

เทคนิคการควบคุมแบบดิจิทัลสำหรับติดตามคอนทัวร์ 3 มิติ

นาย ธเนศ เรืองธุระกิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2538

ISBN 974-632-911-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16754451

**A DIGITAL CONTROL TECHNIQUE FOR 3D CONTOUR TRACKING**



**Mr. Tanes Ruangturakit**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements**

**for the Degree of Master of Engineering**

**Department of Mechanical Engineering**

**Graduate School**

**Chulalongkorn University**

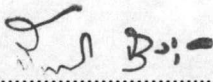
**1995**

**ISBN 974-632-911-1**

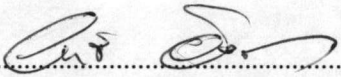
หัวข้อวิทยานิพนธ์      เทคนิคการควบคุมแบบดิจิทัลสำหรับติดตามคอนทัวร์ 3 มิติ  
โดย                              นาย ธเนศ เรืองฤทธิ์กิจ  
ภาควิชา                         วิศวกรรมเครื่องกล  
อาจารย์ที่ปรึกษา              รองศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ

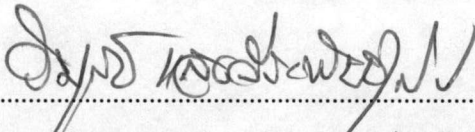
---

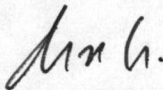
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
( รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ฤงสุวรรณ )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
( ศาสตราจารย์ ดร. วรสิทธิ์ อึ้งภากรณ์ )

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( รองศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ )

  
..... กรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ ดร. อธิพล ปานงาม )

  
..... กรรมการ  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ )

## พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ธเนศ เรืองฤทธิ์กิจ : เทคนิคการควบคุมแบบดิจิทัลสำหรับติดตามคอนทัวร์ 3 มิติ (A DIGITAL

CONTROL TECHNIQUE FOR 3D CONTOUR TRACKING)

อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ ,122 หน้า. ISBN 974-632-911-1

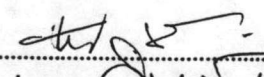
การวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการนำทฤษฎีการควบคุมแบบดิจิทัล มาใช้กับโต๊ะเคลื่อนที่ในระบบคาคิเซียน และใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุม โดยเพิ่มส่วนเคลื่อนที่ในแนวแกน z และมีอุปกรณ์วัดแบบเลเซอร์ที่มีความละเอียดสูง เพื่อทำการติดตามคอนทัวร์ของชิ้นงานโดยใช้รูปแบบการเคลื่อนที่ในแนวแกน x และ y ที่สร้างขึ้นในรูปแบบต่าง ๆ ด้วยความเร็วที่กำหนด การเคลื่อนที่ในแนวแกน z จะควบคุมระยะห่างระหว่างหัววัดกับผิวของชิ้นงานให้คงที่ ซึ่งทำให้ได้ตำแหน่งของชิ้นงานในลักษณะ 3 มิติ ข้อมูลนี้สามารถนำไปสร้างชิ้นงานที่มีรูปร่างและขนาดใกล้เคียงกันได้

จากการทดลองการเคลื่อนที่รูปแบบพื้นฐานของแกนต่าง ๆ เมื่อเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 10 มิลลิเมตรต่อวินาที พบว่าค่าผิดพลาดในแนวแกน x และ y มีค่า 0.53 มิลลิเมตร และ 0.47 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนแนวแกน z เมื่อเคลื่อนที่ในรูปแบบคลื่นไซน์ มีค่าผิดพลาดไม่เกิน 0.3 มิลลิเมตร และในการทดลองการเก็บข้อมูลตำแหน่งของชิ้นงานจริง พบว่าค่าผิดพลาดของแนวแกน z มีค่าสูงสุดประมาณ 0.6 มิลลิเมตร และการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำจะทำให้ค่าผิดพลาดน้อยกว่าการเคลื่อนที่ที่ความเร็วสูง นอกจากนี้ค่าผิดพลาดยังเนื่องมาจากข้อจำกัดของอุปกรณ์วัดแบบเลเซอร์ และค่าผิดพลาดในแกน x และ y เกิดจากค่าแบคแลชในแต่ละแกนของชุดเฟืองทด ส่วนค่าผิดพลาดในแกน z นั้นเกี่ยวข้องกับระดับของโต๊ะทดลอง

ภาควิชา ..... วิศวกรรมเครื่องกล.....

สาขาวิชา ..... วิศวกรรมเครื่องกล.....

ปีการศึกษา ..... 2538.....

ลายมือชื่อนิสิต 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## C415784 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING  
KEY WORD: DIGITAL CONTROL / CONTOUR / TRACKING

TANES RUANGTURAKIT : A DIGITAL CONTROL TECHNIQUE FOR 3D CONTOUR  
TRACKING. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. VIBOON SANGVERAPHUNSIRI,  
Ph.D. 122 pp. ISBN 974-632-911-1

A digital control technique is used for designing a digital controller for the xyz table. A high resolution laser device is used to track the contour of surfaces in z-direction by keeping a constant distance between the laser device and the surface of the scanned parts. Various scanning patterns are generated for a movement in x and y direction at specified velocity. The coordinates of measured surface can be used for regenerating the surface with similar shape and size.

From the studies of basic scanning patterns at the velocity of 10 mm/s., the results show the error of 0.53 mm. and 0.47 mm. in x and y direction, respectively. The error of the measurement of the sine wave contour in z-direction is found to be 0.3 mm. However, the maximum error in z-direction tracking of the specimen is 0.6 mm. Furthermore, the higher the scanning velocity , the greater the error. The error is also due to the limitation of a laser device. In addition, the main errors in x and y directions also come from the backlash of each direction gear box while the error in the z-direction is from the level of the table.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล  
ปีการศึกษา..... 2538

ลายมือชื่อ.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ  
รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำ  
อุปกรณ์และข้อคิดเห็นในด้านต่าง ๆ ของการวิจัยด้วยดีมาโดยตลอด เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ได้รับ  
ทุนบางส่วนมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา  
 ณ ที่นี้ด้วย และขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนช่วยเหลืองานวิจัยครั้งนี้ทุกท่าน

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ผู้ที่ให้การศึกษาสนับสนุนด้านการ  
เงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ธเนศ เวียงธวัชกิจ



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ง
กิตติกรรมประกาศ .....	จ
สารบัญตาราง .....	ฉ
สารบัญภาพ .....	ช
บทที่	
1. บทนำ .....	1
2. ระบบควบคุมแบบดิจิทัล .....	4
3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของชุดเคลื่อนที่ .....	17
4. การสร้างทางเดินสำหรับเครื่องติดตามคอนทัวร์ .....	35
5. ผลการทดลอง .....	44
6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	87
รายการอ้างอิง .....	90
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก .....	92
ภาคผนวก ข .....	100
ภาคผนวก ค .....	102
ภาคผนวก ง .....	105
ภาคผนวก จ .....	109
ภาคผนวก ฉ .....	111
ภาคผนวก ช .....	113
ประวัติผู้เขียน .....	122

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
1.1 แสดงค่าผิดพลาดของตำแหน่งที่ความเร็วต่าง ๆ สำหรับภาระ 10 กิโลกรัม	2
5.1 ค่าผิดพลาดของตำแหน่งและความเร็วของแกน x	47
5.2 ค่าผิดพลาดของตำแหน่งและความเร็วของแกน y	50
5.3 ค่าผิดพลาดของตำแหน่งและความเร็วของแกน z	54
5.4 ค่าผิดพลาดของตำแหน่งและความเร็วของแกน x สำหรับทางเดินแบบสไปลน์	57
5.5 ค่าผิดพลาดของตำแหน่งและความเร็วของแกน y สำหรับทางเดินแบบสไปลน์	61
5.6 ค่าผิดพลาดของตำแหน่งและความเร็วของแกน z สำหรับทางเดินแบบสไปลน์	64
5.7 ค่าผิดพลาดของตำแหน่งและความเร็วของแกน x ,y สำหรับทางเดินแบบหักมุม	69
5.8 ค่าผิดพลาดของตำแหน่งและความเร็วของแกน x ,y สำหรับทางเดินแบบวงกลม	72
5.9 ค่าผิดพลาดของตำแหน่งและความเร็วของแกน z สำหรับทางเดินแบบ sine wave	75
5.10 ค่าผิดพลาดของตำแหน่งสำหรับทางเดินแบบทิศทางเดียวที่ความเร็วต่าง ๆ	80
5.11 ค่าผิดพลาดของตำแหน่งสำหรับทางเดินแบบไป-กลับ ที่ความเร็วต่าง ๆ	83
5.12 ค่าผิดพลาดของตำแหน่งสำหรับทางเดินแบบวงกลม ที่ความเร็วต่าง ๆ	85
ข.1 ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์เลเซอร์	101
ค.1 ข้อมูลจำเพาะของมอเตอร์ขับเคลื่อนแนวแกน x, y	103
ค.2 ข้อมูลจำเพาะของมอเตอร์ขับเคลื่อนแนวแกน z	104



## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้าที่
2.1(ก) แสดงสัญญาณแบบอนาลอก .....	5
2.1(ข) แสดงสัญญาณแบบอนาลอกที่ถูกจัดขนาดแล้ว .....	5
2.1(ค) แสดงสัญญาณข้อมูลสุ่ม .....	5
2.1(ง) แสดงสัญญาณแบบดิจิตอล .....	5
2.2 แผนภูมิของระบบควบคุม .....	6
2.3(ก) รากสมการที่ความถี่เดียวกัน .....	8
2.3(ข) รากสมการที่เวลาคงที่ $1/a$ .....	8
2.4 ผลตอบสนองอิสระของรากสมการที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในวงกลม 1 หน่วย .....	10
2.5(ก) สัญญาณพัลส์ขนาดหนึ่งหน่วยที่ป้อนให้ zoh .....	11
2.5(ข) สัญญาณตอบสนองของ zoh .....	11
2.6 ผลตอบสนองแบบเดคิมัทกับสัญญาณเข้าแบบยูนิตสเตป .....	12
2.7 ระบบควบคุมแบบดิจิตอล .....	12
3.1 แผนภาพอิสระ ของชุดเคลื่อนที่แกน $x, y$ .....	17
3.2 แผนภาพอิสระของมวล $M$ .....	18
3.3 แผนภาพอิสระของล้อ $A$ .....	18
3.4 แผนภาพอิสระของชุดเคลื่อนที่แกน $z$ ขณะเคลื่อนที่ขึ้น .....	20
3.5 แผนภาพอิสระของชุดเคลื่อนที่แกน $z$ ขณะเคลื่อนที่ลง .....	21
3.6 แผนภูมิระบบควบคุมแนวแกน $x$ และ $y$ .....	22
3.7 แผนภูมิระบบควบคุมแนวแกน $z$ .....	22
3.8 ตำแหน่งตามทางเดินแบบวงกลมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แกน $x$ และ $y$ .....	29
3.9 ค่าผิดพลาดของตำแหน่งตามทางเดินแบบวงกลม ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แกน $x$ และ $y$ .....	29
3.10 ความเร็วตามทางเดินแบบวงกลมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แกน $x$ และ $y$ .....	30

## สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้าที่
3.11	ความเร็วตามทางเดินแบบวงกลมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	30
3.12	ค่าผิดพลาดของความเร็วตามทางเดินแบบวงกลม ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แกน x	31
3.13	ค่าผิดพลาดของความเร็วตามทางเดินแบบวงกลม ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แกน y	31
3.14	ตำแหน่งตามทางเดินแบบ sine ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แกน z	32
3.15	ค่าผิดพลาดของตำแหน่งตามทางเดินแบบ sine ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แกน z	33
3.16	ความเร็วตามทางเดินแบบ sine ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แกน z	33
3.17	ค่าผิดพลาดของความเร็วตามทางเดินแบบ sine ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แกน z	34
4.1	กราฟแสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน x เทียบกับเวลา	35
4.2	กราฟแสดงการเคลื่อนที่ของแกน x และ y ด้วยความเร็ว $V$	36
4.3	กราฟแสดงการเคลื่อนที่แบบไม่มีช่วงความเร็วคงที่ (ก) แสดงระยะทางที่เคลื่อนที่กับเวลา (ข) แสดงความเร็วในการเคลื่อนที่กับเวลา (ค) แสดงความเร่งในการเคลื่อนที่กับเวลา	38
4.4	กราฟแสดงการเคลื่อนที่แบบไม่มีช่วงความเร็วคงที่ (ก) แสดงระยะทางที่เคลื่อนที่ กับ เวลา (ข) แสดงความเร็วในการเคลื่อนที่ กับ เวลา (ค) แสดงความเร่งในการเคลื่อนที่ กับ เวลา	40
4.5	กราฟแสดงการแบ่งจุดสร้างแนวทางเดินแบบวงกลม	41
5.1	ตำแหน่งทางเดินแบบเส้นตรงตามแกน x ความเร็ว 10 mm/s	45
5.2	ค่าผิดพลาดของตำแหน่งทางเดินแบบเส้นตรงตามแกน x ความเร็ว 10 mm/s	45
5.3	ความเร็วทางเดินแบบเส้นตรงตามแกน x ความเร็ว 10 mm/s	46

## สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
5.4	ค่าผิดพลาดของความเร็ทางเดินแบบเส้นตรงตามแกน x ความเร็ว 10 mm/s ----- 46
5.5	ตำแหน่งทางเดินแบบเส้นตรงตามแกน y ความเร็ว 10 mm/s ----- 48
5.6	ค่าผิดพลาดของตำแหน่งทางเดินแบบเส้นตรงตามแกน y ความเร็ว 10 mm/s ----- 48
5.7	ความเร็วตามทางเดินแบบเส้นตรงแกน y ความเร็ว 10 mm/s ----- 49
5.8	ค่าผิดพลาดของความเร็ตามทางเดินแบบเส้นตรงตามแกน y ความเร็ว 10 mm/s ----- 49
5.9	ตำแหน่งทางเดินแบบเส้นตรงตามแกน z ความเร็ว 5 mm/s ----- 51
5.10	ค่าผิดพลาดของตำแหน่งทางเดินแบบเส้นตรงตามแกน z ความเร็ว 5 mm/s ----- 52
5.11	ความเร็วตามทางเดินแบบเส้นตรงแกน z ความเร็ว 5 mm/s ----- 52
5.12	ค่าผิดพลาดของความเร็ตามทางเดินแบบเส้นตรงตามแกน z ความเร็ว 5 mm/s ----- 53
5.13	ตำแหน่งทางเดินแบบสไปลน์แกน x ความเร็วช่วงคงที่เท่ากับ 10 mm/s ----- 55
5.14	ค่าผิดพลาดของตำแหน่งทางเดินแบบสไปลน์แกน x ความเร็วช่วงคงที่เท่ากับ 10 mm/s ----- 55
5.15	ความเร็วตามทางเดินแบบสไปลน์แกน x ความเร็วช่วงคงที่เท่ากับ 10 mm/s ----- 56
5.16	ค่าผิดพลาดของความเร็ตามทางเดินแบบสไปลน์แกน x ความเร็วช่วงคงที่เท่ากับ 10 mm/s ----- 56
5.17	ตำแหน่งทางเดินแบบสไปลน์ตามแกน y ความเร็ว 10 mm/s ----- 58
5.18	ค่าผิดพลาดของตำแหน่งทางเดินแบบสไปลน์ตามแกน y ความเร็ว 10 mm/s ----- 59
5.19	ความเร็วตามทางเดินแบบสไปลน์แกน y ความเร็ว 10 mm/s ----- 59

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
5.20	ค่าผิดพลาดของความเร็วตามทางเดินแบบสไปลน์แกน y ความเร็ว 10 mm/s ----- 60
5.21	ตำแหน่งทางเดินแบบสไปลน์ตามแกน z ความเร็ว 5 mm/s ----- 61
5.22	ค่าผิดพลาดของตำแหน่งทางเดินแบบสไปลน์ตามแกน z ความเร็ว 5 mm/s ----- 62
5.23	ความเร็วตามทางเดินแบบสไปลน์แกน z ความเร็ว 5 mm/s ----- 62
5.24	ค่าผิดพลาดของความเร็วตามทางเดินแบบสไปลน์แกน z ความเร็ว 5 mm/s ----- 63
5.25	ตำแหน่งตามทางเดินแบบหักมุม แกน x และ y ----- 65
5.26	ค่าผิดพลาดของตำแหน่งตามทางเดินแบบหักมุม แกน x และ y ----- 66
5.27	ความเร็วตามทางเดินแบบหักมุมแกน x และ y ----- 66
5.28	ความเร็วตามทางเดินแบบหักมุม ----- 67
5.29	ค่าผิดพลาดของความเร็วตามทางเดินแบบหักมุมแกน x ----- 67
5.30	ค่าผิดพลาดของความเร็วตามทางเดินแบบหักมุมแกน y ----- 68
5.31	ตำแหน่งตามทางเดินแบบวงกลมแกน x และ y ----- 69
5.32	ค่าผิดพลาดของตำแหน่งตามทางเดินแบบวงกลมแกน x และ y ----- 70
5.33	ความเร็วตามทางเดินแบบวงกลมแกน x และ y ----- 70
5.34	ความเร็วตามทางเดินแบบวงกลม ----- 71
5.35	ค่าผิดพลาดของความเร็วตามทางเดินแบบวงกลมแกน x ----- 71
5.36	ค่าผิดพลาดของความเร็วตามทางเดินแบบวงกลมแกน y ----- 72
5.37	ตำแหน่งตามทางเดินแบบ sine แกน z ----- 73
5.38	ค่าผิดพลาดของตำแหน่งตามทางเดินแบบ sine แกน z ----- 74
5.39	ความเร็วตามทางเดินแบบ sine แกน z ----- 74
5.40	ค่าผิดพลาดของความเร็วตามทางเดินแบบ sine แกน z ----- 75
5.41	ชิ้นงานทดสอบ ----- 76
5.42	รูปแบบการเคลื่อนที่แบบทิศทางเดียว ----- 77
5.43	ตำแหน่งของแกน y,z ของชิ้นงานชิ้นที่ 1 ในการเคลื่อนที่แบบทิศทางเดียว ----- 78

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
5.44	ค่าจากเลเซอร์ของชิ้นงานชั้นที่ 1 ในการเคลื่อนที่แบบทิศทางเดียว ..... 78
5.45	ตำแหน่งของแกน y,z ของชิ้นงานชั้นที่ 2 ในการเคลื่อนที่แบบทิศทางเดียว .. 79
5.46	ค่าจากเลเซอร์ของชิ้นงานชั้นที่ 2 ในการเคลื่อนที่แบบทิศทางเดียว ..... 79
5.47	รูปแบบการเคลื่อนที่แบบไปกลับ ..... 80
5.48	ตำแหน่งของแกน y,z ของชิ้นงานชั้นที่ 1 ในการเคลื่อนที่แบบไป-กลับ ..... 81
5.49	ค่าจากเลเซอร์ของชิ้นงานชั้นที่ 1 ในการเคลื่อนที่แบบไป-กลับ ..... 81
5.50	ตำแหน่งของแกน y,z ของชิ้นงานชั้นที่ 2 ในการเคลื่อนที่แบบไป-กลับ ..... 82
5.51	ค่าจากเลเซอร์ของชิ้นงานชั้นที่ 2 ในการเคลื่อนที่แบบไป-กลับ ..... 82
5.52	รูปแบบการเคลื่อนที่แบบวงกลม ..... 83
5.53	ตำแหน่งของชิ้นงานชั้นที่ 2 ในการเคลื่อนที่แบบวงกลม ..... 84
5.54	ค่าจากเลเซอร์ของชิ้นงานชั้นที่ 2 ในการเคลื่อนที่แบบวงกลม ..... 84
ก.1	แผนภูมิของระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรง ..... 92
ก.2	แสดงวงจรแบบแรงดันป้อนกลับขั้วเซอร์โวมอเตอร์ ..... 93
ก.3	แสดงแผนภูมิของระบบควบคุมมอเตอร์แบบแรงดันป้อนกลับ ..... 94
ก.4	วงจรแอมพลิไฟเออร์ขั้วเซอร์โวมอเตอร์แบบกระแสป้อนกลับ ..... 96
ก.5	แผนภูมิของระบบควบคุมมอเตอร์แบบกระแสป้อนกลับ ..... 96
ค.1	แผนภูมิของมอเตอร์กระแสตรง ..... 102
จ.1	ขนาดของบอลสกรู ..... 109
ฉ.1	แสดงภาพของโต๊ะเคลื่อนที่ ..... 111
ฉ.2	แสดงชุดเคลื่อนที่ในแนวแกน z ..... 111
ฉ.3	แสดงอุปกรณ์วัดแบบเลเซอร์ขณะวัดชิ้นงาน ..... 112
ช.1	ตำแหน่งแกน y, z ของชิ้นงานชั้นที่ 1 ทางเดินแบบทิศทางเดียว ..... 113
ช.2	ค่าจากเลเซอร์ของชิ้นงานชั้นที่ 1 ทางเดินแบบทิศทางเดียว ที่ 5 mm/s ..... 113
ช.3	ค่าจากเลเซอร์ของชิ้นงานชั้นที่ 1 ทางเดินแบบทิศทางเดียว ที่ 10 mm/s ..... 114
ช.4	ตำแหน่งแกน y, z ของชิ้นงานชั้นที่ 1 ทางเดินแบบไปกลับ ..... 114
ช.5	ค่าจากเลเซอร์ของชิ้นงานชั้นที่ 1 ทางเดินแบบไปกลับ ที่ 5 mm/s ..... 115
ช.6	ค่าจากเลเซอร์ของชิ้นงานชั้นที่ 1 ทางเดินแบบไปกลับ ที่ 10 mm/s ..... 115

ช.7	ตำแหน่งแกน x, y, z ของชิ้นงานชั้นที่ 1 ทางเดินแบบวงกลม	116
ช.8	ค่าจากเลเซอร์ของชิ้นงานชั้นที่ 1 ทางเดินแบบวงกลม ที่ 3 mm/s	116
ช.9	ค่าจากเลเซอร์ของชิ้นงานชั้นที่ 1 ทางเดินแบบวงกลม ที่ 5 mm/s	117
ช.10	ค่าจากเลเซอร์ของชิ้นงานชั้นที่ 1 ทางเดินแบบวงกลม ที่ 10 mm/s	117
ช.11	ตำแหน่งแกน y, z ของชิ้นงานชั้นที่ 2 ทางเดินแบบทิศทางเดียว	118
ช.12	ค่าจากเลเซอร์ของชิ้นงานชั้นที่ 2 ทางเดินแบบทิศทางเดียว ที่ 5 mm/s	118
ช.13	ค่าจากเลเซอร์ของชิ้นงานชั้นที่ 2 ทางเดินแบบทิศทางเดียว ที่ 10 mm/s	119
ช.14	ค่าจากเลเซอร์ของชิ้นงานชั้นที่ 2 ทางเดินแบบไปกลับ ที่ 5 mm/s	119
ช.15	ค่าจากเลเซอร์ของชิ้นงานชั้นที่ 2 ทางเดินแบบไปกลับ ที่ 10 mm/s	120
ช.16	ค่าจากเลเซอร์ของชิ้นงานชั้นที่ 2 ทางเดินแบบวงกลม ที่ 5 mm/s	120
ช.17	ค่าจากเลเซอร์ของชิ้นงานชั้นที่ 2 ทางเดินแบบวงกลม ที่ 10 mm/s	121