



ระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียน
ของฮาร์ดดิสก์เนื่องจากผลกระทบจากลม

**Read Write Offset Estimation Algorithm of Hard Disk Drives
Caused by Wind**

ธีรยุทธ์ เกลียงสง

Theerayut Kleangsong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Electrical Engineering
Prince of Songkla University**

2553

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์	ระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียน ของฮาร์ดดิสก์เนื่องจากผลกระทบจากลม
ผู้เขียน	นายธีรยุทธ เกลี้ยงสง
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2553

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่าง
การอ่านกับการเขียนเพื่อชดเชยการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์อันเนื่องมาจากลมภายในฮาร์ดดิสก์ โดย
ใช้คอมพิวเตอร์จำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ตามแบบจำลองที่สร้างขึ้น ผลของการเบี่ยงเบน
ของสไลเดอร์ถูกนำมารวมกับค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียนที่ได้จากการออกแบบ
จากนั้นนำค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียนที่ได้รวมกันแล้วเข้าสู่ระเบียบวิธีการประมาณค่า
ระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียนแล้วปรับปรุงระเบียบวิธีการประมาณค่าจนให้ค่าความ
ผิดพลาดอยู่ในช่วงที่รับได้ จากผลการศึกษาพบว่าระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่าง
การอ่านกับการเขียนที่เหมาะสมพิจารณาได้จากการเลือกตำแหน่งจุดวัดที่เหมาะสม การปรับจำนวน
จุดวัดที่เหมาะสม และการใช้การประมาณค่าสมการพหุนามเป็นตัวหลัก โดยมี Spline เป็นตัวช่วย

คำสำคัญ ระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียน, การประมาณค่าด้วย Spline

Thesis Title Read Write Offset Estimation Algorithm of Hard Disk Drives
 Caused by Wind

Author Mr.Theerayut Kleangsong

Major Program Electrical Engineering

Academic Year 2010

ABSTRACT

The aim of this research was to study the read write offset estimation algorithm to compensate slider displacement caused by wind inside a hard disk drive. The computer simulation model was used to simulate the slider displacement. The results of the displacement of the slider and read write offset (RWO) obtained from the slider design were combined to the total read write offset. Then, the total read write offset was used as the input to the estimation algorithm. Next, the estimation algorithm was modified to achieve the acceptable error. It is found that, the suitable estimation algorithm is obtained by selecting the appropriate measuring positions, adjusting the number of the appropriate measuring points, and the use of spline-associated polynomial interpolation.

Keywords: read write offset, spline

กิตติกรรมประกาศ

ขอแสดงคำขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู ประธานกรรมการที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้กรุณาให้การสนับสนุนการทำวิจัย กรุณาอุทิศเวลาให้คำปรึกษา แนะนำความรู้ในด้านการทำวิจัย เอกสาร ข้อมูลต่างๆเป็นอย่างดี รวมทั้งแนวความคิดและกำลังใจ ในการแก้ปัญหาตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐฐา จินดาเพชร กรรมการที่ปรึกษางานวิจัยที่ได้กรุณาอุทิศเวลาให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ และให้การช่วยเหลือแก้ไขปัญหในงานวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พฤทธิกร สมิตไมตรี ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาอุทิศเวลาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ บุญเหลือ พงศ์ดารา อาจารย์กรรมการสอบผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่กรุณาให้ทุนการศึกษาแก่ข้าพเจ้าระหว่างการศึกษาในปีที่ 1

ขอขอบพระคุณ ศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านส่วนประกอบฮาร์ดแวร์ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่กรุณาให้ทุนสนับสนุนการศึกษาในปีที่ 2

ขอขอบพระคุณ โรงงานอิตาชิ โกลบอล สตอเรจ เทคโนโลยี แห่งประเทศไทย จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูลที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆมาโดยตลอด จนกระทั่งงานสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการประสานงานต่าง ๆ

ขอขอบคุณ พี่ๆ และเพื่อน ๆ รวมทั้งน้องๆ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอโน้มรำลึกถึงพระคุณของบิดามารดาและครอบครัว ที่ส่งเสริมสนับสนุน ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา ให้กำลังใจ และทุนทรัพย์แก่ข้าพเจ้าตลอดมาจนกระทั่งทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จ

ธีรยุทธ เกลี่ยงสง

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพประกอบ	(10)
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย.....	1
1.2 การตรวจเอกสาร บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
1.3 วัตถุประสงค์.....	5
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	5
1.5 ข้อยกเว้นการวิจัย.....	5
2. ทฤษฎีและหลักการ.....	6
2.1 ฮาร์ดแวร์พื้นฐาน.....	6
2.1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบ.....	6
2.1.2 หลักการทำงานของฮาร์ดแวร์.....	7
2.1.3 การระบุนาม/เขียนข้อมูล.....	7
2.2 ปัจจัยการทำให้เกิดระยะเนื่องการอ่านการเขียนข้อมูล.....	9
2.2.1 ปัญหาทางกายภาพ.....	9
2.2.2 ปัญหาจากกระบวนการผลิต.....	9
2.2.3 ปัญหาทางกลไกเชิงกล.....	10
2.2.4 ปัญหาจากความเร็วลมที่เกิดจากการหมุนของมีเดีย	11
2.3 การวัดค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียน.....	12
2.4 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	17
2.4.1 หลักการ.....	17
2.4.2 ขั้นตอนในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	17
2.5 ระเบียบวิธีประมาณค่า.....	18
2.5.1 การประมาณค่าเชิงพหุนามแบบผลหารค่าแตกต่างของนิวตัน.....	18
2.5.2 การประมาณค่าในช่วงเสมือนพหุนาม.....	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.3 การประมาณค่าด้วยวิธีการ B-Spline.....	22
2.6 เครื่องมือสำหรับการสร้างแบบจำลอง.....	24
3. การสร้างแบบจำลอง.....	26
3.1 ขั้นตอนการออกแบบโดยรวม.....	26
3.2 การคำนวณการเกิดแรงและการสร้างแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์.....	27
3.3 ขั้นตอนการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์.....	29
3.4 การเลือกใช้เครื่องมือ.....	29
3.4.1 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการคำนวณการเกิดแรง	30
3.4.2 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์....	30
3.4.3 เครื่องมือที่ใช้สำหรับระเบียบวิธีการประมาณค่า RWO.....	32
3.4.4 สรุปแผนภาพโดยรวมกับการใช้เครื่องมือในการสร้างแบบจำลองและ ระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียน.....	32
4. ผลของแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์.....	33
4.1 ผลการคำนวณขนาดของแรง.....	33
4.2 ผลการจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์.....	36
5. ผลของระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียน.....	40
5.1 ผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการเลือกใช้สมการพหุนาม.....	40
5.2 ผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดโดยการลดจำนวนจุด.....	43
5.3 ผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการจำลองโดยการเทียบจุดที่ใกล้เคียง จากการวัดจากโรงงาน.....	45
6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	52
6.1 สรุปผล.....	52
6.2 ปัญหา.....	54
6.3 ข้อเสนอแนะ.....	54
บรรณานุกรม.....	56
ภาคผนวก.....	58

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก MATLAB Program.....	59
ภาคผนวก ข SolidWorks® Simulation.....	63
ภาคผนวก ค ผลของการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์.....	66
ภาคผนวก ง โปรแกรมระเบียบวิธีการประมาณค่าด้วย MATLAB.....	74
ภาคผนวก จ ผลของความเร็วลมต่อการชดเชยระยะเยื้องระหว่างการอ่านและการเขียนข้อมูล ประวัติผู้เขียน.....	87 92

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
3-1	สรุปการเปรียบเทียบการใช้งานโปรแกรมที่ใช้สร้างแบบจำลองการเบี่ยงเบนของ สไลเดอร์ 31
3-2	สรุปเครื่องมือการใช้งาน..... 32
4-1	รายละเอียดการแบ่งเอลิเมนต์ 37
5-1	ตำแหน่งจุดและตำแหน่งรัศมีที่วัดจากโรงงาน..... 40
5-2	ตำแหน่งจุดและตำแหน่งรัศมีที่วัดจากการจำลอง..... 45

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1-1 แนวการเคลื่อนที่ที่ทำให้เกิด Read write offset	2
1-2 ระยะ Read write offset	2
1-3 ความเร็วลมและแรงที่กระทำต่อสไลเดอร์.....	3
2-1 ส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์.....	6
2-2 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมการทำงาน.....	7
2-3 Servo loop	8
2-4 การอ่านสัญญาณ Burst A, B, C, D	8
2-5 การเคลื่อนที่ของสไลเดอร์ในแนวโค้ง	9
2-6 การเขียนสัญญาณเซอร์โว.....	10
2-7 Flex cable.....	10
2-8 กระบวนการเขียนอ่านสัญญาณ.....	12
2-9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Track Signal Amplitude กับ Offset.....	13
2-10 วิธีการหาค่า Read write offset โดย BER.....	14
2-11 วิธีการหาค่า Read write offset โดยการใช้ MSE.....	14
2-12 บล็อกไดอะแกรมการเก็บค่า RWO.....	15
2-13 กระบวนการเขียนข้อมูล.....	16
2-14 กระบวนการอ่านข้อมูล.....	16
2-15 การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น.....	18
2-16 การประมาณค่าในช่วงด้วยพหุนามกำลังสอง.....	19
2-17 การประมาณค่าในช่วงด้วยพหุนามกำลัง n	20
2-18 Spline Interpolation	21
3-1 ขั้นตอนการออกแบบโดยรวม.....	26
3-2 ค่าแรงที่เกิดขึ้นบนแผ่นมีเดียที่ความเร็วรอบต่าง ๆ.....	27
3-3 ขั้นตอนการคำนวณการเกิดแรงและการสร้างแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์.	28
3-4 ไดอะแกรมการเปรียบเทียบผลการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์.....	29
3-5 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมการคำนวณการเกิดแรง.....	29

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3-6	ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมของ SolidWorks® Simulation..... 30
3-7	สรุปแผนภาพโดยรวมกับการใช้เครื่องมือในการสร้างแบบจำลองและระเบียบ วิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียน..... 32
4-1	ความเร็วเชิงเส้นของแผ่นมีเดียเนื่องจากความเร็วเชิงมุมที่ค่าต่าง ๆ..... 34
4-2	ขนาดของแรงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสที่ความเร็วเชิงมุมของแผ่นมีเดียมีค่า ต่าง ๆ..... 35
4-3	ขนาดของแรงที่ความเร็วเชิงมุม 5400 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิต่าง ๆ..... 36
4-4	ผลการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์..... 37
4-5	การเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนของสไลเดอร์กับผลการออกแบบ..... 38
4-6	ผลการจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์..... 39
5-1	การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการเลือกใช้สมการพหุนามของข้อมูลจาก โรงงาน..... 41
5-2	การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการเลือกใช้สมการพหุนามของข้อมูลจากการ จำลอง..... 42
5-3	การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการจำลอง 12 จุด..... 43
5-4	การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการจำลอง 10 จุดโดยการลดจุด P10 และ P11. 44
5-5	การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการจำลอง 7 จุดโดยการลดจุด P4, P6, P8, P10 และ P11..... 44
5-6	การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการจำลอง 12 จุดโดยการเทียบจุดที่ใกล้เคียง จากการวัดจากโรงงาน..... 46
5-7	การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการจำลอง 13 จุดโดยการเพิ่มจุด P13..... 46
5-8	การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการจำลอง 12 จุดโดยการเพิ่มจุด P13 และการ ลดจุด P12..... 48
5-9	การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการจำลอง 11 จุดโดยการเพิ่มจุด P13 และการ ลดจุด P10 P12..... 48
5-10	การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการจำลอง 12 จุดโดยการลดจุด P10 P12 และ เพิ่มจุด P14..... 49

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
5-11 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการจำลอง 14 จุด โดยการลดจุด P10 P12 และ เพิ่มจุด P15 P16 P17.....	50
5-12 ความผิดพลาดที่ลดลงเมื่อมีการผสมการประมาณค่าระหว่างสมการพหุนามกำลังห้า กับสมการ Spline.....	51
6-1 การเปรียบเทียบการประมาณค่า.....	53

บทที่ 1

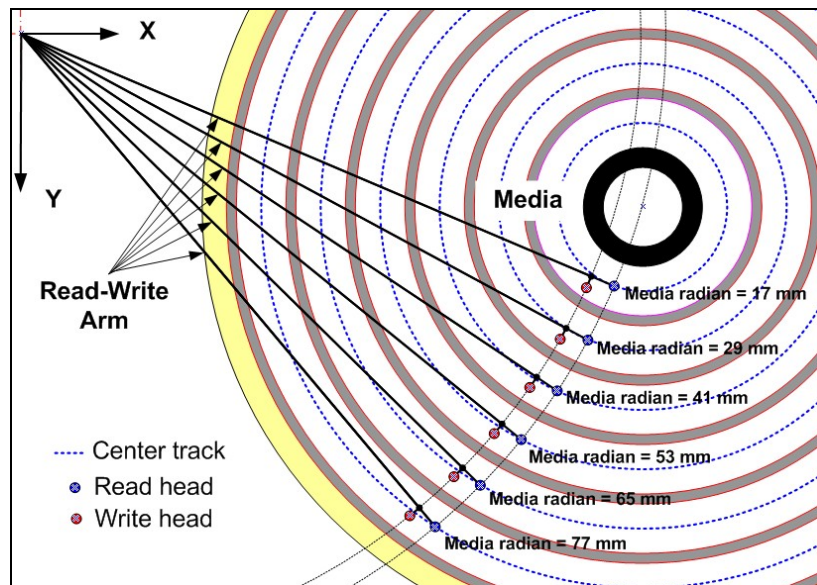
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

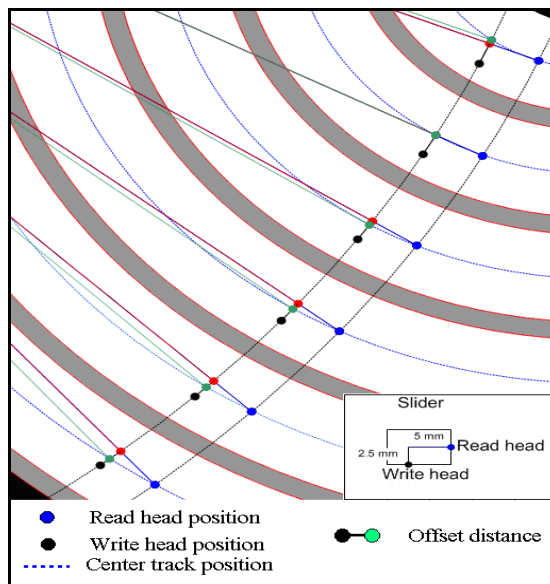
ในปัจจุบันเทคโนโลยีฮาร์ดดิสก์ได้ถูกพัฒนาอย่างรวดเร็วเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ เช่น ความจุที่สูงขึ้น และอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น นอกจากนี้ผู้ใช้อังยังต้องการฮาร์ดดิสก์ที่มีขนาดเล็กลง สำหรับความจุของฮาร์ดดิสก์พบว่าการเพิ่มความจุของฮาร์ดดิสก์ทำโดยการเพิ่มความหนาแน่นเชิงพื้นที่ (Areal density) ในการบันทึกข้อมูลของแผ่นมีเดีย นั่นคือทำให้ความหนาแน่นในเชิงพื้นที่มากขึ้นหรือขนาดของบิต (Bit) เล็กลง จากขนาดของบิตที่เล็กลงทำให้ในกระบวนการอ่านข้อมูลและกระบวนการเขียนข้อมูลจะต้องใช้หัวอ่านข้อมูลและหัวเขียนข้อมูลที่มีขนาดเล็กตามลงไปด้วย เมื่อหัวอ่านข้อมูลและหัวเขียนข้อมูลมีขนาดเล็กลงทำให้การออกแบบการควบคุมตำแหน่งการอ่านข้อมูลและตำแหน่งการเขียนข้อมูลต้องการความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

ในกระบวนการอ่านข้อมูลแขนของหัวอ่านข้อมูลจะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการอ่านข้อมูล โดยใช้การตรวจสอบจากตำแหน่งของแทร็ค (Track) จากนั้นจึงทำการหาที่ตั้งกลางของแทร็ค (Center track) เพื่อใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงในการอ่านข้อมูล โดยในการหาที่ตั้งกลางแทร็คจะใช้เทคนิคของ Burst signal (A B C D) เพื่อให้การหาตำแหน่งที่ตั้งกลางแทร็คที่ต้องการมีความถูกต้องแม่นยำและจะส่งผลให้กระบวนการอ่านข้อมูลมีความถูกต้องแม่นยำตามไปด้วย ในกระบวนการเขียนข้อมูล แขนของหัวเขียนข้อมูลจะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งของแทร็คที่ต้องการเขียนข้อมูล โดยเริ่มต้นจากการอ่านตำแหน่งที่ต้องการจะเขียนข้อมูลก่อน จากนั้นแขนของหัวเขียนข้อมูลจะเคลื่อนที่เป็นระยะทางค่าหนึ่งเพื่อทำให้ส่วนของหัวเขียนข้อมูลอยู่กึ่งกลางแทร็คจึงจะสามารถเขียนข้อมูลได้ถูกต้องแม่นยำ เนื่องจากหัวอ่านข้อมูลกับหัวเขียนข้อมูลไม่ได้อยู่ตำแหน่งตำแหน่งเดียวกัน แขนของหัวอ่านข้อมูลและหัวเขียนข้อมูลมีการเคลื่อนที่เชิงมุมและเข้าถึงข้อมูลบนแผ่นมีเดียมีในแนวรัศมี ตามภาพประกอบ 1-1 และภาพประกอบ 1-2 ซึ่งอาจมีผลให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าระยะห่างระหว่างตำแหน่งหัวอ่านข้อมูลหัวเขียนข้อมูลเกิดขึ้นในแนวรัศมี นั่นคือค่าระยะห่างระหว่างตำแหน่งหัวอ่านข้อมูลหัวเขียนข้อมูลในแต่ละแทร็คมีความสัมพันธ์กับระยะรัศมีบนแผ่นมีเดียด้วย อีกทั้งแรงที่เกิดจากการไหลของอากาศภายในฮาร์ดดิสก์ยังส่งผลให้หัวอ่านข้อมูลและเขียนข้อมูลเบี่ยงเบนไป กล่าวคือความเร็วลมจะมีค่าความเร็วมากที่สุดบริเวณขอบนอกของแผ่นมีเดียซึ่งจะส่งผลให้มีแรงปะทะกับตัวสไลด์คอร์ทำให้หัวอ่านข้อมูลและหัวเขียนข้อมูลเบี่ยงเบนไปตามรัศมีของแผ่นมีเดีย ตามภาพประกอบ 1-3 ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นนี้สามารถแก้ไขได้โดย

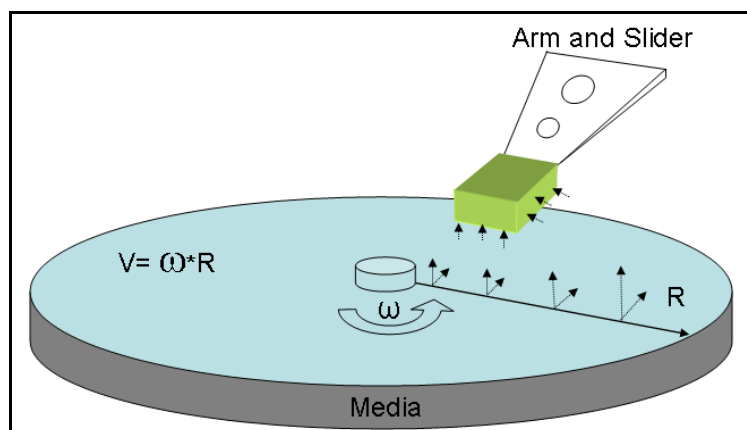
ชดเชยด้วยค่า Read write offset เพื่อที่จะอ่านข้อมูลเขียนข้อมูลได้ถูกต้องแม่นยำ แต่เนื่องจากไม่สามารถวัดว่า Read write offset ได้โดยตรงในทางปฏิบัติต้องสังเคราะห์มาจากค่า Position error signal (PES)



ภาพประกอบ 1-1 แนวการเคลื่อนที่ที่ทำให้เกิด Read write offset



ภาพประกอบ 1-2 ระยะ Read write offset



ภาพประกอบ 1-3 ความเร็วกลมและแรงที่กระทำต่อสไลเดอร์

งานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิด Read write offset ในกระบวนการอ่านข้อมูลและเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ โดยพิจารณาจากปัจจัยทางกลของฮาร์ดดิสก์ เช่น แนวการเคลื่อนที่ ความเร็วกลม และแรงที่กระทำต่อสไลเดอร์ซึ่งมีผลมากในขณะที่สไลเดอร์มีการเคลื่อนที่มาอยู่ที่บริเวณขอบนอกของแผ่นมีเดีย ส่งผลให้บริเวณขอบนอกของแผ่นมีเดียเกิดความผิดพลาดมากขึ้นด้วย เป็นต้น จากผลการศึกษานี้จะนำไปสู่การใช้หลักการประมาณค่าในการหา Read write offset ที่ได้จากแบบจำลอง เช่น การประมาณค่าด้วย B-spline เป็นต้น ผลการศึกษานี้จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์หา Read write offset ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งทำให้กระบวนการอ่านข้อมูลและเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์มีความถูกต้องแม่นยำ

1.2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 Method of measuring the read to write offset in a disk drive having separate read and write elements [1] สิทธิบัตรนี้กล่าวถึงวิธีการวัดระยะห่างของการอ่านกับการเขียนแทร็คในแผ่นมีเดีย กระบวนการวัดเริ่มต้นโดยการเขียนสัญญาณลงไปบนแทร็คที่ได้กำหนดไว้ จากนั้นหัวอ่านก็จะเคลื่อนที่ไปตามความกว้างของแทร็คเพื่อหาจุดที่ขนาดของสัญญาณที่อ่านกลับมามีค่าสูงที่สุด เมื่อได้จุดที่มีขนาดของสัญญาณที่มีค่าสูงที่สุดจำนวนสองจุดแล้วจากนั้นมีการคำนวณจุดกึ่งกลางโดยระยะห่างระหว่างจุดที่หนึ่งกับจุดที่สอง ค่าระยะห่างที่หาได้นั้นจะถูกตั้งค่าเป็น Profile เก็บไว้ในฮาร์ดดิสก์

1.2.2 Method and apparatus for determining read to write head offset a disk drive [2] สิทธิบัตรนี้กล่าวถึงวิธีการหาค่าระยะห่างระหว่างการอ่านการเขียน โดยการอ่านความแรงของสัญญาณและอัตราความผิดพลาดของบิตในการหาค่าระยะห่างระหว่างการอ่านการเขียน

1.2.3 Optimal reader to write offset measurement of a head in a disk drive for reduced track misregistration [3] สิทธิบัตรนี้กล่าวถึงการลดแตร็คที่อ่านในการหาค่าระยะห่างของหัวอ่านเขียนทำได้โดยการเคลื่อนที่ของแขนหัวอ่านหัวเขียนไปยังแตร็คที่ต้องการอ่านข้อมูล หาค่าอัตราความผิดพลาดของบิต คำนวณหาตำแหน่งของหัวอ่านกำหนดให้เป็น X1 จากนั้นย้ายตำแหน่งไปอีกตำแหน่ง อ่านข้อมูลหาค่าอัตราความผิดพลาดของบิตกำหนดเป็น X2 จากนั้น กึ่งกลางของระยะห่างทั้งสองเป็นค่าระยะห่างแล้วบันทึกเก็บไว้

1.2.4 Flow Structural Interaction of the actuator arm in hard disk drive [4] บทความนี้กล่าวถึงผลที่เกิดขึ้นของระยะที่เบี่ยงเบนไปของแขนหัวอ่านเขียนข้อมูลที่เกิดจากแรงปฏิกิริยาซึ่งเกิดจากความเร็วลมในการหมุนของมีเดียโดยเปรียบเทียบที่ความเร็วในการหมุนของแผ่นมีเดียที่มีค่าต่างกันซึ่งใช้โปรแกรม FLUENT และ ANSYS เป็นตัวทำนายการเบี่ยงเบนไปของแขนหัวอ่านหัวเขียน ซึ่งพบว่าที่ความเร็วสูงค่าการเบี่ยงเบนของหัวอ่านหัวเขียนสูงขึ้นเป็นเชิงเส้น

1.2.5 Simulation of flow Field and Particle Trajectories in hard disk drive enclosures [5] บทความนี้กล่าวถึงผลการจำลองการไหลและการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายในฮาร์ดดิสก์โดยความเร็วที่เกิดขึ้นจะเร็วสุดในบริเวณขอบนอกของแผ่นมีเดียโดยใช้โปรแกรม Fluent และ Gambit

1.2.6 การจำลองการไหลของอากาศภายในฮาร์ดดิสก์ขนาด 1.8 นิ้ว ที่ความเร็วรอบต่างกัน [6] งานวิจัยนี้ทำการศึกษาถึงการไหลของอากาศภายในฮาร์ดดิสก์ขนาด 1.8 นิ้วที่ความเร็วรอบ 3600 5400 และ 7200 รอบต่อนาที สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบสามมิติ ทำโดยศึกษาความดันสถิตบริเวณขอบนอกของแผ่นมีเดียและใช้แบบจำลองความปั่นป่วนแบบ RNK k-epsilon พบว่าความดันสถิตที่เกิดขึ้นภายในฮาร์ดดิสก์จะมีทั้งค่าที่เป็นบวกและลบ โดยเฉพาะที่บริเวณใกล้จุดศูนย์กลางการหมุนความดันจะมีค่าเป็นลบ แต่จะมีค่าเป็นบวกเพิ่มขึ้นตามรัศมีของแผ่นมีเดียที่ความเร็วรอบค่าหนึ่ง ซึ่งค่าความดันจะมากขึ้นเมื่อความเร็วของแผ่นมีเดียมากขึ้น ส่วนความเร็วอากาศที่เกิดขึ้นพบว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้นตามรัศมีของแผ่นมีเดียและความเร็วของอากาศจะมากที่สุดที่บริเวณที่ใกล้กับแผ่นดิสก์ที่สุดที่ความเร็วรอบค่าหนึ่ง ซึ่งความเร็วภายในฮาร์ดดิสก์จะมากขึ้นเมื่อความเร็วรอบของแผ่นดิสก์มากขึ้นด้วย เส้นทางการไหลของอากาศของทุกความเร็วรอบจะมีรูปแบบที่คล้ายกันแต่จะมีความเร็วของการไหลเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วรอบขึ้น จากผลการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปเป็นข้อมูลในการศึกษาถึงการสันสะท้อนของหัวอ่านอันมีผลเนื่องจากการไหลของอากาศภายในฮาร์ดดิสก์ได้ต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาปัญหาและวิธีแก้ปัญหาที่มีสาเหตุมาจากค่า Read write offset

1.3.2 เพื่อพัฒนาระเบียบวิธีการประมาณค่า Read write offset ที่เหมาะสมในกระบวนการอ่านข้อมูลและเขียนข้อมูลสำหรับฮาร์ดดิสก์ที่มีความจุสูง

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างกับ Position error signal (PES)

1.4.2 สังเคราะห์ RWO จากแบบจำลอง

1.4.3 ทหาระเบียบวิธีการประมาณค่า Read write offset (RWO) ที่เหมาะสมในกระบวนการอ่านข้อมูลและเขียนข้อมูลสำหรับฮาร์ดดิสก์ที่มีความจุสูง

1.5 ข้อยกจำกัดของการวิจัย

1.5.1 งานวิจัยนี้เน้นการไปทางแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ ซึ่งเป็นข้อจำกัดทางด้านข้อมูล เนื่องจากข้อมูลที่นำมาใช้เป็นข้อมูลตัวอย่าง ซึ่งคุณสมบัติของฮาร์ดดิสก์แต่ละตัวไม่เหมือนกัน

1.5.2 การคำนวณของการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์เป็นการคำนวณในสภาวะคงที่

บทที่ 2

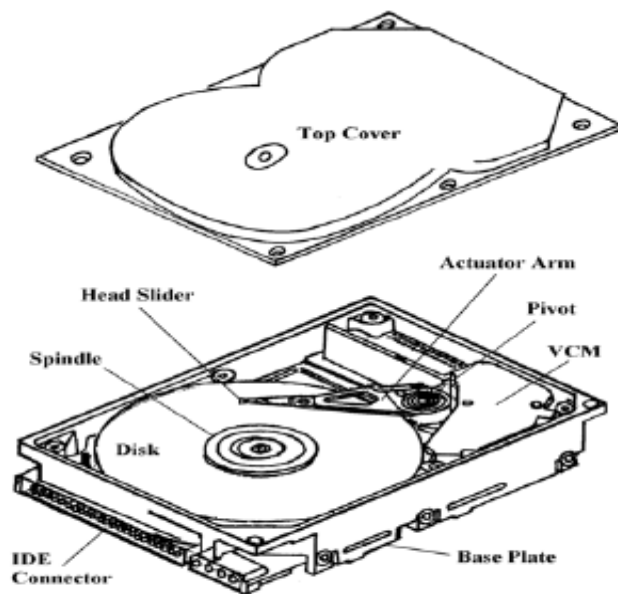
ทฤษฎีและหลักการ

ในการทำงานวิจัยนี้ใช้ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องหลายส่วนแบ่งออกเป็น ฮาร์ดดิสก์พื้นฐาน ปัจจัยการทำให้เกิดระยะเยื้องการอ่านการเขียนข้อมูล ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ระเบียบวิธีการประมาณค่าและเครื่องมือสำหรับการสร้างแบบจำลอง

2.1 ฮาร์ดดิสก์พื้นฐาน

2.1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบ

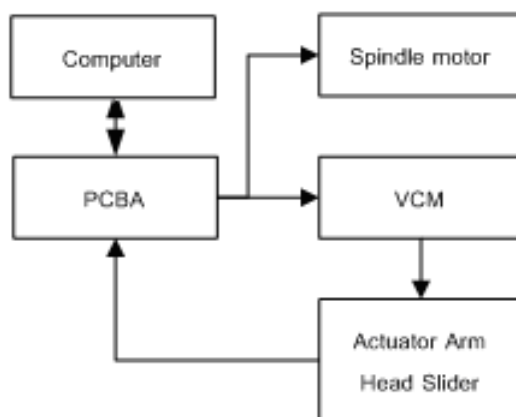
ฮาร์ดดิสก์เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์มีหน้าที่เก็บข้อมูลแบบถาวร ฮาร์ดดิสก์ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก ๆ ดังภาพประกอบ 2-1 โดยแผ่นมีเดียทำหน้าที่เก็บข้อมูล หัวอ่านหัวเขียนทำหน้าที่อ่านเขียนข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้า สปินเดิลมอเตอร์ทำหน้าที่หมุนแผ่นมีเดียด้วยความเร็วคงที่ Actuator Arm เป็นแขนที่ช่วยทำให้สไลเดอร์และหัวอ่านหัวเขียนเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเขียนหรืออ่าน Voice coil motor (VCM) ช่วยในการควบคุมการเคลื่อนที่ของ Actuator Arm



ภาพประกอบ 2- 1 ส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ [7]

2.1.2 หลักการทำงานของฮาร์ดดิสก์

หลักการทำงานทั่วไปของฮาร์ดดิสก์สามารถพิจารณาได้จากบล็อกไดอะแกรมการควบคุมการทำงานดังแสดงในภาพประกอบ 2-2

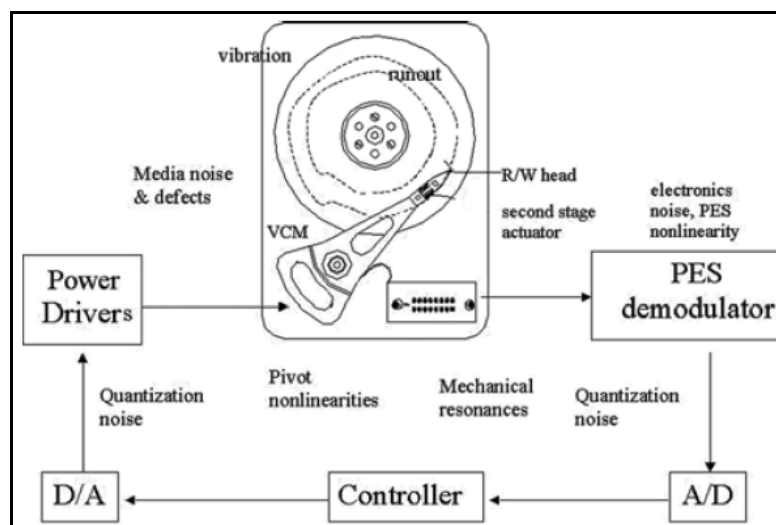


ภาพประกอบ 2-2 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมการทำงาน

แผงควบคุมวงจรไฟฟ้า (PCBA) ประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่ติดต่อรับส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์และควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในฮาร์ดดิสก์เช่น มอเตอร์สปินเดิล (Spindle motor) ให้หมุนด้วยความเร็วคงที่ตามที่ได้ออกแบบไว้เช่น ความเร็ว 5400 RPM หรือ 7200 RPM เป็นต้น สำหรับการใช้งานในสภาพปกติ ส่วนในสภาวะที่ต้องการประหยัดพลังงานคอมพิวเตอร์สามารถสั่งการผ่าน PCBA ให้สปินเดิลมอเตอร์หยุดหมุนได้ นอกจากนี้ PCBA ยังทำหน้าที่ควบคุม VCM ให้ขับ Actuator Arm ไปยังตำแหน่งการเขียนอ่านของหัวอ่านและหัวเขียนในแนวรัศมีบนแผ่นมีเดีย หัวอ่านและหัวเขียนจะถูกติดตั้งอยู่ในตัวสไลเดอร์ (slider) ซึ่งจะบินอยู่เหนือผิวของผิวแผ่นมีเดียความสูงประมาณ 10 nm

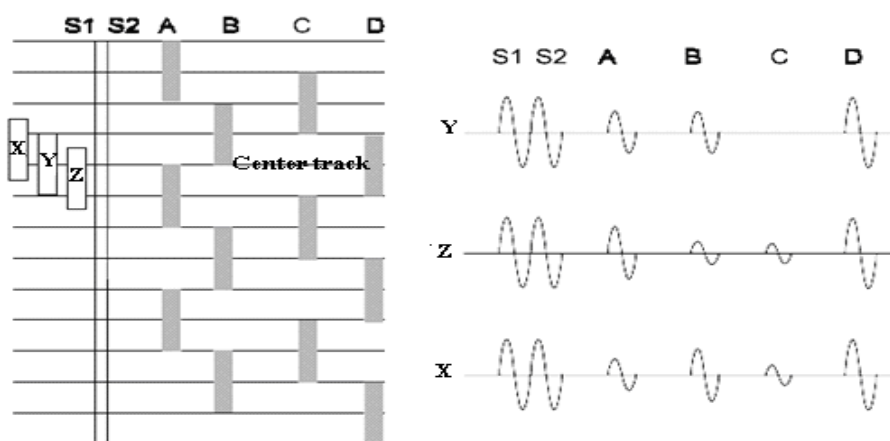
2.1.3 การระบุตำแหน่งการเขียนอ่านข้อมูล

ในการควบคุมตำแหน่งของหัวอ่านเขียนให้ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ Controller จะส่งค่าซึ่งจะถูกแปลงเป็นอะนาล็อกโดยผ่าน D/A สัญญาณจาก D/A ถูกส่งไปยัง Power Drivers ซึ่งทำหน้าที่ขับเคลื่อน VCM สัญญาณที่ใช้สำหรับการหาดำแหน่งกลางแทร็คจะถูกอ่านโดยหัวอ่านแล้วส่งไปให้ PES demodulator เพื่อหา Position error signal (PES) สัญญาณ PES ถูกแปลงเป็นดิจิทัลโดย A/D ก่อนที่จะส่งไปยัง Controller เพื่อคำนวณตำแหน่งที่ถูกต้องตรงกลางแทร็ค ซึ่งระบบควบคุมดังกล่าวมีชื่อเรียกเฉพาะว่าเป็น Servo loop ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-3



ภาพประกอบ 2-3 Servo loop [7]

ในการควบคุมตำแหน่งของหัวอ่านเขียนให้ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ PCBA อาศัย Position error signal (PES) ซึ่งเป็นสัญญาณที่ช่วยให้การควบคุมหัวอ่านอยู่กึ่งกลางแทร็ค โดย PES สืบเคราะห์มาจากการอ่านสัญญาณ Burst A, B, C, D [8] ซึ่งรายละเอียดแสดงของสัญญาณเหล่านั้นแสดงดังภาพประกอบ 2-4 โดยตำแหน่งที่หัวอ่านอยู่กึ่งกลางแทร็คคือตำแหน่ง Y เป็นตำแหน่งที่สัญญาณ A และ B มีขนาดเท่ากัน



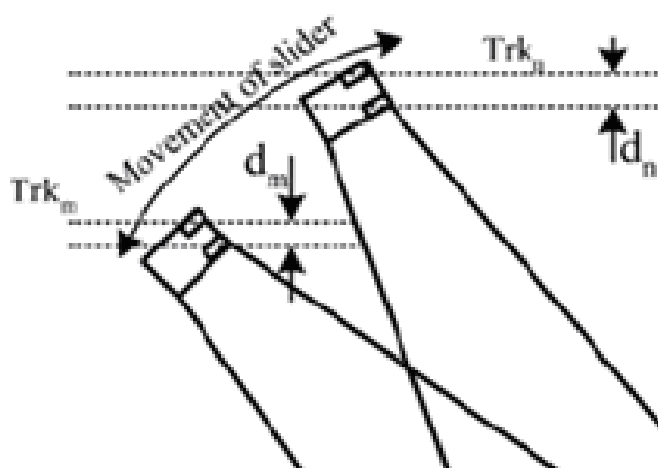
ภาพประกอบ 2-4 การอ่านสัญญาณ Burst A, B, C, D [9]

2.2 ปัจจัยการทำให้เกิดระยะเยื้องการอ่านการเขียนข้อมูล

ปัจจัยการทำให้เกิดระยะเยื้องการอ่านการเขียนข้อมูลนี้ปัญหาข้างต้นนี้เกิดมาจากตำแหน่งของหัวอ่านหัวเขียนไม่ได้ยู่ตำแหน่งเดียวกัน กล่าวคือ จะมีระยะห่างค่าหนึ่งระหว่างหัวอ่านหัวเขียน ทำให้ในกระบวนการเขียนการอ่านถูกชดเชยด้วยค่านี้ โดยปัญหาจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนดังนี้

2.2.1 ปัญหาทางกายภาพ

การเคลื่อนที่ของสไลเดอร์เป็นลักษณะดังภาพประกอบ 2-5 ตามลำดับ ก่อให้เกิดมุมการเอียงซึ่งมีความสัมพันธ์กันตามลักษณะการออกแบบของฮาร์ดดิสก์แต่ละโมเดล

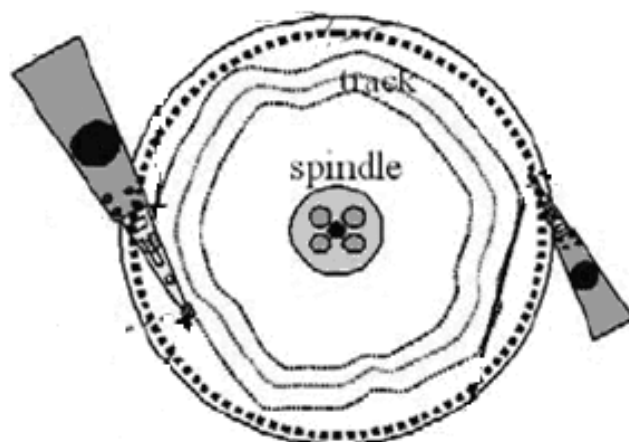


ภาพประกอบ 2-5 การเคลื่อนที่ของสไลเดอร์ในแนวโค้ง [7]

ภาพประกอบ 2-5 แสดงการเคลื่อนที่ของสไลเดอร์ก่อให้เกิดระยะเยื้องในการอ่านเขียนข้อมูล ($d_m < d_n$) แสดงให้เห็นถึงรัศมีการเคลื่อนที่ของสไลเดอร์ที่เคลื่อนที่ผ่านแทร็คแต่ละแทร็คบนแผ่นมีเดียมีค่าที่ไม่เท่ากัน ปัญหาที่เกิดจากทางกายภาพสามารถแก้ไขได้โดยการชดเชยการควบคุม

2.2.2 ปัญหาจากกระบวนการผลิต

ในกระบวนการเขียนสัญญาณเซอร์โว เป็นขั้นตอนการเขียนตำแหน่งที่อยู่ของข้อมูลจึงมีความสำคัญมากกล่าวคือเมื่อมีการเขียนตำแหน่งที่อยู่ของข้อมูลอย่างเป็นระเบียบทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลได้รวดเร็วถูกต้อง แต่เมื่อมีการเขียนตำแหน่งที่อยู่ของข้อมูลอย่างไร้ระเบียบส่งผลให้การเข้าถึงข้อมูลเป็นไปได้ช้าและอาจผิดพลาดได้ ดังแสดงไว้ดังภาพประกอบ 2-6

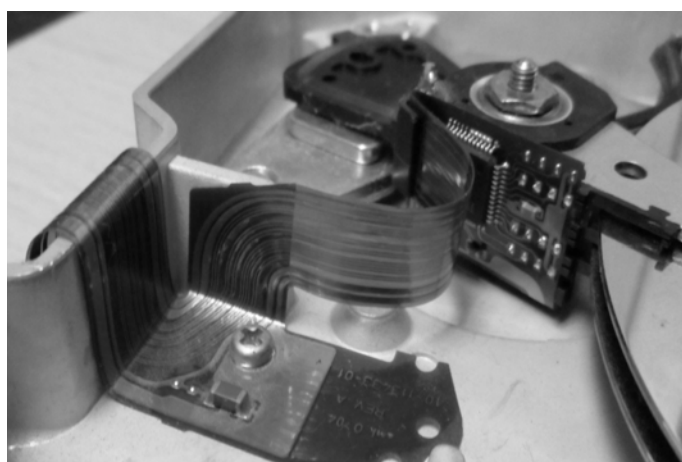


ภาพประกอบ 2-6 การเขียนสัญญาณเซอร์โว[7]

ภาพประกอบ 2-6 แสดงการเขียนสัญญาณเซอร์โวที่ไม่กลม ทำให้กระบวนการอ่านเขียนข้อมูลเป็นไปได้ยาก เนื่องจากสัญญาณเซอร์โวที่ไม่กลม ซึ่งในอดีตได้มีการเขียนสัญญาณเซอร์โวโดยใช้เครื่องเขียนนี้เรียกว่า Servo Writer

2.2.3 ปัญหาทางกลไกเชิงกล

ปัญหาทางกลไกเชิงกล ได้แก่ Flex cable เป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมระหว่าง PCBA กับ Read/Write head และ Voice coil motor (VCM) กล่าวคือเมื่อมีการเคลื่อนไหวของ VCM อุปกรณ์ Flex cable นี้มีการโก่งตัวไปด้วย การโก่งของ Flex cable ส่งผลต่อการควบคุม VCM ปัญหาจากกระบวนการผลิตในกระบวนการเขียนสัญญาณเซอร์โวขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้งานและการประกอบชิ้นงาน



ภาพประกอบ 2-7 Flex cable

ภาพประกอบ 2-7 แสดง Flex cable ที่ติดอยู่ในฮาร์ดดิสก์ซึ่งจะติดอยู่กับ Actuator ซึ่งขณะที่ Actuator มีการเคลื่อนไหว Flex cable จะเคลื่อนไหวกตามไปด้วย หัวอ่าน/เขียน ในขณะที่มีการอ่านการเขียนข้อมูล ปัญหาทางกลไกเชิงกลขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้งานและการประกอบชิ้นงาน

2.2.4 ปัญหาจากความเร็วลมที่เกิดจากการหมุนของมีเดีย

บริเวณขอบนอกความเร็วมากที่สุดและบริเวณขอบในมีความเร็วต่ำสุดทำให้เกิดการเบี่ยงเบนไปของแขนหัวอ่านเขียนข้อมูล ความเร็วอากาศที่เกิดขึ้นภายในฮาร์ดดิสก์พบว่ามีความเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้นตามรัศมีของมีเดีย โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.1 [12]

$$v = 2\pi fR \quad (2.1)$$

เมื่อ v คือความเร็วที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนแผ่นมีเดีย (m/s)

f คือความถี่ (Hz) การหมุนของแผ่นมีเดีย

R คือรัศมีของแผ่นมีเดีย (m)

การเกิดแรงที่มีผลต่อสไลเดอร์ มีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.2 [13][14][15]

$$F = \frac{1}{2} A \rho C_D v^2 \quad (2.2)$$

เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดที่ลมปะทะกับตัวสไลเดอร์ (m^2)

ρ คือ ความหนาแน่นอากาศ (kg/m^3)

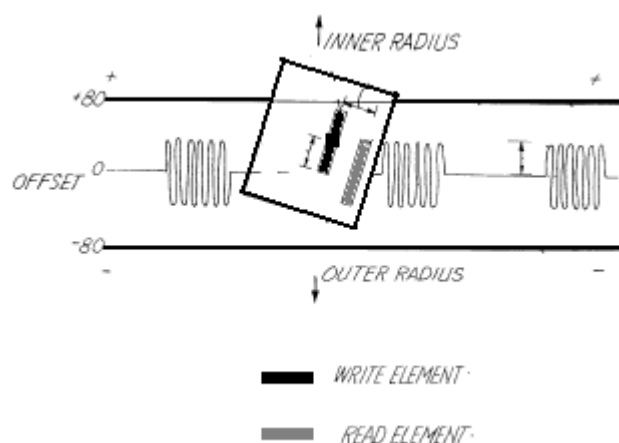
C_D คือค่าสัมประสิทธิ์ที่ความเร็วลมปะทะกับรูปทรงหน้าสัมผัส

F คือขนาดของแรง (N)

ปัจจัยเนื่องจากความเร็วลมจะเห็นผลกระทบได้ชัดเจนมากขึ้นเมื่อฮาร์ดดิสก์ทำงานที่ความเร็วรอบสูงขึ้นดังแสดงในผลการศึกษาในภาคผนวก จ ผู้วิจัยจึงให้ความสำคัญกับปัญหานี้เป็นหลัก จึงนำไปสู่การสร้างแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์เนื่องมาจากความเร็วลมที่เกิดจากการหมุนของแผ่นมีเดียที่กล่าวในบทที่ 3

2.3 การวัดค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียน

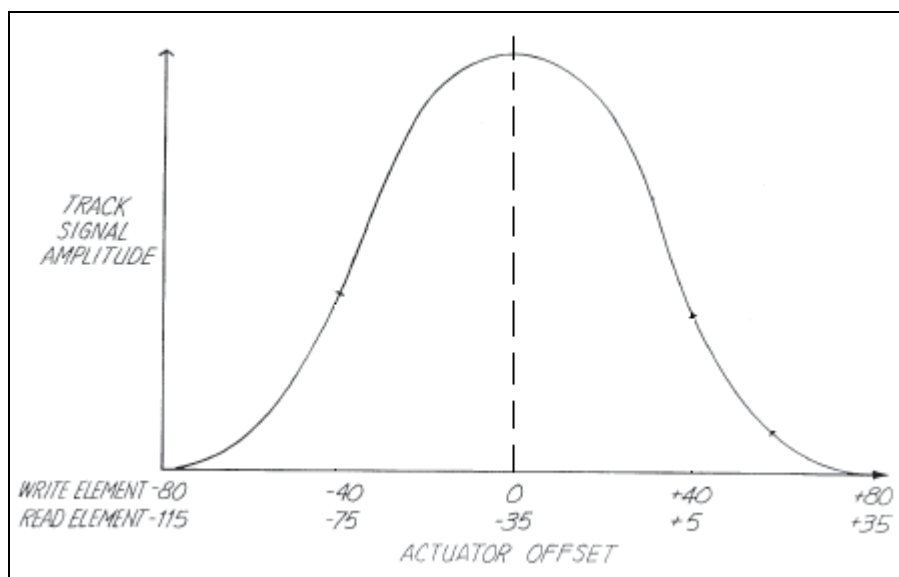
กระบวนการได้มาซึ่งค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียน สามารถวัดได้ดังที่จะกล่าวต่อไปนี้



ภาพประกอบ 2-8 กระบวนการเขียนอ่านสัญญาณ [1]

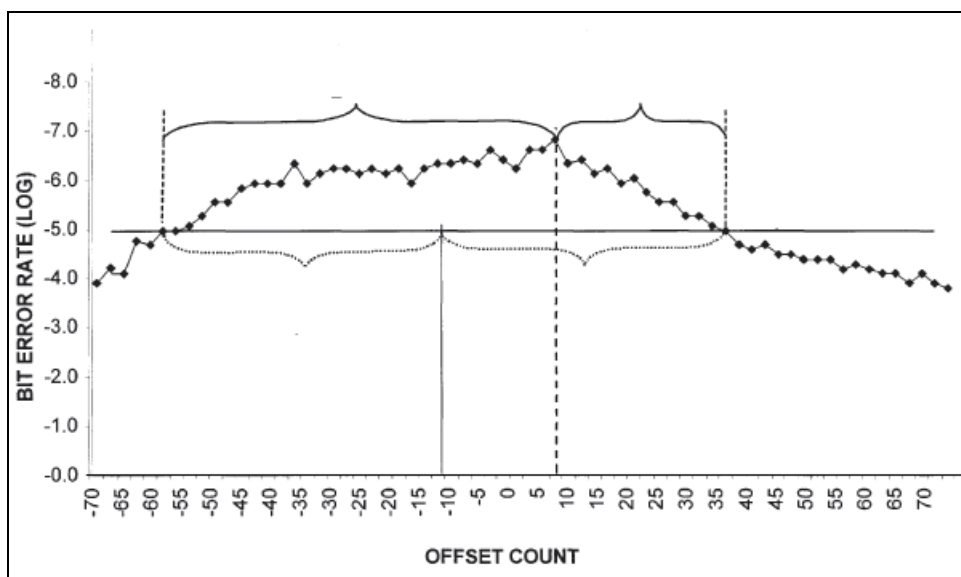
จากภาพประกอบ 2-8 แสดงกระบวนการเขียนอ่านสัญญาณเพื่อวัดค่า RWO โดยขั้นตอนทำการให้หัวเขียน (สีดำ) เขียนสัญญาณลงในเทปที่ต้องการ โดยหัวอ่าน (สีเทา) จะทำการอ่านสัญญาณเซอร์โวเป็นตำแหน่งอ้างอิง เนื่องจากสัญญาณเซอร์โวเปรียบเสมือนบ้านเลขที่ที่ที่อ้างอิงเพื่อเข้าถึงข้อมูลที่เขียนลงไปและอ่านกลับมา ในรูปบ่งบอกหัวอ่านซึ่งตำแหน่งของหัวอ่านกับหัวเขียน ไม่ได้อยู่ตำแหน่งเดียวกันซึ่งมีระยะห่างอยู่เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งวิธีการหาค่า RWO

สไลเดอร์เริ่มขยับหัวอ่านสัญญาณจากขอบของเทปแล้วค่อย ๆ ขยับหัวอ่านให้อ่านสัญญาณในแนวตัดขวางกับความกว้างของเทป สัญญาณที่อ่านกลับมาจะเป็นขนาดของสัญญาณ โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสัญญาณในเทปกับค่า Offset ภาพประกอบที่ 2-9



ภาพประกอบ 2-9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Track Signal Amplitude กับ Offset [1]

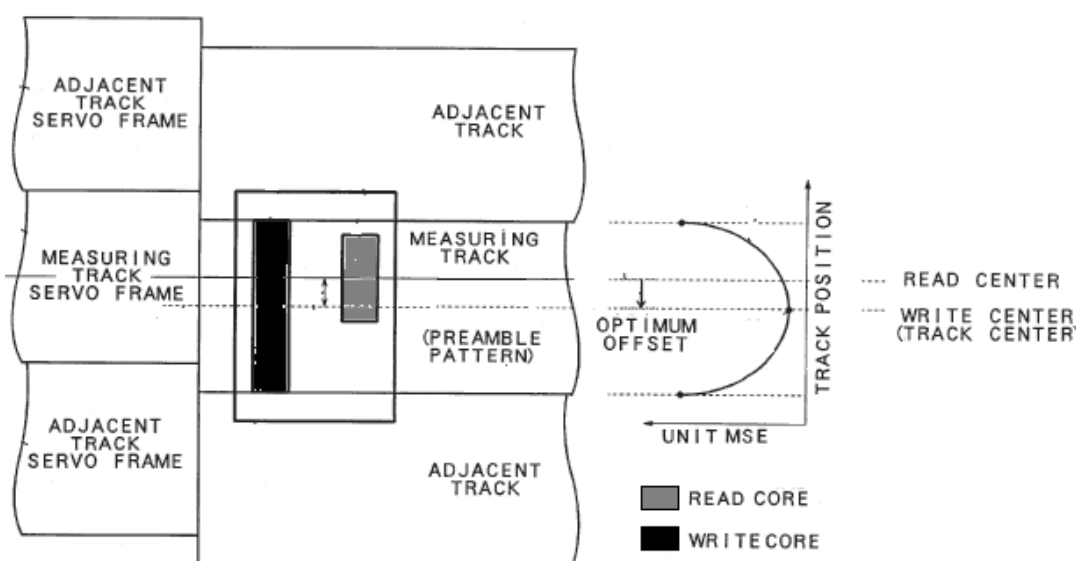
ภาพประกอบ 2-9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Track Signal Amplitude กับค่า Offset ที่เกิดขึ้นภายในหนึ่งแทร็คโดยเส้นประบ่งบอกบริเวณกึ่งกลางแทร็ค จากภาพพบว่าบริเวณกึ่งกลางแทร็คขนาดของสัญญาณที่อ่านกลับมา มีขนาดของสัญญาณสูงสุดเป็นบริเวณกึ่งกลางแทร็คและตำแหน่งที่มีขนาดของสัญญาณน้อยที่สุดเป็นบริเวณขอบของแทร็คทั้งสองข้าง จากความสัมพันธ์ในภาพประกอบ 2-6 อธิบายได้ว่าในขณะที่หัวเขียน เขียนสัญญาณลงไปในแทร็คถือว่าการเขียนสัญญาณที่กึ่งกลางแทร็คแต่เมื่อใดที่ต้องการจะอ่านข้อมูลที่เขียนลงไปนั้นให้มีความถูกต้องมากที่สุดหัวอ่านจะต้องขยับไปเป็นระยะ Offset (+35) จึงจะอ่านข้อมูลได้ถูกต้องมากที่สุดผิดพลาดน้อยสุด ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ Offset และขนาดสัญญาณที่อ่านกลับนั้นมีค่าเท่าไรทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีความละเอียดของ VCM ในการหาค่า RWO ที่เหมาะสมทำได้โดยให้หัวเขียนเขียนสัญญาณลงไปแล้วจากนั้นก็ให้หัวอ่านอ่านสัญญาณกลับมาโดยเทียบค่า RWO จากความแรงของสัญญาณที่อ่านออกมาดังภาพประกอบที่ 2-9



ภาพประกอบ 2-10 วิธีการหาค่า Read write offset โดย BER [3]

จากภาพประกอบ 2-10 แสดงวิธีการหาค่า Read write offset โดย BER เป็นการอ่านค่าความผิดพลาดของบิตเปรียบเทียบกับค่า RWO หรือเป็นการใช้ร่วมกับ Signal Amplitude ในภาพประกอบ 2-6 จากนั้นจะหาความแม่นยำจากค่า BER อีกขั้นตอนหนึ่งเพื่อความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้นจากการพิจารณาในภาพประกอบ 2-7 พบว่าค่า BER ไม่มีความสมมาตรกัน

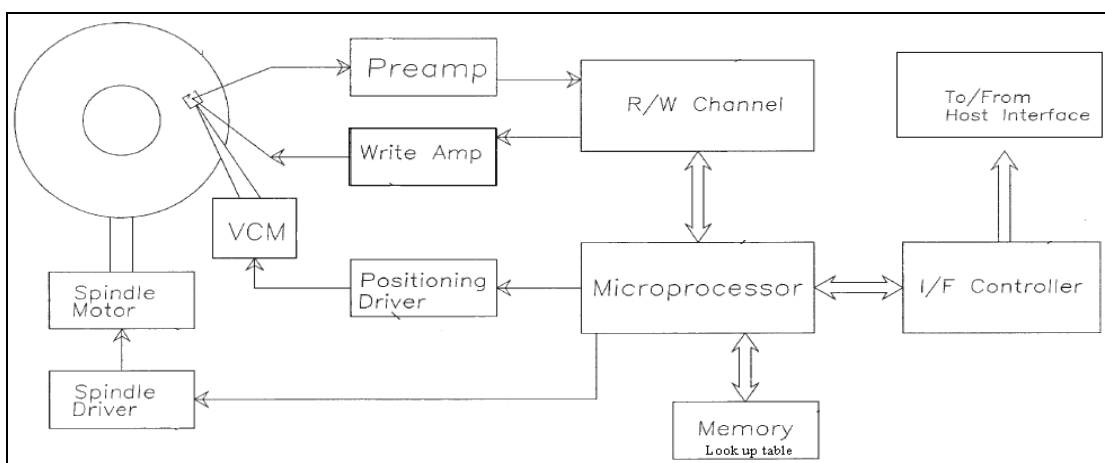
นอกจากนี้ RWO สามารถหาได้จากการพิจารณาจาก Mean square error (MSE) ดังภาพประกอบ 2-11



ภาพประกอบ 2-11 วิธีการหาค่า Read write offset โดยการใช้ MSE [10]

จากภาพประกอบ 2-11 แสดงวิธีการหาค่า RWO โดยการใช้ MSE สามารถอธิบายได้ดังนี้ เริ่มต้นหัวอ่านสัญญาณเซอร์โวจาก Track servo frame เพื่อให้ที่อยู่กึ่งกลางแทร็คโดยตำแหน่งที่หัวอ่านอยู่นั้นเป็นตำแหน่งที่ค่า PES มีค่าน้อยสุด ในขณะที่ที่หัวเขียนก็เขียนสัญญาณ “010101...” ลงไปในแทร็คที่ต้องการจะวัด และมีการเขียนสัญญาณแบบสลับลงไปในบริเวณแทร็คข้าง ๆ ของแทร็คที่ต้องการวัดเพื่อเป็นข้อมูลจริงเพราะในความเป็นจริงเราไม่สามารถกำหนดรูปแบบสัญญาณที่เกิดขึ้นได้ จากนั้นหัวอ่านทำการอ่านสัญญาณ กลับคืนมา โดยเริ่มขยับหัวอ่านอ่านสัญญาณตั้งแต่ขอบในถึงขอบนอกของแทร็คที่เขียนสัญญาณ “010101...” แล้ววิเคราะห์หาค่า MSE ซึ่งจุดใดที่มีค่า MSE ต่ำสุดถือเป็นจุดเหมาะสม ดังนั้นค่า RWO ที่เกิดขึ้นคือระยะความห่างระหว่างจุดที่ MSE ต่ำสุดกับจุดที่มีค่าของ PES ต่ำสุด ดังในภาพประกอบ 2-11

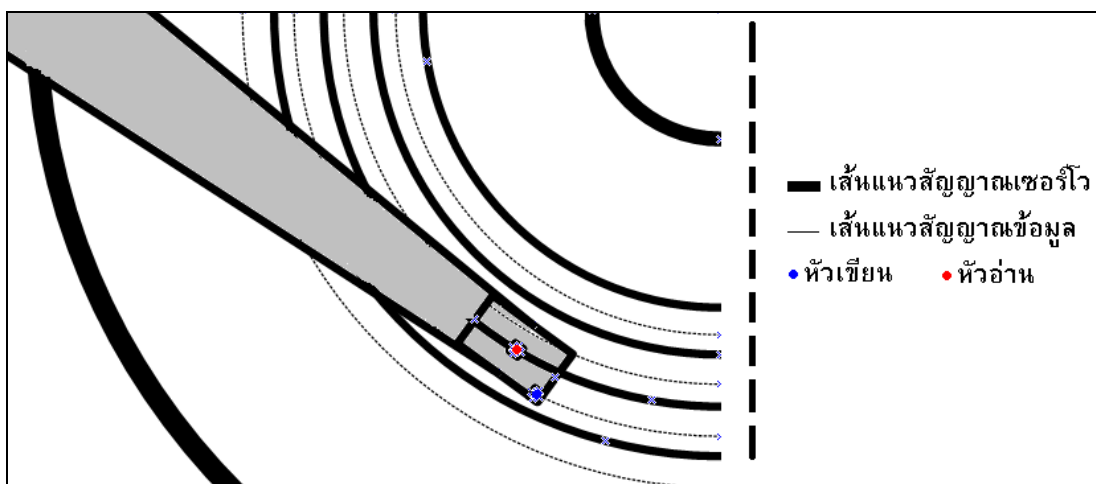
ในการใช้งานจริงในแต่ละโซนบนแผ่นมีเดียไม่สามารถใช้ค่า MSE เดียวกันได้ กล่าวคือ ในแต่ละโซนมีการใช้ค่า MSE ที่ต่างกันส่งผลให้ค่า RWO ในแต่ละโซนหรือแต่ละแทร็คใช้ค่า RWO ที่มีค่าต่างกัน โดยปกติจะแบ่ง 26 โซน หรือ 16 โซน ในแต่ละโซนประกอบด้วยหลายๆ แแทร็ค



ภาพประกอบ 2-12 บล็อกไดอะแกรมการเก็บค่า RWO [2]

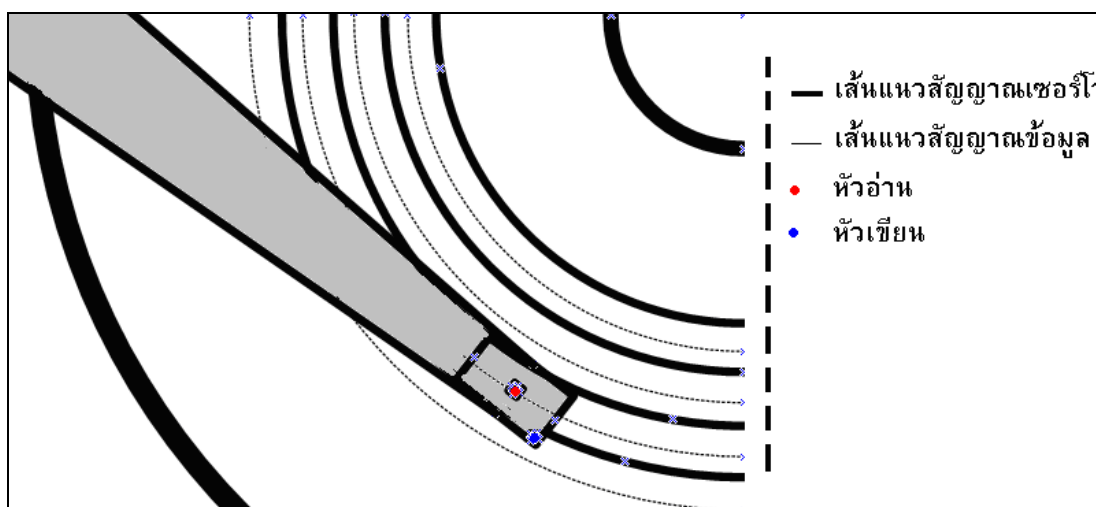
จากภาพประกอบ 2-12 แสดงบล็อกไดอะแกรมการเก็บค่า RWO สามารถอธิบายกระบวนการทำงานได้ดังนี้ เริ่มต้นจากไมโครโปรเซสเซอร์จะโปรแกรมหาค่า RWO ตามวิธีการขั้นตอนที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ และไมโครโปรเซสเซอร์ทำการสร้าง Look up table ซึ่งอยู่ภายใน Memory จากนั้นเก็บค่า RWO แต่ละแทร็คไว้ใน Look up table กระบวนการวัดค่า RWO ถูกตั้งค่าโดยโรงงานผู้ผลิตซึ่งอยู่ในกระบวนการผลิตซึ่งผู้ใช้โดยทั่วไปไม่สามารถเข้าถึงได้

คำสั่งจะถูกดำเนินการโดยไมโครโปรเซสเซอร์ในการเข้าถึงการอ่านค่า RWO ที่เก็บเอาไว้ใน Look up table ซึ่งอยู่ภายใน Memory และจะควบคุม Positioning Driver ให้ควบคุม VCM และไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุม Spindle Driver ให้ขับ Spindle Motor หมุนที่ความเร็วคงที่ อีกทั้งไมโครโปรเซสเซอร์ยังมีการรับส่งข้อมูลกับ R/W Channel เพื่อเป็นช่องทางสื่อสารในการอ่านเขียนข้อมูล



ภาพประกอบ 2-13 กระบวนการเขียนข้อมูล

กระบวนการเขียนข้อมูลพิจารณาได้จากภาพประกอบ 2-13 แสดงกระบวนการเขียนข้อมูล Actuator จะเคลื่อนที่เพื่อให้หัวอ่านอยู่กึ่งกลางแทร็ค หัวเขียนก็คอยเขียนสัญญาณข้อมูลลงไปในแทร็ค [11]



ภาพประกอบ 2-14 กระบวนการอ่านข้อมูล

กระบวนการอ่านข้อมูลพิจารณาได้จากภาพประกอบ 2-14 แสดงกระบวนการอ่านข้อมูล โดย Actuator จะเคลื่อนที่ให้หัวอ่าน อ่านข้อมูลในสัญญาณเซอร์โวเพื่อตรวจสอบตำแหน่งที่อยู่ข้อมูลที่ถูกระบุไว้แล้วอ่านค่า RWO ที่ถูกเก็บไว้มาใช้เพื่อคอยควบคุมให้ Actuator เคลื่อนหัวอ่านตามค่า RWO จากนั้นอ่านข้อมูลที่เคยถูกระบุไว้ [11]

การหาค่า RWO นั้น ไม่จำเป็นต้องหาค่า RWO ทุกแท่งบนแผ่นมีเดียโดยสามารถพิจารณาเส้นแนวโน้มของค่า RWO โดยทำการหาค่า RWO แท่งที่เหลือโดยการประมาณค่า RWO โดยค่าที่ได้จากการประมาณค่านั้นจะถูกตั้งหรือผิดพลาดเล็กน้อยเพียงได้ก็ขึ้นอยู่กับการเอาปัจจัยใดไปรวมกับปัจจัยเดิมที่ทำให้เกิดค่า RWO รวมทั้งการเลือกใช้หรือการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีการประมาณค่าที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถอ่านข้อมูลที่เขียนไปให้กลับคืนมาได้ดีที่สุด โดยทั่วไปค่า RWO ถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำ EEPROM, ROM, Servo disk

2.4 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

2.4.1 หลักการ

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นกระบวนการหาผลเฉลยโดยประมาณโดยการวิเคราะห์ปัญหาประกอบด้วยขั้นตอนการระบุรูปร่าง การสร้างสมการเชิงอนุพันธ์ การกำหนดเงื่อนไขและขอบเขต และการแก้สมการเชิงอนุพันธ์โดยใช้คอมพิวเตอร์

งานวิจัยนี้ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์มาประยุกต์เพื่อคำนวณหาการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ อันเกิดจากการแรงลมเข้ามาปะทะที่สไลเดอร์ การวิเคราะห์ปัญหาการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ โดยสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์จากวิธีการหาค่าต่ำสุดของพลังงานศักย์รวมที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากแรงลม ในการคำนวณการเบี่ยงเบนใช้หลักการสมมุติลักษณะการกระจายของการเคลื่อนตัว (Displacement) ซึ่งเป็นตัวแปรบนเอลิเมนต์ วิธีการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อหาผลลัพธ์ของการเคลื่อนตัวตามจุดต่อจุดต่าง ๆ เรียกว่าระเบียบวิธีการเคลื่อนตัว (Displacement method) [16]

2.4.2 ขั้นตอนในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์ปัญหาด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยทั่วไปประกอบด้วย 6 ขั้นตอนดังนี้

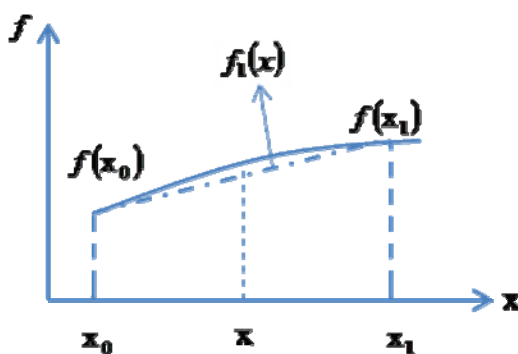
1. การแบ่งชิ้นงานออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย ๆ
2. การเลือกชนิดและลักษณะการกระจายของผลลัพธ์ภายในเอลิเมนต์
3. การสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สอดคล้องกับปัญหา
4. การประกอบสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ย่อยเข้าด้วยกัน
5. การประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตแล้วแก้ระบบสมการรวม
6. การคำนวณหาค่าและแสดงผลลัพธ์

2.5 ระเบียบวิธีการประมาณค่า

ระเบียบวิธีการประมาณค่าเป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อเปลี่ยนข้อมูลที่มีลักษณะเป็นกลุ่มของจุดมาเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่มีความต่อเนื่อง การประมาณค่ามีหลายวิธี ได้แก่

2.5.1 การประมาณค่าเชิงพหุนามแบบผลหารค่าแตกต่างของนิวตัน [17]

การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น (Linear Interpolation) เป็นการหาฟังก์ชันพหุนามดีกรีหนึ่ง $f_1(x)$ โดยการประมาณค่าฟังก์ชันของ $x \in [x_0, x_1]$ ทำได้โดยพิจารณาความชันของเส้นตรงที่ลากผ่านจุด 2 จุดคือ $(x_0, f(x_0))$ และ $(x_1, f(x_1))$ ดังภาพประกอบ 2-15



ภาพประกอบ 2-15 การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น [17]

จากภาพประกอบ 2-15 จะได้สมการ 2.3

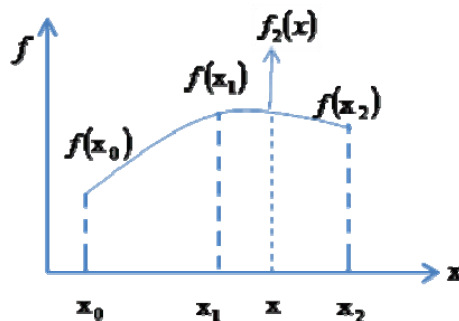
$$f_1 = b_0 + b_1(x - x_0) \quad (2.3)$$

เมื่อ

$$b_0 = f(x_0)$$

$$b_1 = \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}$$

การประมาณค่าในช่วงด้วยพหุนามกำลังสอง (Quadratic Interpolation) เป็นการหาฟังก์ชันพหุนามดีกรีสอง $f_2(x)$ โดยการประมาณค่าฟังก์ชันของ $x \in [x_0, x_2]$ จากการกำหนดจุดข้อมูลมาให้ 3 จุด คือ $(x_0, f(x_0))$, $(x_1, f(x_1))$ และ $(x_2, f(x_2))$ ดังภาพประกอบ 2-16



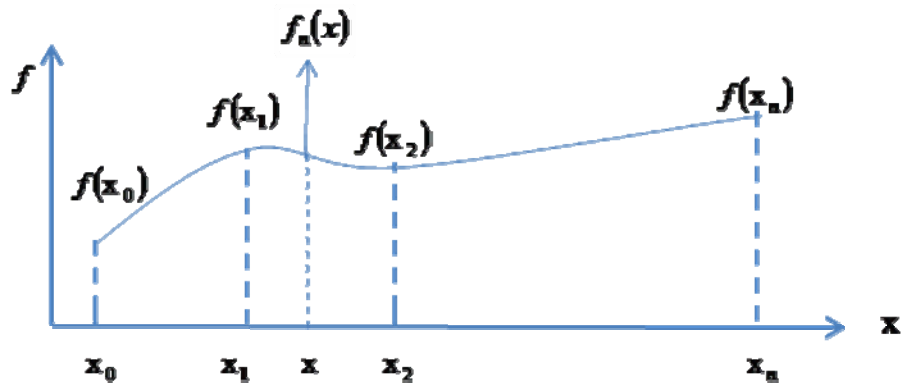
ภาพประกอบ 2-16 การประมาณค่าในช่วงด้วยพหุนามกำลังสอง[17]

จากภาพประกอบ 2-16 จะได้สมการ 2.4

$$f_2(x) = b_0 + b_1(x - x_0) + b_2(x - x_0)(x - x_1) \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } b_0 &= f(x_0) \\ b_1 &= \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0} \\ b_2 &= \frac{f[x_{i+2}, x_{i+1}] - f[x_{i+1}, x_i]}{x_{i+2} - x_i} \end{aligned}$$

การประมาณค่าในช่วงด้วยพหุนามกำลัง n (n degree polynomial Interpolation) เมื่อมี $n+1$ จุดข้อมูลลากผ่านจุด $(x_0, f(x_0))$, $(x_1, f(x_1))$... $(x_n, f(x_n))$ ดังภาพประกอบ 2-17 สามารถหาพหุนามดีกรีสูงสุดเท่ากับกำลัง n



ภาพประกอบ 2-17 การประมาณค่าในช่วงด้วยพหุนามกำลัง n [17]

จากภาพประกอบ 2-17 สามารถหาพหุนามดีกรีสูงสุดเท่ากับกำลัง n ดังสมการที่

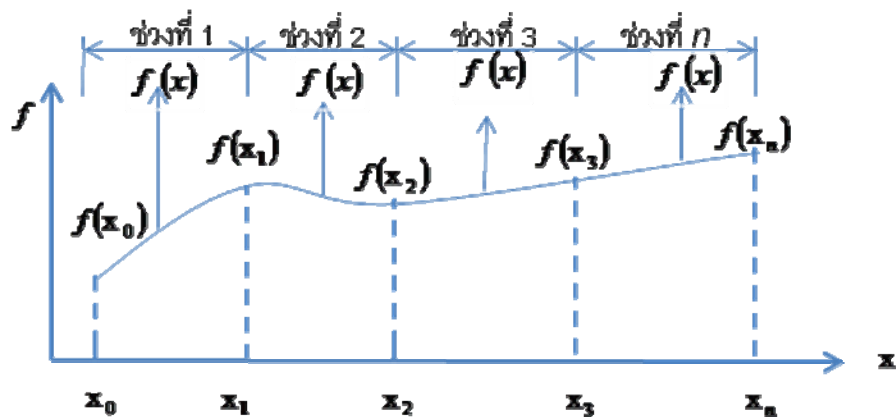
2.5

$$f_n(x) = b_0 + b_1(x - x_0) + b_2(x - x_0)(x - x_1) + \dots + b_n(x - x_0)(x - x_1)\dots(x - x_{n-1}) \quad 2.5$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ} \quad b_0 &= f(x_0) \\ b_1 &= \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0} = f[x_{i+1}, x_i] \\ b_2 &= \frac{f[x_{i+2}, x_{i+1}] - f[x_{i+1}, x_i]}{x_{i+2} - x_i} = f[x_{i+2}, x_{i+1}, x_i] \\ b_3 &= \frac{f[x_{i+3}, x_{i+2}, x_{i+1}] - f[x_{i+2}, x_{i+1}, x_i]}{x_{i+3} - x_i} = f[x_{i+3}, x_{i+2}, x_{i+1}, x_i] \\ b_n &= \frac{f[x_{i+n}, x_{i+n-1}, \dots, x_{i+2}, x_{i+1}] - f[x_{i+n-1}, x_{i+n-2}, \dots, x_{i+1}, x_i]}{x_{i+n} - x_i} \\ &= f[x_{i+n}, \dots, x_{i+1}, x_i] \end{aligned}$$

2.5.2 การประมาณค่าในช่วงเสมือนพหุนาม (Spline) [17][18]

Spline Interpolation เป็นการ ใช้พหุนามดีกรีต่ำประมาณค่าฟังก์ชันในแต่ละช่วง ข้อมูล โดยภาพประกอบ 2-18



ภาพประกอบ 2-18 Spline Interpolation [20]

Linear Spline เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นที่เชื่อมจุดสองจุดที่อยู่ติดกัน

$$\text{สำหรับช่วงที่ 1: } f(x) = f(x_0) + m_0(x - x_0) \quad x \in [x_0, x_1]$$

$$\text{สำหรับช่วงที่ 2: } f(x) = f(x_1) + m_1(x - x_1) \quad x \in [x_1, x_2]$$

$$\text{สำหรับช่วงที่ n: } f(x) = f(x_{n-1}) + m_{n-1}(x - x_{n-1}) \quad x \in [x_{n-1}, x_n]$$

$$\text{เมื่อ } m_i = \frac{f(x_{i+1}) - f(x_i)}{x_{i+1} - x_i} \quad \text{สำหรับ } i = 0, 1, 2, \dots, n$$

Quadratic spline เป็นฟังก์ชันพหุนามดีกรีสอง เป็นฟังก์ชันกำลังสองที่ประมาณค่าฟังก์ชันของ $x \in [x_{n-1}, x_n]$ สำหรับช่วงที่ i ใดๆ รูปแบบสมการที่ 2.6

$$f_i = a_i x^2 + b_i x + c_i \quad ; i = 1, 2, \dots, n \quad (2.6)$$

Cubic Spline เป็นฟังก์ชันพหุนามดีกรีสามมาใช้ประมาณค่าในแต่ละช่วงระหว่างข้อมูล $n+1$ จุด เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการประมาณค่าในช่วงให้ดียิ่งขึ้นโดยมีรูปแบบสมการ 2.7

$$f_i = a_i x^3 + b_i x^2 + c_i x + d_i \quad ; i = 1, 2, 3 \dots n \quad (2.7)$$

2.5.3 การประมาณค่าด้วยวิธีการ B-Spline [18][19]

B-Spline เป็น Interpolation เป็นการแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็นช่วงโดยแต่ละช่วงมีความต่อเนื่องกัน B-Spline เป็นเส้นโค้งที่ถูกสร้างขึ้นจากจุดควบคุม (Control Point) โดยสร้างลักษณะของส่วนโค้งขึ้นมาจากเบสิคฟังก์ชัน (Basic Function) ดังสมการที่ 2.8

$$S(t) = \sum_{i=0}^{m=n} P_i b_{i,n}(t), \quad t \in [t_{n-1}, t_{m-n}] \quad (2.8)$$

โดยที่ P_i คือ จุดควบคุมจำนวน $n+1$ จุด

t คือ เซตของ knot vector $t = \{t_0, t_1, \dots, t_m\}$ เมื่อ $m = n+p+1$

$b_{i,n}$ คือ B-Spline Blending Function ของสมการพหุนาม

กำลัง n ดังสมการที่ 2.9

$$b_{j,n}(t) = \frac{t-t_j}{t_{j+n}-t_j} b_{j,n-1}(t) + \frac{t_{(j+n+1)}-t}{t_{(j+n+1)}-t_{j+1}} b_{j+1,n-1}(t) \quad (2.9)$$

B-Spline แบบคงที่ เป็นแบบง่ายที่สุดมี knot เพียงจุดเดียวและไม่มีความเป็นต่อเนื่อง ซึ่งเป็นตัวชี้เป็น B-Spline แบบคงที่ดังสมการที่ 2.10

$$b_{j,0}(t) = 1_{[t_j, t_{j+1}]} = \begin{cases} 1, & t_j \leq t < t_{j+1} \\ 0, & \text{otherwise} \dots \end{cases} \quad (2.10)$$

B-Spline แบบเชิงเส้น มีสอง knot และมีความต่อเนื่องบน knot โดยมีรูปแบบดังสมการที่ 2.11

$$b_{j,1}(t) = \begin{cases} \frac{t-t_j}{t_{j+1}-t_j} & t_j \leq t < t_{j+1} \\ \frac{t_{j+2}-t}{t_{j+2}-t_{j+1}} & t_{j+1} \leq t < t_{j+2} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.11)$$

B-Spline แบบกำลังสอง ส่วนใหญ่จะถูกใช้ และเท่ากับสำหรับแต่ละกรณีดังในสมการที่ 2.12

$$b_{j,1}(t) = \begin{cases} \frac{1}{2}t^2 \\ -t^2 + t + \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2}(1-t)^2 \end{cases} \quad (2.12)$$

สามารถเขียนในรูปแบบ Matrix ดังในสมการที่ 2.13

$$S_i(t) = [t^2 \quad t \quad 1] \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 2 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{i-1} \\ P_i \\ P_{i+1} \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

สำหรับ $t \in [0,1]$
 $I = 1, 2, \dots, m-1$

B-Spline แบบกำลังสาม มีรูปแบบสมการดังสมการที่ 2.14

$$S_i(t) = \sum_{k=0}^3 P_{i-3+k} b_{i-3+k,3}(t), t \in [0,1] \quad (2.14)$$

เมื่อ S_i เป็นฟังก์ชัน B-spline มี i ส่วน
 P เป็นเซตของจุดควบคุม โดยมี i ส่วนและมีจุดควบคุม k ตำแหน่ง
 ซึ่งเป็นดัชนีการตั้งค่าของจุดควบคุมเป็นไปตามสมการที่ 2.15

$$P_i^w = (w_i x_i, w_i y_i, w_i z_i, w_i) \quad (2.15)$$

เมื่อ W_i เป็นน้ำหนักที่ควบคุมจุด
 P_i การเพิ่มขึ้นหรือการลดลงของส่วนโค้ง

การตั้งค่าของกลุ่มมี $m-2$ ส่วนโค้ง (S_3, S_4, \dots, S_m) ถูกกำหนดโดย $m+1$ จุดควบคุม ($P_0, P_1, \dots, P_m, m \geq 3$) ดังสมการที่ 2.16

$$S(t) = \sum_{i=0}^{m-1} P_i b_{i,3}(t) \quad (2.16)$$

เมื่อ i เป็นจุดควบคุม
 t เป็นตัวแปรที่ให้ค่า knot

2.6 เครื่องมือสำหรับการสร้างแบบจำลอง

เครื่องมือในการสร้างแบบจำลองนี้แบ่งออกได้เป็นสามส่วนใหญ่ ๆ คือ เครื่องมือที่ใช้สำหรับการคำนวณการเกิดแรง เครื่องมือที่ใช้สำหรับการจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ และเครื่องมือที่ใช้สำหรับการประมาณค่า

เครื่องมือที่ใช้สำหรับการคำนวณการเกิดแรงนี้สามารถเลือกใช้โปรแกรมใด ๆ ที่สามารถคำนวณและแสดงผลลัพธ์ให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ผล สำหรับ MATLAB เป็นโปรแกรมคำนวณซึ่งการเขียนและการแสดงผลรวมกันอยู่ในตัวโปรแกรมเดียวกันและทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ MATLAB [20] ใช้งานได้ง่าย

เครื่องมือที่ใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ต้องอำนวยความสะดวกในการขึ้นรูปชิ้นงานที่สะดวก เช่น ในการวาดรูปสามมิติ ต้องสามารถคำนวณสมการไฟไนต์เอลิเมนต์รวมทั้งสามารถแสดงผลลัพธ์ที่อ่านได้ง่าย โปรแกรมซึ่งมีมีลักษณะดังกล่าวได้แก่ SolidWorks® Simulation[21], COMSOL[22], ANSYS-FLUENT [23]

SolidWorks® Simulation เป็นโปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบและเขียนแบบได้อย่างรวดเร็ว ใช้งานง่าย เหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างโมเดลในแบบต่าง ๆ อีกทั้งสามารถวิเคราะห์ปัญหาอุณหภูมิ ความเค้น ความเครียด ที่เกิดจากแรงกระทำจากภายนอกของโมเดลที่สร้างขึ้นโดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ ทั้งยังสามารถนำชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ได้สร้างไว้มาประกอบกันเป็นชิ้นงานเดียวเพื่อให้เขียนภาพ 3 มิติ ที่มีความซับซ้อนจากชิ้นงานย่อย ๆ ที่ได้สร้างขึ้น

COMSOL เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์โมเดลต่าง ๆ โดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งจุดเด่นคือสามารถใช้งานได้กว้างหลายสาขาวิชาทั้งไฟฟ้า เครื่องกล เคมี สามารถใช้งานร่วมกับ MATLAB ได้ แต่การใช้งานหรือการวิเคราะห์ปัญหาของโปรแกรม COMSOL นี้ต้องเลือกใช้สมการอนุพันธ์ก่อนจึงจะสามารถวิเคราะห์ได้ อีกทั้งวิธีการสร้างโมเดลนั้นเครื่องมือที่ใช้ในการวาดยังไม่อำนวยความสะดวกในการสร้างเท่าที่ควรจะเป็น

ANSYS-FLUENT เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับสร้าง โมเดลและวิเคราะห์ปัญหาของโมเดลโดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์เน้นการวิเคราะห์ความเค้น ความเครียด การไหล อุณหภูมิ ชิ้นงานทางด้านเครื่องกลเป็นหลัก

สำหรับการเลือกใช้เครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณแรง คือ MATLAB เนื่องจากมีความสามารถทางด้านคำนวณที่ละเอียด การเขียนโปรแกรมเป็นลำดับขั้นตอนที่ชัดเจน ส่วนการแสดงผลสามารถวาดกราฟ การวิเคราะห์ผลลัพธ์สามารถทำได้ง่าย

สำหรับเครื่องมือที่ใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์นี้ โปรแกรมที่ใช้งานคือ SolidWorks® Simulation เนื่องจากมีความสามารถในการสร้างโมเดลในแบบต่าง ๆ ได้ ทั้งยังสามารถนำชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ได้สร้างไว้มาประกอบกันเป็นชิ้นงานเดียวเหมาะสำหรับชิ้นงานที่จะใช้ อีกทั้งสามารถวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดจากแรงภายนอกมากระทำได้โดยใช้หลักการไฟไนต์เอลิเมนต์

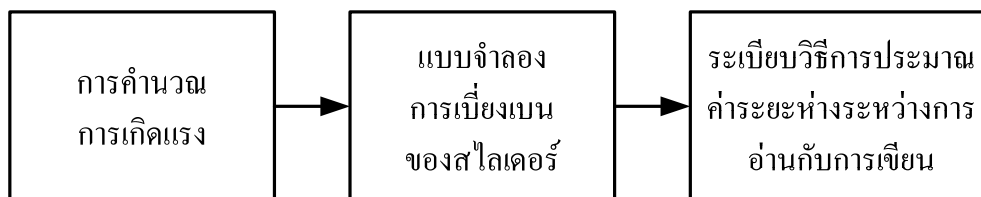
สำหรับการเลือกใช้เครื่องมือสำหรับการประมาณค่า คือ MATLAB เนื่องจากมีความสามารถทางด้านคำนวณที่ละเอียด การเขียนโปรแกรมเป็นลำดับขั้นตอนที่ชัดเจน ส่วนการแสดงผลสามารถวาดกราฟ การวิเคราะห์ผลลัพธ์สามารถทำได้ง่าย

บทที่ 3

การสร้างแบบจำลอง

บทนี้เป็นการสร้างแบบจำลองจากปัญหาจากความเร็วลมที่เกิดจากการหมุนของมีเดียที่กล่าวในบทที่ 2 ซึ่งกล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบโดยรวม การสร้างแบบจำลองการเกิดแรงและการสร้างแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ ขั้นตอนการทำงานของระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียน การเลือกใช้เครื่องมือในการสร้างแบบจำลองและระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียน และสรุปแผนภาพโดยรวมของการใช้เครื่องมือในการสร้างแบบจำลองและระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียน

3.1 ขั้นตอนการออกแบบโดยรวม



ภาพประกอบ 3-1 ขั้นตอนการออกแบบโดยรวม

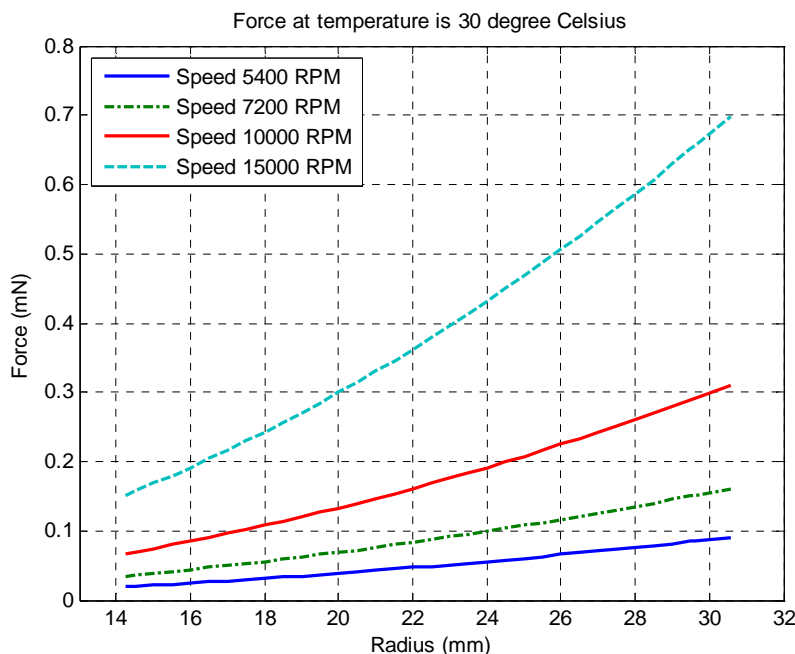
จากภาพประกอบ 3-1 แสดงขั้นตอนการออกแบบโดยรวมของงานวิจัยซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นสามส่วนที่เกี่ยวข้องกันดังนี้ การคำนวณการเกิดแรง (สมการที่ 2.2 บทที่ 2) แบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ และระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียน

ขั้นตอนการทำงานคือ การคำนวณการเกิดแรง ค่าแรงที่ได้นี้เป็นแรงไปกระทำต่อสไลเดอร์ในขั้นตอนของแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ เพื่อพิจารณาผลการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ ผลการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ที่เกิดจากแรงนี้นำไปรวมกับผลการเบี่ยงเบนที่ได้จากการออกแบบเพื่อทำการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียนในขั้นตอนระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียนต่อไป

3.2 การคำนวณการเกิดแรงและการสร้างแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์

การคำนวณการเกิดแรงและการสร้างแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์นี้ทำเพื่อวิเคราะห์ผลของความเร็วมที่มีผลต่อระยะการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ ระยะการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ของแต่ละบริเวณบนแผ่นมีเดียมีระยะที่ต่างกัน โดยนำผลของระยะการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์นี้ไปค่าการเบี่ยงเบนที่ได้จากการออกแบบนำไปวิเคราะห์หาระเบียงวิถีการประมาณค่า RWO ที่เหมาะสม โดยมีแนวคิดดังนี้คือ

1. การเบี่ยงเบนของสไลเดอร์นี้เกิดจากแรงปะทะกับสไลเดอร์
2. ค่าแรงปะทะถูกคำนวณแปลงค่ามาจากความเร็วมดังภาพประกอบ 3-2 (จากสมการ 2.2)



ภาพประกอบ 3-2 ค่าแรงที่เกิดขึ้นบนแผ่นมีเดียที่ความเร็วรอบต่างๆ

จากภาพประกอบ 3-2 แสดงค่าแรงที่เกิดขึ้นบนแผ่นมีเดียที่ความเร็วรอบต่างๆ ของฮาร์ดดิสก์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นมีเดีย 65 มิลลิเมตร หรือที่ฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว โดยจำลองค่าแรงที่เกิดขึ้นเมื่อความเร็วในการหมุนของมีเดียที่สูงขึ้น

3. ความเร็วม มาจาก ความเร็วในการหมุนของแผ่นมีเดีย ค่าตัวแปรพารามิเตอร์ ได้แก่ ความเร็วม แรงปะทะ ผลของการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ มีผลเกี่ยวเนื่องมาจาก ความเร็วรอบในการหมุนของแผ่นมีเดียทั้งสิ้น โดยแสดงขั้นตอนไว้ในภาพประกอบ 3-3



ภาพประกอบ 3-3 ขั้นตอนการคำนวณการเกิดแรงและการสร้างแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์

จากภาพประกอบ 3-3 แสดงขั้นตอนการคำนวณการเกิดแรงและการสร้างแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ แบ่งออกเป็นลำดับขั้นตอนได้ดังนี้ ในการออกแบบใช้ความเร็วในการหมุนของมีเดียเป็นตัวแปรต้นเพื่อเข้าสู่การคำนวณการเกิดแรงโดยใช้โปรแกรม MATLAB ช่วยในการคำนวณ นำผลของค่าแรงเข้ากระบวนการของแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ซึ่งใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม SolidWorks® Simulation เป็นเครื่องมือใช้สร้างแบบจำลองนี้

ในการคำนวณการเกิดแรงและการสร้างแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์นี้ อาศัยหลักการการหมุนของแผ่นมีเดียที่คงที่ เมื่อมีการหมุนของแผ่นมีเดีย ทำให้เกิดลมที่มาจาก การหมุนของมีเดีย ขณะที่แผ่นมีเดียหมุนด้วยความเร็วคงที่ในเวลาเดียวกันนั้นสไลเดอร์ก็ลอยอยู่บนมีเดียด้วยแรงลมที่เกิดจากการหมุนของมีเดีย

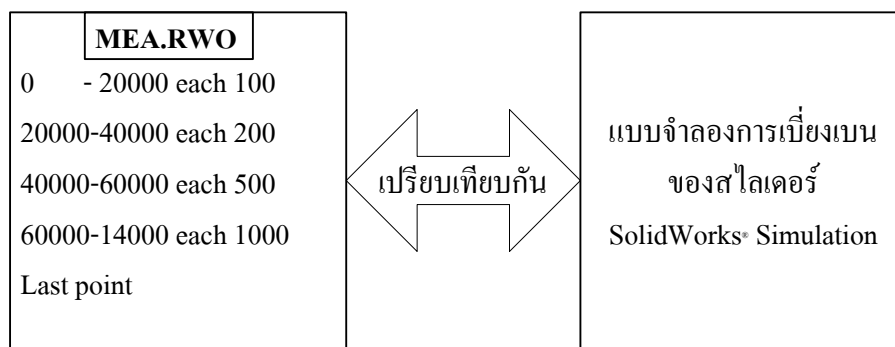
ความเร็วเชิงเส้นที่เกิดขึ้นในขณะที่มีเดียหมุนเป็นลักษณะเชิงเส้นตามแนวรัศมีของแผ่นมีเดียคือความเร็วบริเวณขอบใน กึ่งกลาง และขอบนอก มีค่าที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ ความเร็วที่เกิดขึ้นนี้ก่อให้เกิดลม อีกทั้งบริเวณที่อยู่ใกล้กับมีเดียจะเกิดความเร็วสูงสุด เวลาในการอ่านเขียนข้อมูลนั้นตัวสไลเดอร์จะต้องบินอยู่บนมีเดียที่มีการหมุนอยู่ด้วย ความเร็วลมที่เกิดจากการหมุนของแผ่นมีเดียนี้ก่อให้เกิดแรงปะทะต่อสไลเดอร์ ซึ่งแรงปะทะนี้ส่งผลการเบี่ยงเบนไปของสไลเดอร์

ขั้นตอนการจำลองมีรายละเอียดดังนี้

1. ใช้โปรแกรม MATLAB ทำหน้าที่คำนวณความเร็วและค่าของแรงที่จะปะทะกับสไลเดอร์
2. ใช้โปรแกรม SolidWorks® Simulation วิเคราะห์หาค่าการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ที่ค่าแรงต่าง ๆ ที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 1

3.3 ขั้นตอนการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์

โดยผลการวัด RWO จากโรงงานเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการออกแบบ ค่าความต่างนี้จะป็นข้อมูลเพื่ออ้างอิงผลกับแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ที่สร้างขึ้นที่ความเร็ว 5400 RPM ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีเดีย 65 มิลลิเมตรดังภาพประกอบ 3-4



ภาพประกอบ 3-4 ไดอะแกรมการเปรียบเทียบผลการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์

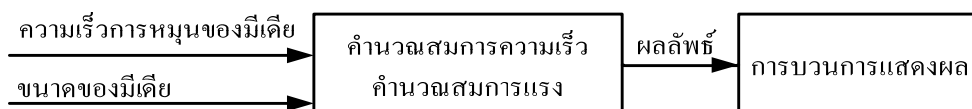
ภาพประกอบ 3-4 ซึ่งแสดงไดอะแกรมการเปรียบเทียบผลการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์กับผลการวัดจากโรงงานเพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ที่ความเร็ว 5400 RPM ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีเดีย 65 มิลลิเมตร เมื่อแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์นี้มีความถูกต้องแล้ว จะสามารถเพิ่มความเร็วเชิงมุมของมีเดียเพื่อวิเคราะห์การเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ที่สูงขึ้นได้

3.4 การเลือกใช้เครื่องมือ

การเลือกใช้เครื่องมือสามารถจำแนกการเลือกใช้เครื่องมือออกเป็นสามส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการคำนวณการเกิดแรง ส่วนที่สองเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ และส่วนที่สามเครื่องมือสำหรับระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียน

3.4.1 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการคำนวณการเกิดแรง

จำเป็นต้องมีความสามารถในการคำนวณ มีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมดังนี้



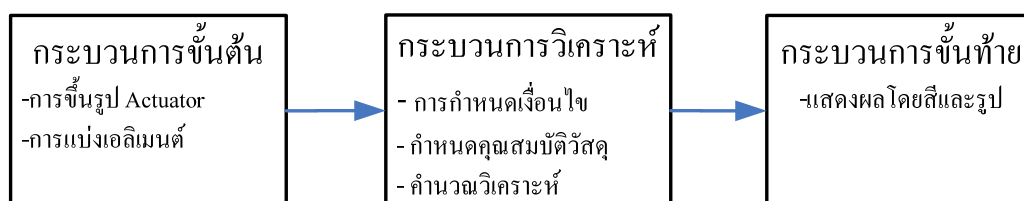
ภาพประกอบ 3-5 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมการคำนวณการเกิดแรง

จากภาพประกอบ 3-5 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมการคำนวณการเกิดแรง สามารถอธิบายการเลือกใช้เครื่องมือได้ดังนี้ โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ขั้นตอน แต่ละขั้นตอนนี้อาศัยการคำนวณทั้งสิ้นเครื่องมือที่สนใจคือ MATLAB เพื่อการเขียนโปรแกรมคำนวณค่าแรง และการแสดงผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น และเป็นเครื่องมือที่ใช้ในระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียน เนื่องจากมีฟังก์ชันที่ช่วยในการออกแบบ โดยแสดงผลในรูปแบบกราฟเพื่อดูแนวโน้มความสัมพันธ์ได้

MATLAB มีจุดเด่นคือข้อมูลทุกตัวจะถูกเก็บในลักษณะของ Array ใน MATLAB ไม่จำเป็นต้องกำหนดชนิดของตัวแปร ไม่จำเป็นต้องจองพื้นที่ในการเก็บข้อมูล ซึ่งทำให้ลดเวลาการเขียนโปรแกรมได้ สามารถเขียนโปรแกรมเป็นลำดับขั้นตอนได้ง่ายเพราะมีการทำงานเป็นบรรทัดง่ายต่อการเขียนสมการที่เกี่ยวข้องและแสดงผลลัพธ์โดยกราฟได้

3.4.2 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์

ขั้นตอนในการออกแบบจำลอง มีกระบวนการในการวิเคราะห์ปัญหาด้วยโปรแกรมประกอบด้วยขั้นตอนดังภาพประกอบ 3-6 เครื่องมือที่มีความสามารถทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ ได้แก่ SolidWorks® Simulation, COMSOL, ANSYS-FLUENT



ภาพประกอบ 3-6 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมของ SolidWorks® Simulation

จากภาพประกอบ 3-6 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมของ SolidWorks® Simulation กระบวนการขั้นต้น (Pre-processing) ประกอบด้วย ขั้นตอนการสร้างรูปทรง Actuator, ขั้นตอนการแบ่งรูปทรง Actuator ออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย ๆ กระบวนการวิเคราะห์ (Analysis) ประกอบด้วย ขั้นตอนการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตคือการใส่แรงจากภายนอกที่มากระทำต่อสไลเดอร์ ขั้นตอนกำหนดคุณสมบัติของ Actuator สไลเดอร์ ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาผลลัพธ์การเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ ในกระบวนการนี้ใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวคำนวณ กระบวนการขั้นท้าย

(Post-processing) คือการนำผลลัพธ์ที่คำนวณได้มาแสดงผลในกรณีนี้ก็คือแสดงผลของการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์

SolidWorks® Simulation ใช้สำหรับจำลองโมเดลรูปทรง Actuator ใช้งานง่ายสามารถนำชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ได้สร้างไว้มาประกอบกันเป็นชิ้นงานเดียวเพื่อให้เขียนภาพ 3 มิติที่มีความซับซ้อน มีขั้นตอนการแบ่งรูปทรง Actuator ออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย ๆ สามารถวิเคราะห์ปัญหาแรงกระทำจากภายนอกได้

COMSOL ใช้สำหรับจำลองโมเดลและการวิเคราะห์ปัญหาของโมเดล โดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ COMSOL มีจุดเด่นคือสามารถใช้งานได้กว้างหลายสาขาวิชาทั้งไฟฟ้า เครื่องกล เคมี สามารถใช้งานร่วมกับ MATLAB ได้ ส่วนจุดด้อยคือความสามารถในการสร้างโมเดลมีความยุ่งยากสูง ต้องอาศัยโปรแกรมประเภท CAD ช่วยในการขึ้นรูป Actuator แต่ยังคงมีปัญหาเกี่ยวกับการเลือกชิ้นส่วนในการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ

ANSYS-FLUENT ใช้สำหรับสร้างโมเดลและวิเคราะห์ปัญหาของโมเดล โดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์เน้นวิเคราะห์ความเค้น, ความเครียด, การไหล, ความร้อนอุณหภูมิ ชิ้นงานทางด้านเครื่องกลเป็นหลัก

ตารางที่ 3-1 การสรุปการเปรียบเทียบการใช้งานโปรแกรมที่ใช้สร้างแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์

	SolidWorks® Simulation	COMSOL	ANSYS-FLUENT
กระบวนการขึ้นต้น - การขึ้นรูป Actuator - การแบ่งเอลิเมนต์	-ขึ้นรูปง่าย -แบ่งเอลิเมนต์สะดวก	-ขึ้นรูปยาก -แบ่งเอลิเมนต์สะดวก	-ขึ้นรูปยาก -มีความซับซ้อนในการแบ่งเอลิเมนต์
กระบวนการวิเคราะห์ - การกำหนดเงื่อนไข - กำหนดคุณสมบัติวัสดุ - จำนวนวิเคราะห์	-สะดวก,รวดเร็ว - มีวัสดุหลากหลาย -จำนวน ได้ดี	-มีความซับซ้อน -มีวัสดุหลากหลาย -จำนวน ได้ดี	-มีความซับซ้อน -มีวัสดุหลากหลาย -จำนวน ได้ดี
กระบวนการขั้นท้าย - แสดงผลโดยสีและรูป	-แสดงได้ดี	-แสดงได้ดี	-แสดงได้ดี

โปรแกรม COMSOL, ANSYS-FLUENT, SolidWorks® Simulation เป็นโปรแกรมที่มีความสามารถในการใช้งานทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ทั้งสิ้น แต่โปรแกรมที่กล่าวมานี้ล้วนมีจุดด้อยและจุดเด่นที่แตกต่างกัน มีความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวกันอยู่ กล่าวคือความสามารถในการออกแบบ Actuator โปรแกรม SolidWorks® Simulation เหมาะสมที่สุดเพราะมีฟังก์ชันและเครื่องมือที่ทำให้สร้าง Actuator ได้ง่ายและสามารถวาดชิ้นส่วนประกอบเล็ก ๆ แล้วนำมาประกอบเป็นชิ้นส่วนเดียวกัน ส่วนโปรแกรม COMSOL, ANSYS-FLUENT มีความสามารถในการสร้าง Actuator นี้เป็นไปได้ยากเนื่องจาก Actuator มีความซับซ้อน ต้องอาศัยการวาดของชิ้นส่วนแล้วนำมาประกอบเป็นชิ้นส่วนเดียวกัน

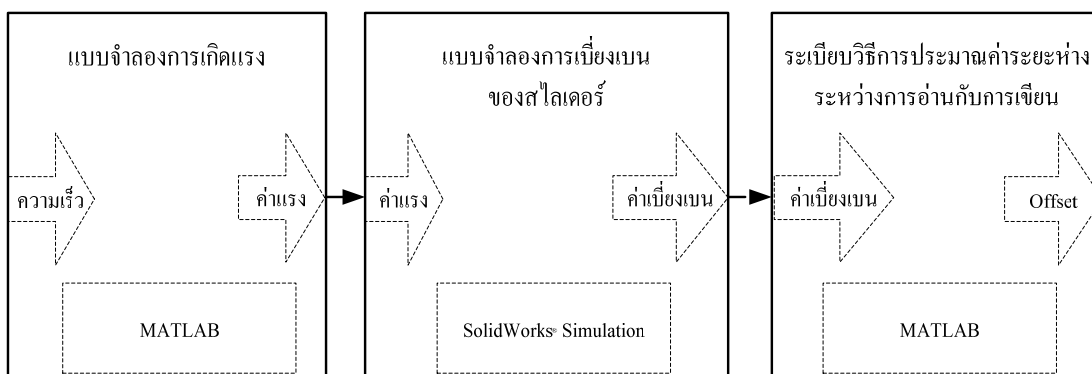
3.4.3 เครื่องมือที่ใช้สำหรับระเบียบวิธีการประมาณค่า RWO

MATLAB เป็นเครื่องมือช่วยในการพิจารณาผลของระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียน เนื่องจากมีฟังก์ชันที่ช่วยในการออกแบบระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียนอีกทั้งการแสดงผลที่ดีและสวยงาม

3.4.4 สรุปแผนภาพโดยรวมกับการใช้เครื่องมือในการสร้างแบบจำลองและระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียน

ตารางที่ 3.2 สรุปเครื่องมือการใช้งาน

การสร้างแบบจำลองการเกิดแรง	MATLAB
การสร้างแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์	SolidWorks® Simulation
ระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียน	MATLAB



ภาพประกอบ 3-7 สรุปแผนภาพโดยรวมกับการใช้เครื่องมือในการสร้างแบบจำลองและระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียน

บทที่ 4

ผลการจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์

ความเร็วลมที่แผ่นมีเดียสัมพันธ์กับความเร็วเชิงเส้นของแผ่นมีเดีย เนื่องจากสไลเดอร์อยู่ชิดกับแผ่นมีเดีย ทำให้ลมปะทะกับสไลเดอร์ เปรียบเหมือนมีแรงมากกระทำกับสไลเดอร์ แรงที่เกิดขึ้นที่สไลเดอร์ประกอบด้วยแรงสองส่วน คือส่วนที่หนึ่ง เป็นแรงที่เกิดจากลมมาปะทะทางด้านข้างของสไลเดอร์ และส่วนที่สอง เป็นแรงยกที่ทำให้สไลเดอร์ลอยตัวขึ้นเมื่อแผ่นมีเดียหมุน ขนาดของแรงทั้งสองนี้ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์

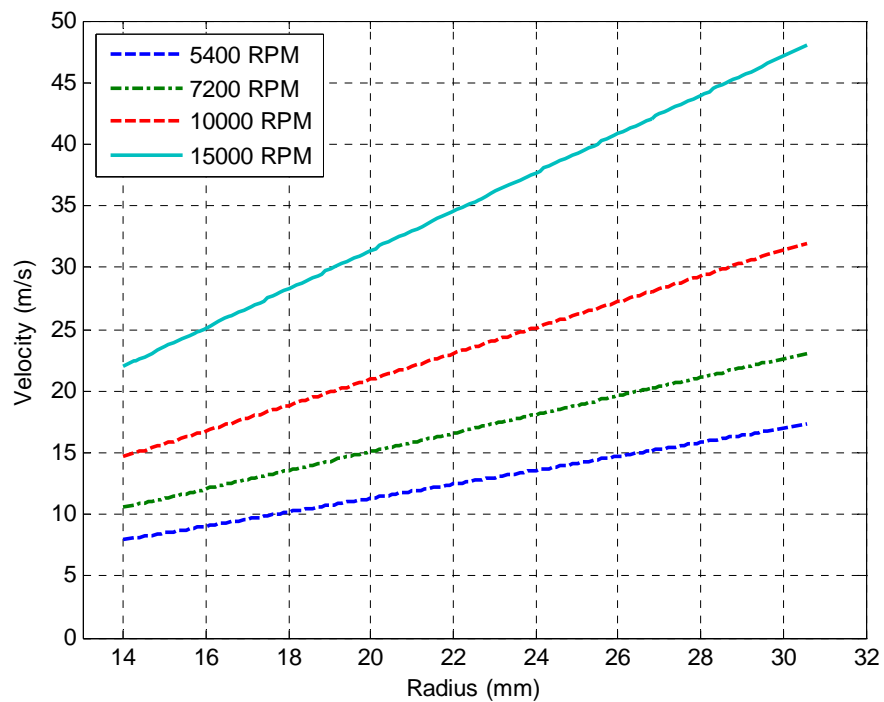
บทนี้จะกล่าวถึง ผลการคำนวณขนาดของแรง และผลของแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์เนื่องจากแรงลม

4.1 ผลการคำนวณขนาดของแรง

แรงที่กระทำกับ Actuator Arm ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ ซึ่งขนาดของแรงขึ้นอยู่กับ ความเร็วลม (ความเร็วเชิงเส้นของแผ่นมีเดียที่สไลเดอร์อยู่เหนือรัศมีของแผ่นมีเดีย) พื้นที่หน้าตัดของสไลเดอร์ ความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ในการศึกษาความเร็วเชิงเส้นของแผ่นมีเดียด้วยการเขียน โปรแกรมคำนวณความเร็วเชิงเส้นของแผ่นมีเดียขนาด 65 มิลลิเมตร โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งผู้วิจัยกำหนดความเร็วเชิงมุมของแผ่นมีเดียที่ค่าต่าง ๆ คือ 5400, 7200, 10000 และ 15000 รอบต่อนาที เพื่อศึกษาความเร็วเชิงเส้นของแผ่นมีเดียเนื่องจากการความเร็วเชิงมุมที่ค่าต่างๆ

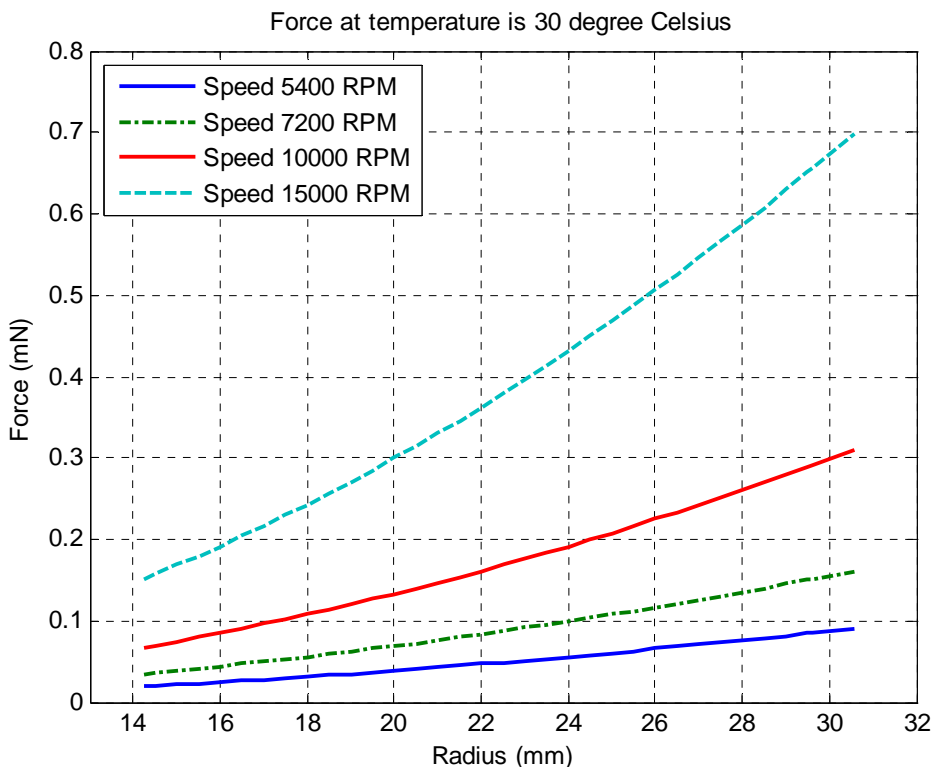
ผลการคำนวณความเร็วเชิงเส้นของแผ่นมีเดียเนื่องจากการความเร็วเชิงมุมของแผ่นมีเดียที่ค่าต่างๆ แสดงดังภาพประกอบ 4-1



ภาพประกอบ 4-1 ความเร็วเชิงเส้นของแผ่นมีเดียเนื่องจากความเร็วเชิงมุมที่ค่าต่าง ๆ

จากภาพประกอบ 4-1 จะเห็นว่าความเร็วเชิงเส้นมีขนาดเพิ่มขึ้นตามแนวรัศมีของแผ่นมีเดีย อีกทั้งที่รัศมีเดียวกันความเร็วเชิงเส้นของแผ่นมีเดียมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเชิงมุมของแผ่นมีเดียเพิ่มขึ้น

ภาพประกอบ 4-2 แสดงผลการคำนวณขนาดของแรงโดยการกำหนดความเร็วเชิงมุมของแผ่นมีเดียที่ค่าต่าง ๆ คือ 5400, 7200, 10000 และ 15000 รอบต่อนาที โดยการใช้พื้นที่หน้าสัมผัสของสไลเดอร์เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง และความหนาแน่นของอากาศที่ 30 องศาเซลเซียส

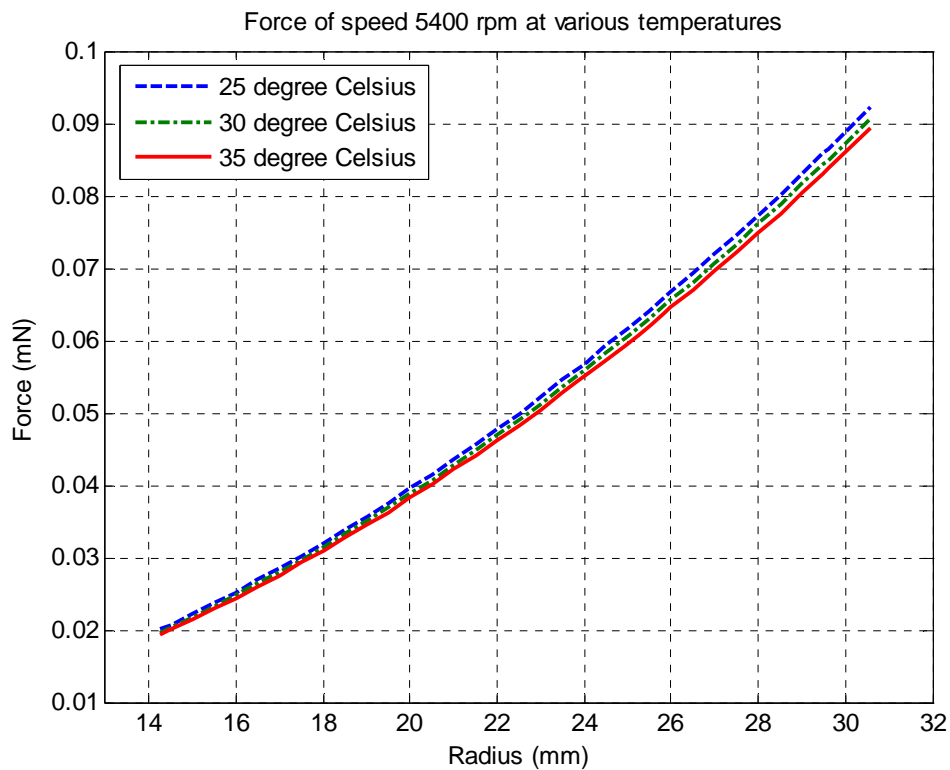


ภาพประกอบ 4-2 ขนาดของแรงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสที่ความเร็วเชิงมุมของแผ่นมีเดียมีค่าต่าง ๆ

จากภาพประกอบ 4-2 พบว่าขนาดของแรงมีค่าเพิ่มขึ้นตามรัศมีของแผ่นมีเดียที่ความเร็วเชิงมุมของแผ่นมีเดียคงที่และขนาดของแรงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเชิงมุมของแผ่นมีเดียเพิ่มขึ้น

เนื่องจากสไลเดอร์จะบินอยู่เหนือแผ่นมีเดียระยะประมาณ 10 nm แรงประทะของลมที่สไลเดอร์จะมีค่าต่ำกว่าแรงที่แผ่นมีเดียจึงต้องทำการสอบเทียบ (Calibration) กับค่า RWO ที่วัดจากโรงงานในสภาพแวดล้อมเดียวกัน 30 องศาเซลเซียส 5400 RPM โดยขนาดของแรงที่สไลเดอร์หาได้โดยการคูณแรงที่แผ่นมีเดียด้วยค่า 0.1015 เพื่อให้สอดคล้องกับผลที่วัดได้จากโรงงาน

ผลการคำนวณขนาดของแรงโดยการกำหนดความหนาแน่นอากาศที่อุณหภูมิที่ค่าต่างๆคือ 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงมุมของแผ่นมีเดียที่ 5400 รอบต่อนาที แสดงดังภาพประกอบ 4-3



ภาพประกอบ 4-3 ขนาดของแรงที่ความเร็วเชิงมุม 5400 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิต่าง ๆ

จากภาพประกอบ 4-3 ซึ่งแสดงขนาดของแรงที่ความเร็วเชิงมุม 5400 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิต่าง ๆ ผลการศึกษาพบว่า ขนาดของแรงมีค่าลดลงเนื่องจากค่าความหนาแน่นอากาศลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

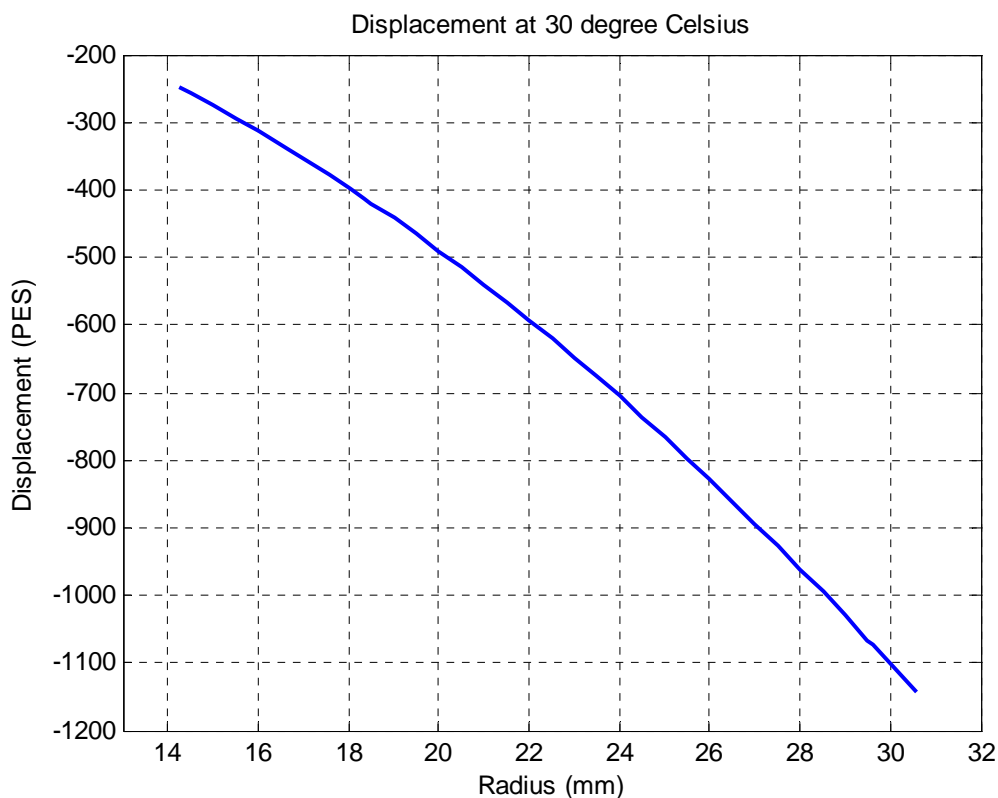
4.2 ผลการจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์

การวิเคราะห์การเบี่ยงเบนของของสไลเดอร์เนื่องจากการหมุนเชิงมุมของแผ่นมีเดีย 5400 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำได้โดยการจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ด้วยโปรแกรม SolidWorks® Simulation ซึ่งในการจำลองได้ใช้วัสดุ Alloy 6061[12] และกำหนดรายละเอียดการแบ่งเอลิเมนต์ดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 รายละเอียดการแบ่งเอลิเมนต์

Mesh type	Solid Mesh
Element size	0.4 mm
Tolerance	0.02 mm
Total nodes	130650
Total elements	81425

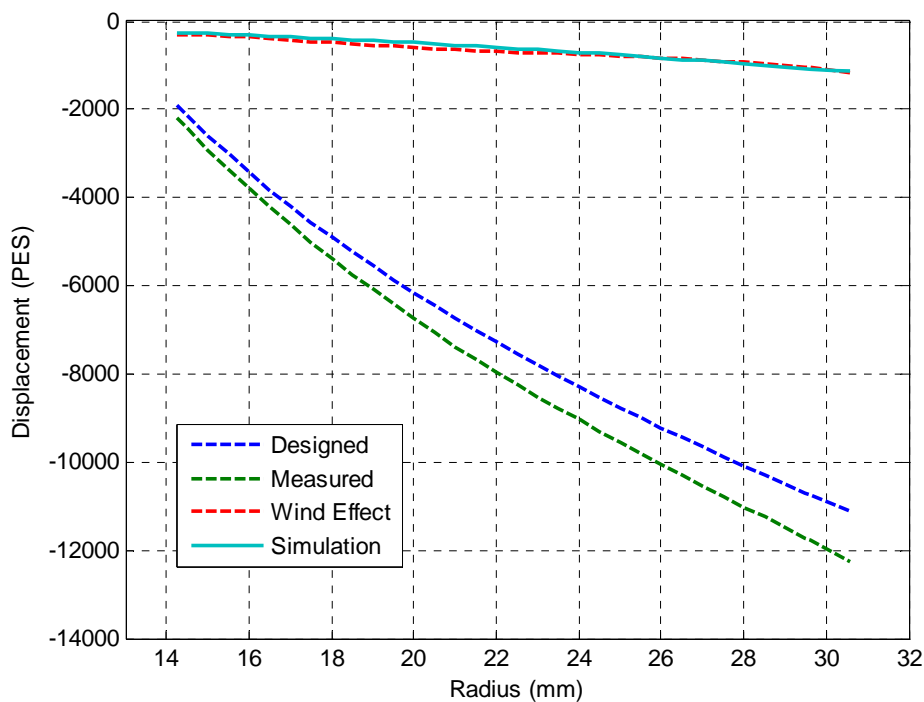
ภาพประกอบ 4-4 แสดงผลการการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ เนื่องจากความเร็วของแผ่นมีเดียเนื่องจากการหมุนของสปินเคิลมอเตอร์ที่ความเร็วรอบ 5400 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 4-4 ผลการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์

จากภาพประกอบ 4-4 ซึ่งแสดงผลการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ที่ความเร็วเชิงมุมของแผ่นมีเดียที่ 5400 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยผลการเบี่ยงเบนจะเบี่ยงเบนเพิ่มขึ้นตามแนวรัศมีของแผ่นมีเดีย

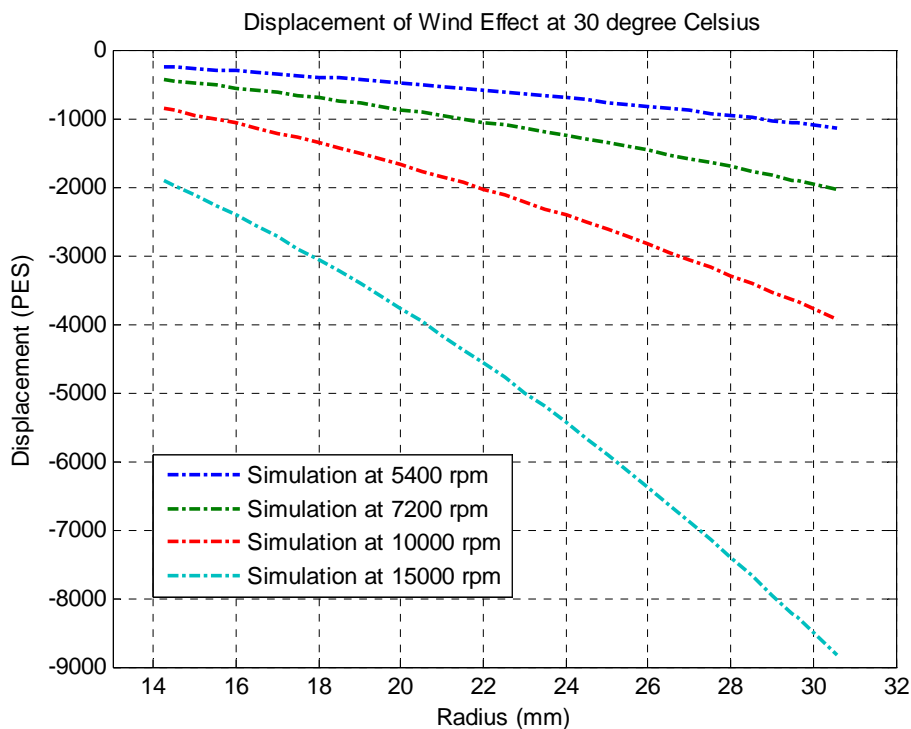
ผลการจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์นี้จำเป็นต้องมีการทวนสอบเพื่อเป็นที่ยืนยันความถูกต้องว่าผลการจำลองถูกต้อง โดยการเปรียบเทียบผลการจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์กับผลที่ได้จากผู้ออกแบบดังภาพประกอบ 4-5



ภาพประกอบ 4-5 การเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนของสไลเดอร์กับผลการออกแบบ

จากภาพประกอบ 4-5 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ที่ได้จากการจำลองกับผลการเบี่ยงเบนจากการออกแบบ ผลที่ได้จากการจำลองนี้สอดคล้องกับการออกแบบจากผลการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์นี้บ่งบอกได้ว่าเมื่อความเร็วของสปินเดิลมอเตอร์สูงขึ้นในขณะที่แผ่นมีเดียมีขนาดเท่าเดิมทำให้ค่าของการเบี่ยงเบนสูงขึ้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องทำการชดเชยส่วนที่เบี่ยงเบนไปเพื่อให้การอ่านเขียนข้อมูลยังดำเนินต่อไปได้อย่างไม่มีปัญหา

การเบี่ยงเบนของสไลเดอร์นี้เป็นการยืนยันว่าความเร็วลมมีผลต่อการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์และเป็นปัจจัยในการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียน



ภาพประกอบ 4-6 ผลการจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์

ภาพประกอบ 4-6 แสดงผลการจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์เมื่อความเร็วเชิงมุมของแผ่นมีเดียสูงขึ้น คือ 5400, 7200, 10000 รอบต่อนาที พบว่าการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์มีการเบี่ยงเบนเพิ่มขึ้นในลักษณะเอ็กโพเนนเชียล เห็นได้ชัดว่าต้องมีการชดเชยระยะห่างระหว่างการอ่านเขียนที่เพิ่มมากขึ้น จากปัจจัยเนื่องจากความเร็วลม เราสามารถประเมินการเบี่ยงเบนพื้นฐานได้ ถ้ามีการเพิ่มความเร็วเชิงมุมในการหมุนของแผ่นมีเดียหรือแก้ปัญหาคด้วยวิธีการอื่นเพื่อลดระยะการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ได้ อันได้แก่ เลือกใช้วัสดุอื่น เพราะการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมสามารถลดการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ได้เป็นต้น

บทที่ 5

ผลของระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่าง การอ่านกับการเขียน

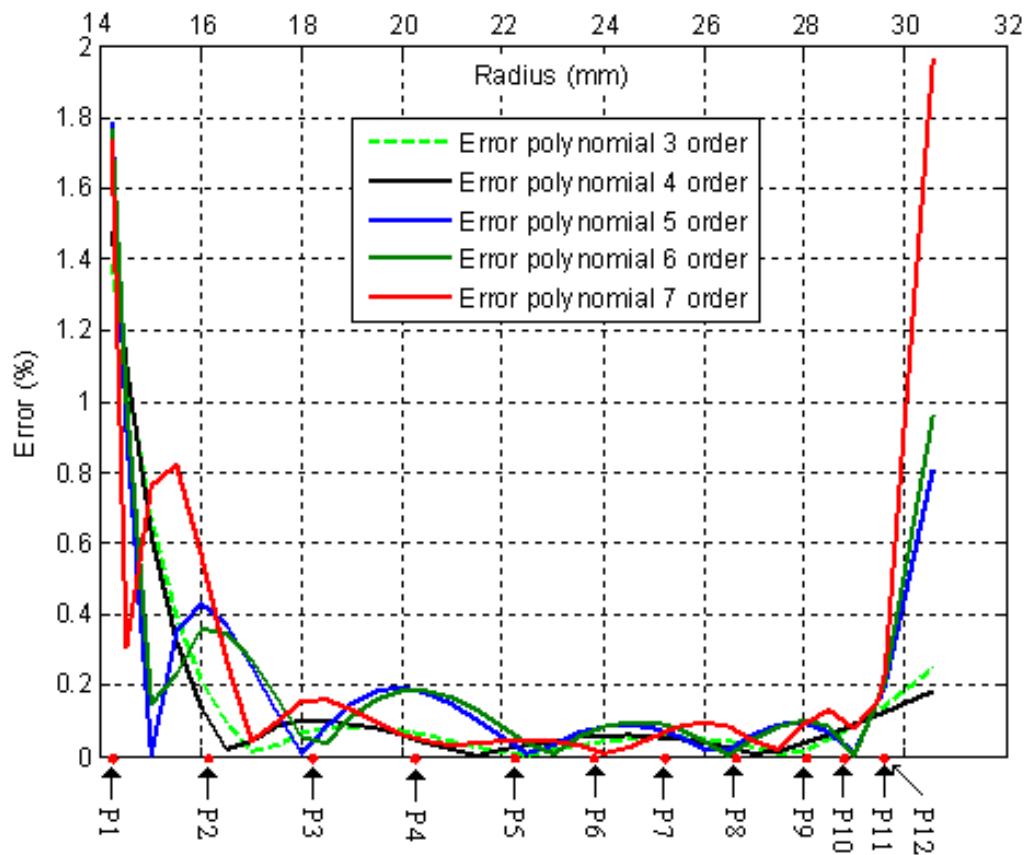
บทนี้นำเสนอผลของระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียน (RWO) จากการพิจารณาค่าความผิดพลาดจากการประมาณค่า โดยการนำผลจากผลการจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ในหัวข้อที่ 4.2 ผลจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ (ภาพประกอบ 4-6) เพื่อวิเคราะห์วิธีการสำหรับระเบียบวิธีประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียนที่เหมาะสมกับฮาร์ดดิสก์ที่ความเร็วรอบสูงขึ้นคือ 7200, 10000 และ 15000 รอบต่อนาที โดยการวิเคราะห์วิธีการที่เหมาะสมนี้ ทำได้โดยการเลือกจุด การเพิ่มจุดสำหรับการสร้างสมการพหุนามและการประมาณค่าด้วย Spline (Cubic Spline) แล้วนำค่าความผิดพลาดจากการประมาณค่ามาเปรียบเทียบกับเพื่อพิจารณาวิธีการสำหรับระเบียบวิธีประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียนที่เหมาะสม

5.1 ผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการเลือกใช้สมการพหุนาม

การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการสร้างสมการพหุนามที่มีดีกรีต่างกันของข้อมูลจากโรงงานกับข้อมูลจากแบบจำลอง โดยการใส่จุดในตารางที่ 5.1 เพื่อเป็นจุดสำหรับการสร้างสมการพหุนามต่างๆ คือ สมการพหุนามดีกรีสาม สมการพหุนามดีกรีสี่ สมการพหุนามดีกรีห้า สมการพหุนามดีกรีหก และสมการพหุนามดีกรีเจ็ดเพื่อเปรียบเทียบค่าความผิดพลาด

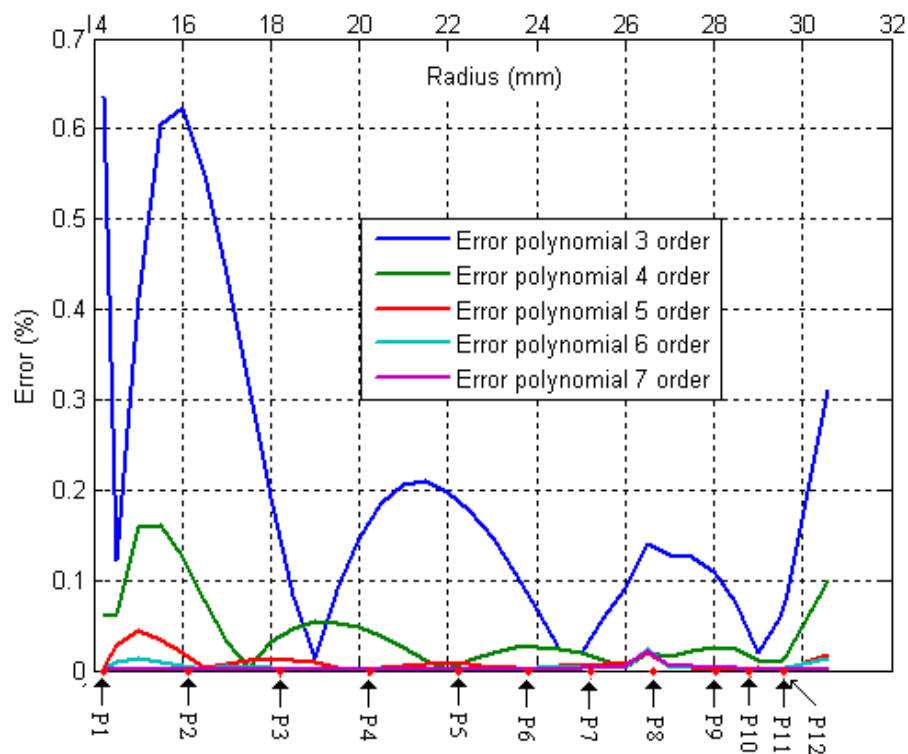
ตารางที่ 5.1 ตำแหน่งจุดและตำแหน่งที่รัศมีที่วัดจากโรงงาน

ตำแหน่งจุด	ตำแหน่งที่รัศมี (mm)	ตำแหน่งจุด	ตำแหน่งที่รัศมี (mm)
Point 1 (P1)	14.225	Point 7 (P1)	25.219
Point 2 (P2)	16.148	Point 8 (P8)	26.620
Point 3 (P3)	18.217	Point 9 (P9)	28.056
Point 4 (P4)	20.223	Point 10 (P10)	28.800
Point 5 (P5)	22.236	Point 11 (P11)	29.565
Point 6 (P6)	23.829	Point 12 (P12)	29.571



ภาพประกอบ 5-1 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการเลือกใช้สมการพหุนาม
ของข้อมูลจากโรงงาน

จากการวิเคราะห์ภาพประกอบที่ 5-1 แสดงการเปรียบเทียบความผิดพลาดข้อมูลจากโรงงาน ที่ความเร็ว 5400 รอบต่อนาทีจำนวนจุดของค่า RWO มี 12 จุด (ดังตารางที่ 5.1) โดยการพิจารณาสมการที่มีดีกรีพหุนามต่างกันคือ สมการพหุนามดีกรีสาม สมการพหุนามดีกรีสี่ สมการพหุนามดีกรีห้า สมการพหุนามดีกรีหก และสมการพหุนามดีกรีเจ็ด พบว่าการเพิ่มดีกรีของพหุนามและการลดลงของดีกรีของพหุนามที่เหมาะสมมีผลต่อค่าความผิดพลาด



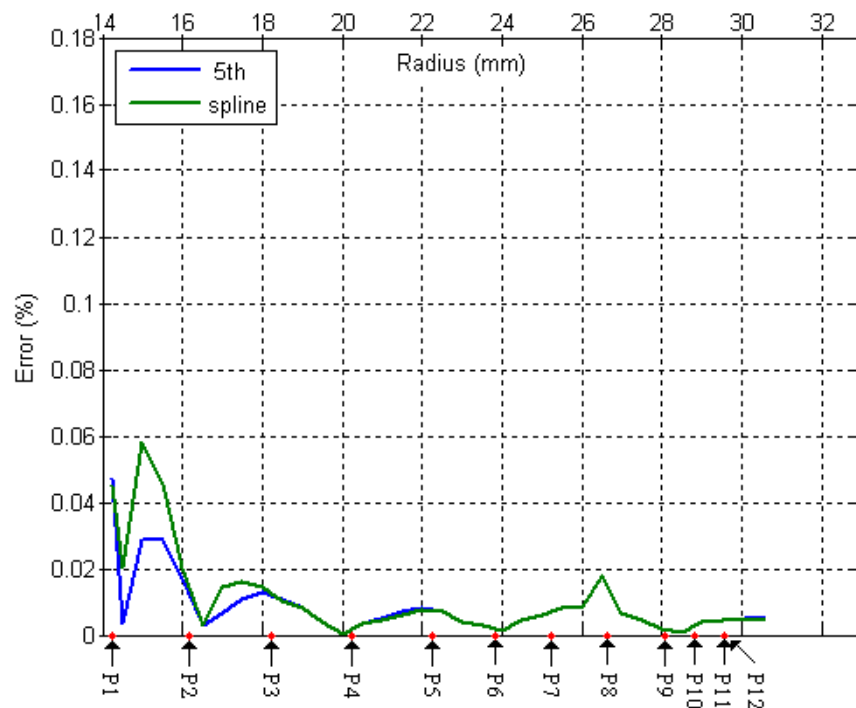
ภาพประกอบ 5-2 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการเลือกใช้สมการพหุนาม
ของข้อมูลจากการจำลอง

ภาพประกอบ 5-2 แสดงผลการเปรียบเทียบความผิดพลาดข้อมูลจากการจำลอง ที่ความเร็ว 5400 รอบต่อนาที จำนวนจุดของค่า RWO มี 12 จุด (ดังตารางที่ 5.1) โดยการพิจารณาสมการที่มีดีกรีพหุนามต่างกันคือ สมการพหุนามดีกรีสาม สมการพหุนามดีกรีสี่ สมการพหุนามดีกรีห้า สมการพหุนามดีกรีหก และสมการพหุนามดีกรีเจ็ด พบว่าการเพิ่มดีกรีของพหุนามและการลดลงของดีกรีของพหุนามที่เหมาะสมมีผลต่อค่าความผิดพลาด

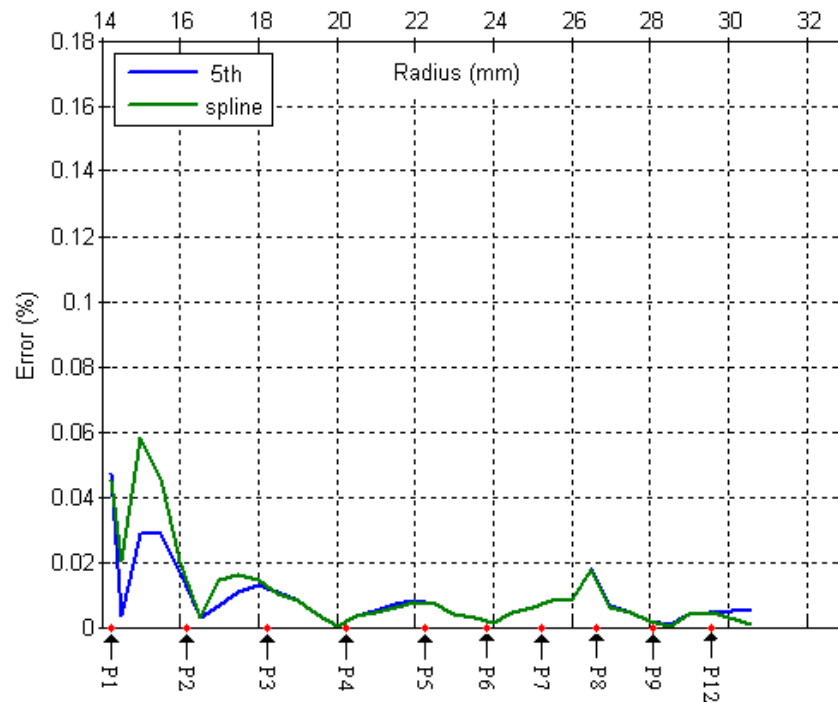
ผลจากการจำลองช่วยให้สามารถวิเคราะห์หาสมการพหุนามดีกรีที่เหมาะสมสำหรับการประมาณค่า RWO จากการพิจารณาผลของค่าความผิดพลาด โดยไม่จำเป็นต้องใช้การพหุนามดีกรีที่สูงเกินความจำเป็นเนื่องจากค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงที่รับได้หรือต่างกันน้อยมาก เนื่องจากการใช้การพหุนามที่มีดีกรีสูงย่อมมีผลต่อการคำนวณที่ใช้เวลาที่ยาวนานขึ้นซึ่งสามารถลดเวลาในการคำนวณลงได้โดยการใช้การพหุนามที่มีดีกรีที่เหมาะสมซึ่งผู้วิจัยใช้สมการพหุนามดีกรีห้า

5.2 ผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดโดยการลดจำนวนจุด

ผู้วิจัยเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการใช้วิธีการประมาณค่าที่ต่างกันคือการประมาณค่าด้วยสมการพหุนามดีกรีห้า และการประมาณค่าด้วย Spline โดยค่า RWO ที่ใช้เป็นข้อมูลที่ได้จากการจำลองที่ความเร็วเชิงมุมที่ค่า 5400 รอบต่อนาที เพื่อทดสอบการจำนวนจุดที่ใช้ในการสร้างสมการพหุนามดีกรีห้าและการประมาณค่าด้วย Spline โดยใช้จำนวน 12 จุด (อ้างอิงจากตารางที่ 5.1) จากนั้นลดจำนวนจุดที่อยู่ตำแหน่งใกล้เคียงกัน จากนั้นทำการสร้างสมการสำหรับการประมาณค่าใหม่โดยการประมาณค่าด้วยสมการพหุนามดีกรีห้าและการประมาณค่าด้วย Spline ได้ผลดังภาพประกอบที่ 5-3 ภาพประกอบที่ 5-4 และภาพประกอบที่ 5-5

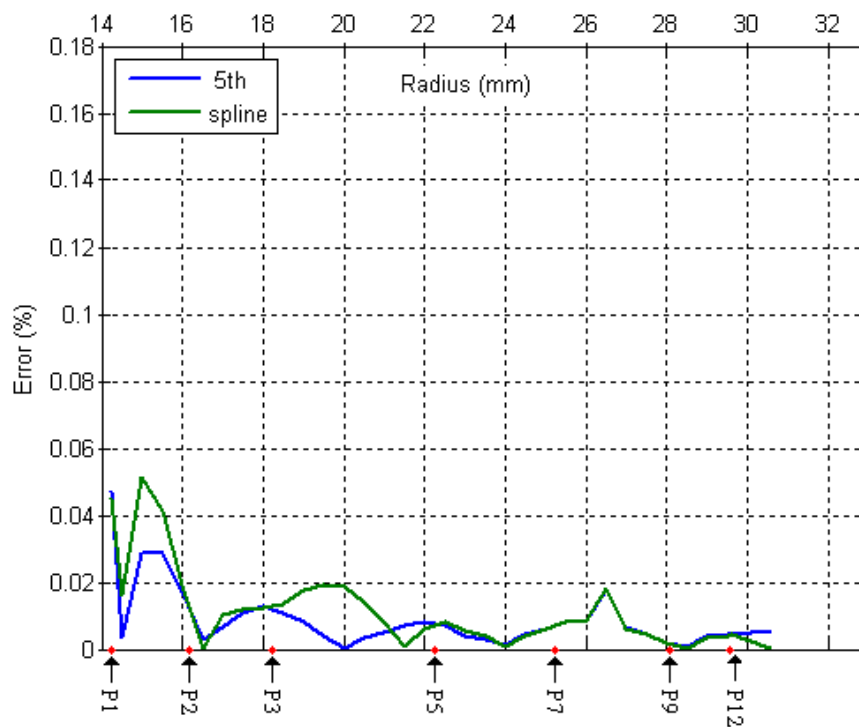


ภาพประกอบ 5-3 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการจำลอง 12 จุด



ภาพประกอบ 5-4 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการจำลอง 10 จุด

โดยการลดจุด P10 และ P11



ภาพประกอบ 5-5 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการจำลอง 7 จุด

โดยการลดจุด P4, P6, P8, P10 และ P11

จากภาพประกอบ 5-3 ภาพประกอบ 5-4 และภาพประกอบ 5-5 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดโดยการลดจำนวนจุดที่มีการวัด RWO พบว่าการลดจุดมีผลต่อการประมาณค่าทั้งสมการพหุนามดีกรีห้าหรือการประมาณค่าด้วยการประมาณค่าด้วย Spline

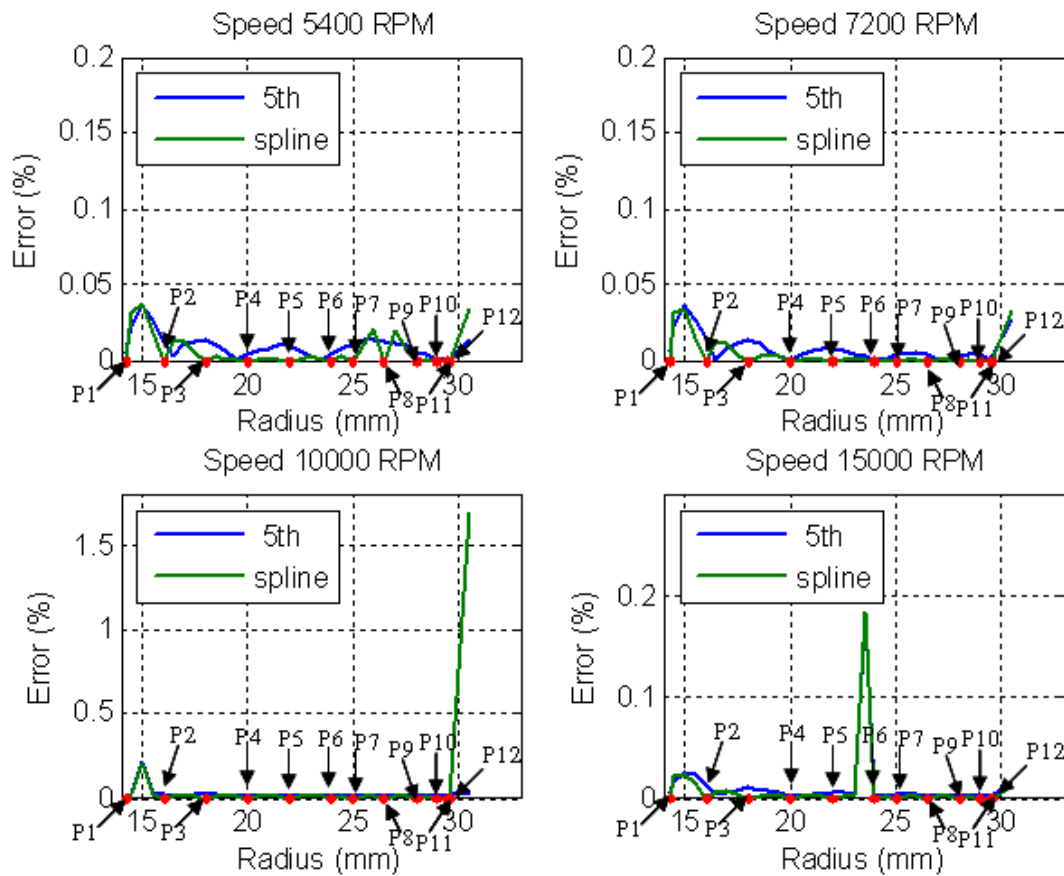
จากผลนี้ ผู้วิจัยได้สังเกตเห็นถึงความสำคัญของแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์การเพิ่มจำนวนจุด การปรับเปลี่ยนตำแหน่ง สำหรับการประมาณค่าที่เหมาะสมจากการพิจารณาผลของค่าความผิดพลาด ในหัวข้อที่ 5.3

5.3 ผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการจำลองโดยการเทียบจุดที่ใกล้เคียงจากการวัดจากโรงงาน

ผู้วิจัยเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการใช้วิธีการประมาณค่าที่ต่างกันคือการประมาณค่าด้วยสมการพหุนามดีกรีห้า และการประมาณค่าด้วย Spline ที่ความเร็วเชิงมุมที่ค่า 5400, 7200, 10000 และ 15000 รอบต่อนาทีเพื่อวิเคราะห์จำนวนจุดที่ใช้ในการสร้างสมการพหุนามดีกรีห้าโดยกำหนดตำแหน่งจุดวัดดังตารางที่ 5.2

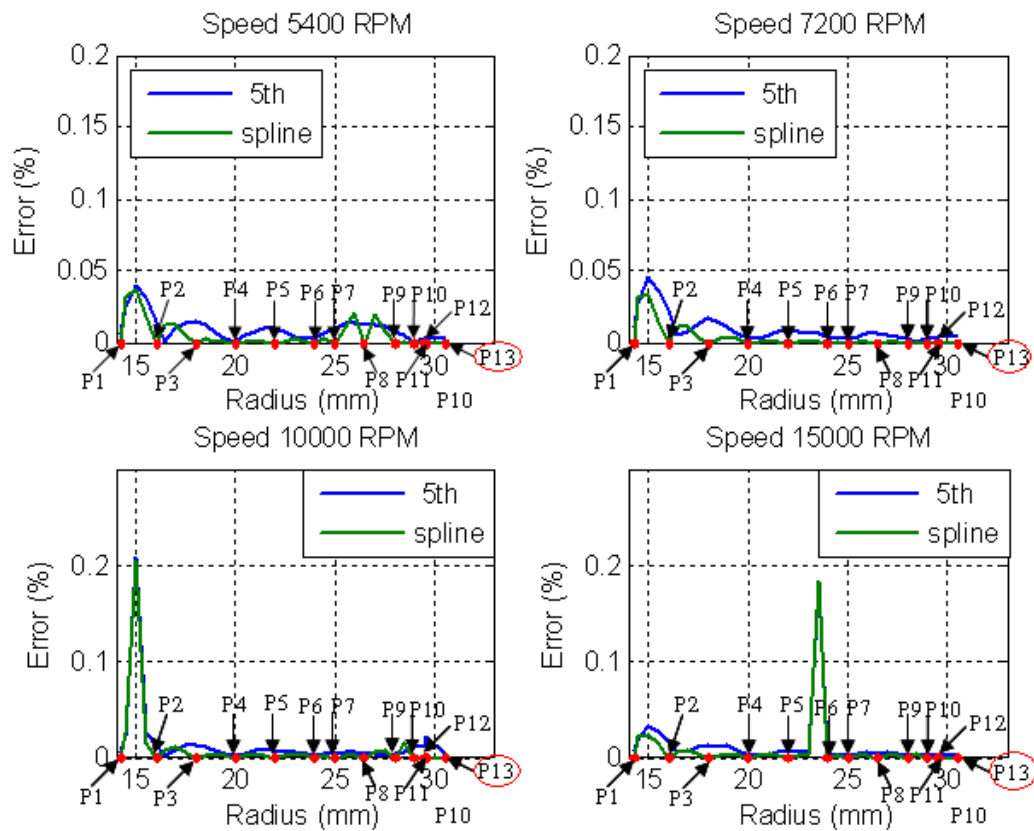
ตารางที่ 5.2 ตำแหน่งจุดและตำแหน่งรัศมีที่วัดจากการจำลอง

ตำแหน่งจุด	ตำแหน่งที่รัศมี (mm)	ตำแหน่งจุด	ตำแหน่งที่รัศมี (mm)
Point 1 (P1)	14.242	Point 7 (P1)	25.00
Point 2 (P2)	16.00	Point 8 (P8)	26.50
Point 3 (P3)	18.00	Point 9 (P9)	28.00
Point 4 (P4)	20.00	Point 10 (P10)	29.00
Point 5 (P5)	22.00	Point 11 (P11)	29.50
Point 6 (P6)	24.00	Point 12 (P12)	29.60
Point 13 (P13)	30.564	Point 14 (P14)	15.00
Point 15 (P15)	23.00	Point 16 (P16)	23.50
Point 17 (P17)	24.00		



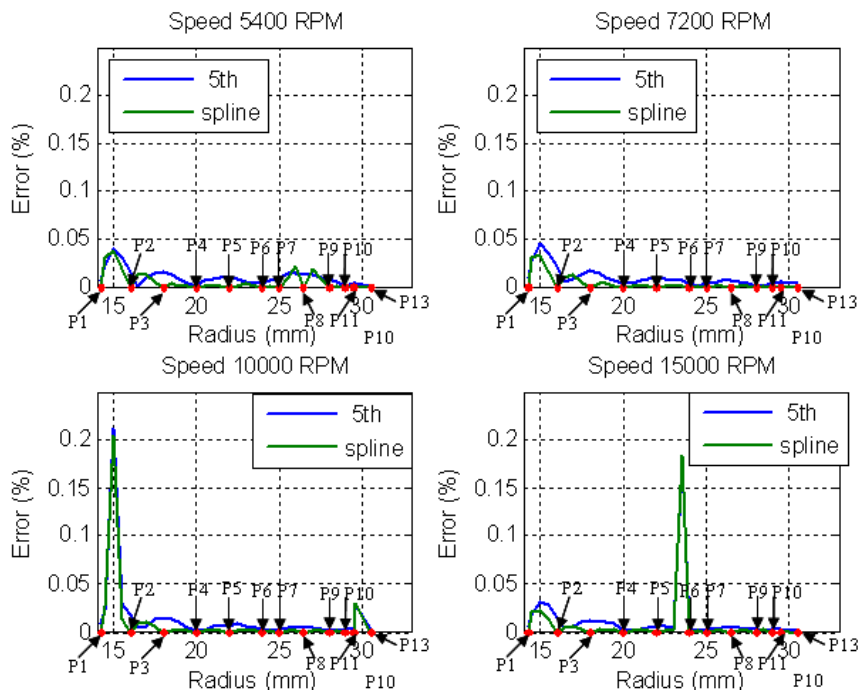
ภาพประกอบ 5-6 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการจำลอง 12 จุด โดยการเทียบจุด
ที่ใกล้เคียงจากการวัดจากโรงงาน

จากภาพประกอบ 5-6 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการจำลอง โดยใช้จุด 12 จุด (P1-P12 ตารางที่ 5.2) สำหรับการสร้างสมการพหุนามดีกรีห้าและการประมาณค่าด้วย Spline พบว่าที่บริเวณขอบนอกของแผ่นมีเดียซึ่งไม่ได้ทำการวัดทำให้เกิดการประมาณค่าช่วงของสมการพหุนามดีกรีห้าและการประมาณค่า Spline ทำให้ค่าความผิดพลาดสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดที่ความเร็ว 10000 RPM

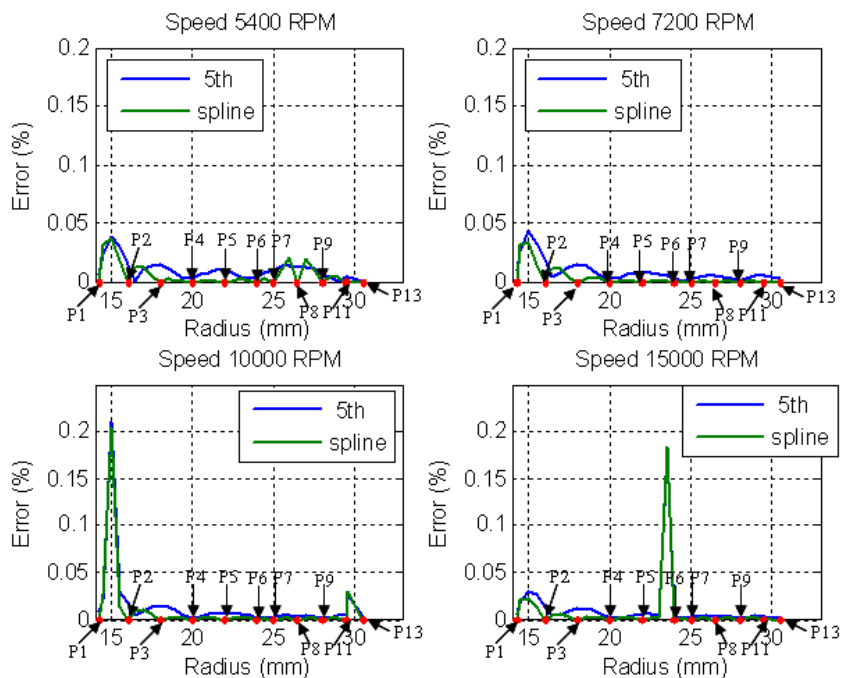


ภาพประกอบ 5-7 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการจำลอง 13 จุด
โดยการเพิ่มจุด P13

จากภาพประกอบ 5-7 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการจำลอง 13 จุด โดยเพิ่มจุด P13 สำหรับการสร้างสมการพหุนามดีกรีห้าและการประมาณค่าด้วย Spline ซึ่งจุดที่ P13 เป็นจุดที่อยู่นอกสุด (รัศมีเท่ากับ 30.564 ตาราง 5.2) เพื่อให้การประมาณค่าอยู่ในช่วงการประมาณค่าทำให้ค่าความผิดพลาดลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่ความเร็ว 10000 RPM โดยการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดกับความเร็ว 10000 RPM ของภาพประกอบที่ 5-6 นั้นลดลงอย่างเห็นได้ชัด

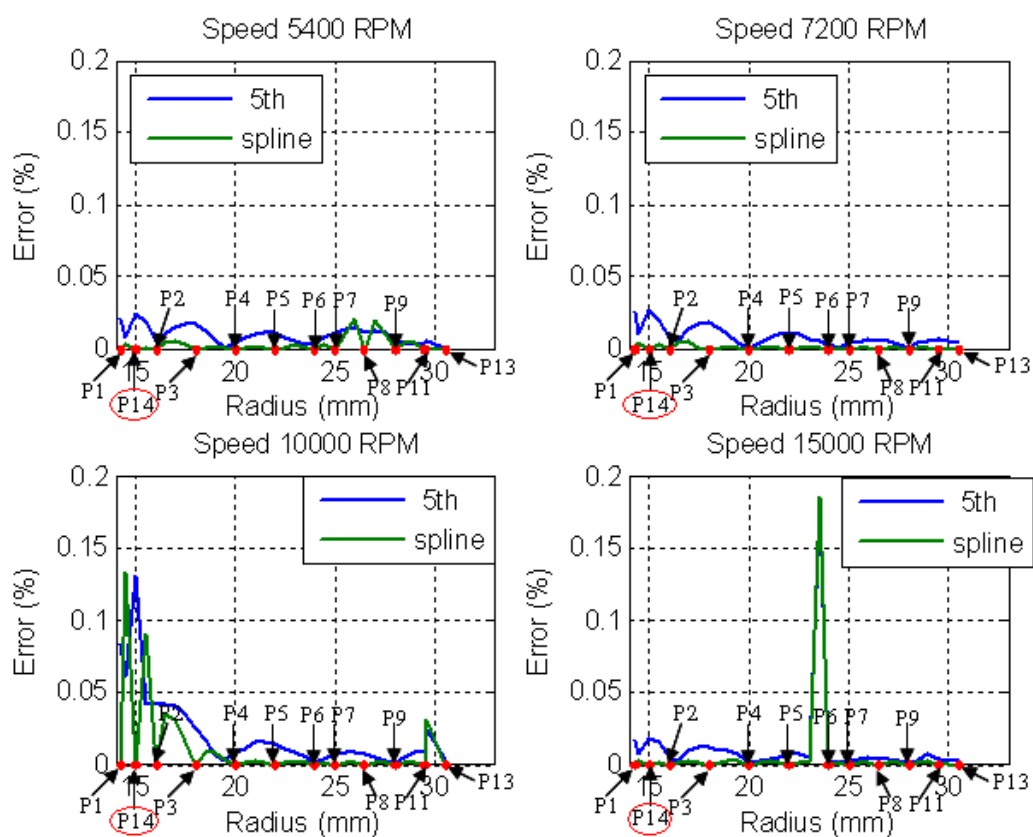


ภาพประกอบ 5-8 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการจำลอง 12 จุด โดยการเพิ่มจุด P13 และการลดจุด P12



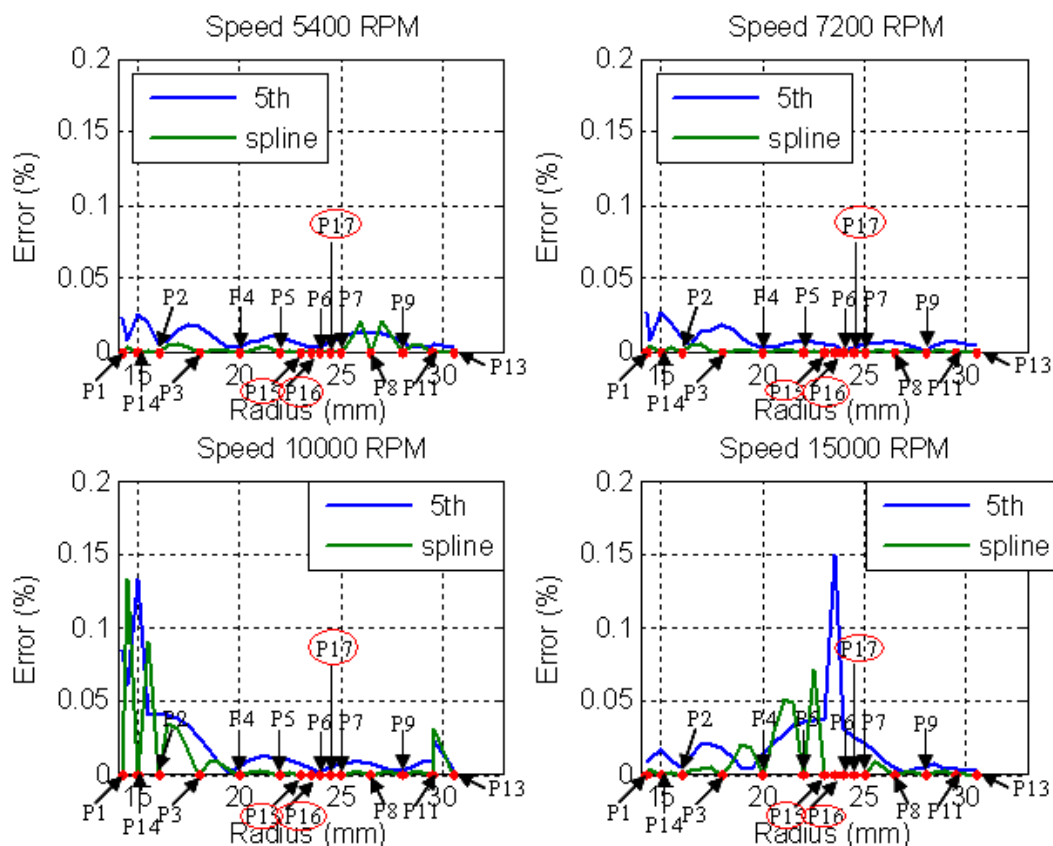
ภาพประกอบ 5-9 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการจำลอง 11 จุด โดยการเพิ่มจุด P13 และการลดจุด P10 P12

พิจารณาภาพประกอบ 5-8 และภาพประกอบ 5-9 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการจำลองโดยการลดเป็น 12 จุด (เพิ่มจุด P13 ลดจุด P12) และ 11 จุด (เพิ่มจุด P13 ลดจุด P10 และ P12) ตามลำดับ พบว่าเมื่อลดจำนวนจุดทำให้ค่าความผิดพลาดเปลี่ยนแปลงไปน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับภาพประกอบ 5-8 แต่ค่าความผิดพลาดที่บริเวณด้านในของแผ่นมีเดียที่ความเร็ว 10000 RPM ยังสูงกว่าบริเวณอื่น ซึ่งสามารถลดค่าความผิดพลาดนี้ได้โดยการเพิ่มจุดให้ตรงบริเวณที่มีค่าความผิดพลาดสูง ดังภาพประกอบ 5-10



ภาพประกอบ 5-10 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการจำลอง 12 จุด
โดยการลดจุด P10 P12 และเพิ่มจุด P14

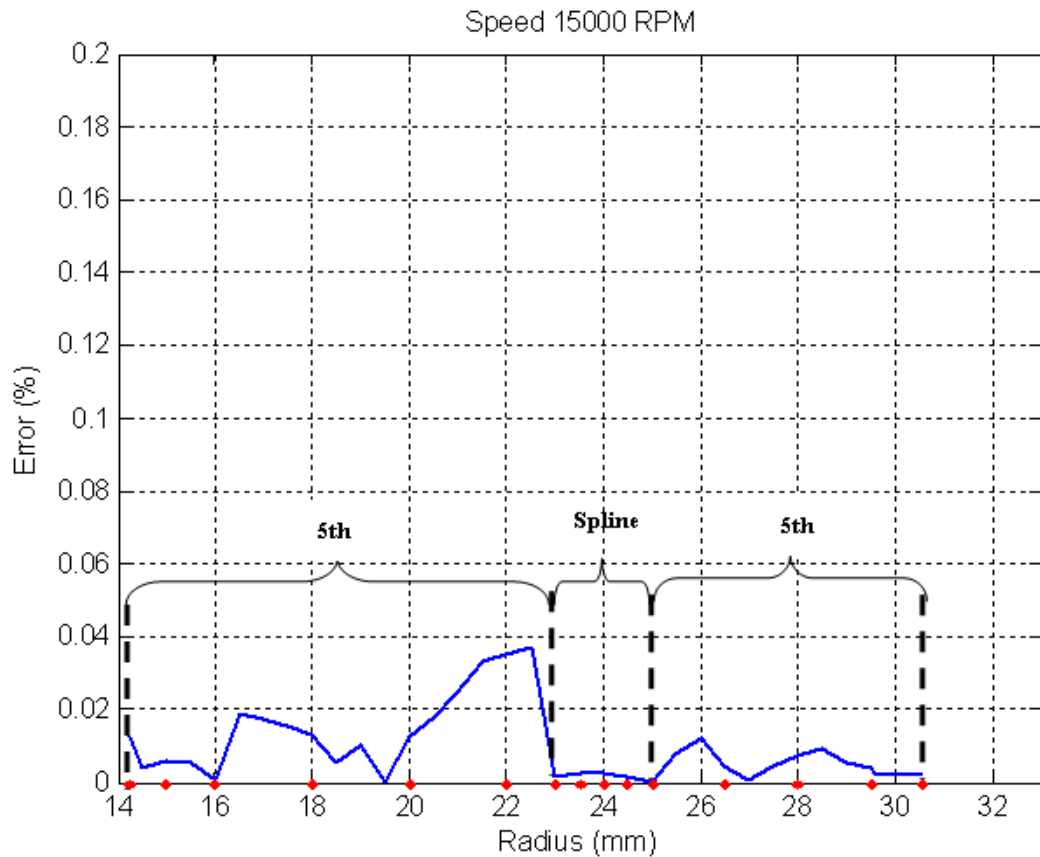
จากภาพประกอบ 5-10 ค่าความผิดพลาดที่ตำแหน่งกลางของมีเดียที่ความเร็ว 15000 RPM มีค่าความผิดพลาดสูง ซึ่งสามารถลดค่าความผิดพลาดนี้ได้โดยการเพิ่มจุดให้ตรงบริเวณที่มีค่าความผิดพลาดสูงคือ P15 P16 และ P17 ผลที่ได้เป็นดังภาพประกอบ 5-11



ภาพประกอบ 5-11 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการจำลอง 14 จุด
โดยการลดจุด P10 P12 และเพิ่มจุด P15 P16 P17

จากภาพประกอบ 5-11 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการจำลองใช้ 14 จุด โดยการเพิ่มจุด P15 P16 และ P17 (จากตาราง 5.2) เพื่อลดค่าความผิดพลาดที่ค่าสูง และ พบว่าค่าความผิดพลาดของที่ตำแหน่ง 15.00 mm มีค่าความผิดพลาดลดลง แต่ค่าความผิดพลาดของความเร็ว 15000 RPM มีค่าสูงอยู่เมื่อมีการคำนวณด้วยสมการพหุนามดีกรีห้าแต่จะมีค่าลดลงเมื่อมีการคำนวณด้วย Spline

ผู้วิจัยมีแนวคิดในการลดค่าความผิดพลาดโดยการปรับจุดที่เหมาะสมสำหรับการสร้างสมการพหุนามในการประมาณค่า และใช้การประมาณค่าด้วย Spline ช่วยสำหรับกรณีที่สมการพหุนามคำนวณแล้วค่าความผิดพลาดสูง โดยผลการประยุกต์ใช้สองวิธีการนี้รวมกันดังในภาพประกอบที่ 5-12 ไว้สำหรับแก้ปัญหาในกรณีที่สมการพหุนามสามารถแก้ไขได้



ภาพประกอบ 5-12 ความผิดพลาดที่ลดลงเมื่อมีการประมาณค่า
ระหว่างสมการพหุนามกำลังห้ากับสมการ Spline

ภาพประกอบ 5-12 แสดงค่าความผิดพลาดที่ลดลงเมื่อมีการประมาณค่าระหว่างสมการพหุนามกำลังห้ากับสมการ Spline เมื่อเทียบกับความเร็วที่ 15000 RPM โดยผลนี้ใช้หลักการคือหาจุดที่เหมาะสมสำหรับค่าความผิดพลาดที่น้อยที่สุด เมื่อได้จำนวนจุดที่เหมาะสมแล้ว ความผิดพลาดมีค่าสูงอยู่ก็ใช้การประมาณค่าด้วย Spline ผสมเข้าไปเพราะเปรียบเทียบการกำหนดจุดเนื่องจากคุณสมบัติของการประมาณค่าด้วย Spline

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาปัจจัยการทำให้เกิดระยะเยื้องการอ่านและการเขียนข้อมูล ผู้วิจัยสังเกตเห็นประเด็นปัญหาจากความเร็วลมเป็นหลัก โดยตัดปัจจัยอื่น ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการสร้างแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ ซึ่งการสร้างแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ต้องอาศัยข้อมูลจากผลการเบี่ยงเบนจากฮาร์ดดิสต์กับผลของการเบี่ยงเบนจากการออกแบบโดยผู้ผลิต เนื่องจากสไลเดอร์จะบินอยู่บนแผ่นมีเดียระยะประมาณ 10 nm แรงประทะของลมที่สไลเดอร์จะมีค่าต่ำกว่าแรงที่แผ่นมีเดียจึงต้องทำการสอบเทียบ (Calibration) กับค่า RWO ที่วัดจากโรงงานในสภาพแวดล้อมเดียวกัน 30 องศาเซลเซียส 5400 RPM โดยขนาดของแรงที่สไลเดอร์หาได้โดยการคูณแรงที่แผ่นมีเดียด้วยค่า 0.1015 เพื่อให้สอดคล้องกับผลที่วัดได้จากโรงงาน ข้อดีของแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์นี้ทำให้สามารถวิเคราะห์แนวโน้มการชดเชยด้วยวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียนได้และจากระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียนนี้สามารถช่วยให้การวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมสำหรับการใช้เพื่อการประมาณค่าของระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียนได้อย่างเหมาะสมอีกทั้งแก้ปัญหาอันเนื่องมาจากการประมาณค่าได้ด้วยกับปรับจุดหรือการเปลี่ยนวิธีการแบบผสมเพื่อให้ได้ค่าความผิดพลาดน้อยสุด

บทนี้ผู้วิจัยกล่าวถึงบทสรุปเกี่ยวกับงานวิจัย ปัญหาและอุปสรรค ข้อวิจารณ์และข้อเสนอแนะสำหรับระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการเขียนการอ่านข้อมูลเพื่อเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่ต้องการศึกษาและเป็นแนวทางในการพัฒนาระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการเขียนการอ่านข้อมูล

6.1 สรุปผล

6.1.1 การศึกษาผลของการคำนวณการเกิดความเร็วลม

จากการศึกษาผลของการคำนวณการเกิดความเร็วลมพบว่าความเร็วลมที่เกิดขึ้นนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วเชิงมุมในการหมุนของแผ่นมีเดียและค่าความเร็วจะเพิ่มขึ้นตามแนวรัศมีของแผ่นมีเดียเป็นความเร็วเชิงเส้น ผลของความเร็วเชิงเส้นนี้นำไปเป็นความเร็วที่ใช้ในการคำนวณค่าแรงที่ปะทะกับสไลเดอร์

6.1.2 การศึกษาผลของการคำนวณการเกิดแรง

จากการศึกษาผลของการคำนวณการเกิดแรงพบว่าค่าแรงที่เกิดขึ้นตามรัศมีของแผ่นมีเดีย เพิ่มขึ้นตามพื้นที่ผิวที่ปะทะ ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากค่าความหนาแน่นของอากาศลดลงตามผลที่แสดงในบทที่ 4

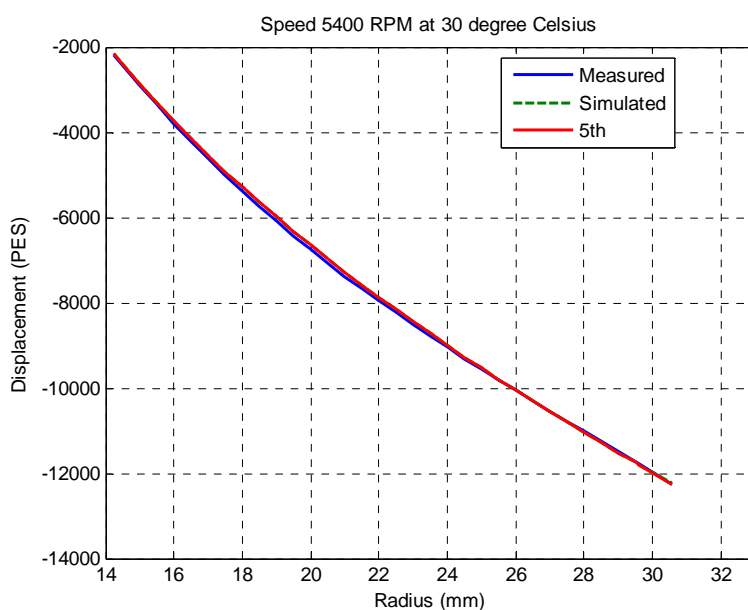
6.1.3 การศึกษาผลแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์

จากการศึกษาผลของแบบจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์พบว่าการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์จะแปรผันตรงกับค่าแรงที่มาปะทะกับสไลเดอร์กล่าวคือเมื่อแรงมีค่าเพิ่มขึ้นการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์เพิ่มขึ้นด้วย

6.1.4 การศึกษาผลของระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียน

จากการศึกษาผลของระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียนพบว่าการเลือกใช้จุดที่เหมาะสมสามารถลดค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการประมาณค่าได้ดี โดยการใช้จำนวนจุดที่เหมาะสมสำหรับการประมาณค่าด้วยสมการพหุนามกำลังห้าและการประมาณค่าด้วย Spline ด้วย

จากผลของระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียนนี้ อาศัยผลจากการวัดค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าทำให้สามารถหาจำนวนจุดที่เหมาะสมสำหรับใช้ประมาณค่าและสามารถเลือกช่วงการใช้วิธีการประมาณค่าได้อีกด้วยกล่าวคือสำหรับที่จุดที่มีค่าความผิดพลาดมากสามารถแก้ปัญหาด้วยการเลือกใช้วิธีการประมาณค่าแบบ Spline ได้



ภาพประกอบ 6-1 การเปรียบเทียบการประมาณค่า

จากภาพประกอบ 6-1 แสดงการเปรียบเทียบการประมาณค่าของฮาร์ดดิสก์ที่ความเร็ว 5400 รอบต่อนาที จากภาพประกอบ 6-1 จะเห็นได้ว่า PES ที่ได้จากการประมาณค่าสมการพหุนามดีกรีห้า PES ที่ได้จากการจำลองและ PES ที่วัดจากโรงงานพบว่ามีความใกล้เคียงกัน ทำให้เชื่อมั่นได้ว่าผลจากการจำลองและการประมาณค่าสมการพหุนามดีกรีห้านี้สามารถนำไปใช้ที่ความเร็วรอบของฮาร์ดดิสก์ที่ความเร็วอื่น ๆ ได้

6.2 ปัญหา

6.2.1 องค์ความรู้และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเรื่องปัจจัยการทำให้เกิดระยะระหว่างการอ่านการเขียนข้อมูล มีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ในการจำลองนี้ต้องทำการตัดปัจจัยอื่น ๆ เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดจากลมเพียงอย่างเดียว

6.2.2 โปรแกรมสำหรับการจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์เป็นโปรแกรมเฉพาะทาง มีหลายโปรแกรมที่สามารถใช้งานในลักษณะเดียวกัน ผู้วิจัยจึงต้องใช้เวลาเพื่อการศึกษาโปรแกรมและเลือกใช้โปรแกรมที่ใช้งานได้สะดวก ผลออกมาตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ อีกทั้งการติดตั้งโปรแกรมมีความซับซ้อนในการใช้งาน

6.2.3 ในการจำลองการเบี่ยงเบนสไลเดอร์นี้เป็นการจำลองแบบอยู่นิ่ง ไม่ได้คำนวณแบบพลวัตเนื่องจากการคำนวณแบบพลวัตมีการแปรปรวนของลมที่เกิดขึ้นภายในฮาร์ดดิสก์ด้วย อีกทั้งปัจจัยอื่นที่ยากต่อการควบคุมและข้อจำกัดของโปรแกรมในการกำหนดเงื่อนไขที่ใช้ อันได้แก่ความไม่ราบเรียบของแผ่นมีเดีย ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในฮาร์ดดิสก์ จึงจำเป็นต้องมองข้ามปัญหาเหล่านี้ในการจำลองปัจจัยที่เกิดจากลม

6.3 ข้อเสนอแนะ

6.3.1 ผู้ที่สนใจที่จะวิจัยเกี่ยวกับการจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์นี้ต้องเน้นให้ความสำคัญในการออกแบบชิ้นงานให้เหมือนจริงมากที่สุด รวมทั้งการกำหนดเงื่อนไขที่ครอบคลุมของปัญหา ทั้งวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้งานจริง เพื่อผลลัพธ์ที่ออกมานั้นสอดคล้องกับของจริงมากที่สุด และการจำลองการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์นี้ผู้ที่สนใจสามารถลดการเบี่ยงเบนได้โดยสามารถเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ในการจำลองเนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ต่างกัน

6.3.2 ข้อควรระวังในการใช้ซอฟต์แวร์ ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการใช้ซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์จะมีความถูกต้องเที่ยงตรงสูงมากเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับความรู้ความสามารถและต้องทราบให้ชัดเจนว่าซอฟต์แวร์ที่ใช้เพื่อการวิเคราะห์นั้น ตั้งอยู่บนรากฐานของสมการเชิงอนุพันธ์แบบใด การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์ที่ไม่เหมาะสม การสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งประกอบด้วยเอลิเมนต์ที่มีขนาดใหญ่หรือเรียงยาวเกินไป การกำหนดขอบเขตเงื่อนไขของปัญหา สิ่งทีกล่าวมานี้ล้วนเป็นปัจจัยการได้มาซึ่งผลลัพธ์ที่แม่นยำ

บรรณานุกรม

- [1] Philip R Woods. Method of measuring the read to write offset in a disk drive having separate read and write elements., Oklahoma patent 6061201, 2000.
- [2] Fong Kheon Chong, Quea Jeong Choo, Myint Nqwe, Jun Wang, and Kah Liang Gan. Method and apparatus for determining read to write head offset a disk drive., Singapore patent US6839193B2, 2005
- [3] Edmum Chain Song Seng, Xiong Liu, Aik Chuan Lim, Kay Hee Tang, Utt Heng Kan, and Choon Kait Lim. Optimal reader to writer offset measurement of a head in a disk Drive for reduced track misregistration., Singapore patent US6754030B2, 2004.
- [4] Tan, Sundaravadivelu, et al. Flow Structural Interaction of the Actuator Arm in Hard Disk Drive., IEEE Xplore., 2006
- [5] Song, Damodaran and Quock. Simulation of Flow Field and Practical Trajectories in hard Disk Drive Enclosures., Seagate Technology International.
- [6] สุขชัย พลน้ำเที่ยง, เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต. การจำลองการไหลของอากาศภายในฮาร์ดดิสก์ขนาด1.8 นิ้ว ที่ความเร็วรอบต่างกัน., วารสารวิจัย มข มกราคม 2552, หน้า 100 - 111
- [7] Abdullah Al Mamun, GuoXiao Guo, Chao Bi. Hard Disk Drive Mechatronics and Control. USA: Taylor & Francis Group, 2006
- [8] Mamun, Lee, Guo, Wong, and Ye. Measurement of Position Offset in Hard Disk Drive Using Dual Frequency Servo Bursts. IEEE Transactions on Instrumentation and measurement., vol. 52, December 2003, pp. 1870-1880
- [9] Nanyang Technological University. Hard Disk Drives, [Online] December 12 2008. <http://www.lintech.org/comp-per/10HDDISK.pdf>
- [10] Keiji Shimatani, Magnetic disk apparatus and optimum offset measurement method. Japan. Patent. NO US6476992B1. Nov 5, 2002
- [11] ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์. การประเมินผลสัญญาณสำหรับการจัดเก็บข้อมูลดิจิทัล เล่ม1: พื้นฐานช่องสัญญาณอ่าน-เขียน., ธนาพรส ,กรุงเทพฯ
- [12] Albert Tan Chok Shiong, Maria Anastasia Suriadi, and Zhang Qide. Study on Air Flow Induced Vibration in a Simplified Hard Disk Drive using LES., IEEE Xplore., Data Storage Institute of Singapore., July 28, 2006.

- [13] Wikipedia. Drag equation, [Online] September 8 2009.
http://en.wikipedia.org/wiki/Drag_equation.
- [14] Wikipedia. Drag coefficient, [Online] September 8 2009.
http://en.wikipedia.org/wiki/Drag_coefficient.
- [15] Wikipedia. Density of air, [Online] September 8 2009.
http://en.wikipedia.org/wiki/Mass_density.
- [16] ปราโมทย์ เดชะอำไพ, วิโรจน์ ลิ้มตระการ. การประยุกต์ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย SolidWorks[®] Simulation. กรุงเทพฯ, 2552
- [17] ศุภวรรณ เลิศไกร. Interpolation, [Online] June 25 2009.
http://hpcmath.kmutt.ac.th/roll-documentation/more_documents/numerical/lecture_notes/chapter_4.pdf.
- [18] Wisconsin. Spline,[Online] June 30 2009
http://minds.wisconsin.edu/bitstream/handle/1793/7779/ch1_2.pdf?sequence=16
- [19] Wikipedia. B-spline, [Online] July 10 2009. <http://en.wikipedia.org/wiki/B-spline>
- [20] โสรัฎา แจ็งการ. การใช้งาน MATLAB สำหรับงานทางวิศวกรรม, [Online] January 10 2010. http://www.kmutt.ac.th/science/book/intromatlab_th.pdf.
- [21] SolidWorks. SolidWorks[®] Simulation, [Online] February 20 2010.
<http://www.solidworks.com/sw/products/fea-cfd-simulation-software.htm>
- [22] COMSOL Multiphysics. COMSOL 3.5, [Online] March 10 2010.
<http://www.comsol.com/products/multiphysics/>
- [23] ANSYS. ANSYS-FLUENT, [Online] March 10 2010.
<http://www.ansys.com/products/fluid-dynamics/fluent/>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก MATLAB Program

```

%% Program Calculate Velocity and Force
clear all;
Speed=5400;%RPM
f=Speed/60; %Hz
Dimension=65; %mm unit
Radius=importdata('Radius.txt');
R=(Radius(:,1))';
Radius1=(0:1:Dimension/2);
W=2*pi*f; %rad/s
V=W*R/1000; %m/s
RO=1.184; % at 25 °C
Cd=0.82;
Vsrt=V.*V;
%%area
YZ=(0.85*0.23*10e-6);%%Fx
XY=(0.85*0.70*10e-6);%%Fz
%%force
Fx=(YZ*RO*Cd*Vsrt*1000)/2;
Fz=(XY*RO*Cd*Vsrt*1000)/2;
figure(1)
plot(R,V,'b','LineWidth',2);
h = legend('Velocity',2);
set(h,'Interpreter','none')
title(['Velocity with Radial at speed ',num2str(Speed),' rpm']);
xlabel(['radial (mm) at disk is dimension ',num2str(Dimension),' mm']);
ylabel('velocity (m/s)');
grid on;
figure(2)
plot(R,Fx,'--b',R,Fz,'b','LineWidth',2)
h = legend('Fx','Fz',2);
set(h,'Interpreter','none')
title(['Force Drag with Radial at speed ', num2str(Speed),' rpm']);
xlabel(['radial (mm)at disk is dimension ',num2str(Dimension),' mm']);
ylabel('Force Drag (mN)');
grid on;

```

```

%% Program show Fig.4-1
clear all;
velocity = importdata('VelocityTable.txt');
Radial      =(velocity(:,1))';
V3600      =(velocity(:,2))';
V5400      =(velocity(:,3))';
V7200      =(velocity(:,4))';
V10000     =(velocity(:,5))';
V15000     =(velocity(:,6))';
plot(Radial,V5400,'--',Radial,V7200,'-.',Radial,V10000,'--',
      Radial,V15000,'LineWidth',2);
legend('5400 RPM ','7200 RPM','10000 RPM ','15000 RPM ',2);
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Velocity (m/s)');grid on;
axis([13 32 0 50])

```



```

%% Program show Fig.4-2
clear all;
force = importdata('data.txt');
Radial =(force(:,1))';
F5400AT30=(force(:,2))';
F7200AT30=(force(:,3))';
F10000AT30=(force(:,4))';
F15000AT30=(force(:,5))';
plot(Radial,F5400AT30,Radial,F7200AT30,'-
.',Radial,F10000AT30,Radial,F15000AT30,'--','LineWidth',2);
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Force (mN)');grid on;
title('Force at temperature is 30 degree Celsius')
axis([13 32 0 0.8])
legend('Speed 5400 RPM ','Speed 7200 RPM ','Speed 10000 RPM ','Speed
15000 RPM ',2);

```

```

%% Program show Fig.4-3
clear all;
force = importdata('forceat5400.txt');
Radial =(force(:,1))';
F5400AT25=(force(:,2))';
F5400AT30=(force(:,3))';
F5400AT35=(force(:,4))';
plot(Radial,F5400AT25,'--',Radial,F5400AT30,'-
.',Radial,F5400AT35,'LineWidth',2);
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Force (mN)');grid on;
title('Force of speed 5400 rpm at various temperatures ')
axis([13 32 0.01 0.1])
legend('25degree Celsius ','30degree Celsius','35degree Celsius',2);

```

```

%% Program show Fig.4-4
clear all
MeaOffset = importdata('17gb626e_mea_H1.txt');
Phy=(MeaOffset(:,2))';
RWO=(MeaOffset(:,4))';
winddis = importdata('winddisplacement.txt');
W5400=(winddis(:,2))';
point= importdata('RvsPES.txt');
p1=(point(:,1))';
figure(1)
plot(p1,W5400,'LineWidth',1.5);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Displacement (PES)');grid on;
title('Displacement at 30 degree Celsius')
axis([13 32 0 -13000])

```

```

%% Program show Fig.4-5
clear all
MeaOffset = importdata('17gb626e_mea_H1.txt');
Phy=(MeaOffset(:,2))';
RWO=(MeaOffset(:,4))';
winddis = importdata('winddisplacement.txt');
W5400=(winddis(:,2))';
point= importdata('RvsPES.txt');

```

```

p1=(point(:,1))';
p2=(point(:,2))';
p3=(point(:,3))';
%% find coefficient
format long;
cof=polyfit(Phy,RWO,3);
P1=cof(1);
P2=cof(2);
P3=cof(3);
P4=cof(4);
    %% Polynomial 5th
[no,m0]=size(p2);
n=1:1:m0;
h(n)=p2(n);
Hard=(P1*(h(n).^3))+(P2*(h(n).^2))+(P3*(h(n).^1))+(P4);
k=1200;
Harddisk=Hard-k;
wind=((p3))-((Harddisk));
sim=W5400+p3;
figure(3)
plot(p1,p3,'--',p1,Harddisk,'--',p1,sim,'LineWidth',1.5);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Displacement (PES)');grid on;
legend('Designed','Measured','Simulation ',2);
axis([13 32 0 -13000])

```

```

%% Program show Fig. 4-6
clear all
MeaOffset = importdata('17gb626e_mea_H1.txt');
Phy=(MeaOffset(:,2))';
RWO=(MeaOffset(:,4))';
winddis = importdata('winddisplacement.txt');
W5400=(winddis(:,2))';
W7200=(winddis(:,3))';
W10000=(winddis(:,4))';
W15000=(winddis(:,5))';
point= importdata('RvsPES.txt');
    p1=(point(:,1))';
    p2=(point(:,2))';
    p3=(point(:,3))';
%% find coefficient
format long;
cof=polyfit(Phy,RWO,3);
P1=cof(1);
P2=cof(2);
P3=cof(3);
P4=cof(4);
    %% Polynomial 5th
[no,m0]=size(p2);
n=1:1:m0;
h(n)=p2(n);
Hard=(P1*(h(n).^3))+(P2*(h(n).^2))+(P3*(h(n).^1))+(P4);
k=1200;
Harddisk=Hard-k;
wind=((p3))-((Harddisk));
wind5400=W5400+p3;
wind7200=W7200+p3;

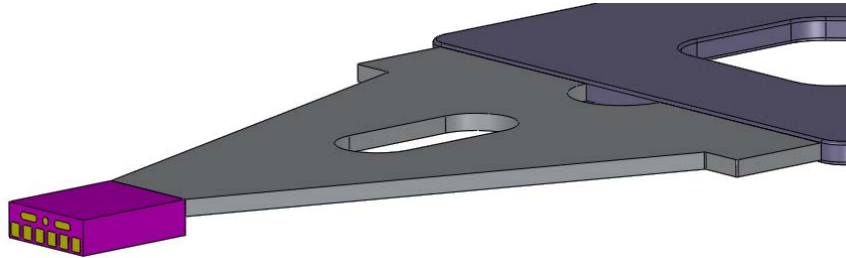
```

```
wind10000=W10000+p3;
wind15000=W15000+p3;
figure(1)
plot(p1,W5400,'-.',p1,W7200,'-.',p1,W10000,'-.',p1,W15000,'-
.','LineWidth',1.5);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Displacement (PES)');grid on;
title ('Displacement of Wind Effect at 30 degree Celsius')
legend('Simulation at 5400 rpm','Simulation at 7200 rpm','Simulation
at 10000 rpm','Simulation at 15000 rpm',2);
axis([13 32 0 -9000])
```

ภาคผนวก ข SolidWorks® Simulation

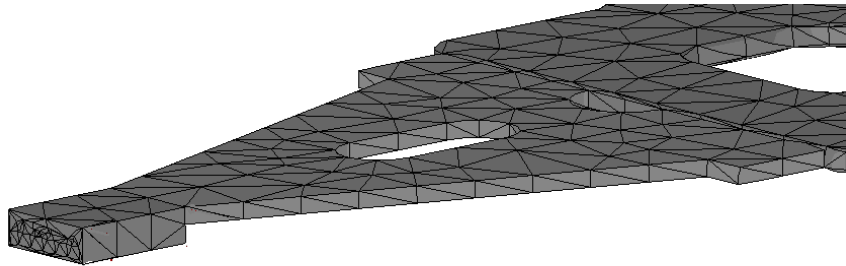
SolidWorks® Simulation

1. สร้างรูปทรงตามรูปที่ 1 ในโปรแกรม SolidWorks® Simulation



รูปที่ 1 รูปทรงสไลเดอร์

2. จากรูปทรงตามรูปที่ 1 แบ่งเป็นเอลิเมนต์ได้เป็นรูปที่ 2 และมีการกำหนดรายละเอียดดังตารางพารามิเตอร์

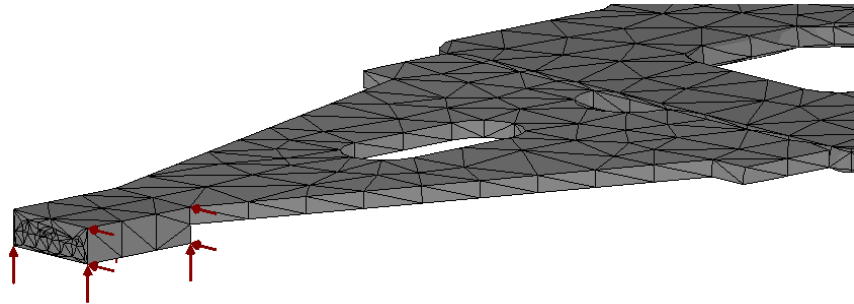


รูปที่ 2 เอลิเมนต์

ตารางพารามิเตอร์

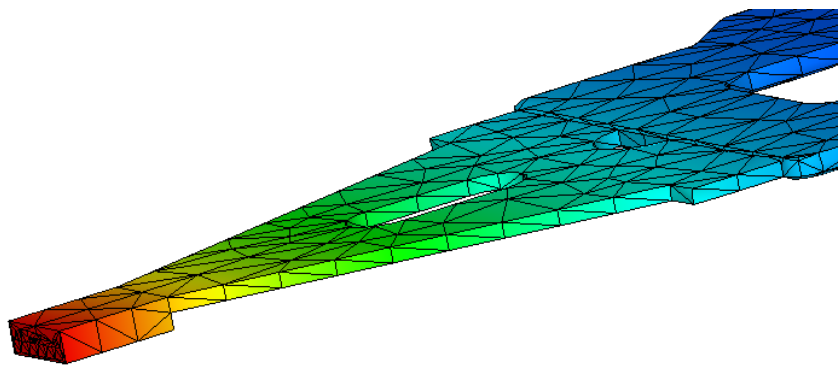
Material	Alloy6061
Element size	0.4 mm
Tolerance	0.02 mm
Total nodes	130650
Total elements	81425

3. การกำหนดเงื่อนไข โดยใส่แรงที่คำนวณได้จากโปรแกรม MATLAB ตามดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การกำหนดเงื่อนไข

4. เมื่อมีการ Simulation แสดงผลลัพธ์ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลการ Simulation

ภาคผนวก ค ผลของการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์

ผลของการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ที่ความเร็ว 5400 RPM					
อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส					
Point	Radial	Fx	Fz	F	Displacement
	mm	Nm	Nm	Nm	mm
1	13.966	0.00590730	0.017975650	0.018921421	0.000081793
2	14.242	0.00614075	0.018696300	0.019678934	0.000085072
3	14.500	0.00636405	0.019376350	0.020394707	0.000088166
4	15.000	0.00681065	0.020736450	0.021826253	0.000094355
5	15.500	0.00727755	0.022147300	0.023312349	0.000100770
6	16.000	0.00775460	0.023598750	0.024840186	0.000107380
7	16.500	0.00824180	0.025090800	0.026409762	0.000114170
8	17.000	0.00874930	0.026633600	0.028033888	0.000121190
9	17.500	0.00927710	0.028227150	0.029712566	0.000128440
10	18.000	0.00981505	0.029861300	0.031432983	0.000135870
11	18.500	0.01036315	0.031546200	0.033204783	0.000143540
12	19.000	0.01093155	0.033271700	0.035021491	0.000151390
13	19.500	0.01151010	0.035047950	0.036889581	0.000159470
14	20.000	0.01210895	0.036864800	0.038802579	0.000167740
15	20.500	0.01272810	0.038732400	0.040770128	0.000176240
16	21.000	0.01335740	0.040640600	0.042779417	0.000184920
17	21.500	0.01399685	0.042599550	0.044840088	0.000193840
18	22.000	0.01465660	0.044609250	0.046955310	0.000202980
19	22.500	0.01532650	0.046659550	0.049112271	0.000212310
20	23.000	0.01601670	0.048750450	0.051314141	0.000221820
21	23.500	0.01672720	0.050902250	0.053580204	0.000231610
22	24.000	0.01744785	0.053084500	0.055878364	0.000241540
23	24.500	0.01817865	0.055317500	0.058227907	0.000251700
24	25.000	0.01892975	0.057601250	0.060632000	0.000262100
25	25.500	0.01969100	0.059925600	0.063077833	0.000272670
26	26.000	0.02047255	0.062300700	0.065578217	0.000283480
27	26.500	0.02126425	0.064726550	0.068129983	0.000295420
28	27.000	0.02207625	0.067193000	0.070726657	0.000305740
29	27.500	0.02289840	0.069700050	0.073365071	0.000317150
30	28.000	0.02374085	0.072257850	0.076058036	0.000328790
31	28.500	0.02459345	0.074856250	0.078792740	0.000340610
32	29.000	0.02546635	0.077515550	0.081591639	0.000352710
33	29.500	0.02634940	0.080205300	0.084422633	0.000364950
34	29.600	0.02653210	0.080753400	0.085000376	0.000367440
35	30.564	0.02828805	0.086092300	0.090620626	0.000391740

ผลของการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ที่ความเร็ว 7200 RPM					
อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส					
Point	Radial	Fx	Fz	F	Displacement
	mm	Nm	Nm	Nm	mm
1	13.966	0.01050525	0.031962350	0.033644496	0.000145430
2	14.242	0.01092140	0.033231100	0.034979751	0.000151210
3	14.500	0.01131725	0.034449100	0.036260456	0.000156750
4	15.000	0.01210895	0.036864800	0.038802579	0.000167740
5	15.500	0.01293110	0.039361700	0.041431350	0.000179100
6	16.000	0.01378370	0.041949950	0.044156412	0.000190880
7	16.500	0.01465660	0.044609250	0.046955310	0.000202980
8	17.000	0.01555995	0.047349750	0.049840855	0.000215450
9	17.500	0.01648360	0.050181600	0.052819523	0.000228340
10	18.000	0.01744785	0.053084500	0.055878364	0.000241540
11	18.500	0.01842225	0.056078750	0.059027159	0.000255170
12	19.000	0.01943725	0.059154200	0.062265770	0.000269160
13	19.500	0.02047255	0.062300700	0.065578217	0.000283510
14	20.000	0.02153830	0.065538550	0.068986955	0.000298210
15	20.500	0.02262435	0.068857600	0.072479171	0.000313310
16	21.000	0.02374085	0.072257850	0.076058036	0.000328790
17	21.500	0.02488780	0.075739300	0.079723548	0.000344630
18	22.000	0.02605505	0.079301950	0.083472540	0.000360840
19	22.500	0.02725275	0.082945800	0.087308179	0.000377420
20	23.000	0.02848090	0.086670850	0.091230466	0.000394370
21	23.500	0.02972935	0.090487250	0.095245875	0.000411730
22	24.000	0.03100825	0.094374700	0.099338289	0.000429420
23	24.500	0.03231760	0.098353500	0.103526993	0.000447530
24	25.000	0.03364725	0.102403350	0.107789533	0.000465950
25	25.500	0.03500735	0.106544550	0.112148365	0.000484800
26	26.000	0.03639790	0.110756800	0.116584201	0.000503960
27	26.500	0.03780875	0.115060400	0.121113159	0.000523550
28	27.000	0.03925005	0.119445200	0.125728765	0.000543500
29	27.500	0.04071165	0.123911200	0.130427850	0.000563820
30	28.000	0.04220370	0.128458400	0.135213582	0.000584510
31	28.500	0.04372620	0.133086800	0.140085963	0.000605570
32	29.000	0.04527915	0.137796400	0.145044991	0.000627000
33	29.500	0.04685240	0.142587200	0.150087498	0.000648800
34	29.600	0.04716705	0.143561600	0.151111428	0.000653230
35	30.564	0.05029325	0.153062000	0.161112963	0.000696460

ผลของการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ที่ความเร็ว 10000 RPM					
อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส					
Point	Radial	Fx	Fz	F	Displacement
	mm	Nm	Nm	Nm	mm
1	13.966	0.0202594	0.06165110	0.06489454	0.00025052
2	14.242	0.0210613	0.06410740	0.06747840	0.00029170
3	14.500	0.0218327	0.06645205	0.06994669	0.00030237
4	15.000	0.0233653	0.07111090	0.07485117	0.00032570
5	15.500	0.0249487	0.07593215	0.07992577	0.00034551
6	16.000	0.0265829	0.08091580	0.08517050	0.00036818
7	16.500	0.0282779	0.08605170	0.09057889	0.00039155
8	17.000	0.0300136	0.09133985	0.09614459	0.00041561
9	17.500	0.0318000	0.09679040	0.10188041	0.00044041
10	18.000	0.0336473	0.10240335	0.10778953	0.00046595
11	18.500	0.0355453	0.10816855	0.11385914	0.00049219
12	19.000	0.0374941	0.11409615	0.12009887	0.00051916
13	19.500	0.0394937	0.12018615	0.12650873	0.00054687
14	20.000	0.0415440	0.12642840	0.13307907	0.00057527
15	20.500	0.0436450	0.13282290	0.13980990	0.00060437
16	21.000	0.0457968	0.13938995	0.14672050	0.00063425
17	21.500	0.0480095	0.14609910	0.15378511	0.00066478
18	22.000	0.0502628	0.15297065	0.16101667	0.00069604
19	22.500	0.0525770	0.16000460	0.16842153	0.00072805
20	23.000	0.0549318	0.16720095	0.17599335	0.00076079
21	23.500	0.0573475	0.17454955	0.18372883	0.00079423
22	24.000	0.0598140	0.18205040	0.19162478	0.00082836
23	24.500	0.0623312	0.18971365	0.19969086	0.00086324
24	25.000	0.0649093	0.19753930	0.20793024	0.00089884
25	25.500	0.0675280	0.20551720	0.21632694	0.00093514
26	26.000	0.0702076	0.21365750	0.22489693	0.00097218
27	26.500	0.0729278	0.22196020	0.23363387	0.00101000
28	27.000	0.0757089	0.23041515	0.24253447	0.00104840
29	27.500	0.0785407	0.23902235	0.25159556	0.00108760
30	28.000	0.0814233	0.24779195	0.26082677	0.00112750
31	28.500	0.0843567	0.25672395	0.27022811	0.00116810
32	29.000	0.0873408	0.26580820	0.27978993	0.00120950
33	29.500	0.0903756	0.27505485	0.28952188	0.00125150
34	29.600	0.0909846	0.27692245	0.29148626	0.00125850
35	30.564	0.0970137	0.29525335	0.31078320	0.00134350

ผลของการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ที่ความเร็ว 15000 RPM					
อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส					
Point	Radial	Fx	Fz	F	Displacement
	mm	Nm	Nm	Nm	mm
1	13.966	0.04557350	0.13870990	0.14600473	0.00063116
2	14.242	0.04739035	0.14424165	0.15182720	0.00065633
3	14.500	0.04912600	0.14951965	0.15738326	0.00068034
4	15.000	0.05257700	0.16000460	0.16842153	0.00072805
5	15.500	0.05613965	0.17085495	0.17984180	0.00077742
6	16.000	0.05981395	0.18205040	0.19162478	0.00082836
7	16.500	0.06361005	0.19361125	0.20379292	0.00088097
8	17.000	0.06752795	0.20551720	0.21632694	0.00093514
9	17.500	0.07155750	0.21778855	0.22924295	0.00099098
10	18.000	0.07570885	0.23041515	0.24253447	0.00104840
11	18.500	0.07997185	0.24338685	0.25618871	0.00110750
12	19.000	0.08435665	0.25672395	0.27022811	0.00116810
13	19.500	0.08885310	0.27041630	0.28463986	0.00123040
14	20.000	0.09346120	0.28446390	0.29942396	0.00129440
15	20.500	0.09820125	0.29885660	0.31457710	0.00135990
16	21.000	0.10304280	0.31361470	0.33010907	0.00142700
17	21.500	0.10800615	0.32872805	0.34601656	0.00149580
18	22.000	0.11309130	0.34419665	0.36229957	0.00156620
19	22.500	0.11828810	0.36002050	0.37895492	0.00163820
20	23.000	0.12360670	0.37619960	0.39598580	0.00171180
21	23.500	0.12903695	0.39273395	0.41338903	0.00177870
22	24.000	0.13458900	0.40962355	0.43116778	0.00186390
23	24.500	0.14025270	0.42686840	0.44931887	0.00194230
24	25.000	0.14603820	0.44446850	0.46784549	0.00202240
25	25.500	0.15193535	0.46242385	0.48674446	0.00210410
26	26.000	0.15795430	0.48073445	0.50601894	0.00218740
27	26.500	0.16408490	0.49940030	0.52566578	0.00227240
28	27.000	0.17033730	0.51842140	0.54568814	0.00235890
29	27.500	0.17671150	0.53780790	0.56609566	0.00244710
30	28.000	0.18318720	0.55753950	0.58686271	0.00253690
31	28.500	0.18979485	0.57762635	0.60800846	0.00262830
32	29.000	0.19651415	0.59807860	0.62953620	0.00272150
33	29.500	0.20334510	0.61887595	0.65142664	0.00281600
34	29.600	0.20472550	0.62307805	0.65584967	0.00283510
35	30.564	0.21827575	0.66432765	0.69926785	0.00302280

ตารางบันทึกผลการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ที่อุณหภูมิต่างกัน ของความเร็วรอบ 5400 RPM

Radial	velocity	อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส			อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส			อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส		
		Fx (Nm)	Fz (Nm)	Displacement (mm)	Fx (Nm)	Fz (Nm)	Displacement (mm)	Fx (Nm)	Fz (Nm)	Displacement (mm)
14.242	8.054	0.00625240	0.01901095	0.00008650	0.00614075	0.01869630	0.00008507	0.00604940	0.01840195	0.00008373
14.500	8.200	0.00647570	0.01971130	0.00008969	0.00636405	0.01937635	0.00008817	0.00627270	0.01908200	0.00008683
15.000	8.482	0.00693245	0.02109170	0.00009597	0.00681065	0.02073645	0.00009436	0.00670915	0.02041165	0.00009288
15.500	8.765	0.00739935	0.02252285	0.00010248	0.00727755	0.02214730	0.00010077	0.00716590	0.02180220	0.00009920
16.000	9.048	0.00788655	0.02399460	0.00010918	0.00775460	0.02359875	0.00010738	0.00763280	0.02323335	0.00010572
16.500	9.331	0.00838390	0.02552725	0.00011615	0.00824180	0.02509080	0.00011417	0.00812000	0.02470510	0.00011241
17.000	9.613	0.00890155	0.02709035	0.00012327	0.00874930	0.02663360	0.00012119	0.00861735	0.02622760	0.00011934
17.500	9.896	0.00942935	0.02871435	0.00013066	0.00927710	0.02822715	0.00012844	0.00913500	0.02779070	0.00012645
18.000	10.179	0.00997745	0.03037895	0.00013823	0.00981505	0.02986130	0.00013587	0.00966280	0.02940455	0.00013380
18.500	10.462	0.01054585	0.03208415	0.00014599	0.01036315	0.03154620	0.00014354	0.01020075	0.03105900	0.00014132
19.000	10.744	0.01112440	0.03384010	0.00015398	0.01093155	0.03327170	0.00015139	0.01075900	0.03275405	0.00014904
19.500	11.027	0.01171310	0.03564680	0.00016220	0.01151010	0.03504795	0.00015947	0.01133755	0.03449985	0.00015698
20.000	11.310	0.01232210	0.03750425	0.00017065	0.01210895	0.03686480	0.00016774	0.01192625	0.03629640	0.00016516
20.500	11.593	0.01294125	0.03940230	0.00017929	0.01272810	0.03873240	0.00017624	0.01252510	0.03813355	0.00017351
21.000	11.875	0.01358070	0.04134095	0.00018811	0.01335740	0.04064060	0.00018492	0.01314425	0.04001130	0.00018206
21.500	12.158	0.01424045	0.04333035	0.00019716	0.01399685	0.04259955	0.00019384	0.01378370	0.04193980	0.00019083
22.000	12.441	0.01491035	0.04537050	0.00020644	0.01465660	0.04460925	0.00020298	0.01443330	0.04391905	0.00019984

ตารางบันทึกผลการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ที่อุณหภูมิต่างกัน ของความเร็วรอบ 5400 RPM (ต่อ)										
Radial	velocity	อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส			อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส			อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส		
Mm	m/s	Fx (Nm)	Fz (Nm)	Displacement (mm)	Fx (Nm)	Fz (Nm)	Displacement (mm)	Fx (Nm)	Fz (Nm)	Displacement (mm)
22.500	12.724	0.01559040	0.04746140	0.00021596	0.01532650	0.04665955	0.00021231	0.01509305	0.04593890	0.00020903
23.000	13.006	0.01629075	0.04959290	0.00022566	0.01601670	0.04875045	0.00022182	0.01577310	0.04799935	0.00021841
23.500	13.289	0.01701140	0.05177515	0.00023559	0.01672720	0.05090225	0.00023161	0.01646330	0.05011055	0.00022801
24.000	13.572	0.01774220	0.05399800	0.00024570	0.01744785	0.05308450	0.00024154	0.01717380	0.05226235	0.00023780
24.500	13.854	0.01849330	0.05627160	0.00025605	0.01817865	0.05531750	0.00025170	0.01789445	0.05446490	0.00024783
25.000	14.137	0.01925455	0.05859595	0.00026662	0.01892975	0.05760125	0.00026210	0.01863540	0.05670805	0.00025803
25.500	14.420	0.02002595	0.06096090	0.00027738	0.01969100	0.05992560	0.00027267	0.01938650	0.05900195	0.00026847
26.000	14.703	0.02082780	0.06337660	0.00028838	0.02047255	0.06230070	0.00028348	0.02015790	0.06133645	0.00027909
26.500	14.985	0.02162965	0.06583290	0.00029955	0.02126425	0.06472655	0.00029542	0.02093945	0.06372170	0.00028995
27.000	15.268	0.02245180	0.06833995	0.00031096	0.02207625	0.06719300	0.00030574	0.02173115	0.06614755	0.00030098
27.500	15.551	0.02329425	0.07089775	0.00032260	0.02289840	0.06970005	0.00031715	0.02254315	0.06862415	0.00031225
28.000	15.834	0.02414685	0.07349615	0.00033442	0.02374085	0.07225785	0.00032879	0.02337545	0.07114135	0.00032371
28.500	16.116	0.02501975	0.07614530	0.00034642	0.02459345	0.07485625	0.00034061	0.02421790	0.07369915	0.00033534
29.000	16.399	0.02590280	0.07884520	0.00035876	0.02546635	0.07751555	0.00035271	0.02507050	0.07630770	0.00034721
29.500	16.682	0.02680615	0.08158570	0.00037123	0.02634940	0.08020530	0.00036495	0.02594340	0.07896700	0.00035931
29.600	16.738	0.02698885	0.08213380	0.00037372	0.02653210	0.08075340	0.00036744	0.02612610	0.07950495	0.00036176
30.564	17.284	0.02877525	0.08757420	0.00039848	0.02828805	0.08609230	0.00039174	0.02785160	0.08476265	0.00038569

ภาคผนวก ง โปรแกรมระเบียบวิธีการการประมาณค่าด้วย MATLAB

```

%% Program show Fig.5-1
clear all
Data= importdata('TableDisplacementAT30C.txt');
Radius=(Data(:,1))';
Measured=(Data(:,2))';
RPM5400=(Data(:,3))';
point= importdata('point12.txt');
Z=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
R=(point(:,1))';
RWO=(point(:,2))';
coe=polyfit(R,RWO,3);
offset_poly3_measured = polyval(coe,Radius);
coe=polyfit(R,RWO,4);
offset_poly4_measured = polyval(coe,Radius);
coe=polyfit(R,RWO,5);
offset_poly5_measured = polyval(coe,Radius);
coe=polyfit(R,RWO,6);
offset_poly6_measured = polyval(coe,Radius);
coe=polyfit(R,RWO,7);
offset_poly7_measured = polyval(coe,Radius);
error_poly_measured3=abs(((Measured-
offset_poly3_measured)./Measured)*100);
error_poly_measured4=abs(((Measured-
offset_poly4_measured)./Measured)*100);
error_poly_measured5=abs(((Measured-
offset_poly5_measured)./Measured)*100);
error_poly_measured6=abs(((Measured-
offset_poly6_measured)./Measured)*100);
error_poly_measured7=abs(((Measured-
offset_poly7_measured)./Measured)*100);
figure(4)
plot(Radius,error_poly_measured3,'--
g',Radius,error_poly_measured4,'k',Radius,error_poly_measured5,Radius
,error_poly_measured6,Radius,error_poly_measured7,R,Z,'.R','LineWidth
',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title('Comparison error of polynomial');
legend('Error polynomial 3 order','Error polynomial 4 order','Error
polynomial 5 order','Error polynomial 6 order','Error polynomial 7
order',2);

```

```

%% Program show Fig.5-2
clear all
Data= importdata('TableDisplacementAT30C.txt');
Radius=(Data(:,1))';
RPM5400=(Data(:,3))';
point= importdata('point12.txt');
Z=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
R=(point(:,1))';
x=Radius;
y=RPM5400;
coe=polyfit(x,y,7);
offset = polyval(coe,R);
coe=polyfit(R,offset,3);
offset_poly3_simulated = polyval(coe,Radius);
coe=polyfit(R,offset,4);

```

```

offset_poly4_simulated = polyval(coe,Radius);
coe=polyfit(R,offset,5);
offset_poly5_simulated = polyval(coe,Radius);
coe=polyfit(R,offset,6);
offset_poly6_simulated = polyval(coe,Radius);
coe=polyfit(R,offset,7);
offset_poly7_simulated = polyval(coe,Radius);
error_poly_simulated3=abs(((RPM5400-
offset_poly3_simulated)./RPM5400)*100);
error_poly_simulated4=abs(((RPM5400-
offset_poly4_simulated)./RPM5400)*100);
error_poly_simulated5=abs(((RPM5400-
offset_poly5_simulated)./RPM5400)*100);
error_poly_simulated6=abs(((RPM5400-
offset_poly6_simulated)./RPM5400)*100);
error_poly_simulated7=abs(((RPM5400-
offset_poly7_simulated)./RPM5400)*100);
figure(3)
plot(Radius,error_poly_simulated3,Radius,error_poly_simulated4,Radius
,error_poly_simulated5,Radius,error_poly_simulated6,Radius,error_poly
_simulated7,R,Z,'.R','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title('Comparison error of polynomial');
legend('Error polynomial 3 order','Error polynomial 4 order','Error
polynomial 5 order','Error polynomial 6 order','Error polynomial 7
order',2);

```

```

%% Program show Fig.5-3
clear all
Data= importdata('TableDisplacementAT30C.txt');
Radius=(Data(:,1))';
point= importdata('point12.txt');
R=(point(:,1))';
x=Radius;
Z=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
order=5;
%% 5400 RPM
RPM5400=(Data(:,3))';
y=RPM5400;
p=polyfit(x,y,order);
Call12Point = polyval(p,R);
f=polyfit(R,Call12Point,order);
value=polyval(f,Radius);
Error5400=abs(((RPM5400-value)./RPM5400)*100);
pp=spline(R,Call12Point);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error5400sp =abs(((RPM5400-valuesp)./RPM5400)*100);
figure(1)
plot(Radius,Error5400,'--
',Radius,Error5400sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 5400 RPM');
legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 0.18]);

```



```

%% Program show Fig.5-4.m
clear all
Data= importdata('TableDisplacementAT30C.txt');
Radius=(Data(:,1))';
x=Radius;
Z=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
R=[14.225 16.148 18.217 20.223 22.236 23.829 25.219 26.620
28.056 29.571];
order=5;
%% 5400 RPM
RPM5400=(Data(:,3))';
y=RPM5400;
p=polyfit(x,y,order);
Call2Point = polyval(p,R);
f=polyfit(R,Call2Point,order);
value=polyval(f,Radius);
Error5400=abs((RPM5400-value)./RPM5400)*100);
pp=spline(R,Call2Point);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error5400sp =abs((RPM5400-valuesp)./RPM5400)*100);
figure(3)
plot(Radius,Error5400,'--
',Radius,Error5400sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 5400 RPM');
legend(' 5th', 'spline',2);
axis([14 33 0 0.18]);

```

```

%% Program show Fig.5-5.m
clear all
Data= importdata('TableDisplacementAT30C.txt');
Radius=(Data(:,1))';
x=Radius;
Z=[0 0 0 0 0 0 0];
R=[14.225 16.148 18.217 22.236 25.219 28.056 29.571];
order=5;
%% 5400 RPM
RPM5400=(Data(:,3))';
y=RPM5400;
p=polyfit(x,y,order);
Call2Point = polyval(p,R);
f=polyfit(R,Call2Point,order);
value=polyval(f,Radius);
Error5400=abs((RPM5400-value)./RPM5400)*100);
pp=spline(R,Call2Point);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error5400sp =abs((RPM5400-valuesp)./RPM5400)*100);
figure(3)
plot(Radius,Error5400,'--
',Radius,Error5400sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 5400 RPM');
legend(' 5th', 'spline',2);
axis([14 33 0 0.18]);

```

```

%% Program show Fig.5-6.m
clear all
Data= importdata('TableDisplacementAT30C.txt');
Radius=(Data(:,1))';
R =[14.242 16.000 18.000 20.000 22.000 24.000 25.000 26.500
28.000 29.000 29.500 29.600];
RWO_5400 = [-2148.716 -3740.862 -5292.175 -6651.952 -7875.846
-8999.940 -9532.665 -10304.357 -11040.155 -11518.062
-11753.053 -11799.810];
RWO_7200= [-2341.924 -3984.790 -5600.868 -7033.094 -8337.002
-9548.793 -10128.171 -10970.793 -11787.189 -12319.345
-12582.263 -12634.687];
RWO_10000= [-2752.337 -4502.736 -6256.436 -7842.468 -9316.220
-10714.215 -11392.771 -12391.857 -13373.424 -14021.000
-14342.929 -14402.861];
RWO_15000= [-3817.530 -5847.058 -7957.945 -9943.260
-11858.216 -13739.334 -14675.023 -16079.702 -17490.699
-18438.000 -18913.297 -19008.577];
Z=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
order=5;
%% Program Estimation Simulation 5400 RPM
RPM5400=(Data(:,3))';
f=polyfit(R,RWO_5400,order);
value=polyval(f,Radius);
Error5400=abs((RPM5400-value)./RPM5400)*100);
pp=spline(R,RWO_5400);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error5400sp =abs((RPM5400-valuesp)./RPM5400)*100);
subplot(2,2,1);
plot(Radius,Error5400,'--
',Radius,Error5400sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 5400 RPM');
legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 0.2]);
%% Program Estimation Simulation 7200 RPM
RPM7200=(Data(:,4))';
f=polyfit(R,RWO_7200,order);
value=polyval(f,Radius);
Error7200=abs((RPM7200-value)./RPM7200)*100);
pp=spline(R,RWO_7200);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error7200sp =abs((RPM7200-valuesp)./RPM7200)*100);
subplot(2,2,2);
plot(Radius,Error7200,'--
',Radius,Error7200sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 7200 RPM');
legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 0.2]);
%% Program Estimation Simulation 10000 RPM
RPM10000=(Data(:,5))';
f=polyfit(R,RWO_10000,order);
value=polyval(f,Radius);
Error10000=abs((RPM10000-value)./RPM10000)*100);
pp=spline(R,RWO_10000);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error10000sp =abs((RPM10000-valuesp)./RPM10000)*100);

```

```

subplot(2,2,3);
plot(Radius,Error10000,'--
',Radius,Error10000sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 10000 RPM');
legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 1.8]);
%% Program Estimation Simulation 15000 RPM
RPM15000=(Data(:,6))';
f=polyfit(R,RWO_15000,order);
value=polyval(f,Radius);
Error15000=abs((RPM15000-value)./RPM15000)*100);
pp=spline(R,RWO_15000);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error15000sp =abs((RPM15000-valuesp)./RPM15000)*100);
subplot(2,2,4);
plot(Radius,Error15000,'--
',Radius,Error15000sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 15000 RPM');
legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 0.3]);

```

```

%% Program show Fig.5-7
clear all
Data= importdata('TableDisplacementAT30C.txt');
Radius=(Data(:,1))';
R =[14.242 16.000 18.000 20.000 22.000 24.000 25.000 26.500
28.000 29.000 29.500 29.600];
RWO_5400 = [-2148.716 -3740.862 -5292.175 -6651.952 -7875.846
-8999.940 -9532.665 -10304.357 -11040.155 -11518.062
-11753.053 -11799.810];
RWO_7200= [-2341.924 -3984.790 -5600.868 -7033.094 -8337.002
-9548.793 -10128.171 -10970.793 -11787.189 -12319.345
-12582.263 -12634.687];
RWO_10000= [-2752.337 -4502.736 -6256.436 -7842.468 -9316.220
-10714.215 -11392.771 -12391.857 -13373.424 -14021.000
-14342.929 -14402.861];
RWO_15000= [-3817.530 -5847.058 -7957.945 -9943.260
-11858.216 -13739.334 -14675.023 -16079.702 -17490.699
-18438.000 -18913.297 -19008.577];
Z=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
order=5;
%% Program Estimation Simulation 5400 RPM
RPM5400=(Data(:,3))';
f=polyfit(R,RWO_5400,order);
value=polyval(f,Radius);
Error5400=abs((RPM5400-value)./RPM5400)*100);
pp=spline(R,RWO_5400);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error5400sp =abs((RPM5400-valuesp)./RPM5400)*100);
subplot(2,2,1);
plot(Radius,Error5400,'--
',Radius,Error5400sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 5400 RPM');
legend(' 5th','spline',2);

```

```

axis([14 33 0 0.2]);
%% Program Estimation Simulation 7200 RPM
RPM7200=(Data(:,4))';
f=polyfit(R,RWO_7200,order);
value=polyval(f,Radius);
Error7200=abs(((RPM7200-value)./RPM7200)*100);
pp=spline(R,RWO_7200);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error7200sp =abs(((RPM7200-valuesp)./RPM7200)*100);
subplot(2,2,2);
plot(Radius,Error7200,'--
',Radius,Error7200sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 7200 RPM');
legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 0.2]);
%% Program Estimation Simulation 10000 RPM
RPM10000=(Data(:,5))';
f=polyfit(R,RWO_10000,order);
value=polyval(f,Radius);
Error10000=abs(((RPM10000-value)./RPM10000)*100);
pp=spline(R,RWO_10000);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error10000sp =abs(((RPM10000-valuesp)./RPM10000)*100);
subplot(2,2,3);
plot(Radius,Error10000,'--
',Radius,Error10000sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 10000 RPM');
legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 0.25]);
%% Program Estimation Simulation 15000 RPM
RPM15000=(Data(:,6))';
f=polyfit(R,RWO_15000,order);
value=polyval(f,Radius);
Error15000=abs(((RPM15000-value)./RPM15000)*100);
pp=spline(R,RWO_15000);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error15000sp =abs(((RPM15000-valuesp)./RPM15000)*100);
subplot(2,2,4);
plot(Radius,Error15000,'--
',Radius,Error15000sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 15000 RPM');
legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 0.25]);

```

```

%% Program show Fig.5-8.m
clear all
Data= importdata('TableDisplacementAT30C.txt');
Radius=(Data(:,1))';
R =[14.242 16.000 18.000 20.000 22.000 24.000 25.000 26.500
28.000 29.000 29.500 30.564];
RWO_5400 = [-2148.716 -3740.862 -5292.175 -6651.952 -7875.846
-8999.940 -9532.665 -10304.357 -11040.155 -11518.062
-11753.053 -12245.449];

```

```

RWO_7200= [-2341.924   -3984.790   -5600.868   -7033.094   -8337.002
-9548.793   -10128.171  -10970.793  -11787.189  -12319.345
-12582.263   -13135.626];
RWO_10000= [-2752.337   -4502.736   -6256.436   -7842.468   -9316.220
-10714.215  -11392.771  -12391.857  -13373.424  -14021.000
-14342.929  -15025.822];
RWO_15000= [-3817.530   -5847.058   -7957.945   -9943.260
-11858.216  -13739.334  -14675.023  -16079.702  -17490.699
-18438.000  -18913.297  -19931.555];
Z=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
order=5;
%% 5400 RPM
RPM5400=(Data(:,3))';
f=polyfit(R,RWO_5400,order);
value=polyval(f,Radius);
Error5400=abs((RPM5400-value)./RPM5400)*100);
pp=spline(R,RWO_5400);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error5400sp =abs((RPM5400-valuesp)./RPM5400)*100);
subplot(2,2,1);
plot(Radius,Error5400,'--
',Radius,Error5400sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 5400 RPM');
legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 0.25]);
%% 7200 RPM
RPM7200=(Data(:,4))';
f=polyfit(R,RWO_7200,order);
value=polyval(f,Radius);
Error7200=abs((RPM7200-value)./RPM7200)*100);
pp=spline(R,RWO_7200);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error7200sp =abs((RPM7200-valuesp)./RPM7200)*100);
subplot(2,2,2);
plot(Radius,Error7200,'--
',Radius,Error7200sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 7200 RPM');
legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 0.25]);
%% 10000 RPM
RPM10000=(Data(:,5))';
% x=Radius;
% y=RPM10000;
% p=polyfit(x,y,order);
% Call2Point = polyval(p,R);
f=polyfit(R,RWO_10000,order);
value=polyval(f,Radius);
Error10000=abs((RPM10000-value)./RPM10000)*100);
pp=spline(R,RWO_10000);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error10000sp =abs((RPM10000-valuesp)./RPM10000)*100);
subplot(2,2,3);
plot(Radius,Error10000,'--
',Radius,Error10000sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 10000 RPM');

```

```

legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 0.25]);
%% 15000 RPM
RPM15000=(Data(:,6))';
f=polyfit(R,RWO_15000,order);
value=polyval(f,Radius);
Error15000=abs((RPM15000-value)./RPM15000)*100);
pp=spline(R,RWO_15000);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error15000sp =abs((RPM15000-valuesp)./RPM15000)*100);
subplot(2,2,4);
plot(Radius,Error15000,'--
',Radius,Error15000sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 15000 RPM');
legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 0.25]);

```

```

%% Program show Fig.5-9.m
clear all
Data= importdata('TableDisplacementAT30C.txt');
Radius=(Data(:,1))';
R =[14.242 16.000 18.000 20.000 22.000 24.000 25.000 26.500
28.000 29.500 30.564];
RWO_5400 = [-2148.716 -3740.862 -5292.175 -6651.952 -7875.846
-8999.940 -9532.665 -10304.357 -11040.155 -11753.053
-12245.449];
RWO_7200= [-2341.924 -3984.790 -5600.868 -7033.094 -8337.002
-9548.793 -10128.171 -10970.793 -11787.189 -12582.263
-13135.626];
RWO_10000= [-2752.337 -4502.736 -6256.436 -7842.468 -9316.220
-10714.215 -11392.771 -12391.857 -13373.424 -14342.929
-15025.822];
RWO_15000= [-3817.530 -5847.058 -7957.945 -9943.260
-11858.216 -13739.334 -14675.023 -16079.702 -17490.699
-18913.297 -19931.555];
Z=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
order=5;
%% 5400 RPM
RPM5400=(Data(:,3))';
f=polyfit(R,RWO_5400,order);
value=polyval(f,Radius);
Error5400=abs((RPM5400-value)./RPM5400)*100);
pp=spline(R,RWO_5400);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error5400sp =abs((RPM5400-valuesp)./RPM5400)*100);
subplot(2,2,1);
plot(Radius,Error5400,'--
',Radius,Error5400sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 5400 RPM');
legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 0.2]);
%% 7200 RPM
RPM7200=(Data(:,4))';
f=polyfit(R,RWO_7200,order);

```

```

value=polyval(f,Radius);
Error7200=abs((RPM7200-value)./RPM7200)*100);
pp=spline(R,RWO_7200);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error7200sp =abs((RPM7200-valuesp)./RPM7200)*100);
subplot(2,2,2);
plot(Radius,Error7200,'--
',Radius,Error7200sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 7200 RPM');
legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 0.2]);
%% 10000 RPM
RPM10000=(Data(:,5))';
f=polyfit(R,RWO_10000,order);
value=polyval(f,Radius);
Error10000=abs((RPM10000-value)./RPM10000)*100);
pp=spline(R,RWO_10000);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error10000sp =abs((RPM10000-valuesp)./RPM10000)*100);
subplot(2,2,3);
plot(Radius,Error10000,'--
',Radius,Error10000sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 10000 RPM');
legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 0.25]);
%% 15000 RPM
RPM15000=(Data(:,6))';
f=polyfit(R,RWO_15000,order);
value=polyval(f,Radius);
Error15000=abs((RPM15000-value)./RPM15000)*100);
pp=spline(R,RWO_15000);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error15000sp =abs((RPM15000-valuesp)./RPM15000)*100);
subplot(2,2,4);
plot(Radius,Error15000,'--
',Radius,Error15000sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 15000 RPM');
legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 0.25]);

%% Program show Fig.5-10.m
clear all
Data= importdata('TableDisplacementAT30C.txt');
Radius=(Data(:,1))';
R = [14.242 15.000 16.000 18.000 20.000 22.000
24.000 25.000 26.500 28.000 29.500 30.564];
RWO_5400 = [-2148.716 -2867.072 -3740.862 -5292.175 -6651.952
-7875.846 -8999.940 -9532.665 -10304.357-11040.155
-11753.053 -12245.449];
RWO_7200= [-2341.924 -3081.451 -3984.790 -5600.868 -7033.094
-8337.002 -9548.793 -10128.171 -10970.793 -11787.189
-12582.263 -13135.626];
RWO_10000= [-2752.337 -3542.899 -4502.736 -6256.436 -7842.468
-9316.220 -10714.215 -11392.771 -12391.857 -13373.424

```

```

-14342.929  -15025.822];
RWO_15000= [-3817.530  -4718.283   -5847.058   -7957.945   -9943.260
-11858.216   -13739.334   -14675.023  -16079.702  -17490.699
-18913.297  -19931.555];
Z=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
order=5;
%% 5400 RPM
RPM5400=(Data(:,3))';
f=polyfit(R,RWO_5400,order);
value=polyval(f,Radius);
Error5400=abs((RPM5400-value)./RPM5400)*100);
pp=spline(R,RWO_5400);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error5400sp =abs((RPM5400-valuesp)./RPM5400)*100);
subplot(2,2,1);
plot(Radius,Error5400,'--
',Radius,Error5400sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 5400 RPM');
legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 0.2]);
%% 7200 RPM
RPM7200=(Data(:,4))';
f=polyfit(R,RWO_7200,order);
value=polyval(f,Radius);
Error7200=abs((RPM7200-value)./RPM7200)*100);
pp=spline(R,RWO_7200);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error7200sp =abs((RPM7200-valuesp)./RPM7200)*100);
subplot(2,2,2);
plot(Radius,Error7200,'--
',Radius,Error7200sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 7200 RPM');
legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 0.2]);
%% Program Estimation Simulation 10000 RPM
RPM10000=(Data(:,5))';
f=polyfit(R,RWO_10000,order);
value=polyval(f,Radius);
Error10000=abs((RPM10000-value)./RPM10000)*100);
pp=spline(R,RWO_10000);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error10000sp =abs((RPM10000-valuesp)./RPM10000)*100);
subplot(2,2,3);
plot(Radius,Error10000,'--
',Radius,Error10000sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 10000 RPM');
legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 0.2]);
%% 15000 RPM
RPM15000=(Data(:,6))';
f=polyfit(R,RWO_15000,order);
value=polyval(f,Radius);
Error15000=abs((RPM15000-value)./RPM15000)*100);
pp=spline(R,RWO_15000);
valuesp=ppval(pp,Radius);

```



```

Error15000sp =abs(((RPM15000-valuesp)./RPM15000)*100);
subplot(2,2,4);
plot(Radius,Error15000,'--
',Radius,Error15000sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 15000 RPM');
legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 0.2]);

```

```

%% Program show Fig.5-11.m
clear all
Data= importdata('TableDisplacementAT30C.txt');
Radius=(Data(:,1))';
R =[14.242 15.000 16.000 18.000 20.000 22.000 23.000 23.500
24.000 24.500 25.000 26.500 28.000 29.500 30.564];
RWO_5400 = [-2148.716 -2867.072 -3740.862 -5292.175 -6651.952
-7875.846 -8448.548 -8726.84 -8999.940 -9268.438 -9532.665
-10304.357 -11040.155 -11753.053 -12245.449];
RWO_7200= [-2341.924 -3081.451 -3984.790 -5600.868 -7033.094
-8337.002 -8952.618 -9253.024 -9548.793 -9840.516 -10128.171
-10970.793 -11787.189 -12582.263 -13135.626];
RWO_10000= [-2752.337 -3542.899 -4502.736 -6256.436 -7842.468
-9316.220 -10023.039 -10370.42 -10714.215 -11054.928
-11392.771 -12391.857 -13373.424 -14342.929 -15025.822];
RWO_15000= [-3817.530 -4718.283 -5847.058 -7957.945 -9943.260
-11858.216 -12801.221 -13246.349 -13739.334 -14207.182 -14675.023
-16079.702 -17490.699 -18913.297 -19931.555];
Z=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
order=5;
%% Program Estimation Simulation 5400 RPM
RPM5400=(Data(:,3))';
f=polyfit(R,RWO_5400,order);
value=polyval(f,Radius);
Error5400=abs(((RPM5400-value)./RPM5400)*100);
pp=spline(R,RWO_5400);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error5400sp =abs(((RPM5400-valuesp)./RPM5400)*100);
subplot(2,2,1);
plot(Radius,Error5400,'--
',Radius,Error5400sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 5400 RPM');
legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 0.2]);
%% Program Estimation Simulation 7200 RPM
RPM7200=(Data(:,4))';
f=polyfit(R,RWO_7200,order);
value=polyval(f,Radius);
Error7200=abs(((RPM7200-value)./RPM7200)*100);
pp=spline(R,RWO_7200);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error7200sp =abs(((RPM7200-valuesp)./RPM7200)*100);
subplot(2,2,2);
plot(Radius,Error7200,'--
',Radius,Error7200sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 7200 RPM');

```

```

legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 0.2]);
%% Program Estimation Simulation 10000 RPM
RPM10000=(Data(:,5))';
f=polyfit(R,RWO_10000,order);
value=polyval(f,Radius);
Error10000=abs((RPM10000-value)./RPM10000)*100);
pp=spline(R,RWO_10000);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error10000sp =abs((RPM10000-valuesp)./RPM10000)*100);
subplot(2,2,3);
plot(Radius,Error10000,'--
',Radius,Error10000sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 10000 RPM');
legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 0.2]);
%% Program Estimation Simulation 15000 RPM
RPM15000=(Data(:,6))';
f=polyfit(R,RWO_15000,order);
value=polyval(f,Radius);
Error15000=abs((RPM15000-value)./RPM15000)*100);
pp=spline(R,RWO_15000);
valuesp=ppval(pp,Radius);
Error15000sp =abs((RPM15000-valuesp)./RPM15000)*100);
subplot(2,2,4);
plot(Radius,Error15000,'--
',Radius,Error15000sp,R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 15000 RPM');
legend(' 5th','spline',2);
axis([14 33 0 0.2]);

```

```

%% Program show Fig.5-12
%%new argorithm
Data= importdata('NewArgorithm.txt');
Radius=(Data(:,1))';
Error=(Data(:,2))';
R =[14.242 15.000 16.000 18.000 20.000 22.000 23.000 23.500
24.000 24.500 25.000 26.500 28.000 29.500 30.564];
RWO_15000= [-3817.530 -4718.283 -5847.058 -7957.945 -9943.260 -
11858.216 -12801.221 -13246.349 -13739.334 -14207.182 -14675.023 -
16079.702 -17490.699 -18913.297 -19931.555];
Z=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
plot(Radius,Error, R,Z,'.r','LineWidth',2);grid on
xlabel('Radius (mm)');ylabel('Error (%)');
title(' Speed 15000 RPM');
axis([14 33 0 0.2]);

```

ภาคผนวก จ

ผลของความเร็วลมต่อการชดเชยระยะเยื้องระหว่างการอ่านและการเขียนข้อมูล

ผลของความเร็วมต่อการชดเชยระยะเยื้องระหว่างการอ่านและการเขียนข้อมูล

Effect of Wind Speed to Read Write Offset Adjustment

ธีรยุทธ์ เกลี้ยงสง¹ เกริกชัย² ทองหนู ณัฐธา จินดาเพ็ชร³

^{1,2,3}ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

E-mail: Kleangsong@hotmail.com¹ krerkchai.t@psu.ac.th² nattha.s@psu.ac.th³

Theerayut Kleangsong¹ Krerkchai Thoongnoo² Nattha Jindapetch³

^{1,2,3}Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

E-mail: Kleangsong@hotmail.com¹ krerkchai.t@psu.ac.th² nattha.s@psu.ac.th³

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาผลของความเร็วมต่อการชดเชยระยะเยื้องระหว่างการอ่านและเขียนข้อมูล (RWO) ในฮาร์ดดิสก์ โดยการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์แล้วทดสอบแบบจำลองที่ความเร็วรอบของฮาร์ดดิสก์ค่าต่าง ๆ เพื่อหาค่าแรงที่กระทำต่อสไลด์เตอร์ทุกวงรอบ ผลการศึกษาพบว่าที่ความเร็วรอบของเทคโนโลยีปัจจุบัน ความเร็วลมที่ก่อให้เกิดแรงปะทะที่สไลด์เตอร์เริ่มมีผลที่บริเวณนอก สำหรับความเร็วรอบที่สูงขึ้นไปกว่านี้ ความเร็วลมแสดงผลอย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น การทวนสอบผลของลมของแบบจำลองกับฮาร์ดดิสก์จริงที่ความเร็วรอบ 7200 rpm ให้ผลสอดคล้องกับแบบจำลองคอมพิวเตอร์

คำหลัก การชดเชยระยะเยื้องระหว่างการอ่านและเขียนข้อมูล, ผลของความเร็วม

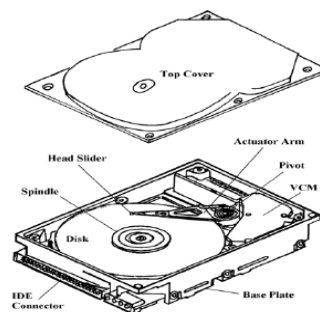
Abstract

This paper presents the study of the effect of wind speed to the read write offset (RWO) adjustment between read/write heads of hard disk drives. The hard disk computer model was simulated at various spindle speeds to find forces on the slider at all tracks. It was found that, at the spindle speed of current technology, the wind speed at the outer cylinders have shown the effect in form of forces against the slider. For higher spindle speed, the effect has more significant. The computer model was verified using an existing hard disk operating at 7200 rpm. The results of the verification agreed with the computer model.

Keywords: RWO adjustment, Effect of wind speed.

1. บทนำ

ฮาร์ดดิสก์ เป็นอุปกรณ์ที่อยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์มีหน้าที่เก็บข้อมูลแบบถาวร ฮาร์ดดิสก์ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ส่วนประกอบพื้นฐานฮาร์ดดิสก์ [1]

หลักการการทำงานทั่วไปมีดังนี้ สัญญาณจะผ่านเข้าออกทางหัวอ่านและหัวเขียน(read/write heads) โดยชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ จะอยู่บนแผงควบคุมวงจรไฟฟ้า (PCB) ที่ติดอยู่กับฝาครอบด้านล่างของฮาร์ดดิสก์ โดยที่ตัวไดรฟ์ (drive) จะถูกปิดผนึกอย่างดี อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะทำหน้าที่ควบคุมสัญญาณที่รับส่งจากหัวอ่าน/เขียน, มอเตอร์สปินเดิล (Spindle motor) และตัวควบคุมการเคลื่อนไหว (Actuator) ตัวควบคุมการเคลื่อนไหวนี้จะเคลื่อนที่ไปรอบจุดหมุนที่กำหนด เพื่อควบคุมการวางตำแหน่งของหัวอ่านและหัวเขียนไปยังบริเวณต่าง ๆ ในแนวนอนมีแผ่นมีเดีย ซึ่งหัวอ่านและหัวเขียนจะถูกติดตั้งอยู่ในตัวสไลด์เตอร์ (slider) ตัวสไลด์เตอร์นี้จะบินอยู่เหนือผิวของแผ่นมีเดียความสูงประมาณ 10 nm ในขณะที่มอเตอร์สปินเดิลจะหมุนแผ่นมีเดียด้วยความเร็วคงที่[2]

ในกระบวนการอ่านข้อมูล แขนของหัวอ่านข้อมูลจะหมุนไปที่ตำแหน่งที่ต้องการอ่านข้อมูล โดยใช้การตรวจสอบจาก

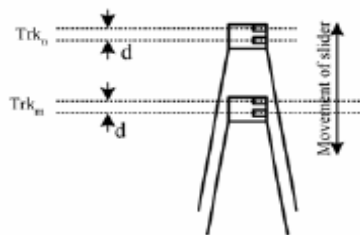
ตำแหน่งของแทร็ค (Track) จากนั้นจึงทำการหาที่กึ่งกลางของแทร็ค เพื่อใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงในการอ่านข้อมูล โดยในการหาที่กึ่งกลางแทร็คจะใช้เทคนิคของ Burst signal (A B C D) [3] เพื่อให้การหาตำแหน่งที่กึ่งกลางแทร็คที่ถูกต้องแม่นยำ และจะส่งผลให้กระบวนการอ่านข้อมูลมีความถูกต้องแม่นยำตามไปด้วย

ในกระบวนการเขียนข้อมูล แขนของหัวเขียนข้อมูลจะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งของแทร็คที่ต้องการเขียนข้อมูล โดยเริ่มต้นจากการอ่านตำแหน่งที่ต้องการจะเขียนข้อมูลก่อน จากนั้นแขนของหัวเขียนข้อมูลจะหมุนเป็นระยะทางค่าหนึ่ง เพื่อให้ส่วนของหัวเขียนข้อมูลอยู่กึ่งกลางแทร็คจึงจะสามารถเขียนข้อมูลได้ถูกต้องแม่นยำ

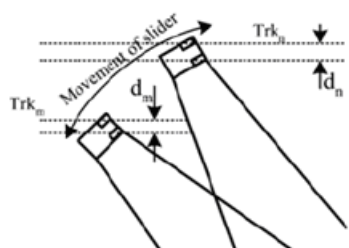
เนื่องจากหัวอ่านข้อมูลกับหัวเขียนข้อมูลไม่ได้อยู่ตำแหน่งตำแหน่งเดียวกัน แขนของหัวอ่านข้อมูลและหัวเขียนข้อมูลมีการเคลื่อนที่เชิงมุมและเข้าถึงข้อมูลบนแผ่นมีเดียมีในแนวรัศมี ซึ่งอาจมีผลให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าระยะห่างระหว่างตำแหน่งหัวอ่านข้อมูลหัวเขียนข้อมูลเกิดขึ้นในแนวรัศมี นั่นคือค่าระยะห่างระหว่างตำแหน่งหัวอ่านข้อมูลหัวเขียนข้อมูลมีความสัมพันธ์กับระยะรัศมีบนแผ่นมีเดีย อีกทั้งแรงที่เกิดจากการไหลของอากาศภายในฮาร์ดดิสก์ที่อาจส่งผลให้หัวอ่านข้อมูลและเขียนข้อมูลเบี่ยงเบนไปซึ่งต้องชดเชยด้วยค่า RWO เพื่อที่จะอ่านข้อมูลเขียนข้อมูลได้ถูกต้องแม่นยำ ปัญหาเนื่องจากความเร็วลมจึงควรถูกชดเชยอย่างเหมาะสม

2.ปัจจัยการทำให้เกิด RWO

2.1 ปัญหาทางกายภาพ ได้แก่ การเคลื่อนที่ของสไลเดอร์เป็นลักษณะดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2 ให้เกิดมุมการเอียงซึ่งมีความสัมพันธ์กันตามลักษณะการออกแบบของฮาร์ดดิสก์แต่ละโมเดล [1]

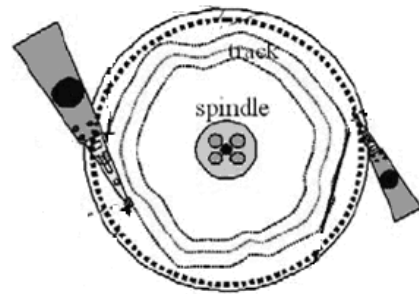


รูปที่ 2 การเคลื่อนที่ของ Slider ในแนวขึ้นลง [1]



รูปที่ 3 การเคลื่อนที่ของ Slider ในแนวโค้ง [1]
รูปที่ 2 และรูปที่ 3 แสดงการเคลื่อนที่ของ Slider ทั้งรูปแบบการขึ้นลงแต่ที่ใช้ในปัจจุบันเป็นในแนวโค้ง

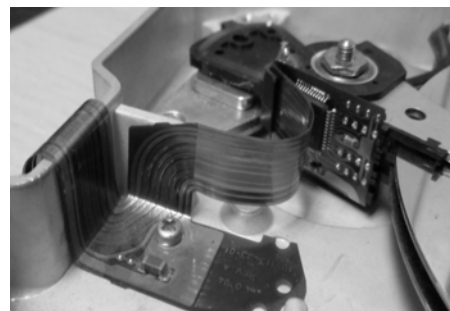
2.2 ปัญหาจากกระบวนการผลิต ในกระบวนการเขียนสัญญาณเซอร์โว เป็นขั้นตอนการเขียนตำแหน่งที่อยู่ของข้อมูล จึงมีความสำคัญมาก ในอดีตได้มีการเขียนโดยใช้เครื่องเขียนเรียกว่า Servo Writer ซึ่งมีหลายชนิด [3] [4] แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนามาเป็นแบบการเขียนด้วยหัวของตัวเอง (Self servo writing)



รูปที่ 4 การเขียนสัญญาณเซอร์โว[1]

รูปที่ 4 แสดงการเขียนสัญญาณเซอร์โวที่ไม่กลม ทำให้กระบวนการอ่านเขียนข้อมูลที่ยาก

2.3 ปัญหาทางกลไกเมคานิค ได้แก่ Flex cable เป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมระหว่าง PCBA กับ Read/Write head และ Voice coil motor



รูปที่ 5 Flex cable

รูปที่ 5 แสดง Flex cable ที่ติดอยู่ในฮาร์ดดิสก์ซึ่งจะติดอยู่กับ Actuator ซึ่งขณะที่ Actuator มีการเคลื่อนไหว Flex cable จะเคลื่อนไหวตามไปด้วย หัวอ่าน/เขียน ในขณะที่มีการอ่านการเขียนข้อมูล

2.4 ปัญหาจากความเร็วลมที่เกิดจากการหมุนของมีเดีย บริเวณขอบนอกความเร็วมากที่สุดและบริเวณขอบในมีความเร็วน้อยสุดทำให้เกิดการเบี่ยงเบนไปของแขนหัวอ่านเขียนข้อมูล ความเร็วอากาศที่เกิดขึ้นภายในฮาร์ดดิสก์พบว่ามีความเพิ่มขึ้นใน

ลักษณะเชิงเส้นตามรัศมีของมีเดีย โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 1 [5]

$$v = 2\pi fR$$

(1)

เมื่อ v คือความเร็วที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนแผ่นมีเดีย (m/s), f คือความถี่ (Hz), และ R คือรัศมีของแผ่นมีเดีย (m)

การเกิดแรงที่มีผลต่อสไลเดอร์ มีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2 [6][7][8]

$$F = \frac{1}{2} A \rho C_D v^2$$

เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดที่ลมปะทะกับตัวสไลเดอร์ (m^2), ρ คือ ความหนาแน่นอากาศ (kg/m^3), C_D คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ความเร็วลมปะทะกับรูปทรงหน้าสัมผัส, v คือความเร็วที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนแผ่นมีเดีย (m/s)

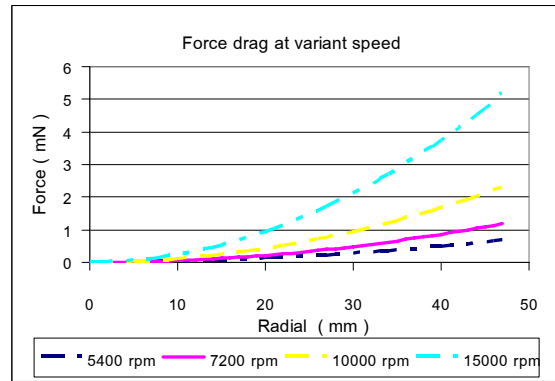
ความเร็วลมที่เกิดจากการหมุนของแผ่นมีเดียจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับความเร็วที่เกิดจากการหมุนของแผ่นมีเดีย โดยมีค่าระยะหนึ่งที่เกิดจากความเร็วที่เกิดจากการหมุนของแผ่นมีเดียส่งผลให้สไลเดอร์เกิดการบินขึ้นเหนือแผ่นมีเดีย ดังที่กล่าวไว้ในบทนำ

ปัญหาที่เกิดจากทางกายภาพนี้สามารถแก้ไขได้โดยการชดเชยการควบคุมด้วยตัวควบคุมการเคลื่อนไหว ปัญหาจากกระบวนการผลิตในกระบวนการเขียนสัญญาณเซอร์โว และปัญหาทางกลไกเลคคานิคันขึ้นขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้งานและการประกอบชิ้นงาน

ปัจจัยเนื่องจากความเร็วลมจะเห็นผลกระทบได้ชัดเจนมากขึ้นเมื่อฮาร์ดดิสก์ทำงานที่ความเร็วรอบสูงขึ้น ผู้วิจัยจึงให้ความสำคัญกับปัญหานี้เป็นหลัก จึงนำไปสู่การสร้างแบบจำลอง

3.แบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของสมการที่ 2 สำหรับที่ความเร็วรอบค่าต่าง ๆ ด้วยโปรแกรม MATLAB จากแนวคิดความเร็วอากาศที่เกิดขึ้นภายในฮาร์ดดิสก์พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้นตามรัศมีของมีเดียและการเกิดแรงที่มีผลต่อสไลเดอร์ ใช้ขนาดฮาร์ดดิสก์ 3.5 นิ้ว (95 mm) มีคือ พื้นที่หน้าตัดที่ลมปะทะกับตัวสไลเดอร์ (A) $0.23 \times 0.85 \text{ mm}^2$, C_D ใช้ค่า 0.82 [9] ความหนาแน่นของอากาศ (ρ) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ใช้ค่า 1.184 [10] ที่ 25 องศาเซลเซียส นำไปสู่แบบจำลองความเร็วและค่าแรงที่กระทำต่อสไลเดอร์



รูปที่ 6 แสดงค่าแรงที่เกิดขึ้นบนแผ่นมีเดียที่ความเร็วรอบต่างๆ

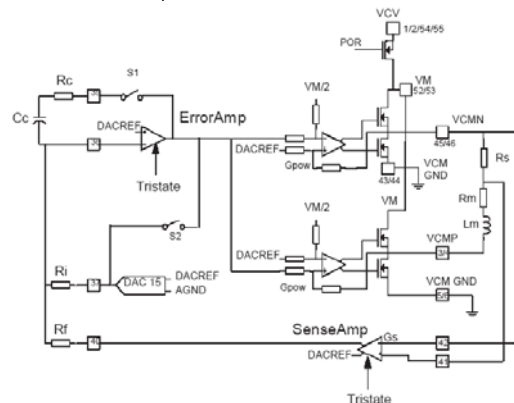
รูปที่ 6 แสดงค่าแรงที่เกิดขึ้นบนแผ่นมีเดียที่ความเร็วรอบการหมุนของฮาร์ดดิสก์ที่แตกต่างกันพบว่าที่ความเร็วรอบสูงขึ้นค่าของแรงที่เกิดขึ้นบนแผ่นมีเดียมีค่ามากขึ้นส่งผลให้แรงที่กระทำต่อสไลเดอร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ผลของแรงดังกล่าวทำให้เกิดปัญหาในการควบคุมการอ่านเขียนข้อมูลบริเวณขอบนอกของแผ่นมีเดียในฮาร์ดดิสก์ แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้งานและเทคนิคในการออกแบบของผู้ผลิตแต่ละรายเพื่อป้องกันปัญหานี้ หรือแก้ปัญหาได้โดยการชดเชยค่าที่เบี่ยงเบนไปนี้ด้วยค่า RWO

4.การทดสอบแบบจำลอง

การวัดแรงที่กระทำต่อสไลเดอร์ไม่สามารถวัดได้โดยตรง ผู้วิจัยจึงใช้วิธีการวัดทางอ้อมโดยการวัด Throughput ที่ส่วนย่อย ๆ ของแทร็ค ซึ่ง Throughput จะแปรตามความผิดพลาดในการอ่านข้อมูลความผิดพลาดในการอ่านข้อมูลนี้ขึ้นอยู่กับความควบคุมให้หัวอ่านอยู่กลางแทร็คได้แม่นยำแค่ไหน ซึ่งส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่เกิดจากการหมุนของแผ่นมีเดียที่ทำให้หัวอ่านไม่อยู่ที่กึ่งกลางแทร็คหรือเบี่ยงเบนไปจากเดิม

4.1 เครื่องมือและวิธีการทดสอบแบบจำลอง

การทดสอบแบบจำลองทำได้กับการทดสอบกับ Hard disk จริง มีความจุ 80 GB ทำงานที่ความเร็ว 7200 rpm



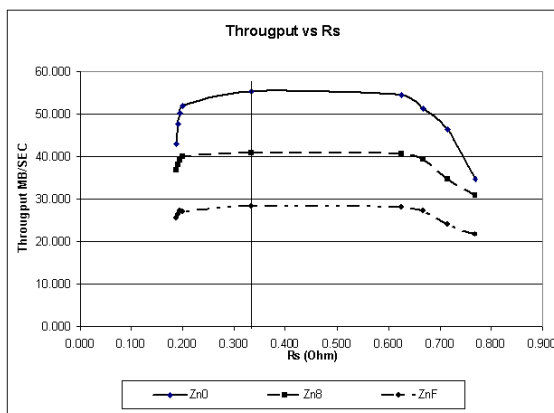
รูปที่ 7 วงจรขับ Voice Coil Motor [11]

จากรูปที่ 7 เป็นวงจรขับ Voice Coil Motor โดยกระแสที่ไหลผ่าน ขั้ว Voice Coil Motor (I_{coil}) มีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3 [11]

$$I_{coil} = -\frac{R_f}{R_i} \cdot \frac{1}{R_s \cdot G_s} \cdot V_{in} \quad (3)$$

โดยทั่วไปค่า $R_f = 5.6k\Omega$, $R_i = 2.5k\Omega$, $R_s = 0.25\Omega$ และ $G_s = 4.5V/V$ ซึ่งค่าเหล่านี้ก็เปลี่ยนแปลงไปตามโมเดลที่ออกแบบแต่โมเดลที่ใช้ทดสอบ $R_s = 0.33\Omega$ จากสมการที่ 3 กระแสที่ไหลผ่าน VCM สามารถปรับเปลี่ยนโดยเทียบเท่าได้กับการปรับค่า R_s นั้นเปรียบเสมือนการปรับค่า RWO ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของหัวอ่านออกไปจากกึ่งกลางแทร็คแล้ววัดค่า Throughput โดยเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้นตอนที่หัวอ่านอยู่ที่กึ่งกลางแทร็ค

4.2. ผลการทดสอบแบบจำลอง



รูปที่ 8 ผลการเปลี่ยนแปลงค่า R_s

รูปที่ 8 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่า Throughput เมื่อปรับเปลี่ยนค่า R_s ของฮาร์ดดิสก์เปรียบเทียบในแต่ละบริเวณของแผ่นมีเดีย ซึ่ง ZnO (แทร็ค 1726) เป็นบริเวณขอบนอกของมีเดีย Zn8 (แทร็ค 58426) เป็นบริเวณกึ่งกลางของมีเดีย และ ZnF (แทร็ค 89475) เป็นบริเวณขอบในของแผ่นมีเดีย ค่า Throughput จะมีค่ามากที่สุดที่บริเวณขอบนอกแล้วน้อยสุดบริเวณขอบใน การปรับค่า R_s ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงค่า Throughput บริเวณขอบนอกมากกว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงบริเวณกึ่งกลาง และมากกว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงบริเวณขอบในด้วยเช่นกัน

การทวนสอบสอดคล้องกับแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น ความคลาดเคลื่อนในการชดเชย RWO

5. สรุปผล

การจำลองแรงที่เกิดจากความเร็วลมปะทะกับสไลด์เตอร์บริเวณขอบนอกของแผ่นมีเดียมีค่าสูงสุดและส่งผลกระทบต่อบริเวณขอบนอกมากที่สุด จากการเปรียบเทียบแบบจำลองกับผลการทวนสอบพบว่าความเร็วลมก่อให้เกิดแรงปะทะที่สไลด์เตอร์เริ่มมีผลที่บริเวณขอบนอก สำหรับความเร็วรอบที่สูงขึ้นไปกว่านี้ ความเร็วลมแสดงผลอย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น การทวนสอบผลของลมของแบบจำลองกับฮาร์ดดิสก์จริงที่ความเร็วรอบ 7200 rpm ให้ผลสอดคล้องกับแบบการจำลองคอมพิวเตอร์

ปัญหาของ RWO จะมีนัยสำคัญมากขึ้นเมื่อเทคโนโลยีฮาร์ดดิสก์ได้รับการพัฒนาให้มีความเร็วในการหมุนของมีเดียมีเดียที่สูงขึ้น จะทำให้การชดเชย RWO ต้องการความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณบริษัท บริษัทอิตาชิ โกลบอล สตอเรจ เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด ที่ให้การสนับสนุนด้านข้อมูล, โจทย์วิจัย และขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านส่วนประกอบ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ ภายใต้โครงการพัฒนาทรัพยากรบุคคลในอุตสาหกรรม Hard Disk Drive สัญญาเลขที่ CPN-HR 13-02-52 M

เอกสารอ้างอิง

- [1] Abdullah Al Mamun, GuoXiao Guo, and Chao Bi. Hard Disk Drive Mechatronics and Control. CRC Press Tatlor&Francis Group.
- [2] ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์. การประมวลผลสัญญาณสำหรับการจัดเก็บข้อมูลดิจิทัล เล่ม 1: พื้นฐานของสัญญาณอ่าน-เขียน. สำนักพิมพ์ ธนาพรส, กรุงเทพฯ, หน้า 7-8.
- [3] A. Al Mamun, T.H. Lee, G.X. Guo, W.E. Wong, and W.C. Ye. "Measurement of Position Offset in Hard Disk Drive Using Dual Frequency Servo Bursts", IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 52, NO. 6, DECEMBER 2003
- [4] Yakihiro Uematsu and Masanori Fukushi. Servo Track Writing Technology. FUJITSU Sci. Tech J., 37, 5, P.220-226 (December 2001)
- [5] Tomoyoshi Yamada, Mesanori Fukushi, Hiroyuki Suzuki and Kazuhiko Takaishi. Servo Track Writing

- Technology.FUJITSU Sci.Tech. J.42,1(January 2006)
- [6] สุขชัย พลน้ำเที่ยง และ เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต. "การจำลองการไหลของอากาศภายในฮาร์ดดิสก์ขนาด 1.8 นิ้ว ที่ความเร็วรอบต่างกัน", วารสารวิจัย มข.14(1) :มกราคม 2552
- [8] Albert Tan Chok Shiong, Maria Anastasia Suriadi, and Zhang Qide. Study on Air Flow Induced Vibration in a Simplified Hard Disk Drive using LES. Data Storage Institute of Singapore
- [9] H.song, M,Damodaran and Quock Y.Ng. Simuiation of Flow Field and Parttical Trajectories in hard Disk Drive Enclosures, Seagate Technology International.
- [10] Drag equation,[online].Available from :
http://en.wikipedia.org/wiki/Drag_equation.
- [11] Drag coefficient,[online].Available from :
http://en.wikipedia.org/wiki/Drag_coefficient.
- [12] Density of air,[online].Available from:
http://en.wikipedia.org/wiki/Mass_density.
- [13] L7250,[online].Available from :
<http://www.datasheetdir.com/L7250+Motor-Controller-Drivers>

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายธีรยุทธ์ เกลี้ยงสง	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5110120076	
วุฒิการศึกษา		
	วุฒิ	ชื่อสถาบัน
	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
		ปีที่สำเร็จการศึกษา
		2550

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

- ทุนศึกษากันกุฎิ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ทุนโครงการวิจัยเพื่อการศึกษาในระดับปริญญาตรี โท และเอก ประจำปีการศึกษา 2552 รหัสโครงการ CPN-HR 13-02-52 M ของศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Theerayut Kleangsong, Kerkchai Thoongnoo, and Nattha Jindapetch. "Effect of Wind Speed to Read Write Offset Adjustment", The 8th PSU Engineering Conference PEC (8), April 22-23, 2010.