สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประยุกต์การวิเคราะห์การถดถอยในการควบคุมคุณภาพการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์

APPLICATION OF REGRESSION ANALYSIS FOR QUALITY CONTOL IN SUSPENSION MANUFACTURING

ธรรมศักดิ์ ฤทธิเดช

THAMMASAK RITTHIDETCH

TN.
ร358ก
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 61641
วัน,เดือน,ปี 19 ก.ค. 2549

b 11600731
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2549

ISBN 974-15-2605-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION OF REGRESSION ANALYSIS FOR QUALITY CONTOL IN SUSPENSION MANUFACTURING

THAMMASAK RITTHIDETCH

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTFOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT INSTITUTE OF TCHNOLOGY LADKRABANG

2006

ISBN 974-15-2605-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDENTS

KING MONGKUT INSTITUTE OF TCHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ : การประยุกต์การวิเคราะห์การถดถอยในการควบคุมคุณภาพการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์

นักศึกษา : นายธรรมศักดิ์ ฤทธิเดช

รหัสนักศึกษา : 45061168

ปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมการวัดคุม

พ.ศ. : 2549

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ : รศ. ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ โดยทำการควบคุมการปรับค่าของด้าน Roll และ ด้าน Pitch (Roll เป็นตำแหน่งองศาที่เกิดการหมุนเมื่อมีการเคลื่อนที่ของ Slider ในแนวนอน และ Pitch จะเป็นตำแหน่งองศาที่เกิดการหมุนเมื่อมีการเคลื่อนที่ของ Slider ในแนวตั้ง) โดยใช้วิธีการประมวลผลจากแสงเลเซอร์เพื่อทำการปรับค่าของ Pitch และ Roll ในการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์

ผลที่ได้จากการทดลองสามารถช่วยในกระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ และสามารถควบคุมค่าของ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ ค่ากลาง หรือค่าเฉลี่ยในด้าน Roll และ Pitch ได้ ในขณะเดียวกันจำนวนเส้นเลเซอร์ที่ยิงบนตัวงานแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ จะมีผลกระทบต่อค่า Pitch และ Roll ด้วย แต่เราสามารถใช้สมการวิเคราะห์การถดถอย ช่วยในการคำนวณจำนวนเส้นเลเซอร์ ก่อนการยิงโดยได้มาจากการวัดค่าของ Pitch และ Roll ก่อน จากวิธีการดังกล่าวสามารถช่วยในการควบคุมคุณภาพในการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title :	Application of Regression Analysis for Quality Control In Suspension Manufacturing
Student :	Mr. Thammasak Ritthidetch
Student ID :	45061168
Degree :	Master of Engineering
Programme :	Instrumentation Engineering
Year :	2006
Thesis Advisor:	Assoc. Prof. Prasit Julsereewong

ABSTRACT

This thesis applies regression analysis to improve the suspension performance. The optimal mass and stiffness of the suspension for enhancing performance is one of the most problems to be solved. The critical parameters a suspension has to maintain are static roll, and pitch stiffness. This paper aims to present the laser processing to adjust the roll and pitch directions of the flex suspension assembly for HDD production.

The proposed adjustment can be applied to the suspension manufacturing to control the mean and standard deviation of the roll and pitch directions. The number of laser beam projections is important factor that has impact on the roll and pitch directions. Therefore, regression analysis is recommended in estimating the number of the laser beam projections based on the existing measured roll and pitch directions. Information derived from the analysis can significantly help control the quality of flex suspension assembly.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้คงไม่อาจสำเร็จลงได้ด้วยดี หากไม่ได้รับ ความอนุเคราะห์จากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน ขอขอบพระคุณ รศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ความเมตตา และคำแนะนำในด้านต่างๆ มากมายหลายด้านในการศึกษาในระดับปริญญาโทแก่ผู้วิจัยตลอดมา ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่อบรมและสั่งสอนวิชาต่างๆ พร้อมให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบพระคุณคุณวีระ พันธ์สวัสดิ์ ซึ่งให้โอกาสและช่วยในการจัดเวลาทำงานให้เหมาะสมกับการศึกษาต่อ และคุณคำมี สุขุม สำหรับคำแนะนำในการทำงานขณะศึกษาต่อ

ขอขอบพระคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และ น้อง ๆ ที่ได้ให้คำแนะนำและการช่วยเหลือเป็นอย่างดีต่อการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้าได้มีวันนี้ก็คือ บิดา มารดา พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษา และเอาใจใส่ตลอดมาในทุก ๆ ด้าน ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ธรรมศักดิ์ ฤทธิเดช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญรูป.....IX

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....1

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....2

1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุตสาหกรรมและการวิเคราะห์ในทางสถิติ.....3

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุตสาหกรรม.....3

2.1.1 โครงสร้างของอุปกรณ์ฮาร์ดดิสก์.....3

2.1.1.1 ส่วนประกอบและโครงสร้างของฮาร์ดดิสก์.....3

2.1.1.2 แทรค กับ ไซลินเดอร์.....4

2.1.1.3 การอ่านและเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์.....5

2.2 กระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์.....6

2.2.1 กระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์.....7

2.2.1.1 กระบวนการ Arm forming.....8

2.2.1.2 กระบวนการ Gimbal forming.....8

2.2.1.3 กระบวนการ Laser welding.....9

2.2.1.4 กระบวนการ Arm และGimbal singulation.....9

2.2.1.5 กระบวนการ Flex attachment.....10

2.2.1.6 กระบวนการ Gram adjusted.....10

2.2.1.7 กระบวนการ Pitch and Roll adjusted.....10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3 การทำงานของเลเซอร์ 12

2.3.1 ปรากฏการณ์ประชากรผกผัน.....12

2.3.2 ออปติคัลเรโซเนเตอร์.....13

2.3.3 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องกำเนิดเลเซอร์ 14

2.3.4 คุณสมบัติของแสงเลเซอร์.....16

2.3.4.1 การเป็นแสงสีเดียว.....16

2.3.4.2 การมีความพร้อมเพรียงของคลื่นหรือความเป็นโคฮีเรนซ์.....17

2.3.4.3 การมีทิศทางที่แน่นอน 17

2.3.4.4 การมีความเข้มหรือความจ้า 18

2.3.5 การแบ่งชั้นของเลเซอร์.....19

2.3.6 ชนิดของเลเซอร์.....20

2.4 การวิเคราะห์โดยใช้สถิติ.....21

2.4.1 ค่าวัดลักษณะของข้อมูล.....22

2.4.2 ลักษณะการแจกแจงที่สำคัญ.....22

2.4.2.1 การแจกแจงแบบปกติ.....22

2.4.2.2 การแจกแจงแบบที(t).....23

2.4.2.3 การแจกแจงแบบเอฟ (f).....23

2.4.2.4 การแจกแจงแบบไคสแควร์.....23

2.4.3 การประมาณแบบจุด.....25

2.4.4 การประมาณแบบช่วง.....25

2.4.5 การทดสอบสมมติฐาน.....26

2.4.6 การรับหรือปฏิเสธสมมติฐาน.....28

2.4.7 การพล็อตกราฟ.....30

2.4.7.1 การพล็อตเพื่อแสดงการกระจายของข้อมูล.....30

2.4.7.2 การพล็อตเพื่อแสดงการแจกแจงของข้อมูล 30

2.4.7.3 แผนภาพการกระจายการพล็อตอนุกรมเวลา 31

2.4.7.4 การพล็อตค่าความคลาดเคลื่อน.....32

2.4.7.5 การพล็อตการถดถอยบางส่วน 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.5 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย.....33
2.5.1 รูปแบบการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย.....33
2.5.2 สมการถดถอย.....35
2.5.3 การแบ่งส่วนของผลรวมกำลังสอง.....37
2.5.4 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด.....39
2.5.5 ลักษณะการแจกแจงของตัวประมาณและการประมาณแบบช่วง.....39

บทที่ 3 การวิจัยและทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์การถดถอย.....42
3.1 บทนำ.....42
3.2 หลักการวิเคราะห์ที่นำเสนอ.....42
3.2.1 การวิเคราะห์โดยสมการเส้นตรง.....43
3.2.2 การวิเคราะห์โดยสมการกำลังสอง.....44
3.3 การประยุกต์ใช้เลเซอร์ เบนดิงส์.....45
3.3.1 การคำนวณเส้นลำแสงเลเซอร์ที่ทำให้รูปร่างของ
วัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงจากความตึงเครียด.....47
3.3.2 การวิเคราะห์เกิดจากความร้อน.....49
3.3.3 การวิเคราะห์ความตึงเครียด.....50
3.4 การควบคุมการทำงานของเลเซอร์และเครื่องจักรโดยชุดควบคุมคอมพิวเตอร์.....52
3.4.1 ชุดควบคุมสัญญาณอินพุทและเอาท์พุท.....53
3.4.2 ชุดกล้องวัด.....54
3.4.3 ชุดควบคุมการทำงานของเลเซอร์.....55
3.4.4 ชุดรับสัญญาณอินพุท.....57
3.4.5 ชุดรับจ่ายสัญญาณเอาท์พุท.....60
3.5 การวัดค่าของ Pitch Static Attitude และ Roll Static Attitude 63

บทที่ 4 การคำนวณและประยุกต์ใช้งาน.....65
4.1 บทนำ.....65
4.2 การประยุกต์หลักการที่นำเสนอโดยใช้การวิเคราะห์แบบสมการกำลังสอง 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.3 ขั้นตอนการดำเนินการ.....66
4.3.1 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตำแหน่งบนตัวงานเมื่อ
ทำการยิงด้วยเลเซอร์ บนตัวงานแต่ละด้าน.....66
4.3.2 ศึกษาการคำนวณโดยใช้สมการวิเคราะห์การถดถอยสำหรับด้าน Roll.....69
4.3.3 ศึกษาการคำนวณโดยใช้สมการวิเคราะห์การถดถอยสำหรับด้าน Pitch ...71
4.3.4 ออกแบบโปรแกรมสำหรับการหาสมการวิเคราะห์การถดถอย 73
4.3.5 ทำการกำหนดสมการเริ่มต้นและค่าตัวแปรในการใช้งาน.....74

บทที่ 5 ผลการทดลอง.....76
5.1 บทนำ.....76
5.2 การประยุกต์ใช้หลักการที่นำเสนอโดยใช้โปรแกรม Visual Basic 76
5.2.1 ขั้นตอนเตรียมการทำงาน 76
5.2.2 ขั้นตอนการทำงานโดยโปรแกรม.....77
5.3 ผลการทดลองกับการวิเคราะห์แบบสมการเส้นตรง.....83
5.4 ผลการทดลองกับการวิเคราะห์แบบสมการกำลังสอง 86

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....88
6.1บทสรุป.....88
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางพัฒนา.....88

บรรณานุกรม.....89

ภาคผนวก 91
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์.....92

ประวัติผู้เขียน.....99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงประเภทเลเซอร์ชนิดต่างๆ.....20

2.2 แสดงค่าวิกฤติสำหรับการทดสอบการแจกแจงปกติ.....31

2.3 แสดงการวิเคราะห์รูปแบบ $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$ 38

2.4 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบ $H_0 : \beta_1 = 0$ 38

2.5 แสดงลักษณะการแจกแจงของ b_0 b_1 และฟังก์ชันของ b_0 และ b_1.....40

4.1 แสดงการกำหนดจุดยิงตามการแบ่งพื้นที่บนตัวงาน.. 67

4.2 แสดงค่าจากการยิงบนตัวงานตามการแบ่งพื้นที่ด้านซ้ายและด้านขวาเพื่อ หาค่า Roll..... 67

4.3 แสดงผลของข้อมูลจากยิงบนตัวงานพร้อมกันทั้ง สองด้านตามการแบ่ง
พื้นที่ด้านซ้ายและ ด้านขวา (สำหรับหาค่า Pitch).....68

4.4 แสดงผลของข้อมูลจากการยิงบนตัวงานเพื่อใช้ทำสมการการถดถอยของ Roll.....70

4.5 แสดงผลของข้อมูลจากการยิงบนตัวงานเพื่อใช้ทำสมการการถดถอย ของ Pitch.....71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงลักษณะฮาร์ดดิสก์ 3

2.2 แสดงโครงสร้างฮาร์ดดิสก์ 4

2.3 กลไกการทำงานฮาร์ดดิสก์ 5

2.4 แสดงระยะของแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ขณะติดตั้งบนแผ่นดิสก์ 6

2.5 แสดงลักษณะของแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์แบบต่าง ๆ 6

2.6 แสดงลำดับขั้นตอนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ 7

2.7 ขั้นตอนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ในกระบวนการ Arm forming 8

2.8 ขั้นตอนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ในกระบวนการ Gimbal forming 8

2.9 ขั้นตอนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ในกระบวนการ Laser welding 9

2.10 ขั้นตอนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ในกระบวนการ Arm and Gimbal singulation 9

2.11 ขั้นตอนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ในกระบวนการ Gram adjusted 10

2.12 ขั้นตอนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ในกระบวนการ Pitch&Roll adjustment 11

2.13 แสดงส่วนประกอบของแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ในส่วนต่างๆ 11

2.14 กระบวนการขยายสัญญาณแสงหรือจำนวนโปรตอน.....12

2.15 ไดอะแกรมของเลเซอร์โดยทั่วไป.....14

2.16 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์..... 15

2.17 ขั้นตอนการกำเนิดแสงเลเซอร์ 16

2.18 แสดงเส้นโค้งสำหรับการแจกแจง 24

2.19 แสดงเส้นพื้นที่เส้นโค้งการแจกแจง..... 24

2.20 แสดงเส้นพื้นที่เส้นโค้งการทดสอบสมมติฐาน..... 29

2.21 แสดงเส้นพื้นที่เส้นโค้งการทดสอบสมมติฐานแบบ P.....29

2.22 แสดงเส้นการถดถอยที่อธิบายความสัมพันธ์ แบบเส้นตรง และ เส้นโค้ง.....34

2.23 แสดงเส้นการถดถอย 37

3.1 แสดงกระบวนการเลเซอร์เบนดิงส์และมีการเคลื่อนที่ในแกนวาย 46

3.2 แสดงเส้นของลำแสงเลเซอร์ที่ยิงบนตัวงานและมีการเคลื่อนที่ในแกนวาย.....47

3.3 แสดงรูปโคเมนหลังจากทำการคำนวณด้วยกระบวนการเลเซอร์เบนดิงส์ 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.4 แสดง Thermal และ Mechanic properties ของ สแตนเลส 301 50

3.5 แสดงการต่ออุปกรณ์สำหรับการใช้ควบคุมเครื่องจักร และชุดเลเซอร์.....52

3.6 Block Diagram การทำงานของ ชุดควบคุมสัญญาณอินพุทและเอาท์พุท 53

3.7 ชุดควบคุมสัญญาณอินพุทและเอาท์พุท (Digital I/O card) PCL-722 54

3.8 แสดงการติดตั้งชุดกล้องวัด (Vision system) ที่ใช้ในการวัด 54

3.9 แสดงการทำงานของชุดจ่ายพลังงานเลเซอร์ (Laser power supply) 55

3.10 ชุดจ่ายพลังงานเลเซอร์ (Laser power supply) 55

3.11 แสดงการทำงานของชุดหัวยิงเลเซอร์.....56

3.12 ชุดหัวยิงเลเซอร์ (Scanhead laser) ที่ทำการติดตั้งเพื่อใช้งาน.....56

3.13 ชุดรับสัญญาณอินพุท (Opto isolated D/I board)PCLD-782B.....57

3.14 แสดงการกำหนดตำแหน่งบนชุดรับสัญญาณอินพุท (PCLD-782B) ในชุดที่ 1.....58

3.15 แสดงการกำหนดตำแหน่งบนชุดรับสัญญาณอินพุท (PCLD-782B) ในชุดที่ 2.....59

3.16 ชุดจ่ายสัญญาณเอาท์พุท (Relay output board)PCLD-785B.....60

3.17 แสดงการกำหนดตำแหน่งบนชุดจ่ายสัญญาณเอาท์พุท (PCLD-785B) ในชุดที่ 1.....61

3.18 แสดงการกำหนดตำแหน่งบนชุดจ่ายสัญญาณเอาท์พุท (PCLD-785B) ในชุดที่ 2.....62

3.19 แสดงการกำหนดชื่อเรียกตำแหน่งต่างๆ บนแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ 63

3.20 แสดงการอ่านค่าของ Pitch Static Attitude หรือค่า Pitch 64

3.21 แสดงการอ่านค่าของ Roll Static Attitude หรือค่า Roll 64

4.1 แสดงการแบ่งพื้นที่ตำแหน่งของจุดยิง.....66

4.2 กราฟแสดงผลจากการยิงบนตัวงานตามการแบ่งพื้นที่ด้านซ้ายและด้านขวาเพื่อหาค่า Roll.....68

4.3 กราฟแสดงผลจากการยิงบนตัวงานตามการแบ่งพื้นที่ด้านซ้ายและด้านขวาเพื่อหาค่า Pitch...69

4.4 กราฟแสดงค่าของ สมการเส้นตรงของ Roll 70

4.5 กราฟแสดงค่าของ สมการกำลังสองของ Roll 71

4.6 กราฟแสดงค่าของ สมการเส้นตรงของ Pitch 72

4.7 กราฟแสดงค่าของ สมการกำลังสองของ Pitch 73

4.8 แสดงการทำงานของโปรแกรมที่ออกแบบเพื่อใช้ทำสมการวิเคราะห์การถดถอย 74

5.1 แสดงการเปิดโปรแกรมสำหรับทำงาน.....77

5.2 แสดงการเรียกโปรแกรมทั้ง 3 ส่วนบนหน้าจอคอมพิวเตอร์.....77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.3 ลำดับขั้นตอนการกำหนดค่าเริ่มต้นของชุดเลเซอร์.....78

5.4 แสดงข้อความยืนยันการทำงานของชุดเลเซอร์ 79

5.5 แสดง Flow การทำงานแบบ Synchronize Adjusted.....79

5.6 กำหนด Equation และ Target ก่อนทำการยิงเลเซอร์ 80

5.7 แสดงการยิงเลเซอร์บนตัวงานจากจอคอมพิวเตอร์ 81

5.8 การกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นยิงเลเซอร์บนตัวงาน.....81

5.9 ลักษณะที่ดีบนตัวงานเมื่อทำการยิงด้วยเลเซอร์ 82

5.10 ลักษณะที่ไม่ดีบนตัวงานเมื่อทำการยิงด้วยเลเซอร์ 82

5.11 ลักษณะการยิงเลเซอร์บนตัวงานที่เพื่อทำการปรับค่าของค่า Pitch และ Roll 83

5.12 ลักษณะของงานก่อนทำการยิงเลเซอร์บนตัวงานด้วยวิธีการสมการเส้นตรง 84

5.13 ลักษณะของงานหลังทำการยิงเลเซอร์บนตัวงานด้วยวิธีการสมการเส้นตรง 84

5.14 ลักษณะของงานก่อนทำการยิงเลเซอร์บนตัวงานด้วยวิธีการสมการกำลังสอง 86

5.15 ลักษณะของงานหลังทำการยิงเลเซอร์บนตัวงานด้วยวิธีการสมการกำลังสอง 87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันนี้ในการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ในโรงงานอุตสาหกรรมได้มีกระบวนการตรวจสอบคุณภาพโดยใช้วิธีการทางสถิติ มาเป็นตัวควบคุมในระบบการผลิตมากขึ้นและในการกระบวนการผลิตแต่ละขั้นตอนจะมีการคำนวณค่าของมาตรฐานในการผลิต โดยประกอบด้วยค่าของ ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ ค่าเฉลี่ย เพื่อช่วยในการพิจารณาว่าแต่ละกระบวนการมีคุณภาพในการผลิตดีหรือ ไม่ดี ซึ่งในการใช้งานแบบเดิมจะทำการใช้การแบ่งค่าของกลุ่มงานออกเป็นแต่ละกลุ่มและแต่ละกลุ่มจะมีค่าของสมการที่ใช้เป็นเส้นตรง และเมื่อทำการใช้วิธีการประมวลผลจากแสงเลเซอร์ทำการปรับค่าระยะความสูงของแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ทำให้มีค่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ ค่าเฉลี่ย มีค่าที่ไม่ดีและแสดงว่ากระบวนการผลิตทำการผลิตงานที่ไม่มีคุณภาพ ซึ่งจะทำให้ได้งานที่มี ผลผลิตต่ำ และทำความเสียหายต่อกระบวนการผลิต ดังนั้นจึงใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย มาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะทำการวัดงานที่จะทำการปรับค่าระยะความสูงของแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ หรือค่าของ Pitch และ Roll ก่อน แล้วหลังจากนั้นจะมาทำการคำนวณค่าของ Pitch และ Roll ที่ต้องการ และนำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าของจำนวนเส้นที่ยิง โดยวิธีการประมวลผลจากแสงเลเซอร์ ที่มีความเหมาะสมกับค่าของ Pitch และ Roll ที่ต้องการ

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะพฤติกรรมของงานที่จะใช้เมื่อลักษณะของงานมีความหลากหลายหรือมีการกระจายของค่าเบี่ยงแบนมาตรฐานค่อนข้างกว้าง เพื่อให้ได้ค่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและ ค่าเฉลี่ย ตามต้องการ

1.2.2 การนำเสนอการควบคุมที่ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย มาทำการควบคุมและให้มีความเหมาะสมกับกระบวนการ

1.2.3 นำผลงานครั้งนี้ไปใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถช่วยในการปรับปรุงกระบวนการผลิตได้และง่ายในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

จุดมุ่งหมายของบทความนี้เป็นการนำเสนอการควบคุมที่ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบวิธีการ 2 แบบ คือ 1.วิธีการแบบสมการเส้นตรง (Straight Line) และ 2.วิธีการแบบสมการกำลังสอง (Quadratic) โดยในการใช้งานได้ทำการใช้วิธีการแบบสมการกำลังสอง (Quadratic) มาใช้ในการคำนวณค่าของจำนวนเส้นที่ยิง โดยวิธีการประมวลผลจากแสงเลเซอร์ ที่มีความเหมาะสมกับค่า Pitch และ Roll ที่ต้องการ และเป็นการควบคุมโดยนำเอาค่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ ค่าเฉลี่ย มากำหนดการเปลี่ยนสมการการถดถอย โดยอัตโนมัติ และสามารถทำการควบคุมกระบวนการผลิตได้ง่าย

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

- 1.4.1 ทำการศึกษาหลักการทำงานของวิธีการประมวลผลจากแสงเลเซอร์ สำหรับการใช้งาน เบื้องต้น

1.4.2 ศึกษาความสัมพันธ์ของตำแหน่งที่ยิงด้วยเลเซอร์บนตัวงานในแต่ละด้านแล้วทำให้ค่าระยะความสูงของแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ หรือ ค่าPitch และ Roll เปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

1.4.3 ออกแบบการควบคุมโดยสมการ วิเคราะห์การถดถอย และใช้ทำการเขียนโปรแกรมการควบคุมโดย ใช้โปรแกรมวิชวลเบสิก (Visual Basic) ทำการควบคุมการทำงานของวิธีการประมวลผลจากแสงเลเซอร์

1.4.4 ทำการทดลองจริงในโรงงานเพื่อวัดผลและทำการตรวจสอบจากโปรแกรมทางสถิติ

1.4.4 ทำการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง

1.4.5 สรุปผลและข้อเสนอแนะจากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
ทฤษฎีและความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุตสาหกรรม และการวิเคราะห์ในทาง สถิติ

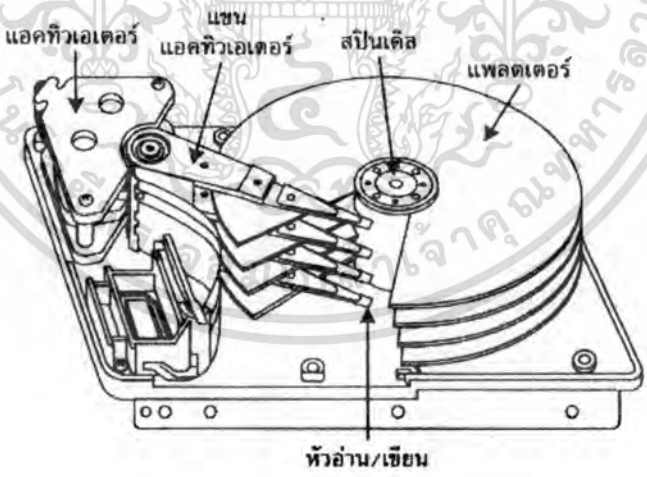
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุตสาหกรรม

เนื่องจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการผลิตในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ ดังนั้น ในส่วนนี้เป็นการกล่าวถึงหลักการเกี่ยวกับอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ ที่จำเป็นได้แก่

2.1.1 โครงสร้างของอุปกรณ์ ฮาร์ดดิสก์

ฮาร์ดดิสก์ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดเก็บโปรแกรม หรือ ข้อมูลไว้ได้โดยไม่คำนึงว่าโปรแกรม หรือข้อมูลเหล่านั้นจะอยู่ได้ถาวรหรือไม่ ซึ่งหน่วยความจำในยุคแรกของคอมพิวเตอร์มีแต่ชนิดที่ต้องใช้ไฟเลี้ยงไว้ตลอดเวลา และในภายหลังได้ทำการสร้างหน่วยความจำแบบเก็บรักษาข้อมูลที่ปราศจากไฟเลี้ยง เรียกว่า ฮาร์ดดิสก์

2.1.1.1 ส่วนประกอบและโครงสร้างของ ฮาร์ดดิสก์



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะฮาร์ดดิสก์

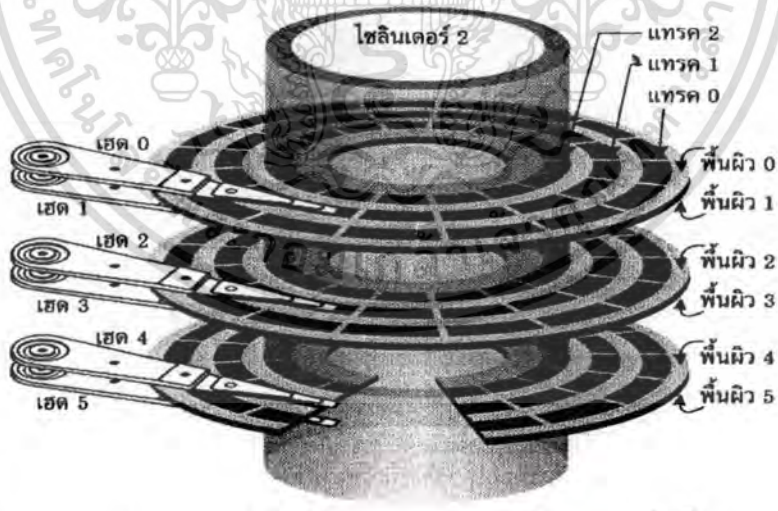
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบไปด้วยชุดของแผ่นจานกลมที่มีลักษณะแข็งและแบนราบ เรียกว่าเพลตเตอร์ (Platter) และเพลตเตอร์ เหล่านี้ถูกเจาะรูที่กึ่งกลางและยึดติดเข้าด้วยกันกับแกนหมุนที่เรียกว่า สปินเดิล โดย มีมอเตอร์ เป็นตัวขับเคลื่อนให้เพลตเตอร์ ทุกแผ่นหมุนไปพร้อมกันและด้วยอัตราเร็วที่เท่ากัน แล้วจะมีหัวอ่าน/เขียน (Read/Write head) ซึ่งติดอยู่ที่ปลายของ แขนแอคทิวเอเตอร์ (Actuator Arm)

โดยทั่วไปแล้วหัวอ่านจะมีจำนวนเป็น 2 เท่าของจำนวนเพลตเตอร์ และ หัวอ่าน/เขียนของฮาร์ดดิสก์ จะถูกกำหนดให้มีหมายเลขประจำตัวเช่นเดียวกับแทรคและเซคเตอร์ โดยเริ่มจากหมายเลข 0 เรื่อยไปจนถึงหมายเลข n – 1 ส่วนแผงวงจรบนเมนบอร์ดของ ฮาร์ดดิสก์ นั้น มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์ และสื่อสารกับส่วนอื่นๆ ของระบบคอมพิวเตอร์ โดยการรับส่งคำสั่ง/ข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับแผงวงจรของฮาร์ดดิสก์

2.1.1.2 แทรค กับ ไซลินเดอร์

หัวอ่าน/เขียนติดอยู่ที่ปลายแขน ซึ่งแขนทั้งหมดถูกหล่อขึ้นเป็นชิ้นเดียวกัน โดยมีแอคทิวเอเตอร์เป็นตัวควบคุมตำแหน่งให้เคลื่อนที่ไปตามแนวรัศมี (หรือเกือบรัศมี)ของแพลตเตอร์ในทางปฏิบัติแล้วคำว่า แทรค กับไซลินเดอร์ สามารถใช้แทนกันได้โดยไม่ทำให้ความหมายเปลี่ยนแปลงไปแต่อย่างใด ทั้งนี้เพราะการอ้างถึงเซคเตอร์ใด หรือ เซคเตอร์หนึ่งของฮาร์ดดิสก์ นั้นนิยมใช้แอดเดรสในรูปของหมายเลขไซลินเดอร์ หมายเลขหัวอ่าน/เขียน และหมายเลขเซคเตอร์

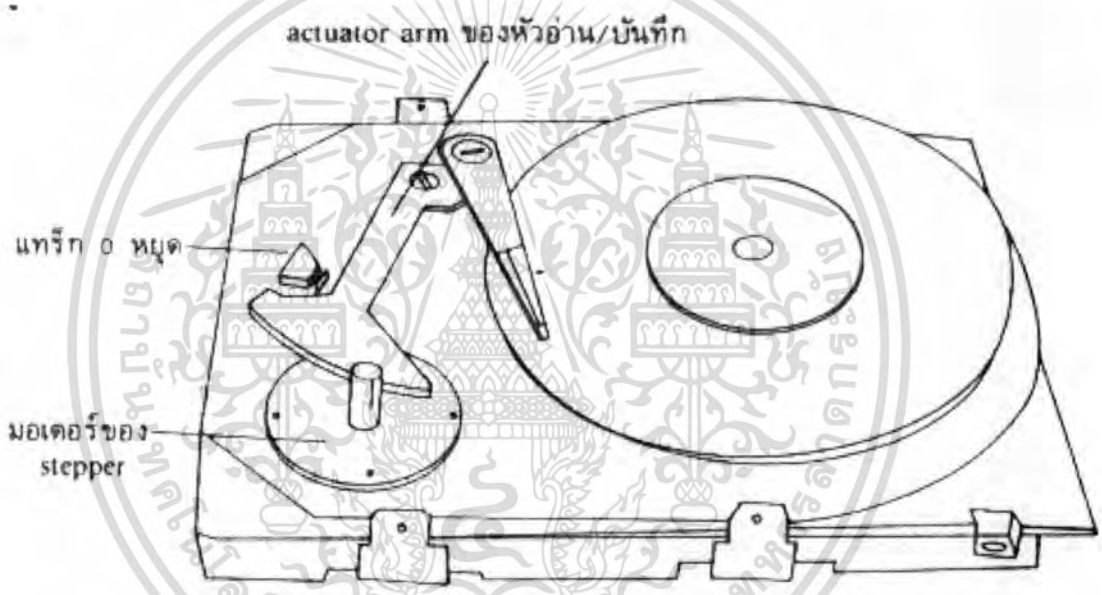


รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างฮาร์ดดิสก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.3 การอ่านและ เขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์

ระบบต้องตัดสินใจว่าจะเข้าถึงพื้นที่ส่วนใดของฮาร์ดดิสก์ โปรแกรมควบคุมที่อยู่ในตัวฮาร์ดดิสก์ จะตรวจสอบว่าเซคเตอร์ที่ถูกระบุให้อ่านนั้นมีข้อมูลอยู่ในแคชของฮาร์ดดิสก์ แล้วหรือยัง คอนโทรลเลอร์จะดำเนินการบางอย่างกับแอดเดรสของเซคเตอร์ที่ได้รับการร้องขอให้อ่านเพื่อแปลงให้เป็นแอดเดรส ในทางกายภาพเมื่อทราบข้อมูลทางการภาพของเซคเตอร์ที่ต้องการแล้วฮาร์ดดิสก์ และ คอนโทรลเลอร์ก็จะสั่งให้แอคทิวเอเตอร์ทำงานขณะที่ทุกหัวอ่านปักหลังอยู่ที่แทรคหมายเลข X นั้น คอนโทรลเลอร์จะสั่งให้หัวอ่าน Y อ่านข้อมูลจากแทรคจนกว่าจะพบเซคเตอร์หมายเลข Z ที่ต้องการคอนโทรลเลอร์นำข้อมูลที่อ่านมาได้ไปพักเก็บไว้ในแคชของฮาร์ดดิสก์ แล้วส่งข้อมูลนั้นผ่านส่วนอินเตอร์เฟสไปยังคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.3 กลไกการทำงานของฮาร์ดดิสก์

อินเตอร์เฟส ของ ของฮาร์ดดิสก์ หมายถึง ช่องสัญญาณที่ ของฮาร์ดดิสก์ ใช้รับส่งคำสั่งของข้อมูล/สถานะกับระบบบหรือโฮสต์ อินเตอร์เฟสเป็นส่วนที่มีบทบาทต่อประสิทธิภาพของฮาร์ดดิสก์ เพราะแม้ว่าหัวอ่าน/เขียนจะสามารถอ่านข้อมูลจากพื้นผิวของฮาร์ดดิสก์ ได้รวดเร็วเพียงใดก็ตาม ถ้าอินเตอร์เฟสไม่เอื้ออำนวยต่อการส่งผ่านข้อมูลที่อัตราเร็วนั้นก็ถือว่าเปล่าประโยชน์ ส่วนอินเตอร์เฟสของฮาร์ดดิสก์ ก็จะมี 2 กลุ่มใหญ่ คือ IDE/ATA และ SCSI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 กระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับยึดหัวอ่านและเขียนข้อมูลบนฮาร์ดดิสก์ ก็คือ แขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ และโดยปกติแล้วในการทำงานของแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ จะต้องลอยตัวขึ้น ไม่ทำการสัมผัสพื้นผิวของแผ่นดิสก์ โดยมีความระยะความสูงน้อยกว่า 0.4 micro -นิ้ว(< 10 nm)เหนือกว่าพื้นผิวแผ่นดิสก์นั่นคือกำลังหมุนตัวอย่างต่อเนื่องที่ความเร็ว 5,400 ถึง 20,000 รอบต่อนาที แต่ถ้าระยะในการลอยตัวของ แขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ไม่เหมาะสมจะทำให้ ความสามารถของหัวที่จะอ่าน หรือเขียนข้อมูลไม่สามารถอ่านและเขียนได้ อาจทำให้เกิดสาเหตุให้หัวอ่านขูดแผ่นดิสค์และทำลายสารที่เคลือบแม่เหล็กบนแผ่นดิสค์เสียหายได้ดังนั้นจะต้องทำการออกแบบให้มีการลอยตัวหรือระยะความสูงที่ถูกต้อง และทำให้ต้องมีการกำหนดองศาของแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ โดยเรียกว่า PSA (Pitch Static Attitude) และ RSA (Roll Static Attitude)

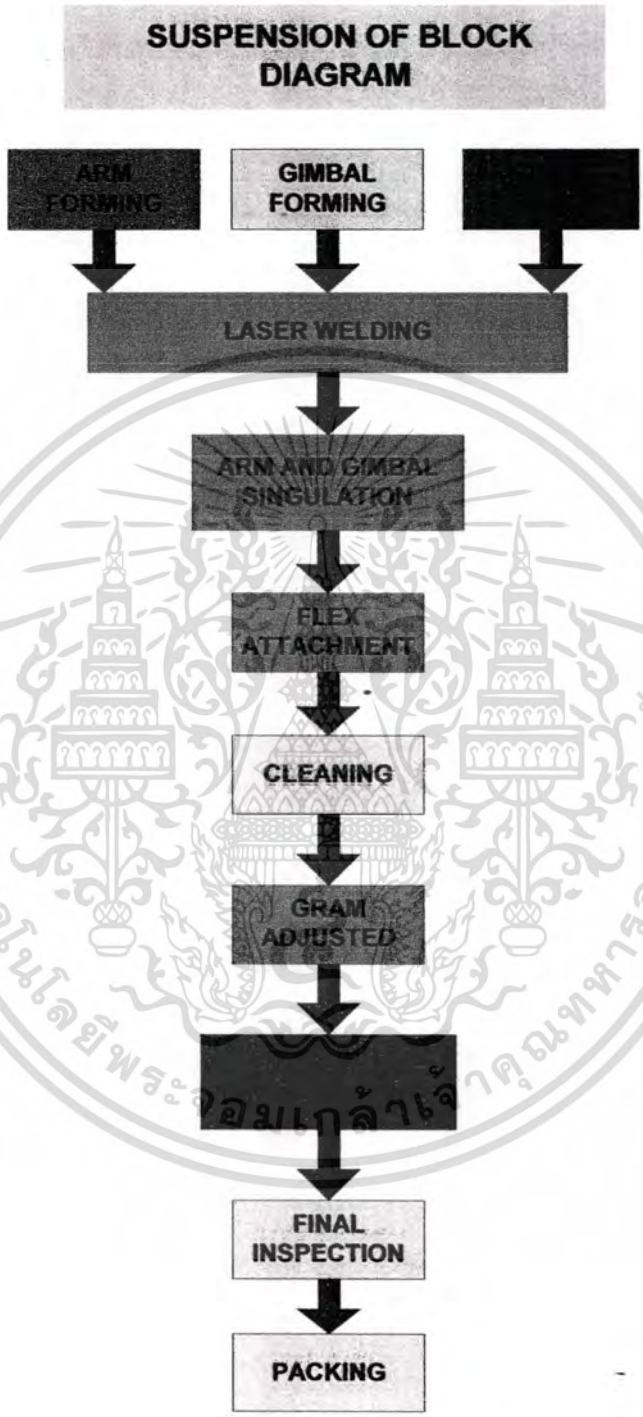
รูปที่ 2.4 .แสดงระยะของแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ขณะติดตั้งบนแผ่นดิสก์

รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 กระบวนการผลิต แขนจับหัวอ่าน ฮาร์ดดิสก์

ในการผลิต แขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ สามารถแสดงขั้นตอนการผลิตดังต่อไปนี้

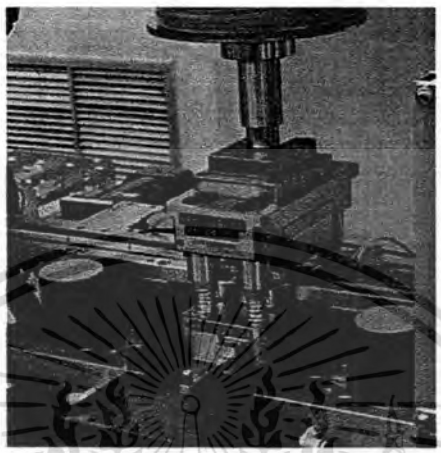


รูปที่ 2.6 แสดงลำดับขั้นตอนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.1 Arm forming

เป็นกระบวนการปั๊มรูปงานบนแผ่นสแตนเลส ชนิด 304 ที่มีความหนา 0.076 มิลลิเมตร และได้ผ่านกระบวนการ กัดโลหะทางเคมี จนได้แผ่นสแตนเลสที่มีรูปร่างของตัวแขนอ่าน แล้วมาทำการปั๊ม ขึ้นรูปตามที่ต้องการตามลักษณะที่ต้องการ



รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ในกระบวนการ Arm forming

2.2.1.2.Gimbal forming

เป็นกระบวนการปั๊มรูปงานบนแผ่นสแตนเลส ชนิด 304 ที่มีความหนา 0.020 มิลลิเมตรและได้ผ่านกระบวนการ กัดโลหะทางเคมี จนได้แผ่นสแตนเลสที่มีรูปร่างของฐานยึดจับแขนอ่าน แล้วมาทำการขึ้นรูปตามที่ต้องการตามลักษณะ ที่ต้องการ

รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ในกระบวนการ Gimbal forming

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

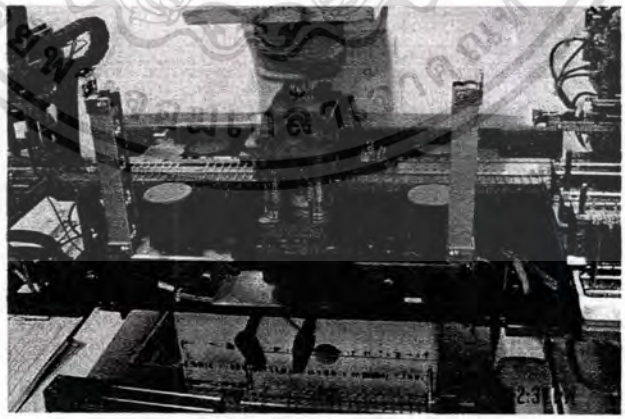
2.2.1.3 Laser welding

เป็นกระบวนการเชื่อม Arm สแตนเลส และ Gimbal สแตนเลส ให้มีการติดกันและเป็นชุดแขนอ่าน โดยขั้นตอนนี้ต้องทำการตรวจสอบรอยเชื่อมและตำแหน่งการเชื่อมให้ถูกต้องตามลักษณะที่ต้องการ

รูปที่ 2.9.ขั้นตอนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ในกระบวนการ Laser welding

2.2.1.4 Arm and Gimbal singulation

เป็นกระบวนตัดแผ่นสแตนเลสที่ไม่ได้ใช้ออกไปหลังจากกระบวนการเชื่อม Arm สแตนเลส และ Gimbal สแตนเลส ให้มีการติดกันและเป็นชุดแขนอ่าน โดยหลังจากทำการตัดออกไปแล้วก็จะทำการปั๊มขึ้นรูปบริเวณส่วนแขนอ่าน อีกครั้งเพื่อเพิ่มค่าองศาของแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์เบื้องต้นให้ใกล้กับค่าที่ต้องการ



รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ในกระบวนการ Arm and Gimbal singulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.5 Flex attachment

เป็นกระบวนติดแผ่นวงจรไฟฟ้า บนตัวแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ เพื่อเป็นสายวงจรไฟฟ้าสำหรับต่อกับชุดหัวอ่าน เพื่อใช้สำหรับส่งสัญญาณอ่านและเขียนข้อมูลบนฮาร์ดดิสก์

2.2.1.6 Gram adjusted

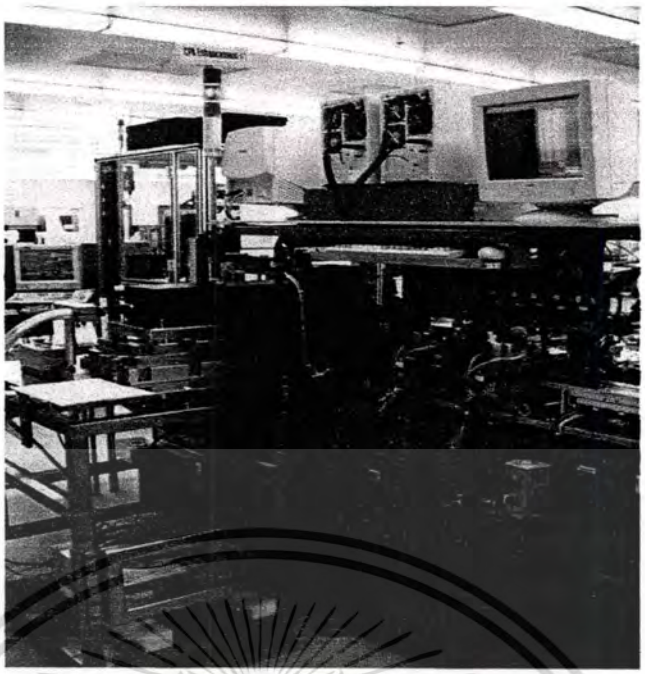
เป็นกระบวนปรับเพิ่มและลด ค่าองศาของแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ในบริเวณแขนอ่านให้ได้กับค่าที่ต้องการ และค่าที่ต้องการจะขึ้นอยู่กับลักษณะของแต่ละประเภท

รูปที่ 2.11 ขั้นตอนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ในกระบวนการ Gram adjusted

2.2.1.7 Pitch &Roll adjusted

เป็นกระบวนปรับเพิ่มและลด ค่าองศาของแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ในส่วนติดกับชุดหัวอ่านและเขียนข้อมูลบนของฮาร์ดดิสก์ ให้ได้กับค่าที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ในกระบวนการ Pitch&Roll adjusted

รูปที่ 2.13 แสดงส่วนประกอบของแขนจับหัวอ่านของฮาร์ดดิสก์ ในส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

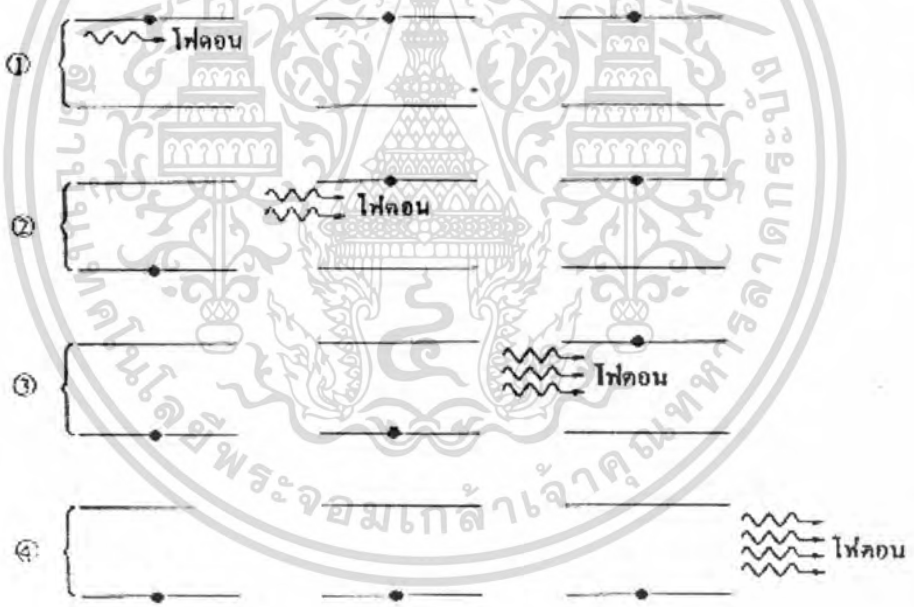
2.3 การทำงานของ Laser

หลักการพื้นฐานที่สำคัญในการทำให้เกิดแสงเลเซอร์ มีดังนี้

1. การทำให้เกิดปรากฏการณ์ประชากรผกผัน (Population inversion)
2. การทำให้เกิดการออสซิลเลตของเลเซอร์ (Laser oscillation) ซึ่งกระบวนการนี้เกี่ยวกับกระจกเลเซอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นออปติคัลเรโซเนเตอร์ (Optical resonator) หรือออปติกคัลแคววิตี (Optical cavity)

2.3.1 ปรากฏการณ์ประชากรผกผัน

กระบวนการขยายสัญญาณแสงโดยวิธีการปล่อยแสงแบบแร่งเร้า เป็นการอธิบายหลักการจำนวนโฟตอนจากหนึ่งเป็นสองโฟตอนเท่านั้น ซึ่งการจะทำให้เกิดการปล่อยแสงเลเซอร์ได้นั้นต้องมีการขยายจำนวนโฟตอนให้ได้เป็นล้านๆ ตัวดังกระบวนในรูป ซึ่งจะเห็นว่าจำนวนโฟตอนจะถูกขยายจากหนึ่งเป็นสอง สาม สี่ จนกระทั่งได้เป็นล้านๆ ตัว



รูปที่ 2.14 .กระบวนการขยายสัญญาณแสงหรือจำนวนโฟตอน

จากกระบวนการขยายจำนวนโฟตอนในรูปที่ 2.14 จะเห็นว่าจำนวนอะตอมในชั้นพลังงานสูงหรือสถานะกระตุ้นต้องมีจำนวนมากพอ และโดยทั่วไปการที่จะทำให้เกิดการขยายจำนวนโฟตอนให้ได้จำนวนเป็นล้านๆ ตัว เพื่อให้ได้แสงเลเซอร์นั้น จำเป็นจะต้องมีจำนวนอะตอมหรือประชากรของอะตอมในชั้นพลังงานสูงมากกว่าจำนวนประชากรของอะตอมในสถานะพื้นนั่นคืออยู่ในสภาพของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ เป็นประชากรผกผัน ดังรายละเอียดที่กล่าวแล้ว ซึ่งทำได้โดยการให้พลังงานที่มีจำนวนพอดีแก่อะตอมในสถานะพื้นแล้ว อะตอมไปอยู่ในชั้นพลังงานสูงชั้นใดชั้นหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า การปั๊ม การที่จะทำให้อะตอมอยู่ที่ชั้นพลังงานสูงได้เป็นเวลานาน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปล่อยแสงแบบเกิดขึ้นเองนั้น คือจะต้องปั๊มให้อะตอมจากสถานะพื้นไปอยู่ที่ชั้นพลังงานที่กึ่งเสถียรภาพ เพื่อให้อะตอมอยู่ในชั้นพลังงานนี้ได้เป็นเวลานานพอที่จะมีโฟตอนที่มีความถี่พอเหมาะเข้ามาชนแล้วทำให้เกิดการปล่อยแสงแบบเร่งเร้าขึ้น ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการเกิดแสงเลเซอร์นั่นเอง

ในทางปฏิบัติ กระบวนการที่ทำให้เกิดประชากรผกผัน ไม่สามารถทำได้กับอะตอมที่มีเพียง 2 ชั้นพลังงาน (two level system) ลองพิจารณาอะตอมที่มีเพียง 2 ชั้นพลังงาน E_1 และ E_2 โดยปกติอะตอมจะอยู่ที่ชั้นพลังงานต่ำ E_1 แต่ถ้ามีโฟตอนจากภายนอกที่มีความถี่พอเหมาะคือ $v = (E_2 - E_2) / h$ เข้ามายังอะตอม อะตอมจะดูดกลืนโฟตอนแล้วถูกกระตุ้นให้ขึ้นไปอยู่ที่ชั้นพลังงานสูง E_2 ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ของ การดูดกลืนแสง ดังที่กล่าวมาแล้ว ในทางกลับกัน ถ้าอะตอมอยู่ที่ชั้นพลังงานสูง E_2 แล้วมีโฟตอนเข้ามายังอะตอมก็จะไม่เกิดการดูดกลืน แต่อาจจะเกิดการปล่อยโฟตอนเพิ่มอีก 1 ตัว ซึ่งเป็นหลักการของการปล่อยแสงแบบเร่งเร้าได้

ในเนื้อสารจะประกอบด้วยอะตอมจำนวนมาก โดยที่บางอะตอมอยู่ที่ชั้นพลังงาน E_2 ในกรณีเช่นนี้เมื่อมีโฟตอนจากภายนอกเข้ามายังธาตุหรือสารประกอบนั้น ถ้าโฟตอนไปชนกับอะตอมซึ่งอยู่ที่ชั้นพลังงาน E_2 ก็จะถูกดูดกลืนโดยอะตอม ถ้าไปชนกับอะตอมในชั้นพลังงาน E_2 ก็จะเกิดการปล่อยโฟตอนออกมาเพิ่มได้ แต่โฟตอนที่ถูกปล่อยเพิ่มออกมา 1 ตัว รวมกับตัวที่เข้ามาอีก 1 ตัว เมื่อเคลื่อนที่ต่อไปอาจจะไปชนอะตอมในชั้นพลังงาน E_2 แล้วถูกดูดกลืนอีกก็ได้ ดังนั้นในภาพรวมแล้ว ถ้าหากว่ามีลำแสงหรือโฟตอนเข้ามายังเนื้อสารที่ประกอบด้วยธาตุหรือสารประกอบ จำนวนโฟตอนที่ออกมาจะมากขึ้นหรือน้อยลง จึงขึ้นกับจำนวนอะตอมในชั้นพลังงาน E_1 และ E_2 ว่าชั้นพลังงานใดจะมีจำนวนอะตอมมากกว่ากัน

แต่ในธรรมชาติถ้าสสารอยู่ในสมดุลเชิงความร้อน จำนวนอะตอมที่อยู่ในชั้นพลังงานต่างๆ จะเป็นไปตามกฎของโบลต์มันน์ นั่นคือจำนวนอะตอมที่อยู่ในชั้นพลังงานต่ำ E_1 จะมากกว่าชั้นพลังงาน E_2 ซึ่งจะเป็นผลให้เกิดการดูดกลืน มากกว่า เกิดการปล่อยแสงแบบเร่งเร้า

2.3.2 ออปติคัลเรโซเนเตอร์ (Optical resonator)

ในหลักการกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้กล่าวถึงหลักการขยายสัญญาณแสงด้วยวิธีการปล่อยแสงแบบเร่งเร้าแล้ว แต่หลักการนี้เพียงอย่างเดียวยังไม่เพียงพอที่จะทำให้ได้จำนวนโฟตอนเป็นล้านๆ ตัว หรือการเกิดแสงเลเซอร์ได้อุปกรณ์หลักที่จะช่วยทำให้เกิดการขยายสัญญาณแสงหรือจำนวนโฟตอนด้วยวิธีการปล่อยแสงแบบเร่งเร้า ก็คือ ออปติกคัลเรโซเนเตอร์ หรือออปติกคัลแควิตี ซึ่งประกอบด้วยกระจก 2 แผ่น M_1 และ M_2 วางหันหน้าเข้าหากันโดยมีตัวกลางเลเซอร์วางอยู่ระหว่างกระจกทั้ง 2 แผ่น ดังสามารถแสดงในรูปที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.15 ไดอะแกรมของเลเซอร์โดยทั่วไป

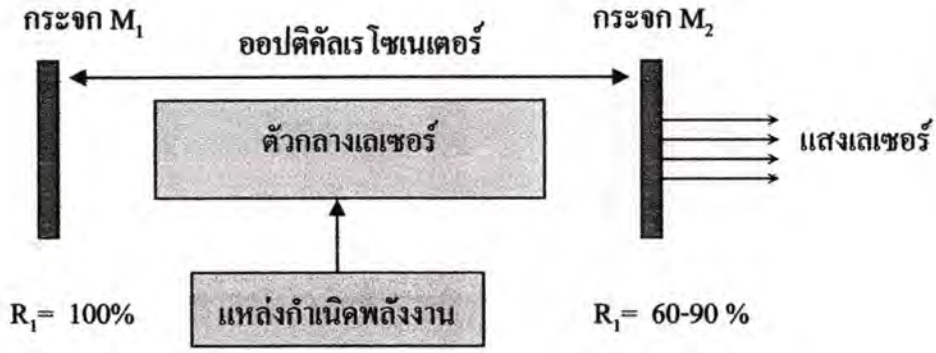
สำหรับ M_1 เป็นกระจกด้านหลังของเลเซอร์ ซึ่งมีสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Reflectivity, R) 100% ส่วน M_2 เป็นกระจกด้านหน้า หรือด้านที่ปล่อยให้แสงเลเซอร์ออก ซึ่งมีสัมประสิทธิ์สะท้อนแสง 60-90 % หรือมีสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสง 1-40 % กระจกทั้ง 2 แผ่นจะทำหน้าที่สะท้อนแสงหรือโฟตอนให้วิ่งกลับไปกลับมา เมื่อผ่านตัวกลางเลเซอร์แล้วทำให้เกิดการขยายแสงหรือจำนวนโฟตอนโดยวิธีการปล่อยแสงแบบเร่งเร้า จนกระทั่งมีความเข้มสูงขึ้น ๆ จนถึงจุดเลซิง หรือจุดออสซิลเลตของเลเซอร์ ลำแสงเลเซอร์ก็จะถูกปล่อยผ่านออกมาทางกระจก M_2

2.3.3 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์

จากหลักการพื้นฐานของการเกิดแสงเลเซอร์ในหัวข้อที่แล้ว เครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์จะต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน ดังนี้

1. ตัวกลางเลเซอร์ (Laser medium) ได้แก่วัสดุที่ต้องการกระตุ้นให้เกิดการปล่อยแสงเลเซอร์ซึ่งอาจเป็นแก๊ส ของแข็ง ของเหลวหรือสารกึ่งตัวนำ
2. ออปติคัลเรโซเนเตอร์ ได้แก่กระจก 2 แผ่น
3. แหล่งกำเนิดพลังงาน (Energy source) เพื่อใช้ในการกระตุ้นให้อะตอมอยู่ในสภาวะที่เป็นประชากรผกผัน การให้พลังงานแก่อะตอมหรือการปั๊มทำได้หลายวิธี เช่น ถ้าตัวกลางเลเซอร์เป็นแก๊ส ต้นกำเนิดพลังงานที่ใช้คือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงกำลังสูงเพื่อทำให้แก๊ส เกิดการดิสชาร์จจนกลายเป็นพลาสมาและเมื่อตัวกลางเป็นของแข็งหรือของเหลวจะใช้ต้นกำเนิด พลังงานที่เป็นแสง เช่น แสงจากหลอดไฟแฟลช หรือหลอดอาร์ค

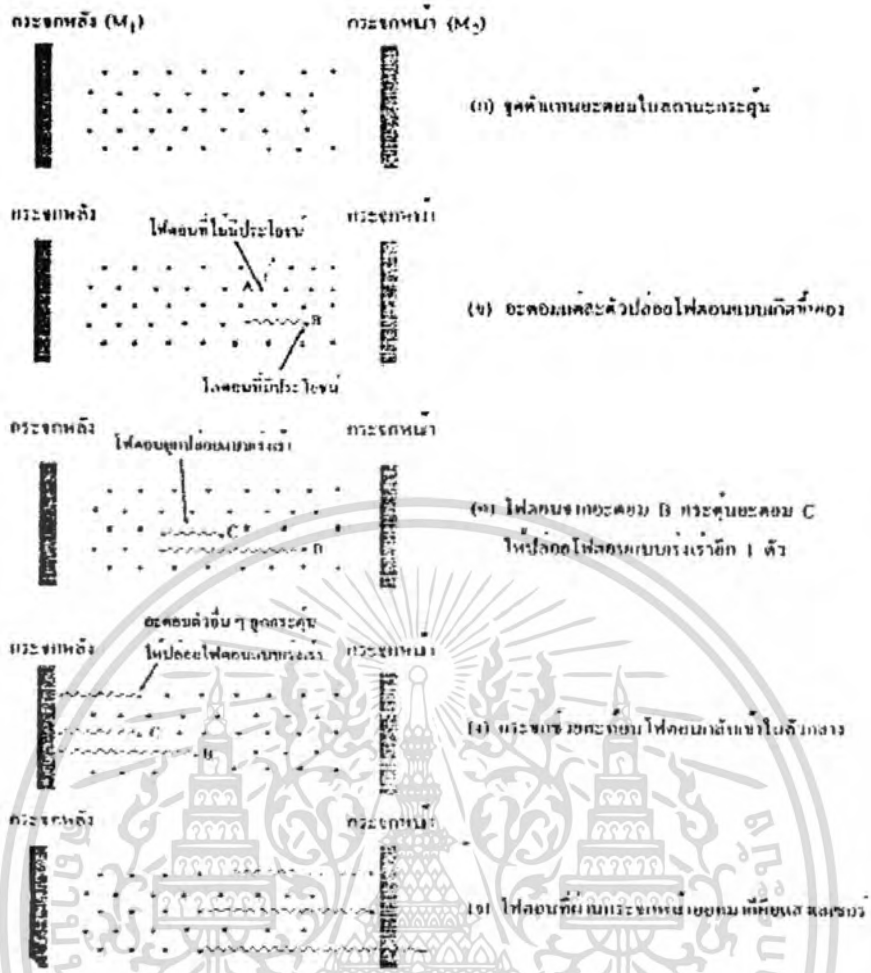
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์

จากโครงสร้างพื้นฐานที่เครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์ดังกล่าวข้างต้นเราสามารถอธิบายขั้นตอนการเกิดแสงเลเซอร์ ได้ดังนี้เมื่อจ่ายพลังงานให้แก่ตัวกลางเลเซอร์ อะตอมหรือโมเลกุลของตัวกลาง จะถูกกระตุ้นหรือปั๊มจากสถานะพื้นให้ไปอยู่ในสถานะกระตุ้น ดังรูปที่ 2.17 (ก) หลังจากนั้นอะตอมแต่ละตัวจะปล่อยโฟตอนออกมาแบบเกิดขึ้นเองโดยแต่ละโฟตอนมีทิศใดๆ ก็ได้ เช่น อะตอม A ถูกปล่อยออกมาทางด้านข้างดังรูปที่2.17 (ข) ซึ่งโฟตอนตัวนี้จะผ่านตัวกลางมาโดยไม่มีประโยชน์ต่อการเกิดแสงเลเซอร์ แต่อะตอมบางตัวเช่น อะตอม B ที่ปล่อยโฟตอนออกมาในแนวแกนของตัวกลางเลเซอร์ จะเป็นโฟตอนที่มีประโยชน์ต่อการเกิดแสงเลเซอร์ เพราะเมื่อไปชนอะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้นเช่นอะตอม C ดังรูปที่ 2.17 (ค) จะทำให้อะตอม C ปล่อยโฟตอนออกมา แบบเร่งเร้าอีก 1 ตัวโดยอะตอมทั้ง 2 ตัวจากอะตอม B และ C เคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันจนกระทั่งออกจากตัวกลางไปชนกระจก M_1 แล้วสะท้อนกลับเข้ามาในตัวกลางอีกครั้งหนึ่ง แล้วทำให้เกิดการปล่อยโฟตอนแบบเร่งเร้าเพิ่มขึ้น โดยการสะท้อนกลับมาระหว่างกระจก M_1 และ M_2 จะทำให้เกิดการขยายจำนวนโฟตอนที่เหลือจะสะท้อนกลับเข้าไปในตัวกลาง เพื่อทำให้เกิดการขยายโฟตอนแบบเร่งเร้าต่อไป จากหลักการดังกล่าวข้างต้นจะทำให้เกิดการขยายจำนวนโฟตอนได้เป็นล้านๆ ตัว เพื่อเกิดเป็นแสงเลเซอร์ได้นั้นจะต้องมีจำนวนโฟตอนในสถานะกระตุ้นมากกว่าจำนวนโฟตอนในสถานะพื้น นั่นคืออะตอมอยู่ในสภาวะที่เป็นประชากรผกผัน ตามหลักการของการเกิดแสงเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 .ขั้นตอนการกำเนิดแสงเลเซอร์

2.3.4 คุณสมบัติของแสงเลเซอร์

แสงเลเซอร์มีสมบัติที่เด่นชัด ดังต่อไปนี้

1. เป็นแสงสีเดียว (Monochromaticity)
2. มีความพร้อมเพรียงของคลื่น (Coherence)
3. มีทิศทางที่แน่นอน (Drectionality)
4. มีความเข้มหรือมีความจ้า (Brightness) สูงมาก

2.3.4.1การเป็นแสงสีเดียว

เป็นสมบัติสำคัญประการหนึ่งของเลเซอร์ ซึ่งหมายถึงเลเซอร์มีความยาวคลื่นเพียงค่าเดียว ก่อนอื่นเราจะพิจารณาแสงที่ปล่อยออกจากต้นกำเนิดแสงโดยทั่วไป ที่เราพบเห็นในชีวิตประจำวันเช่น หลอดไฟฟ้า และดวงอาทิตย์ รวมทั้งต้นกำเนิดแสงที่ใช้ในการทดลองทางวิทยาศาสตร์ เช่น หลอมสเปกตรัม แสงจากหลอดไฟฟ้าและดวงอาทิตย์จะเห็นเป็นสีขาว ถ้าให้แสงสีขาวนี้ผ่านปริซึม จะเห็นแถบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีต่างๆ เรียงกันอย่างต่อเนื่องจากสีม่วง ถึงสีแดงเรียกว่า แถบสเปกตรัมของแสง ซึ่งจะมีความยาวคลื่นในช่วงตั้งแต่ 400-700 นาโนเมตร ความกว้างของแถบสเปกตรัมของแสง เรียกว่า Bandwidth ($\Delta\lambda$) ดังนั้นสำหรับแสงจากหลอดไฟฟ้าและดวงอาทิตย์จะมีค่า ($\Delta\lambda$) เท่ากับ $700-400$ = นาโนเมตร

สำหรับต้นกำเนิดแสงที่เป็นหลอดสเปกตรัม เช่น หลอดโซเดียมหลอดปรอท หรือหลอดแคดเมียม เมื่อให้แสงจากต้นกำเนิดแสงเหล่านี้ผ่านปริซึม จะเห็นเป็นเส้นสเปกตรัม โดยแต่ละเส้นจะมีความกว้าง ($\Delta\lambda$) ประมาณ 0.01 นาโนเมตร ซึ่งในกรณีนี้มีความกว้างของเส้นสเปกตรัมจะเรียกว่า Linewidth

ในกรณีของเลเซอร์ เช่น เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ซึ่งเป็นเลเซอร์ชนิดแก๊สหรือ เลเซอร์แก๊สชนิดหนึ่งที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ ของแสง เช่น การเลี้ยวเบนและการแทรกสอดของแสงโดยเลเซอร์ชนิดนี้จะให้แสงสีแดง และถ้าให้แสงสีแดงของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ผ่านปริซึมจะไม่มีการแยกเป็นหลายเส้น แต่ยังคงมีเพียง 1 เส้น ที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร โดยที่ความกว้างของเส้นสเปกตรัม ($\Delta\lambda$) มีค่าประมาณ 0.00001 นาโนเมตร ซึ่งมีค่าน้อยมากเพื่อเทียบกับกับแสงจากหลอดไฟฟ้า หรือจากหลอดสเปกตรัม การที่แสงเลเซอร์ ($\Delta\lambda$) แคบมากเช่นนี้ เป็นสมบัติสำคัญประการหนึ่งของแสงเลเซอร์ซึ่งเราเรียกแสงเลเซอร์ว่าเป็น แสงสีเดียว หรือความยาวคลื่นเดียวได้

2.3.4.2 ความพร้อมเพรียงของคลื่นหรือความเป็นโคฮีเรนซ์

ต้นกำเนิดแสงธรรมดาโดยทั่วไป เช่น หลอดไฟฟ้า และหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะให้แสงที่มีหลายสีหรือหลายความยาวคลื่น ยิ่งกว่านั้นแต่ละคลื่นยังเคลื่อนที่ในทิศทางต่างๆ กันไม่แน่นอน เราสามารถอธิบายการปล่อยแสงจากหลอดไฟฟ้าได้ดังนี้ ไส้หลอดไฟฟ้าที่ปล่อยแสงประกอบด้วยอะตอมที่เล็กมา โดยแต่ละอะตอมจะทำหน้าที่เป็นต้นกำเนิดแสง ดังนั้นแต่ละอะตอมต่างก็ปล่อยแสงออกมาอย่างอิสระซึ่งกันและกัน แสงที่ถูกปล่อยออกมาจากหลอดไฟฟ้าจึงมีเฟสและความยาวคลื่นต่างๆ กัน ยิ่งกว่านั้นแต่ละคลื่นที่ถูกปล่อยออกมามีทิศทางไม่แน่นอน (หรือเป็น Random) แสงจากต้นกำเนิดแสงธรรมดาโดยทั่วไป จะเรียกว่า แสงอินโคฮีเรนต์ (Incoherent light)

2.3.4.3 การมีทิศทางที่แน่นอน

สมบัติที่เด่นชัดที่สุดของแสงเลเซอร์ คือลำแสงเลเซอร์ ไม่กระจายออกเหมือนแสงจากไฟฉายหรือต้นกำเนิดแสงอื่นๆ แสงที่ออกจากเลเซอร์มีการบานออก (Divergence) ค่อนข้างน้อย มุมที่ลำแสงบานออก (Beam divergence, θ)

ถ้าลำแสงเลเซอร์ที่ออกจากเครื่องเลเซอร์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง d แล้วเริ่มบานออกเป็นมุม θ โดยที่ระยะ 1 จากเครื่องเลเซอร์เส้นผ่านศูนย์กลางของปลายลำแสงมีขนาด d โดยทั่วไปสำหรับแสงเลเซอร์ มุมที่ลำแสงเลเซอร์บานออกจะมีค่าประมาณ 1 –10 mrad (มิลลิเดียน) หรือประมาณ0.06-0.6 องศา ดังนั้นมุม θ ถือว่าน้อยมาก จากเรขาคณิตสามารถพิสูจน์ ได้ว่า $d' \approx |\theta + d$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

61641

ยกตัวอย่าง ลำแสงเลเซอร์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) 1 มิลลิเมตร มีมุมลำแสงบานออก (θ) 1 มิลลิเมตร ดังนั้นที่ระยะ(1) 1 เมตร ลำแสงจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง d' = (10^2 cm)(10^{-3} mrad) + 0.10 cm = 0.2 cm = 2 มิลลิเมตร

หมายความว่าทุกๆ ระยะทาง 1 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของลำแสงจะโตขึ้น 1 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตาม เลเซอร์บางชนิดเช่น เลเซอร์ไดโอดจะมีมุมที่ลำแสงบานออกที่โตมาก โดยอาจมีค่าถึง 30 องศา ในขณะที่เลเซอร์บางชนิดเช่น เลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์อาจจะมีมุมที่ลำแสงบานออกน้อยมาก คือ ประมาณ 1 ไมโครเรเดียน และสามารถยิงไปถึงดวงจันทร์ได้โดยเมื่อลำแสงไปถึงดวงจันทร์ที่ห่างจากโลก 400,000 กิโลเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำแสงเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 400 เมตร

2.3.4.4 มีความเข้มหรือมีความจ้า (Brightness) สูงมาก

ก่อนที่เราจะให้นิยามคำว่า "ความจ้า" หรือ 'Brightness' ของแสงเราจำเป็นต้องให้นิยามของเทอมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเสียก่อน ได้แก่

Q = Radiant energyหมายถึงพลังงานทั้งหมดที่ถูกปล่อยออกมาจากต้นกำเนิดแสงในรูปของ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีหน่วยเป็น Joule (J)

Φ = Radiant flux หมายถึง Radiant energy ที่ถูกปล่อยออกมาจากต้นกำเนิดแสงต่อ 1 หน่วยเวลา มีหน่วยเป็น Joule 1 second (J/s) = watt (W)

I = Radiant intensity หมายถึง Radiant flux ที่ถูกปล่อยออกมาจากต้นกำเนิดแสงต่อ 1 มุมตัน

M = Radiant existence หมายถึง Radiant flux ที่ถูกปล่อยออกมาต่อ 1 หน่วยพื้นที่ของต้นกำเนิดแสง

A_0 = พื้นที่ผิวของต้นกำเนิดแสง

ω = มุมตัน (Solid angle)

ถ้าหลอดไฟฟ้าปล่อยแสงออกมาอย่างสม่ำเสมอในทุกทิศทาง พิจารณาทรงกลมรัศมี R ที่ล้อมรอบหลอดไฟแสงที่ผ่านเข้าไปในรูปกรวยซึ่งมีพื้นที่ผิวทรงกลมเท่ากับ A เรานิยามมุมตันซึ่งมีมีหน่วยเป็น Steridian (Sr) ได้ว่า $\omega = \frac{A^{sr}}{R^2}$ (2.1)

เรานิยามคำว่า "Radiance" หรือ "Brightness" ว่า คือ radiant intensity ที่ถูกปล่อยออกมาจากต้นกำเนิดแสงต่อ 1 หน่วยพื้นที่ของต้นกำเนิดแสง ดังนั้น

$$\text{ความจ้าหรือ brightness} = \frac{I}{A_0} = \frac{I}{A_0 W} \quad \frac{W}{m^2 - sr} \qquad (2.2)$$

นั่นคือ การที่เราจะบอกว่าต้นกำเนิดแสงหนึ่งมีความจ้ามากหรือน้อย ขึ้นกับความเข้มของพลังงาน (radiant intensity) ที่ถูกปล่อยออกมาจากต้นกำเนิดแสงนั้นๆ พิจารณาแสงเลเซอร์จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลเซอร์ฮีเลียม – นีออนที่ให้กำลัง 3 มิลลิวัตต์ ถ้าลำแสงมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตรและการบานของลำแสงเท่ากับ 5×10^{-5} เรเดียน (rad)

กำลังของแสงเลเซอร์ $\Phi = 3 \times 10^{-3}$ W พื้นที่ของลำแสง $A_0 = \pi^2 = \pi(1 \times 10^{-3})^2 m^2$

มุมที่แสงเลเซอร์บานออก θ 5×10^{-5} rad มุมตัน $\omega = \pi\theta^2 = \pi(5 \times 10^{-5})^2$ sr

ดังนั้น สามารถคำนวณความจ้าจากแสงเลเซอร์ ได้ดังนี้

$$\text{ความจ้า} = \frac{3 \times (10^{-3})^2 \text{ W}}{\pi(1 \times 10^{-3})^2 \text{ m}^2 (5 \times 10^{-5})^2 \text{ sr}} = 1.08 \times 10^{-5} = \frac{\text{W}}{\text{m}^2 - \text{sr}} \quad (2.3)$$

เมื่อเปรียบเทียบกับแสงจากดวงอาทิตย์ ซึ่งมีความจ้าประมาณ $1.3 \times 10^6 = \frac{\text{W}}{\text{m}^2 - \text{sr}}$ แล้วจะเห็นว่าแสงเลเซอร์จากเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ที่ให้กำลังเพียง 3 มิลลิวัตต์ มีความจ้าสูงกว่าแสงจากดวงอาทิตย์ถึง 10^5 เท่า

2.3.5 การแบ่งชั้น (Class) ของเลเซอร์

เลเซอร์หรือระบบเลเซอร์อาจจะแบ่งได้เป็นหลายชั้น (Class) ตามกำลังของแสงเลเซอร์ที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้ ดังนี้

ชั้น 1 (Class1) เป็นเลเซอร์หรือระบบเลเซอร์ที่ให้แสงเลเซอร์กำลังต่ำที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายใดๆ จึงเป็นเลเซอร์ที่ไม่ต้องอยู่ภายใต้การควบคุมใดๆ ในการใช้งาน เช่น เลเซอร์ในเครื่องอ่านซีดี และเลเซอร์ในเครื่องพิมพ์เลเซอร์ (laser printer)

ชั้น 2a (Class 2a) เป็นเลเซอร์หรือระบบเลเซอร์ที่ให้แสงเลเซอร์ที่กำลังต่ำและอยู่ในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น ซึ่งภายใต้การใช้งานตามปกติจึงไม่ทำให้เกิดอันตรายใดๆ เมื่อมองดูโดยตรงเป็นเวลาไม่เกิน 0.25 วินาที

ชั้น 2 (Class 2) เป็นเลเซอร์หรือระบบเลเซอร์ที่ให้แสงเลเซอร์กำลังไม่เกิน 1 มิลลิวัตต์ และอยู่ในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น มีกำลังมากกว่าเลเซอร์ในชั้น 2a ในการใช้งานตามปกติจะไม่ทำให้เกิดอันตรายใดๆ แต่อาจจะเกิดอันตรายขึ้นได้ ถ้ามองดูโดยตรงเป็นเวลานานๆ เลเซอร์ที่อยู่ในชั้นนี้ เช่น เลเซอร์ไดโอด

ชั้น 3a (Class 3) เป็นเลเซอร์หรือระบบเลเซอร์ที่ให้แสงเลเซอร์กำลังระหว่าง 1-5 มิลลิวัตต์ อาจจะอยู่ในช่วงอินฟราเรด ตามองเห็น หรืออัลตราไวโอเลต ซึ่งโดยปกติแล้วจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายเมื่อมองดูด้วยตาเปล่าเพียงชั่วขณะหนึ่ง แต่อาจจะเกิดอันตรายเมื่อมองผ่านเลนส์รวมแสง (แว่นตาหรือกล้องขยาย) เลเซอร์ที่อยู่ในชั้นนี้ เช่น เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน

ชั้น 3b (Class 3 b) เป็นเลเซอร์หรือระบบเลเซอร์ที่ให้แสงเลเซอร์กำลังระหว่าง 5-500 มิลลิวัตต์ อาจจะอยู่ในช่วงคลื่นอินฟราเรด ตามองเห็นหรืออัลตราไวโอเลต ถ้ามองดูโดยตรงหรือมองดูลำแสงสะท้อนจากกระจกจะทำให้เกิดอันตราย แต่ถ้ามองดูแสงสะท้อนที่กระจายออกเป็นมุมกว้างจะไม่เกิดอันตราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้น 4 (Class 4) เป็นเลเซอร์หรือระบบเลเซอร์ที่ให้แสงเลเซอร์กำลังมากกว่า 500 มิลลิวัตต์ขึ้นไป การมองดูลำแสงโดยตรง หรือลำแสงสะท้อนจากกระจก รวมทั้งการมองดูแสงสะท้อนที่กระจายออกเป็นมุมกว้างด้วย จะทำให้เกิดอันตราย นอกจากนี้เลเซอร์ในชั้นนี้ยังอาจจะทำให้เกิดอันตรายต่อผิวหนังหรืออาจจะทำให้เกิดไฟไหม้ได้ เลเซอร์ที่อยู่ในชั้นนี้ เช่น เลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์

2.3.6 ชนิดของเลเซอร์

ในปี ค.ศ.1960 ได้มีการประดิษฐ์เลเซอร์เครื่องแรกของโลก คือ เลเซอร์ทับทิม ซึ่งเป็นเลเซอร์ชนิดของแข็ง จนถึงปัจจุบันได้มีการพัฒนาเลเซอร์ชนิดต่างๆ จำนวนมากมายหลายร้อยชนิดด้วยกัน การแบ่งชนิดของเลเซอร์แบ่งตามวัสดุตัวกลางที่เป็นต้นกำเนิดแสงเลเซอร์ ซึ่งแบ่งเป็น 4 ชนิดด้วยกัน คือ เลเซอร์ชนิดแก๊ส (Gas laser) เลเซอร์ชนิดของแข็ง (Solid state laser) เลเซอร์ชนิดของเหลว (Liquid laser) และเลเซอร์ชนิดสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor laser) หรือเลเซอร์ไดโอด (Laser diode) ตารางเป็นตัวอย่างของเลเซอร์ชนิดต่างๆ ที่นิยมใช้กันมาก รวมทั้งความยาวคลื่นหลักของแสงเลเซอร์และกำลังของแสงเลเซอร์ที่ได้จากเลเซอร์ชนิดนั้นๆ

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงประเภทเลเซอร์ชนิดต่างๆ

ชนิด	ชื่อเลเซอร์	ชื่อย่อ	ความยาวคลื่นหลัก (nm)	ลักษณะการทำงาน		กำลังของแสงเลเซอร์แบบต่อเนื่อง	พลังงานของแสงเลเซอร์ต่อพัลส์
				ต่อเนื่อง	พัลส์		
แก๊ส	อาร์กอน ไอออน (Argon ion)	Ar^+	488,514.5	CW	-	1-20W	-
	คริปตอนไอออน (Krypton ion)	Kr^+	568.2	CW	-	1-10W	-
	ฮีเลียม-นีออน (Helium-Neon)	He-Ne	632.8	CW	-	1-50mW	-
	คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide)	Co_2	10,600	CW	-	25w-20kW	-
	ฮีเลียม-แคดเมียม (Helium Cadmium)	He-Cd	325,441.6	CW	-	1-100mW	-
	ไอทองแดง (Copper vapor)	Cu Vapor	510.5	CW	-	-	-
	เอ็กซิเมอร์ (Excimer)	XeCl	305	-	1-1000Hz	-	10-1000mJ
	" "	KrF	248.4	-	1-1000Hz	-	10-1000mJ
	" "	ArF	193.3	-	1-1000Hz	-	10-1000mJ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ของเหลว	ดาย (Dye)	-	300-1,000 (จูนเลือกความยาวคลื่นได้	-	1-1000Hz	-	0.1-100J
ของแข็ง	ทับทิม (Ruby)	-	694.3	-	1-100Hz	-	10-50mJ
	นีโอดีเนียม แย็ก (Neodynium YAG)	Nd-YAG	1,064	-	1-500Hz	-	50-1000mJ
	โฮลเมียม แย็ก (Holmium YAG)	Ho-YAG	2,064	-	1-500Hz	-	10-500mJ
สารกึ่งตัวนำ	อะลูมิเนียม แกลเลียม-อาร์เซไนด์ (Aluminium gallium arsenide)	AlGaAs	750-850	CW	=	1-40mw	=
	แกลเลียมอาร์เซไนด์ (Gallium arsenide)	GaAs	900	CW	-	-	-

2.4 การวิเคราะห์โดยใช้ Statistic

สถิติจะอนุมานเกี่ยวข้องกับการสรุปลักษณะของประชากรจากตัวอย่างที่สุ่มมา นั่นคือจะใช้ตัวประมาณที่แสดงลักษณะของตัวอย่างไปสรุปผลเกี่ยวกับลักษณะของประชากรที่เรียกว่าพารามิเตอร์ โดยใช้หลักการของทฤษฎีความน่าจะเป็น การอนุมานจะทำได้ทั้งโดยการประมาณแบบจุด แบบช่วงและการทดสอบสมมติฐาน ก่อนการอนุมานผู้วิจัยจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับลักษณะการแจกแจงของตัวอย่าง (Sampling distribution) เช่น ถ้าต้องการอนุมานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากร μ จะต้องทราบว่าจะใช้ตัวประมาณ $\overline{X}$ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของตัวอย่างและมีคุณสมบัติเป็นตัวประมาณที่ดีของ μ และทราบลักษณะการแจกแจงของ $\overline{X}$ หรือถ้าต้องการอนุมานเกี่ยวกับค่าความแปรปรวนของประชากร σ^2 จะต้องทราบว่าจะใช้ตัวประมาณ s^2 ซึ่งเป็นค่าความแปรปรวนของตัวอย่างและมีคุณสมบัติเป็นตัวประมาณที่ดีของ σ^2 และทราบลักษณะการแจกแจงของ s^2 เป็นต้น เพื่อความเข้าใจเกี่ยวกับการอนุมานทางสถิติอย่างสังเขป จะกล่าวถึงค่าวัดลักษณะต่างๆ ของข้อมูล ลักษณะการแจกแจงของตัวประมาณ การประมาณค่าพารามิเตอร์ และการทดสอบสมมติฐาน ในหัวข้อต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ค่าวัดลักษณะของข้อมูล

การสรุปลักษณะของข้อมูลจะใช้ค่าสถิติที่สำคัญที่แบ่งได้เป็นกลุ่มดังนี้

1. ค่าวัดแนวโน้มสู่ส่วนกลาง (Measure of central tendency) เช่น ค่าเฉลี่ย (Mean), ค่ามัธยฐาน (Median) ค่าฐานนิยม (Mode)
2. ค่าวัดการกระจาย (Measure of dispersion) เช่น ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ค่าความแปรปรวน (Variance) ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Coefficient of variation) ค่าพิสัย (Range)
3. ค่าวัดความเบ้และความโด่ง (Measure of skewness and kurtosis) เช่น ค่าของสัมประสิทธิ์ความเบ้ (Coefficient of skewness) ค่าสัมประสิทธิ์ความโด่ง(Coefficient of kurtosis)
4. ค่าวัดตำแหน่ง (Measure of relative standing) เช่น ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ (Percentile) ค่าควอนไทล์ (Quantile) ค่าควาไทล์ (Quartile)

2.4.2 ลักษณะการแจกแจงที่สำคัญ

ลักษณะการแจกแจงที่ใช้บ่อยครั้งในการวิเคราะห์ถดถอย ประกอบด้วย การแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) การแจกแจงแบบ t (t Distribution) การแจกแจงแบบ F (F Distribution) และการแจกแจงแบบ χ^2 (Chi square distribution) แต่ละการแจกแจงมีรายละเอียดดังนี้

2.4.2.1 การแจกแจงแบบปกติ

เป็นการแจกแจงที่มีโค้งของการแจกแจงเป็นแบบสมมาตร ดังรูปที่ 2.18 (ก) X มีค่าได้ตั้งแต่ $-\infty$ ถึง ∞ มีค่าเฉลี่ยเป็น μ และมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 พื้นที่ใต้เส้นโค้งปกติมีค่าเท่ากับ 1 จะอธิบายลักษณะการแจกแจงของ X โดย $X \sim N(\mu,\sigma^2)$ ซึ่ง $-\infty < \mu < \infty$ และ $\sigma^2 > 0$ การปรับการแจกแจงแบบปกติให้เป็นการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน (Standard normal distribution) ทำโดยการแปลงตัวแปร X เป็นตัวแปร Z ซึ่ง $Z = \frac{X-\mu}{\sigma}$ (2.4)

Z จะมีค่าตั้งแต่ $-\infty$ ถึง ∞ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ 1 พื้นที่ใต้เส้นโค้งมีค่าเท่ากับ 1 ดังรูปที่ 2.18 (ข) จะอธิบายลักษณะการแจกแจงของ Z โดย $Z \sim N(0.1)$ ค่าวิกฤติ $Z_{\alpha/2}$ สำหรับการทดสอบสมมติฐานแบบสองทางเมื่อใช้ Z เป็นตัวทดสอบสถิติที่ระดับนัยสำคัญ α จะหาได้จาก $P(|Z| \geq Z_{\alpha/2}) = \alpha$ เช่นที่ α = 0.05 จะมีค่าวิกฤติ $Z_{.025}$ = 1.96 เป็นต้น และในการทดสอบสมมติฐานแบบทางเดียวขวามือที่ระดับนัยสำคัญ α จะหาค่าวิกฤติ Z_α จาก $P(Z \geq Z_\alpha) = \alpha$ เช่นที่ α = 0.05 จะหาค่าวิกฤติ Z_α = 1.645 ดังรูปที่ 2.19 (ก) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสมมติฐานทางเดียวซ้ายมือที่ระดับนัยสำคัญ α จะหาค่าวิกฤติ $-Z_{\alpha}$ จาก $P(Z \geq Z_{\alpha}) = \alpha$ เช่น $\alpha = 0.05$ จะได้ ค่าวิกฤติ $-Z_{.05} = -1.645$ เป็นต้น

2.4.2.2 การแจงแจงแบบ t

เป็นการแจกแจงที่มีโค้งของการแจกแจงเป็นแบบสมมาตรคล้ายกับการแจกแจงแบบ Z แต่มีหางหนากว่าดังรูปที่ 2.18 (ค) t มีค่าได้ตั้งแต่ $-\infty$ ถึง ∞ เส้นโค้งสำหรับการแจกแจงแบบ t จะมีความโค่งมากน้อยเท่าใดนั้นขึ้นกับชั้นแห่งความเป็นอิสระ (degree of freedom, V) ที่ขึ้นอยู่กับขนาดของตัวอย่าง จะอธิบายลักษณะการแจกแจงของ X โดย $X \sim t_{v}$ เมื่อชั้นแห่งความเป็นอิสระมีค่ามากขึ้นเส้นโค้งจะเข้าใกล้เส้นโค้งของการแจกแจงแบบปกติมาตรฐานมากขึ้นจะทับกันเมื่อชั้นแห่งความเป็นอิสระมีค่าเข้าใกล้อนันต์ พื้นที่ใต้เส้นโค้งแบบ t มีค่าเท่ากับ 1 จะหาค่าวิกฤติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานแบบสองทางที่ระดับนัยสำคัญ α และชั้นแห่งความเป็นอิสระ n ได้จากค่าของ $P(|t| \geq t_{\alpha/2n}) = \alpha$ เช่น ที่ $\alpha = 0.05$ และ $n = 15$ จะมี $t_{.025,15} = 2.131$ นั่นคือ $P(t \geq 2.131) = 0.05$ เป็นต้น ส่วนการทดสอบสมมติฐานแบบทางเดียวขวามือที่ระดับนัยสำคัญ α และชั้นแห่งความเป็นอิสระ n จะหาค่าวิกฤติ $t_{\alpha n}$ จาก $P(t \geq t_{\alpha n}) = \alpha$ เช่น ที่ $\alpha = 0.05$ จะมี $t_{.05,15} = 1.75$ นั่นคือ $P(t \geq 1.75) = 0.05$ ดังรูปที่ 2.19 (ข) เป็นต้น

2.4.2.3. การแจกแจงแบบ F

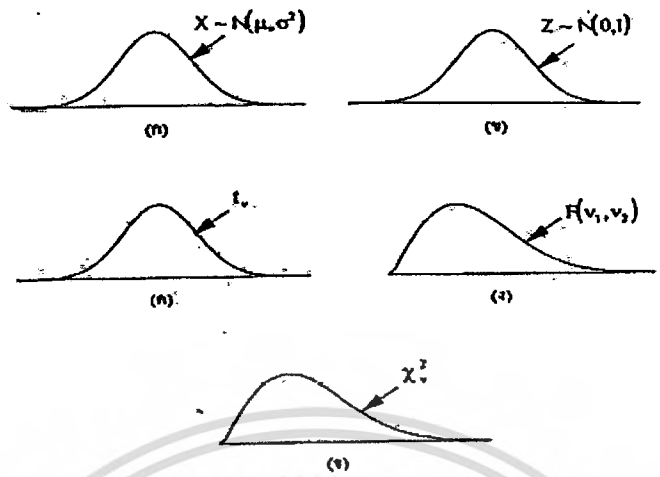
เป็นการแจกแจงที่มีโค้งของการแจกแจงเป็นแบบไม่สมมาตร ดังรูปที่ 2.18(ง) F มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง ∞ เส้นโค้ง F จะมีลักษณะอย่างไรนั้นจะขึ้นอยู่กับชั้นแห่งความเป็นอิสระสองค่า ได้แก่ V_1 และ V_2 ค่าวิกฤติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญ α และชั้นแห่งความเป็นอิสระ V_1 และ V_2 จะหาได้จาก $P(F \geq F_{\alpha,(v1,v2)}) = \alpha$ เช่น ที่ $\alpha = 0.05$ $V_1 = 9$ และ $V_2 = 10$ จะมี $t_{.05,(9,10)} = 3.02$ นั่นคือ $P(F \geq 3.02) = 0.05$ ดังรูปที่ 2.19 (ค) เป็นต้น หากต้องการหา $F_{(1-\alpha),(v1,v2)}$ ซึ่ง $P(F \geq F_{(1-\alpha),(v1,v2)}) = \alpha$ จะหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง $F_{(1-\alpha),(v1,v2)}$ และ $F_{\alpha,(v1,v2)}$ ดังนี้

$$F_{(1-\alpha),(v1,v2)} = 1 \Big/ F_{\alpha,(v1,v2)} \qquad (2.5)$$

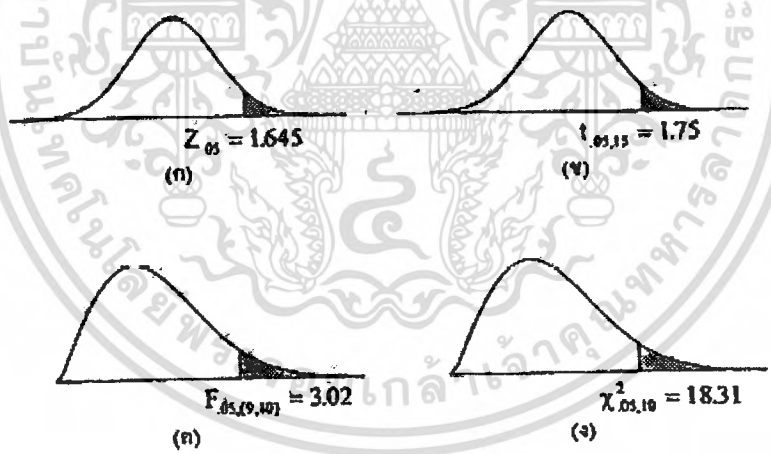
2.4.2.4. การแจกแจงแบบไคสแควร์ χ^2

เป็นการแจกแจงที่มีโค้งของแจกแจงเป็นแบบไม่สมมาตรดังรูปที่ 2.18 (จ) χ^2 จะมีค่าตั้งแต่ 0 จนถึง ∞ เส้นโค้ง χ^2 จะมีลักษณะอย่างไรนั้นจะขึ้นกับชั้นแห่งความเป็นอิสระ V ค่าวิกฤติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญ α และชั้นแห่งความเป็นอิสระ V ได้แก่ $\chi^2_{\alpha,V}$ จะหาได้จาก $P(\chi^2 \geq \chi^2_{\alpha,V}) = \alpha$ เช่น ที่ $\alpha = 0.05$ $V = 10$ จะมี $\chi^2_{.05,10} = 18.31$ นั่นคือ $P(\chi^2 \geq 18.31) = 0.05$ ดังรูปที่ 2.19(ง) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 แสดงเส้นโค้งสำหรับการแจกแจง (ก). ปกติ ,(ข) ปกติมาตรฐาน ,(ค) t , (ง) F และ (จ) ไคสแควร์



รูปที่ 2.19 แสดงพื้นที่เส้นโค้งการแจกแจง (ก).$Z \geq Z_{.05}$,(ข) $t \geq t_{.05,15}$,(ค) $F \geq F_{.05,(9,10)}$ และ (ง) $X^2 \geq X^2_{.05,10}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การประมาณแบบจุด

การประมาณแบบจุดเป็นการหาตัวประมาณของพารามิเตอร์ที่เหมาะสม วิธีการหาตัวประมาณมีหลายวิธี วิธีที่ใช้กันมาก เช่น วิธีแมกซีมัมไลลีฮูด (Maximum likelihood method) วิธีโมเมนต์ (Moment method) วิธีกำลังสองน้อยที่สุด เป็นต้น ตัวประมาณที่ต้องการจะต้องเป็นตัวประมาณที่มีคุณสมบัติที่ดี คุณสมบัติของตัวประมาณที่มักจะนำมาพิจารณาประกอบในการเลือกตัวประมาณ ได้แก่ ไม่อคติ (Unbiased) ความแปรปรวนต่ำที่สุด (Minimum variance) มีประสิทธิภาพ (Efficiency) มีความพอเพียง (Sufficiency) และมีค่าคงตัว (Consistency) ตัวประมาณบางตัวประมาณจะมีคุณสมบัติที่ดีครบทุกประการ เป็นต้น จึงมีการใช้ตัวประมาณดังกล่าวในการประมาณอยู่เสมอ อย่างไรก็ตามแม้ว่าบางตัวประมาณจะมีคุณสมบัติไม่ครบทุกประการ เช่น ค่ามัธยฐาน ค่าฐานนิยม เป็นต้น ก็ยังถูกนำมาใช้ในการประมาณในบางกรณีได้

2.4.4 การประมาณแบบช่วง

สำหรับการประมาณแบบจุดนั้น ผู้ใช้มักจะไม่แน่ใจว่าค่าประมาณที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าพารามิเตอร์มากน้อยเท่าใดหรือไม่ทราบว่ามีความผิดพลาดเนื่องจากการประมาณมากน้อยเท่าใด แต่การประมาณแบบช่วงเป็นการประมาณที่ให้ความเชื่อมั่นว่าจะประมาณได้ถูกต้องด้วยระดับความเชื่อมั่นหรือความน่าจะเป็นระดับหนึ่ง จึงทำให้การประมาณแบบช่วงได้รับความนิยมมากกว่าการประมาณแบบจุด เช่น เมื่อ μ เป็นพารามิเตอร์ที่ต้องการประมาณ มี $\bar{x}$ เป็นตัวประมาณของ μ ฟังก์ชันของตัวประมาณ $\bar{x}$ และพารามิเตอร์ μ ได้แก่ $t = \dfrac{\bar{x}-\mu}{s/\sqrt{n}}$

เป็นตัวแปรที่มีการแจกแจงแบบ t ที่ขั้นแห่งความเป็นอิสระเท่ากับ n-1 เมื่อ n เป็นขนาดของตัวอย่าง การหาช่วงความเชื่อมั่น (Confidence interval) ที่ระดับความเชื่อมั่น (Confidence coefficient) $1-\alpha$ จะหาค่าที่ได้จากการการแทนค่าของสมการ

$$P(-t\alpha_{/2,n-1} < t <= t\alpha_{/2,n}) = 1-\alpha \qquad (2.6)$$

เมื่อแทนตัวแปร t ด้วย $t = \dfrac{\bar{x}-\mu}{s/\sqrt{n}}$ และจะได้ดังสมการข้างล่าง

$$P(x - t\alpha_{/2,n-1}\text{---} < \mu < x + t\alpha_{/2,n-1}\text{---}) = 1-\alpha \qquad (2.7)$$

นั่นคือ ด้วยความเชื่อมั่น $(1-\alpha)$ 100 เปอร์เซนต์พบว่า μ จะมีค่าอยู่ระหว่าง $\bar{x} - t\alpha_{/2,n-1}\dfrac{s}{\sqrt{n}}$ ถึง $x + t\alpha_{/2,n-1}\dfrac{s}{\sqrt{n}}$ ซึ่ง $x \pm t\alpha_{/2,n-1}\dfrac{s}{\sqrt{n}}$ เป็นขีดจำกัดล่าง (Lower bound) และขีดจำกัดบน (Upper bound) ของช่วงความเชื่อมั่นของ μ สำหรับการหาช่วงความเชื่อมั่นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์อื่นจะหาได้ทำนองเดียวกัน กล่าวคือเมื่อ θ เป็นตัวประมาณของพารามิเตอร์ θ จะต้องหาฟังก์ชันของ θ และ θ ได้แก่ h(θ,θ) ที่มีการแจกแจงแบบมาตรฐาน ได้แก่ การแจกแจงแบบ t แบบ Z แบบ F หรือแบบ χ^2 จากนั้นใช้ตารางสถิติสำหรับการแจกแจงแบบดังกล่าวในการหาขีดจำกัดล่างและขีดจำกัดบนของ h(θ,θ) ด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับระดับความเชื่อมั่นที่ต้องการ จากนั้นหาขีดจำกัดล่างและขีดจำกัดบนของพารามิเตอร์ θ เช่น s^2 เป็นตัวประมาณของ σ^2 ฟังก์ชันของตัวประมาณ s^2 และพารามิเตอร์ σ^2 ได้แก่ $\chi^2 =$ มีการแจกแจงแบบไคสแควร์ที่ชั้นแห่งความเป็นอิสระ(n– 1) จะได้ดังสมการข้างล่าง

$$P(\chi^2_{1-\alpha/2,n-1} < \chi^2 < \chi^2_{\alpha/2,n-1}) = 1-\alpha$$

$$P(\chi^2_{1-\alpha/2,n-1} < \frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} < \chi^2_{\alpha/2,n-1}) = 1-\alpha \qquad (2.8)$$

2.4.5 การทดสอบสมมติฐาน

งานวิจัยส่วนใหญ่จะกระทำเมื่อผู้วิจัยมีข้อสงสัยหรือข้อกำหนดเกี่ยวกับลักษณะประชากร การตรวจสอบข้อสงสัยหรือข้อกำหนดด้วยวิธีการสถิติจะทำโดยการทดสอบข้อความสองข้อความที่ตรงกันข้ามกันว่าข้อความใดจะถูกต้อง ซึ่งเรียกว่าการทดสอบสมมติฐาน การทดสอบสมมติฐานมีรายละเอียดดังนี้

2.4.5.1. ข้อความสองข้อความที่ต้องการตรวจสอบว่าข้อความใดถูกต้อง จำกำหนดเป็นข้อความในสมมติฐานหลัก (Null hypothesis, H_0) และสมมติฐานทางเลือก (Alternative hypothesis , H_1) ข้อความในสมมติฐานหลักมักจะเขียนในรูปสมการหรือสมการของพารามิเตอร์ ส่วนข้อความในสมมติฐานทางเลือกมักจะเขียนในรูปอสมการของพารามิเตอร์และเป็นข้อความที่ต้องการทดสอบว่าจริงหรือไม่ ลักษณะของอสมการในสมมติฐานทางเลือกจะชี้ว่าการทดสอบเป็นการทดสอบแบบทางเดียว (One tailed test) หรือการทดสอบแบบสองทาง (Two tailed test) นั่นคือ เมื่ออสมการมีเครื่องหมายไม่เท่ากันจะเป็นการทดสอบแบบสองทาง และถ้าอสมการมีเครื่องหมายมากกว่าหรือน้อยกว่าจะเป็นการทดสอบแบบทางเดียวขวามือหรือซ้ายมือตามลำดับ

2.4.5.2. กำหนดตัวทดสอบสถิติ (Test statistic) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของตัวประมาณของพารามิเตอร์ และพารามิเตอร์ที่มีการแจกแจงแบบมาตรฐาน ตัวทดสอบสถิติส่วนใหญ่จะมีการแจกแจงแบบ Z , t ,χ^2 หรือ F กำหนดระดับนัยสำคัญ (Significance level,α) และหาช่วงวิกฤติ (Critical region, CR) ที่ขึ้นกับการแจกแจงแบบมาตรฐาน และลักษณะของอสมการในสมมติฐานทางเลือก

2.4.5.3. จากข้อมูลจากการทดลองหรือการสำรวจและค่าของพารามิเตอร์ในสมมติฐานหลักจะหาค่าของตัวทดสอบสถิติ นำค่าของตัวทดสอบสถิติที่ได้ไปพิจารณาว่าอยู่ในช่วงวิกฤติหรือไม่ ถ้าอยู่ในช่วงวิกฤติจะปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 แต่ถ้าไม่อยู่ในช่วงวิกฤติจะยอมรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติฐานหลัก H_0 เพื่อความเข้าใจเรื่องการทดสอบสมมติฐานจะแสดงตัวอย่างขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากร μ ดังนี้

2.4.5.3.1 กำหนดสมมติฐานหลักและสมมติฐานทางเลือก

$H_0 : \mu = \mu_0$ กับ $H_1 : \mu \neq \mu_0$ กับ

2.4.5.3.2 กำหนดระดับนัยสำคัญ α และกำหนดตัวทดสอบสถิติที่สัมพันธ์กับสมมติฐาน หลัก

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s_{\bar{x}}} \quad \text{ซึ่ง} \quad s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \tag{2.9}$$

2.4.5.3.3 หาค่าของตัวทดสอบสถิติจากข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้ค่า ที่คำนวณได้เป็น t_c

2.4.5.3.4 กำหนดช่วงวิกฤติหรือช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานหลักที่สัมพันธ์กับสมมติฐานทางเลือก H_1 ที่ระดับนัยสำคัญ α และชั้นแห่งความเป็นอิสระ $n-1$

2.4.5.3.5 การสรุปผลการทดสอบจะได้จากการพิจารณาว่าค่าของตัวทดสอบสถิติ t_c ตกอยู่ในช่วงวิกฤติหรือไม่ ถ้าอยู่ในช่วงวิกฤติจะปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 แต่ถ้าไม่อยู่ในช่วงวิกฤติจะยอมรับสมมติฐานหลัก H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ α

การทดสอบสมมติฐานในการวิเคราะห์การถดถอยจะเป็นการทดสอบที่เกี่ยวกับพารามิเตอร์ในรูปแบบที่เรียกว่าค่าสัมประสิทธิการถดถอย เช่น ค่าสัมประสิทธิการถดถอยค่าใดค่าหนึ่งหรือหลายค่ามีค่าเป็น 0 หรือไม่ ค่าสัมประสิทธิการถดถอยสองค่ามีความแตกต่างกันในระดับหรือหรือไม่ หรือ ค่าสัมประสิทธิการถดถอยตั้งแต่สองค่าขึ้นไปมีความแตกต่างกันหรือไม่ เป็นต้น ซึ่งการทดสอบเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิการถดถอยจะเป็นการทดสอบเดียวกับการทดสอบว่ารูปแบบการถดถอยในสมมติฐานทางเลือกจะเปลี่ยนแปลงเป็นรูปแบบในสมมติฐานหลักหรือไม่ ซึ่งการทดสอบส่วนใหญ่ที่ใช้ได้แก่การทดสอบแบบ F และการทดสอบแบบ F บางส่วน ซึ่งเป็นการทดสอบที่ใช้ได้กับการทดสอบทั้งสำหรับหนึ่งสมการหรือหลายสมการของพารามิเตอร์ในสมมติฐานหลัก เช่น $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$ เป็นต้น ส่วนการทดสอบแบบ t และการทดสอบแบบ t บางส่วนจะใช้ได้เฉพาะกับการทดสอบที่สมมติฐานหลักของการทดสอบแทนด้วยหนึ่งสมการของพารามิเตอร์เช่น $H_0 : \beta_1 = 0$, $\beta_1 - \beta_2 = 0$ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

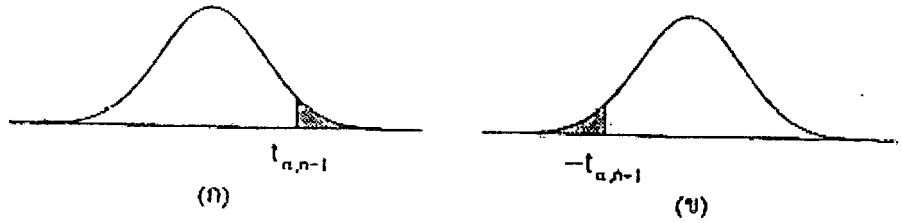
2.4.6 การรับหรือปฏิเสธสมมติฐาน

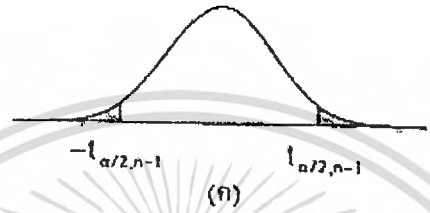
การรับหรือปฏิเสธสมมติฐานหลักในการทดสอบสมมติฐานนั้น จะพิจารณาได้จากทั้งการเปรียบเทียบค่าของตัวทดสอบสถิติกับค่าวิกฤติที่เปิดจากตารางสถิติ และการเปรียบเทียบค่า P (probability value) กับระดับนัยสำคัญที่กำหนดขึ้นก่อนการทดสอบ ดังมีรายละเอียดดังนี้

2.4.6.1เปรียบเทียบค่าของตัวทดสอบสถิติและค่าวิกฤติ จะเริ่มจากการหาช่วงวิกฤติ ซึ่งเป็นช่วงของการปฏิเสธ H_0 ที่มีค่าวิกฤติเป็นค่าแบ่งช่วงวิกฤติและช่วงการยอมรับ ค่าวิกฤติเป็นค่าที่ได้จาก ตารางสถิติที่สัมพันธ์กับการแจกแจงของตัวทดสอบสถิติที่ใช้ เช่น ตัวทดสอบสถิติ, t, Z, F, และ χ^2 เป็นต้น ช่วงวิกฤติจะอยู่ทางด้านใดนั้นจะขึ้นอยู่กับสมมติฐานทางเลือก H_1 ที่กำหนดว่าเป็นแบบทางเดียวหรือแบบสองทาง การรับหรือการปฏิเสธ H_0 ได้จากการเปรียบเทียบค่าของตัวทดสอบสถิติกับค่าวิกฤติ เช่นการทดสอบ $H_0 : \mu = 10$ กับ $H_1 : \mu > 10$ เป็นการทดสอบแบบทางเดียวมี CR : $t \geq t_{\alpha,n-1}$ ดังรูปที่ 2.20 (ก) การทดสอบ $H_0 : \mu = 10$ กับ $H_1 : \mu < 10$ เป็นการทดสอบแบบทางเดียวมี CR : $t \leq -t_{\alpha,n-1}$ ดังรูปที่ 2.20 (ข) การทดสอบ $H_0 : \mu = 10$ กับ $H_1 : \mu \neq 10$ เป็นการทดสอบแบบสองทางมี CR : $|t| \geq t_{\alpha/2,n-1}$ ดังรูปที่ 2.20 (ค) เป็นต้น

2.4.6.2. เปรียบเทียบค่า P และระดับนัยสำคัญ จะเริ่มจากการหาค่า P (P-value) ซึ่งเป็นค่าความน่าจะเป็นที่เกี่ยวข้องกับลักษณะการแจกแจงของตัวทดสอบสถิติและค่าของตัวทดสอบสถิติ เช่น การทดสอบ $H_0 : \mu = 10$ กับ $H_1 : \mu \neq 10$ สำหรับหนึ่งประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ และการทดสอบ $H_0 : \beta_1 = 0$ กับ $H_0 : \beta_1 \neq 0$ สำหรับรูปแบบการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย เป็นต้น มีค่าของตัวทดสอบสถิติเท่ากับ t_c จะมีค่า $P = P(|t| \geq t_c) = P(t \geq t_c) + P(t \leq -t_c) = 2\,P(t \geq t_c)$ หรือ $P(t \geq -t_c) = P(t \leq -t_c) = P/2$ ดังแสดงในรูปที่ 2.21 (ก) สำหรับ การทดสอบ $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$ กับ $H_0 : \beta_1$ และ/หรือ β_2 มีค่าไม่ต่างจาก 0 จากรูปแบบการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุกรณีที่มีตัวแปรอิสระ x_1 และ x_2 เมื่อค่าของตัวทดสอบสถิติเท่ากับ F_c จะมีค่า $P = P(F \geq F_c)$ ดังแสดงในรูปที่ 2..21(ข) เป็นต้น การรับหรือการปฏิเสธ H_0 จะได้จากการเทียบค่า P กับระดับนัยสำคัญ α ที่กำหนดไว้ก่อนการทดสอบ ถ้า P มีค่าน้อยกว่า α ($P<\alpha$) จะปฏิเสธ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ α แต่ถ้า P มีค่ามากกว่า α ($P>\alpha$) จะยอมรับ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ α

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 2.20 แสดงพื้นที่เส้นโค้งการทดสอบสมมติฐาน (ก) $P(t \geq t_{\alpha,n-1}) = \alpha$, (ข) $P(t \leq t_{\alpha,n-1}) = \alpha$ และ (ค) $P(|t| \geq t_{\alpha/2,n-1}) = \alpha$

รูปที่ 2.21 แสดงพื้นที่เส้นโค้งการทดสอบสมมติฐานแบบ P (ก) $P = P(|t| \geq t_c)$ และ (ข) $P = P(F \geq F_c)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7 การพล็อตกราฟ

ก่อนการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ผู้วิเคราห์ควรจะศึกษาลักษณะของข้อมูลจากการพล็อตกราฟก่อน การพล็อตที่ใช้กันมากแยกออกเป็นกลุ่มๆ ตามประโยชน์ของการใช้งานดังนี้

2.4.7.1 การพล็อตเพื่อแสดงลักษณะการกระจายของข้อมูล

กรณีข้อมูลจากหนึ่งตัวแปรจะดูลักษณะการกระจายข้อมูลจากการพล็อตแบบต่างๆ

2.4.7.1.1 แบบ dot เป็นการพล็อตที่กำหนดแกนนอนของกราฟเป็นค่าของตัวแปร ส่วนแกนตั้งเป็นการเกิดของแต่ละค่าของตัวแปร

2.4.7.1.2 แบบ stem และ leaf เป็นการพล็อตที่กำหนดแกนหลักหรือแกนตั้งเป็น stem และแกนย่อยเป็น leaf จากการพล็อตจะทำให้ทราบว่ามีค่าสังเกตกี่ ค่าที่ตกอยู่ ในช่วงที่กำหนดตามแกนหลักและมีค่าสังเกตใดบ้าง แกนหลักจะมีค่าเป็นหลักต่าง ๆ ได้ เช่นหลักสิบ หลักร้อย หรือหลักพัน เป็นต้น

2.4.7.1.3 แบบ box เป็นการพล็อตที่บอกตำแหน่งของค่าควาไทล์ที่ 1, 2 และ3 (Q_1 , Q_2 , Q_3) ของข้อมูล โดย Q_1 เป็นค่าควาไทล์ที่ 1 หรือเปอร์เซ็นต์ไทล์ ที่ 25 Q_2 เป็น ค่าควาไทล์ที่ 2 หรือเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 หรือค่ามัธยฐาน และ Q_3 เป็นค่าควาไทล์ที่ 3 หรือเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 จากการพล็อตจะทำให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจายแบบสมมาตร แบบเบ้ซ้ายหรือแบบเบ้ขวา

2.4.7.2 การพล็อตเพื่อแสดงการแจกแจงข้อมูล

การพล็อตเพื่อดูลักษณะการแจกแจงของข้อมูลจะได้จากการสร้างฮิสโตแกรม (histogram)และกรณีพิจารณาว่าลักษณะการแจกแจงของข้อมูลเป็นแบบปกติหรือไม่จะได้จากการสร้าง NPP (normal probability plot)

2.4.7.2.1 ฮิสโตแกรม เป็นกราฟแท่งที่แสดงว่าในแต่ละช่วงของค่าสังเกต (class interval) มีค่าสังเกตจำนวนกี่ค่าตกอยู่ หรือมีค่าความถี่ (frequency) ในแต่ละช่วงมาก เท่าใดจะกำหนด แกนนอนเป็นค่าของตัวแปร ส่วนแกนตั้งเป็นความถี่

2.4.6.2.2 NPP เป็นกราฟที่ใช้เพื่อแสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติหรือไม่ มักจะใช้ NPP กับการพิจารณาว่าค่าความคลาดเคลื่อน (e_i) จากการวิเคราะห์การถดถอยมีการแจกแจงเป็นแบบปกติหรือไม่ จะกล่าวถึงการสร้าง NPP สำหรับค่า ความคลาดเคลื่อนดังนี้ ถ้า e_i มีการแจกแจงแบบปกติ มีค่าเฉลี่ย 0 และค่าความแปรปรวน σ^2 การพล็อตจะกำหนดแกนตั้งเป็นค่า $e_{(i)}$ ซึ่ง $e_{(i)}$ เป็นค่าลำดับที่ i ของ e_i ที่เรียงลำดับจากน้อยไปหามาก ส่วนแกนนอนเป็นค่าคาดหวังของ e_i หรือ $E(e_{(i)})$ ซึ่ง

$$E(e_{(i)}) = \sqrt{MSE}\ Z\left(\frac{i-.375}{n+.25}\right) \qquad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ MSE เป็นค่าประมาณของ σ^2 Z(A) เป็นเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ A(100) ของการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน และ n เป็นจำนวนค่าความคลาดเคลื่อน จะเขียน $z_i = z\left(\frac{i-.375}{n+.25}\right)$ ดังนั้น $z_i = \frac{E(e_{(i)})}{\sqrt{MSE}}$

ถ้าจุด $(E(e_{(i)}), e_{(i)})$ หรือจุด $(\frac{E(e_{(i)})}{\sqrt{MSE}}, \frac{e_{(i)}}{\sqrt{MSE}})$ หรือจุด $(\frac{E(e_{(i)})}{\sqrt{MSE}}, e_{(i)})$ หรือจุด $(z_i, e_{(i)})$ ที่ได้จาก การพล็อตอยู่ในแนวเส้นตรง จะสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ อย่างไรก็ตามกรณีที่จุดที่ได้จากการพล็อตไม่อยู่ในแนวเส้นตรงชัดเจน การสรุปว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่จะทำได้ยาก วิธีพิจารณาอีกวิธีหนึ่งคือหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง $E(e_{(i)})$ และ $e_{(i)}$ หรือ ระหว่าง $\frac{E(e_{(i)})}{\sqrt{MSE}}$ และ $e_{(i)}$ หรือ ระหว่าง $z\left(\frac{i-.375}{n+.25}\right)$ และ $e_{(i)}$ หรือระหว่าง $Z_{(i)}$ และ $e_{(i)}$ ถ้าค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ r อยู่ในช่วงวิกฤติที่ได้จากตารางสถิติที่ 2.2 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ นั่นคือ r เป็นตัวทดสอบสถิติสำหรับ H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปกติ กับ H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าวิกฤติสำหรับการทดสอบการแจกแจงปกติ

	Level of Significance		
n	0.1	0.5	0.01
5	0.903	0.88	0.826
10	0.934	0.918	0.879
15	0.951	0.939	0.91
20	0.96	0.951	0.926
25	0.966	0.959	0.939
30	0.971	0.964	0.947
40	0.977	0.972	0.959
50	0.981	0.977	0.966
75	0.987	0.984	0.976
100	0.989	0.987	0.982

2.4.7.3 แผนภาพการกระจายและการพล็อตอนุกรมเวลา

เมื่อข้อมูลประกอบด้วยค่าของสองตัวแปร ได้แก่ (X_i, Y_i) สำหรับ i = 1,...,n หรือข้อมูลประกอบด้วยค่าสังเกตในอนุกรมเวลา (t, Y_t) สำหรับ t = 1,...,n การพล็อตกราฟจะทำให้เห็นลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหรือลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาที่มีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7.3.1 แผนภาพการกระจาย เป็นกราฟที่แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวแปร ซึ่ง x เป็นตัวแปรอิสระ และ Y เป็นตัวแปรตาม จะกำหนดให้ Y อยู่บนแกนตั้ง และ X อยู่บนแกนนอน จากแผนภาพการกระจายจะทำให้เห็นภาพคร่าวๆ ว่าตัวแปร X และ Y มีขนาดและทิศทางความสัมพันธ์กันอย่างไร และเห็นลักษณะความสัมพันธ์อย่างคร่าวๆ เช่น เป็นเส้นตรง หรือ เป็นเส้นโค้งแบบใด เป็นต้น ดังนั้นการกำหนดรูปแบบการถดถอยที่เหมาะสมเบื้องต้นจะพิจารณาจากแผนภาพการกระจาย

2.4.7.3.2 การพล็อตอนุกรมเวลา เนื่องจากอนุกรมเวลาเป็นข้อมูลที่เก็บรวบรวมอย่างต่อเนื่อง การพิจารณาการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาขั้นต้นจะได้จากการพล็อตอนุกรมเวลา โดยให้แกนนอนแทนเวลาหรือค่าเวลาที่แปลงแล้ว ส่วนแกนตั้งแทนค่าสังเกต จากการพล็อตจะทำให้เห็นภาพคร่าวๆ ว่าการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลามีส่วนประกอบจากแนวโน้ม ฤดูกาล วัฏจักร และ/หรือ เหตุการณ์ที่ผิดปกติ นอกจากนั้นจะทำให้ทราบว่าแต่ละส่วนประกอบมีการรวมตัวกันแบบบวก (additive) หรือแบบคูณ (multiplicative) ซึ่งจะทำให้กำหนดรูปแบบอนุกรมเวลาที่เหมาะสมได้

2.4.7.4 การพล็อตค่าความคลาดเคลื่อน

การวิเคราะห์การถดถอยทั้งแบบง่ายและแบบพหุ ซึ่งเป็นกรณีที่ใช้ตัวแปรอิสระหนึ่งตัวแปรหรือหลายตัวแปร ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการวิเคราะห์จะเป็นผลต่างระหว่างค่าที่ประมาณจากสมการถดถอยที่สร้างขึ้นกับค่าจริง

$$e_i = Y_i - Y_i \qquad (2.11)$$

= ค่าจริงที่ i - ค่าประมาณที่ i

ค่าความคลาดเคลื่อนเป็นค่าที่มีความสำคัญในการที่จะแสดงให้เห็นว่า

1. รูปแบบการถดถอยที่กำหนดมีความถูกต้องหรือไม่
2. ตัวแปรอิสระในรูปแบบมีความเป็นอิสระกันหรือไม่
3. ข้อสมมติของความคลาดเคลื่อนในรูปแบบ นั่นคือ ε_i - มีการแจกแจงที่เป็นอิสระกันแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และค่าความแปรปรวนคงที่เท่ากับ σ^2 จริงหรือไม่
4. มีค่าผิดปกติ และ/หรือ ค่าที่มีอิทธิพลในข้อมูลชุดนั้นหรือไม่ การพิจารณาข้อสงสัยดังกล่าวจะทำโดยการพล็อตค่าความคลาดเคลื่อน (e_i) กับค่าประมาณ (Y) หรือกับค่าของตัวแปรอิสระบางตัวแปร (X_i) หรือกับค่าลำดับ i หากข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นอนุกรมเวลาจะพล็อตค่าความคลาดเคลื่อน (e_i) กับเวลา t

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7.5 การพล็อตการถดถอยบางส่วน

การพล็อตการถดถอยบางส่วน (partial regression plot) เป็นการสร้างแผนภาพการกระจายที่แกนตั้งเป็นค่าของความคลาดเคลื่อนและแกนนอนเป็นค่าของตัวแปรอิสระอื่น ส่วนการพล็อตการถดถอยของความคลาดเคลื่อนบางส่วน (partial regression residual plot) เป็นการสร้างแผนภาพการกระจายที่แกนนอนและแกนตั้งเป็นค่าของความคลาดเคลื่อนจากต่างรูปแบบกัน เช่น เมื่อ Y เป็นตัวแปรตาม X_1 และ X_2 เป็นตัวแปรอิสระ

$e(Y/X_1)$ = ความคลาดเคลื่อนจากการถดถอยเมื่อ Y เป็นตัวแปรตามและ X_1 เป็นตัวแปรอิสระ

$e(X_2/X_1)$ = ความคลาดเคลื่อนจากการถดถอยเมื่อ X_2 เป็นตัวแปรตามและ X_1 เป็นตัวแปรอิสระ

เมื่อกำหนดให้ $e(Y/X_1)$ เป็นค่าบนแกนตั้งและ $e(X_2/X_1)$ เป็นค่าบนแกนนอนแผนภาพการกระจายที่ได้จากการพล็อต $e(X_2/X_1)$ และ $e(Y/X_1)$ จะแสดงว่า เมื่อปรับ X_1 ออกจาก Y และปรับ X_1 ออกจาก X_2 แล้ว หรือกำหนดให้ X_1 คงที่แล้ว Y และ X_2 มีขนาดของสหสัมพันธ์กันมากน้อยอย่างไรและมีทิศทางความสัมพันธ์เป็นแบบใด กรณีที่มีตัวแปรอิสระมากกว่า 2 ตัวแปร จะพิจารณาได้ ทำนองเดียวกันผลจากการพล็อตการถดถอยของความคลาดเคลื่อนบางส่วนจะทำให้ทราบว่าควรที่จะเพิ่มตัวแปรอิสระที่สงสัยเข้าในรูปแบบหรือไม่ เช่นกรณีที่มีตัวแปรอิสระ X_1 อยู่ในรูปแบบแล้ว ควรที่จะเพิ่มตัวแปรอิสระX_2 เข้าในรูปแบบอีกหรือไม่ ซึ่งพิจารณาได้จากการพล็อต $e(X_2/X_1)$ และ $e(Y/X_1)$ เป็นต้น หากนำ $e(X_2/X_1)$ และ $e(Y/X_1)$ ไปสร้างสมการถดถอย โดย $e(Y/X_1)$ เป็นตัวแปรตาม และค่าของ $e(X_2/X_1)$ เป็นตัวแปรอิสระ ค่าสัมประสิทธิการถดถอยของ $e(Y/X_1)$ บน $e(X_2/X_1)$ จะเท่ากับค่าสัมประสิทธิการถดถอยบางส่วนของ X_2 จากการวิเคราะห์การถดถอยกรณี Y เป็นตัวแปรตาม X_1 และ X_2 เป็นตัวแปรอิสระ

2.5 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย

2.5.1รูปแบบการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย

จากแผนภาพการกระจายและค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์จะทำให้ทราบว่าตัวแปร 2 ตัวแปร มีสหสัมพันธ์กันหรือไม่และมีลักษณะความสัมพันธ์อย่างไร หากพบว่าตัวแปร 2 ตัวแปรได้แก่ ตัวแปร X และ Y มีสหสัมพันธ์กันสูง ขั้นต่อไปจะเป็นการหารูปแบบความสัมพันธ์ที่เรียกว่ารูปแบบการถดถอย โดยกำหนดให้ตัวแปรหนึ่งที่สนใจได้แก่ Y เป็นตัวแปรตาม และอีกตัวแปรหนึ่งที่แทนอิทธิพลหรือปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตาม Y ที่สนใจศึกษาได้แก่ X เป็นตัวแปรอิสระ

รูปแบบการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่ายเป็นรูปแบบกรณีที่ตัวแปรตาม Y มีความสัมพันธ์เชิงสถิติกับตัวแปรอิสระ X เพียงตัวแปรเดียว และลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรง

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \qquad (2.12)$$

โดย Y_i เป็นค่าของตัวแปรตามที่ i

X_i เป็นค่าของตัวแปรตามที่ i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

β_0 เป็นจุดที่เส้นการถดถอยตัดแกน Y (Y – intercept)

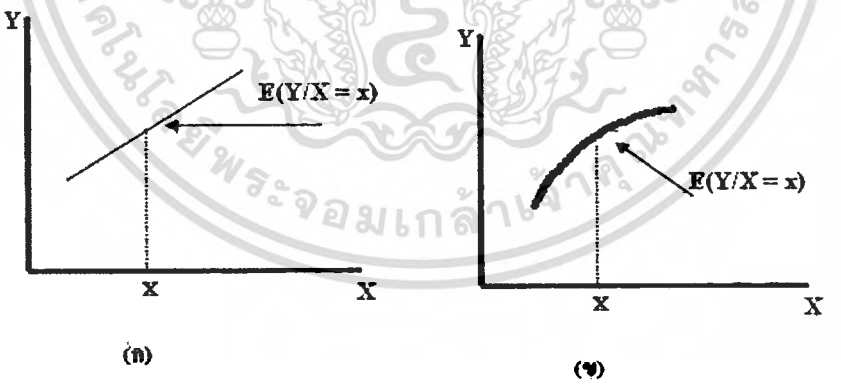
β_1 เป็นอัตราการเพิ่มหรือลดของตัวแปรตาม Y เมื่อค่าของตัวแปรอิสระ C เพิ่มหนึ่งหน่วย (slope)

ε_i เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ i

ข้อสมมติฐานของรูปแบบ ได้แก่ ε_i และ ε_i สำหรับ $i \neq j$ มีการแจกแจงที่เป็นอิสระกับแบบปกติที่ต่างก็มีค่าเฉลี่ย 0 และค่าความแปรปรวน ซึ่งจะอธิบายได้ด้วย $\varepsilon_i \sim Nid(0, \sigma^2)$ จากข้อสมมติฐานของ ε_i ดังกล่าวจะได้ว่า Y_i และ Y_j สำหรับ $i \neq j$ มีการแจกแจงที่เป็นอิสระกัน และที่ X_i ตัวแปร Y_i จะมีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ย $\beta_0 + \beta_1 x_i$ และค่าความแปรปรวน σ^2 ซึ่งจะอธิบายได้ด้วย $Y_i \sim Nid(\beta_0 + \beta_1 x_i, \sigma^2)$

กรณีความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ X และตัวแปรตาม Y เป็นเส้นตรงจะมีจุด (x,E(Y/X=x)) อยู่บนเส้นตรง ซึ่ง E(Y/X = x) เป็นค่าคาดหวังของ Y เมื่อ X มีค่าเท่ากับ x ดังรูปที่ 2.22 (ก) และเมื่อความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ X และตัวแปรตาม Y ไม่เป็นแบบเส้นตรง จุด (x,E(Y/X=x)) อยู่บนเส้นโค้งดังรูปที่ 2.22 (ข)

กรณีที่ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ X และตัวแปรตาม Y ไม่เป็นเส้นตรงต้องสร้างรูปแบบการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรงด้วย การวิเคราะห์รูปแบบการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรงทั้งการประมาณแบบจุด แบบช่วงและการทดสอบสมมติฐานต้องทำภายใต้ข้อสมมติของรูปแบบทำนองเดียวกับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง



รูปที่ 2.22 แสดงเส้นการถดถอยที่อธิบายความสัมพันธ์ (ก) แบบเส้นตรง และ (ข) แบบเส้นโค้งพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 สมการถดถอย

แผนภาพการกระจายแสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ X และตัวแปรตาม Y ส่วนรูปแบบการถดถอยเป็นรูปแบบที่จะอธิบายลักษณะความสัมพันธ์ดังกล่าว รูปแบบการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่ายจะมีพารามิเตอร์ β_0 และ β_1 เป็นค่าวัดลักษณะของประชากรที่คงที่แต่ไม่ทราบค่าที่เรียกว่าค่าสัมประสิทธิการถดถอย (regression coefficient) จะประมาณค่าพารามิเตอร์ β_0 และ β_1 ดังกล่าวได้จากข้อมูล (X_i/Y_i) (i = 1,. ,n) ที่สุ่มตัวอย่างมา วิธีการประมาณที่นิยมใช้มากที่สุดในการวิเคราะห์การถดถอยได้แก่ วิธีกำลังสองน้อยที่สุด ซึ่งมีหลักการว่าจะหาค่าประมาณของ β_0 และ β_1 ที่ทำให้เส้นการถดถอยที่ผ่านจุดต่างๆ ในแผนภาพการกระจายมากที่สุดหรือให้ค่าคลาดเคลื่อน e_i ซึ่ง

$$e_i = Y_i - \hat{Y}_i \qquad (2.13)$$

= ค่าจริงที่ i - ค่าประมาณที่ i

มีคุณสมบัติดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนเป็น 0 นั่นคือ $\bar{e} = \frac{\sum e_i}{n} = 0$

2. ผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อน (SSE) มีค่าต่ำสุด นั่นคือ SSE หรือ $\sum e_i^2$ มีค่าต่ำที่สุดซึ่ง

$$SSE = \sum_{i=1} e_i^2$$

$$= \sum_{i=1} e_i^2 \, (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

$$= \sum_{i=1} e_i^2 \, (Y_i - b_0 - b_1 X_i)^2 \qquad (2.14)$$

วิธีกำลังสองน้อยที่สุดจะให้สมการถดถอย $\hat{Y} = b_0 - b_1 X$ โดย b_0 เป็นจุดที่เส้นการถดถอยตัดแกน Y หรือ ค่าของ Y เมื่อ X มีค่าเท่ากับ 0 และ b_1 เป็นอัตราการเพิ่มหรือลดของ Y เมื่อ X มีค่าเพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วยจะเรียก b_1 ว่าค่าความลาดชัน เรียกเส้นตรงที่สร้างจากสมการถดถอยนี้ว่าเส้นการถดถอย และเรียก b_0 และ b_1 ว่าค่าสัมประสิทธิการถดถอย ค่า b_0 และ b_1 จะหาได้จากการแก้สมการที่ได้จากการหาอนุพันธ์ย่อยของ SSE เทียบกับ b_0 และ b_1 แล้วกำหนดให้เท่ากับ 0 ดังนี้

$$\frac{\partial SSE}{\partial b_0} = \frac{\partial \sum (Y_i - b_0 - b_1 X_i)^2}{\partial b_0} = -2\sum (Y_i - b_0 - b_1 X_i) = 0$$

$$\frac{\partial SSE}{\partial b_1} = \frac{\partial \sum (Y_i - b_0 - b_1 X_i)^2}{\partial b_1} = -2\sum X_i (Y_i - b_0 - b_1 X_i) = 0 \qquad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเขียนสมการทั้งสองใหม่และเรียกสมการใหม่นี้ว่าสมการปกติ (normal equation)

$$n b_0 + \sum X_i b_1 = \sum Y_I \quad (2.16)$$

$$\sum X_i b_0 + \sum X_i^2 b_1 = \sum X_i Y_i \quad (2.17)$$

จากสมการปกติแก้สมการหา b_0 และ b_1 ได้เป็น

$$b_1 = \frac{SS_{xy}}{SS_{xx}} \quad (2.18)$$

$$b_0 = \bar{Y} - b_1\bar{x} \quad (2.19)$$

ตัวประมาณ b_0 และ b_1 ที่หาได้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดนี้จะเป็นตัวประมาณที่มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น ไม่อคติ ค่าความแปรปรวนต่ำที่สุด เป็นต้น ค่าความลาดชัน b_1 จากสมการถดถอยที่ได้จะมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r นั่นคือ $b_1 = \frac{r\sqrt{SS_{yy}}}{\sqrt{SS_{xx}}}$ ค่าของ b_1 และ r จะมีเครื่องหมายเดียวกันสำหรับพารามิเตอร์ σ^2 จะประมาณได้ด้วย s^2 หรือ $s^2_{y.x}$ ซึ่ง

$$s^2 = \frac{SSE}{n-2} = \frac{\sum_{i=1} e_i^2}{n-2} = \frac{SS_{yy} - b_1 S_{xy}}{n-2} \quad (2.20)$$

ซึ่ง s^2 เป็นเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน ที่มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น ไม่อคติ ค่าความแปรปรวนต่ำที่สุด เป็นต้น จะเรียก s หรือ s_{yx} ว่าค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการถดถอย (standard error of regression) จากรูปแบบการถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่าย

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

จะมี

$$\mu_y = \beta_0 + \beta_1 \mu_x \quad (2.21)$$

ซึ่ง μ_y และ μ_x เป็นค่าเฉลี่ยของ Y และ X และ σ^2_y และ σ^2_x เป็นค่าความแปรปรวนของ Y และ X ตามลำดับ นำ μ_y ไปลบออกจาก Y และหารด้วย σ_y จะได้รูปแบบใหม่เป็น

$$\frac{Y - \mu_y}{\sigma_y} = \beta_1 \frac{(X - \mu_x)}{\sigma_y} + \frac{\varepsilon}{\sigma_y} = \frac{\beta_1 \sigma_x}{\sigma_y}\left[\frac{(X - \mu_x)}{\sigma_y}\right] + \frac{\varepsilon}{\sigma_y} \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

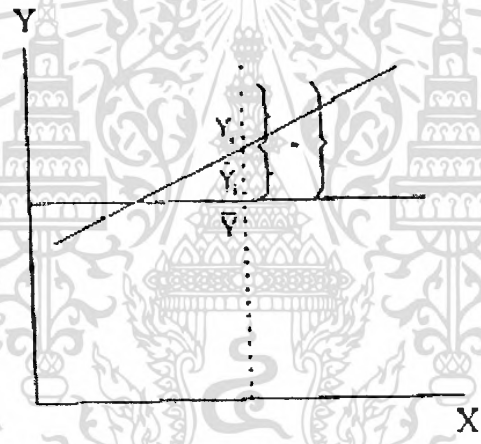
จะเขียนได้เป็นรูปแบบใหม่ที่เรียกว่ารูปแบบการถดถอยมาตรฐานเชิงเส้นตรง

$$Y' = \beta_1' X' + \varepsilon'$$

เมื่อ $Y' = \frac{Y - \mu_y}{\sigma_y}$, $X' = \frac{(X - \mu_x)}{\sigma_y}$, $\varepsilon' = \frac{\varepsilon}{\sigma_y}$ และ $\beta_1' = \frac{\beta_1 \sigma_x}{\sigma_y}$ ซึ่ง β_1' เป็นอัตราการเพิ่ม หรือลดของค่ามาตรฐานของ Y (Y') ต่อการเพิ่มค่ามาตรฐานของ X (X') หนึ่งหน่วย จะเรียกว่าค่าสัมประสิทธิการถดถอยมาตรฐาน (Standardized regression coefficient) จะประมาณ β_1' ได้ด้วย $b_1' = b_1 \frac{SS_{xx}}{SS_{yy}}$

2.5.3 การแบ่งส่วน ของผลรวมกำลังสอง (SST)

- แผนภาพการกระจายที่ได้จากการพล็อต $(X_i - Y_i)$ และเส้นการถดถอยที่สร้างจากรูปแบบการถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่ายแสดงในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 .แสดงเส้นการถดถอย

จากรูปที่ 2.23 ข้างบนจะเห็นว่าผลต่างระหว่างค่าสังเกตแต่ละค่าจากค่าเฉลี่ย $(Y_i - \bar{Y})$ จะแยกออกได้เป็นสองส่วน

$$Y_i - \bar{Y} = (Y_i - \hat{Y}) + (\hat{Y}_i - \bar{Y}) \qquad (2.23)$$

เมื่อหาผลรวมกำลังสองทั้งด้านซ้ายด้านขวาและมี $\sum(Y_i - \hat{Y}_i)(\hat{Y}_i - \bar{Y}) = 0$ จะได้

$$\sum(Y_i - \bar{Y})^2 = \sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 + \sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2 \qquad (2.24)$$

จะเขียนสมการนี้ใหม่เป็น SST = SSR + SSE ซึ่งแต่ละเทอมอธิบายได้ดังนี้

1. $\sum(Y_i - \bar{Y})^2$ เป็นผลรวมกำลังสองของค่าสังเกตจากค่าเฉลี่ยซึ่งเป็นค่าวัดความผันแปรของแต่ละค่าสังเกตจากค่าเฉลี่ย (Total sum of squares หรือ SST)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. $\sum(Y_i - \bar{Y})^2$ เป็นผลรวมกำลังสองของค่าประมาณจากค่าเฉลี่ย ซึ่งเป็นค่าวัดความผันแปรของแต่ละค่าประมาณจากค่าเฉลี่ย หรือเป็นส่วนของ SST ที่เนื่องจากการถดถอย (Regression sum of squares หรือ SSR) บางครั้งจะเขียน SSR (X) แทน SSR เพื่อระบุว่ามีตัวแปรอิสระ X เพียงตัวแปรเดียวในรูปแบบการถดถอย

3. $\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2$ เป็นผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน ซึ่งเป็นค่าวัดความผันแปรของแต่ละค่าจริงจากค่าประมาณ (Error sum of squares หรือ SSE) บางครั้งจะเขียน SSE (X) แทน SSE เพื่อระบุว่ามีตัวแปรอิสระ X เพียงตัวแปรเดียวในรูปแบบ

การแบ่งส่วน SST ออกเป็น SSR และ SSE นั้นจะเขียนสรุปในตารางที่เรียกว่า ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ซึ่งจำนำไปใช้ประโยชน์ในการทดสอบสมมติฐาน ได้แก่การทดสอบ $H_0 : \beta_1 = 0$ ที่มีตัวทดสอบสถิติ F ดังตารางที่ 2.3 และตารางที่ 2.4

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีรายละเอียดเกี่ยวกับ

1. แหล่งที่มาของความผันแปร (SV)
2. ชั้นแห่งความเป็นอิสระ (df)
3. ผลรวมกำลังสอง (SS)
4. เฉลี่ยกำลังสอง (MS)
5. ตัวทดสอบสถิติ F(F)

ตารางที่ 2.3 แสดงการวิเคราะห์รูปแบบ $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$

SV	df.	SS	MS	F
การถดถอย	1	$SSR = b_1 SS_{xy}$	MSR	$F = \frac{MSR}{MSE}$
ความคลาดเคลื่อน	n-2	$SSE = SS_{yy} - b_1 SS_{xy}$	MSE	
รวม	n-1	$SST = SS_{yy}$		

ตารางที่ 2.4 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบ $H_0 : \beta_1 = 0$

SV	df.	SS	MS	F
การถดถอย	1	SSR = 1707.7925	1707.7925	59.8419
ความคลาดเคลื่อน	8	SSE = 228.3075	28.5384	
รวม	9	SST = 1936.1		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด

จากการแบ่งส่วนของผลรวมกำลังสองหรือ SST เป็น SSR และ SSE นั้น จะให้ค่าสถิติที่สำคัญที่ใช้ในการอธิบายว่า ตัวแปรอิสระ X มีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตาม Y มากน้อยเพียงใด ดังนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เป็นค่าวัดสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ที่ตัวแปรอิสระ X มีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตาม Y จะหาค่า R^2 ได้จาก

$$R^2 = \frac{SSR}{SST}$$

$$\text{หรือ} \quad R^2 = 1 - \frac{SSR}{SST} \qquad (2.25)$$

R^2 จะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 กรณีที่มีตัวแปรอิสระเพียงหนึ่งตัวแปร ค่า R^2 จะเป็นกำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ X และ ตัวแปรตาม Y นั่นคือ $R^2 = r^2$ เมื่อ R^2 มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าตัวแปรอิสระ X มีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตาม Y น้อย เมื่อทราบค่า R^2 และ SST จะหาค่า SSR และ SSE ได้โดย $SSR = R^2 SST$ และ $SSE = (1-R^2)SST$

2. ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดที่ปรับแล้ว (R_a^2) เป็นค่าวัดความเหมาะสมของรูปแบบอีกค่าหนึ่งที่คล้ายกับค่า R^2 แต่ต่างกันที่ R_a^2 คำถึงถึงขั้นแห่งความเป็นอิสระของ SSE และ SST นั่นคือจะใช้ $MSE = SSE/(n-2)$ และ $s_y^2 = SST/(n-1)$ แทน SSE และ SST ตามลำดับใน R^2 นั่นคือค่า R_a^2 จะคำนวณได้จากสูตร

$$R_a^2 = 1 - \frac{SSE/(n-2)}{SST/(n-1)}$$

$$= 1 - \frac{MSE}{s_y^2} \qquad (2.26)$$

การอธิบายความหมายของ R_a^2 ทำได้ทำนองเดียวกันกับการอธิบายความหมายของ R^2

2.4.5 ลักษณะการแจกแจงของตัวประมาณและการประมาณแบบช่วง

ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย ผู้วิเคราะห์มักสนใจที่จะประมาณและทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับพารามิเตอร์หรือฟังก์ชันของพารามิเตอร์ที่ปรากฏอยู่ในรูปแบบ ซึ่งฟังก์ชันของพารามิเตอร์ β_0 และ β_1 ต่างๆ ที่มักจะสนใจเช่น

1. ค่าคาดหวังของ Y เมื่อ $X = X_0$
2. ค่าของ Y เมื่อ $X = X_0$
3. ค่าเฉลี่ย m ค่าของ Y เมื่อ เมื่อ $X = X_0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะประมาณพารามิเตอร์ β_0 และ β_1 ด้วยตัวประมาณ b_0 และ b_1 ส่วนฟังก์ชันของพารามิเตอร์ β_0 และ β_1 ทั้งสามจะมีตัวประมาณเดียวกัน ได้แก่ $Y = b_0 + b_1 x_0$ การหาช่วงความเชื่อมั่นและการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับพารามิเตอร์ β_0 β_1 และฟังก์ชันของพารามิเตอร์ β_0 และ β_1 จะทำได้เมื่อทราบลักษณะการแจกแจงของตัวประมาณของ β_0 β_1 และลักษณะการแจกแจงของตัวประมาณของฟังก์ชันของ β_0 และ β_1 ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงลักษณะการแจกแจงของ b_0 b_1 และฟังก์ชันของ b_0 และ b_1

พารามิเตอร์ (θ)	ตัวประมาณ (θ)	ลักษณะการแจกแจงของ θ	ค่าเฉลี่ย (μ_θ)	ค่าความแปรปรวน (σ_θ^2)
β_0	b_0	ปกติ	β_0	$\sigma^2 \frac{\sum x^2}{nSS_{xx}}$
β_1	b_1	ปกติ	β_1	$\frac{\sigma^2}{SS_{xx}}$
ค่าคาดหวังของ Y เมื่อ $X = X_0$	$Y = b_0 + b_1 x_0$	ปกติ	$\beta_0 + \beta_1 x_0$	$\sigma^2\left(\frac{1}{n} + \frac{(x_0 - x)^2}{SS_{xx}}\right)$
ค่า Y เมื่อ $X = X_0$	$Y = b_0 + b_1 x_0$	ปกติ	$\beta_0 + \beta_1 x_0$	$\sigma^2\left(1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - x)^2}{SS_{xx}}\right)$
ค่าเฉลี่ย m ค่าของ Y เมื่อ $X = X_0$	$Y = b_0 + b_1 x_0$	ปกติ	$\beta_0 + \beta_1 x_0$	$\sigma^2\left(\frac{1}{n} + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - x)^2}{SS_{xx}}\right)$

ลักษณะการแจกแจงของตัวประมาณต่างๆ ในตารางที่ 2.5 เป็นการแจกแจงแบบปกติ มีค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนต่างๆ กัน ซึ่งจะอธิบายได้ดังนี้ กำหนด θ เป็นพารามิเตอร์หรือ ฟังก์ชันของพารามิเตอร์ต่างๆ θ เป็นตัวประมาณของพารามิเตอร์ θ ที่มีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ย μ_θ และค่าความแปรปรวน σ_θ^2 นั่นคือ $\theta \sim N(\mu_\theta, \sigma_\theta^2)$ เช่น เมื่อพารามิเตอร์ θ เป็น β_1 จะมี θ, μ_θ และ σ_θ^2 เท่ากับ b_1, μ_{b1} และ σ_{b1}^2 ตามลำดับ จะได้ว่า $b_1 \sim N(\beta_1, \sigma_{b1}^2)$ เป็นต้น จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่า σ_θ^2 ขึ้นอยู่กับ σ^2 ซึ่งไม่ทราบค่า เมื่อประมาณ σ^2 ด้วย s^2 ซึ่ง $s^2 = SSE / n\text{-}2$ ใน σ_θ^2 จะได้ s_θ^2 ซึ่ง s_θ^2 เป็นตัวประมาณของ σ_θ^2 ดังนั้นในการหาช่วงความเชื่อมั่นและการทดสอบสมมติฐานจะใช้สถิติ $t = b_1 - \beta_1 / s_{b_1}$ ที่มีการแจกแจงแบบ t ที่ชั้นแห่งความเป็นอิสระเท่ากับ n-2 เช่น $t = \theta - \mu_\theta / s_\theta$ มีการแจกแจงแบบ t ที่ชั้นแห่งความเป็นอิสระเท่ากับ n-2 เป็นต้น อย่างไรก็ตามลักษณะการแจกแจงแบบ t ที่ชั้นแห่งความเป็นอิสระมีค่าตั้งแต่ 30 ขึ้นไปจะมีลักษณะการแจกแจงเข้าใกล้กับการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาช่วงความเชื่อมั่นของพารามิเตอร์ θ จะทำได้จากการที่ทราบลักษณะการแจกแจงของตัวสถิติ $t\ \theta-\mu_\theta/s_\theta$ ที่มีการแจกแจงแบบ t ดังกล่าวข้างต้น นั่นคือจากความน่าจะเป็น

$$P\left(-t_{\alpha/2} \leq t \leq t_{\alpha/2}\right) = 1 - \alpha \qquad (2.27)$$

แทน t ด้วย $\theta-\mu_\theta/s_\theta$ หาก θ เป็นตัวประมาณที่ไม่อคติจะมี μ_θ เท่ากับ θ จะเขียนค่าความน่าจะเป็นใหม่ได้เป็น

$$P\left(\theta-t_{\alpha/2,n-2}s_\theta \leq \theta \leq \theta + t_{\alpha/2,n-2}s_\theta\right) = 1 - \alpha \qquad (2.28)$$

ดังนั้นขีดจำกัดของ $(1-\alpha)100$ เปอร์เซนต์ช่วงของความเชื่อมั่นของ θ เท่ากับ $\theta \pm t_{\alpha/2,n-2}s_\theta$ ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่ายพารามิเตอร์ θ ได้แก่ β_0 β_1 หรือฟังก์ชันของ β_0 และ β_1 ซึ่งได้แก่ค่าคาดหวังของ Y เมื่อ $X = X_0$ ค่า Y เมื่อ $X = X_0$ และค่าเฉลี่ย m ค่าของ Y เมื่อ $X = X_0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3
การวิจัยและทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์การถดถอย

3.1 บทนำ

กระบวนการผลิต แขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ในโรงงานอุตสาหกรรมได้มีกระบวนการตรวจสอบคุณภาพโดยใช้วิธีการทางสถิติ มาเป็นตัวควบคุมในระบบการผลิตมากขึ้นและในการกระบวนการผลิตแต่ละขั้นตอนจะมีการคำนวณค่าของมาตรฐานในการผลิต โดยประกอบด้วยค่าของ เฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อช่วยในการพิจารณาว่าแต่ละกระบวนการว่ามีคุณภาพในการผลิต ซึ่งในการใช้งานแบบเดิมจะทำการใช้การแบ่งค่าของกลุ่มงานออกเป็นแต่ละกลุ่มและแต่ละกลุ่มจะมีค่าของสมการที่ใช้เป็น สมการเส้นตรง (Straight Line) ใช้งานอยู่และเมื่อทำการปรับค่า Pitch และ Roll ทำให้มีค่าของเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าที่ไม่ดีและแสดงว่ากระบวนการผลิตทำการผลิตงานที่ไม่มีคุณภาพ ซึ่งจะทำให้ได้งานที่มีผลผลิตต่ำ และทำความเสียหายต่อกระบวนการผลิต ดังนั้นจึงมีแนวความคิดใช้วิธีการ วิเคราะห์การถดถอย(Regression Analysis) มาใช้ในการวิเคราะห์ และกำหนดสมการให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตต่อไป

3.2 หลักการวิเคราะห์ที่นำเสนอ

การวิเคราะห์การถดถอย เป็นวิธีที่ใช้ในการกำหนดรับฟังก์ชันการทำนาย หรือ คาดคะเนค่าของหนึ่งตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับค่าที่รู้ได้จากตัวแปรอื่น หรือ ตัวแปรอิสระมากกว่า โดยสามารถทำการวิเคราะห์การถดถอยแบบสมการเส้นตรง (Straight line) สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการคาดคะเนดังสมการข้างล่าง เมื่อกำหนดให้ข้อมูลของ N เป็นจุด coordinates

$$P_i = (x_i, y_i) \quad ; i = 1,2,\ldots,N \tag{3.1}$$

และทำการสมมติว่าค่าของ y_i เป็นการกำหนดของสิ่งที่สัมพันธ์กันให้ค่าของการประมาณกับฟังก์ชันของ Y โดยมีรูปแบบดังนี้

$$Y(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \ldots + a_1 x + a_0 \tag{3.2}$$

ซึ่งความสัมพันธ์ของ nth จะเป็นตัวกำหนด ระดับของสมการกำลังสอง ด้วย เช่น ถ้ามีการกำหนดให้ $n = 1$,จะมีการเรียกว่า สมการเส้นตรง (Straight line equation) และถ้าทำการกำหนดให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$n = 2$ จะมีการเรียกว่าสมการกำลังสอง (Quadratic equation) กำหนดให้ Coefficients a_n, a_{n-1}, ... , a_1, a_0 เป็นการหาค่า ที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชัน y ที่มีความสัมพันธ์กับ x.

3.2.1 การวิเคราะห์การถดถอย โดย สมการเส้นตรง (Straight-line)

สมการเส้นตรงสามารถทำการเขียนได้ดังนี้

$$y_i = a_1 x_i + a_0 \tag{3.3}$$

เมื่อ ให้ค่าคงที่ a_1 เป็น การบอกถึงความชัน และ a_0 เป็นการบอกตำแหน่งหรือจุดที่มีบนเส้นของการวิเคราะห์การถดถอย (Regression line) และเมื่อทำการรวมค่าของความผิดพลาด E ก็คือ

$$E = \sum_{i=1}^{N} (y_i - a_1 x_i - a_0)^2 \tag{3.4}$$

หลังจากนั้นทำการ แทนค่าของ a_1 และ a_0 รวมทั้ง E ลงไปในสมการที่ (3.4) จะได้ว่า

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2} \tag{3.5}$$

และ $$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x} \tag{3.6}$$

เมื่อ $$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} x_i \tag{3.7}$$

และ $$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} x_i \tag{3.8}$$

และค่าความแปรปรวนของส่วนตกค้าง (Residual variance) หรือ R-squared ของ ฟังก์ชันของ Y จากตำแหน่งบนเส้นของการวิเคราะห์การถดถอย (Regression line) จะได้ว่า

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} (y_i - \bar{y})}{N - 2} \tag{3.9}$$

และมีค่า Standard error ก็สามารถทำการคำนวณได้จาก การถอดค่า Square root ของค่าความแปรปรวนของส่วนตกค้าง (Residual variance) หรือ R-squared ดังต่อไปนี้

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (y_i - \bar{y})}{N - 2}} \tag{3.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การวิเคราะห์การถดถอยโดย สมการกำลังสอง (Quadratic)

สมการกำลังสองสามารถทำการเขียนได้ดังนี้

$$y_i = a_2x_i^2 + a_1x_i + a_0 \tag{3.11}$$

เมื่อให้ค่าของคงที่ a_2, a_1 และ a_0 ในสมการการวิเคราะห์การถดถอย หรือเรียกว่า Regression coefficients และเมื่อทำการรวมค่าของความผิดพลาด E ก็คือ

$$E_i = \sum_{i=1}^{N}\left(y_i - a_2x_i^2 - a_1x_i - a_0\right)^2 \tag{3.12}$$

เมื่อ :

$$\frac{\partial E}{\partial a_2} = \sum_{i=1}^{N} 2\left(a_2x_i^4 + a_1x_i^3 + a_0x_i^2 - y_ix_i^2\right)$$

$$\frac{\partial E}{\partial a_1} = \sum_{i=1}^{N} 2\left(a_2x_i^3 + a_1x_i^2 + a_0x_i - y_ix_i\right)$$

$$\frac{\partial E}{\partial a_0} = \sum_{i=1}^{N} 2\left(a_2x_i^2 + a_1x_i + a_0 - y_i\right)$$

และทำการกำหนดค่าของ Partial derivatives เป็นค่า ศูนย์ จะได้ดังสมการข้างล่าง

$$a_2\sum_{i=1}^{N}x_i^4 + a_1\sum_{i=1}^{N}x_i^3 + a_0\sum_{i=1}^{N}x_i^2 - \sum_{i=1}^{N}\left(y_ix_i^2\right) = 0$$

$$a_2\sum_{i=1}^{N}x_i^3 + a_1\sum_{i=1}^{N}x_i^2 + a_0\sum_{i=1}^{N}x_i - \sum_{i=1}^{N}\left(y_ix_i\right) = 0$$

$$a_2\sum_{i=1}^{N}x_i^2 + a_1\sum_{i=1}^{N}x_i + a_0n - \sum_{i=1}^{N}y_i = 0$$

และทำการหาค่าของตัวแปร a_2, a_1, และ a_0 ได้ดังนี้

$$a_2 = \frac{t_3t_4 - t_2t_5}{t_1t_3 - t_2^2} \tag{3.13}$$

$$a_1 = \frac{t_2t_4 - t_1t_5}{t_2^2 - t_1t_3} \tag{3.14}$$

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N}y_i - a_2\sum_{i=1}^{N}x_i^2 - a_1\sum_{i=1}^{N}x_i}{N} \tag{3.15}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$t_1 = N\sum_{i=1}^{N} x_i^4 - \left(\sum_{i=1}^{N} x_i^2\right)^2$$

$$t_2 = N\sum_{i=1}^{N} x_i^3 - \sum_{i=1}^{N} x_i^2 \sum_{i=1}^{N} x_i$$

$$t_3 = N\sum_{i=1}^{N} x_i^2 = \left(\sum_{i=1}^{N} x_i\right)^2$$

$$t_4 = N\sum_{i=1}^{N} \left(x_i^2 y_i\right) - \sum_{i=1}^{N} x_i^2 \sum_{i=1}^{N} y_i$$

$$t_5 = N\sum_{i=1}^{N} \left(x_i y_i\right) - \sum_{i=1}^{N} x_i \sum_{i=1}^{N} y_i$$

และหาค่าของความแปรปรวนของส่วนตกค้าง (Residual variance) หรือ R-squared จะได้ว่า

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(y_i - \bar{y})^2 - \sum_{i=1}^{N}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(y_i - \bar{y})^2} \qquad (3.16)$$

เมื่อ $\sum_{i=1}^{N}(y_i - \bar{y})^2$ เป็นค่าผลรวมทั้งหมด (Total sum) .

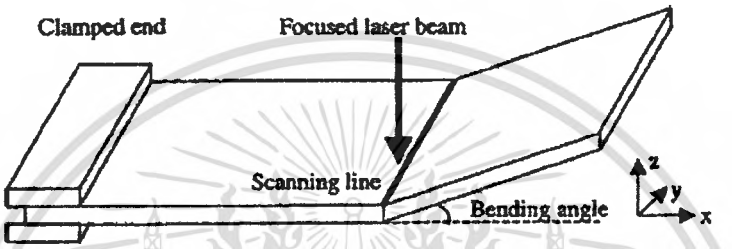
$\sum_{i=1}^{N}(y_i - \hat{y}_i)^2$ เป็นค่า Residual ทั้งหมด (Residual sum).

3.3 การประยุกต์ใช้เลเซอร์ เบนดิงส์ (Laser Bending)

เลเซอร์เบนดิงส์ (Laser Bending) เป็นวิธีการหนึ่งในการใช้เลเซอร์สำหรับการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และ แก้ไขความโค้งของโลหะ โดยการใช้พลังงานของเลเซอร์ และสามารถแสดง ลักษณะของกระบวนการเลเซอร์เบนดิงส์ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 เป็นการฉายแสงเลเซอร์โดยทำการเล็งไปที่เป้าหมายด้วยความเร็วที่สแกนไว้จำนวนหนึ่ง จะทำให้เกิดความร้อนจากการฉายแสงเลเซอร์ และส่งผลให้ทำให้เกิดการงอบนตัวงาน และการงอโดยเลเซอร์ถูกอธิบายโดยทฤษฎีของ Thermoelastoplastic และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาความร้อนที่มีการฉายรังสีของลำแสงเลเซอร์บนพื้นผิวงาน ทิศทางของลำแสง และความหนาตัวงาน ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ ชั้นด้านบนของวัตถุจะเกิดความร้อนได้มาก และ ทำให้เกิดการขยายตัวต่อไปยังพื้นผิวด้านล่าง ทำให้เกิดการขยายตัวจากความร้อนและเป็นสาเหตุให้วัตถุเป้าหมายที่ต้องการจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรืองอ ขณะเดียวกันลำแสงเลเซอร์ที่ใช้ในเวลาระหว่างนั้น จะทำให้เกิดความตึงเครียดบนวัตถุและ การทำให้วัตถุเกิดการตึงตัวและ วัตถุมีอุณหภูมิสูง ทำให้ สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

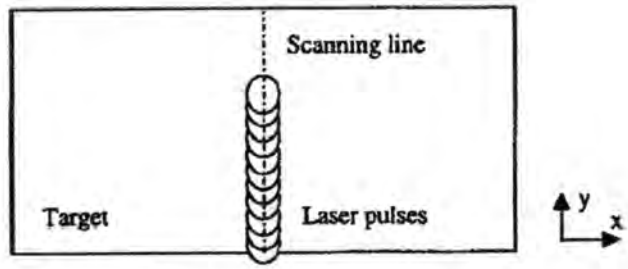
การหลอมหล่อได้เกิดขึ้น เมื่อทำให้เกิดความร้อนบนพื้นที่ใกล้เคียงและความตึงเครียดจะ เปลี่ยนจะเกิดการหดตัวจากความร้อน อย่างไรก็ตาม การทำให้เกิดความตึงเครียดที่สร้างระหว่างการเกิดความร้อนไม่ที่ถูกยกเลิกอย่างสมบูรณ์ เพราะฉะนั้นจะทำให้เกิดความตึงที่เหลือในการฉายแสงเลเซอร์ ที่ยังค้างอยู่บนผิวงานเป็นสาเหตุทำให้เกิดการดัดแปลงรูปร่าง หรือ การงออย่างถาวรได้ และ ได้ทำการใช้ ลำแสงเลเซอร์แบบคลื่นต่อเนื่อง (Continuous Wave) มาใช้สำหรับการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และ แก้ไขความโค้งของโลหะ และ สามารถใช้ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับรถยนต์ หรือ การแก้ไขลักษณะความโค้งหรือรูปร่างบนตัวงาน ในโรงงานผลิตฮาร์ดดิสก์ อีกด้วย



รูปที่ 3.1 แสดงกระบวนการ Laser bending และมีการเคลื่อนที่ในแนวแกนวาย

ในกรณีเมื่อ เส้นของลำแสงเลเซอร์ (Laser pulse) ที่พลังงานต่ำเมื่อถูกใช้ สำหรับเลเซอร์เบนดิงส์ (Laser Bending)โดย การงอ บนตัวงานโดยกำหนด เส้นของลำแสงเลเซอร์ เป็น ให้มีการเคลื่อนที่เป็น 2 มิติ (X-Y) หรือ ความกว้าง และ ความยาว โดยมีขอบเขต และเมื่อเกิดการยิงลำแสงเลเซอร์จะส่งผลให้เกิดการงอ และสามารถ นำมาทำการคำนวณการเส้นของลำแสงเลเซอร์ ที่มีผลต่อ ความร้อนบนตัววัตถุ และ ความกว้าง-ยาว ของเส้นของลำแสงเลเซอร์ ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่เกิดการงอและจำนวนเส้นของลำแสงเลเซอร์ โดยสามารถแสดงลักษณะเส้นของลำแสงเลเซอร์ทำให้ที่มีการงอ ที่เกิดจากความร้อนและ Thermomechanical ปรากฏการณ์ ที่รวมถึงเส้นของลำแสงเลเซอร์ กับ ความเข้มของ Gaussian และอัตราการยิงซ้ำของลำแสงเลเซอร์ตามเส้นที่สแกน ดังแสดงดังรูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของการยิงเลเซอร์ที่ทำให้เกิดการงอ และ แสดงทิศทางเส้นของลำแสงเลเซอร์ที่กำลังสแกนเลเซอร์ โดยสามารถทำคำนวณได้ว่า เช่น Scannig speed 10 mm /s และ อัตราการทำซ้ำของลำแสงเลเซอร์ (Pulse repetition rate) 10 kHz, มีลำแสงเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร จะต้องใช้เส้นของลำแสงเลเซอร์ 20000 ต่อการฉายแสงต่อพื้นที่ 2 มิลลิเมตร วิธีการคำนวณที่มีประสิทธิภาพถูกพัฒนาเพื่อเลียนแบบที่การงอ โดยแสงเลเซอร์ จะทำการแทนจำนวนเส้นของลำแสงเลเซอร์ และ การเปลี่ยนแปลงของวัตถุจากการยิงเลเซอร์มาคำนวณที่ส่วนที่ตัดตามขวางที่ตั้งฉากให้ทิศทางที่สแกนถูกบังคับไปบนเป้าหมายทั้งหมดเป็นสภาวะเริ่มต้นที่จะคำนวณการการงอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงเส้นของลำแสงเลเซอร์ที่ยิงบนตัวงานและมีการเคลื่อนที่ในแนวแกนวาย

3.3.1 การคำนวณเส้นลำแสงเลเซอร์ที่ทำให้รูปร่างของวัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงจากความตึงเครียด (Strain Field)

ในกระบวนการเลเซอร์เบนดิงส์ (Laser Bending)จะมีการพิจารณาถึงความตึงเครียดและส่วนของพื้นที่ ที่มีการทำให้ความตึงตามทิศทางที่ของสแกนเลเซอร์ (Scan laser)ที่ถูกรับด้วย ถึงแม้ว่า ปริมาณของเส้นลำแสงเลเซอร์จะมีเส้นเดี่ยวก็สามารถสร้างความตึงเครียด ได้เช่นกัน และการทำให้เกิดความตึงบนวัตถุ , กำลังของเลเซอร์ (Power laser) กับ เส้นของลำแสงเลเซอร์ (Laser pulse) ก็เป็นส่วนเดียวกัน ดังนั้น เลเซอร์ และ ความตึงเครียดที่ทำให้เกิดความตึงบนวัตถุได้หลากหลายทิศทางที่สแกน โดยสามารถจะนำมาคำนวณ เส้นของลำแสงเลเซอร์ (Laser pulse) ที่ทำให้เกิดความตึงเครียด ในพื้นที่ของแกนเอ็กซ์ และ แซด ส่วนพื้นที่ของการเปลี่ยนแปลงความตึงที่เหลือในบางส่วนสามารถนำไปคำนวณที่การงอหรือการให้ทำผิดรูปร่าง โดยอาจแทนเป็น ส่วนพื้นที่การทำให้เกิดความตึง (ε_t) และ สามารถถูกใช้เพื่อคำนวณการเคลื่อนที่ของที่ลำแสงเลเซอร์ (Laser pulse)

วิธีของการเคลื่อนที่ที่คำนวณจากส่วนพื้นที่การทำให้เกิดความตึง จะทำการพิจารณาส่วนพื้นที่ความตึงเครียดที่เหลือไม่ถูกใช้เพื่อคำนวณการเคลื่อนที่ เหตุผลเพื่อว่าการเคลื่อนที่ไม่ขึ้นอยู่กับความตึงเครียดแต่จะมีผลขึ้นต่อเส้นทางการโหลดเมื่อการทำให้เกิดความตึงหลอมหล่อได้ และรวมถึงเกิดการเคลื่อนที่แตกต่างจะส่งผลจากแตกต่างโหลดเส้นทาง หรืออีกนัยหนึ่งมีความสอดคล้องกันหนึ่งต่อหนึ่งระหว่างการทำให้ตึงและส่วนพื้นที่การเคลื่อนที่ เพราะฉะนั้นส่วนพื้นที่การเคลื่อนที่ของวัตถุเป้าหมายสามารถทำได้อย่างสมบูรณ์โดยส่วนพื้นที่การทำให้ตึง และได้ใช้ Finite element สำหรับการคำนวณเกี่ยวกับส่วนพื้นที่ความตึงเครียดเท่านั้นสามารถถูกใช้เป็นสภาวะเริ่มต้น สำหรับกระบวนการคำนวณดังนั้นส่วนพื้นที่ความตึงเครียดเริ่มต้นจากการทำให้เกิดความตึงเท่ากับเลเซอร์ส่วนพื้นที่การทำให้ตึงที่ผลิต $\{\varepsilon_t\}$ วิธีสำหรับที่คำนวณส่วนพื้นที่ความตึงเครียดนี้ได้พิจารณาจากการคิดว่าโดเมนไม่ได้ทำให้ผิดรูปร่างโดยปราศจากกำลังภายนอกใดๆ แต่ขึ้นกับส่วนพื้นที่ความตึงเครียดเริ่มต้น $\{\sigma_i\}$ เพื่อทำให้เกิดความสมดุลกำลัง ความตึงเครียดเริ่มต้นนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควรจะทำให้หายกังวลอย่างสมบูรณ์ สำหรับการผ่อนคลายความตึงเครียด ส่วนพื้นที่ความตึงเครียดในโดเมนสามารถถูกเขียนโดยสมการที่ (3.17)

$$\{\sigma\} = \{\sigma_i\} + [E]\{\varepsilon\} \quad (3.17)$$

เมื่อ [E] คือเมตริกซ์ของยืดหยุ่นความแข็ง

$\{\varepsilon\}$ คือส่วนพื้นที่การทำให้ความตึงเนื่องจากการผ่อนคลายความตึงเครียด

$\{\sigma\}$ คือส่วนพื้นที่ความตึงเครียด

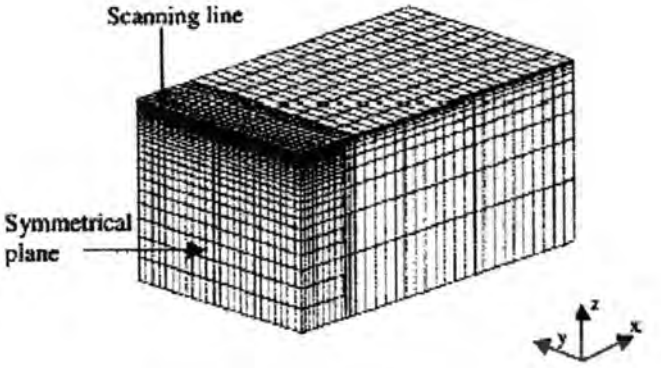
การผ่อนคลายความตึงเครียดหลังจาก$\{\sigma\}$ ถึง $\{0\}$ สามารถแสดงได้โดยสมการที่ (3.18)

$$\{\varepsilon\} = -\{\sigma_i\}/[E] \quad (3.18)$$

สมการที่ (3.18) ตัดสินใจ ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนพื้นที่ความตึงเครียดเริ่มต้นและส่วนพื้นที่การทำให้เกิดความตึงที่การส่งผลการผ่อนคลายความตึงเครียด ถ้าส่วนพื้นที่ความตึงเครียดเริ่มต้นด้วยค่าของ$\{\sigma_i\} = -[E]\{\varepsilon_r\}$ ใช้ในการคำนวณการผ่อนคลายความตึงเครียด และสามารถคำนวณหาพื้นที่การทำให้ตึงได้ด้วย เพราะฉะนั้นกระบวนการคำนวณเริ่มต้นกับการคำนวณส่วนพื้นที่การทำให้ตึง$\{\varepsilon_r\}$ จากจำนวน เส้นของลำแสงเลเซอร์ (Laser pulse) และบังคับส่วนพื้นที่การทำให้ตึง ของโดเมนทั้งหมด ต่อมาส่วนพื้นที่ความตึงเครียด$\{\sigma_i\}$ และสามารถนำมาคำนวณได้จากสมการของ $\{\sigma_i\} = -[E]\{\varepsilon_r\}$ เช่นกัน

สามารถแสดงลักษณะของการคำนวณกระบวนการเลเซอร์เบนดิงส์ (Laser Bending) จากแบบตัวอย่างสามมิติถูกสร้างและการจำลองของที่การดัดหรืองอโดยเลเซอร์ และใช้วัตถุเป็น สแตนเลส 301 (Stainless steel 301)ยาว 400 μm , กว้าง 120 μm และ หนา 100 μm และมี สแกนเร่งของลำแสง เลเซอร์เป็น 195 mm /s และมีขนาดของระยะพัลซ์ของลำแสงเลเซอร์ 9 μm และแสดงรูปของ โดเมนหลัง จากทำการคำนวณและ Symmetry plane ดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยวัตถุได้ถูกคำนวณจากแนวระนาบศูนย์กลางถูกประมาณเป็นแนวระนาบการมีสัดส่วนที่รับกัน และ Symmetry plane ถูกใช้รอบๆเส้นทางเลเซอร์และต่อมาที่ยืดออกไปในความยาวและทิศทางความหนา (X - Axis และ Z – Axis) ทำให้เพิ่มความหนาแน่น Symmetry plane จนกระทั่งผลลัพธ์การคำนวณมีค่าสูงทำให้เกิดการกระจายตัวของพลังงานโดยการให้ทำผิดรูปร่างได้จากความหนาแน่นของพลังงานเลเซอร์ระหว่างการเปลี่ยนแปลง รูปร่างโดยการงอ ซึ่งเกิดจากเกิดจากความร้อนและความตึงเครียดบนตัววัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3:3 แสดงรูปโดเมนหลังจากทำการคำนวณด้วยกระบวนการเลเซอร์เบนดิงส์ (Laser Bending)

3.3.2 การวิเคราะห์เกิดจากความร้อน

การวิเคราะห์เกิดจากความร้อนอาศัยการแก้สมการของการนำความร้อนสามมิติ จากสภาวะเริ่มต้นทั้งหมดอยู่ที่อุณหภูมิห้อง (300 K) และ ต้องทำให้พื้นที่ด้านข้างหรือบริเวณโดยรอบต้องไม่มีวัตถุมาบดบังลำแสงของเลเซอร์ เพราะว่าปริมาณของลำแสงเลเซอร์หรือ ความเข้มของเลเซอร์ (Laser flux) จะทำให้เกิดความร้อนเป็นปริมาตรที่เป้าหมายหรือวัตถุ ความเข้มของเลเซอร์สามารถทำการแทนที่ในบริเวณพื้นผิวของวุตถุในแนวแกนเอ็กซ์ และแกนวาย ดังสมการที่ (3.19)

$$I_s(x,y,t) = I_0(t).\exp\ -2\left\{\frac{x^2+(y-y_0)^2}{w^2}\right\} \qquad (3.19)$$

เมื่อ $I_0(t)$ คือเวลา-ความเข้มของเลเซอร์ที่ขึ้นอยู่กับศูนย์กลางของลำแสงเลเซอร์($x=0$; $y=0$)

W คือ รัศมีของลำแสง (Beam radius)

และมีความเข้มของเลเซอร์ ที่ทำให้เพิ่มอย่างเชิงเส้นจากศูนย์ถึงสูงที่สุดที่ 60 ns และต่อมาทำการลดให้เป็นศูนย์และเพิ่มไปเป็นที่ 120 ns ดังนั้นสามารถทำการค่าของความเข้มของการแผ่รังสี (Radiation intensity) ของ I(x,y,z,t) ภายในเป้าหมายดังสมการที่ (3.20) ถูกคำนวณโดยเอดโปเนนเชียล เมื่อพิจารณาถึงการสะท้อนกลับของพื้นผิว

$$I_s(x,y,z,t) = (1-R_f)\, I_s(x,y,t)e^{-az} \qquad (3.20)$$

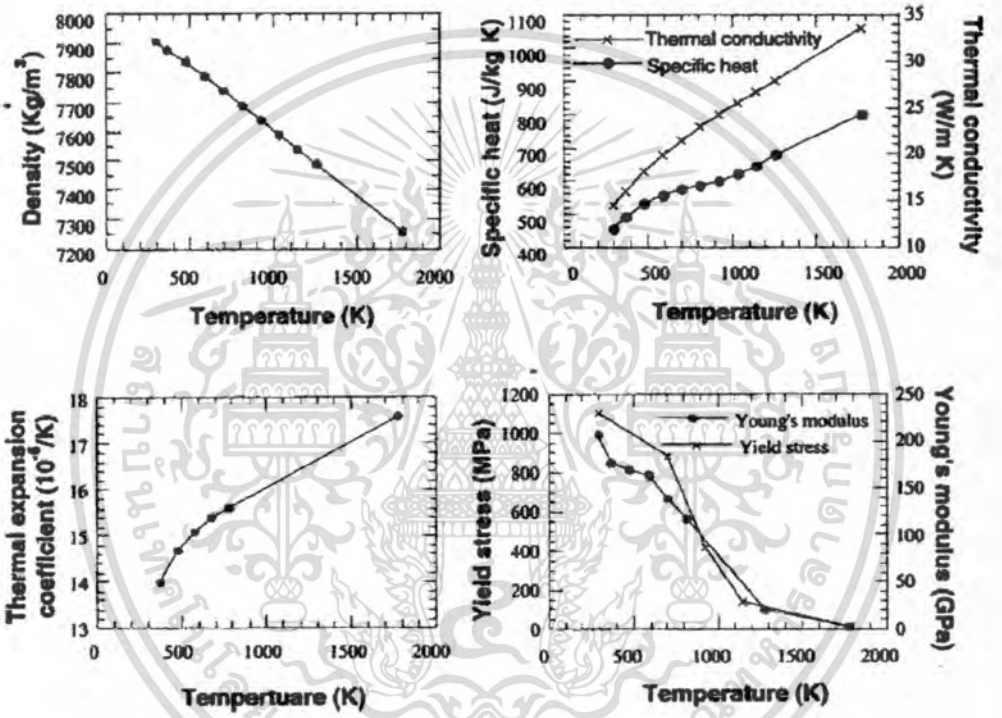
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Rf คือค่าของ optical reflectivity

$\propto$ สัมประสิทธิ์การดูดซึม (Absorption coefficient)

$$\alpha = \frac{4\pi\kappa}{\lambda}.$$

และค่าของตัวแปร Refractive K ของ สแตนเลส ชนิด 301 จะมีค่าของ Laser wavelength เท่ากับ 1.064 μm และ ค่าของเหล็ก จะมีค่า เท่ากับ 4.5 ซึ่งคุณสมบัติที่ใช้ในการคำนวณซึ่งสามารถทำการพิจารณาขึ้นกับอุณหภูมิ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดง Thermal และ Mechanical properties ของ สแตนเลส ชนิด 301

3.3.3 การวิเคราะห์ความตึงเครียด

หลังจากทำการยิงเลเซอร์บนพื้นที่ของวัตถุ ดังนั้นจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดความตึงเครียด และสามารถถูกคำนวณเป็นตอบสนองของคุณสมบัติของสแตนเลส-(Stainless steel 301) ที่เกิดจากความร้อนรวมถึงความสัมพันธ์ของ Strain displacement และสมการความสมดุลกำลัง ดังสมการที่ 3.21 และ 3.22

$$\varepsilon_{ij} = 1/2\,(u_{i,j} + u_{j,i}) \tag{3.21}$$

$$\sigma_{ij,j} + f_i = 0 \tag{3.22}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการหลอมหรือการใช้เลเซอร์ในการตัดงานที่ดีจะมีผลของการเกิดความตึง (Strain rate) และ การยืดหยุ่น(elastic)ของส่วนประกอบของการหลอมได้ที่เกิดจากความร้อนดังสมการที่ 3.23

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon^{e}_{ij} + \varepsilon^{p}_{ij} + \varepsilon^{th}_{ij} \qquad (3.23)$$

เมื่อทำการพิจารณาหลักการของ Von เป็นการวิเคราะห์กระบวนการของการหลอมโดยเลเซอร์ที่มีผลต่ออุณหภูมิ ของคุณสมบัติวัตถุ และผลของความเครียด ดังสมการที่3.24

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1-2v}{3E}\sigma_{kk}\varepsilon_{ij} + \frac{\sigma'_{ij}}{2G} + \frac{3\sigma'_{ij}}{2\sigma' H'}\sigma' + \varepsilon'^{th}\sigma_{ij},$$

$$- \frac{1-2v}{3E^{2}}E\sigma_{kk}\varepsilon_{ij} - \frac{1}{2G^{2}}G\sigma'_{ij,} + \frac{3\sigma'_{ij}}{2\sigma'}\frac{\partial F}{\partial T}T \qquad (3.24)$$

เมื่อ σ'_{ij} คือความตึงเครียด Deviatoric tensor

σ' คือค่าคงที่ของ $(3/2)^{1/2}(\sigma'_{ij,})^{1/2}$

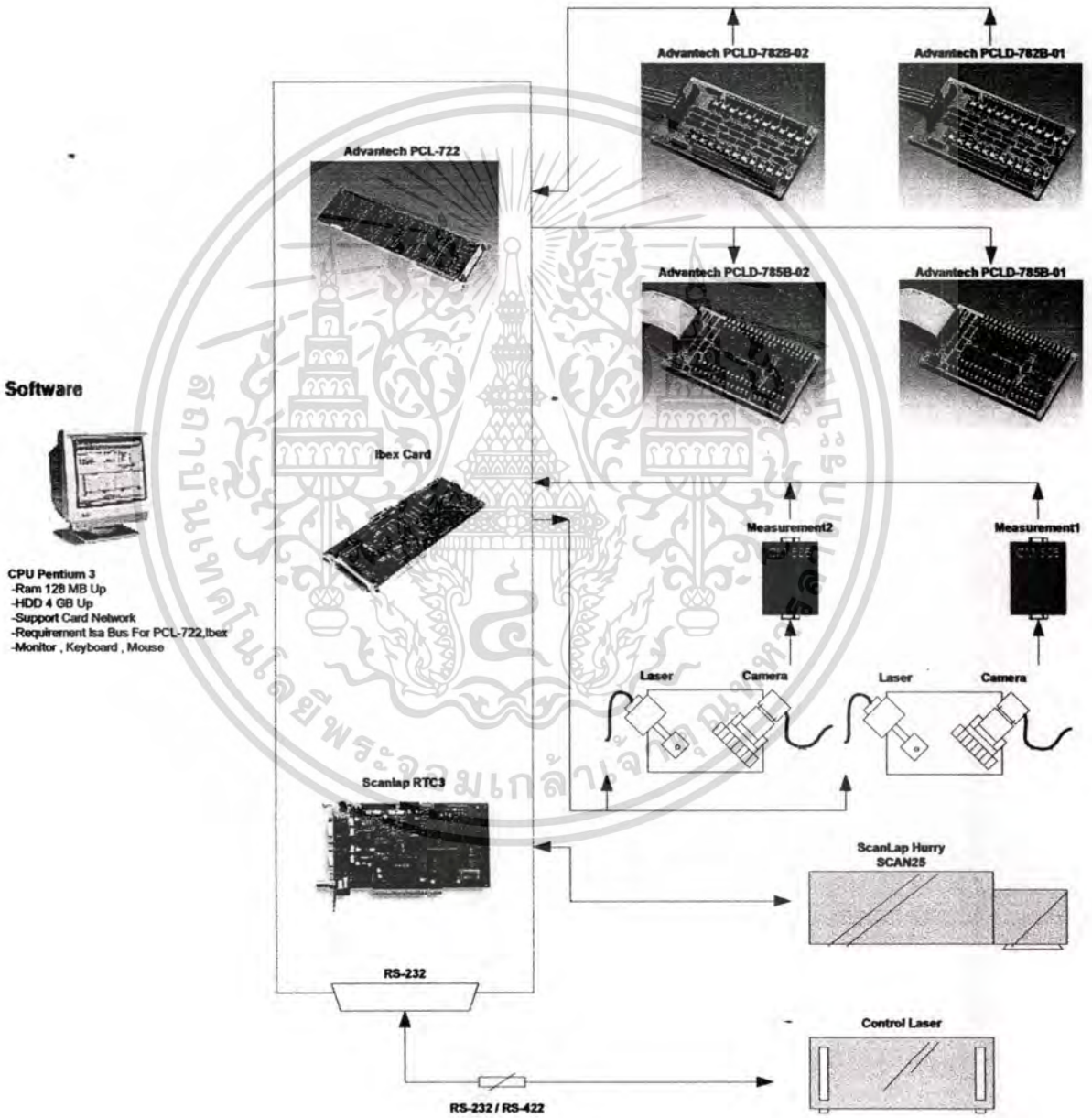
H' คือค่าคงที่ของ $-\partial F/\partial \varepsilon^{p'}$.

สมมติว่าถ้าเหล็กมีกระบวนการ Thermo - elasto –plastic และทำให้มีความกระบวนการหล่อและให้แข็ง ดังนั้นเมื่อทำการตัดหรือหลอมโดยเลเซอร์เมื่อใช้อุณหภูมิสูงในระยะเวลาอันสั้นในกระบวนการที่กำลังการงอเลเซอร์ จะทำให้ อัตราการเกิดความเครียดสูงและความแข็งแรงวัตถุจะน้อยลงไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การควบคุมการทำงานของเลเซอร์ และเครื่องจักรโดย ชุดควบคุมคอมพิวเตอร์

ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรจะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทำงาน คือ ชุดควบคุมสัญญาณอินพุทและเอาท์พุท (Digital I/O card) , ชุดกล้องวัด (Vision system), ชุดควบคุมการทำงานของเลเซอร์ (Scanlab RTC3) ,ชุดรับสัญญาณอินพุท (Opto isolated D/I board), ชุดจ่ายสัญญาณเอาท์พุท (Relay output board) โดยอุปกรณ์ ทั้งหมดสามารถแสดงการควบคุมดังรูป 3.5

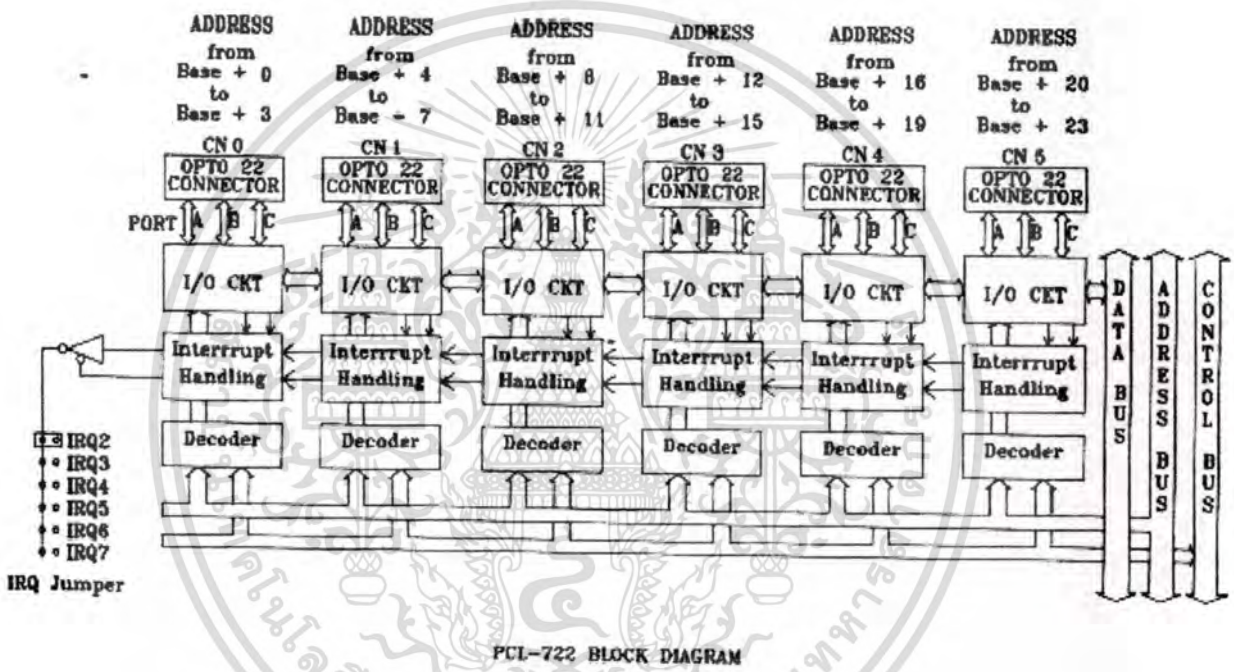


รูปที่ 3.5 แสดงการต่ออุปกรณ์สำหรับการใช้ควบคุมเครื่องจักร และชุดเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 ชุดควบคุมสัญญาณอินพุทและเอาท์พุท (Digital I/O card)

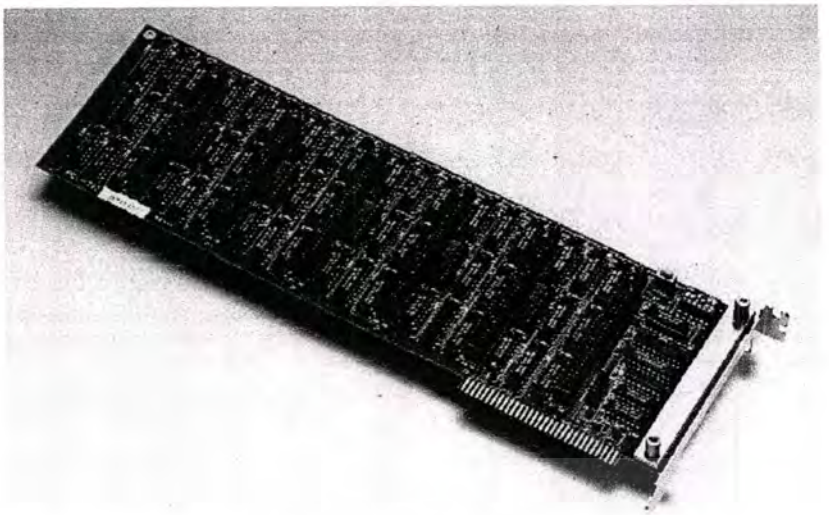
อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับควบคุมสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทจะเป็นอุปกรณ์บอรด์สำเร็จรูปซึ่งสามารถทำการติดตั้งบนชุดเมนบอรด์ของคอมพิวเตอร์ได้ทันที โดยในการออกแบบเครื่องจักรได้ทำการใช้ อุปกรณ์รุ่น PCL-722 ของ บริษัทAvantech โดยสามารถทำการควบคุมสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทได้ สูงสุด 144 bit และเป็นการควบคุมแบบ Parallel digital I/Oโดยใช้การควบคุมแบบ Mode 0 ของ IC-8255 และในการใช้งานส่วนนี้จะทำการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ควบคุมทำงาน



PCL-722 BLOCK DIAGRAM

รูปที่ 3.6 Block Diagram การทำงานของ ชุดควบคุมสัญญาณอินพุทและเอาท์พุท (Digital I/O card)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- **รูปที่ 3.7** ชุดควบคุมสัญญาณอินพุทและเอาท์พุท (Digital I/O card) PCL-722

3.4.2 ชุดกล้องวัด (Vision system)

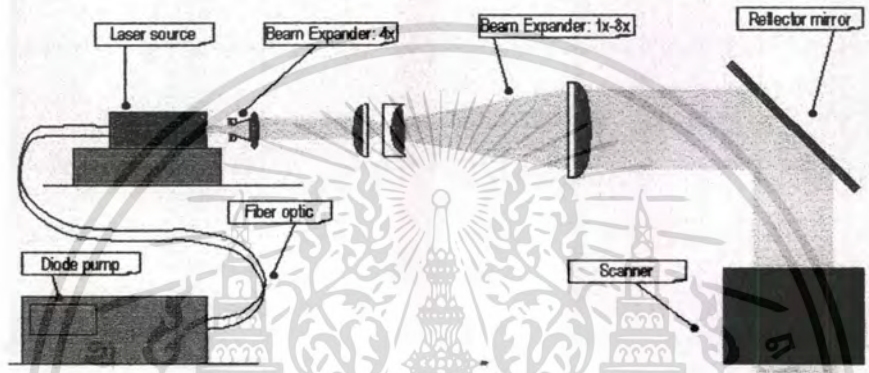
อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดค่าของแขนจับหัวอ่านและทำการตรวจสอบว่าค่าเท่าไร โดยประกอบด้วยชุดกล้อง และ อุปกรณ์ชุดวัด(Vision system) จะเป็นอุปกรณ์บอร์ดสำเร็จรูปซึ่งสามารถทำการติดตั้งบนชุดเมนบอร์ดของคอมพิวเตอร์ได้ทันที โดยในการออกแบบสำหรับเครื่องจักรได้ทำการใช้ อุปกรณ์รุ่น DT-3155 Vision board control ของ บริษัท Intergal Vision และในการใช้งานส่วนนี้จะทำการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ควบคุมทำงานเพื่อให้สามารถอ่านค่าที่ต้องการวัดได้

รูปที่ 3.8 แสดงการติดตั้งชุดกล้องวัด (Vision system) ที่ใช้ในการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 ชุดควบคุมการทำงานของเลเซอร์ (Scanlab RTC3)

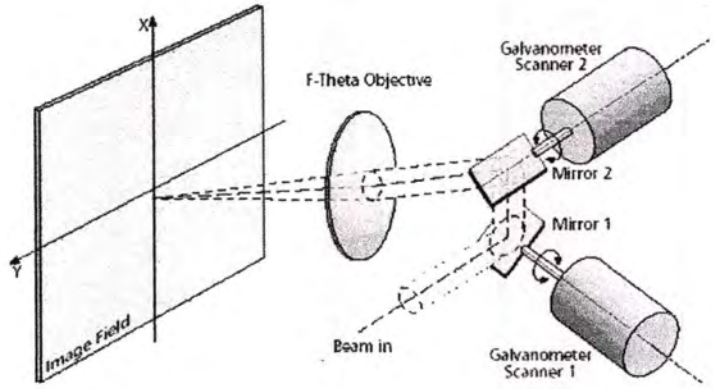
อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของเลเซอร์(Scanlab RTC3) จะเป็นอุปกรณ์บอรด์สำเร็จรูปซึ่งสามารถทำการติดตั้งบนชุดเมนบอรด์ของคอมพิวเตอร์ได้ทันที โดยในการออกแบบสำหรับเครื่องจักรได้ทำการใช้ อุปกรณ์รุ่น RTC3 Pc interface board ของ บริษัท Scanlab โดยสามารถทำการควบคุมสัญญาณที่ใช้สำหรับเคลื่อนที่ของ ชุดหัวยิงเลเซอร์ (Scanhead laser) และชุดจ่ายพลังงานของเลเซอร์ (Laser power supply)ในการใช้งานส่วนนี้จะทำการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ควบคุมทำงาน



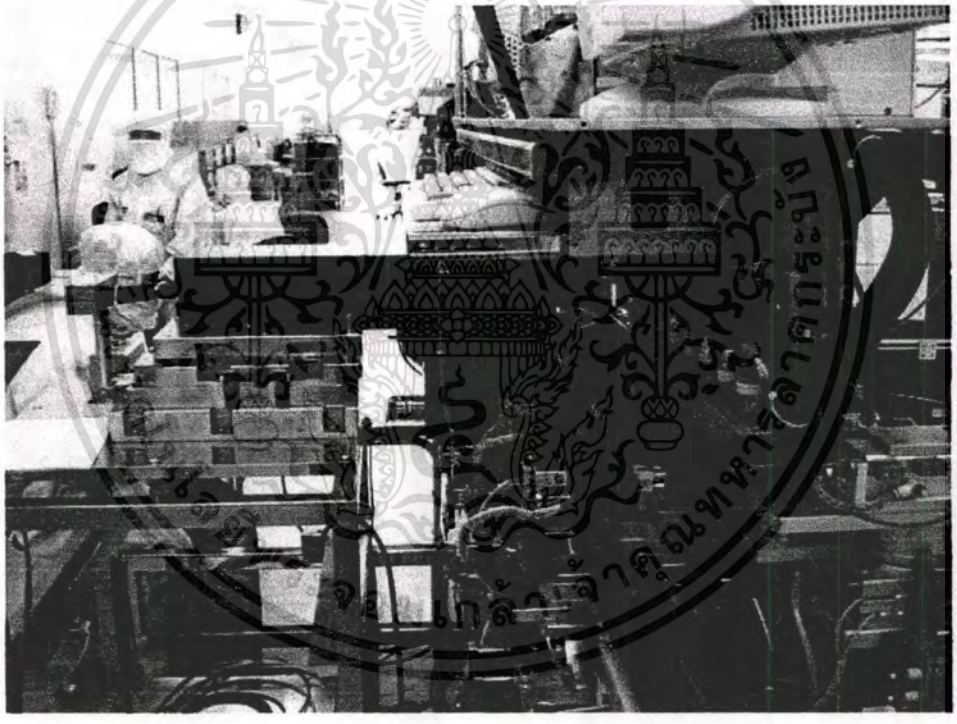
รูปที่ 3.9 แสดงการทำงานของชุดจ่ายพลังงานเลเซอร์ (Laser power supply)

รูปที่ 3.10 ชุดจ่ายพลังงานเลเซอร์ (Laser power supply)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดงการทำงานของชุดหัวยิงเลเซอร์ (Scanhead laser)

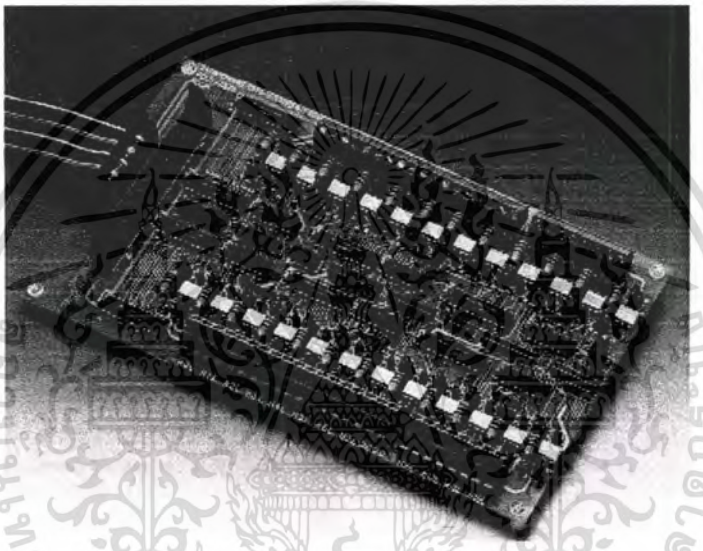


รูปที่ 3.12 ชุดหัวยิงเลเซอร์ (Scanhead laser) ที่ทำการติดตั้งเพื่อใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

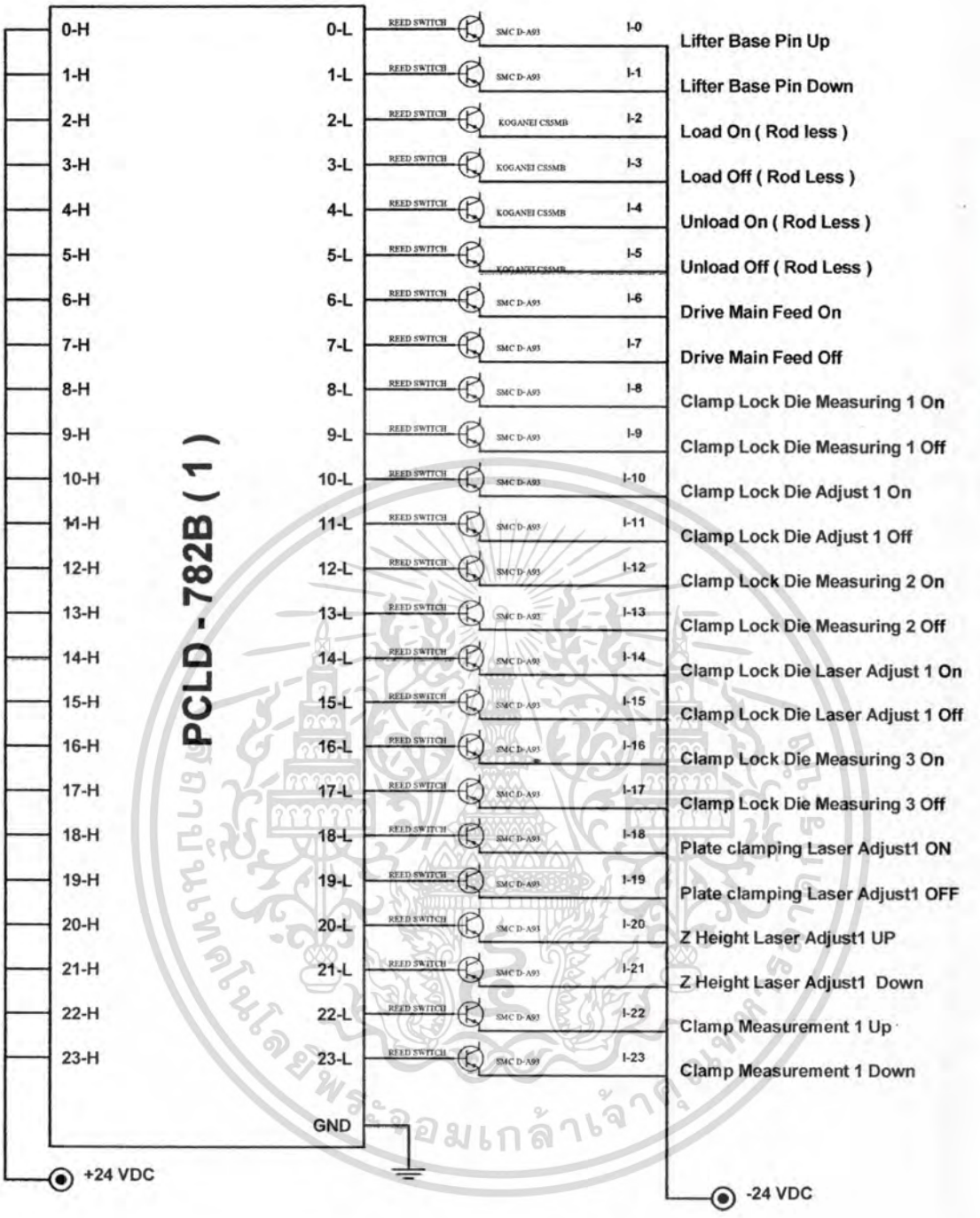
3.4.4 ชุดรับสัญญาณอินพุท (Opto isolated D/I board)

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับรับสัญาณอินพุทจากอุปกรณ์ภายนอก เช่น สัญญาณจาก เซนเซอร์ Limit switch และ สัญญาณ Switch status เป็นต้น และอุปกรณ์ชุดนี้จะการออกแบบโดยใช้ Opto isolation สำหรับการตรวจจับสัญญาณ และส่งไปยังชุด ชุดควบคุมสัญญาณอินพุทและเอาท์พุท (Digital I/O card) เพื่อทำการประมวลผลต่อไป โดยชุดรับสัญญาณอินพุท จะทำการเดินสายสัญญาณด้วย โดยในการออกแบบสำหรับเครื่องจักรได้ทำการใช้ อุปกรณ์รุ่น PCLD-782B ของบริษัท Avantech โดยแสดงรูปร่างของอุปกรณ์ดังรูปที่3.13 และ ทำการกำหนดตำแหน่งการใช้งานแต่ละอินพุทดังรูป ที่3.14 และ 3.15



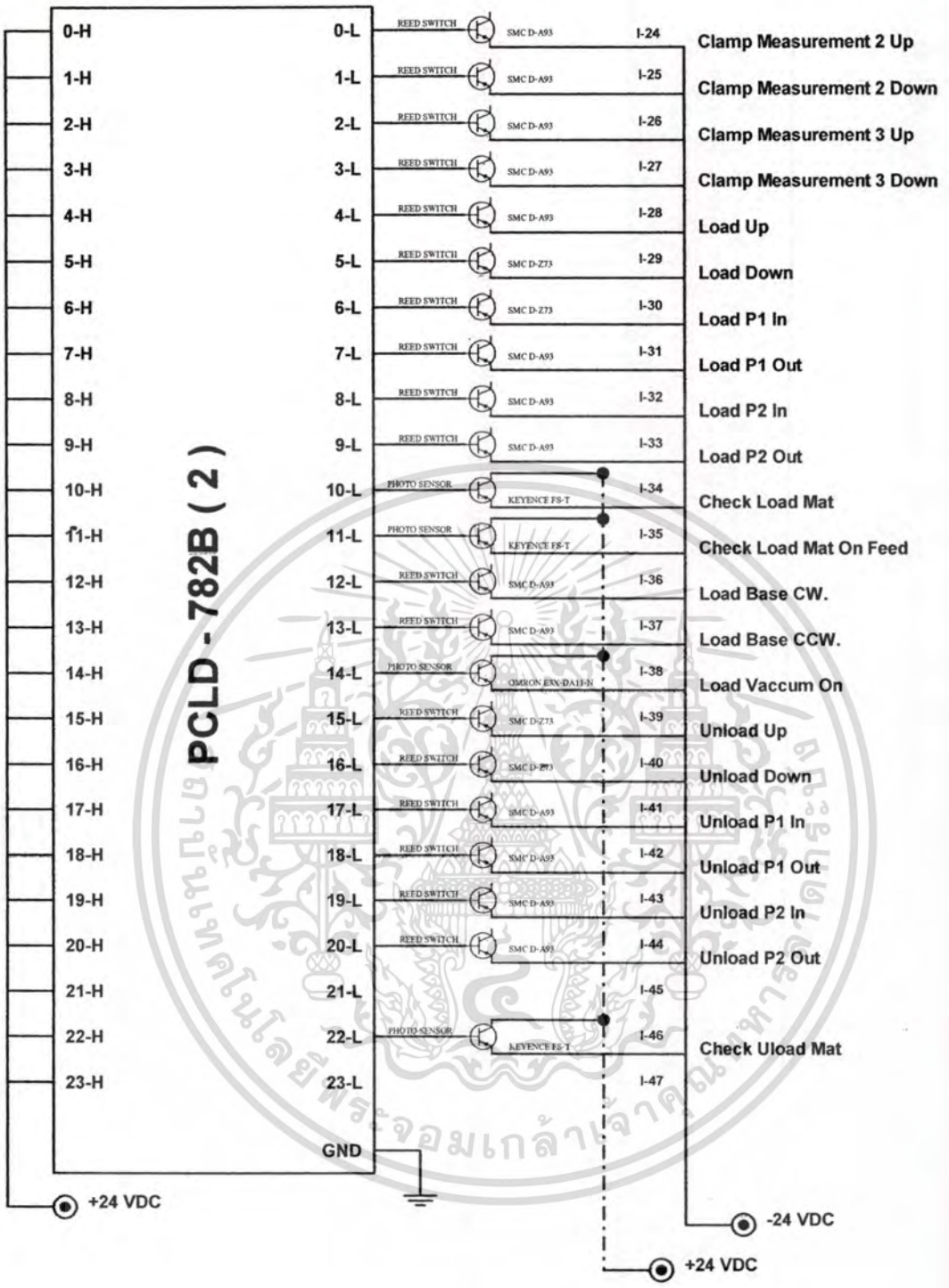
รูปที่ 3.13 ชุดรับสัญญาณอินพุท PCLD-782B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงการกำหนดตำแหน่งบนชุดรับสัญญาณอินพุท (PCLD-782B) ในชุดที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

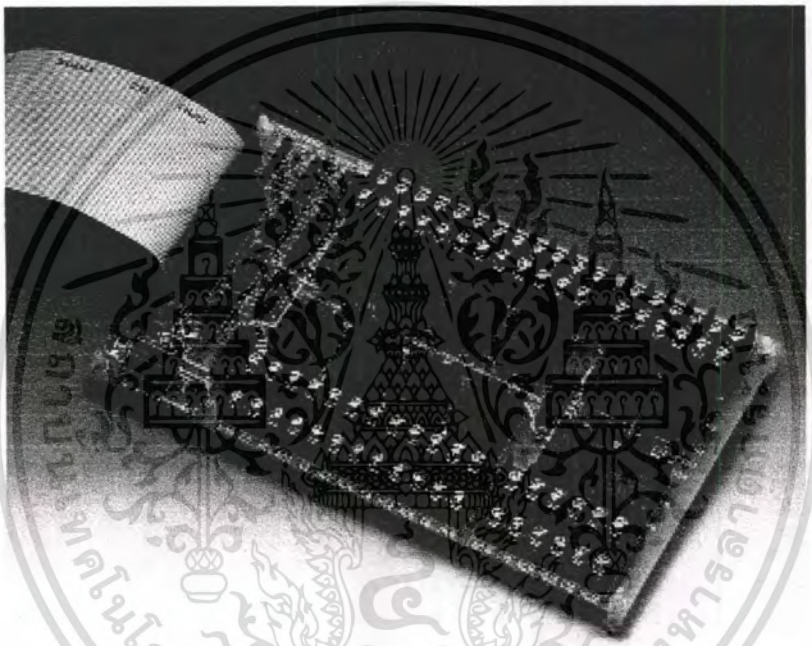


รูปที่ 3.15 แสดงการกำหนดตำแหน่งบนชุดรับสัญญาณอินพุท (PCLD-782B) ในชุดที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

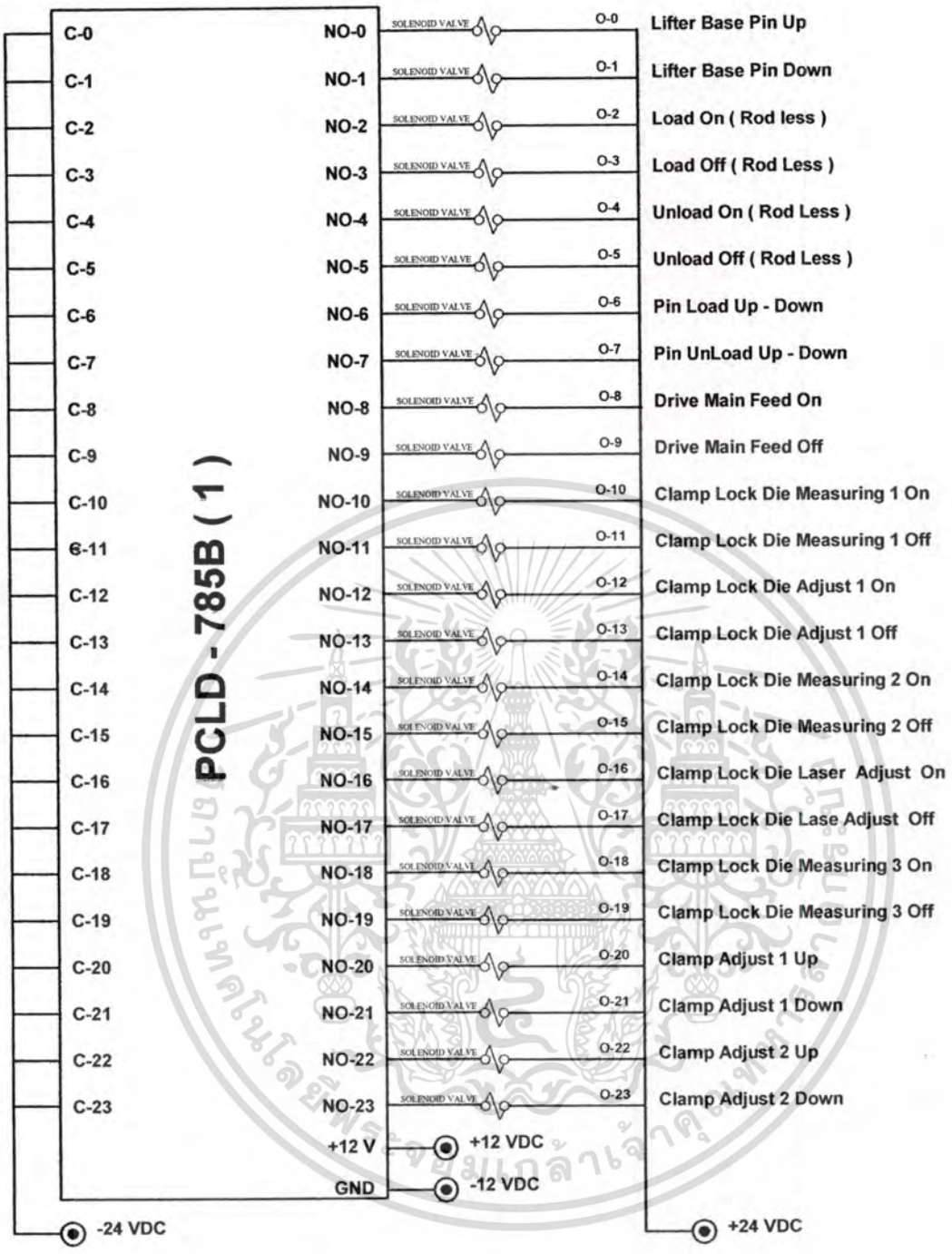
3.4.5 ชุดจ่ายสัญญาณเอาท์พุท (Relay output board)

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับส่งสัญาณเอาท์พุทจากชุดควบคุมสัญญาณอินพุทและเอาท์พุท (Digital I/O card) ไปยังอุปกรณ์ภายนอกโดยใช้ Relay Output (Eletro-mechanical relays)แบบ SPDT และทำการต่อสัญญาณแรงดันไฟฟ้า เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร เช่น ส่งสัญญาณไปควบคุมให้กระบอกสูบเคลื่อนที่ออกและเข้า หรือส่งสัญญาณควบคุมการสั่งให้ชุดเลเซอร์เริ่มทำงาน เป็นต้น โดยในการออกแบบสำหรับเครื่องจักรได้ทำการใช้ อุปกรณ์รุ่น PCLD-785B ของ บริษัท Avantech โดยแสดงรูปร่างของอุปกรณ์ดังรูปที่3.16และ ทำการกำหนดตำแหน่งการใช้งานแต่ละอินพุทดังรูป ที่3.17และ 3.18



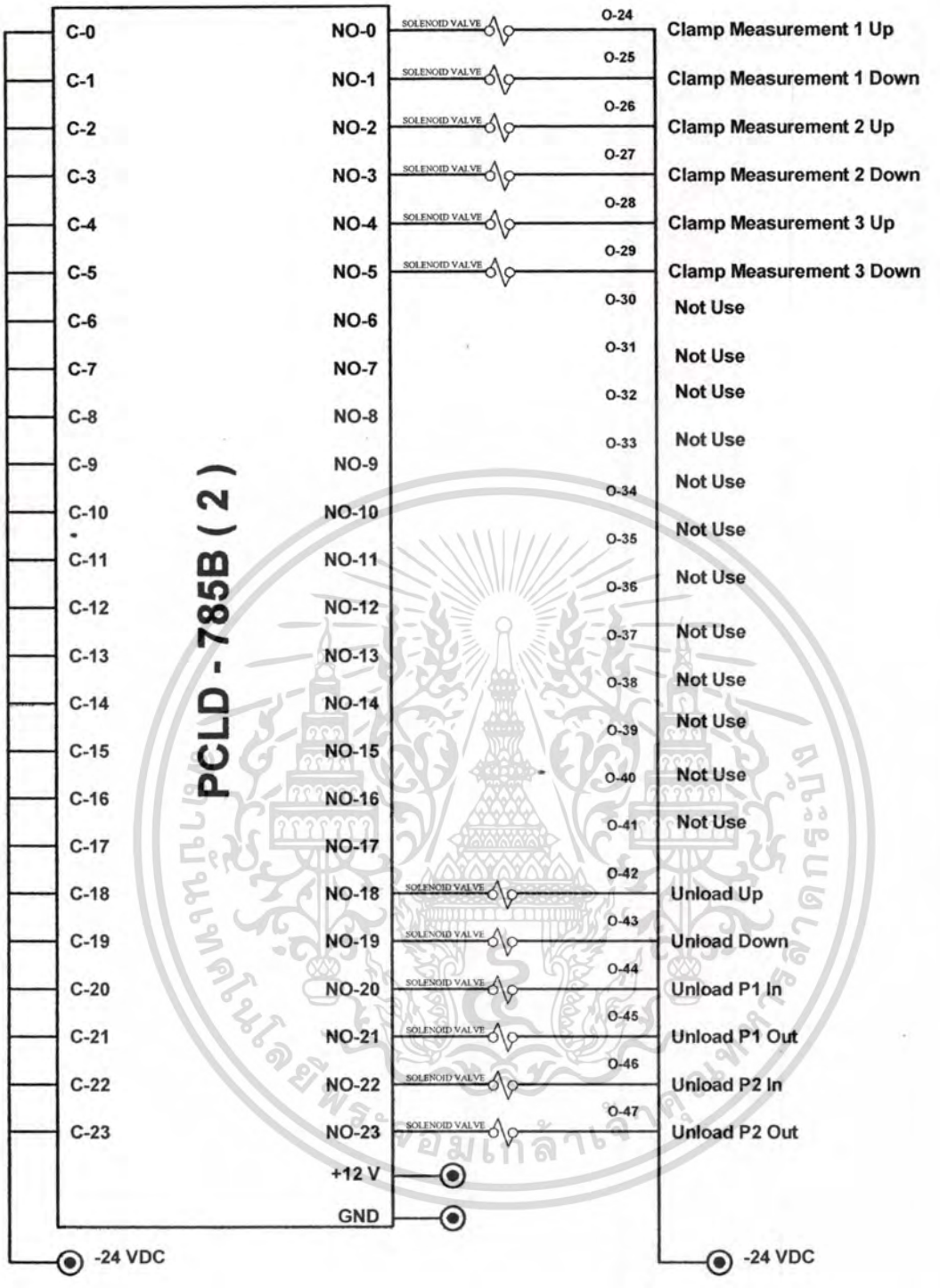
รูปที่ 3.16 ชุดจ่ายสัญญาณเอาท์พุท PCLD-785B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 แสดงการกำหนดตำแหน่งบนชุดจ่ายสัญญาณเอาท์พุท (PCLD-785B) ในชุดที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

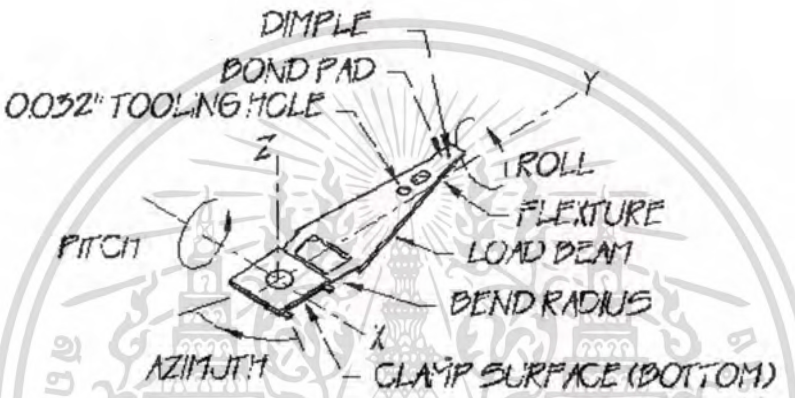


รูปที่ 3.18 แสดงการกำหนดตำแหน่งบนชุดจ่ายสัญญาณเอาท์พุท (PCLD-785B) ในชุดที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การวัดค่าของ Pitch Static Attitude และ Roll Static Attitude

ในการวัดระยะค่าความสูงหรือระยะลอยตัวของแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ได้มีการกำหนดชื่อบนตัวแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ในการเรียกส่วนต่างๆ เพื่อง่ายในการใช้งานดังแสดงดังในรูปที่ 3.19 โดยจะพิจารณาค่าที่มีผลกระทบในการใช้งานหรือค่าของมุม ที่กำหนด 2 ค่า คือ Pitch Static Attitude (PSA) หรือเรียกว่าค่า Pitch และ Roll Static Attitude (RSA) หรือเรียกว่าค่า Roll และค่าที่ได้จากการวัดบนแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ จะมีการแสดงค่าเป็นองศา โดยกำหนดนิยามสำหรับค่าทั้งสองดังนี้

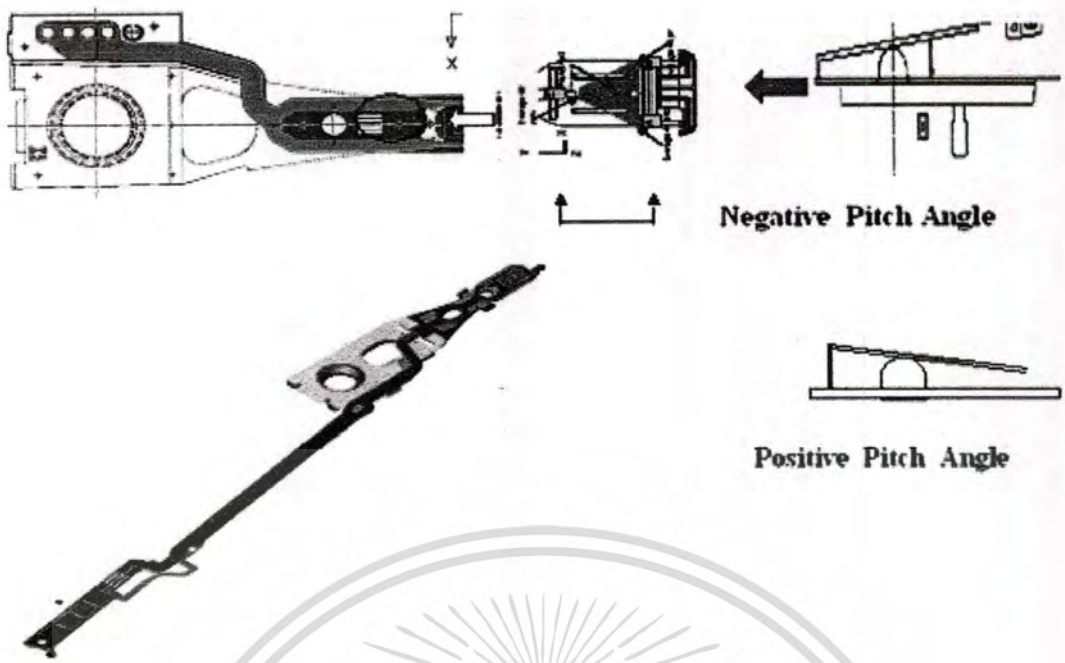


รูปที่ 3.19 แสดงการกำหนดชื่อเรียกตำแหน่งต่างๆ บนแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์

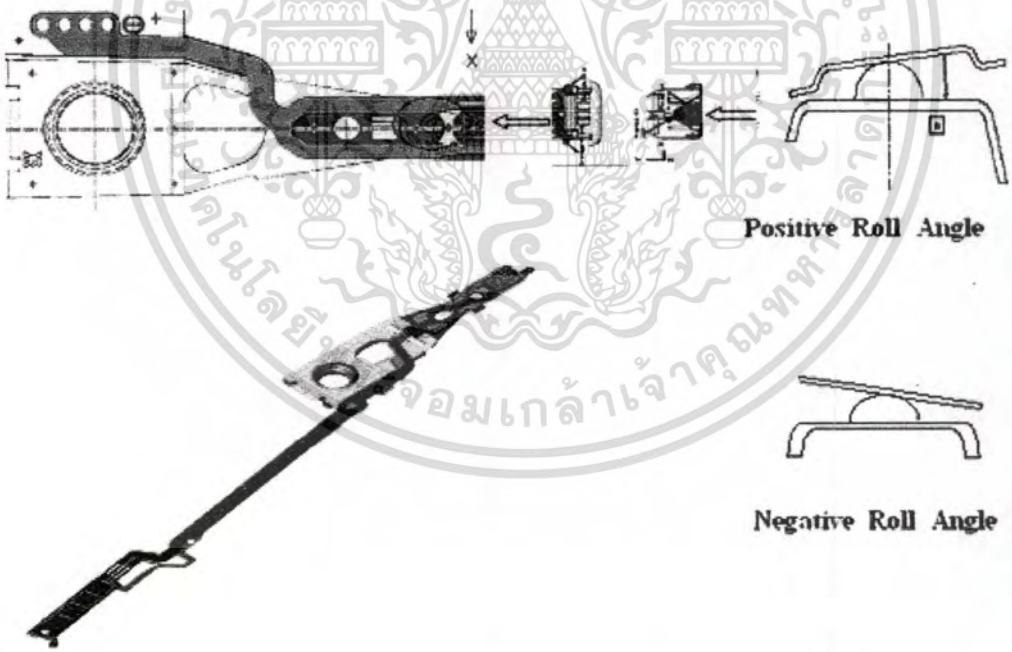
Pitch Static Attitude เป็นค่าบอกระยะการคว่ำหน้า หรือหงายหน้าขึ้นของแขนจับหัวอ่าน โดยถ้ามีการอ่านค่าเป็นลบ (Negative) แสดงว่าแขนจับหัวอ่านมีการคว่ำหน้า และถ้ามีการอ่านค่าเป็นค่าบวก (Positive) แสดงว่าแขนจับหัวอ่านมีการหงายหน้าขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.20

Roll Static Attitude เป็นค่าบอกระยะการเอียงซ้าย หรือเอียงขวา แขนจับหัวอ่าน โดยถ้ามีการอ่านค่าเป็นลบ (Negative) แสดงว่าแขนจับหัวอ่านมีการเอียงไปด้านขวา และถ้ามีการอ่านค่าเป็นค่าบวก (Positive) แสดงว่าแขนจับหัวอ่านมีการเอียงไปด้านขวา ดังแสดงในรูปที่ 3.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 แสดงการอ่านค่าของ Pitch Static Attitude หรือค่า Pitch



รูปที่ 3.21 แสดงการอ่านค่าของ Roll Static Attitude หรือค่า Roll

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4

การคำนวณและการประยุกต์ใช้

4.1 บทนำ

จุดมุ่งหมายของการวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการควบคุมที่ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบวิธีการ 2 แบบ คือ 1.วิธีการสมการเส้นตรง (Straight Line) และ 2.วิธีการสมการกำลังสอง (Quadratic) โดยในการใช้งานได้ใช้วิธีการสมการกำลังสอง (Quadratic) ที่นำมาใช้ในการคำนวณค่าของจำนวนเส้นที่ยิง โดยวิธีการประมวลผลด้วยแสงเลเซอร์ ที่มีความเหมาะสมกับค่า Pitch และ Roll ที่ต้องการ และเป็นการควบคุมโดยนำเอาค่าเฉลี่ย และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน มากำหนดการเปลี่ยนสมการการถดถอย โดยอัตโนมัติ แต่หลักการควบคุมเดิมที่ใช้ในการทำงานจะเป็นการแบ่งค่าของกลุ่มงานออกเป็นแต่ละกลุ่มโดยจะแบ่งเป็น 4 กลุ่มและแต่ละกลุ่มจะมีค่าของสมการที่ใช้เป็นสมการเส้นตรง (Straight Line) แตกต่างกันซึ่งทำให้มีขอบเขตของงานที่จะใช้ในสมการมีค่าที่จำกัด และเมื่อลักษณะของงานมีความหลากหลายหรือค่าการกระจายของข้อมูลค่อนข้างกว้างจะทำให้ไม่สามารถใช้งานได้เพราะถูกจำกัดโดยค่าของกลุ่มงานแต่ละกลุ่ม ดังนั้นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ได้การควบคุมที่ดี ที่สุดจำเป็นต้องทำการควบคุมลักษณะของงานที่ใช้งานให้เป็นกลุ่มเท่านั้น จึงจะได้ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตามต้องการ

4.2 การประยุกต์หลักการที่นำเสนอโดยใช้การวิเคราะห์ แบบสมการกำลังสอง (Quadratic Regression)

เทคนิคใหม่นี้เป็นการออกแบบการควบคุมโดยสมการวิเคราะห์การถดถอย และใช้ทำการเขียนโปรแกรมการควบคุมโดย ใช้ โปรแกรมวิชวลเบสิก (Visual Basic) ทำการควบคุมการทำงานของการประมวลผลด้วยเลเซอร์ และ สมการวิเคราะห์การถดถอย สำหรับใช้ในการคำนวณ โดยสามารถสรุปขั้นตอนในการทำงานดังนี้

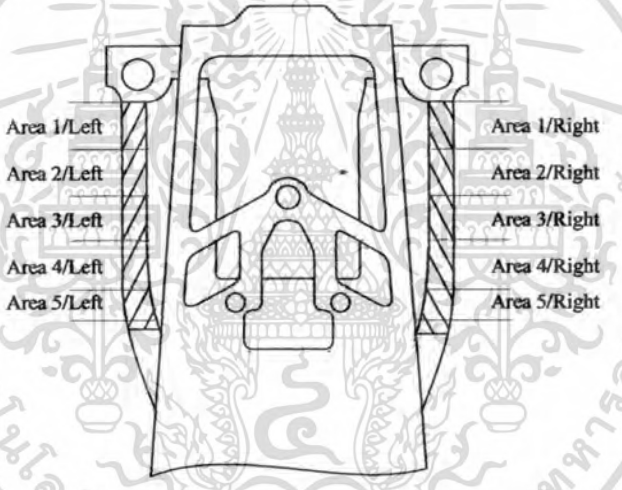
1. ทำการกำหนดค่าของสมการวิเคราะห์การถดถอย ของ Pitch และ Roll , ค่าที่ต้องการของค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของ ค่า Pitch และ Roll
2. ทำการวัดค่าของ Pitch และ Roll พร้อมทำการบันทึกค่า
3. ทำการรับค่าRoll ที่ได้จากวัดค่า มาทำการคำนวณในสมการวิเคราะห์การถดถอย และเมื่อได้ค่าแล้วก็ทำการยิงเลเซอร์ ตามจำนวนเส้นที่คำนวณได้
4. ทำการวัดค่าของ Pitch และ Roll พร้อมทำการบันทึกค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทำการรับค่าPitch ที่ได้จากวัดค่ามาทำการคำนวณในสมการวิเคราะห์การถดถอย และเมื่อได้ ค่าแล้วก็ทำการยิงเลเซอร์ ตามจำนวนเส้นที่คำนวณได้
6. ทำการคำนวณค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ว่าอยู่ในเงื่อนไขที่ต้องการหรือไม่ ถ้าเป็นกรณีอยู่ในเงื่อนไขที่กำหนดก็จะทำการใช้สมการเดิม แต่ถ้าไม่เป็นตามเงื่อนไขที่กำหนดก็จะทำการคำนวณสมการใหม่เพื่อปรับค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จนได้ตามเงื่อนไข

4.3 ขั้นตอนการดำเนินการ

4.3.1 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตำแหน่งบนตัวงานเมื่อได้ทำการยิงด้วยเลเซอร์บนตัวงานในแต่ละด้านแล้วค่า Pitch และ Roll มีค่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร โดยทำการแบ่งพื้นที่สำหรับทำการสุ่มยิงงานออกเป็น 5 ส่วน และทำการยิงด้วยเลเซอร์บนตัวงาน ทั้งด้านซ้ายและด้านขวาดังรูปที่ 4.1 -



รูปที่ 4.1 แสดงการแบ่งพื้นที่ตำแหน่งของจุดยิง

หลังจากทำการแบ่งพื้นที่สำหรับทำการสุ่มยิงงานในรูปด้านบนเสร็จก็ทำการทดลองยิงเลเซอร์ และได้ผลค่าของ Pitch และ Roll ดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงการกำหนดจุดยิงตามการแบ่งพื้นที่บนตัวงาน

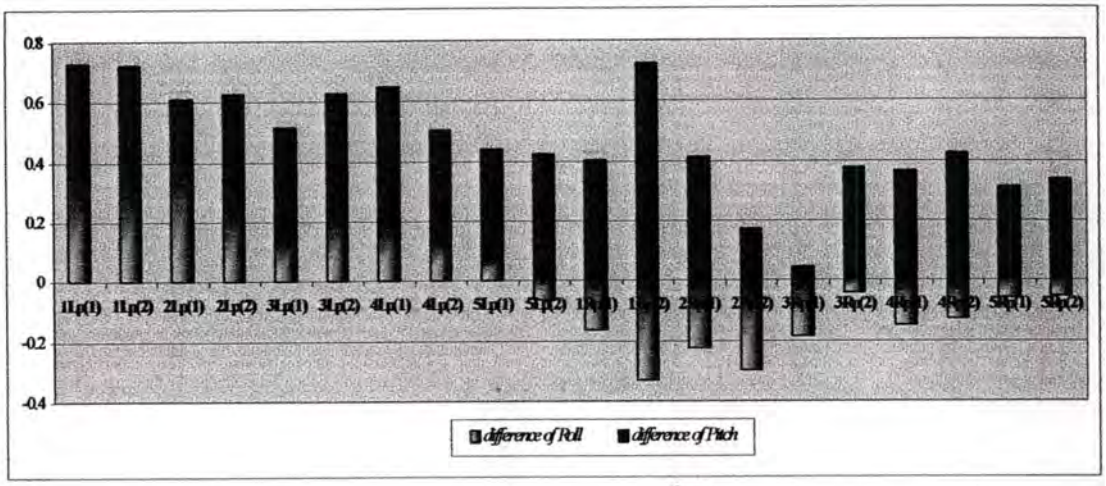
Area no.	Left Side		Right Side	
	Position Start	Position End	Position1 Start	Position End
1.Area 1	-1.178,0.70	-0.980,0.70	1.178,0.70	0.980,0.70
2.Area 2	-1.178,0.55	-0.980,0.55	1.178,0.55	0.980,0.55
3.Area 3	-1.178,0.40	-0.980,0.40	1.178,0.40	0.980,0.40
4.Area 4	-1.178,0.25	-0.980,0.25	1.178,0.25	0.980,0.25
5.Area 5	-1.178,0.1	-0.980,0.1	1.178,0.1	0.980,0.1

เมื่อทำการกำหนดจุดยิงตามตารางที่ 4.1 ข้างบน.เสร็จแล้วก็ทำการยิงตามตำแหน่งจุดที่ได้กำหนดไว้ ตามตาราง พร้อมทั้งทำการบันทึกที่ได้จากการยิงในบริเวณตำแหน่งต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูล ในการกำหนดจุดที่จะทำการยิงแล้วที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของ Pitch และ Roll

ตารางที่4.2 แสดงค่าจากการยิงบนตัวงานตามการแบ่งพื้นที่ด้านซ้ายและด้านขวาเพื่อ หาค่า Roll

Area for adjusted	Adjusted on Left side				Adjusted on Right side			
	Before adjusted		After adjusted		Before adjusted		After adjusted	
	Pitch	Roll	Pitch	Roll	Pitch	Roll	Pitch	Roll
Area1/1	-0.032	0.760	-0.420	0.415	0.128	1.026	-0.274	1.192
Area1/2	-0.032	0.436	-0.423	0.103	0.461	1.002	-0.265	1.332
Area2/1	0.064	-0.314	-0.146	-0.718	-0.282	0.715	-0.695	0.938
Area2/2	0.113	-0.287	-0.260	-0.542	3.171	-1.444	2.999	-1.145
Area3/1	0.236	0.892	-0.046	0.749	1.110	-1.484	1.064	-1.297
Area3/2	-0.363	0.639	-0.771	0.417	0.175	0.932	-0.203	0.973
Area4/1	-0.748	0.678	-1.210	0.489	-0.264	0.457	-0.631	0.604
Area4/2	-0.423	0.642	-0.787	0.500	-0.550	0.476	-0.973	0.603
Area5/1	0.142	0.681	-0.231	0.611	-0.519	0.298	-0.834	0.357
Area5/2	-0.565	0.685	-0.991	0.748	-0.634	0.494	-0.975	0.545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

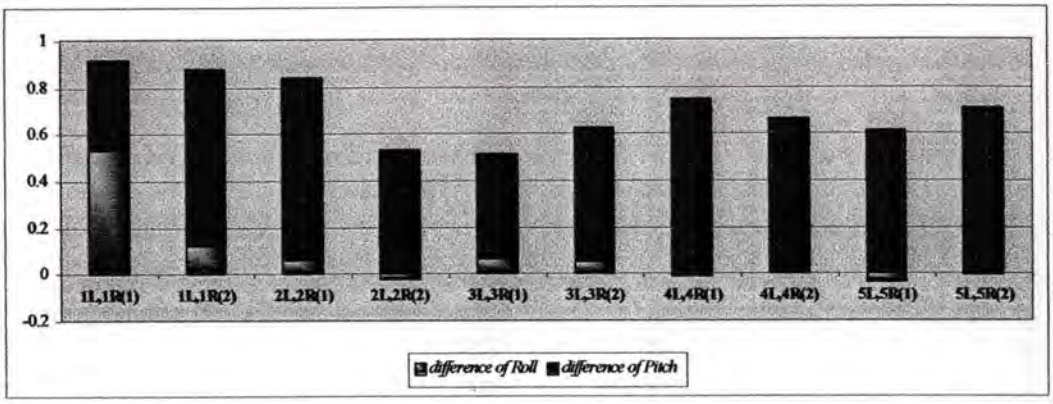


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลจากการยิงบนตัวงานตามการแบ่งพื้นที่ด้านซ้ายและด้านขวาเพื่อ หาค่า Roll

ตารางที่ 4.3 แสดงผลของข้อมูลจากยิงบนตัวงานพร้อมกันทั้ง สองด้านตามการแบ่งพื้นที่ด้านซ้ายและ ด้านขวา (สำหรับหาค่า Pitch)

Area for adjusted	Adjusted on Left and Right side			
	Before adjusted		After adjusted	
	Pitch	Roll	Pitch	Roll
Area1/1	1.619	1.307	1.233	0.776
Area1/2	0.709	-0.077	-0.048	-0.199
Area2/1	0.298	0.491	-0.482	0.430
Area2/2	0.268	0.396	-0.264	0.422
Area3/1	0.036	0.780	-0.411	0.686
Area3/2	0.613	0.318	0.036	0.297
Area4/1	1.169	0.278	0.723	0.286
Area4/2	0.973	0.228	0.316	0.225
Area5/1	2.077	1.106	1.464	1.144
Area5/2	1.232	0.408	0.525	0.415

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลจากการยิงบนตัวงานตามการแบ่งพื้นที่ด้านซ้ายและด้านขวาเพื่อ หาค่า Pitch

และทำการพิจารณาจากรูปกราฟที่4.2 ซึ่งแสดงการหาค่า Roll มาทำการวิเคราะห์ตามเงื่อนไขดังนี้

1. ตำแหน่งที่ยิงแล้วค่า Pitch เปลี่ยนน้อย Roll เปลี่ยนมาก

2 ตำแหน่งไหนยิงแล้วค่า Pitch เปลี่ยนมาก Roll เปลี่ยนมาก

แล้วทำการพิจารณาของข้อมูลในตารางที่ 4.2 ประกอบด้วยทั้งหมด ซึ่งเมื่อ มาทำการตรวจสอบค่าของความ แตกต่างก่อนยิงและหลังยิงบนตัวงาน จะสังเกตว่าเกือบทุกพื้นที่เมื่อมีการยิงบนตัวงานแล้วจะไม่ตรงกับเงื่อนไขกรณีที่ 1 เลยและเมื่อทำการพิจารณา ต่อไปก็จะพบเงื่อนไขกรณีที่ 2 ในบริเวณ พื้นที่ 1 และ พื้นที่ 2 ที่มีผลดีที่สุดสำหรับการยิงปรับค่าระยะการเอียง (Adjusted Roll)

ต่อจากนั้นก็ทำการพิจารณาจากรูปกราฟที่4.3 ซึ่งแสดงการหาค่า Pitch มาทำการวิเคราะห์ตามเงื่อนไขดังนี้

1. ตำแหน่งไหนยิงแล้วค่า Pitch เปลี่ยนน้อย Roll เปลี่ยนน้อย

2. ตำแหน่งไหนยิงแล้วค่า Pitch เปลี่ยนมาก Roll เปลี่ยนน้อย

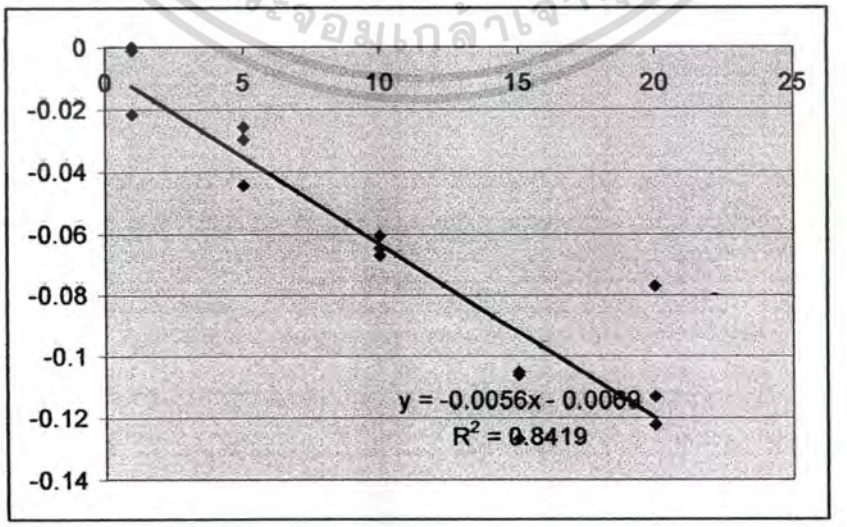
แล้วทำการพิจารณาของข้อมูลในตารางที่ 4.3ประกอบด้วยทั้งหมด เช่นเดียวกับการตรวจสอบเช่นเดียว กับการหาของ Roll ซึ่งเมื่อ มาทำการตรวจสอบค่าของความ แตกต่างก่อนยิงและหลังยิงบนตัวงาน จะสังเกตว่าเกือบทุกพื้นที่ เมื่อมีการยิงบนตัวงานแล้วจะไม่ตรงกับเงื่อนไขกรณีที่ 1 เลยและเมื่อทำการพิจารณา ต่อไปก็จะพบเงื่อนไขกรณีที่ 2 ในบริเวณพื้นที่3, พื้นที่ 4 และ พื้นที่5 ที่มีผลดีที่สุดสำหรับการ ปรับค่า Pitch และ ไม่มี ผลกระทบกับค่าของ Roll

4.3.2. ศึกษาการคำนวณโดยใช้สมการวิเคราะห์การถดถอย สำหรับการใช้งานในการกำหนดสมการ ด้าน Roll โดยทำการสุ่มการยิง Laser เป็น จำนวน 1,5,10,15 และ 20 เส้น พร้อมบันทึกค่าเปลี่ยนแปลง ลงตารางที่ 4.4 และทำการหาสมการวิเคราะห์การถดถอยด้าน Roll โดยใช้โปรแกรม Excel หรือ โปรแกรม JMP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

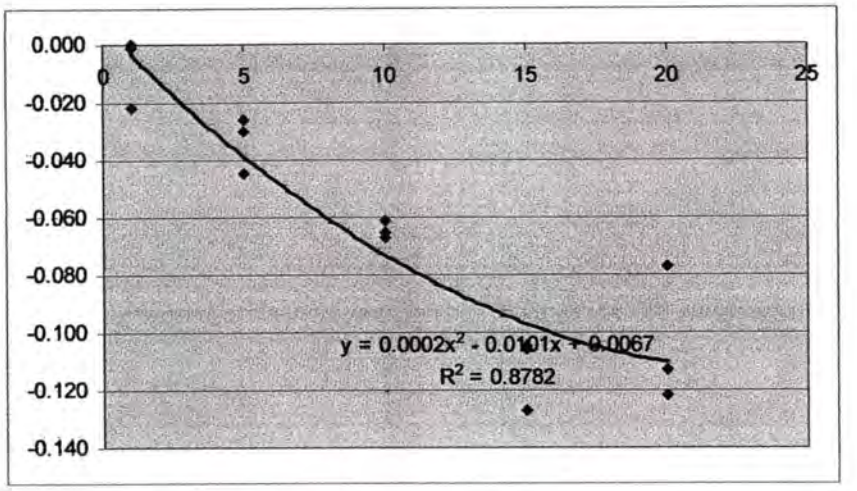
ตารางที่ 4.4 แสดงผลของข้อมูลจากการยิงบนตัวงานเพื่อใช้ทำสมการวิเคราะห์การถดถอย ด้านRoll

No. of Line	Before Adjusted		After Adjusted		Difference Value	
	Pitch	Roll	Pitch	Roll	Pitch	Roll
1	-0.057	0.465	-0.117	0.465	0.060	0.000
1	0.027	0.476	0.001	0.498	0.026	-0.022
1	-0.044	0.485	-0.123	0.486	0.079	-0.001
5	0.082	0.482	0.002	0.512	0.080	-0.030
5	0.139	0.481	0.092	0.507	0.047	-0.026
5	0.329	0.436	0.272	0.481	0.057	-0.045
10	0.243	0.477	0.098	0.544	0.145	-0.067
10	-0.333	0.448	-0.479	0.513	0.146	-0.065
10	0.022	0.74	-0.052	0.801	0.074	-0.061
15	0.101	0.502	-0.056	0.629	0.157	-0.127
15	0.17	0.752	0.061	0.858	0.109	-0.106
15	0.222	0.477	0.098	0.582	0.124	-0.105
20	0.216	0.836	0.155	0.949	0.061	-0.113
20	0.019	0.485	-0.104	0.562	0.123	-0.077
20	0.137	0.503	0.024	0.625	0.113	-0.122



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าของ สมการเส้นตรง ของ Roll (จากข้อมูลจากตารางที่4.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าของ สมการกำลังสอง ของ Roll (จากข้อมูลจากตารางที่4.4)

จากรูปกราฟที่4.4 แสดงค่าของความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเส้นของเลเซอร์และค่าของ Roll ที่เปลี่ยนแปลง ในการหาค่าของสมการเส้นตรงจะได้ว่า

$$\Delta Roll = -0.0056n_r - 0.0069 \qquad (\text{และ มีค่า } R^2 = 0.8419)$$

และเมื่อทำการพิจารณาค่าของความสัมพันธ์เช่นเดียวกับสมการเส้นตรง แต่ในรูปของสมการกำลังสอง จากรูปกราฟที่4.5 จะได้ว่า

$$\Delta Roll = 0.0002n_r^2 - 0.0101n_r + 0.0067 \quad (\text{และ มีค่า } R^2 = 0.8782)$$

4.3.3 ศึกษาการคำนวณโดยใช้สมการวิเคราะห์การถดถอย สำหรับการใช้งานในการกำหนดสมการ ด้าน Pitch โดยทำการสุ่มการยิง Laser เป็น จำนวน 1,5,10,15 และ 20 เส้น พร้อมบันทึกค่าเปลี่ยนแปลง ลงในตารางที่ 4.5 และทำการหาสมการวิเคราะห์การถดถอยด้าน Pitch โดยใช้โปรแกรม Excel หรือ โปรแกรม JMP

ตารางที่4.5 แสดงผลของข้อมูลจากการยิงบนตัวงานเพื่อใช้ทำสมการวิเคราะห์การถดถอยด้าน Pitch

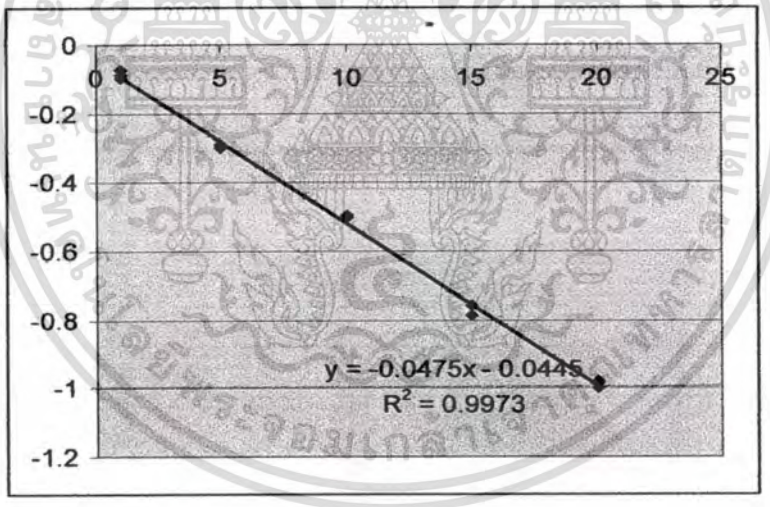
No. of Line	Before Adjusted		After Adjusted		Difference Value	
	Pitch	Roll	Pitch	Roll	Pitch	Roll
1	-1.729	0.481	-1.653	0.491	-0.076	-0.010
1	-1.161	0.242	-1.061	0.238	-0.1	0.004
1	-0.771	0.43	-0.682	0.436	-0.089	-0.006
5	-1.238	0.616	-0.936	0.615	-0.302	0.001
5	-1.41	0.745	-1.118	0.745	-0.292	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.5 (ต่อ) แสดงผลของข้อมูลจากการยิงบนตัวงานเพื่อใช้ทำสมการวิเคราะห์การถดถอย

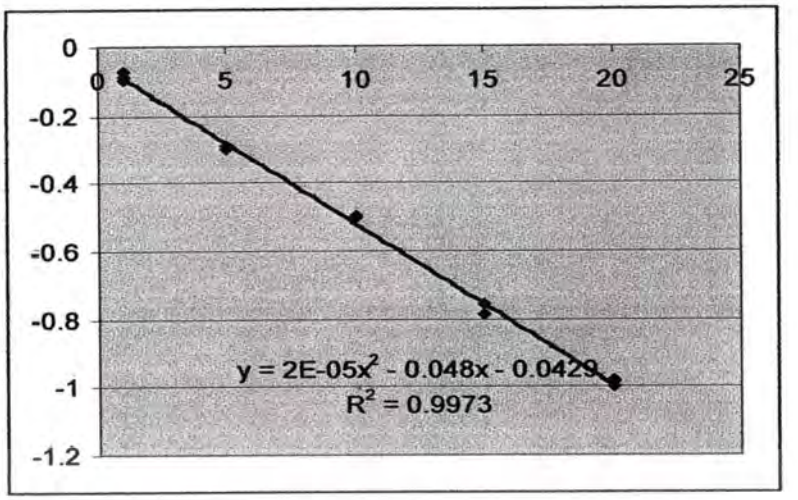
ด้าน Pitch

5	-1.707	0.55	-1.417	0.556	-0.29	-0.006
10	-1.029	0.314	-0.528	0.357	-0.501	-0.043
10	-0.945	0.479	-0.449	0.487	-0.496	-0.008
10	-1.060	0.633	-0.564	0.559	-0.496	0.074
15	-0.977	0.644	-0.192	0.677	-0.785	-0.033
15	0.083	0.737	0.842	0.665	-0.759	0.072
15	-1.142	0.742	-0.356	0.692	-0.786	0.050
20	-1.187	0.690	-0.189	0.658	-0.998	0.032
20	-1.007	0.563	-0.027	0.570	-0.98	-0.007
20	-0.972	0.716	0.013	0.680	-0.985	0.036



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าของ สมการเส้นตรง ของ Pitch (จากข้อมูลจากตารางที่4.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าของ สมการกำลังสอง ของ Pitch (จากข้อมูลจากตารางที่4.5)

จากรูปกราฟที่ 4.6 แสดงค่าของความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเส้นของเลเซอร์และค่าของ Pitch ที่เปลี่ยนแปลง ในการหาค่าของสมการเส้นตรงจะได้ว่า

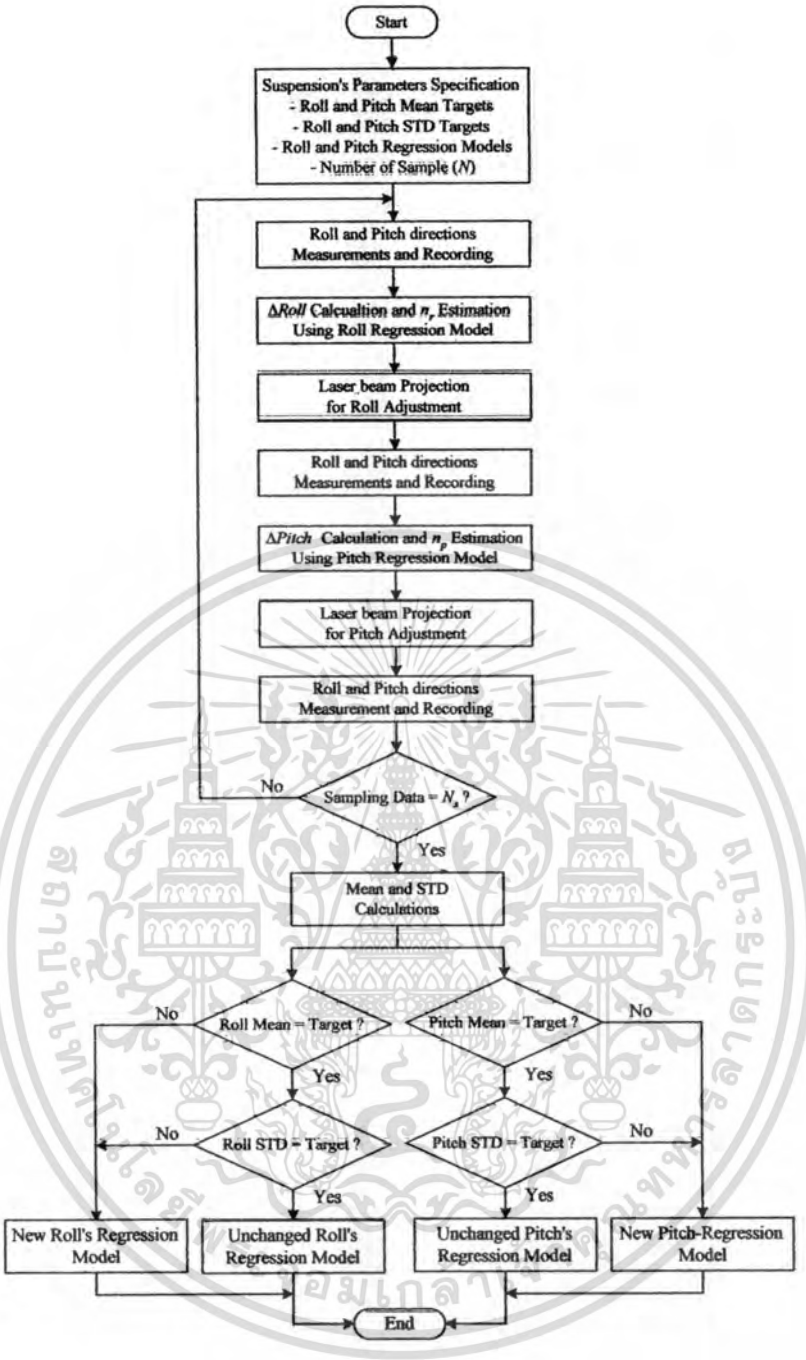
$$\Delta Pitch = -0.0475 n_p - 0.0445 \qquad \text{(และ มีค่า } R^2 = 0.9973 \text{)}$$

และเมื่อทำการพิจารณาค่าของความสัมพันธ์เช่นเดียวกับสมการเส้นตรง แต่ในรูปของสมการกำลังสอง จากรูปกราฟที่ 4.7 จะได้ว่า

$$\Delta Pitch = 0.00002 n_p^2 - 0.048 n_p - 0.0429 \quad \text{(และ มีค่า } R^2 = 0.9973 \text{)}$$

4.3.4 ทำการออกแบบโปรแกรมสำหรับการหาสมการวิเคราะห์การถดถอย และทำการออกแบบให้สามารถเขียนทดลองควบคุมการทำงาน และได้ทำการทดลองโดย 2 กรณีคือ แบบสมการเส้นตรงและ แบบสมการกำลังสองโดยแสดงดังรูป 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงการทำงานของโปรแกรมที่ออกแบบเพื่อใช้ทำสมการวิเคราะห์การถดถอย

4.3.5. นำเอาค่าจากสมการวิเคราะห์การถดถอย ที่ได้ประกอบด้วยจากค่าของ Roll และ Pitch มากำหนดในโปรแกรมและกำหนด ค่าเฉลี่ย และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ใช้เป็นข้อมูลที่ได้เป็นค่าอ้างอิงเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของการ ปรับค่า Pitch และ Roll โดยอัตโนมัติโดยทำการกำหนดค่าดังนี้

1. กำหนด ค่าขอบเขตใช้งานของค่าเฉลี่ย Roll's = 0.5 +/-0.05

2. กำหนด ค่าขอบเขตใช้งานของค่าเฉลี่ย Pitch's = 0.2 +/- 0.075

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กำหนด ค่าขอบเขตใช้งานของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน Roll's = 0.08

4. กำหนด ค่าขอบเขตใช้งานของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน Pitch's = 0.1

5. กำหนด ค่าสมการเริ่มต้นใช้งานของสมการเส้นตรง ของ Roll และ Pitch

$$\Delta Roll = -0.0056n_r - 0.0069$$

$$\Delta Pitch = -0.0475n_p - 0.0445$$

6. กำหนด ค่าสมการเริ่มต้นใช้งานของสมการกำลังสอง ของ Roll และ Pitch

$$\Delta Roll = 0.0002n_r^2 - 0.0101n_r + 0.0067$$

$$\Delta Pitch = (-0.000021)n_p^2 + 0.026776n_p + 0.058799$$

7. กำหนด ค่าการตรวจสอบข้อมูลของสมการ(Sampling number) = 90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5

ผลการทดลอง

5.1 บทนำ

บทนี้เป็นการประยุกต์การควบคุมที่ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งได้ทำการเขียนโปรแกรม วิชวลเบสิก (Visual Basic) เพื่อทำการคำนวณการวิเคราะห์การถดถอยจากโดยได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการ 2 แบบ คือ 1.วิธีการแบบสมการเส้นตรง และ 2.วิธีการแบบสมการกำลังสอง โดยจะได้คำนวณค่าของจำนวนเส้นที่ยิง และทำการอินเตอร์เฟส (Interface) กับชุดเลเซอร์ และสั่งให้ชุดหัวเลเซอร์(Head Laser) ทำงานและ ทำการยิงโดยวิธีการประมวลผลจากเลเซอร์ และหลังจากนั้นจะทำการวัดค่าของงานและทำการบันทึก ในรูปของ Text.File และ นำค่าที่ได้มาทำการคำนวณ และ ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และใช้ในการเปลี่ยนสมการวิเคราะห์การถดถอย โดยอัตโนมัติ .

5.2 การประยุกต์ใช้หลักการที่นำเสนอโดยใช้โปรแกรม Visual Basic

การควบคุมที่ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย ได้ทำการเขียนโปรแกรมวิชวลเบสิก (Visual Basic) เพื่อช่วยในการคำนวณค่าจากสมการ และช่วยในการอินเตอร์เฟส (Interface) ระหว่างชุดควบคุมสัญญาณอินพุทและเอาท์พุท (Digital I/O card) , ชุดกล้องวัด (Vision system), ชุดควบคุมการทำงานของเลเซอร์ (Scanlab RTC3),ชุดรับสัญญาณอินพุท (Opto isolated D/I board) และ ชุดจ่ายสัญญาณเอาท์พุท (Relay output board) และทำการใช้โปรแกรมคำนวณทางสถิติ (JMP) หรือโปรแกรม Excel มาช่วยในการกำหนดสมการเริ่มต้น ทั้ง 2 แบบ คือ สมการเส้นตรง และ สมการกำลังสอง ขณะเดียวกันก็อาจจะทำการนำค่าที่ได้จากการกำหนดสมการทั้ง 2 แบบ มาทำการคำนวณ ค่าของเฉลี่ย , ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ ค่าผลผลิต (Yield) ได้ และ สามารถแสดงการใช้งานของโปรแกรม ที่ใช้ในการทำงาน ดังที่นำเสนอต่อไปนี้

5.2.1 ขั้นตอนเตรียมการทำงาน

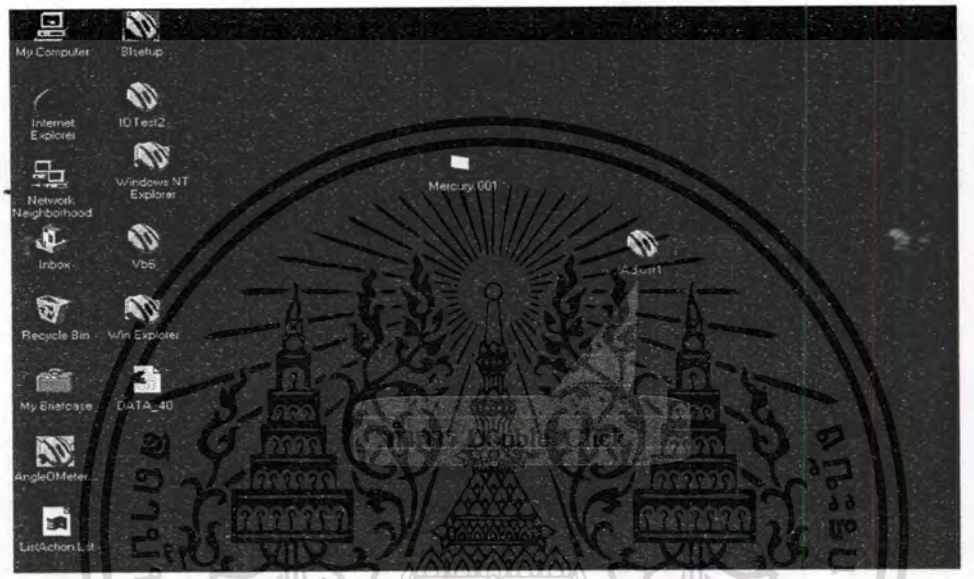
เนื่องจากในการทำงานมีการใช้ พลังงานเลเซอร์ จึงต้องมีมาตรการความปลอดภัยในการใช้งานด้วยหรือ วิธีการ Operation safety ด้วยคือ สวมแว่นป้องกัน (Cascade Laser Corp) Spec 63 mm เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับตา และต้องตรวจสอบชุด Cover Laser ได้ทำการปิดเรียบร้อย โดยมั่นใจว่าไม่สามารถมองเห็นตัวงานขณะยิงแสงเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

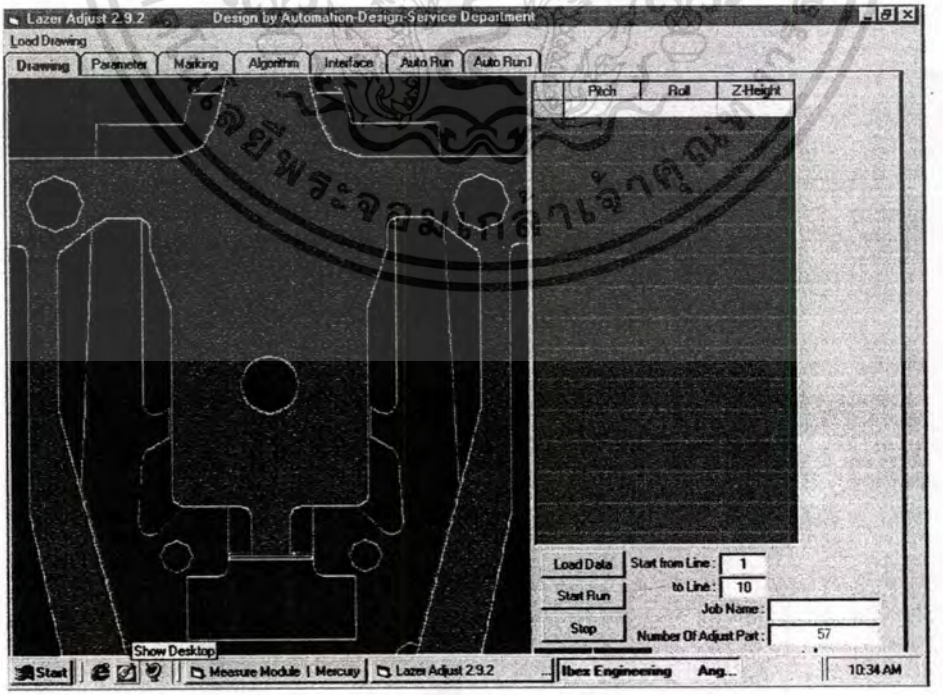
5.2.2 ขั้นตอนการทำงานโดยโปรแกรม

5.2.2.1 ทำการเปิดชุด Laser power unit และ ทำการเปิดสวิทช์ให้ทำงาน หลังจากนั้นให้รอประมาณ 2 นาที ให้หน้าจอของชุด Laser power unit มีข้อความแสดงว่า "Boot completd"

5.2.2.2 ทำการสั่งให้เครื่องจักรทำงาน โดย ทำการ Double Click บนหน้าจอ Computer โดยแสดง ดังรูปที่ 5.1 และหลังจากทำการเปิดโปรแกรมเสร็จแล้วจะ การ เรียกโปรแกรมย่อย อีก 3 ส่วน คือ 1. Measurement Module , 2.Laser Adjusted และ 3. Ibex software



รูปที่ 5.1 แสดงการเปิดโปรแกรมสำหรับทำงาน



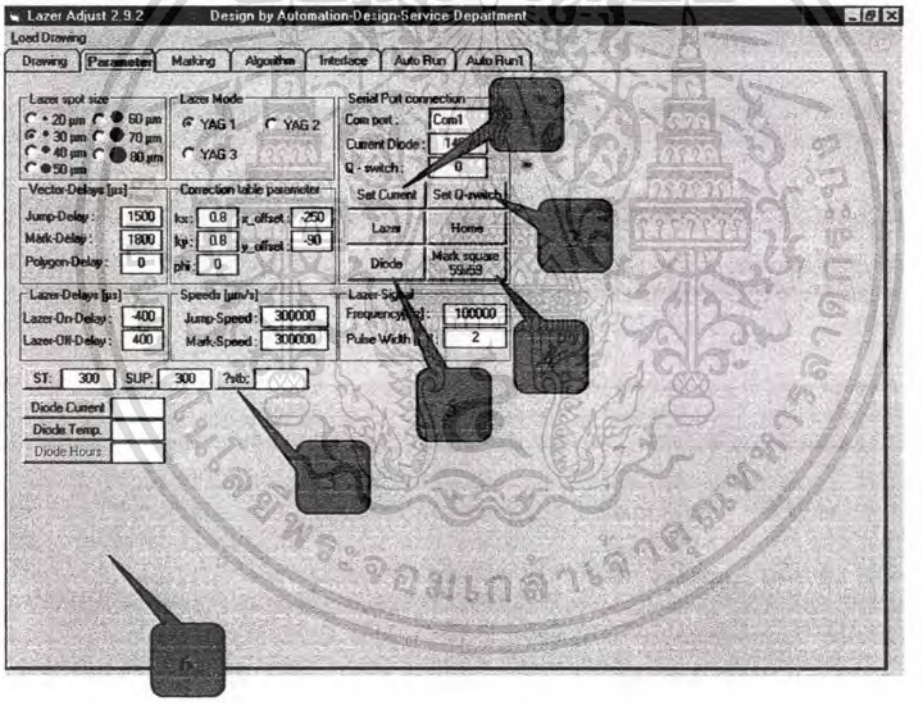
รูปที่ 5.2 แสดงการเรียกโปรแกรมทั้ง 3 ส่วนบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.3 หลังจากนั้นทำการเลือกโปรแกรมที่ใช้สำหรับการทำงาน โดยให้ทำการเลือกใช้โปรแกรม Laser adjusted และทำการกำหนดการทำงานเริ่มต้นสำหรับชุดเลเซอร์ โดย ทำการ กดปุ่มบนชุดโปรแกรม Parameter ตามลำดับดังนี้

1. ปุ่ม Set Curent
2. ปุ่ม Set Q-Switch
3. ปุ่ม ST, SUP และ Stb
4. ปุ่ม Mark Square
5. ปุ่ม Diode
6. ปุ่ม Diode current และ Temp

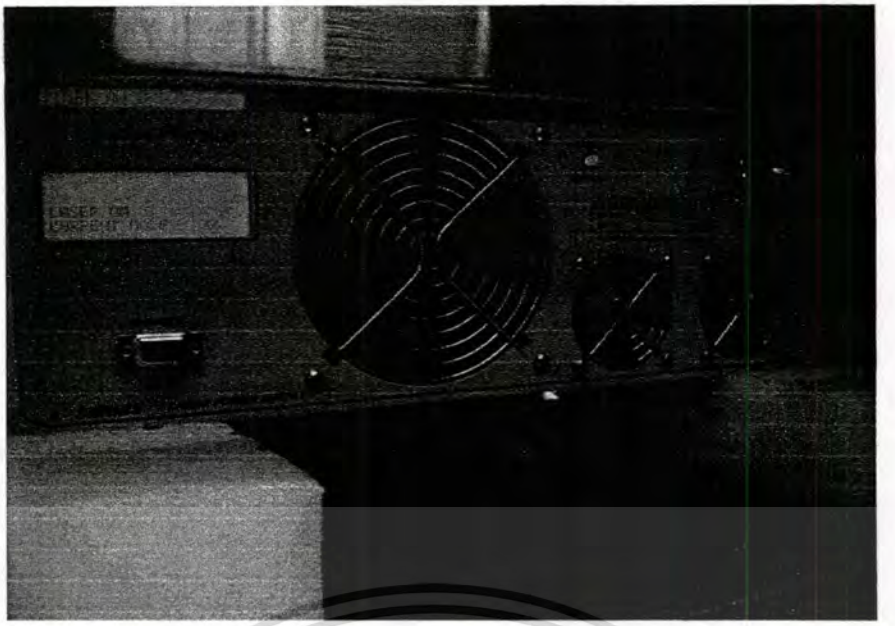
โดยต้องเลือกลำดับการทำงานให้ถูกต้องด้วยถ้าไม่ทำตามขั้นตอนที่กำหนดจะทำให้เกิดความเสียหายกับชุดเลเซอร์ได้ โดยสามารถแสดงลำดับขั้นการทำงานดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ลำดับขั้นตอนการกำหนดค่าเริ่มต้นของชุดเลเซอร์ (Power laser unit)

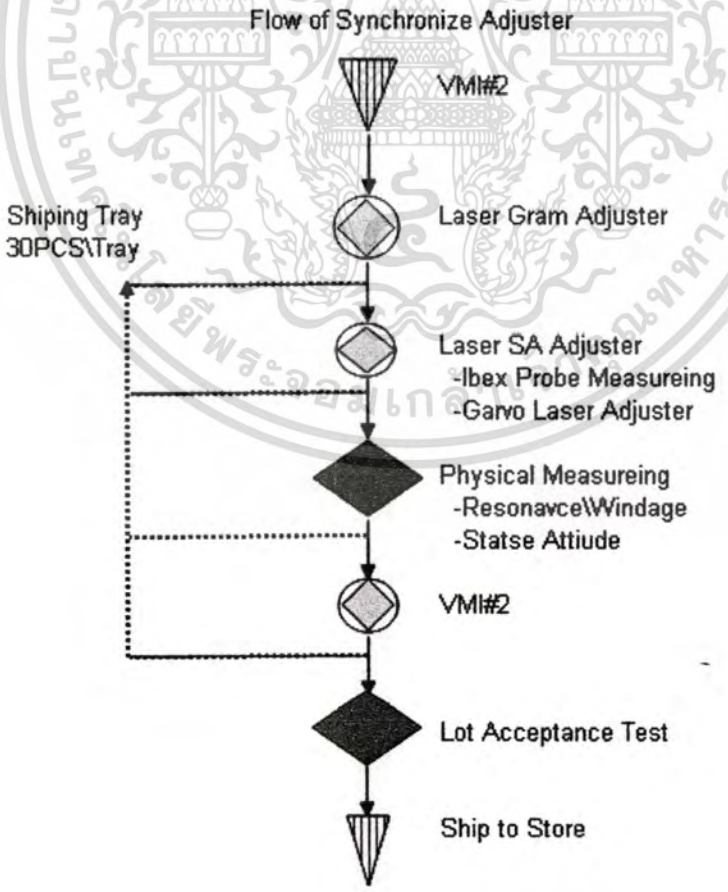
5.2.2.4 เมื่อทำการกดปุ่มให้ชุดเลเซอร์ (Power laser Unit) ไปตำแหน่ง "ON" แล้วให้ ทำการ รอจนกระทั่ง มีข้อความบนหน้าจอของชุดเลเซอร์ (Power laser Unit) แสดงข้อความว่า Laser ON. เป็นการแสดงยืนยันว่าพร้อมสำหรับการทำงาน ดังรูปที่ 5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 แสดงข้อความยืนยันการทำงานของชุดเลเซอร์ (Power laser unit)

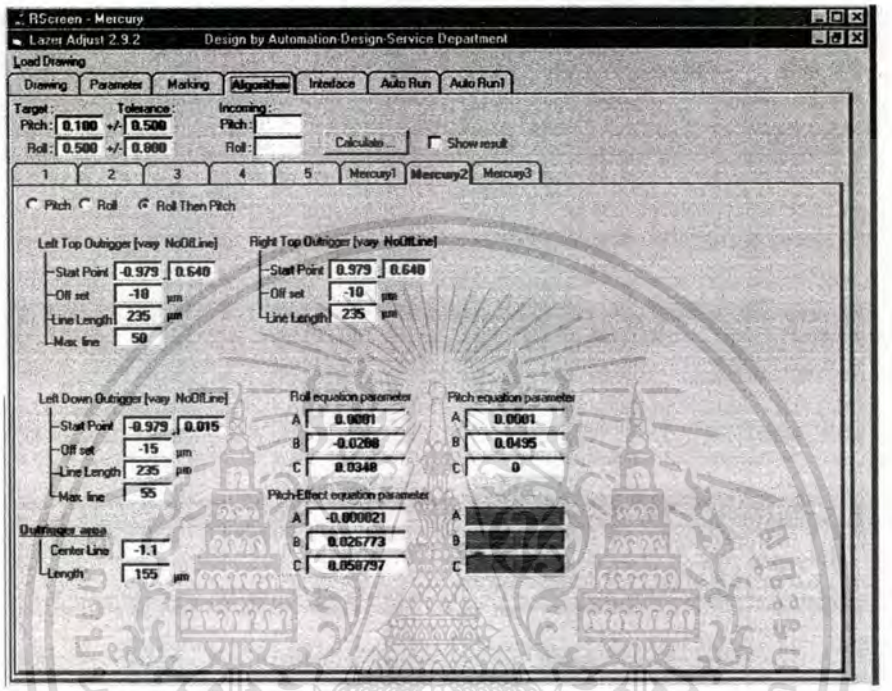
5.2.2.5 ทำการกำหนดรูปแบบสำหรับทำการยิงเลเซอร์ โดยกระบวนการประมวลผลจากเลเซอร์ โดยทำการกำหนด ลักษณะการยิงได้เป็นแบบ Synchronize โดยแสดงดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 แสดง Flow การทำงานแบบ Synchronize Adjusted

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

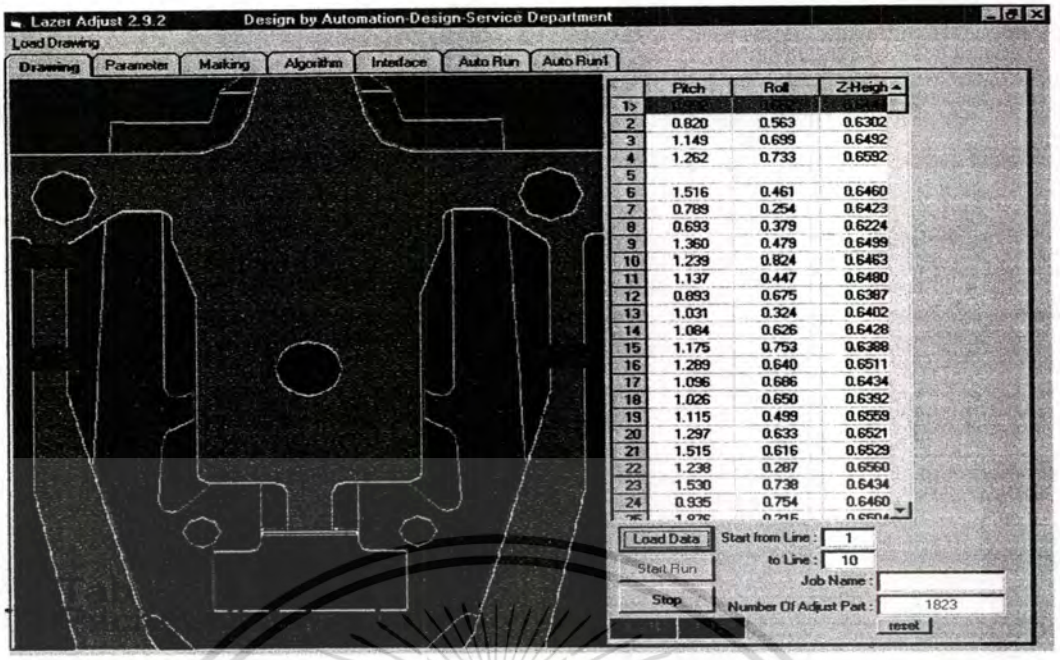
5.2.2.6 ทำการกำหนดสมการ สำหรับการยิง Laser Adjusted โดยทำการเลือกใช้ ในชุดของโปรแกรม Algorithum และทำการกำหนด ค่าที่ต้องการของ Pitch และ Roll ทุกครั้ง และต้องทำการกำหนดสมการ ของ Pitch และ Roll โดยค่าของสมการวิเคราะห์การถดถอย ที่ทำการกำหนดลงไปจะเป็นการกำหนดค่าของสมการเริ่มต้นที่ได้มาจากการคำนวณจากใช้โปรแกรมคำนวณทางสถิติ(JMP) หรือ โปรแกรม Excel มาช่วยในการกำหนดสมการเริ่มต้น แสดงดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 กำหนด สมการ(Equation) และ เป้าหมาย ก่อนทำการยิงเลเซอร์

5.2.2.7 หลังจากกำหนดสมการที่ใช้งานแล้วให้ทำการป้อนงานในตำแหน่งที่พร้อมจะยิง Laser Adjusted ให้ทำการเปิดโปรแกรม Drawing แล้ว กำหนด ตำแหน่งเริ่มต้น และสิ้นสุดที่จะทำการยิงเลเซอร์โดยปกติจะกำหนด เป็น ดังนี้ 1-10,11-20 และ 21-30 หรือ ขึ้นอยู่กับงานในแต่ละฉาด เมื่อกำหนด เสร็จ แล้วก็ทำการกดปุ่ม Start Run เพื่อทำการยิงเลเซอร์บนตัวงาน ดังรูปที่ 5.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 แสดงการยิงเลเซอร์บนตัวงานจากจอคอมพิวเตอร์

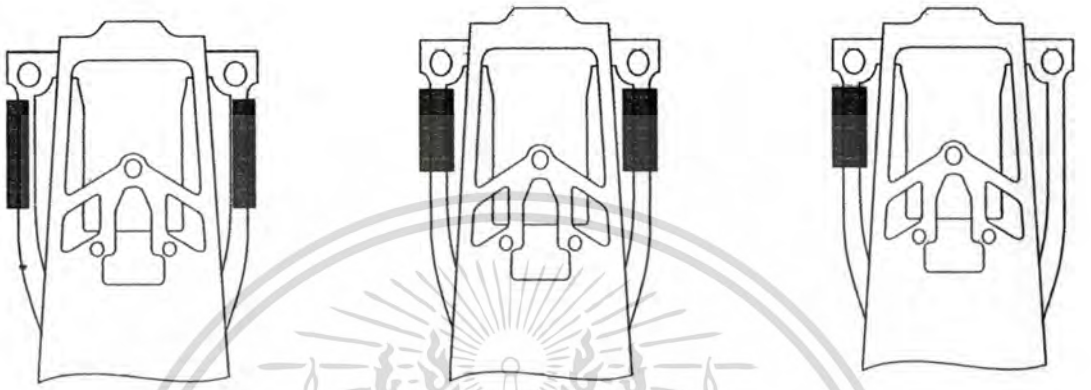
รูปที่ 5.8 การกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นยิงเลเซอร์บนตัวงาน

5.2.2.8 หลังจากทำการยิงเลเซอร์บนตัวงานแล้วต้องมีการตรวจสอบลักษณะของงานที่สำคัญก็คือการควบคุมคุณภาพของงานขณะทำการผลิต (Product control) โดยทำการตรวจสอบ (Visual)งานให้ทำการสุ่มตัวอย่างงานขึ้นมาตามจำนวนที่ระบุอ้างอิง เพื่อควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยจะทำการเปรียบเทียบผลการตัดงานจากรอยเลเซอร์ ว่าเป็นไปตามลักษณะที่ถูกต้องดังนี้

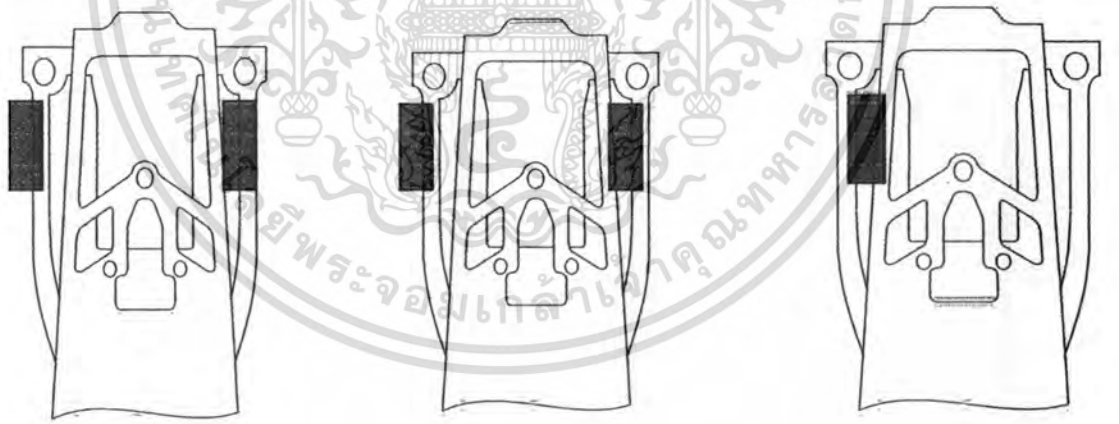
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Line beam เป็นแนวสมมาตรสองข้างเท่ากัน
- Line beam ต้องไม่ยิง พาดไปโดนส่วนอื่น
- Line beam ต้องมีตำแหน่งการ ดัดเป็นไปตามจำนวนเส้นที่ทำการคำนวณได้

โดยสามารถทำการแบ่งแยกลักษณะของงานที่ดี และ เสีย ดังรูปที่ 5.9 และ 5.10

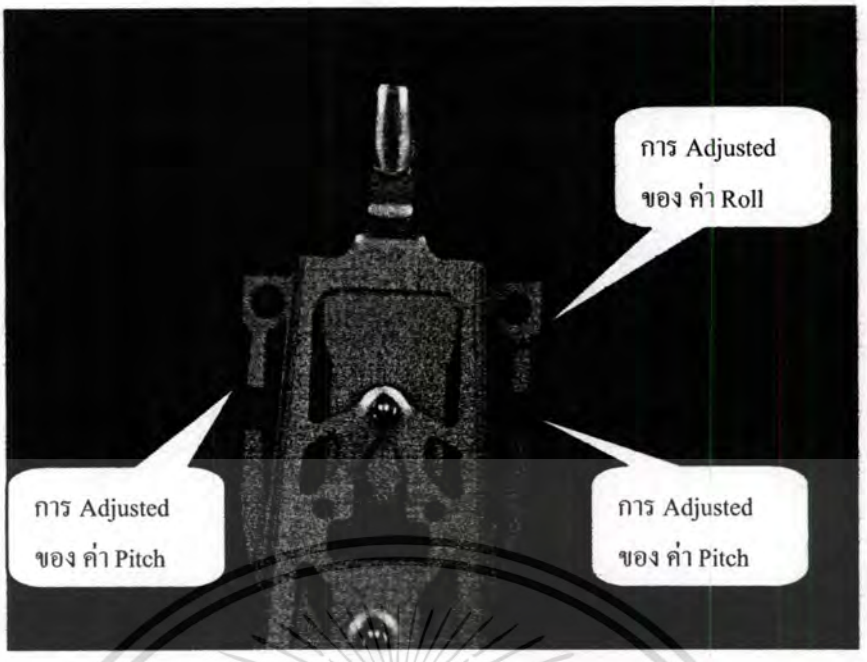


รูปที่ 5.9 ลักษณะที่ดีบนตัวงานเมื่อทำการยิงด้วยเลเซอร์



รูปที่5.10 ลักษณะที่ไม่ดีบนตัวงานเมื่อทำการยิงด้วยเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 ลักษณะการยิงเลเซอร์บนตัวงานที่เพื่อทำการปรับค่าของค่า Pitch และ Roll

5.3 ผลการทดลองกับการวิเคราะห์แบบสมการเส้นตรง

การทดลองหัวข้อนี้ เป็นการประยุกต์การนำเสนอการควบคุมที่ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งเป็นวิธีการแบบสมการเส้นตรง และทำการกำหนดสมการเริ่มต้นที่ใช้ในการ คำนวณ ทั้งสมการของค่า Roll และ Pitch โดยมีค่าดังนี้

- กำหนดค่าสมการเริ่มต้นของค่า Roll

$$\Delta Roll = -0.0056n_r - 0.0069 \qquad \text{(และ มีค่า } R^2 = 0.8419\text{)}$$

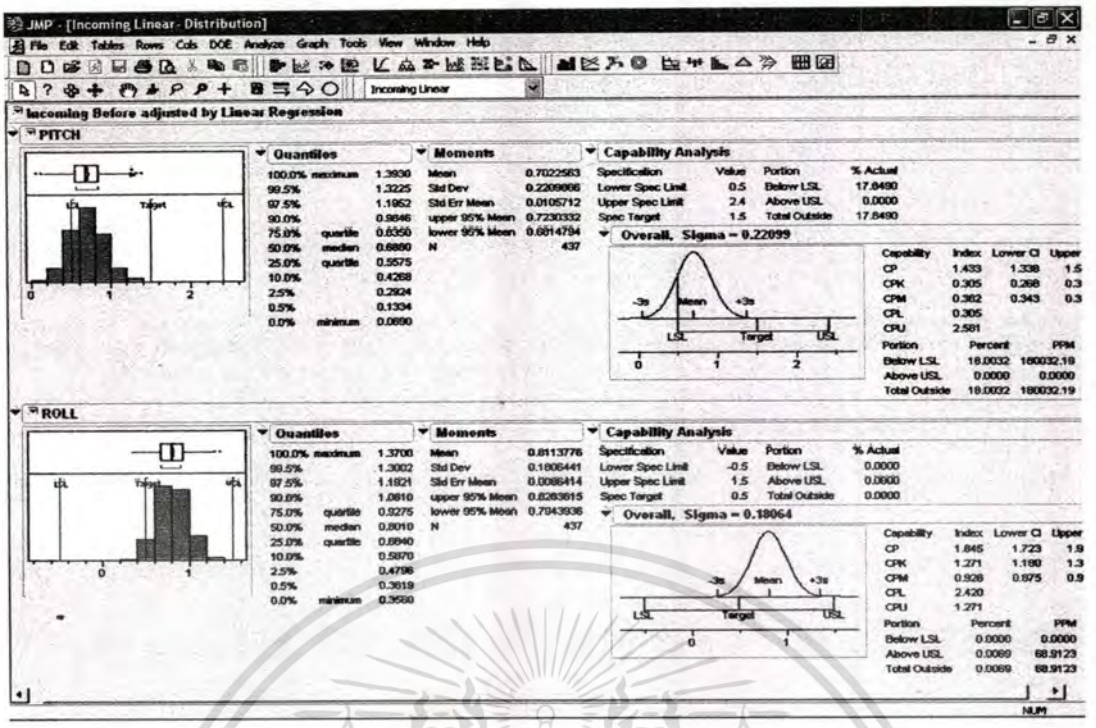
- กำหนดค่าสมการเริ่มต้นของค่า Pitch

$$\Delta Pitch = -0.0475n_p - 0.0445 \qquad \text{(และ มีค่า } R^2 = 0.9973\text{)}$$

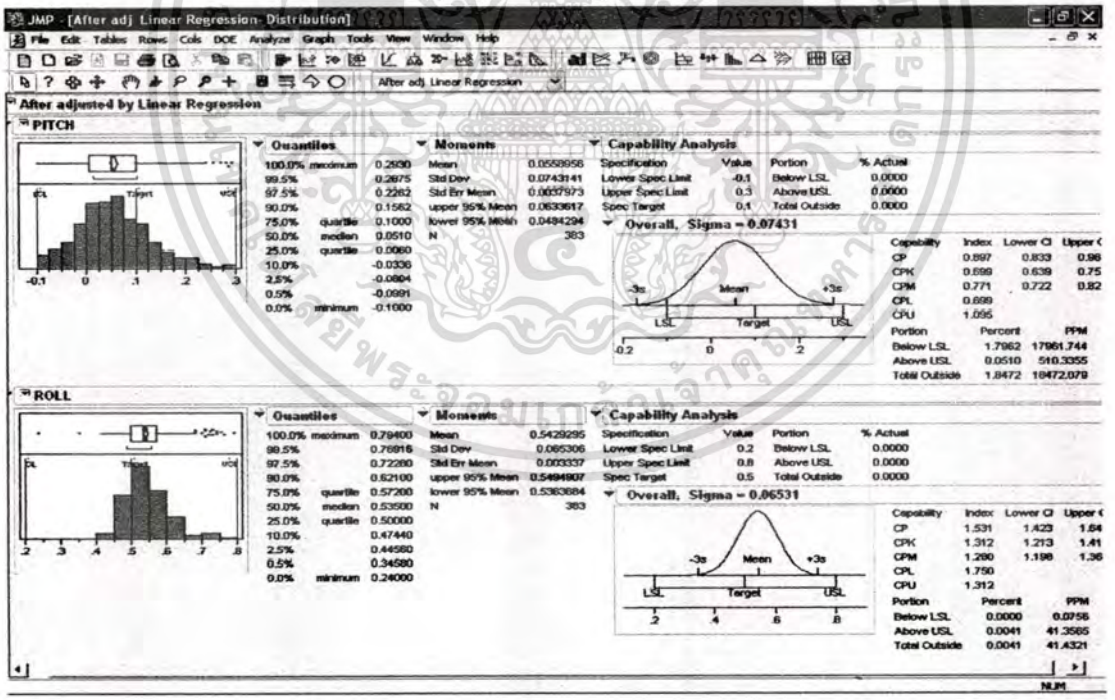
- กำหนด ค่าขอบเขตใช้งานของ Roll's mean = 0.5 +/-0.05
- กำหนด ค่าขอบเขตใช้งานของ Pitch's mean = 0.2 +/- 0.075
- กำหนด ค่าขอบเขตใช้งานของ Roll's standard deviation = 0.08
- กำหนด ค่าขอบเขตใช้งานของ Pitch's standard deviation = 0.1

เมื่อทำการกำหนดค่าเรียบร้อยแล้วก็ทำการทดลองโดยสามารถแสดงผล ดังรูปที่ 5.12 และ รูปที่ 5.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 ลักษณะของงานก่อนทำการยิงเลเซอร์บนตัวงานด้วยวิธีการแบบสมการเส้นตรง



รูปที่5.13 ลักษณะของงานหลังทำการยิงเลเซอร์บนตัวงานด้วยวิธีการแบบเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในลักษณะงานที่ใช้ในการทดสอบของสมการเส้นตรงในรูปที่ 5.12 จะสังเกตว่า ลักษณะงานด้าน Pitch จะมีกลุ่มของงานกระจายไปแนวด้านต่ำของเป้าหมายและงานบ้างตัวก็ต่ำกว่าค่าที่กำหนด และสามารถดูจากค่าของ Quantiles ซึ่งจะเป็นการแบ่งลักษณะของตัวงานที่เข้ามาเป็นส่วนๆ โดยแต่ละส่วนจะแสดงค่าของงานที่ได้ว่าเป็นค่าที่อยู่ในกลุ่มของด้านล่าง,ด้านกลาง และ ด้านบนโดยทำการเปรียบเทียบค่าของตำแหน่งเป็น 0- 100 เปอร์เซ็นต์ และสามารถดูข้อมูลเพิ่มเติมในค่าของ Moments ซึ่งจะบอกค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยของงานในด้านบน และด้านล่างเมื่อเปรียบเทียบกับค่า Control Intervals ที่ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเฉลี่ยในกลุ่มด้านสูงกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 0.723 และค่าในกลุ่มด้านต่ำกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 0.681 และสามารถทำการตรวจสอบค่าของประสิทธิภาพในการผลิต โดยดูจากค่าของ Capability Analysis โดยจะทำการกำหนดค่าขอบเขตด้านล่าง (Lower spec limit) ,ด้านบน (Upper spec limit) และค่าของเป้าหมาย (Spec target) หลังจากนั้นสามารถดูลักษณะของงานว่ามีอยู่ในด้านล่างจำนวนเท่าไร (Below LSL) และด้านบนจำนวนเท่าไร (Above USL)โดยแสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ และสามารถทำการดูค่าของการกระจายตัวของงาน โดยสามารถดูจากเส้นโค้งของการกระจายข้อมูล โดยรูปดังกล่าวจะมีการกำหนดค่าขอบเขตด้านล่าง ,ด้านบน และเป้าหมาย ลงไป และให้ทำการสังเกตพื้นที่กราฟเส้นโค้งของการแจกแจงมีการวางที่ตำแหน่งตรงกับค่าขอบเขตด้านไหน เช่น จากรูปที่ 5.12 กลุ่มงานด้าน Pitch มีการกระจายของงานในพื้นที่กราฟโค้งในด้านล่างประมาณ 17.849 เปอร์เซ็นต์ หรือ เรียกว่ามีการเบ้ไปทางด้านซ้าย และไม่มีการกระจายของงานในพื้นที่กราฟโค้งในด้านสูง แสดงว่างานที่ได้ในกลุ่มนี้มีค่าต่ำค่อนข้างมาก และ เมื่อทำการเปรียบเทียบกลุ่มของงานทางด้าน Roll จะมีการกระจายไปในแนวด้านบน หรือ มีการเบ้ไปทางด้านขวา ดังนั้นรูปแบบงานแบบดังกล่าวจะต้องทำการปรับค่าของ Pitch และ Roll ค่อนข้างสูง ด้วยเพื่อให้ได้งานใกล้เคียงกับที่ต้องการ โดยลักษณะงานที่ดีแล้วพื้นที่กราฟเส้นโค้ง และจุดสูงสุดของเส้นโค้งต้องใกล้เคียงกับค่าของเป้าหมายต้องอยู่ในขอบเขตด้านสูง และด้านต่ำ ด้วย หรือเป็นพื้นที่กราฟเส้นโค้งของการแจกแจงปกติ

เมื่อทำการปรับค่างานด้วย สมการเส้นตรง ทั้งในสมการของค่า Pitch และ ค่า Roll โดยสามารถแสดงผลดังรูปที่ 5.13 จะปรากฏว่า ในกลุ่มงานของค่า Pitch งานที่ได้จะเป็นลักษณะของงานที่มีการกระจายกลุ่มงานที่ได้เป็นลักษณะของค่าเฉลี่ยใกล้กับค่าที่ต้องการ ขณะเดียวกันในกลุ่มงานของค่า Roll งานที่ได้จะไม่ค่อยดีเนื่องจากมีมีลักษณะของงานที่ได้ไปในแนวด้านสูง และมีการกระจายของงานในแนวด้านสูงมาก ซึ่งแสดงว่าค่าที่ได้จากสมการเส้นตรงมีค่าของการคำนวณยังไม่ละเอียดและทำให้เกิดการผิดพลาด ส่งผลการปรับค่าในด้าน Roll ไม่เหมาะสมและได้ค่าไม่ตรงกับที่ต้องการ และทำให้ได้ผลผลิตจากงานกลุ่มนี้ได้ประมาณ 87.64% (เมื่อมีค่าของ Input = 437 Output = 383 ดังนั้น ค่า Yield = (383/437)*100 = 87.64%) และมีค่าเฉลี่ยของด้าน Pitch = 0.055 และ ด้าน Roll = 0.543 , ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐานของด้าน Pitch = 0.074 และด้าน Roll = 0.065

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ผลการทดลองกับการวิเคราะห์แบบสมการกำลังสอง

การทดลองหัวข้อนี้ เป็นการประยุกต์การนำเสนอการควบคุมที่ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยisซึ่งเป็นวิธีการแบบสมการกำลังสอง และทำการกำหนดสมการเริ่มต้นที่ใช้ในการ คำนวณทั้ง สมการของค่า Roll และ Pitch โดยมีค่าดังนี้

= กำหนดค่าสมการเริ่มต้นของค่า Roll

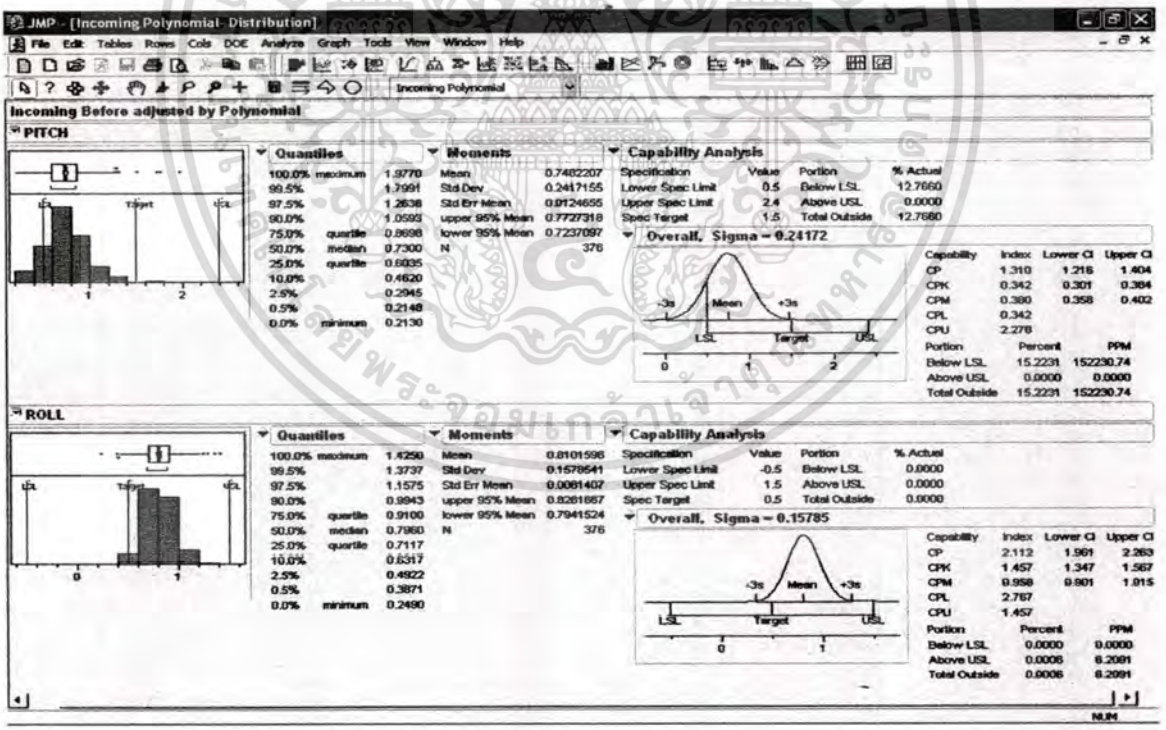
$$\Delta Roll = 0.0002n_r^2 - 0.0101n_r + 0.0067 \quad \text{(และ มีค่า } R^2 = 0.8782\text{)}$$

= กำหนดค่าสมการเริ่มต้นของค่า Pitch

$$\Delta Pitch = 0.00002n_p^2 - 0.048n_p - 0.0429 \quad \text{(และ มีค่า } R^2 = 0.9973\text{)}$$

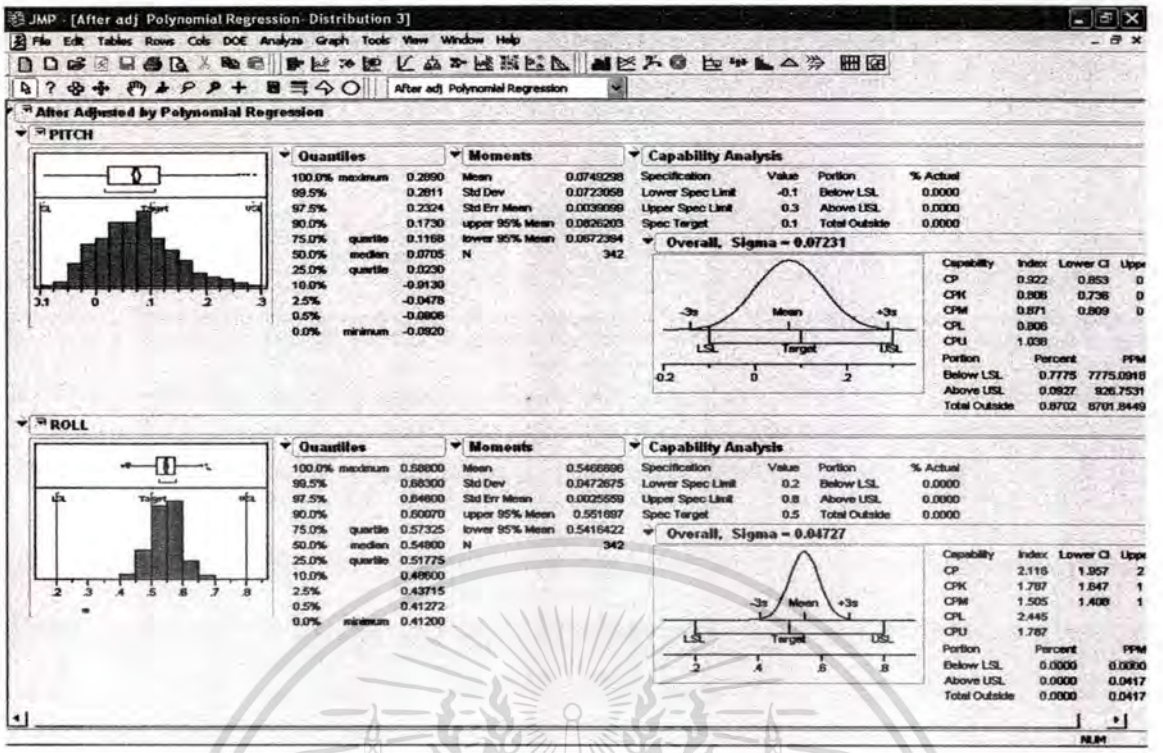
- กำหนด ค่าขอบเขตใช้งานของ Roll's mean = 0.5 +/-0.05
- กำหนด ค่าขอบเขตใช้งานของ Pitch's mean = 0.2 +/- 0.075
- กำหนด ค่าขอบเขตใช้งานของ Roll's standard deviation = 0.08
- กำหนด ค่าขอบเขตใช้งานของ Pitch's standard deviation = 0.1

โดยทำการกำหนดค่าเริ่มต้น และ ค่าขอบเขตของการใช้งานเช่นเดียวกันกับการทดลองการวิเคราะห์แบบสมการเส้นตรง และเมื่อทำการทดลองแล้วสามารถแสดงผลดังรูปที่ 5.14 และ รูปที่ 5.15



รูปที่5.14 ลักษณะของงานก่อนทำการยิงเลเซอร์บนตัวงานด้วยวิธีการแบบสมการกำลังสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่5.15 ลักษณะของงานหลังทำการยิงเลเซอร์บนตัวงานด้วยวิธีการแบบสมการกำลังสอง

ในลักษณะงานที่ใช้ในการทดสอบของสมการกำลังสองในรูปที่ 5.14 จะสังเกตว่าลักษณะงานด้าน Pitch จะมีกลุ่มของงานกระจายไปแนวด้านต่ำของเป้าหมายและงานบ้างตัวก็ต่ำกว่าค่าที่กำหนด เมื่อทำการพิจารณากลุ่มของงานทางด้าน Roll จะมีการกระจายไปในแนวด้านสูง ดังนั้นรูปแบบงานแบบดังกล่าวจะต้องทำการปรับค่าของ Pitch และ Roll ค่อนข้างสูง จากงานกลุ่มดังกล่าวจะสังเกตว่ากลุ่มงานดังกล่าวมีลักษณะงานคล้ายกับงานที่ทำการทดสอบของสมการเส้นตรง

เมื่อทำการปรับงานด้วย สมการกำลังสองทั้งในสมการของค่า Pitch และ ค่า Roll โดยสามารถแสดงผลดังรูป 5.15 จะปรากฏว่าในกลุ่มงานของค่า Pitch งานที่ได้จะเป็นลักษณะของงานที่ดีโดยมีกลุ่ม งานเป็นลักษณะของการกระจายใกล้กับค่าที่ต้องการ เช่นเดียวกับการทดสอบจากสมการเส้นตรง ขณะเดียวกันในกลุ่มงานของค่า Roll งานที่ได้จะมีลักษณะงานที่ดีโดยมีลักษณะการกระจายตัวอยู่ในใกล้เคียงกับเป้าหมายที่ต้องการ จะสังเกตว่างานที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงเป้าหมายมากกว่า การทดสอบของสมการเส้นตรงในรูปที่ 5.13 และจากงานกลุ่มนี้สามารถคำนวณผลผลิตได้ประมาณ 90.96% ซึ่งมีค่าสูงกว่า การทดสอบแบบสมการเส้นตรง 3.32 % (เมื่อมีค่าของ Input = 376,Output = 342 ดังนั้นคำนวณค่าของYield = (342/376)*100 = 90.96%) และมีค่าเฉลี่ยของด้านPitch = 0.075 และของด้านRoll = 0.547 , ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของด้าน Pitch = 0.072 และของด้าน Roll = 0.047

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการประยุกต์ใช้การควบคุมที่ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย และได้ทำการเขียนโปรแกรมวิชวลเบสิก (Visual Basic)เพื่อทำการคำนวณการวิเคราะห์การถดถอย โดยทำการเปรียบเทียบ วิธีการ 2 แบบ คือ 1.วิธีการแบบสมการเส้นตรง และ 2.วิธีการใช้แบบสมการกำลังสอง ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าตัวแปร ทางงานสถิติแบบหนึ่ง และ เป็นการประยุกต์ใช้กับ วิธีการใช้กระบวนการประมวลผลจากเลเซอร์ สำหรับการปรับค่าของ Roll และค่า Pitch ในกระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ และ จำนวนของ Laser beam projections จะเป็นสิ่งที่สำคัญในการเปลี่ยน แปลง ของค่า Roll และ Pitch จากผลการทดลองที่ได้สามารถทำการปรับปรุง และเป็นประโยชน์ทำการเพิ่มคุณภาพงานในการผลิตและผลผลิตมากขึ้นด้วย

ซึ่งวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์สามารถทำการเรียนรู้ได้เร็ว ซึ่งเมื่อทำการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมจะช่วยให้พนักงานหรือ ช่างเทคนิคสามารถใช้งานได้ง่าย และสะดวก เมื่อต้องการเปลี่ยนค่าของสมการก็สามารถใช้โปรแกรม สำเร็จรูป Excel หรือ โปรแกรม คำนวณทางสถิติ

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางพัฒนา

ข้อเสนอแนะและการพัฒนาสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ที่ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย ได้แก่วิธีการแบบสมการเส้นตรง และวิธีการใช้แบบสมการกำลังสอง เพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ดังที่แสดงผลการทดลองให้เห็นในบทที่ 5 นั้น จำเป็นต้องมีการควบคุมค่าการกระจายตัวของงานที่ป้อนเข้ามาใช้งานให้ใกล้เคียงกันด้วย และต้องควบคุมงานให้อยู่ในกลุ่มงานเดียวกัน ถึงจะให้ผลผลิตได้มากสุด แต่อย่างไรก็ตามก็สามารถเป็นแนวทางสำหรับการทำงานในรูปแบบอื่น ที่ต้องการทำงานโดยต้องการผลลัพธ์โดยการวิเคราะห์แบบเดียวกัน

สำหรับข้อจำกัดของการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ก็คือ เนื่องจากในรูปแบบของงานทางอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ มีการเปลี่ยนแปลงงานรวดเร็วดังนั้นทำให้ไม่สามารถที่จะทำงานรูปแบบตัวงานเดิมได้ต่อเนื่องเป็นเวลานาน เพราะต้องปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ใหม่ให้เหมาะสมกับงานรูปแบบใหม่ตลอดเวลา เนื่องจากขึ้นอยู่กับปริมาณการสั่งซื้อจากลูกค้า เป็นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] N. Sugawara, S. Sakai, S. Terada, A. Matsuzono, H. Ohmori, T. Sone, and K. Fukumoto, **"High Frequency Recording Head for HDD Over 300 MHz"**, IEEE. Trans. on Magnetics, Vol. 36, No. 5, pp. 2533-2535, 2000.

[2] J-H. Yoon, H. Yang, N-C. Park, and Y-P. Park, **"Design, dynamic analysis and control of milliactuator embedded suspension for dual-stage actuator system in hard disk drives"**, Digest of the Asia-Pacific Magnetic Recording Conference, pp. WE-P-05-01-WE-P-05-02, 2002.

[3] G. K. Lau, H. Du, and L. Pan, **"Optimal Design of Suspensions for High-Density Magnetic Recording Systems"**, IEEE. Trans. on Magnetics, Vol. 38, No. 5, pp. 2165-2167, 2002.

[4] S. Arya, Y-S. Lee; W-M. Lu, M. Staudenmann, and M. Hatchett, **"Piezo-based milliactuator on a partially etched suspension"**, IEEE. Trans. on Magnetics, Vol. 37, No. 2, pp. 934- 939, March 2001.

[5] V. Thaveeprungsriporn, K. Sittipongpanich, P. Imoeb, and M. Chayapancha, **"Enhancing Suspension Performance with 3-Ply Laminated Load Beam"**, Digest of 2002 the Asia-Pacific Magnetic Recording Conference, pp. TU-P-22-01 – TU-P-22-01, 2002.

[6] Singh, G.P.; Wu, X.Z.; Brown, B.R.; Kozlovsky, W. **"Laser gram load adjust for improved disk drive performance"**, IEEE Transactions Magnetics, Vol. 37, Issue: 2, March, pp. 959-963, 2001

[7] Zar, Jerrold H., **Biostatistical Analysis**, 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1996.

[8] Z. Zhang and C.L.Tan, **"Straightening Warped Text Lines Using Polynomial Regression"**, Proc. of 2002 International Conference on Image Processing, Vol. 3, pp. 977-980, 2002.

[9] Draper, N. R. and Smith, H., **Applied Regression Analysis**, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1981.

[10] Flanklin A. Graybill, Hariharan K. Iyer, **Regression Analysis Concepts and Applications**, Duxbury Press, Wadsworth, Inc. 1994.

[10] Gufei Chen,Xianfan Xu., **"Experimental and 3D finite element studies of CW laser forming of thin stainless steel sheets"**, Journal of manufacturing science and engineering Vol.123 ,pp. 66-73, 2001.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] X.R. Zhang ,Gufei Chen,Xianfan Xu., **"Numerical simulation of pulsed laser bending"**, Journal of manufacturing science and engineering Vol.69 ,pp. 1-6, 2002.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICCAS2004 August 25-27, The Shangri-La Hotel, Bangkok, THAILAND

Application of Regression Analysis for Quality Control In Suspension Manufacturing

Thammasak Ritthidetch, Ruedee Masuchun, Amphawan Chaikla,
Prasit Julsereewong, and Kitti Tirasesth

Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Ladkrabang, Bangkok, Thailand
(Tel: +66-2-739-2406-7; E-mail: kjprasit@kmitl.ac.th)

Abstract: This paper presents the laser processing to adjust the roll and pitch directions of the flex suspension assembly for hard disk drive production. The adjustment is accomplished using a number of laser beam projections that can be approximated using the regression model of the existing measured roll and pitch directions. Information derived from the analysis can be applied to control the quality of flex suspension assembly. The performances of the proposed technique were observed using the flex suspension assembly plant in Thailand as an illustrative case study. The experimental results are given to support the improving manufacturing yields and some economic benefits of the proposed technique.

Keywords: roll and pitch directions, flex suspension assembly, regression analysis, laser processing.

1. INTRODUCTION

Among the components of the head actuator assembly for hard disk drive (HDD), a suspension or load beam is relatively thin as compared to an arm; thus, it is flexible to roll and pitch at the slider location to allow the adaptation due to the unevenness of the disk surface. The roll is an angular rotation of a slider about the axis parallel to the travel of the media. The pitch is an angular rotation of the slider about the axis parallel to the plane of the media and perpendicular to the record track. Moreover, the suspension should not bend or twist during the operation as this would misdirect the head away from the track it is following.

Recently, there has been much effort to improve the suspension performance [1-3]. The optimal mass and stiffness of the suspension for enhancing performance is one of the most significant problems to be solved [4-5]. The critical parameters a suspension has to maintain are gram load, static roll, and pitch stiffness. The gram load adjustment for improved HDD performance using laser processing has been proposed in literature [6]. This paper aims to present the similar laser processing to adjust the roll and pitch directions of the flex suspension assembly for HDD production.

The proposed adjustment can be applied to the suspension manufacturing to control the mean and standard deviation of the roll and pitch directions. The number of the laser beam projections is the important factor that impacts the roll and pitch directions. Therefore, the regression analysis [7-8] is recommended to estimate the number of the laser beam projections based on the existing measured roll and pitch directions. Information derived from the analysis can help control the quality of flex suspension assembly.

The suspension manufacturing, KR. Precision Public Company Limited, Thailand, was studied as an illustrative case study. The experimental results demonstrating the improving manufacturing yield and some benefits of the proposed technique are obtained.

2. REGRESSION ANALYSIS

Regression analysis is a commonly used method in order to obtain a prediction function that estimates the values of one dependent variable from known values of one or more independent variables. The simple linear regression analysis [9], which involves only one predictor, is used in this paper. Given a discrete sampling of N data points having coordinates

$$P_i = (x_i, y_i) \quad ; i = 1, 2, \ldots, N \tag{1}$$

It is assumed that the value of y_i can be correlated to the value of the x_i coordinate via an approximate function Y having the form:

$$Y(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \ldots + a_1 x + a_0 \tag{2}$$

which corresponds to an nth degree of polynomial expansion. If $n = 1$, it is called a first-order polynomial equation, which is identical to the equation for straight line. If $n = 2$, it is called a second-order or quadratic equation. If $n = 3$, it is called a third-order or cubic equation. The expansion coefficients a_n, a_{n-1}, , a_1, a_0 are determined by least-square fitting the data points to this expansion. The resulting continuous function may then be used to estimate the value of y over the entire x region where the approximation has been applied.

The simplest classes of regression functions that are useful in economics area such as forecasting and cost-benefits analysis are straight-line function and quadratic function [10].

2.1 Straight-line regression model

The straight-line regression model can be written as

$$y_i = a_1 x_i + a_0 \tag{3}$$

The quantity a_1 is the slope and a_0 is the intercept of the regression line. The sum of squares of prediction errors E are defined by

$$E = \sum_{i=1}^{N} (y_i - a_1 x_i - a_0)^2 \tag{4}$$

It can be mathematically proven that the values of a_1 and a_0 that minimize E in Eq. (4) are given by

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2} \tag{5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and $a_0 = \bar{y} - a_1\bar{x}$ (6)

where $\bar{x} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i$ (7)

and $\bar{y} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i$ (8)

Residual variance is measure of the variation of the Y values about the regression line. Residual variance or R-squared can be given by

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(y_i - \bar{y})}{N-2} \quad (9)$$

The standard error of estimate can be calculated from the square root of the residual variance as follow:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(y_i - \bar{y})}{N-2}} \quad (10)$$

2.2 Quadratic regression model

The quadratic regression model can be written as

$$y_i = a_2x_i^2 + a_1x_i + a_0 \quad (11)$$

The constants, a_2, a_1, and a_0 in the regression equation are called the regression coefficients. The sum of squared errors E can be written as

$$E = \sum_{i=1}^{N}\left(y_i - a_2x_i^2 - a_1x_i - a_0\right)^2 \quad (12)$$

Hence:

$$\frac{\partial E}{\partial a_2} \equiv \sum_{i=1}^{N} 2\left(a_2x_i^4 + a_1x_i^3 + a_0x_i^2 - y_ix_i^2\right)$$

$$\frac{\partial E}{\partial a_1} = \sum_{i=1}^{N} 2\left(a_2x_i^3 + a_1x_i^2 + a_0x_i - y_ix_i\right)$$

$$\frac{\partial E}{\partial a_0} = \sum_{i=1}^{N} 2\left(a_2x_i^2 + a_1x_i + a_0 - y_i\right)$$

Equating these partial derivatives to zero gives:

$$a_2\sum_{i=1}^{N}x_i^4 + a_1\sum_{i=1}^{N}x_i^3 + a_0\sum_{i=1}^{N}x_i^2 - \sum_{i=1}^{N}\left(y_ix_i^2\right) = 0$$

$$a_2\sum_{i=1}^{N}x_i^3 + a_1\sum_{i=1}^{N}x_i^2 + a_0\sum_{i=1}^{N}x_i - \sum_{i=1}^{N}\left(y_ix_i\right) = 0$$

$$a_2\sum_{i=1}^{N}x_i^2 \pm a_1\sum_{i=1}^{N}x_i \pm a_0n = \sum_{i=1}^{N}y_i = 0$$

Solve the above three simultaneous equations. The values for a_2, a_1, and a_0 are obtained as

$$a_2 = \frac{t_3t_4 - t_2t_5}{t_1t_3 - t_2^2} \quad (13)$$

$$a_1 = \frac{t_2t_4 - t_1t_5}{t_2^2 - t_1t_3} \quad (14)$$

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N}y_i - a_2\sum_{i=1}^{N}x_i^2 - a_i\sum_{i=1}^{N}x_i}{N} \quad (15)$$

where

$$t_1 = N\sum_{i=1}^{N}x_i^4 - \left(\sum_{i=1}^{N}x_i^2\right)^2$$

$$t_2 = N\sum_{i=1}^{N}x_i^3 - \sum_{i=1}^{N}x_i^2\sum_{i=1}^{N}x_i$$

$$t_3 = N\sum_{i=1}^{N}x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{N}x_i\right)^2$$

$$t_4 = N\sum_{i=1}^{N}\left(x_i^2y_i\right) - \sum_{i=1}^{N}x_i^2\sum_{i=1}^{N}y_i$$

$$t_5 = N\sum_{i=1}^{N}\left(x_iy_i\right) - \sum_{i=1}^{N}x_i\sum_{i=1}^{N}y_i$$

A formula for R^2 that demonstrates as

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(y_i - \bar{y})^2 - \sum_{i=1}^{N}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(y_i - \bar{y})^2} \quad (16)$$

where $\sum_{i=1}^{N}(y_i - \bar{y})^2$ is the total sum of squares.

$\sum_{i=1}^{N}(y_i - \hat{y}_i)^2$ is the residual sum of squares.

3. LASER ROLL AND PITCH ADJUSTMENTS

Fig. 1 Laser processing.

A laser processing as shown in Fig. 1 projects the laser beam on the target point along with measured roll and pitch directions. In order to adjust the roll and pitch directions, the radiation intensity of the laser and the number of laser beam projections must be specified. The impacts of the number of projections on the roll and pitch directions are then analyzed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

separately using the regression model. In the experiment, one suspension is used for each laser beam projection. If the roll and pitch directions are outside the acceptable ranges, then the suspension will be rejected. That is, the data collected for the analysis are from those suspensions that are accepted after the experiment.

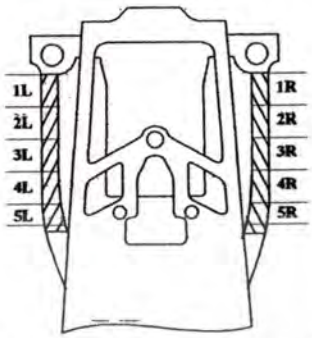


Fig. 2 Laser beam point sections on suspension.

The area of the suspension on which the laser beam is projected can be classified into 5 sections as shown in Fig. 2 when L and R represent the left and right of the suspension, respectively. The target points are then randomly selected as shown in Table 1. Note that the pitch direction is not adjusted unless the roll direction is completely adjusted.

Table 1 Sampling laser beam positions.

Beam Position	Start Point	End Point
1Lp	-1.178,0.70	-0.980,0.70
2Lp	-1.178,0.55	-0.980,0.55
3Lp	-1.178,0.40	-0.980,0.40
4Lp	-1.178,0.25	-0.980,0.25
5Lp	-1.178,0.1	-0.980,0.1
1Rp	1.178,0.70	0.980,0.70
2Rp	1.178,0.55	0.980,0.55
3Rp	1.178,0.40	0.980,0.40
4Rp	1.178,0.25	0.980,0.25
5Rp	1.178,0.1	0.980,0.1

Given that

$\Delta Roll$ is the difference of the roll directions before and after the laser beam projection.

$\Delta Pitch$ is the difference of the pitch directions before and after the laser beam projection.

n_r is the number of laser beam projections for roll adjustment.

n_p is the number of laser beam projections for pitch adjustment.

To obtain the regression models representing the relationship between predictor variables $\Delta Roll$ and n_r, the procedure starts by projecting the laser beam onto two suspensions for each specified target as shown in Table 1. The sampling $\Delta Roll$ and $\Delta Pitch$ are shown in Fig. 3, where (1) and (2) refer to the first and second projection onto the suspension, respectively. In order to determine the most appropriate area for roll adjustment, the target must have high $\Delta Roll$ and high $\Delta Pitch$. From Fig. 3, two targets, 1Rp and 2Rp, are chosen as the proper areas for the laser beam projection in order to adjust the roll's direction. Since the laser beam projection also has the impact on the specimen's pitch, re-projecting the laser beam to adjust the pitch direction further performs the compensation. The sampling experiment is further performed as given in Table 2 to evaluate the effects of the number of laser beam projections on the adjustment of roll and pitch directions. First, the projecting is aimed at the point 1Rp. Then the distance along the ordinate is decreased 10μm each time for, if any, the next projection.

Table 2 Sampling experiment to evaluate the effects of the number of laser beam projections.

Number of Projections	$\Delta Roll$	$\Delta Pitch$
1 (1st Projection)	0.000	0.060
1 (2nd Projection)	-0.022	0.026
1 (3rd Projection)	-0.001	0.079
5 (1st Projection)	-0.030	0.080
5 (2nd Projection)	-0.026	0.047
5 (3rd Projection)	-0.045	0.057
10 (1st Projection)	-0.067	0.145
10 (2nd Projection)	-0.065	0.146
10 (3rd Projection)	-0.061	0.074
15 (1st Projection)	-0.127	0.157
15 (2nd Projection)	-0.106	0.109
15 (3rd Projection)	-0.105	0.124
20 (1st Projection)	-0.113	0.061
20 (2nd Projection)	-0.077	0.123
20 (3rd Projection)	-0.122	0.113

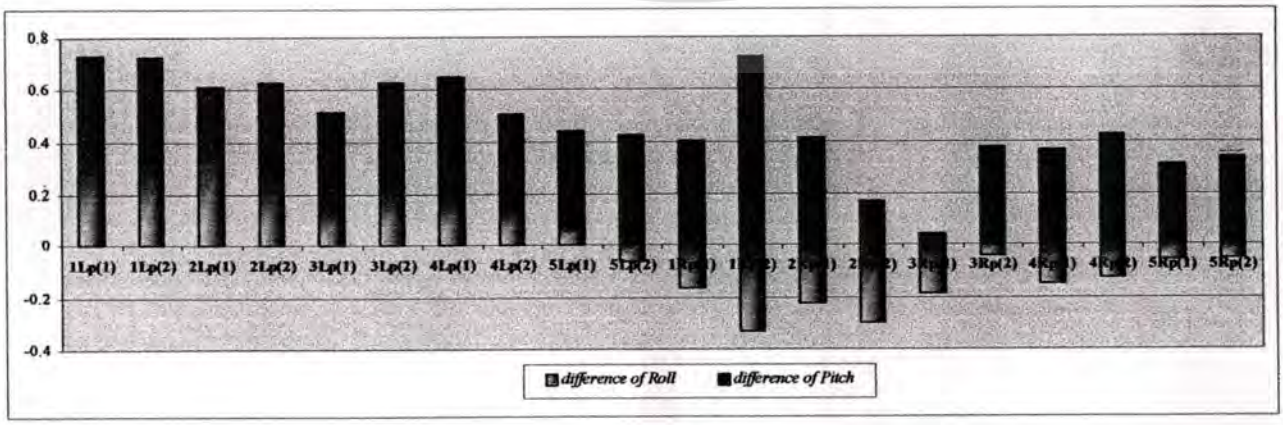


Fig. 3 Sampling $\Delta Roll$ and $\Delta Pitch$ obtained from projecting onto two suspensions for each specified target.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

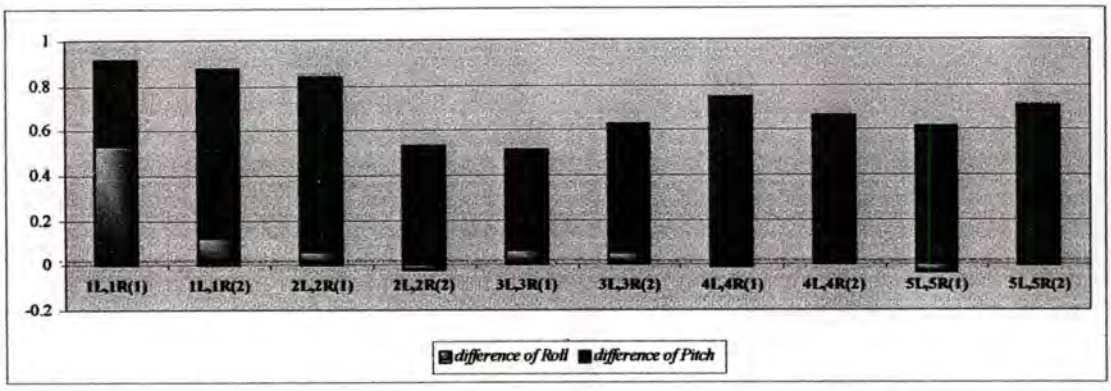


Fig. 4 Sampling $\Delta Roll$ and $\Delta Pitch$ obtained from projecting onto two suspensions for each specified target.

From Table 2, the relationship between $\Delta Roll$ and n_r can be expressed using the straight-line and quadratic regression models according to Eq. (3) and Eq. (11), respectively, given that $\Delta Roll$ is the predictor variable y and n_r is the response variable x. The regression models can be written as follows.

Straight-line regression model for roll direction:

$$\Delta Roll = -0.0056n_r - 0.0069$$

when $R^2 = 0.8419$

Quadratic regression model for roll direction:

$$\Delta Roll = 0.0002n_r^2 - 0.0101n_r + 0.0067$$

when $R^2 = 0.8782$

The relationships between $\Delta Roll$ and n_r without using regression analysis can be stated as the straight-line equation, that is,

$$\Delta Roll = a_r n_r + b_r \qquad (17)$$

where a_r and b_r are the slope and the intercept of the straight line, respectively. The values of a_r and b_r can be calculated from any two coordinates (x_{1j}, y_{1j}) and (x_{2j}, y_{2j}).
Given that
k is the collection of number of projections
$j = 1, 2, \ldots, k\text{-}1$
x_{2j} is the number of projections
y_{2j} is the average of $\Delta Roll$'s magnitudes

From Table 2, $k = 5$, the first straight-line equation is computed from following two coordinates,

$$x_{11} = 0, y_{11} = 0 \Rightarrow (x_{11}, y_{11}) = (0,0)$$

$$x_{21} = 1, y_{21} = \frac{0 + 0.022 + 0.001}{3} \Rightarrow (x_{21}, y_{21}) = (1, 0.008)$$

The second straight-line equation is calculated from following two coordinates,

$$x_{12} = x_{21} = 1, y_{12} = y_{21} = 0.008 \Rightarrow (x_{12}, y_{12}) = (1, 0.008)$$

$$x_{22} = 5, y_{22} = \frac{0.030 + 0.026 + 0.045}{3} \Rightarrow (x_{22}, y_{22}) = (5, 0.034)$$

Similarly, the third and fourth straight-line equations are calculated from the coordinates, (5,0.034), (10,0.079), and (10,0.079), (15,0.013), respectively. Table 3 gives the relationships between $\Delta Roll$ and n_r without using regression model.

Table 3 Relationship between $\Delta Roll$ and n_r without using regression model.

Range of $\Delta Roll$	Straight-line equation
$0 < \Delta Roll < 0.008$	$\Delta Roll = 0.008n_r$
$0.009 < \Delta Roll < 0.034$	$\Delta Roll = 0.0065n_r + 0.0015$
$0.035 < \Delta Roll < 0.079$	$\Delta Roll = 0.009n_r - 0.011$
$0.080 < \Delta Roll < 0.113$	$\Delta Roll = 0.0068n_r + 0.011$

The procedure to obtain the regression model representing the relationship between predictor variable $\Delta Pitch$ and n_p starts by simultaneously projecting the laser beam on both left and right sides (for example, projecting 1L and 1R at once) onto two suspensions for each pair of specified targets. The sampling $\Delta Roll$ and $\Delta Pitch$ are then displayed in Fig 4, where (1) and (2) refer to the first and second projection onto the suspension, respectively.

Table 4 Sampling experiment to evaluate the effects of the number of laser beam projections.

Number of Projections	$\Delta Roll$	$\Delta Pitch$
1 (1st Projection)	-0.010	-0.076
1 (2nd Projection)	0.004	-0.100
1 (3rd Projection)	-0.006	-0.089
5 (1st Projection)	0.001	-0.302
5 (2nd Projection)	0.000	-0.292
5 (3rd Projection)	-0.006	-0.290
10 (1st Projection)	-0.043	-0.501
10 (2nd Projection)	-0.008	-0.496
10 (3rd Projection)	0.074	-0.496
15 (1st Projection)	-0.033	-0.785
15 (2nd Projection)	0.072	-0.759
15 (3rd Projection)	0.050	-0.786
20 (1st Projection)	0.032	-0.998
20 (2nd Projection)	-0.007	-0.980
20 (3rd Projection)	0.036	-0.985

In order to determine the most appropriate area for pitch adjustment, the target must have low $\Delta Roll$ (since roll

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

direction is already adjusted) and high $\Delta Pitch$. From Fig. 4, three targets, (3L, 3R), (4L, 4R), and (5L, 5R) (see Fig. 2) are chosen as the proper areas for the laser beam projection in order to adjust the pitch direction. The sampling experiment is further performed as given in Table 4 to evaluate the effects of the number of laser beam projections on the adjustment of roll and pitch directions. First, the laser beam is aimed at the target (3Lp, 3Rp). Then the distances along both ordinates is decreased 10μm each time for, if any, the next projection.

From Table 4, the relationship between $\Delta Pitch$ and n_p can be expressed using the straight-line and quadratic regression models according to Eq. (3) and Eq. (11), respectively, given that $\Delta Pitch$ is the predictor variable y and n_p is the response variable x. The regression models can be written as follows.

Straight-line regression model for pitch direction:

$$\Delta Pitch = -0.0475n_p - 0.0445$$

when $R^2 = 0.9973$

Quadratic regression model for pitch direciton:

$$\Delta Pitch = 0.00002n_p^2 - 0.048n_p - 0.0429$$

when $R^2 = 0.9973$

The relationships between $\Delta Pitch$ and n_p without using regression analysis can be stated as the straight-line equation, that is,

$$\Delta Pitch = a_p n_p + b_p \qquad (18)$$

where a_p and b_p are the slope and the intercept of the straight line, respectively. The a_p and b_p calculation procedures are similar to the a_r and b_r calculations. From Table 4, the relationships between $\Delta Pitch$ and n_p without using regression model are summarized in Table 5.

Table 5 Relationship between $\Delta Pitch$ and n_p without using regression model.

Range of $\Delta Pitch$	Straight-line equation
$0 < \Delta Pitch < 0.088$	$\Delta Pitch = 0.088n_p$
$0.089 < \Delta Pitch < 0.294$	$\Delta Pitch = 0.0515n_p + 0.0365$
$0.295 < \Delta Pitch < 0.497$	$\Delta Pitch = 0.0406n_p + 0.091$
$0.498 < \Delta Pitch < 0.776$	$\Delta Pitch = 0.0558n_p - 0.061$

Fig. 5 illustrates the roll and pitch adjustments of the suspension using the laser processing. In the experiment, the laser processing is performed automatically using the program written in Visual Basic. The procedure for each regression function (straight-line function or quadratic function) can be explained as follows (see Fig. 6)

(1) specify the parameters of the suspension which are
- Roll's mean target
- Pitch's mean target
- Roll's standard deviation
- Pitch's standard deviation
- Regression model for roll direction
- Regression model for pitch direction
- Sampling number (N_s)

(a) Before laser processing

(b) After laser processing

Fig. 5 Examples of roll and pitch adjustments.

(2) measure roll and pitch directions of the suspension before projecting and record in the database
(3) calculate $\Delta Roll$ to estimate the number of laser beam projecting (n_r) using the Roll's regression model. Also record n_r in the database
(4) project the laser beam to adjust the roll direction
(5) measure roll and pitch directions of the suspension after projecting and record in the database
(6) calculate $\Delta Pitch$ to forecast the number of laser beam projection (n_p) using the Pitch's regression model. Also record n_p into the database
(7) project the laser beam to adjust the pitch direction
(8) measure roll and pitch directions of the suspension and record in the database
(9) use data from (8) to calculate mean and standard deviation
(10) verify whether mean and standard deviation calculated in (9) is within the acceptable ranges. If yes, the regression model is unchanged. Otherwise, find the new regression model

4. RESULTS

At KR. Precision Public Company Limited, Thailand, the experiment was implemented using the following parameters
- Roll's mean target = 0.5 ± 0.05
- Pitch's mean target = 0.2 ± 0.075
- Roll's standard deviation = 0.08
- Pitch's standard deviation = 0.1
- Straight-line regression models for roll and pitch directions

$\Delta Roll = -0.0056n_r - 0.0069$

$\Delta Pitch = -0.0475n_p - 0.0445$

- Quadratic regression model for roll and pitch directions

$\Delta Roll = 0.0002n_r^2 - 0.0101n_r + 0.0067$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

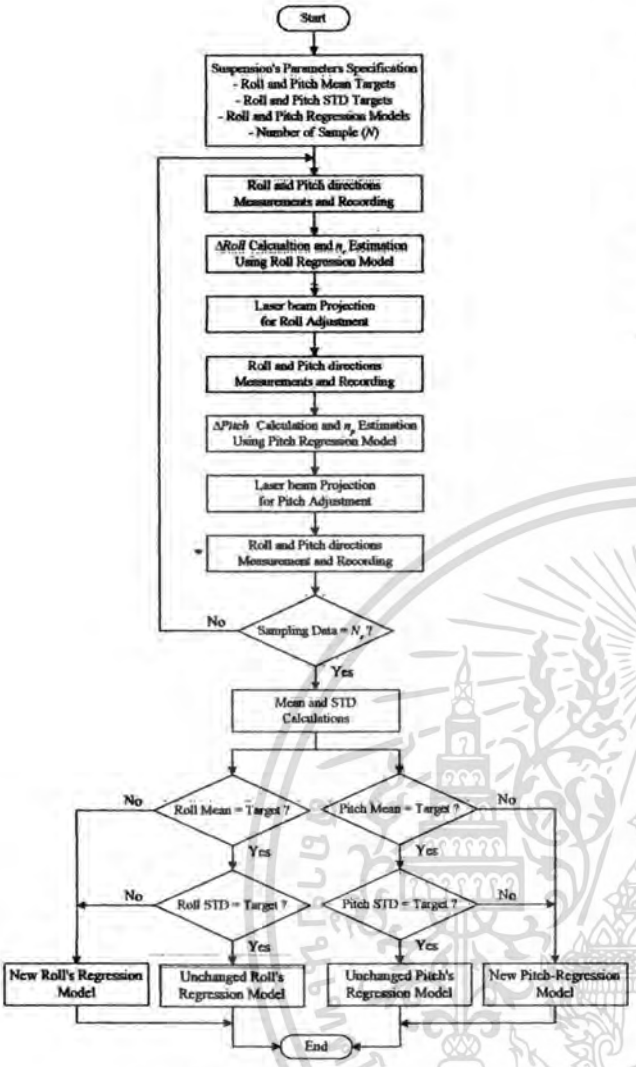


Fig. 6 Flowchart of laser processing.

$$\Delta Pitch = (-0.000021)n_p^2 + 0.026776n_p + 0.058799$$

- Sampling number = 90

The experiment was conducted in 3 approaches, with straight-line regression model, quadratic regression model, and without using regression model. The efficiency of each approach was measured using the manufacturing yield as the criteria. When randomly selecting the area for laser beam projection, the manufacturing yields are summarized in Table 6. The percent increases in the manufacturing yield are 5.64% and 17.68% based on the use of straight-line regression model and quadratic regression model, respectively.

Table 6 Experimental Results.

Experimental approach	Manufacturing yield
Using straight-line regression model	87.64%
Using quadratic regression model	96.5%
Without using regression model	82%

The experimental results show that using the regression model to help estimate the number of laser beam projections can significantly increase the manufacturing yield. The information derived from the quadratic function can help improve manufacturing yield compared with those obtained from the straight-line function.

5. CONCLUSION

This paper has described the use of laser process to adjust the roll and pitch directions of the flex suspension assembly in a disk drive production. The number of the laser beam projections is the important factor that has the impact on the roll and pitch directions. Therefore, the application of regression analysis is recommended to estimate the number of the laser beam projections. The experimental results demonstrating the improving manufacturing yield is obtained. Not only can this proposed technique significantly improve the manufacturing yield, it can also increase some economic benefits.

REFERENCES

[1] N. Sugawara, S. Sakai, S. Terada, A. Matsuzono, H. Ohmori, T. Sone, and K. Fukumoto, "High Frequency Recording Head for HDD Over 300 MHz", *IEEE. Trans. on Magnetics*, Vol. 36, No. 5, pp. 2533-2535, 2000.

[2] J-H. Yoon, H. Yang, N-C. Park, and Y-P. Park, "Design, dynamic analysis and control of milliactuator embedded suspension for dual-stage actuator system in hard disk drives", *Digest of the Asia-Pacific Magnetic Recording Conference*, pp. WE-P-05-01-WE-P-05-02, 2002.

[3] G. K. Lau, H. Du, and L. Pan, "Optimal Design of Suspensions for High-Density Magnetic Recording Systems", *IEEE. Trans. on Magnetics*, Vol. 38, No. 5, pp. 2165-2167, 2002.

[4] S. Arya, Y-S. Lee; W-M. Lu, M. Staudenmann, and M. Hatchett, "Piezo-based milliactuator on a partially etched suspension", *IEEE. Trans. on Magnetics*, Vol. 37, No. 2, pp. 934-939, March 2001.

[5] V. Thaveeprungsriporn, K. Sittipongpanich, P. Imoeb, and M. Chayapancha, "Enhancing Suspension Performance with 3-Ply Laminated Load Beam", *Digest of 2002 the Asia-Pacific Magnetic Recording Conference*, pp. TU-P-22-01 – TU-P-22-01, 2002.

[6] Singh, G.P.; Wu, X.Z.; Brown, B.R.; Kozlovsky, W. "Laser gram load adjust for improved disk drive performance", *IEEE Transactions Magnetics*, Vol. 37, Issue: 2, March, pp. 959-963, 2001

[7] Zar, Jerrold H., *Biostatistical Analysis*. 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1996.

[8] Z. Zhang and C.L. Tan, "Straightening Warped Text Lines Using Polynomial Regression", *Proc. of 2002 International Conference on Image Processing*, Vol. 3, pp. 977-980, 2002.

[9] Draper, N. R. and Smith, H., *Applied Regression Analysis*, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1981.

[10] Flanklin A. Graybill, Hariharan K. Iyer, *Regression Analysis Concepts and Applications*, Duxbury Press, Wadsworth, Inc. 1994

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้