

การออกแบบขนาดของหัวอ่านที่เหมาะสมที่สุดในอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล
ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

OPTIMUM DESIGN OF THE HEAD SLIDER IN MAGNETIC STORAGE
DEVICES

กานิชฐา วงษ์สีดาแก้ว

KHANITTHA WONGSEEDAKAEW

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-324-120-5

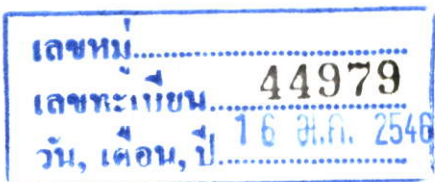
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบขนาดของหัวอ่านที่เหมาะสมที่สุดในอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล
ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

OPTIMUM DESIGN OF THE HEAD SLIDER IN MAGNETIC STORAGE
DEVICES

ขนิษฐา วงษ์สีดาแก้ว

KHANITTHA WONGSEEDAKAEW



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2545

ISBN 974-324-120-5

**OPTIMUM DESIGN OF THE HEAD SLIDER IN MAGNETIC STORAGE
DEVICES**

KHANITTHA WONGSEEDAKAEW

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2002

ISBN 974-324-120-5

COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบหาขนาดของหัวอ่านที่เหมาะสมที่สุดในอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า
นักศึกษา	นางสาวชนิษฐา วงษ์สีดาแก้ว
รหัสประจำตัว	43062027
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการออกแบบหาขนาดของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่เหมาะสมที่สุดในอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่สภาวะทำงานสถิตย์และพลวัต วิธีเชิงตัวเลขที่ใช้ในการแก้สมการโมดิไฟด์เรย์โนลด์์ที่คิดผลของการไหลแบบลื่นไหลของโมเลกุลเป็นแบบวิธีที่ไม่เป็นเชิงเส้นสองมิติ ในการคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดได้ใช้วิธีการค้นหาทุกค่าร่วมกับโปรแกรมคณิตศาสตร์ของ โบรมเดน-เฟลทเซอร์-โกลด์เฟรบ-เซนโน และวิธีค้นหาเชิงเส้น เพื่อให้ได้หัวอ่านชนิดรีวเบนที่อยู่ในสภาวะสมดุลย์ที่สุดที่สภาวะทำงานสถิตย์ และได้หัวอ่านชนิดรีวเบนที่เข้าสู่สมดุลย์เร็วที่สุดและมีเสถียรภาพดีที่สุดเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางที่สภาวะทำงานพลวัต จำลองพฤติกรรมสถิตย์และพลวัตของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสมที่สุดเปรียบเทียบกับหัวอ่านชนิด IBM 3380

Thesis Title	Optimum Design of the Head Slider in Magnetic Storage Devices
Student	Miss Khanittha Wongseedakaew
Student ID.	43062027
Degree	Master of Engineering
Programme	Mechanical Engineering
Year	2002
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Mongkol Mongkolwongrojn

ABSTRACT

This thesis presented the optimum design of taper-flat head slider in magnetic storage device at statically and dynamically operating conditions. Numerical solution of the two-dimensional nonlinear time dependent modified Reynolds equation included slip flow effects has been formulated. The combination of exhaustive search and the mathematical programming of the Broden-Fletcher-Goldfarb-Shanno(BFGS) method with line search method were utilized to keep the taper-flat head slider in state of equilibrium for static operation condition and to obtain minimum in transient time for the head slider to reach state when the head move pass over the specified bump on the disk. The flying characteristics are simulated and compare with the results from IBM 3380.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับเรื่อง พฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าจาก รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ ควบคุมวิทยานิพนธ์ชี้แนะถึงแนวทางและวิธีการแก้ปัญหา ตลอดจนตรวจสอบผลการคำนวณและ ให้ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบ ขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ที่ได้สนับสนุนและเป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมาจน ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิประสาท ความรู้และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์เสมอมา

ขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่าง ๆ พร้อมทั้งให้กำลังใจ ต่อผู้วิจัยและขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ขนิษฐา วงษ์สีดาแก้ว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XVIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	4
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีการหล่อลื่น.....	6
2.1 ชนิดของการหล่อลื่น.....	7
2.2 ข้อดีข้อเสียของการหล่อลื่นด้วยแก๊ส.....	10
2.3 สมการ โมดิฟายเรย์โนลด์.....	11
2.4 สมการการเคลื่อนที่.....	20
2.5 การวิเคราะห์พฤติกรรมของหัวอ่านในสภาวะสถิตย์.....	22
2.6 การวิเคราะห์พฤติกรรมของหัวอ่านในสภาวะพลวัต.....	24
2.7 คำนวณหาการกระจายความดันในสภาวะสถิตย์.....	30
2.8 คำนวณหาค่าแรงที่กระทำต่อหัวอ่านและตำแหน่งศูนย์กลางของแรง.....	31

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด.....	32
3.1 ความจำเป็นของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด.....	33
3.2 การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในทางวิศวกรรม.....	34
3.3 ประเภทของแบบจำลองของปัญหา.....	36
3.4 ขั้นตอนการใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหา.....	36
3.4.1 การกำหนดปัญหา.....	36
3.4.2 การจัดรูปปัญหาให้อยู่ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์.....	37
3.4.3 การทดสอบรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหาและการหาผลลัพธ์ ของปัญหา.....	38
3.4.4 การทดสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้.....	38
3.4.5 การนำผลลัพธ์หรือคำตอบไปใช้งาน.....	38
3.5 ประเภทของปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด.....	39
3.6 วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด.....	40
3.6.1 วิธีกราฟ.....	40
3.6.2 วิธีการวิเคราะห์.....	40
3.6.3 วิธีการทดลอง.....	40
3.6.4 วิธีเชิงตัวเลข.....	40
3.6.4.1 แบ่งตามลักษณะของปัญหา.....	41
3.6.4.2 แบ่งตามลักษณะของสมการเงื่อนไขบังคับ.....	45
3.7 ชนิดของคำตอบ.....	45
3.8 ประโยชน์ของการนำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการออกแบบ.....	46
3.9 ข้อจำกัดของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด.....	47

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของหัวอ่านชนิดริ้วแบน(Taper-flat).....	48
4.1 ขนาดของหัวอ่านที่มีผลต่อพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านชนิดริ้วแบน.....	51
4.2 สมการเป้าหมายหรือฟังก์ชันวัตถุประสงค์.....	53
4.3 สมการเงื่อนไขบังคับหรือสมการขอบเขต.....	55
4.4 วิธีการที่ใช้ในการหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของหัวอ่านชนิดริ้วแบน.....	55
4.4.1 วิธีการค้นหาทุกค่า(Exhaustive Search).....	55
4.4.2 วิธีโบรเดน-เฟลทเชอร์-โกลด์เฟรบ-เชนโน (Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno Method).....	56
บทที่ 5 ผลการคำนวณ.....	63
5.1 พฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านชนิด IBM 3380.....	63
5.2 การคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดริ้วแบน ที่สภาวะทำงานสถิตย์.....	70
5.2.1 หัวอ่านชนิดริ้วแบนที่มีค่าความกว้างรางของหัวอ่าน(B) และมุมราบเอียง(θ_{TP}) เป็นตัวแปรในการออกแบบ.....	71
5.2.2 หัวอ่านชนิดริ้วแบนที่มีค่าความกว้างรางของหัวอ่าน(B) มุมราบเอียง(θ_{TP}) และระยะของมุมราบเอียง(L_{TP}) เป็นตัวแปรในการออกแบบ.....	82
5.3 การคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดริ้วแบน ที่สภาวะทำงานพลวัต.....	93
5.4 การคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดริ้วแบน ที่สภาวะทำงานสถิตย์และพลวัต.....	105
5.4.1 การหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดริ้วแบน ที่มีค่า $W_1 = 5,500$ และ $W_2 = 50,000$	106
5.4.2 การหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดริ้วแบน ที่มีค่า $W_1 = 50,000$ และ $W_2 = 5,500$	117

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	129
6.1 บทสรุป.....	129
6.1.1 ขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่สถานะสถิตย์.....	129
6.1.2 ขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่สถานะทำงานพลวัต.....	131
6.1.3 ขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดรีวเบน ที่สถานะทำงานสถิตย์และพลวัต.....	132
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	135
เอกสารอ้างอิง.....	136
ภาคผนวก.....	139
ภาคผนวก ก. ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ใช้ในการคำนวณ.....	140
ภาคผนวก ข. ผลงานทางวิชาการที่เกี่ยวกับงานวิทยานิพนธ์ที่ได้รับการตีพิมพ์.....	143
ประวัติผู้เขียน.....	166

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 ขนาดและค่าต่าง ๆ ของหัวอ่านชนิด IBM 3380.....	64
5.2 ขนาดและค่าต่าง ๆ ของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่สภาวะทำงานสถิตย์ ที่ได้จากการใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด.....	70
5.3 ขนาดและค่าต่าง ๆ ของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่ทำงานได้ดีทั้งที่สภาวะพลวัต ที่ได้จากการใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด.....	93
5.4 ผลการคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดรีวเบน ที่สภาวะทำงานสถิตย์และพลวัต.....	105
5.5 เปรียบเทียบขนาดของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่ได้จากการคำนวณและบทความของ H.Hashimoto[12].....	128
6.1 เปรียบค่าสมการเป้าหมายระหว่างหัวอ่านชนิดรีวเบนที่ได้จากการคำนวณ และหัวอ่านชนิด IBM 3380 ที่สภาวะทำงานสถิตย์.....	129
6.2 เปรียบค่าสมการเป้าหมายระหว่างหัวอ่านชนิดรีวเบนที่ได้จากการคำนวณ และหัวอ่านชนิด IBM 3380 ที่สภาวะทำงานพลวัต.....	131
6.3 เปรียบค่าสมการเป้าหมายของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่ได้จากการคำนวณ และหัวอ่านชนิด IBM 3380 ทำงานได้ดีทั้งที่สภาวะทำงานสถิตย์และพลวัต.....	133

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	วิวัฒนาการของการหล่อลื่น.....6
2.2	พารามิเตอร์ของฟิล์มการหล่อลื่น (Λ) และกราฟความสัมพันธ์ของ การหล่อลื่นด้วยของไหลแบบต่าง ๆ.....9
2.3	ระบบพิกัดของฟิล์มความดันอากาศ.....11
2.4	แรงกระทำต่อปริมาตรสี่เหลี่ยม.....12
2.5	สมมูลย์มวลที่กระทำต่อปริมาตรสี่เหลี่ยม.....14
2.6	การลอยตัวของหัวอ่านเหนือแผ่นดิสก์.....19
2.7	แรงและ โมเมนต์ที่กระทำต่อหัวอ่าน.....20
3.1	แสดงความสัมพันธ์ของค่าสมการเป้าหมาย($f_{\min}(x)$) กับค่าของตัวแปรในการออกแบบ(x).....46
4.1	โครงสร้างของฮาร์ดดิสก์.....50
4.2	โครงสร้างของหัวอ่านชนิดริวแบน.....50
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างสมการเป้าหมายและขนาดความกว้างของรางหัวอ่าน.....51
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างสมการเป้าหมายและมุมเทเปอร์.....52
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างสมการเป้าหมายและความยาวของส่วนราบเอียงของหัวอ่าน.....52
4.6	ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของหัวอ่านชนิดริวแบน.....57
4.7	ขั้นตอนการคำนวณของวิธี BFGS.....58
4.8	โครงสร้างโปรแกรมหลักคำนวณพฤติกรรมกลการลอยตัวของหัวอ่านภายใต้ สมการ โมดิฟายด์เรย์โนลด์.....60
4.9	โครงสร้างโปรแกรม CALPFM คำนวณพฤติกรรมสถิตย์การลอยตัวของหัวอ่าน.....61
4.10	โครงสร้างโปรแกรม RESPO 1 คำนวณพฤติกรรมพลวัตของหัวอ่านในโดเมนเวลา...62
5.1	รูปร่างของหัวอ่านชนิด IBM 3380.....63
5.2	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 และความเร็วของแผ่นดิสก์.....65
5.3	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 และระยะการจับยึดหัวอ่านพร้อมทั้งเปลี่ยนแปลงความเร็วของแผ่นดิสก์.....65
5.4	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 และขนาดของแรง กระทำบนหัวอ่านพร้อมทั้งเปลี่ยนแปลงความเร็วของแผ่นดิสก์.....66

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.5	การกระจายความดันบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 ที่ความเร็วแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s.....67
5.6	แสดงการเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง.....68
5.7	แสดงการเปลี่ยนแปลงระยะจุดศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง.....68
5.8	แสดงการเปลี่ยนแปลงมุมพิทช์ของหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง.....69
5.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของสมการเป้าหมายและค่าตัวแปรในการออกแบบในสภาวะทำงานสถิตย์ ที่มี B และ θ_{TP} เป็นตัวแปรในการออกแบบ.....71
5.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมการเป้าหมายและค่าความกว้างของรางของหัวอ่านในสภาวะทำงานสถิตย์ ที่ $\theta_{TP} = 12.61$ mrad71
5.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมการเป้าหมายและค่าระยะของมุมราบเอียงของหัวอ่านในสภาวะทำงานสถิตย์ ที่มี B = 0.64 mm.....72
5.12	แสดงการกระจายความดันบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม (B=0.64 mm, $\theta_{TP} = 12.61$ mrad).....73
5.13	เปรียบเทียบผลการกระจายความดันที่กึ่งกลางรางตามแนวความยาวของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม(B=0.64mm, $\theta_{TP} = 12.61$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380.....73
5.14	ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม (B=0.64 mm, $\theta_{TP} = 12.61$ mrad) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วของแผ่นดิสก์.....74
5.15	ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม(B=0.64 mm, $\theta_{TP} = 12.61$ mrad) เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะจับยึดหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์.....74
5.16	ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม(B=0.64 mm, $\theta_{TP} = 12.61$ mrad)เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดแรงที่กระทำบนหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์.....75

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.17	เปรียบเทียบระยะเวลาการลอยตัวของหัวอ่านระหว่างหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.64$ mm, $\theta_{TP}=12.61$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วของแผ่นดิสก์.....76
5.18	เปรียบเทียบระยะเวลาการลอยตัวของหัวอ่านระหว่างหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.64$ mm, $\theta_{TP}=12.61$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะเวลาจับยึดหัวอ่าน ที่ความเร็วแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s.....76
5.19	เปรียบเทียบระยะเวลาการลอยตัวของหัวอ่านระหว่างหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.64$ mm, $\theta_{TP}=12.61$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าแรงที่กระทำต่อหัวอ่าน ที่ความเร็วแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s.....77
5.20	การเปลี่ยนแปลงระยะเวลาการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.64$ mm, $\theta_{TP}=12.61$ mrad) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง.....78
5.21	การเปลี่ยนแปลงระยะจุดศูนย์กลางมวลหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.64$ mm, $\theta_{TP}=12.61$ mrad) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง.....78
5.22	การเปลี่ยนแปลงค่ามุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.64$ mm, $\theta_{TP}=12.61$ mrad) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง.....79
5.23	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.64$ mm, $\theta_{TP}=12.61$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง ที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s.....80
5.24	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระยะจุดศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.64$ mm, $\theta_{TP}=12.61$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง ที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s.....80
5.25	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่ามุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.64$ mm, $\theta_{TP}=12.61$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง ที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s.....81
5.26	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมการเป้าหมายและค่าความกว้างของรางของหัวอ่านในสถานะทำงานสถิตย์ ที่ $\theta_{TP} = 14.64$ mrad และ $L_{TP} = 0.248$ mm82
5.27	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมการเป้าหมายและค่ามุมราบเอียงของหัวอ่านในสถานะทำงานสถิตย์ ที่ $B = 0.66$ mm และ $L_{TP} = 0.248$ mm82

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.28	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมการเป้าหมายและค่าระยะของมุมราบเอียงของหัวอ่านในสภาวะทำงานสถิตย์ ที่ $B = 0.66 \text{ mm}$ และ $\theta_{TP} = 14.64$83
5.29	แสดงการกระจายความดันบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.66 \text{ mm}$, $\theta_{TP} = 14.64 \text{ mrad}$ และ $L_{TP} = 0.248 \text{ mm}$).....84
5.30	เปรียบเทียบผลการกระจายความดันบนที่กึ่งกลางรางตามแนวความยาวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.66 \text{ mm}$, $\theta_{TP} = 14.64 \text{ mrad}$ และ $L_{TP} = 0.248 \text{ mm}$) และหัวอ่านชนิด IBM 3380.....84
5.31	ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.66 \text{ mm}$, $\theta_{TP} = 14.64 \text{ mrad}$ และ $L_{TP} = 0.248 \text{ mm}$) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วของแผ่นดิสก์.....85
5.32	ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.66 \text{ mm}$, $\theta_{TP} = 14.64 \text{ mrad}$ และ $L_{TP} = 0.248 \text{ mm}$) เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะจับยึดหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์.....85
5.33	ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.66 \text{ mm}$, $\theta_{TP} = 14.64 \text{ mrad}$ และ $L_{TP} = 0.248 \text{ mm}$) เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงที่กระทำบนหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์.....86
5.34	เปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.66 \text{ mm}$, $\theta_{TP} = 14.64 \text{ mrad}$ และ $L_{TP} = 0.248 \text{ mm}$) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วของแผ่นดิสก์.....87
5.35	เปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.66 \text{ mm}$, $\theta_{TP} = 14.64 \text{ mrad}$ และ $L_{TP} = 0.248 \text{ mm}$) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะการจับยึดหัวอ่าน ที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s87
5.36	เปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.66 \text{ mm}$, $\theta_{TP} = 14.64 \text{ mrad}$ และ $L_{TP} = 0.248 \text{ mm}$) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงแรงที่กระทำบนหัวอ่าน ที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s88
5.37	การเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.66 \text{ mm}$, $\theta_{TP} = 14.64 \text{ mrad}$ และ $L_{TP} = 0.248 \text{ mm}$) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง.....89

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.38	การเปลี่ยนแปลงระยะจุดศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.66\text{mm}$, $\theta_{TP}=14.64\text{ mrad}$ และ $L_{TP}=0.248\text{ mm}$) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง.....89
5.39	การเปลี่ยนแปลงค่ามุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาด ที่เหมาะสม ($B=0.66\text{ mm}$, $\theta_{TP}=14.64\text{ mrad}$ และ $L_{TP}=0.248\text{ mm}$) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง.....90
5.40	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาด ที่เหมาะสม($B=0.66\text{ mm}$, $\theta_{TP}=14.64\text{ mrad}$ และ $L_{TP}=0.248\text{ mm}$) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง ที่ความเร็วแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s91
5.41	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระยะศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาด ที่เหมาะสม($B=0.66\text{ mm}$, $\theta_{TP}=14.64\text{ mrad}$ และ $L_{TP}=0.248\text{ mm}$) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง ที่ความเร็วแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s91
5.42	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่ามุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.66\text{ mm}$, $\theta_{TP}=14.64\text{ mrad}$ และ $L_{TP}=0.248\text{ mm}$) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง ที่ความเร็วแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s92
5.43	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของสมการเป้าหมายและค่าตัวแปรในการออกแบบ ในสภาวะทำงานพลวัต.....94
5.44	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมการเป้าหมายและค่าความกว้างของรางของหัวอ่าน ในสภาวะทำงานพลวัต ที่ $\theta_{TP}=11.31\text{ mrad}$94
5.45	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมการเป้าหมายและมุมราบเอียงของหัวอ่านในสภาวะ ทำงานพลวัต ที่ $B=0.75\text{ mm}$95
5.46	แสดงการกระจายความดันบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.75\text{ mm}$, $\theta_{TP}=11.31\text{ mrad}$).....96
5.47	แสดงการกระจายความดันที่กึ่งกลางรางตามแนวความยาวของหัวอ่านชนิดรีวเบน ที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.75\text{ mm}$, $\theta_{TP}=11.31\text{ mrad}$) และหัวอ่านชนิด IBM 3380.....96
5.48	ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.75\text{ mm}$, $\theta_{TP}=11.31\text{ mrad}$) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วของแผ่นดิสก์.....97
5.49	ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.75\text{ mm}$, $\theta_{TP}=11.31\text{ mrad}$) เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะจับยึดหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์.....97

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.50	ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad) เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงที่กระทำต่อหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์.....	98
5.51	เปรียบเทียบการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad)และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วของแผ่นดิสก์.....	99
5.52	เปรียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad)และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะการจับยึดหัวอ่านที่ความเร็วแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s.....	99
5.53	เปรียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad)และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงที่กระทำต่อหัวอ่าน ที่ความเร็วแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s.....	100
5.54	การเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad)เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง.....	101
5.55	การเปลี่ยนแปลงระยะศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง.....	101
5.56	การเปลี่ยนแปลงค่ามุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง.....	102
5.57	การเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20m/s.....	103
5.58	การเปลี่ยนแปลงระยะศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20m/s.....	103
5.59	การเปลี่ยนแปลงค่ามุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s.....	104
5.60	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของสมการเป้าหมายและค่าตัวแปรในการออกแบบ ที่มี $W_1 = 5,500$, $W_2 = 50,000$	106

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.61	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของสมการเป้าหมายและค่าความกว้างของรางหัวอ่านที่มี $W_1 = 5,500$, $W_2 = 50,000$ และ $\theta_{TP} = 10.0$ mrad.....106
5.62	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของสมการเป้าหมายและค่ามุมราบเอียงหรือมุมเทเปอร์ของรางหัวอ่านที่มี $W_1 = 5,500$, $W_2 = 50,000$ และ $B = 0.336$ mm.....107
5.63	แสดงการกระจายความดันบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP} = 10.0$ mrad).....108
5.64	แสดงการกระจายความดันที่กึ่งกลางรางตามแนวความยาวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP} = 10.0$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380....108
5.65	ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP} = 10.0$ mrad) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วของแผ่นดิสก์.....109
5.66	ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP} = 10.0$ mrad) เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะจับยึดหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์.....109
5.67	ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP} = 10.0$ mrad) เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงที่กระทำต่อหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์.....110
5.68	เปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านระหว่างหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.336$ mm, $\theta_{TP} = 10.0$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วของแผ่นดิสก์.....111
5.69	เปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านระหว่างหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.336$ mm, $\theta_{TP} = 10.0$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะการจับยึดหัวอ่านที่ค่าความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s.....111
5.70	เปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านระหว่างหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.336$ mm, $\theta_{TP} = 10.0$ mrad)และหัวอ่านชนิด IBM 3380เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงที่กระทำต่อหัวอ่าน ที่ค่าความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s.....112
5.71	การเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP} = 10.0$ mrad) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง.....113
5.72	การเปลี่ยนแปลงระยะจุดศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP} = 10.0$ mrad) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง.....113

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.73	การเปลี่ยนแปลงค่ามุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336\text{mm}$, $\theta_{TP}=10.0\text{mrad}$) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง.....114
5.74	การเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336\text{ mm}$, $\theta_{TP}=10.0\text{ mrad}$) และหัวอ่านชนิดIBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ ผ่านสิ่งกีดขวางที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s115
5.75	การเปลี่ยนแปลงระยะศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336\text{ mm}$, $\theta_{TP}=10.0\text{ mrad}$) และหัวอ่านชนิดIBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ ผ่านสิ่งกีดขวางที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s115
5.76	การเปลี่ยนแปลงค่าของมุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336\text{ mm}$, $\theta_{TP}=10.0\text{ mrad}$) และหัวอ่านชนิดIBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ ผ่านสิ่งกีดขวางที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s116
5.77	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของสมการเป้าหมายและค่าตัวแปรในการออกแบบ ที่มี $W_1 = 50,000$, $W_2 = 5,500$117
5.78	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของสมการเป้าหมายและค่าค่าความกว้างของราง ของหัวอ่านที่มี $W_1 = 50,000$, $W_2 = 5,500$ และ $\theta_{TP} = 21.93\text{ mrad}$117
5.79	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของสมการเป้าหมายและค่ามุมราบเอียง หรือมุมเทเปอร์ของรางของหัวอ่านที่มี $W_1 = 50,000$, $W_2 = 5,500$ และ $B = 0.362\text{ mm}$.118
5.80	แสดงการกระจายความดันบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362\text{ mm}$, $\theta_{TP}=21.93\text{ mrad}$).....119
5.81	แสดงการกระจายความดันที่กึ่งกลางรางตามแนวความยาวของหัวอ่านชนิดรีวเบน ที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362\text{ mm}$, $\theta_{TP}=21.93\text{ mrad}$) และหัวอ่านชนิด IBM 3380...119
5.82	ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362\text{ mm}$, $\theta_{TP}=21.93\text{ mrad}$) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วของแผ่นดิสก์.....120
5.83	ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362\text{ mm}$, $\theta_{TP}=21.93\text{ mrad}$) เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะจับยึดหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์.....120
5.84	ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362\text{ mm}$, $\theta_{TP}=21.93\text{ mrad}$) เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงที่กระทำต่อหัวอ่านและความเร็ว ของแผ่นดิสก์.....121

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.85	เปรียบเทียบระยะเวลาการลอยตัวของหัวอ่านระหว่างหัวอ่านชนิดริวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.362\text{ mm}$, $\theta_{TP}=21.93\text{ mrad}$) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วของแผ่นดิสก์.....122
5.86	เปรียบเทียบระยะเวลาการลอยตัวของหัวอ่านระหว่างหัวอ่านชนิดริวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.362\text{ mm}$, $\theta_{TP}=21.93\text{ mrad}$) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะเวลาจับยึดหัวอ่านที่ค่าความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s122
5.87	เปรียบเทียบระยะเวลาการลอยตัวของหัวอ่านระหว่างหัวอ่านชนิดริวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.362\text{ mm}$, $\theta_{TP}=21.93\text{ mrad}$) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงที่กระทำต่อหัวอ่าน ที่ค่าความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s123
5.88	การเปลี่ยนแปลงระยะเวลาการลอยตัวของหัวอ่านชนิดริวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362\text{ mm}$, $\theta_{TP}=21.93\text{ mrad}$) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง.....124
5.89	การเปลี่ยนแปลงระยะศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดริวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362\text{ mm}$, $\theta_{TP}=21.93\text{ mrad}$) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง.....124
5.90	การเปลี่ยนแปลงค่ามุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดริวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362\text{ mm}$, $\theta_{TP}=21.93\text{ mrad}$) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง.....125
5.91	การเปลี่ยนแปลงระยะเวลาการลอยตัวของหัวอ่านชนิดริวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362\text{ mm}$, $\theta_{TP}=21.93\text{ mrad}$) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s126
5.92	การเปลี่ยนแปลงระยะศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดริวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362\text{ mm}$, $\theta_{TP}=21.93\text{ mrad}$) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s126
5.93	การเปลี่ยนแปลงค่าของมุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดริวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336\text{ mm}$, $\theta_{TP}=10.0\text{ mrad}$) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s127

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

BFGS	Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno
EHD	Elastohydrodynamic Lubrication
HD	Hydrodynamic Lubrication
LP	Linear Programming
NLP	Nonlinear Programming
PERT	Program Evaluation Review Technique
TLOT	Time for slider pass bump
a	สัมประสิทธิ์ปรับแก้พื้นผิว (surface correction coefficient)
B	ความกว้างรางของหัวอ่านหนึ่งราง (slider rail width)
C_z	สัมประสิทธิ์แดมป์ของการยึดจับหัวอ่านในแนวการเคลื่อนที่ขึ้นลงตั้งฉากกับหัวอ่านในรูปไร้มิติ (Normalized translation damping coefficient of suspension = $c_z h_a \omega_0 / p_a LB$)
C_θ	สัมประสิทธิ์แดมป์ของการยึดจับหัวอ่านในแนวการเคลื่อนที่หมุนรอบแกนตามขวางของหัวอ่านในรูปไร้มิติ (Normalized pitch torsional damping coefficient of suspension = $c_\theta h_a \omega_0 / p_a LB$)
f_0	แรงที่กระทำต่อหัวอ่าน
F_0	แรงที่กระทำต่อหัวอ่านในรูปไร้มิติ ($f_0 / p_a LB$)
FX_s	คือ ค่าสมการเป้าหมายที่สภาวะทำงานสถิตย์
FX_D	คือ ค่าสมการเป้าหมายที่สภาวะทำงานพลวัต
g	ค่าคงที่ของแรงโน้มถ่วงของโลก (gravitational constant)
h_a	ค่าความหนาฟิล์มอ้างอิง (โดยปกติมีค่าเฉลี่ยความหนาฟิล์มต่ำสุด)
H	ค่าความหนาของฟิล์มอากาศในรูปไร้มิติ (h / h_a)
h_{LD}	ค่าความหนาของฟิล์มอากาศที่บริเวณขอบนำ (Leading edge spacing) หรือขอบด้านหน้าของหัวอ่าน
h_{TR}	ค่าความหนาของฟิล์มอากาศที่บริเวณขอบท้าย (Trailing edge spacing) หรือขอบด้านหลังของหัวอ่าน
I_θ	โมเมนต์ความเฉื่อยในการเคลื่อนที่ของหัวอ่านในแนวหมุนรอบแกนตามขวางของหัวอ่าน (Normalized slider moment of inertia about the pitch axis = $i_\theta h_a \omega_0^2 / p_a L^3 B$)
j	ค่าจำนวนจินตภาพ (Imaginary unit = $\sqrt{-1}$)

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

K_Z	ค่าสัมประสิทธิ์ของสปริงของการกดยึดหัวอ่านในทิศการเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวที่ตั้งฉากกับแผ่นดิสก์ในรูปไร้มิติ ($k_Z h_a / p_a L B$)
K_θ	ค่าสัมประสิทธิ์สปริงของการกดยึดหัวอ่านในทิศทางการเคลื่อนที่หมุนรอบแนวแกนตามขวางของแผ่นดิสก์ในรูปไร้มิติ ($k_\theta h_a / p_a L^3 B$)
Kn	ค่าเลขนูดเซนนัมเบอร์(Knudsen number) (λ_a / h_a)
L	ค่าความยาวของหัวอ่าน(Slider length)
L_{TP}	ระยะความยาวของส่วนราบเอียงในรูปไร้มิติ(Normalized taper length = l_{TP} / L)
m	น้ำหนักของหัวอ่าน
M_0	โมเมนต์เริ่มต้นของตัวจับยึด ($m_0 / p_a L^2 B$)
M_Z	น้ำหนักของหัวอ่านในรูปไร้มิติ ($m h_a \omega_0^2 / p_a L B$)
p_a	ความดันบรรยากาศ
P	ความดันฟิล์มอากาศในรูปไร้มิติ (p / p_a)
Q	ตัวประกอบการไหล (Poiseuille flow factor)
R	อัตราส่วนของความยาวของหัวอ่านและความกว้างของรางของหัวอ่าน (L / B)
s	ตัวแปรในการแปลงลาปลาซ(Laplace transform variable)
t_m	อุณหภูมิของแก๊ส
t	เวลา(time)
T	เวลาในรูปไร้มิติ ($\omega_0 t$)
U	ความเร็วในการหมุนของดิสก์(Velocity of disk = $r\omega_0$)
W_1	คือ ค่า Weight factor ของค่าสมการเป้าหมายที่สภาวะทำงานสถิตย์
W_2	คือ ค่า Weight factor ของค่าสมการเป้าหมายที่สภาวะทำงานพลวัต
X_G	ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของหัวอ่านในรูปไร้มิติ(Normalized location of the center of gravity = x_G / L)
X_{GS}	ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางมวลและจุดจับยึดหัวอ่านในรูปไร้มิติ(Normalized distance between the center of gravity and support position = x_{GS} / L)
X_S	ระยะจับยึดของหัวอ่านในรูปไร้มิติ(Normalized location of the support position = x_S / L)
X	ตัวแปรแนวแกน X ในรูปไร้มิติ(Normalized spatial variables $X = x/L$)
Y	ตัวแปรแนวแกน Y ในรูปไร้มิติ(Normalized spatial variables $Y = y/B$)

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

Z	ระยะการเคลื่อนที่ขึ้นลงของหัวอ่าน (z/h_a)
θ	มุมพิทช์ของหัวอ่านในรูปไร้มิติ(Normalized pitch angle of slider = $\theta L/h_a$)
θ_{TP}	มุมเอียงของหัวอ่าน(Taper angle)
λ_a	ระยะเส้นทางการเคลื่อนที่อิสระ โดยเฉลี่ยของโมเลกุลอากาศที่ความดันบรรยากาศ
Λ	ค่าตัวเลขการรองรับ(Bearing number) ($6\eta_a UL/p_a h_a^2$)
σ	ค่าตัวเลขการกดอัด(Squeeze number) ($12\eta_a \omega_0 L^2/p_a h_a^2$)
η_a	ค่าความหนืดสมบูรณ์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ
ω_0	ค่าความถี่เหมาะสมของการเคลื่อนที่ของแผ่นดิสก์

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์มากยิ่งขึ้น ซึ่งการพัฒนาทางเทคโนโลยีสารสนเทศเป็นไปอย่างรวดเร็วทั้งอุปกรณ์(hardware) ระบบปฏิบัติการ (software) และการติดต่อสื่อสาร เราจึงจำเป็นต้องปรับตัวยอมรับและเรียนรู้เทคโนโลยีใหม่ที่เกิดขึ้นอยู่เสมอ เทคโนโลยีสารสนเทศเป็นเทคโนโลยีที่ครอบคลุมถึงการรวบรวมข้อมูล การประมวลผล การจัดเก็บข้อมูล และการถ่ายทอดสารสนเทศ ในปัจจุบันนิยมใช้คอมพิวเตอร์ในการจัดเก็บข้อมูล เพราะมีความสะดวกรวดเร็วในการจัดเก็บข้อมูลและสามารถทำการประมวลผลของข้อมูลได้อย่างรวดเร็วมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ดังนั้นประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลภายในคอมพิวเตอร์หรือฮาร์ดดิสก์(Hard disk) จึงเป็นส่วนสำคัญที่เราควรให้ความสำคัญ บริษัทผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ได้ศึกษาค้นคว้าเพื่อพัฒนาฮาร์ดดิสก์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

เมื่อคอมพิวเตอร์เริ่มเข้ามามีบทบาทกับชีวิตประจำวันของมนุษย์มากยิ่งขึ้น ดังนั้นความต้องการในการใช้คอมพิวเตอร์จึงมีมากขึ้น บริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ได้ทำการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้นของผู้บริโภค และเพื่อให้สามารถแข่งขันทางธุรกิจได้ ซึ่งอุปกรณ์การจัดเก็บข้อมูลเป็นอีกอุปกรณ์หนึ่งที่ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากปัจจุบันโปรแกรมปฏิบัติการต่าง ๆ ต้องการเนื้อที่ในการจัดเก็บข้อมูลและความเร็วในการประมวลผลมากยิ่งขึ้น

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตฮาร์ดดิสก์ส่งออกมาต่างประเทศหนึ่ง ดังนั้นเราควรให้ความสนใจและทำความเข้าใจในหลักการทำงานและเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต สามารถนำความรู้ไปใช้ในการพัฒนาปรับปรุงให้ฮาร์ดดิสก์มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเพื่อให้สามารถแข่งขันในตลาดโลกได้ ประสิทธิภาพของฮาร์ดดิสก์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ความเร็วในการหมุน กลไกภายใน ความจุข้อมูล ชนิดของคอนโทรลเลอร์ และระบบการเชื่อมต่อที่ใช้ เป็นต้น ซึ่งหัวข้องานเขียนของฮาร์ดดิสก์นับเป็นชิ้นส่วนที่มีราคาแพงที่สุดและมีผลกระทบอย่างยิ่งกับประสิทธิภาพของฮาร์ดดิสก์ ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงให้ความสำคัญกับหัวข้องานเขียนของฮาร์ดดิสก์ โดยทำการศึกษาหาขนาดที่เหมาะสมของอ่านชนิดเรียวแบน(taper flat) ศึกษาพฤติกรรมในสภาวะทำงานสถิตย์และ

พลวัตของหัวอ่านที่มีขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดเรียวแบน(taper flat) และทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมดังกล่าวกับหัวอ่านชนิด IBM 3380

1.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bagci C. และ Singh ในปี พ.ศ. 2526 ศึกษาการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกของกาบรองสั้น โดยพิจารณารูปร่างของฟิล์มการหล่อลื่นเพียงหนึ่งมิติพร้อมทั้งนำเอาวิธีการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อหาขนาดที่เหมาะสมที่สุด[1]

Kogure K., Fukui S., Mitsuya Y. และ Kaneko R. ในปี พ.ศ. 2526 ศึกษาการออกแบบหัวอ่านชนิดความดันลบ(Negative Pressure) ในสภาวะทำงานที่สภาวะสถิตย์และพลวัต โดยใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์แก้สมการ โมดิฟายด์เรย์โนลด์ส์ของไหลที่อัดตัวได้ที่คิดผลของการไหลแบบการลื่นไถลของโมเลกุล [2]

Hayashi T., Fukui S., Ohkubo T. และ Kaneko R. ในปี พ.ศ. 2533 ทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของคุณสมบัติทางพลวัตของการหล่อลื่นด้วยก๊าซภายใต้สภาวะที่ Knudsen Number มีค่าสูง โดยใช้สมการหล่อลื่นที่อยู่บนพื้นฐานของสมการโบลทซ์แมน(Boltzmann equation) และนำการวิเคราะห์ดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับสมการประมาณค่าการรั่วไหล[3]

Zheming Z. และ Wenkang S. ในปี พ.ศ. 2536 แสดงวิธีการใหม่ในการแก้สมการเรย์โนลด์ส์แบบอัดตัวได้ที่คิดผลของการไหลแบบการลื่นไถลของโมเลกุล ที่หัวอ่านมีระยะการลอยตัวต่ำ โดยใช้วิธี Patankar-Spalding และวิธี implicit scheme [4]

Jeong T.G. และ Bogy D.B. ในปี พ.ศ. 2536 ผลเนื่องจากความเร็วของแผ่นดิสก์ ภาระแรงที่กระทำ ขนาดของมุมพิทช์ (pitch angle) และมุมโรล (roll angle) ที่มีผลต่อพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์ โดยใช้การคำนวณเชิงตัวเลข[5]

Choi D.-H. และ Yoon S.-J. ในปี พ.ศ. 2537 ศึกษาการออกแบบหัวอ่านโดยใช้เทคนิคของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด(optimization technique) สมการ โมดิฟายด์เรย์โนลด์ส์ที่คิดผลของการไหลแบบการลื่นไถลของโมเลกุล และใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลขในการหาค่าการกระจายอุณหภูมิ โดยนำเอาวิธีทางการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดใช้หาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของหัวอ่าน เพื่อให้หัวอ่านอยู่สภาวะสมดุลย์มากที่สุด โดยมีตัวแปรในการออกแบบคือ ความสูงที่ขอบท้ายระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ มุมพิทช์ (pitch angle) และ มุมโรล (roll angle)[6]

O'Hara M. A. and Bogy D. B. ในปี พ.ศ. 2538 นำวิธีการทางการหาค่าที่เหมาะสมในการหาขนาดของหัวอ่านที่มีระยะการลอยตัวที่ต่ำมาก[7]

O'Hara M.A., Hu Y. และ Bogy D.B. ในปี พ.ศ. 2539 ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดของหัวอ่านโดยใช้วิธีทางการหาค่าที่เหมาะสม โดยระยะเวลาการลอยตัวของหัวอ่านต่ำกว่า 25 นาโนเมตร[8]

Hsiao H.-S., Bhushan B. และ Hamrock B. J. ในปี พ.ศ. 2539 ศึกษาพฤติกรรมการทำงานในสถานะสถิตย์ที่การลอยตัวของหัวอ่านเกือบสัมผัสแผ่นดิสก์ และศึกษาผลกระทบของตัวแปรไว้รมิตต่อพฤติกรรมของการหล่อลื่นของการลอยตัวของหัวอ่านเหนือแผ่นดิสก์ [9]

Wu L. และ Bogy D.B. ในปี พ.ศ. 2542 ปรับปรุงขนาดของตาข่ายโดยการประยุกต์ใช้วิธี Delauney ใช้วิธีปริมาตรสืบเนื่องแฝงอย่างสมบูรณ์ (fully implicit finite volume scheme) ในการแก้สมการเรย์โนลด์ พร้อมทั้งวิธีการทำซ้ำแบบจุดของ Gauss-Seidel เพื่อศึกษาพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่าน[10]

Choi D.-H. และ Kang T.-S. ในปี พ.ศ. 2542 ศึกษาหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของรางหัวอ่านที่เป็นแบบ subambient pressure ทั้งหัวอ่านชนิดสองรางและหัวอ่านชนิดสามราง โดยใช้เทคนิคโปรแกรมทางคณิตศาสตร์แบบไม่เชิงเส้น(nonlinear programming) เพื่อหาพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านเหนือแผ่นดิสก์ สมการเป้าหมายคือระยะต่ำสุดที่หัวอ่านลอยตัวเหนือแผ่นดิสก์ โดยขนาดของมุมพิทช์อยู่ในช่วงที่กำหนด และมีมุมโรลต่ำที่สุด[11]

Hashimoto H. และ Hattori Y. ในปี 2543 พัฒนาวิธีทางการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimum design) เพื่อหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิด IBM 3380 โดยมีระยะระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์น้อยที่สุด ผลต่างของระหว่างค่าระยะการลอยตัวสูงสุดของหัวอ่านกับค่าระยะการลอยตัวต่ำสุดของหัวอ่าน และ amplitude ratio ของการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเป็นสมการเป้าหมาย โดยใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (finite different) และวิธี ไฮบริดออปติไมซ์เทชัน (hybrid optimization technique)[12]

Lokitsagtong M. และ Mongkolwongrojn M. ในปี 2543 ศึกษาหาขนาดหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด โดยให้หัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าทำงานที่สถานะสถิตย์ โมเดลทางคณิตศาสตร์ของหัวอ่านถูกจำลองโดยวิธีผลต่างน้อยที่สุดกำลังสอง โดยคำนวณสมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์ที่คิดผลของการไหลแบบการลื่นไถลของโมเลกุลแล้วแปลงสมการดังกล่าวให้เป็นสมการเชิงเส้น และใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลขหาค่าความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์กับความกว้างของรางของหัวอ่าน และมุมเอียงของหัวอ่าน โปรแกรมทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ได้แก่ โปรเดน-เฟลทเซอร์-โกลด์เฟรบ-เซนโน และวิธีการค้นหาเชิงเส้น โดยมีสมการเป้าหมายคือหาระยะห่างที่บริเวณขอบท้าย(trail edge) ระหว่างหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าและแผ่นดิสก์น้อยสุด[13]

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อนำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด(Optimization) มาใช้ในการหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดเรียวแบน(taper-flat) ที่ทำให้หัวอ่านอยู่ในสภาวะสมดุลมากที่สุดในการทำงานที่สภาวะสถิตย์และที่สภาวะทำงานพลวัตหัวอ่านชนิดเรียวแบนจะต้องใช้เวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลเร็วที่สุดและมีเสถียรภาพดีที่สุดเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง หลังจากนั้นนำขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดเรียวแบน (taper-flat) มาศึกษาพฤติกรรมในการทำงานในสภาวะสถิตย์และพลวัต และนำผลการศึกษาพฤติกรรมดังกล่าวเปรียบเทียบกับพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านชนิด IBM 3380

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ทำการคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดเรียวแบน(taper flat) โดยการคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดได้ใช้วิธีการค้นหาทุกค่า(Exhaustive search) ร่วมกับโปรแกรมคณิตศาสตร์ของโบรเคน-เฟลทเซอร์-โกลด์เฟรบ-เซนโน และวิธีค้นหาเชิงเส้น เพื่อให้หัวอ่านอยู่ในสภาวะสมดุลมากที่สุดในการทำงานสถิตย์ และที่สภาวะทำงานพลวัตหัวอ่านชนิดเรียวแบนจะต้องใช้เวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลเร็วที่สุดและมีเสถียรภาพดีที่สุดเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง โดยใช้วิธีเชิงตัวเลขมาใช้ในการคำนวณหาพฤติกรรมของหัวอ่าน และเมื่อได้ขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดเรียวแบน(taper-flat) แล้วทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการทำงานในสภาวะสถิตย์ และสภาวะพลวัตของหัวอ่านดังกล่าวเปรียบเทียบกับพฤติกรรมของหัวอ่านชนิด IBM 3380

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาความเป็นมาและความสำคัญของระบบจัดเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า
2. ศึกษาบทความที่เกี่ยวข้องเพื่อหาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการศึกษาพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่าน
3. ศึกษาบทความที่เกี่ยวข้องในการออกแบบหัวอ่านที่เหมาะสม
4. นำวิธีเชิงตัวเลขมาใช้ในการแก้ปัญหาคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง
5. ศึกษาตัวแปรสำหรับการออกแบบของอ่านชนิดเรียวแบน(taper-flat) ที่มีผลทำให้หัวอ่านอยู่ในสภาวะสมดุลในการทำงานมากที่สุด

6. ศึกษาวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด(Optimization) และดูว่าวิธีการใดที่จะเหมาะสมสำหรับนำมาใช้กับสมการเป้าหมายที่กำหนด และวิธีดังกล่าวต้องเหมาะที่จะใช้กับการออกแบบของหัวอ่านชนิดเรียวแบน(taper-flat)
7. วิเคราะห์พฤติกรรมการทำงานในสถานะสถิตย์และพลวัต
8. เปรียบเทียบพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านชนิดเรียวแบน(taper flat) ที่มีขนาดที่เหมาะสมกับพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านชนิด IBM 3380

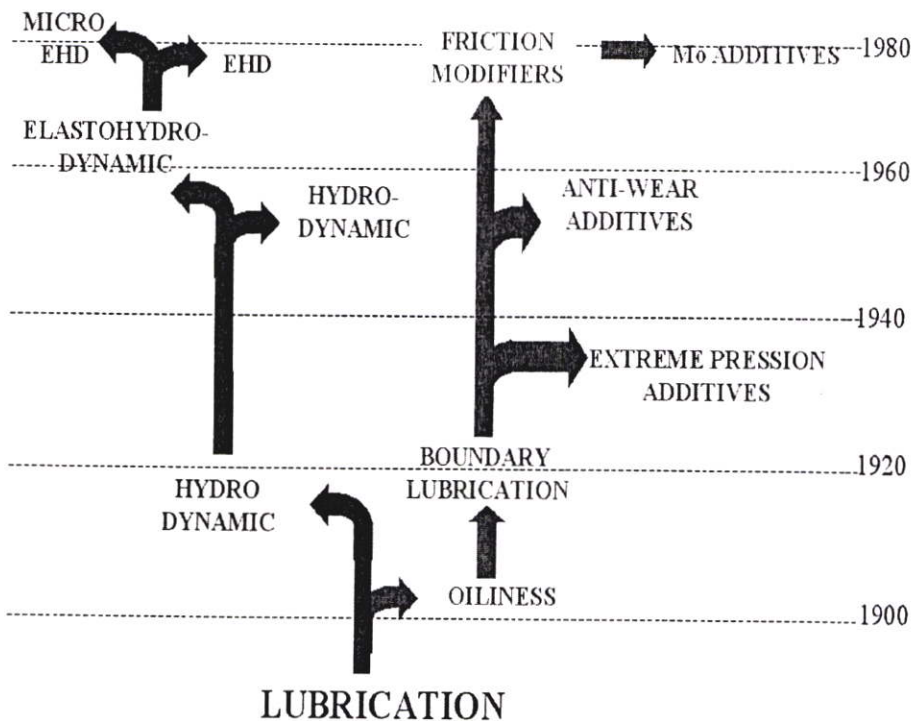
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้คือ วิธีทาง Optimization สามารถนำมาใช้ในการหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดเรียวแบน(taper-flat)ได้ ทราบถึงลักษณะการทำงานและพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านในระบบจัดเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้านำไปสู่การพัฒนาการออกแบบหัวอ่านให้มีขนาดที่เหมาะสมที่สุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการจัดเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าภายในคอมพิวเตอร์ให้ดียิ่งขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีการหล่อลื่น

ในระหว่างปี พ.ศ. 1995-2062 Leonardo Da vinci ได้ศึกษาการเกิดการเสียดทาน(friction) เป็นครั้งแรก หลังจากนั้น Guillaume Amontons(พ.ศ. 2206-2248) และ Charles August Coulomb (พ.ศ.2274-2349) ได้คิดค้นทฤษฎีพื้นฐานของการเกิดการเสียดทาน ต่อมาในปี พ.ศ.2493 F.Philip Bowden และ David Tabor ทำการศึกษาพื้นที่สัมผัสจริงของการเกิดการสัมผัสกันโดยพื้นที่ดังกล่าวมีขนาดเล็กมาก การลดการเสียดทานหรือการสัมผัสกันของผิวชิ้นงานทำได้โดยการทำการหล่อลื่น ผู้คิดค้นทฤษฎีการหล่อลื่นด้วยฟิล์มของไหล คือ เรย์โนลด์(O.Reunolds,พ.ศ. 2429) วิวัฒนาการของการหล่อลื่นแสดงดังรูป 2.1 วิชาการการหล่อลื่นได้ถูกพัฒนาอย่างรวดเร็ว จนปัจจุบันวิชาการหล่อลื่นได้เป็นวิชาการที่มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาเทคโนโลยีสมัยใหม่



รูปที่ 2.1 วิวัฒนาการของการหล่อลื่น

2.1 ชนิดของการหล่อลื่น[14][15]

การหล่อลื่นระหว่างผิวชิ้นงาน คือ การแยกชิ้นงานออกจากกันด้วยฟิล์มสารหล่อลื่น ขณะที่ผิวชิ้นงานตั้งแต่สองชิ้นขึ้นไปเคลื่อนที่สัมผัสกัน ฟิล์มสารหล่อลื่นจะถูกเฉือนโดยผิวของชิ้นงาน จะไม่มีความเสียหายถ้าหากว่ามีฟิล์มน้ำมันคั่นอยู่ระหว่างผิวของชิ้นงาน แต่ถ้าไม่มีฟิล์มหรือมีฟิล์มเฉพาะบางพื้นที่ของผิวชิ้นงาน ผิวชิ้นงานที่ไม่เกิดฟิล์มจะเกิดการแตะสัมผัสกันของผิวโลหะชิ้นงานทั้งสอง เมื่อชิ้นงานเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสัมพัทธ์จะทำให้ผิวของชิ้นงานเกิดการเคลื่อนที่สัมผัสกันระหว่างผิวโลหะทำให้เนื้อโลหะหลุดออกจากผิวเกิดการสึกหรอของชิ้นงาน การหล่อลื่นนั้นจำเป็นต้องทำให้ฟิล์มสารหล่อลื่นซึ่งเป็นของไหลที่ฟิล์มหนาเพียงพอเพื่อไม่ให้เกิดการแตะสัมผัสของผิวโลหะชิ้นงานหรือไม่เกิดการสึกหรอของผิวชิ้นงาน ชนิดของการหล่อลื่นแบ่งตามชนิดของสารหล่อลื่น(ดังรูปที่ 2.2) ได้ดังนี้คือ

1. การหล่อลื่นด้วยของแข็ง(Solid lubrication) เป็นการหล่อลื่นที่ใช้วัสดุที่เป็นของแข็ง โดยฟิล์มของสารหล่อลื่นที่เป็นของแข็ง(Solid film) จะป้องกันการสัมผัสการสัมผัสกันของชิ้นงาน ลดการเสียดทานและลดการสึกหรอ งานที่ใช้การหล่อลื่นด้วยของแข็ง เช่น แบริ่งที่ต้องรับแรงกระทำสูงและมีความเร็วสัมพัทธ์ต่ำ

2. การหล่อลื่นด้วยของไหล(Fluid lubrication) เป็นการหล่อลื่นที่ใช้ของไหล (ของเหลวหรือแก๊ส) ในการหล่อลื่นระหว่างผิวของชิ้นงาน แบ่งได้หลายประเภทดังนี้

2.1 การหล่อลื่นแบบไฮโดรสแตติก(Hydrostatic lubrication) เป็นการหล่อลื่นที่มีแหล่งกำเนิดแรงดันของสารหล่อลื่นเกิดจากภายนอก(external pressure source) เช่น ปั๊ม ด้วยเหตุนี้แบริ่งดังกล่าวถูกเรียกว่า Externally Pressurized การหล่อลื่นแบบไฮโดรสแตติกจะใช้ได้กับสารหล่อลื่นทั้งแบบอัดตัวได้ และอัดตัวไม่ได้ เกิดการเสียดทานต่ำกว่าการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกที่ความเร็วสัมพัทธ์ต่ำ ๆ สามารถรับแรงได้มากกว่าการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิก นิยมนำไปใช้ในระหว่างเปิด/ปิด(เริ่มต้นการทำงานและหยุดการทำงาน) เพื่อลดการสึกหรอที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามระบบของการหล่อลื่นแบบไฮโดรสแตติกมีความซับซ้อนมากกว่าการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิก และต้องใช้ปั๊มที่ให้แรงดันสูง(High-pressure pump) และต้องเพิ่มชุดอุปกรณ์ในการทำความสะดวกสารหล่อลื่นเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่อีกครั้งในการหล่อลื่น ซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น

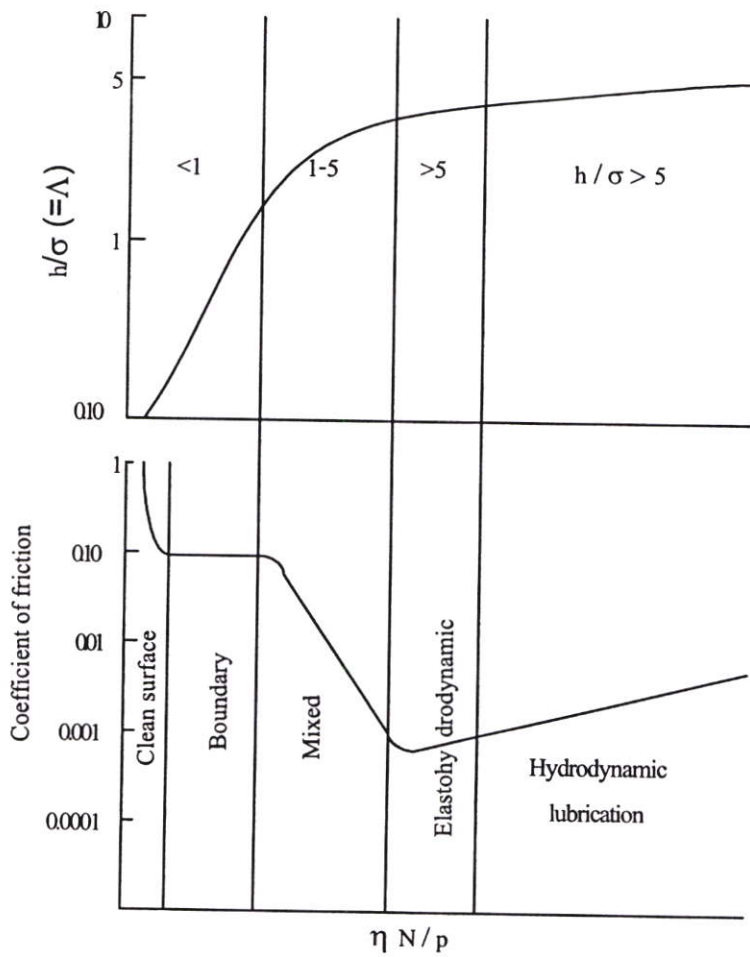
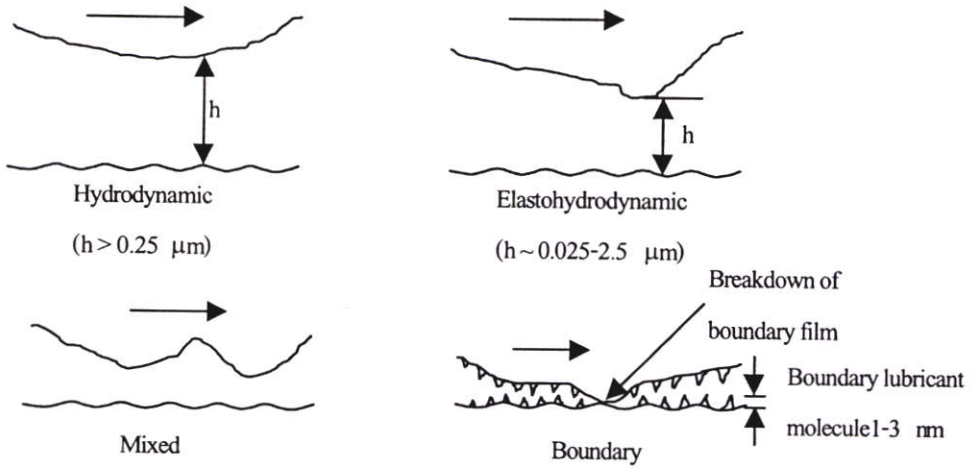
2.2 การหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิก(Hydrodynamic lubrication, HD) ในบางครั้งเรียกว่า การหล่อลื่นแบบฟิล์มของไหล(Fluid-film) หรือการหล่อลื่นแบบความหนาฟิล์ม(Thick-film) เป็นการหล่อลื่นที่มีสารหล่อลื่นคั่นระหว่างผิวชิ้นงานหนาขณะที่ชิ้นงานเคลื่อนที่ที่จะให้ค่า

สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารหล่อลื่นเพียงอย่างเดียวไม่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของผิวชิ้นงาน ความดันที่เป็นบวกจะถูกสร้างขึ้นในการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกของแบร์ริงเพลาทอมหรือแบร์ริงรับแรงคุณจะมีรูปร่างเปลี่ยนไปตามความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ของผิวชิ้นงานและความหนืดของสารหล่อลื่น การหล่อลื่นระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ในฮาร์ดดิสก์จะเป็นการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกที่ใช้อากาศเป็นสารหล่อลื่น ซึ่งจะเกิดการสึกหรอต่ำ

2.3 การหล่อลื่นแบบอีลาสโตไฮโดรไดนามิก(*Elastohydrodynamic lubrication, EHD*) เป็นการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกแบบหนึ่งที่เกิดจากความยืดหยุ่นของการเปลี่ยนรูปร่าง(*Elastic deformation*) ความหนาของฟิล์มหล่อลื่นจะมีค่าน้อยกว่าการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิก จะใช้กับแบร์ริงที่ต้องรับแรงกระทำสูง ๆ ที่มีพื้นที่สัมผัสของชิ้นงานน้อย โดยงานที่ต้องรับแรงที่กระทำสูง ความดันสูง จะทำให้ความหนืดของของไหลลดลง และคุณสมบัติการยืดหยุ่นเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะทำให้รูปร่างของฟิล์มความดันเปลี่ยนไปจะทำให้ความสามารถในรับแรงที่กระทำลดลง

2.4 การหล่อลื่นแบบผสม(*Mixed lubrication*) เป็นการหล่อลื่นที่อยู่ระหว่างการหล่อลื่นแบบอีลาสโตไฮโดรไดนามิก(*EHD*) และการหล่อลื่นแบบเบาดารี ในบางครั้งเรียกการหล่อลื่นแบบผสมว่าการหล่อลื่นแบบคลอไฮโดรไดนามิก(*Quasi-hydrodynamic lubrication*)

2.5 การหล่อลื่นแบบเบาดารี(*Boundary lubrication*) เป็นการหล่อลื่นที่ผิวชิ้นงาน ที่ทั่วทั้งผิวชิ้นงานมีสารหล่อลื่นคั่นอยู่บางมากเพียงหนึ่งในสองโมเลกุลของสารหล่อลื่น ดังนั้นค่าความหนืดของสารหล่อลื่นเป็นคุณสมบัติที่ไม่สำคัญในการหล่อลื่นแบบเบาดารี สิ่งที่สำคัญคือส่วนผสมทางเคมีของสารหล่อลื่นและลักษณะของชิ้นงาน การหล่อลื่นที่ดีที่สุดคือ สารหล่อลื่นที่จับตัวอยู่บนผิวของชิ้นงานและควรอยู่ในสถานะของแข็ง การเปลี่ยนจากการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกเป็นการหล่อลื่นแบบเบาดารีจะเกิดขึ้นช้า ๆ เมื่อผิวของชิ้นงานทั้งสองถูกแรงกระทำให้ขยับเข้าใกล้กันมากยิ่งขึ้น ทำให้แรงยกของสารหล่อลื่นลดลง เพราะฉะนั้นคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติของผิวชิ้นงานจะมีความสำคัญต่อการหล่อลื่นเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดของสารหล่อลื่นจะเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อการหล่อลื่นน้อยลง



รูปที่ 2.2 พารามิเตอร์ของฟิล์มการหล่อลื่น(Λ) และกราฟความสัมพันธ์ของการหล่อลื่นด้วยของไหลแบบต่างๆ

2.2 ข้อดีและข้อเสียของการหล่อลื่นด้วยแก๊ส[14][15]

การหล่อลื่นในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นการประยุกต์ใช้การหล่อลื่นด้วยอากาศแบบไฮโดรไดนามิก โดยระยะการลอยตัวของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่บนแผ่นดิสก์มีขนาดเล็กน้อยมาก ดังนั้นจึงได้ประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านวิศวกรรมในการออกแบบหัวอ่านเพื่อให้ทำงานได้ดีทั้งสภาวะสถิตย์และพลวัต ในการหล่อลื่นความหนาของฟิล์มอากาศต้องเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ และระยะห่างดังกล่าวต้องไม่มากจนเกินไป เพราะจะทำให้สัญญาณในการบันทึกหรือการอ่านข้อมูลไม่ดี และการหล่อลื่นด้วยอากาศมีข้อดีข้อเสียดังนี้ คือ

ข้อดีของการหล่อลื่นด้วยแก๊สดังนี้ คือ

1. หาได้ง่าย สะอาด และมีราคาถูก
2. อากาศไม่ทำให้ผิวของสิ่งที่ทำการหล่อลื่นมีสิ่งปนเปื้อน
3. อากาศจะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำมาก ๆ จนถึงที่อุณหภูมิสูงมาก ๆ
4. ฟิล์มความดันของอากาศจะไม่เกิดโพรงอากาศ
5. อากาศจะมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้สามารถรับแรงที่กระทำได้มากขึ้น เป็นต้น

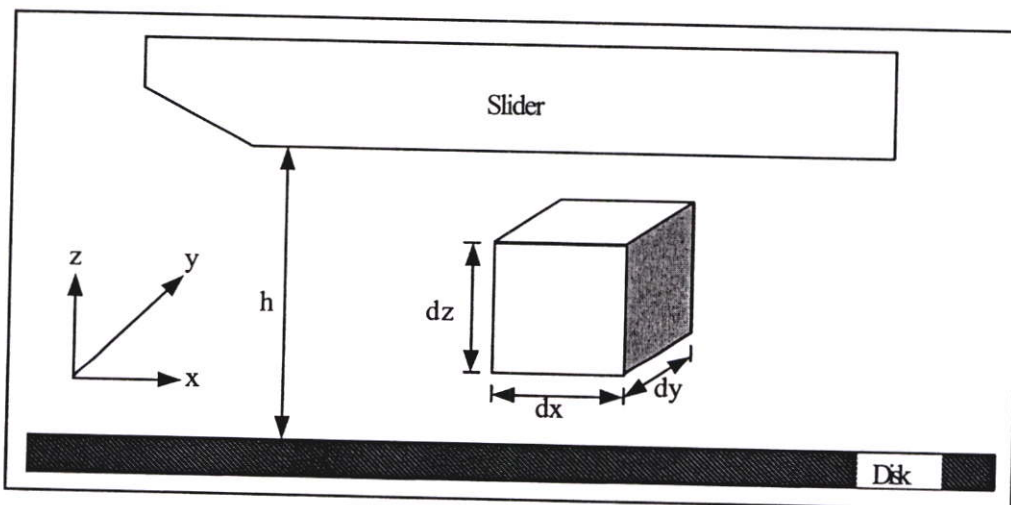
ข้อเสียของการหล่อลื่นด้วยแก๊สดังนี้ คือ

1. สามารถรองรับแรงที่กระทำได้น้อยเมื่อเปรียบกับการหล่อลื่นด้วยของไหลอื่น ๆ
2. ผิวของชิ้นงานที่หล่อลื่นต้องมีความหยาบน้อยมาก เพราะความหนาของฟิล์มอากาศบางมาก
3. ขนาดของสิ่งที่หล่อลื่นต้องมีความผิดพลาดน้อยมาก
4. พฤติกรรมความเสถียรไม่ค่อยดี
5. แรงที่กระทำต้องมีค่าต่ำ เป็นต้น

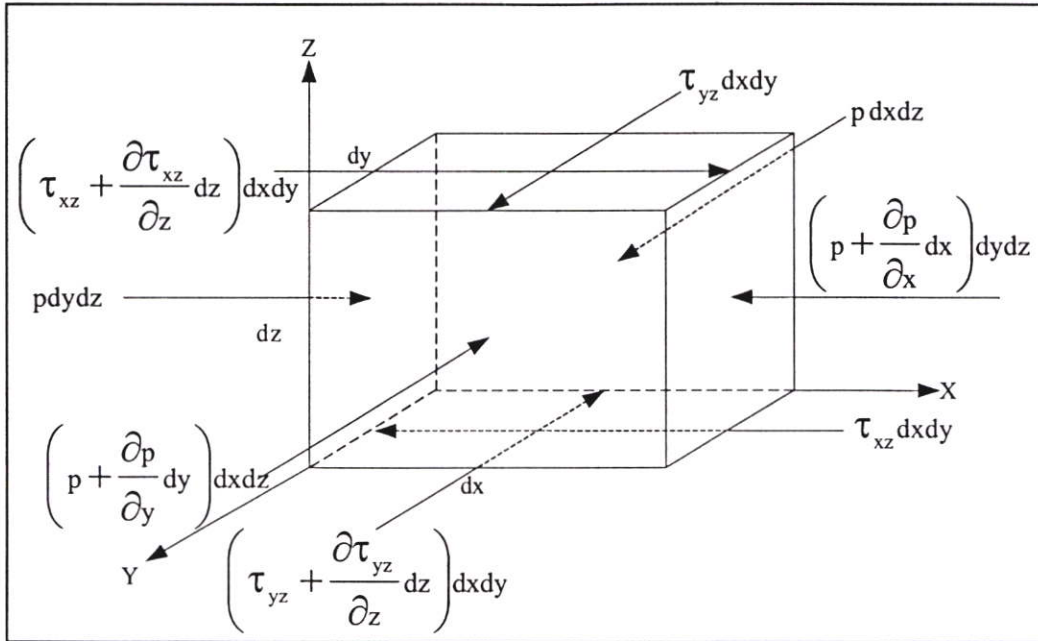
2.3 สมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์ส์(Modify Reynolds Equation)[15][16][17][18]

พฤติกรรมของการลื่นตัวของหัวอ่านเหนือแผ่นดิสก์อธิบายได้จากสมการ โมดิฟายด์เรย์โนลด์ส์ เกิดจากการรวมสมการสองสมการ ได้แก่ สมการนาเวีย-สโตกส์(Navier-Stokes equation) และสมการความต่อเนื่อง(Continuity equation) โดยของไหลเป็นแบบอัดตัวได้(Compressible fluid) ถ้าระยะความสูงของเส้นทางการเคลื่อนที่อิสระโดยเฉลี่ยของโมเลกุลของอากาศมีระยะสูงกว่าความหนาฟิล์มอากาศที่ลื่นจะทำให้โมเลกุลของอากาศเคลื่อนที่โดยอิสระ อย่างไรก็ตามถ้าระยะความสูงของเส้นทางการเคลื่อนที่โดยอิสระของโมเลกุลโดยเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกับความหนาฟิล์มอากาศ จะทำให้อากาศทั้งหมดไหลอย่างไม่ต่อเนื่อง ในการศึกษาครั้งนี้มีสมมุติฐานของการลื่นดังนี้ คือ

1. พื้นผิวที่ลื่นนั้นคือพื้นผิวของหัวอ่านและแผ่นดิสก์เป็นผิวเรียบ
2. สารลื่นมีคุณสมบัติเป็นนิวตันเนียน(Newtonian)
3. การไหลของสารลื่นเป็นการไหลอย่างเป็นระเบียบ(Laminar flow)
4. ค่าความหนืดของของไหลมีค่าคงที่
5. อุณหภูมิผิวของหัวอ่านมีค่าเท่ากันทั่วทั้งหัวอ่านและมีค่าคงที่
6. ไม่คิดแรงเฉื่อยของสารลื่น เนื่องจากความหนาฟิล์มลื่นบางมาก
7. ไม่คิดผลเนื่องจากแรงตึงผิวของพื้นผิว
8. ความหนาของฟิล์มลื่นเมื่อเทียบกับขนาดต่าง ๆ ของหัวอ่านจะมีค่าน้อยมาก
9. ไม่คิดการลื่น ไถลที่ขอบของพื้นผิว



รูปที่ 2.3 ระบบฟิสิกส์ของฟิล์มความดันอากาศ



รูปที่ 2.4 แรงกระทำต่อปริมาตรสี่เหลี่ยม

จากรูปที่ 2.4 จะได้สมดุลย์แรงตามแนวแกน x คือ

$$p dydz + \left(\tau_{xz} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} dz \right) dx dy = \left(p + \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) dydz + \tau_{xz} dx dy \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \quad (2.2)$$

ในทำนองเดียวกันสมดุลย์แรงตามแนวแกน y จะได้

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \quad (2.3)$$

จากสมการความเค้นเฉือนของนิวตัน

$$\tau_{xz} = \eta \frac{\partial u}{\partial z} \quad (2.4)$$

$$\tau_{yz} = \eta \frac{\partial v}{\partial z} \quad (2.5)$$

แทนค่าสมการที่(2.4)และ(2.5) ลงในสมการที่(2.2)และ(2.3) ตามลำดับ

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \eta \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \eta \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \quad (2.7)$$

อินทิเกรตสมการที่(2.6)และ(2.7) สองครั้งเทียบกับ z จะได้

$$u = \frac{z^2}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial x} + \tilde{A} \frac{z}{\eta} + \tilde{B} \quad (2.8)$$

$$v = \frac{z^2}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial y} + \tilde{C} \frac{z}{\eta} + \tilde{D} \quad (2.9)$$

เมื่อ $\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C}$ และ \tilde{D} คือ ค่าคงที่ของการอินทิเกรต ภายใต้เงื่อนไขขอบ

$$z = 0, u = U, v = 0$$

$$z = h, u = 0, v = 0$$

ดังนั้นจะได้

$$u = -z \left(\frac{h-z}{2\eta} \right) \frac{\partial p}{\partial x} + U \frac{h-z}{h} \quad (2.10)$$

$$v = -z \left(\frac{h-z}{2\eta} \right) \frac{\partial p}{\partial y} \quad (2.11)$$

อัตราการไหลของสารหล่อลื่นตามแกน x และแกน y คือ

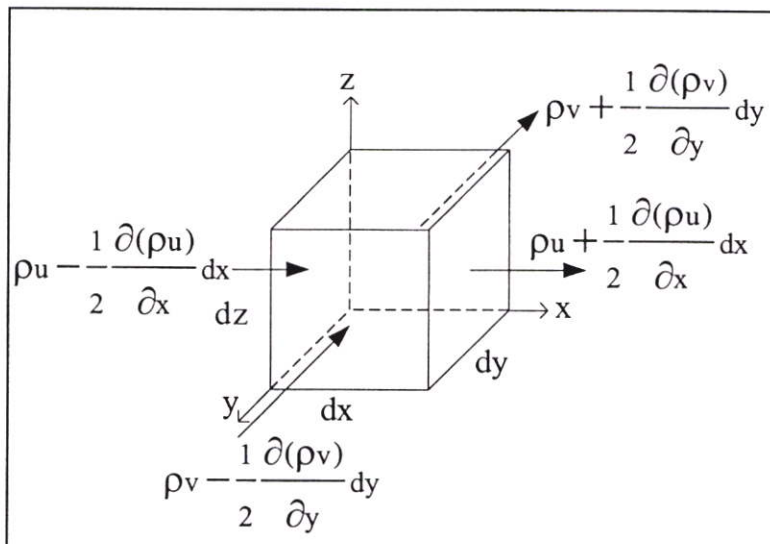
$$q'_x = \int_0^h u dz \quad (2.12)$$

$$q'_y = \int_0^h v dz \quad (2.13)$$

แทนค่าสมการที่ (2.10) และ (2.11) ลงในสมการที่ (2.12) และ (2.13) ตามลำดับจะได้

$$q'_x = \frac{-h^3}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{Uh}{2} \quad (2.14)$$

$$q'_y = \frac{-h^3}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (2.15)$$



รูปที่ 2.5 สมดุลย์มวลที่กระทำต่อปริมาตรสี่เหลี่ยม

จากรูปที่ 2.5 สมการความต่อเนื่อง(Continuity equation) หรือกฎทรงมวล[15] จะได้

$$\begin{aligned} & \left(\rho u + \frac{1}{2} \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} dx \right) dydz + \left(\rho v + \frac{1}{2} \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} dy \right) dx dz - \left(\rho u - \frac{1}{2} \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} dx \right) dydz \\ & - \left(\rho v - \frac{1}{2} \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} dy \right) dx dz = - \frac{\partial(\rho)}{\partial t} dx dy dz \end{aligned} \quad (2.16)$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = - \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (2.17)$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (2.18)$$

อินทิเกรตสมการที่ (2.18) เทียบกับ z จะได้

$$\int_0^h \left[\frac{\partial}{\partial x} (\rho u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v) + \frac{\partial \rho}{\partial t} \right] dz = 0 \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\rho \int_0^h u dz \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\rho \int_0^h v dz \right) + \frac{\partial(\rho h)}{\partial t} = 0 \quad (2.20)$$

แทนค่าสมการที่ (2.14) และ (2.15) ลงในสมการที่ (2.20) จะได้

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left(- \frac{\rho h^3}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho U h}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(- \frac{\rho h^3}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial y} \right) + \frac{\partial(\rho h)}{\partial t} = 0 \\ & - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho h^3}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial x} (\rho U h) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\rho h^3}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial y} \right) + \frac{\partial(\rho h)}{\partial t} = 0 \\ & \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho h^3}{\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\rho h^3}{\eta} \frac{\partial p}{\partial y} \right) = 6 \frac{\partial}{\partial x} (\rho U h) + 12 \frac{\partial(\rho h)}{\partial t} \end{aligned} \quad (2.21)$$

จากสมการสถานะของแก๊สสมบูรณ์

$$\frac{p}{\rho} = \bar{R}t_m \quad (2.22)$$

เมื่อ \bar{R} คือ ค่าคงที่ของแก๊ส

t_m คือ อุณหภูมิของแก๊ส

ถ้าระบบเป็นแบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Isothermal process)[18] จะได้

$$\frac{p}{\rho} = 1 \text{ หรือ } \rho = p \quad (2.23)$$

แทนค่าสมการที่ (2.23) ลงในสมการที่ (2.21) จะได้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{ph^3}{\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{ph^3}{\eta} \frac{\partial p}{\partial y} \right) = 6 \frac{\partial}{\partial x} (pUh) + 12 \frac{\partial (ph)}{\partial t} \quad (2.24)$$

สมการความสัมพันธ์ของค่าความหนืด ณ จุด ๆ หนึ่งกับค่าความหนืดของอากาศ

$$\eta = \frac{\eta_a}{1 + (6a\lambda/h)} \quad ; a \text{ คือ สัมประสิทธิ์ปรับแก้พื้นผิว} \quad (2.25)$$

จาก $\frac{p}{p_a} = \frac{\rho}{\rho_a} = \frac{\lambda_a}{\lambda}$ และ $Kn = \frac{\lambda_a}{h_a}$ จะได้

$$\eta = \frac{\eta_a}{1 + (6aKn p_a h_a / ph)} \quad (2.26)$$

แทนค่าสมการที่ (2.26) ลงในสมการที่ (2.24) จะได้

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left[ph^3 \left(1 + \frac{6aKn p_a h_a}{ph} \right) \frac{\partial p}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ph^3 \left(1 + \frac{6aKn p_a h_a}{ph} \right) \frac{\partial p}{\partial y} \right] \\ & = 6\eta_a \frac{\partial}{\partial x} (pUh) + 12\eta_a \frac{\partial (ph)}{\partial t} \end{aligned} \quad (2.27)$$

เขียนในรูปไร้มิติได้ดังนี้ คือ

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial X} \left[PH^3 \left(1 + \frac{6aKn}{PH} \right) \frac{\partial P}{\partial X} \right] + R^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left[PH^3 \left(1 + \frac{6aKn}{PH} \right) \frac{\partial P}{\partial Y} \right] \\ & = \Lambda \frac{\partial}{\partial X} (PH) + \sigma \frac{\partial (PH)}{\partial T} \end{aligned} \quad (2.28)$$

เมื่อ $X = x/L$, $Y = y/B$, $H = h/h_a$, $P = p/p_a$, $Kn = \lambda/h_a$,
 $T = \omega t$, $\Lambda = 6\eta_a UL / p_a h_a^2$, $\sigma = 12\eta_a \omega L^2 / p_a h_a^2$ (2.29)

สมการ โมดิฟายด์เรย์โนลด์เขียนในรูปทั่วไปได้ดังนี้คือ

$$\frac{\partial}{\partial X} \left(Q \frac{\partial P}{\partial X} \right) + R^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left(Q \frac{\partial P}{\partial Y} \right) - \Lambda \frac{\partial}{\partial X} (PH) - \sigma \frac{\partial}{\partial T} (PH) = 0 \quad (2.30)$$

H คือ ค่าความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งนั้น ๆ (h/h_a)

T คือ เวลา ($\omega_0 t$)

Λ คือ ค่าตัวเลขการรองรับ (Bearing number) ($6\eta_a UL / p_a h_a^2$)

σ คือ ค่าตัวเลขการกดอัด (Squeeze number) ($12\eta_a \omega_0 L^2 / p_a h_a^2$)

Kn คือ ค่าเลขนูดเซนนัมเบอร์ (Knudsen number) (λ_a / h_a)

η_a คือ ค่าความหนืดสมบูรณ์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ

λ_a คือ ระยะเส้นทางการเคลื่อนที่อิสระ โดยเฉลี่ยของ โมเลกุลอากาศที่ความดันบรรยากาศ

ω_0 คือ ค่าความถี่เหมาะสมของการเคลื่อนที่ของแผ่นดิสก์

p_a คือ ความดันบรรยากาศ

h_a คือ ความหนาฟิล์มอ้างอิง(โดยปกติมีค่าเฉลี่ยความหนาฟิล์มต่ำสุด)

เมื่อ $Q(P,H) = \phi(P,H)PH^3$ และ $\phi(P,H)$ คือ ตัวประกอบการไหล(Poiseuille flow factor) ที่รวมถึงการไหลที่มีความหนาฟิล์มอากาศบางมาก ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะของการไหล ยกตัวอย่างเช่น

1. การไหลแบบต่อเนื่องสม่ำเสมอ

$$\phi(P,H) = 1$$

2. การไหลแบบพิจารณาผลการลื่นไหลอันดับหนึ่ง

$$\phi(P,H) = a_0 + a_1 \left(\frac{Kn}{PH} \right)$$

3. การไหลแบบพิจารณาผลการลื่นไหลอันดับสอง

$$\phi(P,H) = a_0 + a_1 \left(\frac{Kn}{PH} \right) + a_2 \left(\frac{Kn}{PH} \right)^2$$

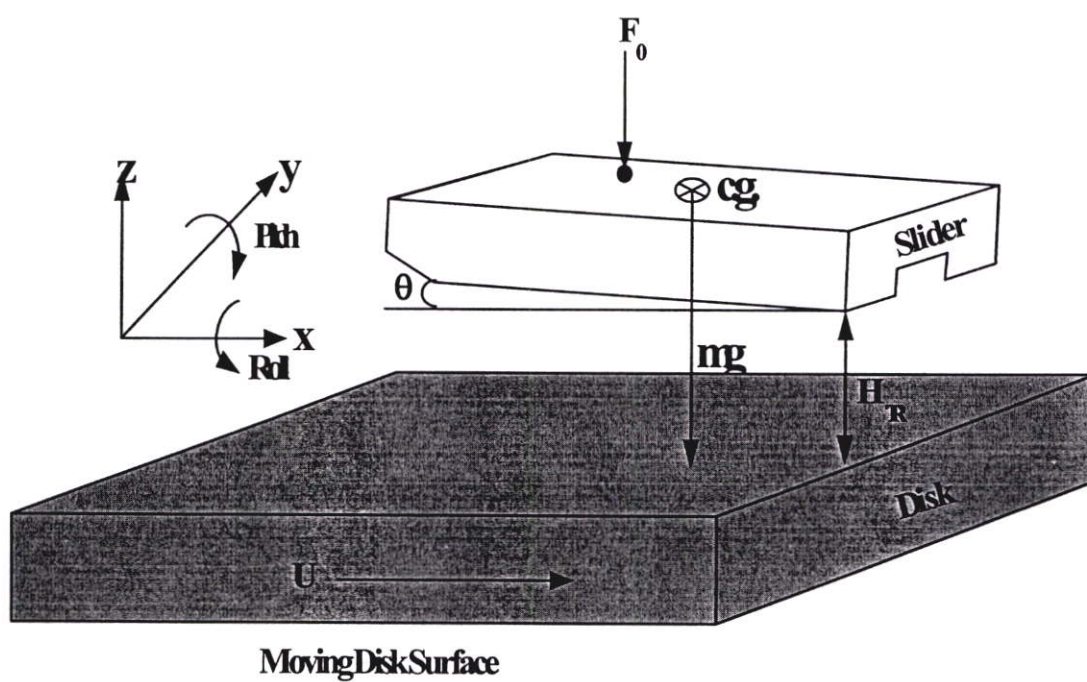
4. การไหลแบบพิจารณาผลการลื่นไหลอันดับสาม

$$\phi(P,H) = a_0 + a_1 \left(\frac{Kn}{PH} \right) + a_2 \left(\frac{Kn}{PH} \right)^2 + a_3 \left(\frac{Kn}{PH} \right)^3$$

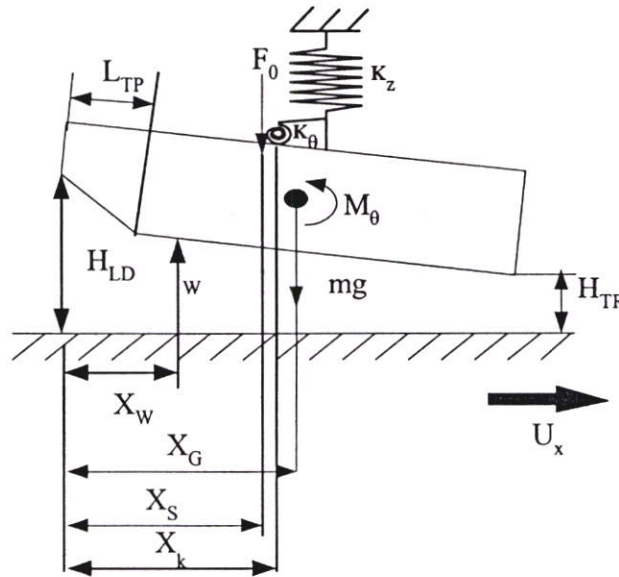
และมีเงื่อนไขขอบ ดังนี้คือ

$$P(0, Y, T) = P(1, Y, T) = P\left(X, \frac{1}{2}, T\right) = P\left(X, -\frac{1}{2}, T\right) = P_a \quad (2.31)$$

- เมื่อ X คือ พิกัดแนวแกน X ทิศทางการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน
 Y คือ พิกัดแนวแกนตามแกน Y
 P คือ ความดันของแก๊สที่ตำแหน่งนั้น ๆ (p/p_a)
 R คือ อัตราส่วนของความยาวของหัวอ่านและความกว้างของรางของหัวอ่าน (L/B)



รูปที่ 2.6 การลอยตัวของหัวอ่านเหนือแผ่นดิสก์



รูปที่ 2.7 แรงและ โมเมนต์ที่กระทำต่อหัวอ่าน

2.4 สมการการเคลื่อนที่ [12][17][18]

การวิเคราะห์พฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านในสภาวะพลวัตทำได้โดยการอาศัย สมการการเคลื่อนที่ โดยสมมติให้พฤติกรรมเคลื่อนที่ของหัวอ่านเคลื่อนที่อิสระสองทิศทาง (Two degrees of freedom) การลอยตัวของหัวอ่านเหนือแผ่นดิสก์แสดงดังรูปที่ 2.6

สมการสมดุลแรงที่กระทำต่อหัวอ่าน คือ

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} + C_z \frac{dz}{dt} + K_z z + mg + F_0 - W(t) = 0 \quad (2.32)$$

สมการสมดุลโมเมนต์

$$I_\theta \frac{d^2 \theta}{dt^2} + C_\theta \frac{d\theta}{dt} + K_\theta \theta + M_\theta + F_0 (X_G - X_s) + K_\theta z (X_G - X_k) - W(t) (X_G - X_w) = 0 \quad (2.33)$$

เมื่อ

$$W(t) = \int_0^{BL} \int_0^1 (p - p_a) dx dy \quad (2.34)$$

สมการที่(2.32)-(2.34) เขียนในรูปไร้มิติได้ดังนี้คือ

$$M_z \ddot{Z} + F_s = 2 \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 (P-1) dXdY \quad (2.35)$$

$$I_\theta \ddot{\Theta} + M_s - F_s X_{GS} = 2 \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 (P-1)(X_G - X) dXdY \quad (2.36)$$

เมื่อ

$$F_s = F_0 + K_z (Z - X_{GS} \Theta) + C_z (\dot{Z} - X_{GS} \dot{\Theta}) \quad (2.37)$$

$$M_s = M_0 + K_\theta \Theta + C_\theta \dot{\Theta} \quad (2.38)$$

เมื่อ Z คือ ระยะการเคลื่อนที่ขึ้นลงของหัวอ่าน (z/h_a) M_z คือ น้ำหนักของหัวอ่าน ($mh_a \omega_0^2 / p_a LB$) M_0 คือ โมเมนต์เริ่มต้นของตัวจับยึด ($m_0 / p_a L^2 B$) F_0 คือ แรงที่กระทำต่อหัวอ่าน ($f_0 / p_a LB$) Θ คือ มุมพิทช์ในรูปไร้มิติ ($\theta L / h_a$) K_z คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสปริงของการกดยึดหัวอ่านในทิศการเคลื่อนที่ขึ้นลง
ในแนวที่ตั้งฉากกับแผ่นดิสก์ในรูปไร้มิติ ($k_z h_a / p_a LB$) K_θ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สปริงของการกดยึดหัวอ่านในทิศทางการเคลื่อนที่หมุน
รอบแนวแกนตามขวางของแผ่นดิสก์ในรูปไร้มิติ ($k_\theta h_a / p_a L^3 B$) C_θ คือ ค่าสัมประสิทธิ์แดมป์ของการยึดจับหัวอ่านในแนวการเคลื่อนที่หมุน
รอบแกนตามขวางของหัวอ่านในรูปไร้มิติ ($c_\theta h_a \omega_0 / p_a LB$)

C_Z คือ ค่าสัมประสิทธิ์เคมีปึงของการยึดจับหัวอ่านในแนวการเคลื่อนที่ขึ้นลง
ตั้งฉากกับหัวอ่านในรูปไร้มิติ ($c_z h_a \omega_0 / p_a LB$)

2.5 การวิเคราะห์พฤติกรรมของหัวอ่านในสภาวะสถิตย์[12][18]

สมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์์ที่ไม่คิดเทียบกับเวลา เพื่อใช้หาการกระจายความดันที่กระทำต่อหัวอ่านเขียนได้ดังนี้ คือ

$$\frac{\partial}{\partial X} \left(Q_0 \frac{\partial P_0}{\partial X} \right) + R^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left(Q_0 \frac{\partial P_0}{\partial Y} \right) - \Lambda \frac{\partial}{\partial X} (P_0 H_0) = 0 \quad (2.39)$$

สมการการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเพื่อวิเคราะห์หาสภาพที่สมดุลย์ของหัวอ่าน คือ

$$F_0 + K_Z (Z_0 + X_{GS} \Theta_0) = 2 \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 (P_0 - 1) dXdY \quad (2.40)$$

$$M_0 + K_0 \Theta_0 - [F_0 + K_Z (Z_0 + X_{GS} \Theta_0)] X_{GS} = 2 \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 (P_0 - 1) (X_G - X) dXdY \quad (2.41)$$

เงื่อนไขขอบ คือ

$$P(0, Y) = P(1, Y) = P\left(X, \frac{1}{2}\right) = P\left(X, -\frac{1}{2}\right) = 1 \quad (2.42)$$

แปลงสมการโมดิฟายด์เรย์(2.39) เป็นสมการเชิงเส้น โดยใช้วิธีทำซ้ำนิเวตตัน-ราฟสัน กำหนดให้

$$L(P_0) \equiv \frac{\partial}{\partial X} \left(Q_0 \frac{\partial P_0}{\partial X} \right) + R^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left(Q_0 \frac{\partial P_0}{\partial Y} \right) - \Lambda \frac{\partial}{\partial X} (P_0 H_0) = 0 \quad (2.43)$$

$L(P_0)$ สามารถทำให้เป็นสมการเชิงเส้นได้ดังนี้ คือ

$$L(P_0^{n+1}) \cong L(P_0^n) + \left. \frac{\partial L(P_0)}{\partial P_0} \right|_{P_0=P_0^n} \delta P_0 \quad (2.44)$$

$$\delta P_0 = P_0^{n+1} - P_0^n \quad (2.45)$$

วิธีทำซ้ำของนิวตัน-ราฟสันมีรูปแบบดังนี้คือ

$$L(P_0^n) + \left. \frac{\partial L(P_0)}{\partial P_0} \right|_{P_0=P_0^n} \delta P_0 = 0 \quad (2.46)$$

เมื่อ n คือ จำนวนของการคำนวณซ้ำที่ให้คำตอบ ดังนั้นสามารถเขียนสมการโมดิไฟด์เรย์โนลด์ใหม่ได้ดังนี้ คือ

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial X} \left[Q_0^n \frac{\partial P_0^n}{\partial X} + \left(\frac{\partial Q_0}{\partial P_0} \right)^n \frac{\partial P_0^n}{\partial X} \delta P_0 + Q_0^n \frac{\partial \delta P_0^n}{\partial X} \right] \\ & + R^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left[Q_0^n \frac{\partial P_0^n}{\partial Y} + \left(\frac{\partial Q_0}{\partial P_0} \right)^n \frac{\partial P_0^n}{\partial Y} \delta P_0 + Q_0^n \frac{\partial \delta P_0^n}{\partial Y} \right] \\ & - \Lambda \frac{\partial}{\partial X} (P_0^n H_0 + \delta P_0 H_0) = 0 \end{aligned} \quad (2.47)$$

คำนวณซ้ำจนกระทั่งค่า δP_0 มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ หลังจากนั้นคำนวณหาสภาวะสมดุลย์ของหัวอ่าน โดยใช้สมการ(2.39)-(2.42) โดยใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์

2.6 การวิเคราะห์พฤติกรรมของหัวอ่านในสภาวะพลวัต[12][18]

พฤติกรรมพลวัตของหัวอ่านวิเคราะห์ได้จากสมการ โมดิฟายด์เรย์โนลด์์ที่คิดผลของเวลา และสมการการเคลื่อนที่ เมื่อเวลาเปลี่ยนไปสมมุติให้หัวอ่านเกิดการสั่นสะเทือนเล็กน้อย ทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านเปลี่ยนแปลงไปไม่มากเมื่อเทียบกับสภาวะปกติ ดังนั้นการทำงานของหัวอ่านในสภาวะพลวัตที่ขึ้นอยู่กับเวลาค่าต่าง ๆ จะมีค่าเท่ากับ ค่าที่สภาวะคงที่(ห้อยด้วย 0) บวกกับค่าที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลา โดยระยะการลอยตัว(H) ความดัน(P) ระยะเลื่อนขึ้นลงตั้งฉากกับแผ่นดิสก์(Z) และมุมพิทช์ (Θ) เขียนได้ดังนี้ คือ

$$H(X, T) = H_0(X) + \Delta H(X, T) \quad (2.48)$$

$$P(X, Y, T) = P_0(X, Y) + \Delta P(X, Y, T) \quad (2.49)$$

$$Z(T) = Z_0 + \Delta Z(T) \quad (2.50)$$

$$\Theta(T) = \Theta_0 + \Delta \Theta(T) \quad (2.51)$$

ดังนั้นสมการการเคลื่อนที่และสมการ โมดิฟายด์เรย์โนลด์์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมพลวัตของหัวอ่านสามารถเขียนได้ดังนี้ คือ

$$M_z \Delta \ddot{Z} + C_z \Delta \dot{Z} + K_z \Delta Z = 2 \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 \Delta P \, dX \, dY \quad (2.52)$$

$$I_\theta \Delta \ddot{\Theta} + C_\theta \Delta \dot{\Theta} - K_z \Delta \Theta = 2 \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 \Delta P (x_G - X) \, dX \, dY \quad (2.53)$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial X} \left[Q_0 \frac{\partial \Delta P}{\partial X} + \left(\left(\frac{\partial Q}{\partial P} \right)_0 \Delta P + \left(\frac{\partial Q}{\partial H} \right)_0 \Delta H \right) \frac{\partial P_0}{\partial X} \right] \\
& + R^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left[Q_0 \frac{\partial \Delta P}{\partial Y} + \left(\left(\frac{\partial Q}{\partial P} \right)_0 \Delta P + \left(\frac{\partial Q}{\partial H} \right)_0 \Delta H \right) \frac{\partial P_0}{\partial Y} \right] \\
& - \Lambda \frac{\partial}{\partial X} [P_0 \Delta H_0 + \Delta P_0 H_0] - \sigma \frac{\partial}{\partial T} [P_0 \Delta H_0 + \Delta P_0 H_0] = 0
\end{aligned} \tag{2.54}$$

$$\Delta P(0, Y, T) = \Delta P(1, Y, T) = \Delta P\left(X, \frac{1}{2}, T\right) = \Delta P\left(X, -\frac{1}{2}, T\right) = 0 \tag{2.55}$$

การวิเคราะห์แก้สมการในรูปแบบโดเมนเวลา[18]

จากสมการที่(2.28)

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial X} \left[PH^3 \left(1 + \frac{6aKn}{PH} \right) \frac{\partial P}{\partial X} \right] + R^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left[PH^3 \left(1 + \frac{6aKn}{PH} \right) \frac{\partial P}{\partial Y} \right] \\
& = \Lambda \frac{\partial}{\partial X} (PH) + \sigma \frac{\partial (PH)}{\partial T}
\end{aligned} \tag{2.64}$$

กำหนดให้

$$PH = Z(X, Y, T) \tag{2.65}$$

ดังนั้น

$$\frac{\partial (PH)}{\partial X} = \frac{\partial Z}{\partial X}, \quad \frac{\partial (PH)}{\partial Y} = \frac{\partial Z}{\partial Y}, \quad 1 + \frac{6aKn}{PH} = 1 + \frac{6aKn}{Z} \tag{2.66}$$

$$\frac{\partial P}{\partial X} = \frac{\partial Z}{H \partial X} - \frac{P \partial H}{H \partial X}, \quad \frac{\partial P}{\partial Y} = \frac{\partial Z}{H \partial Y} - \frac{P \partial H}{H \partial Y}, \quad 1 + \frac{6aKn}{PH} = \frac{Z + 6aKn}{Z} \tag{2.67}$$

แทนค่าสมการที่(2.67) ลงในสมการที่(2.64)

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial X} \left[\left(\frac{Z + 6aKn}{Z} \right) (ZH^2) \left(\frac{\partial Z}{H\partial X} - \frac{P\partial H}{H\partial X} \right) - \Lambda Z \right] \\ + R^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left[\left(\frac{Z + 6aKn}{Z} \right) (ZH^2) \left(\frac{\partial Z}{H\partial Y} - \frac{P\partial H}{H\partial Y} \right) \right] = +\sigma \frac{\partial Z}{\partial T} \end{aligned} \quad (2.68)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial X} \left[ZH \frac{\partial Z}{\partial X} - Z^2 \frac{\partial H}{\partial X} + 6aKn \left(H \frac{\partial Z}{\partial X} - Z \frac{\partial H}{\partial X} \right) - \Lambda Z \right] \\ + R^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left[ZH \frac{\partial Z}{\partial Y} - Z^2 \frac{\partial H}{\partial Y} + 6aKn \left(H \frac{\partial Z}{\partial Y} - Z \frac{\partial H}{\partial Y} \right) \right] = +\sigma \frac{\partial Z}{\partial T} \end{aligned} \quad (2.69)$$

กำหนดให้

$$F = ZH \frac{\partial Z}{\partial X} - Z^2 \frac{\partial H}{\partial X} + 6aKn \left(H \frac{\partial Z}{\partial X} - Z \frac{\partial H}{\partial X} \right) - \Lambda Z \quad (2.70)$$

$$G = R^2 \left[ZH \frac{\partial Z}{\partial Y} - Z^2 \frac{\partial H}{\partial Y} + 6aKn \left(H \frac{\partial Z}{\partial Y} - Z \frac{\partial H}{\partial Y} \right) \right] \quad (2.71)$$

ดังนั้นสมการที่(2.69) สามารถลดรูปได้ดังนี้

$$\frac{\partial F}{\partial X} + \frac{\partial G}{\partial Y} = \sigma \frac{\partial Z}{\partial T} \quad (2.72)$$

ใช้วิธี Crank-Nicolson เพื่อหาเวลาที่เปลี่ยนไปจากเวลาที่ n ไปเป็นเวลาที่ $n+1$ โดยการแก้หาครึ่งหนึ่งของช่วงเวลาที่เปลี่ยนไป $n + \frac{1}{2}$

$$z(x, y, T^{n+1/2}) \approx \frac{1}{2} [z(x, y, T^{n+1}) + z(x, y, T^n)] \quad (2.73)$$

จัดสมการให้อยู่ในรูปของ Trapezoidal formula จะได้

$$\sigma \frac{z^{n+1} - z^n}{\Delta T} = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial z^{n+1}}{\Delta T} + \frac{\partial z^n}{\Delta T} \right] + O(\Delta T^3) \quad (2.74)$$

$$z^{n+1} - z^n = \frac{\Delta T}{2\sigma} \left[\frac{\partial z^{n+1}}{\Delta T} + \frac{\partial z^n}{\Delta T} \right] \quad (2.75)$$

ใช้อนุกรมเทย์เลอร์กระจายฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้นของ F และ G ที่ช่วงเวลาปัจจุบัน n และตัดเทอมที่มีอนุพันธ์อันดับสูง $O(\Delta T^3)$ ในขั้นตอนการแก้ด้วยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์จะต้องแก้แบบ fully implicit โดยการจัดรูปสมการให้อยู่ในรูป Tridiagonal Matrix นอกจากนี้สามารถจัดสมการแปลงให้เหลือเพียงสมการหนึ่งมิติ โดยใช้ตัวประกอบการคูณที่แยกทิศทางตามแนวแกน X และ Y สมการที่ได้คือ

$$[1 + L_1(X)][1 - L_2(X)](z^{n+1} - z^n) = \phi \quad (2.76)$$

เมื่อ $L_1(X)$ และ $L_2(X)$ คือ ตัวประกอบของการเปลี่ยนสมการให้อยู่เป็นสมการเชิงเส้น ในทิศทางตามแนวแกน X และ Y ตามลำดับและ

$$\phi = \frac{\Delta T}{2\sigma} \left[\frac{\partial F^{n+1}}{\partial X} + \frac{\partial G^{n+1}}{\partial Y} \right] + \left[\frac{\partial F^n}{\partial X} + \frac{\partial G^n}{\partial Y} \right] \quad (2.77)$$

หรือ

$$\begin{aligned} \phi = \frac{\Delta\Gamma}{2\sigma} \left\{ [Z + 6aKn] \left[\left(\frac{\partial^2 Z}{\partial Y^2} + R^2 \frac{\partial^2 Z}{\partial Y^2} \right) (H^n + H^{n+1}) + \right. \right. \\ \left. \left. Z \left(\frac{\partial^2 H^{n+1}}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 H^n}{\partial X^2} + R^2 \frac{\partial^2 H^{n+1}}{\partial Y^2} + R^2 \frac{\partial^2 H^n}{\partial Y^2} \right) \right] + \right. \\ \left. \frac{\partial Z}{\partial X} \left[(H^n + H^{n+1}) \frac{\partial Z}{\partial X} - Z \left(\frac{\partial H^n}{\partial X} + \frac{\partial H^{n+1}}{\partial X} \right) - \Lambda \right] + \right. \\ \left. R^2 \frac{\partial Z}{\partial Y} \left[(H^n + H^{n+1}) \frac{\partial Z}{\partial Y} + Z \left(\frac{\partial H^n}{\partial Y} + \frac{\partial H^{n+1}}{\partial Y} \right) \right] \right\} \end{aligned} \quad (2.78)$$

โดยค่าในช่วงเวลา $n+1$ สามารถคำนวณได้จาก

$$Z^{n+1} = Z^n + \Delta Z^n \quad (2.79)$$

วิธีเชิงตัวเลขจัดรูปสมการแยกตามทิศทางตามแนวแกน X และ Y ตามลำดับ

$$(1 - L_1(X)) \Delta Z^* = \phi \quad (2.80)$$

$$(1 - L_2(Y)) (Z^{n+1} - Z^n) = \Delta Z^* \quad (2.81)$$

ดังนั้นจะได้สมการหนึ่งมิติในทิศทางตามแกน X มีดังนี้คือ

$$\Delta Z^* - \frac{\Delta\Gamma}{2\sigma} \frac{\partial}{\partial X} \left(\frac{\partial F^n}{\partial Z} \Delta Z^* \right) - \frac{\Delta\Gamma}{2\sigma} \frac{\partial}{\partial X} \left(\frac{\partial F^n}{\partial Z / \partial X} \frac{\partial \Delta Z^*}{\partial X} \right) = \phi \quad (2.82)$$

$$\left\{ 1 - \frac{\Delta T}{2\sigma} \frac{\partial}{\partial X} \left(H \frac{\partial Z}{\partial X} - 2Z \frac{\partial H}{\partial X} + 6aKn \frac{\partial H}{\partial X} - \Lambda \right) - \frac{\Delta T}{2\sigma} \frac{\partial}{\partial X} (ZH + 6aKn) \right\} \Delta Z^* = \phi \quad (2.83)$$

และสมการหนึ่งมิติในทิศทางตามแกน Y มีดังนี้คือ

$$\Delta Z^n - \frac{\Delta T}{2\sigma} \frac{\partial}{\partial Y} \left(\frac{\partial G^n}{\partial Z} \Delta Z^n \right) - \frac{\Delta T}{2\sigma} \frac{\partial}{\partial Y} \left(\frac{\partial G^n}{\partial Z / \partial X} \frac{\partial \Delta Z^n}{\partial Y} \right) = \Delta Z^* \quad (2.84)$$

$$\left\{ 1 - \frac{\Delta T}{2\sigma} R^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left(H \frac{\partial Z}{\partial Y} - 2Z \frac{\partial H}{\partial Y} + 6aKn \frac{\partial H}{\partial Y} \right) - \frac{\Delta T}{2\sigma} R^2 \frac{\partial}{\partial Y} (ZH + 6aKnH) \right\} (Z^{n+1} - Z^n) = \Delta Z^* \quad (2.85)$$

แทนค่าสมการที่(2.78), (2.83) และ(2.85) ในสมการที่(2.76) เพื่อแก้หาค่าของ Z^{n+1} พร้อม ๆ กับแก้สมการการเคลื่อนที่ ซึ่งจะใช้วิธีรุงเง-คุตต้า หาลักษณะการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของหัวอ่านตามแนวแกนการเคลื่อนที่ที่พิจารณาจะได้

$$\begin{aligned}
& \left\{ 1 - \frac{\Delta T}{2\sigma} \frac{\partial}{\partial X} \left(H \frac{\partial Z}{\partial X} - 2Z \frac{\partial H}{\partial X} + 6aKn \frac{\partial H}{\partial X} - \Lambda \right) - \frac{\Delta T}{2\sigma} \frac{\partial}{\partial X} (ZH + 6aKn) \right\} \cdot \\
& \quad \left\{ 1 - \frac{\Delta T}{2\sigma} R^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left(H \frac{\partial Z}{\partial Y} - 2Z \frac{\partial H}{\partial Y} + 6aKn \frac{\partial H}{\partial Y} \right) - \right. \\
& \quad \quad \left. \frac{\Delta T}{2\sigma} R^2 \frac{\partial}{\partial Y} (ZH + 6aKnH) \right\} (Z^{n+1} - Z^n) \\
& = \frac{\Delta T}{2\sigma} \left\{ [Z + 6aKn] \left[\left(\frac{\partial^2 Z}{\partial Y^2} + R^2 \frac{\partial^2 Z}{\partial Y^2} \right) (H^n + H^{n+1}) + \right. \right. \\
& \quad \left. \left. Z \left(\frac{\partial^2 H^{n+1}}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 H^n}{\partial X^2} + R^2 \frac{\partial^2 H^{n+1}}{\partial Y^2} + R^2 \frac{\partial^2 H^n}{\partial Y^2} \right) \right] + \right. \\
& \quad \left. \frac{\partial Z}{\partial X} \left[(H^n + H^{n+1}) \frac{\partial Z}{\partial X} - Z \left(\frac{\partial H^n}{\partial X} + \frac{\partial H^{n+1}}{\partial X} \right) - \Lambda \right] + \right. \\
& \quad \left. R^2 \frac{\partial Z}{\partial Y} \left[(H^n + H^{n+1}) \frac{\partial Z}{\partial Y} + Z \left(\frac{\partial H^n}{\partial Y} + \frac{\partial H^{n+1}}{\partial Y} \right) \right] \right\}
\end{aligned}
\tag{2.86}$$

2.7 กำหนดค่าการกระจายความดันในสภาวะสถิตย์

การคำนวณหาการกระจายความดันของหัวอ่านที่ลอยตัวอยู่เหนือแผ่นดิสก์มีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

1. กำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ของหัวอ่านชนิดรีวเบนและค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของอากาศที่ใช้ในการคำนวณ และทำให้ค่าของตัวแปรต่าง ๆ อยู่ในรูปไร้มิติ
2. สมมติค่าการกระจายความดันเริ่มต้น
3. คำนวณสมการโมดิไฟด์เรย์โนลด์
4. จัดเทอมต่าง ๆ ให้อยู่ในรูปเมตริกซ์
5. แก้เมตริกซ์เพื่อหาค่าการกระจายความดันใหม่

6. กำหนดผลต่างค่าการกระจายความดันเก่าและค่าใหม่ ตรวจสอบผลต่างดังกล่าวยอมรับได้หรือไม่ ถ้ายอมรับไม่ได้ให้ทำการคำนวณหาค่าการกระจายความดันอีกครั้งจนกระทั่งได้ค่าการกระจายความดันที่ยอมรับได้

2.8 กำหนดค่าแรงที่กระทำต่อหัวอ่านและตำแหน่งศูนย์กลางของแรง

ค่าของแรงที่กระทำต่อหัวอ่านสามารถหาค่าได้จากการอินทิเกรตค่าความดันเทียบกับพื้นที่ผิวของหัวอ่าน และตำแหน่งศูนย์กลางของแรงที่กระทำต่อหัวอ่านสามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้คือ

$$W = \int_0^1 \int_0^1 (P-1) dXdY \quad (2.87)$$

$$X = \frac{1}{W} \int_0^1 \int_0^1 X(P-1) dXdY \quad (2.88)$$

$$Y = \frac{1}{W} \int_0^1 \int_0^1 Y(P-1) dXdY \quad (2.89)$$

บทที่ 3

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด(Optimization) จัดอยู่ในวิชาการวิจัยดำเนินงาน (Operation research) ซึ่งเป็นแขนงวิชาที่พัฒนามาแล้วเป็นเวลากว่า 30 ปี เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย และเป็นที่ยอมรับกันสำหรับความสำเร็จและผลประโยชน์ที่ได้การนำเทคนิคต่าง ๆ มาใช้ นักวิชาการในสาขาวิชาชีพต่าง ๆ ได้พยายามอย่างยิ่งในการวิจัยปัญหาในสายงานที่เกี่ยวข้องเพื่อจะได้นำวิธีการต่าง ๆ มาพัฒนาปรับปรุงงานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ประกอบกับความก้าวหน้าทางคอมพิวเตอร์มีมากขึ้น ทำให้สามารถแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่และผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น แนวโน้มความสนใจและการนำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ จึงมีมากยิ่งขึ้นด้วยเช่นกัน

การวิจัยดำเนินงานมีจุดเริ่มต้นในปี คริสต์ศักราช 1937 ซึ่งอยู่ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่สอง โดยฝ่ายทหารของอังกฤษได้ให้นักวิทยาศาสตร์ที่ชื่อว่า Sir Robert Watson-Wait ทำการวิเคราะห์ปัญหาการใช้อุปกรณ์เรดาร์ในการจับเครื่องบินและเวลาที่เครื่องบินเข้าศึกเข้าโจมตีจริง ๆ ถ้าเรดาร์จับได้เร็วก็จะทำให้มีเวลาเตรียมการส่งเครื่องบินประจัญบานขึ้นไปต่อสู้ได้ทัน นักวิทยาศาสตร์ได้วิเคราะห์ลักษณะการปฏิบัติการของสถานีเรดาร์แต่ละแห่ง ตลอดจนวงจรการสื่อสารและวิธีการปฏิบัติงานจนได้ผลเป็นตัวเลขเสนอต่อรัฐบาลเพื่อปรับปรุงสถานีเรดาร์ทั้งหมดของกองทัพอากาศอังกฤษ ผลงานครั้งนี้แสดงว่านักวิทยาศาสตร์สามารถช่วยนักบริหารในการวิเคราะห์แก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ ต่อมาในปีคริสตศักราช 1941 กองทัพอากาศอังกฤษได้จัดตั้งหน่วยวิจัยทางทหารและนำไปใช้แพร่หลายในหน่วยงานของกองทัพบกและกองทัพเรือ ในปีคริสตศักราช 1942 รัฐบาลสหรัฐอเมริกาได้ตั้งหน่วยงานวิจัยดำเนินงานขึ้นเป็นครั้งแรก โดยได้รับคำแนะนำจากรัฐบาลอังกฤษและเป็นการร่วมมือกับการปฏิบัติการทางทหารของอังกฤษ ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้ตั้งหน่วยวิจัยดำเนินงานโดยใช้ชื่อต่างกัน ในกองทัพอากาศเรียกว่า Operation Analysis แต่ในกองทัพบกและกองทัพเรือเรียกว่า Operations Research and Operation Evaluation[19]

ในช่วงทศวรรษของปี คริสต์ศักราช 1940 นักวิทยาศาสตร์หลาย ๆ ท่านได้พัฒนาวิธีการที่เรียกว่า โปรแกรมเชิงเส้น(Linear Programming) เพื่อนำไปใช้ในเรื่องการจัดสรรทรัพยากรในวงการอุตสาหกรรมต่าง ๆ และนักคณิตศาสตร์ชาวอเมริกา ชื่อ George B. Dantzig ได้คิดค้นวิธีการแก้ปัญหাপrogramเชิงเส้นที่มีประสิทธิภาพสูงที่เรียกว่า วิธีซิมเพล็กซ์(Simplex Method) ในปี คริสต์ศักราช 1947 นอกจากนี้ในปี คริสต์ศักราช 1950 Von Neuman ได้พัฒนา วิธีมอนติคาร์โล(Monte Carlo Method) สำหรับแก้ปัญหาในโครงการป้องกันเรือดำน้ำนิวเคลียร์ ในปี คริสต์ศักราช 1958

กองทัพเรือสหรัฐอเมริกาได้ทำการวิจัยเพื่อหาวิธีวางแผนและควบคุมงานในโครงการผลิตและติดตั้งจรวดที่เรียกว่า โพลาริส(Polaris) โดยได้คิดค้นวิธี PERT (Program Evaluation Review Technique) ซึ่งเทคนิคเหล่านี้รู้จักเพียงในกลุ่มนักวิจัยดำเนินงาน ซึ่งได้นำไปพัฒนาใช้กับวงการอุตสาหกรรม ทำให้การวิจัยดำเนินงานได้รับการยอมรับและได้รับการพัฒนาทั้งวิธีการและรูปแบบให้ทวีขอบเขต ขนาด และซับซ้อน ตามการขยายตัวของเศรษฐกิจและสังคม[20]

ภายหลังสงครามโลกครั้งที่สองสิ้นสุดลง ประเทศอังกฤษได้นำเอาวิธีการวิจัยดำเนินงานมาใช้ในวงการอุตสาหกรรมและรัฐวิสาหกิจเป็นประเทศแรก โดยได้เริ่มใช้กับอุตสาหกรรมทำถ่านหินเป็นอุตสาหกรรมประเภทแรก ต่อมาจึงได้ขยายตัวเข้าไปสู่อุตสาหกรรมประเภทอื่น ๆ และใช้ในการบริหารงานด้านการขนส่ง ส่วนสหรัฐอเมริกานั้นไม่ค่อยให้ความสนใจในการนำไปประยุกต์กับงานด้านธุรกิจมากนักในระยะแรกจนกระทั่งได้มีการขยายตัวในการใช้เครื่องจักรแทนคน สหรัฐอเมริกาจึงได้ทำการฟื้นฟูและส่งเสริมวิทยาการแขนงนี้จนนิยมใช้อย่างแพร่หลาย ได้มีการจัดตั้งสมาคมและจัดสอนขึ้นในมหาวิทยาลัยและสถาบันการศึกษาชั้นสูง ประกอบกับในช่วงทศวรรษของปี คริสต์ศักราช 1950 ได้มีการคิดค้นเครื่องคอมพิวเตอร์และได้มีการนำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้เป็นเครื่องมือในการวิจัยดำเนินงาน ทำให้การวิจัยดำเนินงานได้รับการพัฒนาหลักการและวิธีการไปสู่ข่ายงานต่าง ๆ ที่มีความสลับซับซ้อนได้มากขึ้นตามลำดับ

นักวิทยาศาสตร์ได้มีความพยายามพัฒนาและนำเอาวิธีการทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการจัดการกับทรัพยากรต่าง ๆ ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด และมีผู้นำวิธีการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในด้านต่าง ๆ เช่น การกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม การหาเส้นทางการบินพาณิชย์ ส่วนผสมของอาหารสัตว์ การกำหนดทิศทางของขีปนาวุธ การหากระบวนการที่เหมาะสมที่สุดของการทำปฏิกิริยาทางเคมี เป็นต้น

3.1 ความจำเป็นของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด[21]

เป้าหมายของการแก้ปัญหาในทางอุตสาหกรรม คือการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด ยกตัวอย่างเช่น การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตจะต้องทำการปรับปรุงส่วนใดบ้าง การจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้ได้ประโยชน์มากที่สุด การเลือกวิธีการออกแบบที่มีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นน้อยที่สุดและให้ผลกำไรสูงสุด เป็นต้น การวางแผนและการกำหนดการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพจะทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นได้ เช่นเดียวกันกับการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือชิ้นส่วนใหม่เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดที่มีราคาต่ำ การออกแบบทางวิศวกรรมจะต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการออกแบบ ผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายด้าน เช่น ขอบเขตจำกัดทางรูปร่าง น้ำหนัก

ราคาของวัตถุดิบ งบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด และวิธีการผลิตที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เป็นต้น

ปัญหาดังกล่าวทำให้ข้อกำหนดในการออกแบบมีความยุ่งยากมากยิ่งขึ้น เมื่อทางเลือกที่เป็นไปได้มีหลายทางเลือก ผู้ออกแบบจะทำการเลือกทางเลือกที่ตรงกับความต้องการที่กำหนดไว้ โดยการนำวิธีการของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด(Optimization) เพื่อเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด ซึ่งคำตอบที่ได้จะอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของปัญหาที่กำหนดขึ้นตามลักษณะของปัญหาหรือตามความต้องการของผู้ออกแบบ

3.2 การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในทางวิศวกรรม[22]

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์อย่างแพร่หลาย ยกตัวอย่างเช่น

1. การออกแบบเครื่องบินเพื่อให้มีน้ำหนักน้อยที่สุด
2. การกำหนดนโยบายการผลิตที่ดีที่สุด การกำหนดระดับจำนวนผลิต เพื่อให้ได้กำไรมากที่สุดภายใต้ทรัพยากรที่มีอยู่จำกัด
3. หาทิศทางการเดินทางที่เหมาะสมที่สุดของยานอวกาศ
4. การจัดสรรทรัพยากรน้ำเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด
5. การออกแบบชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องจักรกล ให้มีขนาดที่เหมาะสมและมีราคาประหยัด
6. ใช้ในการหาสถานที่ตั้งโรงงานที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งวัตถุดิบและค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าไปสู่ผู้บริโภคที่ดีที่สุด
7. ใช้หาระบบหรือกระบวนการทางเคมีที่เหมาะสม
8. วางแผนการซ่อมบำรุงและการเปลี่ยนชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลที่เหมาะสมในการดำเนินงาน
9. ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสม
10. ใช้ในการเลือกเงื่อนไขในการตัดโลหะแผ่นให้ได้ปริมาณชิ้นส่วนที่ต้องมากที่สุด และมีค่าใช้จ่ายในการผลิตน้อยที่สุด
11. การออกแบบเครื่องใช้ไฟฟ้าเช่น มอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และหม้อแปลงไฟฟ้า ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
12. การออกแบบในทางวิศวกรรมโยธา เช่น การออกแบบอาคาร สะพาน และเขื่อน เป็นต้น เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำที่สุด

13. ใช้ในการจัดระบบการสื่อสารและคมนาคม เพื่อให้ได้ผลตอบแทนมากที่สุด
14. ใช้ในการออกแบบวางท่อประปา เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด
15. การหาสัดส่วนการผสมอาหารสัตว์ว่าจะใช้วัตถุดิบอย่างไรบ้าง จำนวนเท่าไร จึงจะทำให้ต้นทุนการผสมอาหารสัตว์ต่ำที่สุด โดยที่คุณค่าของอาหารสัตว์นั้นยังคงเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด เป็นต้น

การออกแบบทางวิศวกรรมมีเป้าหมายของการออกแบบ คือ การเลือกค่าตัวแปรที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้ภายใต้เงื่อนไขหรือสภาวะแวดล้อมที่กำหนดจากประสบการณ์ของผู้ออกแบบหรือจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ผู้ออกแบบต้องการ และเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมและข้อกำหนดในการออกแบบ เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเป็นวิธีที่น่าเชื่อถือทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการศึกษาปัญหาเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด นักออกแบบต้องคำนึงเสมอว่าการออกแบบไม่ใช่ทำเพื่อตอบสนองความอยากรู้อยากเห็นในทางวิทยาศาสตร์เท่านั้น เพราะสิ่งที่จะออกแบบควรเป็นสิ่งที่สังคมต้องการและเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ เมื่อทราบความต้องการของสังคมแล้วอันดับต่อไปคือการสร้างกรอบความคิดหลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้โดยขั้นตอนนี้อาจมีการทำซ้ำเพื่อให้แนวคิดที่วางไว้มีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ

สมัยก่อนในการออกแบบผลิตภัณฑ์จะใช้วิธีการดั้งเดิมที่กำหนดไว้ก่อนหน้า เมื่อทำตามขั้นตอนดังกล่าวก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยไม่มีการปรับปรุงแก้ไขวิธีการแต่อย่างใด ในบางครั้งมีประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบและวิธี การออกแบบที่ใช้ไม่มีการพัฒนา ในความเป็นจริงในการออกแบบควรมีการปรับปรุงเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

การออกแบบที่เหมาะสมที่สุด คือการเลือกขนาดหรือวัตถุดิบที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นตามข้อกำหนดที่กำหนดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น มีราคาอยู่ในช่วงที่กำหนด สามารถทำงานได้ตามต้องการ เป็นต้น โดยทั่วไปการออกแบบที่เหมาะสมจะอยู่ภายใต้พื้นฐานความรู้ทางวิศวกรรมที่อยู่ในรูปของสมการความสัมพันธ์หรือกราฟแสดงความสัมพันธ์ และประสบการณ์ของผู้ออกแบบ

3.3 ประเภทของแบบจำลองของปัญหา[20]

แบบจำลอง(Model) ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางเพราะจะเป็นสิ่งที่บ่งชี้ว่าเราเข้าใจลึกซึ้งในปัญหามากน้อยแค่ไหน แบบจำลองโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1. *แบบจำลองทางกายภาพ(Physical Model)* คือแบบจำลองที่จำลองของจริงออกมาให้มีรูปร่างอย่างเดียวกัน และมองเห็นเหมือนจริง เช่น แบบจำลองการจับยึดของโมเลกุลทางเคมี ทำให้ทราบถึงลักษณะของการจับยึดของอนุภาค เป็นต้น

2. *แบบจำลองแผนภาพ(Schematic Model)* คือ การแสดงข้อเท็จจริงหรือข้อความต่าง ๆ ออกมาเป็นแผนภาพ ซึ่งง่ายและสะดวกต่อการทำความเข้าใจ หรือเป็นการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ มาจำลองในรูปของแผนภาพ หรือแผนภูมิต่าง ๆ แบบจำลองแผนภาพนี้อาจจะเหมือนหรือไม่เหมือนกับสภาพการณ์ของเหตุการณ์จริงก็ได้ เช่น แผนภาพแสดงปริมาณการขายสินค้าในแต่ละไตรมาส แผนภูมิควบคุมชนิดค่าเฉลี่ย-พิสัย เป็นต้น

3. *แบบจำลองคณิตศาสตร์(Mathematical Model)* คือการจำลองสภาพเหตุการณ์ต่าง ๆ ออกมาในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของตัวในการตัดสินใจต่าง ๆ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการทำนายเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต หรือใช้ในการควบคุมการดำเนินงานขององค์กรต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ถึงแม้ว่าจะพยายามสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ให้ใกล้เคียงกับเหตุการณ์หรือปัญหาจริงที่สุดแล้วก็ตาม ในบางครั้งแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ได้นั้นยังไม่สามารถสร้างเหมือนเหตุการณ์จริงหรือปัญหาจริงได้อย่างสมบูรณ์ เพราะในการสร้างแบบจำลองนี้จะต้องสร้างภายใต้ข้อสมมุติฐานต่าง ๆ ดังนั้นในการทำนายเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตจะต้องคำนึงถึงข้อสมมุติฐานนี้ด้วย เพราะในบางครั้งสมมุติฐานที่กำหนดขึ้นอาจจะไม่ถูกต้อง ทำให้คำตอบที่ได้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริงหรือในบางครั้งการตั้งสมมุติฐานไม่ถูกต้องอาจทำให้ไม่สามารถหาคำตอบได้

3.4 ขั้นตอนของการใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหา[20]

วิธีการหาค่าที่เหมาะสมไม่ว่าจะเป็นปัญหาใด ๆ ก็ตามจะต้องมีวิธีการและขั้นตอนในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดดังต่อไปนี้

3.4.1 การกำหนดปัญหา

ปัญหาที่จะทำการแก้ไขจะต้องกำหนดขอบเขตและเป้าหมายของการแก้ปัญหาอย่างชัดเจน เพราะในบางครั้งขอบเขตของปัญหากว้างเกินไปหรือไม่ชัดเจน จะทำให้การแก้ไขปัญหาเป็น

ไปได้ยาก ในบางครั้งไม่สามารถหาผลลัพธ์ได้หรือถ้าแก้ไขปัญหาได้ผลลัพธ์ที่ได้จะไม่ถูกต้อง ปัญหาอาจมีเป้าหมายหลายอย่างในขณะเดียวกัน และเป้าหมายแต่ละอย่างมีความสำคัญไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงสามารถแบ่งเป้าหมายออกเป็น 2 ประเภท คือ

- **เป้าหมายเดียว** เป้าหมายของปัญหามีเพียง 1 เป้าหมายเท่านั้น ซึ่งเป็นเป้าหมายแบบสูงสุดหรือต่ำสุดก็ได้ เช่น ต้องการออกแบบเครื่องบินเพื่อให้มีน้ำหนักน้อยที่สุด การออกแบบวางแผนการวางท่อประปาเพื่อให้เสียค่าใช้จ่ายในการวางท่อน้อยที่สุด เป็นต้น

- **เป้าหมายหลายเป้าหมาย** คือ เป้าหมายของปัญหามีมากกว่า 1 เป้าหมาย ซึ่งแต่ละเป้าหมายอาจจะเป็นแบบเดียวกัน หรือตรงกันข้ามกันก็ได้ เช่น ต้องการทำให้ส่วนแบ่งของสินค้าในตลาดมีค่าสูงสุด และขณะเดียวกันก็ต้องการทำให้ได้กำไรรวมสูงสุดด้วย ปัญหาลักษณะนี้เรียกว่าเป้าหมายแบบเดียวกัน แต่ในบางกรณีเป้าหมายอาจจะเป็นคนละแบบก็ได้ เช่น ต้องการผลิตสินค้าเพื่อให้ได้กำไรสูงสุด และในขณะเดียวกันต้องทำให้เสียค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุดด้วย

ขั้นตอนในการกำหนดปัญหาของการออกแบบพอกกล่าวโดยสังเขปได้ดังนี้

- กำหนดเป้าหมายของการออกแบบ
- ศึกษาตัวแปรในการออกแบบที่มีผลต่อเป้าหมายของการออกแบบ
- กำหนดข้อจำกัดหรือเงื่อนไขของการออกแบบ
- กำหนดแนวทางในการออกแบบ
- กำหนดช่วงเวลาในการวิเคราะห์ปัญหาและระยะในการดำเนินงาน

3.4.2 การจัดรูปปัญหาให้อยู่รูปแบบทางคณิตศาสตร์

เมื่อได้จัดตั้งปัญหาและทำความเข้าใจกับปัญหาอย่างถูกต้องแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการจัดรูปแบบของปัญหาให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ โดยจัดรูปของปัญหาให้เป็นรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะมีโครงสร้างดังนี้

- สมการกำหนดเป้าหมายหรือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) คือสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของเป้าหมายกับตัวแปรสำหรับตัดสินใจ สมการเป้าหมายนี้จะเป็นแบบสูงสุดหรือต่ำสุด(maximize, minimize) ก็ได้ และค่าของสมการเป้าหมายจะเปลี่ยนแปลงตามค่าของตัวแปรสำหรับตัดสินใจ เช่น การผลิตเพื่อให้ต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด การผลิตสินค้าเพื่อให้ได้กำไรสูงสุด การออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีที่สุด ฯลฯ โดยสมการแสดงความสัมพันธ์อาจจะเป็นแบบเชิงเส้นหรือไม่เชิงเส้นขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา

- สมการแสดงขอบข่ายหรือเงื่อนไขบังคับ(constraint) ซึ่งแสดงขอบเขตหรือข้อจำกัดของปัจจัยหรือทรัพยากรในรูปของสมการ(equality) หรืออสมการ (inequality)

- ตัวแปรในการออกแบบหรือตัวแปรตัดสินใจ เป็นตัวแปรที่เราต้องการทราบค่าตัวแปรดังกล่าวจะมีตัวเดียวหรือหลายตัวก็ได้ และเป็นตัวแปรที่มีผลต่อสมการเป้าหมายที่กำหนดขึ้น ตัวแปรในการออกแบบสามารถแบ่งได้ 3 ชนิด คือ ตัวแปรที่มีความต่อเนื่อง ตัวแปรที่ไม่ต่อเนื่อง และตัวแปรที่เป็นจำนวนเต็ม

3.4.3 การทดสอบรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหาและการหาผลลัพธ์ของปัญหา

บ่อยครั้งที่รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหาไม่ถูกต้อง เนื่องจากความบกพร่องบางประการ ทำให้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวไม่ใช่ตัวแทนของปัญหาอย่างแท้จริงจึงทำให้การหาผลลัพธ์เป็นไปได้ ดังนั้นควรมีการตรวจสอบการจัดตั้งปัญหาเปรียบเทียบกับปัญหาจริง ตรวจสอบการใช้หน่วยและมิติของตัวแปรต่าง ๆ ว่าสอดคล้องกันหรือไม่ โดยสามารถทำการตรวจสอบด้วยการทดลองเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรในสมการทางคณิตศาสตร์แล้วดูว่าจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้นั้นสอดคล้องกับค่าที่ควรจะเป็นหรือไม่ และตรวจสอบโดยใช้ข้อมูลในอดีตมาทดสอบรูปแบบทางคณิตศาสตร์แล้วนำเอาผลลัพธ์ไปเปรียบเทียบกับความเป็นจริงที่เกิดขึ้น ในการหาผลลัพธ์หรือคำตอบของปัญหาจะเลือกใช้วิธีการต่าง ๆ ของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดของแต่ละวิธีว่าเหมาะสมกับปัญหาหรือสามารถแก้ปัญหาได้หรือไม่ และเมื่อได้ผลลัพธ์แล้วต้องคำนึงถึงพฤติกรรมของผลลัพธ์ที่จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อตัวแปรในการออกแบบของปัญหาเปลี่ยนแปลงไป นั่นคือจะต้องมีการวิเคราะห์ความไว ซึ่งการวิเคราะห์ความไวนี้มีความสำคัญมาก เพราะว่าถ้าตัวแปรในการออกแบบของปัญหาที่ศึกษาไม่อาจประมาณค่าได้แน่นอน จะต้องหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมจากค่าต่าง ๆ ที่อยู่ใกล้เคียง

3.4.4 การทดสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้

ถ้าหากผลที่ได้ถูกต้องและน่าเชื่อถือได้จะต้องสามารถทดสอบได้โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้ข้อมูลในอดีตกับผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง ๆ อย่างไรก็ตามการทดสอบความถูกต้องไม่เหมาะสมกับปัญหาที่ไม่เคยเกิดมาก่อน เพราะจะไม่มีข้อมูลในอดีตที่จะนำมาเปรียบเทียบได้

3.4.5 การนำผลลัพธ์หรือคำตอบไปใช้งาน

จะต้องทำการแปลผลลัพธ์ที่ได้ให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานได้ และเมื่อนำไปใช้งานแล้วควรทำการประเมินผลการใช้งานเพื่อนำข้อบกพร่องที่ได้มาปรับปรุงและแก้ไขให้เป็นไปตามความต้องการต่อไป เพราะในบางครั้งผลลัพธ์ที่ได้ไม่สามารถทำให้เป็นจริงตามที่เราร้องการได้หรือไม่สามารถทำได้ในทางปฏิบัติ

3.5 ประเภทของปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด[23][24][25]

ลักษณะของปัญหาและตัวแปรในการออกแบบของปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเป็นสิ่งที่เราควรให้ความสำคัญ เพราะวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแต่ละวิธีจะมีข้อจำกัดในการใช้แก้ปัญหาแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภทของปัญหา ประเภทของปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสามารถแบ่งตามลักษณะต่าง ๆ ได้ 6 ประเภทคือ

1. แบ่งตามสมการขอบเขต คือ ปัญหาที่มีสมการกำหนดขอบเขตของการออกแบบ และปัญหาที่ไม่กำหนดสมการขอบเขต

2. แบ่งตามลักษณะของตัวแปรในการออกแบบ คือ ถ้าสมการเป้าหมายมีตัวแปรในการออกแบบเพียงหนึ่งตัวจะเรียกปัญหาแบบนั้นว่า ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบตัวแปรเดียว (Single-variable optimization) ถ้าสมการเป้าหมายมีตัวแปรในการออกแบบสองหรือมากกว่านั้นเรียกว่า ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายตัวแปร (Multi-variable optimization) หรือถ้าค่าของตัวแปรในการออกแบบเป็นจำนวนเต็มเรียกปัญหานั้นว่า ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบจำนวนเต็ม (Integer optimization) เป็นต้น

3. แบ่งตามลักษณะของสมการเป้าหมาย คือ สมการเป้าหมายในการออกแบบมีทั้งแบบเป้าหมายเดียวและเป้าหมายหลายเป้าหมาย สมการเป้าหมายเดียวคือปัญหาที่มีจำนวนของสมการเป้าหมายเพียงสมการเดียว ส่วนสมการเป้าหมายหลายเป้าหมายคือปัญหาที่มีจำนวนของสมการเป้าหมายมากกว่าหนึ่งสมการเป้าหมาย

4. แบ่งตามลักษณะความสัมพันธ์ของสมการเป้าหมาย คือ ถ้าสมการเป้าหมายมีความสัมพันธ์ของสมการเป้าหมายเป็นแบบเชิงเส้นจะเรียกปัญหานั้นว่า ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming, LP) หรือถ้าสมการเป้าหมายมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นจะเรียกว่า ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบโปรแกรมไม่เชิงเส้น (Nonlinear Programming, NLP)

5. แบ่งตามลักษณะของสมการเป้าหมายที่ขึ้นกับเวลา คือ ถ้าปัญหาเป็นปัญหาที่ขึ้นอยู่กับเวลาจะเรียกปัญหาแบบนั้นว่า ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบพลวัต (Dynamic optimization) ถ้าเป็นปัญหาที่ไม่ขึ้นอยู่กับเวลาจะเรียกว่า ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบสถิตย์ (Static optimization)

6. แบ่งตามลักษณะของข้อมูล คือ ถ้าปัญหาที่ทราบค่าของข้อมูลที่แน่นอนจะเรียกปัญหานั้นว่า ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบทราบค่าแน่นอน (Deterministic optimization) ส่วนปัญหาที่ไม่สามารถทราบค่าข้อมูลได้อย่างแน่นอนจะเรียกว่า ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบทราบค่าไม่แน่นอน (Stochastic optimization)

3.6 วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด[19][26][27]

วิธีการหาค่าคำตอบของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสามารถแบ่งได้ 4 วิธีคือ

3.6.1 วิธีการกราฟ(Graphical Method)

เป็นวิธีที่ต้องพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสมการเป้าหมายและตัวแปรในการออกแบบ ข้อจำกัดของวิธีนี้คือใช้ได้กับปัญหาหนึ่งมิติและสองมิติเท่านั้น กล่าวคือจำนวนตัวแปรในการออกแบบสูงสุดที่จะใช้วิธีนี้ได้ต้องไม่เกินสองตัว

3.6.2 วิธีการวิเคราะห์(Analytical Technique)

สิ่งสำคัญของปัญหาที่จะใช้วิธีการวิเคราะห์ในการหาค่าคำตอบ คือสมการความสัมพันธ์จะต้องสามารถหาอนุพันธ์ได้และความสัมพันธ์ของสมการต้องเป็นแบบต่อเนื่อง เพราะในการหาค่าคำตอบของปัญหาจะใช้วิธีหาอนุพันธ์ของสมการเป้าหมาย ถ้าปัญหาเป็นแบบที่มีสมการขอบเขตจำกัดจะใช้วิธีตัวคูณของลากรองจ์ (Lagrange multipliers) ทำการแปลงสมการขอบเขตให้เป็นเทอมที่เพิ่มขึ้นของสมการเป้าหมายจะทำให้ปัญหากลายเป็นปัญหาที่ไม่มีสมการขอบเขตจำกัด

3.6.3 วิธีการทดลอง(Experimental Technique)

วิธีการนี้ไม่จำเป็นต้องแปลงปัญหาให้อยู่ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ เป็นการทดลองหาคำตอบทุกทางเลือกที่เป็นได้ แล้วทำการเปรียบเทียบค่าคำตอบที่ได้หาคำตอบที่เหมาะสม วิธีการนี้เหมาะสมกับปัญหาที่ไม่มีความซับซ้อนและมีตัวแปรในการออกแบบไม่มากนัก เพราะถ้าเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนและตัวแปรในการออกแบบมีจำนวนมาก ใช้ระยะเวลาในการหาคำตอบนานและมีค่าใช้จ่ายมากกว่าวิธีอื่น

3.6.4 วิธีเชิงตัวเลข(Numerical Technique)

วิธีเชิงตัวเลขเป็นวิธีที่ทำซ้ำเพื่อหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุด สามารถแยกประเภทได้จากหลายลักษณะคือ สามารถแบ่งได้จากลักษณะของสมการเป้าหมายและจากลักษณะของปัญหาที่มีเงื่อนไขบังคับหรือไม่มีเงื่อนไขบังคับ เป็นต้น

3.6.4.1 แบ่งตามลักษณะของสมการเป้าหมาย

การแบ่งประเภทของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดตามลักษณะของสมการเป้าหมายสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. **โปรแกรมทางคณิตศาสตร์(Mathematical Programming)** เป็นวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหาที่ต้องการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดหรือค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัญหานั้น ๆ โดยวิธีโปรแกรมคณิตศาสตร์จะใช้กับปัญหาที่เป็นแบบคงที่(Steady state problems) โดยมีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ดังนี้

สมการเป้าหมายแบบสูงสุดหรือต่ำสุด: $y(x)$

สมการข้อจำกัด: $f_i(x) \geq 0; i = 1, 2, \dots, m$

โดยที่ $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$

วิธีการของโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ ได้แก่

- **วิธีการวิเคราะห์ปัญหา(Aalytical Method)** หรือทฤษฎีของการหาค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุด (Classical theory of maxima and minima)
- **วิธีการวิเคราะห์ปัญหาที่ฟังก์ชันมีการโค้งนูน(Convex Programming)** เป็นวิธีที่ต้องพิจารณาการโค้งนูนของสมการความสัมพันธ์ ในบางครั้งคำตอบที่ได้อาจจะไม่เป็นคำตอบที่แท้จริงได้ ซึ่งเรียกว่า local solution ในปัญหาหนึ่งอาจจะมี local solution หลายค่าก็ได้ แต่จะมีคำตอบที่แท้จริงที่เรียกว่า global solution เพียงค่าเดียว ส่วนมากจะเกิดกับปัญหาที่มีความสัมพันธ์ของสมการเป็นแบบสมการไม่เชิงเส้น
- **วิธีจีโอเมตริก โปรแกรมมิ่ง(Geometric Programming)** เป็นวิธีที่ใหม่ที่สุดวิธีหนึ่งในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ใช้แก้ปัญหาที่มีรูปแบบปัญหาของโปรแกรมแบบไม่เชิงเส้น พัฒนาโดย ดัฟฟิน(Duffin) ปีเตอร์สัน(Peterson) และ ซีเนอร์(Zener) โดยรูปแบบของปัญหาจะเป็นผลบวกของพหุนามเชิงเส้นทั้งสมการเป้าหมาย และสมการข้อจำกัดหรือสมการเงื่อนไขบังคับ โดยเลขชี้กำลังเป็นบวกเรียกว่าโพซิโนเมียล(posynomial) และอาจเป็นจำนวนเต็มหรือทศนิยมก็ได้ โดยจะหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของสมการเป้าหมายก่อน หลังจากนั้นจึงจะทำการหาค่าตัวแปรในการออกแบบที่เหมาะสม(ตัวแปรตัดสินใจ) ความยากง่ายในการแก้ปัญหาจะขึ้นอยู่กับดีกรีของความยากของปัญหา สามารถหาค่าดีกรีความยากได้จาก $N-n-1$ โดยที่ N คือจำนวนเทอมในสมการเป้าหมายรวมกับจำนวนเทอมในสมการเงื่อนไขบังคับ n คือ จำนวนตัวแปรในการออกแบบหรือตัวแปรตัดสินใจ ถ้าดีกรีของความยากของปัญหามีค่าเท่ากับศูนย์ ปัญหาดังกล่าวสามารถหาค่าคำตอบโดยใช้วิธีจีโอเมตริกโปรแกรมมิ่งและเป็นปัญหาที่ง่ายที่สุด สำหรับกรณีที่ดีกรีความ

ยากของปัญหามากกว่าศูนย์ ยังสามารถใช้วิธีจีโอมेटริกโปรแกรมมิ่งได้ แต่จะใช้เวลาในการแก้ปัญหาานานมากกว่า

- วิธีโปรแกรมเชิงเส้น(*Linear Programming*) เป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดวิธีหนึ่งที่มีความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ของสมการเป้าหมายและสมการเงื่อนไขบังคับจะต้องเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นแบบเชิงเส้น(*linear relationship*) (คือตัวแปรทุกตัวจะต้องมีกำลังเป็นหนึ่ง) โดยสมการเงื่อนไขบังคับอาจจะอยู่ในรูปแบบของสมการหรืออสมการก็ได้ โปรแกรมเชิงเส้นได้เริ่มใช้ครั้งแรกเมื่อคริสต์ศักราช 1930 เริ่มจากการทำแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์ หลังจากนั้นระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 กองทัพอากาศสหรัฐได้นำไปใช้ ในปีคริสต์ศักราช 1947 Geoge B. Dantzig สมาชิกคนหนึ่งในกลุ่มทำงานของกองทัพอากาศได้นำเสนอวิธีซิมเพล็กซ์(*Simplex Method*) ปัจจุบันวิธีโปรแกรมเชิงเส้นได้รับความนิยมนำไปใช้แก้ปัญหาอย่างกว้างขวาง
- วิธีโปรแกรมควอดราติก(*Quadratic Programming*) เป็นวิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหาที่ความสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการเป้าหมายเป็นแบบควอดราติกและความสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการเงื่อนไขบังคับเป็นแบบเชิงเส้น ในการแก้ปัญหาก็จะทำการเขียนให้ปัญหาอยู่ในรูปของฟังก์ชันลากรองจ์(*Lagrangian function*) และใช้เงื่อนไขของ คุนทักเกอร์ (*Kuhn-Tucker*) ในการทำให้สมการในรูปของฟังก์ชันลากรองจ์เป็นสมการเชิงเส้น ซึ่งจะทำปัญหาดังกล่าวมีความสัมพันธ์ของตัวแปรเป็นเชิงเส้นสามารถแก้ปัญหาได้โดยใช้โปรแกรมเชิงเส้นในการแก้ปัญหาเช่น ใช้วิธีซิมเพล็กซ์ในการแก้ปัญหา เป็นต้น
- วิธีโปรแกรมแบบจำนวนเต็ม(*Integer Programming*) เป็นวิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหาที่ค่าคำตอบของตัวแปรในการออกแบบหรือตัวในการตัดสินใจเป็นจำนวนเต็ม เช่น การหาจำนวนผู้โดยสารน้อยที่สุดของการบินในแต่ละเที่ยว เพื่อที่จะไม่ทำให้เกิดการขาดทุนในการบินเที่ยวนั้น ๆ การหาปริมาณรถสูงสุดที่ถนนสายนั้นสามารถรองรับได้ โดยจะไม่ทำให้เกิดปัญหาจราจรติดขัดขึ้น เป็นต้น
- วิธีโปรแกรมไม่เป็นเชิงเส้น(*Nonlinear Programming*) หรือวิธีการค้นหา(*Search Method*) เป็นวิธีที่ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดวิธีหนึ่งที่สมการมีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ไม่เป็นเชิงเส้น นิยมใช้วิธีการค้นหาในการแก้ปัญหา วิธีการค้นหาเป็นวิธีเชิงตัวเลข(*numerical method*) หรือวิธีการกำจัด(*Elimination Method*) สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ
 1. การค้นหาเชิงกำหนด(*Deterministic Search*) โดยกระบวนการจะไม่คำนึงถึงค่าค่าคลาดเคลื่อนจากการทดลอง
 2. การค้นหาแบบสุ่ม(*Stochastic Search*) จะนำค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสุ่มมาพิจารณาด้วย วิธีการค้นหาสามารถใช้ได้ทั้งฟังก์ชันที่ต่อเนื่องและฟังก์ชันที่ไม่

ต่อเนื่อง หรือแม้แต่ฟังก์ชันที่ไม่สามารถหาอนุพันธ์ได้ และในระหว่างทำการค้นหาจะได้ค่าของสมการเป้าหมายหลายค่า หลังจากนั้นจึงสรุปเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่แท้จริง

นอกจากนี้วิธีโปรแกรมไม่เชิงเส้นสามารถแบ่งได้ในลักษณะอื่น ๆ ได้ดังนี้

1. กรณีตัวแปรเดียว(Single variable) เช่น วิธีการค้นหาแบบไม่มีขอบเขตจำกัด(Unrestricted search) การค้นหาเอกรูป(Uniform Search) การค้นหาแบบฟีโบนัคซี(Fibonacci Search) การค้นหาทวิภาคเอกรูป(Uniform Dichotomous Search) การค้นหาแบบทวิภาคโดยลำดับ(Sequential Dichotomous Search) การค้นหาภาคตัดทอง(Golden Section Search) การหาแบบทุกค่า(Exhaustive Search) เป็นต้น
2. กรณีตัวแปรหลายตัวและไม่มีเงื่อนไขบังคับ(Multivariable, Unconstrained Optimization) ซึ่งสามารถแบ่งเป็นสมการที่ไม่ต้องหาอนุพันธ์ เช่น การค้นหาแบบแลตทิซ(Lattice Search) การค้นหาทีละตัว(Univariate Search) การค้นหาแบบกริด(Grid Search) และวิธีการที่ต้องมีการหาอนุพันธ์ เช่น การค้นหาตามทางชันที่สุด(Steepest Ascent Method) วิธีของนิวตัน(Newton's Method) วิธีโบรเดน-เฟลทเซอร์-โกลด์เฟรบ-เชนโน(Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno Method) วิธีเดวิดอน-เฟลทเซอร์-พาวเวล (Davidon-Fletcher-Powell Method) เป็นต้น
3. กรณีตัวแปรหลายตัวและมีเงื่อนไขบังคับ(Multivariable, Constrained Optimization) เช่น วิธีการค้นหาโดยตรึงขนาดขั้นที่จะเปลี่ยนแปลง(Search with Fixed Step Size) วิธีการค้นหาโดยปรับเปลี่ยนขนาดของขั้นที่เปลี่ยนแปลง(Search with Vary Step Size) วิธีการค้นหาแบบทุกค่า(Exhaustive Search) เป็นต้น

2. **วิธีการหาค่าการเปลี่ยนแปลง** เป็นวิธีการที่ใช้ในการหาฟังก์ชันที่เหมาะสมที่สุดของปัญหา ลักษณะของปัญหาจะเป็นปัญหาแบบพลวัต(Dynamic problems) โดยมีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\text{สมการเป้าหมายแบบสูงสุดหรือต่ำสุด: } I[y(x)] = \int F[y(x), y'(x)] dx$$

สมการเงื่อนไขบังคับ: สมการจะอยู่ในรูปอินทิเกรตหรือดิฟเฟอเรนเชียล

วิธีการของการหาค่าเปลี่ยนแปลง ได้แก่

- **วิธีทางแคลคูลัส (Calculus of Variations)** การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสามารถใช้วิธีดั้งเดิม (Classical Method) คือ วิธีทางแคลคูลัส วิธีการนี้ใช้กับปัญหาที่มีรูปแบบสมการที่ต้องหาอนุพันธ์ได้และสมการเงื่อนไขบังคับต้องเป็นแบบสมการ (Equality constraint) เท่านั้น สำหรับกรณีที่สมการเงื่อนไขบังคับเป็นแบบอสมการ (Inequality constraint) ต้องใช้วิธีอื่นเพื่อหาคำตอบของปัญหา วิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ วิธีการใช้ตัวคูณลากรองจ์ ได้รับการพัฒนาครั้งแรกในช่วงคริสต์ศักราช 1736-1813 โดย โจเซฟ ลูอิส์ ลากรองจ์ (Joseph Louis Lagrange) นักคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศส
- **วิธีโปรแกรมพลวัต (Dynamic Programming)** ที่สมการความสัมพันธ์เป็นสมการต่อเนื่อง ลักษณะของปัญหาที่จะใช้วิธีโปรแกรมพลวัตในการแก้ปัญหาจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. ปัญหาใหญ่ต้องสามารถแตกออกเป็นปัญหาย่อย ๆ ได้ แต่ละปัญหาย่อยจะมีตัวแปรในการออกแบบเพียงหนึ่งตัวเท่านั้น และปัญหาย่อยเหล่านี้เรียกว่า ขั้นตอน (Stage)
2. ขั้นตอนแต่ละขั้นตอนจะต้องกำหนดหมายเลขให้สัมพันธ์กัน
3. ผลลัพธ์ที่เหมาะสมของการตัดสินใจในแต่ละขั้นตอนจะส่งผลไปยังขั้นตอนถัดไป
4. ผลลัพธ์ที่เหลืออยู่ในแต่ละขั้นตอนเป็นอิสระจากผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดที่นำไปใช้ยังขั้นตอนถัดไป
5. ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาใหญ่จะได้มาจากการแก้ปัญหาย่อยตั้งแต่ขั้นตอนแรกถึงขั้นตอนสุดท้าย
6. สมการผลตอบแทนสะสมจะสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในขั้นตอนที่ n ได้ต่อเมื่อสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในขั้นตอน $n-1$ ได้เสียก่อน
7. สมการผลตอบแทนสะสมหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดได้โดยการทำจากข้างหลังไปข้างหน้าและทำทีละขั้นตอนเรียงลำดับกันไป เป็นต้น

3.6.4.2 แบ่งตามลักษณะสมการเงื่อนไขบังคับ[28][27]

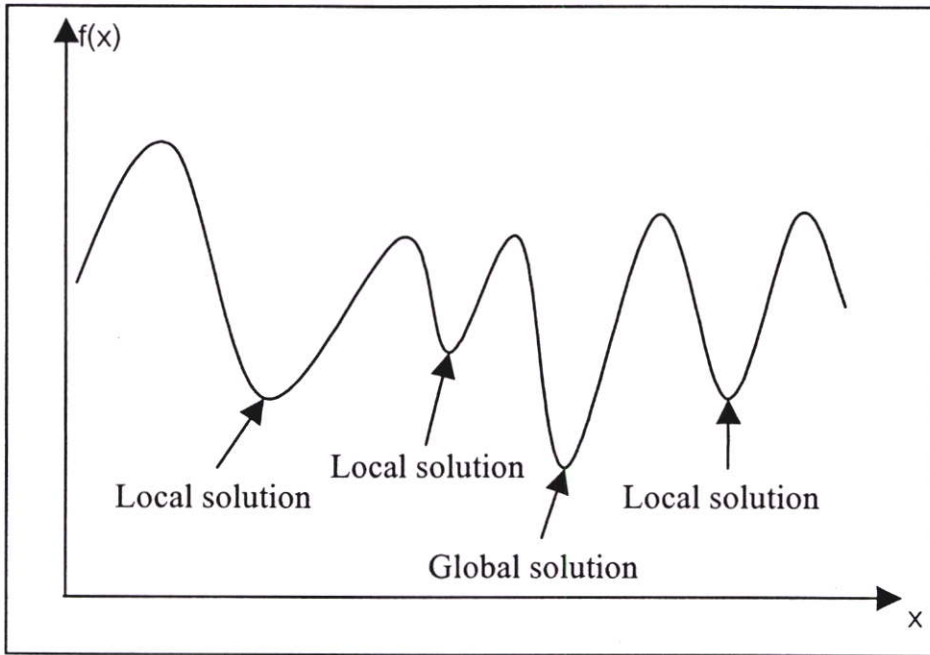
การแบ่งประเภทของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดตามลักษณะของสมการเงื่อนไขบังคับสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1. ปัญหาที่มีสมการเงื่อนไขบังคับ เป็นปัญหาที่มีสมการเงื่อนไขบังคับเพื่อกำหนดขอบเขตของค่าตัวแปรในการออกแบบ เช่น $10 \leq X \leq 20$ โดยที่ X เป็นตัวแปรในการออกแบบ ซึ่งสมการเงื่อนไขจะมีรูปแบบของสมการหรืออสมการก็ได้ โดยความสัมพันธ์ของสมการเป็นแบบสมการเชิงเส้นหรือสมการไม่เชิงเส้นก็ได้ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของปัญหานั้น

2. ปัญหาที่ไม่มีสมการเงื่อนไขบังคับ โดยทั่วไปปัญหาส่วนใหญ่จะมีเงื่อนไขบังคับเสมอ แต่ในบางครั้งในการใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจะไม่คำนึงถึงสมการเงื่อนไขที่บังคับนั้น เพราะสมการเงื่อนไขบังคับบางสมการหรือทั้งหมดไม่มีผลต่อค่าคำตอบของปัญหา บางปัญหาที่ไม่มีสมการเงื่อนไขบังคับอาจจะเกิดจากการปรับเปลี่ยนให้สมการเงื่อนไขบังคับไปเป็นเทอมที่เพิ่มเข้าในสมการเป้าหมาย ซึ่งจะทำให้สมการเงื่อนไขบังคับที่มีอยู่หายไป

3.7 ชนิดของคำตอบ[23][29]

คำตอบที่ได้จะมีอยู่สองชนิด คือ local solution และ global solution แสดงดังรูปที่ 3.1 ขั้นตอนของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด(Algorithms of optimization) ส่วนใหญ่จะให้คำตอบเป็นแบบ local solution กล่าวคือ คำคำตอบของจุดดังกล่าวจะให้คำตอบของสมการเป้าหมายต่ำสุดจากคำตอบของจุดใกล้เคียง ซึ่งวิธีการของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจะไม่สามารถหา global solution ได้ ซึ่งคำตอบที่เป็น global solution จะหาได้ยากมาก ส่วนมากปัญหาดังกล่าวจะเกิดกับปัญหาที่มีความสัมพันธ์เป็นแบบไม่เชิงเส้นเท่านั้นทั้งปัญหาแบบมีเงื่อนไขบังคับ(Constrained) และแบบไม่มีเงื่อนไขบังคับ(Unconstrained) โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาที่เป็นฟังก์ชันที่มีความนูน(Convex function) หรือมีความเว้า(Concave function) ต้องมีความระมัดระวังในการตรวจสอบว่าคำตอบที่ได้เป็น global solution หรือไม่



รูปที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่าสมการเป้าหมาย($f_{\min}(x)$) กับค่าของตัวแปรในการออกแบบ(x)

3.8 ประโยชน์ของการนำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการออกแบบ[29]

ประโยชน์ของการนำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาประยุกต์ใช้หรือนำไปใช้ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ในการออกแบบมีดังนี้ คือ

1. สามารถลดเวลาในการออกแบบได้ กล่าวคือโดยทั่วไปในการออกแบบนั้นค่าของตัวแปรในการออกแบบแต่ละตัวเราไม่อาจทราบได้ เมื่อเราไม่ทราบค่าของตัวแปรในการออกแบบดังกล่าว ทำให้เราจำเป็นต้องสุ่มค่าตัวแปรในการออกแบบเพื่อนำไปออกแบบจริง โดยที่เราไม่ทราบว่าค่าตัวแปรนั้นจะทำให้ได้ผลลัพธ์เป็นตามที่เรากำหนดไว้ตั้งแต่ต้นหรือไม่ ถ้าผลลัพธ์ที่ได้ไม่เป็นไปตามต้องการก็ต้องทำการสุ่มค่าตัวแปรในการออกแบบใหม่ จะทำให้เสียเวลาในขั้นตอนนี้มากและทำให้ค่าใช้จ่ายมากขึ้นตามไปด้วย เมื่อนำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการหาค่าของตัวแปรในการออกแบบที่เหมาะสมจะทำให้เราประหยัดเวลาได้และยังช่วยให้ลดค่าใช้จ่ายในขั้นตอนนี้ลงได้อีกด้วย
2. สามารถนำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดไปช่วยในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้มากยิ่งขึ้น
3. ทำให้ขั้นตอนในการออกแบบหรือขั้นตอนพัฒนาผลิตภัณฑ์ ใช้จำนวนคนและเครื่องจักรน้อยลง และสามารถลดค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นในตอนนี้ได้

4. สามารถนำประสบการณ์ของผู้ออกแบบหรือปัญหาที่พบมาช่วยในการกำหนดสมการเป้าหมายและสมการเงื่อนไขบังคับ เพื่อให้สมการความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นตัวแทนของปัญหาอย่างแท้จริง ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่เราควรให้ความสำคัญและมีความระมัดระวังในการกำหนดขอบเขตและลักษณะของปัญหา เพราะถ้าไม่มีความเข้าใจในปัญหาหรือความต้องการที่แท้จริง คำตอบที่ได้จากการใช้วิธีการของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดก็ไม่สามารถแก้ปัญหาได้จริงหรือในบางครั้งไม่สามารถหาค่าคำตอบได้

5. เมื่อนำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการออกแบบ สามารถเปลี่ยนค่าตัวแปรในการออกแบบได้ทีละหลายตัว และสามารถเปลี่ยนสมการเงื่อนไขบังคับได้ เพื่อให้สมการดังกล่าวแทนปัญหาอย่างแท้จริง ซึ่งถ้าเราใช้วิธีพล็อตกราฟหรือใช้ตารางจะมีความยุ่งยากมากและใช้เวลานาน เป็นต้น

3.9 ข้อจำกัดของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด[29]

1. ระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปรในการออกแบบ ถ้าจำนวนของตัวแปรในการออกแบบมีปริมาณมากจะเสียเวลาในการคำนวณมาก ดังนั้นในการออกแบบควรคำนึงถึงจำนวนของตัวแปรในการออกแบบให้มีความเหมาะสมในการออกแบบแต่ละครั้ง เพราะบางตัวแปรก็มีผลต่อคำตอบของสมการเป้าหมายน้อยมาก

2. การกำหนดปัญหาถ้ากำหนดเป้าหมายไม่ถูกต้องและเข้าใจยาก เมื่อนำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการแก้ปัญหาจะใช้เวลาในการแก้ปัญหาานาน หรือในบางกรณีไม่สามารถหาค่าคำตอบได้

3. วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจะมีความยุ่งยากมาก เมื่อนำไปใช้แก้ปัญหาที่มีความสัมพันธ์ของสมการเป็นฟังก์ชันไม่ต่อเนื่องและเป็นฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้นมาก ๆ จะทำให้หาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ยาก และใช้เวลาในการคำนวณนานหรือในบางครั้งก็ไม่สามารถหาค่าที่เหมาะสมได้

4. คำตอบที่ได้จากการใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด อาจจะไม่ใช่คำตอบที่แท้จริง (global solution) ของปัญหา ดังนั้นจะต้องทำการตรวจสอบให้แน่ชัด โดยทำการเปลี่ยนค่าเริ่มต้นหลาย ๆ ค่า เพื่อดูว่าคำตอบที่ได้ยังเป็นค่าเดิมหรือไม่ ถ้ายังเป็นค่าเดิมแสดงว่าคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่แท้จริง

5. วิธีการทุกวิธีของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดไม่สามารถนำไปใช้ในการแก้ปัญหาได้ทุกปัญหา เพราะวิธีการบางวิธีมีข้อจำกัดหรือมีขั้นตอนที่แตกต่างกันไป เช่น วิธี Quasi-Newton ใช้ได้กับปัญหาที่สามารถหาอนุพันธ์ได้เท่านั้น เป็นต้น ดังนั้นในการเลือกวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดไปใช้งานจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดของวิธีนั้น ๆ ด้วย

บทที่ 4

การหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของหัวอ่านชนิดเรียวเบน

อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าภายในคอมพิวเตอร์หรือฮาร์ดดิสก์ เป็นอุปกรณ์ที่มีทั้งกลไกการทำงานทางกลและกลไกการทำงานทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยเป็นอุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนที่สุดของอุปกรณ์ที่มีการเคลื่อนไหว ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์มีดังต่อไปนี้คือ

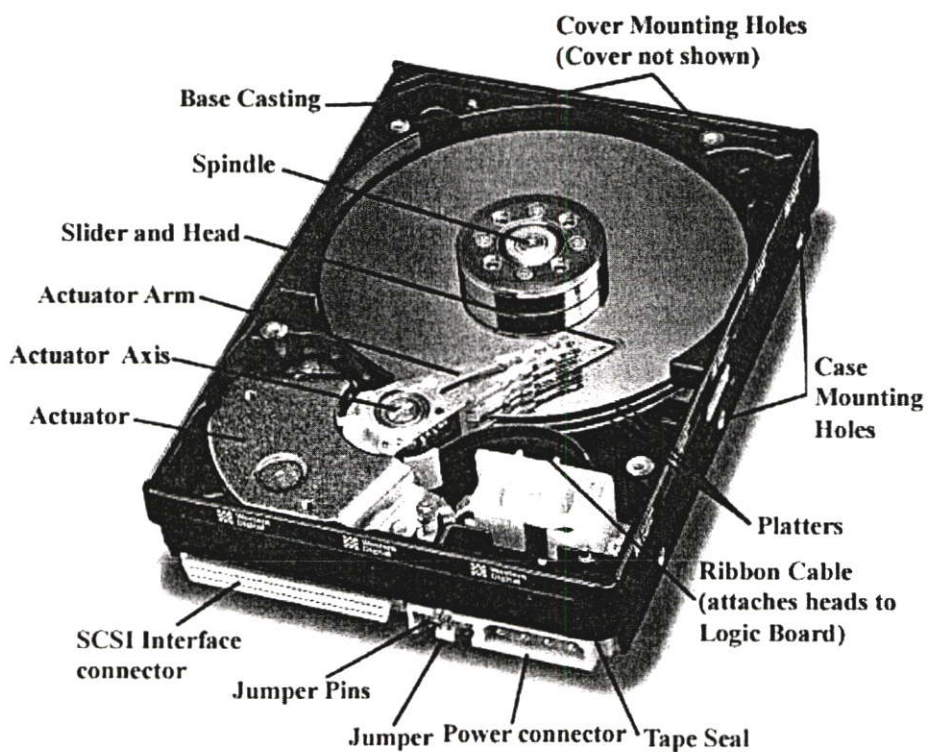
1. จานฮาร์ดดิสก์(Disk Platters)
2. หัวอ่าน(Read/Write Heads)
3. กลไกการขับเคลื่อนหัวอ่าน(Head Actuator Mechanism)
4. มอเตอร์ที่ใช้หมุนจานฮาร์ดดิสก์(Spindle Motor)
5. แผงวงจรควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์(Logic Board)
6. สายสัญญาณและสายเชื่อมต่อ(Cables and Connectors)
7. Jumper ที่ใช้จัดตั้ง Configuration ของฮาร์ดดิสก์
8. รางและอุปกรณ์เสริมการติดตั้งฮาร์ดดิสก์
9. แขนที่ใช้ขับเคลื่อนหัวอ่าน(Head Arm/Head Slide)
10. กลไกที่ใช้ขับเคลื่อนหัวอ่าน(Head Actuator Mechanism)
11. ส่วนที่กรองอากาศ(Air Filter)
12. แผงวงจร Head Amplifier
13. ชุด Voice Coil
14. สาย Pair Ribbon ที่เชื่อมระหว่างหัวฮาร์ดดิสก์กับแผงวงจรควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์ (Logic Board)

คอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้นประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ภายในหลายอย่าง เช่น ประสิทธิภาพของหน่วยประมวลผลหลักหรือซีพียู เป็นต้น อุปกรณ์ที่มีความสำคัญรองลงมาจากหน่วยประมวลผลหลักหรือซีพียูคือ ฮาร์ดดิสก์ที่มีหน้าที่เก็บข้อมูลถาวรในคอมพิวเตอร์ การจัดเก็บข้อมูลที่ดีต้องสามารถจัดเก็บข้อมูลได้ง่าย สามารถเรียกใช้และประมวลผลข้อมูลได้ง่ายเช่นกัน ดังนั้นถ้าต้องการให้การจัดเก็บข้อมูลมีประสิทธิภาพ เราควรให้ความสำคัญกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูล นั่นคือประสิทธิภาพของฮาร์ดดิสก์ที่เป็นชิ้นส่วนในการจัดเก็บ

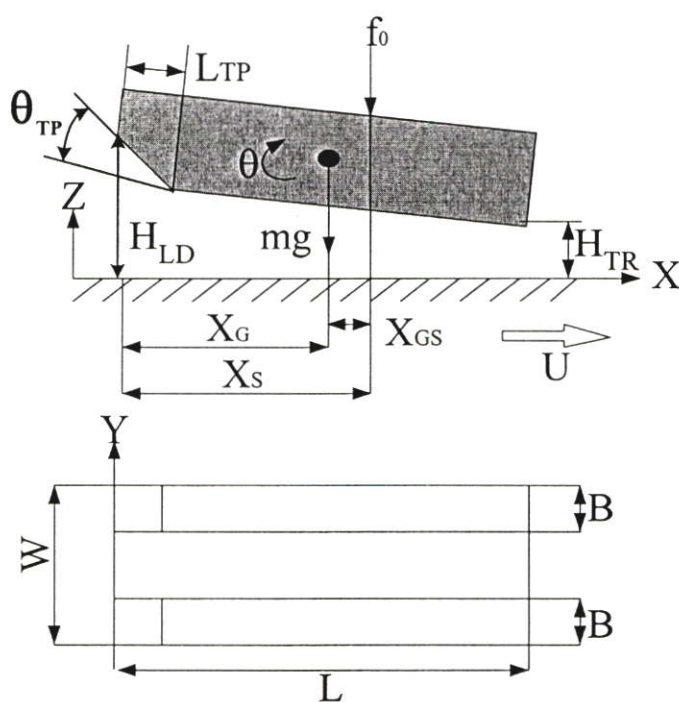
ข้อมูลถาวรภายในคอมพิวเตอร์ โดยหัวอ่านเป็นชิ้นส่วนที่มีราคาแพงที่สุดของฮาร์ดดิสก์และลักษณะของหัวอ่านมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของฮาร์ดดิสก์ หลักการทำงานของฮาร์ดดิสก์ คือ เมื่อผู้ใช้พิมพ์คำสั่งให้คอมพิวเตอร์ทำงานแขนที่ใช้ขับเคลื่อนหัวอ่านจะรอรับคำสั่งและเคลื่อนที่ไปยังส่วนที่ถูกต้องของแผ่นดิสก์ หลังจากนั้นจะทำการอ่านข้อมูลแล้วส่งไปยังหน่วยประมวลผลหลักหรือซีพียู จากนั้นไม่นานข้อมูลที่ต้องการก็จะปรากฏที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ การทำงานเขียนอ่านข้อมูลของฮาร์ดดิสก์จะมีการทำงานคล้ายกับการทำงานของเทปคาสเซ็ท แผ่นดิสก์จะเคลือบด้วยวัสดุจำพวกแม่เหล็กที่มีขนาดความหนาเพียง 2-3 ในล้านส่วนของนิ้ว แต่จะต่างจากเทปทั่วไปคือ ฮาร์ดดิสก์นั้นจะใช้หัวอ่านเพียงหัวเดียวในการทำงานทั้งอ่านและเขียนข้อมูลบนฮาร์ดดิสก์ ในการเขียนข้อมูลลงบนฮาร์ดดิสก์นั้นหัวอ่านจะได้รับกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าสู่คอยล์ของหัวอ่าน เพื่อสร้างรูปแบบแม่เหล็กบนสื่อที่เคลือบอยู่บนแผ่นดิสก์ ซึ่งเท่ากับเป็นการเขียนข้อมูลลงบนฮาร์ดดิสก์ ในการอ่านข้อมูลจะเป็นการแปลงสัญญาณรูปแบบแม่เหล็กที่ได้บันทึกอยู่บนฮาร์ดดิสก์กลับแล้วทำการเพิ่มสัญญาณและทำการประมวลผลให้กลับมาเป็นข้อมูลอีกครั้ง จุดที่แตกต่างกันของการเก็บข้อมูลระหว่างฮาร์ดดิสก์กับฮาร์ดดิสก์ คือเทปจะเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณอนาล็อก แต่สำหรับฮาร์ดดิสก์จะเก็บข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัลโดยจะเก็บเป็นเลขฐานสองคือ 0 และ 1 การเก็บข้อมูลจะเริ่มเก็บที่ด้านนอกสุดของแผ่นดิสก์ก่อนจากนั้นจะไล่เข้ามาด้านในสุด ฮาร์ดดิสก์จะเป็นอุปกรณ์ที่สามารถสุ่มเข้าถึงข้อมูลได้ คือหัวอ่านสามารถเคลื่อนที่ไปอ่านข้อมูลบนจุดใดของฮาร์ดดิสก์ก็ได้ แต่สำหรับเทปเพลงนั้นหากต้องการฟังเพลงถัดไปเราต้องทำการกรอเทปไปยังจุดเริ่มต้นของเพลงนั้น หัวอ่านของฮาร์ดดิสก์นั้นสามารถลอยอยู่บนเนื้อแผ่นดิสก์ได้ทันทีหลังจากได้รับคำสั่งจากหน่วยประมวลผลหลักหรือซีพียู ซึ่งการเข้าถึงข้อมูลแบบสุ่มนี้เป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้ฮาร์ดดิสก์สามารถแทนที่ในการเก็บข้อมูลหลักของคอมพิวเตอร์ ฮาร์ดดิสก์สามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งสองด้านของแผ่นดิสก์ถ้าหัวอ่านอยู่ทั้งสองด้าน ดังนั้นถ้าฮาร์ดดิสก์มีแผ่นดิสก์สองแผ่นจะสามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งหมดสี่ด้านและมีหัวอ่านสี่หัว การเคลื่อนที่ของหัวอ่านจะเคลื่อนที่ไปพร้อม ๆ กัน โดยจะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ได้รับสั่งหรือเคลื่อนที่ไปยังแทร็ก(Track) การเขียนข้อมูลลงฮาร์ดดิสก์จะเริ่มเขียนที่รอบนอกสุดก่อนหรือแทร็ก นอกสุดก่อน เมื่อแทร็กนอกสุดเต็มจะเลื่อนเข้ามาเขียนในแทร็กถัดมาที่ว่างแล้วทำการเขียนข้อมูลต่อไป ซึ่งวิธีการนี้มีผลทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานของฮาร์ดดิสก์สูงเป็นอย่างมาก เพราะหัวอ่านสามารถบันทึกข้อมูลได้มากหรือจนเต็มในตำแหน่งแทร็กนั้นก่อนที่จะเคลื่อนที่ไปยังแทร็กถัดไป

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของฮาร์ดดิสก์ โดยนำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด(Optimization) มาใช้ในการหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของหัวอ่านชนิดเร็วแบบ เพื่อให้ได้หัวอ่านชนิดเร็วแบบที่อยู่ในสถานะสมดุลย์ที่ดีที่สุดที่สถานะทำงานสถิตย์ ในสถานะทำงานพลวัตหัวอ่านชนิดเร็วแบบใช้เวลาเข้าสู่สถานะสมดุลย์เร็วที่สุดและมีเสถียรภาพที่ดี

สุด เมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง โดยมีขนาดความกว้างของราง มุมเทเปอร์หรือมุมราบเอียง และความยาวของมุมเทเปอร์หรือความยาวของระยะราบเอียงเป็นตัวแปรในการออกแบบ



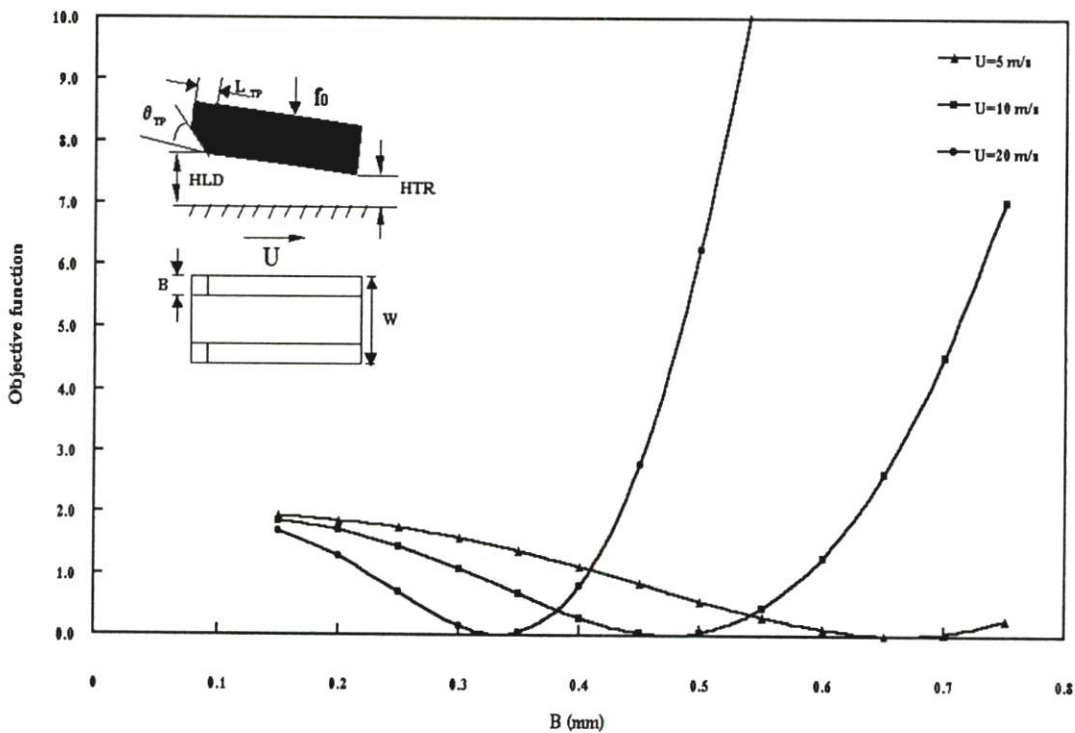
รูปที่ 4.1 โครงสร้างของฮาร์ดดิสก์



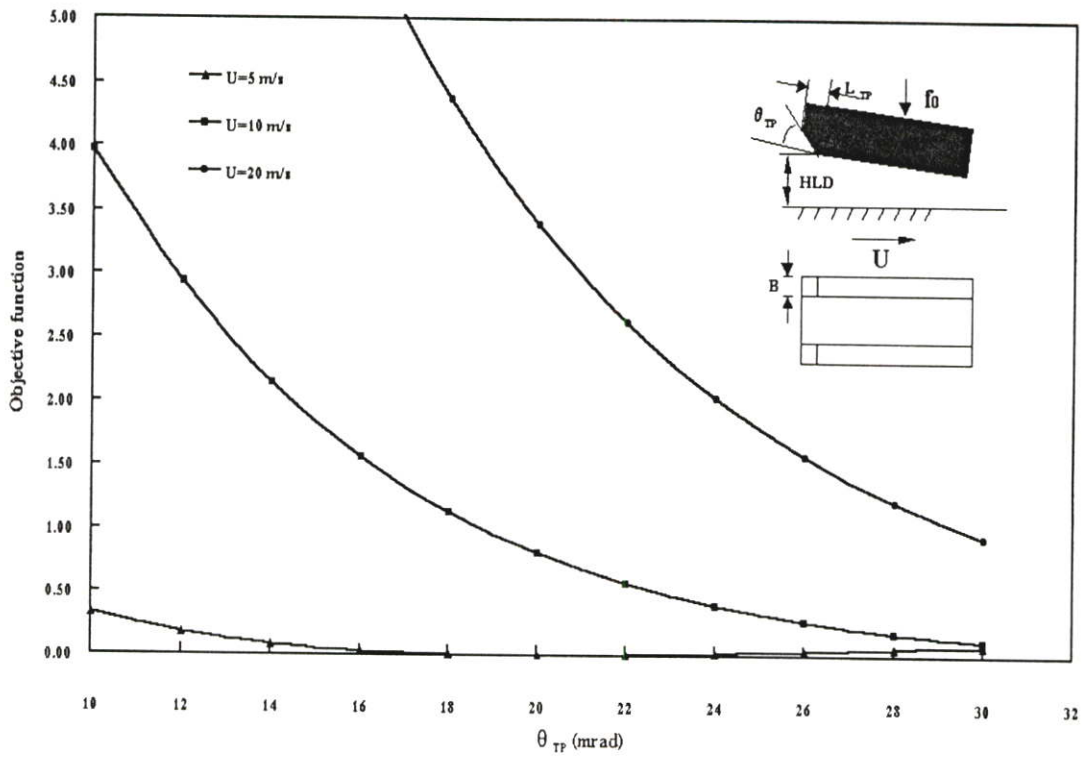
รูปที่ 4.2 โครงสร้างของหัวอ่านชนิดเรียวแบน

4.1 ขนาดของหัวอ่านที่มีผลต่อพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านชนิดเรียวแบน

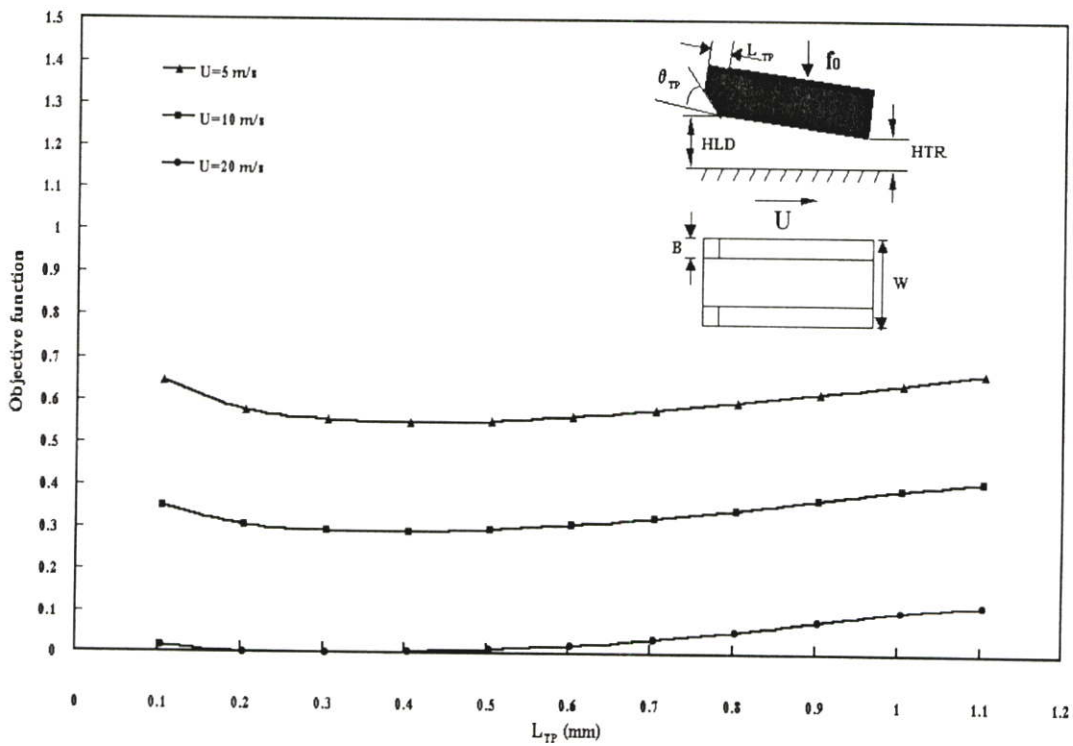
พฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านทั้งที่ทำงานในสถานะสถิตย์และพลวัตมีผลต่อประสิทธิภาพของฮาร์ดดิสก์ในการจัดเก็บ การอ่าน/เขียนข้อมูล หรือการส่งถ่ายข้อมูล เป็นต้น โดยขนาดของหัวอ่านเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของฮาร์ดดิสก์ การศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านชนิดเรียวแบน เพื่อให้ได้หัวอ่านชนิดเรียวแบนที่อยู่ในสถานะสมดุลย์ที่สุดที่สถานะทำงานสถิตย์ สำหรับที่สถานะทำงานพลวัตหัวอ่านชนิดเรียวแบนใช้เวลาเข้าสู่สถานะสมดุลย์เร็วที่สุดและมีเสถียรภาพดีที่สุด เมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง การคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดได้ใช้วิธีค้นหาทุกค่าร่วมกับโปรแกรมคณิตศาสตร์ของโบรเดน-เฟลทเซอร์-โกลด์เฟรบ-เซนโน และวิธีค้นหาเชิงเส้น เมื่อได้ขนาดของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่เหมาะสมทั้งที่ทำงานในสถานะสถิตย์และพลวัตทำการจำลองพฤติกรรมสถิตย์และพลวัตเปรียบเทียบกับหัวอ่านชนิด IBM 3380



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมการเป้าหมายและขนาดความกว้างของรางหัวอ่าน



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสมการเป้าหมายและมุมเทเปอร์



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสมการเป้าหมายและความยาวของส่วนราบเอียงของหัวอ่าน

จากรูปที่ 4.3-4.5 จะเห็นว่าเมื่อค่าความกว้างของรางของหัวอ่าน ขนาดของมุมเทเปอร์หรือมุมราบเอียง และความยาวของส่วนราบเอียงมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้สมการเป้าหมายมีค่าเปลี่ยนแปลง โดยความยาวของส่วนราบเอียงของหัวอ่านจะมีผลน้อยเมื่อเทียบกับค่าความกว้างของรางของหัวอ่านและขนาดมุมเทเปอร์

4.2 สมการเป้าหมายหรือฟังก์ชันวัตถุประสงค์(Objective Function)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่ทำให้หัวอ่านทำงานอยู่ในสถานะสถิตย์หัวอ่านมีความสมดุลมากที่สุด และหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่ใช้เวลาในการปรับตัวเข้าสู่สถานะสมดุลเร็วที่สุด และมีเสถียรภาพดีที่สุด เมื่อหัวอ่านทำงานอยู่ในสถานะพลวัตรหรือหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง สามารถเขียนเป็นรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

1. สมการเป้าหมายที่สถานะการทำงานสถิตย์ กล่าวคือ หัวอ่านอยู่ในสถานะสมดุลดีที่สุดในที่สถานะทำงานสถิตย์

$$\text{Min } Y = R_1^2 + R_2^2$$

$$R_1 = M_Z \ddot{Z} + F_0 - 2 \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 (P-1) dX dY$$

$$R_2 = I_\theta \ddot{\theta} + M_0 - F_S X_{GS} - 2 \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 (P-1)(X_G - X) dX dY$$

เมื่อ Z คือ ระยะการเคลื่อนที่ขึ้นลงของหัวอ่าน (z/h_a)

M_Z คือ น้ำหนักของหัวอ่าน ($mh_a \omega_0^2 / p_a LB$)

M_0 คือ โมเมนต์เริ่มต้นของตัวจับยึด ($m_0 / p_a L^2 B$)

F_0 คือ แรงที่กระทำต่อหัวอ่าน ($f_0 / p_a LB$)

θ คือ มุมพิทซ์ในรูปไร้มิติ ($\theta L / h_a$)

P คือ ค่าความดันของฟิล์มอากาศในรูปไร้มิติ (p/p_a)

X_{GS} คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางมวลและจุดจับยึดหัวอ่านในรูปไร้มิติ

$$(x_{GS}/L)$$

2. สมการเป้าหมายที่สภาวะการทำงานพลวัต กล่าวคือ หัวอ่านใช้เวลาในการปรับตัวเข้าสู่สมดุลเร็วที่สุดและมีเสถียรภาพดีที่สุด ที่สภาวะการทำงานพลวัต

$$\text{Min } Y = R_3 + R_4 + R_5$$

$$R_3 = T_s / \text{TOLT}$$

$$R_4 = Z_{\max} - Z_{\min}$$

$$R_5 = \theta_{\max} - \theta_{\min}$$

T_s คือ ระยะเวลาที่สั้นที่สุดที่หัวอ่านเข้าสู่สภาวะสมดุล

TOLT คือ ระยะเวลาทั้งหมดที่หัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง

Z_{\max} คือ ระยะการเคลื่อนที่ขึ้นมากที่สุดของหัวอ่านเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง

Z_{\min} คือ ระยะการเคลื่อนที่ลงมากที่สุดของหัวอ่านเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง

θ_{\max} คือ ค่ามุมพิทช์มากที่สุดของหัวอ่านเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง

θ_{\min} คือ ค่ามุมพิทช์น้อยที่สุดของหัวอ่านเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง

3. สมการเป้าหมายที่รวมค่าสมการเป้าหมายที่สภาวะทำงานสถิตย์และค่าสมการเป้าหมายที่สภาวะทำงานพลวัต โดยใช้ Weight factor

$$\text{Min } Y = (W_1 \times \text{FX}_S) + (W_2 \times \text{FX}_D)$$

$$\text{FX}_S = R_1^2 + R_2^2$$

$$\text{FX}_D = R_3 + R_4 + R_5$$

FX_S คือ ค่าสมการเป้าหมายที่สภาวะทำงานสถิตย์

FX_D คือ ค่าสมการเป้าหมายที่สภาวะทำงานพลวัต

W_1 คือ ค่า Weight factor ของค่าสมการเป้าหมายที่สภาวะทำงานสถิตย์

W_2 คือ ค่า Weight factor ของค่าสมการเป้าหมายที่สภาวะทำงานพลวัต

4.3 สมการเงื่อนไขบังคับหรือสมการขอบเขต(Constraints Equation)

การออกแบบหัวอ่านชนิดรีวเบนจะมีขอบเขตของขนาดหัวอ่านที่เป็นไปได้ ในการศึกษารุ่นนี้มีตัวแปรในการออกแบบ คือขนาดความกว้างของราง(B) มุมเทเปอร์(θ_{TP}) และความยาวของมุมเทเปอร์หรือความยาวของมุมราบเอียง(L_{TP}) จากขอบเขตของขนาดหัวอ่านสามารถเขียนเป็นสมการเงื่อนไขบังคับได้ดังนี้คือ

$$0.15 \leq B \leq 0.75 \text{ mm}$$

$$10 \leq \theta_{TP} \leq 30 \text{ mrad}$$

$$0.2 \leq L_{TP} \leq 1.17 \text{ mm}$$

4.4 วิธีที่ใช้ในการหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของหัวอ่านชนิดรีวเบน

การคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของหัวอ่านชนิดรีวเบนได้เลือกใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด 2 วิธีที่ร่วมกัน คือวิธีการค้นหาทุกค่า(Exhaustive Search) ร่วมกันโปรแกรมคณิตศาสตร์ของโบรเคน-เฟลทเซอร์-โกลด์เฟรบ-เซนโน และวิธีค้นหาเชิงเส้น โดยมีขั้นตอนในการคำนวณดังแสดงรูปที่ 4.6

ขั้นตอนแรกทำการใส่ค่าเริ่มต้น คือค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของหัวอ่านชนิดรีวเบน หลังจากนั้นใช้วิธีการค้นหาทุกค่า(Exhaustive Search) ภายใต้การวิเคราะห์สมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์ ซึ่งการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในขั้นตอนนี้จะเป็นการค้นหาแบบหยาบ เพื่อนำค่าของตัวแปรในการออกแบบที่ได้เป็นค่าเริ่มต้นในวิธีการของของโบรเคน-เฟลทเซอร์-โกลด์เฟรบ-เซนโน ภายใต้การวิเคราะห์สมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์ รูปที่ 4.7 แสดงขั้นตอนการคำนวณวิธีการของโบร-เคน-เฟลทเซอร์-โกลด์เฟรบ-เซนโน เมื่อได้ขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดรีวเบนแล้วนำขนาดที่เหมาะสมที่สุดมาศึกษาพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านที่สภาวะสถิตย์และพลวัตต่อไป และนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับพฤติกรรมของหัวอ่านชนิด IBM 3380

4.4.1 วิธีการค้นหาทุกค่า(Exhaustive Search)

วิธีการค้นหาทุกค่าเป็นวิธีที่สามารถใช้กับปัญหาที่ทราบขอบเขตที่แน่นอนของตัวแปรในการออกแบบ โดยทำการค้นหาที่เหมาะสมของแต่ละตัวแปรในการออกแบบ เริ่มต้นค้นหาจากค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้หรือค่าขอบเขตต่ำที่สุด แล้วค่อยขยับค่าขึ้นหรือเพิ่มค่าขึ้นจนถึงค่ามากที่สุดของตัวแปรในการออกแบบเป็นไปได้ออกขอบเขตสูงสุด ในการขยับหรือการเพิ่มค่าขึ้นของตัวแปรในการออกแบบจะขึ้นอยู่กับว่าจะค้นหาแบบละเอียดหรือหยาบ ถ้าต้องการให้ละเอียดก็จะเพิ่มค่าขึ้นที่

ละน้อย ๆ จะทำให้การคำนวณมีความละเอียดยิ่งขึ้นแต่จะใช้เวลาในการคำนวณนาน หรือถ้าต้องการค้นหาแบบหยาบก็จะเพิ่มค่าขึ้นทีละมาก ๆ ผลการคำนวณจะมีค่าผิดพลาดมากแต่จะใช้เวลาในการค้นหาน้อย เมื่อได้ค่าของสมการเป้าหมายจากการเปลี่ยนค่าของตัวแปรในการออกแบบทุกตัวแล้วทำการเลือกค่าสมการเป้าหมายว่าค่าตัวแปรในการออกแบบค่าไหนที่ทำให้ได้ค่าสมการเป้าหมายสูงสุดหรือต่ำสุดตามที่ต้องการ ในการศึกษาครั้งนี้เป็นปัญหาที่หาค่าต่ำสุด

4.4.2 วิธีโบรเดน-เฟลทเซอร์-โกลด์เฟรบ-เชนโน (Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno Method)[21][22]

ในช่วงกลางทศวรรษที่ 1950 นักฟิสิกส์ของ Argonne National Laboratory ชื่อว่า W.C Davidon ใช้วิธี coordinate descent method คำนวณเพื่อแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ขณะนั้นประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ยังไม่ดีเท่าที่ควรทำให้ผลการคำนวณไม่ถูกต้องหรือบางครั้งไม่สามารถคำนวณได้ ทำให้ Davidon พัฒนาวิธีการคำนวณใหม่ เพื่อให้สามารถคำนวณได้รวดเร็วยิ่งขึ้น วิธีการแรกที่เขาได้คิดค้นคือ วิธี Quasi-Newton ซึ่งเป็นการปฏิวัติการแก้ปัญหาทางด้าน การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีรูปแบบของสมการเป้าหมายเป็นแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear optimization) ซึ่งวิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่มีความน่าเชื่อถือมากกว่าวิธีอื่น และสามารถแก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็ว

วิธี Quasi-Newton เป็นวิธีที่สมการเป้าหมายต้องเป็นสมการที่สามารถหาค่าอนุพันธ์ได้แต่ละการทำซ้ำ ซึ่งวิธี BFGS เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้หลักการของวิธี Quasi-Newton ที่ได้รับความนิยมนำไปใช้แก้ปัญหา มีผู้คิดค้นร่วมกัน 4 คน คือ โบรเดน เฟลทเซอร์ โกลด์เฟรบ และเชนโน ขั้นตอนการคำนวณของวิธี BFGS มีดังนี้ คือ

1. กำหนดค่าเริ่มต้น X_0 (ได้จากการใช้วิธี exhaustive search)
2. กำหนดค่า $i = 0$
3. กำหนดค่าเมตริกฮิวเซียน (Hussein Matrix) เริ่มต้น $[A_i]_{n \times n}$ (n คือจำนวนของตัวแปรในการออกแบบ) เป็นเมตริกเอกลักษณ์ ($[A_i] = [I]$) และคำนวณหาค่าสมการเป้าหมาย $f_i(X_i)$
4. คำนวณค่าอนุพันธ์ $\nabla f_i(X_i)$ และคำนวณหาทิศทางเคลื่อนที่ของตำแหน่งใหม่ S_i

$$S_i = -[B_i]^{-1} \nabla f_i$$
5. คำนวณระยะห่างของตำแหน่งใหม่ที่จะเคลื่อนที่ไป λ_i^* โดยใช้วิธีการค้นหาเชิงเส้น (Line search method)
6. คำนวณค่าใหม่ X_{i+1}

$$X_{i+1} = X_i + \lambda_i^* S_i$$

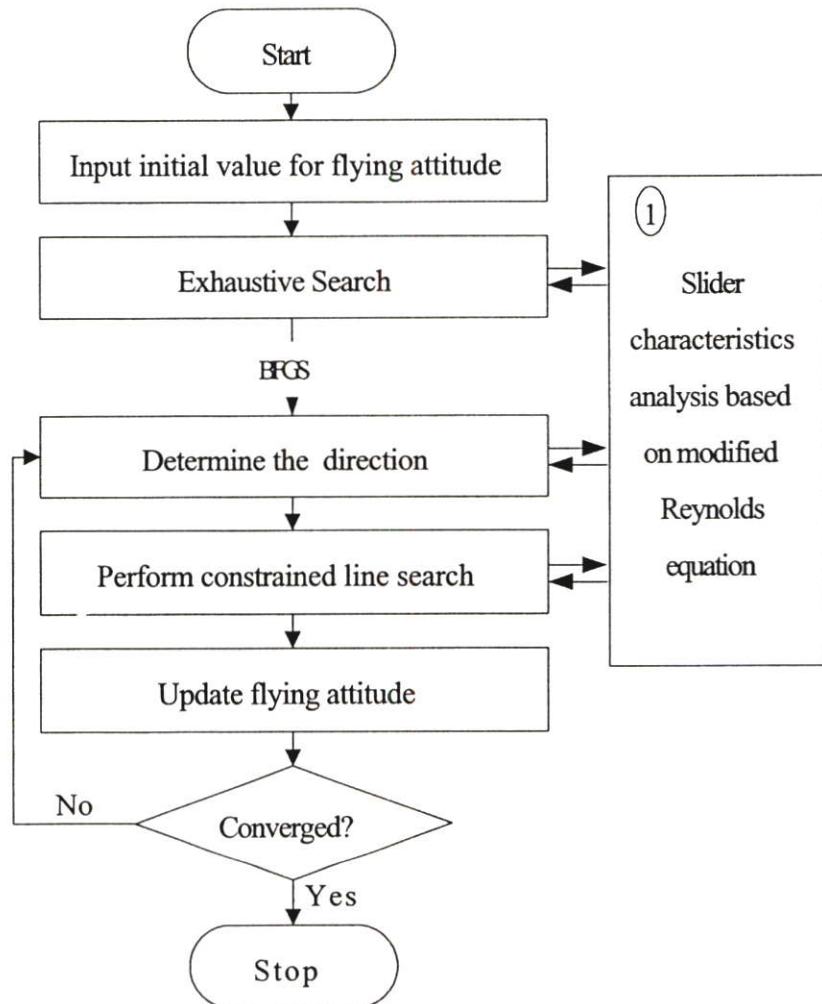
7. คำนวณค่าสมการเป้าหมายใหม่ $f_{i+1}(X_{i+1})$
8. ตรวจสอบค่าของสมการเป้าหมาย $|f_{i+1} - f_i| < \epsilon$ หรือไม่ ถ้ามีค่าน้อยกว่าจริงจนโปรแกรมและแสดงว่าค่า $f_{i+1}(X_{i+1})$ เป็นค่าที่น้อยที่สุด แต่ถ้าไม่จริงให้ทำการปรับเปลี่ยนค่าเมตริกฮิวเซียนใหม่แล้วย้อนกลับไปทำในขั้นตอนที่ 4 ใหม่จนกระทั่งจะได้คำตอบที่แท้จริง

ในการทำซ้ำแต่ละครั้งต้องมีการปรับเปลี่ยนค่าฮิวเซียนเมตริกทุกการทำซ้ำ การปรับเปลี่ยนค่าทำได้ดังนี้คือ

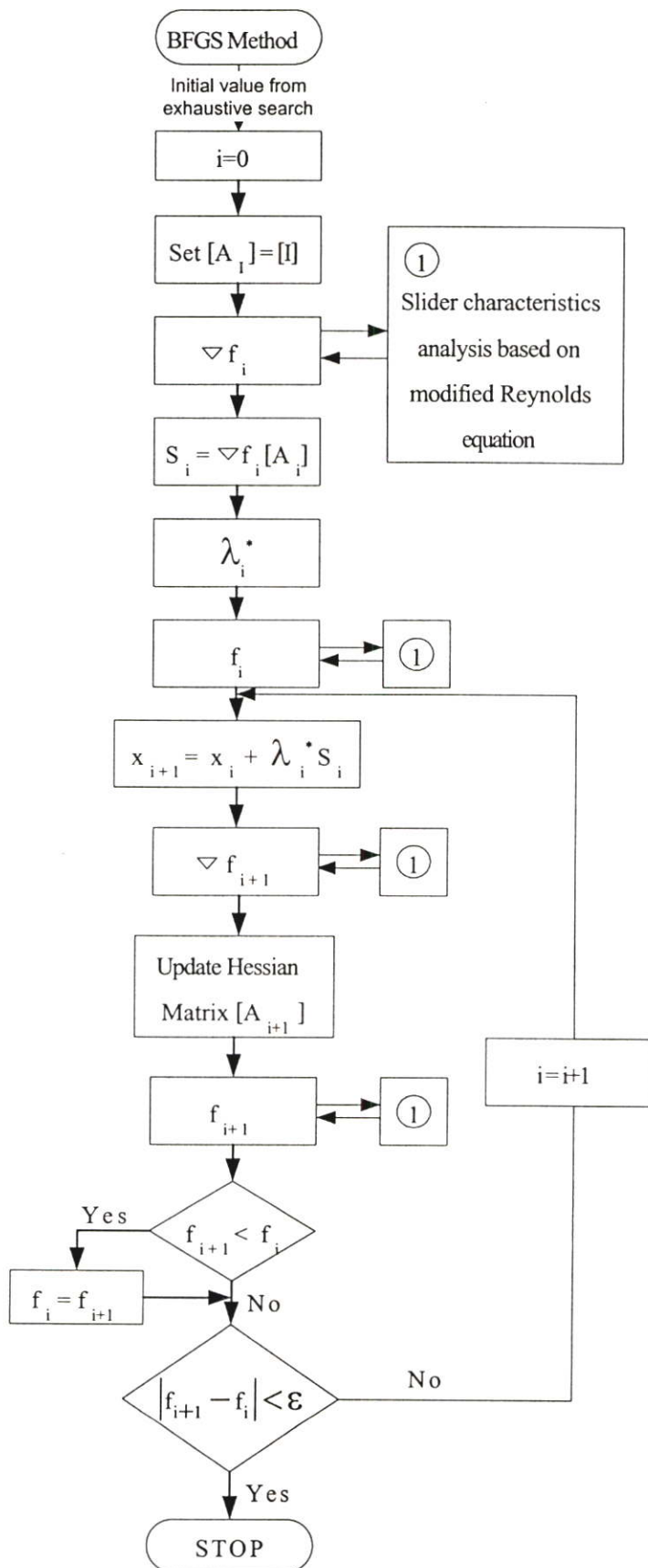
$$[A_{i+1}] = [A_i] + \left[1 + \frac{g_i^T [A_i] g_i}{d_i^T g_i} \right] \frac{d_i d_i^T}{d_i^T g_i} - \frac{d_i g_i^T [A_i]}{d_i^T g_i} - \frac{[A_i] g_i d_i^T}{d_i^T g_i}$$

$$d_i = X_{i+1} - X_i = \lambda_i^* S_i$$

$$g_i = \nabla f_{i+1} - \nabla f_i = \nabla f(X_{i+1}) - \nabla f(X_i)$$



รูปที่ 4.6 ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของหัวอ่านชนิดเรียวแบน



รูปที่ 4.7 ขั้นตอนการคำนวณของวิธี BFGS

โครงสร้างโปรแกรมคำนวณพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านภายใต้สมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์

การคำนวณพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านภายใต้สมการ โมดิฟายด์เรย์โนลด์มีลักษณะโครงสร้างของโปรแกรมและมีโปรแกรมย่อยดังรูปที่ 4.8 ใช้ในการคำนวณพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านมีดังนี้คือ

GIVDIM	ป้อนค่าตัวแปรต่าง ๆ ของหัวอ่านชนิดเรียวแบน
NONDIM	ทำให้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ให้อยู่ในรูปไร้มิติ
GRID X	แบ่งกริดของพื้นผิวของหัวอ่านตามแนวแกน X หรือตามแนวความยาวของหัวอ่าน
GRID Y	แบ่งกริดของพื้นผิวของหัวอ่านตามแนวแกน Y หรือตามแนวความกว้างของหัวอ่าน
CALPFM	คำนวณหาพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่าน
BALNCE	คำนวณหาสมดุลย์การเคลื่อนที่ของหัวอ่านขณะมีพฤติกรรมสถิตย์
RESPO1	คำนวณหาพฤติกรรมพลวัตของหัวอ่าน โดยใช้วิธีโคเมนเวลา
REDIM	ทำให้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ให้มีมิติ

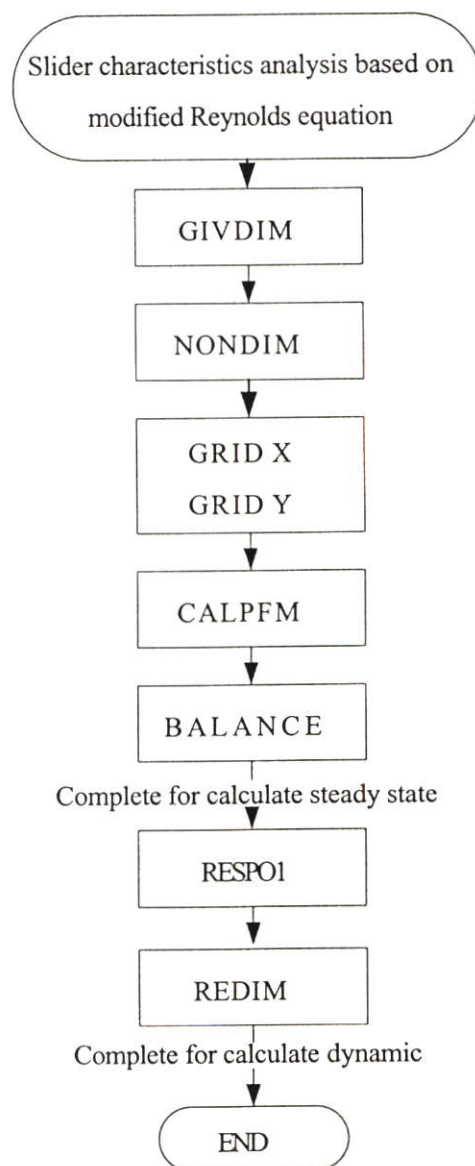
โปรแกรมย่อยของโปรแกรม CALPFM ดังรูปที่ 4.9 ในการคำนวณหาพฤติกรรมสถิตย์ของหัวอ่านมีดังนี้คือ

INIP	กำหนดค่าความดันเริ่มต้นในการคำนวณและความกำหนดค่าความดันขอบ
GETH	คำนวณความหนาฟิล์มหล่อลื่นหรือระยะการลอยตัวของหัวอ่านเหนือแผ่นดิสก์
CALRE	กระจายสมการ โมดิฟายด์เรย์โนลด์ที่ขึ้นอยู่กับเวลา
NRMAT	จัดเทอมต่างๆ ที่ได้จากการกระจายสมการ โมดิฟายด์เรย์โนลด์ให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์
LUDCMP	แก้เมตริกซ์เพื่อหาการกระจายความดัน
NEWP	หาผลต่างของค่าการกระจายความดันเก่าและการกระจายความดันใหม่ที่กำลังคำนวณได้ว่าผลต่างดังกล่าวยอมรับได้หรือไม่ให้ทำการคำนวณหาการกระจายความดันใหม่จนกระทั่งยอมรับได้

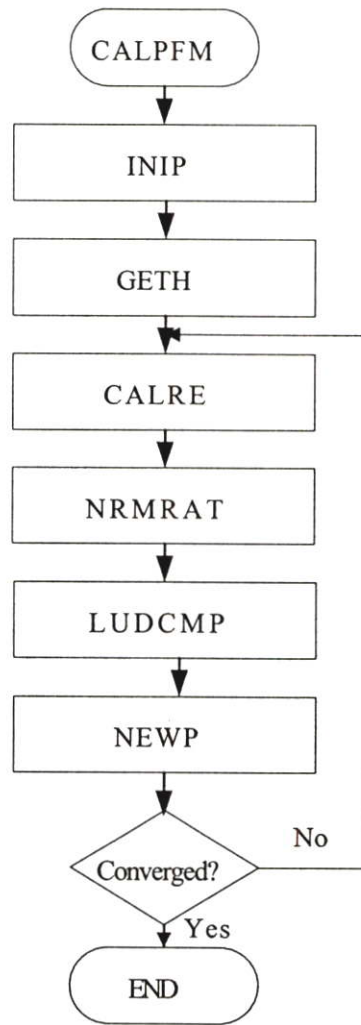
โปรแกรมย่อยของโปรแกรม RESPO1 ดังรูปที่ 4.10 ใช้คำนวณหาพฤติกรรมพลวัตของหัวอ่านโดยใช้วิธีโคเมนเวลามีดังนี้คือ

GETFXP	คำนวณหาแรงเนื่องจากความดันที่เกิดขึ้นและคำนวณหาค่าของตำแหน่งศูนย์กลางแรงเนื่องจากความดัน โดยใช้วิธีการอินทิเกรต
RUNGE	คำนวณหาทิศทางและตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของหัวอ่านที่มีผลต่อค่าความหนาฟิล์มอากาศ โดยใช้วิธีรุงเง-คุตดา

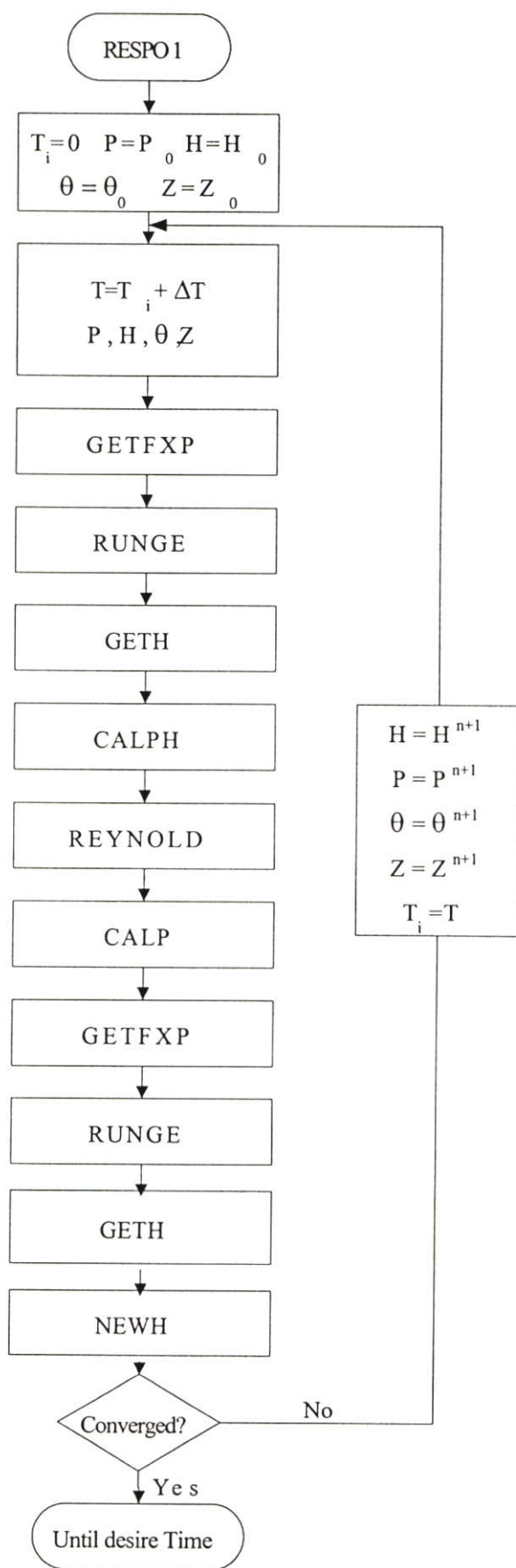
GETH	คำนวณหาความหนาฟิล์มอากาศเมื่อทราบค่าของมุมพิทช์ และระยะห่างของจุดศูนย์กลางของหัวอ่านและแผ่นดิสก์
CALPH	คำนวณหาผลคูณความดันและความหนาฟิล์มอากาศ
REYNOLD	แก้สมการ โมดิฟายด์เรย์โนลด์ เพื่อหาค่าผลคูณความดันใหม่และหาค่าความหนาฟิล์มอากาศใหม่เมื่อเวลาเปลี่ยนไป
CALP	คำนวณหาค่าความดันใหม่ที่เวลาเปลี่ยนไป
NEWH	หาผลต่างระหว่างค่าความหนาฟิล์มอากาศเก่า และค่าความหนาฟิล์มอากาศใหม่ แล้วตรวจสอบว่าผลต่างดังกล่าวยอมรับได้หรือไม่ ถ้าไม่ให้คำนวณหาค่าความหนาฟิล์มอากาศจนกระทั่งได้ค่าความหนาฟิล์มอากาศที่ยอมรับได้



รูปที่ 4.8 โครงสร้างโปรแกรมหลักคำนวณพฤติกรรมกลอยตัวของหัวอ่านภายใต้สมการ โมดิฟายด์เรย์โนลด์



รูปที่ 4.9 โครงสร้าง โปรแกรม CALPFM คำนวณพฤติกรรมสติกซ์การลอยตัวของหัวอ่าน



รูปที่ 4.10 โครงสร้างโปรแกรม RESPO 1 คำนวณพฤติกรรมพลวัตของหัวอ่านในโดเมนเวลา

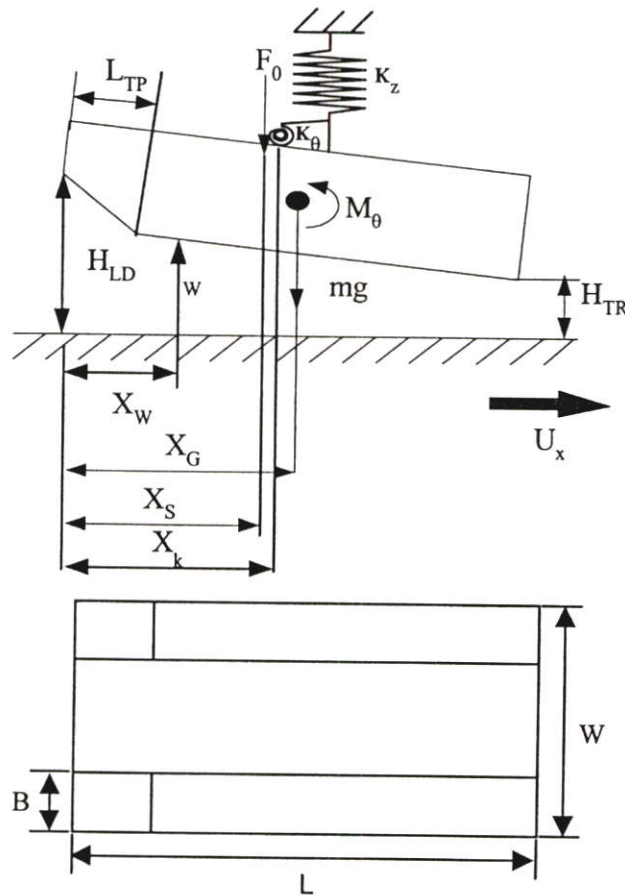
บทที่ 5

ผลการคำนวณ

ศึกษาหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดเรียวแบน โดยใช้วิธีการค้นหาทุกค่าร่วมกับโปรแกรมคณิตศาสตร์โบรเดน-เฟลทเซอร์-โกลด์เฟรบ-เซนโน และวิธีค้นหาเชิงเส้น เพื่อให้หัวอ่านมีความสมดุลที่สุดที่สภาวะทำงานสถิตย์ และหัวอ่านเข้าสู่สภาวะสมดุลเร็วที่สุดและมีเสถียรภาพดีที่สุดที่สภาวะทำงานพลวัตเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง ได้ผลการคำนวณดังต่อไปนี้

5.1 พฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านชนิด IBM 3380

หัวอ่านชนิด IBM 3380 เป็นหัวอ่านชนิดเรียวแบนชนิดหนึ่งที่ถูกผลิตผลิตจริง ซึ่งมีรูปร่างแสดงดังรูปที่ 5.1 ขนาดและค่าต่างของหัวอ่านชนิด IBM 3380 แสดงดังตารางที่ 5.1

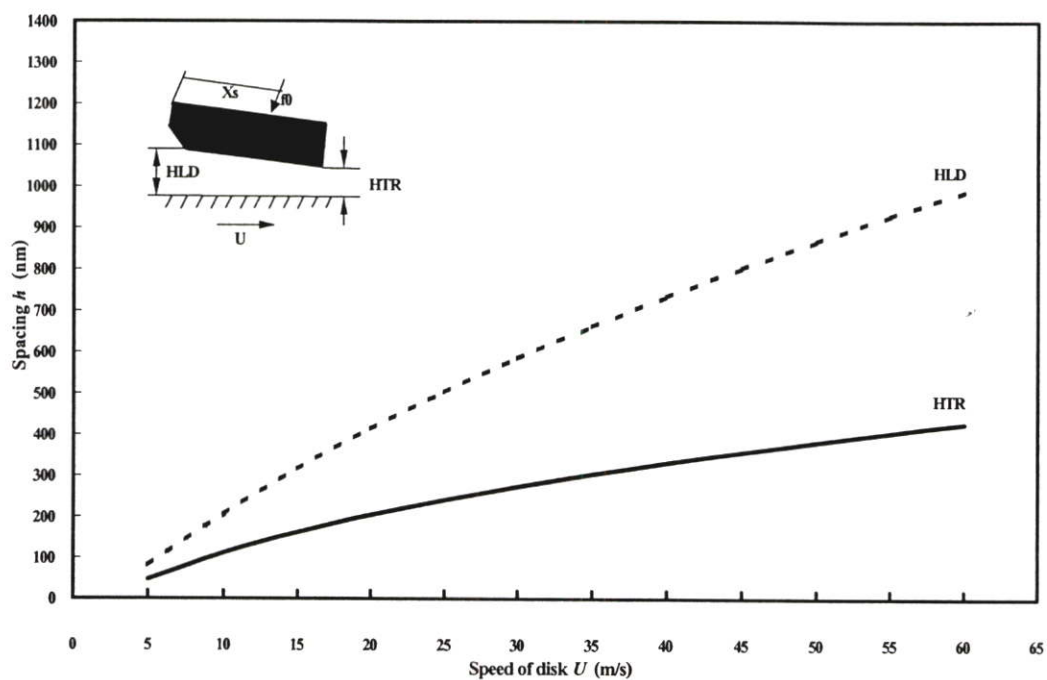


รูปที่ 5.1 รูปร่างของหัวอ่านชนิด IBM 3380

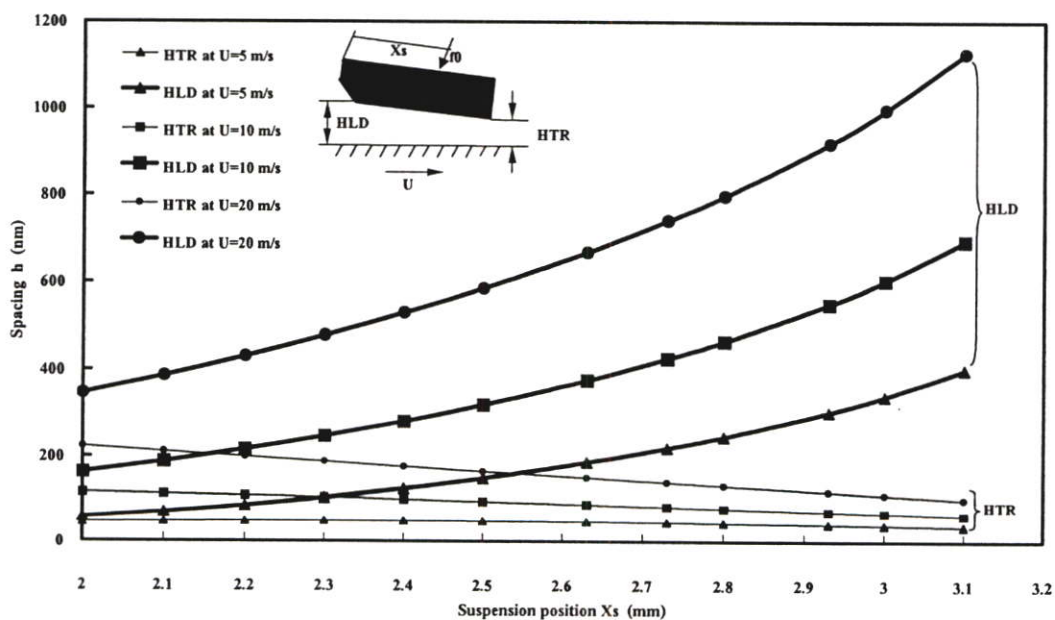
ตารางที่ 5.1 ขนาดและค่าต่าง ๆ ของหัวอ่านชนิด IBM 3380

ขนาด	IBM 3380
L	4.05 mm
B	0.50 mm
L_{TP}	0.368 mm
W	3.05 mm
θ	15.0 mrad
θ_{TP}	15.0 mrad
M	42.3 mg
h_a	50.0 nm
I_θ	$8.60 \times 10^{-11} \text{ N s}^2 \text{ m}$
k_z	0
c_z	0
k_θ	0
ω_0	377 rad/s
θ_a	0
f_0	147 mN
x_G	2.025 mm
x_S	2.162 mm

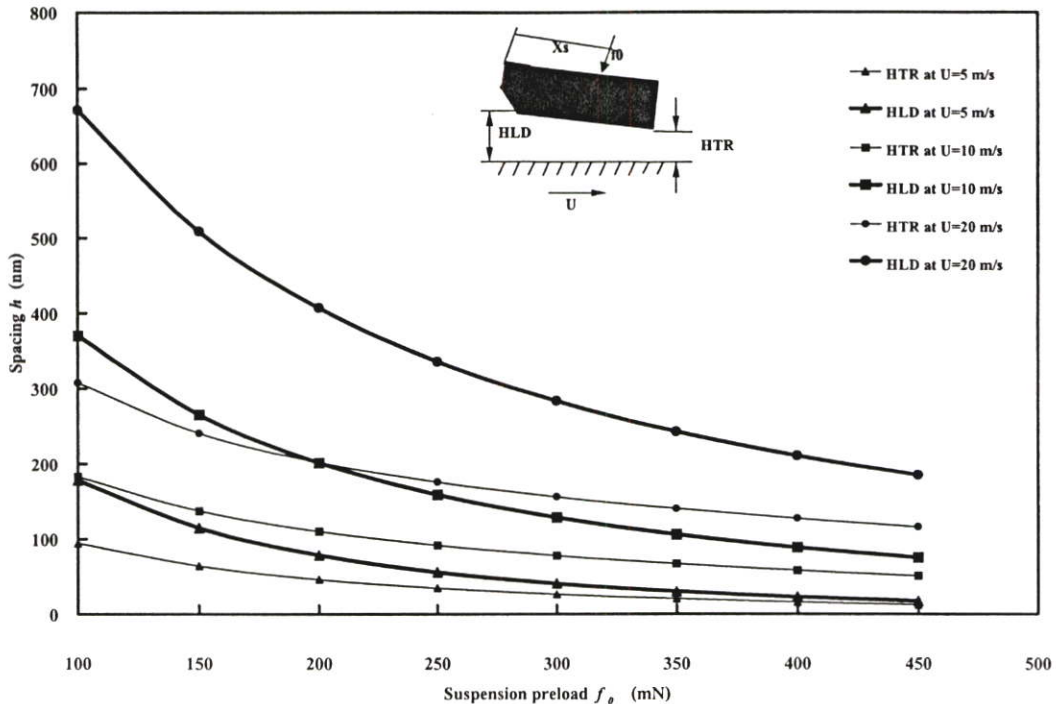
ในรูปที่ 5.2 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วของแผ่นดิสก์ที่สภาวะทำงานสถิตย์ จะเห็นว่าความเร็วของแผ่นดิสก์มีผลต่อระยะการลอยตัวของหัวอ่าน เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านเพิ่มขึ้นทั้งระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบนำและที่บริเวณขอบท้าย ระยะการลอยตัวของหัวอ่านเป็นสิ่งที่สำคัญต่อการอ่าน/เขียนข้อมูล โดยระยะการลอยตัวของหัวอ่านเหนือแผ่นดิสก์ควรมีค่าน้อยเพราะจะทำให้อ่าน/เขียนข้อมูลได้ดียิ่งขึ้น แต่ต้องมีระยะมากพอที่จะไม่ทำให้หัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์เพราะจะทำให้แผ่นดิสก์และหัวอ่านเสียหายได้



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 และความเร็วของแผ่นดิสก์



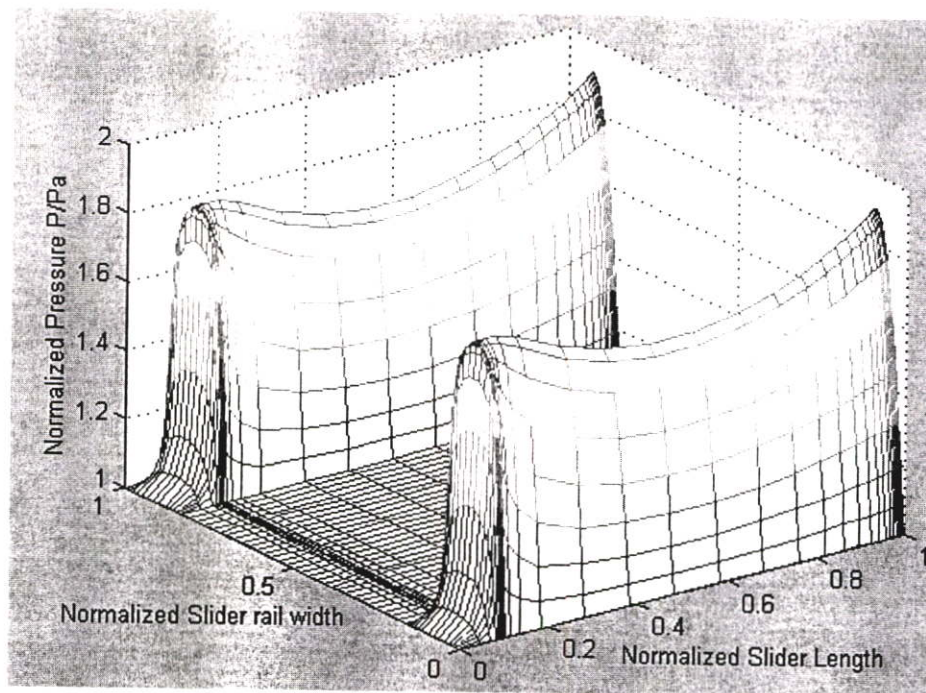
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 และระยะการจับยึดหัวอ่านพร้อมทั้งเปลี่ยนแปลงความเร็วของแผ่นดิสก์



รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 และขนาดของแรงที่กระทำบนหัวอ่านพร้อมทั้งเปลี่ยนแปลงความเร็วของแผ่นดิสก์

ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 ที่ลอยตัวเหนือแผ่นดิสก์จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อค่าของระยะการจับยึดหัวอ่านเปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในรูปที่ 5.3 โดยเมื่อระยะการจับยึดหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้นหรือจุดจับยึดเลื่อนเข้าใกล้บริเวณขอบท่ายมากขึ้น จะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่บริเวณขอบนำมีค่าสูงขึ้นและเมื่อค่าความเร็วของแผ่นดิสก์เพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบนำเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน สำหรับระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบท่ายจะมีค่าลดลงเมื่อระยะการจับยึดมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มค่าความเร็วของแผ่นดิสก์จะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่บริเวณขอบท่ายเพิ่มขึ้น จากผลดังกล่าวจะมีผลทำให้การลอยตัวของหัวอ่านเอียงมากขึ้น

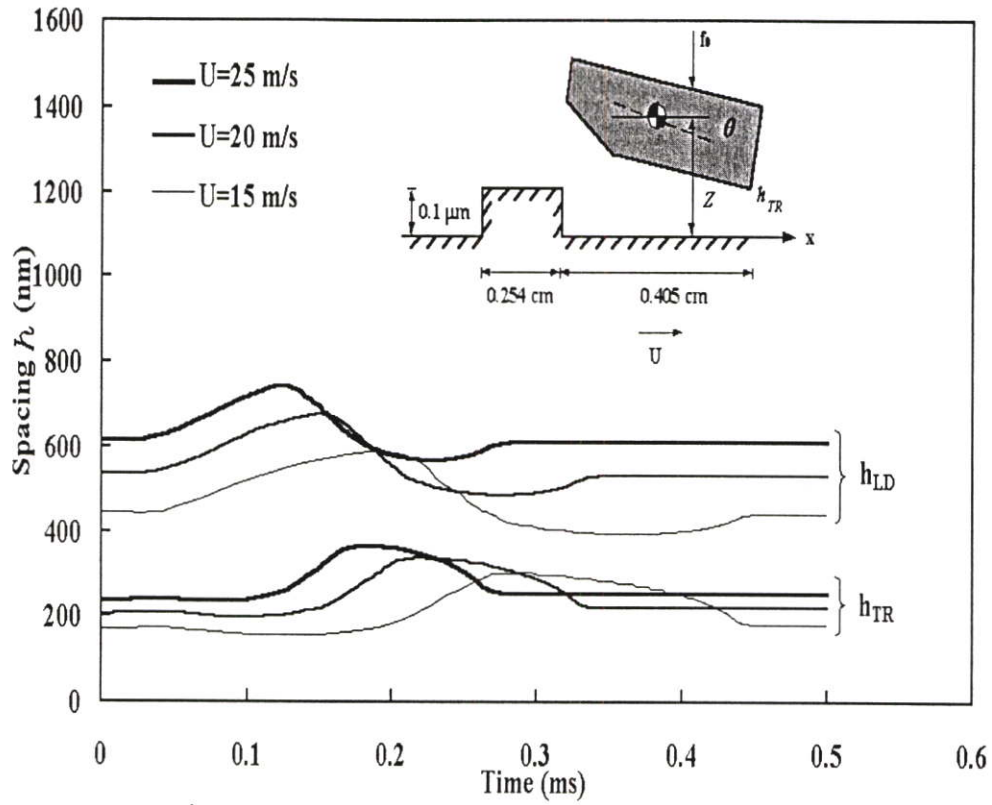
ในรูปที่ 5.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อขนาดของแรงที่กระทำต่อหัวอ่านมีค่าเปลี่ยนแปลงไป จะเห็นว่าเมื่อค่าของแรงที่กระทำต่อหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านมีค่าลดลงทั้งระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบนำและที่บริเวณขอบท่าย และเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้น จากผลดังกล่าวเมื่อแรงที่กระทำต่อหัวอ่านเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่บริเวณขอบนำและที่ขอบท่ายลดลง หัวอ่านจะอยู่ใกล้กับแผ่นดิสก์มากยิ่งขึ้น



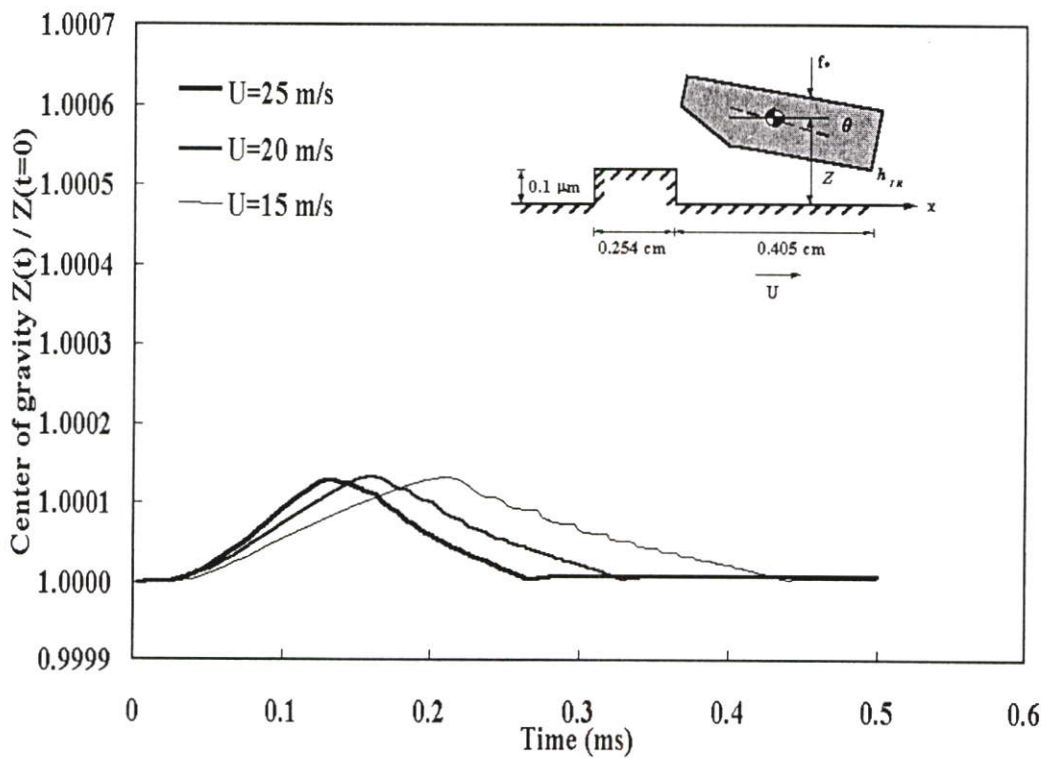
รูปที่ 5.5 การกระจายความดันบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 ที่ความเร็วแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s

ในรูปที่ 5.5 แสดงการกระจายความดันบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 ที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s จะเห็นว่าที่บริเวณขอบท้ายของหัวอ่านจะมีความดันสูงกว่าที่บริเวณขอบนำ ซึ่งค่าความแตกต่างของความดันดังกล่าวจะทำให้จุดศูนย์กลางของแรงเนื่องจากความดันไม่ตรงกับจุดศูนย์กลางของมวลของหัวอ่าน จะมีผลทำให้หัวอ่านเกิดความไม่สมดุล โดยการลอยตัวของหัวอ่านจะเกิดการเอียง

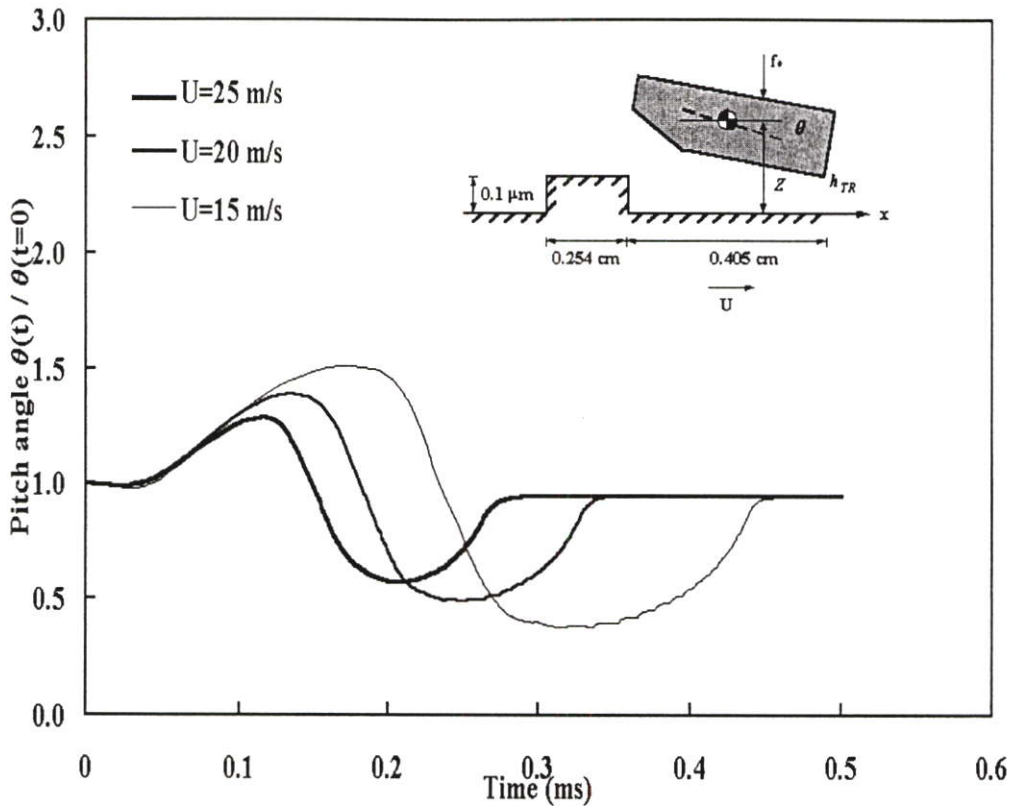
พฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านชนิด IBM 3380 ที่สภาวะการทำงานพลวัตรแสดงดังรูปที่ 5.6-5.8 เมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางจะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านและเสถียรภาพของหัวอ่านเปลี่ยนแปลงไป ในรูปที่ 5.6 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง เมื่อหัวอ่านเริ่มเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางระยะการลอยตัวของหัวอ่านจะเริ่มมีการแกว่งขึ้นลงและจะเข้าสู่สมดุลอีกครั้ง เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านภายหลังจากเข้าสู่สภาวะสมดุลเมื่อผ่านสิ่งกีดขวางมีค่าเพิ่มขึ้น และหัวอ่านสามารถปรับตัวเข้าสู่สมดุลได้เร็วขึ้นเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน



รูปที่ 5.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่าน สิ่งกีดขวาง



รูปที่ 5.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงระยะจุดศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง



รูปที่ 5.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงมุมพิทช์ของหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง

ในรูปที่ 5.7 แสดงระยะจุดศูนย์กลางมวลของหัวอ่านจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง โดยจะมีระยะจุดศูนย์กลางมวลเพิ่มขึ้นและจะมีค่าลดลงอีกครั้ง โดยจะมีค่าของระยะจุดศูนย์กลางมวลภายหลังที่เข้าสู่สภาวะสมดุลเพิ่มขึ้นจากระยะเดิมก่อนที่จะเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง และเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้หัวอ่านเข้าสู่สภาวะสมดุลเร็วขึ้น

จากรูปที่ 5.8 จะเห็นว่าเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางแล้วมุมพิทช์ของหัวอ่านที่ลอยตัวเหนือแผ่นดิสก์จะมีการแกว่งไปมาและจะเข้าสู่สภาวะสมดุลอีกครั้ง โดยค่ามุมพิทช์ของหัวอ่านเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับค่ามุมพิทช์ก่อนที่หัวอ่านจะเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้หัวอ่านสามารถปรับตัวเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น

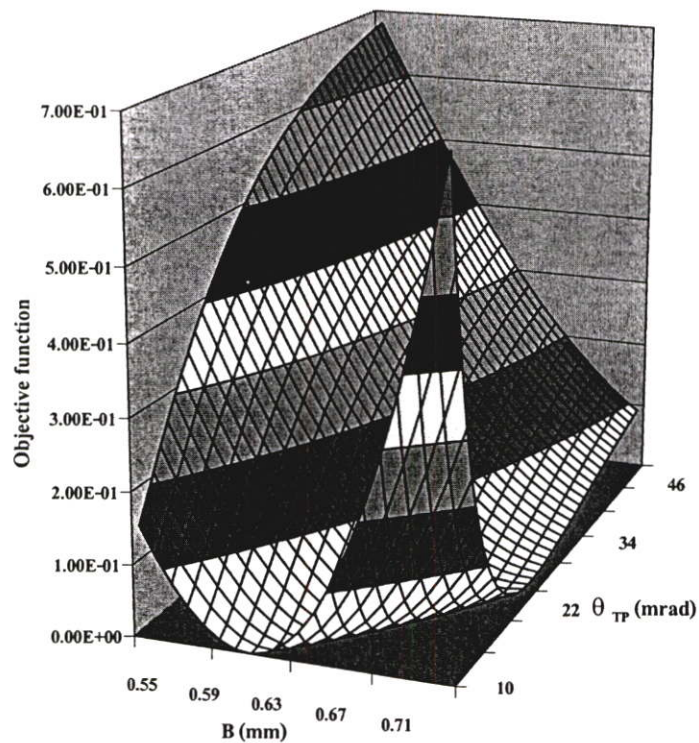
5.2 การคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่สภาวะทำงานสถิตย์

การขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดรีวแบนใช้วิธีการค้นหาทุกค่าร่วมกับโปรแกรมคณิตศาสตร์ของโบรเคน-เฟลทเซอร์-โกลด์เฟรบ-เซนโน และวิธีค้นหาเชิงเส้น เพื่อให้ได้หัวอ่านชนิดรีวแบนที่อยู่ในสภาวะสมดุลย์ที่สุดที่สภาวะทำงานสถิตย์ ขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดรีวแบนแสดงดังตารางที่ 5.2

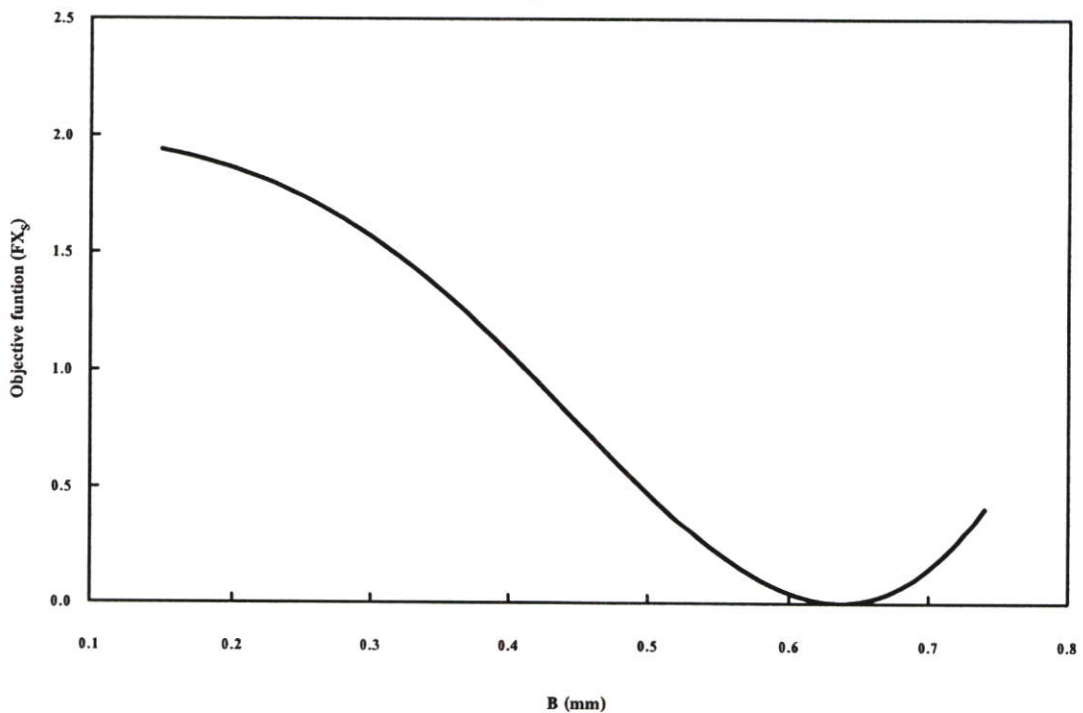
ตารางที่ 5.2 ขนาดและค่าต่าง ๆ ของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่สภาวะทำงานสถิตย์ที่ได้จากการใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

ขนาด	ตัวแปรในการออกแบบ	
	B และ θ_{TP}	B, θ_{TP} และ L_{TP}
L	4.05 mm	4.05 mm
B	0.64 mm	0.66 mm
L_{TP}	0.368 mm	0.248 mm
W	3.05 mm	3.05 mm
θ	15.0 mrad	15.0 mrad
θ_{TP}	12.61 mrad	14.64 mrad
M	42.3 mg	42.3 mg
H_a	50.0 nm	50.0 nm
I_θ	$8.60 \times 10^{-11} \text{ N s}^2 \text{ m}$	$8.60 \times 10^{-11} \text{ N s}^2 \text{ m}$
k_z	0	0
c_z	0	0
k_θ	0	0
ω_0	377 rad/s	377 rad/s
θ_a	0	0
f_0	147 mN	147 mN
x_G	2.025 mm	2.025 mm
x_S	2.162 mm	2.162 mm
U_D (ความเร็วของแผ่นดิสก์)	5 m/s	5 m/s
FX_S (ค่าสมการเป้าหมาย)	5.4166×10^{-6}	1.8045×10^{-9}

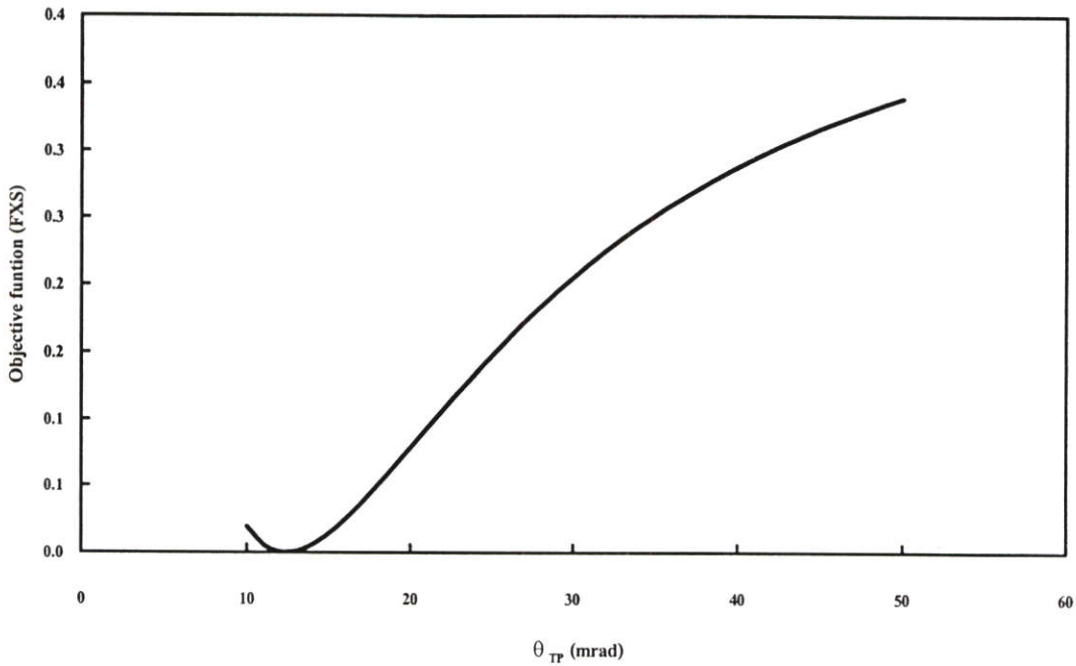
5.2.1 หัวอ่านชนิดเรียบแบนที่มีค่าความกว้างของรางหัวอ่าน(B) และมุมราบเอียง(θ_{TP}) เป็นตัวแปรในการออกแบบ



รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของสมการเป้าหมายและค่าตัวแปรในการออกแบบในสถานะทำงานสถิตย์ ที่มี B และ θ_{TP} เป็นตัวแปรในการออกแบบ



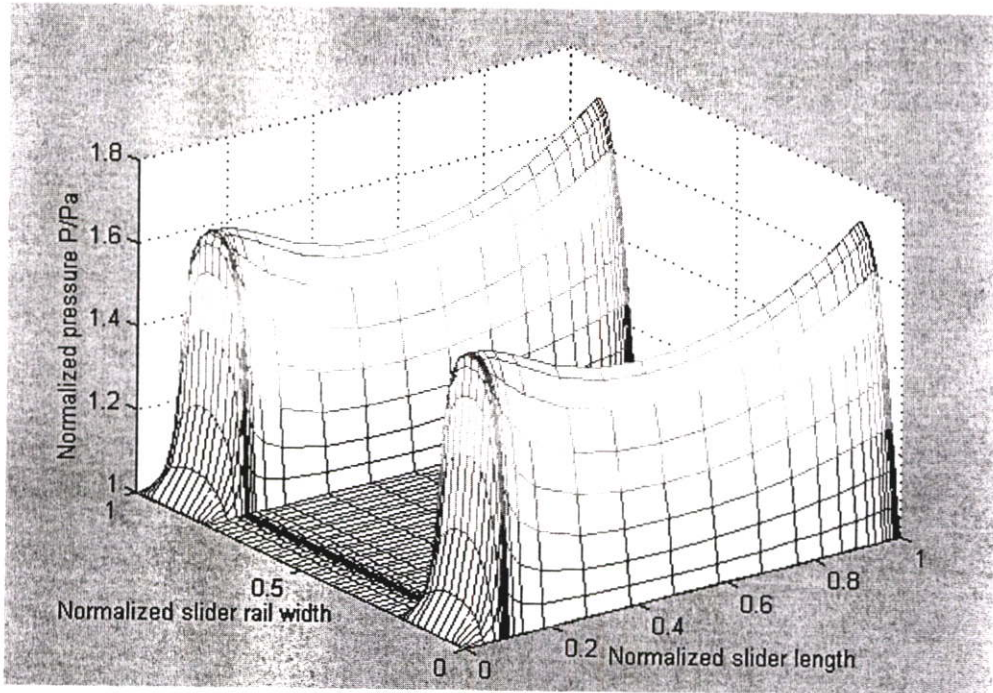
รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมการเป้าหมายและค่าความกว้างของรางของหัวอ่านในสถานะทำงานสถิตย์ ที่ $\theta_{TP} = 12.61$ mrad



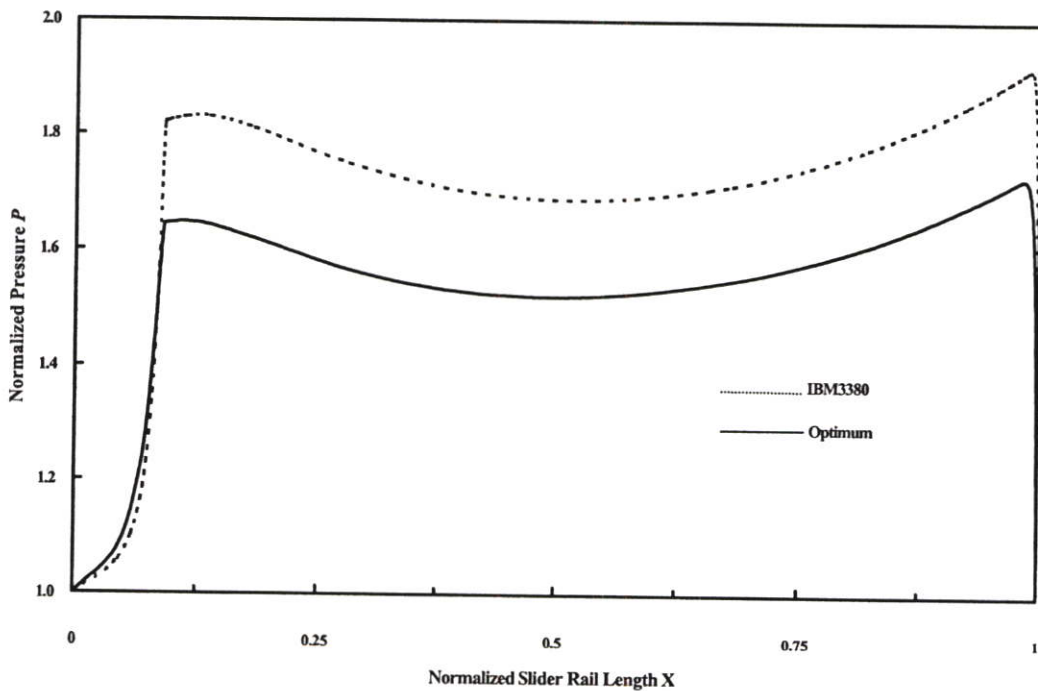
รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมการเป้าหมายและค่ามุมราบเอียงของหัวอ่านในสถานะทำงานสถิติที่ $B = 0.64$ mm

จากรูปที่ 5.9-5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมการเป้าหมายและค่าตัวแปรในการออกแบบจะเห็นว่ากราฟจะมีจุดกักกลับเพียงจุดเดียว โดยค่าสมการเป้าหมายเท่ากับ 5.4166×10^{-6} มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ที่ค่าความกว้างของรางหัวอ่านเท่ากับ 0.64 mm และค่ามุมราบเอียงเท่ากับ 12.61 mrad หลังจากนั้นทำการศึกษาพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านดังกล่าวแล้วทำการเปรียบเทียบกับหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะได้ผลดังที่แสดงในรูปที่ 5.12-5.25

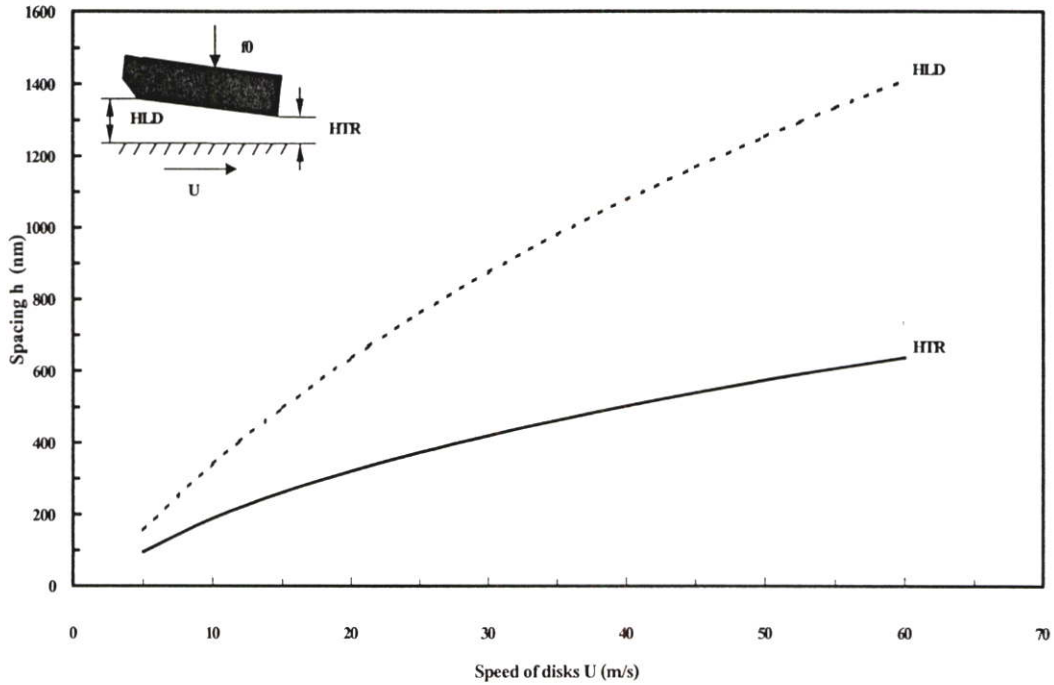
รูปที่ 5.12-5.13 แสดงการกระจายความดันของหัวอ่านชนิดเรียวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม จะเห็นว่าค่าความดันจะเกิดขึ้นที่บริเวณขอบท้ายมากกว่าที่บริเวณขอบนำ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าความดันของหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะพบว่าค่าความดันของหัวอ่านชนิดเรียวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.64$ mm, $\theta_{TP}=12.61$ mrad) มีค่าน้อยกว่า



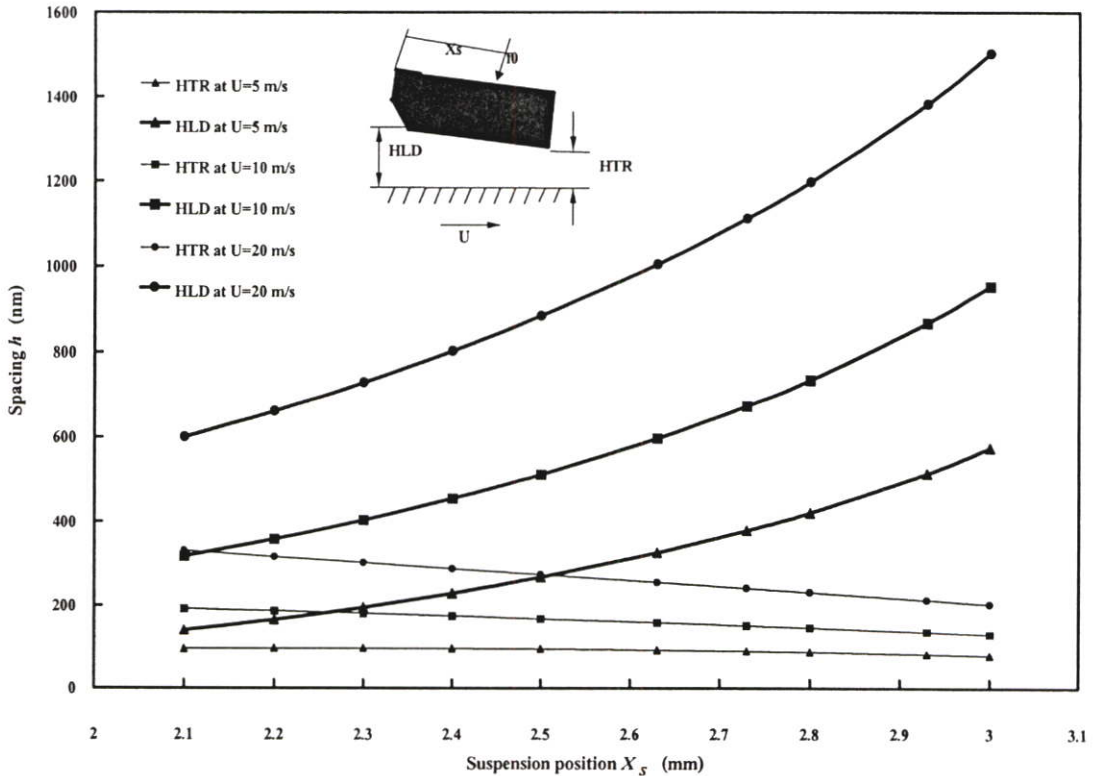
รูปที่ 5.12 แสดงการกระจายความดันบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.64$ mm, $\theta_{TP}=12.61$ mrad)



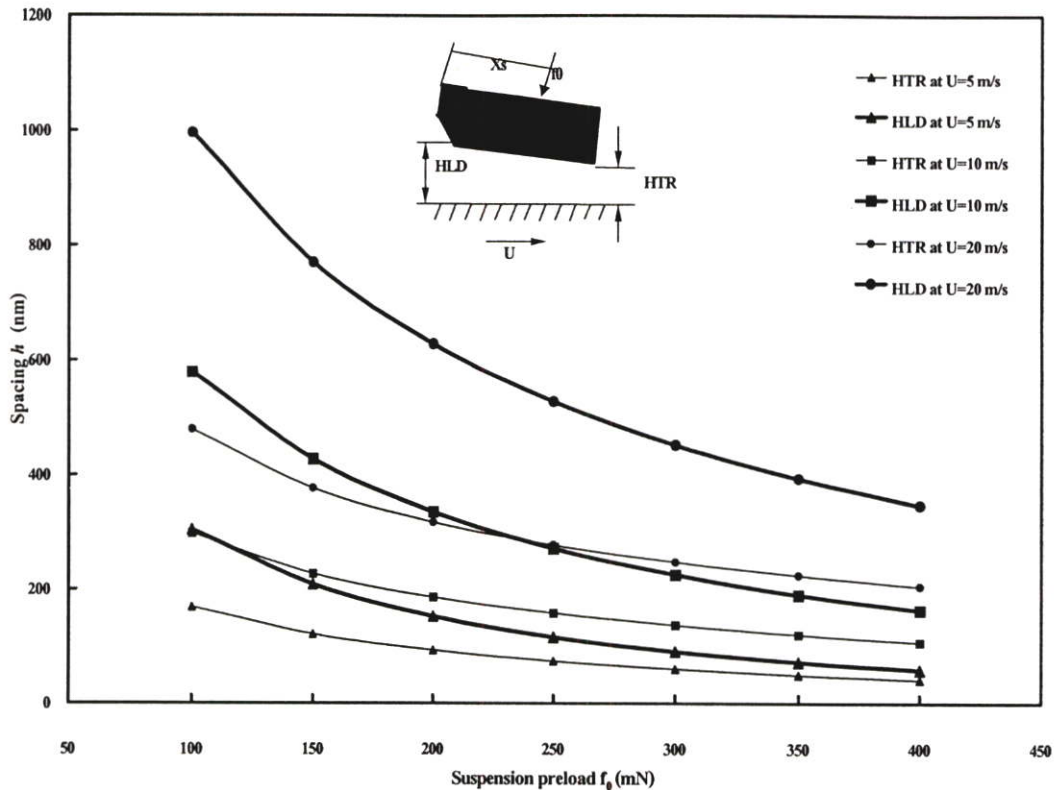
รูปที่ 5.13 เปรียบเทียบผลการกระจายความดันที่กึ่งกลางรางตามแนวความยาวของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.64$ mm, $\theta_{TP}=12.61$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380



รูปที่ 5.14 ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.64$ mm, $\theta_{TP}=12.61$ mrad) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วของแผ่นดิสก์

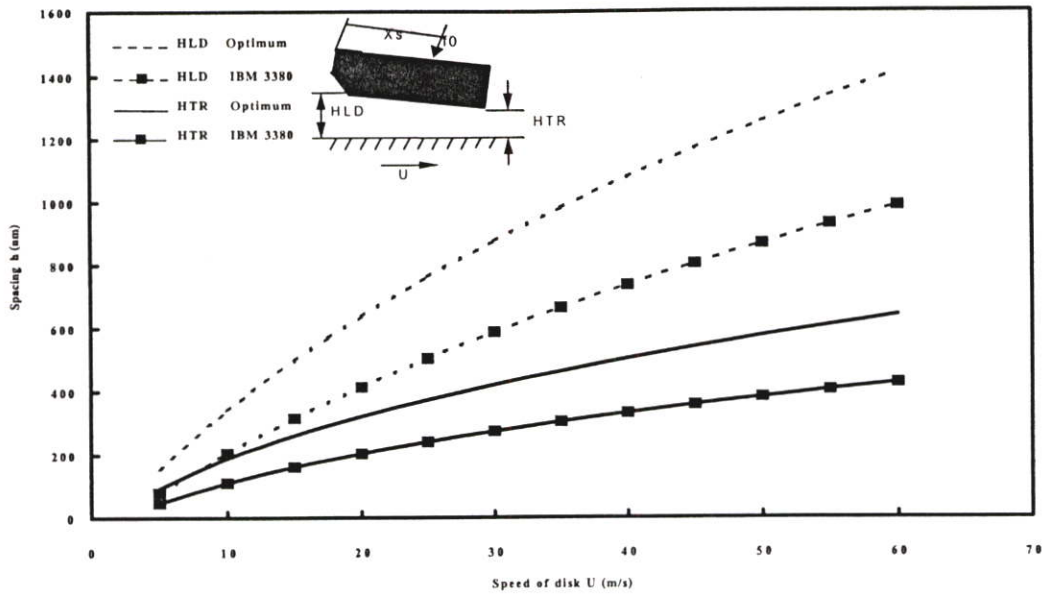


รูปที่ 5.15 ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.64$ mm, $\theta_{TP}=12.61$ mrad) เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะจับยึดหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์

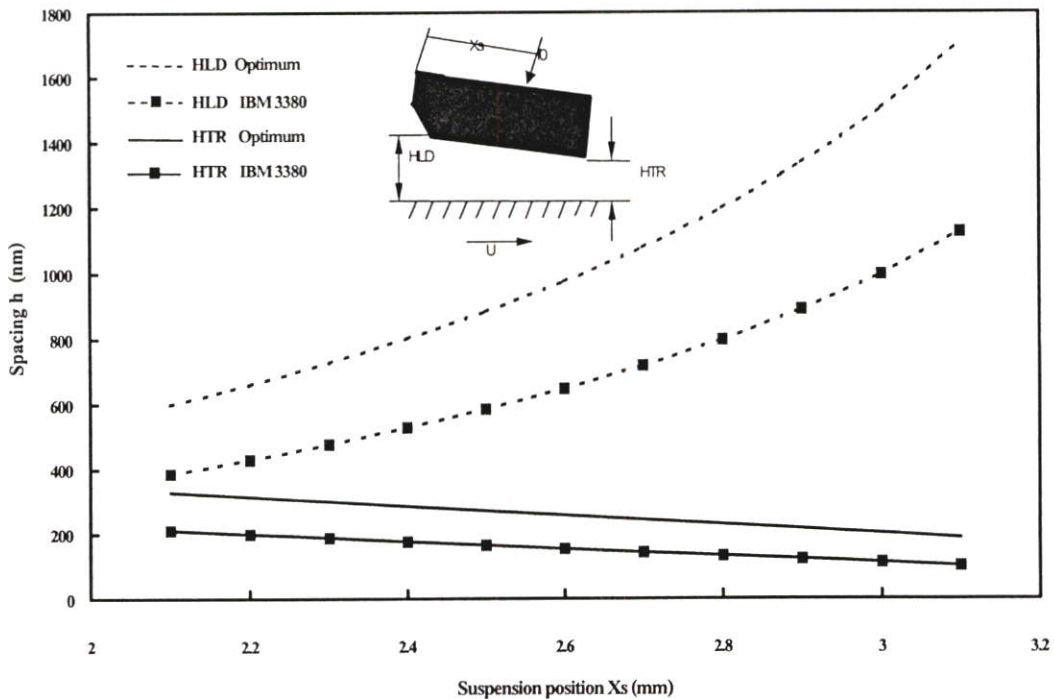


รูปที่ 5.16 ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.64$ mm, $\theta_{TP}=12.61$ mrad) เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดแรงที่กระทำบนหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์

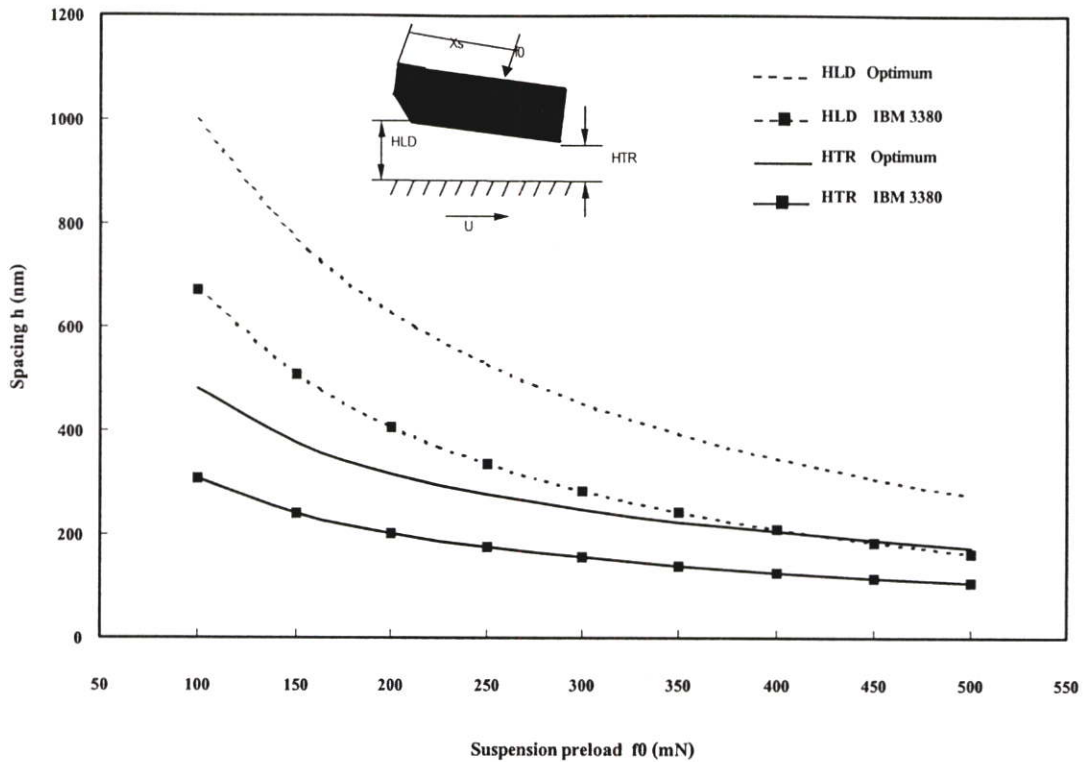
ในรูปที่ 5.14 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม พบว่าเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านทั้งที่บริเวณขอบนำและบริเวณขอบท้ายมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน รูปที่ 5.15 แสดงการเปลี่ยนระยะการจับยึดของหัวจะมีผลต่อระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม โดยเมื่อระยะการจับยึดเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการลอยที่บริเวณของนำเพิ่มขึ้น แต่ระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบท้ายจะลดลงเมื่อระยะการจับยึดหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านทั้งบริเวณขอบนำและขอบท้ายเพิ่มขึ้น ในรูปที่ 5.16 แสดงผลของขนาดของแรงที่กระทำต่อหัวอ่านที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.64$ mm, $\theta_{TP}=12.61$ mrad) พบว่าเมื่อค่าของแรงที่กระทำต่อหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านมีค่าลดลงทั้งที่บริเวณขอบนำและบริเวณขอบท้าย



รูปที่ 5.17 เปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านระหว่างหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.64$ mm, $\theta_{TP}=12.61$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วของแผ่นดิสก์

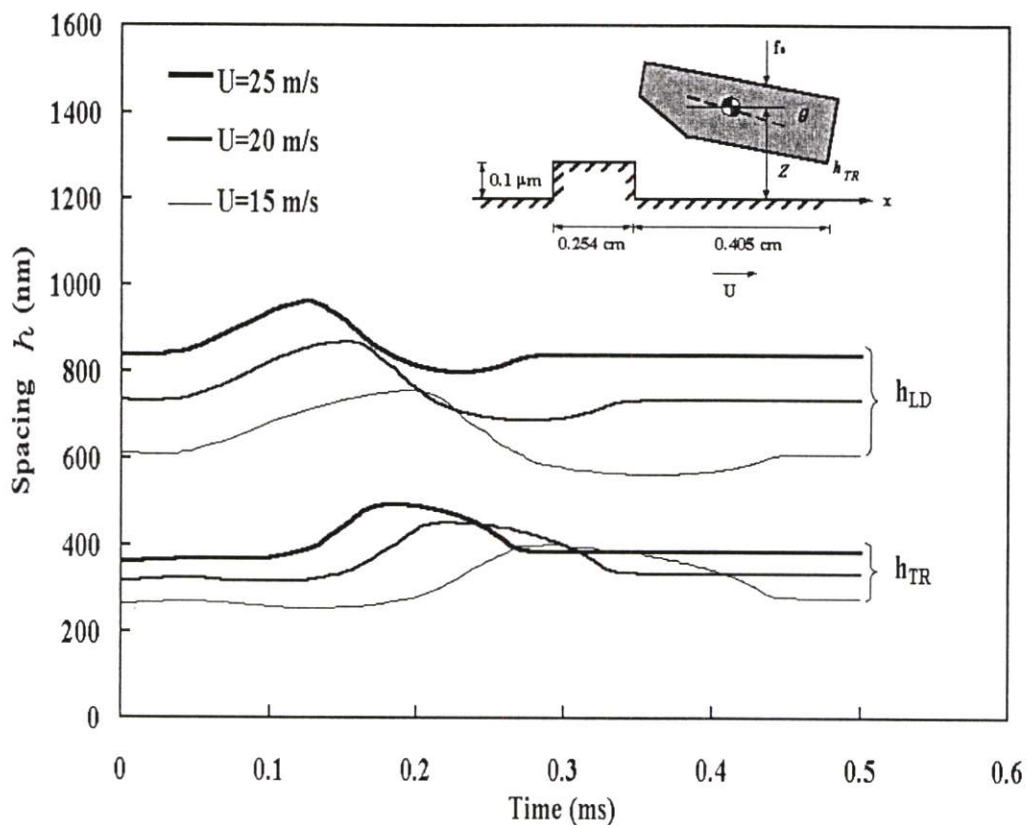


รูปที่ 5.18 เปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านระหว่างหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.64$ mm, $\theta_{TP}=12.61$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะการจับยึดหัวอ่าน ที่ความเร็วแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s

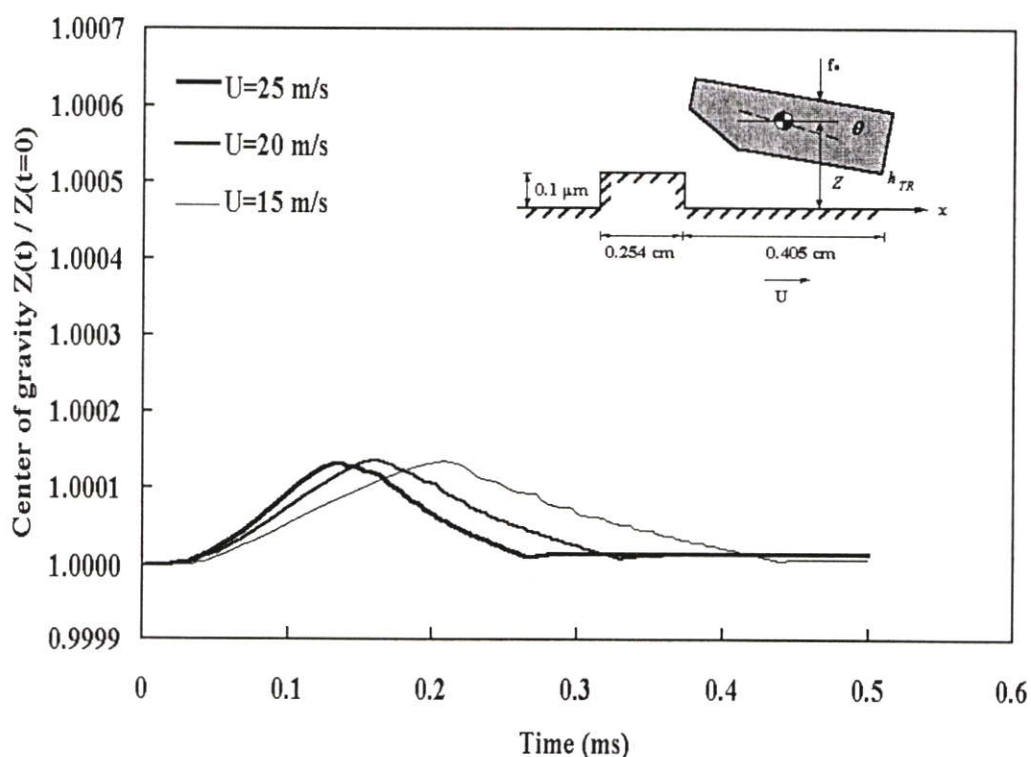


รูปที่ 5.19 เปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านระหว่างหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.64$ mm, $\theta_{TP}=12.61$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าแรงที่กระทำต่อหัวอ่าน ที่ความเร็วแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s

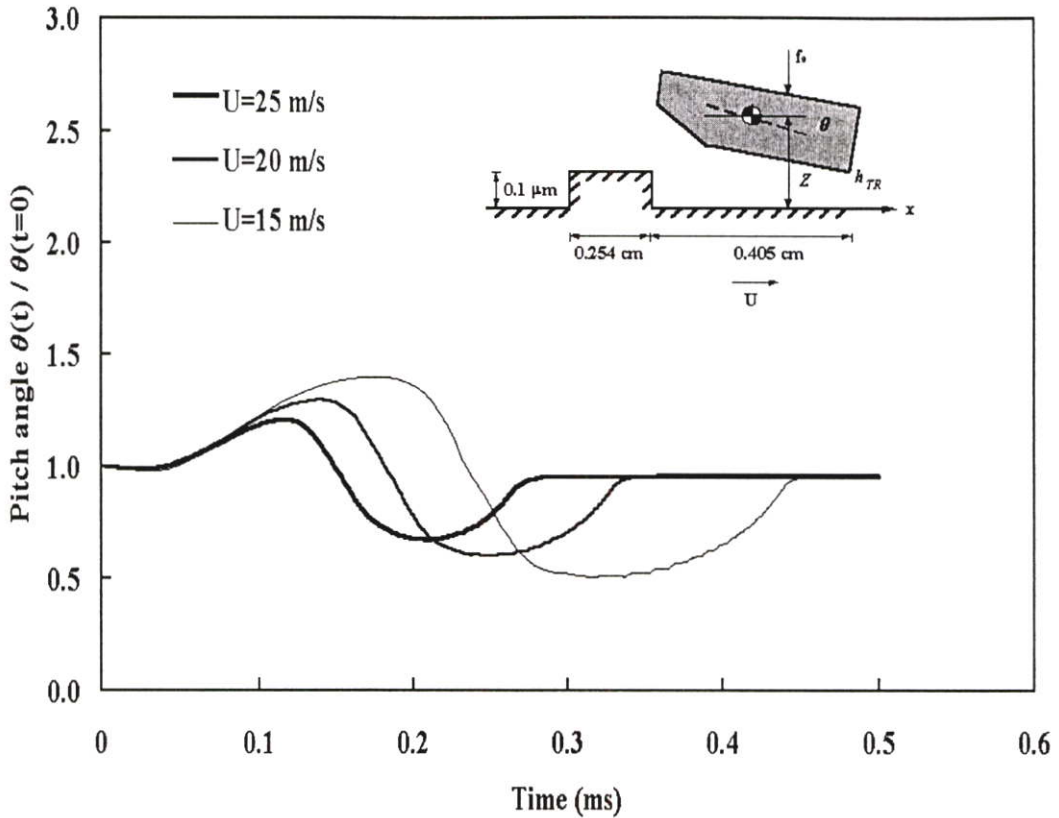
จากรูปที่ 5.17-5.19 เป็นการเปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.64$ mm, $\theta_{TP}=12.61$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะได้ว่าระยะการลอยตัวของหัวอ่านของชนิด IBM 3380 จะมีค่าน้อยกว่าหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม โดยระยะการลอยตัวของหัวอ่านทั้งสองจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.17 เมื่อค่าระยะการจับยึดของหัวอ่านเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 5.18 และเมื่อค่าของแรงกระทำบนหัวอ่านเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านลดลงทั้งที่บริเวณขอบนำและบริเวณขอบท้ายดังรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.20 การเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.64 \text{ mm}$, $\theta_{TP}=12.61 \text{ mrad}$) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง

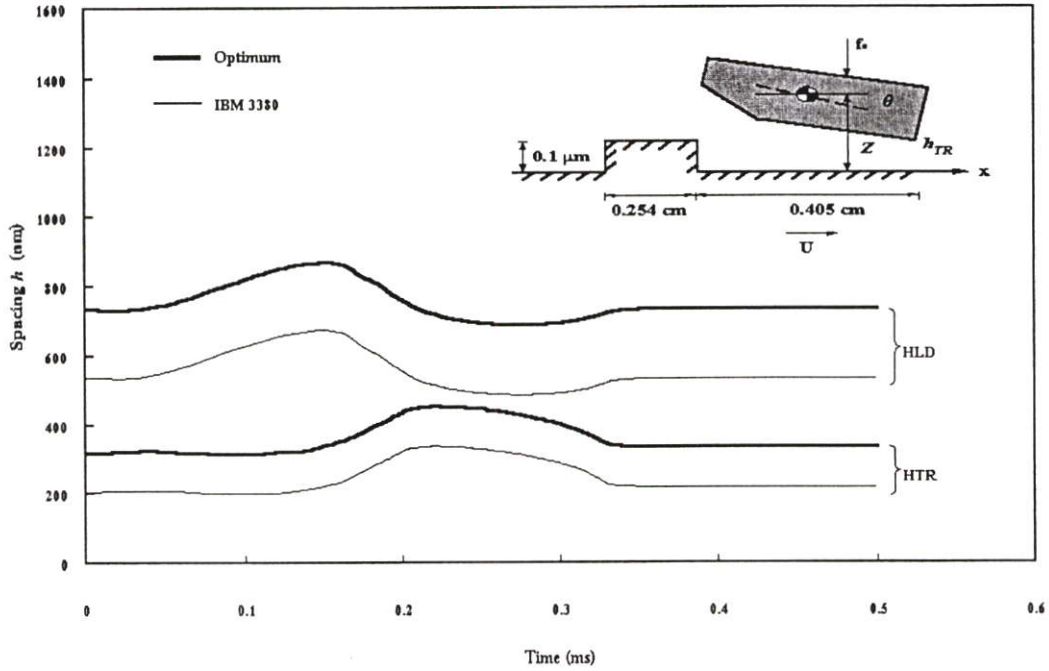


รูปที่ 5.21 การเปลี่ยนแปลงระยะจุดศูนย์กลางมวลหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.64 \text{ mm}$, $\theta_{TP}=12.61 \text{ mrad}$) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง

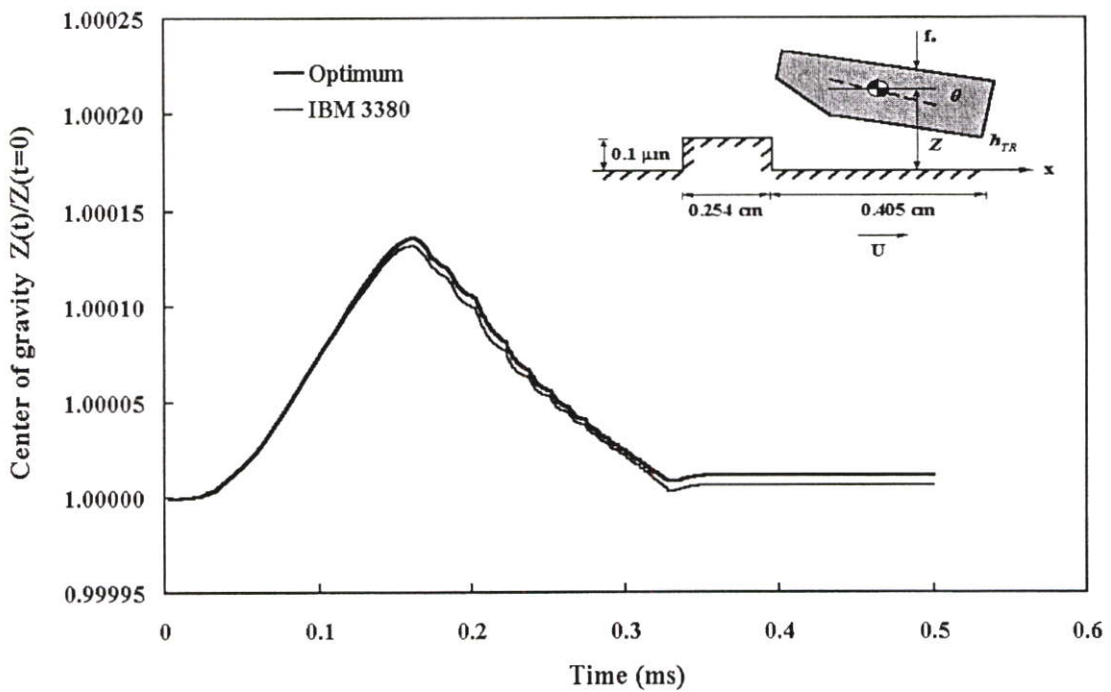


รูปที่ 5.22 การเปลี่ยนแปลงค่ามุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.64$ mm, $\theta_{TP}=12.61$ mrad) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง

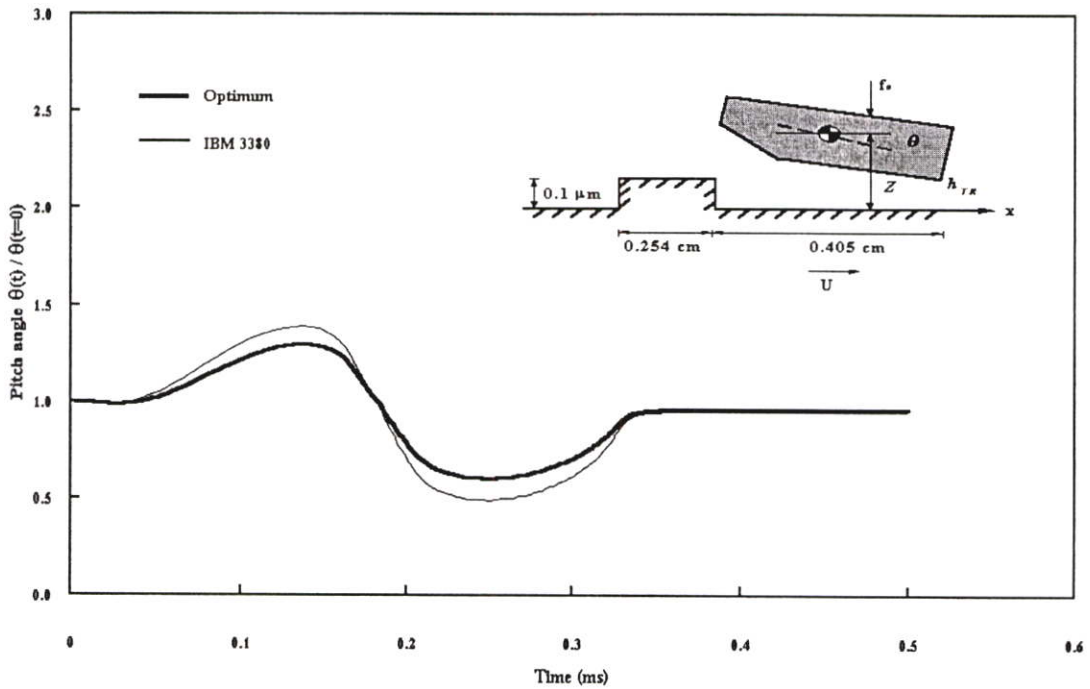
จากรูปที่ 5.20-5.22 แสดงพฤติกรรมการทำงานที่สภาวะพลวัตของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม รูปที่ 5.20 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง พบว่าเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางแล้วระยะการลอยตัวของหัวอ่านจะแกว่ง โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นแล้วค่อย ๆ ลดลงเข้าสู่สมดุลย์ เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นระยะการลอยตัวจะเพิ่มขึ้นและหัวอ่านสามารถปรับตัวเข้าสู่สภาวะสมดุลย์ได้เร็วขึ้น รูปที่ 5.21 แสดงการเปลี่ยนค่าระยะศูนย์กลางมวลของหัวอ่านเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง พบว่าระยะศูนย์กลางมวลจะมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงเข้าสู่สมดุลย์อีกครั้ง ระยะศูนย์กลางมวลภายหลังที่เข้าสู่สมดุลย์จะมีค่ามากกว่าระยะศูนย์กลางมวลก่อนที่หัวอ่านจะเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง และเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นพบว่าหัวอ่านสามารถปรับตัวเข้าสู่สมดุลย์ได้เร็วขึ้น รูปที่ 5.22 แสดงการเปลี่ยนค่ามุมพิทช์เมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่สิ่งกีดขวาง โดยค่าของมุมพิทช์จะแกว่งไปมาเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง และจะเข้าสู่สมดุลย์อีกครั้ง ค่าของมุมพิทช์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าของมุมพิทช์ก่อนที่หัวอ่านจะเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง และเมื่อค่าความเร็วเพิ่มขึ้นจะทำให้หัวอ่านสามารถปรับตัวเข้าสู่สมดุลย์ได้เร็วยิ่งขึ้น



รูปที่ 5.23 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.64$ mm, $\theta_{TP}=12.61$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง ที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s



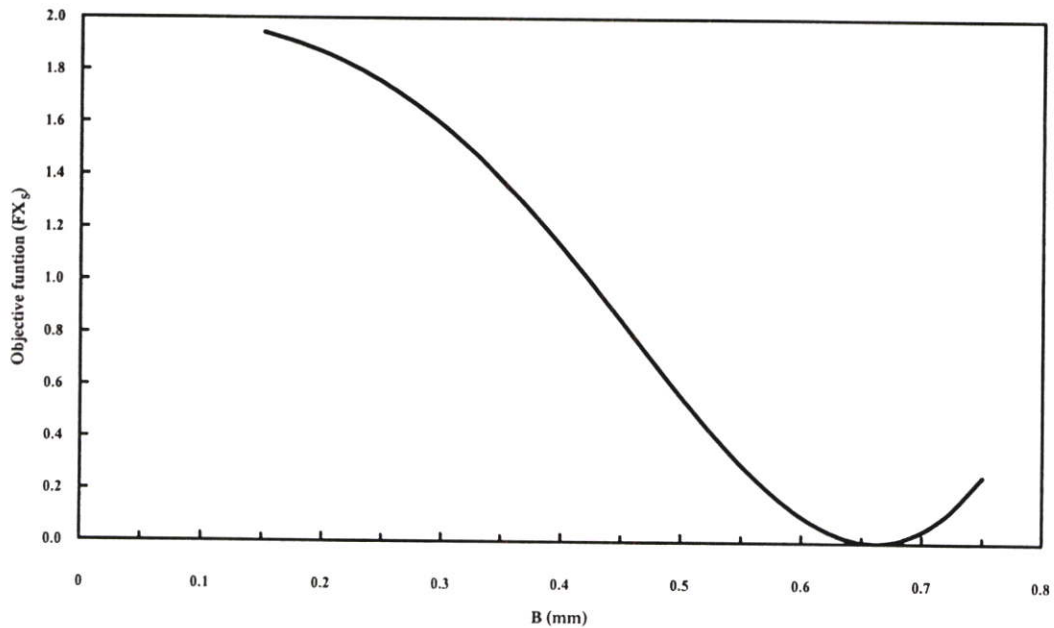
รูปที่ 5.24 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระยะศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.64$ mm, $\theta_{TP}=12.61$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง ที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s



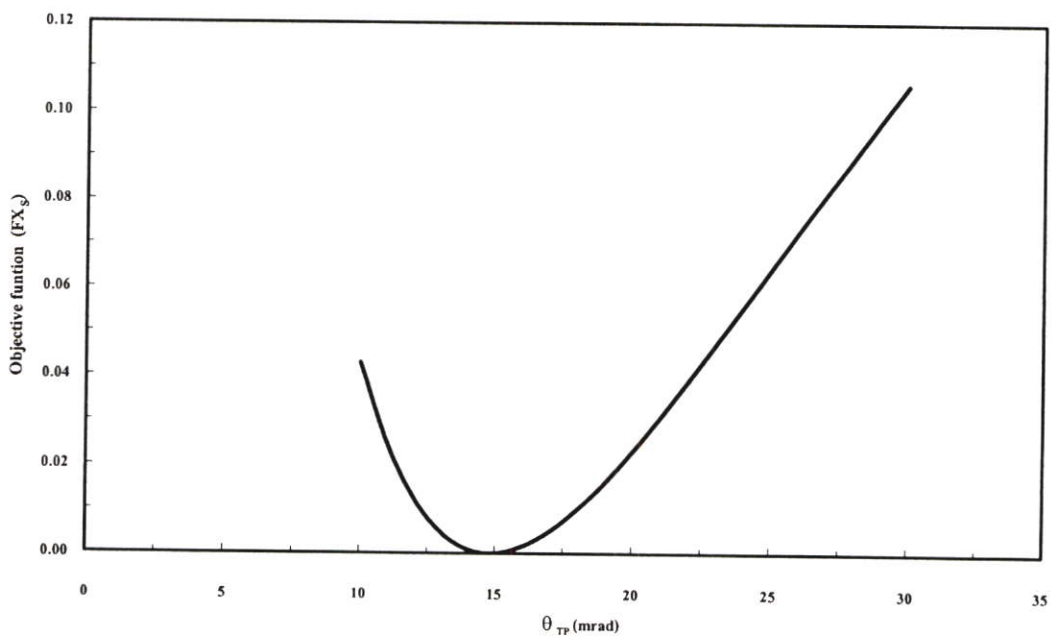
รูปที่ 5.25 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่ามุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.64 \text{ mm}$, $\theta_{TP}=12.61 \text{ mrad}$) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง ที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s

รูปที่ 5.23-5.25 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมพลวัตของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมกับหัวอ่านชนิด IBM 3380 จากรูปที่ 5.23 จะเห็นว่าที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s ระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีค่ามากกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 แต่จะเข้าสู่สมดุลได้เร็วกว่า ในรูปที่ 5.24 แสดงการเปลี่ยนแปลงระยะศูนย์กลางมวลที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง โดยระยะศูนย์กลางมวลของหัวอ่านทั้งสองแตกต่างกันไม่มากนัก และหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมจะปรับตัวเข้าสู่สมดุลได้ดีกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 จากรูปที่ 5.25 พบว่าค่าของมุมพิทช์ของหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะแกว่งมากกว่าหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม โดยค่าของมุมพิทช์ของหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะมีค่ามากกว่าค่าของมุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม แต่ระยะเวลาในการปรับตัวเข้าสู่สภาวะสมดุลของหัวอ่านทั้งสองไม่แตกต่างกัน

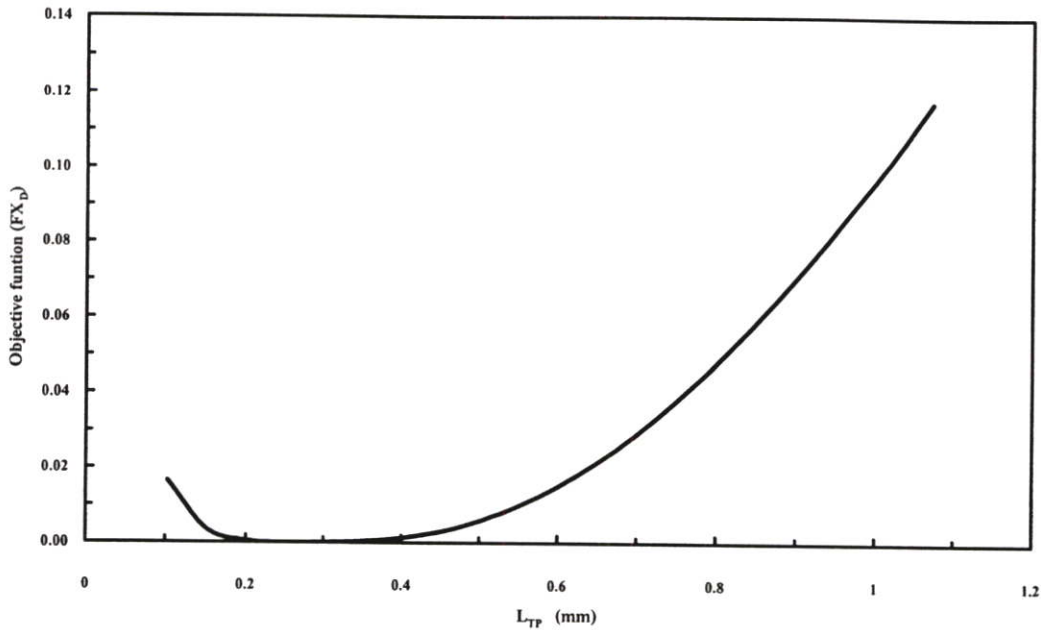
5.2.2 พฤติกรรมของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีค่าความกว้างของรางหัวอ่าน(B) มุมราบเอียง (θ_{TP}) และ ระยะของมุมราบเอียง(L_{TP}) เป็นตัวแปรในการออกแบบ



รูปที่ 5.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมการเป้าหมายและค่าความกว้างของรางของหัวอ่านในสภาวะทำงานสถิตย์ที่ $\theta_{TP} = 14.64$ mrad และ $L_{TP} = 0.248$ mm



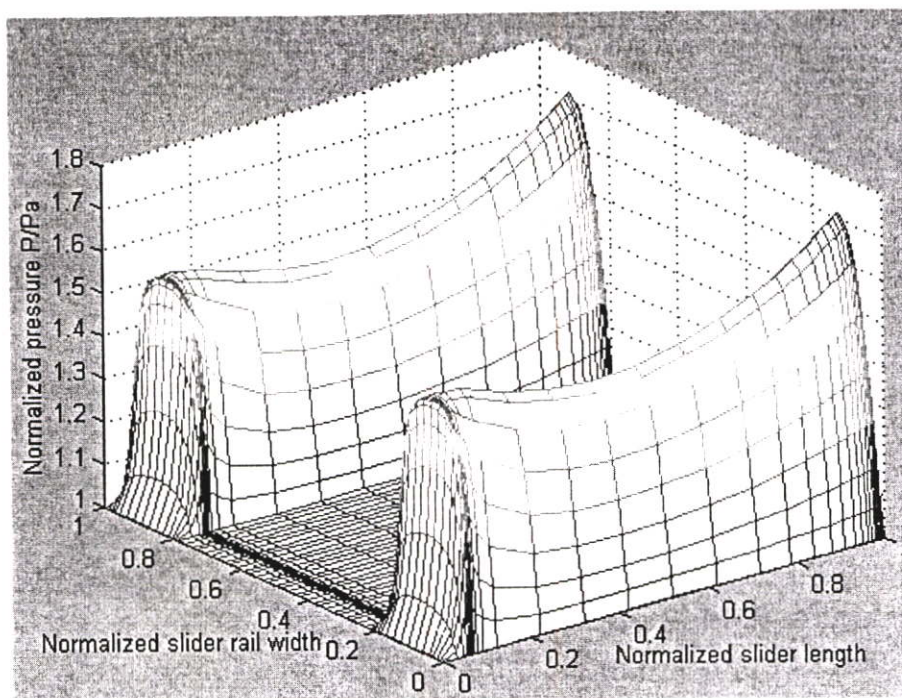
รูปที่ 5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมการเป้าหมายและค่ามุมราบเอียงของหัวอ่านในสภาวะทำงานสถิตย์ที่ $B = 0.66$ mm และ $L_{TP} = 0.248$ mm



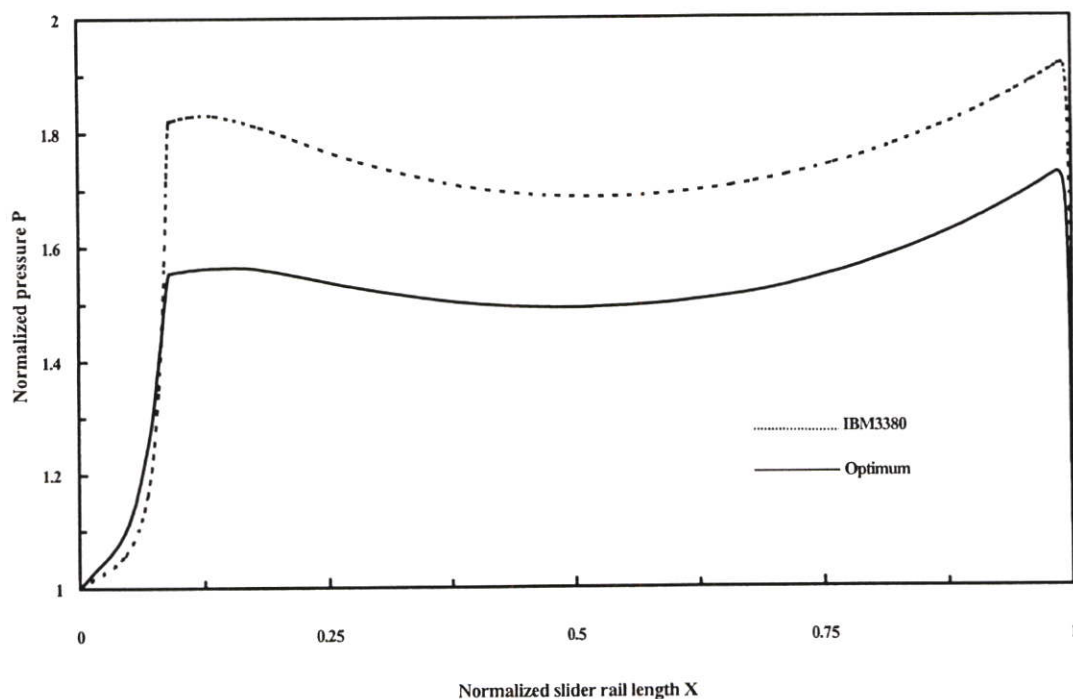
รูปที่ 5.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมการเป้าหมายและค่าระยะของมุมราบเอียงของหัวอ่าน ในสภาวะทำงานสถิตย์ ที่ $B = 0.66$ mm และ $\theta_{TP} = 14.64$ mrad

จากรูปที่ 5.26-5.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมการเป้าหมายและตัวแปรในการออกแบบ จากการใช้วิธีค่าที่เหมาะสมที่สุดจะได้ ค่าความกว้างราง(B)เท่ากับ 0.66 mm ค่ามุมเอียง (θ_{TP}) เท่ากับ 14.64 mrad และระยะของมุมเอียง(L_{TP}) เท่ากับ 0.248 mm โดยค่าสมการเป้าหมายมีค่าเท่ากับ 1.8045×10^{-9} จะเห็นว่าค่าของสมการเป้าหมายมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งจะทำให้หัวอ่านทำงานอยู่ในสภาวะสมดุลมากยิ่งขึ้นเมื่อค่าของสมการเป้าหมายมีค่าเข้าใกล้ศูนย์มาก ๆ เมื่อได้ขนาดของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มี B , θ_{TP} และ L_{TP} เป็นตัวแปรในการออกแบบ แล้วทำการศึกษาพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับหัวอ่านชนิด IBM 3380

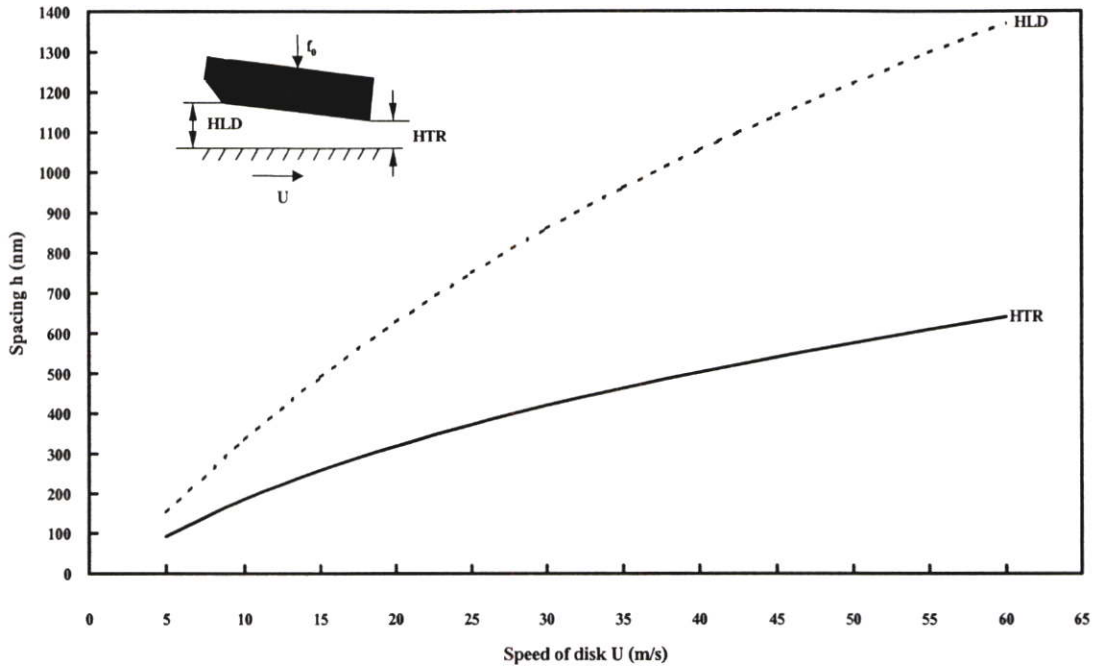
ในรูปที่ 5.29 แสดงการกระจายความดันของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม จะเห็นว่าค่าความดันของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มี B , θ_{TP} และ L_{TP} เป็นตัวแปรในการออกแบบ จะมีค่าความดันสูงที่บริเวณขอบซ้ายทำให้การลอยตัวของหัวอ่านเอียง จากรูปที่ 5.30 จะได้ว่าค่าความดันที่กึ่งกลางรางตามแนวความยาวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีค่าน้อยกว่าความดันที่ได้จากหัวอ่านชนิด IBM 3380 เป็นผลเนื่องจากระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสมมีระยะการลอยตัวสูงกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380



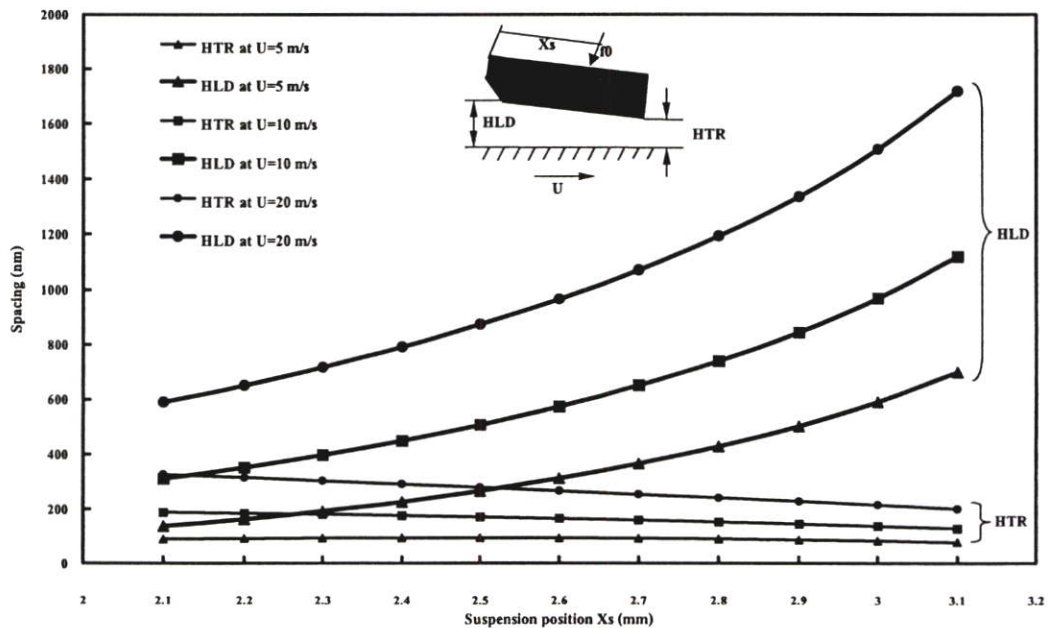
รูปที่ 5.29 แสดงการกระจายความดันบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.66$ mm, $\theta_{TP} = 14.64$ mrad และ $L_{TP} = 0.248$ mm)



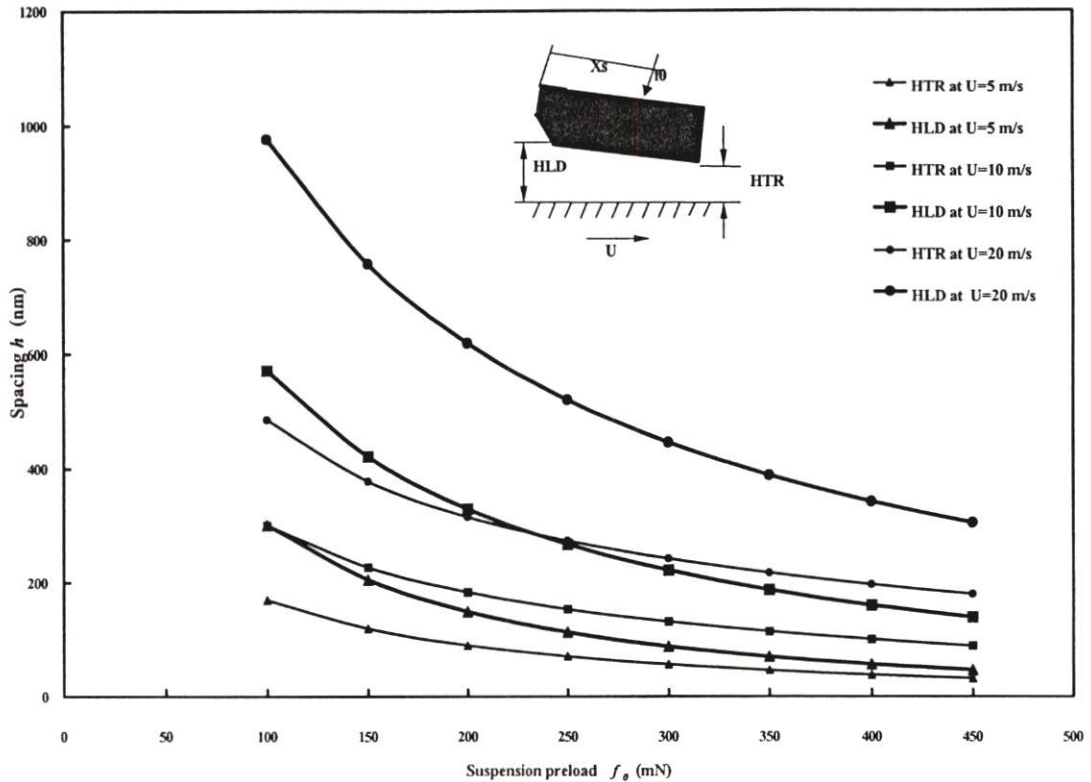
รูปที่ 5.30 เปรียบเทียบผลการกระจายความดันบนที่กึ่งกลางรางตามแนวความยาวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.66$ mm, $\theta_{TP}=14.64$ mrad และ $L_{TP} = 0.248$ mm) และหัวอ่านชนิด IBM 3380



รูปที่ 5.31 ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.66\text{ mm}$, $\theta_{TP}=14.64\text{ mrad}$ และ $L_{TP}=0.248\text{ mm}$) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วของแผ่นดิสก์

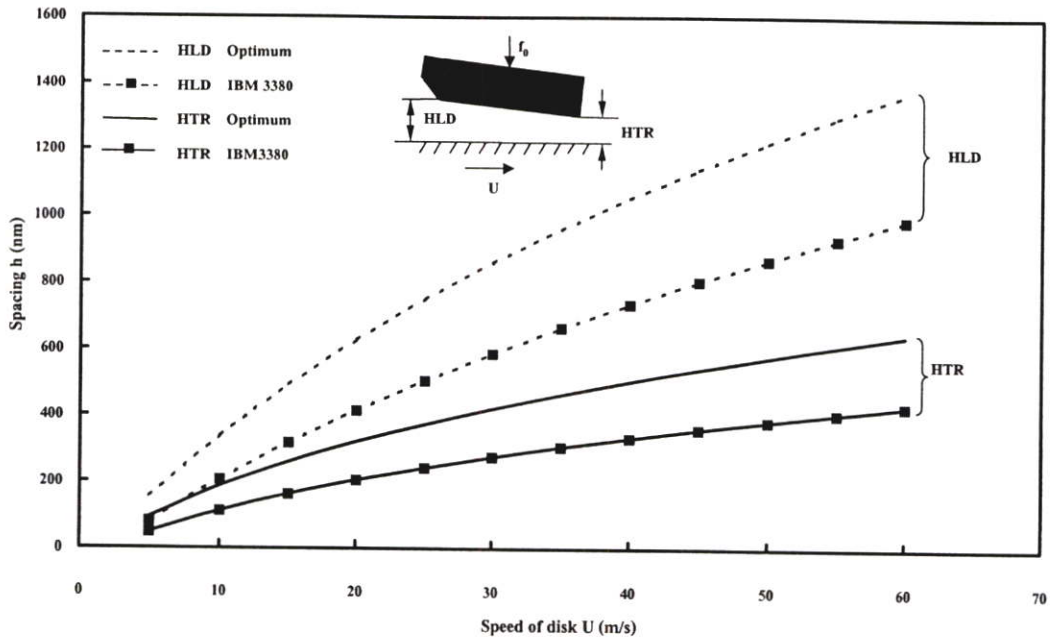


รูปที่ 5.32 ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.66\text{ mm}$, $\theta_{TP}=14.64\text{ mrad}$ และ $L_{TP}=0.248\text{ mm}$) เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะจับยึดหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์

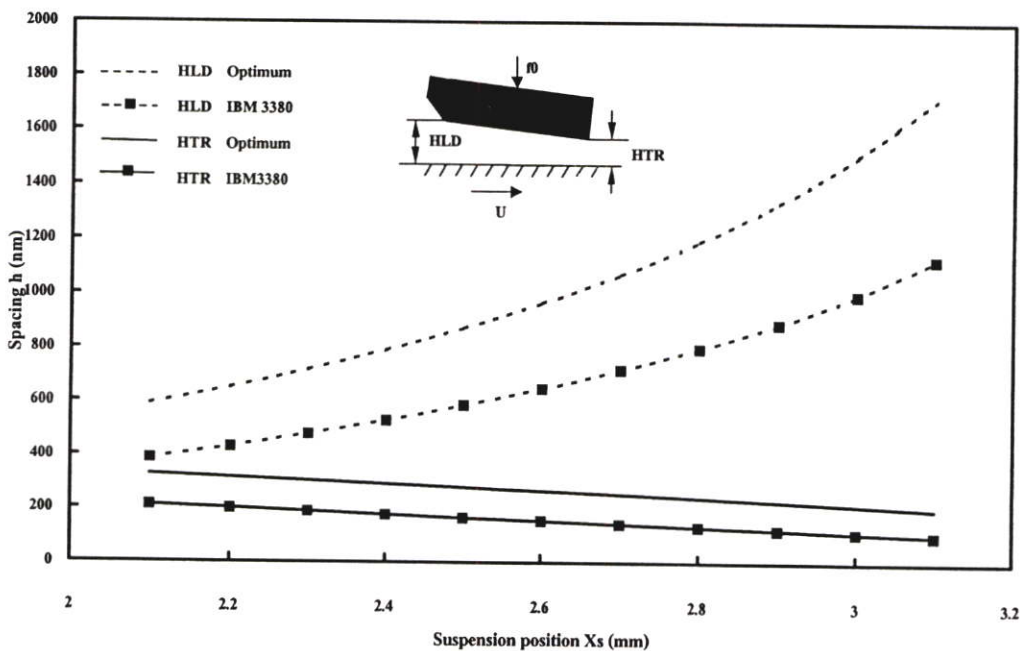


รูปที่ 5.33 ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.66\text{mm}$, $\theta_{TP}=14.64\text{ mrad}$ และ $L_{TP}=0.248\text{ mm}$) เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงที่กระทำบนหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์

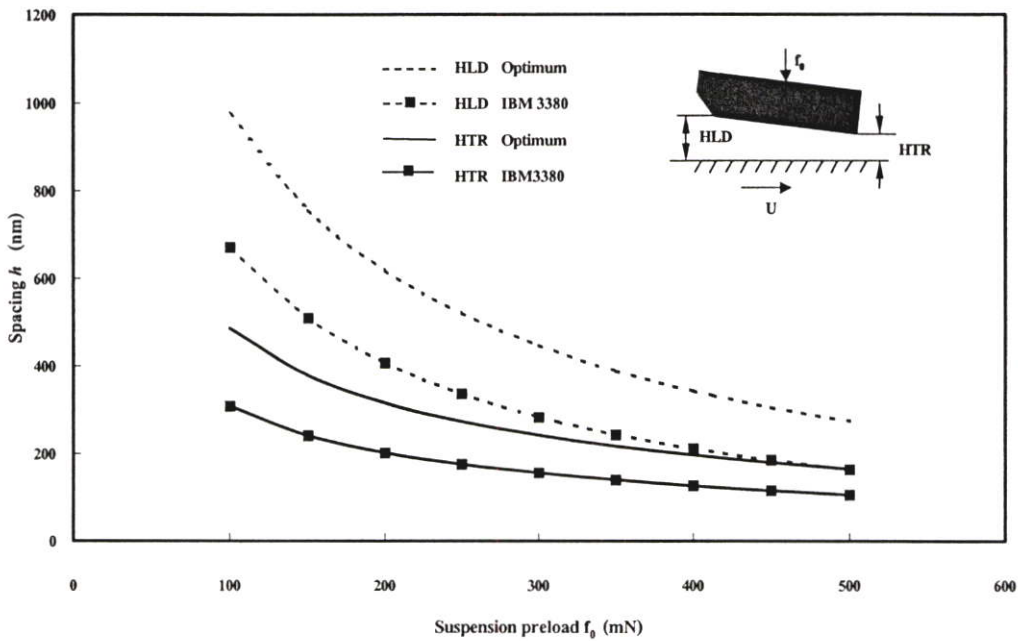
จากรูปที่ 5.31 ถ้าต้องการให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีค่าที่เหมาะสม ($B=0.66\text{mm}$, $\theta_{TP}=14.64\text{ mrad}$ และ $L_{TP}=0.248\text{ mm}$) มีค่าน้อย จะต้องทำให้ความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าน้อย เพราะเมื่อความเร็วแผ่นดิสก์เพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านทั้งบริเวณขอบนำและขอบท้ายเพิ่มขึ้น ในรูปที่ 5.32 จะเห็นว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านทั้งบริเวณขอบนำและขอบท้ายมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อระยะการจับยึดหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้นกล่าวคือจุดที่จับยึดอยู่ใกล้กับบริเวณขอบท้ายมากขึ้น จะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่บริเวณขอบนำมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ที่บริเวณขอบท้ายจะมีค่าน้อยลงกล่าวคือถ้าเพิ่มระยะการจับยึดหัวอ่านจะมีผลทำให้การลอยตัวของหัวอ่านเอียงมากขึ้น จากรูปที่ 5.33 ระยะการลอยตัวของหัวอ่านทั้งที่บริเวณขอบนำและบริเวณขอบท้าย จะมีค่าน้อยเมื่อค่าความเร็วแผ่นดิสก์มีค่าน้อยและค่าของแรงที่กระทำต่อหัวอ่านมีค่ามาก ดังนั้นถ้าต้องการให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านมีค่าน้อย จะต้องลดค่าความเร็วของแผ่นดิสก์และเพิ่มปริมาณแรงที่กระทำต่อหัวอ่าน แต่ปริมาณแรงที่กระทำต่อหัวอ่านมากเกินไปจะทำให้หัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์เกิดความเสียหายได้



รูปที่ 5.34 เปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.66\text{mm}$, $\theta_{TP}=14.64\text{ mrad}$ และ $L_{TP}=0.248\text{ mm}$) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วของแผ่นดิสก์

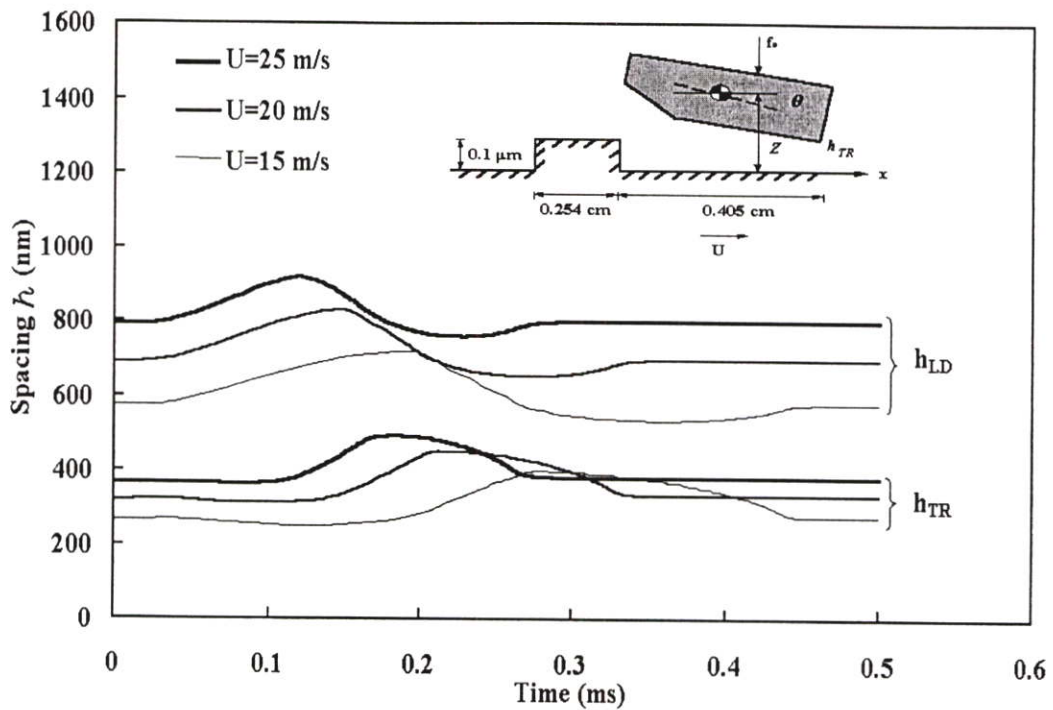


รูปที่ 5.35 เปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.66\text{mm}$, $\theta_{TP}=14.64\text{ mrad}$ และ $L_{TP}=0.248\text{ mm}$) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะการจับยึดหัวอ่าน ที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s

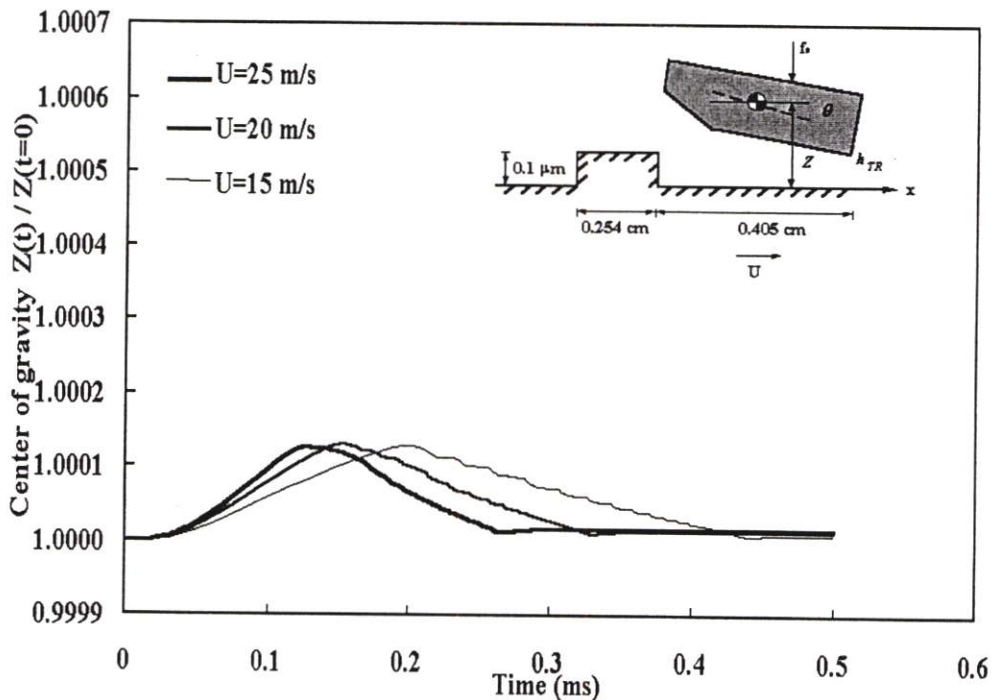


รูปที่ 5.36 เปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.66$ mm, $\theta_{TP}=14.64$ mrad และ $L_{TP}=0.248$ mm) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงแรงที่กระทำบนหัวอ่าน ที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s

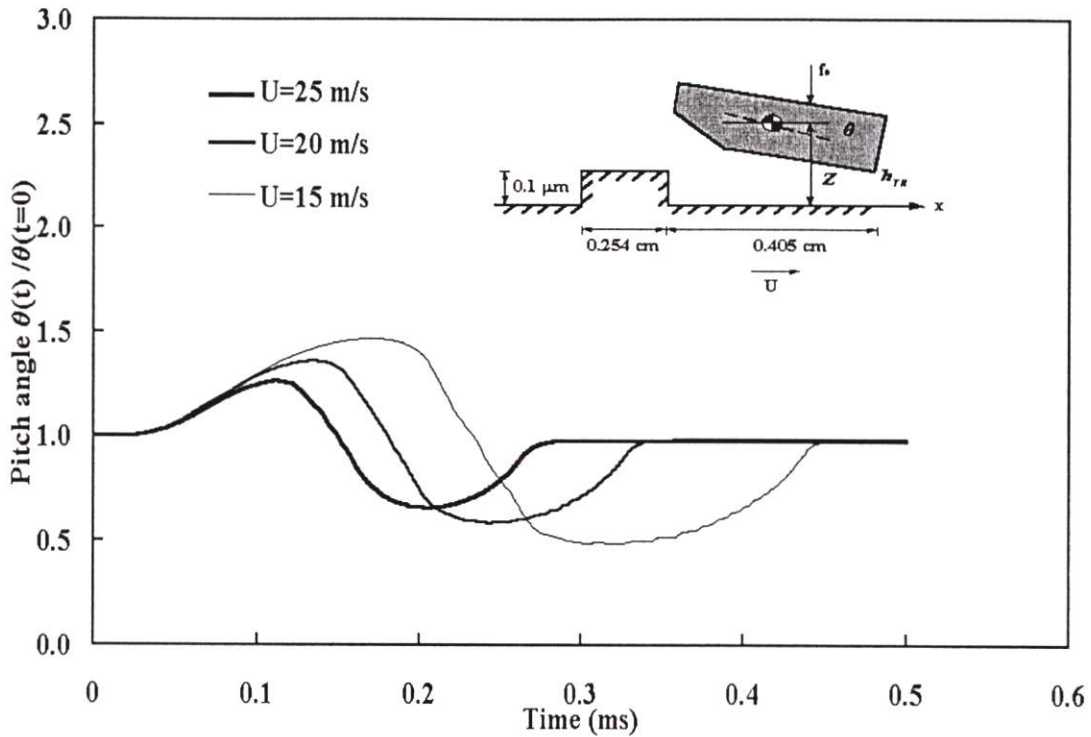
เมื่อทำการเปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.66$ mm, $\theta_{TP}=14.64$ mrad และ $L_{TP}=0.248$ mm) กับหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะได้ว่าระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีค่ามากกว่าไม่ว่าจะเปลี่ยนระยะการจับยึดหัวอ่านหรือแรงที่กระทำต่อหัวอ่านดังแสดงในรูปที่ 5.34-5.36 โดยเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นจะมีแนวโน้มของระยะการลอยตัวทั้งที่บริเวณขอบนำและขอบท้ายเพิ่มขึ้นเหมือนกัน เพียงแต่ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีค่ามากกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 ดังแสดงในรูปที่ 5.34 ที่ความเร็วแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s จะเห็นว่าเมื่อระยะการจับยึดของหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้นระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบนำทั้งของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมและหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน แต่หัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีค่าระยะการลอยที่บริเวณขอบนำมากกว่า ในทางตรงกันข้ามระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบท้ายจะมีค่าลดลงเมื่อระยะการจับยึดหัวอ่านเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 5.35 และเมื่อแรงที่กระทำต่อหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้นระยะการลอยของหัวอ่านจะมีค่าลดลง โดยระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีค่ามากกว่าระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 ดังแสดงในรูปที่ 5.36



รูปที่ 5.37 การเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.66$ mm, $\theta_{TP}=14.64$ mrad และ $L_{TP}=0.248$ mm) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง



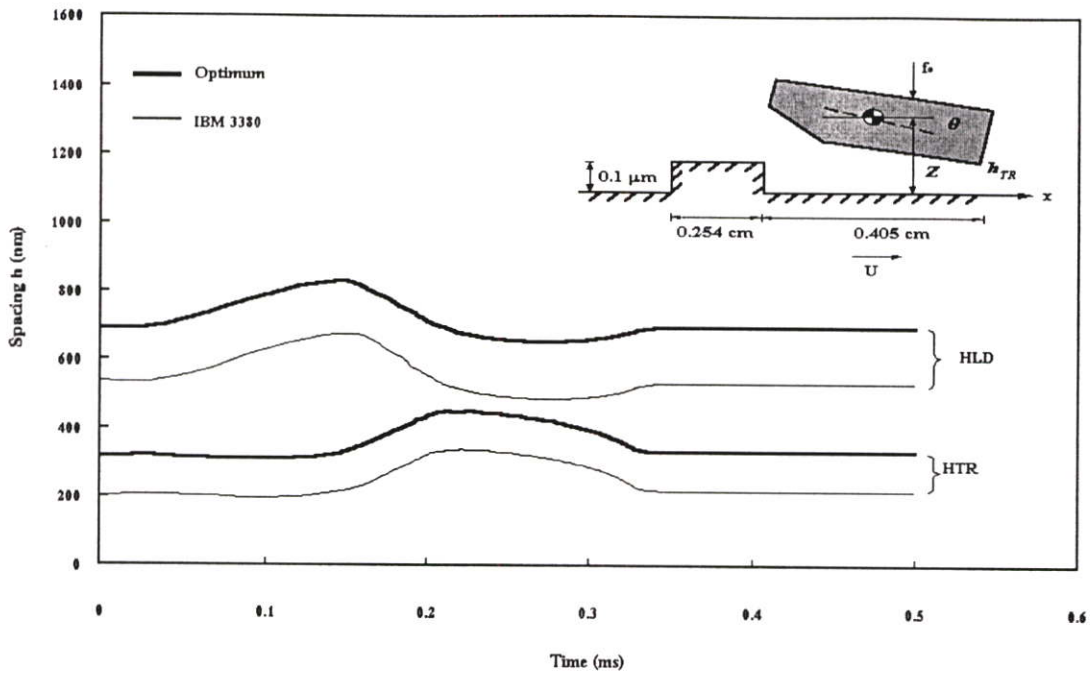
รูปที่ 5.38 การเปลี่ยนแปลงระยะจุดศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.66$ mm, $\theta_{TP}=14.64$ mrad และ $L_{TP}=0.248$ mm) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง



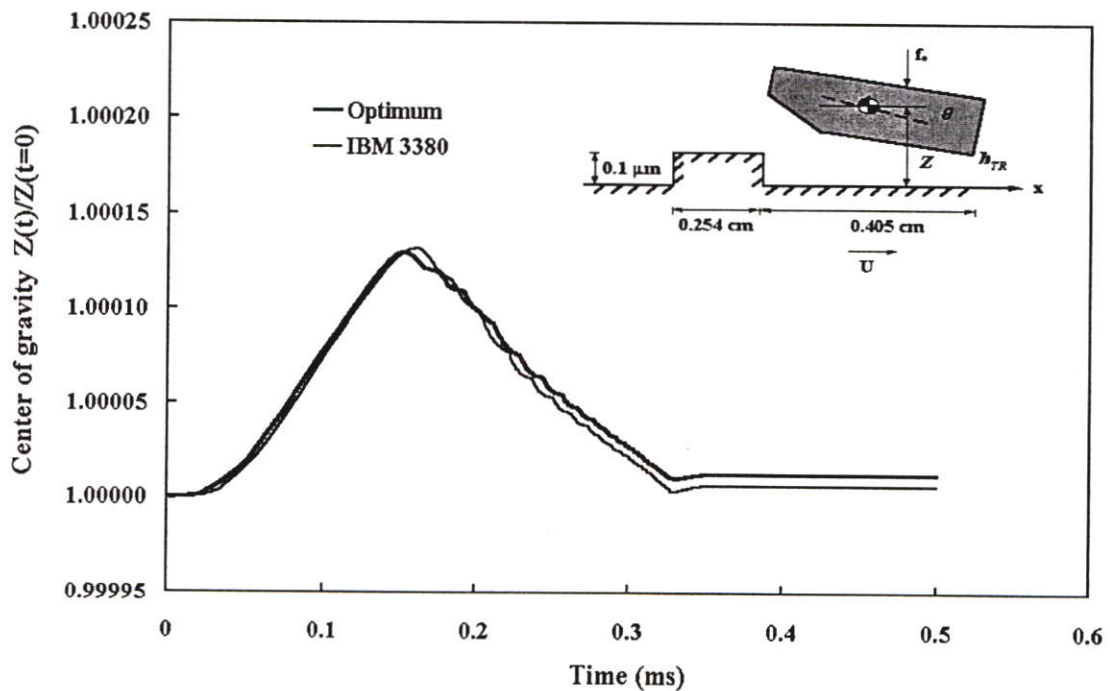
รูปที่ 5.39 การเปลี่ยนแปลงค่ามุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.66$ mm, $\theta_{TP}=14.64$ mrad และ $L_{TP}=0.248$ mm) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง

พฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.66$ mm, $\theta_{TP}=14.64$ mrad และ $L_{TP}=0.248$ mm) ในการทำงานที่สภาวะพลวัตแสดงดังรูปที่ 5.37-5.39 ระยะการลอยตัวของหัวอ่านจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปหรือมีการแกว่งเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางแล้วจะเข้าสู่สมดุลอีกครั้ง ระยะการลอยตัวของหัวอ่านจะมีค่ามากเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่ามาก และหัวอ่านจะสามารถปรับตัวเข้าสู่สมดุลได้เร็วขึ้นเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.37

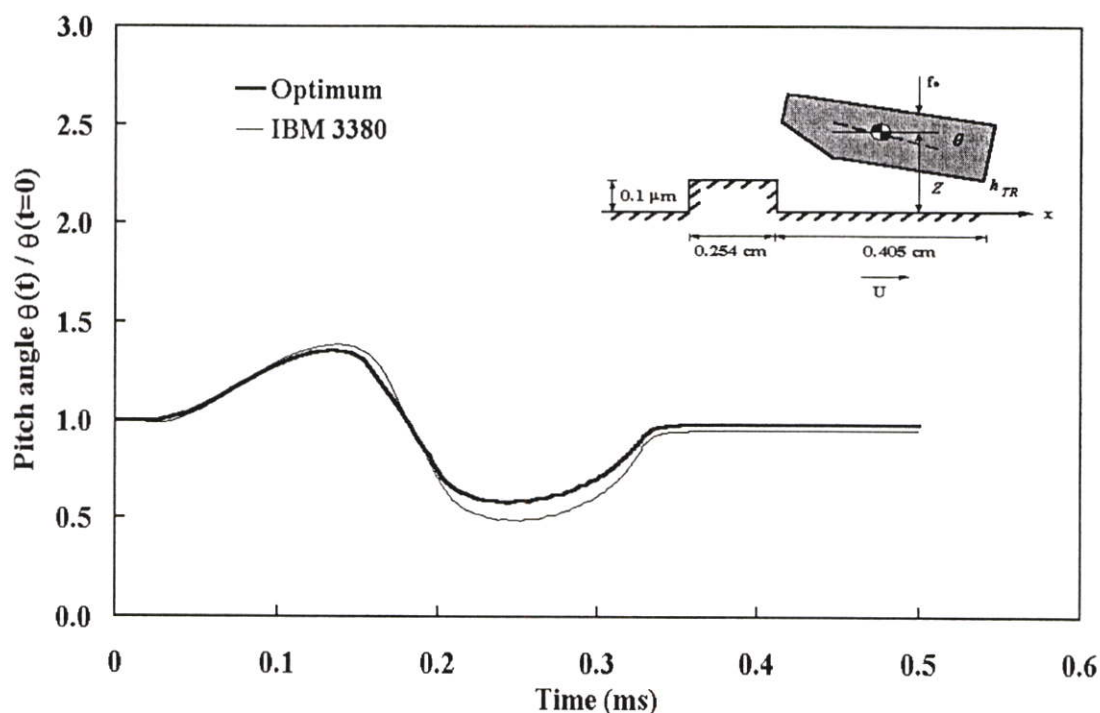
จากรูปที่ 5.38 จะได้ว่าเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง ถ้าค่าความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่ามากหัวอ่านจะสามารถปรับตัวเข้าสู่สมดุลได้เร็วมากยิ่งขึ้น และระยะศูนย์กลางมวลภายหลังกลับสู่สมดุลอีกครั้งจะมีค่ามากกว่าระยะศูนย์กลางมวลก่อนที่หัวอ่านจะเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง และจากรูปที่ 5.39 พบว่าหัวอ่านจะปรับตัวเข้าสู่สมดุลได้เร็วถ้าความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่ามาก และที่ความเร็วของแผ่นดิสก์ต่ำค่าของมุมพิทช์จะมีการแกว่งมากกว่าที่ความเร็วแผ่นดิสก์สูง ๆ และค่าของมุมพิทช์ภายหลังจากหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางและกลับเข้าสู่สมดุลอีกครั้งจะมีค่าน้อยกว่าก่อนที่หัวอ่านจะเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง



รูปที่ 5.40 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.66 \text{ mm}$, $\theta_{TP}=14.64 \text{ mrad}$ และ $L_{TP}=0.248 \text{ mm}$) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง ที่ความเร็วแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s



รูปที่ 5.41 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระยะศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.66 \text{ mm}$, $\theta_{TP}=14.64 \text{ mrad}$ และ $L_{TP}=0.248 \text{ mm}$) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง ที่ความเร็วแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s



รูปที่ 5.42 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่ามุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.66$ mm, $\theta_{TP}=14.64$ mrad และ $L_{TP} = 0.248$ mm) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง ที่ความเร็วแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s

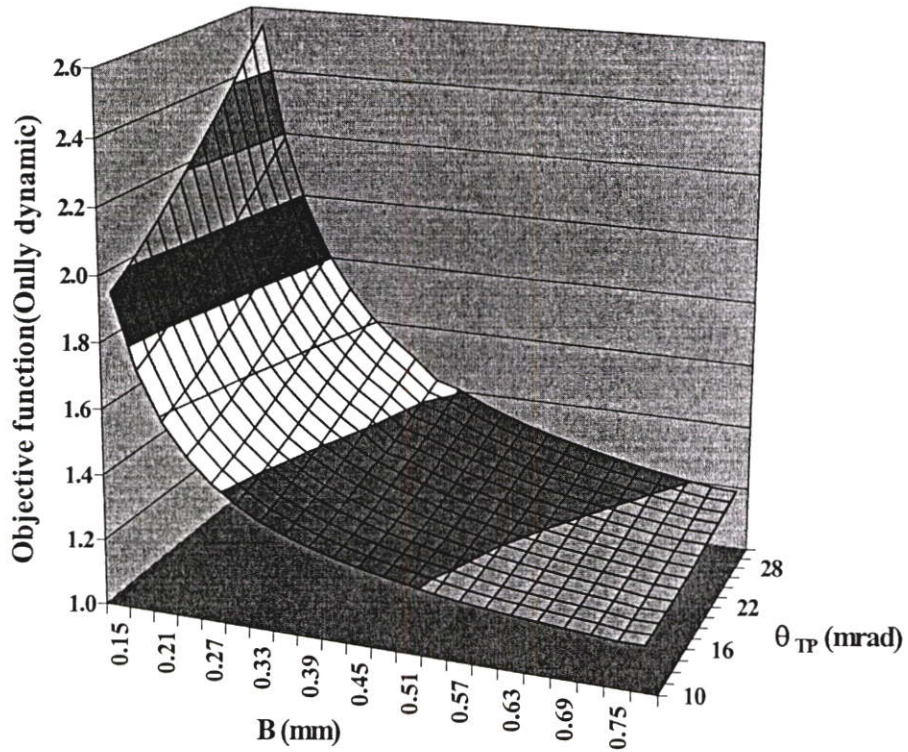
รูปที่ 5.40-5.42 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.66$ mm, $\theta_{TP}=14.64$ mrad และ $L_{TP} = 0.248$ mm) กับหัวอ่านชนิด IBM 3380 ที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20m/s จากรูปที่ 5.40 จะพบว่าระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีค่าที่เหมาะสมมีค่ามากกว่าระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 และ หัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสมจะสามารถปรับตัวเข้าสู่สมดุลได้เร็วกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 ในรูปที่ 5.41 เมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางแล้วหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสมสามารถปรับตัวเข้าสู่สมดุลได้เร็วกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 และค่าการเปลี่ยนแปลงระยะศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีค่าน้อยกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 จากรูปที่ 5.42 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของมุมพิทช์ของชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับหัวอ่านชนิด IBM 3380 พบว่าเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง หัวอ่านชนิด IBM 3380 จะมีการแกว่งมากกว่าหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม แต่สามารถปรับตัวเข้าสู่สมดุลได้ใกล้เคียงกัน

5.3 การคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดเรียวเบนที่สภาวะทำงานพลวัต

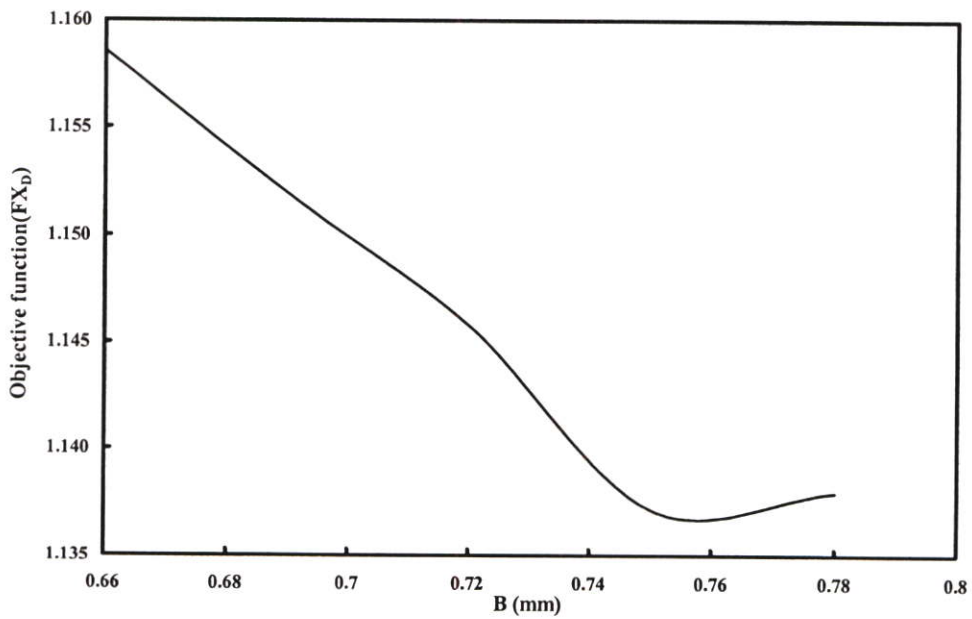
ขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดเรียวเบนที่สภาวะทำงานพลวัต สมการเป้าหมายคือ ระยะเวลาสั้นที่สุดที่หัวอ่านสามารถปรับตัวเข้าสู่สมดุลและมีเสถียรภาพดีที่สุดเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง

ตารางที่ 5.3 ขนาดและค่าต่าง ๆ ของหัวอ่านชนิดเรียวเบนที่สภาวะทำงานพลวัตที่ได้จากการใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

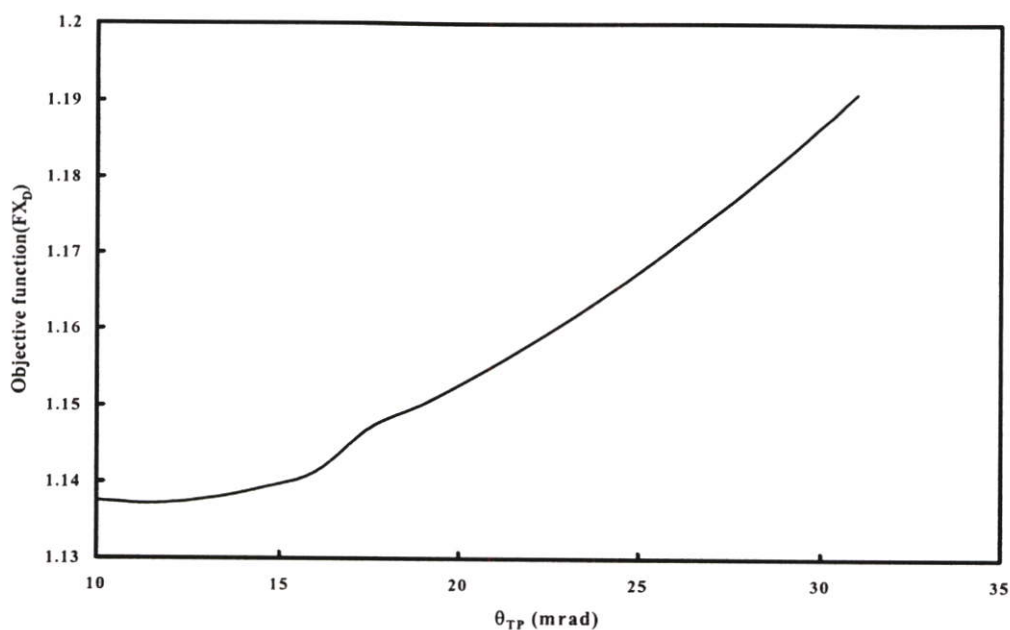
ขนาด	ตัวแปรในการออกแบบคือ B และ θ_{TP}
L	4.05 mm
B	0.75 mm
L_{TP}	0.368 mm
W	3.05 mm
θ	15.0 mrad
θ_{TP}	11.31 mrad
M	42.3 mg
H_a	50.0 nm
I_θ	$8.60 \times 10^{-11} \text{ N s}^2 \text{ m}$
k_z	0
c_z	0
k_θ	0
ω_0	377 rad/s
θ_a	0
f_0	147 mN
x_G	2.025 mm
x_S	2.162 mm
U_D (ความเร็วของแผ่นดิสก์)	20 m/s
FX_D (ค่าสมการเป้าหมาย)	1.1371



รูปที่ 5.43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของสมการเป้าหมายและค่าตัวแปรในการออกแบบในสถานะทำงานพลวัต



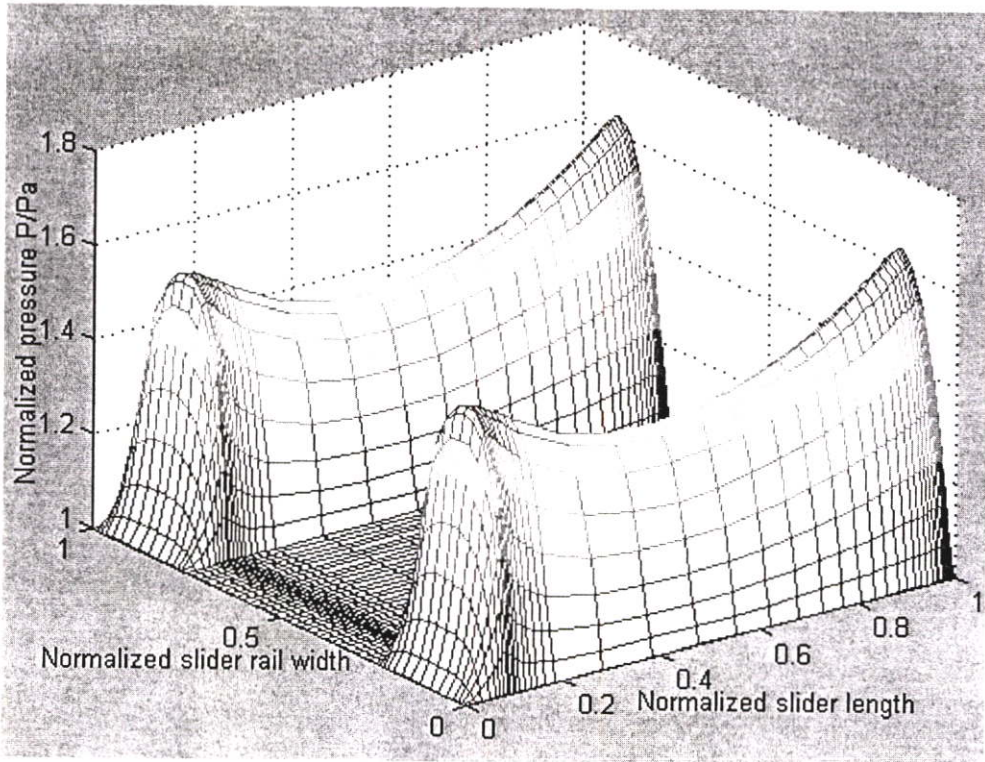
รูปที่ 5.44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมการเป้าหมายและค่าความกว้างของรางของหัวอ่านในสถานะทำงานพลวัต ที่ $\theta_{TP} = 11.31$ mrad



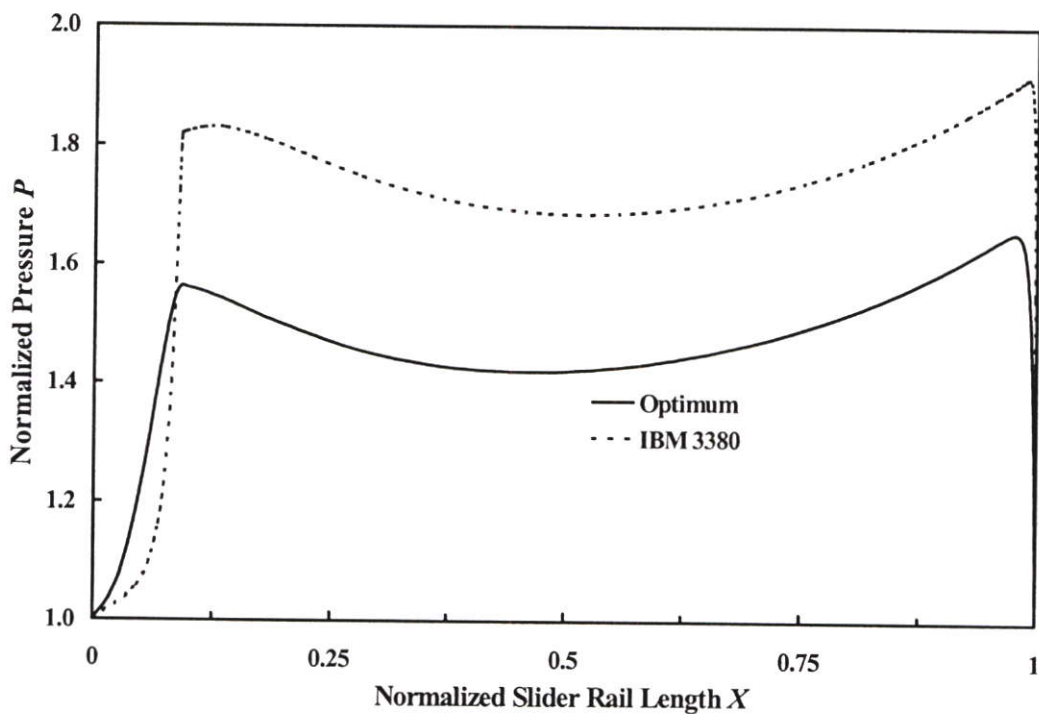
รูปที่ 5.45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมการเป้าหมายและมุมราบเอียงของหัวอ่านในสภาวะทำงานพลวัตที่ $B = 0.75$ mm

จากรูปที่ 5.43-5.45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมการเป้าหมายและค่าตัวแปรในการออกแบบในที่นี้คือ B และ θ_{TP} ซึ่งสมการเป้าหมายในการหาค่าที่เหมาะสมของหัวอ่านในสภาวะทำงานพลวัตคือ เมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางหัวอ่านใช้เวลาในการปรับตัวเข้าสู่สมดุลได้เร็วที่สุดและมีเสถียรภาพดีที่สุด จากการคำนวณจะได้ขนาดที่เหมาะสมดังต่อไปนี้คือ ความกว้างของรางของหัวอ่านมีค่าเท่ากับ 0.75 mm และค่ามุมราบเอียงหรือมุมเทเปอร์เท่ากับ 11.31mrad ค่าของสมการเป้าหมายมีค่าเท่ากับ 1.1371 ถ้าหัวอ่านชนิด IBM 3380 ($B=0.5$ mm, $\theta_{TP}=15.0$ mrad) คำนวณหาค่าสมการเป้าหมายจะได้เท่ากับ 1.2177 จะเห็นว่าค่าสมการเป้าหมายของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมมีค่าน้อยกว่า หลังจากนั้นศึกษาพฤติกรรมการทำงานทั้งในสภาวะทำงานสถิตย์และพลวัตเปรียบเทียบกับหัวอ่านชนิด IBM 3380 ดังแสดงในรูปที่ 5.46-5.59

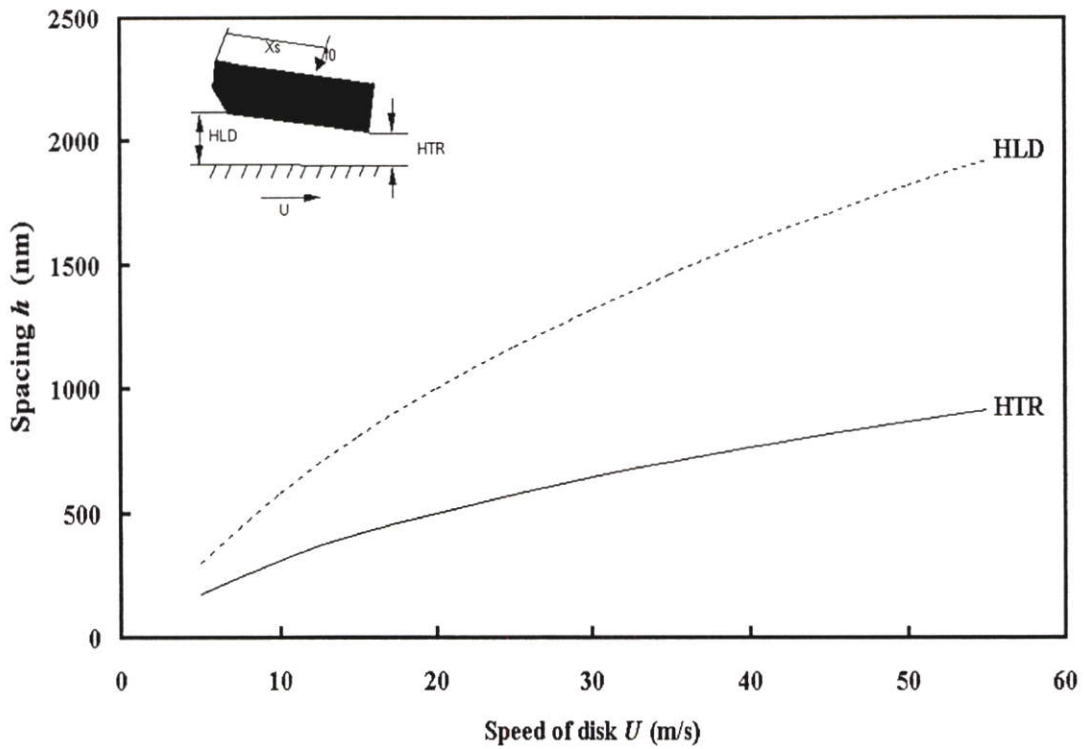
จากรูปที่ 5.46-5.47 แสดงการกระจายความดันที่กระทำต่อหัวอ่าน จากรูปจะเห็นว่าค่าความดันสูงสุดจะอยู่ที่บริเวณขอบท้ายของหัวอ่าน และค่าความดันของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีค่าความดันน้อยกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 เป็นผลเนื่องจากระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมมีค่ามากกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380



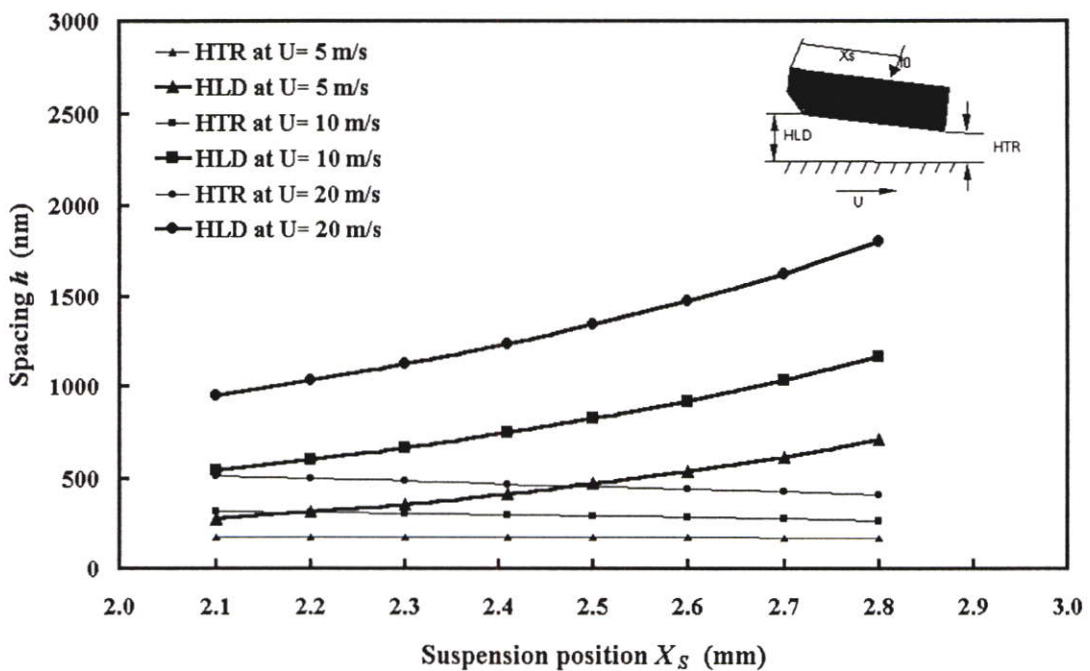
รูปที่ 5.46 แสดงการกระจายความดันบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad)



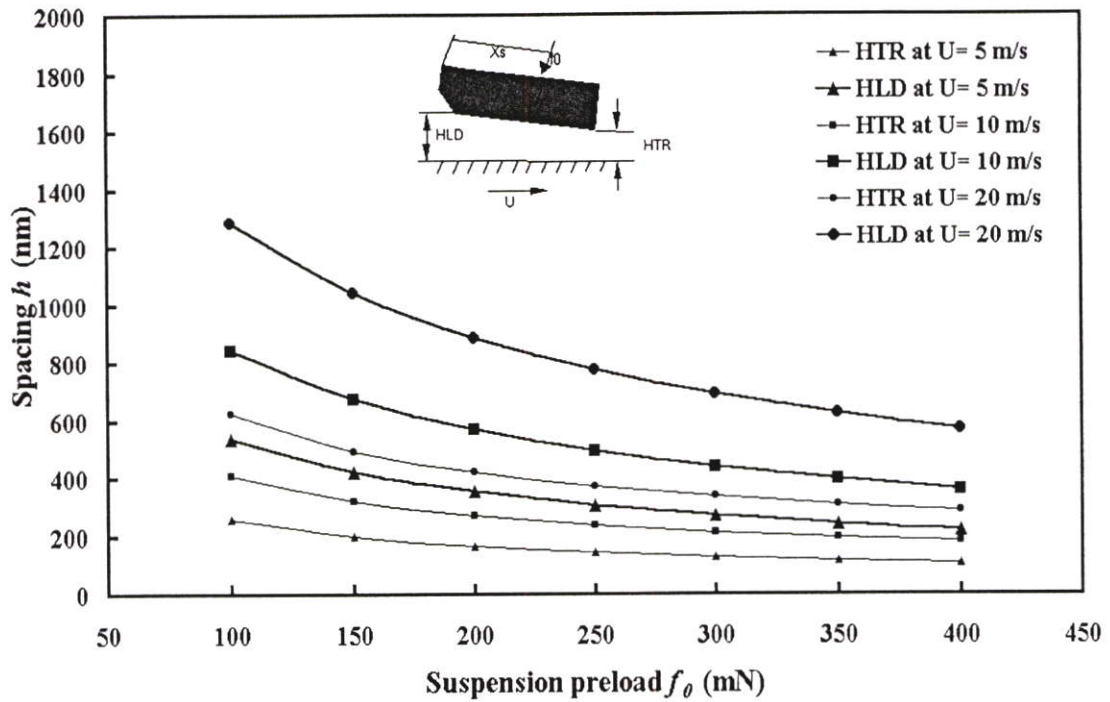
รูปที่ 5.47 แสดงการกระจายความดันที่กึ่งกลางรางตามแนวความยาวของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380



รูปที่ 5.48 ระยะการลอยตัวของอ่านชนิดริ้วเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วของแผ่นดิสก์

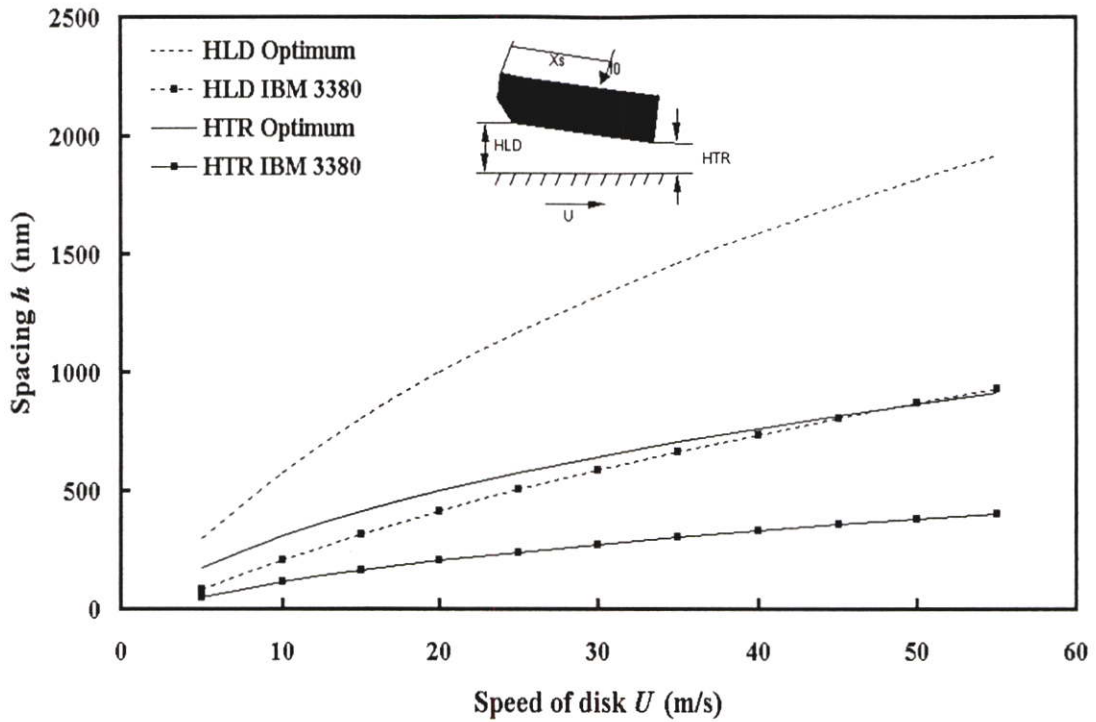


รูปที่ 5.49 ระยะการลอยตัวของอ่านชนิดริ้วเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad) เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะจับยึดหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์

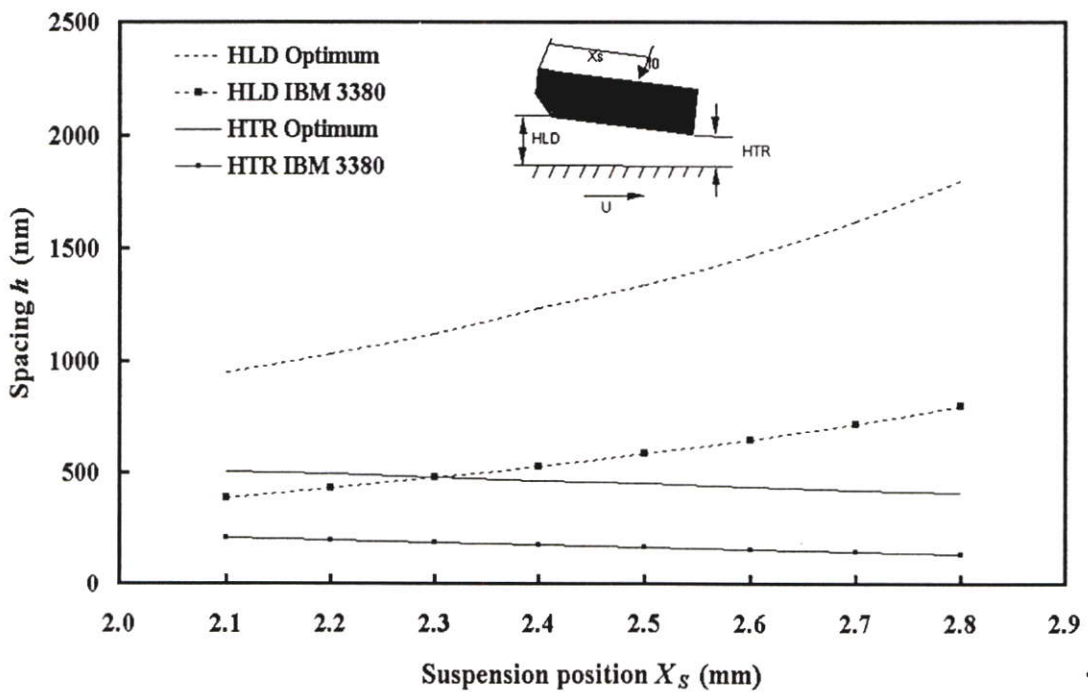


รูปที่ 5.50 ระยะการลอยตัวของอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad) เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงที่กระทำต่อหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์

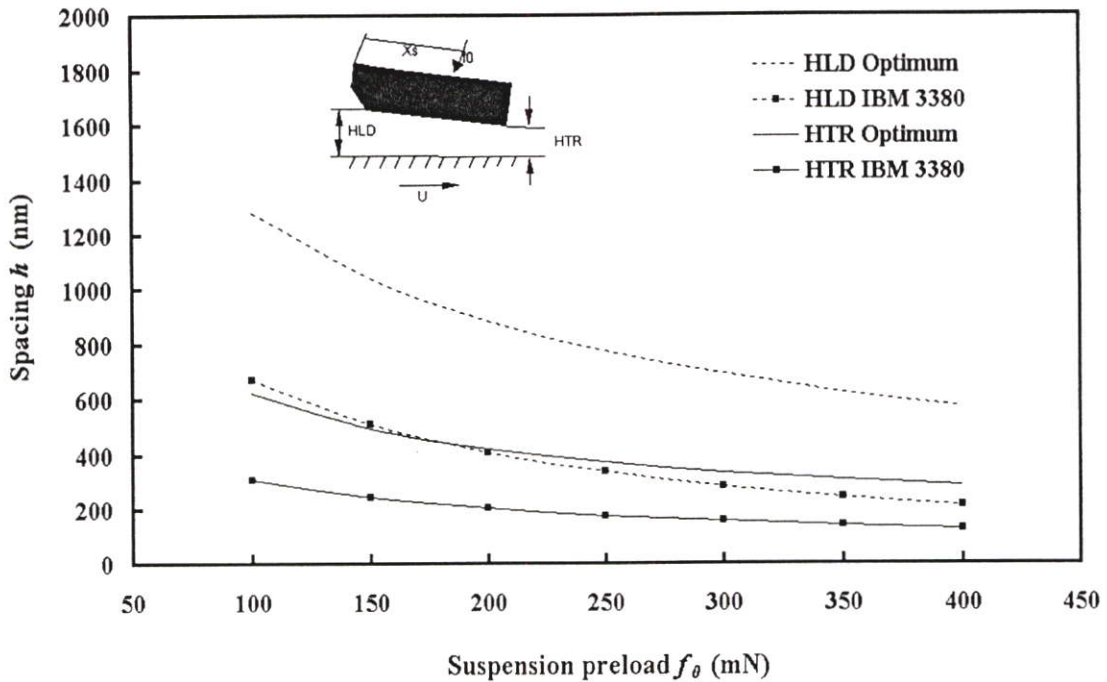
ในรูปที่ 5.48 แสดงเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งที่บริเวณขอบนำและขอบท้าย เมื่อระยะการจับยึดของหัวอ่านมีค่าเปลี่ยนแปลงจะมีผลทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมเปลี่ยนไปเช่นเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 5.49 กล่าวคือเมื่อระยะการจับยึดเลื่อนเข้าไปใกล้บริเวณขอบท้ายจะทำให้ระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบนำมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบท้ายจะมีค่าลดลง และเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านเพิ่มขึ้นทั้งที่บริเวณขอบนำและขอบท้าย รูปที่ 5.50 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าระยะการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อขนาดของแรงที่กระทำต่อหัวอ่านมีค่าเปลี่ยนแปลงได้ จะเห็นว่าเมื่อแรงกระทำต่อหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านทั้งที่บริเวณขอบนำและขอบท้ายมีค่าลดลง แต่เมื่อค่าความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งที่บริเวณขอบนำและขอบท้าย



รูปที่ 5.51 เปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านระหว่างหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วของแผ่นดิสก์

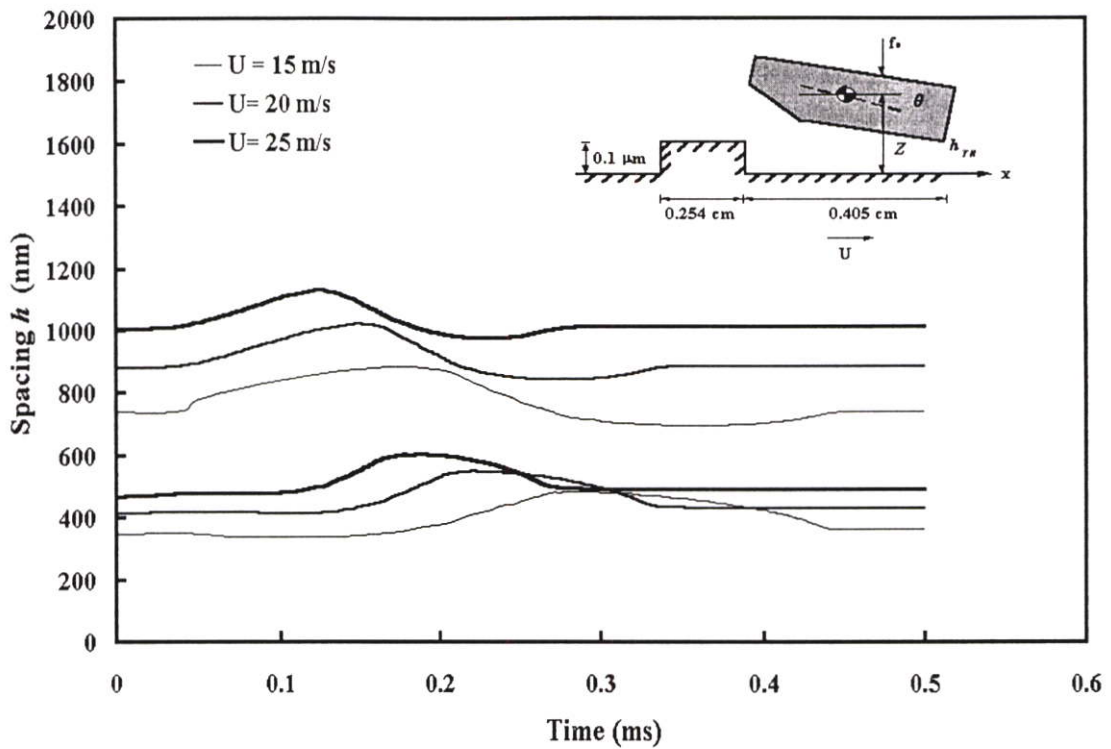


รูปที่ 5.52 เปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านระหว่างหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะการจับยึดหัวอ่าน ที่ความเร็วแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s

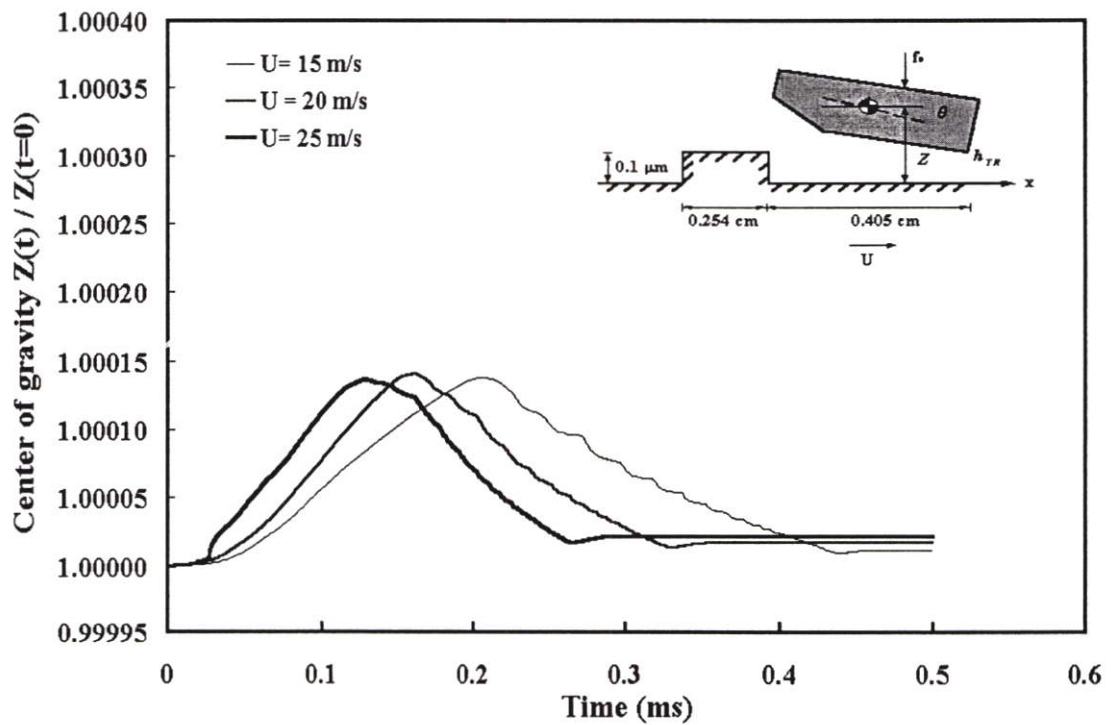


รูปที่ 5.53 เปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านระหว่างหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงที่กระทำต่อหัวอ่าน ที่ความเร็วแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s

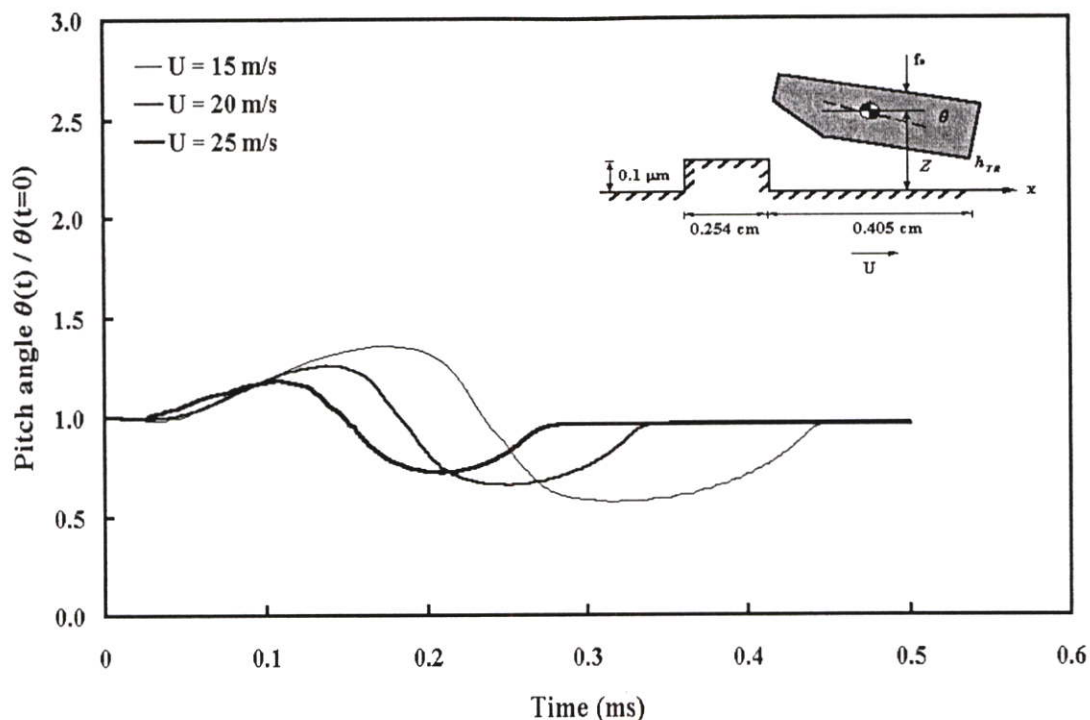
จากรูปที่ 5.51-5.53 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad) ที่สภาวะทำงานสติดกับหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะได้ว่าระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีค่ามากกว่า และยังมีค่าระยะการลอยตัวที่ขอบท้ายมีค่าใกล้เคียงกับระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบนำของหัวอ่านชนิด IBM 3380 ดังแสดงในรูปที่ 5.51 เมื่อระยะการจับยึดของหัวอ่านมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ระยะการลอยของหัวอ่านที่บริเวณขอบนำของหัวอ่านทั้งสองมีค่าเพิ่มและหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบนำมากกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 แต่เมื่อระยะการจับยึดเลื่อนเข้าไปใกล้กับขอบท้ายจะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านของหัวอ่านทั้งสองมีค่าลดลงดังแสดงในรูปที่ 5.52 และเมื่อเพิ่มขนาดของแรงที่กระทำต่อหัวอ่านจะทำให้ระยะการลอยตัวทั้งที่บริเวณขอบนำและขอบท้ายมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน แต่หัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีค่าระยะการลอยตัวสูงกว่าดังแสดงดังรูปที่ 5.53



รูปที่ 5.54 การเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง

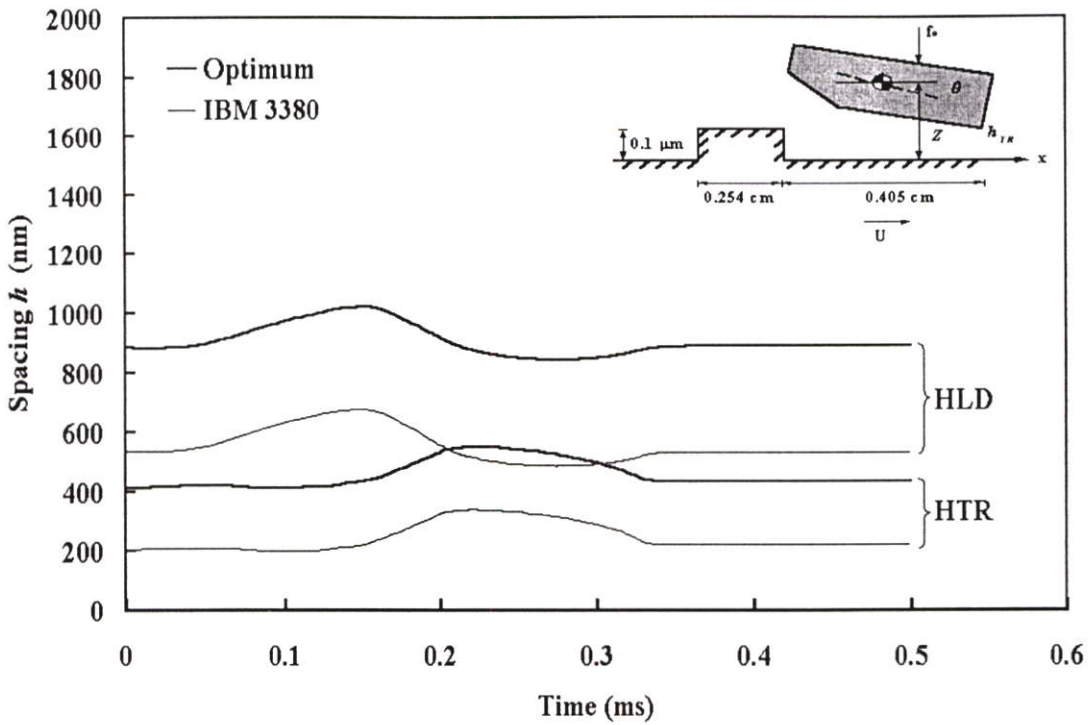


รูปที่ 5.55 การเปลี่ยนแปลงระยะจุดศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง

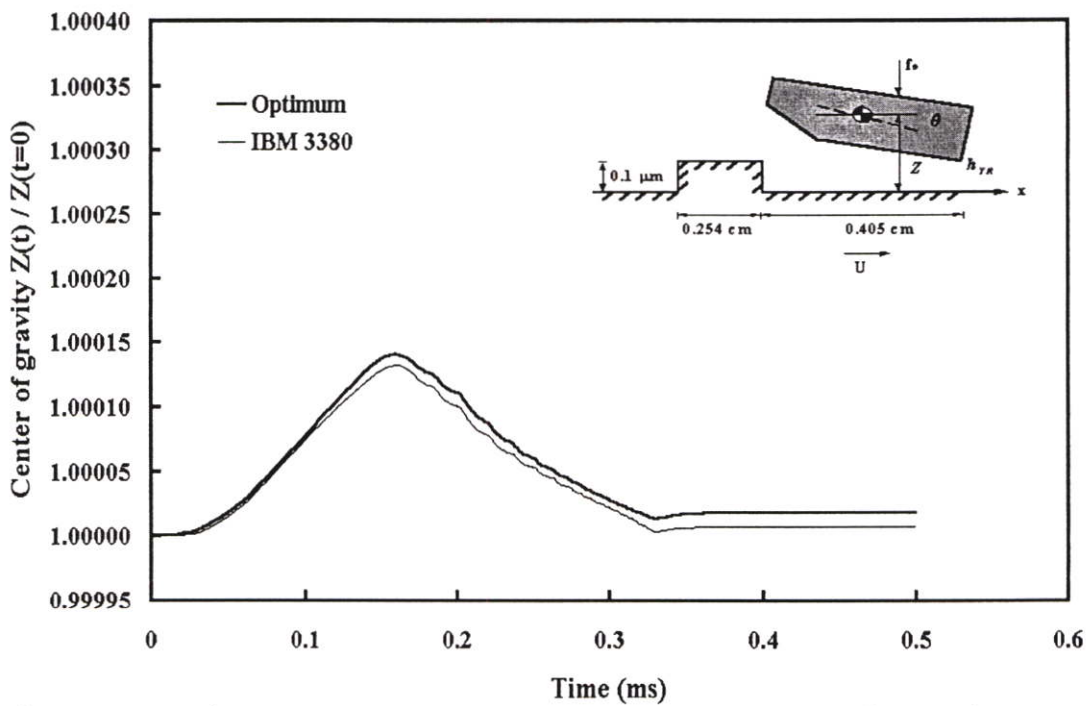


รูปที่ 5.56 การเปลี่ยนแปลงค่ามุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.75 \text{ mm}$, $\theta_{TP}=11.31 \text{ mrad}$) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง

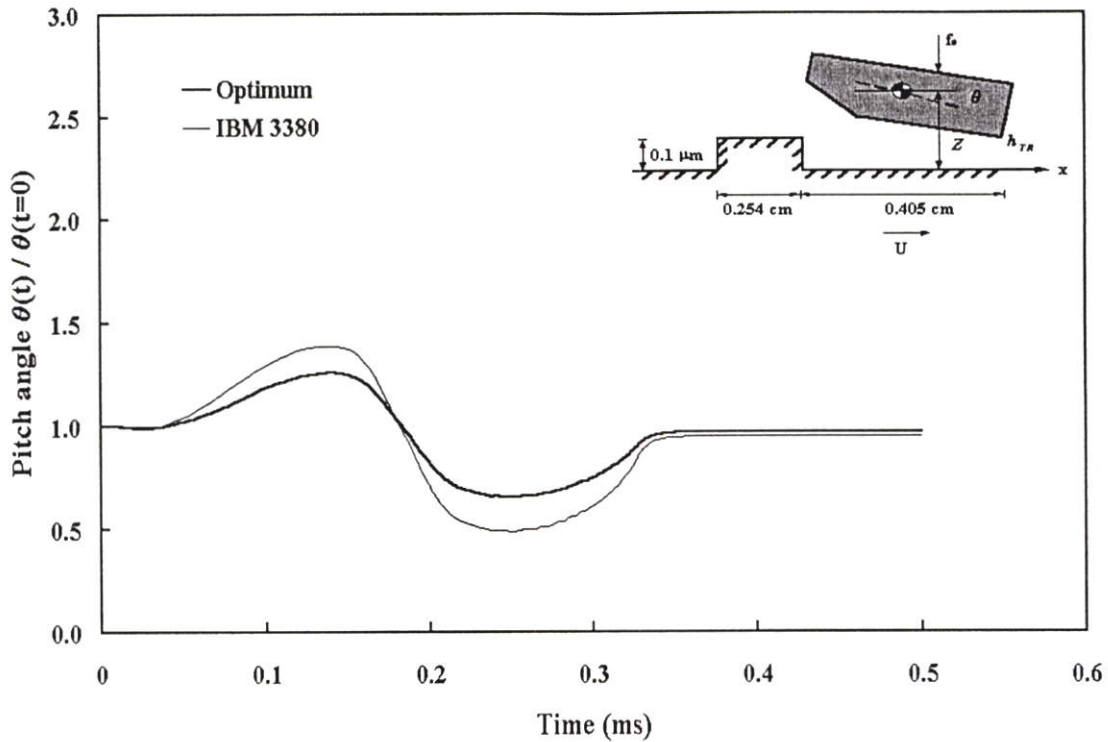
จากรูปที่ 5.54-5.56 แสดงพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านที่สภาวะพลวัตของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมในรูป 5.54 แสดงการเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง จะเห็นว่าระยะการลอยตัวจะแกว่งขึ้นลงและกลับเข้าสู่สภาวะสมดุลอีกครั้ง ถ้าความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้หัวอ่านสามารถปรับตัวเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วยิ่งขึ้น จากรูปที่ 5.55 แสดงระยะศูนย์กลางมวลที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง ที่ความเร็วของแผ่นดิสก์ที่เท่ากับ 20 m/s ระยะศูนย์กลางมวลจะมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงเข้าสู่สมดุลอีกครั้งเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 0.3 มิลลิวินาที และเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้หัวอ่านปรับตัวเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น ในรูปที่ 5.56 แสดงค่าของมุมพิทช์ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง จะเห็นว่าค่ามุมพิทช์จะแกว่งขึ้นลงและปรับตัวเข้าสู่สมดุลอีกครั้ง เมื่อค่าความเร็วของแผ่นดิสก์เพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการแกว่งของหัวอ่านลดลงและหัวอ่านสามารถปรับตัวเข้าสู่สมดุลได้เร็วขึ้น



รูปที่ 5.57 การเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง ที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s



รูปที่ 5.58 การเปลี่ยนแปลงระยะศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง ที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s



รูปที่ 5.59 การเปลี่ยนแปลงค่ามุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.75$ mm, $\theta_{TP}=11.31$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง ที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s

พฤติกรรมการทำงานที่สภาวะพลวัตของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับหัวอ่านชนิด IBM 3380 แสดงดังรูปที่ 5.57-5.59 พบว่าที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสมมีค่ามากกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 แต่หัวอ่านชนิดเร็วแบบสามารถปรับตัวเข้าสู่สมดุลได้เร็วกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 เท่ากับ 0.006 มิลลิวินาที ดังแสดงในรูปที่ 5.57 จากรูปที่ 5.58 จะเห็นว่าระยะศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดเร็วแบบมีค่าเปลี่ยนไปใกล้เคียงกับหัวอ่านชนิด IBM 3380 (หัวอ่านชนิด IBM 3380 มีค่าเท่ากับ 0.000185, หัวอ่านชนิดเร็วแบบเท่ากับ 0.000145) แต่เมื่อค่าเปลี่ยนแปลงที่ค่ามุมพิทช์เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางหัวอ่านชนิดเร็วแบบจะมีเสถียรภาพดีกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 โดยหัวอ่านชนิดเร็วแบบมีค่าแกว่งอยู่ในช่วง 0.07473 แต่หัวอ่านชนิด IBM 3380 มีค่าแกว่งอยู่ในช่วง 0.1569

5.4 การคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่ทำงานที่สภาวะทำงานสถิตย์และพลวัต

การหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่ทำงานที่สภาวะทำงานสถิตย์และพลวัต โดยรวมค่าสมการเป้าหมายที่สภาวะทำงานสถิตย์และค่าสมการเป้าหมายที่สภาวะทำงานพลวัตที่ให้ค่าความสำคัญของแต่ละค่าสมการเป้าหมายโดยใช้ Weight factor ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Min } Y = (W_1 \times FX_S) + (W_2 \times FX_D)$$

$$FX_S = R_1^2 + R_2^2$$

$$FX_D = R_3 + R_4 + R_5$$

FX_S คือ ค่าสมการเป้าหมายที่สภาวะทำงานสถิตย์

FX_D คือ ค่าสมการเป้าหมายที่สภาวะทำงานพลวัต

W_1 คือ ค่า Weight factor ของค่าสมการเป้าหมายที่สภาวะทำงานสถิตย์

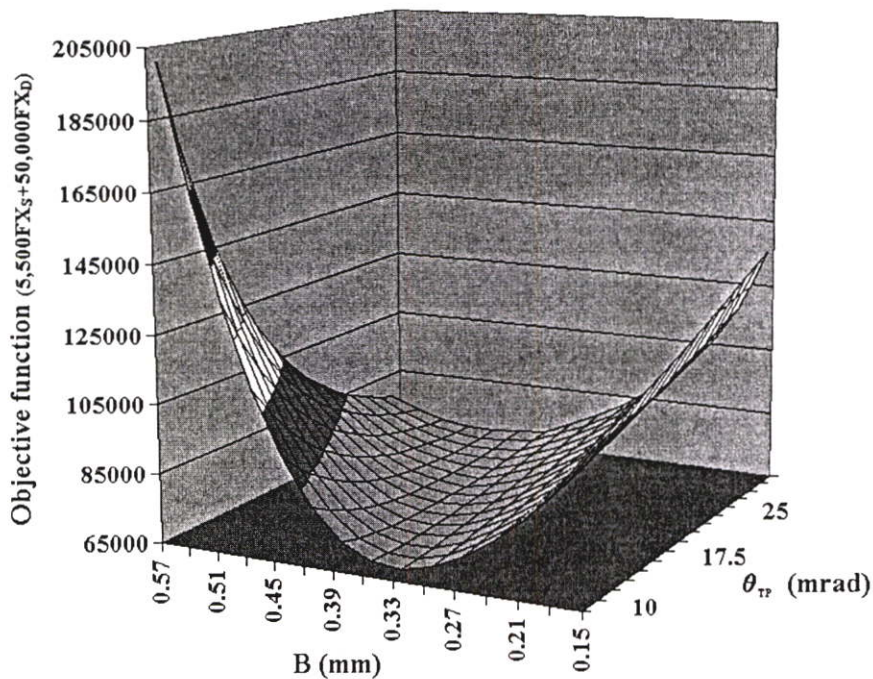
W_2 คือ ค่า Weight factor ของค่าสมการเป้าหมายที่สภาวะทำงานพลวัต

ค่า Weight factor คือ ค่าที่บ่งบอกให้ทราบว่าสมการเป้าหมาย(Y) ให้ความสำคัญขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่ทำงานได้ดีที่สภาวะทำงานสถิตย์(FX_S) หรือที่สภาวะทำงานพลวัต(FX_D) เช่น ถ้าให้ค่า $W_1 > W_2$ แสดงว่าให้ค่าสำคัญที่สภาวะทำงานสถิตย์มากกว่าที่สภาวะทำงานพลวัต เป็นต้น ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่า Weight factor เท่ากับ 50,000 และ 5,500 เนื่องจากเป็นค่าที่เหมาะสมที่ทำให้ค่า FX_S และค่า FX_D อยู่ใน order เดียวกัน เพราะค่า FX_S มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่า FX_D

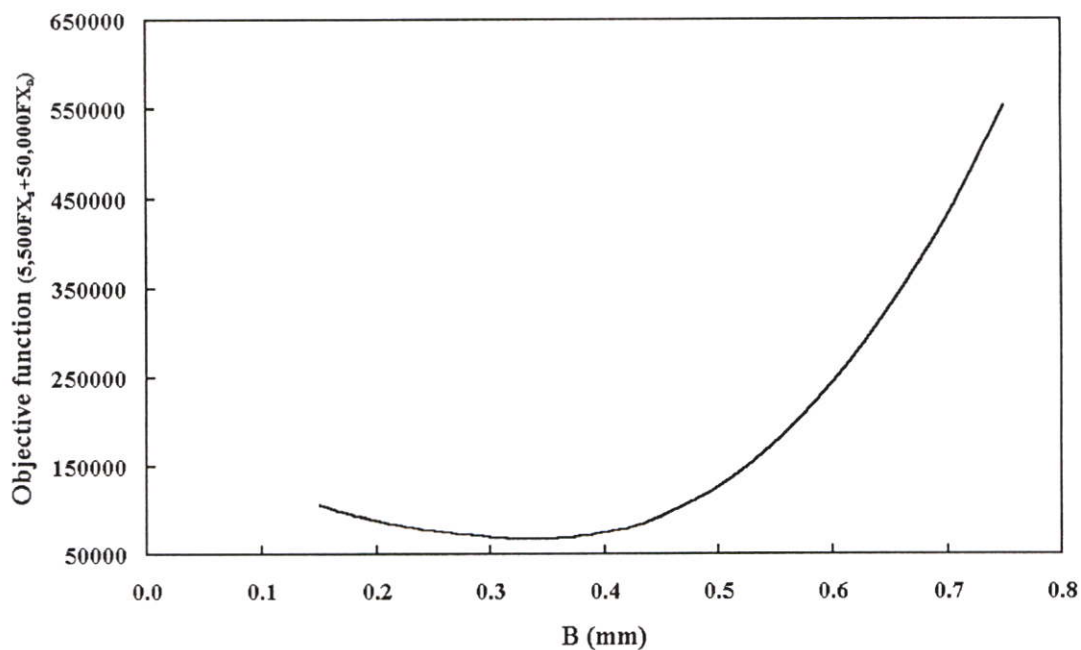
ตารางที่ 5.4 ผลการคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่สภาวะทำงานสถิตย์และพลวัต

ขนาด	ตัวแปรในการออกแบบ B และ θ_{TP}	
	$W_1=5,500$ และ $W_2=50,000$	$W_1=50,000$ และ $W_2=5,500$
B	0.336 mm	0.362 mm
L_{TP}	0.368 mm	0.368 mm
θ	15.0 mrad	15.0 mrad
θ_{TP}	10.00 mrad	21.93 mrad
M	42.3 mg	42.3 mg
U_D (ความเร็วของแผ่นดิสก์)	20 m/s	20 m/s
$(W_1 \times FX_S) + (W_2 \times FX_D)$ (ค่าสมการเป้าหมาย)	66,613.3412	7,708.1298

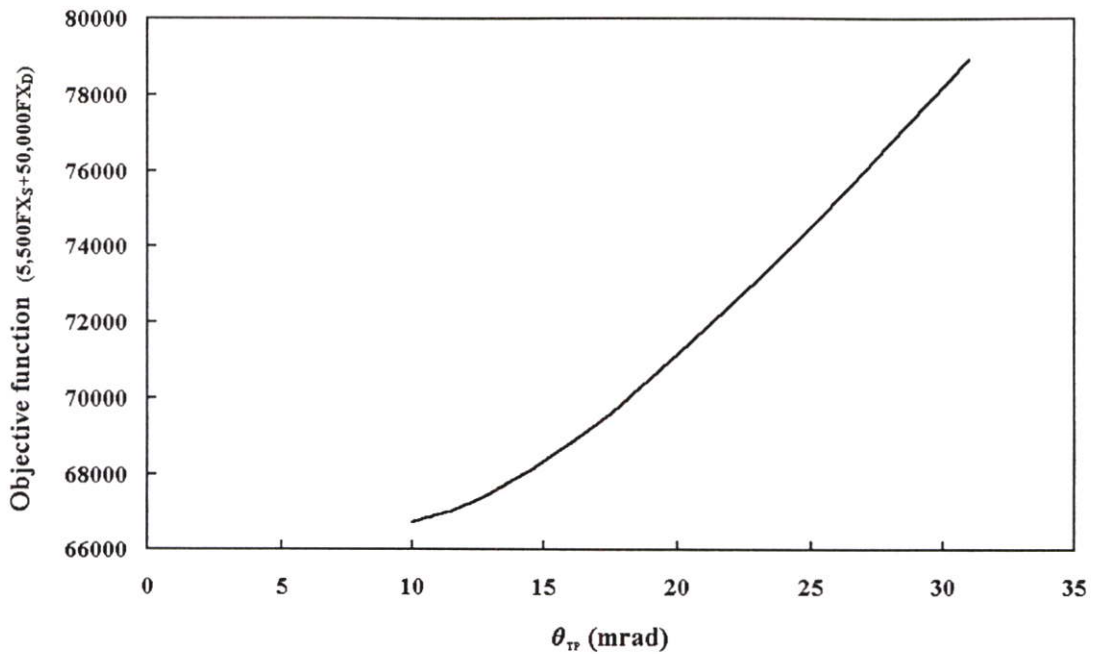
5.4.1 การหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีค่า $W_1 = 5,500$ และ $W_2 = 50,000$



รูปที่ 5.60 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของสมการเป้าหมายและค่าตัวแปรในการออกแบบที่มี $W_1 = 5,500, W_2 = 50,000$



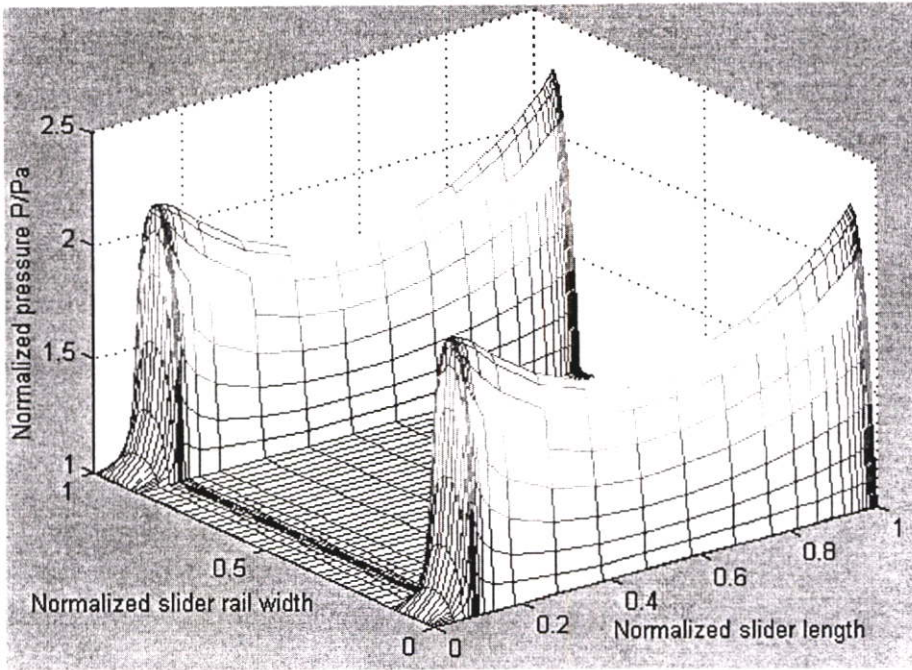
รูปที่ 5.61 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของสมการเป้าหมายและค่าความกว้างของรางของหัวอ่านที่มี $W_1 = 5,500, W_2 = 50,000$ และ $\theta_{TP} = 10.0$ mrad



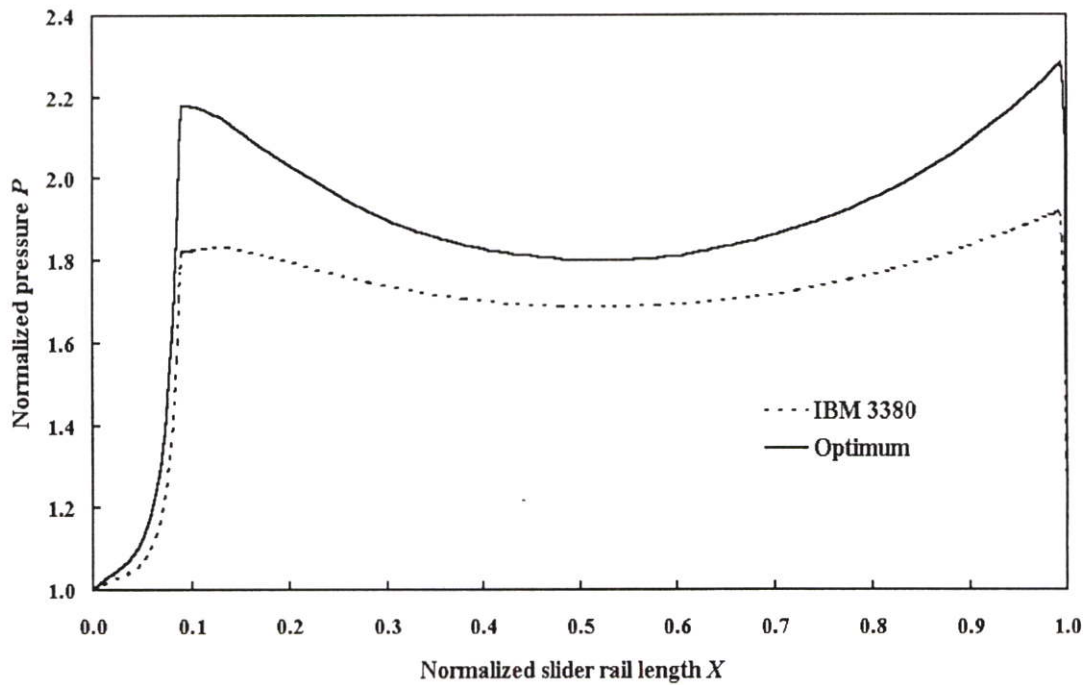
รูปที่ 5.62 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของสมการเป้าหมายและค่ามุมราบเอียงหรือมุมเทเปอร์ของรางของหัวอ่านที่มี $W_1 = 5,500$, $W_2 = 50,000$ และ $B = 0.336$ mm

จากรูปที่ 5.60-5.62 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรในการออกแบบและค่าสมการเป้าหมายที่มีค่า $W_1 = 5,500$, $W_2 = 50,000$ จะได้ว่าค่าสมการเป้าหมายที่ได้มีค่าเท่ากับ 66,613.3412 ที่ค่าความกว้างของรางหัวอ่าน (B) เท่ากับ 0.336 mm และค่ามุมราบเอียงหรือมุมเทเปอร์ (θ_{TP}) เท่ากับ 10.0 mrad โดยหัวอ่านชนิดรีียวที่มีขนาดดังกล่าวจะมีค่าสมการเป้าหมายที่สภาวะทำงานสถิตย์เท่ากับ 0.10486 ใช้เวลาในการปรับเข้าสู่สภาพสมดุลเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางเท่ากับ 0.351 มิลลิวินาที และค่าสมการเป้าหมายที่สภาวะทำงานพลวัตเท่ากับ 1.3207

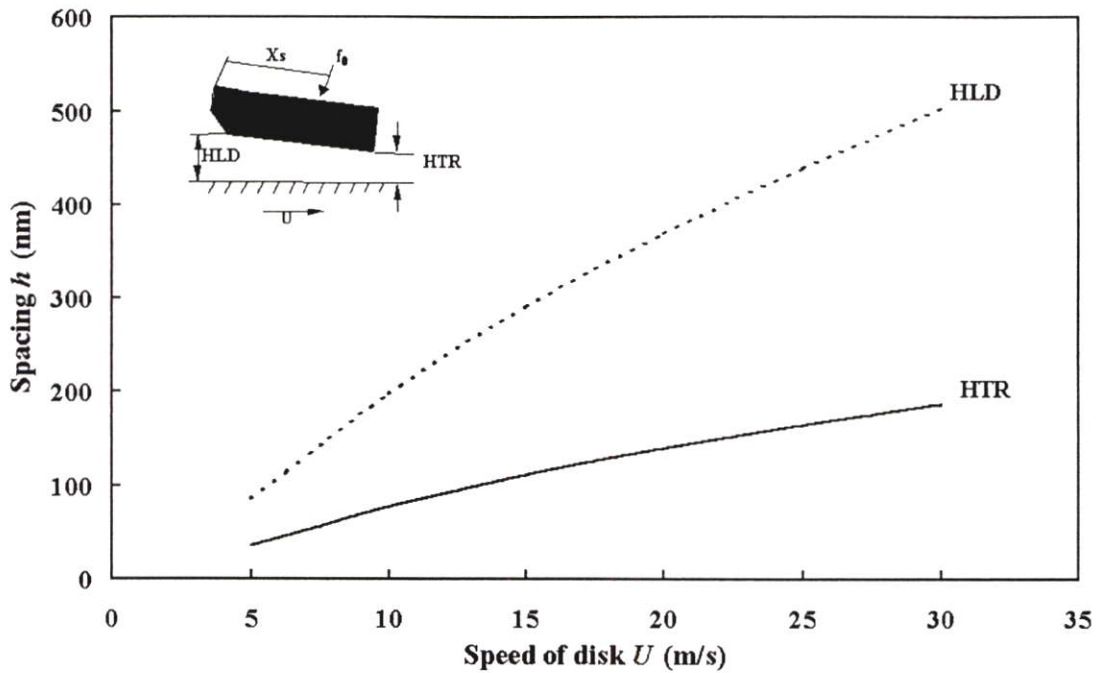
จากรูปที่ 5.63-5.64 แสดงการกระจายความดันที่กระทำต่อหัวอ่าน จากรูปจะเห็นว่าค่าความดันของหัวอ่านที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad) จะมีค่ามากกว่าค่าความดันของหัวอ่านชนิด IBM 3380 เป็นผลเนื่องจากค่าความหนาฟิล์มอากาศของหัวอ่านที่มีขนาดที่เหมาะสมมีค่าน้อยกว่าของค่าความหนาฟิล์มอากาศของหัวอ่านชนิด IBM 3380



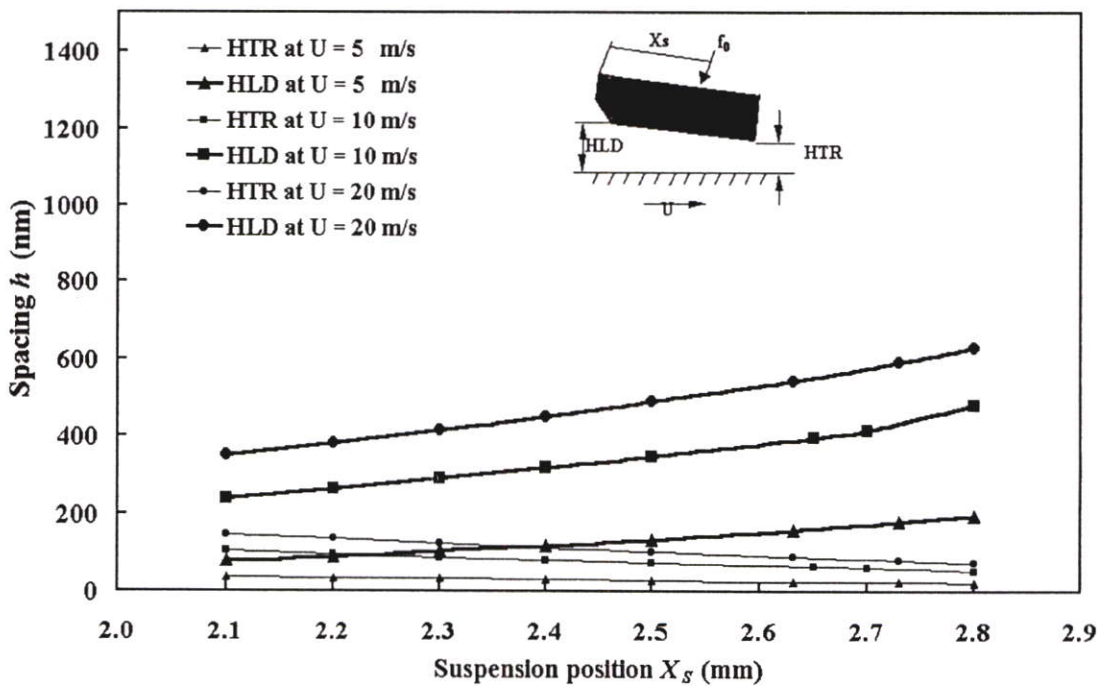
รูปที่ 5.63 แสดงการกระจายความดันบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม
($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad)



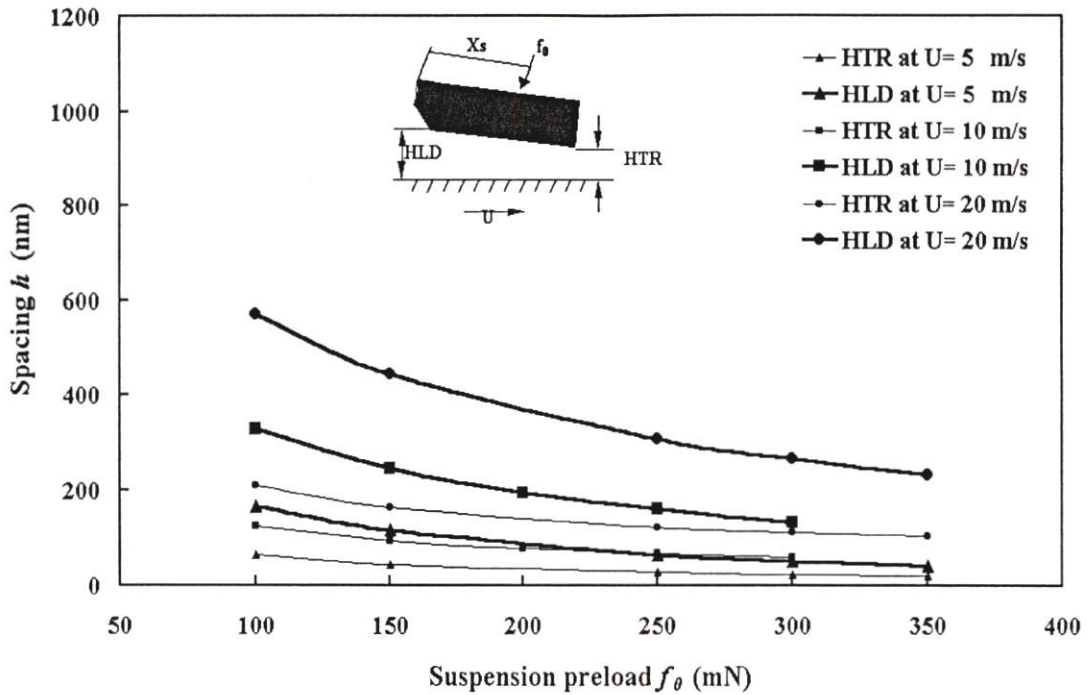
รูปที่ 5.64 แสดงการกระจายความดันที่กึ่งกลางรางตามแนวความยาวของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มี
ขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380



รูปที่ 5.65 ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วของแผ่นดิสก์

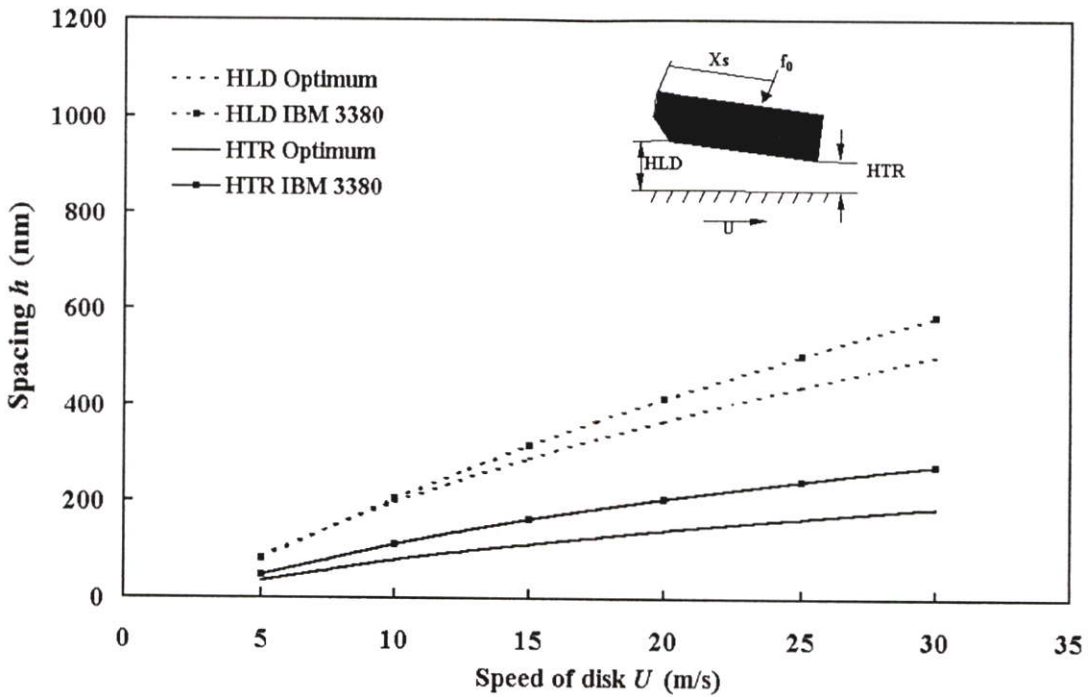


รูปที่ 5.66 ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad) เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะจับยึดหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์

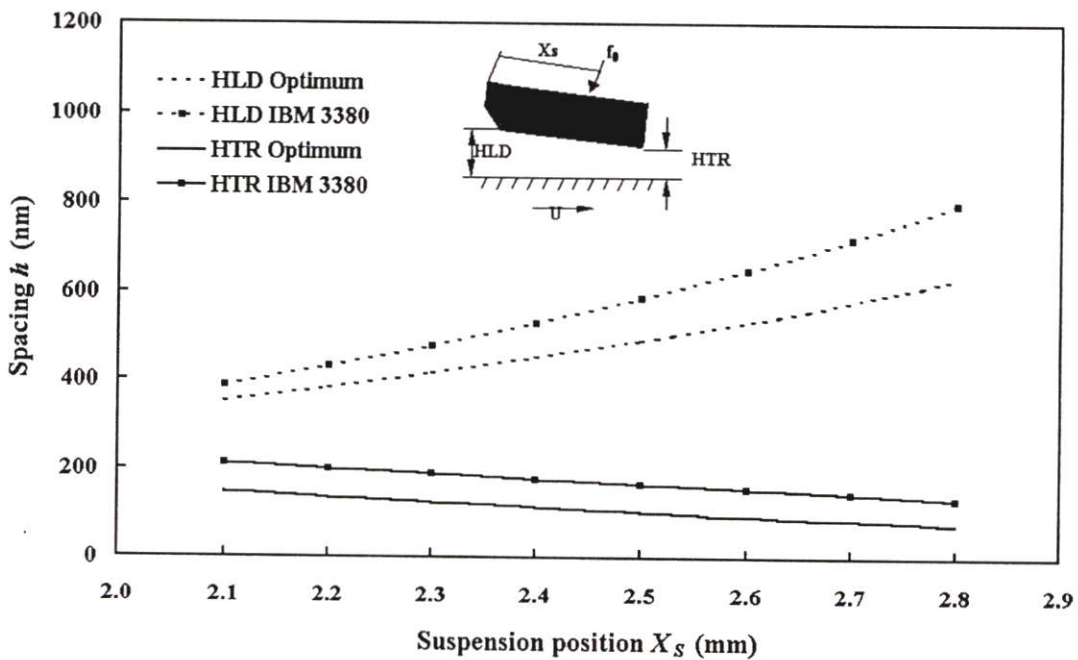


รูปที่ 5.67 ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad) เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงที่กระทำต่อหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์

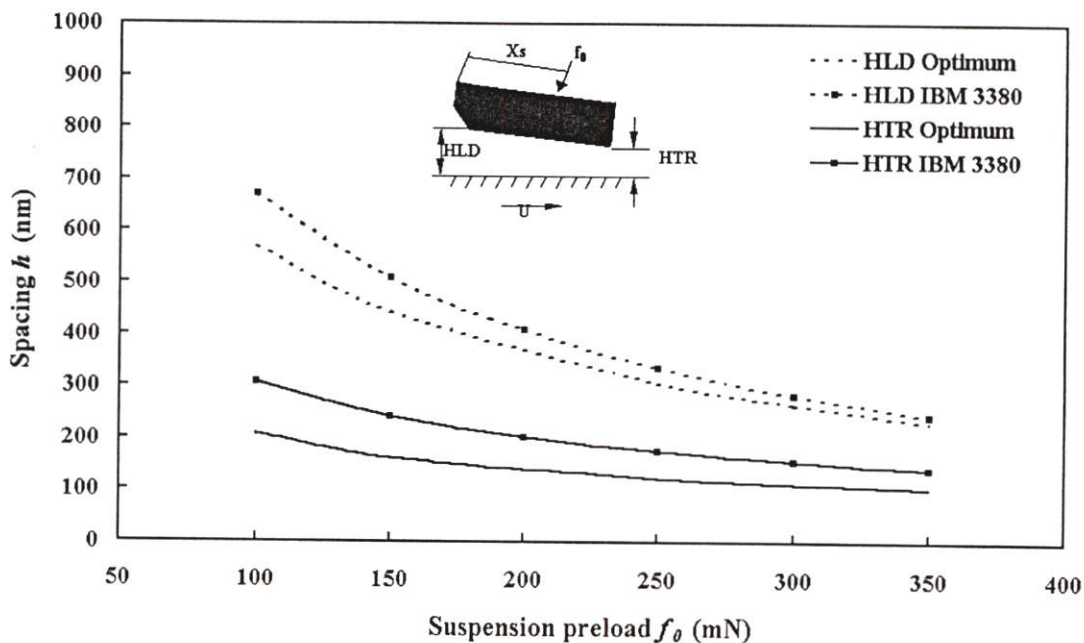
จากรูปที่ 5.65 แสดงการเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวแบนเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงไป จะเห็นว่าค่าความเร็วของดิสก์มีผลต่อระยะการลอยตัวของหัวอ่าน เมื่อค่าความเร็วของแผ่นดิสก์เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ระยะการลอยตัวทั้งที่บริเวณขอบนำและบริเวณขอบท้ายมีค่าเพิ่มขึ้น ในรูปที่ 5.66 การเปลี่ยนแปลงของระยะการลอยตัวของหัวอ่านเนื่องค่าของระยะการจับยึดหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงไป จะเห็นว่าเมื่อระยะการจับยึดหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบนำมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบท้ายจะมีค่าลดลงและเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่บริเวณขอบท้ายและบริเวณขอบนำมีค่าเพิ่มขึ้นเหมือนกัน ในรูปที่ 5.67 ระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อขนาดของแรงที่กระทำต่อหัวอ่านและค่าความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเปลี่ยนแปลงไป เมื่อค่าของแรงกระทำมีค่าเพิ่มจะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านทั้งที่บริเวณขอบหน้าและบริเวณขอบท้ายมีค่าลดลงแต่ถ้าความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งที่บริเวณขอบนำและบริเวณขอบท้าย



รูปที่ 5.68 เปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านระหว่างหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วของแผ่นดิสก์

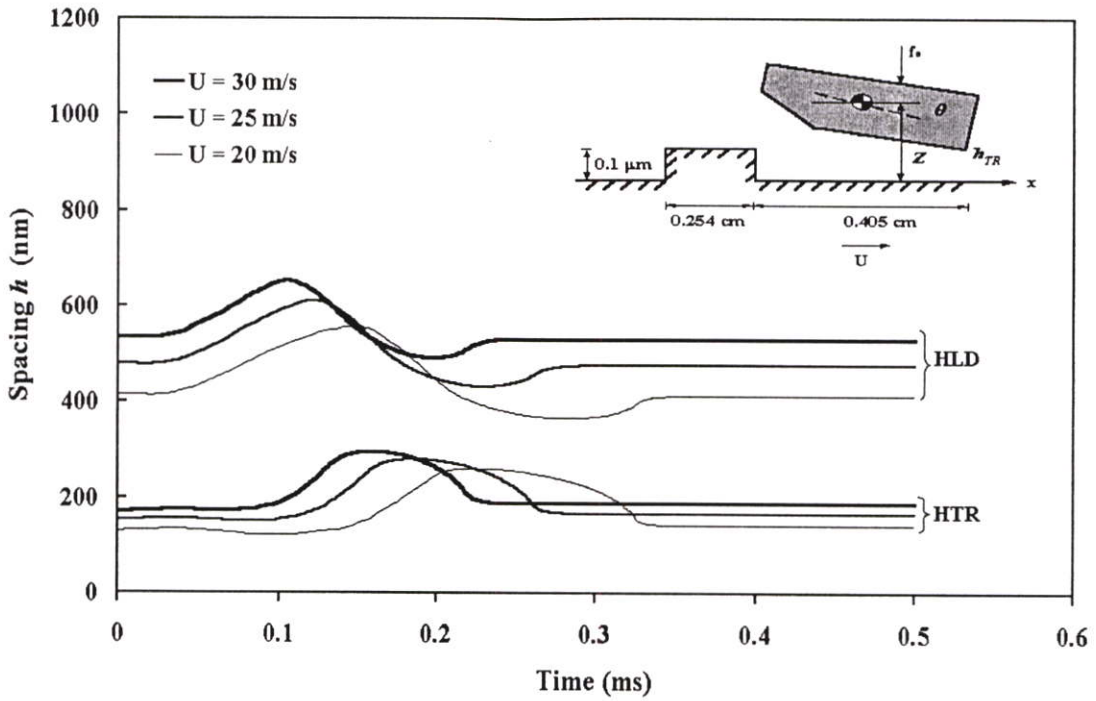


รูปที่ 5.69 เปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านระหว่างหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะการจับยึดหัวอ่าน ที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s

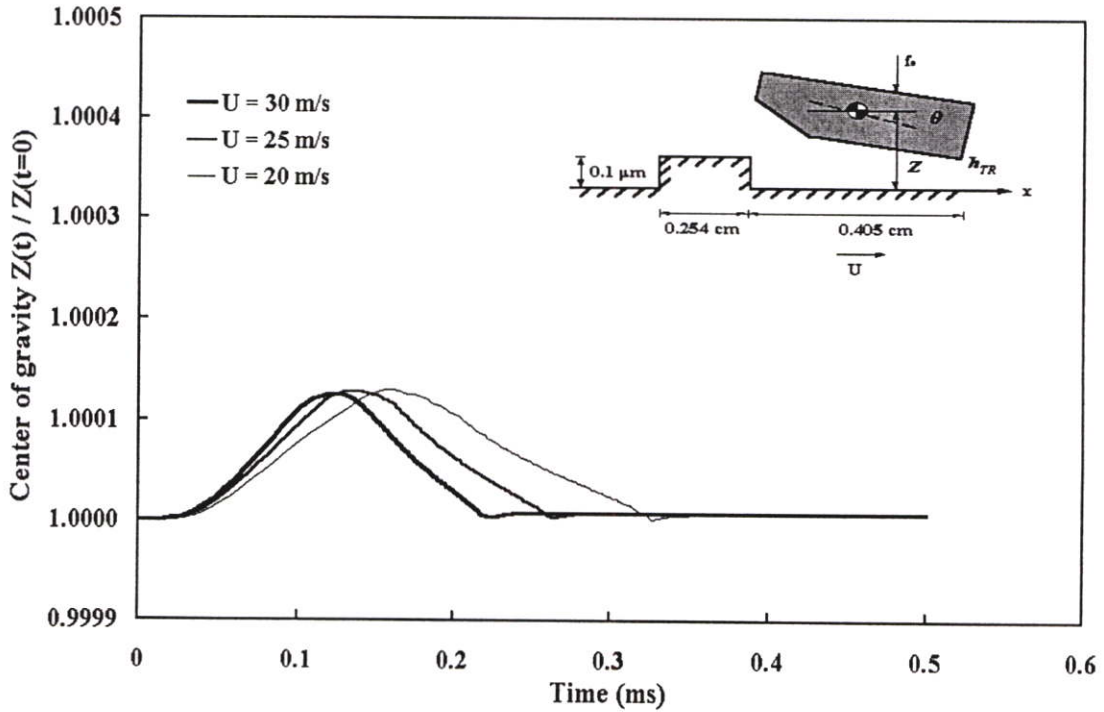


รูปที่ 5.70 เปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านระหว่างหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงที่กระทำต่อหัวอ่าน ที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s

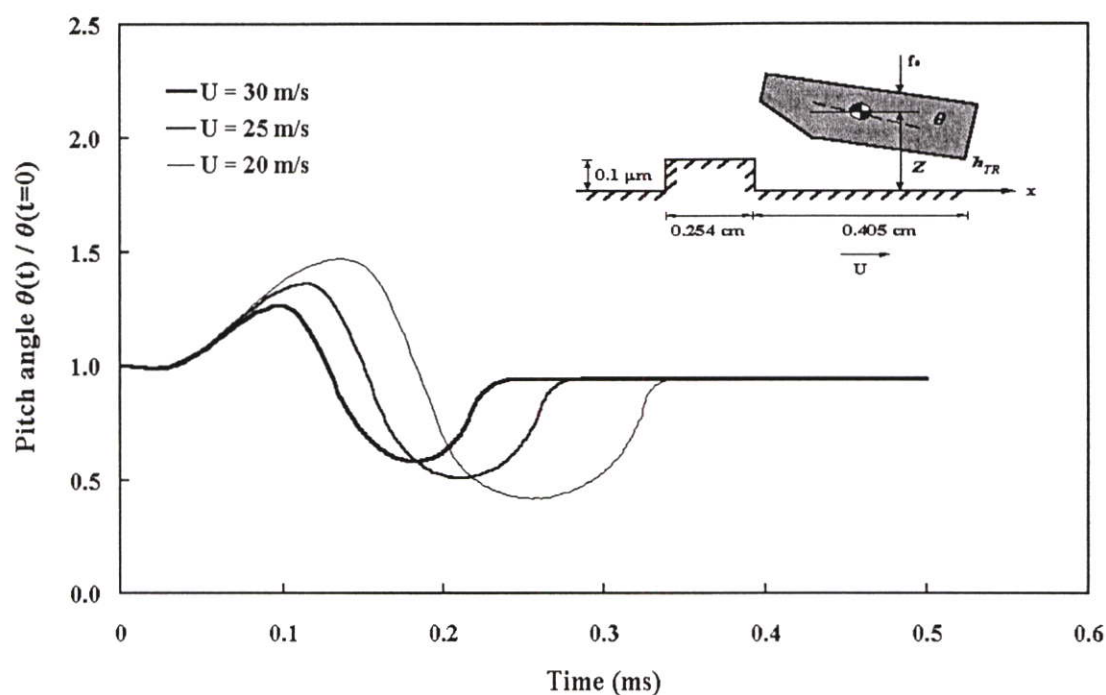
จากรูปที่ 5.68 แสดงการเปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเรียวแบนและหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะเห็นว่าระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad) มีค่าระยะการลอยตัวน้อยกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าความดันของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมมีค่ามากกว่าค่าความดันของหัวอ่านชนิด IBM 3380 และเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบนำและบริเวณขอบท้ายของหัวอ่านทั้งสองชนิดมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ในรูปที่ 5.69 จะเห็นว่าระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบท้ายจะมีค่าลดลงเมื่อระยะการจับยึดหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบนำจะมีค่าเพิ่มขึ้นของทั้งหัวอ่านชนิดเรียวที่มีขนาดที่เหมาะสมและหัวอ่านชนิด IBM 3380 และจะได้ว่าค่าระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมมีค่าน้อยกว่าระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 ในรูปที่ 5.70 แสดงระยะการลอยตัวที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปเมื่อแรงที่กระทำต่อหัวอ่านเปลี่ยนแปลงไป โดยทั้งหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมและหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะมีระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบท้ายและขอบนำมีค่าลดลงเมื่อแรงที่กระทำต่อหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้น และหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมมีค่าระยะการลอยตัวน้อยกว่าระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380



รูปที่ 5.71 การเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง

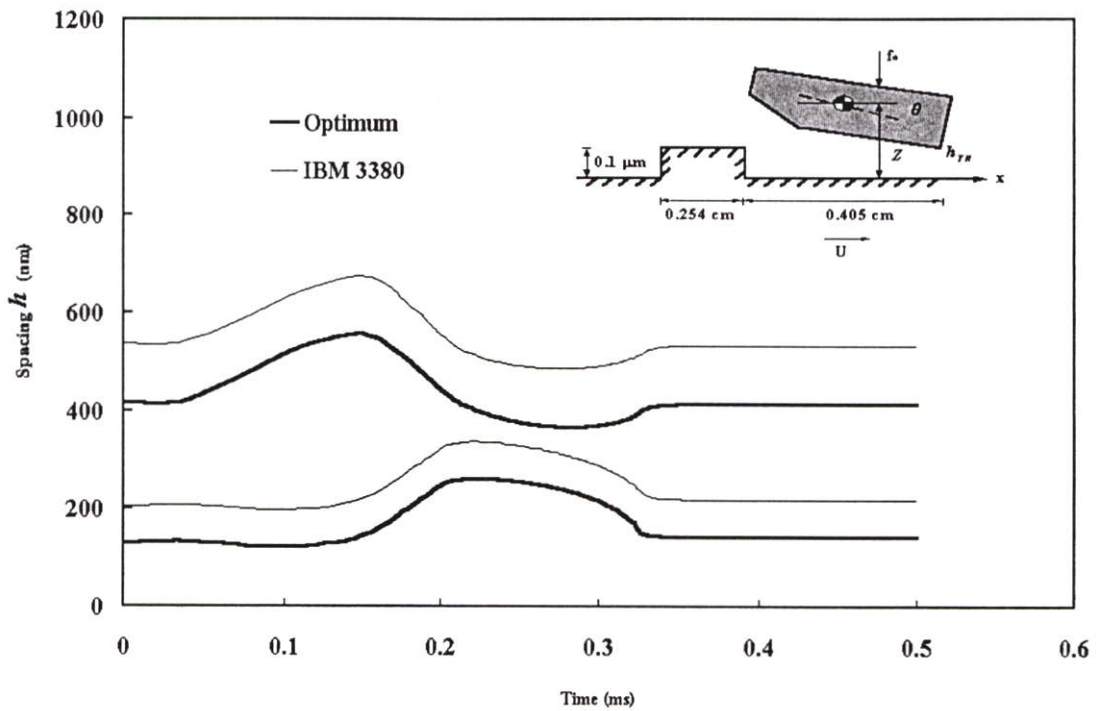


รูปที่ 5.72 การเปลี่ยนแปลงระยะจุดศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง

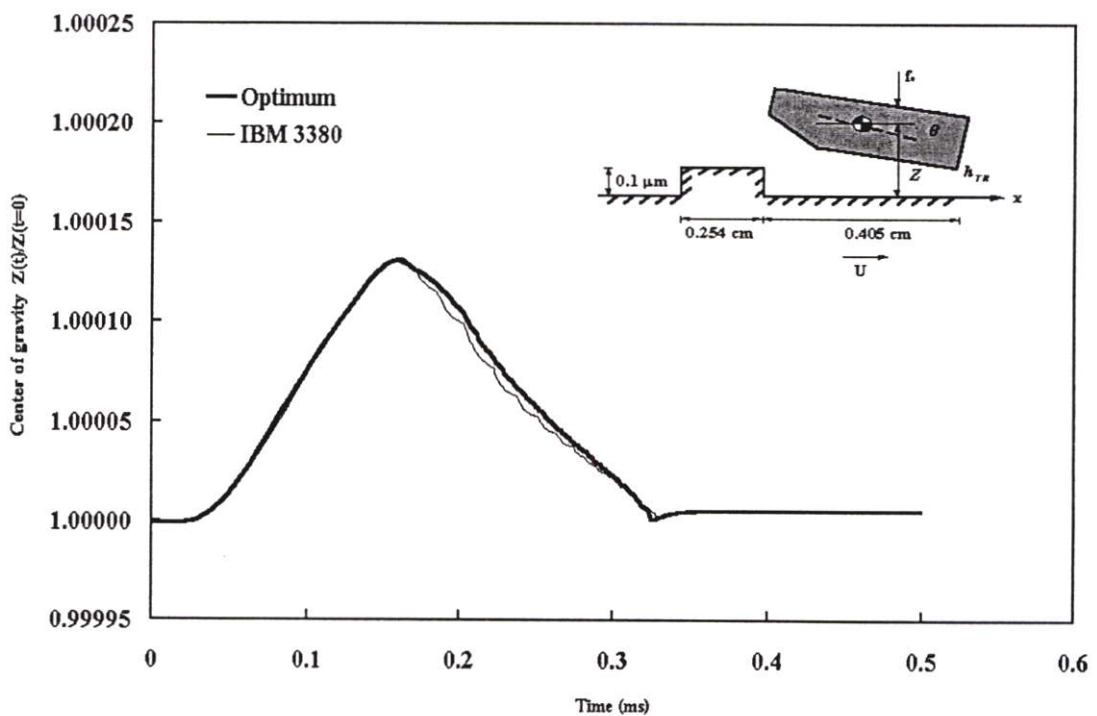


รูปที่ 5.73 การเปลี่ยนแปลงค่ามุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง

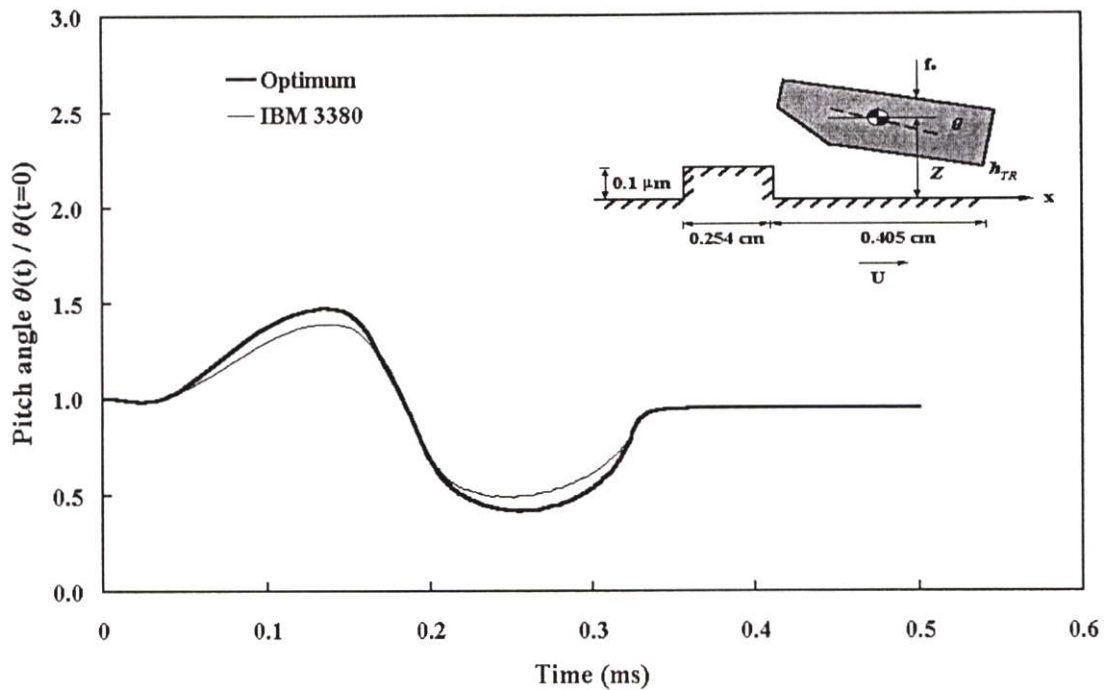
จากรูปที่ 5.71-5.73 แสดงพฤติกรรมการทำงานที่สภาวะพลวัตของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad) ในรูปที่ 5.71 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้หัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมสามารถปรับตัวเข้าสู่สมดุลได้เร็วยิ่งขึ้น รูปที่ 5.72 เมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางจะมีผลทำให้ระยะของศูนย์กลางมวลเปลี่ยนแปลงไปโดยระยะของศูนย์กลางมวลจะมีค่าเพิ่มขึ้นและจะมีค่าลดลงกลับสู่สมดุลอีกครั้ง จะเห็นว่าเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นหัวอ่านจะสามารถปรับตัวเข้าสู่สมดุลได้เร็วยิ่งขึ้นเช่นเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงค่ามุมพิทช์จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางดังแสดงในรูปที่ 5.73 โดยค่าของมุมพิทช์จะมีแกว่งขึ้นลงและปรับตัวเข้าสู่สมดุลอีกครั้ง เมื่อค่าความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าของมุมพิทช์แกว่งขึ้นลงน้อยกว่าที่ความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าน้อยและหัวอ่านสามารถปรับตัวเข้าสู่สมดุลได้เร็วขึ้นเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.74 การเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s



รูปที่ 5.75 การเปลี่ยนแปลงระยะศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s

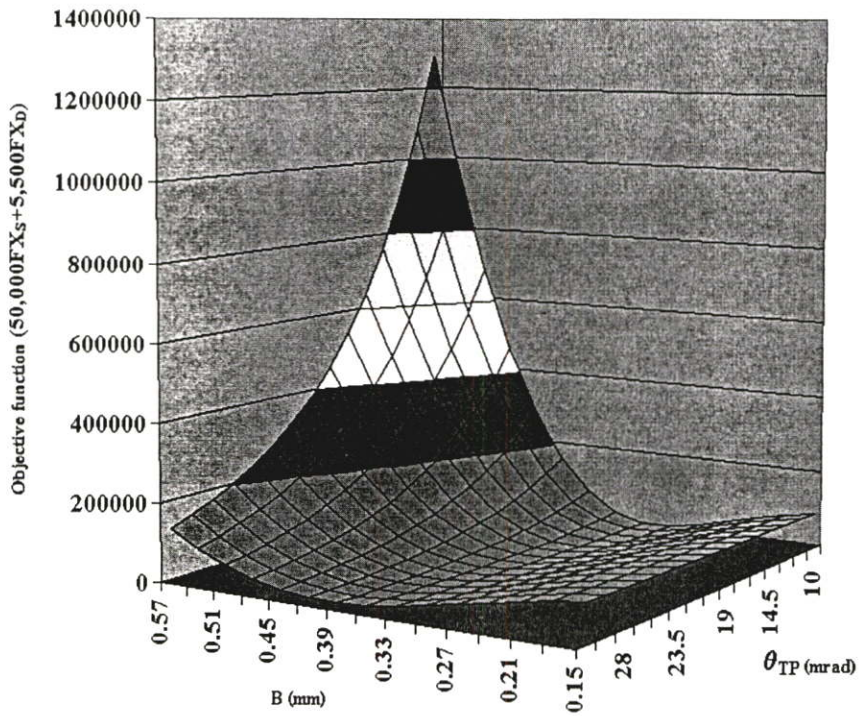


รูปที่ 5.76 การเปลี่ยนแปลงค่าของมุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางที่มีความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s

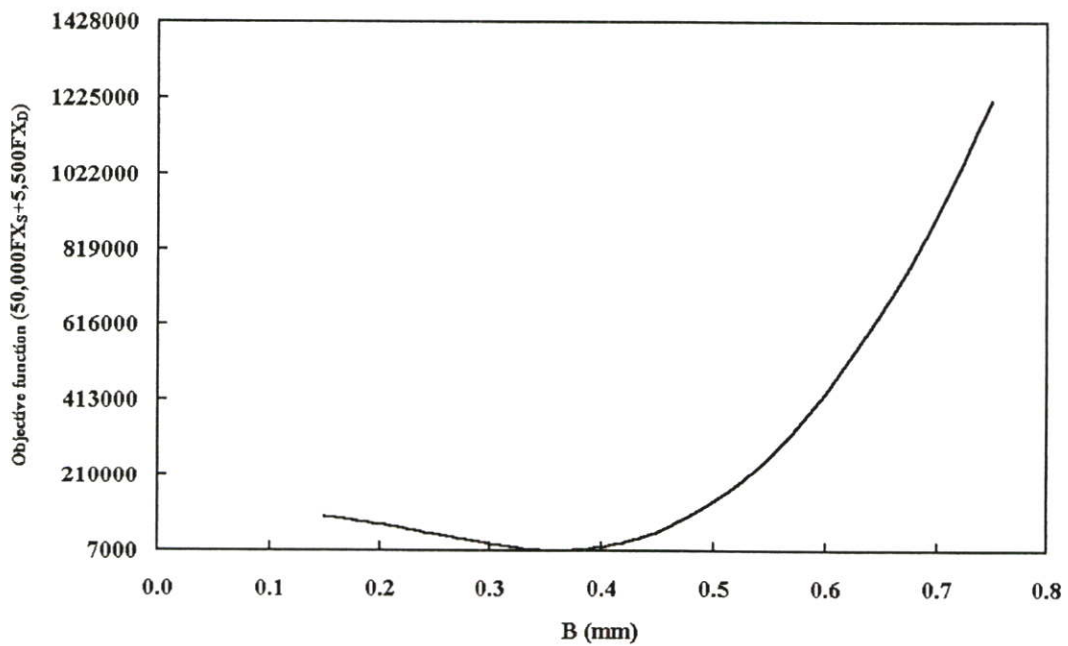
รูปที่ 5.74-5.76 เปรียบเทียบพฤติกรรมการทำงานพลวัตของหัวอ่านชนิดเร็วที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 พบว่าที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s เมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมใช้เวลาในการปรับสภาพเข้าสู่สมดุลย์เท่ากับ 0.350 มิลลิวินาที ส่วนหัวอ่านชนิด IBM 3380 สามารถปรับตัวเข้าสู่สมดุลย์ได้เมื่อเวลาผ่านไปเท่ากับ 0.352 มิลลิวินาที จะเห็นว่าหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมจะสามารถปรับตัวเข้าสู่สมดุลย์อีกครั้งได้เร็วกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 ระยะการลอยตัวทั้งที่บริเวณขอบนำและบริเวณขอบท้ายของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีค่าน้อยกว่าระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 ดังแสดงในรูปที่ 5.74

จากรูปที่ 5.75 จะเห็นว่าค่าแกว่งของค่าของระยะศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีค่าแตกต่างกันน้อยมากและเมื่อปรับเข้าสู่สมดุลย์อีกครั้งระยะของศูนย์กลางมวลของหัวอ่านทั้งสองชนิดมีค่าเท่ากัน สำหรับการแกว่งของค่ามุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีค่าเท่ากับ 0.2536 และหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีค่าเท่ากับ 0.1569 ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 0.0967 แต่ระยะเวลาที่ใช้ในการปรับเข้าสู่สมดุลย์ของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมจะเร็วกว่าเวลาของหัวอ่านชนิด IBM 3380 ดังแสดงในรูปที่ 5.76

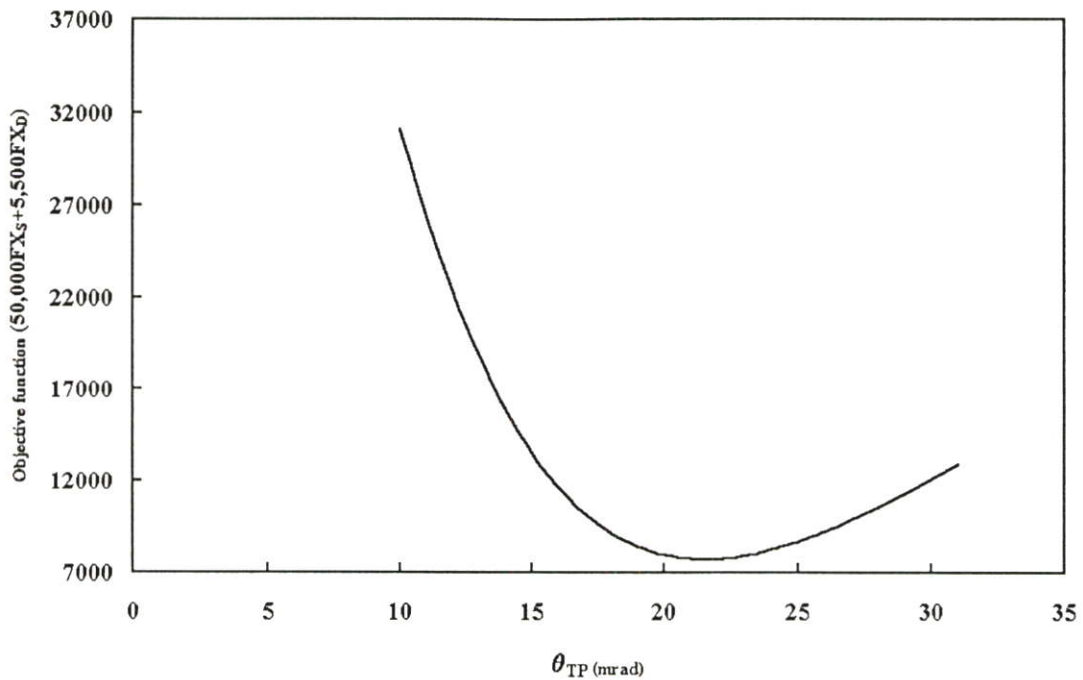
5.4.2 การหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีค่า $W_1 = 50,000$ และ $W_2 = 5,500$



รูปที่ 5.77 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของสมการเป้าหมายและค่าตัวแปรในการออกแบบที่มี $W_1 = 50,000, W_2 = 5,500$



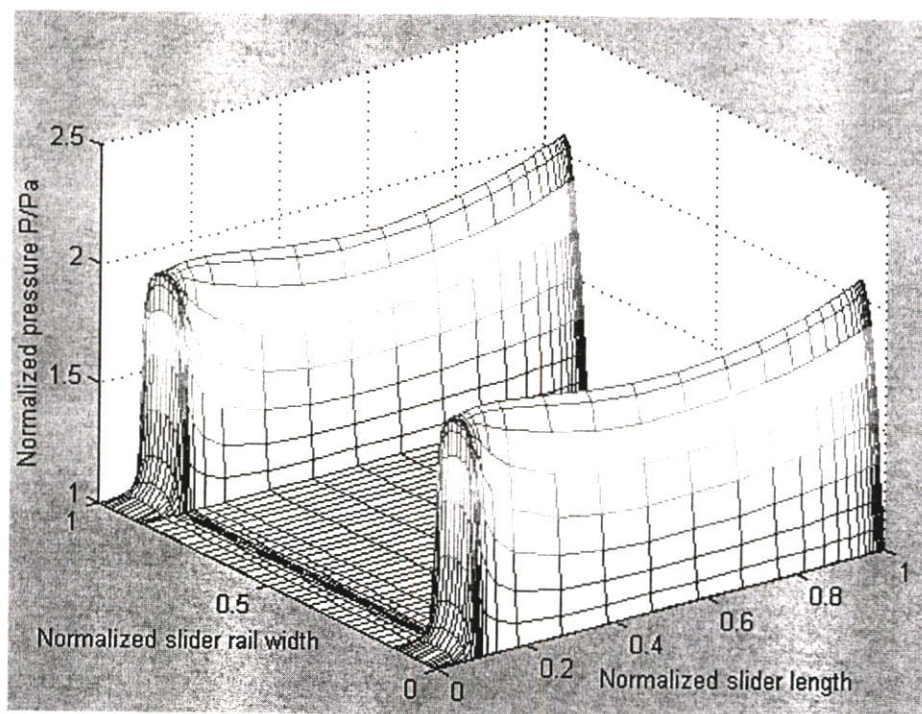
รูปที่ 5.78 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของสมการเป้าหมายและค่าความกว้างของรางของหัวอ่านที่มี $W_1 = 50,000, W_2 = 5,500$ และ $\theta_{TP} = 21.93$ mrad



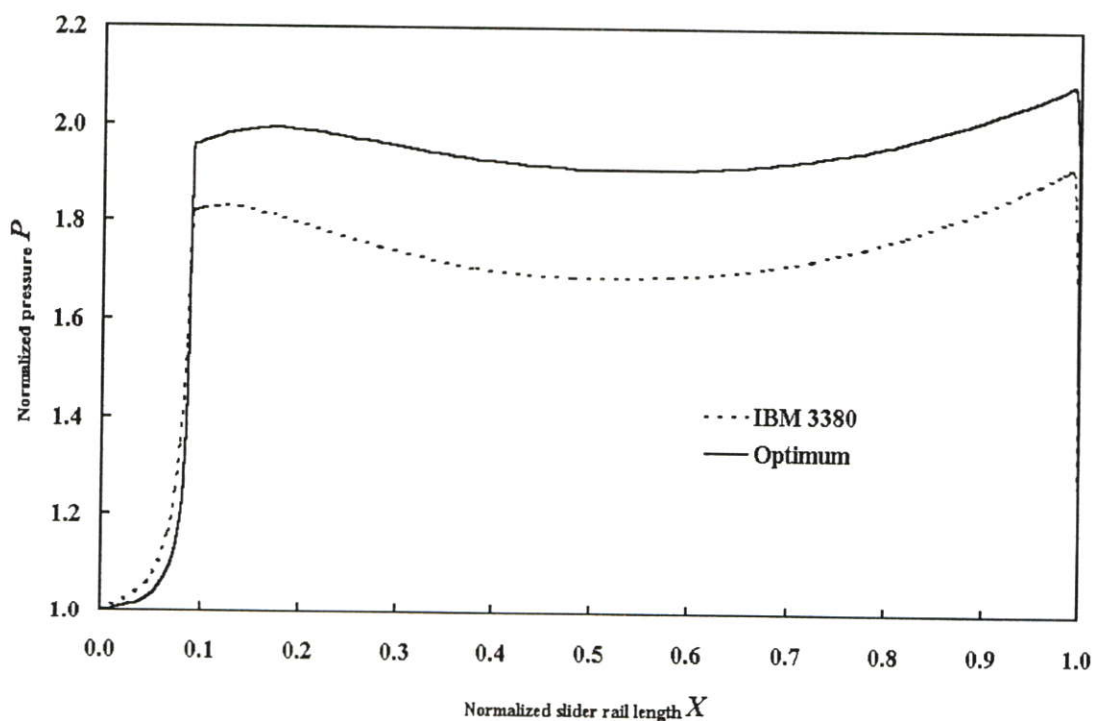
รูปที่ 5.79 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของสมการเป้าหมายและค่ามุมราบเอียงหรือมุมเทเปอร์ของรางของหัวอ่านที่มี $W_1 = 50,000$, $W_2 = 5,500$ และ $B = 0.362$ mm

จากรูปที่ 5.77-5.79 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรในการออกแบบและค่าสมการเป้าหมายที่มีค่า $W_1 = 50,000$, $W_2 = 5,500$ จะได้ว่าค่าสมการเป้าหมายที่ได้มีค่าเท่ากับ 7,708.1298 ที่ค่าความกว้างของรางหัวอ่าน (B) เท่ากับ 0.362 mm และค่ามุมราบเอียงหรือมุมเทเปอร์ (θ_{TP}) เท่ากับ 21.93 mrad โดยหัวอ่านชนิดรีวที่มีขนาดดังกล่าวจะมีค่าสมการเป้าหมายที่สภาวะทำงานสถิติเท่ากับ 0.0013203 ใช้เวลาในการปรับเข้าสู่สภาพสมดุลเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางเท่ากับ 0.351 มิลลิวินาที และค่าสมการเป้าหมายที่สภาวะทำงานพลวัตเท่ากับ 1.3895

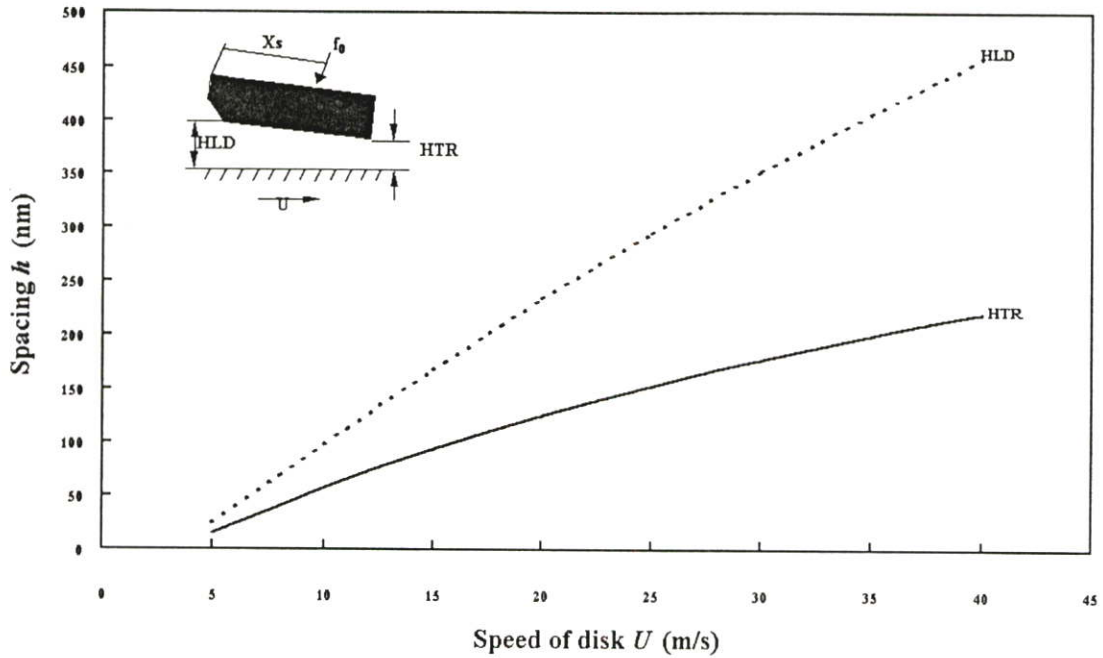
จากรูปที่ 5.80-5.81 แสดงการกระจายความดันที่กระทำต่อหัวอ่าน พบว่าจะเกิดค่าความดันสูงที่บริเวณขอบนำและบริเวณขอบท้ายโดยจะมีค่าความดันสูงสุดที่บริเวณขอบท้าย และค่าความดันของหัวอ่านที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad) จะมีค่ามากกว่าค่าความดันของหัวอ่านชนิด IBM 3380 เป็นผลเนื่องจากค่าความหนาฟิล์มอากาศของหัวอ่านที่มีขนาดที่เหมาะสมมีค่าน้อยกว่าของค่าความหนาฟิล์มอากาศของหัวอ่านชนิด IBM 3380



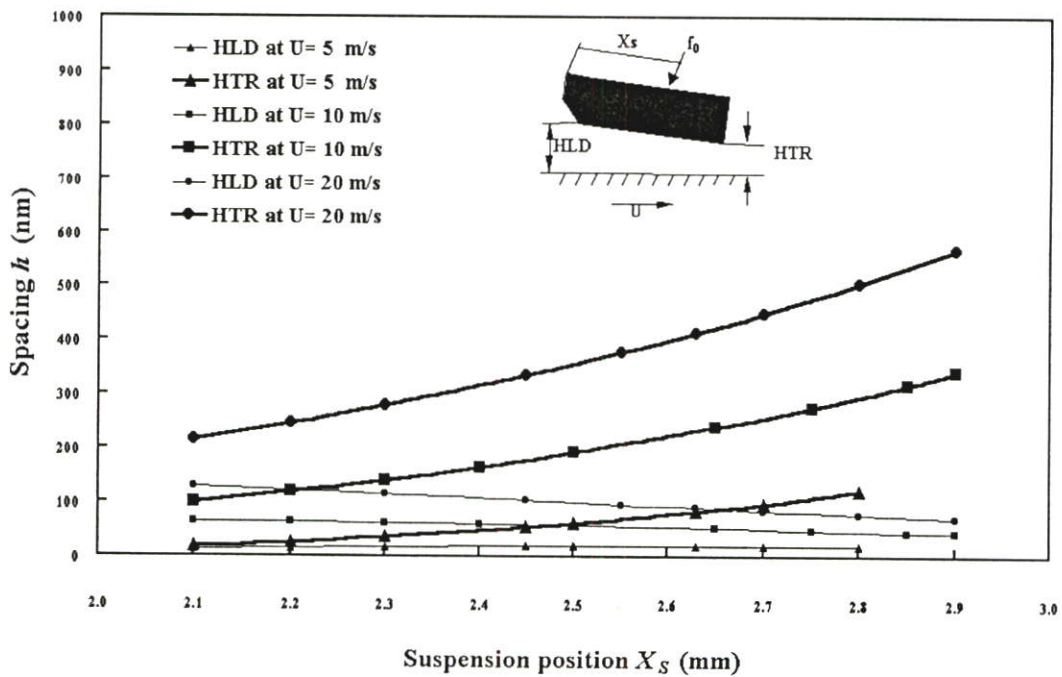
รูปที่ 5.80 แสดงการกระจายความดันบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม
($B=0.362$ mm, $\theta_{TP}=21.93$ mrad)



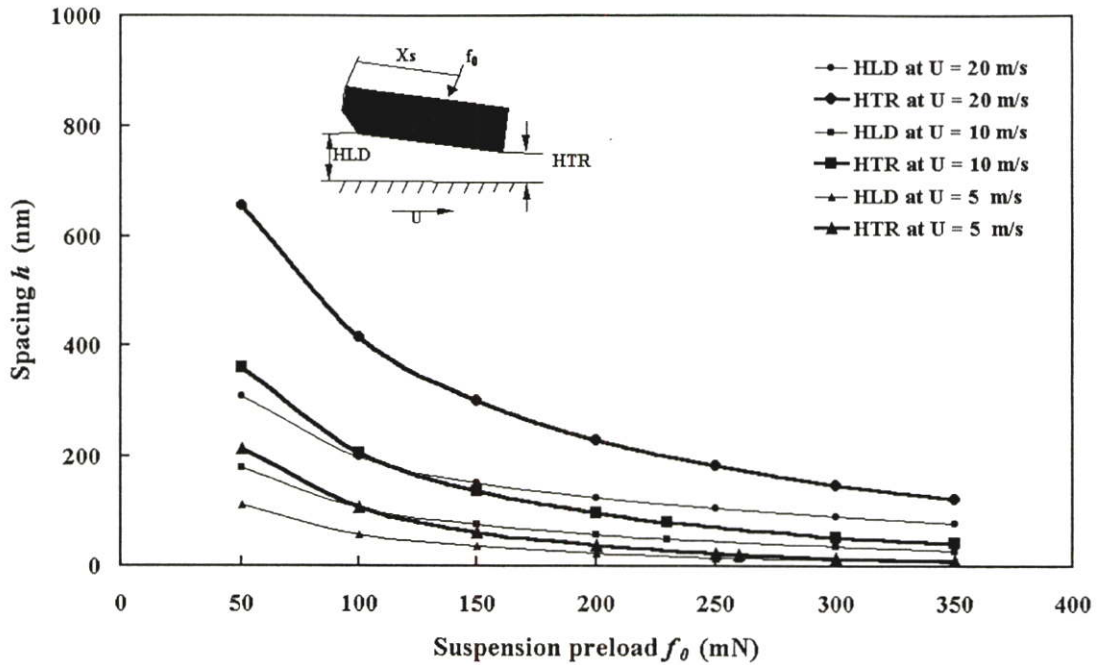
รูปที่ 5.81 แสดงการกระจายความดันที่กึ่งกลางรางตามแนวความยาวของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มี
ขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362$ mm, $\theta_{TP}=21.93$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380



รูปที่ 5.82 ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362$ mm, $\theta_{TP}=21.93$ mrad) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วของแผ่นดิสก์

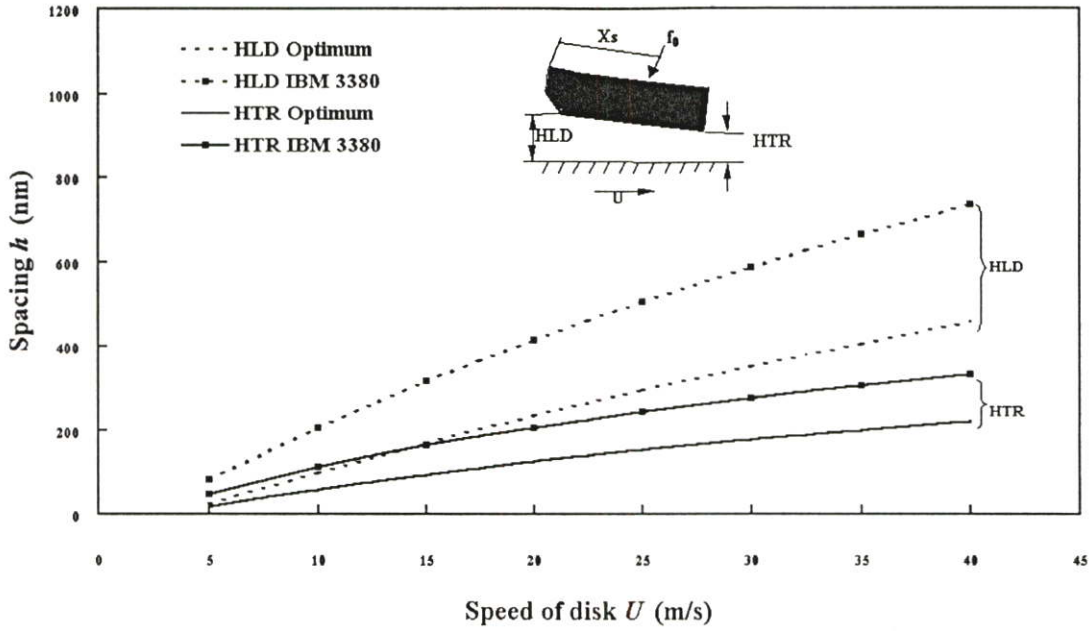


รูปที่ 5.83 ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362$ mm, $\theta_{TP}=21.93$ mrad) เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะจับยึดหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์

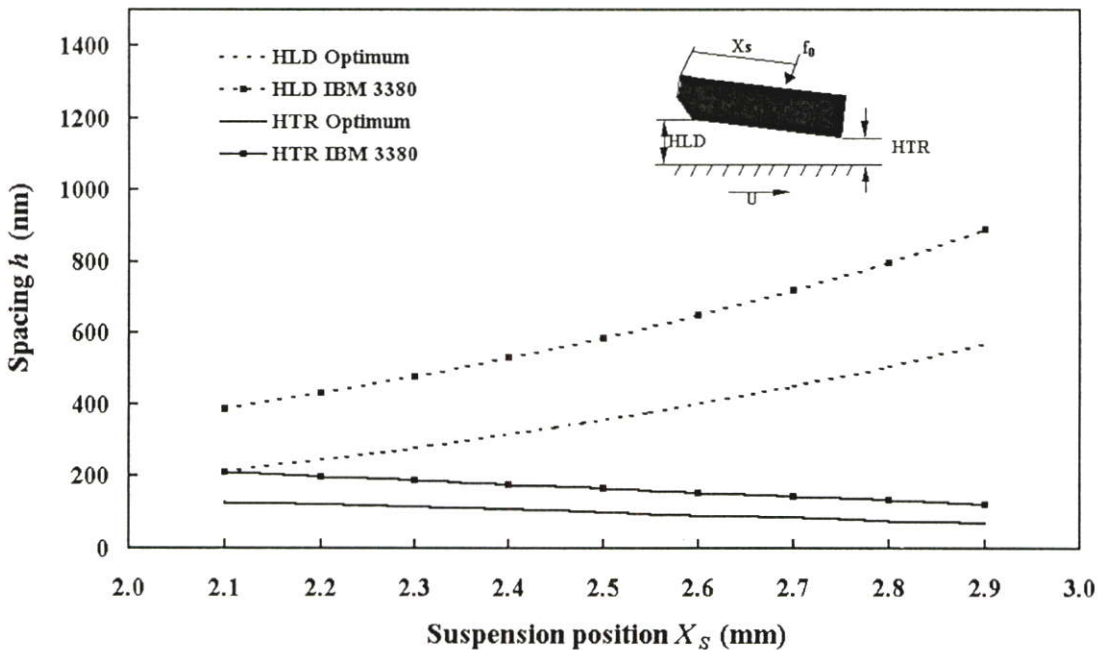


รูปที่ 5.84 ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362$ mm, $\theta_{TP}=21.93$ mrad) เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงกระทำต่อหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์

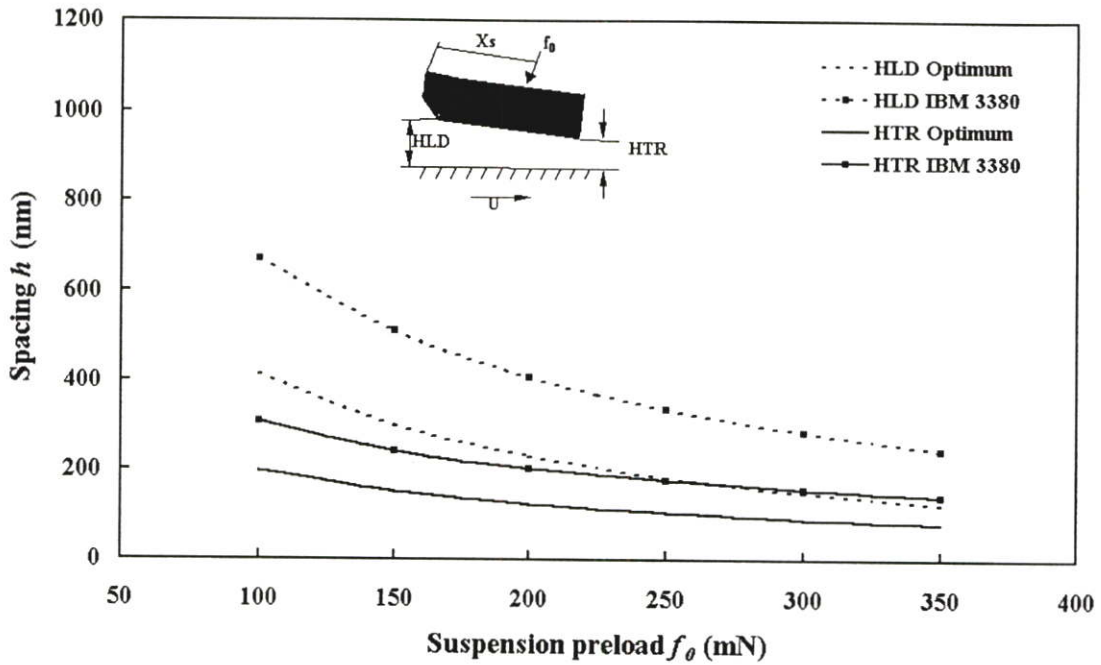
จากรูปที่ 5.82 แสดงการเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362$ mm, $\theta_{TP}=21.93$ mrad) เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงไป จะเห็นว่าค่าความเร็วของดิสก์มีผลต่อระยะการลอยตัวของหัวอ่าน เมื่อค่าความเร็วของแผ่นดิสก์เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ระยะการลอยตัวทั้งที่บริเวณขอบนำและบริเวณขอบท้ายมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่าระยะการจับยึดหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงไปจะมีผลทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในรูปที่ 5.83 พบว่าเมื่อระยะการจับยึดหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบนำมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบท้ายจะมีค่าลดลงและเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่บริเวณขอบท้ายและบริเวณขอบนำมีค่าเพิ่มขึ้นเหมือนกัน ในรูปที่ 5.84 พบว่าเมื่อขนาดของแรงที่กระทำต่อหัวอ่านและค่าความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเปลี่ยนแปลงไปจะมีผลทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านเปลี่ยนแปลงไปเช่นเดียวกัน เมื่อค่าของแรงกระทำมีค่าเพิ่มจะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านทั้งที่บริเวณขอบนำและบริเวณขอบท้ายมีค่าลดลง แต่ถ้าความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งที่บริเวณขอบนำและบริเวณขอบท้าย



รูปที่ 5.85 เปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านระหว่างหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362$ mm, $\theta_{TP}=21.93$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วของแผ่นดิสก์

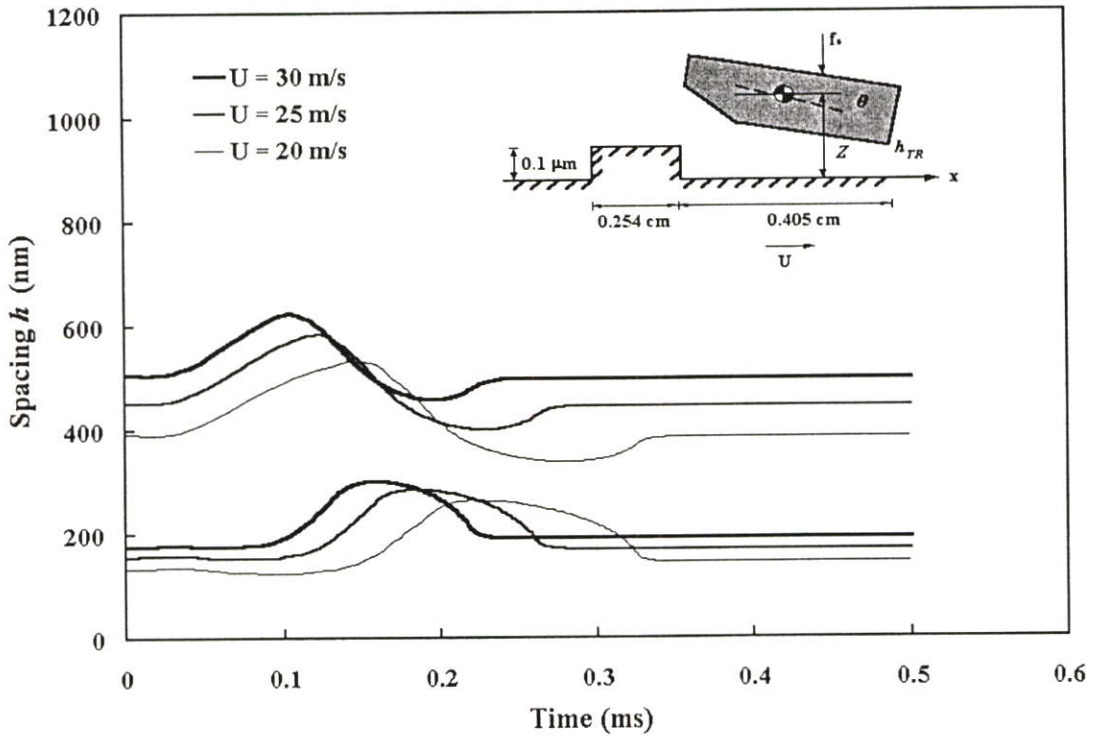


รูปที่ 5.86 เปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านระหว่างหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362$ mm, $\theta_{TP}=21.93$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะการจับยึดหัวอ่าน ที่ค่าความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s

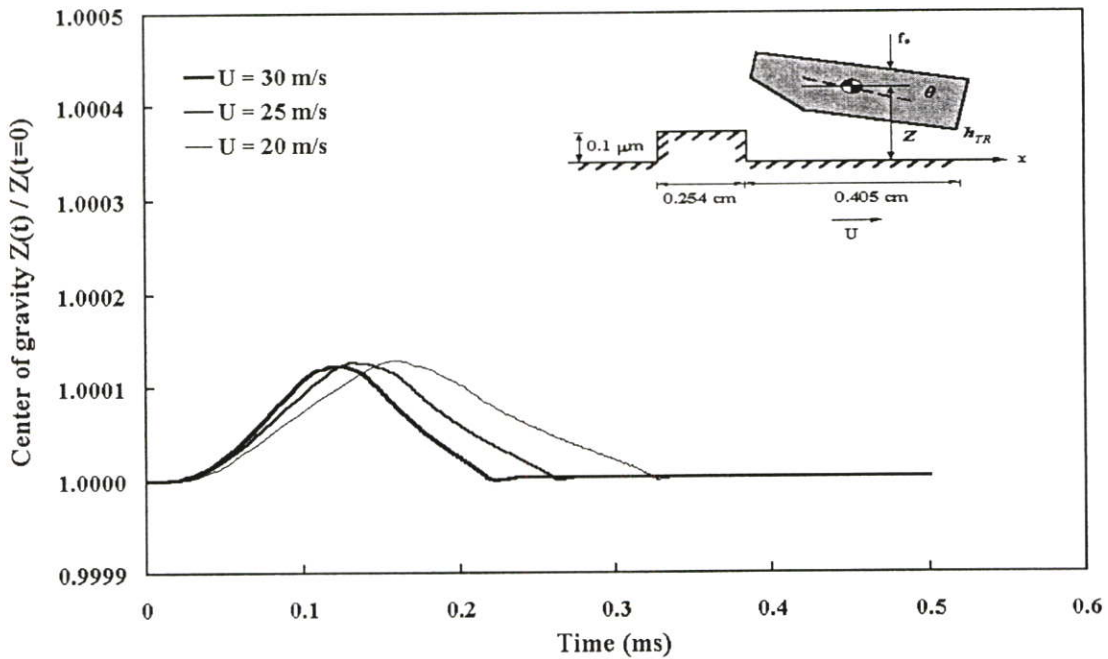


รูปที่ 5.87 เปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านระหว่างหัวอ่านชนิดริ้วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362$ mm, $\theta_{TP}=21.93$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงที่กระทำต่อหัวอ่าน ที่ค่าความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s

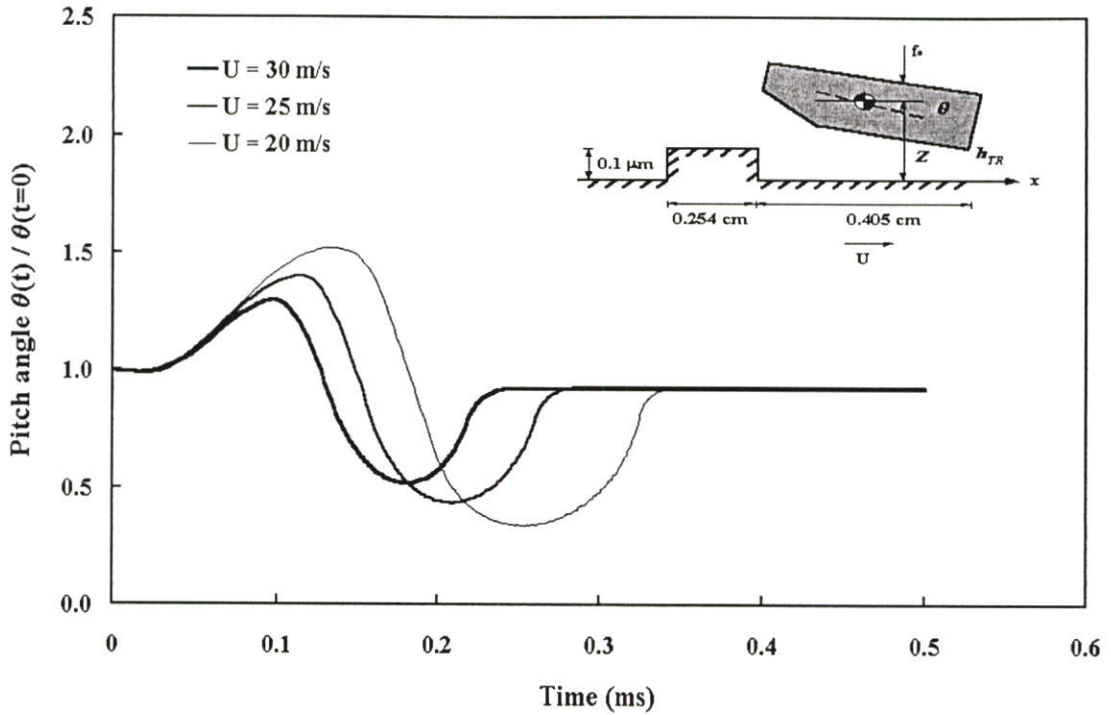
จากรูปที่ 5.85 เปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดริ้วแบนและหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะเห็นว่าระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดริ้วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362$ mm, $\theta_{TP}=21.93$ mrad) มีค่าระยะการลอยตัวน้อยกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะมีผลทำให้ค่าความดันของหัวอ่านชนิดริ้วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมมีค่ามากกว่าค่าความดันของหัวอ่านชนิด IBM 3380 และเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบนำและบริเวณขอบท้ายของหัวอ่านทั้งสองชนิดมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ในรูปที่ 5.86 เปรียบเทียบการเปลี่ยนระยะการลอยตัวของหัวอ่านเนื่องจากค่าของระยะการจับยึดหัวอ่านมีค่าเปลี่ยนแปลงไป จากรูปพบว่าระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบท้ายจะมีค่าลดลงเมื่อระยะการจับยึดหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบนำจะมีค่าเพิ่มขึ้นของทั้งหัวอ่านชนิดริ้วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมและหัวอ่านชนิด IBM 3380 และจะได้ว่าค่าระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดริ้วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมมีค่าน้อยกว่าระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 ในรูปที่ 5.87 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวเมื่อแรงที่กระทำต่อหัวอ่านเปลี่ยนแปลงไป โดยทั้งหัวอ่านชนิดริ้วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมและหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะมีระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบท้ายและขอบนำมีค่าลดลงเมื่อแรงที่กระทำต่อหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้น และหัวอ่านชนิดริ้วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมมีค่าระยะการลอยตัวน้อยกว่าระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380



รูปที่ 5.88 การเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362 \text{ mm}$, $\theta_{TP}=21.93 \text{ mrad}$) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง

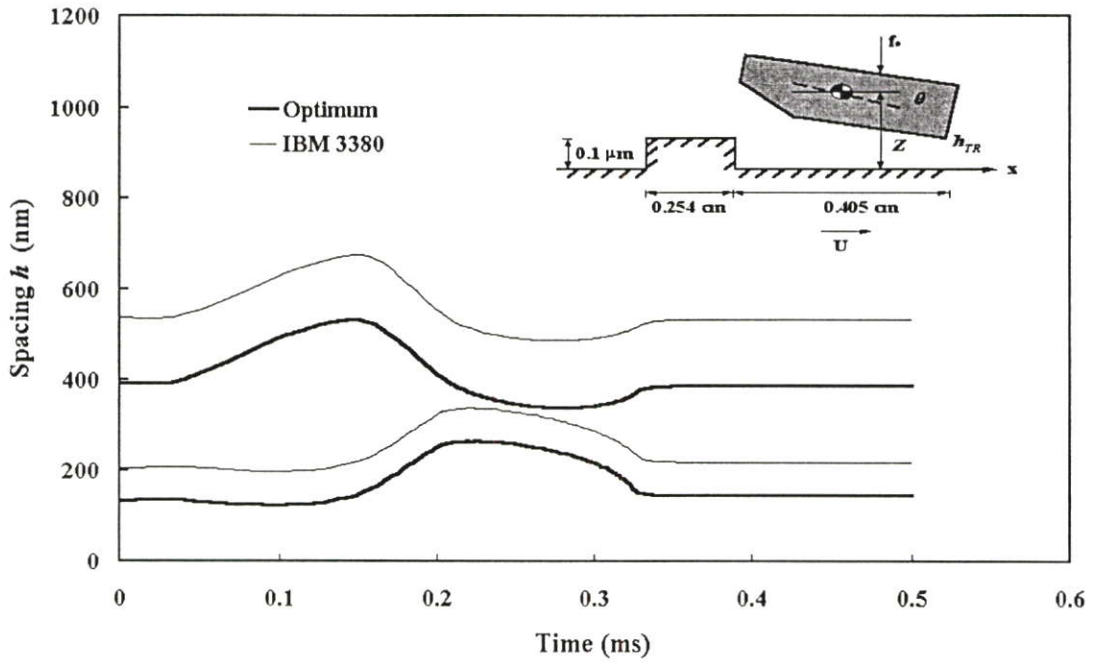


รูปที่ 5.89 การเปลี่ยนแปลงระยะของจุดศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดเร็วแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362 \text{ mm}$, $\theta_{TP}=21.93 \text{ mrad}$) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง

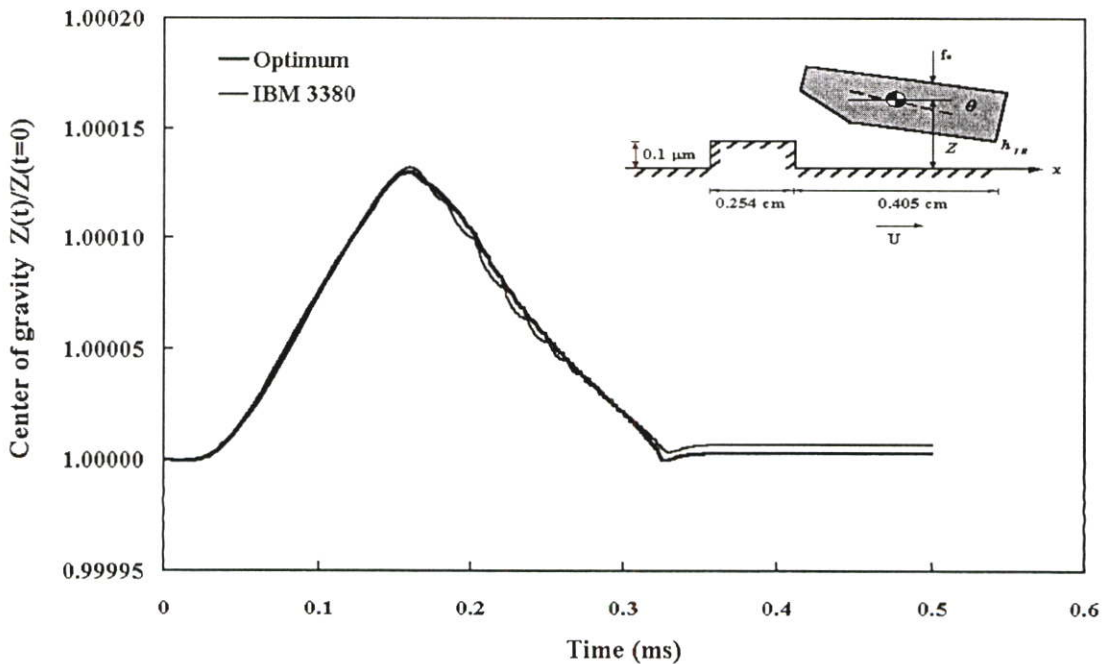


รูปที่ 5.90 การเปลี่ยนแปลงค่ามุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362$ mm, $\theta_{TP}=21.93$ mrad) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง

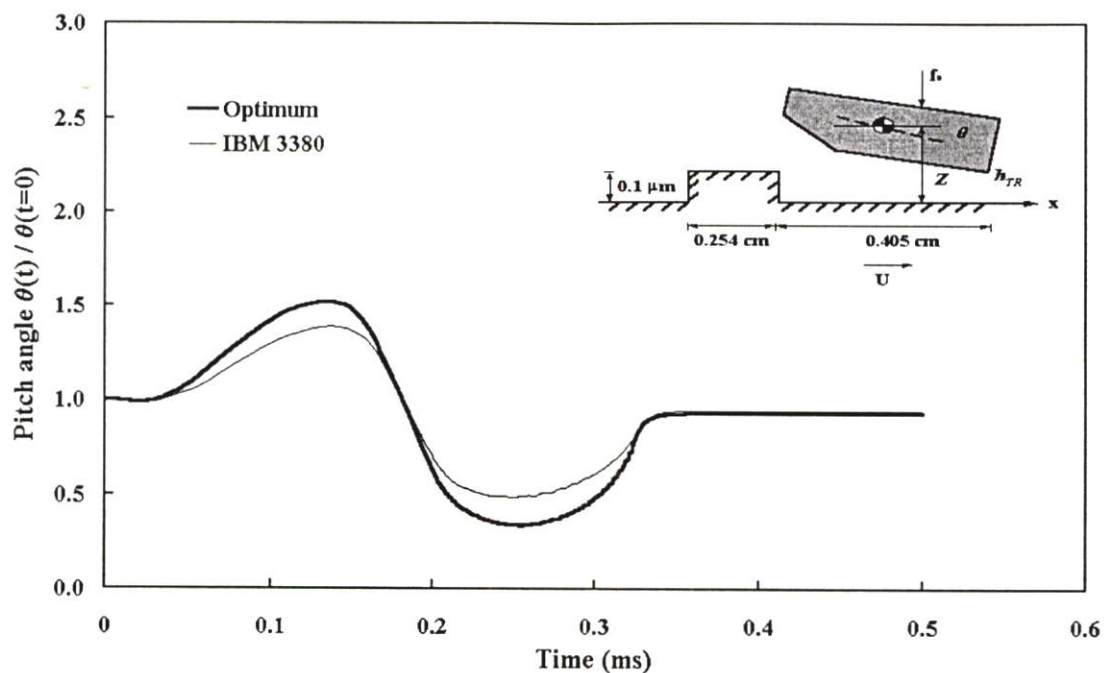
พฤติกรรมการทำงานที่สภาวะพลวัตของหัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362$ mm, $\theta_{TP}=21.93$ mrad) แสดงรูปที่ 5.88-5.90 ในรูปที่ 5.88 การเปลี่ยนแปลงของระยะการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง จากรูปพบว่าเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้หัวอ่านชนิดรีวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมสามารถปรับตัวเข้าสู่สมดุลได้เร็วยิ่งขึ้น รูปที่ 5.89 ระยะของศูนย์กลางมวลของหัวอ่านจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง โดยระยะของศูนย์กลางมวลจะมีค่าเพิ่มขึ้นและจะมีค่าลดลงกลับสู่สมดุลอีกครั้ง และเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้หัวอ่านจะสามารถปรับตัวเข้าสู่สมดุลได้เร็วยิ่งขึ้นเช่นเดียวกัน จากรูปที่ 5.90 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่ามุมพิทช์จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง โดยค่าของมุมพิทช์จะมีแกว่งขึ้นลงและปรับตัวเข้าสู่สมดุลอีกครั้ง เมื่อค่าความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าของมุมพิทช์แกว่งขึ้นลงน้อยกว่าที่ความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าน้อย และหัวอ่านสามารถปรับตัวเข้าสู่สมดุลได้เร็วขึ้นเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.91 การเปลี่ยนแปลงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362$ mm, $\theta_{TP}=21.93$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง ที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s



รูปที่ 5.92 การเปลี่ยนแปลงระยะศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362$ mm, $\theta_{TP}=21.93$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง ที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s



รูปที่ 5.93 การเปลี่ยนแปลงค่ามุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362$ mm, $\theta_{TP}=21.93$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางด้วยความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s

รูปที่ 5.91-5.93 เปรียบเทียบพฤติกรรมการทำงานพลวัตของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362$ mm, $\theta_{TP}=21.93$ mrad) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 จากรูปที่ 5.91 จะพบว่าที่ความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 m/s เมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสมที่มีค่า $W_1=50,000$ และ $W_2=5,500$ ($B=0.362$ mm, $\theta_{TP}=21.93$ mrad) ใช้เวลาในการปรับสภาพเข้าสู่สมดุลเท่ากับ 0.350 มิลลิวินาที ซึ่งจะมีค่าเท่ากับหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสมที่มีค่า $W_1=5,500$ และ $W_2=50,000$ ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad) สำหรับหัวอ่านชนิด IBM 3380 สามารถปรับตัวเข้าสู่สมดุลได้เมื่อเวลาผ่านไปเท่ากับ 0.352 มิลลิวินาที จะเห็นว่าหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสมจะสามารถปรับตัวเข้าสู่สมดุลอีกครั้งได้เร็วกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 ระยะการลอยตัวทั้งที่บริเวณขอบนำและบริเวณขอบท้ายของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีค่าน้อยกว่าระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380

จากรูปที่ 5.92 พบว่าการแกว่งของค่าของระยะศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสม ($B=0.362$ mm, $\theta_{TP}=21.93$ mrad) จะมีค่าเท่ากับ 0.0001169 ส่วนหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีค่าเท่ากับ 0.0001305 และหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสมเมื่อปรับเข้าสู่สมดุลอีกครั้งระยะของศูนย์กลางมวลใหม่ที่ได้อาจใกล้เคียงกับค่าของระยะศูนย์กลางมวลก่อนที่หัวอ่านจะเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางมากกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 สำหรับการแกว่งของค่ามุม

พิทช์ของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 0.3241 สำหรับหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีค่าเท่ากับ 0.1569 แต่การปรับตัวเข้าสู่สมมุติอีกครั้งหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสมจะใช้เวลาในการปรับตัวเร็วกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 ดังแสดงในรูปที่ 5.93

ตารางที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่ได้จากการคำนวณและขนาดของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่ได้จากบทความของ H.Hashimoto[12]

ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบขนาดของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่ได้จากการคำนวณและบทความของ H.Hashimoto[12]

สมการเป้าหมาย	จากบทความของ H.Hashimoto[12]		จากผลการคำนวณ	
	B (mm)	θ_{TP} (mrad)	B (mm)	θ_{TP} (mrad)
FX_S	0.75	15.0	0.64	12.61
FX_D	0.75	10.0	0.75	11.31
$FX_S + FX_D$	0.37	10.0	0.336	10.0

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำหลักการของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด(Optimization Method) ได้แก่ วิธีการค้นหาทุกค่าร่วมกับโปรแกรมคณิตศาสตร์ของ โบรเคน-เฟลทเซอร์-โกลด์เฟรบ-เซนโน และวิธีค้นหาเชิงเส้นหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่สภาวะทำงานสถิตย์และพลวัต เพื่อให้ได้หัวอ่านชนิดรีวเบนที่อยู่ในสภาวะสมดุลย์ที่สุดที่สภาวะทำงานสถิตย์ และได้หัวอ่านชนิดรีวเบนที่เข้าสู่สมดุลย์เร็วที่สุดและมีเสถียรภาพดีที่สุด เมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางที่สภาวะทำงานพลวัต โดยอาศัยวิธีเชิงตัวเลขในการแก้สมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์ที่กิดผลของการไหลแบบสิ้น ไถลของโมเลกุลเป็นแบบไม่เชิงเส้นสองมิติ เพื่อหาพฤติกรรมการทำงานสถิตย์และพลวัตของหัวอ่านชนิดรีวเบน จากการคำนวณสามารถสรุปได้ดังนี้คือ

6.1.1 ขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่สภาวะทำงานสถิตย์

การศึกษหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดรีวเบนอันดับแรกต้องศึกษาว่าตัวแปรในการออกแบบของหัวอ่านชนิดรีวเบนใดบ้างที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของฮาร์ดดิสก์ จากการศึกษาพบว่าตัวแปรที่มีผลมากที่สุดคือ ค่าความกว้างของรางของหัวอ่าน(B) รองลงมาคือค่าของมุมราบเอียง(θ_{TP}) และตัวแปรในการออกแบบที่มีผลน้อยที่สุดคือ ระยะความยาวของมุมราบเอียง ค่าสมการเป้าหมายที่สภาวะทำงานสถิตย์ของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับหัวอ่านชนิด IBM 3380 แสดงดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 เปรียบค่าสมการเป้าหมายระหว่างหัวอ่านชนิดรีวเบนที่ได้จากการคำนวณและหัวอ่านชนิด IBM 3380 ที่สภาวะทำงานสถิตย์

Type	B (mm)	θ_{TP} (mrad)	L_{TP} (mm)	FX_s ($U_D = 5$ m/s)
Taper-flat	0.64	14.64	0.248	1.8045×10^{-9}
Taper-flat	0.66	12.61	0.368	5.4166×10^{-6}
IBM 3380	0.50	15.00	0.368	5.4880×10^{-1}

1. ขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่สภาวะทำงานสถิตย์ที่มีค่าความกว้างของรางของหัวอ่าน(B) ค่าของมุมราบเอียง(θ_{TP}) และ ค่าระยะความยาวของมุมราบเอียง (L_{TP}) เป็นตัวแบบในการออกแบบมีดังนี้คือ ค่าความกว้างรางของหัวอ่านเท่ากับ 0.66 mm ค่าของมุมราบเอียงมีค่าเท่ากับ 14.64 mrad ค่าระยะความยาวของมุมราบเอียงเท่ากับ 0.248 mm และมีค่าของสมการเป้าหมายเท่ากับ 1.8045×10^{-9}

2. ขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่สภาวะทำงานสถิตย์ที่มีค่าความกว้างของรางของหัวอ่าน(B) และค่าของมุมราบเอียง(θ_{TP}) เป็นตัวแบบในการออกแบบมีดังนี้คือ ค่าความกว้างรางของหัวอ่านเท่ากับ 0.64 mm ค่าของมุมราบเอียงมีค่าเท่ากับ 12.61 mrad และมีค่าของสมการเป้าหมายเท่ากับ 5.4166×10^{-6}

จากผลการคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดรีวเบนดังกล่าวจะเห็นว่าหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีตัวแปรในการออกแบบ 3 ตัว(B, θ_{TP} และ L_{TP}) เมื่อทำงานที่สภาวะสถิตย์จะมีสมดุลย์ดีกว่าหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีตัวแปรในการออกแบบ 2 ตัว(B และ θ_{TP}) ศึกษาพฤติกรรมการทำงานที่สภาวะทำงานสถิตย์และพลวัตรของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะได้ว่า

- การกระจายความดันของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีค่าน้อยกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 เนื่องจากระยะเวลาการลอยตัวของหัวอ่านชนิดรีวเบนมีค่ามากกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380
- ระยะเวลาการลอยตัวของหัวอ่านที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีค่ามากกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 ทั้งที่บริเวณขอบนำและบริเวณขอบท้าย และเมื่อค่าความเร็วของแผ่นดิสก์เพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาการลอยตัวของหัวอ่านเพิ่มขึ้น
- ระยะเวลาการลอยตัวของหัวอ่านที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีค่าลดลงทั้งที่บริเวณขอบนำและบริเวณขอบท้าย เมื่อขนาดของแรงที่กระทำต่อหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อค่าความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาการลอยตัวของหัวอ่านเพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีพฤติกรรมเหมือนกับหัวอ่านชนิด IBM 3380 แต่หัวอ่านที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีระยะเวลาการลอยตัวสูงกว่า
- ระยะเวลาการลอยตัวที่บริเวณขอบนำของหัวอ่านที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาจับยึดของหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้นหรือระยะเวลาจับยึดเลื่อนเข้าใกล้บริเวณขอบท้ายมากขึ้น แต่ระยะเวลาการลอยตัวที่บริเวณขอบท้ายจะมีค่าลดลง เมื่อค่าความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาการลอยตัวทั้งบริเวณขอบนำและขอบท้ายเพิ่มขึ้น

ซึ่งจะมีพฤติกรรมเหมือนกับหัวอ่านชนิด IBM 3380 แต่ หัวอ่านที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีระยะการลอยตัวสูงกว่า

- พฤติกรรมการทำงานที่สภาวะพลวัต โดยดูพฤติกรรมที่เกิดขึ้นเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง จะได้ว่าเมื่อค่าความเร็วเพิ่มขึ้นหัวอ่านจะสามารถปรับตัวเข้าสู่สมดุลได้เร็วขึ้น หัวอ่านชนิดเรียบแบนที่มีค่าที่เหมาะสมจะใช้เวลาในการปรับตัวเข้าสู่สมดุลได้เร็วกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 ประมาณ 0.001 มิลลิวินาที และหัวอ่านที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีค่าของมุมพิทช์แกว่งน้อยกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380

6.1.2 ขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดเรียบแบนที่สภาวะทำงานพลวัต

การหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดเรียบแบนที่สภาวะทำงานพลวัต จะมีตัวแปรในการออกแบบของหัวอ่านชนิดเรียบแบนที่มีผลทำให้หัวอ่านเข้าสู่สมดุลที่สุดและมีเสถียรภาพดีที่สุดเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางจากการศึกษาพบว่าตัวแปรที่มีผลมากที่สุดคือ ค่าของมุมราบเอียง รองลงมาคือค่าความกว้างของรางของหัวอ่าน ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 เปรียบค่าสมการเป้าหมายระหว่างหัวอ่านชนิดเรียบแบนที่ได้จากการคำนวณ และหัวอ่านชนิด IBM 3380 ที่สภาวะทำงานพลวัต

Type	B (mm)	θ_{TP} (mrad)	FX_D ($U_D = 20$ m/s)
Taper-flat	0.75	11.31	1.1371
IBM 3380	0.50	15.00	1.2253

ขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดเรียบแบนที่สภาวะทำงานพลวัต มีค่าความกว้างของรางของหัวอ่าน(B) เท่ากับ 0.75 mm ค่าของมุมราบเอียง(θ_{TP}) เท่ากับ 11.31 mrad และมีค่าของสมการเป้าหมายเท่ากับ 1.1371 ศึกษาพฤติกรรมการทำงานที่สภาวะทำงานสถิตย์และพลวัตของหัวอ่านชนิดเรียบแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะได้ว่า

- การกระจายความดันของหัวอ่านชนิดเรียบแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีค่าน้อยกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 เนื่องจากระยะลอยตัวของหัวอ่านชนิดเรียบแบนมีค่ามากกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380

- ระยะการลอยตัวจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้น และหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีระยะการลอยตัวของหัวอ่านมากกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380
- เมื่อแรงที่กระทำต่อหัวอ่านมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านมีค่าเปลี่ยนไป โดยเมื่อค่าแรงกระทำต่อหัวอ่านมีค่ามากขึ้นค่าระยะการลอยตัวทั้งที่บริเวณขอบนำและบริเวณขอบท้ายจะมีค่าลดลง แต่เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นระยะการลอยตัวของหัวอ่านจะเพิ่มขึ้น
- ระยะการลอยตัวของหัวอ่านมีค่าเปลี่ยนแปลงไปเมื่อระยะการจับยึดเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ ระยะการจับยึดเลื่อนเข้าใกล้บริเวณขอบท้ายจะทำให้ระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบท้ายลดลง แต่ระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบนำจะมีค่าเพิ่มขึ้น
- เมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางเวลาในการปรับตัวเข้าสู่สมดุลย์ของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีค่าน้อยกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 ประมาณ 0.0025 มิลลิวินาที ค่าของของมุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีค่าความแกว่งเท่ากับ 0.07473 ในขณะที่หัวอ่านชนิด IBM 3380 มีค่าความแกว่งเท่ากับ 0.1569 แสดงให้เห็นว่าเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีเสถียรภาพดีกว่า

6.1.3 ขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่ทำงานได้ดีทั้งที่สภาวะทำงานสถิตย์และพลวัต

การหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่ทำงานได้ดีทั้งที่สภาวะทำงานสถิตย์และพลวัต ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ตัวแปรในการออกแบบของหัวอ่านชนิดเร็วแบบที่มีผลทำให้หัวอ่านเข้าสู่สมดุลย์ที่สุดและมีเสถียรภาพดีที่สุดเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางจากการศึกษาพบว่าตัวแปรที่มีผลมากที่สุดคือ ค่าของมุมราบเอียง รองลงมาคือค่าความกว้างของรางของหัวอ่าน ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 เปรียบค่าสมการเป้าหมายของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่ได้จากการคำนวณและหัวอ่านชนิด IBM 3380 ทำงานได้ดีทั้งที่สภาวะทำงานสถิตย์และพลวัต

Type	W_1	W_2	B (mm)	θ_{TP} (mrad)	FX_D ($U_D=20m/s$)	FX_S ($U_D=20m/s$)	$(W_1 \times FX_D) +$ $(W_2 \times FX_S)$
Taper-flat	5,500	50,000	0.336	10.00	1.3207	0.1048	66,613.3411
IBM 3380	5,500	50,000	0.5	15.00	1.2253	6.2642	95,718.1000
Taper-flat	50,000	5,500	0.362	21.93	1.3895	0.0013	7,708.1297
IBM 3380	50,000	5,500	0.5	15.00	1.2253	6.2642	319,949.1500

1. ขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่ทำงานได้ดีทั้งสภาวะทำงานสถิตย์และพลวัตที่มีค่า $W_1 = 5,500$ และ $W_2 = 50,000$ มีค่าความกว้างของรางของหัวอ่าน(B) เท่ากับ 0.336 mm ค่าของมุมราบเอียง(θ_{TP}) เท่ากับ 10.0 mrad และมีค่าของสมการเป้าหมายเท่ากับ 66,613.3411

2. ขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่ทำงานได้ดีทั้งสภาวะทำงานสถิตย์และพลวัตที่มีค่า $W_1 = 50,000$ และ $W_2 = 5,500$ มีค่าความกว้างของรางของหัวอ่าน(B) เท่ากับ 0.362 mm ค่าของมุมราบเอียง(θ_{TP}) เท่ากับ 21.93 mrad และมีค่าของสมการเป้าหมายเท่ากับ 7,08.1297

หลังจากนั้นศึกษาพฤติกรรมการทำงานที่สภาวะทำงานสถิตย์และพลวัตของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะได้ว่า

- ระยะเวลาลอยตัวจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้น และหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีระยะเวลาลอยตัวของหัวอ่านน้อยกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380
- การกระจายความดันของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีค่ามากกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 เนื่องจากระยะเวลาลอยตัวของหัวอ่านชนิดเรียวแบนมีน้อยกว่าระยะเวลาลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380
- การเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงที่กระทำต่อหัวอ่านจะมีผลทำให้ระยะเวลาลอยตัวของหัวอ่านมีค่าเปลี่ยนไปด้วย โดยเมื่อค่าแรงกระทำต่อหัวอ่านมีค่ามากขึ้นค่าระยะเวลาลอยตัวทั้งที่บริเวณขอบนำและบริเวณขอบท้ายจะมีค่าลดลง แต่เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นระยะเวลาลอยตัวของหัวอ่านจะเพิ่มขึ้น

- การเปลี่ยนแปลงของค่าระยะการจับยึดของหัวอ่านจะมีผลทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านมีค่าเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือระยะการจับยึดเลื่อนเข้าใกล้บริเวณขอบท้ายจะทำให้ระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบท้ายลดลง แต่ระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบนำจะมีค่าเพิ่มขึ้น
- เมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางเวลาในการปรับตัวเข้าสู่สมดุลย์ของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมทั้งสองแบบมีค่าเท่ากับ 0.03509 มิลลิวินาที ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 ประมาณ 0.002 มิลลิวินาที
- การแกว่งของค่าระยะของศูนย์กลางมวลของหัวอ่านของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมที่มีค่า $W_1 = 5,500$ และ $W_2 = 50,000$ ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad) จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าของหัวอ่านชนิด IBM 3380 และระยะของศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad) ภายหลังปรับเข้าสู่สมดุลย์อีกครั้งจะมีค่าเท่ากับค่าของหัวอ่านชนิด IBM 3380
- การแกว่งของค่าระยะของศูนย์กลางมวลของหัวอ่านของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมที่มีค่า $W_1=50,000$ และ $W_2 = 5,500$ ($B=0.362$ mm, $\theta_{TP}=21.93$ mrad) จะมีค่าเท่ากับ 0.0001144 สำหรับหัวอ่านชนิดเรียวแบนชนิด IBM 3380 มีค่าเท่ากับ 0.0001305 และเมื่อปรับเข้าสู่สมดุลย์อีกครั้งระยะของศูนย์กลางมวลของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม($B=0.362$ mm, $\theta_{TP}=21.93$ mrad) จะมีค่าระยะของศูนย์กลางมวลน้อยกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 และมีค่าใกล้เคียงกับค่าระยะของศูนย์กลางมวลเดิมก่อนที่หัวอ่านจะเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง
- ค่าของของมุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมที่มีค่า $W_1 = 5,500$ และ $W_2 = 50,000$ ($B=0.336$ mm, $\theta_{TP}=10.0$ mrad) จะมีค่าความแกว่งเท่ากับ 0.25536 และหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีค่าความแกว่งเท่ากับ 0.15695 แต่หัวอ่านชนิด IBM 3380 จะใช้เวลาในการปรับเข้าสู่สมดุลย์มากกว่าหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม
- ค่าของของมุมพิทช์ของหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสมที่มีค่า $W_1=50,000$ และ $W_2 = 5,500$ ($B=0.362$ mm, $\theta_{TP}=21.93$ mrad) จะมีค่าความแกว่งเท่ากับ 0.3241 และหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีค่าความแกว่งเท่ากับ 0.15695 แต่หัวอ่านชนิด IBM 3380 จะใช้เวลาในการปรับเข้าสู่สมดุลย์มากกว่าหัวอ่านชนิดเรียวแบนที่มีขนาดที่เหมาะสม

6.2 ข้อเสนอแนะ

การคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของหัวอ่านชนิดรีวเบนควรพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของหัวอ่านชนิดรีวเบน ในการวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาเพียงความสมดุลในการทำงานของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่สภาวะทำงานสถิตย์ ระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลและเสถียรภาพของหัวอ่านชนิดรีวเบนที่สภาวะทำงานพลวัตเท่านั้นยังมีปัจจัยด้านอื่นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของหัวอ่าน เช่น ระยะการลอยตัวของหัวอ่านเหนือแผ่นดิสก์ที่บริเวณขอบท้าย อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในขณะที่หัวอ่านทำงาน เป็นต้น และในการศึกษาพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านควรจะใช้การแก๊สมการเรย์โนลด์ที่เป็นเชิงเส้นสามมิติ เพราะจะทำให้สามารถจำลองสภาพการทำงานจริงของหัวอ่านได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ได้นำมาใช้ในการคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของหัวอ่านชนิดรีวเบนภายใต้เงื่อนไขและสมการเป้าหมายที่กำหนดขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิดต่าง ๆ ได้ และเป็นแนวทางในการออกแบบรูปร่างของหัวอ่านชนิดใหม่ที่ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของฮาร์ดดิสก์ดีขึ้นต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bagci C. "Hydrodynamic Lubrication of Finite Slider Bearings : Effect of One Dimensional Film Shape, and Their Computer Aided Optimum Design" Trans.ASME. Journal of Tribology, vol 105, January 1983. pp. 48-66.
- [2] Kogure K. and et.al. "Design of Negative Pressure Slider for Magnetic Recording Disks." Trans. ASME. Journal of Technology, vol. 105, July 1983. pp. 496-502.
- [3] Hayashi T. and et.al. "Dynamic Characteristics of Gas-Lubricated Slider Bearings Under High Knudsen Number Conditions" Trans. ASME. Journal of Technology, vol. 112, July 1990. pp. 111-118.
- [4] Zheming Z. and Wenkang S. "A New Method for the Numerical Solution of the Reynolds Equation at Low Spacing." Trans. ASME. Journal of Tribology, vol. 115, January 1993. pp. 83-87.
- [5] Jeong T.G. and Bogy D.B. "Numerical Simulation of Dynamic Loading in Hard Disk Drives." Trans. ASME. Journal of Tribology, vol. 115, July 1993. pp. 370-375.
- [6] Choi D.-H. and Yoon S.-J. "Static Analysis of Flying Characteristics of the Head Slider by Using an Optimization Technique." Trans. ASME. Journal of Tribology, vol.116, January 1994. pp. 90-94.
- [7] O'Hara M.A. and Bogy D.B. "Robust Design Optimization Techniques for Ultra-Low Flying Sliders." IEEE. Transactions on Magnetics, vol. 31, November 1995. pp.2955-2957.
- [8] O'Hara M.A.and et.al. "Effects of Slider Sensitivity Optimization." IEEE. Transactions on Magnetics, vol. 32, September 1996. pp. 3744-3746.
- [9] Hsiao H.-S. and et.al. "Ultra Liquid Lubrication of Magnetic Head-Rigid Disk Interface for Near-Contact Recording: Part I-A Close-Form Solution to Reynolds Equation." Trans. ASME. Journal of Tribology, vol. 118, July 1996. pp. 388-395.
- [10] Wu L. and Bogy D.B. "Unstructured Triangular Mesh Generation Techniques and a Finite Volume Numerical Scheme for Slider Air Bearing Simulation with Complex Shaped Rails." IEEE Transactions on Magnetic, vol. 35. September 1999. pp. 2421-2423.
- [11] Choi D.-H. and Kang T.-S. "An Optimization Method for Design of Subambient Pressure Shaped Rail Slider" Trans. ASME. Journal of Tribology, vol.121, July 1999. pp. 575-580.

- [12] Hashimoto H. and Hattori Y. "Improvement of the Static and Dynamic Characteristics of magnetic head sliders by optimum design." Trans. ASME. Journal of Tribology, vol. 122, January 2000. pp. 280-287.
- [13] Lokitsagtong M. and Mongkolwongrojn M. "An Application of a Mathematical Programming Technique on Optimal Slider Head Characteristic in Magnetic Storage Device." NORDTRIB 2000 Conference, 2000. pp. 915-922.
- [14] Hamrock B.J. **Fundamentals of Fluid Film Lubrication**. New York: McGraw-Hill Inc. 1994.
- [15] มงคล มงคลวงศ์โรจน์ และ ฮิโรมู ฮาชิโมโตะ. **ทฤษฎีการหล่อลื่น**. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2536.
- [16] Bhushan B. **Tribology and Mechanics of Magnetic Storage Device**. Springer-Verlag.
- [17] Hashimoto H. and Mongkolwongrojn M. **Advanced Lubrication Theory**. Bangkok: KMITL. 1993.
- [18] สุภารัตน์ แคว้นเขามิ่ง. "การจำลองพฤติกรรมของหัวอ่านในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.
- [19] Fox R.L. **Optimization Methods for Engineering Design**. 2 nd ed. London: Addison-Wesley Publishing Company. 1973.
- [20] ยรรยง ศรีสม และ สมโชติ รัตนสุคติกล. **การวิจัยดำเนินงานเบื้องต้น**. กรุงเทพฯ: เอแพทพรินท์. 2529.
- [21] Rao S.S. **Engineering Optimization**. New York: John Wiley & Sons Inc. 1996.
- [22] Rekaits G.V. et.al. **Engineering Optimization**. New York: John Wiley & Sons Inc. 1983.
- [23] Pike R.W. **Optimization for Engineering Systems**. New York: Van Nostrand Reinhold Company. 1986.
- [24] วิจิตร ตันตสุทธิ และคณะ. **การวิจัยดำเนินงาน**. กรุงเทพฯ: บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด(มหาชน). 2539.
- [25] สมชาย วงศ์วิเศษ. **การออกแบบและการหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดทางความร้อน**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: งานเอกสารและการพิมพ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2541.
- [26] Deb K. **Optimization for Engineering Design**. New Delhi: Prentice-Hall of India Private Limited. 1995.

- [27] Onwubiko C. **Introduction to Engineering Design Optimization**. United States of America: Prentice-Hall Inc. 2000.
- [28] Nocedal J. and Wright S.J. **Numerical Optimization**. New York: Springer-Verlag New York Inc. 1999.
- [29] Vanderplaats G.N. **Numerical Optimization Technique for Engineering Design**. New York: McGraw-Hill. 1984.
- [30] ปราโมทย์ เดชอำไพ. **ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม**. ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2541.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ใช้ในการคำนวณ

วิธีทำซ้ำของนิวตันราฟสัน(Newton-Raphson method)

วิธีทำซ้ำของนิวตันราฟสันเป็นวิธีแบบเปิดที่เริ่มจากค่าเริ่มต้นเพียงค่าเดียวและอาจนำไปสู่ผลลัพธ์ได้โดยรวดเร็ว ซึ่งเป็นวิธีที่อาศัยพื้นฐานของอนุกรมเทย์เลอร์(Taylor series) ในวิชาคณิตศาสตร์ได้ใช้วิธีทำซ้ำของนิวตันราฟสันในการแก้สมการที่ไม่เป็นเชิงเส้น

อนุกรมเทย์เลอร์เป็นอนุกรมที่ใช้ในการหาค่าฟังก์ชันที่ตำแหน่ง x จากของฟังก์ชันและค่าอนุพันธ์ ที่มีอันดับต่าง ๆ กันของฟังก์ชันนั้นที่ตำแหน่ง x_0 ซึ่งอยู่ใกล้เคียงกัน อนุกรมเทย์เลอร์ที่ประมาณด้วยการใช้พจน์จำนวน 2 พจน์

$$f(x) \cong f(x_0) + f'(x_0)(x - x_0)$$

วิธีทำซ้ำนิวตันราฟสันจะใช้พื้นฐานของอนุกรมเทย์เลอร์ในการหาค่ารากของสมการ $f(x) = 0$ โดยใช้การประมาณฟังก์ชันด้วยอนุกรมเทย์เลอร์ด้วยพจน์เพียง 2 พจน์

$$f(x) = f(x_0) + f'(x_0)(x - x_0) = 0$$

หรือ

$$f'(x_0)(x - x_0) = -f(x_0)$$

$$x - x_0 = -\frac{f(x_0)}{f'(x_0)}$$

หลักการวิธีทำซ้ำนิวตันราฟสันเริ่มจากการกำหนดค่าเริ่มต้น x_0 และทำการคำนวณค่าของฟังก์ชัน $f(x_0)$ และหาค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชัน $f'(x_0)$ จะทำให้ได้ค่า x ณ ตำแหน่งใหม่ ทำซ้ำไปจนกระทั่งได้คำตอบของสมการหรือค่าผลต่างของค่าเก่าและค่าใหม่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

วิธีของรุงเง-คุตตา(Rung-Kutta method)

เป็นวิธีที่ใช้ในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ที่ต้องการผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำสูง โดยมีแนวคิดคือ การหาค่าความชันที่มีความแม่นยำสูง เพื่อจะได้ผลลัพธ์ของที่แม่นยำตามมา สมการหลักที่ใช้ในการคำนวณผลลัพธ์โดยวิธีของรุงเง-คุตตาอยู่ในรูปสมการคล้ายกับอนุกรมเทย์เลอร์ที่ตัดอนุพันธ์อันดับสูง ใช้วิธีของรุงเง-คุตตาในการหาผลลัพธ์ของสมการโดยสมการจะมีอยู่ในรูปแบบดังนี้

$$y_{i+1} = y_i + \phi(x_i, y_i, h)h$$

โดย $\phi(x_i, y_i, h)$ เรียกว่าฟังก์ชันส่วนเพิ่ม คือค่าความชันเฉลี่ยตลอดขนาดช่วงความกว้าง h ที่จะนำไปใช้ในการคำนวณหาส่วนที่เพิ่มขึ้นจากผลลัพธ์เดิม ซึ่งฟังก์ชันเพิ่มเต็มจะอยู่ในรูปแบบดังนี้คือ

$$\phi = a_1 k_1 + a_2 k_2 + a_3 k_3 + a_4 k_4 + \dots + a_n k_n$$

โดยที่

$a_i, i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$ คือค่าคงที่

$$k_1 = f(x_i, y_i)$$

$$k_2 = f(x_i + p_1 h, y_i + q_{11} k_1 h)$$

$$k_3 = f(x_i + p_2 h, y_i + q_{21} k_1 h + q_{22} k_2 h)$$

$$k_4 = f(x_i + p_3 h, y_i + q_{31} k_1 h + q_{32} k_2 h + q_{33} k_3 h)$$

$$\begin{aligned} \vdots \\ k_n = f(x_i + p_{n-1} h, y_i + q_{n-1,1} k_1 h + q_{n-1,2} k_2 h + q_{n-1,3} k_3 h \\ + \dots + q_{n-1,n-1} k_{n-1} h) \end{aligned}$$

ตัวห้อย n บ่งถึงอันดับที่วิธีรุงเง-คุตตาเลือกใช้ เมื่อ $n=1$ จะเรียกว่า วิธีรุงเง-คุตตาอันดับหนึ่ง, p และค่า q คือค่าคงที่ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้วิธีรุงเง-คุตตาอันดับสี่ ซึ่งเป็นวิธีได้รับความนิยมและใช้กันอย่างกว้างขวาง $n=4$ ซึ่งจะให้ค่าความผิดพลาดในรูปของความกว้างช่วงอันดับที่สี่ $O(h^4)$ จะได้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำสูงรูปแบบของสมการรุงเง-คุตตาอันดับสี่มีลักษณะดังนี้

$$y_{i+1} = y_i \left[\frac{1}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \right] h$$

$$k_1 = f(x_i, y_i)$$

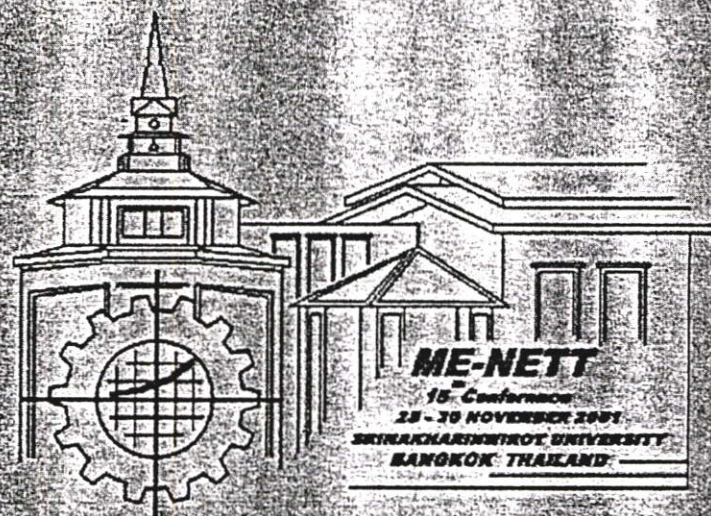
$$k_2 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}hk_1\right)$$

$$k_3 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}hk_2\right)$$

$$k_4 = f\left(x_i + h, y_i + hk_3\right)$$

ภาคผนวก ข.

ผลงานทางวิชาการที่เกี่ยวกับงานวิทยานิพนธ์ที่ได้รับการตีพิมพ์



บทความวิชาการ : การประชุมวิชาการ
เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย
ครั้งที่ 15

เล่มที่ 2
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การออกแบบหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าชนิด Truncated Cycloidal Optimum Design of the Truncated Cycloidal Magnetic Head Slider

มงคล มงคลวงศ์โรจน์ และ ขนิษฐา วงษ์สีดาแก้ว
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทร 3269987 ต่อ 103, โทรสาร 0-2326-9053 Email: S3062027@kmitl.ac.th

Mongkol Mongkolwongrojn and Khanittha Wongseedakaew
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang
Tel: (662) 0-2326-9987 ext. 103, Fax: 0-2326-9053

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่าน Truncated cycloidal ในอุปกรณ์การจัดเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่สภาวะการทำงานสถิตย์ โดยใช้สมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์ที่คิดผลของการไหลแบบสลิปของโมเลกุลโปรแกรมคณิตศาสตร์ที่ใช้ประกอบด้วยวิธีโบรเดน-เฟลทเซอร์-โกลด์เฟรบบ-เชนโน(BFGS) และวิธีค้นหาเชิงเส้น เพื่อหาความหนาฟิล์มอากาศที่บริเวณขอบท้ายของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าต่ำที่สุด โดยมีความกว้างของรางของหัวอ่านและมุมเทเปอร์เป็น design variables แล้วทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้กับหัวอ่านชนิด IBM 3380

Abstract

This paper presented the optimum design of a magnetic head slider in magnetic storage device at statically operating condition. The modified Reynolds equation included molecular slip flow effects has been formulated for the Truncated Cycloidal head slider. The mathematical programming comprised of the Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS) method and the line search method was utilized to minimize the flying heights of magnetic slider bearing. Optimum design variables, rail width and taper angle were obtained and compared with the results from IBM 3380 type head slider.

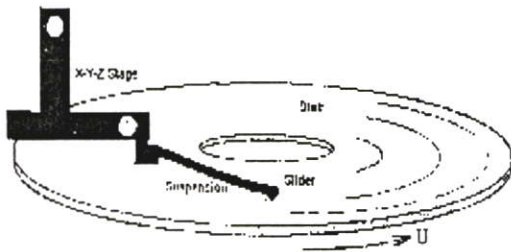
1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าของ disk driver มีการพัฒนาเพื่อจัดเก็บข้อมูลในคอมพิวเตอรส์สมัยใหม่ การบันทึกข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากการเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ทำการบันทึก โดยหัวอ่านจะลอยอยู่เหนือผิวดิสก์ที่หมุนดังรูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กตามสัญญาณที่ส่งผ่านมายังหัวอ่านจะต้องสัมพันธ์กัน ประสิทธิภาพของการบันทึกข้อมูลขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ชนิดของหัวอ่าน ค่าความหนาของฟิล์มอากาศและความสะอาดของอากาศที่รูดเส้น เป็นต้น

ค่าความหนาฟิล์มอากาศที่หล่อลื่นหรือระยะห่างระหว่างผิวดิสก์และหัวอ่าน เป็นปัจจัยสำคัญมากในการวิเคราะห์การทำงานของหัวอ่าน ซึ่งในปัจจุบันระยะการลอยตัวของหัวอ่านได้พัฒนาให้มีระยะต่ำมาก ๆ เพื่อเพิ่มความสามารถในการเก็บข้อมูลและความเสถียรของหัวอ่านในขณะทำงาน ดังนั้นความหนาฟิล์มน้อย ๆ จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องพิจารณาในการออกแบบหัวอ่านในปัจจุบัน แต่ความหนาฟิล์มต้องบางเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างหัวอ่านและผิวดิสก์ เพราะหากเกิดการสัมผัสกันก็จะส่งผลให้เกิดความสูญหายของข้อมูลเก็บข้อมูลที่เก็บบันทึกไว้ สิ่งสำคัญในการออกแบบหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูลนั้นหัวอ่านจะต้องมีระยะห่างระหว่างหัวอ่านและดิสก์ต่ำที่สุดและจะต้องเสถียร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานบันทึกข้อมูลของหัวอ่าน

D.H. Choi และS.J. Yoon,1994 [3] ศึกษาหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าในสภาวะสถิตย์ด้วยเทคนิคทาง Optimization, D.B. Bogy และคณะ,1998 [1] ศึกษาการออกแบบของหัวอ่านสำหรับการบันทึกข้อมูล และH. Hashimoto และY.Hattori,2000 [5] ศึกษาการพัฒนาการออกแบบของหัวอ่านในสภาวะทำงานสถิตย์และไดนามิกส์โดยใช้วิธีทาง optimization

บทความนี้ได้เปรียบเทียบพฤติกรรมสถิตย์ของหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal และหัวอ่านชนิด IBM 3380 โดยมีขนาดความกว้างของราง(rail width) ของหัวอ่าน และมุมเทเปอร์(taper angle) เป็น design variables และสมการวัตถุประสงค์(Objective function) คือค่าความสูงที่ขบท้าย (h_{TR}) ต่ำสุด วิธีการ Optimization ที่ใช้ในบทความนี้คือ Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno(BFGS) และเมื่อได้ขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านแล้วทำการจำลองพฤติกรรมสถิตย์ของหัวอ่านทั้งสองชนิด



รูปที่1 แสดงลักษณะของการลอยตัวของหัวอ่านเหนือผิวของดิสก์

2.ทฤษฎี

สมการสมดุลแรงมีดังนี้

$$\begin{aligned} r_1 &= F + mg - W \\ r_2 &= x_F F + x_c mg - x_w W \\ r_3 &= y_F F + y_c mg - y_w W \end{aligned} \tag{1}$$

โดย

$$\begin{aligned} W &= \int (p - p_a) dA \\ x_w &= \int x(p - p_a) dA / W \\ y_w &= \int y(p - p_a) dA / W \end{aligned} \tag{2}$$

หัวอ่านจะอยู่ที่สภาวะสมดุลหรือมีความเสถียรในขณะที่ทำงานเมื่อ

$$r_1 = r_2 = r_3 = 0 \tag{3}$$

โดย r_1, r_2, r_3 คือผลรวมของแรงและผลรวมโมเมนต์, F คือแรงจับยึดหัวอ่าน, m คือมวลของหัวอ่าน, W คือแรงเนื่องจากความดันอากาศโดยรวมที่กระทำต่อหัวอ่าน, x, y คือระยะตามแกน x และแกน y ตามลำดับ, x_c, y_c คือระยะจุดศูนย์กลางมวล, x_F, y_F คือระยะของจุดหมุน, x_w, y_w คือระยะจุดศูนย์กลางของความดัน

การกระจายค่าความดันของฟิล์มอากาศในสภาวะสถิตย์สามารถหาได้จากสมการโมติฟายด์เรย์โนลด์

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left[\rho h^3 \frac{\partial p}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\rho h^3 \frac{\partial p}{\partial y} \right] \\ = 6\mu \frac{\partial}{\partial x} (ph) + 6V\mu \frac{\partial}{\partial y} (ph) \end{aligned} \tag{4}$$

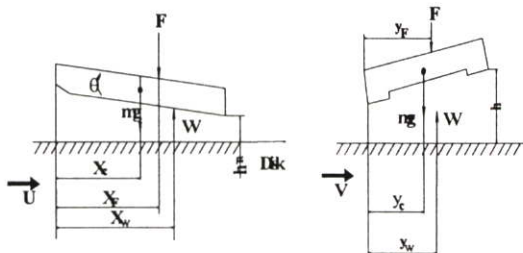
โดย p คือ ค่าความดันที่ตำแหน่งนั้นๆ, h คือ ค่าความหนาฟิล์มที่ตำแหน่งนั้นๆ, μ คือ ค่าความหนืดของอากาศ และ U, V คือค่าความเร็วของการเคลื่อนที่ของพื้นผิวที่มีการเคลื่อนที่(ผิวดิสก์)ตามทิศ x และ y ตามลำดับ สมการโมติฟายด์เรย์โนลด์สามารถเขียนในรูปไร้มิติได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left[PH^3 \left(1 + \frac{6K_0}{PH} \right) \frac{\partial P}{\partial x} \right] \\ + \left(\frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial}{\partial y} \left[PH^3 \left(1 + \frac{6K_0}{PH} \right) \frac{\partial P}{\partial y} \right] \\ = \Lambda_x \frac{\partial}{\partial x} (PH) + \Lambda_y \frac{\partial}{\partial y} (PH) \end{aligned} \tag{5}$$

ตัวแปรไร้มิติ คือ

$$\begin{aligned} P = \frac{p}{p_a}, H = \frac{h}{h_m}, X = \frac{x}{L}, Y = \frac{y}{B}, \Lambda_x = \frac{6\mu UL}{p_a h_m^2}, \\ \Lambda_y = \frac{6\mu VB}{p_a h_m^2} \text{ และ } K_0 = \frac{\lambda_a}{h_m} \end{aligned}$$

โดย p_a คือค่าความดันบรรยากาศ, h_m คือความหนาฟิล์มต่ำสุดที่ขบท้าย, L คือ ค่าความยาวของหัวอ่าน, B คือค่าความกว้างของรางของหัวอ่าน, Λ_x, Λ_y คือ ค่าแบร์ริงนัมเบอร์(Bearing number) ตามแนวแกน x และ y ตามลำดับ, K_0 คือค่าเคนดูเซนนัมเบอร์(Knudson number) และ λ_a คือเส้นทางการเคลื่อนที่อิสระโดยเฉลี่ยของโมเลกุลที่ความดันบรรยากาศ



รูปที่2 แสดง free body diagrams ของหัวอ่าน IBM 3380

สมการค่าความหนาฟิล์มมีดังนี้

IBM 3380

$$0 \leq x \leq x_{TP}$$

$$h = h_{TR} + (L - x_{TP}) \tan \theta + (x_{TP} - x) \tan \theta_{TP} \quad (6)$$

$$x_{TP} \leq x \leq L$$

$$h = h_{TR} + (L - x) \tan \theta \quad (7)$$

Truncated cycloidal

$$0 \leq x \leq x_{TP}$$

$$h = h_{TR} + (L - x_{TP}) \tan \theta + \tan \theta_{TP} (x_{TP} - x)$$

$$- \frac{x_{TP}}{\pi} \tan \theta_{TP} \sin \left(\frac{\pi(x_{TP} - x)}{x_{TP}} \right) \quad (8)$$

$$x_{TP} \leq x \leq L$$

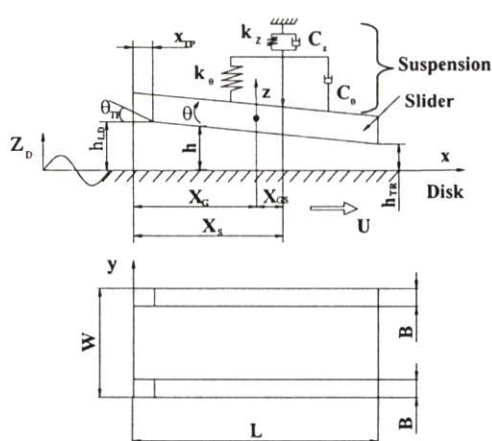
$$h = h_{TR} + (L - x) \tan \theta \quad (9)$$

สมการวัตถุประสงค์คือ

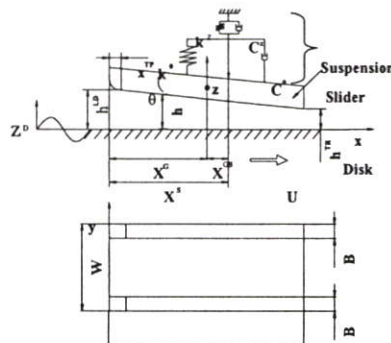
$$f(x) = \min h_{TR} \quad (10)$$

subjected to

$$\begin{aligned} 0.15 \leq B \leq 0.75 \text{ mm} \\ 10 \leq \theta_{TP} \leq 30 \text{ mrad} \end{aligned} \quad (11)$$



รูปที่3 แสดงรูปร่างของหัวอ่านชนิด IBM 3380



รูปที่4 แสดงรูปร่างของหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal

3.วิธีการคำนวณเชิงตัวเลข

การคำนวณประกอบด้วยวิธี BFGS และวิธีค้นหาเชิงเส้น สำหรับวิธี BFGS มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1. กำหนดค่า $i = 0$
2. กำหนดเวกเตอร์ของจุดเริ่มต้น x^i
3. กำหนดค่าเมตริกเริ่มต้น A^i
4. คำนวณค่าเวกเตอร์เกรเดียน ∇f^i หากค่า f_i โดยการวิเคราะห์การกระจายความดันจากสมการโมติฟายด์เรย์โนลด์ และหาทิศทางเคลื่อนที่ของตำแหน่งใหม่

$$S^i = \nabla f^i [A^i]$$
5. คำนวณระยะห่างของตำแหน่งใหม่ที่จะเคลื่อนที่ไปยัง λ_i^*
6. นำค่า λ_i^* ไปคำนวณหาค่าเวกเตอร์เริ่มต้นของตำแหน่งใหม่ x^{i+1} และหาค่า ∇f^{i+1}
7. คำนวณค่าของแอกเซียนเมตริก A^{i+1}
8. คำนวณค่าของ S^{i+1}
9. คำนวณค่าของ λ_{i+1}^* และค่า f_{i+1}

10. ตรวจสอบว่าค่า f_{i+1} ที่ได้มีค่าต่ำสุดและมีค่า $|f_{i+1} - f_i| \leq \epsilon$ หรือไม่ ถ้าไม่เป็นจริงให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 6 ใหม่จนกว่าจะได้ค่าที่เป็นจริง โดยค่า ϵ คือค่าความผิดพลาด

4. ผลการคำนวณ

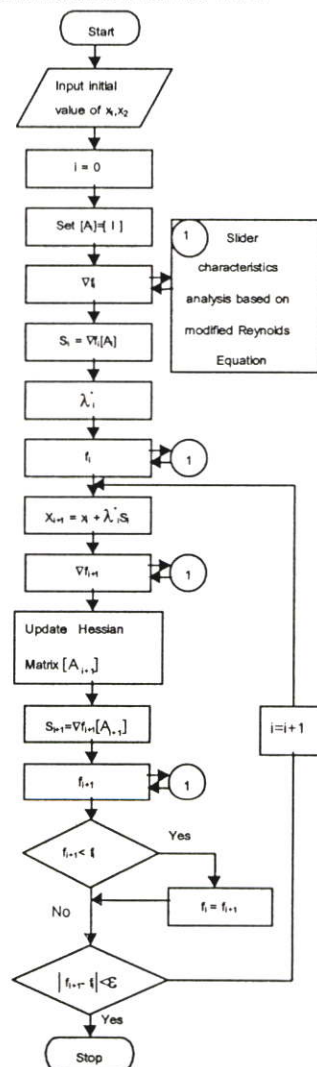
จากการคำนวณพบว่าเมื่อความกว้างของรางของหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีขนาดต่ำกว่า 0.33 mm แล้วจะไม่เสถียรในขณะทำงานและหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal มีความกว้างของรางต่ำกว่า 0.32 mm จะไม่เสถียรในขณะทำงานเช่นเดียวกัน กล่าวคือไม่เป็นตามสมการที่(3) ขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะมีความกว้างของรางเท่ากับ 0.33 mm และมีมุมเทเปอร์เท่ากับ 28.6 mrad สำหรับหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal มีความกว้างของรางเท่ากับ 0.32 mm และมีมุมเทเปอร์เท่ากับ 11 mrad หัวอ่านชนิด IBM 3380 จะมีความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายต่ำกว่าหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal โดยหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายต่ำสุดเท่ากับ 76.5 nm และหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal มีความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายต่ำสุดเท่ากับ 85.6 nm จากรูปที่ 6 และรูปที่ 8 จะพบว่าเมื่อค่าความกว้างของรางเพิ่มขึ้นค่าความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่าของมุมเทเปอร์เพิ่มขึ้นจะได้ค่าความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายของหัวอ่านชนิด IBM 3380 ลดลงดังรูปที่ 7 แต่หัวอ่านชนิด Truncated cycloidal จะมีค่าความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายลดลงเมื่อค่ามุมเทเปอร์ลดลงดังรูปที่ 9 ในการคำนวณครั้งนี้ใช้ค่าความหนืดอากาศ (μ) เท่ากับ 1.84×10^{-5} Pas. ค่า λ เท่ากับ $0.065 \mu\text{m}$ ค่า $\text{Pa} = 0.101 \text{ Mpa}$

หลังจากนั้นนำหัวอ่านทั้งสองชนิดมาจำลองพฤติกรรมสถิตย์ รูปที่ 10 แสดงความดันกระจายบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะพบว่าความดันอากาศสูงสุดจะเกิดบริเวณใกล้กับขอบนำและขอบท้าย และแรงดันที่สูงที่สุดจะอยู่ใกล้บริเวณขอบท้าย ความดันจะลดลงที่ขอบท้ายเนื่องจากการสูญเสียความดันของอากาศบริเวณขอบ(side leakage) รูปที่ 11 แสดงความดันกระจายบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal จะพบว่าความดันสูงสุดของความดันอากาศสูงสุดจะเกิดบริเวณใกล้กับขอบนำและขอบท้ายเช่นเดียวกัน แต่มีค่าความดันสูงกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปรียบเทียบความดันที่กึ่งกลางของรางตามแนวความยาวของหัวอ่านทั้งสองชนิดจะพบว่าหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal จะมีค่าความดันสูงสุดมากกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 และศูนย์กลางของแรงเนื่องจากความดันของหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะอยู่ใกล้กับศูนย์กลางมวลของหัวอ่านมากกว่าหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal ดังนั้นหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะมีความเสถียรในขณะทำงานดีกว่าหัวอ่านชนิด

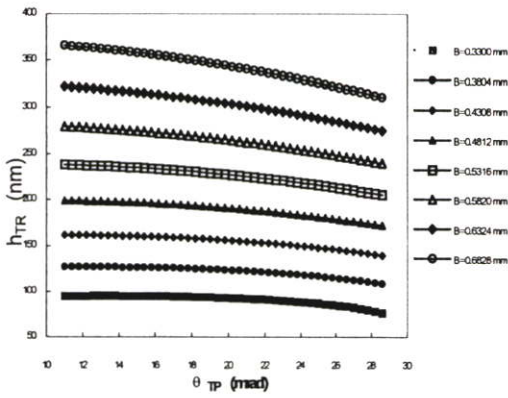
Truncated cycloidal ที่สภาวะทำงานสถิตย์ดังแสดงในรูปที่ 12

5. สรุป

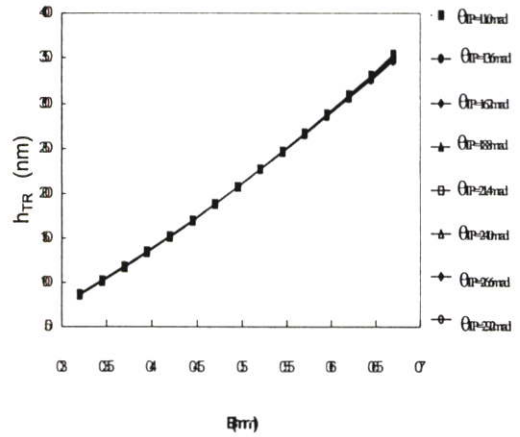
การคำนวณหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของขนาดของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถใช้วิธีโบรเดน-เฟลทเซอร์-โกลด์เฟรบ-เซนโน(BFGS) และวิธีการค้นหาเชิงเส้น เพื่อหาค่าความหนาของฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายต่ำสุด จากการคำนวณพบว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีค่าความหนาของฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายต่ำกว่าหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal ถ้าค่าความกว้างของรางเปลี่ยนแปลงจะมีผลทำให้ค่าความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายมีค่าเปลี่ยนแปลงมาก และค่าความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายจะเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเปลี่ยนแปลงค่ามุมเทเปอร์ เมื่อนำหัวอ่านทั้งสองชนิดที่มีขนาดที่เหมาะสมที่ได้จากการคำนวณไปศึกษาพฤติกรรมการทำงานในสภาวะสถิตย์จะพบว่าหัวอ่าน IBM 3380 จะมีความเสถียรในขณะทำการบันทึกดีกว่าหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal เพราะศูนย์กลางของแรงดันเนื่องจากความดันอยู่ใกล้จุดศูนย์กลางมวลของหัวอ่านมากกว่า



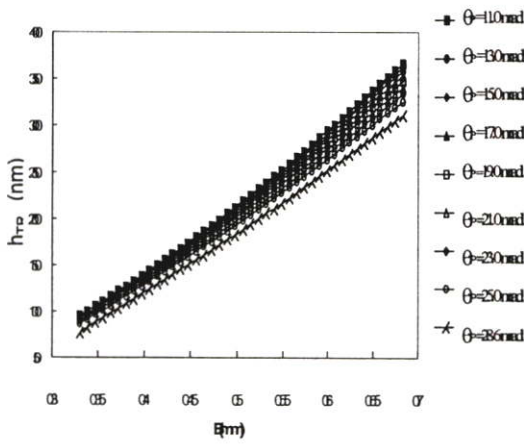
รูปที่ 5 แสดงแผนผังขั้นตอนการคำนวณของวิธี BFGS



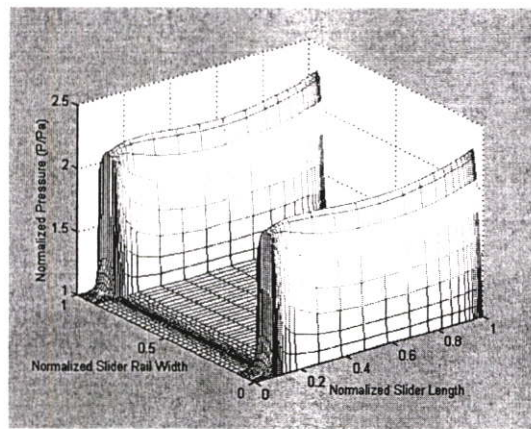
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายและมุมเทเปอร์ของหัวอ่านชนิด IBM 3380



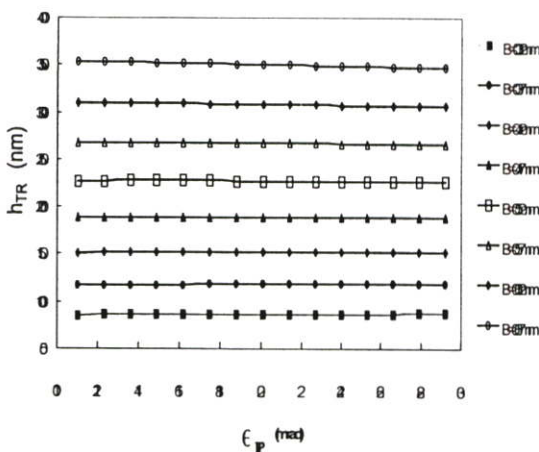
รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายและความกว้างของรางของหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal



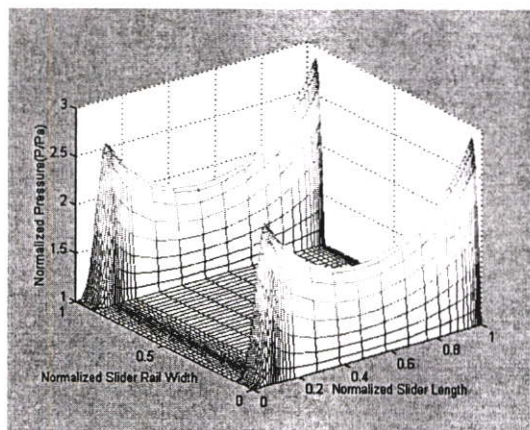
รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายและความกว้างของรางของหัวอ่านชนิด IBM 3380



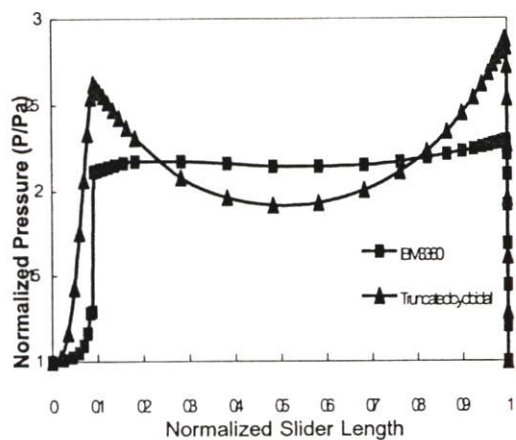
รูปที่ 10 แสดงความดันกระจายบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 ที่ $B = 0.33 \text{ mm}$ $\theta_{TP} = 28.6 \text{ mrad}$



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายและมุมเทเปอร์ของหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal



รูปที่ 11 แสดงความดันกระจายบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal ที่ $B = 0.32 \text{ mm}$ $\theta_{TP} = 11 \text{ mrad}$



รูปที่ 12 เปรียบเทียบความดันกระจายที่กึ่งกลางของรางตามแนวความยาวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 และหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] D.B. Bogy, S. Lu, M.A. O'Hara and S. Zhang, "Some Advanced Air-Bearing Design Issues for Proximity Recording", ASME Journal of Tribology, Vol.120, 1998, pp.556-570.
- [2] C.Bagci and A.P. Singh, "Hydrodynamic Lubrication of Finite Slider Bearings: Effect of One Dimensional Film Shape and Their Computer Aided Optimum Designs", ASME Journal of Tribology, Vol.105, 1983, pp.48-66.
- [3] D.H. Choi and S.J. Yoon, "Static Analysis of Flying Characteristics of the Head Slider by Using an Optimization Technique", ASME Journal of Tribology, Vol.116, 1994, pp.90-94.
- [4] G.V. Reklaitis, A. Ravindran and K.M. Ragsdell, "Engineering Optimization", John Wiley&Sons, 1983.
- [5] H. Hashimoto and Y. Hattori, "Improvement of the Static and Dynamic Characteristics of Magnetic Head Sliders by Optimum Design", ASME Journal of Tribology, Vol.122, 2000, pp.280-287.
- [6] M. Avriel, M.J. Rijckart and D.J. Wilde, "Optimization and Design", Prentice-Hall, 1973.

4th ICIT IS 2002



Proceedings The Second International Symposium on Communications and Information Technology

23-25 October 2002
Central Hotels&Resorts, Pattaya
Chonburi, Thailand



Session: Algorithm II

Room: Golden Sand 2

F 4.1

Chairpersons: 1. Dr. Putchong Uthayopas, *Kasetsart University, Thailand*
 2. Dr. Mongkol Raksapatcharawong, *Kasetsart University, Thailand*

- 09.20 **Efficient Method and Tool for Building A Scalable Diskless Linux Cluster**.....
 T. Vorakosit, T. Angskun, and P. Uthayopas
Kasetsart University, Thailand
- 09.40 **Re-ranking Score Method using SVM Prediction Value**
 P. Norasetsathaporn and A. Rungsawang
Kasetsart University, Thailand
- 10.00 **Adaptable Synchronization for Distributed Virtual Environment**
 O. Wongwirat and S. Ohara
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand and Tokai University, Japan
- 10.20 **Theoretical Characteristic of the Optimal Taper-Flat Slider Head in Magnetic Storage Devices**.....
 M. Mongkolwongrojn and K. Wongseedakaew
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
- 10.40 Coffee Break

Session: Video Processing and Coding III

Room: Golden Sand 2

F 4.2

Chairpersons: 1. Dr. K. Wattanavichean, *Kasetsart University, Thailand*
 2. Dr. Supachot Kanjanakongtong, *King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand*

- 11.00 **Modeling of Fading and Dissolving in Video Sequences for Gradual Scene Change Detection**.....
 W. A. C. Fernando
Asian Institute of Technology, Thailand
- 11.20 **Classifying Joyful/Sad Movie Clips Using Light and Color Features**.....
 S. C. Watanapa, B. Thipakorn, and N. Charoenkitkarn
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand
- 11.40 **Gesture Segmentation Technique for Thai Sign Language Translation**.....
 W. Werapan and N. Chotikakamthorn
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
- 12.00 Lunch

Session: Image Processing

Room: Golden Sand 2

F 4.3

Chairpersons: 1. Dr. Pirawat Watanapongse, *Kasetsart University, Thailand*
 2. Dr. Patamaporn Sripadungtham, *Kasetsart University, Thailand*

- 13.00 **BabiLearn: An Incremental Learning Approach to Neural Network Design**.....
 W. Asdornwised and S. Jitapunkul
Chulalongkorn University, Thailand
- 13.20 **Thai Printed Character Recognition Using Wavelet Descriptor Method**.....
 P. Praneetpolgrang, C. Thongsala, and P. Totarong
Royal Thai Air Force Academy, Sripatum University, and Division Military R&D, Thailand

Theoretical Characteristic of the Optimal Taper-Flat Slider Head in Magnetic Storage Devices

M.Mongkolwongrojn and K.Wongseedakaew

Electro-Mechanical Engineering Lab
Mechanical Engineering Department
ReCCIT Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang
Bangkok 10520 Thailand
Email: kmmongko@kmitl.ac.th

Electro-Mechanical Engineering Lab
Mechanical Engineering Department
ReCCIT Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang
Bangkok 10520 Thailand
Email: s3062027@kmitl.ac.th

Abstract

This paper presents a method to predict the static and dynamic characteristics of the air lubricated slider head in a hard disk drive by using optimization technique. The time dependent modified Reynolds equation based on the molecular slip flow approximation equations is used to describe the fluid flow within the air bearing and the implicit finite difference scheme is applied to calculate the pressure distribution within the slider head. The exhaustive search combined with the Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno method are employed to obtain optimum design variables which are taper angle, rail width and taper length in order to keep the forces and moments acting on the slider head in dynamic equilibrium. The results show the static and dynamic characteristic of the optimal slider head and compared with the characteristic of IBM 3380 head slider.

1. Introduction

The most critical factor to determine the performance of magnetic disk drives is the head/disk interface at which the flying magnetic head is to keep stable between head slider and disk surfaces under the static and dynamic operating conditions. There are many research works on optimum design of magnetic head sliders: O'Hara et. al. and Lu et. al. determined the optimum geometries of a subambient pressure shaped rail in magnetic head slider in 1996. Bogy et. al. obtained the optimal geometries with included the amplitude sensitivity as an objective function in 1998. In 2000, Hashimoto and Hattori obtained the optimum magnetic head slider using the combination of direct search method and the successive quadratic programming technique. The objective of this paper is to propose an efficient method to predict the static and dynamic

flying characteristic of the optimal self acting air-bearing sliders in magnetic disk drives by using an optimization technique.

2. Governing Equation

The schematic diagram of the magnetic slider head to be considered is shown in Fig.1. A rectangular coordinate system (X,Y) with the origin placed at the corner of the inner and leading edges and with the X and Y axes pointed in the slider's length and width directions respectively. The slider was assumed to have two degree of freedom motion, translation perpendicular to the disk surface and rotation around the transverse axis.

The generalized time dependent Reynolds equation for analyzing the air film pressure between the slider head and disk surfaces can be expressed as (1):

$$\frac{\partial}{\partial X} \left(Q \frac{\partial P}{\partial X} \right) + R^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left(Q \frac{\partial P}{\partial Y} \right) - \Lambda \frac{\partial}{\partial X} (PH) - \sigma \frac{\partial (PH)}{\partial T} = 0 \quad (1)$$

where

$$Q(P, H) = \phi(P, H)PH^3 \quad (2)$$

$\phi(P, H)$ is the poiseuille flow factor taking into account of the air rare faction effects based on the linearized Boltzmann equation (2) which can be expressed as:

$$\phi(P, H) = a_0 + a_1 \left(\frac{Kn}{PH} \right) + a_2 \left(\frac{Kn}{PH} \right)^2 + a_3 \left(\frac{Kn}{PH} \right)^3 \quad (3)$$

The boundary conditions are give as:

$$P(0, Y, T) = P(1, Y, T) = P(X, \frac{1}{2}, T) = P(X, -\frac{1}{2}, T) = P_a \quad (4)$$

The slider head motion has two degree of freedom in this analysis and can be written as:

$$M_Z \ddot{Z} + F_0 = 2 \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 (P-1) dXdY \quad (5)$$

$$I_\theta \ddot{\theta} + M_0 - F_S X_{GS} = 2 \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 (P-1)(X_G - X) dXdY \quad (6)$$

Equation (1), (5) and (6) can be solved numerically to obtain dynamic response of slider head.

3. Optimization Technique

The optimization problem for the solution of air bearing can be formulated as:

The objective function is to minimize

$$y = R_1^2 + R_2^2 \quad (7)$$

where

$$R_1 = M_Z \ddot{Z} + F_0 - 2 \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 (P-1) dXdY \quad (8)$$

$$R_2 = I_\theta \ddot{\theta} + M_0 - F_S X_{GS} - 2 \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 (P-1)(X_G - X) dXdY \quad (9)$$

The constraints are

$$B^L \leq B \leq B^U \quad (10)$$

$$\theta_{TP}^L \leq \theta_{TP} \leq \theta_{TP}^U \quad (11)$$

$$L_{TP}^L \leq L_{TP} \leq L_{TP}^U \quad (12)$$

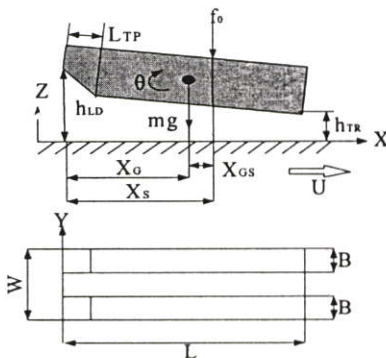


Fig.1 Model of magnetic head slider

This problem, the design variables are slider rail width B , taper angle θ_{TP} and taper length L_{TP} . The constraints of equation (10), (11) and (12) are impose to limit the value of slider shape where lower and upper bounds are denoted by superscripts L and U respectively.

In this study, we utilized the exhaustive search first to get the design variables close to the

solution and then to use the Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno(BFGS) method for determining the descent direction due to its well know excellence and effective algorithm. The design variables are updated as:

$$\begin{aligned} B^{q+1} &= B^q + \alpha_B^* S_B^q \\ \theta_{TP}^{q+1} &= \theta_{TP}^q + \alpha_{\theta_{TP}}^* S_{\theta_{TP}}^q \\ L_{TP}^{q+1} &= L_{TP}^q + \alpha_{L_{TP}}^* S_{L_{TP}}^q \end{aligned} \quad (13)$$

where q is the iteration number of optimization process. The convergence criteria are met as:

$$|y| \leq \epsilon \quad (14)$$

where ϵ is the convergence tolerance.

4. Computational Results

The results optimization for taper-flat head slider on the present method are shown in Fig.2, Fig.3 and Fig.4. The optimum rail width $(B)_{opt}$ is 0.6589 mm., the optimum taper angle $(\theta)_{opt}$ is 14.64496 mrad. and the optimum taper length $(L_{TP})_{opt}$ is 0.24788 mm. Which give the minimum objective function y as 1.807488×10^{-9} .

In this study, the static characteristic of the optimum taper-flat slider head was compared with the IBM 3380 taper-flat slider head as shown in Fig.5, Fig.6, Fig.7, Fig.8 and Fig.9 respectively. In Fig.5 shows the air film pressure distribution along X axis at $y = b/2$ of the optimum taper flat slider and compare with the IBM 3380 slider head. Fig.6 shows the pressure distribution along X and Y axes of the optimum taper flat slider. The spacing at leading and trailing edges are increase with the increase in disk speed as shown in Fig.7. The spacing at leading and trailing edges are changed slightly as the increase in suspension position and suspension preload as shown in Fig.8 and Fig.9 respectively.

For the simulation of dynamic characteristic of the optimum taper flat slider head was also compared with the IBM 3380 taper flat slider head as shown in Fig.10, Fig.11, Fig.12, Fig.13, Fig.14 and Fig.15. The dynamic response of the slider head under input bump with the bump height $h = 0.1 \mu\text{m}$. and bump width $w = 0.254 \text{cm}$. at various disk speed $U = 15, 20$ and 25m/s . The response time are approximately 0.3 msec. in transient state. After $t \geq 0.3 \text{msec}$., the flying slider head becomes steady state.

5. Conclusion

The flying characteristics of the optimal taper flat self-acting air bearing slider are simulated and can be concluded as

- 1) The optimal taper flat slider give slightly larger spacing at trailing edge than the spacing for IBM 3380
- 2) The optimal taper flat slider has better dynamic characteristic than the dynamic characteristic for IBM 3380.

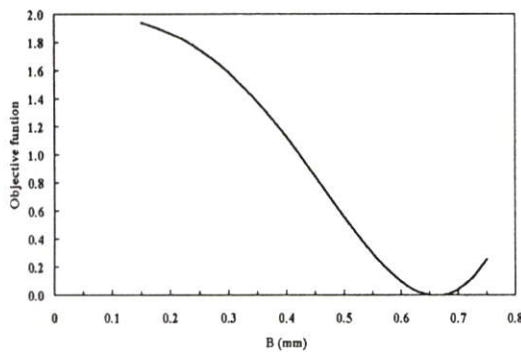


Fig.2 Contour curve of objective function and slider rail width.

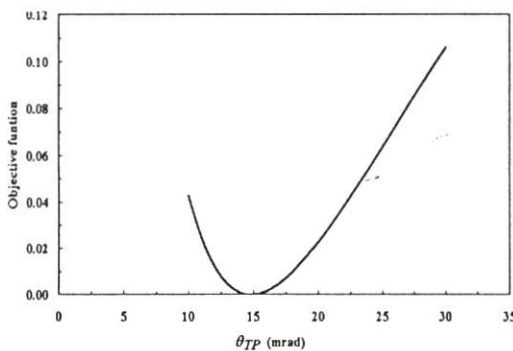


Fig.3 Contour curve of objective function and taper angle.

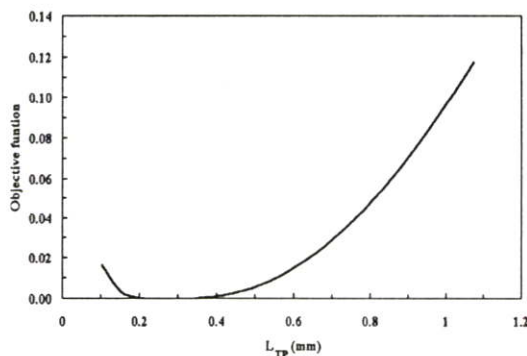


Fig.4 Contour curve of objective function and taper length.

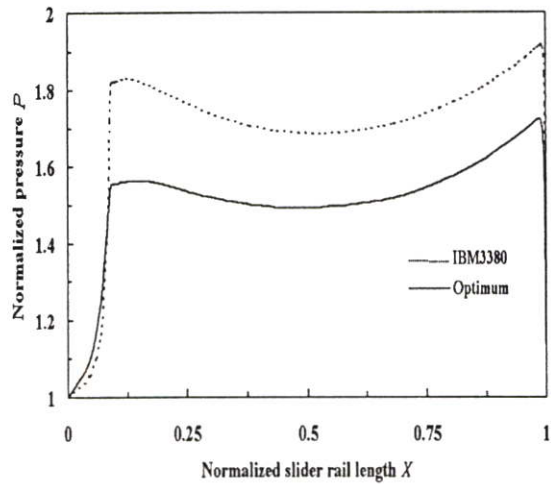


Fig.5 Air film distribution along the slider length.

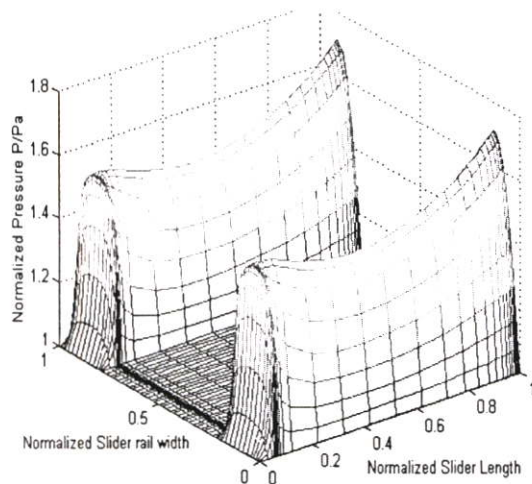


Fig.6 Air film pressure distribution for optimal slider head.

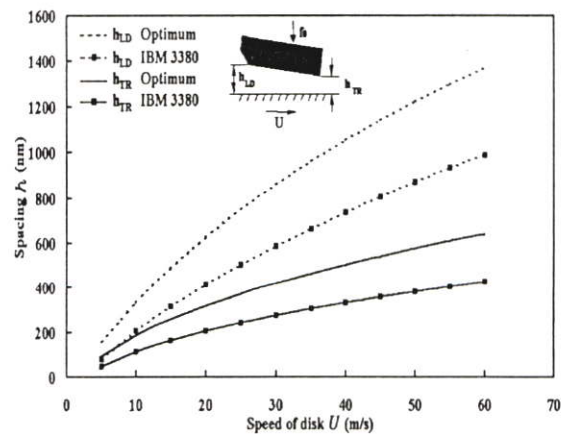


Fig.7 Variation of spacing with disk speed.

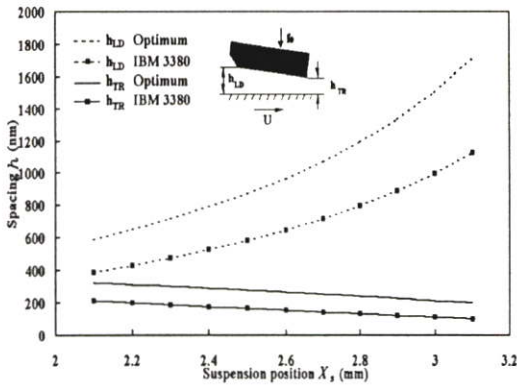


Fig.8 Variation of spacing with suspension position.

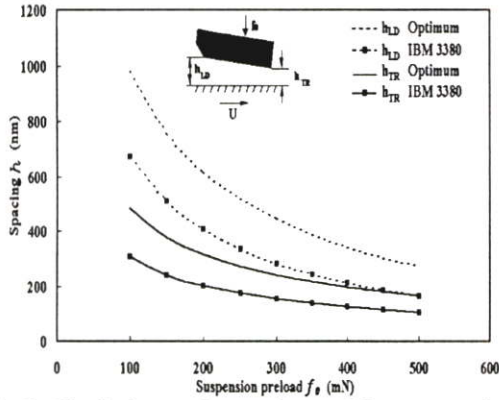


Fig.9 Variation of spacing with suspension preload.

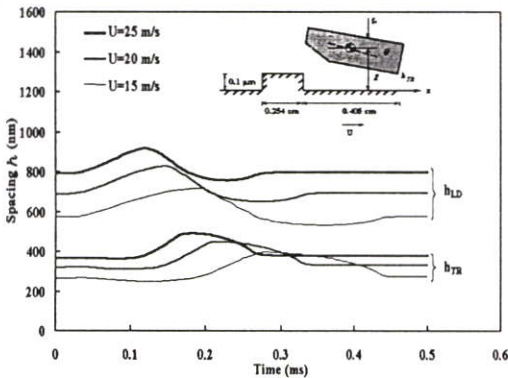


Fig.10 Transient response of slider spacing for optimal slider head.

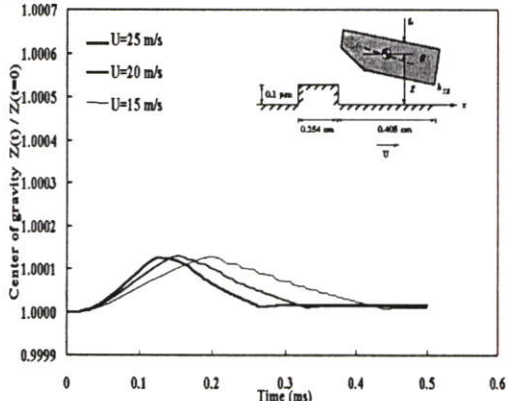


Fig.11 Transient response of center of gravity for optimal slider head.

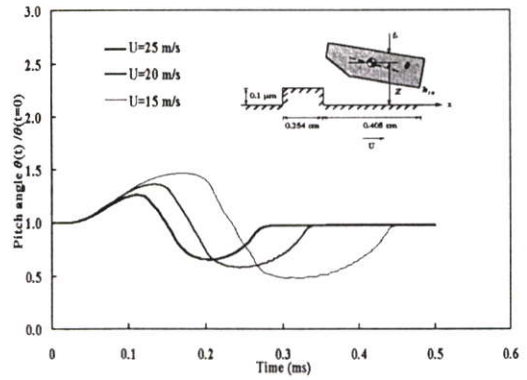


Fig.12 Transient response of pitch angle for optimal slider head.

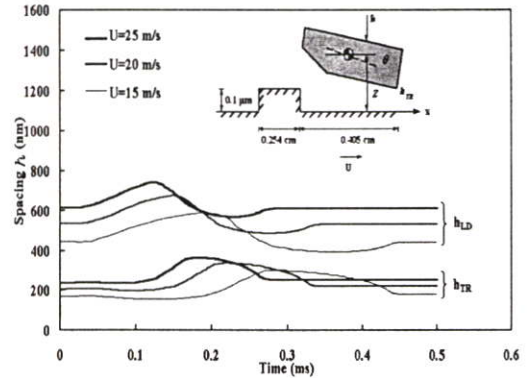


Fig.13 Transient response of slider spacing for IBM 3380.

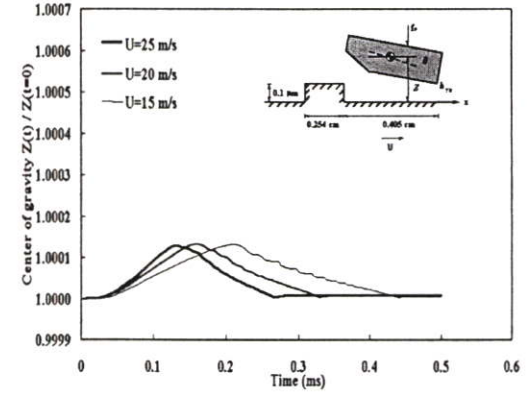


Fig.14 Transient response of center of gravity for IBM 3380.

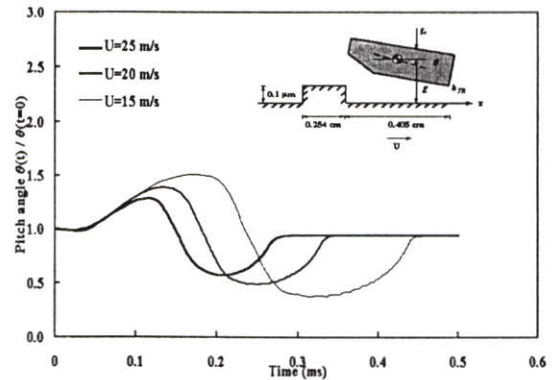


Fig.15 Transient response of pitch angle for IBM 3380.

6. Nomenclature

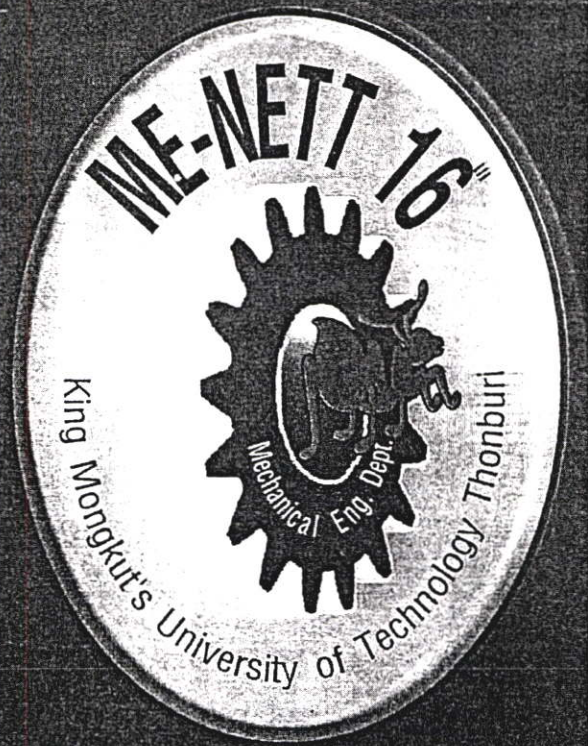
B = slider rail width
 F_0 = normalized suspension pre load (f_0/p_aLB)
 H = normalized spacing (h/h_a)
 h_a = minimum allowable spacing
 h_{LD} = leading edge spacing
 h_{TR} = trailing edge spacing
 Kn = Knudsen number (λ_a/h_a)
 L = slider length
 I_θ = normalized slider moment of inertia about the pitch axis ($i_\theta h_a \omega_0^2 / p_a L^3 B$)
 M_Z = normalized slider mass ($m h_a \omega_0^2 / p_a L^2 B$)
 P = normalized pressure (p/p_a)
 P_a = ambient pressure
 T = normalized time ($\omega_0 t$)
 U = velocity of disk ($r \omega_0$)
 L_{TP} = taper length
 θ_{TP} = taper angle
 X_G = normalized location of the center of gravity (x_G/L)
 X_{GS} = normalized distance between the center of gravity and support position (x_{GS}/L)
 X_S = normalized location of the support position (x_S/L)
 Θ = Normalized pitch angle of slider ($\theta L/h_a$)
 σ = Squeeze number ($12\mu\omega L^2/p_a h_a^2$)

7. Reference

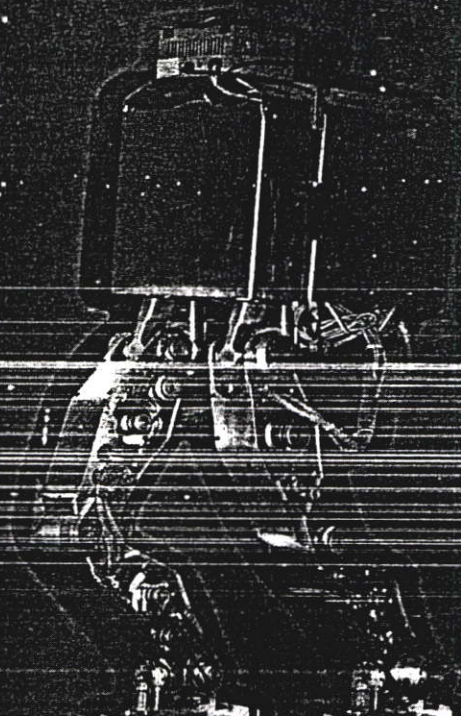
- [1] H.Hashimoto and Y.Hattori, Trans. ASME 122(2000) 280-287.
- [2] D.B. Bogy, S. Lu, M.A. O'Hara and S. Zhang, Trans. ASME, 120, 3(1998) 566-570.
- [3] S.Fukui and R.Kaneko, Trans. ASME, 110, 2 (1988) 253-261.
- [4] S.Fukui and R.Kaneko, Trans. ASME, 112, 1 (1990) 78-83.
- [5] H. S. Nishihara, L. K. Dorius, S. A. Bolasna and G. L. Best, STLE SP-25, 97, (1988) 117-123.
- [6] K.Ono, Trans. ASME, 97, 2(1975) 250-260.
- [7] J.W. White, Trans. ASME, 105,3(1983) 484-490
- [8] J.W. White, ASLE SP-16, 1, (1984) 72-76.
- [9] E. Cha and D. B. Bogy, Trans. ASME, 117, (1995) 36-46.
- [10] V. Castelli and J. Pirvics, Trans. ASME, 90, (1968) 777-792.
- [11] S.Kwankaomeng, H.Hashimoto, Y.Hattori and M.Mongkolwongrojn, Proc. of International Tribol. conf., Nagasaki, (2000).


การประชุม
วิชาการเครื่องกล
วิศวกรรมเครื่องกล
แห่งประเทศไทย

ครั้งที่ 16



Mechanical Engineering
 Network of Thailand
 The 16th Conference



14-16 ตุลาคม 2545 จังหวัดภูเก็ต
 October 14-16, 2002 Phuket



TF120	ผลของสลิปที่เกิดขึ้นบนวัตถุทรงกระบอกซึ่งหมุนด้วยความเร็วคงที่ในวัตถุทรงกระบอกอีกชิ้นหนึ่ง พีระพงศ์ ทีฆสกุล	78
TF121	ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภาวะการทำความเย็นสำหรับกรอบอาคารในกรุงเทพมหานคร สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ บุณยฤทธิ์ เมื่อก่องสุริยะ และ เขมชาติ มังกรศักดิ์สิทธิ์	84
TF122	การศึกษาหน้าตัดกระจกในแง่ความสลายเชิงความร้อน สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ นพรัตน์ คำพร บุณยฤทธิ์ เมื่อก่องสุริยะ และ เขมชาติ มังกรศักดิ์สิทธิ์	90
TF123	การระบายความร้อนแบบฟิล์มของน้ำสำหรับผิวท่อที่มีก๊าซร้อนไหลภายใน สัมพันธ์ ไชยเทพ และ พิสิษฐ์ เพชรคง	96
TF124	การออกแบบปั๊มหัวฉีดน้ำสำหรับประยุกต์เพื่อใช้กับเครื่องอบแห้งระบบสุญญากาศ สัมพันธ์ ไชยเทพ และ พยุงศักดิ์ บุญสิทธิ์	101
TF125	การประยุกต์ใช้เชื้อเพลิงเอทานอลกับเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง ณเรษฎฐ ฐานะวโรธร และ จินดา เจริญพรพาณิชย์	107
TF126	An Interactive Approach to the Calculation of Incompressible Separated Boundary Layers Wanchai Asvapoositkul	113
TF129	Experimental Study on Journal Bearing with Soybean – Based Oils Mongkol Mongkolwongrojn, Vorapat Founjaroen, U-than Nujunkaew and Keitiyot Deerod	118
TF130	Optimum Design of Taper-Flat Head Slider in Magnetic Storage Systems Mongkol Mongkolwongrojn and Khanittha Wongseedakaew.	123
TF131	Large Eddy Simulation สำหรับการไหลในช่องลมที่มีการฉีดท่ามุมด้านข้าง นราธิป สุขโข พ.ศ.อโณทัย สุขแสงพนมรุ่ง อุดมเกียรติ นนทแก้ว และ พงษ์เจด พรหมวงศ์	129
TF132	การจำลองการปรับอากาศในอาคารขนาดใหญ่โดยการแผ่รังสีความร้อนจากพื้น และการแยกชั้นของ อากาศ สมศักดิ์ เพ็ชรกุล ชโลธร ธรรมแท้ ประสิทธิ์ สำนัณย์ และ จินดา เจริญพรพาณิชย์	134
TF133	การใช้น้ำมันพืชผสมสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กแบบฉีดตรงเข้าห้องเผาไหม้ อภิชาติ เสมศรี มณฑล ใจกุล และ จินดา เจริญพรพาณิชย์	139
TF134	การจำลองลักษณะการฉีดก๊าซธรรมชาติจากหัวฉีดในเครื่องยนต์แบบฉีดตรงเข้าห้องเผาไหม้ ชโลธร ธรรมแท้ อิทธิเชษฐ เตโชพิศาลวงศ์ และ จินดา เจริญพรพาณิชย์	144
TF136	Ejector CFD Modelling with Real Gas Model E. Rusly, Lu Aye, W.W.S.Charters, A.Ooi and K. Pianthong	150
TF138	อิทธิพลของระยะห่างระหว่างหัวเผาแก๊สกับกันภาชนะที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา แก๊สหุงต้ม อามิน จันทสิทธิ์ อนุพงษ์ ภาพเมืองมูล ธนากร หมื่นหาญ และ ชานนท์ ชื่นจิตร์	156
TF140	การศึกษาการพัฒนาของ Turbulent spot ในช่วงการเปลี่ยนแปลงลักษณะการไหลภายในชั้นขีดผิวโดย ใช้ Liquid Crystals ชวลิต กิตติชัยการ	160
TF141	การทำนายเชิงตัวเลขของการไหลแบบปั่นป่วนในเตาฟลูอิดไดซ์เบดแบบวอร์เทค สมชาย ศรีพัฒนะพิพัฒน์ สมินทร์ เอี่ยมสอาด เสถียรพงศ์ หุยะนันท์ และ พงษ์เจด พรหมวงศ์	166
TF147	การวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับการไหลผ่านสิ่งกีดขวาง 2 แห่งที่วางเรียงกันในช่องทางไหล เกรียงไกร ปัญญาวิริยะ และ สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์	172
TF148	การคำนวณการถ่ายเทความร้อนแบบคอนจูเกตโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่ม ยศกร ประทุมวัลย์ และ สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์	178
TF149	การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบแผ่นบนโครงที่มีรูปแบบการไหลแบบซับซ้อน ภาวนี นรัตถรักษา อนุรักษ์ ปิติวัชรสกุล วีรวัฒน์ โรจนไพฑูรย์ และ ชัยวัฒน์ นพพรเลิศวงศ์	183

Optimum Design of Taper-Flat Head Slider in Magnetic Storage Systems

Mmongkol Mongkolwongrojn and Khanittha Wongseedakaew

Electro-Mechanical Engineering Lab, Mechanical Engineering Department, ReCCIT Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology

Ladkrabang Bangkok 10520 Thailand

E-mail kmmongko@kmitl.ac.th

Abstract

This paper presents a method to predict the static and dynamic characteristics of the air lubricated slider head in a hard disk drive using optimization technique. The time dependent modified Reynolds equation based on the molecular slip flow approximation equations is used to describe the fluid flow within the air bearing and the implicit finite difference scheme is applied to calculate the pressure distribution within the slider head. The exhaustive search combined with the Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno method are employed to obtain optimum design variables which are taper angle and rail width in order to keep the forces and moments acting on the slider head in dynamic equilibrium. The results show the static and dynamic characteristic of the optimal slider head and compared with the characteristic of IBM 3380 head slider.

1. Introduction

The most critical factor to determine the performance of magnetic disk drives is the head/disk interface at which the flying magnetic head is to keep stable between head slider and disk surfaces under the static and dynamic operating conditions. There are many research works on optimum design of magnetic head sliders: O'Hara et. al. and Lu et. al. determined the optimum geometries of a subambient pressure shaped rail in magnetic head slider in 1996. Bogy et. al. obtained

the optimal geometries with included the amplitude sensitivity as an objective function in 1998. In 2000, Hashimoto and Hattori obtained the optimum magnetic head slider using the combination of direct search method and the successive quadratic programming technique.

The objective of this paper is to propose an efficient method to predict the static and dynamic flying characteristic of the optimal self acting air-bearing sliders in magnetic disk drives by using an optimization technique.

2. Governing Equation

The schematic diagram of the magnetic slider head to be considered is shown in Fig.1. The slider was assumed to have two degree of freedom motion, translation perpendicular to the disk surface and rotation around the transverse axis.

The generalized time dependent Reynolds equation for analyzing the air film pressure between the slider head and disk surfaces can be expressed as (1):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(Q \frac{\partial P}{\partial x} \right) + R^2 \frac{\partial}{\partial y} \left(Q \frac{\partial P}{\partial y} \right) - \Lambda \frac{\partial}{\partial x} (PH) - \sigma \frac{\partial (PH)}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

where

$$Q(P, H) = \phi(P, H) PH^3 \quad (2)$$

$\phi(P, H)$ is the poiseuille flow factor taking into account of the air rare fraction effects based on the linearized Boltzmann equation (2) which can be expressed as:

$$\phi(P, H) = a_0 + a_1 \left(\frac{Kn}{PH}\right) + a_2 \left(\frac{Kn}{PH}\right)^2 + a_3 \left(\frac{Kn}{PH}\right)^3 \tag{3}$$

The boundary conditions are give as:

$$P(0, Y, T) = P(1, Y, T) = P(X, \frac{1}{2}, T) = P(X, -\frac{1}{2}, T) = P_a \tag{4}$$

The slider head motion has two degree of freedom in this analysis and can be written as:

$$M_Z \ddot{Z} + F_0 = 2 \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 (P - 1) dXdY \tag{5}$$

$$I_\theta \ddot{\theta} + M_0 - F_S X_{GS} = 2 \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 (P - 1)(X_G - X) dXdY \tag{6}$$

Equation (1), (5) and (6) can be solved numerically to obtain dynamic response of slider head.

Fig.1 Model of magnetic head slider

3.Optimization Technique

The optimization problem for the solution of air bearing can be formulated as:

The objective function is to minimize

$$y = R_1^2 + R_2^2 \tag{7}$$

where

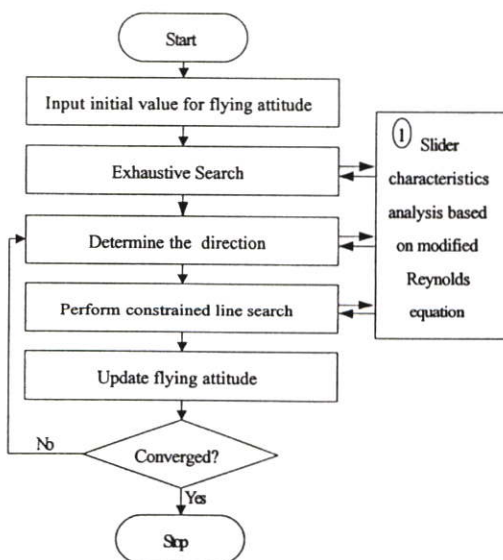
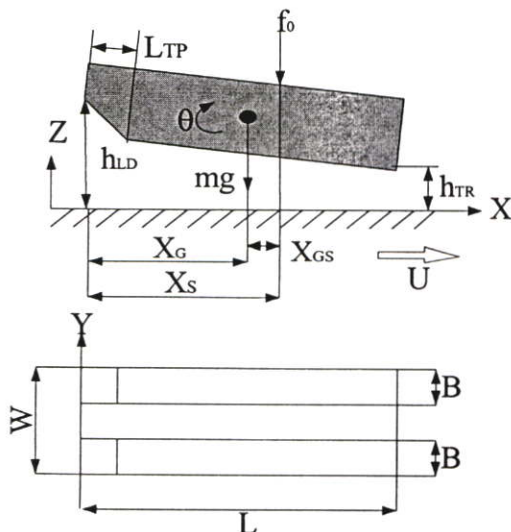
$$R_1 = M_Z \ddot{Z} + F_0 - 2 \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 (P - 1) dXdY \tag{8}$$

$$R_2 = I_\theta \ddot{\theta} + M_0 - F_S X_{GS} - 2 \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 (P - 1)(X_G - X) dXdY \tag{9}$$

The constraints are

$$B^L \leq B \leq B^U \tag{10}$$

$$\theta_{TP}^L \leq \theta_{TP} \leq \theta_{TP}^U \tag{11}$$



This problem, the design variables are slider rail width B and taper angle θ_{TP} . The constraints of equation (10) and (11) are imposed to limit the value of slider shape where lower and upper bounds are denoted by superscripts L and U respectively.

In this study, we utilized the exhaustive search first to get the design variables close to the solution and then to use the Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS) method for determining the descent direction due to its well known excellence and effective algorithm. The design variables are updated as:

$$B^{q+1} = B^q + \alpha_B^* S_B^q \quad (12)$$

$$\theta_{TP}^{q+1} = \theta_{TP}^q + \alpha_{\theta_{TP}}^* S_{\theta_{TP}}^q \quad (13)$$

where θ is the iteration number of optimization process. The convergence criteria are met as:

$$|y| \leq \varepsilon \quad (14)$$

where ε is the convergence tolerance.

4. Computational Results

The results of optimization for taper-flat head slider on the present method are shown in Fig.3, Fig.4 and Fig.5. The optimum rail width $(B)_{opt}$ is 0.6419 mm. and the optimum taper angle $(\theta)_{opt}$ is 12.6132 mrad. Which give the minimum objective function y as 5.416608×10^{-6} .

In this study, the static characteristic of the optimum taper-flat slider head was compared with the IBM 3380 taper-flat slider head as shown in Fig.6, Fig.7, Fig.8, Fig.9 and Fig.10 respectively. In Fig.6 shows the air film pressure distribution along X axis at $y = b/2$ of the optimum taper flat slider and compare with the IBM 3380 slider head. Fig.7 shows the pressure distribution along X and Y axes of the optimum taper flat slider. The spacing at leading and trailing edges are increase with the increase in disk speed as shown in Fig.8. The spacing at leading and trailing edges are changed slightly as the increase in suspension position and suspension preload as shown in Fig.9 and Fig.10 respectively.

The dynamic characteristic of the optimum taper flat slider head was also compared with the IBM 3380 taper flat slider head as shown in Fig.11, Fig.12, Fig.13,

Fig.14, Fig.15 and Fig.16. The dynamic response of the slider head under input bump with the bump height $h = 0.1 \mu\text{m}$. and bump width $w = 0.254 \text{ cm}$. at various disk speed $U = 15, 20$ and 25 m/s . The response time are approximately 0.3 msec. in transient state. After $t \geq 0.3 \text{ msec.}$, the flying slider head becomes steady state.

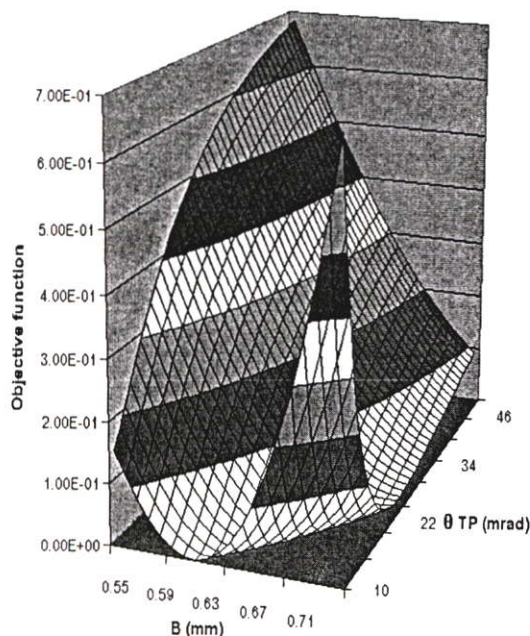


Fig.3 Contour curve of objective function and design variables.

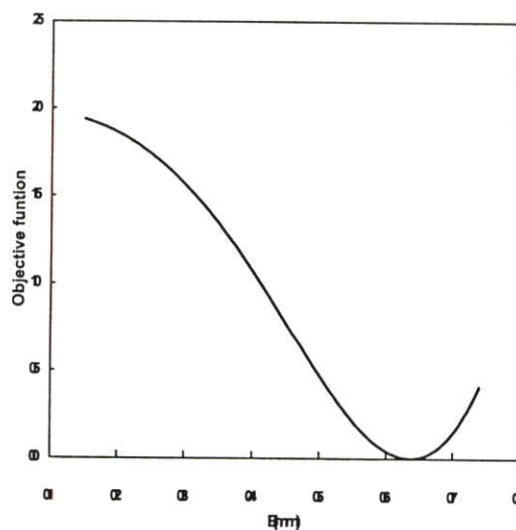


Fig.4 Contour curve of objective function and slider rail width.

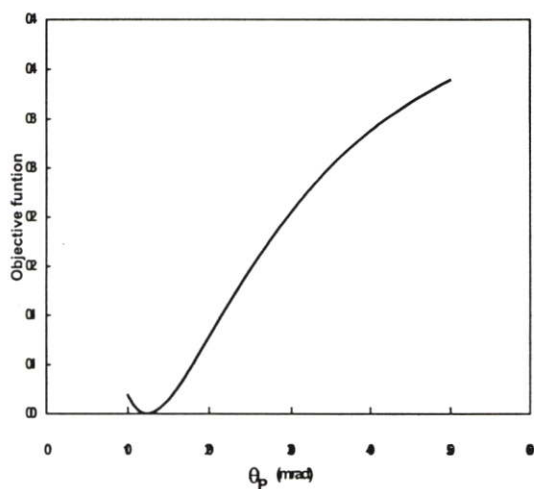


Fig.5 Contour curve of objective function and taper angle.

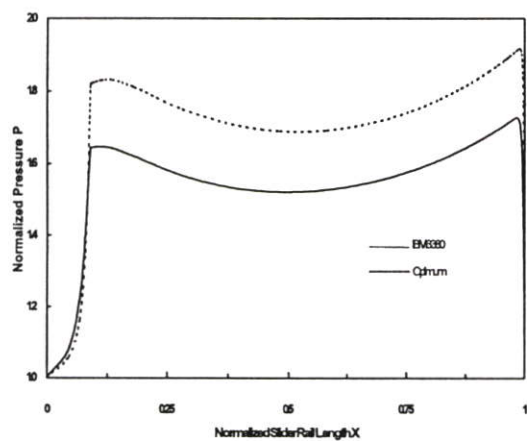


Fig.6 Air film distribution along the slider length.

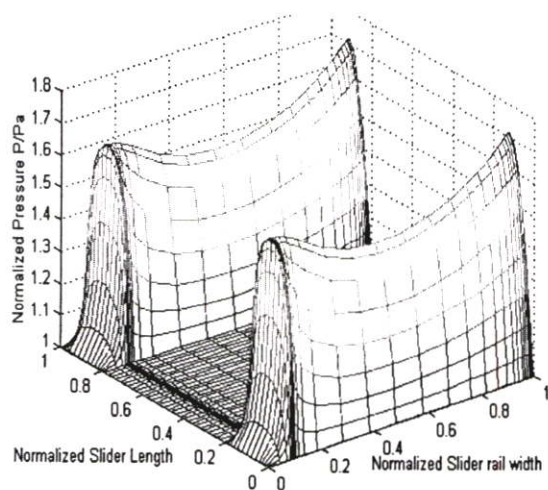


Fig.7 Air film pressure distribution for optimal slider head.

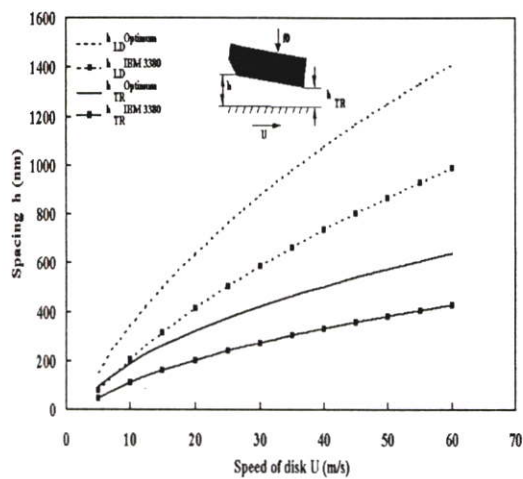


Fig.8 Variation of spacing with disk speed.

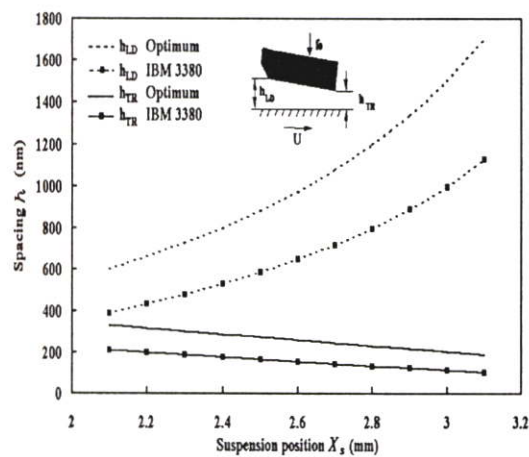


Fig.9 Variation of spacing with suspension position.

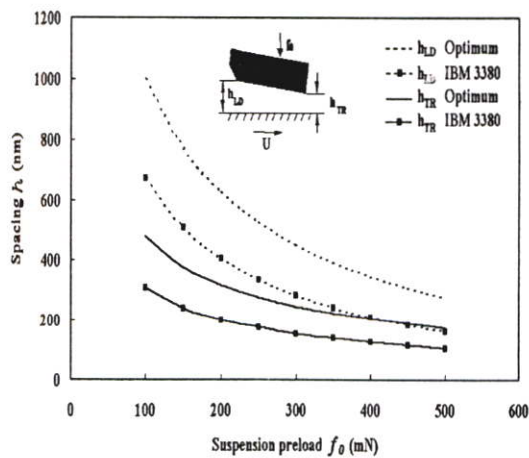


Fig.10 Variation of spacing with suspension preload.

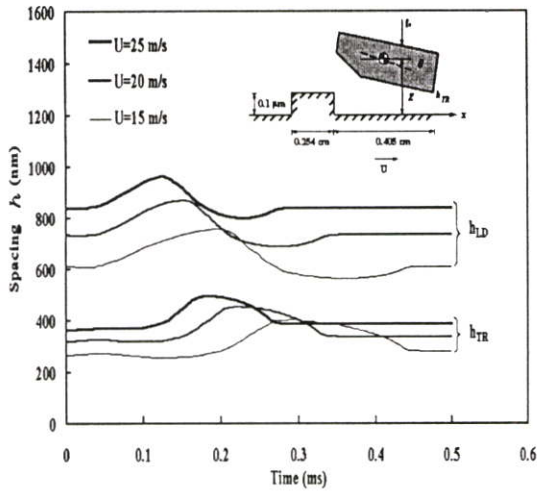


Fig.11 Transient response of slider spacing for optimal slider head.

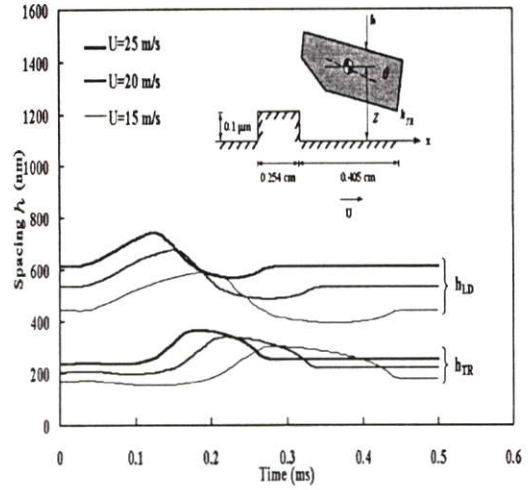


Fig.12 Transient response of slider spacing for IBM 3380.

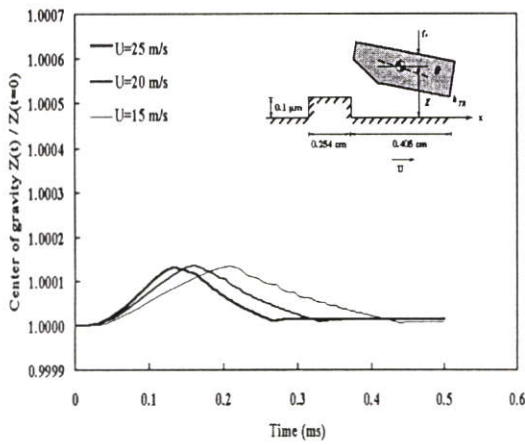


Fig.13 Transient response of center of gravity for optimal slider head.

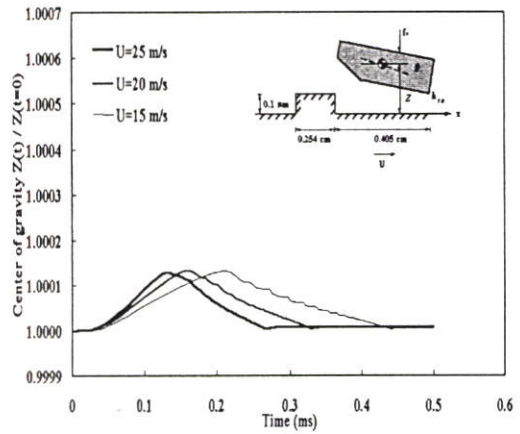


Fig.15 Transient response of center of gravity for IBM 3380.

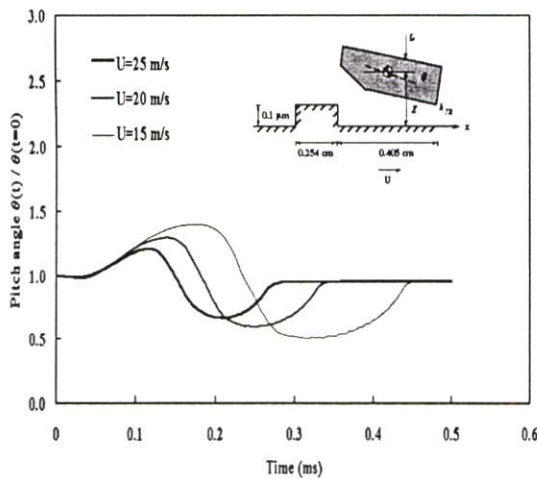


Fig.16 Transient response of pitch angle for optimal slider head.

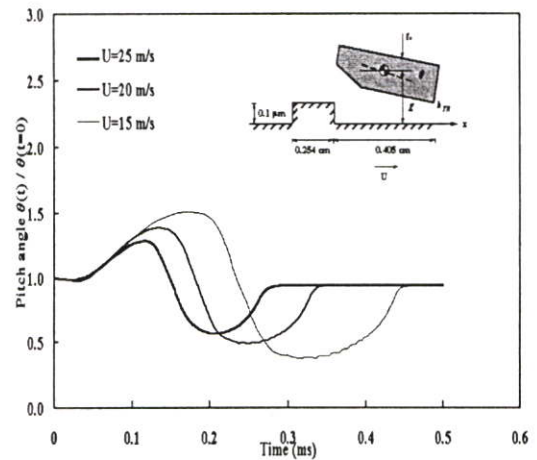


Fig.17 Transient response of pitch angle for IBM 3380

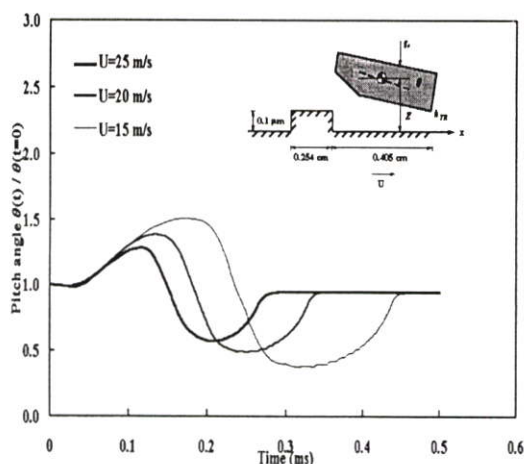


Fig.16 Transient response of pitch angle for IBM 3380

5. Conclusion

The flying characteristics of the optimal taper flat self-acting air bearing slider are simulated and can be concluded as

1. The optimal taper flat slider give slightly larger spacing at trailing edge than the spacing for IBM 3380
2. The optimal taper flat slider has better dynamic characteristic than the dynamic characteristic for IBM 3380.

6. Nomenclature

B = slider rail width

F_0 = normalized suspension pre load (f_0/p_aLB)

H = normalized spacing (h/h_a)

h_a = minimum allowable spacing

h_{LD} = leading edge spacing

h_{TR} = trailing edge spacing

I_0 = normalized slider moment of inertia about the pitch axis ($I_0h_a\omega_0^2/p_aL^3B$)

Kn = Knudsen number (λ_a/h_a)

L = slider length

M_2 = normalized slider mass ($mh_a\omega_0^2/p_aL^2B$)

P = normalized pressure (p/p_a)

P_a = ambient pressure

T = normalized time ($\omega_0 t$)

U = velocity of disk ($r\omega_0$)

L_{TP} = taper length

θ_{TP} = taper angle

X_G = normalized location of the center of gravity (x_G/L)

X_{GS} = normalized distance between the center of gravity and support position (x_{GS}/L)

X_S = normalized location of the support position (x_S/L)

Θ = Normalized pitch angle of slider ($\theta L/h_a$)

σ = Squeeze number ($12\mu\omega L^2/p_a h_a^2$)

7. Reference

- [1] D.B. Bogy, S. Lu, M.A. O'Hara and S. Zhang, Trans. ASME, 120, 3(1998) 566-570.
- [2] E. Cha and D. B. Bogy, Trans. ASME, 117, (1995) 36-46.
- [3] H.Hashimoto and Y.Hattori, Trans. ASME 122(2000) 280-287.
- [4] H. S. Nishihara, L. K. Dorius, S. A. Bolasna and G. L. Best, STLE SP-25, 97, (1988) 117-123.
- [5] J.W. White, Trans. ASME, 105,3(1983) 484-490.
- [6] J.W. White, ASLE SP-16, 1, (1984) 72-76.
- [7] K.Ono, Trans. ASME, 97, 2(1975) 250-260.
- [8] S.Kwankaomeng, H.Hashimoto, Y.Hattori and M.Mongkolwongrojn, Proc. of International Tribol. conf., Nagasaki, (2000).
- [9] S.Fukui and R.Kaneko, Trans. ASME, 110, 2(1988) 253-261.
- [10] S.Fukui and R.Kaneko, Trans. ASME, 112, 1(1990) 78-83.
- [11] V. Castelli and J. Pirvics, Trans. ASME, 90,(1968) 777-792.

ประวัติผู้เขียน

นางสาวขนิษฐา วงษ์สีดาแก้ว เกิดเมื่อวันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2519 ที่จังหวัดร้อยเอ็ด สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี ผลงานที่เคยได้รับการตีพิมพ์

1. “Static and Dynamic Characteristics of Journal Bearing with Non-Newtonian Dilatant Lubricants” วารสารวิศวลาดกระบัง, มิถุนายน 2542.
2. “Vibration Analysis of Helical Gear” วารสารวิศวลาดกระบัง, มิถุนายน 2542.
3. “Optimum Design of the Truncated Cycloidal Magnetic Head Slider” การประชุมวิชาการ เครื่องข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 15, ปีที่ 15, 2544.
4. “Theoretical Characteristic of the Optimal Taper-Flat Slider Head in Magnetic Storage Devices” ISCIT 2002, ตุลาคม 2545.
5. Optimum Design of Taper-Flat Head Slider in Magnetic Storage Systems” การประชุมวิชาการ เครื่องข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 16, ปีที่ 16, ตุลาคม 2545.