

## การจำลองการระบายความร้อนภายในคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก เพื่อหาตำแหน่งในการติดตั้งพัดลมที่เหมาะสม

### Simulation of Heat Transfer in a Computer Notebook case to optimize the locations of Fan

หริรักษ์ รองคำ<sup>1</sup>, พัฒนพล ศรีเชียงสา<sup>1</sup>, ภัทระ พลระรังสี<sup>1</sup>, สังคม ศรีสมพร<sup>1</sup> และ อมรินทร์ ต้องกระโทก<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการผลิต คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร อ.เมือง จ.สกลนคร 47000

\* ติดต่อ: โทรศัพท์: (6642) 725033-3562, โทรสาร: (6642) 725034

E-mail: cutieatom@gmail.com

#### บทคัดย่อ

การไหลของอากาศที่ระบายความร้อนภายในคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก (computer notebook) ส่วนใหญ่เป็นการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งมีความซับซ้อนมากกว่าการไหลแบบราบเรียบ ดังนั้นแบบจำลองความปั่นป่วนของการไหลจึงมีความสำคัญต่อการใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (computational fluid dynamics, CFD) เพื่อจำลองปรากฏการณ์การไหลดังกล่าว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่อุปกรณ์ระบายความร้อนภายในคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก เช่น หน่วยประมวลผลกลาง (CPU), hard disk และหน่วยความจำ ด้วยระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (finite volume method) การคำนวณในงานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด  $k-\epsilon$  จากการคำนวณพบว่าแบบจำลองความปั่นป่วน  $k-\epsilon$  ชนิด realizable ที่ถูกใช้ร่วมกับสมการ standard – wall function ให้ผลการคำนวณใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุดจากแบบจำลองความปั่นป่วนของเรย์โนลด์ทั้งหมด

**คำหลัก:** การระบายความร้อน, คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก, พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

#### Abstract

Most air cooling within a computer notebook flows are turbulent flow which is more complicated than laminar flow Therefore, turbulence model is important for computational fluid dynamics (CFD) study of this type of flow. This research therefore aims to simulate the central processing unit (CPU), hard disk and memory cards. The finite volume method using  $k-\epsilon$  turbulence model is used in the current work. From the calculation, the realizable  $k-\epsilon$  turbulence model calculated with the non-equilibrium wall function gives the closest result to the experimental data compared with the other RANS turbulence models.

**Keywords:** Heat Transfer, Computer Notebook, Computational Fluid Dynamics

#### 1. บทนำ

ในยุคที่เทคโนโลยีมีการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีขีดความสามารถในการทำงานที่สูงขึ้น หนึ่งในนั้นคือคอมพิวเตอร์

โน้ตบุ๊ก (computer notebook) เนื่องจากปัจจุบันคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก สามารถพกพาไปยังที่ต่างๆ และใช้ทำงานโดยส่วนใหญ่ได้เช่นเดียวกับคอมพิวเตอร์เดสก์ท็อป (computer desktop) เครื่องคอมพิวเตอร์

โน้ตบุ๊ก จึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับกลุ่มคนทุกเพศทุกวัยที่ไม่ได้ทำงานอยู่กับที่ตลอดเวลา คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กมีน้ำหนักที่เบา ราคาถูก ทำให้สามารถทำอะไรได้มากมายจนแทบเป็นอุปกรณ์ที่ขาดไม่ได้ ในปัจจุบันสิ่งที่ปัญหาอย่างหนึ่งของเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก ทุกรุ่น ทุกยี่ห้อ ที่มีมานานก็คือ ปัญหาเรื่องความร้อนที่เกิดจากการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก ซึ่ง มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบการทำงาน ทั้งนี้การ ศึกษาเพื่อหาวิธีการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก นั้นมีความยุ่งยาก เนื่องจากเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กมีขนาดพื้นที่ที่มีความจำกัด และภายในยัง ประกอบไปด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำนวนมาก ทำให้ลักษณะการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นมีความซับซ้อน และเป็นอุปสรรคต่อการออกแบบระบบการถ่ายเทความร้อนให้มีประสิทธิภาพของระบบการทำงาน จากงานวิจัยที่ผ่านมา ปี 2000 J.S.Chaing et.al. [1] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการติดตั้งพัดลมจำนวน 2 เครื่องที่ด้านข้างของคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ และตำแหน่งในการติดตั้งพัดลมที่มีต่อการระบายความร้อนภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ และในปี 2549 เอกกรงค์ สุขจิต และคณะ [2] ศึกษาการใช้ซอฟต์แวร์ FLUENT ในการทำนายการระบายความร้อนภายในกล่องคอมพิวเตอร์ เพื่อหาจำนวนและตำแหน่งในการติดตั้งพัดลมที่เหมาะสม สำหรับงาน วิจัยที่ผ่านมา นั้น ยังไม่มีการศึกษาถึงผลของการติดตั้งพัดลมที่มีผลต่อการถ่ายเท ความร้อนภายในสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาถึงผลกระทบของ ตำแหน่งการติดตั้งพัดลมของเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก Acer รุ่น Aspire 4720Z กับซอฟต์แวร์สำเร็จรูปทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (computational fluid dynamic, CFD) โดยเลือกใช้แบบจำลองความปั่นป่วน  $k-\epsilon$  ชนิด standard, renormalization group (RNG), realizable แล้วเปรียบเทียบผลการคำนวณระหว่างวิธีการจำลองเชิงตัวเลขทั้งหมด เพื่อหาวิธีการจำลองเชิง

ตัวเลขที่เหมาะสมในการอธิบายการ ถ่ายเทความร้อนของคอม พิวเตอร์โน้ตบุ๊ก

## 2. สมการควบคุม

พฤติกรรมกรการไหลของของไหลสามารถอธิบายได้ด้วยสมการหลัก 3 สมการ คือ สมการกฏทรงมวล (continuity equation) สมการโมเมนตัม (momentum equation) และสมการพลังงาน (energy equation) สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนจะสามารถอธิบายพฤติกรรมของการไหลได้โดยใช้แบบจำลองความปั่นป่วน งานวิจัยนี้สนใจแบบจำลองความปั่นป่วนชนิด standard, RNG, realizable  $k-\epsilon$

### 2.1 แบบจำลองความปั่นป่วนของเรย์โนลด์

**(Reynolds-averaged Navier-Stokes turbulence model, RANS)**

สมการกฏทรงมวล (continuity equation)

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

สมการโมเมนตัม (momentum equation)

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho u_i \frac{\partial}{\partial x_j}(u_j) = -\frac{\partial p_i}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \rho g_i \quad (2)$$

สมการพลังงาน (energy equation)

$$\frac{\partial(\rho e_T)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho e_T u_j) = \rho \dot{q} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( k \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial(\rho u_j)}{\partial x_j} + \frac{\partial(\tau_{ij} u_i)}{\partial x_j} + \rho g_i \quad (3)$$

โดยค่า  $\rho$  คือ ความหนาแน่น,  $u_i$  คือ ค่าความเร็วของของไหลแต่ละแกน,  $p$  คือค่าความดัน,  $\mu$  คือ ค่า

ความหนืด,  $g_i$  คือ แรงโน้มถ่วงของโลก และ  $x_j$  คือ ค่าพิกัดแกน x, y, z

## 2.2 แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด $k-\varepsilon$

แบบจำลองความปั่นป่วนชนิดนี้มี 3 แบบคือ standard, RNG และ realizable โดยที่แต่ละแบบจะมีสมการ  $k$  เหมือนกัน ต่างกันตรงสมการ  $\varepsilon$  ซึ่งในแต่ละแบบจะมีการกำหนดตัวแปรและค่าคงที่ต่างกันไป

สมการพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (turbulent kinetic energy equation)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (4)$$

โดยที่ค่า  $k$  คือ พลังงานจลน์ของความปั่นป่วน,  $\varepsilon$  คือ อัตราการลดลงของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน,  $G_k$  คือ ค่าพจน์การผลิตของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน

โดยค่าพจน์การผลิตของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วนสามารถเขียนได้ดังนี้

$$G_k = -\overline{\rho u_i' u_j'} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (5)$$

ซึ่ง  $\overline{u_i' u_j'}$  คือ ค่าความเค้นเรย์โนลด์ในแบบจำลองเชิงเส้นนี้จะใช้ค่าความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้นของ Boussinesq [3] และค่าความหนืดหมุนวน (eddy viscosity) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\mu_t = c_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (6)$$

สมการอัตราการแพร่ของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (dissipation rate equation)

standard  $k-\varepsilon$  model [4]

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + c_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} G_k - c_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (7)$$

ค่าคงที่ต่างๆ ภายในสมการมีค่าดังนี้

$$c_\mu = 0.09, c_{\varepsilon 1} = 1.44, c_{\varepsilon 2} = 1.92, \sigma_k = 1.0 \text{ และ } \sigma_\varepsilon = 1.3$$

RNG  $k-\varepsilon$  model [5]

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + (c_{\varepsilon 1} P - c_{\varepsilon 2}^* \rho \varepsilon) \frac{\varepsilon}{k} \quad (8)$$

$$c_{\varepsilon 2}^* = c_{\varepsilon 2} + \frac{c_\mu \rho \eta^3 (1 - \eta/\eta_0)}{1 + \beta \eta^3} \quad (9)$$

$$\eta = s k / \varepsilon \quad (10)$$

ค่าคงที่ต่างๆ ภายในสมการมีค่าดังนี้

$$\eta_0 = 4.38, \beta = 0.012, c_{\varepsilon 1} = 1.42, c_{\varepsilon 2} = 1.68 \text{ และ } c_\mu = 0.00845$$

realizable  $k-\varepsilon$  model [6]

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + \rho c_1 s \varepsilon - \rho c_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{V \varepsilon}} \quad (11)$$

โดยที่

$$c_1 = \max \left[ 0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right] \quad (12)$$

$$\eta = s \frac{k}{\varepsilon} \quad (13)$$

$$s = \sqrt{2s_{ij}s_{ij}} \quad (14)$$

$$c_\mu = \frac{1}{A_0 + A_s \frac{kU^*}{\varepsilon}} \quad (15)$$

$$U^* = \sqrt{s_{ij}s_{ij} + \tilde{\Omega}_{ij}\tilde{\Omega}_{ij}} \quad (16)$$

$$\tilde{\Omega}_{ij} = \Omega_{ij} - 2\varepsilon_{ijk}\omega_k \quad (17)$$

$$\Omega_{ij} = \bar{\Omega}_{ij} - \varepsilon_{ijk}\omega_k \quad (18)$$

$$A_s = \sqrt{6} \cos \phi \quad (19)$$

$$\phi = \frac{1}{3} \cos^{-1}(\sqrt{6}W) \quad (20)$$

$$W = \frac{s_{ij}s_{jk}s_{ki}}{\tilde{s}} \quad (21)$$

$$\tilde{s} = \sqrt{s_{ij}s_{ij}} \quad (22)$$

$$s_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (23)$$

โดยค่า  $\Omega_{ij}$  คือค่า mean rate of rotation tensor และ  $\varepsilon_{ijk}$  คือ ค่า alternating tensor โดย ค่าคงที่ต่างๆ ภายในสมการมีค่าดังนี้

$$A_0 = 4.04, C_{\varepsilon 1} = 1.44, C_2 = 1.9, \sigma_k = 1.0 \text{ และ } \sigma_\varepsilon = 1.2$$

ในการคำนวณนี้จะใช้สมการ wall function ในการแก้ปัญหาในช่วงบริเวณใกล้ผิวของการไหล สำหรับสมการ wall function ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ 3 สมการ ดังนี้

สมการ standard wall function [7] สมการนี้ใช้หลักของ law of the wall ในการทำนายค่าความเร็วที่  $y^+$  อยู่ระหว่าง 30 ถึง 60 ซึ่งค่า  $y^+ = \rho u_\tau y / \mu$  โดยที่  $u_\tau$

คือ ค่าความเร็วเสียดทาน และ  $\mu$  คือ ค่าความหนืด ส่วนช่วงที่  $y^+$  น้อยกว่า 30 ลงไปถึงผนังนั้น จะใช้ความสัมพันธ์ของความเร็วและตำแหน่งที่เป็นเชิงเส้นกัน สมการ non-equilibrium wall function [8] สมการนี้ จะใช้สมการของ law of the wall ที่เพิ่มผลกระทบของ pressure gradients เข้าในสมการด้วย นอกจากนี้ยังใช้แนวคิดของ two layer based เข้ามาใช้เพื่อคำนวณค่าของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วนอีกด้วย

สมการ enhanced wall function [9] สมการนี้จะทำการหาค่าความเร็วโดยการแบ่งชั้นของการไหลเป็น 2 ส่วน คือส่วน laminar และส่วน turbulent ความสัมพันธ์ของสมการความเร็วในส่วน laminar นั้นจะใช้ความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้น ในส่วน turbulent นั้นจะใช้ความสัมพันธ์ที่เป็น logarithmic จากนั้นจะนำสมการความเร็วของทั้งสองส่วนมารวมกัน แล้วทำการใส่ค่า blending function ลงในค่าสมการความเร็วที่เกิดจากการรวมนี้ กลายเป็น สมการ enhanced wall function

### 3. วิธีการคำนวณ

การไหลของอากาศภายในคอมพิวเตอรืโหนดมีคุณสมบัติฐานให้เป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ ที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (steady flows) คุณสมบัติของอากาศมีค่าคงที่ และเป็นการไหลแบบปั่นป่วน การวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลข ร่วมกับแบบจำลองความปั่นป่วนชนิด  $k-\varepsilon$  ที่ถูกคำนวณร่วมกับสมการ wall function โดยเลือกใช้ 3 สมการ ดังนี้ standard [7], non-equilibrium [8] และ enhanced [9] และวิธีการผลต่าง (differencing scheme) ที่ใช้ในการหาค่าความดันคือ SIMPLEC ใช้วิธี QUICK ในการ discretise สมการโมเมนต์และวิธี Upwind กับสมการพลังงาน, สมการพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน และสมการอัตราการผลิตของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน เพื่อตรวจสอบเรื่องอิทธิพลของจำนวนกริด (grid independence) พบว่าขนาดของกริดที่เหมาะสมของแต่ละกรณีศึกษา คือ 703,977 เอลิเมนต์ แบบจำลองทั้งหมดกำหนดการลู่เข้าที่ค่าผิดพลาด  $10^{-5}$

สำหรับการกำหนดค่าสภาวะขอบเขตของอุปกรณ์ต่างๆ ให้สอดคล้องกับการทำงานจริงของอุปกรณ์เหล่านั้น ในการศึกษาการระบายความร้อนภายในคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนสูงไม่ว่าจะเป็นการทำงานของแบตเตอรี่, หน่วยประมวลผลกลาง, หน่วยความจำ และ hard disk ซึ่งถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีส่วนสำคัญต่ออุณหภูมิภายในคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก ดังนั้นเพื่อลดความยุ่งยากในการกำหนดสภาวะขอบเขตทางคณะผู้วิจัย จึงได้สมมติให้อุปกรณ์ต่างๆ ภายในคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนที่มีอุณหภูมิคงที่ โดยค่าอุณหภูมิของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการกำหนดค่าสภาวะขอบเขตและขนาดรูปร่างของคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ คือ Thermocouple Type K สำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งอยู่ภายใน คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก แสดงดังรูปที่ 1 และตำแหน่งการติดตั้งพัดลมของแต่ละกรณีศึกษาแสดงในรูปที่ 2 สำหรับการศึกษาลักษณะของการติดตั้งพัด

ลมที่มีผลต่อการระบายความร้อนภายในคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก แบ่งเป็นกรณีศึกษาได้ทั้งหมด 5 กรณี ดังนี้  
กรณีศึกษาที่ 1 ติดตั้งพัดลมไว้ระหว่างแบตเตอรี่และทางเข้าของอากาศ

กรณีศึกษาที่ 2 ติดตั้งพัดลมไว้ระหว่างแบตเตอรี่และซีพียู

กรณีศึกษาที่ 3 ติดตั้งพัดลมใกล้มุมสุดทางเข้าของอากาศ

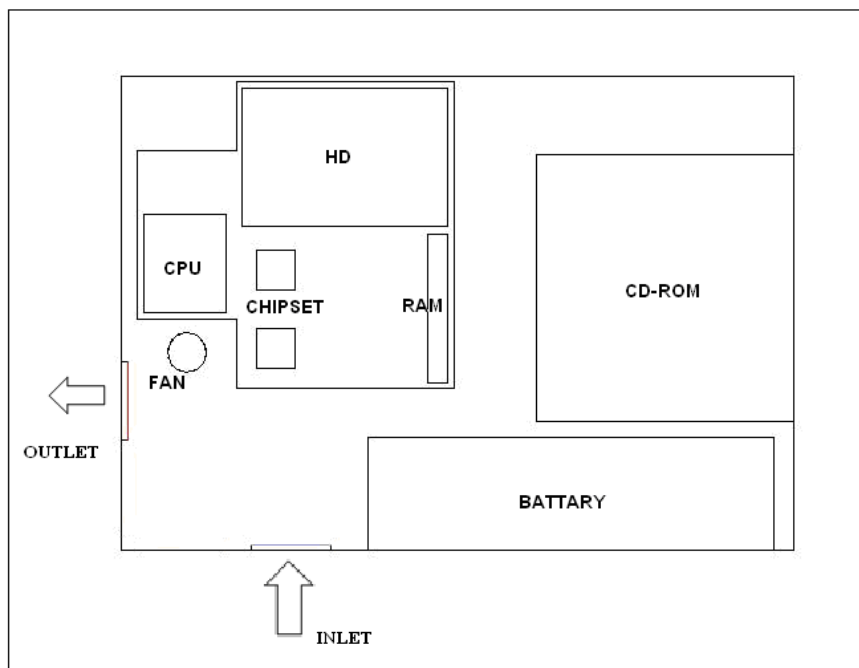
กรณีศึกษาที่ 4 ติดตั้งพัดลมใกล้ทางออกของอากาศ

กรณีศึกษาที่ 5 ติดตั้งพัดลมไว้ระหว่างหน่วยประมวลผลกลางและซีพียู

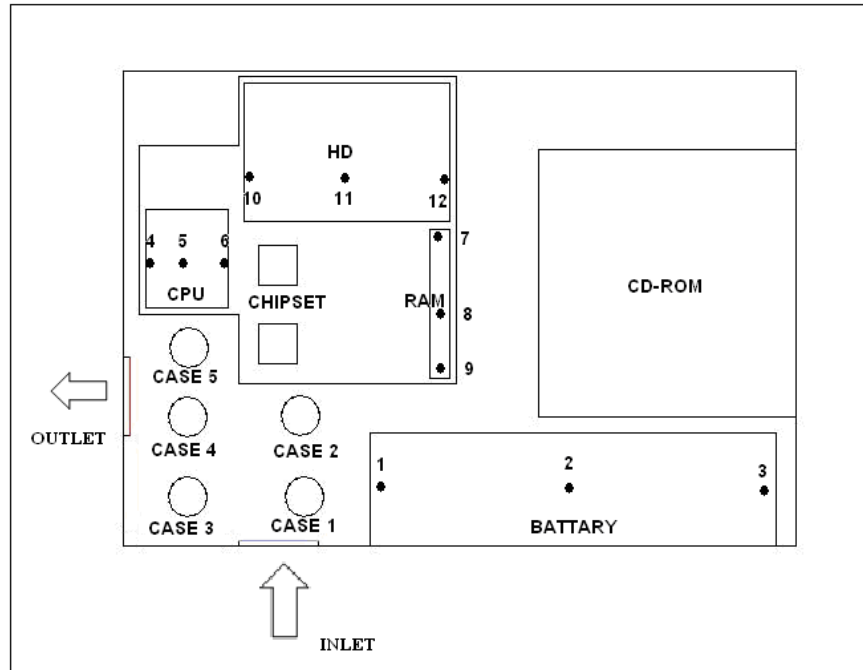
ภายในคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก เลือกวัดตำแหน่งของอุณหภูมิอุปกรณ์แต่ละชนิด บริเวณใกล้ๆ กับอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน อาทิเช่น แบตเตอรี่ , หน่วยประมวลผลกลาง, หน่วยความจำ และ hard disk จำนวนทั้งหมด 12 ตำแหน่ง ทำการวัดที่ตำแหน่งขวาสุด, ซ้ายสุด และบริเวณกึ่งกลางของแต่ละอุปกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 2

ตารางที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับการกำหนดสภาวะขอบเขตของกรณีศึกษาทั้ง 5 กรณี

Component	Battery	CPU	RAM	Hard disk	CD-Rom	Computer notebook
Condition	39.29 °C	42.15 °C	36.37 °C	42.11 °C	33.71 °C	0.34 m X 0.24 m X 0.025 m



รูปที่ 1 รายละเอียดของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในกล่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก



รูปที่ 2 รายละเอียดตำแหน่งการติดตั้งพัดลม และตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของกรณีศึกษาทั้ง 5 กรณี

#### 4. ผลการคำนวณและการวิเคราะห์

การจำลอง การระบายความร้อนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กเพื่อหาตำแหน่งการติดตั้งพัดลมที่เหมาะสม โดยเลือกใช้แบบจำลองความปั่นป่วน standard, RNG, realizable  $k-\epsilon$  ที่ถูกคำนวณร่วมกับสมการ wall function เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ดังรูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ ทั้งนี้พบว่าแบบจำลองความปั่นป่วน  $k-\epsilon$  ชนิด realizable ที่ถูกคำนวณร่วมกับสมการ standard, enhanced, non-equilibrium wall function ให้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามจากตารางที่ 2 เปรอ์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการระบายความร้อนสำหรับแบตเตอรี่ พบว่าแบบจำลองความปั่นป่วน  $k-\epsilon$  ชนิด realizable ที่ถูกคำนวณร่วมกับสมการ non-equilibrium wall function ให้ผลการคำนวณใกล้เคียงกับผลการทดลองมากกว่าแบบจำลองความปั่นป่วนแบบ RANS ทั้งหมด

จากรูปที่ 4-7 แสดงผลการคำนวณโดยเลือกใช้แบบจำลองความปั่นป่วน  $k-\epsilon$  ชนิด realizable ที่ถูกคำนวณร่วมกับสมการ non-equilibrium wall function ซึ่ง

เป็นแบบจำลองความปั่นป่วนที่ให้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุด สำหรับคำนวณการระบายความร้อนภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก ทั้ง 5 กรณีศึกษา จากรูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการวัดอุณหภูมิสำหรับแบตเตอรี่ พบว่ากรณีศึกษาที่ 5 การติดตั้งพัดลมไว้ระหว่างหน่วยประมวลผลกลาง และชิพเซต ให้ผลการคำนวณสำหรับการระบายความร้อนได้เป็นอย่างดี เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาทั้งหมด สำหรับรูปที่ 5 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของหน่วยประมวลผลกลาง กรณีศึกษาที่ 2 การติดตั้งพัดลมไว้ที่บริเวณใกล้แบตเตอรี่ และชิพเซต ให้ผลการคำนวณสำหรับการระบายความร้อนได้เป็นอย่างดี และมีอุณหภูมิแตกต่างกับกรณีศึกษาที่ 5 ประมาณ  $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  ซึ่งมีอุณหภูมิที่แตกต่างค่อนข้างน้อยมาก และจากรูปที่ 6 และ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของ หน่วยความจำ และ hard disk ตามลำดับ พบว่ากรณีศึกษาที่ 5 ให้ผลการคำนวณ สำหรับการระบายความร้อนได้เป็นอย่างดี เมื่อเปรียบเทียบกับทุกกรณี

จากตารางที่ 3 เปรอ์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งจากการระบายของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กสำหรับทั้ง 5 กรณี จะเห็นได้ว่าโดยภาพรวมของการคำนวณ กรณีศึกษาที่ 5 การติดตั้งพัดลมระบายความร้อนไว้ระหว่างหน่วยประมวลผลกลางและซีพียู นั้นสามารถระบายความร้อนบริเวณอุปกรณ์แบตเตอรี่, หน่วยความจำ และ hard disk ได้เป็นอย่างดี แต่พบว่าการติดตั้งพัดลมในลักษณะดังกล่าวจะไม่

ช่วยระบายความร้อนบริเวณอุปกรณ์หน่วยประมวลผลกลาง เนื่องจากอากาศที่ถูกดึงเข้าไปภายในคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กนั้นกระจายไม่ทั่วถึงอุปกรณ์หน่วยประมวลผลกลางเพราะถูกพัดลมที่ด้านข้างเหนี่ยวนำให้เคลื่อนที่ออกไปสู่ภายนอกเสียก่อน รูปที่ 8 แสดงรูปแบบการไหลของอากาศ และการกระจายอุณหภูมิภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก สำหรับกรณีศึกษาที่ 5

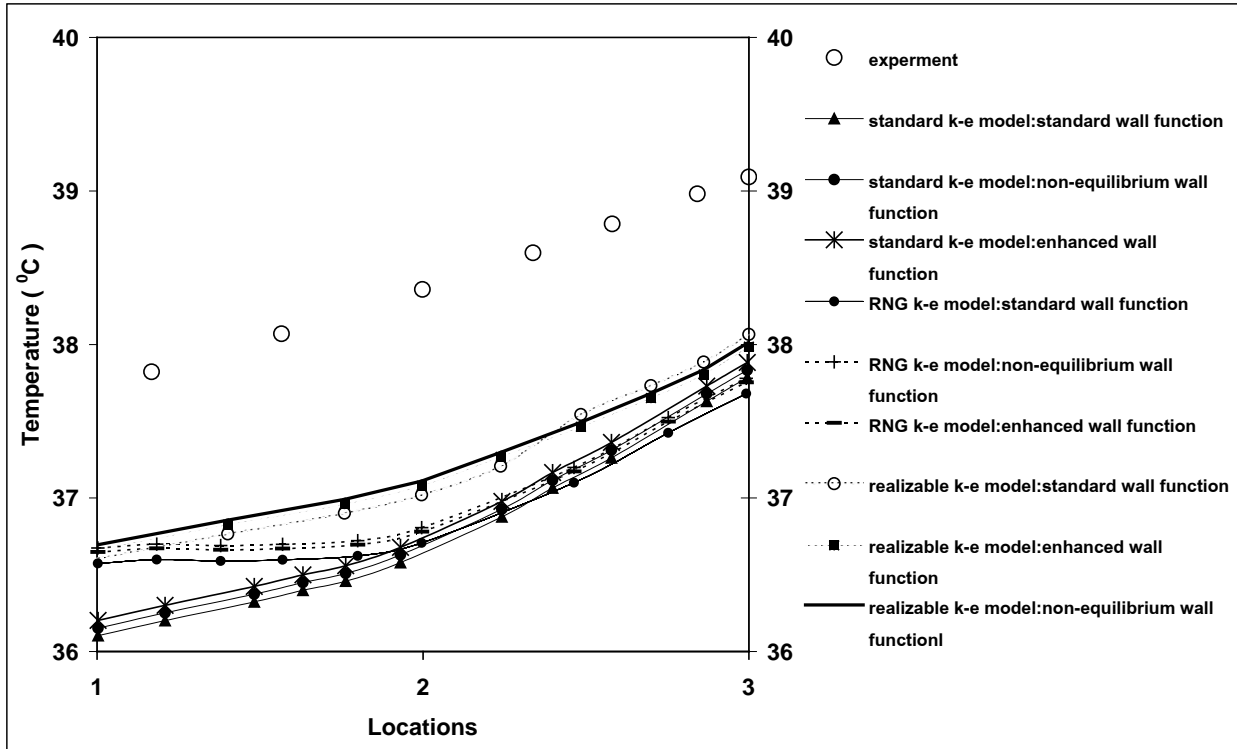
**ตารางที่ 2** เปรอ์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการระบายความร้อนสำหรับแบตเตอรี่

Model	Error percentage = $\frac{\sum_{i=1}^N \left( \frac{ experimental\ data - computational\ data }{experimental\ data} \right) \times 100\%}{N}$
standard $k-\epsilon$ : standard wall function	4.2645
standard $k-\epsilon$ : non-equilibrium wall function	4.1344
standard $k-\epsilon$ : enhanced wall function	4.0043
RNG $k-\epsilon$ : standard wall function	4.0358
RNG $k-\epsilon$ : non-equilibrium wall function	3.7756
RNG $k-\epsilon$ : enhanced wall function	3.8459
realizable $k-\epsilon$ : standard wall function	2.9283
realizable $k-\epsilon$ : non-equilibrium wall function	1.0725
realizable $k-\epsilon$ : enhanced wall function	2.9342

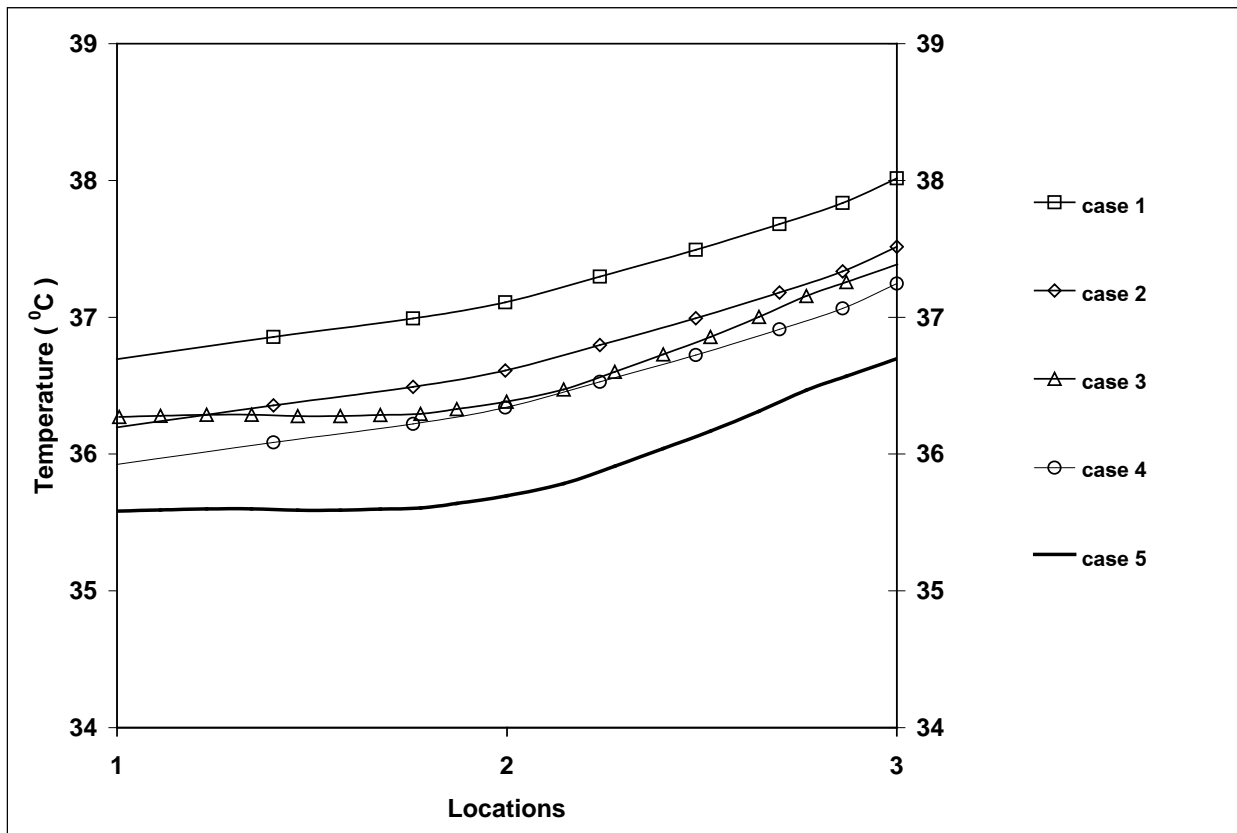
**ตารางที่ 3** อุณหภูมิเฉลี่ยของการระบายของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กสำหรับกรณีศึกษา

case	Average temperature			
	Battery	CPU	RAM	Hard disk
1	37.3304 °C	33.5724 °C	34.0186 °C	30.0827 °C
2	36.8304 °C	32.3376 °C	33.8622 °C	29.9347 °C
3	36.5798 °C	33.6462 °C	34.2049 °C	29.7168 °C
4	36.5604 °C	33.6843 °C	33.8394 °C	29.4024 °C
5	35.8908 °C	32.6758 °C	33.8105 °C	29.3251 °C



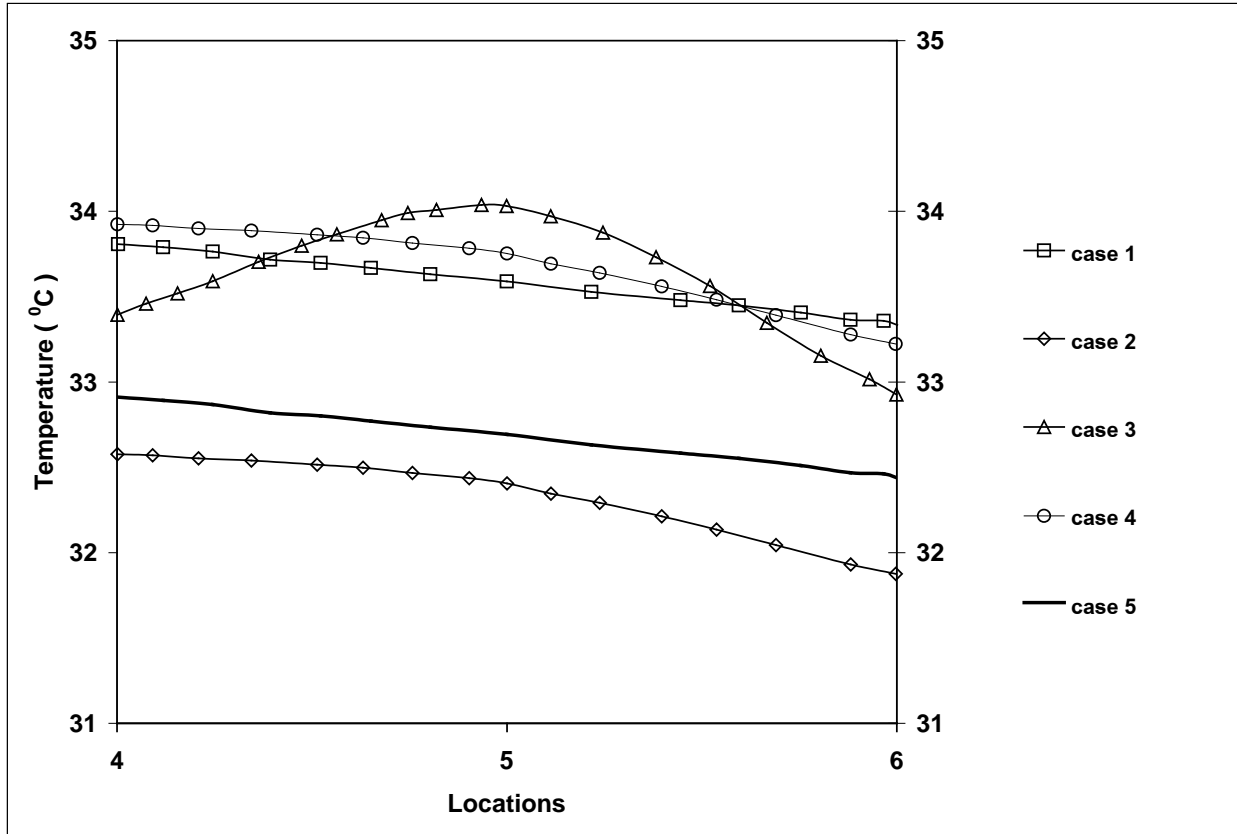


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง และอุณหภูมิสำหรับแบตเตอรี่ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของแบบจำลองความปั่นป่วนของเรย์โนลด์

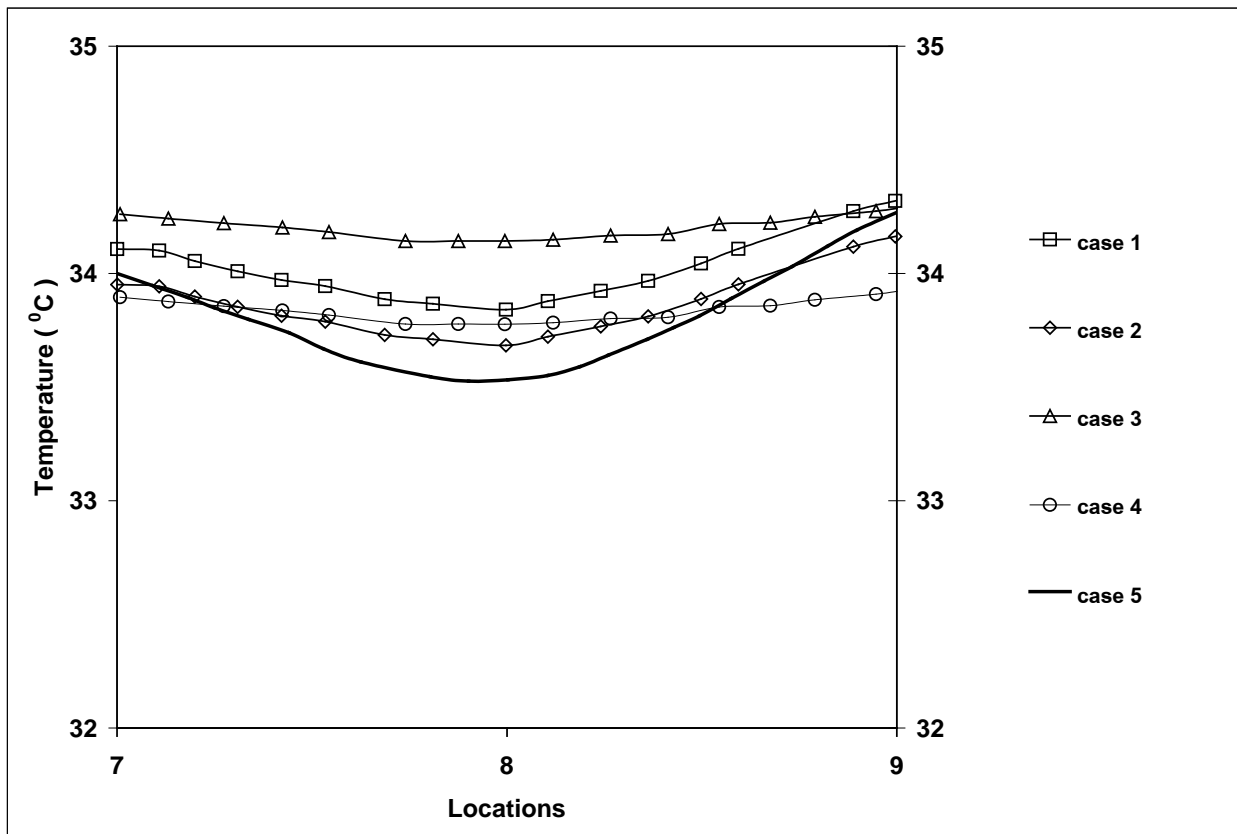


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง และอุณหภูมิ ภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (แบตเตอรี่) ทั้ง 5 กรณีศึกษา

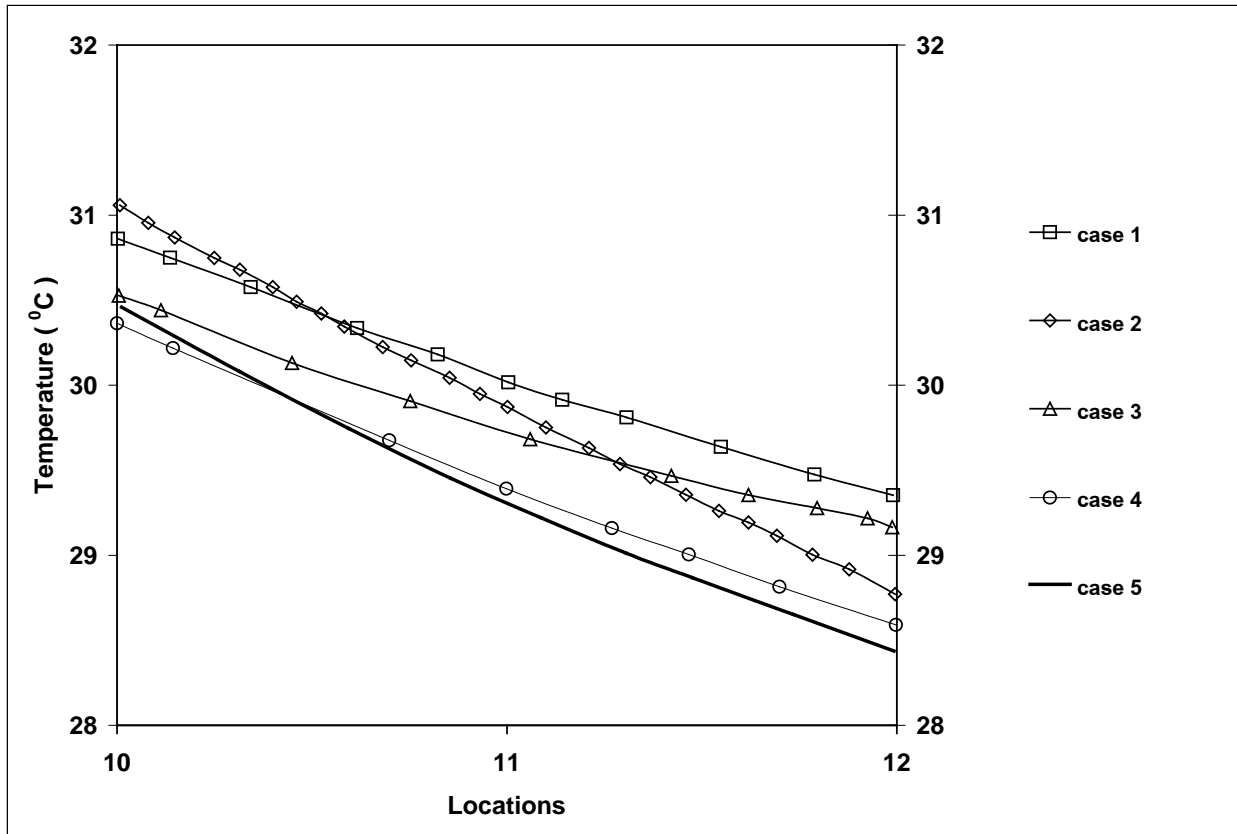




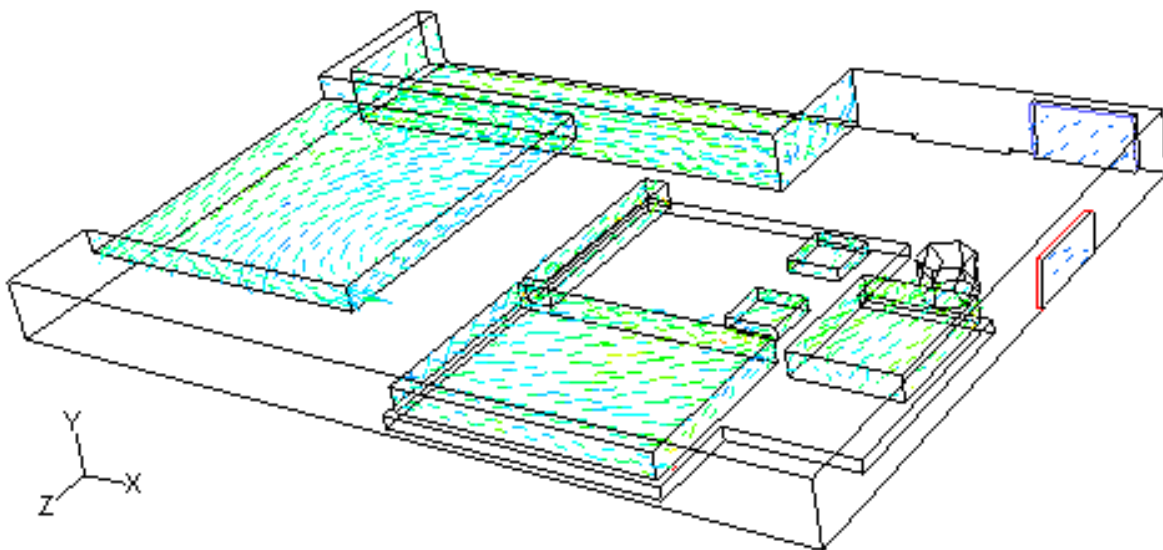
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง และอุณหภูมิ ภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (หน่วยประมวลผลกลาง) ทั้ง 5 กรณีศึกษา



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง และอุณหภูมิ ภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (หน่วยความจำ) ทั้ง 5 กรณีศึกษา



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง และอุณหภูมิ ภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (หน่วยประมวลผลกลาง) ทั้ง 5 กรณีศึกษา



รูปที่ 8 รูปแบบการกระจายอุณหภูมิของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก สำหรับกรณีศึกษาที่ 5

## 5. สรุป

การจำลองการระบายความร้อนภายในคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก เพื่อหาตำแหน่งในการติดตั้งพัดลมที่เหมาะสม ใช้แบบจำลองความปั่นป่วน realizable  $k-\epsilon$  ที่คำนวณร่วมกับสมการ non-equilibrium wall function ให้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลอง ความปั่นป่วน ของเรย์โนลด์ทั้งหมด และจากการจำลองการไหลกรณีศึกษาที่ 5 การติดตั้งพัดลมไว้ระหว่างหน่วยประมวลผลกลางและชิพเซตสามารถช่วยลดอุณหภูมิของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์โดยรวมได้ดีกว่าทุกกรณีศึกษา

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] J.Y. Chang, C.W. YU, and R.L. Webb., 2000. **Identification of Minimum Air Flow Design for a Desktop Computer Using CFD Modeling.** 7<sup>th</sup> Inter Society Conference on Thermal and Thermal-Mechanical, Phenomena in Electronic System, pp. 330-338.
- [2] เอกรงค์ สุขจิต, จักรพงษ์ แก้วกล้า, จิระพล ศรีเสริฐผล และเอกชัย จันทสาโร, 2549. **การใช้ซอฟต์แวร์ FLUENT ในการทำนายการระบายความร้อนภายในกล่องคอมพิวเตอร์เพื่อหาจำนวนและตำแหน่งในการติดตั้งพัดลมที่เหมาะสม.**
- [3] Boussinesq, J., 1877. **Theory de L'ecoulment Tourbillant. Memoires Presentes Par Divers Savants Sciences Mathematique at Physiques,** pp. 46-50.
- [4] B.E. Launder and D.B. Spalding, 1972. **Lectures in Mathematical Models of Turbulence.** Academic Press, London. England.
- [5] D. Choudhury, 1993. **Introductuon to the Renormalization Group Method and Turbulence Modeling.** Fluent Inc. Technical Memorandum TM-107.
- [6] T.H Shih et al., 1995. **A New Eddy-Viscosity Model for High Reynolds Number Turbulent Flow.** Computers Fluids, Vol. 24, No. 3, pp. 227-238.
- [7] Launder, B. E. and Spalding, D. B., 1974. **The Numerical Computation of Turbulent Flows.** Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, pp. 269-289.
- [8] Kim, S. E. and Choudhury, D., 1995. **A Near-Wall Treatment Using Wall Functions Sensitized to Pressure Gradient.** In ASME FED 217 ASME.
- [9] Kader, B., 1993. **Temperature and Concentration Profiles in Fully Turbulent Boundary Layers.** Int. J. Heat Mass Transfer, pp. 541-1544.