

การใช้ซอฟต์แวร์ FLUENT ในการทำนายการระบายความร้อนภายในกล่องคอมพิวเตอร์ เพื่อหาจำนวนและตำแหน่งในการติดตั้งพัดลมที่เหมาะสม

Using FLUENT to Predict Heat Transfer in a Computer Case to Optimize the Number of Fans and the Locations to Install

เอกรงค์ สุขจิต ^{1*} จักรพงษ์ แก้วกล้า ² จิระพล ศรีเสริฐผล ¹ และ เอกชัย จันทสาโร ¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

โทร 0-4422-4410 โทรสาร 0-4422-4613 *อีเมล s_eakarong@hotmail.com

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ 10900

โทร 0-6650-4357 อีเมล jukkrapong_k@hotmail.com

Eakarong Sukjit ^{1*}, Jakkrapong Klawkla ², Jiraphon SriSertpol ¹, and Ekachai Juntasaro ¹

¹ School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology,
Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand

Tel: 0-4422-4410, Fax: 0-4422-4613, *E-mail: s_eakarong@hotmail.com

² Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University,
Bangkhen, Bangkok 10900, Thailand

Tel: 0-6650-4357, E-mail: jukkrapong_k@hotmail.com

บทคัดย่อ

ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์จะลดลงเมื่อต้องทำงานในสภาวะที่อุณหภูมิภายในเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาจากอุปกรณ์ต่างๆ ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ เช่น หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) Hard disk และการ์ดคอมพิวเตอร์ต่างๆ โดยปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกถ่ายเทออกสู่สภาวะแวดล้อมภายนอกเครื่องคอมพิวเตอร์ ปริมาณความร้อนภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่สูงนั้นส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ และเกิดความเสี่ยงต่อความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ การออกแบบระบบระบายความร้อนเพื่อรักษาระดับของอุณหภูมิภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ บทความฉบับนี้นำเสนออิทธิพลของจำนวนและตำแหน่งในการติดตั้งพัดลมเพื่อช่วยระบายความร้อนภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลขด้วยซอฟต์แวร์ FLUENT เพื่อหาจำนวนและตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งพัดลมในการระบายความร้อน

Abstract

The performance of a desktop computer decreases due to the increase of the ambient temperature inside the computer case arising from components such as central processing unit (CPU), hard disk, computer cards, etc., which typically produce the heat load transferring to the ambient. The environment of high ambient temperature directly affects the overall performance and consequently there will be a higher risk of damage to those units. As a result, a good design of ventilation in the computer case is quite significant in order to maintain the ambient temperature within a range of appropriate levels, especially in case of operating the computer in the environment without temperature control outside the case. The present work aims to study the influence of fans affecting the ambient temperature change when operating on different conditions. The number of fans and their installation locations are considered as two interesting parameters to investigate here. Optimization of both parameters is found by performing numerical investigation using

the FLUENT software, in which the number of fans to be used and the location of fans to be installed are varied until the minimum values of the ambient temperature in the computer case are obtained.

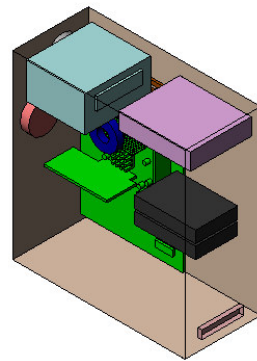
1. บทนำ

ในยุคที่เทคโนโลยีมีการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีขีดความสามารถที่สูงขึ้น หนึ่งในนั้นก็คือ เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันมีความสามารถในการประมวลผลที่เร็วกว่า 1 GHz ความจุของ Hard Disk ที่มากกว่า 100 GB ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถทำอะไรได้มากมายจนแทบจะเป็นอุปกรณ์ที่ขาดไม่ได้ในปัจจุบัน สิ่งที่เป็นปัญหาอย่างหนึ่งของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีมานานแล้วก็คือปัญหาเรื่องความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ การศึกษาเพื่อหาวิธีการระบายความร้อนภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมต่อการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นมีความยุ่งยากเนื่องจากภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำนวนมากทำให้ลักษณะการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นมีความซับซ้อนและยาก อีกทั้งพื้นที่ที่มีจำกัดภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ก็เป็นอุปสรรคต่อการออกแบบระบบระบายความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูง ในช่วงเวลาที่ผ่านมามีคณะผู้วิจัยหลายคนที่ได้ทำการศึกษาการระบายความร้อนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ T.Y.Lee และ M.Mahalingam [1] ได้ศึกษาการระบายความร้อนของ PCB (Printed Circuit Board) ในเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้ซอฟต์แวร์ FLOTHERM R.L.Linton และ D.Agonafar [2] ได้ใช้ซอฟต์แวร์ PHOENICS เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลซึ่งใช้ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัดร่วมกับระบบกริดเอียงและ SIMPLEST อัลกอริทึม H.Wong และ T.Lee [3] ศึกษาการระบายความร้อนของเครื่องคอมพิวเตอร์ PowerPC 620 โดยใช้ซอฟต์แวร์ FLOTHERM J.Y.Chang และ R.L.Webb [4] ได้ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ในการวิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศที่น้อยที่สุดในการระบายความร้อนภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ N.Khan และ M.K.Iyer [5] ได้เพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยการติดตั้งอุปกรณ์วางการไหลไว้ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างรูปแบบการไหลให้เหมาะสมต่อการระบายความร้อนภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ C.W.Yu และ R.L.Webb [6] ใช้ซอฟต์แวร์ ICEPAK ในการวิเคราะห์ผลกระทบของตำแหน่งของอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนที่มีต่อการระบายความร้อนภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ และ J.S.Chaing และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการติดตั้งพัดลมจำนวน 2 เครื่องที่ด้านข้างของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะและตำแหน่งในการติดตั้งพัดลมที่มีต่อการระบายความร้อนภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ อีกทั้งยังศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลของอากาศที่มีต่อการระบายความร้อน แต่ในการศึกษาข้างไม่ได้ศึกษาถึงผลของจำนวนของพัดลมที่ทำการติดตั้งที่มีต่อการระบายความร้อนภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังนั้นบทความฉบับนี้จึงนำเสนอผลกระทบของจำนวนและตำแหน่งในการติดตั้งพัดลมที่ด้านข้างของเครื่อง

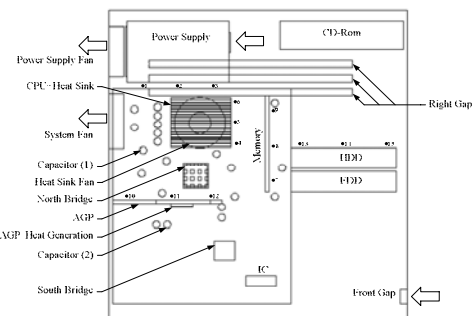
คอมพิวเตอร์ที่มีต่อการระบายความร้อนภายในเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป FLUENT 6.1.22 และจำกัดจำนวนพัดลมที่ใช้ในการติดตั้งไม่เกิน 3 เครื่อง

2. รูปร่างของปัญหา

อุปกรณ์ต่างๆภายในกล่องคอมพิวเตอร์ถูกจำลองให้มีรูปร่างที่ซับซ้อนน้อยลงเพื่อลดความยุ่งยากในการศึกษา และเลือกอุปกรณ์ที่จะส่งผลกระทบต่อการทำงานของอากาศและการกระจายตัวของอุณหภูมิเพื่อใช้ในการสร้างกล่องคอมพิวเตอร์ที่จะใช้ในการศึกษาครั้งนี้ กล่องคอมพิวเตอร์มีขนาด $0.41 \times 0.43 \times 0.18 \text{ m}^3$ ดังแสดงในรูปที่ 1 และรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งอยู่ภายในกล่องคอมพิวเตอร์แสดงในรูปที่ 2



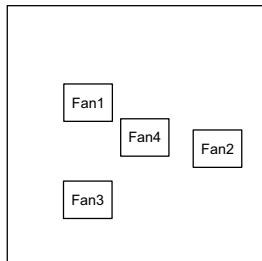
รูปที่ 1 รูปร่างของกล่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ 2 รายละเอียดของอุปกรณ์ภายในกล่องคอมพิวเตอร์

ในการศึกษาผลกระทบของจำนวนและตำแหน่งของพัดลมที่ติดตั้งไว้ด้านข้างของกล่องคอมพิวเตอร์ที่มีผลต่อการระบายความร้อนภายในกล่องคอมพิวเตอร์สามารถแบ่งเป็นกรณีศึกษาได้ทั้งหมด 9 กรณี โดยพิจารณาจำนวนพัดลมที่มากที่สุดคือ 3 เครื่องที่จะสามารถติดตั้งไว้ที่ด้านข้างของกล่องคอมพิวเตอร์ และพัดลมที่ใช้ในการติดตั้งเป็นพัดลมแบบ Induced Fan ดังรายละเอียดในรูปที่ 3 ตำแหน่งที่มีการติดตั้งพัดลมที่ด้านข้างจะเป็นตำแหน่งที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ที่มีความร้อนเกิดขึ้นสูงนั่นก็คือ Heat Sink, Hard Disk และ AGP Card การศึกษาจะเริ่มจากการติดตั้งพัดลม 1 เครื่องจนถึง 3 เครื่องตามตำแหน่งเหล่านั้น ส่วนในกรณีศึกษา Mode8 เป็นการติดตั้งพัดลมด้านข้างที่มักพบเห็นทั่วไปคือตำแหน่งในการติดตั้งจะอยู่ประมาณตรงกลางระหว่าง Heat

Sink และ Hard Disk ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของการติดตั้งพัดลมที่ด้านข้างของกล่องคอมพิวเตอร์จะใช้อุณหภูมิบริเวณใกล้ๆ กับอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนทั้งหมด 15 ตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 2



Fan1 location in the vicinity of heat sink
Fan2 location in the vicinity of hard disk
Fan3 location in the vicinity of AGP card
Fan4 location between the heat sink and hard disk (frequently encountered)

รูปที่ 3 รายละเอียดของกรณีศึกษาทั้ง 9 กรณี

3. การจำลองอุปกรณ์ต่างๆ ภายในกล่องคอมพิวเตอร์

สิ่งสำคัญในพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเพื่อที่จะให้ได้ผลการคำนวณที่น่าเชื่อถือ จำเป็นจะต้องกำหนดค่าสภาวะขอบเขตของอุปกรณ์ต่างๆ ให้สอดคล้องกับการทำงานจริงของอุปกรณ์เหล่านั้น ในการศึกษาการระบายความร้อนภายในกล่องคอมพิวเตอร์ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนสูงไม่ว่าจะเป็นการทำงานของ Heat Sink, Hard Disk หรือ Power Supply ซึ่งถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีส่วนสำคัญต่ออุณหภูมิภายในกล่องคอมพิวเตอร์ ดังนั้นเพื่อลดความยุ่งยากในการกำหนดสภาวะขอบเขตทางคณะผู้วิจัยจึงได้สมมติให้อุปกรณ์ต่างๆ ภายในกล่องคอมพิวเตอร์เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนที่มีอุณหภูมิคงที่ โดยค่าอุณหภูมิของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการกำหนดค่าสภาวะขอบเขตได้มาจากข้อมูลการวัดใน [8] ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิคือ Thermocouple type K รูปที่ 4 แสดงกล่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิเพื่อใช้ในการกำหนดสภาวะขอบเขตในส่วนของการทำงานของพัดลมจะถูกจำลองให้เป็นแหล่งกำเนิดโมเมนต์ภายในโดเมนการคำนวณซึ่งสามารถคำนวณขนาดของแหล่งกำเนิดโมเมนต์ของพัดลมได้จากค่า CFM (Cubic Feet per Minutes) และขนาดรูปร่างของพัดลม ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดค่าสภาวะขอบเขตแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 4 กล่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ที่ใช้วัดและเก็บค่าอุณหภูมิ



ตารางที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับการกำหนดค่าสภาวะขอบเขต

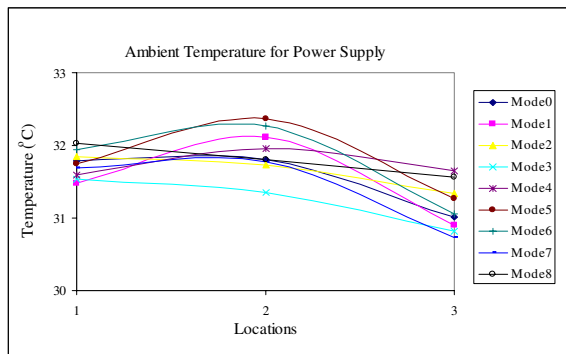
Component	Condition
CPU	42.15 °C
Heat Sink	39.29 °C
HDD	42.11 °C
FDD	37.23 °C
CD-Rom	33.71 °C
Power Supply	37.55 °C
IC	36.19 °C
North Bridge	41.55 °C
South Bridge	41.51 °C
Memory Card	36.37 °C
AGP Card	38.85 °C
AGP Heat Generation	46.53 °C
Capacitor (1)	37.75 °C
Capacitor (2)	37.45 °C
Power Supply Fan	42 CFM, D 75 mm, Depth 10 mm
System Fan	46 CFM, D 75 mm, Depth 10 mm
Heat Sink Fan	30 CFM, D _o 70 mm, D _i 30 mm, Depth 15 mm
Fan1, Fan2, Fan3, Fan4	46 CFM, D 75 mm, Depth 10 mm

4. แบบจำลองการไหลของอากาศ

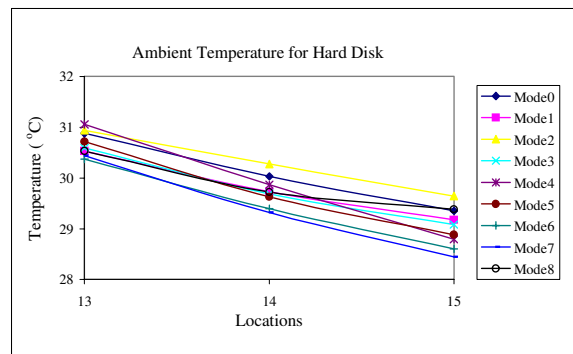
การไหลของอากาศภายในกล่องคอมพิวเตอร์ถูกสมมติให้เป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ ที่สภาวะคงตัว คุณสมบัติของอากาศมีค่าคงที่ และเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ในซอฟต์แวร์ FLUENT มีแบบจำลองความปั่นป่วนให้เลือกอยู่หลายแบบจำลองแต่ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้แบบจำลองความปั่นป่วน Realisable $k-\epsilon$ เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่มีความถูกต้องของผลการคำนวณมากที่สุดในบรรดาแบบจำลองความปั่นป่วน $k-\epsilon$ ในการทำนายการไหลที่เกิดการแยกตัว [9] ใช้วิธี QUICK ในการ Discretise สมการโมเมนต์และวิธี Upwind กับสมการพลังงาน สมการพลังงานจลน์ปั่นป่วนและสมการการสูญเสียพลังงานจลน์ปั่นป่วน โดเมนในการคำนวณมีขนาด 853,734 ปริมาตรควบคุมขนาดของปริมาตรควบคุมที่ใหญ่ที่สุดคือ $1.11 \times 10^{-7} \text{ m}^3$

5. ผลการคำนวณและการวิเคราะห์

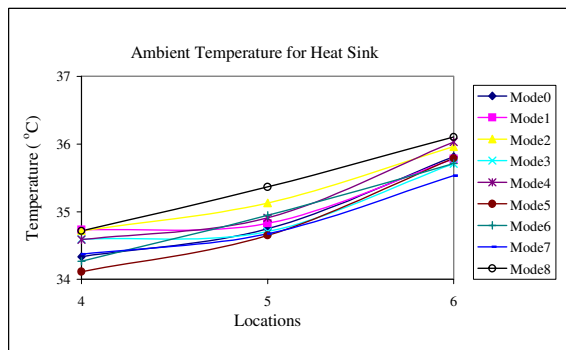
จากผลการคำนวณที่ได้แสดงค่าของอุณหภูมิทั้ง 15 ตำแหน่งดังรูปที่ 5-9 เพื่อใช้ในการประเมินผลกระทบของจำนวนและตำแหน่งของพัดลมที่ติดตั้งไว้ด้านข้างของกล่องคอมพิวเตอร์ที่มีต่อการระบายความร้อนภายในกล่องคอมพิวเตอร์



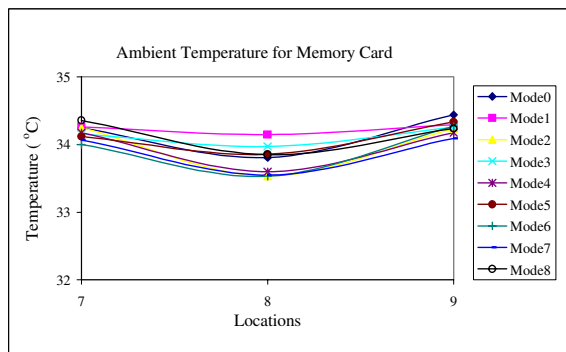
รูปที่ 5 Ambient Temperature for Power Supply



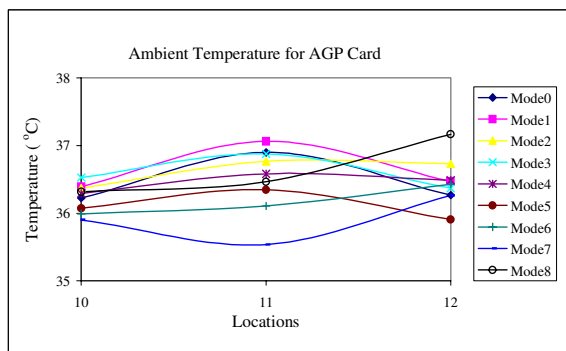
รูปที่ 9 Ambient Temperature for Hard Disk



รูปที่ 6 Ambient Temperature for Heat Sink



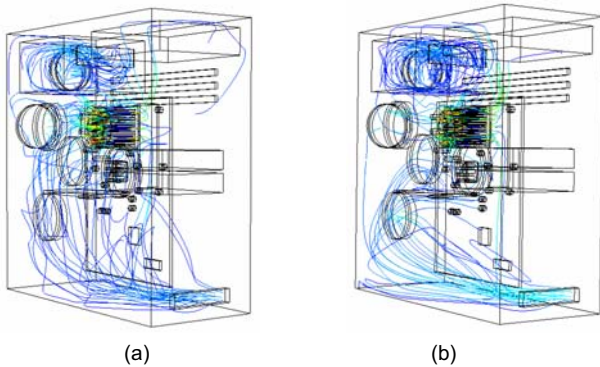
รูปที่ 7 Ambient Temperature for Memory card



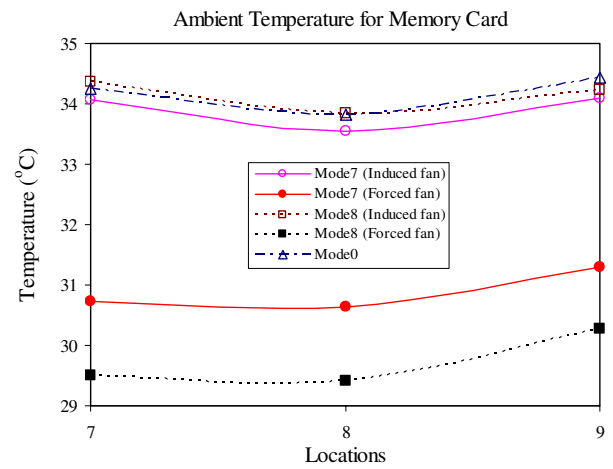
รูปที่ 8 Ambient Temperature for AGP Card

จากผลที่ได้พบว่าการติดตั้งพัดลมจำนวน 3 เครื่องไว้ที่ตำแหน่งของ Heat Sink, Hard Disk และ AGP Card (Mode7) จะช่วยลดอุณหภูมิของอากาศบริเวณใกล้ๆ กับอุปกรณ์เหล่านั้นได้มากที่สุด การติดตั้งพัดลมจำนวน 1 เครื่องหรือ 2 เครื่องไม่แสดงให้เห็นได้อย่างแน่ชัดว่าสามารถช่วยการระบายความร้อนภายในกล่องคอมพิวเตอร์ได้มากกว่าการไม่ติดตั้งพัดลมที่ด้านข้าง ผลต่างมากที่สุดของอุณหภูมิของทั้ง 15 ตำแหน่งของทุกกรณีศึกษาที่มีค่าประมาณ 1.5 °C ในรูปที่ 10 แสดงเส้นทางการไหลของขนาดความเร็วลมของกรณีศึกษา Mode0 และ Mode7 ตามลำดับซึ่งจะพบว่า การติดตั้งพัดลมที่ด้านข้างก็มีส่วนทำให้อากาศภายนอกกล่องคอมพิวเตอร์ไม่สามารถกระจายไปได้ทั่วถึงเนื่องจากโดนพัดลมด้านข้างดูดออกมาเสียก่อนซึ่งจะเห็นได้ชัดในรูปที่ 10 (b) จะต่างจากการไม่ติดตั้งพัดลมไว้ที่ด้านข้างเส้นทางการไหลจะถูกบังคับให้ไหลเข้าจากทางด้านหน้าแล้วออกทางด้านหลังซึ่งจะสามารถนำเอาอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในเข้าไปผสมกับอากาศภายในได้มากกว่า ดังนั้นการติดตั้งพัดลมในลักษณะที่ตั้งเอาอากาศภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ออกสู่ภายนอก (Induced Fan) อาจจะไม่เหมาะสมต่อการระบายความร้อนภายในกล่องคอมพิวเตอร์สำหรับการศึกษาในครั้งนี้

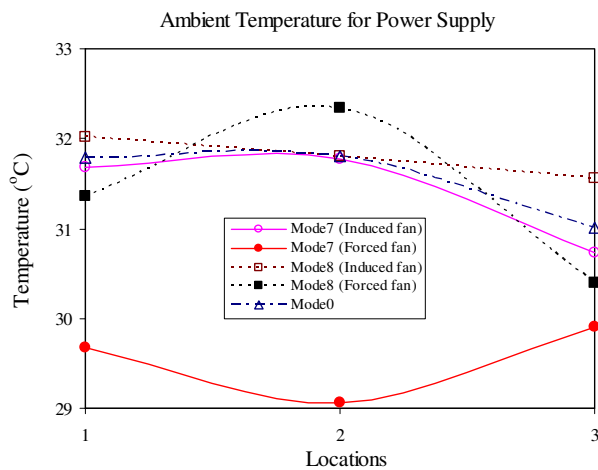
ผลของการเปลี่ยนพัดลมจากแบบ Induced Fan ไปเป็นพัดลมแบบ Forced Fan แสดงในรูปที่ 11-15 จากผลการคำนวณจะเห็นได้ว่าการติดตั้งพัดลมแบบ Forced Fan นั้นจะช่วยลดอุณหภูมิภายในกล่องคอมพิวเตอร์ได้ดีกว่าการติดตั้งพัดลมแบบ Induced Fan และการติดตั้งพัดลมแบบ Forced fan เพียง 1 เครื่อง บริเวณระหว่าง Heat Sink กับ Hard Disk นั้นสามารถช่วยระบายความร้อนบริเวณอุปกรณ์ Heat Sink, Memory และ AGP Card ได้เป็นอย่างดี แต่พบว่าการติดตั้งพัดลมในลักษณะดังกล่าวจะไม่ช่วยในการระบายความร้อนบริเวณอุปกรณ์ Hard Disk ดังผลการคำนวณในรูปที่ 15 เนื่องจากอากาศที่ถูกดึงเข้าไปภายในกล่องคอมพิวเตอร์นั้นกระจายไปไม่ถึงอุปกรณ์ Hard Disk เพราะถูกพัดลมที่ด้านหลังของกล่องคอมพิวเตอร์เหนี่ยวนำให้เคลื่อนที่ไปยังด้านหลัง ดังรูปแบบการไหลที่แสดงในรูปที่ 16



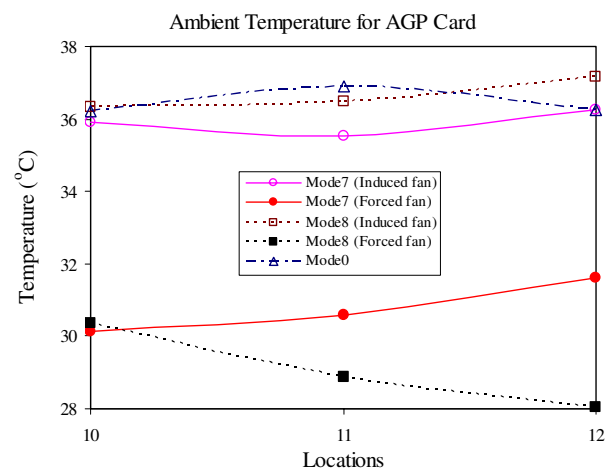
รูปที่ 10 เส้นทางการไหลของกรณีศึกษา (a) Mode0 (b) Mode7



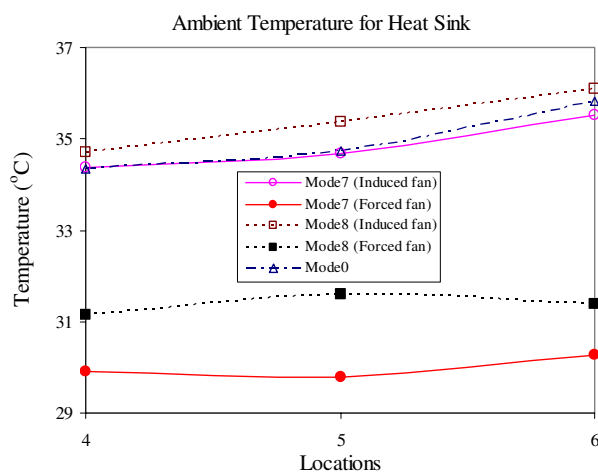
รูปที่ 13 Ambient Temperature for Memory Card กรณี Forced Fan



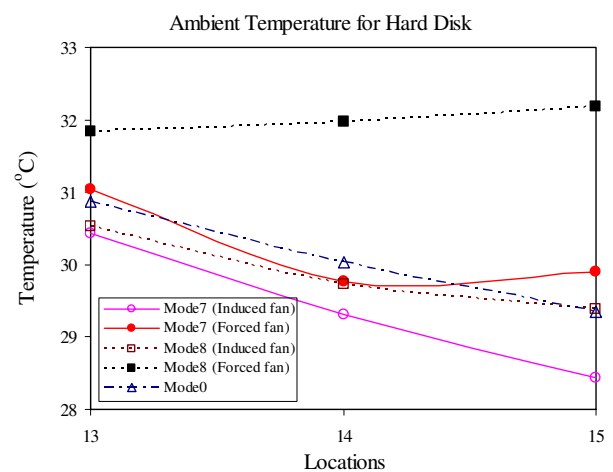
รูปที่ 11 Ambient Temperature for Power Supply กรณี Forced Fan



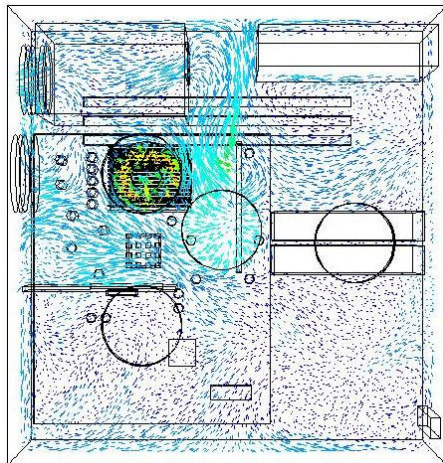
รูปที่ 14 Ambient Temperature for AGP Card กรณี Forced Fan



รูปที่ 12 Ambient Temperature for Heat Sink กรณี Forced Fan



รูปที่ 15 Ambient Temperature for Hard Disk กรณี Forced Fan



รูปที่ 16 รูปแบบการไหลของอากาศในกรณี Mode8 (Forced Fan)

6. สรุป

ผลของการติดตั้งพัดลมแบบ Forced Fan ที่ด้านข้างของกล่องคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าสามารถช่วยลดอุณหภูมิภายในกล่องคอมพิวเตอร์ได้ดีกว่าการติดตั้งพัดลมแบบ Induced Fan การติดตั้งพัดลมแบบ Forced Fan จำนวน 1 เครื่อง บริเวณระหว่าง Heat Sink กับ Hard Disk นั้นสามารถช่วยระบายความร้อนบริเวณอุปกรณ์ Heat Sink, Memory และ AGP Card ได้เป็นอย่างดี

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายกฤษฎา จันทพันธ์ นายธรรมนูญ เตชะนา และ นายภาณุพันธ์ ขวัญเมือง นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำหรับข้อมูลของอุณหภูมิที่อุปกรณ์ต่างๆเพื่อใช้ในการกำหนดค่าสภาวะขอบเขต และขอขอบคุณ คุณประสิทธิ์ชัย ดำเนินจิตกิจ วิศวกรประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] T.Y. Lee, and M. Mahalingam, "Application of a CFD Tool for System-Level Thermal Simulation," IEEE Transaction on Components, Packaging, and Manufacturing Technology-Part A, Vol. 17, No. 4, 1994, pp. 564-571.
- [2] R.L. Linton, and D. Agonafer, "Thermal Model of a PC," ASME Journal of Electronic Packaging, Vol. 116, 1994, pp. 134-137.
- [3] H. Wong, and T.Y. Lee, "Thermal Evaluation of a PowerPC 620 Microprocessor in a Multiprocessor Computer," IEEE Transaction on Components, Packaging, and Manufacturing Technology-Part A, Vol. 19, No. 4, 1996, pp. 469-477.
- [4] J.Y. Chang, C.W. Yu, and R.L. Webb, "Identification of Minimum Air Flow Design for a Desktop Computer Using CFD Modeling," 7th Inter Society Conference on Thermal and

Thermal-Mechanical, Phenomena in Electronic System, 2000, pp. 330-338.

- [5] N.Khan, Pinjala, and M.K. Iyer, "Thermal Enhancement of Desktop Computer by Chassis Design Optimization," 2000 Electronics Packaging Technology Conference, 2000, pp. 60-64.
- [6] C.-W. Yu, and R.L. Webb, "Thermal Design of a Desktop Computer System Using CFD Analysis," 17th IEEE SEMI-THERM Symposium, 2001, pp. 18-26.
- [7] J.S. Chiang, S.H. Chuang, Y.K. Wu, and H.J. Lee, "Numerical Simulation of Heat Transfer in a Desktop Computer with Heat-Generating Component," Heat and Mass Transfer, Vol. 32, 2005, pp. 18-191.
- [8] กฤษฎา จันทพันธ์, จักรพงษ์ แก้วกล้า, ธรรมนูญ เตชะนา และ ภาณุพันธ์ ขวัญเมือง, "การประยุกต์ใช้ CFD Software และการวัดอุณหภูมิของการระบายความร้อนภายในคอมพิวเตอร์," โครงการงานปริญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2547.
- [9] FLUENT Inc. FLUENT User's Guide. Version 6.1. Lebanon, NH, USA:FLUENT Inc., 2001.