



การกระจายอุณหภูมิในหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ที่เกิดจากความร้อนของมอเตอร์

ขดลวด

Temperature Distribution in Hard Disk Head Influenced by Voice Coil Motor Heat Generation

ปกรณวิศว์ ปัดธา และเกียรติฟ้า ตั้งใจจิต*

Pakornwit Padtha and Kiatfa Tangchaijit*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*Correspondent author: kiatfa@kku.ac.th

Received February 25, 2010

Accepted April 22, 2011

บทคัดย่อ

หัวอ่านของฮาร์ดดิสก์ (head suspension assembly) มีการสร้างความร้อนขึ้นในส่วนขดลวดมอเตอร์ (voice coil motor) และสไลเดอร์ (slider) แล้วถ่ายโอนความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านเบร้งไปยังแผ่นฐานของฮาร์ดดิสก์ (hard disk base plate) นอกจากนี้ยังถ่ายโอนโดยการพาผ่านอากาศที่ไหลเวียนไปยังชิ้นส่วนอื่นภายในฮาร์ดดิสก์อีกด้วย บทความนี้ต้องการศึกษาการกระจายอุณหภูมิในหัวอ่านและศึกษาถึงส่งผลกระทบต่อสไลเดอร์เมื่อเกิดความร้อนขึ้นที่คอยล์ในช่วงอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 40 ถึง 180 °ซโดยใช้หลักการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite elements) ซึ่งผลที่ได้จะใช้เป็นสภาวะขอบเขตของการศึกษาปัญหาการไหลของอากาศในขั้นต่อไป สมการไฟไนต์เอลิเมนต์สร้างขึ้นโดยพิจารณาจากทั้งการนำและการพาความร้อน แล้วหาผลเฉลยโดยการประมาณค่าด้วยวิธีของกาลเอร์กิน (Galerkin) ประมวลผลเมื่ออุณหภูมิกระจายในสภาวะคงที่ พบว่าเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิในคอยล์จะเกิดการกระจายอุณหภูมิไปยังแขนหัวอ่าน (arm block) ในลักษณะเดียวกันแต่ปริมาณแตกต่างกัน โดยอุณหภูมิที่กระทำต่อเบร้งมีค่าสูงสุด 138 °ซในขณะที่ตอนปลายของหัวอ่านมีค่าอยู่ในช่วงอุณหภูมิห้อง ดังนั้น กล่าวได้ว่าความร้อนจากคอยล์ไม่ส่งผลกระทบต่อสไลเดอร์

Abstract

The Head Suspension Assembly generates heat in parts of the Voice Coil Motor and Slider and heat is transferred by conduction through bearings to the Hard Disk Base Plate. It is also transferred by convection through the air circulation away from the other components within the hard disk as well. This article is to study the temperature distribution in the head and study the impact of a slider on the thermal trend of coils in the temperature range from 40 to 180 °ซby using the principle of finite elements. The results will be used as boundary conditions to study the problem of air flow in the next step. Finite element equations are generated by considering the heat conduction and convection. Then the solution is found by the Galerkin approximation by computing the temperature distribution in the steady state. It was found that the temperature in the coil changes the

distribution in the steady state. It was found that the temperature in the coil changes the temperature distribution to the Arm Block in the same way, but the amount varies. The temperature acting on the bearings has a maximum of 138 °C, while the ends of the heads are in the range of room temperature so that the heat from the coil does not affect the slider.

คำสำคัญ: หัวอ่านของฮาร์ดดิสก์ มอเตอร์ขดลวด ไฟไนต์เอลิเมนต์

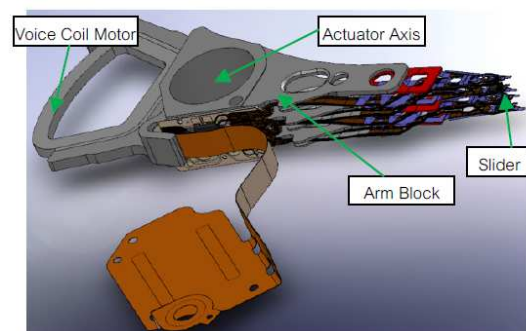
Keywords: head suspension assembly, voice coil motor, finite element

1. บทนำ

เมื่อฮาร์ดดิสก์เริ่มทำงาน จะเกิดความร้อนขึ้นในอุปกรณ์หลักๆ ได้แก่ หัวอ่าน (head) มอเตอร์หมุนแกน (spindle motor) และแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ความร้อนดังกล่าวจะเกิดการถ่ายโอนไปยังส่วน ประกอบต่างๆ และส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการทำงานของฮาร์ดดิสก์ อาจส่งผลร้ายแรงถึงขั้นทำให้ฮาร์ดดิสก์เสียหาย หรืออาจทำให้ความเร็วในการทำงานลดลง อุณหภูมิและความเร็วของการหมุนทำให้แผ่นสื่อ (media) เสียรูป (deformation) ได้ (Son et al., 2000) เมื่อพิจารณาแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งประกอบอยู่ด้านหลังแผ่นฐาน (base plate) ของฮาร์ดดิสก์ จะมีฉนวนป้องกันอยู่ระหว่างแผ่นฐานกับแผงวงจร ความร้อนจากแผงวงจรจึงจะไม่นำมาพิจารณา ที่มอเตอร์หมุนแกนจะมีขดลวดอยู่ภายในซึ่งสามารถสร้างความร้อนได้ และแกนหมุนจะมีแผ่นสื่อยึดติดอยู่ซึ่งก็จะได้รับความร้อนมาจากหัวอ่าน ดังนั้น ในการวิเคราะห์ระบบทางความร้อนในฮาร์ดดิสก์จึงจำเป็นต้องศึกษาการกระจายอุณหภูมิในหัวอ่านก่อน งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการกระจายอุณหภูมิในหัวอ่านของฮาร์ดดิสก์ โดยใช้แบบจำลองเป็นฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว หัวอ่านสามารถอ่านข้อมูลจากแผ่นสื่อจำนวน 2 แผ่น โดยส่วนประกอบของหัวอ่านจะมีชิ้นส่วนที่เกิดความร้อนคือ มอเตอร์ขดลวด (voice coil motor) และสไลเดอร์ (slider) ดังรูปที่ 1

ชิ้นส่วนที่เป็นสไลเดอร์ได้มี Juang et al.

(2007) ทำการประมวลผลและวิเคราะห์สไลเดอร์ที่แตกต่างกัน 4 แบบ พบว่ามีอุณหภูมิเกิดขึ้นสูงสุด 7.8 K นอกจากนี้ Hua et al. (2009) ได้ศึกษาถึงผลกระทบจากอุณหภูมิและความชื้นของสภาพแวดล้อมที่มีต่อสไลเดอร์ ส่วน Naphon (2010) ได้ศึกษาการกระจายอุณหภูมิที่หัวอ่าน อันเนื่องมาจากการบิดกรีสายสัญญาณเข้ากับหัวอ่าน Liu et al. (2003) ได้ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite elements) และการทดลองเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของหัวอ่านในกรณีที่เป็น “Butterfly mode” ส่วน Zhou et al. (2009) ได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบของสไลเดอร์อันเนื่องมาจากสมบัติของอากาศที่เปลี่ยนตามอุณหภูมิ Xu and Guo (2003) ทำการวิเคราะห์หาไหมคของหัวอ่านทั้งจากการทดลองและใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ ชิ้นส่วนที่เป็นมอเตอร์ขดลวดได้มีข้อมูลด้านอุณหภูมิทำงานสูงสุดเป็น 453 K (180°ซ) (Western Digital, 2009) เมื่อพิจารณาที่แขน



รูปที่ 1. มอเตอร์ขดลวด (Voice Coil Motor) และ สไลเดอร์ (Slider) ที่เป็นส่วนประกอบที่เกิดความร้อนขึ้นในหัวอ่านฮาร์ดดิสก์

หัวอ่าน (arm block) ซึ่งจะมีแกนหมุน (actuator axis) ที่เป็นชิ้นส่วนประกอบสัมผัสกับแบร์ริงกล (ball bearing) อยู่ เนื่องจากเป็นชิ้นส่วนสัมผัสกัน ซึ่งมีพื้นที่ผิวที่น้อยมาก กล่าวได้ว่าเกิดการถ่ายโอนความร้อนในปริมาณน้อยมาก จึงไม่นำมาพิจารณา งานวิจัยจะทำการวิเคราะห์โดยเทียบกับอุณหภูมิบรรยากาศ และพิจารณาในช่วงอุณหภูมิ 40 K ถึง 180 K ดังนั้น อุณหภูมิที่สไลเดอร์ จึงจะถูกกละทิ้งไป ทำให้ลักษณะทางกายภาพที่จะนำมาวิเคราะห์ จะมีเฉพาะมอเตอร์ขับเคลื่อน กาวอีพอกซี (epoxy) และแขนหัวอ่าน เท่านั้น

ความร้อนที่เกิดขึ้นในขดลวดมอเตอร์ จะเกิดการถ่ายโอนโดยการนำผ่านวัสดุที่ประกอบกันอยู่ อันได้แก่ อีพอกซีและแขนหัวอ่าน โดยผิววัสดุที่สัมผัสกับอากาศจะเกิดการพาความร้อนออกด้วย ในการศึกษาการกระจายอุณหภูมิในชิ้นส่วนดังกล่าว งานวิจัยนี้จะใช้หลักการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในการประมวลผลและแสดงผล แล้วใช้เป็นสถานะขอบเขตในการวิเคราะห์ความร้อนที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนอื่นๆ ต่อไป

2. วิธีวิจัย

2.1 สมการไฟไนต์เอลิเมนต์

ที่ผิวนอกของหัวอ่านเกิดการพาความร้อนตามธรรมชาติ (natural convection) ตามสมการของ Newton's Convection Boundary Condition คือ

$$q_n = \alpha(T - T_\infty) \quad (1)$$

เมื่อ q_n เป็น ฟลักซ์ที่ผ่านเข้าที่พื้นผิวด้านนอกในทิศตั้งฉาก n และ α คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

$$\int_V (\nabla v)^T D \nabla T dV = - \int_{sh} v h dS - \int_{sg} v q_n dS + \int_V v Q dV \quad (2)$$

สมการการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบ weak form (Lewis et al., 2004) คือ

เมื่อ V คือปริมาตรของวัตถุ และ S คือ พื้นผิวที่ประกอบไปด้วย S_h กับ S_g โดยที่ ฟลักซ์ $q_n = h$ และอุณหภูมิ $T = g$ ค่าอุณหภูมิจะประมาณโดยค่าเฉลี่ยของ

$$\nabla T = B a = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial x} & \frac{\partial N_2}{\partial x} & \dots & \frac{\partial N_n}{\partial x} \\ \frac{\partial N_1}{\partial y} & \frac{\partial N_2}{\partial y} & \dots & \frac{\partial N_n}{\partial y} \\ \frac{\partial N_1}{\partial z} & \frac{\partial N_2}{\partial z} & \dots & \frac{\partial N_n}{\partial z} \end{bmatrix} a \quad (4)$$

$$T = \begin{bmatrix} N_1 & N_2 & \dots & N_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

n เป็นจำนวนจุดโนด (nodal points) ภายในวัตถุ N_i เป็นฟังก์ชันของ x, y และ z นั่นคือ $N_i = N_i(x, y, z)$ จาก (3) จะได้ว่า

สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ของ (2) จะใช้การประมาณค่าโดยวิธีของ Galerkin โดยการแทน (4) ลงใน (1) จะได้

$$\left(\int_V (\nabla v)^T D B dV \right) a = - \int_{S_h} v h dS - \int_{S_g} v q_n dS + \int_V v Q dV \quad (5)$$

เลือกฟังก์ชันถ่วงน้ำหนัก (weight function), เมื่อ v ขึ้นอยู่กับเมตริกซ์ c และเนื่องจาก $v = v^T$ จะได้ว่า

$$v = Nc, \quad \nabla v = Bc, \quad v = c^T N^T \quad (6)$$

ค่า c ไม่ขึ้นอยู่กับตำแหน่ง ดังนั้น

$$c^T \left[\left(\int_V B^T D B dV \right) a + \int_{S_h} N^T h dS + \int_{S_g} N^T q_n dS - \int_V N^T Q dV \right] = 0 \quad (7)$$

เมื่อให้ c^T เป็นศูนย์ จะได้ว่า

$$\left(\int_V B^T DB dV\right)a = -\int_{s_h} N^T h dS - \int_{s_g} N^T q_n dS + \int_V N^T Q dV \quad (8)$$

เทียบกับสมการ $Ka = f_b + f$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} K &= \int_V B^T DB dV; \\ f_b &= -\int_{s_h} N^T h dS - \int_{s_g} N^T q_n dS; \\ f_l &= \int_V N^T Q dV \end{aligned} \quad (9)$$

ขอบเขต S มีส่วนประกอบคือ S_g กับ S_h โดยที่ ฟลักซ์เป็น q_n และอุณหภูมิเป็น T เมื่อเกิดการพาความร้อนขึ้นในส่วนใดส่วนหนึ่งของขอบเขต และให้ S_c หมายถึง ชิ้นส่วน จาก (9) ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับขอบเขตจะมีเพียงเวกเตอร์ f_b ซึ่งจะทำให้ได้ว่า

$$f_b = -\int_{s_h} N^T h dS - \int_{s_g} N^T q_n dS - \int_{s_c} N^T q_n dS \quad (10)$$

ในการพิจารณาผลจากการพาความร้อน ตัวแปรไม่ทราบค่าของอุณหภูมิ T จะถูกแทนที่ด้วย $T = Na$ จาก (1) จะได้

$$q_n = \alpha Na - \alpha T_\infty$$

แล้วแทนลงใน (10) ได้ผลคือ

$$f_b = -\int_{s_h} N^T h dS - \int_{s_g} N^T q_n dS - \left(\int_{s_c} \alpha N^T N dS\right)a + T_\infty \int_{s_c} \alpha N^T dS \quad (11)$$

ดังนั้น จะได้สมการไฟไนต์เอลิเมนต์คือ

$$(K + K_c)a = -\int_{s_h} N^T h dS - \int_{s_g} N^T q_n dS + T_\infty \int_{s_c} \alpha N^T dS + f_l \quad (12)$$

$$\text{เมื่อ } K_c = \int_{s_c} \alpha N^T N dS$$

เมื่อวัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนเป็นวัสดุที่มีสมบัติทางกายภาพเหมือนกัน (isotropic) เมตริกซ์องค์-

ประกอบ (constitutive matrix) จะเขียนได้เป็น (Ottosen et al., 1992)

$$D = k \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = kI \quad (13)$$

ในการหาคำตอบของสมการไฟไนต์เอลิเมนต์นี้จะใช้เอลิเมนต์แบบ Solid90 ซึ่งเป็นเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม ดังรูปที่ 2 สำหรับเอลิเมนต์แบบ Quadratic 20 Node Hexahedron จะได้ Shape Function เป็นดังนี้

กรณี โหนดอยู่ที่มุม

$$N_i = \frac{1}{8}(1+\xi\xi_i)(1+\eta\eta_i)(1+\rho\rho_i)(\xi\xi_i + \eta\eta_i + \rho\rho_i - 1) \quad (14a)$$

เมื่อ i คือ โหนดที่ I, J, K, L, M, N, O, P

กรณี โหนดอยู่ที่ตรงกลางของขอบ

$$N_i = \frac{1}{4}(1-\xi^2)(1+\eta\eta_i)(1+\rho\rho_i) \quad (14b)$$

เมื่อ i คือ โหนดที่ Q, S, W, U

$$N_i = \frac{1}{4}(1-\eta^2)(1+\xi\xi_i)(1+\rho\rho_i) \quad (14c)$$

เมื่อ i คือ โหนดที่ A, B, Y, Z

$$N_i = \frac{1}{4}(1-\rho^2)(1+\xi\xi_i)(1+\eta\eta_i) \quad (14d)$$

เมื่อ i คือ โหนดที่ R, V, X, T

เมตริกซ์ความแข็งแกร่งของเอลิเมนต์ (element stiffness matrix), K และเวกเตอร์ภาระของเอลิเมนต์ (element load vector), F_l เป็นไปตาม (9) และ (11) และ B เป็นเมตริกซ์คงที่จะทำได้ว่า

$$K = kB^T BV \quad (15)$$

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 แบบจำลองและชนิดของเอลิเมนต์

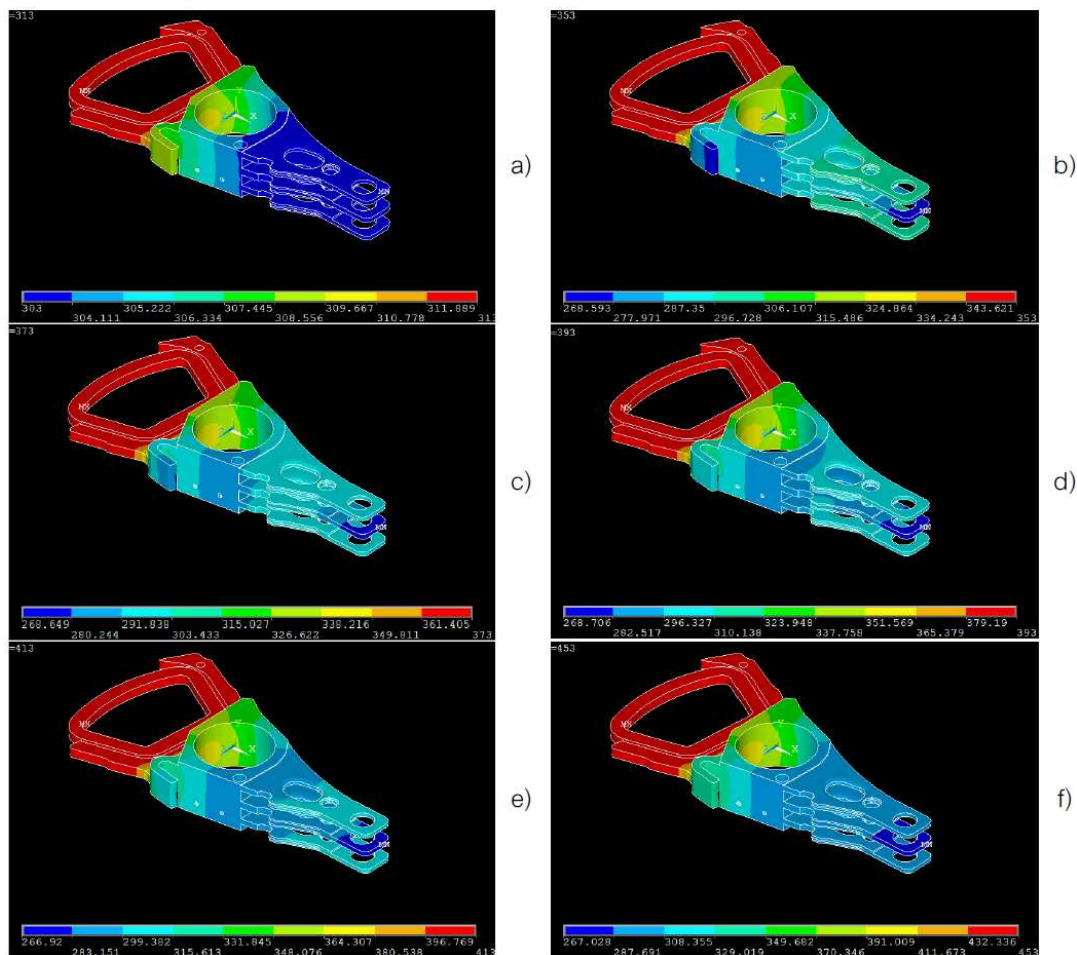
ในสภาวะที่ฮาร์ดดิสก์ทำงานกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปยังมอเตอร์ขดลวด จะทำให้เกิดความร้อนขึ้น ความร้อนปริมาณนี้จะถือว่าปริมาณคงที่

ผลของการประมวลผลพบว่าไม่ว่าอุณหภูมิที่ขดลวดมอเตอร์จะเป็นเท่าใด ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิจะเป็นไปในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ อุณหภูมิค่ามากจะเกิดขึ้นในชิ้นส่วนที่อยู่ติดกับขดลวดมอเตอร์ แล้วมีค่าลดลงไปเรื่อยๆ จนถึงปลายของแขนหัวอ่าน อุณหภูมิที่กระจายผ่านรอบๆ แกนหัวอ่านมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว อันเนื่องมาจากอิทธิพลของการพาความร้อนของอากาศ และเมื่อผ่านช่วงนี้ไปอุณหภูมิจะมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยจนถึงส่วนปลายของแกนหัวอ่าน ดังรูปที่ 5 โดยอุณหภูมิที่กระจายผ่านแกนหัวอ่านมีค่ามากที่สุดอยู่ที่ประมาณ 391 K (118 °C) ตามปกติหลังจากฮาร์ดดิสก์เริ่มหมุน เวลาที่

หัวอ่านจะเริ่มเคลื่อนที่จะใช้เวลาไม่มากนัก เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงที่เวลาประมาณ 5 วินาที ซึ่งยังไม่เกิด สภาวะคงตัว การกระจายของอุณหภูมิแต่ละช่วงเป็นดังรูปที่ 5a ถึง 6f

4. สรุป

ลักษณะการกระจายอุณหภูมิในทุกช่วงค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการประมวลผล มีลักษณะใกล้เคียงกันมาก แตกต่างกันที่ค่าของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น อุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ที่มอเตอร์ขดลวด และต่ำสุดอยู่ที่ส่วนปลายของ แกนหัวอ่าน บริเวณที่สัมผัสกับแกนหัวอ่าน จะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างมาก โดยที่อุณหภูมิเริ่มต้นของ



รูปที่ 5. การกระจายอุณหภูมิในวินาทีที่ 5 ที่เกิดจากอุณหภูมิของมอเตอร์ขดลวด a) ที่ 313 K, b) ที่ 353 K, c) ที่ 373 K, d) ที่ 393 K, e) ที่ 413 K, และ f) ที่ 453 K

มอเตอร์ขดลวด ที่ 373 K เมื่อถึงปลายแขนหัวอ่าน จะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิถึงประมาณ 47 K และที่อุณหภูมิเริ่มต้นของมอเตอร์ขดลวด ที่ 453 K มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิถึงประมาณ 116 K การประมวลผลแสดงให้เห็นว่าส่วนปลายของ แขนหัวอ่านจะได้รับผลกระทบจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากมอเตอร์ขดลวดน้อยมาก

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) และ ศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านส่วนประกอบฮาร์ด-ดิสก์ไดรฟ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (I/U CRC) ที่ให้ความอนุเคราะห์ สนับสนุนทุนวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

Son, H. Kikuchi, N., Galip Ulsoy, A. and Yigit A.S. 2000. Dynamic of prestressed rotating anisotropic plates subject to transverse loads and heat sources, Part II: Application to specially orthotropic disk. **J Sound Vib.** 236(3): 487-504.

Juang, J.-Y. and Bogy, D.B. 2007. Air-bearing effects on actuated thermal pole-tip protrusion for hard disk drives. **ASME J Tribol.** 129: 570-578.

Xu, L.M. and Guo, N. 2003. Modal testing and finite element modeling of sub-system in hard disk drive. **Mech Syst Signal Process.** 17(4): 747-764.

Ottosen, N.S. and Petersson, H. 1992. **Introduction to the Finite Element Method.** Prentice Hall International.

Naphon, P. and Maharchon, S. 2010. Temperature distribution of read/write head

soldering with ribbon cable of HDD. **Int Comm Heat Mass Tran.** 37: 379-384.

Lewis, R.W., Nithiarasu, P. and Seetharamu, K.N. 2004. **Fundamentals of the Finite Element Method for Heat and Fluid Flow.** John Wiley and Sons.

Zhou, W.D., Wong, C.H., Liu, B., Yu, S.K. and Hua, W. 2009. Effects of temperature dependent air properties on the performances of a thermal actuated slider. **Tribol Int.** 42: 902-910.

Hua, W., Zhou, W., Liu, B., Yu, S. and Wong, C.H. 2009. Effect of environment humidity and temperature on stationary and transient flying responses of air bearing slider. **Tribol Int.** 42: 1125-1131.

Western Digital co.ltd. Data Sheet. 2009.

Liu, X., Liu, J. and Lim, C. K. 2003. Fem and experiment analysis of the actuator 'Butterfly mode' in a hard-disk drive. **Mech Syst Signal Process.** 17(5): 955-964.