

การกระจายอุณหภูมิและความเร็วของอากาศแบบ 2 มิติ ภายในบริเวณปรับอากาศ Two Dimensional Temperature and Air Velocity Distribution in Air Conditioning Space

เชิดพันธ์ วิทูรภรณ์, มาโนช กิจเจริญศักดิ์กุล
ห้องปฏิบัติการ Building Technology & Environment
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถ.พญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทร 66(2)2186622, โทรสาร 66(2)2522889, E-Mail: fmevnt@kankrow.eng.chula.ac.th

Chirdpun Vitooraporn, Manote Kitchareonsakkul
Building Technology & Environment Laboratory
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn university,
Phayathai Rd., Phatumwan, Bangkok 10330 Thailand

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการคำนวณหาการกระจายอุณหภูมิและความเร็วอากาศแบบ 2 มิติภายในบริเวณอากาศ โดยคำนึงถึงแหล่งกำเนิดความร้อนแบบเป็นจุดที่กระจายอยู่ภายในบริเวณปรับอากาศ ทั้งนี้เพื่อสร้างรูปแบบของการกระจายอุณหภูมิและความเร็วของอากาศที่เกิดขึ้น ซึ่งจะทำให้การพิจารณาหาตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปรับอากาศกระทำได้อย่างเหมาะสมที่สุด

ในด้านการคำนวณนั้นได้พิจารณาการคำนวณแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่คำนวณหาความเร็วของอากาศภายในบริเวณปรับอากาศ และส่วนที่คำนวณหาอุณหภูมิที่กระจายอยู่ภายในบริเวณปรับอากาศ โดยใช้ค่าของความเร็วที่คำนวณได้ ทั้งนี้ การจัดรูปแบบของสมการการต่อเนื่อง สมการการเคลื่อนที่ และสมการพลังงานที่ใช้ในการคำนวณนั้นกระทำโดยอาศัยระเบียบวิธีเชิงเลขแบบไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite Difference Method) และใช้การแก้สมการด้วยวิธีการทำซ้ำโดยตรง (Direct Iteration) สำหรับสมการที่ไม่เป็นเชิงเส้น และวิธีการกำจัดแบบเกาส์ (Gauss Elimination Method) สำหรับสมการที่เป็นเชิงเส้น โดยใช้ภาษาซีในการเขียนโปรแกรม ผลลัพธ์ที่ได้แสดงออกมาในรูปกราฟฟิกของเวกเตอร์ความเร็วอากาศ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ และขนาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ

Abstract

In this research, the study of the two dimensional temperature and air velocity distribution in air conditioning space was performed. The effect of heat load as point loads distributed inside the space was included. The objective is to create the model of temperature and air velocity distribution. This model can be used in considering the position of air conditioning unit

which provides the most appropriate temperature and air velocity distribution for the specified space.

The calculation part is classified into 2 parts including the calculation of air velocity distribution inside the air conditioning space and the temperature distribution which calculated based on the calculated air velocity. The formulation of continuity equation, equation of motion and energy equation is arranged using the finite difference method. The formulation is then solved using direct iteration method for non-linear equations and Gauss elimination method for linear equations. The C programming language is used for writing the computer program. Results is then presented in the graphic form of velocity vector at different locations as well as magnitude of temperature that exist in various positions.

1.บทนำ

ระบบปรับอากาศได้มีบทบาทสำคัญต่อสภาวะปัจจุบันนี้เป็นอย่างมากและมีส่วนช่วยให้ผู้อยู่อาศัยมีความรู้สึกสบายในการประกอบภารกิจต่าง ๆ ภายในบริเวณพื้นที่ปรับอากาศ ดังนั้น จึงอาจกล่าวได้ว่าระบบปรับอากาศในปัจจุบันถือได้ว่าเป็นส่วนประกอบสำคัญส่วนหนึ่งของอาคาร สถานที่ต่าง ๆ ซึ่งในระบบปรับอากาศที่สมบูรณ์นั้นนอกจากจะต้องมีขีดความสามารถในการทำความเย็นได้ตามที่ต้องการแล้วยังจะต้องสามารถปรับอากาศภายในบริเวณปรับอากาศให้มีการกระจายของอุณหภูมิ ความเร็วและความชื้นของอากาศให้สม่ำเสมอตามที่กำหนดไว้ในการออกแบบ ซึ่งในส่วนนี้จะต้องอาศัยความเหมาะสมของตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทราบถึงการกระจายของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศภายในบริเวณปรับอากาศ เพื่อที่จะนำมาใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาเลือกตำแหน่งที่ตั้งของ

เครื่องปรับอากาศที่เหมาะสม การสร้างแบบจำลองโดยวิธีเชิงตัวเลขจึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าว

2. สมการที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนด้วยการพา

ในการพิจารณาการเกิดความร้อนขึ้นภายในบริเวณปรับอากาศนั้น จะมีการเกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนภายในบริเวณปรับอากาศ 2 ลักษณะ คือ การนำความร้อน และการพาความร้อน กล่าวคือ ความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายนอกที่ไหลเข้าสู่ภายในบริเวณปรับอากาศจะเกิดจากการนำความร้อนและเมื่ออยู่ภายในบริเวณปรับอากาศจะเกิดการพาความร้อนขึ้น โดยเป็นการพาความร้อนแบบบังคับ ทั้งนี้เพราะว่าการกระจายของลมเย็นที่เกิดขึ้นภายในบริเวณปรับอากาศเกิดจากพัดลมซึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ในระบบเครื่องปรับอากาศเป็นกลไกที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของอากาศภายในบริเวณปรับอากาศ หรืออาจจะกล่าวได้ว่าภายในบริเวณปรับอากาศจะเป็นสนามการไหลของการพาความร้อนแบบบังคับนั่นเอง

สมการที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาจะคิดจากของไหลที่มีความต่อเนื่อง เช่น อากาศ ที่อุณหภูมิ และความดันบรรยากาศ โดยจะมีลักษณะเป็นของไหลที่มีความต่อเนื่องและมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเฉือนและความเครียดเป็นลักษณะเชิงเส้นของไหลที่ประพฤติตัวตามลักษณะที่กล่าวมานี้เรียกว่า ของไหลนิวตันเนียน ซึ่งสำหรับของไหลนิวตันเนียนในลักษณะไหลแบบราบเรียบที่มีองค์ประกอบของความเร็วยูในทิศทางเดียว โดยความแตกต่างเริ่มจากศูนย์สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1)$$

เมื่อ τ = ความเค้นเฉือน, N/m^2

μ = ความหนืดพลศาสตร์ของของไหล, $N.s/m^2$

$\frac{du}{dy}$ = เกรเดียนต์ความเร็ว, s^{-1}

ทั้งนี้ สมการที่เกี่ยวข้องกับการพาความร้อนเพื่อหาสนามการไหลของของไหลดังกล่าวแบบอัดตัวไม่ได้ในระบบ 2 มิติ ซึ่งใช้ระบบแกนพิกัดจาก x และ y ได้แก่

$$\text{สมการความต่อเนื่อง: } \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

สมการการเคลื่อนที่:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

สมการพลังงาน:

$$\rho c_p \left[\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right] = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \left(\frac{\partial p}{\partial t} + u \frac{\partial p}{\partial x} + v \frac{\partial p}{\partial y} \right) + \mu \Phi + q \quad (5)$$

$$\Phi = 2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 - \frac{2}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \quad (6)$$

โดย

u = ความเร็วของของไหลในแนวนอน x

v = ความเร็วของของไหลในแนวนอน y

P = ความดันในสนามการไหล

ν = ความหนืดพลศาสตร์ของของไหล

t = เวลา

T = อุณหภูมิ

ρ = ความหนาแน่น

c_p = ความร้อนจำเพาะ

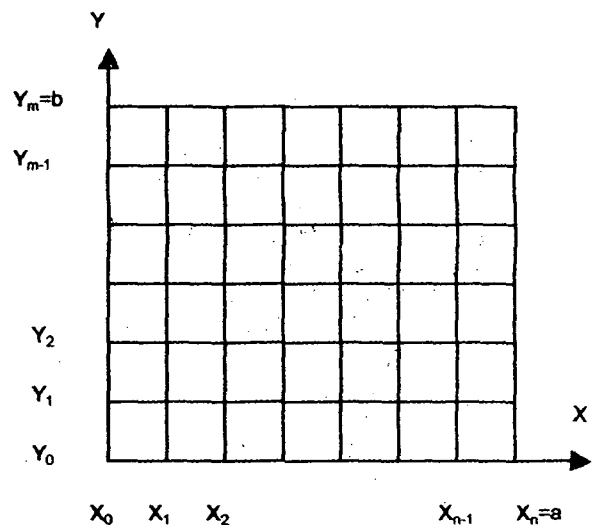
k = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

μ = ความหนืดพลศาสตร์

q = อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยปริมาตร

3. ระเบียบวิธีเชิงเลขแบบไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์

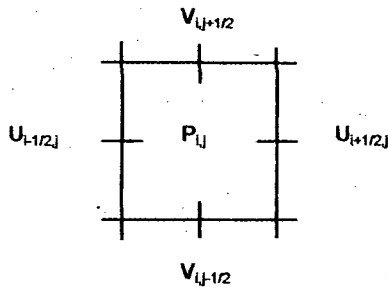
ในการคำนวณหาการกระจายของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศได้นำวิธีการหาผลเฉลยโดยประมาณโดยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์มาช่วยในการแก้ปัญหาสมการเชิงอนุพันธ์ (สมการ (2) - (5)) แบบจำลองของบริเวณที่ปรับอากาศจะแบ่งออกเป็นส่วน ๆ โดยมีรูปแบบการกำหนดตำแหน่งต่าง ๆ ในแนวกว้างและยาวดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1

ทั้งนี้ ขอบเขตที่ศึกษามีจุดพิกัดอยู่ที่ $(0,0)$, $(a,0)$, (a,b) และ $(0,b)$ โดย $a>0$, $b>0$ โดยแบ่งแนวกว้างและแนวยาวออกเป็นส่วน ๆ เท่า ๆ กัน โดยในแนว x แบ่งออกเป็น n ส่วน และในแนว y แบ่งออกเป็น m ส่วน ซึ่งจะทำให้จำนวนเซลล์ทั้งหมดเท่ากับ $n \cdot m$ เซลล์ โดยแต่ละเซลล์จะมีพื้นที่ขนาดกว้าง Δx และสูง Δy กำหนดให้ตำแหน่งตรงกลางเซลล์เป็น (i,j) โดย $i = 1, 2, \dots, n$ และ $j = 1, 2, \dots, m$ ตำแหน่งของตัวแปร u , v และ P ซึ่งแทนค่าความเร็วในแนว x, y และความดันของแต่ละเซลล์จะอยู่

ในตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 2 โดย u อยู่ในตำแหน่งตรงกลางในแนว
ด้านตั้งของแต่ละเซลล์ v อยู่ในตำแหน่งตรงกลางแนวนอนของแต่ละเซลล์
และ P อยู่ตำแหน่งตรงกลางเซลล์



รูปที่ 2

3.1 รูปแบบไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ของสมการความต่อเนื่องและสมการการเคลื่อนที่

สมการ (2) ถูกนำมาจัดอยู่ในรูปไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์แบบ Explicit Centered Finite Difference ได้ดังนี้

$$\left(\frac{u_{i+1/2,j}^{k+1} - u_{i-1/2,j}^{k+1}}{\Delta x} \right) + \left(\frac{v_{i,j+1/2}^{k+1} - v_{i,j-1/2}^{k+1}}{\Delta y} \right) = 0 \quad (7)$$

โดยที่ k เป็นธรรมชาติบอกจำนวนครั้งในการคำนวณของเวลาที่ $t_k = k\Delta t$

ในทำนองเดียวกัน สมการ (3) นำมาจัดในรูปไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์และจัดรูปสมการใหม่จะได้

$$u_{i+1/2,j}^{k+1} = Fu_{i+1/2,j}^k - \Delta t \left(\frac{P_{i+1,j}^k - P_{i,j}^k}{\Delta x} \right) \quad (8)$$

โดย

$$Fu_{i+1/2,j}^k = u_{i+1/2,j}^k - \Delta t \left[\frac{u_{i+1/2,j}^k (u_{i+3/2,j}^k - u_{i-1/2,j}^k)}{2\Delta x} + \frac{v_{i+1/2,j}^k (u_{i+1/2,j+1}^k - u_{i+1/2,j-1}^k)}{2\Delta y} + v\Delta t \left(\frac{u_{i+3/2,j}^k - 2u_{i+1/2,j}^k + u_{i-1/2,j}^k}{\Delta x^2} + \frac{u_{i+1/2,j+1}^k - 2u_{i+1/2,j}^k + u_{i+1/2,j-1}^k}{\Delta y^2} \right) \right] \quad (9)$$

และ

$$v_{i,j+1/2}^k = \frac{v_{i,j+1/2}^k + v_{i+1,j+1/2}^k + v_{i,j-1/2}^k + v_{i+1,j-1/2}^k}{4} \quad (10)$$

สมการ (4) นำมาจัดในรูปแบบไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์และจัดรูปสมการใหม่จะได้

$$v_{i,j+1/2}^{k+1} = Gv_{i,j+1/2}^k - \Delta t \left(\frac{P_{i,j+1}^k - P_{i,j}^k}{\Delta y} \right) \quad (11)$$

โดย

$$Gv_{i,j+1/2}^k = v_{i,j+1/2}^k - \Delta t \left[\frac{u_{i,j+1/2}^k (v_{i+1,j+1/2}^k - v_{i-1,j+1/2}^k)}{2\Delta x} + \frac{v_{i,j+1/2}^k (v_{i,j+3/2}^k - v_{i,j-1/2}^k)}{2\Delta y} + v\Delta t \left(\frac{v_{i+1,j+1/2}^k - 2v_{i,j+1/2}^k + v_{i-1,j+1/2}^k}{\Delta x^2} + \frac{v_{i,j+3/2}^k - 2v_{i,j+1/2}^k + v_{i,j-1/2}^k}{\Delta y^2} \right) \right] \quad (12)$$

และ

$$u_{i,j+1/2}^k = \frac{u_{i-1/2,j}^k + u_{i+1/2,j}^k + u_{i+1/2,j+1}^k + u_{i-1/2,j+1}^k}{4} \quad (13)$$

พิจารณากรณีของเซลล์ที่อยู่ภายในซึ่งไม่มีด้านไหนของเซลล์ติดกับบริเวณขอบเขต จะได้

$$u_{i+1/2,j}^{k+1} = Fu_{i+1/2,j}^k - \Delta t \left(\frac{P_{i+1,j}^k - P_{i,j}^k}{\Delta x} \right) \quad (14)$$

$$u_{i-1/2,j}^{k+1} = Fu_{i-1/2,j}^k - \Delta t \left(\frac{P_{i,j}^k - P_{i-1,j}^k}{\Delta x} \right) \quad (15)$$

$$v_{i,j+1/2}^{k+1} = Gv_{i,j+1/2}^k - \Delta t \left(\frac{P_{i,j+1}^k - P_{i,j}^k}{\Delta y} \right) \quad (16)$$

$$v_{i,j-1/2}^{k+1} = Gv_{i,j-1/2}^k - \Delta t \left(\frac{P_{i,j}^k - P_{i,j-1}^k}{\Delta y} \right) \quad (17)$$

นำสมการ (14) - (17) แทนลงในสมการ (7) จะได้

$$\Delta t \left[\frac{P_{i+1,j}^k - 2P_{i,j}^k + P_{i-1,j}^k}{(\Delta x)^2} + \frac{P_{i,j+1}^k - 2P_{i,j}^k + P_{i,j-1}^k}{(\Delta y)^2} \right] = \frac{Fu_{i+1/2,j}^k - Fu_{i-1/2,j}^k}{\Delta x} + \frac{Gv_{i,j+1/2}^k - Gv_{i,j-1/2}^k}{\Delta y} \quad (18)$$

โดย $i = 2, 3, \dots, n-1$ และ $j = 2, 3, \dots, m-1$

กรณีของเซลล์ที่ติดอยู่กับขอบเขตด้านข้างแต่ไม่ใช่เป็นเซลล์มุม

แทนสมการ (14) - (16) ลงในสมการ (7) จะได้

$$\Delta t \left[\frac{P_{i+1,1}^k - 2P_{i,1}^k + P_{i-1,1}^k}{(\Delta x)^2} + \frac{P_{i,2}^k - P_{i,1}^k}{(\Delta y)^2} \right] = \frac{Fu_{i+1/2,1}^k - Fu_{i-1/2,1}^k}{\Delta x} + \frac{Gv_{i,3/2}^k - v_{i,1/2}^{k+1}}{\Delta y} \quad (19)$$

โดย $i = 2, 3, \dots, n-1$

กรณีของเซลล์ที่ติดอยู่กับขอบเขตด้านบนแต่ไม่ใช่เป็นเซลล์มุม แทนสมการ (14) - (15) และ (17) ลงในสมการ (7) จะได้

$$\Delta t \left[\frac{P_{i+1,m}^k - 2P_{i,m}^k + P_{i-1,m}^k}{(\Delta x)^2} + \frac{P_{i,m-1}^k + P_{i,m}^k}{(\Delta y)^2} \right] = \frac{Fu_{i+1/2,m}^k - Fu_{i-1/2,m}^k}{\Delta x} + \frac{v_{i,m+1/2}^{k+1} - Gv_{i,m-1/2}^k}{\Delta y} \quad (20)$$

โดย $i = 2, 3, \dots, n-1$

ทำนองเดียวกันสำหรับเซลล์ที่อยู่ติดกับขอบเขตด้านซ้ายและด้านขวาแต่ไม่ใช่เซลล์มุม จะได้

$$\Delta t \left[\frac{P_{2,j}^k - P_{1,j}^k}{(\Delta x)^2} + \frac{P_{1,j+1}^k - 2P_{1,j}^k + P_{1,j-1}^k}{(\Delta y)^2} \right] = \frac{Fu_{3/2,j}^k - u_{1/2,j}^{k+1}}{\Delta x} + \frac{Gv_{1,j+1/2}^k - Gv_{1,j-1/2}^k}{\Delta y} \quad (21)$$

$$\Delta t \left[\frac{P_{n-1,j}^k - P_{n,j}^k}{(\Delta x)^2} + \frac{P_{n,j+1}^k - 2P_{n,j}^k + P_{n,j-1}^k}{(\Delta y)^2} \right] = \frac{u_{n+1/2,j}^{k+1} - Fu_{n-1/2,j}^k}{\Delta x} + \frac{Gv_{n,j+1/2}^k - Gv_{n,j-1/2}^k}{\Delta y} \quad (22)$$

โดย $j = 2, 3, \dots, m-1$

สำหรับเซลล์ที่อยู่มุมแต่ละมุมจะได้

$$\Delta t \left[\frac{P_{2,1}^k - P_{1,1}^k}{(\Delta x)^2} + \frac{P_{1,2}^k + P_{1,1}^k}{(\Delta y)^2} \right] = \frac{Fu_{3/2,1}^k - u_{1/2,1}^{k+1}}{\Delta x} + \frac{Gv_{1,3/2}^k - v_{1,1/2}^{k+1}}{\Delta y} \quad (23)$$

$$\Delta t \left[\frac{P_{2,m}^k - P_{1,m}^k}{(\Delta x)^2} + \frac{P_{1,m-1}^k + P_{1,m}^k}{(\Delta y)^2} \right] = \frac{Fu_{3/2,m}^k - u_{1/2,m}^{k+1}}{\Delta x} + \frac{v_{1,m+1/2}^{k+1} - Gv_{1,m-1/2}^k}{\Delta y} \quad (24)$$

$$\Delta t \left[\frac{P_{n-1,1}^k - P_{n,1}^k}{(\Delta x)^2} + \frac{P_{n,2}^k + P_{n,1}^k}{(\Delta y)^2} \right] = \frac{u_{n+1/2,1}^{k+1} - Fu_{n-1/2,1}^k}{\Delta x} + \frac{Gv_{n,3/2}^k - v_{n,1/2}^{k+1}}{\Delta y} \quad (25)$$

$$\Delta t \left[\frac{P_{n-1,m}^k - P_{n,m}^k}{(\Delta x)^2} + \frac{P_{n,m-1}^k + P_{n,m}^k}{(\Delta y)^2} \right] = \frac{u_{n+1/2,m}^{k+1} - Fu_{n-1/2,m}^k}{\Delta x} + \frac{v_{n,m+1/2}^{k+1} - Gv_{n,m-1/2}^k}{\Delta y} \quad (26)$$

3.2 แนวทางการหาคำตอบของสมการความต่อเนื่องและสมการการเคลื่อนที่

การหาคำตอบของระบบสมการ (18) - (26) กระทำโดยใช้รูปแบบของหลักวิธีทั่วไปของนิวตัน (Generalized Newton's method) ซึ่งจะเริ่มต้นจากการหาคำตอบโดยประมาณของสนามความดันสำหรับเซลล์ที่อยู่ตำแหน่งต่าง ๆ โดยอาศัยค่าความเร็วที่ได้จากแต่ละรอบในการคำนวณ ดังนี้

$$(u_{i+1/2,j}^{k+1}) = Fu_{i+1/2,j}^k - \Delta t \left(\frac{(P_{i+1,j}^k) - (P_{i,j}^k)}{\Delta x} \right) \quad (27)$$

$$(u_{i-1/2,j}^{k+1})^{+1/2} = Fu_{i-1/2,j}^k - \Delta t \left(\frac{(P_{i,j}^k) - (P_{i-1,j}^k)^{+1}}{\Delta x} \right) \quad (28)$$

$$(v_{i,j+1/2}^{k+1}) = Gv_{i,j+1/2}^k - \Delta t \left(\frac{(P_{i,j+1}^k) - (P_{i,j}^k)}{\Delta y} \right) \quad (29)$$

$$(v_{i,j-1/2}^{k+1})^{+1/2} = Gv_{i,j-1/2}^k - \Delta t \left(\frac{(P_{i,j}^k) - (P_{i,j-1}^k)^{+1}}{\Delta y} \right) \quad (30)$$

โดย r เป็นกรณีแสดงจำนวนครั้งในการคำนวณ

สำหรับเซลล์ที่อยู่ภายใน เราจะได้

$$(P_{i,j}^k)^{+1} = (P_{i,j}^k) + (\delta P_{i,j}^k) \quad (31)$$

โดย

$$(\delta P_{i,j}^k) = - \frac{\omega}{2\Delta t \left[\left(\frac{1}{\Delta x^2} \right) + \left(\frac{1}{\Delta y^2} \right) \right]} [Fu^{k+1} + Gv^{k+1}] \quad (32)$$

$$Fu^{k+1} = \left[\frac{(u_{i+1/2,j}^{k+1}) - (u_{i-1/2,j}^{k+1})^{+1/2}}{\Delta x} \right] \quad (33)$$

$$Gv^{k+1} = \left[\frac{(v_{i,j+1/2}^{k+1}) - (v_{i,j-1/2}^{k+1})^{+1/2}}{\Delta y} \right] \quad (34)$$

ω เป็นพารามิเตอร์ในหลักวิธีของนิวตันมีค่าอยู่ในช่วง $0 < \omega < 2$

ค่าความดัน $(P_{i,j}^k)^{+1}$ ที่คำนวณได้จะถูกนำไปคำนวณหาค่าความเร็วตัวใหม่สำหรับรอบการคำนวณถัดไปดังนี้

$$(u_{i+1/2,j}^{k+1})^{+1/2} = Fu_{i+1/2,j}^k - \Delta t \left(\frac{(P_{i+1,j}^k) - (P_{i,j}^k)^{+1}}{\Delta x} \right) \quad (35)$$

$$(u_{i-1/2,j}^{k+1})^{+1} = Fu_{i-1/2,j}^k - \Delta t \left(\frac{(P_{i,j}^k)^{+1} - (P_{i-1,j}^k)^{+1}}{\Delta x} \right) \quad (36)$$

$$(v_{i,j+1/2}^{k+1})^{+1/2} = Gv_{i,j+1/2}^k - \Delta t \left(\frac{(P_{i,j+1}^k) - (P_{i,j}^k)^{+1}}{\Delta y} \right) \quad (37)$$

$$\left(u_{i,j-1/2}^{k+1}\right)^{+1} = Gv_{i,j-1/2}^k - \Delta t \left(\frac{\left(p_{i,j}^k\right)^{+1} - \left(p_{i,j-1}^k\right)^{+1}}{\Delta y} \right) \quad (38)$$

ทำการจัดค่า $Fu_{i+1/2,j}^{k+1}, Fu_{i-1/2,j}^{k+1}, Gv_{i,j+1/2}^{k+1}, Gv_{i,j-1/2}^{k+1}$ ระหว่างสมการ (27) - (30) และ (35) - (38) ทำให้ได้

$$\left(u_{i+1/2,j}^{k+1}\right)^{+1/2} = \left(u_{i+1/2,j}^{k+1}\right) + \frac{\Delta t}{\Delta x} \left(\delta p_{i,j}^k\right) \quad (39)$$

$$\left(u_{i-1/2,j}^{k+1}\right)^{+1} = \left(u_{i-1/2,j}^{k+1}\right)^{+1/2} - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left(\delta p_{i,j}^k\right) \quad (40)$$

$$\left(v_{i,j+1/2}^{k+1}\right)^{+1/2} = \left(v_{i,j+1/2}^{k+1}\right) + \frac{\Delta t}{\Delta y} \left(\delta p_{i,j}^k\right) \quad (41)$$

$$\left(v_{i,j-1/2}^{k+1}\right)^{+1} = \left(v_{i,j-1/2}^{k+1}\right)^{+1/2} + \frac{\Delta t}{\Delta y} \left(\delta p_{i,j}^k\right) \quad (42)$$

สมการ (31) - (34) และ (39) - (42) จะถูกนำมาคำนวณหาค่า p^k, u^{k+1}, v^{k+1} สำหรับเซลล์ที่อยู่ภายใน

ทำนองเดียวกันสำหรับเซลล์ที่อยู่กับขอบเขตด้านล่างแต่ไม่ใช่เป็นเซลล์มุม จะได้

$$\left(p_{i,1}^k\right)^{+1} = \left(p_{i,1}^k\right) + \left(\delta p_{i,1}^k\right) \quad (43)$$

โดย

$$\left(\delta p_{i,1}^k\right) = - \frac{\omega}{2\Delta t \left[\left(\frac{1}{\Delta x^2} \right) + \left(\frac{1}{\Delta y^2} \right) \right]} \left[Fu^{k+1} + Gv^{k+1} \right] \quad (44)$$

$$Fu^{k+1} = \left[\frac{\left(u_{i+1/2,1}^{k+1}\right) - \left(u_{i-1/2,1}^{k+1}\right)^{+1/2}}{\Delta x} \right] \quad (45)$$

$$Gv^{k+1} = \left[\frac{\left(v_{i,3/2}^{k+1}\right) - v_{i,1/2}^{k+1}}{\Delta y} \right] \quad (46)$$

ดังนั้น สำหรับเซลล์ที่อยู่กับขอบเขตด้านล่างแต่ไม่ใช่เป็นเซลล์มุม การคำนวณหาค่าจะใช้สมการ (43) - (46) และสมการ (39) - (41) โดย

$v_{i,1/2}^{k+1} = \left(v_{i,1/2}^{k+1}\right)$ ที่ทุก ๆ รอบการคำนวณ

สำหรับเซลล์ที่อยู่กับขอบเขตด้านบนแต่ไม่ใช่เป็นเซลล์มุม จะได้

$$\left(p_{i,m}^k\right)^{+1} = \left(p_{i,m}^k\right) + \left(\delta p_{i,m}^k\right) \quad (47)$$

โดย

$$\left(\delta p_{i,m}^k\right) = - \frac{\omega}{2\Delta t \left[\left(\frac{1}{\Delta x^2} \right) + \left(\frac{1}{\Delta y^2} \right) \right]} \left[Fu^{k+1} + Gv^{k+1} \right] \quad (48)$$

$$Fu^{k+1} = \left[\frac{\left(u_{i+1/2,m}^{k+1}\right) - \left(u_{i-1/2,m}^{k+1}\right)^{+1/2}}{\Delta x} \right] \quad (49)$$

$$Gv^{k+1} = \left[\frac{\left(v_{i,m+1/2}^{k+1}\right) - \left(v_{i,m-1/2}^{k+1}\right)^{+1/2}}{\Delta y} \right] \quad (50)$$

การคำนวณหาค่าจะใช้สมการ (47) - (50) และสมการ (39) - (40)

และ (42) โดย $v_{i,m+1/2}^{k+1} = \left(v_{i,m+1/2}^{k+1}\right)$ ทุก ๆ รอบการคำนวณ

สำหรับเซลล์ที่อยู่กับขอบเขตด้านซ้ายแต่ไม่ใช่เป็นเซลล์มุม จะได้

$$\left(p_{1,j}^k\right)^{+1} = \left(p_{1,j}^k\right) + \left(\delta p_{1,j}^k\right) \quad (51)$$

โดย

$$\left(\delta p_{1,j}^k\right) = - \frac{\omega}{2\Delta t \left[\left(\frac{1}{\Delta x^2} \right) + \left(\frac{1}{\Delta y^2} \right) \right]} \left[Fu^{k+1} + Gv^{k+1} \right] \quad (52)$$

$$Fu^{k+1} = \left[\frac{\left(u_{3/2,j}^{k+1}\right) - \left(u_{1/2,j}^{k+1}\right)}{\Delta x} \right] \quad (53)$$

$$Gv^{k+1} = \left[\frac{\left(v_{1,j+1/2}^{k+1}\right) - \left(v_{1,j-1/2}^{k+1}\right)^{+1/2}}{\Delta y} \right] \quad (54)$$

การคำนวณหาค่าจะใช้สมการ (51) - (54) และสมการ (39) และ

(41) - (42) โดย $u_{1/2,j}^{k+1} = \left(u_{1/2,j}^{k+1}\right)$ ทุก ๆ รอบการคำนวณ

สำหรับเซลล์ที่อยู่กับขอบเขตด้านขวาแต่ไม่ใช่เป็นเซลล์มุม จะได้

$$\left(p_{n,j}^k\right)^{+1} = \left(p_{n,j}^k\right) + \left(\delta p_{n,j}^k\right) \quad (55)$$

โดย

$$\left(\delta p_{n,j}^k\right) = - \frac{\omega}{2\Delta t \left[\left(\frac{1}{\Delta x^2} \right) + \left(\frac{1}{\Delta y^2} \right) \right]} \left[Fu^{k+1} + Gv^{k+1} \right] \quad (56)$$

$$Fu^{k+1} = \left[\frac{\left(u_{n+1/2,j}^{k+1}\right) - \left(u_{n-1/2,j}^{k+1}\right)^{+1/2}}{\Delta x} \right] \quad (57)$$

$$Gv^{k+1} = \left[\frac{\left(v_{n,j+1/2}^{k+1}\right) - \left(v_{n,j-1/2}^{k+1}\right)^{+1/2}}{\Delta y} \right] \quad (58)$$

การคำนวณหาค่าจะใช้สมการ (55) - (58) และสมการ (40) - (42)

โดย $u_{n+1/2,j}^{k+1} = \left(u_{n+1/2,j}^{k+1}\right)$ ทุก ๆ รอบการคำนวณ

สำหรับเซลล์ที่อยู่บริเวณ จะหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

เซลล์ที่โหนด (1,1)

$$\left(p_{1,1}^k\right)^{+1} = \left(p_{1,1}^k\right) + \left(\delta p_{1,1}^k\right) \quad (59)$$

โดย

$$(\delta P_{1,1}^k) = -\frac{\omega}{2\Delta t \left[\left(\frac{1}{\Delta x^2} \right) + \left(\frac{1}{\Delta y^2} \right) \right]} [F_u^{k+1} + G_v^{k+1}] \quad (60)$$

$$F_u^{k+1} = \left[\frac{(u_{3/2,1}^{k+1}) - (u_{1/2,1}^{k+1})}{\Delta x} \right] \quad (61)$$

$$G_v^{k+1} = \left[\frac{(v_{1,3/2}^{k+1}) - (v_{1,1/2}^{k+1})}{\Delta y} \right] \quad (62)$$

การคำนวณค่าจะใช้สมการ (59) - (62) และสมการ (39), (41)

โดย $v_{1,1/2}^{k+1} = (v_{1,1/2}^{k+1})$ และ $u_{1/2,1}^{k+1} = (u_{1/2,1}^{k+1})$ ทุก ๆ รอบการคำนวณ

เซลล์โหนด (1,m)

$$(P_{1,m}^k)^{+1} = (P_{1,m}^k) + (\delta P_{1,m}^k) \quad (63)$$

โดย

$$(\delta P_{1,m}^k) = -\frac{\omega}{2\Delta t \left[\left(\frac{1}{\Delta x^2} \right) + \left(\frac{1}{\Delta y^2} \right) \right]} [F_u^{k+1} + G_v^{k+1}] \quad (64)$$

$$F_u^{k+1} = \left[\frac{(u_{3/2,m}^{k+1}) - (u_{1/2,m}^{k+1})}{\Delta x} \right] \quad (65)$$

$$G_v^{k+1} = \left[\frac{(v_{1,m+1/2}^{k+1}) - (v_{1,m-1/2}^{k+1})}{\Delta y} \right] \quad (66)$$

การคำนวณค่าจะใช้สมการ (63) - (65) และสมการ (39), (42)

โดย $v_{1,m+1/2}^{k+1} = (v_{1,m+1/2}^{k+1})$ และ $u_{1/2,m}^{k+1} = (u_{1/2,m}^{k+1})$ ทุก ๆ รอบการคำนวณ

เซลล์โหนด (n,1)

$$(P_{n,1}^k)^{+1} = (P_{n,1}^k) + (\delta P_{n,1}^k) \quad (67)$$

โดย

$$(\delta P_{n,1}^k) = -\frac{\omega}{2\Delta t \left[\left(\frac{1}{\Delta x^2} \right) + \left(\frac{1}{\Delta y^2} \right) \right]} [F_u^{k+1} + G_v^{k+1}] \quad (68)$$

$$F_u^{k+1} = \left[\frac{(u_{n+1/2,1}^{k+1}) - (u_{n-1/2,1}^{k+1})}{\Delta x} \right] \quad (69)$$

$$G_v^{k+1} = \left[\frac{(v_{n,3/2}^{k+1}) - (v_{n,1/2}^{k+1})}{\Delta y} \right] \quad (70)$$

การคำนวณค่าจะใช้สมการ (67) - (70) และสมการ (40) - (41)

โดย $v_{n,1/2}^{k+1} = (v_{n,1/2}^{k+1})$ และ $u_{n+1/2,1}^{k+1} = (u_{n+1/2,1}^{k+1})$ ทุก ๆ รอบการคำนวณ

เซลล์โหนด (n,m)

$$(P_{n,m}^k)^{+1} = (P_{n,m}^k) + (\delta P_{n,m}^k) \quad (71)$$

โดย

$$(\delta P_{n,m}^k) = -\frac{\omega}{2\Delta t \left[\left(\frac{1}{\Delta x^2} \right) + \left(\frac{1}{\Delta y^2} \right) \right]} [F_u^{k+1} + G_v^{k+1}] \quad (72)$$

$$F_u^{k+1} = \left[\frac{(u_{n+1/2,m}^{k+1}) - (u_{n-1/2,m}^{k+1})}{\Delta x} \right] \quad (73)$$

$$G_v^{k+1} = \left[\frac{(v_{n,m+1/2}^{k+1}) - (v_{n,m-1/2}^{k+1})}{\Delta y} \right] \quad (74)$$

การคำนวณค่าจะใช้สมการ (71) - (74) และสมการ (40), (42)

โดย $v_{n,m+1/2}^{k+1} = (v_{n,m+1/2}^{k+1})$ และ $u_{n+1/2,m}^{k+1} = (u_{n+1/2,m}^{k+1})$ ทุก ๆ รอบการคำนวณ

ขั้นตอนการคำนวณโดยการใส่สมการต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ที่สภาวะเริ่มต้น เวลาเริ่มต้นการคำนวณที่เวลา $t_k = 0$ เริ่มต้นการคำนวณที่ $k = 0$ กำหนดค่าเริ่มต้นของตัวแปร $u_{i+1/2,j}^0, v_{i,j+1/2}^0$ และ $(P_{i,j}^0)^0$
2. กำหนดความเร็วที่สภาวะขอบเขต
3. เริ่มการคำนวณครั้งที่ $r = 0$ และหาค่าเริ่มต้นของความเร็วในการคำนวณซ้ำ, $(u_{i+1/2,j}^{k+1})^0$ และ $(v_{i,j+1/2}^{k+1})^0$ โดยใช้สมการ (27) และ (29)
4. คำนวณค่า $(\delta P_{i,j}^k)$ ในแต่ละเซลล์ (i,j), $i=1,2,3,\dots,n, j=1,2,3,\dots,m$ จากสมการ (32) และคำนวณค่าความดันและความเร็วในแต่ละเซลล์จากสมการ (31) และ (39) - (42)
5. ทำการคำนวณซ้ำในข้อที่ 4 ที่ $r = 1,2,3,\dots$ จนค่าเข้าสู่ตามค่าที่ต้องการเมื่อ $(\delta P_{i,j}^k) < \text{ความคลาดเคลื่อนที่กำหนด}$
6. ทำการคำนวณที่เวลาต่อไป โดยใช้ค่าที่ได้จากรอบแรกนี้เป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณโดยให้ $(P_{i,j}^k)^0 = (P_{i,j}^k)$
7. ทำการคำนวณซ้ำในข้อที่ 2 - 6 ที่ $k = 1,2,3,\dots$ จนได้ค่าที่เข้าสู่ตามต้องการ

3.3 รูปแบบไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ของสมการพลังงาน

สมการพลังงานถูกนำมาใช้คำนวณหาค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นเมื่อทราบค่าความเร็วที่จุดต่างๆ แล้วจากสมการการเคลื่อนที่ ทั้งนี้การพิจารณาหาค่าอุณหภูมินั้นจะกระทำที่สภาวะคงที่ ดังนั้นจึงไม่มีเวลา

เกี่ยวข้องในการคำนวณและมีการพิจารณาถึงความร้อนที่ผ่านเข้ามาในขอบเขตและความร้อนที่อยู่ภายในบริเวณด้วย ดังนั้น ในการจัดรูปแบบสมการให้อยู่ในรูปแบบไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์จะพิจารณาโดยวิธีสมดุลพลังงานกับวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ โดยแบ่งสมการที่ได้ออกเป็นสมการที่ใช้กับภายใน สมการที่ใช้กับบริเวณขอบเขตที่ไม่ใช่ตรงมุม และสมการที่ใช้บริเวณมุม ได้ดังนี้

สมการที่ใช้กับโหนดภายใน

$$\begin{aligned} & \left(k \frac{\Delta y}{\Delta x} - \rho c_p u_{n,m} \Delta y \right) T_{n+1,m} + \left(k \frac{\Delta y}{\Delta x} - \rho c_p u_{n,m} \Delta y \right) T_{n-1,m} \\ & + \left(k \frac{\Delta x}{\Delta y} - \rho c_p v_{n,m} \Delta x \right) T_{n,m+1} + \left(k \frac{\Delta x}{\Delta y} - \rho c_p v_{n,m} \Delta x \right) T_{n,m-1} \\ & + \left(-2k \frac{\Delta y}{\Delta x} - 2k \frac{\Delta x}{\Delta y} + 2\rho c_p u_{n,m} \Delta y + 2\rho c_p v_{n,m} \Delta x \right) T_{n,m} \\ & + q'' \Delta x \Delta y = 0 \end{aligned} \quad (75)$$

สมการที่ใช้กับบริเวณขอบที่ไม่ใช่มุม

$$\begin{aligned} & \left(k \frac{\Delta y}{\Delta x} - \rho c_p u_{n,m} \Delta y \right) T_{n+1,m} + \left(k \frac{\Delta y}{\Delta x} \right) T_{n,m+1} \\ & + \left(-k \frac{\Delta y}{\Delta x} - 2k \frac{\Delta x}{\Delta y} + \rho c_p u_{n,m} \Delta y + u \Delta y \right) T_{n,m} \\ & - u \Delta y T_{amb} + q'' \Delta x \Delta y = 0 \end{aligned} \quad (76)$$

สมการที่ใช้กับบริเวณมุม

$$\begin{aligned} & \left(k \frac{\Delta y}{\Delta x} \right) T_{n+1,m} + \left(k \frac{\Delta x}{\Delta y} \right) T_{n,m+1} \\ & + \left(-k \frac{\Delta y}{\Delta x} - k \frac{\Delta x}{\Delta y} + u \Delta x + u \Delta y \right) T_{n,m} - (u \Delta x + u \Delta y) T_{amb} \\ & + q'' \Delta x \Delta y = 0 \end{aligned} \quad (77)$$

เมื่อ U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม

T_{amb} = อุณหภูมิบรรยากาศ

จากสมการเมื่อทำการแทนค่าความเร็วและค่าที่บริเวณขอบเขตแล้ว สมการที่ได้จะเป็นเชิงเส้นและสามารถใช่วิธีการกำจัดแบบเกาส์ แก้สมการหาค่าของอุณหภูมิภายในบริเวณปรับอากาศได้ตามต้องการ

4. สภาวะขอบเขต

ในการคำนวณได้กำหนดให้มีสภาวะขอบเขตดังนี้

กำหนดสภาวะเริ่มต้น

ค่าความเร็วที่สภาวะเริ่มต้น

$$u(i, j, 0) = 0 \quad (i=1,2,3 \dots n), (j=1,2,3 \dots m)$$

$$v(i, j, 0) = 0 \quad (i=1,2,3 \dots n), (j=1,2,3 \dots m)$$

ค่าความดัน $P(i, j, t) = 101300 \text{ N/m}^2$

กำหนดสภาวะขอบเขต

$$u(i, 0, t) = -u(i, 1, t) \quad u(i, m+1, t) = -u(i, m, t)$$

$$v(0, j, t) = -v(1, j, t) \quad v(n+1, j, t) = -v(n, j, t)$$

$$u(0, j, t) = u(n, j, t) = v(i, 0, t) = 0$$

$v(i, j, t) = 0$ โดยที่ i, j ไม่เท่ากับตำแหน่งติดตั้งเครื่องปรับอากาศ

กำหนดตำแหน่งติดตั้งเครื่องปรับอากาศ

$u(i, j, t) = \text{constant}$ ค่าความเร็วที่กำหนดให้คงที่

$v(i, j, t) = \text{constant}$ ค่าความเร็วที่กำหนดให้คงที่

โดย i, j เป็นตำแหน่งใด ๆ ภายในบริเวณปรับอากาศ

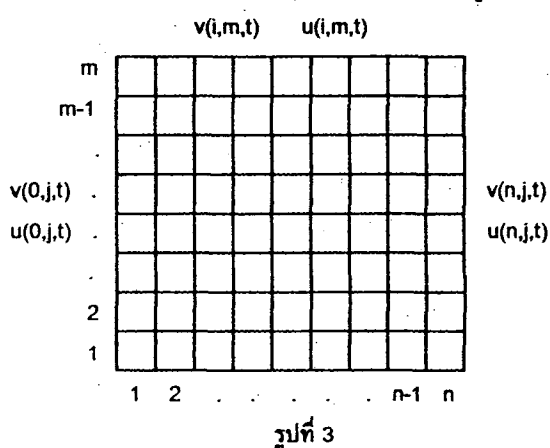
กำหนดค่าคุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิ 24°C ดังนี้

$$k = 0.0263 \text{ W/m K} \quad \rho = 1.1614 \text{ kg/m}^3$$

$$c_p = 1007 \text{ J/kg K} \quad \mu = 184.6 \cdot 10^{-7} \text{ N.s/m}^2$$

ค่าคงที่ต่าง ๆ นี้จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าความเร็วและอุณหภูมิตามขั้นตอนการคำนวณดังกล่าวไว้ข้างต้น

ตำแหน่งของความเร็วที่บริเวณขอบเขตแสดงไว้ในรูปที่ 3



5. ผลลัพธ์ของการคำนวณ

ในการคำนวณได้กำหนดรูปแบบจำลองของบริเวณปรับอากาศขึ้น (ภาคผนวก ก. และ ข.) โดยกำหนดให้ ณ ตำแหน่งติดตั้งเครื่องปรับอากาศ อากาศที่จ่ายออกมามีความเร็วเท่ากับ 2.7 m/s โดยมีทิศทางกระจายเข้าสู่บริเวณกลางพื้นที่ปรับอากาศ จากผลการคำนวณการกระจายความเร็วอากาศนั้นลักษณะของการกระจายของความเร็วขึ้นอยู่ กับตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศและความเร็วของอากาศ โดยที่ค่าความเร็วจะมีค่าลดลงตามระยะที่ห่างจากตำแหน่งติดตั้ง และที่ตำแหน่งใกล้บริเวณขอบเขตค่าของความเร็วจะมีค่าลดลงเข้าใกล้ศูนย์ (ถูกบังคับจากสภาวะที่ขอบเขต) และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของพื้นที่ปรับอากาศให้ใหญ่ขึ้น พบว่าค่าความเร็วในแบบจำลองที่เกิดขึ้นภายในบริเวณปรับอากาศจะมีค่าลดลง ค่าความเร็วที่ลดค่าลงส่วนหนึ่งน่าจะมีผลมาจากการคำนวณในแบบจำลองที่ไม่ได้คำนึงแรงลอยตัว ซึ่งเป็นกลไกอย่างหนึ่งที่ทำให้อากาศเคลื่อนที่ไปด้วยตัวเอง ทำให้ขาดกลไกในการผลักดันอากาศในแบบจำลองให้เคลื่อนที่ไปมากได้อย่างที่ควรจะเป็น อย่างไรก็ตาม เมื่อนำผลของความเร็วที่ได้ไปคำนวณหาค่าการกระจายของอุณหภูมิ พบว่าค่าการกระจายของอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้ กล่าวคือ ค่าของอุณหภูมิที่บริเวณติดตั้งเครื่องปรับอากาศจะมีค่าของอุณหภูมิที่ต่ำกว่าบริเวณอื่น ๆ ส่วนบางบริเวณที่มีค่าอุณหภูมิสูงนั้น เกิดจากผลของไหลความร้อนที่กระจายอยู่ภายในบริเวณนั้น หรือจากบริเวณใกล้เคียง เมื่อปรับเพิ่มขนาดความเร็วของอากาศให้มากขึ้นเป็น 3.2 m/s (ลดผลกระทบจากแรงลอยตัว) จะมีผลทำให้การกระจายของอุณหภูมิตีขึ้น

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ลักษณะของการกระจายของอุณหภูมิจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปด้วย เนื่องจากการเปลี่ยนขนาดของความเร็วในแต่ละตำแหน่งและระยะห่างในการติดตั้งเครื่องปรับอากาศก็ส่งผลต่อการกระจายของอากาศ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองได้แสดงออกมาให้เห็นเช่นกัน

6. สรุป

โปรแกรมการคำนวณหาการกระจายอุณหภูมิและความเร็วของอากาศที่พัฒนาขึ้นนี้ช่วยให้สามารถจำลองรูปแบบการกระจายความเร็วอากาศและอุณหภูมิสำหรับลักษณะของบริเวณปรับอากาศที่ต้องการเพื่อเป็นข้อพิจารณาในการเลือกตำแหน่งติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีลักษณะทางกายภาพและการกระจายของบริเวณที่ปรับอากาศนั้นมีความซับซ้อน อย่างไรก็ตามข้อจำกัดบางประการในการใช้โปรแกรมอันเนื่องมาจากการแยกพิจารณาการคำนวณความเร็วและอุณหภูมิให้เป็นอิสระต่อกัน รวมทั้งการไม่คำนึงถึงผลลัพธ์ของแรงลอยตัว ตลอดจนการเป็นโปรแกรม 2 มิติ ทำให้การใช้งานของโปรแกรมยังมีข้อจำกัดอยู่ ซึ่งจะต้องพัฒนาต่อไป เอกสารอ้างอิง

- [1] Bejan, A., Heat Transfer, Singapore: John Wiley & Sons, Inc., 1993.
- [2] Kakac, S., and Yener, Y., "Basic Heat Transfer", Handbook of Single Phase Convective Heat transfer ;John Wiley & Sons, Inc., 1987.
- [3] Chapra, S., C. and Canale, R., P., Numerical Method for Engineers, 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., 1987.
- [4] Greenspan, D. and Casulli, V., Numerical Analysis for Applied Mathematics, Science and Engineering: Addison-Wesley, 1988.
- [5] Hutchinson, R., C. and Just, S., B., Programming Using the C Language, International ed. Singapore: MaGraw-Hill, 1988
- [6] ASHRAE, Fundamentals Handbook, 1981.
- [7] Kitcharoensakkul, Manote, Two dimensional temperature and air velocity distribution in air conditioning space, M.Eng. Thesis, Dept. of Mechanical Eng., Chulalongkorn University., 1996.

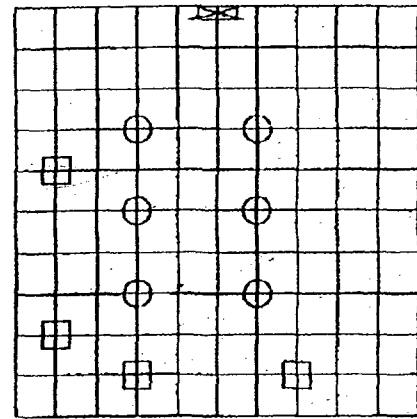
ภาคผนวก ก.

แบบจำลองที่ 1

ห้องขนาด $6 \times 5 \times 3$ เมตร ตั้งอยู่ที่ ละติจูด 14 องศาเหนือ ปรับให้อุณหภูมิภายในห้อง = 24°C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% อุณหภูมิอากาศภายนอก = 35°C db และ 28°C wb พิจารณาที่ เวลา 14.00 น.

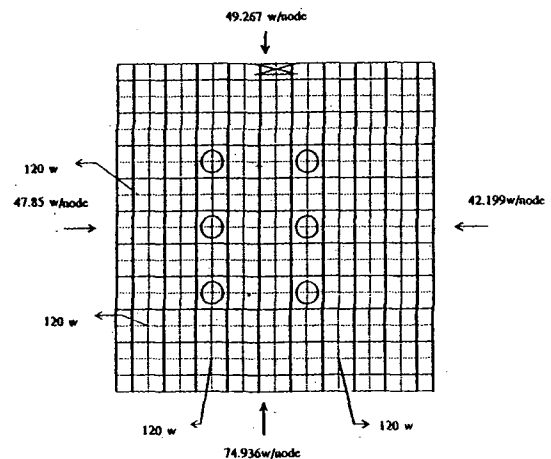
โครงสร้างของห้องมีดังนี้ กำแพงแบบ common brick หนา 0.1016 เมตร มีค่า $U = 2.356 \text{ w/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $k = 0.72 \text{ w/m}^{\circ}\text{C}$ เพดานและพื้นหนา 0.1016 เมตร ทำด้วยคอนกรีต มีค่า $U = 1.209 \text{ w/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ กระดาษขนาด 1.5×2 เมตร แบบ single glass, ไม่มีอุปกรณ์บังแดด หนา 3 มม. มีค่า $U = 5.9 \text{ w/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ หลอดไฟ 40 วัตต์ จำนวน 6 หลอด คนทำงาน 4 คน คำนวณการถ่ายเทอากาศ = $25 \text{ m}^3/\text{hคน}$

ภาระการทำความเย็นทั้งหมด = 5817.126 วัตต์ ใช้เครื่องปรับอากาศ ขนาด 5865 วัตต์



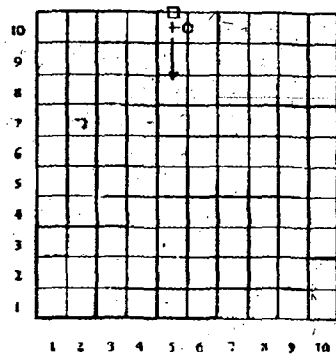
- หลอดไฟ
- ประตู
- ⊗ ตำแหน่งติดตั้งเครื่องปรับอากาศ

รูปที่ ก.1 แสดงตำแหน่งของภาระความร้อน



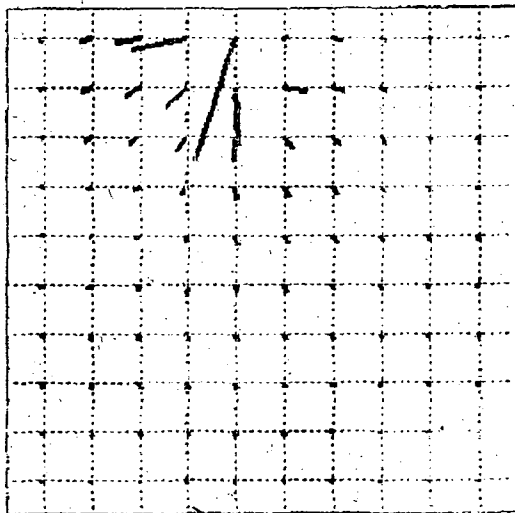
ปริมาณความร้อนเฉลี่ยจากเพดานและพื้นต่อโหนด = 6.65 วัตต์/โหนด และที่บริเวณหลอดไฟมีค่าความร้อนเท่ากับ 48 วัตต์/โหนด

รูปที่ ก.2 แสดงปริมาณความร้อนที่เข้าสู่แต่ละโหนด

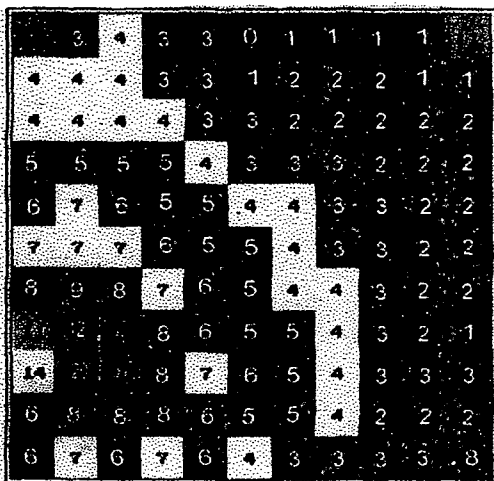


- ตำแหน่งของเวกเตอร์ความเร็ว v ในทิศทาง y ที่กำหนด
- ตำแหน่งของเวกเตอร์ความเร็ว v ในทิศทาง x ที่กำหนด
- + ตำแหน่งของเวกเตอร์อัตราส่วนความเร็ว u และ v ที่กำหนดค่า 2.7 m/s

รูปที่ ก.3 แสดงตำแหน่งของความเร็วที่กำหนด



รูปที่ ก.4 แสดงทิศทางการกระจายความเร็ว

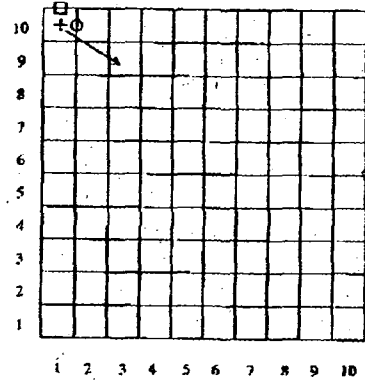


Max Temperature = 34.934 °C
 Min Temperature = 22.832 °C
 diff. temp range = 0.605 °C
 Average Temperature = 25.889 °C

Average temperature each number (Celcius) :

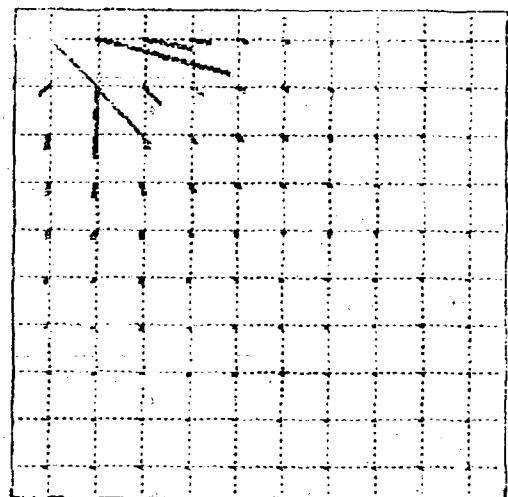
0=23.135	1=23.740	2=24.345	3=24.950	4=25.555
5=26.160	6=26.765	7=27.370	8=27.975	9=28.581
10=29.186	11=29.791	12=30.396	13=31.001	14=31.606
15=32.211	16=32.816	17=33.421	18=34.026	19=34.632
20=35.237				

รูปที่ ก.5 แสดงการกระจายอุณหภูมิ

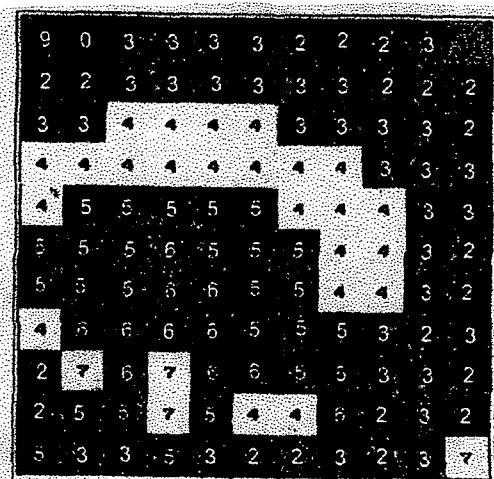


- ตำแหน่งของเวกเตอร์ความเร็ว v ในทิศทาง y ที่กำหนด
- ตำแหน่งของเวกเตอร์ความเร็ว v ในทิศทาง x ที่กำหนด
- + ตำแหน่งของเวกเตอร์อัตราส่วนความเร็ว u และ v ที่กำหนดค่า 2.7 m/s

รูปที่ ก.6 แสดงตำแหน่งของความเร็วที่กำหนด



รูปที่ ก.7 แสดงทิศทางการกระจายความเร็ว

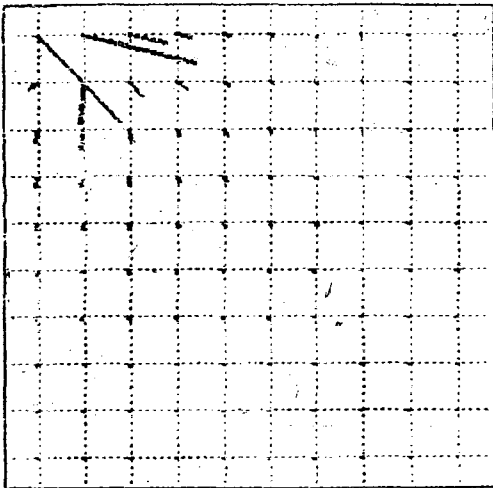


Max Temperature = 30.167 °C
 Min Temperature = 22.058 °C
 diff. temp range = 0.811 °C
 Average Temperature = 25.677 °C

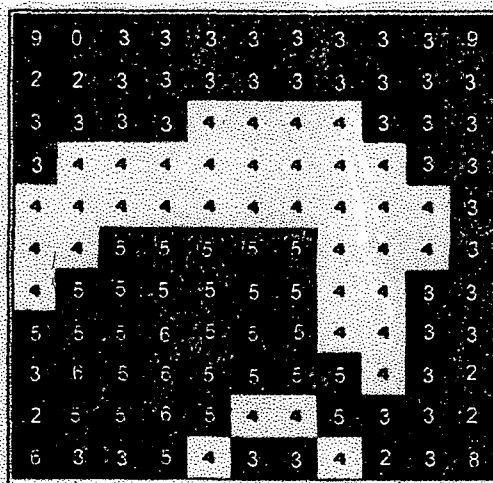
Average temperature each number (Celcius) :

0=22.463	1=23.274	2=24.085	3=24.896	4=25.707
5=26.518	6=27.329	7=28.140	8=28.951	9=29.762
10=30.573				

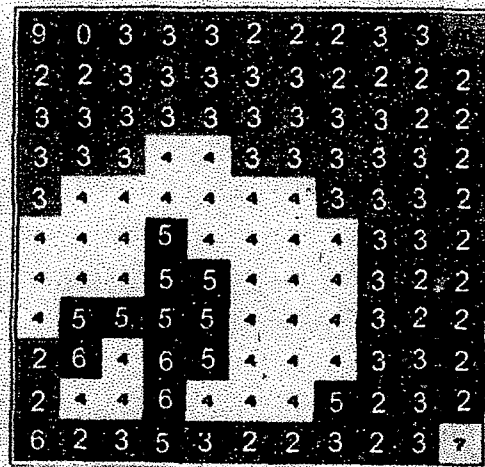
รูปที่ ก.8 แสดงการกระจายอุณหภูมิ



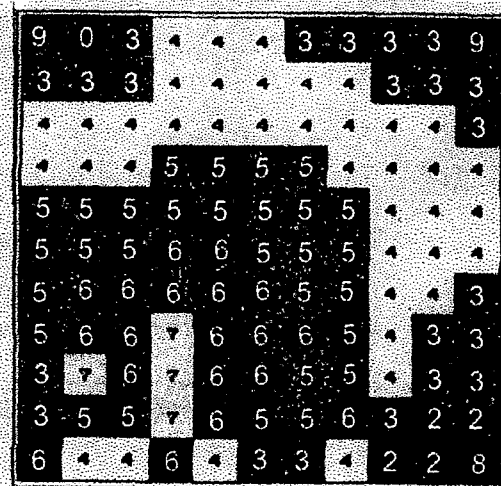
รูปที่ ก.9 แสดงทิศทางการกระจายความเร็ว
(เมื่อเพิ่มความเร็วเป็น 3.2 m/s)



รูปที่ ก.10 แสดงการกระจายอุณหภูมิ(เมื่อเพิ่มความเร็วเป็น 3.2 m/s)



รูปที่ ก.11 แสดงการกระจายอุณหภูมิ
(เมื่อเพิ่มความเร็วเป็น 3.2 m/s และไม่เพิ่มขนาดการทำความเย็น)



รูปที่ ก.12 แสดงการกระจายอุณหภูมิ
(เมื่อเพิ่มขนาดการทำความเย็น ที่ความเร็ว 2.7 m/s)

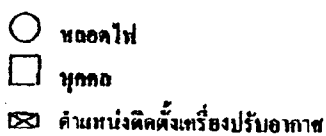
ภาคผนวก ข

แบบจำลองที่ 2

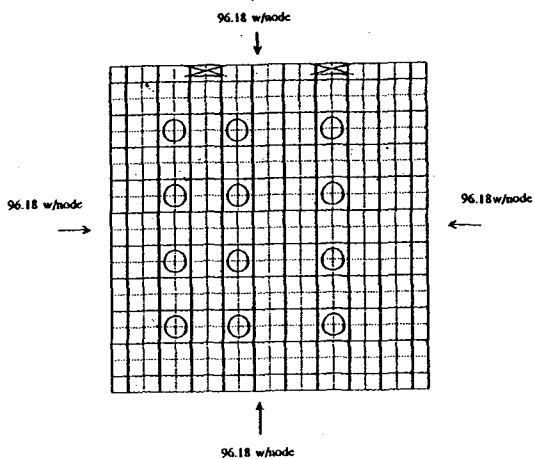
ห้องขนาด กXยXส = 8x8x3 เมตร ตั้งอยู่ที่ ละติจูด 14 องศาเหนือ
ปรับให้อุณหภูมิภายในห้อง = 24 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% อุณหภูมิ
อากาศภายนอก = 35 °C db และ 28 °C wb พิจารณาที่ เวลา 14.00 น.

โครงสร้างของห้องมีดังนี้ กำแพงแบบ concrete h.w.หนา 0.1016
เมตร มีค่า $U = 3.321 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ และ $k = 1.4 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ เพดานและพื้น
หนา 0.1016 เมตร ทำด้วยคอนกรีต มีค่า $U = 1.209 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ผนัง
ไฟ 40 วัตต์ จำนวน 12 หลอด คนทำงาน 15 คน คิดอัตราการถ่ายเท

อากาศ = 25 m³/คน ภาระการทำความเย็นทั้งหมด = 12740.076
 วัตต์ ใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 7331.37 วัตต์ จำนวน 2 เครื่อง

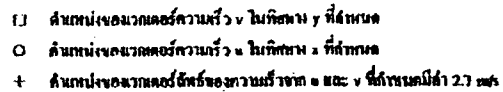


รูปที่ ข.1 แสดงตำแหน่งของภาวะความร้อน

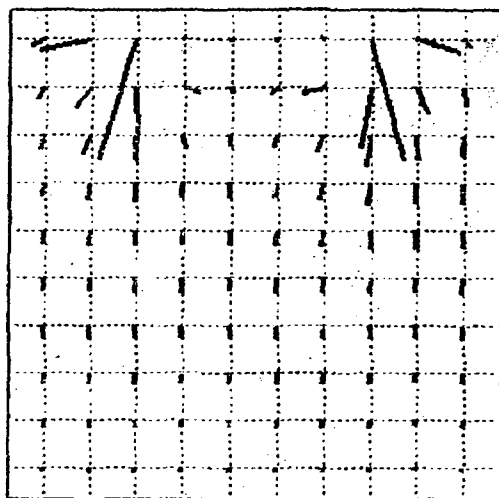


ปริมาณความร้อนเฉลี่ยจากเพดานและพื้นค่อโหนด = 17.02 วัตต์/โหนด และที่บริเวณหลอดไฟมีค่าความร้อนเท่ากับ 48 วัตต์/โหนด บุคคลมีค่าความร้อน = 120 วัตต์/โหนด

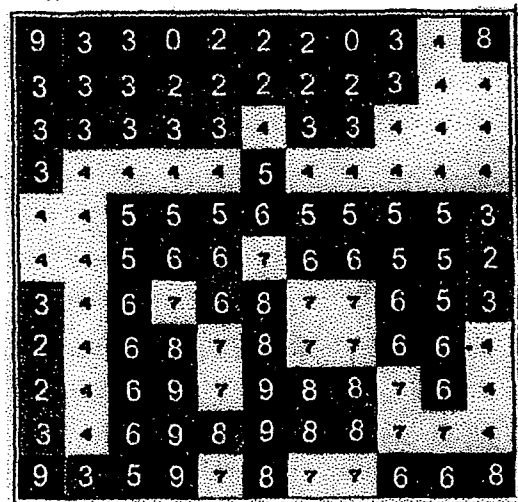
รูปที่ ข.2 แสดงปริมาณความที่เข้าสู่แต่ละโหนด



รูปที่ ข.3 แสดงตำแหน่งของความเร็วลมที่กำหนด



รูปที่ ข.4 แสดงทิศทางการกระจายความเร็ว

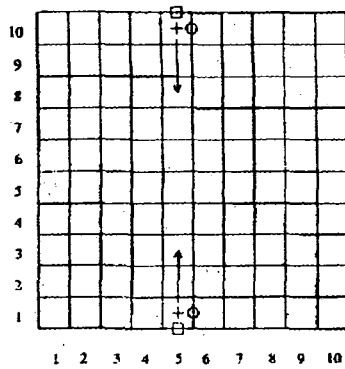


Max Temperature	=	29.788 °C
Min Temperature	=	25.045 °C
diff. temp range	=	0.474 °C
Average Temperature	=	27.630 °C

Average temperature each number (Celcius) :

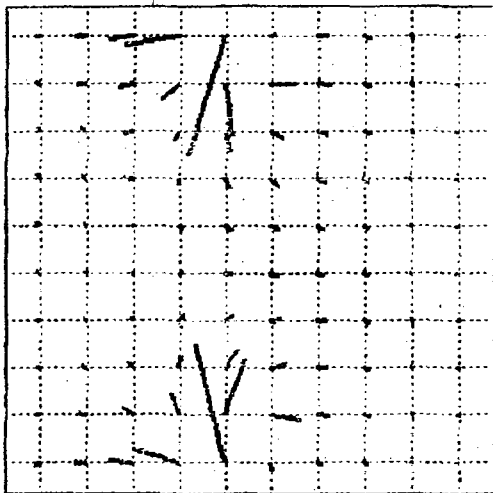
0=25.283 1=25.757 2=26.231 3=26.705 4=27.180
5=27.654 6=28.128 7=28.602 8=29.077 9=29.551

รูปที่ ข.5 แสดงการกระจายอุณหภูมิ

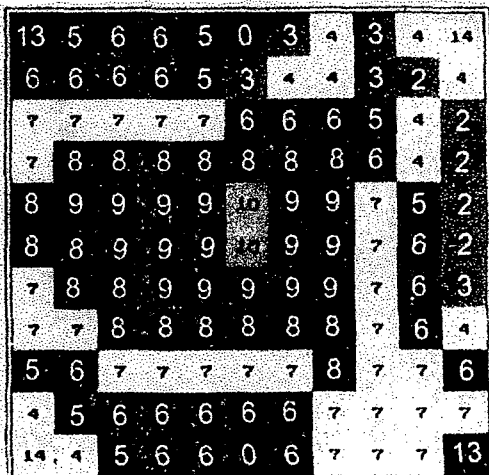


- 1) ตำแหน่งของมวลเคลื่อนที่เร็ว v ในทิศทาง y ที่กำหนด
 2) ตำแหน่งของมวลเคลื่อนที่เร็ว u ในทิศทาง x ที่กำหนด
 + ตำแหน่งของมวลเคลื่อนที่เร็วของความเร็ว u และ v ที่กำหนดค่า 2.7 m/s

รูปที่ ๖.6 แสดงตำแหน่งของความเร็วที่กำหนด

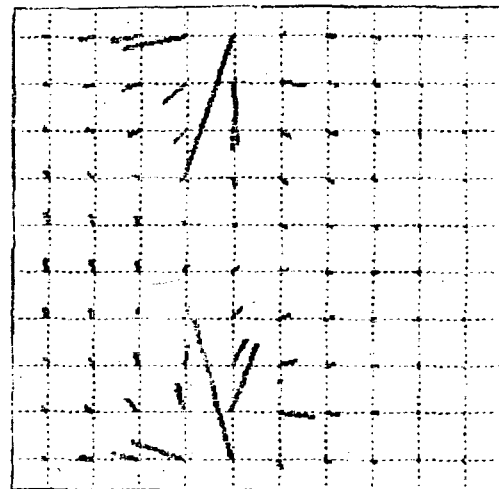


รูปที่ ๖.7 แสดงทิศทางการกระจายความเร็ว

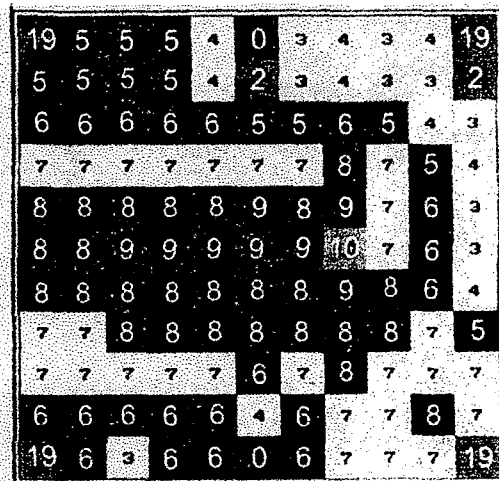


Max. temperature = 26.630 °C
 Min. temperature = 25.117 °C
 diff. temp range = 0.261 °C
 Average temperature = 25.973 °C
 Average temperature each number (Celcius) :
 0=25.646 1=26.110 2=26.564 3=26.630 4=26.691
 5=26.725 6=26.778 7=26.832 8=26.886 9=26.939
 10=27.000 11=27.054 12=27.108 13=27.162 14=27.216
 15=27.270 16=27.324 17=27.378 18=27.432 19=27.486

รูปที่ ๖.8 แสดงการกระจายอุณหภูมิ

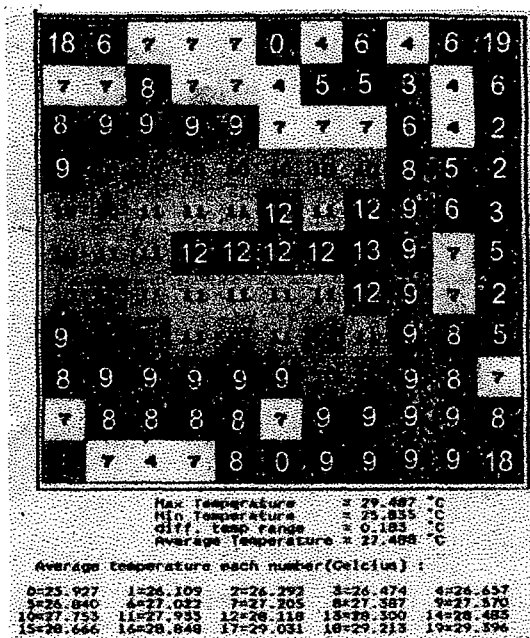


รูปที่ ๖.9 แสดงทิศทางการกระจายความเร็ว
(เมื่อเพิ่มความเร็วเป็น 3.2 m/s)

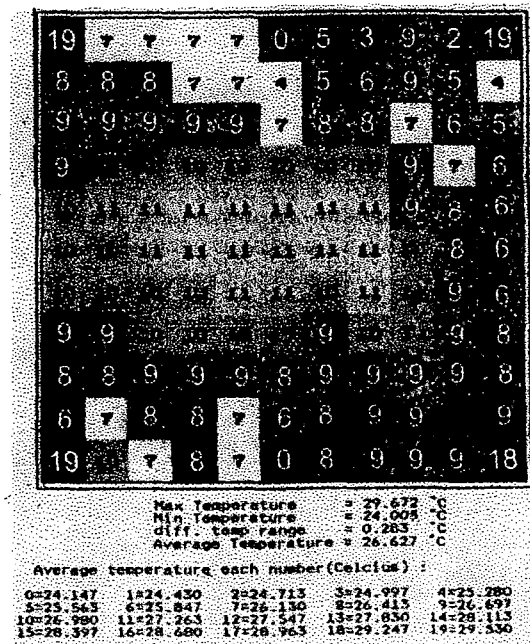


Max. temperature = 27.432 °C
 Min. temperature = 26.630 °C
 diff. temp range = 0.754 °C
 Average temperature = 26.350 °C
 Average temperature each number (Celcius) :
 0=24.657 1=24.910 2=25.164 3=25.418 4=25.671
 5=25.925 6=26.178 7=26.432 8=26.686 9=26.939
 10=27.193 11=27.446 12=27.700 13=27.954 14=28.207
 15=28.461 16=28.714 17=28.968 18=29.222 19=29.475

รูปที่ ๖.10 แสดงการกระจายอุณหภูมิ
(เมื่อเพิ่มความเร็วเป็น 3.2 m/s)



รูปที่ ข.11 แสดงการกระจายอุณหภูมิ
 (เมื่อเพิ่มความเร็วเป็น 3.2 m/s และไม่เพิ่มขนาดการทำความร้อน)



รูปที่ ข.12 แสดงการกระจายอุณหภูมิ
 (เมื่อเพิ่มขนาดการทำความร้อน ที่ความเร็ว 2.7 m/s)