



ปริญญาโท.ศ. ๖๒๖

FINITE DIFFERENCE FOR HEAT TRANSFER

โดย

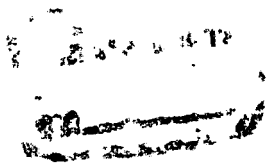
นายรังสรรค์ ชรามรัตน์ รหัส 27-1157

นายสุทธิกุล เจริญสุข รหัส 27-1239

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์

อาจารย์ มิ่ง โสภิตแสงทอง



มกราคม ๒๕๖๕

Final Filipe Difference For Heat Transfer.

ผู้จัดทำ

1 นายรังสรรค์ ชรบรัมย์ รหัส 27 1157

2 นายสุภะสิทธิ์ เจริญแสนสุข รหัส 27 1239

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. มงคล นงตวงส์โรจน์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์มิ่ง โลกิจแสงทอง)



Finite Difference for Heat Transfer

นาย ingsawat ธรรมรัตน์

นายสาวิตุล เจริญเกษมสุข

พร. นงนล ทรงกลางดีโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ มิ่ง โถกสิขเสงทอง อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2538

บทคัดย่อ

ปัญหาหลาย ๆ ปัญหาที่เกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน มักจะมีสมการที่มีหลายตัวแปร และไม่เชิงเส้น นอกจากนี้ยังต้องแก้สมการพร้อม ๆ กันหลายสมการ ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะคำนวณโดยวิเคราะห์หาคำตอบ (Analytical) เพราะการแก้สมการ จำเป็นต้องใช้สมการคณิตศาสตร์ขั้นสูง ซึ่งมีความยุ่งยากและซับซ้อนยากที่จะทำความเข้าใจได้ง่าย

ปัญหานี้ใน 1, 2 ที่ศึกษา เป็นแนวทางของการแก้ปัญหาคำนวณยุ่งยากของสมการดังกล่าว ในการศึกษาได้ใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลข โดยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ในการแก้ปัญหา และได้พยายามพิจารณาสถานะขอบเขตของปัญหาที่เกี่ยวข้อง ประกอบการหาคำตอบ เพื่อให้ได้คำตอบที่ถูกต้องที่สุด สำหรับการประมวลผลนั้นจำเป็นต้องใช้ เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ช่วยในการหาคำตอบ โดยโปรแกรมได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อให้เกิดการคำนวณซ้ำด้วยวิธีของ Gauss - Seidel

ปัญหานี้จึงเป็นการประยุกต์ใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ มาช่วยในการประมวลผล สำหรับปัญหาการถ่ายเทความร้อนที่ซับซ้อนได้

Abstract

Many problems on Heat transfer usually have equations which include multiple variables and are non-linear. Moreover we must solve them simultaneously, so it is difficult to solve them analytically. Because to solve them we must use high-level mathematics which are difficult and complicate to understand.

Project 1, 2, being studied give a way of reducing these comple equations. We use numerical analysis ,i.e. Finite difference method for solving them and try to get boundary conditions involved to find the most nearly exact solution. In the process a microcomputer must be used in helping to find the solution. A program was written to do the calculation by mean of Gauss-Seidel Iterative method.

This project is an application of computer technology contributive to solving the complex-Heat transfer problem.

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ Finite Difference Method	3
บทที่ 3 การประมาณผลด้วยไมโครคอมพิวเตอร์	8
บทที่ 4 ตัวอย่างโปรแกรม (Model)	11
บทที่ 5 การเขียนโปรแกรมเพื่อประมวลผล	17
บทที่ 6 การกีดผลของ Radiation ภายในช่องอากาศ	40
บทที่ 7 การทดลองด้วย Model	44
บทที่ 8 สรุปและวิจารณ์	51
ภาคผนวก	53



	หน้า
รูปที่ 2.1	4
รูปที่ 2.2	5
รูปที่ 2.3	6
รูปที่ 1.1	11
รูปที่ 1.2	12
รูปที่ 1.3	12
รูปที่ 6.1	10
รูปที่ 7.1	14
รูปที่ 7.2	15
รูปที่ 7.3	16
รูปที่ 7.4	17
รูปที่ 7.5	17
รูปที่ 7.6	18
รูปที่ 7.7	19
รูปที่ 8.1	51



บทที่ 1

บทนำ

ในการแก้ปัญหาการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) ที่มีชุดของสมการหลายตัวแปร และไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear) จำเป็นต้องแก้สมการพร้อม ๆ กันหลายสมการ การวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) โดยใช้การประมวลผลด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ IBM PC ซึ่งจะลดความยุ่งยาก และความซับซ้อนในการประมวลผลลงได้อย่างมาก

ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงตัวเลข วิธีที่ใช้คือวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite Difference Method) ซึ่งวิธีนี้จำเป็นที่จะต้องแบ่งโดเมน (Domain) ออกเป็นหลาย ๆ ส่วน และถ้ายังแบ่งโดเมนออกเป็นจำนวนมากเท่าไร การประมวลผลก็จะมี ความถูกต้อง และแน่นอนยิ่งขึ้นเท่านั้น แต่ก็จะต้องใช้เวลาในการประมวลผลด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์นานขึ้นตามไปด้วย ผลจากการแบ่งโดเมน จะได้จุดตัดของเส้นแบ่งโดเมนที่เรียกว่า Node จำนวนหลาย Node จากนั้นจึงพิจารณาสมการสมดุลความร้อน (Heat balance) ที่ Node ต่าง ๆ ดังนี้

$$\text{ความร้อนที่ไหลเข้า Node} = \text{ความร้อนที่ไหลออกจาก Node}$$

ซึ่งจะได้สมการสมดุลความร้อนสำหรับ Node ต่าง ๆ หลายสมการ และจำเป็นต้องแก้สมการเหล่านี้พร้อม ๆ กัน

สำหรับปัญหานี้บรรณฉบับนี้ได้เลือกวิธีการแก้ชุดของสมการโดยวิธีการคำนวณซ้ำ (Iteration) ของ Gauss-Seidel ซึ่งเป็นวิธีหาคำตอบ (Solution) ของชุดของสมการที่มีหลายตัวแปร ที่มีประสิทธิภาพดีและเข้าใจได้ง่าย (หลักการของ Gauss-Seidel Method ได้แสดงไว้ในภาคผนวก) นอกจากนี้ข้อดีของการหาคำตอบโดยวิธีของ Gauss-Seidel ยังเป็นการประหยัดหน่วยความจำ (Memory) ของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งถ้าใช้วิธีการแก้สมการโดยการใช้เมตริกซ์ก็จะเปลืองหน่วยความจำเป็นจำนวนมาก

ความแน่นอนถูกต้องของคำตอบที่ได้ขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้ คือ

ก. Nodal Equation ถูกต้องหรือไม่

ข. สภาวะขอบเขต พิจารณาครบถ้วนหรือไม่

ค. ความถูกต้องของค่าคุณสมบัติ หรือค่าคงที่ต่าง ๆ ได้แก่ ค่า K (Conduc-

tivity) ค่า h (Convection heat-transfer coefficient) เป็นต้น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. ขนาดของโดเมนที่แบ่ง " x หรือ y" (x-increment หรือ y-increment) มีขนาดพอเหมาะไม่เล็กหรือใหญ่เกินไป ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของ Modal

จ. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีคำสั่งการทำงานถูกต้องหรือไม่

ผลการคำนวณที่ได้ จะนำไปเปรียบเทียบกับผลจากการทดลองของปริญญาโท เรื่อง Optimum Design of Roof and Ceiling for Resident House ประจำปีการศึกษา

2529



บทที่ 2

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ Finite Difference Method

ในการแก้ปัญหามสมการคณิตศาสตร์ที่อยู่ในรูป Partial differential Equation:
 $a(\partial^2 u / \partial x^2) + b(\partial^2 u / \partial x \partial y) + c(\partial^2 u / \partial y^2) = f(x, y) \quad \dots\dots(1)$

ซึ่งมีความซับซ้อน ยากเกินกว่าที่จะแก้ปัญหโดยวิธี Analytical จึงต้องอาศัยวิธี
วิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical Analysis) ซึ่งต้องใช้ Taylor Series Expansion
ในการสร้างสมการที่ง่ายต่อการแก้ปัญหา

รูปแบบของสมการที่ใช้ในการศึกษา มีดังนี้

1 Central-Difference Expressions with Error of Order h^2

$$1.1 \quad y_1' = (y_{i+1} - y_{i-1}) / (2h)$$

$$1.2 \quad y_1'' = (y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}) / (h^2)$$

2 Forward-Difference Expressions with Error of Order h

$$2.1 \quad y_1' = (y_{i+1} - y_i) / (h)$$

$$2.2 \quad y_1'' = (y_{i+2} - 2y_{i+1} + y_i) / (h^2)$$

3 Backward-Difference Expressions with Error of Order h

$$3.1 \quad y_1' = (y_i - y_{i-1}) / (h)$$

$$3.2 \quad y_1'' = (y_i - 2y_{i-1} + y_{i-2}) / (h^2)$$

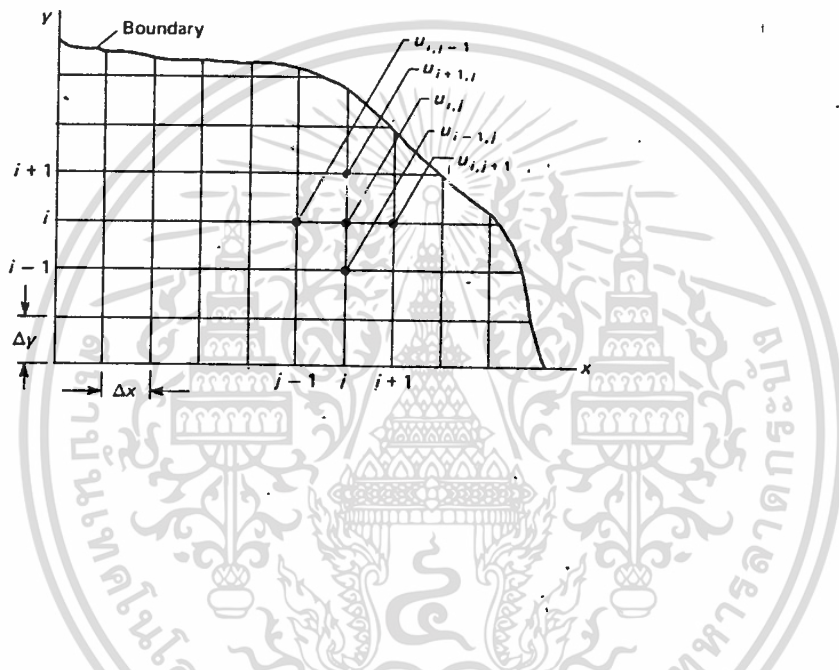
จากสมการที่ 1 ฟังก์ชัน $u(x, y)$ ต้องทำให้สมการที่-1 เป็นจริงในโดเมนปิด
(Close Domain) และ Boundary Condition

สำหรับรูปแบบของ Partial Differential Equation ของปัญหา Heat-
Transfer ก็จะมีรูปแบบของสมการคล้ายกับสมการที่ 1 แต่ใน Model ที่ทำการศึกษานั้นสนใจเฉพาะปัญหาที่เป็นการนำความร้อนใน 2 มิติผ่านอากาศภายในหลังคา โดยมี Boundary Condition เป็นการพาความร้อน ซึ่งมีด้านหนึ่งเป็น Adiabatic Wall และคิดการตกกระทบของรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์สู่หลังคา โดยพิจารณาเมื่อเกิดสภาวะสม่ำเสมอ (Steady State) แล้วเท่านั้น

ต่อไปนี้จะยกตัวอย่างการแก้ปัญหา จากสมการของ Laplace

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเป็นสมการที่แสดง Steady State Condition ของปัญหา Heat Transfer ใน 2 มิติ (2 Dimension)



รูปที่ 2.1

จากรูปที่ 2.1 วัตถุแผ่นราบที่มีความหนาน้อยกว่าความยาว และมีความกว้างมาก (เพื่อที่จะได้มีเฉพาะการถ่ายเทความร้อนใน 2 มิติเท่านั้น) ได้ถูกแบ่งออกเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ($\Delta x = \Delta y$) ขนาดเล็ก ๆ เท่า ๆ กัน โดยการประมาณค่าด้วยวิธี Central Difference Expression ดังนั้น จะได้ว่า

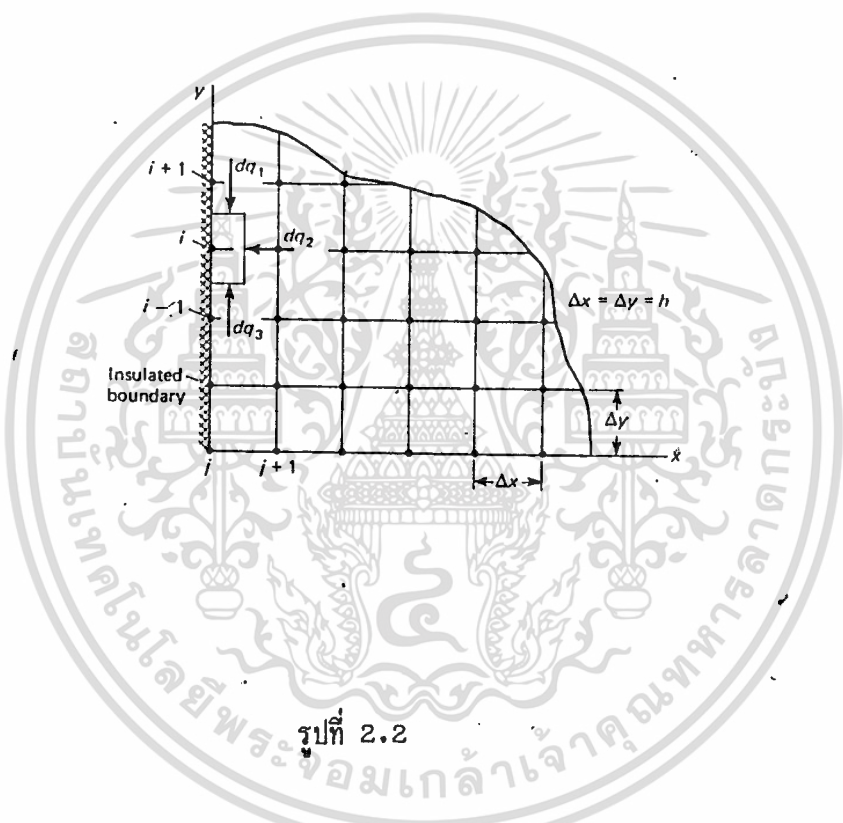
$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = (u_{i,j+1} - 2u_{i,j} + u_{i,j-1}) / (\Delta x^2) \quad \dots (2)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = (u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}) / (\Delta y^2) \quad \dots (3)$$

จากสมการที่ 2 และสมการที่ 3 จะได้ สมการที่ใช้ได้กับจุดภายใน (Interior Point) ทุก ๆ จุดบนวัตถุแผ่นราบ ดังนี้
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$[u_{i,j+1} - 2u_{i,j} + u_{i,j-1}]/(\Delta x^2) + [u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}]/(\Delta y^2) = 0 \dots\dots(4)$$

สำหรับที่จุดบริเวณขอบของโดเมน ซึ่งจะต้องสร้างสมการที่ใช้ได้ (Satisfy) กับ Boundary Condition ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2

ปริมาณความร้อน "dq" ที่ไหลผ่านทั้ง 3 ด้านของ Half-Element เมื่อเวลาผ่านไป dt มีค่าดังนี้

$$dq_1 = [(k\Delta x)/2] \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{i+(1/2)} dt$$

$$= [(k\Delta x)/2] [(u_{i+1,j} - u_{i,j})/\Delta y] dt$$

$$dq_2 = [k\Delta y] \left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{j+(1/2)} dt$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานที่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$dq_3 = -[(k\Delta x)/2][\partial u/\partial y] \Big|_{i-(1/2)} dt$$

$$= -[(k\Delta x)/2][(u_{i,j} - u_{i-1,j})/\Delta y]\Delta t$$

เมื่อ k คือค่า Thermal Conductivity ของ Plate โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากันตลอดทั้งแผ่น
 d คือความหนาของ Plate

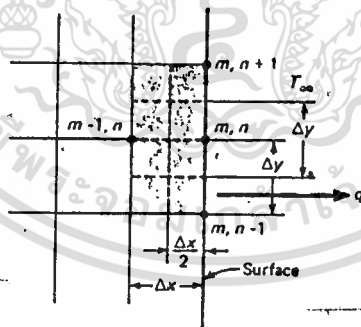
Heat Balance Equation สำหรับ Half-Element :

$$dq_1 + dq_2 = dq_3 = 0$$

จะได้สมการสำหรับ Adiabatic Boundary Point ดังนี้

$$[\Delta x/(2\Delta y)]u_{i+1,j} - [(\Delta x)/(2\Delta y) + (\Delta y/\Delta x) + (\Delta x)/(2\Delta y)]u_{i,j} + [(\Delta x)/(2\Delta y)]u_{i-1,j} + [\Delta y/\Delta x]u_{i,j+1} = 0$$

สำหรับ Convection Boundary Condition แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3

Heat Balance ที่จุด (m,n) คือ

$$[-k\Delta y][(u_{m,n} - u_{m-1,n})/\Delta x] - [(k\Delta x)/2][(u_{m,n} - u_{m,n+1})/\Delta y] - [(k\Delta x)/2][(u_{m,n} - u_{m,n-1})/\Delta y] - h\Delta y(u_{m,n} - U) = 0$$

เมื่อ h คือค่า Convection Heat Transfer Coefficient ของของไหล
ที่สัมผัสกับ Plate

$$\begin{aligned} & [(k\Delta y)/\Delta x]u_{m-1,n} + [(k\Delta x)/(2\Delta y)]u_{m,n-1} + [(k\Delta x)/(2\Delta y)]u_{m,n+1} \\ & - [(k\Delta y/\Delta x) + (k\Delta x/\Delta y) + (h\Delta y)]u_{m,n} + h\Delta y U = 0 \end{aligned}$$

ซึ่งเป็นสมการสำหรับจุดที่อยู่บริเวณขอบที่มีการพาความร้อน และส่วนของ Boundary Condition อื่น ๆ ก็พิจารณาในลักษณะคล้าย ๆ กัน



บทที่ 3

การประมวลผลด้วยผลด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

เนื่องจากการที่ต้องการให้ การประมวลผลเป็นไปอย่างถูกต้อง และแม่นยำจึงจำเป็นต้องแบ่งโดเมนออกเป็น Node จำนวนมาก ดังนั้นในการประมวลผลจึงควรใช้ไมโครคอมพิวเตอร์คำนวณค่าของอุณหภูมิที่ต้องการ ส่วนวิธีการที่ใช้ในการคำนวณการกระจายของอุณหภูมิที่ Node ต่าง ๆ ของปัญหาที่มีการแบ่ง Node เป็นจำนวนมาก ๆ นั้น ควรใช้วิธีการคำนวณซ้ำ (Iterative Technique) ซึ่งวิธีนี้ให้ผลการคำนวณที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการหา Inverse Matrix โดยตรง เพราะการใช้เมตริกซ์จำเป็นต้องเก็บข้อมูลในหน่วยความจำ (Memory) ของคอมพิวเตอร์เป็นจำนวนมาก และยิ่งถ้าเป็นเมตริกซ์ขนาดใหญ่ด้วยแล้ว เวลาที่ใช้ในการคำนวณก็จะยิ่งนานตามไปด้วย

วิธีการคำนวณการกระจายของอุณหภูมิ ที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นวิธีของ Gauss - Seidal ซึ่งลักษณะของสมการที่ใช้ในการประมวลผลจะเขียนอยู่ในเทอมของ ค่าความต้านทานความร้อน " $R_{i,j}$ " และอุณหภูมิของ Node ที่อยู่ใกล้กัน T_j

$$T_i = \{q_i + \sum_j (T_j / R_{i,j})\} / \sum_j (1 / R_{i,j}) \quad \dots\dots(1)$$

เมื่อ q_i คือ ความร้อนที่ถูกส่งไปยัง Node ที่ i ได้แก่ Heat generation และ Radiation เป็นต้น

ขั้นตอนการคำนวณโดยวิธีของ Gauss-Seidal สำหรับโครงงานนี้ คือ

1. สมมติค่าเริ่มต้นของ T_j ของทุก ๆ Node ด้วยวิธีใดก็ได้ ตามความเหมาะสม ในกรณีที่จำนวน Node มาก ๆ มักจะกำหนดค่าเริ่มต้นของ T_j ของทุก ๆ Node ให้มีค่าเป็นศูนย์

2. ค่าใหม่ของ T_i จะถูกคำนวณจากสมการแรก และจำไว้เสมอว่า ต้องใช้ค่า T_j ครั้งหลังสุด (Most recent value of T_j) ในการแทนค่า

3. ขบวนการคำนวณ จะดำเนินการคำนวณซ้ำต่อไป จนกระทั่งค่าใหม่ที่คำนวณได้มีค่าต่างจากค่าเก่า (ที่คำนวณได้ในครั้งก่อนหน้านั้น) น้อยมากจนเป็นที่พอใจ จึงหยุดการคำนวณซ้ำ และในส่วนของ การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เราสามารถกำหนดค่าความแตกต่างนี้ เพื่อหยุดการคำนวณซ้ำ ดังต่อไปนี้

$$|T_{i,n+1} - T_{i,n}| \leq \delta \quad \dots\dots(2)$$



เมื่อ i คือ ค่าคงที่ใด ๆ ที่มีค่าน้อย ๆ ที่เลือกขึ้นเอง

n คือ จำนวนครั้งของการคำนวณซ้ำ

หรืออาจจะกำหนดค่าความแตกต่างในรูปไม่มีหน่วย ดังนี้

$$| (T_{i+1} - T_i) / T_i | < \epsilon \quad \dots\dots(3)$$

เมื่อ ϵ คือ ค่าคงที่ใด ๆ ที่มีค่าน้อย ๆ ที่เลือกขึ้นเอง

ข้อสังเกต : ถ้าค่า δ มีค่าน้อย เวลาที่ใช้ในการคำนวณก็จะยิ่งมากขึ้น สำหรับปัญหาทางฟิสิกส์ ความแน่นอนถูกต้องของคำตอบขึ้นอยู่กับทางเลือก ทั้งค่า δ และค่า Δx

ในการพิจารณาถึงความแน่นอนถูกต้องของคำตอบ มีวิธีที่จะตรวจสอบได้อย่างเหมาะสม 2 วิธี คือ

1 เปรียบเทียบผลที่ได้จากวิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical method) กับผลที่ได้จากการแก้สมการ (Analytical Solution)

2 เปลี่ยนค่าของ Δx ให้มีค่าลดลง แล้วสังเกตคำตอบที่ได้ใหม่ว่ามีแนวโน้มเป็นอย่างไร ถ้าสมการที่ใช้ในการคำนวณนั้นถูกต้องแล้ว ค่าอุณหภูมิที่ Node ใด ๆ ควรจะมีค่าลู่เข้า (Converge) เมื่อค่าของ Δx มีค่าลดลง และควรสังเกตด้วยว่า จากการคำนวณโดยใช้คอมพิวเตอร์ ค่าความผิดพลาด (Round-off error) จะมามากขึ้น เมื่อจำนวน Node มีค่ามากขึ้น เพราะจำนวนครั้งของการคำนวณที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง

จะเห็นได้ว่าคำตอบจากการแก้สมการนั้น มีประโยชน์ในการตรวจสอบความแน่นอนของแบบจำลองวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical Model) อย่างจำกัด เนื่องจากปัญหาในหลาย ๆ ปัญหาไม่มีคำตอบ หรือหาคำตอบได้ยาก ส่วนคำตอบที่ได้จาก Nodal Equation ถึงแม้จะมีความถูกต้องแน่นอน แต่ก็ไม่ได้ให้ความแน่ใจว่าจะเป็นคำตอบที่ถูกต้องสำหรับปัญหาทางฟิสิกส์นั้น ๆ

ในหลาย ๆ กรณี คำตอบสุดท้ายที่ได้มีค่าผิดพลาดอย่างมาก เพราะปัญหาที่คำนวณมีสมการที่ไม่ถูกต้องตั้งแต่ต้น ซึ่งความผิดพลาดนี้ ไม่ว่าจะคอมพิวเตอร์ หรือการวิเคราะห์การลู่เข้า (Convergence Criterion) ก็ไม่สามารถแก้ข้อผิดพลาดนี้ได้ วิธีหนึ่งที่สามารถใช้ตรวจสอบความผิดพลาดของสมการ ก็คือ วิธีการสร้างสมการสมดุลความร้อน โดยใช้คำตอบสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ในสถานะ Steady State สมการสมดุลความร้อนหาจากการพิจารณาความร้อนที่ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

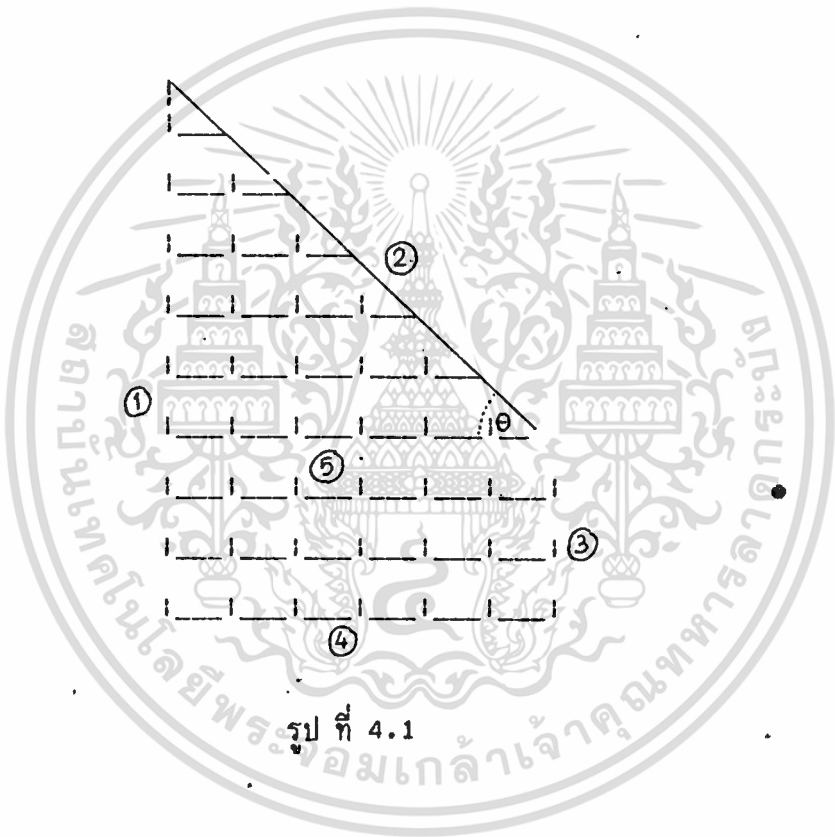
ไหลเข้า Node เท่ากับ ความร้อนที่ไหลออกจาก Node และเมื่อทำการตรวจสอบแล้วพบว่า ความร้อนที่ไหลเข้า ไม่เท่ากับความร้อนที่ไหลออก ด้วยค่าที่แตกต่างกันจนยอมรับไม่ได้ แสดงว่าใน Nodal Equation ที่ใช้คำนวณนั้นอาจมีความผิดพลาด เช่น ใส่ค่าคงที่ผิด, ป้อนข้อมูลผิด หรือ เขียนโปรแกรมบางส่วนผิด เป็นต้น แต่ถ้าทำการตรวจสอบแล้วได้สมการสมดุลความร้อนที่ถูกต้อง ก็ควรแทนค่า Δx ให้น้อยลงไปอีก เพื่อที่จะได้คำตอบที่ถูกต้องยิ่งขึ้น

ความแน่นอนถูกต้องของคุณสมบัติของระบบและสภาวะขอบเขต ก็เป็นอีกส่วนหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงด้วย เช่น ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของวัสดุต่าง ๆ มีค่าเปลี่ยนตามอุณหภูมิ แต่อย่างไรก็ตามในช่วงอุณหภูมิ $100^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$ ค่าการนำความร้อนของวัสดุต่าง ๆ มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก (ประมาณ 5% - 10%) ซึ่งเราสามารถสมมติว่ามีค่าคงที่ได้ เพื่อความสะดวกในการแก้ปัญหา ส่วนสภาวะขอบเขตที่เป็นการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน ในหลาย ๆ ปัญหาที่มีพฤติกรรมที่ไม่คงที่ เช่น ค่าสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อน (Coefficient of Convection) มีค่าความไม่แน่นอนถึง 20% และค่าคุณสมบัติของผิวของการแผ่รังสี (Surface Radiation Property) ก็มีค่าความไม่แน่นอนถึง 10% ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการตรวจสอบค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุ และสภาวะขอบเขตที่เกี่ยวข้องกับ Nodal Equation

บทที่ 4

ตัวอย่างปัญหา (Model)

ตัวอย่างปัญหาที่ใช้การคำนวณโดย Finite difference method ได้จำลองเอาหลังคาบ้านเป็น Model ในการสร้าง Nodal Equation ได้พิจารณาเพียงครึ่งส่วนของหลังคาบ้าน เพราะว่ารูปร่างของหลังคาบ้านมีความสมมาตร การกระจายของอุณหภูมิจึงสม่ำเสมอ ดังนั้นค่าของอุณหภูมิจึงมีค่าเกือบเท่ากันทั้งสองส่วนของหลังคาบ้าน รูปร่างของ Model เป็นดังรูปที่ 4.1



รูป ที่ 4.1

การหา Nodal Equation

เนื่องจากโมเดลที่ศึกษาจำเป็นต้องสร้าง Nodal Equation ถึง 5 สมการ เพื่อที่จะได้ครอบคลุมปัญหาและสภาวะขอบเขตของปัญหา (Boundary condition) ดังนี้

- สมการที่ 1. เป็นสมการที่มีสภาวะขอบเขตเป็น Adiabatic
- สมการที่ 2. และสมการที่ 3. เป็นสมการที่มีสภาวะขอบเขตเป็น Radiation

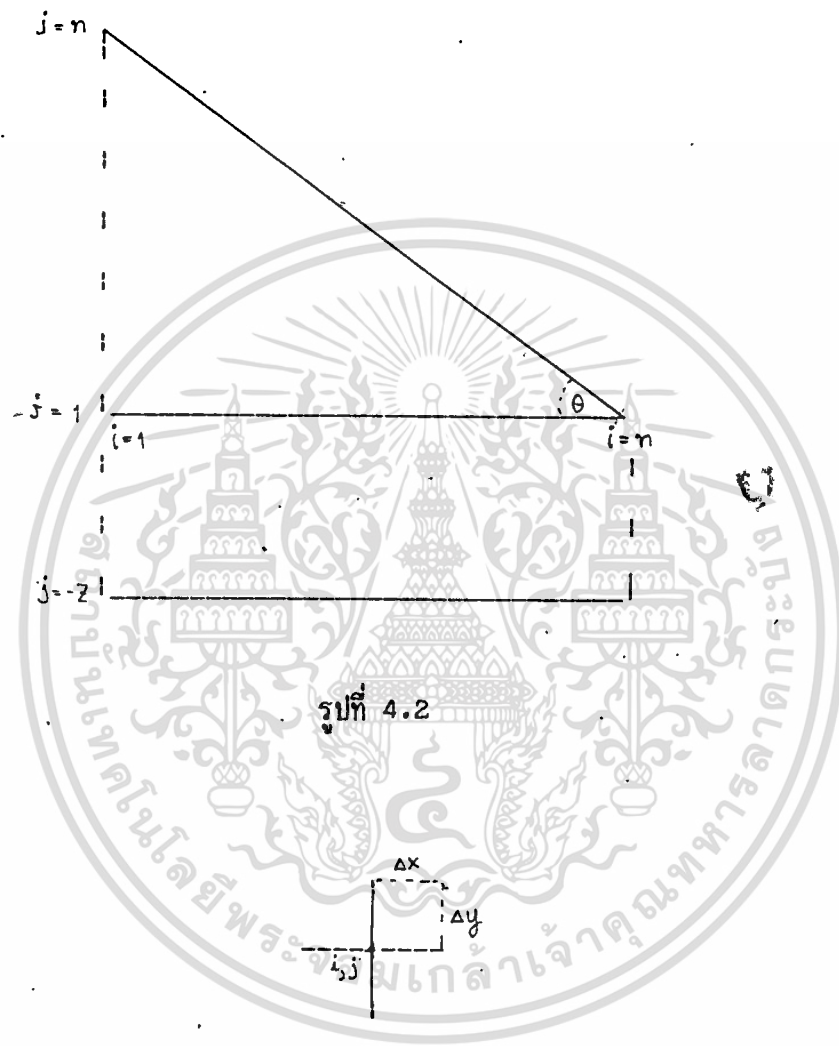
จากดวงอาทิตย์และการนำความร้อนผ่านหลังคา

- สมการที่ 4. เป็นสมการที่มีสภาวะขอบเขตเป็นการพาความร้อน และการนำความร้อน

ผ่านฝ้าดานเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ 5. เป็นสมการที่ใช้กับ Node ภายใน (Interior node)

ในการแบ่งโดเมนของ Model เป็นดังรูปที่ 4.1 ซึ่งมีขนาดและตำแหน่งของ Node ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2

รูปที่ 4.3

จากรูป 4.2 และ 4.3

- n, z คือ (จำนวนช่องที่ต้องการแบ่ง) บวกด้วย 1
- L คือขนาดของโมเดล (ความยาว) หน่วย: เมตร
- θ คือ มุมที่แนวหลังคา กระทำต่อ แนวราบ : $0 < \theta < 90^\circ$
- และ $dy = dx(\tan\theta)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ใน Nodal Equation มีดังต่อไปนี้

1. K_1 : Thermal conductivity of roof , W/m.K
2. K_2 : Thermal conductivity of ceiling , W/m.K
3. K_3 : Thermal conductivity of air , W/m.K
radiation from sun), K
5. T_a : Ambient temperature , K
6. $T[i,j]$: Temperature at node (i,j) ,K
7. d_1 : Thickness of the roof , m
8. d_2 : Thickness of the ceiling , m
9. α_1 : Absorptivity for solar radiation
10. α_2 : Absorptivity for low temperature radiation
(25° C)
11. σ : Stefan-Boltzman constant , W/m².K⁴
12. q_s : Solar flux , W/m²
13. h : Convection heat-transfer coefficient , W/m².K

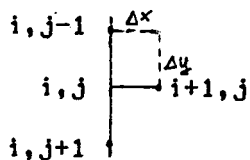
สำหรับค่าของค่าคงที่ และค่าคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในคำนวณมีดังนี้

1. $K_1 = 0.043$ W/m.K
2. $K_2 = 0.043$ W/m.K
3. $K_3 = 0.0024$ W/m.K
4. $T_a = 300$ K
5. $d_1 = 0.006$ m
6. $d_2 = 0.006$ m
7. $\alpha_1 = 0.12$
8. $\alpha_2 = 0.9$
9. $\sigma = 5.669 \times 10^{-8}$ W/m².K⁴
10. $q_s = 700$ W/m²
11. $h = 22.7$ W/m².K

สำหรับ Nodal Equation ที่ตำแหน่งต่าง ๆ บน Model ได้แสดงวิธีหาสมการสำหรับ

รูปร่างนี้เอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านที่ 1 Adiabatic Boundary Condition

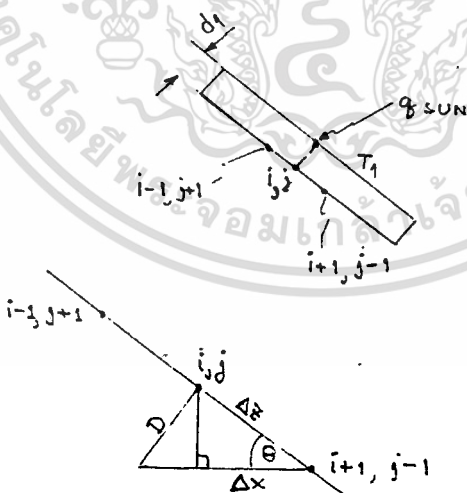


$$-(K_y \Delta y / \Delta x)(T[i, j] - T[i+1, j]) - (K_x \Delta x / 2 \Delta y)(T[i, j] - T[i, j-1]) - (K_x \Delta x / 2 \Delta y)(T[i, j] - T[i, j+1]) = 0$$

แทนค่า $y = x \tan \theta$ จะได้

$$\frac{\{(2 \tan^2 \theta) T[i+1, j] + T[i, j-1] + T[i, j+1]\}}{2 \tan^2 \theta + 2} = T[i, j] \dots (1)$$

ด้านที่ 2 Radiation from Sun and Conductivity through roof



$$q_{\alpha_1} = \alpha_2 \epsilon (T_1^4 - T_{\infty}^4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ T_u การสั่งงาน T_u เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_1 = 4 \sqrt{\frac{q_s \alpha_1}{\alpha_2 \delta}} + T_a$$

$$\Delta z = Ax / \cos \theta$$

$$D = \Delta x \tan \theta / \cos \theta$$

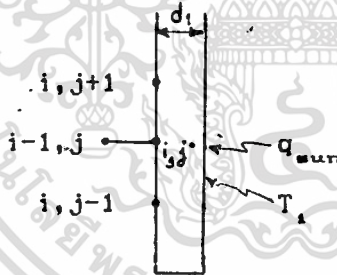
$$-(K_1 \Delta z / d_1)(T_{i,j} - T_1) - (K_1 d_1 / 2 \Delta z + K_2 D / 2 \Delta z)(T_{i,j} - T_{i-1,j+1})$$

$$-(K_1 d_1 / 2 \Delta z + K_2 D / 2 \Delta z)(T_{i,j} - T_{i+1,j-1}) = 0$$

$$\frac{(K_1 \Delta x / d_1 \cos \theta) T_1 + (K_1 d_1 \cos \theta / 2 \times + K_2 \tan \theta / 2)(T_{i-1,j+1} + T_{i+1,j-1})}{K_1 \Delta x / d_1 \cos \theta + K_1 d_1 \cos \theta / 2 \times + K_2 \tan \theta / 2} = T_{i,j}$$

.....(2)

ด้านที่ 3 Radiation from Sun and Conductivity through roof



$$(K_1 \Delta y / d_1)(T_1 - T_{i,j}) + \{(K_1 d_1 / 2 \Delta y) + (K_2 \Delta x / 2 \Delta y)\} \{T_{i,j+1} - T_{i,j}\}$$

$$+ \{(K_1 d_1 / 2 \Delta y) + (K_2 \Delta x / 2 \Delta y)\} \{T_{i,j-1} - T_{i,j}\}$$

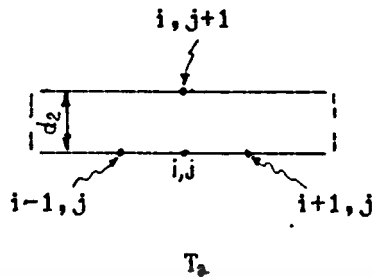
$$+ (K_2 \Delta y / \Delta x)(T_{i-1,j} - T_{i,j}) = 0$$

$$\frac{(K_1 \Delta x \tan \theta / d_1) T_1 + \{(K_1 d_1 / 2 \Delta x \tan \theta) + (K_2 / 2 \tan \theta)\} \{T_{i,j+1} + T_{i,j-1}\} + K_2 \tan \theta T_{i-1,j}}{(K_1 \Delta x \tan \theta / d_1) + (K_1 d_1 / 2 \Delta x \tan \theta) + (K_2 / 2 \tan \theta) + K_2 \tan \theta} = T_{i,j}$$

.....(3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า: ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านที่ 4 Convection Boundary Condition



$$\begin{aligned} & \{ (K_2 d_2 / 2\Delta x) + (h\Delta y / 2) \} \{ T[i-1, j] - T[i, j] \} \\ & + \{ (K_2 d_2 / 2\Delta x) + (h\Delta y / 2) \} \{ T[i+1, j] - T[i, j] \} \\ & + (K_2 \Delta x / d_2) (T[i, j+1] - T[i, j]) + h\Delta x (T_\infty - T[i, j]) = 0 \end{aligned}$$

$$\frac{\{ (K_2 d_2 / 2\Delta x) + (h\Delta x \tan\theta / 2) \} \{ T[i-1, j] + T[i+1, j] \} + \{ (K_2 \Delta x / d_2) T[i, j+1] + h\Delta x T_\infty \}}{\{ (K_2 d_2 / 2\Delta x) + (h\Delta x \tan\theta / 2) + (K_2 \Delta x / d_2) + h\Delta x \}} = T[i, j] \dots (4)$$

ด้านที่ 5 Interior Node



$$\begin{aligned} & (K_3 \Delta y / \Delta x) (T[i+1, j] - T[i, j]) + (K_3 \Delta y / \Delta x) (T[i-1, j] - T[i, j]) \\ & + (K_3 \Delta x / \Delta y) (T[i, j+1] - T[i, j]) + (K_3 \Delta x / \Delta y) (T[i, j-1] - T[i, j]) = 0 \end{aligned}$$

$$\frac{\tan^2\theta (T[i+1, j] + T[i-1, j]) + T[i, j+1] + T[i, j-1]}{2\tan^2\theta + 2} = T[i, j] \dots (5)$$

สำหรับ Natural convection จะไม่เกิดขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่หลังคาสูงกว่าอุณหภูมิที่เพดานห้อง ดังนั้นอากาศส่วนใหญ่ที่มีความหนาแน่นสูงจึงอยู่ทางด้านล่าง จึงไม่มีการลอยตัวของอากาศด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเขียนโปรแกรมเพื่อประมวลผล

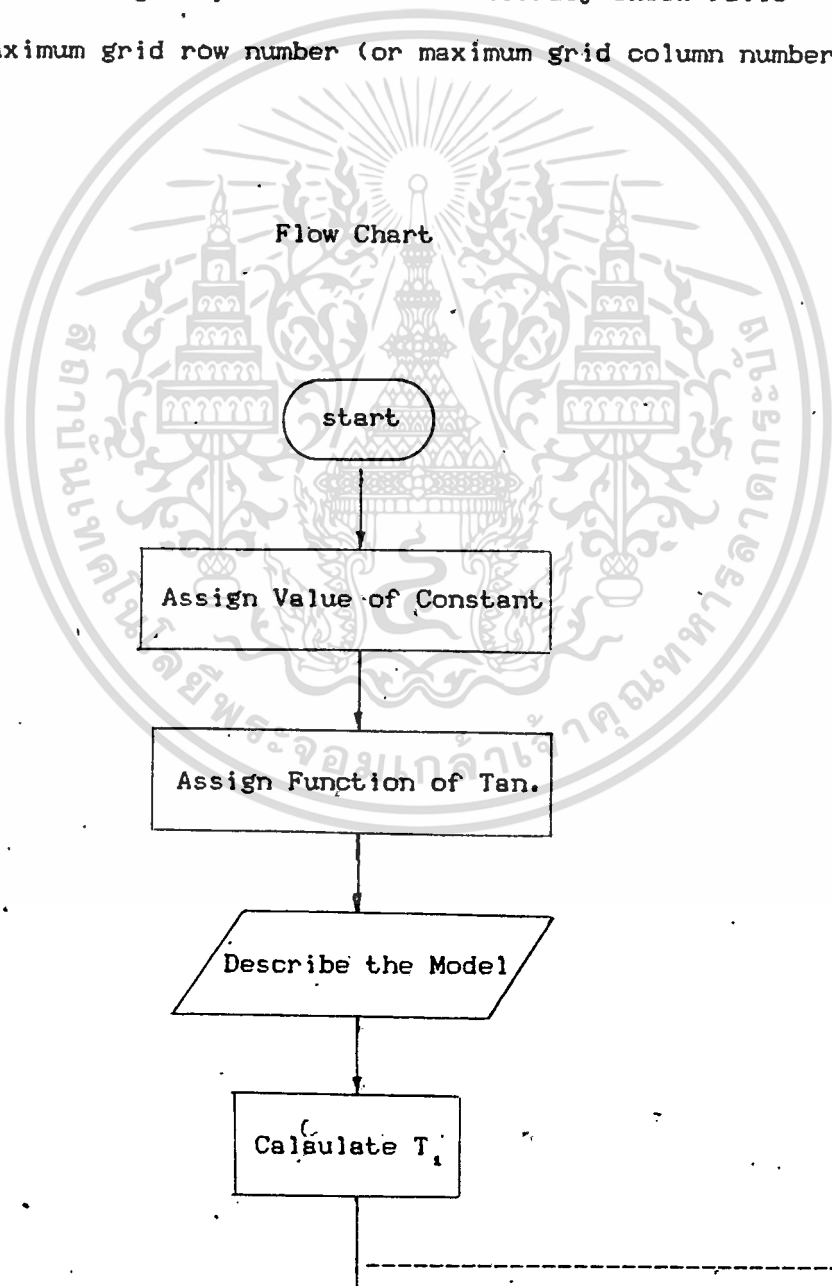
โปรแกรมนี้เขียนโดยใช้ภาษาปาสคาล (TURBO PASCAL) ซึ่งสามารถแสดงผลได้ในไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะแสดงผลการกระจายของอุณหภูมิที่ Node ใด ๆ ภายในช่องว่างของ Model ที่มีรูปเป็นหลังคาบ้าน

(ไม่คิดผลของการ Radiation ภายในช่องอากาศ)

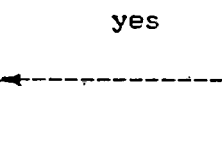
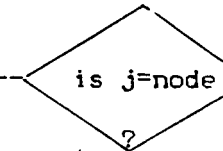
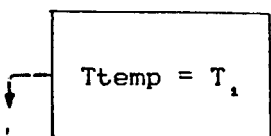
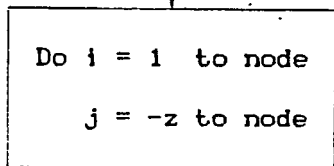
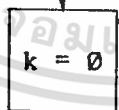
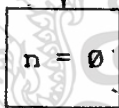
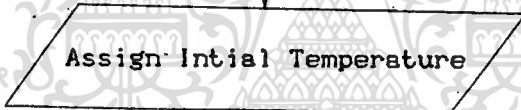
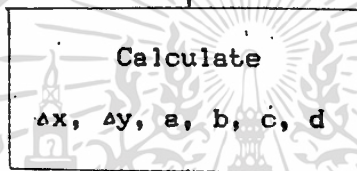
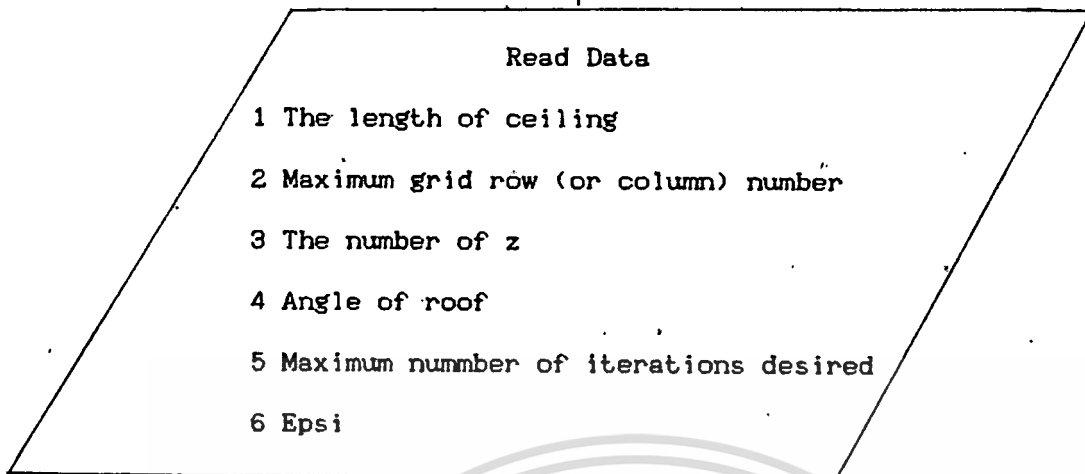
ตัวแปรและค่าคงที่ที่ใช้ในโปรแกรม

T[i,j]	Temperatures at Node(i,j), K
nmax	Maximum number of iterations designe
epsi	Accuracy-check value, K
Ttemp	Temporary name for value of u[i,j], K
diff	Difference in calculated temperatures at a grid point for two successive iterations, K
degree	Angle in degree
rad	Angle in radian
length	The length of ceiling, m
delx	x-increment, m
dely	y-increment, m
T1	Outside temperature of the roof, K
Ta	Ambient temperature, K
k1	Thermal conductivity of roof, W/m K
k2	Thermal conductivity of ceiling, W/m K
k3	Thermal conductivity of air, W/m K
d1	Thickness of the roof, m
d2	Thickness of the ceiling, m
h	Convection heat transfer coefficient, W/m ² .K

- G Irradiation
- Alfa1 Absorptivity for solar radiation.
- Alfa2 Absorptivity for low temperater radiation (about 25°C)
- Sigma Stefan - Boltzmann constant, $W/m^2.K^4$
- i Grid row number
- j Grid column number
- n Number of iterations completed
- k Number of grid points at which accuracy check fails
- node Maximum grid row number (or maximum grid column number)



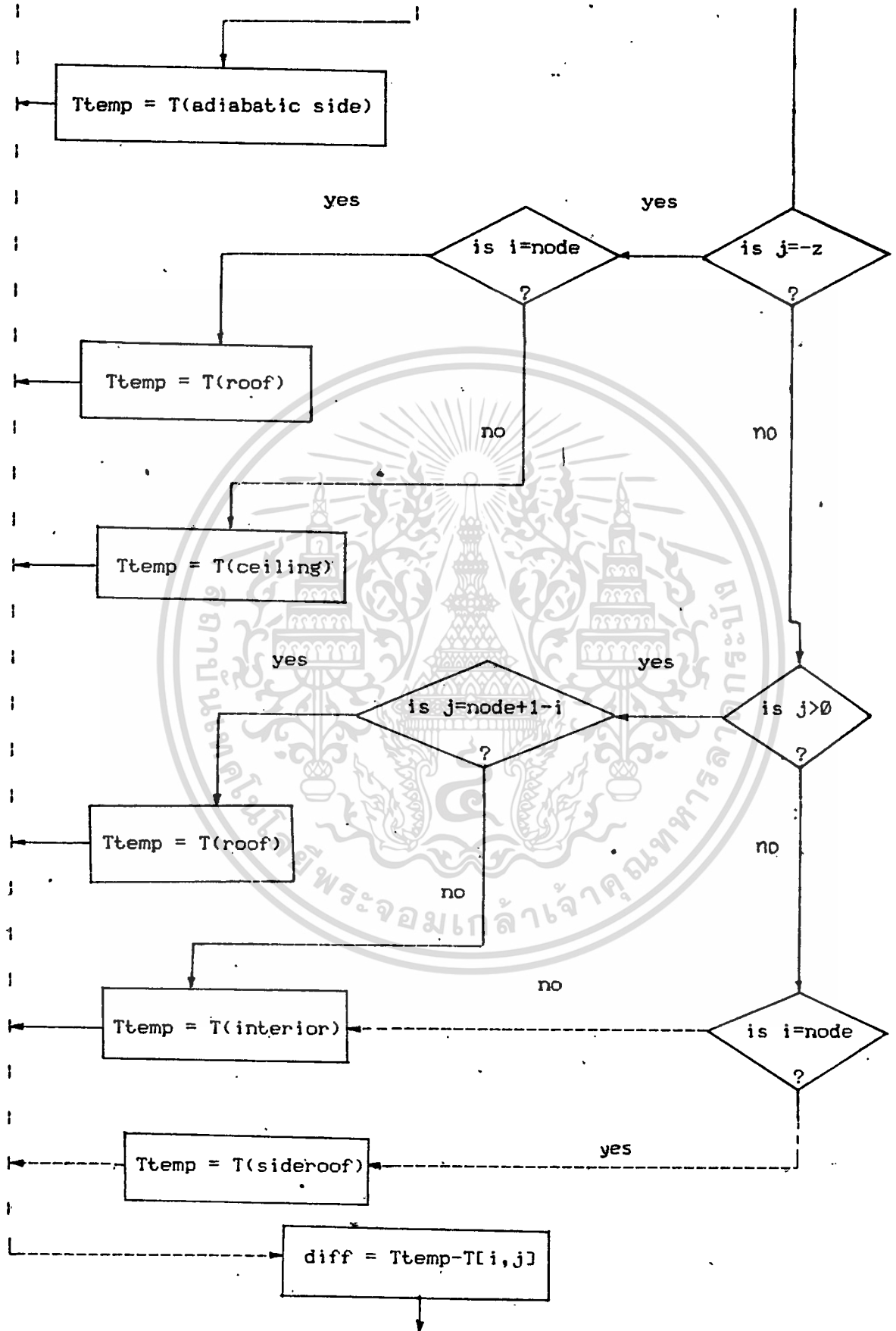
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



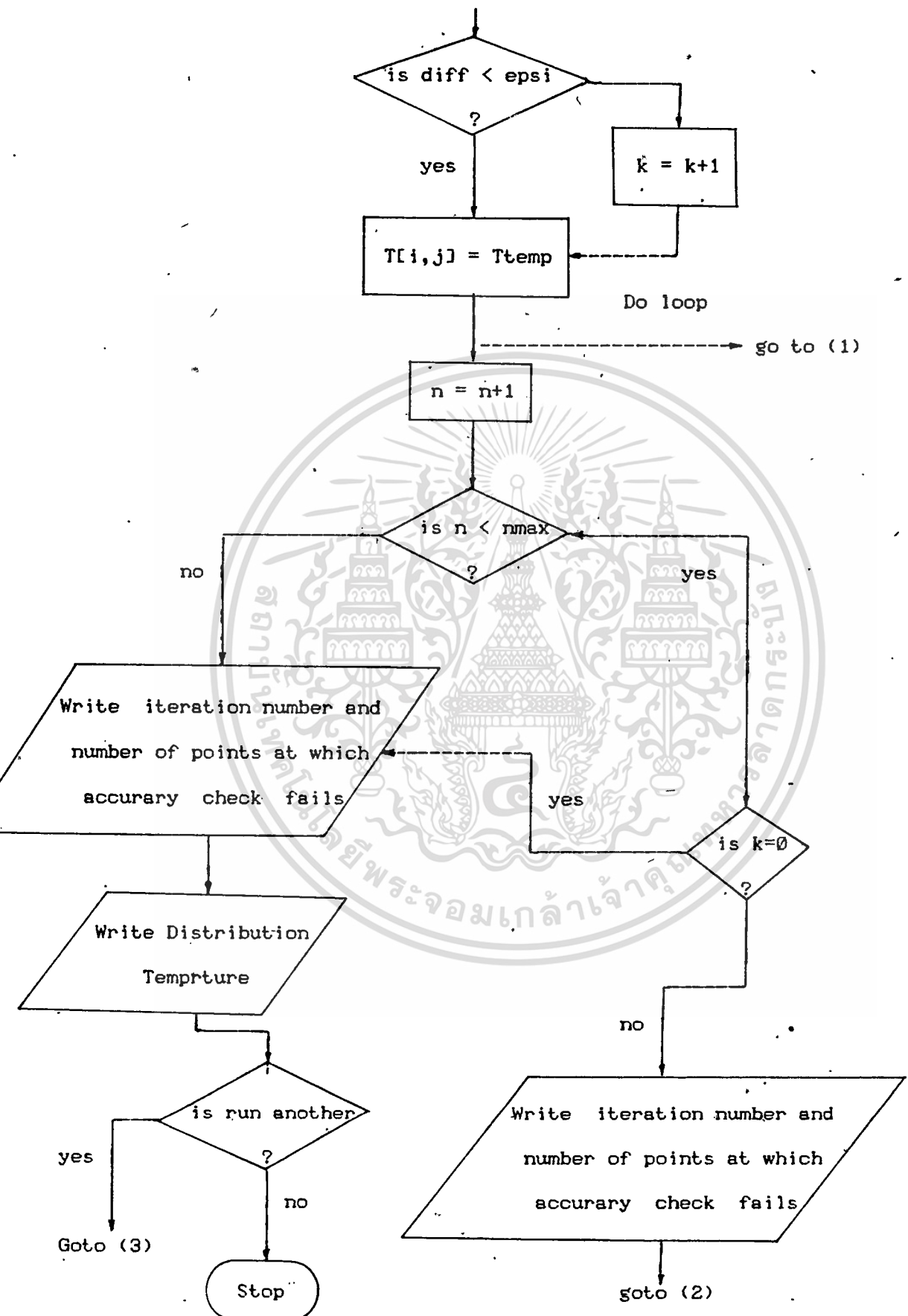
(2)

(1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โฆษณาการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวโปรแกรม

Program Finite_Difference_for_Heat_Transfer_by_Gauss_Seidal_Method;

Const

d1 = 0.006;
d2 = 0.006;
h = 22.7;
k1 = 0.043;
k2 = 0.043;
k3 = 0.0024;
G = 700;
Alfa1 = 0.12;
Alfa2 = 0.90;
Sigma = 5.669e-8;
Ta = 300;
Yes1 = 'Y';
Yes2 = 'y';
No1 = 'N';
No2 = 'n';

Var

T : Array[0..20,-10..20] of Real;
nmax,epsi,Ttemp,diff : Real;
degree,rad,length,delx : Real;
dely,T1,ta,a,b,c,d : Real;
i,j,n,k,node,z : Integer;
run : Char;

Label

1,2,3,4,5,6,7,8,10,20,30,40,50,60,70;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Function tan (radian : real) : Real;

Begin

tan := sin(radian)/cos(radian);

End;

BEGIN {main program}

Clrscr;

Writeln(' Program finite difference for heat transfer');

Writeln(' by Gauss-Seidel Iteration Method ');

Writeln;

Writeln(' The model for this project is the roof ');

Writeln(' The shape is showed, as follow ');

Writeln;

Writeln(' j=n ');

Writeln(' ');

Writeln(' | | | | | ');

Writeln(' | | | | | ');

Writeln(' | | | | | T1 ');

Writeln(' | | | | | ');

Writeln(' | | | | | ');

Writeln(' | | | | | ');

Writeln(' | | | | | ');

Writeln(' j=0 | | | | | | | | | | ');

Writeln(' | | | | | | | | | | ');

Writeln(' | | | | | | | | | | ');

Writeln(' | | | | | | | | | | ');

Writeln(' j=-z | | | | | | | | | | ');

Writeln(' i=1 i=n ');

Writeln(' Ta ');

Writeln;

```

{calculate outside temperature of the roof}
T1 := sqrt(sqrt( (G*Alfa1)/(Sigma*Alfa2) + Sqr(sqr(Ta)) ));
Writeln('T1 = ',T1:6:2);

Writeln;

{Read data}
7:Write('Assign The length of ceiling (meters)      = ');
  Readln(length);
Write('Maximum grid row ( or column) number, n    = ');
  Readln(node);
Write('The number of z                             = ');
  Readln(z);
Write('Angle of roof  $\theta$ , (degree)              = ');
  Readln(degree);
Write('Maximum number of interations desired      = ');
  Readln(nmax);
Write('Epsilon                                     = ');
  Readln(eps);
Writeln;
Writeln('      Iteration Number          Number of grid points');

{change degree to radial}
rad := degree*pi/180;

{Assign small displacement in x and y direction}
delx := length/(node-1);
dely := delx*tan(rad);
a     := h*delx;
b     := k2*delx/d2;
c     := k2*d2/(2*delx) + h*d2/2;

```

เอกสารนี้ใช้ระบบเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{Assign initial value}
```

```
For i := 0 to node do
```

```
  Begin
```

```
    For j := -(z+1) to node do
```

```
      Begin
```

```
        T[i,j] := T1 ;
```

```
      End;
```

```
    End;
```

```
n := 0;
```

```
8:k := 0;
```

```
For i := 1 to node do
```

```
  Begin {begin of main loop}
```

```
    For j := -z to node do
```

```
      Begin
```

```
        If i = 1 then goto 1;
```

```
        If j = -z then goto 2;
```

```
        If j > 0 then goto 3;
```

```
        If i = node then goto 4;
```

```
        Ttemp := ( sqr(dely)*(T[i,j+1] + T[i,j-1])
```

```
          + sqr(delx)*(T[i+1,j] + T[i-1,j]) )/( 2*(sqr(delx)
```

```
          + sqr(dely)));
```

```
          {temperature at interior node}
```

```
        goto 10;
```

```
1:      If j = node then goto 5;
```

```
        Ttemp := (T[i,j+1] + T[i,j-1] + (2*sqr(tan(rad))*T[i+1,j]))
```

```
          /(2*(sqr(tan(rad)) + 1));
```

```
          {temperature on adiabatic side}
```

```
        goto 10;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

2:      If i = node then goto 6;
      Ttemp := (a*ta + b*T[i,j+1] + c*(T[i-1,j] - T[i+1,j]))/d;
           {temperature on the ceiling}
      goto 10;

3:      If j = (node+1)-i then goto 6;
      Ttemp := ( sqrt(dely)*(T[i,j+1] + T[i,j-1])
                + sqrt(delx)*(T[i+1,j] + T[i-1,j]) )/( 2*(sqrt(delx)
                + sqrt(dely)));
           {temperature at interior node}
      goto 10;

4:      Ttemp := ( (k1*delx*T1)/(d1*cos(rad))
                + ( (k1*d1*cos(rad))/(2*delx)
                + (k3*tan(rad))/2 )*( T[i-1,j-1] + T[i+1,j+1] ) )
                / ( (k1*delx)/(d1*cos(rad))
                + (k1*delx*cos(rad))/(2*delx) + (k3*tan(rad))/2 );
           {temperature of side roof}
      goto 10;

5:      Ttemp := t1;
      goto 10;

6:      utemp := ( (k1*delx*T1)/(d1*cos(rad))
                + ( (k1*d1*cos(rad))/(2*delx)
                + (k3*tan(rad))/2 )*( T[i-1,j-1] + T[i+1,j+1] ) )
                / ( (k1*delx)/(d1*cos(rad))
                + (k1*delx*cos(rad))/(2*delx) + (k3*tan(rad))/2 );
           {temperature of roof}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

10:   diff := Ttemp - T[i,j];
      If abs(diff) - eps1 < 0 then goto 20;
      k := k+1;
20:   T[i,j] := Ttemp;
      End;
      End; {end of main loop}
      n := n+1;
      If n-nmax >= 0 then goto 30;
      If k = 0 then goto 30;
      Write (' ',n:2,' ',k:3);
      Writeln;
      Goto 8;
30:  Write (' ',n:2,' ',k:3);
      Writeln;
      Writeln;
      Writeln;
      Writeln('Temperature distribution in the roof when  $\theta =$ 
            ,degree:4:0);
      {Write temperature distribution in the roof}
      For j := node downto -(z-1) do
      Begin
        If j <= 0 then goto 40;
        For i := 1 to (node+1)-j do
        Begin
          Write(T[i,j]:7:2);
        End;
        Goto 50;

```

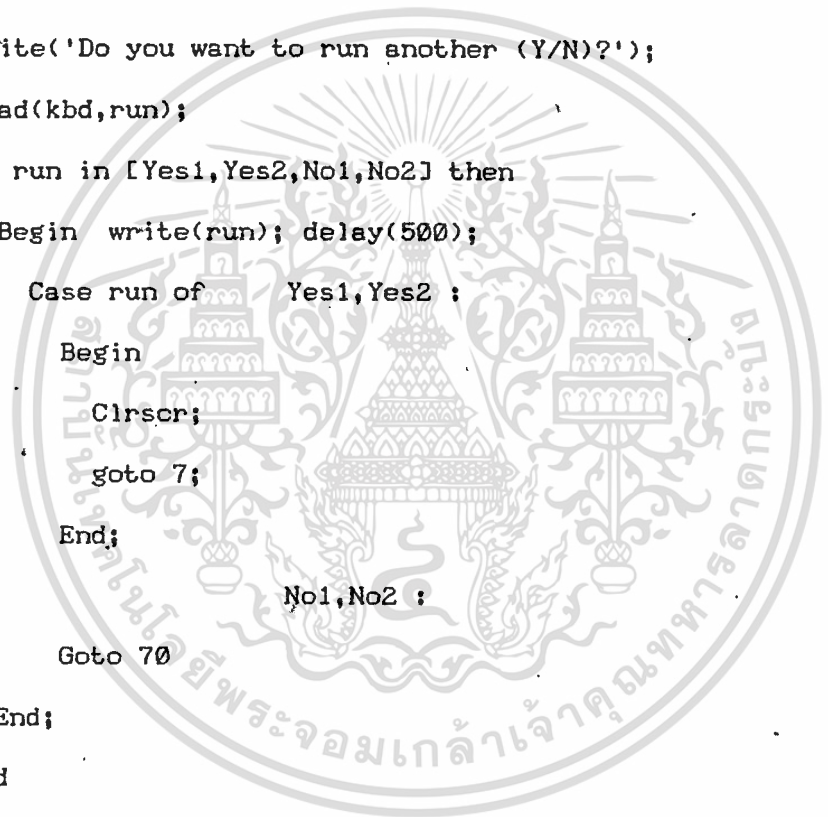
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

40:   For i := 1 to n0de do
      Begin
        Write(T[i,j]:7:2);
      End;
50:   Writeln;
      End;
      Writeln;

      Write('Do you want to run another (Y/N)?');
60: Read(kbd,run);
      If run in [Yes1,Yes2,No1,No2] then
        Begin write(run); delay(500);
          Case run of
            Yes1,Yes2 :
              Begin
                Clrscr;
                goto 7;
              End;
            No1,No2 :
              Goto 70
          End;
        End;
      Else {else of if table}
        Goto 60;
70:END. {end of main program}

```



ผลของ Program : เราจะแบ่ง Run Program ออกเป็น 2 ช่วง คือช่วงแรก จะเพิ่มมุม 0 ขึ้นไปเรื่อย ๆ โดยกำหนดให้ฟ้าเพดานอยู่คงที่ เพื่อที่จะหาว่ามุมใดเป็นมุมที่เหมาะสม โดย Run จนกระทั่งเมื่อเพิ่มมุม 0 แล้วอนุหุมุมจุดที่ต่ำที่สุดไม่ลดลง หรือลดลงน้อยมาก ซึ่งผลลัพธ์ของโปรแกรมจะเป็นดังต่อไปนี้

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Assign The length of ceiling (cm) = 30.00
 Maximum grid row (or column) number, n = 7
 The number of z = 0
 Angle of roof, θ (degree) = 30.00
 Maximum number of interations desired = 100
 Epsilon = 0.010

Interation Number	Number of grid points
1	48
2	48
3	48
4	48
5	48
6	48
7	48
8	48
9	47
10	47
11	47
12	47
13	45
14	45
15	43
16	42
17	39
18	35
19	35
20	33
21	28
22	26
23	21
24	13
25	5
26	2
27	0

Temperature distribution in the roof when $\theta = 30.0$

3_4.20
 313.85 314.09
 313.35 313.67 314.00
 312.63 312.99 313.46 314.09
 311.60 311.94 312.39 313.09 314.00
 310.51 310.48 310.50 311.18 312.32 314.03
 309.40 307.80 307.39 307.68 303.71 310.60 314.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Assign The length of ceiling (cm) = 30.00
 Maximum grid row (or column) number, n = 7
 The number of z = 0.
 Angle of roof , θ (degree) = 40.00
 Maximum number of iterations desired = 100
 Epsilon = 0.010

Iteration Number	Number of grid points
1	46
2	48
3	48
4	48
5	48
6	48
7	48
8	17
9	47
10	17
11	46
12	45
13	45
14	44
15	43
16	41
17	39
18	35
19	35
20	32
21	27
22	24
23	13
24	5
25	0

Temperature distribution in the roof when $\theta = 40.0$

314.20
 313.37 314.11
 313.18 313.48 314.11
 311.07 312.37 313.03 314.11
 310.57 310.74 311.33 312.41 314.11
 308.07 308.58 308.97 309.83 311.48 314.11
 306.94 305.58 305.66 306.21 307.47 309.78 314.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Do you want to run another (Y/N)?
 Assign The length of ceiling (cm) = 30.00
 Maximum grid row (or column) number, n = 7
 The number of z = 0
 Angle of roof , θ (degree) = 50.00
 Maximum number of iterations desired = 100
 Epsilon = 0.010

Iteration Number	Number of grid points
1	45
2	45
3	48
4	48
5	48
6	48
7	47
8	47
9	46
10	46
11	45
12	44
13	44
14	41
15	41
16	39
17	38
18	33
19	32
20	29
21	24
22	20
23	9
24	4
25	0

Temperature distribution in the roof when $\theta = 50.0$

314.20
 313.92 314.14
 312.99 313.18 314.14
 311.52 311.68 312.54 314.14
 309.58 309.59 310.40 311.83 314.14
 307.30 307.27 307.76 308.89 310.87 314.14
 305.10 304.48 304.65 305.35 306.70 309.16 314.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า,
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Do you want to run another (Y/N)?
 Assign The length of ceiling (cm) = 30.00
 Maximum grid row (or column) number, n = 7
 The number of z = 0
 Angle of roof, θ (degrec) = 55.00
 Maximum number of interations desired = 100
 Epsilon = 0.010

Interation Number	Number of grid points
1	45
2	45
3	48
4	48
5	48
6	48
7	47
8	46
9	46
10	45
11	44
12	43
13	41
14	41
15	41
16	39
17	33
18	32
19	31
20	27
21	23
22	19
23	12
24	6
25	1
26	0

Temperature distribution in the roof when $\theta = 55.0$

314.20
 313.97 314.15
 312.20 312.99 314.16
 311.22 311.33 312.30 311.16
 309.16 309.23 310.01 311.59 314.16
 308.20 306.79 307.33 308.55 310.64 314.17
 304.11 301.06 301.33 305.07 306.43 308.92 314.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Do you want to run another (Y/N)?
 Assign The length of ceiling (cm) = 20.00
 Maximum grid row (or column) number, n = 7
 The number of z = 0
 Angle of roof , θ (degree) = 60.00
 Maximum number of iterations desired = 100
 Epsilon = 0.010

Iteration Number	Number of grid points
1	42
2	45
3	48
4	48
5	48
6	47
7	46
8	46
9	45
10	44
11	43
12	41
13	41
14	41
15	39
16	36
17	33
18	32
19	29
20	26
21	22
22	18
23	15
24	10
25	5
26	2
27	0

Temperature distribution in the roof when $\theta = 60.0$

314.20
 313.01 311.17
 312.71 312.79 314.17
 310.32 310.98 312.09 311.17
 308.78 309.82 309.08 311.40 311.17
 306.9 303.34 306.09 308.27 310.15 311.17
 303.1 301.77 304.08 301.85 300.21 308.71 314.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Do you want to run another (Y/N)?

Assign The length of ceiling (cm) = 30.00
Maximum grid row (or column) number, n = 7
The number of z = 0
Angle of roof , θ (degree) = 66.00
Maximum number of interations desired = 100
Epsilon = 0.010

Interation Number	Number of grid points
1	38
2	45
3	48.
4	48
5	48
6	46
7	46
8	46
9	44
10	43
11	42
12	41
13	39
14	39
15	36
16	35
17	33
18	29
19	27
20	25
21	21
22	18
23	17
24	14
25	12
26	9
27	3
28	0

Temperature distribution in the roof when $\theta = 66.0$

314.20
314.04 314.18
312.51 312.54 314.18
310.57 310.59 311.87 314.18
308.37 308.39 309.36 311.21 314.18
306.00 306.00 306.67 308.02 310.27 314.18
303.57 303.47 303.85 304.67 306.02 308.52 314.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Do you want to run another (Y/N)?
 Assign The length of ceiling (cm) = 30.00
 Maximum grid row (or column) number, n = 7
 The number of = 0
 Angle of roof, θ (degree) = 67.00
 Maximum number of iterations desired = 100
 Epsilon = 0.010

Iteration Number	Number of grid points
1	38
2	45
3	48
4	48
5	48
6	46
7	46
8	45
9	44
10	42
11	42
12	40
13	39
14	39
15	36
16	35
17	33
18	29
19	26
20	25
21	21
22	18
23	17
24	14
25	13
26	11
27	6
28	2
29	0

Temperature distribution in the roof when $\theta = 67.0$

1.05 31.112
 1.07 31.170 1.11 31.170
 1.07 31.170 1.11 31.170
 1.07 30.170 1.11 30.170 1.15 30.170
 1.05 30.170 1.11 30.170 1.15 30.170
 1.07 30.170 1.11 30.170 1.15 30.170 1.19 30.170

Plot - contour of Isothermal lines

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

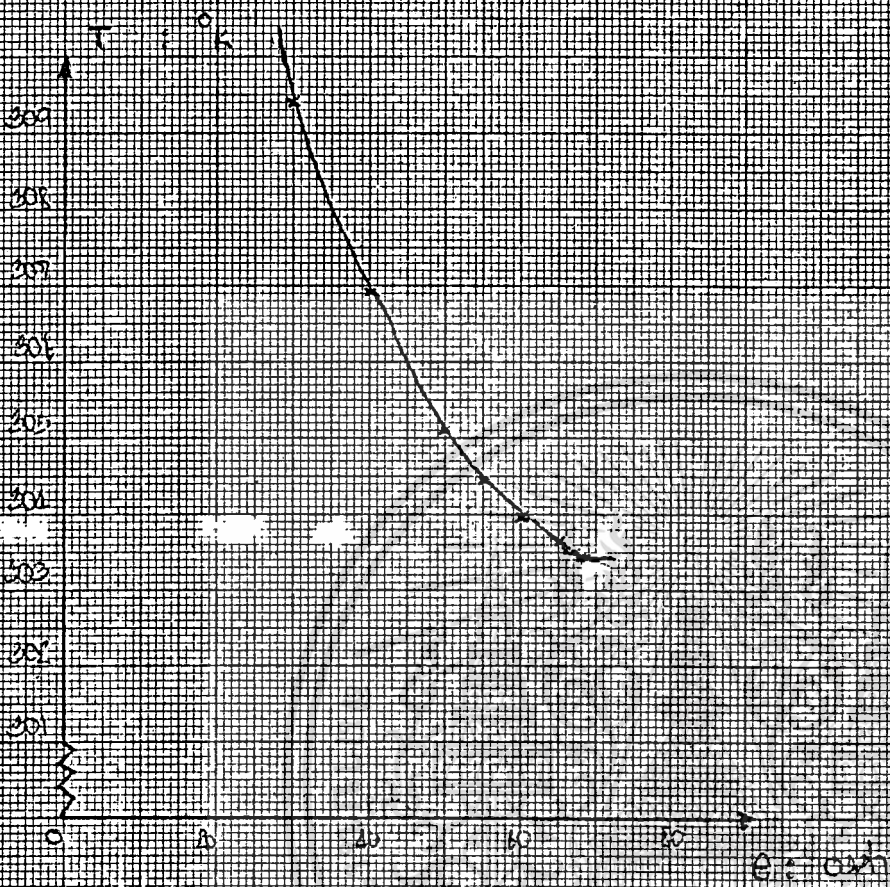
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Do you want to run another (Y/N)?
 Assign The length of ceiling (cm) = 30.00
 Maximal grid row (or column) number, n = 7
 The number of z = 0
 Angle of roof, θ (degree) = 68.00
 Maximum number of iterations desired = 100
 Lipsi = 0.010

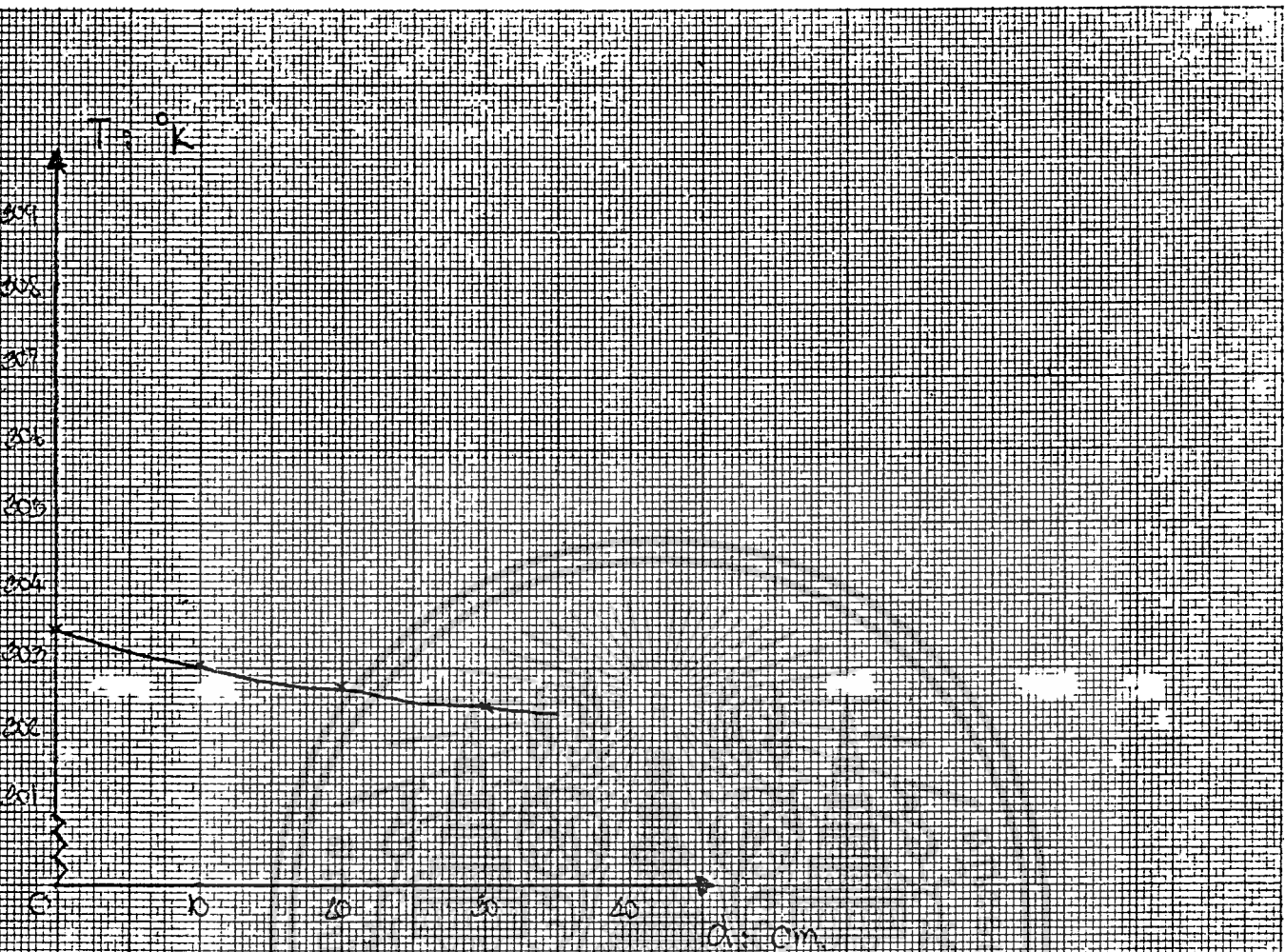
Iteration Number	Number of grid points
1	38
2	45
3	48
4	48
5	48
6	45
7	46
8	45
9	43
10	42
11	42
12	40
13	39
14	38
15	36
16	35
17	34
18	28
19	26
20	25
21	24
22	18
23	17
24	15
25	14
26	12
27	3
28	2
29	0

Temperature distribution in the roof when $\theta = 8.1$

1.20
 1.10
 1.00
 0.90
 0.80
 0.70
 0.60
 0.50
 0.40
 0.30
 0.20
 0.10
 0.00



ที่ชั้นบรรยากาศ ชั้นสูง อุณหภูมิที่ลดลง "T" กับ ความสูงที่ห่าง "s"
 คือ ความสูงของชั้นบรรยากาศที่ต่ำกว่า



ค่าของอุณหภูมิที่ระยะ d กับ ความสูงของหลอด d'
 มีค่าแตกต่างกัน 0° ถึง 69°

จากผลในช่วงที่ 1 พบว่า มุมที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 67° ดังนั้นในช่วงที่ 2 นี้ เราจะกำหนดให้มุม 67° คงที่ แต่จะเพิ่มความสูงระหว่างผ้าเพดานกับหลังคาเพื่อตรวจสอบว่า หลังคาควรจะมี ความสูงเท่าไรจึงจะเหมาะสม

เรากำหนดให้ความกว้างของตัวบ้าน = 60 cm

ดังนั้น ความสูงของหลังคา = $30 \tan 67^\circ = 70.67$ cm

เราต้องการคำนวณอุณหภูมิที่ ความสูงของเพดาน = 10, 20 และ 30 cm ดังนั้น จึงแบ่งจำนวนช่องออกเป็น 7 ช่อง เพื่อที่จะได้ความสูงของหลังคากว้างช่องละประมาณ 10 cm

เมื่อความสูงของเพดาน เท่ากับ 10 cm จะได้การกระจายของอุณหภูมิดังนี้

314.20						
314.08	314.18					
312.76	312.79	314.18				
311.18	311.15	312.26	314.18			
309.30	309.31	310.18	311.78	314.18		
307.31	307.31	307.97	309.23	311.20	314.18	
305.20	305.20	305.65	306.56	308.04	310.51	314.18
303.08	302.99	303.24	303.78	304.70	306.61	314.18

เมื่อความสูงของเพดาน เท่ากับ 20 cm จะได้การกระจายของอุณหภูมิดังนี้

314.20						
314.09	314.18					
312.98	313.00	314.18				
311.60	311.61	312.56	314.18			
310.05	310.65	310.82	312.20	314.18		
308.35	308.35	308.96	310.11	311.84	314.18	
306.54	306.54	307.00	307.91	309.37	311.61	314.18
304.64	304.63	304.95	305.62	306.77	308.99	314.18

เมื่อความสูงของเขตนาน เท่ากับ 30 cm จะได้รับการกระจายของอุณหภูมิดังนี้

314.20

314.10 314.18

313.15 313.17 314.18

311.96 311.97 312.80 314.18

310.63 310.63 311.31 312.52 314.18

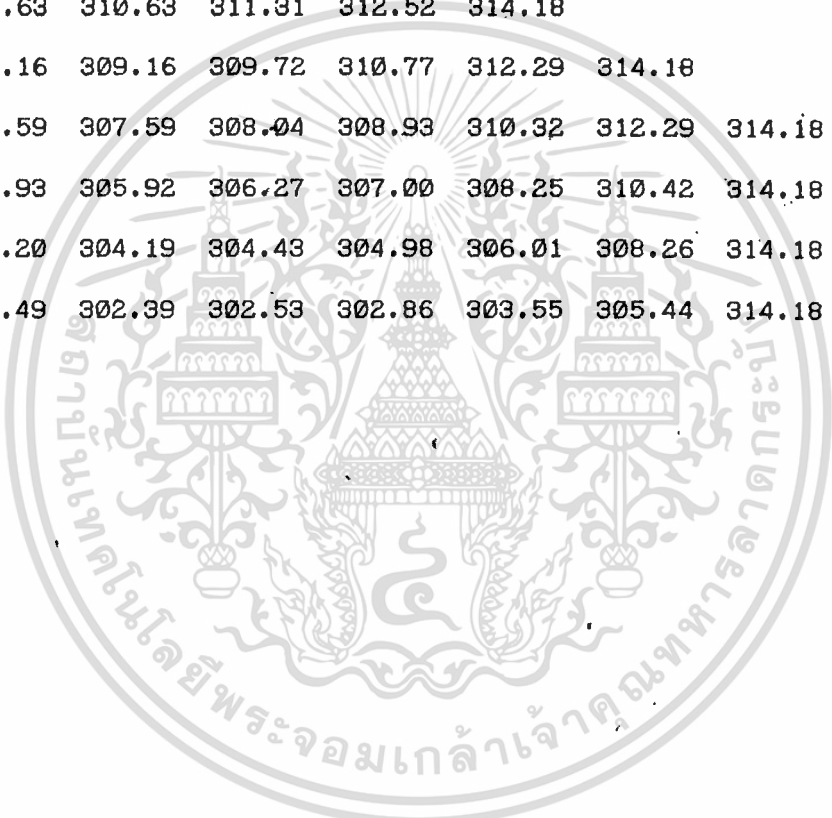
309.16 309.16 309.72 310.77 312.29 314.18

307.59 307.59 308.04 308.93 310.32 312.29 314.18

305.93 305.92 306.27 307.00 308.25 310.42 314.18

304.20 304.19 304.43 304.98 306.01 308.26 314.18

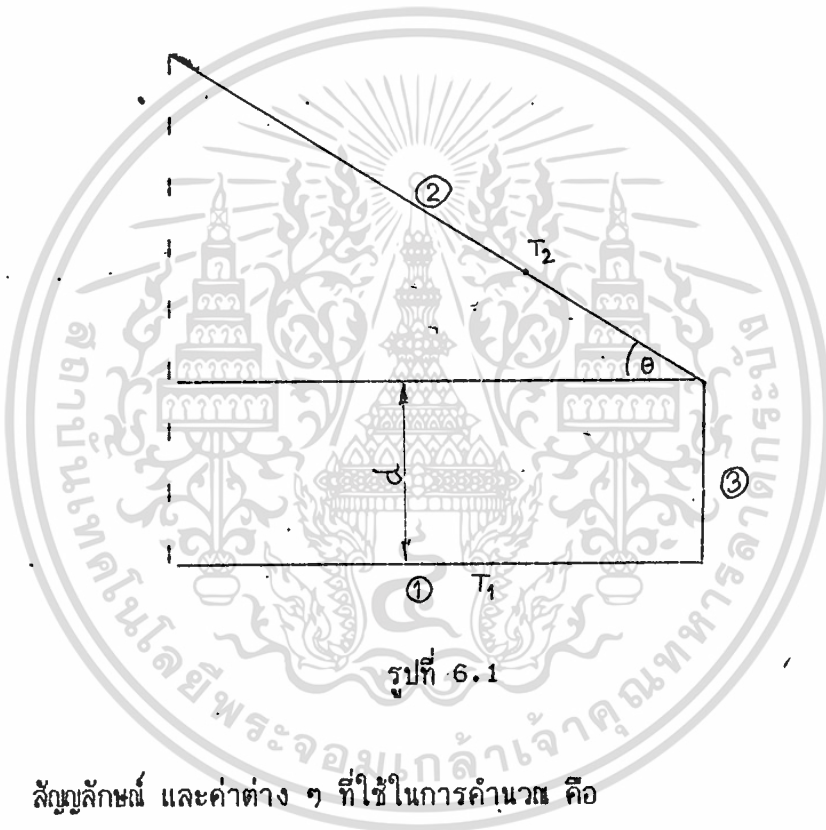
302.49 302.39 302.53 302.86 303.55 305.44 314.18



บทที่ 6

การคิดผลของ Radiation ภายในห้องอากาศ

Nodal Equation ที่ได้จากบทที่ 4 นั้น ไม่คิดผลของการ Radiation ภายในห้องอากาศของ Model ในบทนี้จะพิจารณาผลของการ Radiation โดยพิจารณาที่สภาวะ Steady state โดยสมมติว่าอุณหภูมิที่ด้าน 1, 2 และ 3 มีการกระจายอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอ และมีค่าเท่ากันในแต่ละด้าน ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1

สัญลักษณ์ และค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ คือ

- 1 q/a คือ Solar Flux มีค่าเท่ากับ 700 W/m^2
- 2 h คือ Convection Heat Transfer Coefficient มีค่าเท่ากับ $22.7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- 3 ϵ_2, ϵ_1 คือ Emissivity ของวัสดุที่ทำหลังคา และเพดาน มีค่าเท่ากับ 0.96
- 4 α_1 คือ Absorptivity for solar radiation มีค่าเท่ากับ 0.12
- 5 T_∞ คือ Ambient Temperature มีค่าเท่ากับ 300 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาที่ด้าน 2 "หลังคา"

$$\alpha_1 q/A \Big|_s = h(T_2 - T_\infty) + \epsilon_2(E_{b2} - E_{b\infty}) \dots (1)$$

พิจารณาที่ด้าน 3 "หลังคาข้าง"

$$\alpha_1 q/A \Big|_s = h(T_3 - T_\infty) + \epsilon_3(E_{b3} - E_{b\infty}) \dots (2)$$

เพราะว่า $\epsilon_2 = \epsilon_3$
 ดังนั้นจะได้ $E_{b2} = E_{b3}$ หรือ $T_2 = T_3$

จากสมการที่ 1 จะได้

$$E_b = \sigma T^4 = 5.669 \times 10^{-8} \times T^4$$

(σ คือ Stefan - Boltzman constant)

$$(0.96 \times 5.669 \times 10^{-8}) T_2^4 + 22.7 T_2 - (0.96 \times 5.669 \times 10^{-8} \times 300^4) - (22.7 \times 300) - (0.12 \times 700) = 0$$

$$T_2^4 + 4.17 \times 10^8 T_2 - 1.35 \times 10^{11} = 0 \dots (3)$$

นำสมการที่ (3) ไปประมวลผลโดยวิธี Iteration เพื่อหาค่า T_2
 จะได้ $T_2 = 303.41674 \text{ K}$

และจากสมการที่ 1 $(E_{b2} - E_{b\infty}) = \frac{\epsilon_2}{1 - \epsilon_2} (E_{b2} - J_2)$

จะได้ $J_2 = \epsilon_2 E_{b2} + E_{b\infty} \dots (4)$

เมื่อแทนค่า ϵ_2, T_2 และ T_∞ ในสมการที่ 4

จะได้ $J_2 = 5.669 \times 10^{-8} (0.96 \times T_2^4 + 300^4) \dots (5)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาที่ด้าน 1 "เพดาน"

$$\alpha_1 q/A \Big|_s = J_1 - F_{12} J_2 - F_{13} J_3$$

$$J_2 = J_3 \quad (\text{เนื่องจาก } E_{b2} = E_{b3})$$

$$F_{12} = 0.72 - 0.2 (0 - 30) / (60 - 30)$$

$$= 0.92 - (0/150)$$

ค่า F_{12} ที่มุม $\theta = 67^\circ = 0.47$

ค่า F_{13} แสดงไว้ดังนี้

d (cm).	0	10	20	30
F_{13}	0	0.04	0.2	0.015

จะได้ $J_1 = 84 + (F_{12} + F_{13}) J_2$

เพราะว่า $\alpha_1 q/A \Big|_s = \epsilon_1 (E_{b1} - J_1) / (1 - \epsilon_1)$

เมื่อแทนค่าต่าง ๆ จะได้ค่า T_1 ดังนี้

$$T_1 = \sqrt[4]{(3.5 + J_1) / (5.669 \times 10^{-8})}$$

T_1 ก็คือ อุณหภูมิที่เพดานห้อง เมื่อคิดผลของการ Radiation ในช่องว่าง การคำนวณหา T_1 สามารถเขียน โปรแกรมได้ดังนี้

```
Program Radiation;
```

```
Var T1,J1,J2,F12,F13 : REAL;
```

```
Const T2 = 303.416474;
```

```
F12 = 0.4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

BEGIN

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Writeln('Program Calculate T1 When Include Radiation');
writeln;
Writeln(' ----- ');
Writeln(' | d (cm) | 0 | 10 | 20 | 30 | ');
Writeln(' ----- ');
Writeln(' | F13     | 0 | 0.04 | 0.02 | 0.015 | ');
Writeln(' ----- ');
writeln;
writeln;
Write('F13 = ');
Readln(F13);
J2 := 5.669e-8*(0.96 * sqr(sqr(T2)) + 8.1e9);
J1 := 84 + (F12 + F13)*J2;
T1 := sqrt(sqrt((3.5 + J1)/5.669e-8));
Writeln('T1 = ', T1:7:2);
END.

```

ผลที่ได้จะเป็นดังนี้คือ

ที่ d = 10 cm จะได้ T1 = 314.83 K

ที่ d = 20 cm จะได้ T1 = 312.19 K

ที่ d = 30 cm จะได้ T1 = 311.52 K

จากผลจะพบว่า อุณหภูมิที่ได้จะมีค่าสูงกว่าเมื่อไม่คิดผลของ Radiation เล็กน้อย ซึ่งผลการคำนวณจะถูกต้องตรงกับความเป็นจริงหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าคงที่ต่าง ๆ ของวัสดุ

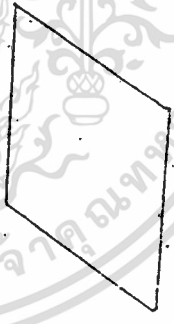
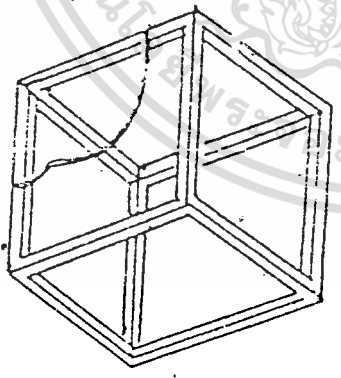
บทที่ 7

การทดลองด้วย Model

ก. วิธีดำเนินการ

Model ที่ใช้ในการทดลอง มีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนด้วยกัน คือ ตัวบ้าน หลังคา และฝ้าเพดาน ซึ่งมีรายละเอียดแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

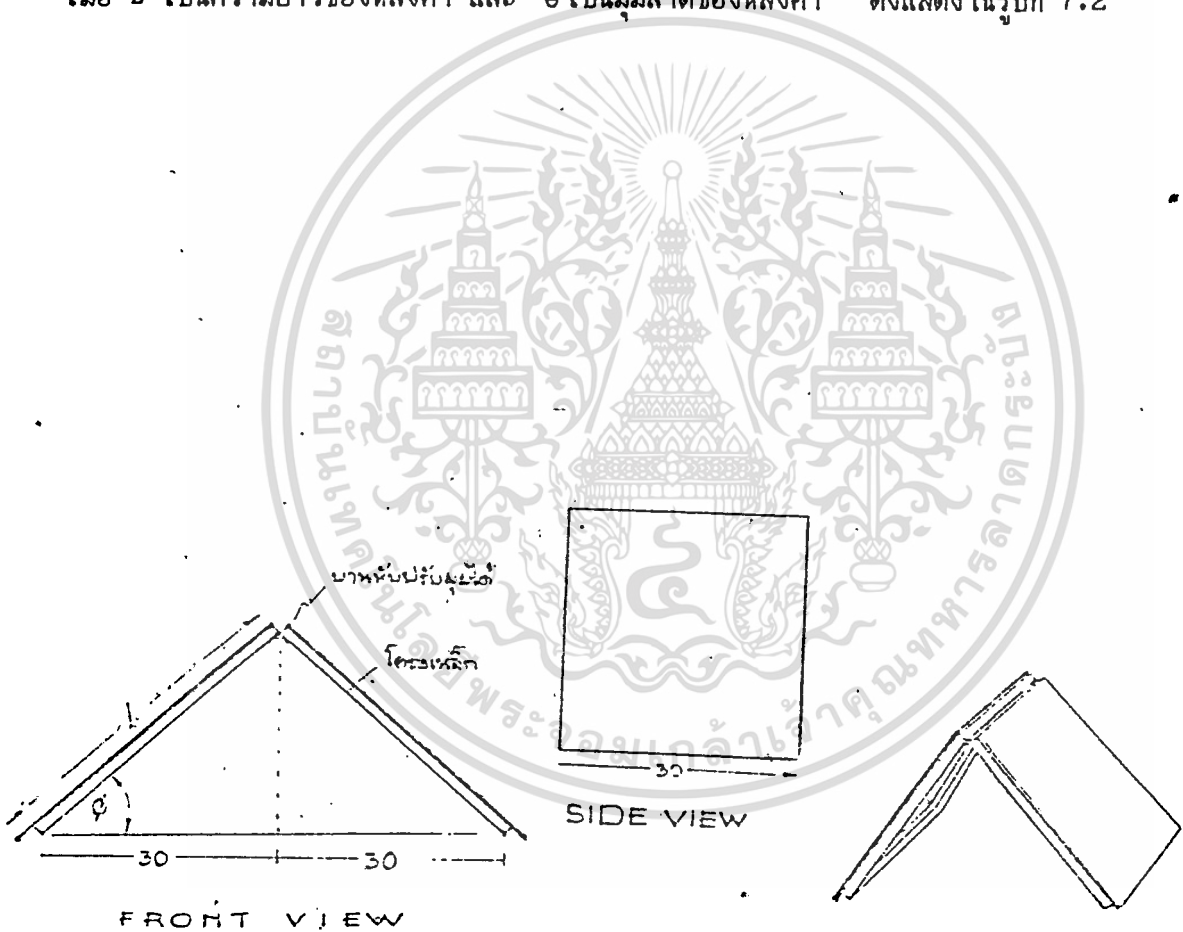
1 ตัวบ้าน ขนาดของตัวบ้าน 60x60x60 เซนติเมตร วัสดุที่ใช้เป็นโครงของตัวบ้านเป็นเหล็กกลวงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1" x 1" ฝ้าด้านในทั้งสี่ด้านเป็นไม้อัดยางหนา 4 มิลลิเมตร ส่วนผนังด้านนอกบุด้วยโฟมหนา 1" ทุกด้านเพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนจากภายนอกไม่ให้เข้ามาสู่ภายในตัวบ้าน หรือให้เข้ามาได้น้อยที่สุด และด้านหนึ่งของผนังติดบานพับเพื่อให้อ่านเปิดอ่านอุณหภูมิภายในได้



2 หลังคา วัสดุที่ใช้เป็นโครงของหลังคาเป็นเหล็กกลวงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส เช่นเดียวกับตัวบ้าน มุงหลังคาด้วยกระเบื้องแผ่นเรียบ ขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร หนา 4 มิลลิเมตร ความยาวแต่ละด้านขึ้นอยู่กับมุมระหว่างหลังคา กับ ผนัง เพดาน, θ หรือเรียกว่า มุมลาดของหลังคา ถ้ามุมลาดของหลังคามาก ก็จะได้ความยาวของหลังคามากและในทางตรงกันข้าม ถ้ามุมลาดของหลังคาน้อย ก็จะได้ความยาวของหลังคาน้อย เช่นเดียวกัน ดังสมการ

$$L = 50 / \cos \theta$$

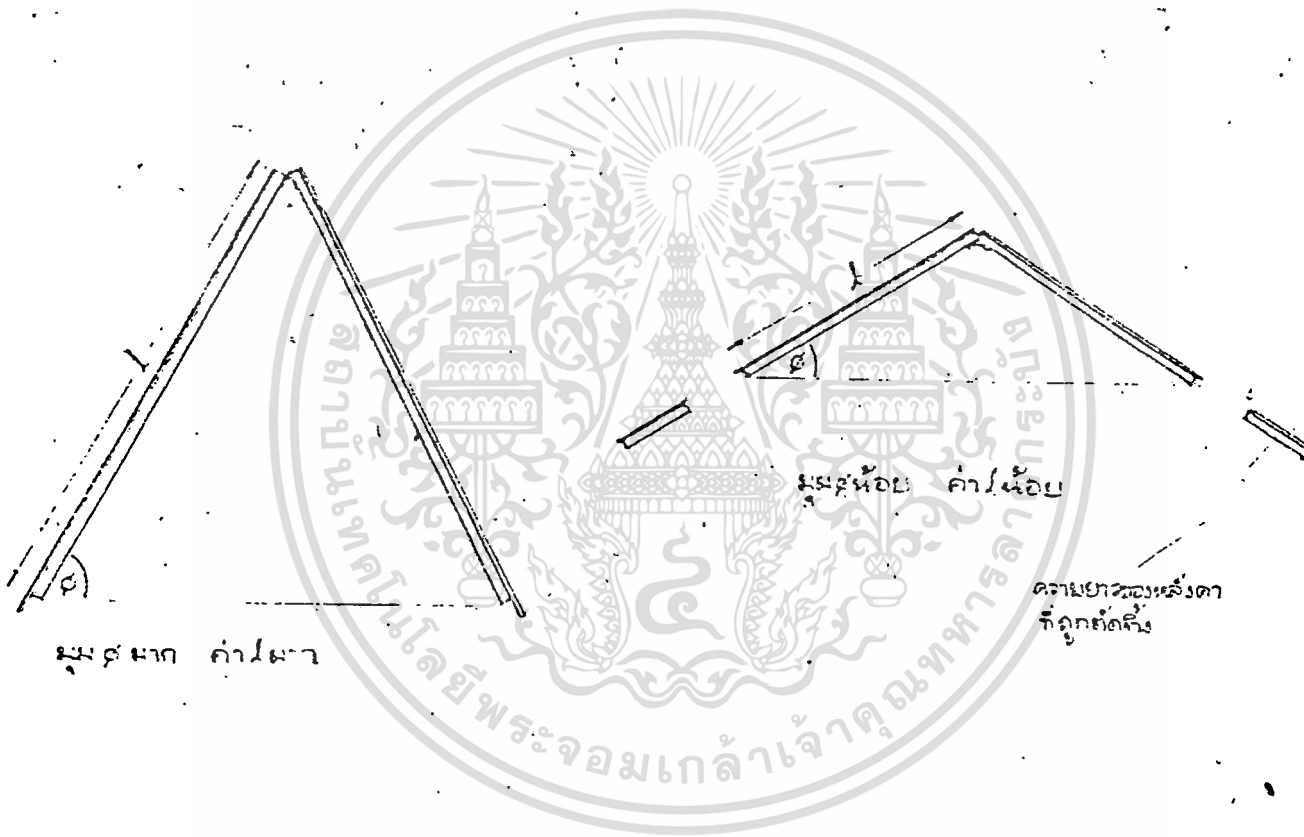
เมื่อ L เป็นความยาวของหลังคา และ θ เป็นมุมลาดของหลังคา ดังแสดงในรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

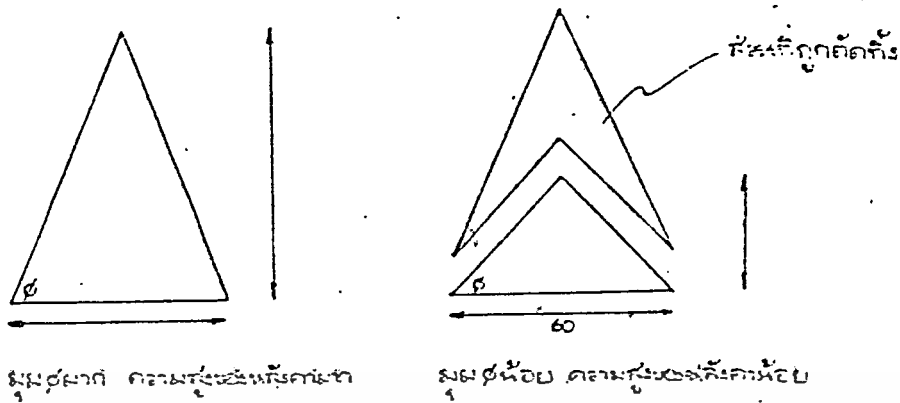
ในการทดลอง จะทดลองที่มุมลาดของหลังคามาก ๆ ก่อน แล้วจึงค่อย ๆ ลดมุมลาดของหลังคาตามลำดับ เพราะว่าการทดลองที่มุมลาดของหลังคามาก ๆ จะมีความยาวของหลังคามาก . ดังนั้น เมื่อทดลองเสร็จแล้วจะทดลองที่มุมลาดของหลังคามุมใหม่ ก็ใช้วิธีการตัดความยาวของหลังคา ดังแสดงในรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.3

หลังคาทั้งสองด้านมีแผ่นประกบ เพื่อทำหน้าที่เปรียบเสมือนตัวยึดมุม แล้วยังทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนอีกด้วย แผ่นประกบนี้ทำด้วยไม้อัดหนา 4 มิลลิเมตร ซึ่งความยาวก็จะเปลี่ยนไปตามมุมลาดของหลังคา และมีหลักการตัดเช่นเดียวกับหลังคา ดังรูปที่ 7.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



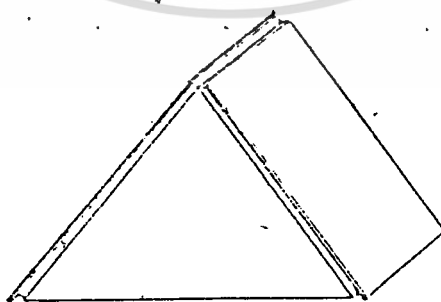
รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า



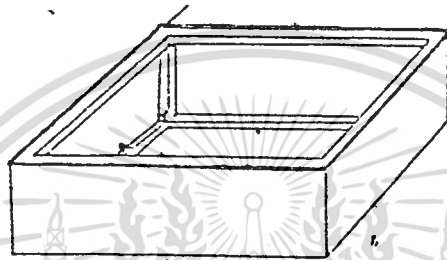
รูปที่ 7.4

ส่วนของหลังคาที่ประกอบเสร็จแล้วจะเป็นดังรูปที่ 7.5



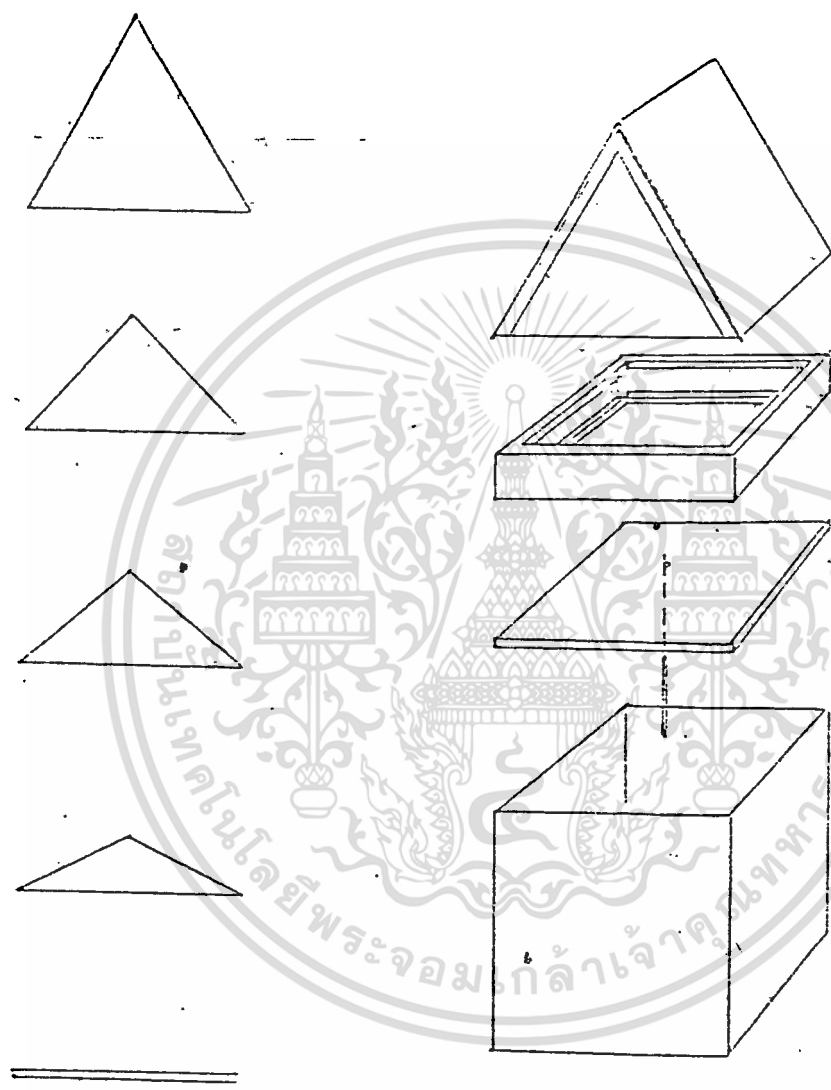
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปที่ 7.5 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 ฝ้าเพดาน ไปด้วยแผ่นยิปซัมบอร์ด ขนาด 60x60 เซนติเมตร ส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างฝ้าเพดานกับหลังคามีความสูง 10 และ 20 เซนติเมตรทำด้วยไม้ และผนังใช้ไม้อัดหนา 4 มิลลิเมตร กั้นโดยรอบ ดังรูปที่ 7.6



รูปที่ 7.6

การประกอบขึ้นส่วนทั้ง 3 ชั้นเข้าด้วยกันใช้วิธีวางทับธรรมดา และทำการเชื่อมติดรอยต่อด้วยกระดาษกาว ใสเทอร์โมมิเตอร์เพื่อวัดอุณหภูมิของอากาศภายใน โดยเจาะรูฝ้าเพดาน แล้วยึดเทอร์โมมิเตอร์ไว้ที่รูนั้น การประกอบขึ้นส่วนหลักแสดงดังรูปที่ 7.7 ในหน้าถัดไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 7.7 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๕. ผลการทดลอง

ที่ D = 0

Ø	75	70	65	60	55	50	40	20	0
T	33	34	35.5	36	34.5	31.7	33.5	36.5	34

ที่ D = 10 cm

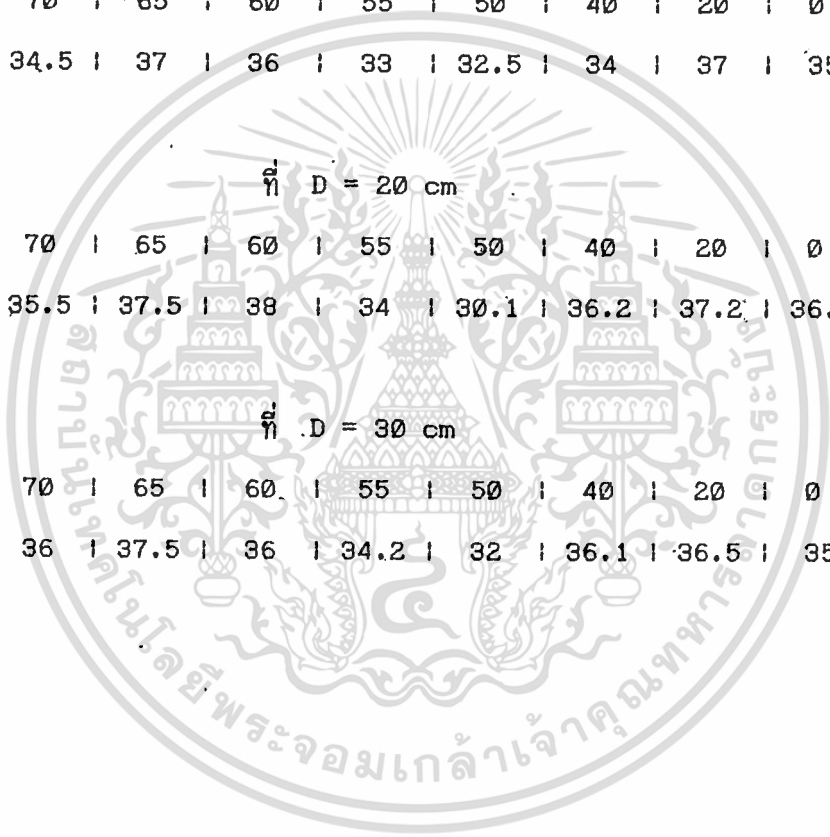
Ø	75	70	65	60	55	50	40	20	0
T	33.5	34.5	37	36	33	32.5	34	37	35

ที่ D = 20 cm

Ø	75	70	65	60	55	50	40	20	0
T	34	35.5	37.5	38	34	30.1	36.2	37.2	36.6

ที่ D = 30 cm

Ø	75	70	65	60	55	50	40	20	0
T	35	36	37.5	36	34.2	32	36.1	36.5	35



ภาคผนวก

วิธีของ Gauss-Sidel

วิธีของ Gauss-Sidel เป็นวิธีที่ใช้หาคำตอบของชุดของสมการโดยวิธีการคำนวณซ้ำ ด้วยการกำหนดค่าเริ่มต้นของคำตอบของสมการอย่างคร่าว ๆ (Approximation) ให้แก่ตัวแปร แล้วใช้คำตอบที่ได้นี้ไปแทนค่าตัวแปรเพื่อหาคำตอบใหม่ จากนั้นคำตอบก็จะถูกหาซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งได้คำตอบที่ยอมรับได้ว่าเป็นค่าที่ถูกต้อง

คำตอบแต่ละครั้งที่ได้มานั้นขึ้นอยู่กับค่าของคำตอบที่ได้มาก่อนหน้านั้น ค่าความผิดพลาดต่าง ๆ ของคำตอบ สามารถตรวจสอบได้โดยเปรียบเทียบคำตอบปัจจุบันกับคำตอบที่ได้มาก่อนหน้านั้น และวิธีนี้ยังใช้หาคำตอบของสมการที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้อีกด้วย

ตัวอย่าง พิจารณาชุดของสมการข้างล่างนี้

$$\begin{aligned}
 13I_1 - 8I_2 - 3I_3 &= 20 && \dots\dots(1) \\
 -8I_1 + 10I_2 - I_3 &= 5 && \dots\dots(2) \\
 -3I_1 + I_2 + 11I_3 &= 0 && \dots\dots(3)
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ 1 เราจะได้ I_1 ในเทอมของ I_2 และ I_3 ดังนี้

$$I_1 = (20 + 8I_2 + 3I_3)/13 \dots\dots(4)$$

ดังนั้น ถ้าเรากำหนดให้คำตอบเริ่มแรกของ I_2 และ I_3 เป็นศูนย์ จากสมการที่ 4 ก็จะได้ $I_1 = 1.54$

และจากสมการที่ 2 จะได้ I_2 ในเทอมของ I_1 และ I_3 ดังนี้

$$I_2 = (8I_1 + I_3 - 5)/10$$

แทนค่า $I_1 = 1.54$ และ $I_3 = 0$ จะได้ $I_2 = 0.73$

ในทำนองเดียวกัน จะได้ $I_3 = (3I_1 + I_2)/11$

ด้วยวิธีการดังกล่าวข้างต้น ค่า $I_2 = 0.73$ และ $I_3 = 0.486$ จะถูกใช้เพื่อหาค่าของ I_1 ใหม่

เมื่อการคำนวณซ้ำเช่นนี้ผ่านไป 20 ครั้ง ก็จะได้คำตอบที่ถูกต้องของ I_1 , I_2 และ I_3 ซึ่งส่วนหนึ่งของคำตอบของสมการ แสดงไว้ข้างล่างนี้

I_1	I_2	I_3
0	0	0
1.54	0.73	0.486
2.10	1.23	0.685
2.45	1.53	0.808
2.67	1.71	0.883

แต่อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ก็อาจมีปัญหาเกิดขึ้นได้ คือ กระบวนการหาคำตอบอาจจะไม่ลู่เข้า คือเมื่อยิ่งหาคำตอบหลาย ๆ ครั้ง ก็จะได้คำตอบห่างจากคำตอบที่ถูกต้องไปทุกที ซึ่งจะยกตัวอย่างให้ดูดังนี้

จากตัวอย่างข้างต้น ถ้าเราเขียนในอีกแบบหนึ่ง คือ

$$I_1 = (11I_3 - I_2)/3$$

$$I_2 = (13I_1 - 3I_3 - 20)/13$$

$$I_3 = 10I_2 - 8I_1 + 5$$

และกำหนดให้คำตอบแรกของ I_1 , I_2 และ I_3 มีค่าเท่ากับศูนย์ จะได้คำตอบในลำดับต่อ ๆ ไป ดังต่อไปนี้

I_1	I_2	I_3
0	0	0
0	-1.5	-15
-57	-54	-92
-318	-299	-440

ดังนั้น จึงเป็นหน้าที่ของผู้หาคำตอบที่จะต้องเลือกเขียนตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งในเทอมของตัวแปรที่เหลือให้ถูกต้องไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริิญาานิพนธ์ 1,2 นี้ สำเร็จลุล่วงได้ดีก็โดยได้รับความอนุเคราะห์ จาก ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์ และอาจารย์ มิ่ง โลกิจแสงทอง ที่ให้คำปรึกษา และให้ยืมหนังสือประกอบการ ศึกษา จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ และขอขอบคุณ คุณโชติวุฒิ อินันตดา ที่กรุณาให้ยืมหนังสือ Heat Transfer ของ J.P. Holman ตลอดการทำปริิญาานิพนธ์นี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. J.P Holman "Heat Transfer", 5 th ed., Southern Methodist University.
2. นายวิทยา ตั้งธนาพร และ นายสพจน์ จารุกำจร, ปริญญาโท เรื่อง "Optimum Design of roof and ceiling for resident house" ปีการศึกษา 2529, อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร. มงคล มลคกลางศาโรจน์ และ ผศ. สมชัย เกาสัมบัติ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง.
3. E.M. Sparrów & R.D. Cess, "Radiation Heat Transfer" Augmented Edition Mcgraw Hill
4. M.C James, G.M. Smith, J.C. Wolford, "Apply Numerical Method for Digital Computer"
5. Alan R.Miller, " Turbo pascal Programs for Scientists & Engineers ", SYBEX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้