

อิทธิพลของวัสดุพรุนต่อการลอยตัวของหัวอ่านไฟฟ้าชนิดสามราง Influence of Porous Materials on Flying Height under Tri rail Head Slider

พุทธา จินครวั ^{1*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ถนน ลาดยาวบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
รหัสไปรษณีย์ 20131

*ติดต่อ: Puttha@buu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาอิทธิพลของวัสดุพรุนที่อากาศสามารถซึมเข้าสู่เนื้อวัสดุต่อพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านไฟฟ้าชนิดสามราง โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาดังกล่าวด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลข โดยที่พฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์ สามารถที่จะทำนายได้จากทฤษฎีการหล่อลื่นด้วยอากาศ อันได้แก่สมการเรย์โนลด์ (Reynolds) ที่ปรับปรุงขึ้นใหม่โดยเพิ่มตัวแปรที่อธิบายผลกระทบของวัสดุพรุน สมการความหนาฟิล์มอากาศภายใต้รูปทรงของหัวอ่านที่มีลักษณะเป็นสามราง สมการสมดุลแรงและสมการสมดุลโมเมนต์ สำหรับในงานวิจัยนี้วิธีผลต่างสืบเนื่องร่วมกับวิธีนิวตันราฟสันถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาคำนวณการลอยตัวที่ไม่เป็นเชิงเส้น ผลการคำนวณเชิงตัวเลขแสดงการกระจายตัวของความดันอากาศ ระยะการลอยตัวที่ส่วนท้ายและส่วนหน้าของหัวอ่านไฟฟ้าภายใต้การเปลี่ยนค่าการรั่วซึมของอากาศในวัสดุพรุนและความเร็วของจานบันทึกข้อมูล ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงระยะการลอยตัวของหัวอ่านไฟฟ้าชนิดสามรางและความดันอากาศที่ส่วนท้ายจะมีค่าต่ำลงเมื่อทำการเพิ่มค่าการรั่วซึมของอากาศ

คำหลัก: วัสดุพรุน หัวอ่านไฟฟ้าชนิดสามราง การลอยตัว การวิเคราะห์เชิงตัวเลข

Abstract

The objective of this paper is to numerically investigate the influence of porous materials into prediction lifting distance of tri rail head slider used in computer hard-disks. The lifting distance was predicted using air lubrication theory being combination of Reynolds's equation, an air film thickness equation of tri rail shape of head slider, force, and moment equilibrium equations. A property of porous material i.e. permeability, was taken into account and was presented as a term in Reynolds's equation. The finite difference method and Newton Raphson technique were employed to compute the distribution of air pressure, the lifting distance at trailing and leading edges of the head as the value of permeability of porous media and angular velocity of recorded disk were varied. Numerical results shown that when value of permeability was increased, the lifting distance and air pressure at trailing region of tri rail head slider were decreased.

Keywords: porous material, tri rail head slider, flying height, numerical analysis

AMM-2007

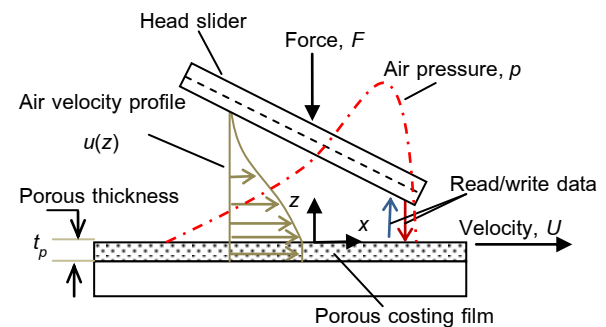
1. บทนำ

เทคโนโลยีทางการบันทึกข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ในปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยในหลายๆส่วน สำหรับประเด็นหนึ่งที่อยู่ในความสนใจคือความต้องการที่จะเพิ่มความจุในการบันทึกข้อมูล ในช่วงเวลาที่ผ่านมา การเพิ่มความจุในการบันทึกข้อมูลเพิ่มขึ้นจาก kb/in^2 เป็น Mb/in^2 Gb/in^2 และในปัจจุบันพบว่ามีความต้องการที่จะเพิ่มขนาดความจุถึงในระดับ Tb/in^2 [1] สำหรับความจุในระดับที่มากกว่า 1 Tb/in^2 ขึ้นไป ความต้องการนี้ทำให้อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ พบอุปสรรคเนื่องมาจากปรากฏการณ์ Super Paramagnetism ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวส่งผลให้ไม่สามารถแยกแยะความต่างของขั้วแม่เหล็กบนแถบข้อมูลที่มีขนาดเล็กเกินไปได้ ดังนั้นเพื่อที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงมีผู้คิดค้นเทคโนโลยีใหม่ๆขึ้นมา ได้แก่ การให้ความร้อนบนแถบข้อมูลผ่านเลเซอร์ในขณะที่เขียนข้อมูลเพื่อช่วยให้แถบแม่เหล็กเสถียรในพื้นที่เล็กๆได้ (HAMR: Heat Assisted Magnetic Recording) [2] จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้เทคโนโลยีทางด้าน HAMR นั้นพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านจะมีค่าอยู่ในระดับนาโนเมตร (nm) [3] สำหรับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการลอยตัวของหัวอ่าน (FH: Flying height) สามารถที่จะกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้ การคำนวณระยะการลอยตัวของหัวอ่านภายใต้อิทธิพลของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ถูกนำเสนอโดย Joanna กับคณะ [4] และ Sarawuth กับ Mongkol [5] จากกวนั้น Kyaw กับคณะ [6] ได้แสดงการกระจายความดันอากาศภายใต้อิทธิพลของอุณหภูมิบริเวณที่เป็นจุดให้ความร้อน (Heat spot) Yoshinori กับ Katsuyuki [7] ได้ศึกษาขนาดของหัวอ่านโดยลดขนาดให้เล็กลงซึ่งส่งผลให้การลอยตัวของหัวอ่านลดลง ในส่วนของปรับแต่งลักษณะรูปร่างของหัวอ่านเช่นการเพิ่มร่องบนหัวอ่านเพื่อให้การลอยตัวของหัวอ่านลดลงได้ ถูกศึกษาโดยวลิพรรณ กับคณะ [8] และการเพิ่มผิวให้หัวอ่านให้มีปุ่มยื่น (Bumps) ถูกศึกษาโดย Li กับคณะ [9] และสำหรับงานวิจัยที่ศึกษาวัสดุที่มีความพรุนถูกศึกษาโดย

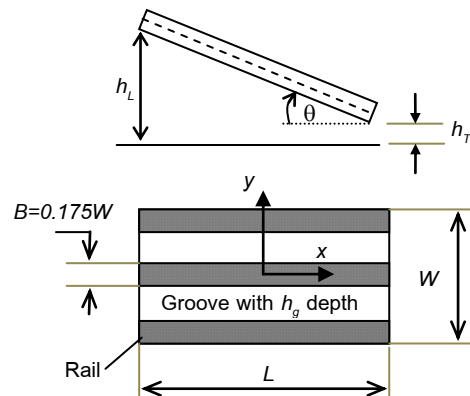
James และ Kenneth [10] อย่างไรก็ตามลักษณะของหัวอ่านที่ศึกษามีความกว้าง 3.15 mm และยาว 4.25 mm ซึ่งมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับหัวอ่านในปัจจุบัน

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นยังมีงานวิจัยจำนวนน้อยที่ศึกษาเกี่ยวกับวัสดุพรุน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการใช้ชั้นวัสดุที่มีความพรุนเคลือบผิวและลดขนาดของหัวอ่านลงรวมถึงออกแบบให้หัวอ่านมีลักษณะเป็นสามรางซึ่งเป็นอีกแนวคิดหนึ่งเพื่อลดระยะการลอยตัวของหัวอ่านเพื่อที่จะให้หัวอ่านลอยตัวอยู่ในระดับที่สอดคล้องกับการใช้เทคโนโลยีทางด้าน HAMR ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

2. ทฤษฎีการลอยตัวของหัวอ่าน



(ก) ภาพมุมมองด้านข้าง

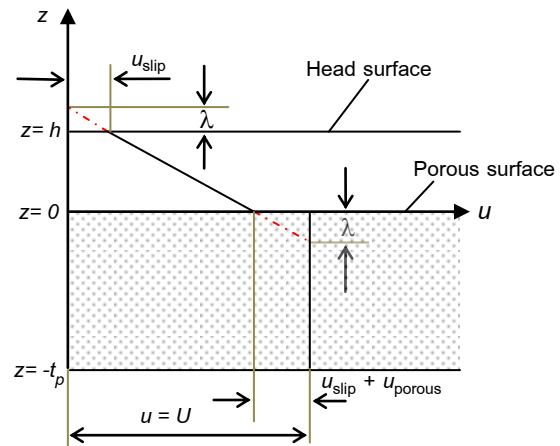


(ข) ภาพมุมมองด้านข้างและด้านบนหัวอ่าน
รูปที่ 1 ลักษณะการลอยตัวของหัวอ่านไฟฟ้าสามราง

หัวอ่านสามารถที่จะลอยตัวได้เนื่องมาจากความเร็วของผิวจานบันทึกข้อมูล U ซึ่งส่งผลให้เกิดการไหลของอากาศ $u(z)$ ระหว่างผิวของหัวอ่านและผิวของจานบันทึกข้อมูล ส่งผลให้เกิดความดันอากาศ p กระจายตัวอยู่ระหว่างผิวด้านล่างของหัวอ่านไฟฟ้าและผิวของจานบันทึกข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 1 (ก)

AMM-2007

สำหรับรูปที่ 1(ก) แสดงลักษณะการลอยตัวของหัวอ่านไฟฟ้าบนจานบันทึกข้อมูลที่เคลือบผิวด้วยแผ่นฟิล์มบางๆที่มีลักษณะเป็นวัสดุพรุนที่มีความหนา t_p และรูปที่ 1(ข) แสดงลักษณะกายภาพของหัวอ่านไฟฟ้าชนิดสามรางซึ่งแต่ละรางมีขนาดความกว้างเป็น B และมีขนาด เป็น 0.175 เท่าของความกว้างของหัวอ่าน โดยที่ W เป็นความกว้างของหัวอ่านและ L เป็นความยาวของหัวอ่านตามลำดับ สำหรับพฤติกรรมการณ์การลอยตัวของหัวอ่านภายใต้อิทธิพลของวัสดุพรุนสามารถที่จะอธิบายได้โดยสมการ Reynolds ที่ปรับปรุงใหม่ภายใต้การไหลของอากาศในวัสดุพรุน สมการความหนาฟิล์มอากาศที่รวมผลของรูปร่างของหัวอ่าน และสมการสมดุลตามลำดับ



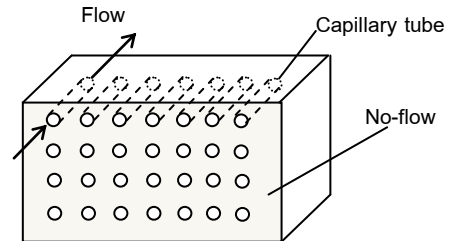
(ก) ความเร็วอากาศระหว่างผิวหัวอ่านและวัสดุพรุนในทิศทางแกน x

2.1 การปรับปรุงสมการ Reynolds ภายใต้อิทธิพลการไหลของอากาศในวัสดุพรุน

การปรับปรุงสมการ Reynolds ที่รวมผลกระทบของการไหลของอากาศในวัสดุพรุนนั้นจะเริ่มต้นโดยสมการความต่อเนื่อง (Continuity equation) สำหรับในบทความนี้จะสนใจที่สภาวะคงตัว (Steady state condition) และการไหลของอากาศในปริมาตรควบคุม (Control volume) นั้นอากาศจะไหลในสองแกนคือ แกน x และ แกน y ดังนั้นสมการความต่อเนื่องของการไหลภายใต้เงื่อนไขข้างต้นนั้นแสดงอยู่ในสมการที่ (1)

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) = 0 \quad (1)$$

ภายใต้ขอบเขตดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) ทำการอินทิเกรตสมการที่ (1) ตลอดความหนา $-t_p \leq z \leq h$ สำหรับในช่วง $-t_p \leq z \leq 0$ ซึ่งเป็นชั้นของวัสดุพรุนในที่นี้อยู่ภายใต้สมมุติฐานที่ว่าความพรุนมีลักษณะเป็นท่อเล็กๆที่อากาศสามารถไหลผ่านไปได้ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) ทำให้สมการที่ (1) สามารถที่จะเขียนใหม่ในรูปแบบของการอินทิเกรตดังแสดงในสมการที่ (2)



(ข) การไหลของอากาศในวัสดุพรุน
รูปที่ 2 ความเร็วอากาศและการไหลในวัสดุพรุน

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\xi_x \int_{-t_p}^0 \rho u dz + \int_0^h \rho u dz \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\xi_y \int_{-t_p}^0 \rho v dz + \int_0^h \rho v dz \right] = 0 \quad (2)$$

โดยที่ ξ_x และ ξ_y (fractional porosities) เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาตรรวมของรูท่อกว้างที่อากาศไหลผ่านต่อปริมาตรวัสดุพรุนทั้งหมดในทิศทางแกน x และ y ตามลำดับ สำหรับ h เป็นระยะการลอยตัวของหัวอ่าน ρ เป็นความหนาแน่นของอากาศ $u(z)$ คือรูปร่างความเร็วของอากาศ (Air velocity profile) ในทิศทางแกน x และ $v(z)$ คือรูปร่างความเร็วของอากาศในทิศทางแกน y ตามลำดับ สำหรับรูปร่างความเร็วของอากาศ $u(z)$ และ $v(z)$ สามารถที่จะหาได้จากการอินทิเกรตสมการ Navier-Stokes จะได้สมการดังแสดงในสมการที่ (3)

$$\left. \begin{aligned} u(z) &= \frac{1}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial x} z^2 + C_1 z + C_2 \\ v(z) &= \frac{1}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial y} z^2 + C_3 z + C_4 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

โดยที่ η เป็นความหนืดของอากาศ (Air viscosity) และตัวแปร $C_1 - C_4$ ในสมการที่ (3) เป็นค่าคงที่ของการอินทิเกรตตั้งนั้นเพื่อหาค่าคงที่ดังกล่าวจำเป็นที่จะต้องแทนค่าความเร็วของอากาศที่เงื่อนไขขอบเขตดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) จากรูปที่ 2 (ก) ความเร็วของอากาศในที่นี่จะแสดงตัวอย่างเฉพาะในแนวแกน x ระหว่างผิวของหัวอ่าน ($z=h$) และตลอดชั้นของวัสดุพรุน ($0 < z < -t_p$) เนื่องจากช่องว่างระหว่างผิวหัวอ่านและผิวของวัสดุพรุนมีค่าน้อยมากส่งผลให้อิทธิพลของการลื่นไถลที่ขอบ (Boundary slip) หรือความเร็วลื่นไถล (Velocity slip, u_{slip}) จำเป็นที่จะต้องนำมาพิจารณาและสำหรับที่ผิวของวัสดุพรุนความเร็วลื่นไถลเนื่องจากความพรุนของวัสดุ u_{porous} ควรที่จะต้องพิจารณาด้วยเช่นกัน สำหรับ u_{slip} และ u_{porous} แสดงในสมการที่ (4) และ (5) ซึ่งได้ถูกนำเสนอโดย James และ Kenneth [10] โดยที่ λ (the molecular mean free path) มีค่าเท่ากับ $0.064 \mu m$ ที่อุณหภูมิ $25^\circ C$ และความดัน 1.0 atm และค่า k เป็นค่าการรั่วซึมของอากาศในวัสดุ (permeability of porous material)

$$u_{slip} = -\lambda \frac{\partial u}{\partial z} \quad (4)$$

$$u_{porous} = \frac{k}{\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (5)$$

ดังนั้นความเร็วของอากาศที่เงื่อนไขขอบเขตที่ $z=0$ $z=h$ และ $-t_p \leq z \leq 0$ สำหรับแกน x สามารถที่จะอธิบายได้ดังสมการต่อไปนี้

$$u(0) = U + \lambda \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)_{z=0} - \frac{k}{\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (6)$$

$$u(h) = -\lambda \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)_{z=h} \quad (7)$$

$$u(-t_p \leq z < 0) = U - \frac{k}{\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (8)$$

ในทำนองเดียวกันสำหรับความเร็วของอากาศที่เงื่อนไขขอบเขตในแกน y อธิบายได้ดังสมการต่อไปนี้

$$v(0) = \lambda \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)_{z=0} - \frac{k}{\eta} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (9)$$

$$v(h) = -\lambda \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)_{z=h} \quad (10)$$

$$v(-t_p \leq z < 0) = -\frac{k}{\eta} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (11)$$

เมื่อแทนค่าเงื่อนไขขอบเขตสมการ (6) (7) (9) และ (10) ในสมการที่(3) จะสามารถที่จะหารูปร่างความเร็วของอากาศในแกน x $u(0 \leq z \leq h)$ และความเร็วของอากาศในแกน y $v(0 \leq z \leq h)$ ตามสมการที่ (12) และ (13) ตามลำดับ

$$u = \frac{1}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \left[z^2 + \left\{ \frac{2k}{h+2\lambda} - h \right\} z - 2k - \frac{\lambda(h^2 + 2\lambda h - 2k)}{h+2\lambda} \right] + U \left[\frac{h+\lambda-z}{h+2\lambda} \right] \quad (12)$$

$$v = \frac{1}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial y} \left[z^2 + \left\{ \frac{2k}{h+2\lambda} - h \right\} z - 2k - \frac{\lambda(h^2 + 2\lambda h - 2k)}{h+2\lambda} \right] \quad (13)$$

สมการ Reynolds ที่ปรับปรุงใหม่ภายใต้อิทธิพลการไหลของอากาศในวัสดุพรุนสามารถที่จะเขียนให้อยู่ใน

AMM-2007

สมการที่ (14) ด้วยการแทนค่าความเร็วอากาศใน
สมการที่ (8) (11) (12) และ (13) ลงในสมการที่ (2)

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left[\{h^3 + 6\lambda h^2 + 6k(h + 2t_p \xi_x)\} p \frac{\partial p}{\partial x} \right] + \\ & \frac{\partial}{\partial y} \left[\{h^3 + 6\lambda h^2 + 6k(h + 2t_p \xi_y)\} p \frac{\partial p}{\partial y} \right] \quad (14) \\ & = 6\eta U \frac{\partial}{\partial x} [p(h + 2t_p \xi_x)] \end{aligned}$$

2.2. สมการความหนาฟิล์มอากาศ

สำหรับสมการความหนาฟิล์มอากาศหรือระยะการ
ลอยตัวของหัวอ่านจะขึ้นกับมุมเงยของหัวอ่าน θ [rad]
ขณะที่ลอยตัวและลักษณะรูปร่างซึ่งมีลักษณะเป็นสาม
รางดังที่แสดงในรูปที่ 1 (ข) โดยสามารถที่จะอธิบาย
ได้ดังสมการที่ (15)

$$h = h_T + (0.5L \cos \theta - x) \tan \theta + s(x, y) \quad (15)$$

โดยที่ θ เป็นมุมเงยของหัวอ่าน h_T ระยะการลอยตัวที่
ขอบท้ายและ $s(x, y)$ เป็นรูปร่างของหัวอ่านที่ตำแหน่ง
ใดๆ โดยที่ $s(x, y) = 0$ เมื่อ x และ y อยู่บริเวณที่เป็น
ราง สำหรับ x และ y อยู่บริเวณที่เป็นร่อง $s(x, y) =$
 $h_g / \cos \theta$ h_g เป็นระยะลึกของร่อง

2.3 สมการสมดุลแรงและโมเมนต์

หัวอ่านจะลอยตัวอยู่ในสภาวะสมดุลของแรงและ
โมเมนต์ดังแสดงในสมการที่ (16) และ (17) [5]
ตามลำดับ

$$\int_{-w/2}^{w/2} \int_{-L/2}^{L/2} (p - p_a) dx dy - F = 0 \quad (16)$$

$$\int_{-w/2}^{w/2} \int_{-L/2}^{L/2} (x - x_G)(p - p_a) dx dy - x_G F = 0 \quad (17)$$

โดยที่ x_G เป็นจุดศูนย์กลางของหัวอ่าน (Contrail
head slider) ในขณะที่ลอยตัวที่มุมเงย θ ใดๆ

3. การวิเคราะห์เชิงตัวเลข

สำหรับการวิเคราะห์เชิงตัวเลข วิธีผลต่างสืบเนื่อง
(Finite difference method) และวิธีของนิวตันราฟสัน
(Newton raphson) ถูกนำมาใช้ในการคำนวณ โดย
การคำนวณนั้นสมการที่ (14) – (17) จะถูกเขียนขึ้นมา
ใหม่ในรูปแบบของตัวแปรไร้มิติ สำหรับกลุ่มตัวแปรไร้
มิติ (Dimensionless parameter) แสดงในสมการที่
(18) โดยที่ h_0 เป็นระยะการลอยตัวเริ่มต้นในการ
คำนวณที่ขอบท้ายและ p_a เป็นค่าความดันบรรยากาศ
ที่อุณหภูมิห้อง

$$\begin{aligned} H &= h / h_0, \quad H_{p,x} = t_p \xi_x / h_0, \quad H_{p,y} = t_p \xi_y / h_0 \\ P &= p / p_a, \quad X = x / L, \quad Y = y / W, \quad \Omega = \frac{6\eta UL}{p_a h_0^2} \quad (18) \\ K &= k / h_0^2, \quad \bar{\lambda} = \lambda / h_0 \end{aligned}$$

ดังนั้นสมการ Reynolds ที่ปรับปรุงในสมการที่ (14)
สามารถที่จะเขียนอยู่ในรูปของตัวแปรไร้มิตินี้ดังที่แสดง
ในสมการที่ (19)

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial X} \left[\{H^3 + 6\bar{\lambda} H^2 + 6K(H + 2H_{p,x})\} P \frac{\partial P}{\partial X} \right] + \\ & \frac{\partial}{\partial Y} \left[\{H^3 + 6\bar{\lambda} H^2 + 6K(H + 2H_{p,y})\} P \frac{\partial P}{\partial Y} \right] \quad (19) \\ & = \Omega \frac{\partial}{\partial X} [P(H + 2H_{p,x})] \end{aligned}$$

ในการคำนวณจะอยู่ภายใต้เงื่อนไขขอบเขตดังแสดง
ในสมการที่ (20)

$$\begin{aligned} P(-0.5, Y) &= 1.0, \quad P(0.5, Y) = 1.0 \\ P(X, -0.5) &= 1.0, \quad P(X, 0.5) = 1.0 \end{aligned} \quad (20)$$

ตัวแปรที่ไม่ทราบค่า (Unknowns) ความดัน
อากาศไร้มิติ P_{ij} ที่คำนวณได้จะส่งเข้าคำตอบภายใต้
ค่าความคาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ $\varepsilon_{1,2,3}$ ต้องมีค่าน้อย
กว่า 1×10^{-5} ดังแสดงในสมการที่ (21) [5]

AMM-2007

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m |P_{new,i,j} - P_{old,i,j}|}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{new,i,j}} \\ \varepsilon_2 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P-1)\Delta X \Delta Y - F/(W L p_a) \\ \varepsilon_3 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (X - X_G)(P-1)\Delta X \Delta Y - X_G F/(W L p_a) \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

4. ผลการคำนวณและการวิเคราะห์

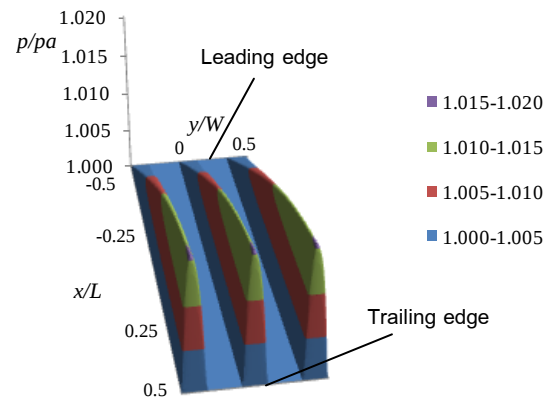
ผลการคำนวณเชิงตัวเลขจะแสดงการกระจายตัวของความดันอากาศ ระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่ขอบหน้าและขอบหลังภายใต้การเปลี่ยนแปลงความเร็ว U และค่าการรั่วซึมของอากาศในรูปแบบตัวแปรไร้มิติ K สำหรับขนาดของหัวอ่านไฟฟ้าชนิดสามรางและสภาวะการทำงานของหัวอ่านไฟฟ้าแสดงอยู่ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดของหัวอ่านและสภาวะการทำงาน

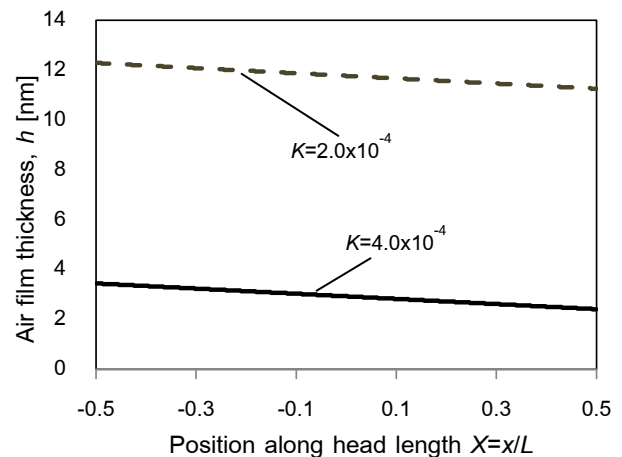
รายการ	ขนาด
ความกว้าง W	0.189 mm
ความยาว L	0.189 mm
ความกว้างราง B	$0.175 \times W$ mm
ความลึกของร่อง h_g	30 μ m
แรงกด F	50 μ N
λ	0.064 μ m
$(t_p \xi)_{x,y}$	0.01 μ m

รูปที่ 3 แสดงการกระจายความดันอากาศระหว่างผิวหัวอ่านชนิดสามรางกับผิวของจานบันทึกข้อมูล โดยจานบันทึกข้อมูลมีความเร็ว $U=20$ m/s และแผ่นฟิล์มเคลือบผิวมีค่าการรั่วซึมของอากาศ $K=2.0 \times 10^{-4}$ จากผลการคำนวณความดันอากาศจะเกิดบริเวณที่เป็นรางทั้งสาม ส่วนบริเวณที่เป็นร่องความดันมีค่าน้อยและใกล้เคียงกับความดันอากาศ ค่าความดันอากาศสูงสุดจะเกิดที่บริเวณใกล้กับขอบหลังของหัวอ่านเนื่องจาก

บริเวณขอบหลังความหนาฟิล์มอากาศจะน้อยกว่าที่บริเวณขอบหน้าหัวอ่าน



รูปที่ 3 การกระจายความดันอากาศของหัวอ่านไฟฟ้าชนิดสามราง



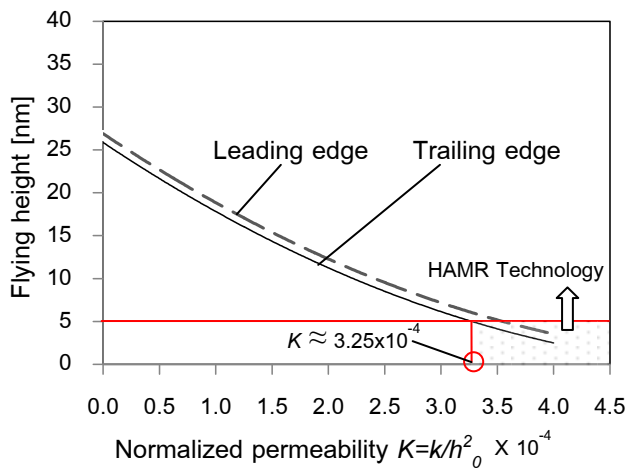
รูปที่ 4 การเปรียบเทียบความหนาฟิล์มอากาศตามความยาวหัวอ่านไฟฟ้าที่ตำแหน่ง $y=0$, $U=20$ m/s

รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบความหนาฟิล์มอากาศตามความยาวหัวอ่านไฟฟ้าที่ตำแหน่ง $y=0$ ภายใต้การเปลี่ยนค่าการรั่วซึมของอากาศ K ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าตลอดทุกตำแหน่งของหัวอ่านเมื่อค่าการรั่วซึมของอากาศเพิ่มขึ้นความหนาฟิล์มอากาศมีค่าน้อยลงและบริเวณขอบหลังความหนาฟิล์มอากาศจะน้อยกว่าที่บริเวณขอบหน้าหัวอ่าน

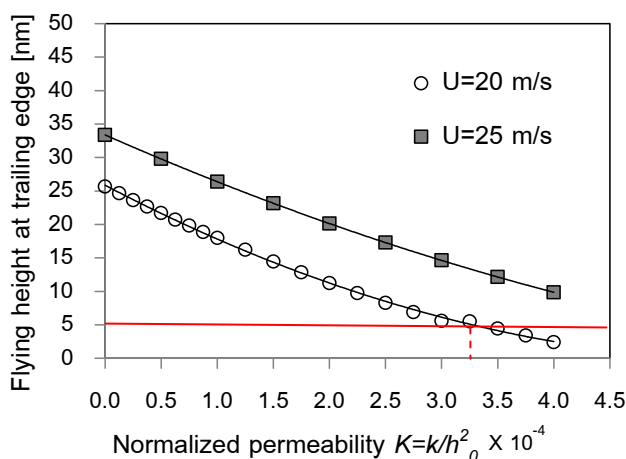
รูปที่ 5 แสดงความหนาฟิล์มอากาศหรือระยะการลอยตัวของหัวอ่านเฉพาะที่ขอบหน้าและขอบท้ายเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าการรั่วซึมของอากาศ $K=0$ – 4.0×10^{-4} การลอยตัวของหัวอ่านจะลดลงเมื่อค่าการ

AMM-2007

รั้วซึมของอากาศมีมากขึ้น และที่ค่า $K = 3.25 \times 10^{-4}$ เป็นค่าที่ทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่ขอบท้ายมีค่าต่ำกว่า 5 nm ดังนั้นค่า K ตั้งแต่ 3.25×10^{-4} ขึ้นไปเป็นค่าที่เหมาะสมที่จะใช้ร่วมกับเทคโนโลยี HAMR แต่อย่างไรก็ตามเมื่อแผ่นจานบันทึกข้อมูลมีความเร็วสูงขึ้นระยะการลอยตัวของหัวอ่านจะสูงขึ้นดังที่แสดงในรูปที่ 6 ที่ความเร็ว $U=25$ m/s และ $K = 3.25 \times 10^{-4}$ ระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่ขอบท้ายมีค่าประมาณ 15 nm ซึ่งเป็นสภาวะการทำงานที่ไม่เหมาะสมในการใช้เทคโนโลยี HAMR

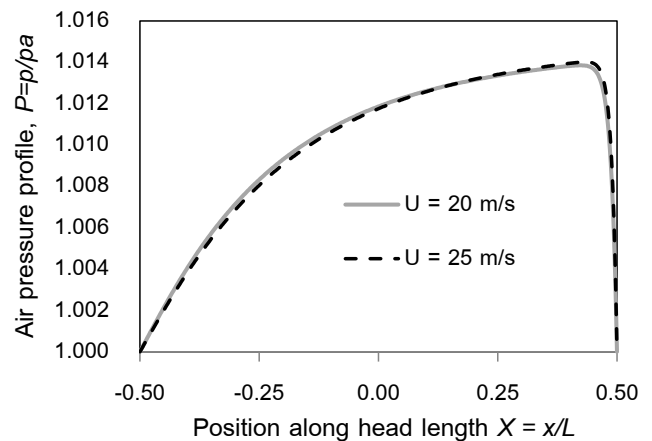


รูปที่ 5 ระยะการลอยตัวของหัวอ่านไฟฟ้าที่ขอบหน้า (Leading) และขอบหลัง (Trailing) $U=20$ m/s

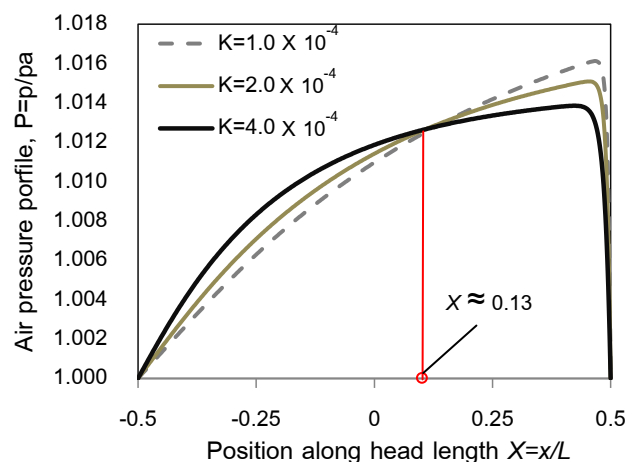


รูปที่ 6 การเปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านไฟฟ้าชนิดสามรางที่ขอบหลัง (Trailing) ภายใต้การเปลี่ยนแปลงความเร็ว

สำหรับอิทธิพลของความเร็วมีผลน้อยต่อการกระจายความดันอากาศบนรางดังที่แสดงในรูปที่ 7 ซึ่งการความดันอากาศเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มความเร็ว อย่างไรก็ตามอิทธิพลของการรั้วซึมของอากาศหรือวัสดุพูนส่งผลให้การกระจายความดันอากาศบนรางมีการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือที่ตำแหน่ง $X > 0.13$ หรือบริเวณทางขอบหลัง เมื่อวัสดุมีค่าการรั้วซึมของอากาศมากขึ้นความดันอากาศมีค่าลดลงในส่วนบริเวณ $0 < X < 0.13$ ความดันอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นแต่การเพิ่มขึ้นก็ยังมีค่าน้อยกว่าความดันสูงสุดที่เกิดที่ขอบท้ายของหัวอ่านดังที่แสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบการกระจายความดันอากาศตามความยาวหัวอ่านไฟฟ้าที่ตำแหน่ง $y=0$ ภายใต้การเปลี่ยนแปลงความเร็วและ $K=4.0 \times 10^{-4}$



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบการกระจายความดันอากาศตามความยาวหัวอ่านไฟฟ้าที่ตำแหน่ง $y=0$

AMM-2007

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของหัวอ่านชนิดสามรางด้วยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข สำหรับผลการศึกษาสามารถที่จะสรุปได้ดังนี้

- 1) ความพรุนของวัสดุส่งผลให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านต่ำลงและสามารถที่จะลอยอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 5 nm ที่ $U=20$ m/s ค่า $K > 3.25 \times 10^{-4}$
- 2) ความเร็วของจานบันทึกข้อมูลส่งผลให้ระยะการลอยตัวสูงขึ้นแต่ส่งผลต่อการกระจายความดันอากาศบนรางหัวอ่านน้อย
- 3) ความพรุนของวัสดุมีผลทำให้การกระจายความดันอากาศบนรางหัวอ่านบริเวณค่อนไปในส่วนท้ายของหัวอ่านมีค่าลดลงและมีความเป็นไปได้ที่จะมีการสึกหรอลดลง

6. กิตติกรรมประกาศ

สำหรับบทความนี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่ให้ความช่วยเหลือสำหรับค่าใช้จ่ายต่างๆ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Martin, P., Jan Van, E. and Willian, C. (2011). New Paradigms in Magnetic Recording, Physics in Canada, vol.67(1), January 2011, pp.25-29.
- [2] Ruigrok, J.J.M., Coehoorn, R., Cumpson, S.R. and Kesteren, H.W. (2000). Disk recording beyond 100 Gb/in²: Hybrid recording, Journal of Applied Physics, Vol.87(9), May 2000, pp.5398-5403.
- [3] Krrder, M.H., Gage, E.C., Mcdaniel, T.W., Challener, W.A., Rottmayer, R.E., Ganping, Ju., Hsia, Y.T. and Erden, M.F. (2008). Heat Assisted Magnetic Recording, Proceedings of the IEEE, vol.96(11), November 2008, pp.1810-1835.
- [4] Joann, E.B. and David B.B. (2011). Heat-Assisted Magnetic Recording Air Bearing

Simulations That Account for Lateral Air Temperature Variation, IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, Vol.47(10), October 2011, pp.2379-2382.

[5] Sarawuth, S. and Mongkol, M. (2011). Influence of heating temperature fluctuation on flying height under EAMR conditions, paper presented in The Second TSME International Conference on Mechanical Engineering 2011, Krabi, Thailand.

[6] Kyaw, S.M., Weidong, Z., Xiaoyang, H., Shengkai, Y. and Wei, H. (2012). Slider Posture Effects on Air Bearing in a Heat-Assisted Magnetic Recording System, Advances in Tribology, September 2012, pp.1-6.

[7] Yoshinori, T. and Katsuyuki, T. (2005). Development of Nanometer Flying-Height Slider for Small Magnetic Disk Drives, Journal of Robotics and Mechatronics, vol.17(5), August 2005, pp.517-522.

[8] วลีพรรณ กันเนื่อง เฉษฐา พานิชกรณ และ ฉัตรชัย เอี่ยมพรสิน (2552). พฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดเทเปอร์แฟลทที่มีการเซาะร่องบนรางหัวอ่านในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, เชียงใหม่

[9] Li, W.L., Lee, S.C., Chen, C.W., Tsai, F.R., Chen, M.D. and Chien, W.T. (2005). The flying height analysis of patterned sliders in magnetic hard disk drives, Microsystem Technologies, vol.11, pp.23-31.

[10] James, K.K. and Kenneth, E.P. (2001). The Effect of Porosity on the Head-Media Interface, Journal of Tribology, vol.123, July 2001, pp.555-560.