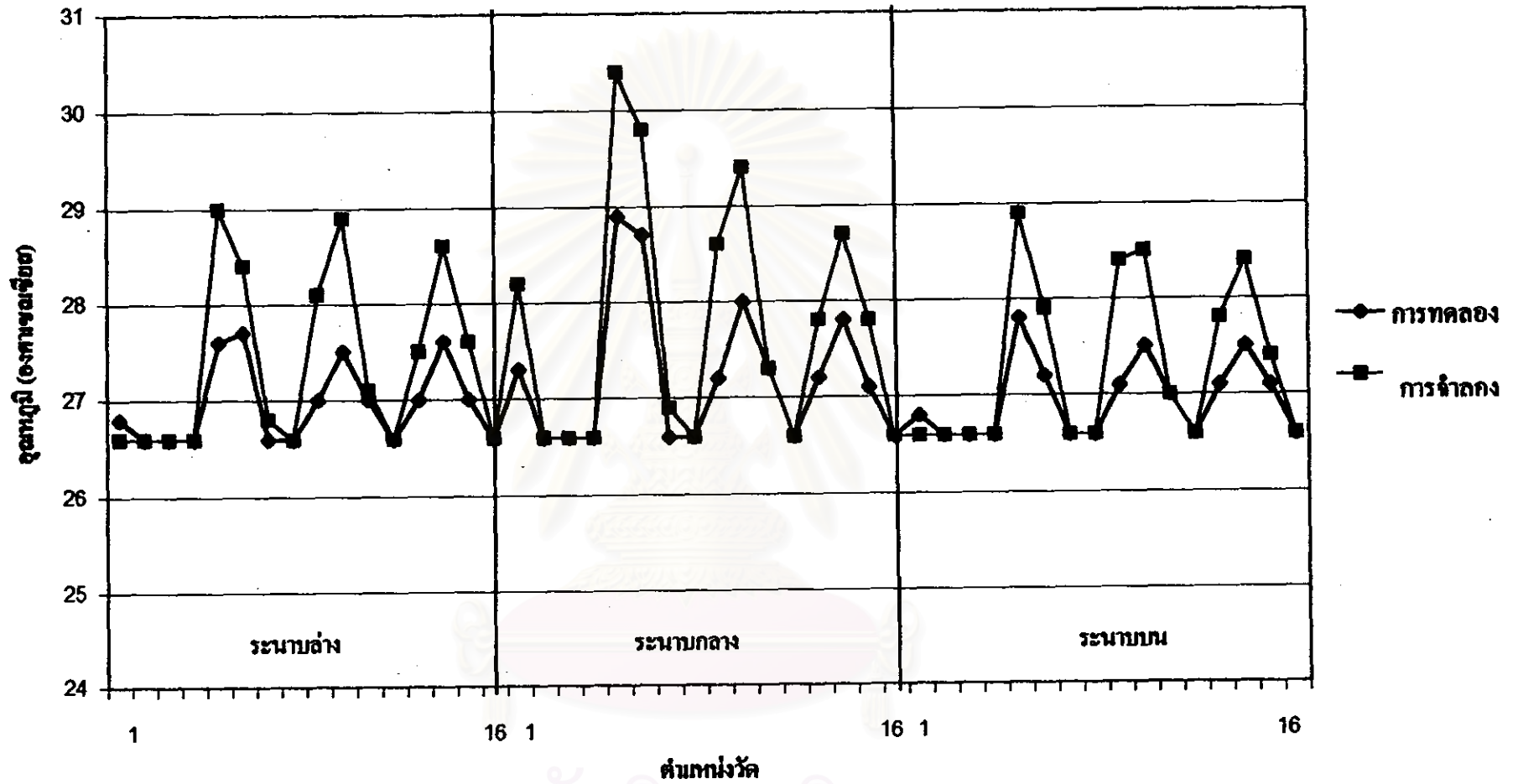
รูปที่ 6.47 เปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองที่ 3 กรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก



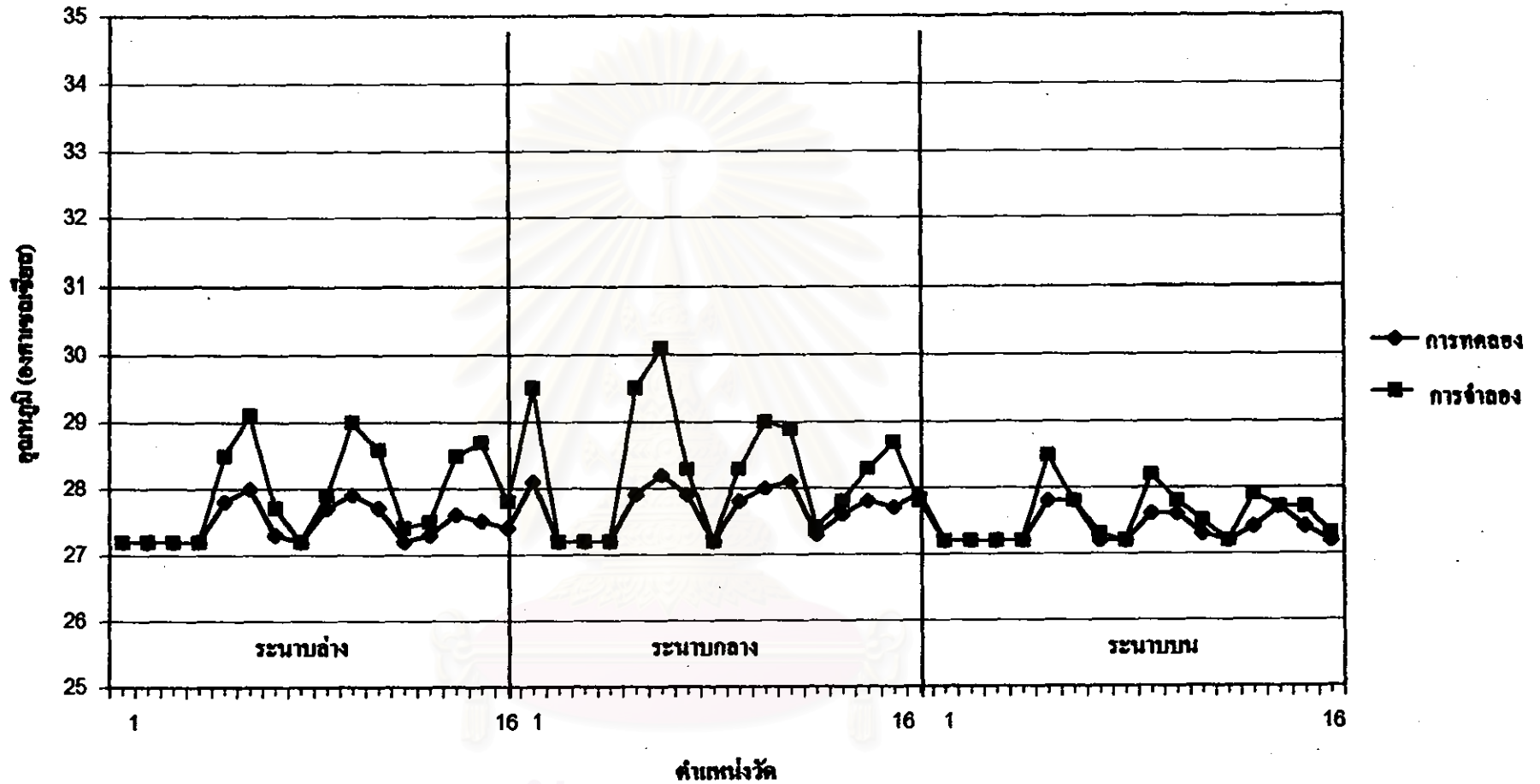
รูปที่ 6.48 เปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองที่ 1 กรณีเปลี่ยนแปลงหมักต่างของ อุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก



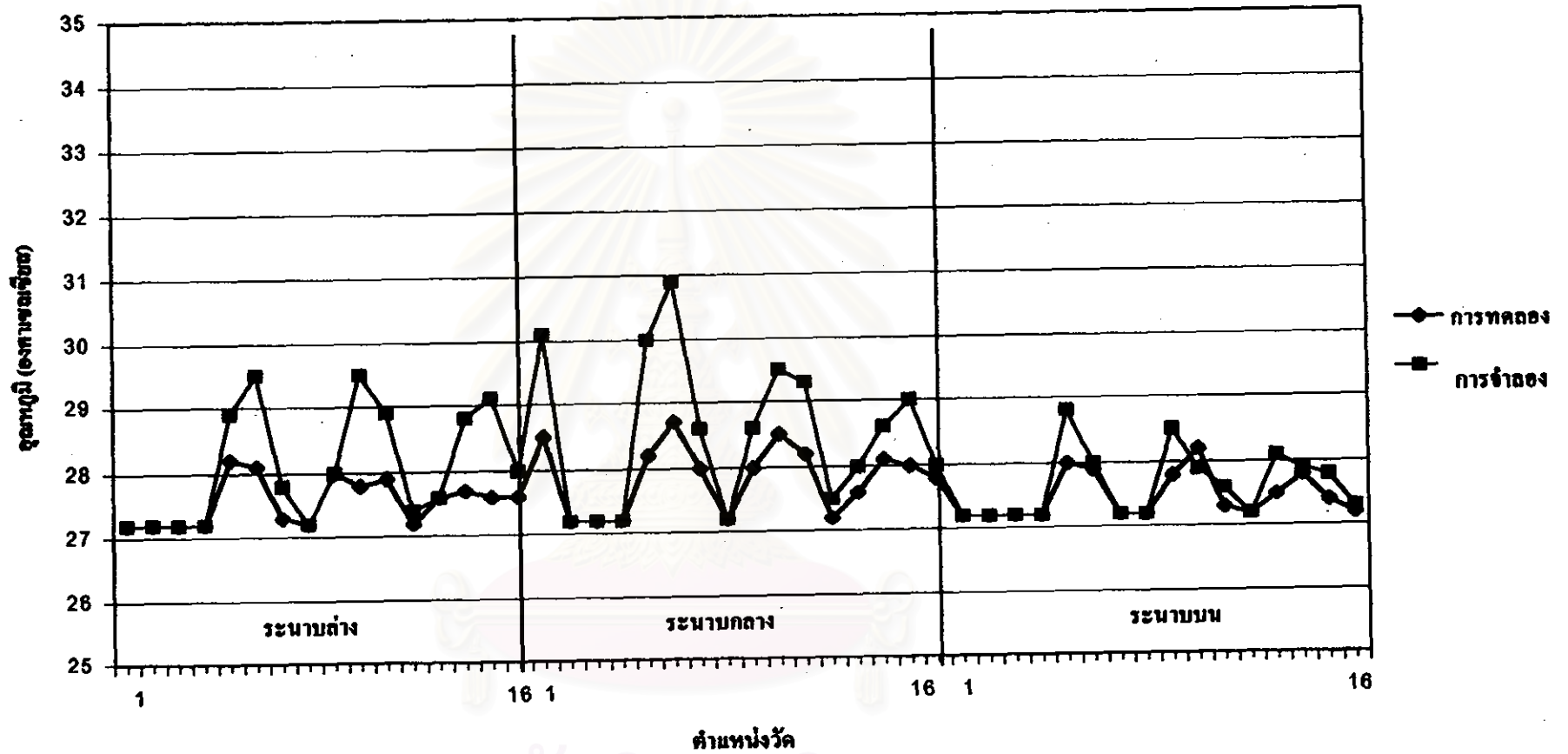
รูปที่ 6.49 เปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองที่ 2 กรณีเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก



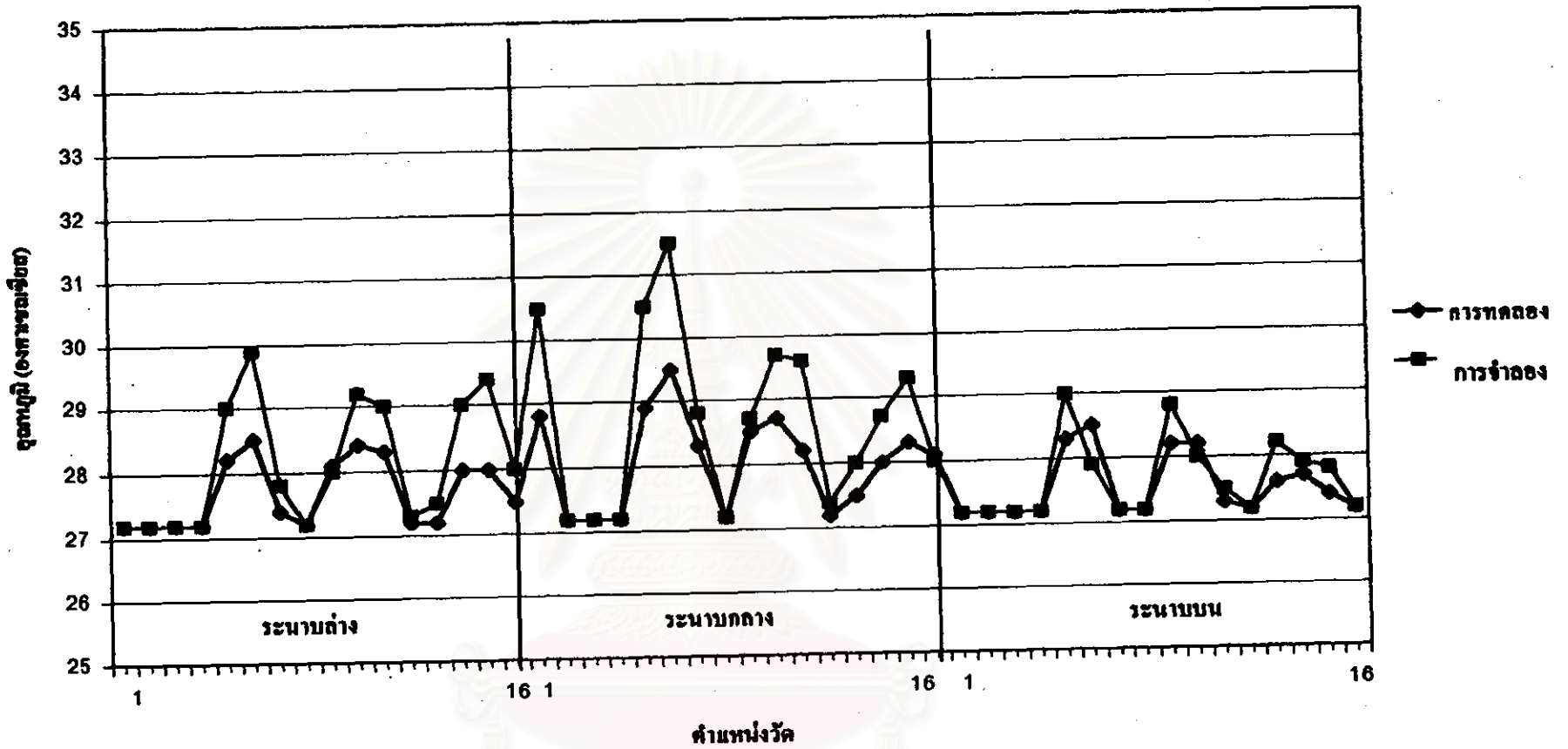
รูปที่ 6.50 เปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างค่าที่คำนวณจากแบบจำลอง ด้กับค่าที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองที่ 3 กรณีเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก



รูปที่ 6.51 เปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองที่ 1 กรณีเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก



รูปที่ 6.52 เปรียบการกระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองที่ 2 กรณีเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก



รูปที่ 6.53 เปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองที่ 3 กรณีเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก

จากกราฟแสดงการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างผลที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลที่ได้จากการทดลองในกรณีต่างๆ ดังรูปที่ 6.42-6.53 พบว่าโดยส่วนใหญ่แนวโน้มของการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบกลางจะมีลักษณะใกล้เคียงกันกับแนวโน้มการกระจายตัวของอุณหภูมิของการทดลองมากที่สุด ทั้งนี้ส่วนหนึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบกลางจะได้รับอิทธิพลจากการพา (convection) เป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ในระนาบบนและระนาบล่างจะมีอิทธิพลจากการแพร่ (diffusion) อันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำร้อนกับน้ำที่ไหลอยู่ภายในท่อเหล็กมาเกี่ยวข้องกับตัวเป็นอย่างมาก แต่จากสมมติฐานที่ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่กำหนดให้คุณสมบัติทางกายภาพของของไหลในระบบที่เกี่ยวข้องกับการแพร่อันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ เช่น ความหนาแน่น ความหนืด และค่าความสามารถในการนำความร้อน มีค่าคงที่ จึงทำให้ผลลัพธ์ที่คำนวณได้จากเทอมของการแพร่ในสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้มีค่าผิดไปจากความเป็นจริง

ในกรณีของน้ำไหลไม่เต็มท่อเหล็ก เมื่อทำการพิจารณาถึงลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบบนของทุกการทดลองดังรูปที่ 6.45-6.47 พบว่าในการทดลองที่ 3 (รูปที่ 6.47) จะมีแนวโน้มการกระจายตัวของอุณหภูมิใกล้เคียงกับการทดลองมากที่สุด ผิดกับในการทดลองที่ 1 (รูปที่ 6.45) และ 2 (รูปที่ 6.46) ที่มีแนวโน้มการกระจายตัวของอุณหภูมิไม่ใกล้เคียงกับการทดลองเท่าที่ควร โดยจะสังเกตเห็นได้ชัดเจนในการทดลองที่ 1 (รูปที่ 6.45) ทั้งนี้เป็นเพราะความเร็วที่ใช้ในการปล่อยน้ำร้อนของการทดลองที่ 1 มีค่าที่สูงจึงทำให้เมื่อปล่อยน้ำร้อนออกมาแล้วการเคลื่อนที่ของน้ำร้อนจะไประบบกวนการเคลื่อนที่ในบริเวณผิวน้ำ ทำให้น้ำในบริเวณดังกล่าวเคลื่อนที่ขึ้นลงอย่างไม่สม่ำเสมอซึ่งจากสมมติฐานที่กำหนดให้บริเวณของผิวน้ำมีลักษณะเป็นลิจิตลิต หรือมีลักษณะของการเคลื่อนที่บริเวณผิวน้ำราบเรียบตลอดเวลา จึงทำให้ผลลัพธ์ที่คำนวณได้ในบริเวณใกล้เคียงกับผิวน้ำมีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง

ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อเหล็กในกรณีน้ำไหลเต็มท่อเหล็กและน้ำไหลไม่เต็มท่อเหล็ก เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลองดังรูปที่ 6.48-6.53 พบว่าลักษณะของการกระจายตัวจะมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน และจะพบว่าเมื่อเพิ่มผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อเหล็กค่าอุณหภูมิที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ก็จะมีค่าสูงขึ้นเช่นเดียวกับค่าที่วัดได้จากการทดลอง

6.4 สรุปผลการเปรียบเทียบ

จากตารางที่ 6.15-6.18 ซึ่งแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับผลการทดลอง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

	ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแบบจำลองกับการทดลอง (องศาเซลเซียส)			เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย
	ค่าเฉลี่ย	มากที่สุด	น้อยสุด	
กรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก				
การทดลองที่ 1	0.4	1.1	0	1.38
การทดลองที่ 2	0.4	1.3	0	1.40
การทดลองที่ 3	0.1	0.8	0	0.34
กรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก				
การทดลองที่ 1	0.7	2.6	0	2.36
การทดลองที่ 2	0.4	1.9	0	1.46
การทดลองที่ 3	0.2	1.5	0	0.62
กรณีเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก (น้ำไหลเต็มท่อหลัก)				
การทดลองที่ 1	0.4	1.3	0	1.40
การทดลองที่ 2	0.3	1.3	0	1.07
การทดลองที่ 3	0.4	1.5	0	1.68
กรณีเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก (น้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก)				
การทดลองที่ 1	0.4	1.9	0	1.46
การทดลองที่ 2	0.5	1.8	0	1.72
การทดลองที่ 3	0.4	2.0	0	1.61

ถือว่าค่าความแตกต่างของอุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลองที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณีเป็นค่าที่ยอมรับได้ในแง่ของการทำนายผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ และเมื่อพิจารณาแนวโน้มของการกระจายตัวของอุณหภูมิจากกราฟแสดงการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิต่างกันระหว่างผลที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลที่ได้จากการทดลองก็จะพบว่าลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันถึงแม้ว่าจะมีในบางช่วงที่มีผลที่คลาดเคลื่อนกันซึ่งเป็นผลที่เกิดขึ้นจากการกำหนดสภาวะขอบเขตแต่ก็ยังถือว่าเป็นแนวโน้มที่ยอมรับได้ อีกทั้งจากการที่ผลการคำนวณจากแบบจำลองให้ค่าที่สูงเกินกว่าความเป็นจริงอันเนื่องมาจากการกำหนดค่าให้ไม่มีการถ่ายเทความร้อนออกจากระบบจะถือว่าเป็นผลดีในแง่ของการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพราะเปรียบเสมือนการประเมินผลกระทบในระดับที่รุนแรงที่สุดเมื่อมีการปล่อยน้ำอุณหภูมิตั้งสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ชุดนี้ไปประยุกต์ใช้กับปัญหาที่เกิดขึ้นกับภาคอุตสาหกรรม เช่น กรณีของการปล่อยน้ำหล่อเย็นจากโรงไฟฟ้าลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้ดังจะ ได้กล่าวถึงในบทต่อไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย