

การออกแบบและพัฒนาต้นแบบกลไก พาราแรล คิเนเมติก เบื้องต้น สำหรับงานเคลื่อนที่ 3 แกน

สุนทร วีระเดชสิกุล

TNI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2559

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A BASIC PARALLEL KINEMATIC MECHANISM FOR 3-AXIS MOVEMENT

Soontorn Weeradeachlikul

TNI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for The Degree of Master of Engineering Program in Engineering Technology

Graduate School

Thai-Nichi Institute of Technology

Academic Year 2016

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การออกแบบและพัฒนาเครื่องต้นแบบกลไก พาราแรล
คิเนมติก เบื้องต้น สำหรับงานเคลื่อนที่ แบบ 3 แกน

โดย

สุนทร วีระเดชสิกุล

สาขาวิชา

เทคโนโลยีวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราคม เนินน้อย

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิตะพล หุยนันท)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เลอเกียรติ วงศ์สารพิกุล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพล ลิ้มจิระจรัส)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราคม เนินน้อย)

สุนทร วีระเดชกุล : การออกแบบและพัฒนาต้นแบบกลไก พาราแรล คิเนเมติก เบื้องต้น
สำหรับงานเคลื่อนที่ 3 แกน อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราคม เนินน้อย,
56 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบ และสร้างต้นแบบเครื่องจักรที่มีการทำงานใน 3 มิติ ด้วยกลไก พาราแรล คิเนเมติก เพื่อศึกษาการทำงานเบื้องต้น และการพัฒนาโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของ หัวจับสำหรับทำงาน (Working Holder) เครื่องต้นแบบนี้มีแกนเคลื่อนที่แบบเส้นตรง 3 แกน ซึ่งถูกขับเคลื่อนด้วยสเต็ปมอเตอร์ (Stepping Motor) ที่มีความละเอียดในการหมุน $0.9^{\circ}/\text{Step}$ โดยหมุนขับสกรูส่งกำลัง (Power Screw) ที่มีระยะพิตช์ 4 มม. แกนเคลื่อนที่ทั้ง 3 แกนดังกล่าว ขับเคลื่อนกลไกแบบพาราแรลคิเนเมติก ทำให้หัวจับสามารถเคลื่อนที่ทำงานในปริภูมิ 3 มิติ โปรแกรม สำหรับการคำนวณ และควบคุมการทำงานได้พัฒนาบนโปรแกรม LabVIEW จากการทดสอบ การทำงานของเครื่องต้นแบบพบว่าเครื่องต้นแบบสามารถเคลื่อนที่ 3 มิติได้ โดยเครื่องมีขนาด $450 \times 450 \times 400$ มม. และมีพื้นที่ในการทำงานขนาด $60 \times 60 \times 60$ มม. การพัฒนาโปรแกรมควบคุม การเคลื่อนที่ของหัวจับ มีค่าความละเอียดในการเคลื่อนที่ที่ดีที่สุด 0.05 มม. ในการทดสอบเคลื่อนที่ ทำงานในระนาบ X-Y แบบ 2D ได้มีความถูกต้องดีกว่า 20 เปอร์เซ็นต์

บัณฑิตวิทยาลัย

สาขาวิชา เทคโนโลยีวิศวกรรม

ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

SOONTORN WEERADEACHLIKUL : DESIGN AND DEVELOPMENT OF A BASIC
PARALLEL KINEMATIC MECHANISM FOR 3-AXIS MOVEMENT. ADVISOR ASSISTANCE
PROFESSOR DR. WARAKOM NERDNOI, 56 PP.

This research is the design and build a prototype of a Parallel Kinematic Mechanism for 3-axis machine. This prototype was used to movement studies and to develop software for movement control of the working holder. The prototype has 3 linear axis which were driven by stepping motors. All motors have resolution of $0.9^\circ/\text{step}$ and direct drive the linear movement by power screw which has a pitch of 4 mm. The movements of these 3 linear-axis control the movements of working holder position of the Parallel Kinematic Mechanism. The LabVIEW program was used to calculate and control the movements of this machine. In this research, it shown that the prototype can movement in 3D space where it has machine size of 450x450x400 mm and working volume is 60x60x60 mm. The program was developed to control the movement in X-Y plan has a movement resolution of 0.05 mm and has an error of 20 %

Graduate School
Field of Engineering of Technology
Academic Year 2016

Student's Signature.....
Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้กระทำสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีอันเนื่องมาจากความกรุณาของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราคม เนติน้อย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์กรุณาสละเวลาอันมีค่าของท่าน มาให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาแนวทางและการพัฒนาในการทำวิจัยตลอดจนสอนขั้นตอนการดำเนินวิจัยตลอดการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฐิตะพล หุยนันทน์ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร) ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เลอเกียรติ วงศ์สารพิบูล (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพล ลิมจีระจรัส (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

และท้ายที่สุดขอขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่และครอบครัวที่ให้โอกาสในการศึกษาและขอบคุณเพื่อนๆ อาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งผู้ที่กล่าวนามและไม่ได้กล่าวนามใน ณ ที่นี้ผู้เขียนมีความซาบซึ้งในความกรุณาอันดีจากทุกท่านและขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

สุนทร วีระเดชสิกุล

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 แผนผังขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	4
2 หลักการพื้นฐาน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
3 ระเบียบวิธีวิจัย	12
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	12
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	15
3.3 การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล	17
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและการสรุปผล.....	19
4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	20
4.1 ผลด้านการออกแบบและสร้างเครื่องต้นกลไก พาราแรล คิเนเมติกเบื้องต้น สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน	22
4.2 ผลการพัฒนาโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวกัด.....	22

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4	4.3 ผลการศึกษาความผิดพลาดโดยเฉลี่ยของการเคลื่อนที่หัวกัท ของเครื่องต้นแบบฯ 26
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 41
	5.1 ผลการวิจัยด้านการออกแบบและสร้าง เครื่องต้นแบบกลไก พาราแรล คิเนเมติก เบื้องต้น สำหรับการเคลื่อนที่ แบบ 3 แกน..... 41
	5.2 ผลการพัฒนาโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวกัท 41
	5.3 ผลการศึกษาความผิดพลาดโดยเฉลี่ยของการเคลื่อนที่หัวกัท ของเครื่องต้นแบบ กลไก พาราแรล คิเนเมติกเบื้องต้น สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน 42
	5.4 ข้อเสนอแนะ 42
	บรรณานุกรม 43
	ภาคผนวก 45
	ภาคผนวก ก 46
	ภาคผนวก ข..... 48
	ภาคผนวก ค 51
	ภาคผนวก ง 53
	ประวัติย่อผู้วิจัย 56

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
3.1 บันทึกค่าการทดลองการใช้คำสั่งในการเคลื่อนที่ในโคออดิเนตต่าง ๆ	18
4.1 แสดงผลการทดลองการสั่งให้เคลื่อนที่แบบเดินหน้าต่อเนื่อง ครั้งที่ 1 มม.....	24
4.2 แสดงผลการทดลองการสั่งให้เคลื่อนที่แบบไปกลับ ครั้งที่ 1 มม.	25
4.3 แสดงผลการสั่งให้เคลื่อนที่เพื่อหาระยะการเคลื่อนที่ได้น้อยที่สุด	25
4.4 แสดงค่าความสูงของจุดที่วัดได้จริงโดยการจำลองการเคลื่อนที่เมื่อนำหัวกัด ไปยังตำแหน่งโดยโคออดิเนตต่าง ๆ โดยใช้ค่า Head Offset เท่ากับ 25 mm. โดยโปรแกรม Solidwork.....	27
4.5 แสดงระยะความสูงจริงของจุดวัดในแต่ละคอลัมน์ที่คำนวณได้จากโปรแกรม MatLAB โดยใช้ค่า Head Offset เท่ากับ 25 mm.....	28
4.6 แสดงการพล็อตค่าตามตำแหน่งโคออดิเนตโดยการสั่งการเคลื่อนที่ โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น โดยมีค่า Inc. = 10, Interval = 0.5, X = -30:10:30, Y = 0 และ X = 0, Y = [-30:10:30] มม.....	29
4.7 แสดงการพล็อตค่าตามตำแหน่งโคออดิเนต โดยการสั่งการเคลื่อนที่โดยโปรแกรม ที่พัฒนาขึ้น โดยมีค่า Inc. = 10, Interval = 1, X = [-30:10:30], Y = 0 และ X = 0, Y = [-30:10:30] มม.....	30
4.8 แสดงการพล็อตค่าตามตำแหน่งโคออดิเนต โดยการสั่งการเคลื่อนที่โดยโปรแกรม ที่พัฒนาขึ้น โดยมีค่า Inc. = 10, Interval = 2, X = [-30:10:30], Y = 0 และ X = 0, Y = [-30:10:30] มม.	30
4.9 แสดงการพล็อตค่าตามตำแหน่งโคออดิเนต โดยการสั่งการเคลื่อนที่โดยโปรแกรม ที่พัฒนาขึ้น โดยมีค่า Inc. = 10, Interval = 0.5, X = -30:10:30, Y = 0 และ X = 0, Y = [-30:10:30] มม.	31
4.10 แสดงการพล็อตค่าตามตำแหน่งโคออดิเนต โดยการสั่งการเคลื่อนที่โดยโปรแกรม ที่พัฒนาขึ้น โดยมีค่า Inc. = 10, Interval = 1, X = [-30:10:30], Y = 0 และ X = 0, Y = [-30:10:30] มม.....	32
4.11 แสดงการพล็อตค่าตามตำแหน่งโคออดิเนต โดยการสั่งการเคลื่อนที่โดยโปรแกรม ที่พัฒนาขึ้น โดยมีค่า Inc. = 10, Interval = 2, X = [-30:10:30], Y = 0 และ X = 0, Y = [-30:10:30] มม.	32

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.12 แสดงผลการพล็อตโคออดิเนต โดยสั่งให้เคลื่อนที่ Inc= 10 มม. Interval 0.5 มม.....	33
4.13 แสดงผลการพล็อตโคออดิเนต โดยสั่งให้เคลื่อนที่ Inc. 10 มม. Interval 1 มม.	34
4.14 แสดงผลการพล็อตโคออดิเนต โดยสั่งให้เคลื่อนที่ Inc.= 10 มม. Interval 2 มม.....	35
4.16 แสดงระยะทางของ X ในอุดมคติ ทุกชิ้นส่วนไม่มีความผิดพลาดใด.....	37
4.17 แสดงระยะทางของ X เมื่อเปลี่ยนแปลง ระยะความยาวความยาวของรูเจาะ Link 3 ให้สั้นลง 0.1 mm.	37
4.18 แสดงระยะทางของ X เมื่อเปลี่ยนแปลง ระยะความยาวความยาวของรูเจาะ Link 3 ให้สั้นลง 0.5 mm. 6	37
4.19 แสดงระยะทางของ X เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะความยาวความยาวของรูเจาะ Link 3 ให้สั้นลง 1.0 mm.....	38
4.20 แสดงระยะทางของ X เมื่อเปลี่ยนแปลง ระยะความยาวความยาวของรูเจาะ Link 4 ให้ยาวขึ้น 0.1 mm.....	38
4.21 แสดงระยะทางของ X เมื่อเปลี่ยนแปลง ระยะความยาวความยาวของรูเจาะ Link 4 ให้ยาวขึ้น 0.5 mm.....	38
4.22 แสดงระยะทางของ X เมื่อเปลี่ยนแปลง ระยะความยาวความยาวของรูเจาะ Link 4 ให้ยาวขึ้น 1.0 mm.....	39
4.23 แสดงระยะทางของ X เมื่อเปลี่ยนแปลง ระยะความยาวความยาวของรูเจาะ Link 3 ให้สั้นลง 0.1 mm. และ Link 4 ให้ยาวขึ้น 0.1 mm.....	39
4.24 แสดงระยะทางของ X เมื่อเปลี่ยนแปลง ระยะความยาวความยาวของรูเจาะ Link 3 ให้สั้นลง 0.5 mm. และ Link 4 ให้ยาวขึ้น 0.5 mm.....	39
4.25 แสดงระยะทางของ X เมื่อเปลี่ยนแปลง ระยะความยาวความยาวของรูเจาะ Link 3 ให้สั้นลง 1.0 mm. และ Link 4 ให้ยาวขึ้น 1.0 mm.....	40

สารบัญรูป

รูป	หน้า
1.1	แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... 4
2.1	แสดงลักษณะของ Parallel Kinematic Mechanism..... 5
2.2	แสดงบล็อกไดอะแกรมของการออกแบบระบบคอนโทรล..... 6
2.3	แสดงอินเทอร์เฟซ ในระบบคอนโทรล 6
2.4	แสดง Degree of freedom ของชิ้นงาน 7
2.5	แสดงถึง Determination of linear displacement of the “j” actuator 8
2.6	แสดงภาพ 3D Model ของเครื่องต้นแบบ พาราเรล คิเนเมติก 9
2.7	แสดง Free body diagram สำหรับการคำนวณหาระยะ H..... 10
3.1	แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... 14
3.2	แสดงลักษณะของเครื่อง Parallel kinematic milling machine..... 15
3.3	แสดงหน้าจอ GUI ที่พัฒนาขึ้นโดยโปรแกรม LabView..... 16
3.4	แสดง Block Diagram ของโปรแกรมควบคุมการทำงานของหัวกัด..... 16
3.5	แสดงชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองในการทำโปรแกรมสั่งให้หัวกัด เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งโคออดิเนตต่าง ๆ 17
3.6	แสดงขนาดกำหนดของชิ้นงานทดลอง 17
4.1	แสดงการออกแบบเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื้องต้น สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน Model ที่ 1..... 20
4.2	แสดงการออกแบบเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื้องต้น สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน Model ที่ 2 21
4.3	แสดง 3D Model ที่ออกแบบโดยโปรแกรม Solid Work 2012 22
4.4	แสดงเครื่องต้นแบบฯ ที่สร้างได้..... 22
4.5	แสดงหน้าจออินเตอร์เฟซ (GUI) ที่สร้างขึ้นโดยโปรแกรม LabVIEW 23
4.6	แสดงบล็อกไดอะแกรมสำหรับการสร้างโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวกัด 23
4.7	แสดงการทดสอบการเคลื่อนที่เมื่อสั่งให้ควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ ให้หมุนขับสกรูให้เกิดการเคลื่อนที่ 24
4.8	แสดงการจำลองและหาความสูงของจุดวัดในแต่ละคอลัมน์ เมื่อเคลื่อนที่หัวกัดไปยังโคออดิเนต ต่างๆ ตามที่กำหนด 26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4.9 กราฟแสดงระยะความสูงจริงของจุดวัดในแต่ละคอลัมน์ที่คำนวณได้ จากโปรแกรม MatLAB	29
4.10 แสดงวิธีการทดลองเพื่อวิเคราะห์ สาเหตุของความผิดพลาด ในการสร้างเครื่องต้นแบบ พาราเรลคิเนเมติก มิลลิ่ง แมชชีน	36
5.1 แสดงผลการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื้องต้น สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน ในโมเดลที่ 3	41
ก.1 ผลการออกแบบ Model ที่ 1.....	47
ก.2 ผลการออกแบบ Model ที่ 2.....	47
ก 3 ผลการออกแบบ Model ที่ 3.....	47
ข.1 แสดงโปรแกรมคำนวณหา ความสูงของ H_1 , H_2 และ H_3 โดยออดิเนตต่างๆ โดยใช้โปรแกรม Math Lab	49
ข.2 แสดงกราฟความสูงโดยโปรแกรม Math Lab.....	50
ค.1 Block Diagram ที่สร้างโดยโปรแกรม Lab View.....	52
ค.1 GUI Diagram ที่สร้างโดยโปรแกรม Lab View.....	52
ง.1 offset head = 25 mm. Inc. 10 Interval = 0.5.....	54
ง.2 offset head = 25 mm. Inc. 10 Interval = 1 mm	54
ง.3 offset head = 25 mm. Inc. 10 Interval = 2 mm.	55

TNI

TAHITI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตถูกพัฒนาอย่างรวดเร็วเพื่อรองรับการผลิตสินค้าจำนวนมาก และเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค เครื่องจักรนับเป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการผลิต ชิ้นส่วนต่างๆ อุตสาหกรรมจำนวนมากจึงใช้เครื่องจักรประเภท CNC (Computer Numerical control) มาใช้ในการผลิต ชิ้นส่วนที่มีความซับซ้อน เนื่องจากเครื่องจักร CNC ใช้คอมพิวเตอร์ ในการรับคำสั่งและควบคุมการทำงานของเครื่องจักร ดังนั้น เครื่องจักร CNC จึงสามารถทำงาน ได้รวดเร็วและมีความถูกต้องสูง [1] คำว่า CNC ย่อมาจาก Computerized Numerical Control เป็นเครื่องจักรกลที่มีการควบคุมการทำงานด้วยด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถจัดการกับ ข้อมูลที่ป้อนเข้าในระบบและประมวลผลข้อมูลเพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปควบคุมการทำงานของเครื่องจักร เช่น การนำเทคโนโลยี CAD/CAM เข้ามาควบคุมการทำงานของเครื่องจักร เป็นต้น ในปัจจุบัน ระบบ CNC ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในกระบวนการผลิตของกลุ่มธุรกิจอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท บทบาทที่สำคัญหลัก ๆ ของเครื่องซีเอ็นซี คือ การเพิ่มมาตรฐานของชิ้นงานและเป็นการลดต้นทุนการผลิต รวมทั้งปัญหาทางด้านแรงงาน [2] อย่างไรก็ตาม เครื่องจักรกลประเภทซีเอ็นซี ก็ต้องได้มีการพัฒนา ให้มีการตัดเฉือนวัสดุด้วยความเร็วสูงขึ้น มีรูปแบบการทำงานที่รวดเร็วและแข็งแรงขึ้น อีกทั้ง ในปัจจุบันได้มีผู้พยายามนำเสนอถึงข้อบกพร่องที่สัมพันธ์ทางโครงสร้าง คือ ความแข็ง ความสามารถในการรับภาระ (Load capacity) และความถูกต้องของการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ของ เครื่องซีเอ็นซีแบบเดิมที่ยังมีข้อบกพร่องอยู่โดยเฉพาะการเพิ่มแกนอิสระในการขึ้นรูปชิ้นงาน [3] เช่น การขึ้นรูปจาก 3 แกนเป็น 5 แกนทำได้ยาก

พาราเรล คิเนเมติก แมชชีน (Parallel Kinematic machine) ได้ถูกนำเสนอว่าเป็น โครงสร้างที่มีความแข็งแรงสูง มีความเฉื่อยต่ำ มีความสามารถในการเคลื่อนที่และมีความถูกต้องสูง สามารถเพิ่มความเป็นอิสระของแกนได้ง่ายเมื่อเทียบกับเครื่องจักรกลแบบเดิม [4], [5]. พาราเรล คิเนเมติก แมชชีน กำลังเป็นที่สนใจจำนวนมากจากนักวิชาการและวงการอุตสาหกรรม เนื่องมาจาก ความมีศักยภาพในการทำงานไม่เพียงแต่การเคลื่อนที่แบบหุ่นยนต์เท่านั้น แต่ยังรวมถึงเครื่องจักรกล ต่าง ๆ ด้วย พาราเรล คิเนเมติก แมชชีน เป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรงสูง มีความถูกต้องในการ เคลื่อนที่และมีความสามารถในการรับโหลดได้สูงในขณะที่ตัวโครงสร้างเองมีน้ำหนักเบา เมื่อกลไก ชนิดนี้ถูกนำมาทำเป็นเครื่องมือกล (Machine tool) ทำให้มีความสามารถในการผลิตชิ้นงาน ที่มีพื้นผิวและรูปร่างที่ซับซ้อน ซึ่งเป็นการยากที่จะผลิตชิ้นงานด้วยเครื่องมือกลรูปแบบเดิม [3]

ดังนั้น พาราเรล คิเนเมติก แมชชีน จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานมิลลิ่ง ที่มีความเร็วในการตัดเฉือนสูง (High Speed Cutting Milling Machine) มีรูปแบบในการเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว ทำงานได้ซับซ้อนกว่าสามารถขยายแกนการกัดได้มากกว่าเครื่องซีเอ็นซีรูปแบบเดิม

จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ พาราเรล คิเนเมติก แมชชีน แบบ 3 แกน สำหรับงานกัดซีเอ็นซีขึ้น เพื่อเป็นการพัฒนารูปแบบของการกัดด้วยระบบซีเอ็นซี เพื่อเป็นการพัฒนาโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวกัดให้เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงและเส้นโค้งบนเพลน X-Y และเพื่อเป็นการศึกษาความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของเครื่องต้นแบบฯ ที่ตำแหน่งต่าง ๆ และใช้เป็นแนวทางในการศึกษาพัฒนาเครื่องกัดซีเอ็นซีด้วยกลไกแบบพาราเรล คิเนเมติก แมชชีน ดังกล่าวอีกต่อไป

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติก เบื้องต้น สำหรับงานเคลื่อนที่ 3 แกน

2.2. เพื่อพัฒนาโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวจับ (Holder) ให้เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงบนเพลน X-Y แบบ 2D ณ ระดับที่ต้องการ

3. ผลที่จะได้รับ

3.1 ได้เครื่องต้นแบบ กลไก พาราเรล คิเนเมติก เบื้องต้น สำหรับงานเคลื่อนที่ 3 แกน จำนวน 1 เครื่อง

3.2 ได้โปรแกรมสำหรับใช้ ในการควบคุมการเคลื่อนของหัวจับให้เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงบนเพลน X-Y แบบ 2D ณ ระดับที่ต้องการ

3.3 ได้ทราบถึงค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของหัวจับที่ตำแหน่งต่างๆ

3.4 ได้ความรู้ ความคิดรวบยอดในการออกแบบ และสร้างต้นแบบ

4. ขอบเขตของการวิจัย

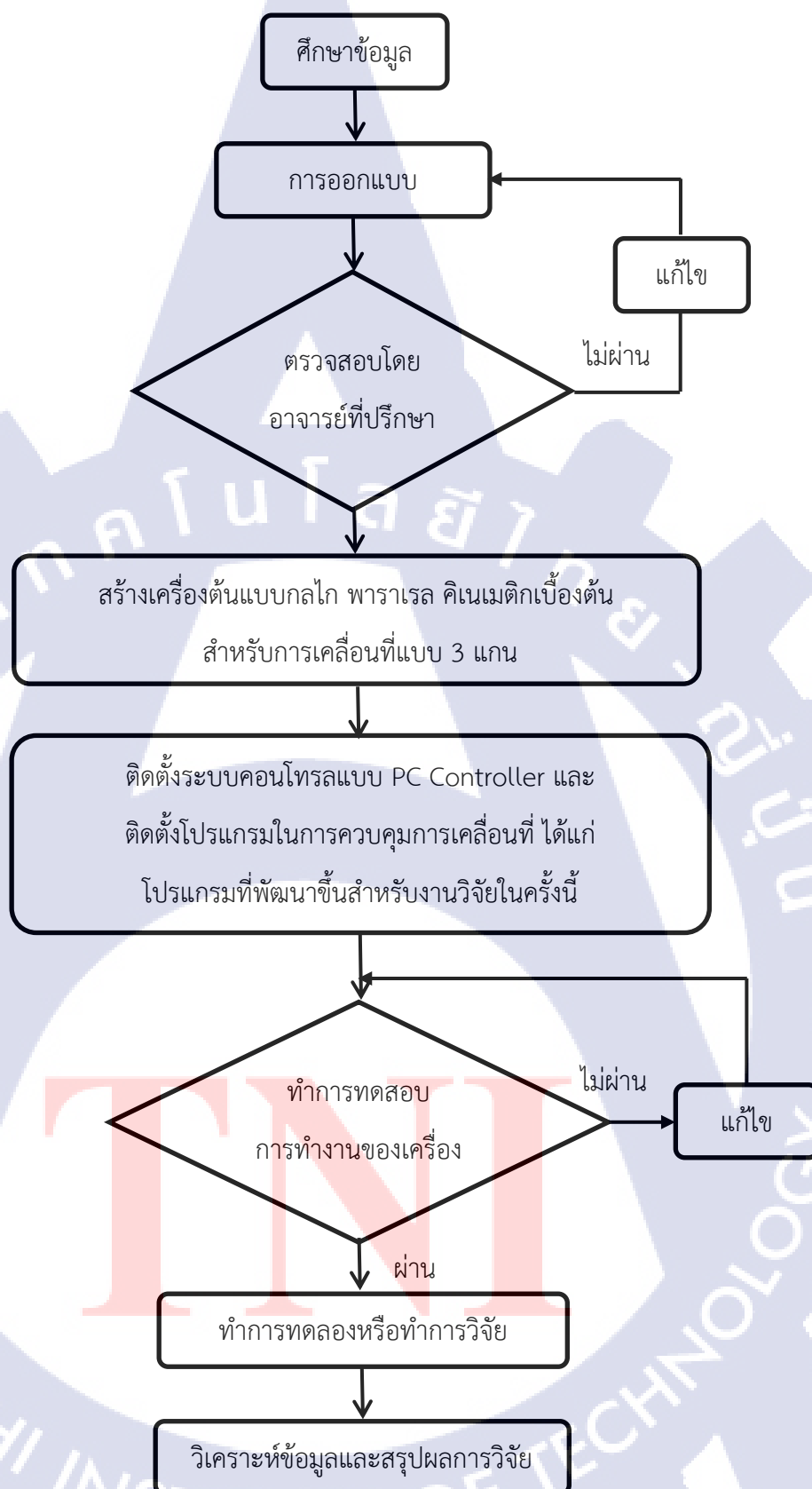
4.1 การวิจัยในครั้งนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติก เบื้องต้น สำหรับงานเคลื่อนที่ 3 แกน มีขนาดพื้นที่ทำงานได้ไม่เกิน 200x200x100 มม.

4.2 ระบบขับเคลื่อนโดยใช้สเต็ปมอเตอร์ขับเคลื่อน ใช้ภาษาที่ควบคุมการขับเคลื่อนตามมาตรฐาน จี-โค้ด (G-CODE) และ เอ็ม-โค้ด (M-CODE)

- 4.3 การโปรแกรมเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ จะควบคุมการขับเคลื่อน ตามมาตรฐาน จี-โค้ด (G-CODE) และ เอ็ม-โค้ด (M-CODE) ใช้การป้อนรหัส จี-โค้ด และ เอ็ม-โค้ด ผ่านทาง PC-Computer
- 4.4 ในการทดลองจะดำเนินการทดลองควบคุมการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรงบนระนาบ X-Y
- 4.5 ระบบควบคุม (Controller) ใช้เป็นแบบ PC Control โดยระบบปฏิบัติการ Linux และ EMC (the Enhanced Machine Controller)
- 4.6 โปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวจับ ของเครื่องต้นแบบฯ พัฒนาขึ้นจากโปรแกรม Matlab หรือโปรแกรม Visual Basic
- 4.7 ค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ของเครื่องต้นแบบฯ ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ไม่เกิน 0.1 มม.

5. ประโยชน์ที่จะได้รับ

- 5.1 สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นเครื่องจักรกลประเภทควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ หรือเครื่องจักรกลประเภทซีเอ็นซี
- 5.2 ได้สมการที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของกลไกการเคลื่อนที่ แบบพาราแรล คิเนเมติก สำหรับงานเคลื่อนที่ที่มีโครงสร้างแบบ 3 แกน
- 5.3 สามารถนำโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้ไปใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวจับ (Holder) ให้เคลื่อนที่บนระนาบ X-Y ในงานเครื่องจักรกลต่าง ๆ ได้
- 5.4 ได้รับรู้ถึงข้อควรระวังและความคิดรวบยอดในการออกแบบและพัฒนาเครื่องต้นแบบกลไก พาราแรล คิเนเมติก เบื้องต้น สำหรับงานเคลื่อนที่แบบ 3 แกน



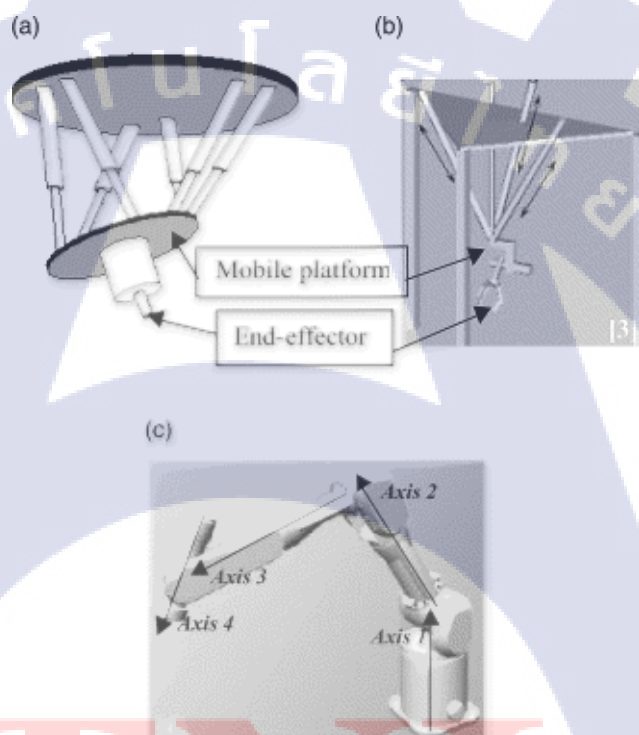
รูปที่ 1.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

บทที่ 2

หลักการพื้นฐาน เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของ พาราเรล คิเนเมติก แม็คคานิคซึม

(Viera POPPEOVA, และคณะ : The concept of HSC Milling Machie with Hybrid Kinematic Structure Application) ได้อธิบายว่า Parallel mechanism คือ Closed-Loop Mechanism โดยที่ปลายของแขนต่อจะยึดติดกับฐาน (Base) โดยที่จุดต่อต่างๆจะเป็นอิสระต่อกัน ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของ Parallel Kinematic Mechanism

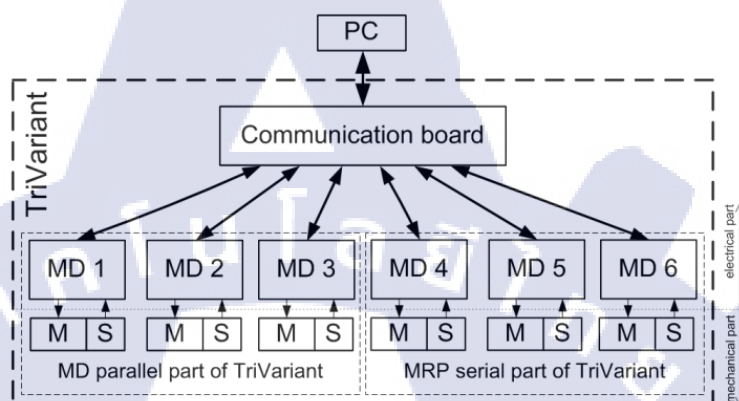
Parallel kinematic Mechanisms สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มดังนี้

2.1 Fully Parallel Mechanism คือ กลไกที่มีจุดต่อยึดที่มีความเป็นอิสระต่อกัน โดยใช้ปลายแกนยึดติดกับฐาน (Base) ที่ปลายแกนยึดจะมีจุดต่อเพียงจุดเดียว ดังรูปที่ 2.1 (a)

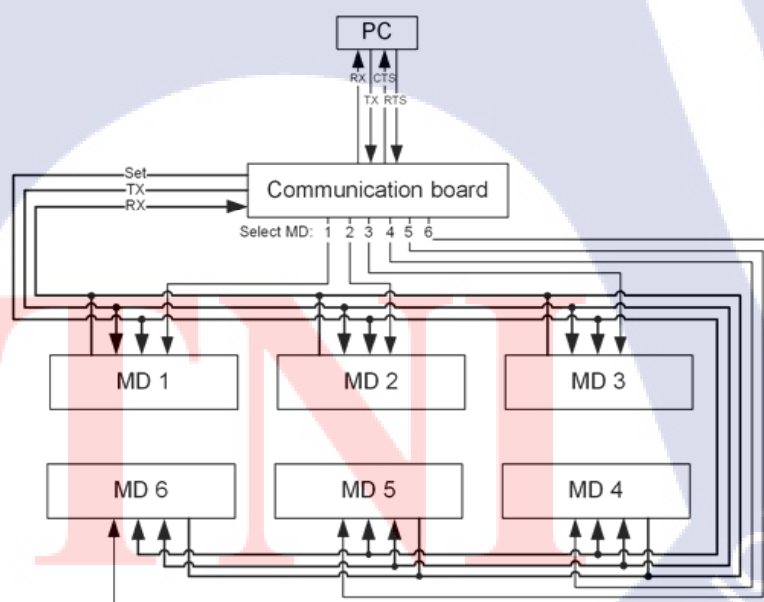
2.2 Hybrid Parallel mechanism คือ กลไกที่มีจุดต่อยึดที่มีความเป็นอิสระต่อกัน โดยใช้ปลายแกนยึดติดกับฐาน (BASE) ที่ปลายยึดจะมีจุดต่อมากกว่า 1 จุด ดังรูปที่ 2.1(b)

2.2 การออกแบบระบบควบคุม

(Viera POPPEOVA, และคณะ : The concept of HSC Milling Machine with Hybrid Kinematic Structure Application) ใช้คอนโทรลเลอร์แบบ PC-Controller ได้เขียนไดอะแกรมแนะนำ ดังรูปที่ 2.2 และ 2.3



รูปที่ 2.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการออกแบบระบบคอนโทรล



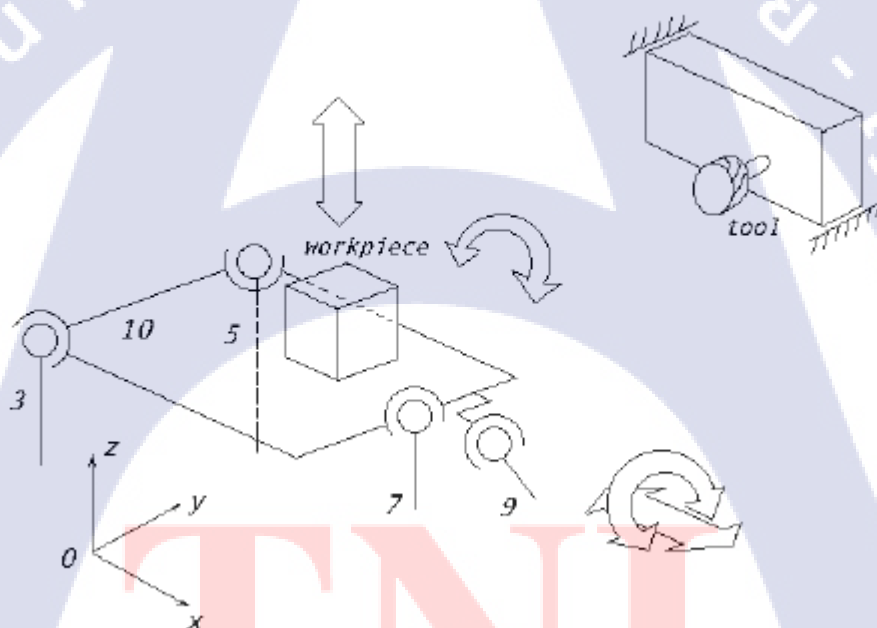
รูปที่ 2.3 แสดงอินเทอร์เฟซในระบบคอนโทรล

2.3 สมการคณิตศาสตร์ ในการควบคุม

(Tarcisio A.H.Coelho และคณะ : Didactic Prototype of a Machine tool Base on a Parallel Kinematic Mechanism) ได้นำเสนอถึงรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ของระบบกลไกไว้ดังนี้

$$G.M = 6(n-1) - \sum_{j=1}^5 (n-j).n_{pj} \quad (2.1)$$

โดยที่ n = จำนวนของแขนต่อ
 n_{pj} = จำนวนของจุดต่อ
 j = Degree of freedom



รูปที่ 2.4 แสดง Degree of freedom ของชิ้นงาน

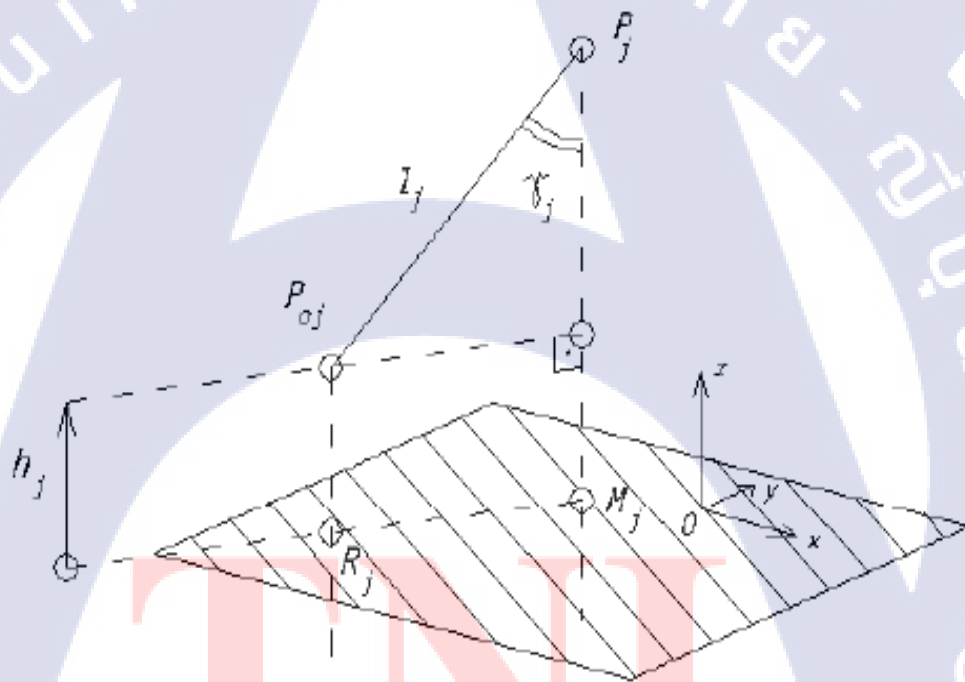
ถ้าเป็น 4 Degree of freedom ดังรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นว่า จะมีการเคลื่อนที่อยู่สองทิศทาง คือ แนวแกน X และแนวแกน Z และมีทิศทางการหมุนอยู่สองทิศทาง คือ หมุนรอบแกน X และรอบแกน Y ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของแพลตฟอร์มจำเป็นต้องสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง Platform Posture และ Angular Displacement โดยการวิเคราะห์แบบย้อนกลับ Platform Posture จะมีลักษณะการเคลื่อนที่เชิงเส้นอยู่สองทิศทาง คือ Δx และ Δz และมี Angular Displacement (Θ) รอบแกน

นิยามโดย Unity vector $\mathbf{e}$ คือรอบแกน x และรอบแกน y เท่านั้น ความสัมพันธ์นี้จะบ่งบอกโดยสมการที่ (2) ที่จุด P_j และ G (center of mass) เป็นจุดที่อยู่บน Platform โดยใช้สัญลักษณ์โดยการใส่ “in” และ “fin” เข้าไปดังรูปที่ 2.5 ก็จะแสดงให้เห็นถึงโคออดิเนตจุดเริ่มต้นและจุดโคออดิเนตสุดท้ายตามลำดับ พิจารณาพร้อมกัน การเคลื่อนที่ของ Platform รวมทั้ง Translation vector $[T]$ และ Rotational matrix $[R]$ ก็จะได้ดังสมการที่ (2)

$$P_{j,fin} = P_{j,in} + [T] + ([R] - I)(P_{j,in} - G_{in}) \quad (2.2)$$

$$\text{เมื่อ } [T] = [\Delta x, 0, \Delta z]^T \quad (2.3)$$

และ I คือ 3x3 identity matrix



รูปที่ 2.5 แสดงถึง Determination of linear displacement of the “j” actuator

$$[R] = \begin{bmatrix} e_x^2(1 - \cos(\theta)) + \cos(\theta) & e_x e_y(1 - \cos(\theta)) & e_y \sin(\theta) \\ e_x e_y(1 - \cos(\theta)) & e_y^2(1 - \cos(\theta)) + \cos(\theta) & -e_x \sin(\theta) \\ -e_y \sin(\theta) & e_x \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

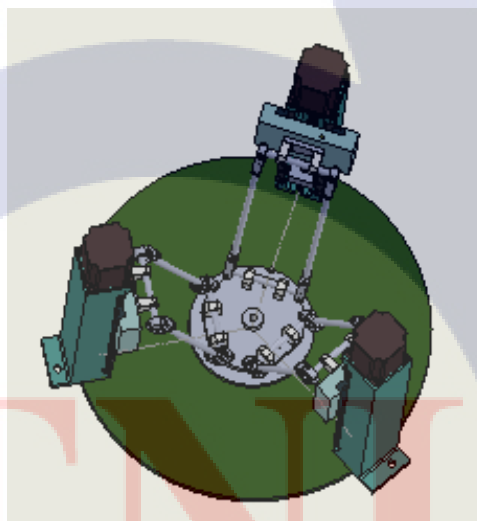
$$\text{เมื่อ } e = [e_x, e_y, 0]^T$$

$$h_j = \|P_j - M_j\| - \sqrt{l_j^2 - \|R_j - M_j\|^2} \quad (2.5)$$

$$\varphi_j = \frac{2\pi h_j}{p_r} \quad j=3,5,7,9 \quad (2.6)$$

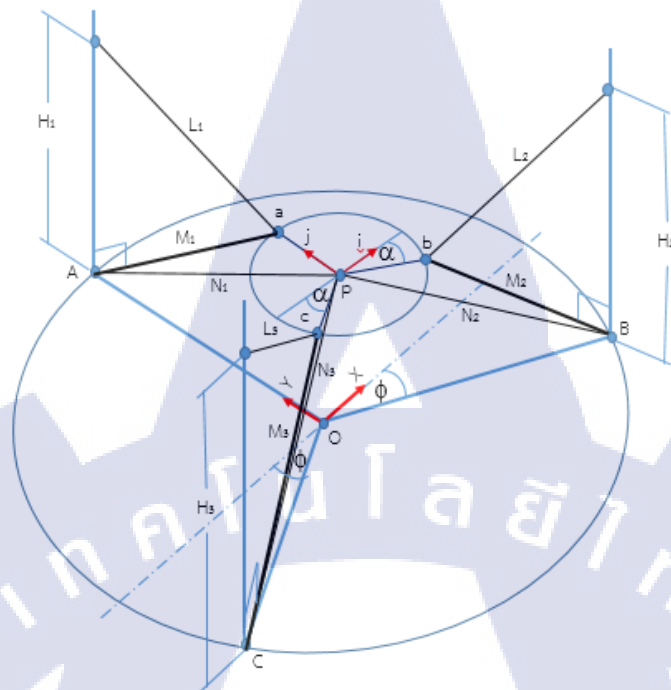
2.4 หลักการและทฤษฎีในการออกแบบและพัฒนาต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติก เบื้องต้น สำหรับงานเคลื่อนที่ 3 แกน

หลักการและทฤษฎีในการออกแบบและพัฒนาต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติก เบื้องต้น สำหรับงานเคลื่อนที่ 3 แกน สร้างเครื่องมือวิจัยในครั้งนี้ได้สร้างสมการในการคำนวณหาระยะในการเคลื่อนที่จากการสร้าง 3D Model ของเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติก ดังรูปที่ 2.6

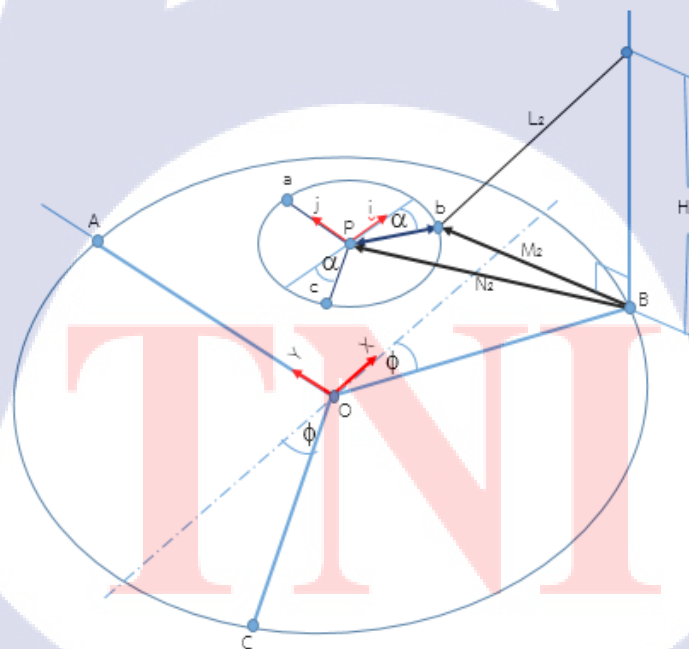


รูปที่ 2.6 แสดงภาพ 3D Model ของเครื่องต้นแบบ พาราเรล คิเนเมติก

และจาก 3D Model นี้นำมาเขียนเป็น Free body diagram สำหรับการคำนวณหาระยะของความสูง H ได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 27 (a)



รูปที่ 27 (b)

รูปที่ 2.7 แสดง Free body diagram สำหรับการคำนวณหาระยะ H

จากรูป 2.7 (b) เราจะได้ว่า $L_2^2 = M_2^2 + H_2^2$ (2.7)

ดังนั้น $H_2^2 = L_2^2 - M_2^2$ (2.8)

โดยที่ $\vec{M}_2 = \vec{N}_2 - \vec{P}_2$ (2.9)

$$\vec{N}_2 = (P_x - B_x)_i + (P_y - B_y)_j \quad (2.10)$$

$$\vec{P}_2 = (P_{b_x})_i + (P_{b_y})_j \quad (2.11)$$

$$\vec{M}_2^2 = (P_x - B_x + P_{b_x})_i^2 + (P_y - B_y + P_{b_y})_j^2 \quad (2.12)$$

นำค่า $\vec{M}_2$ จากสมการที่ (2.12) ไปแทนค่า ในสมการที่ (1) จะได้ว่า

$$H_2^2 = L_2^2 - (P_x - B_x + P_{b_x})^2 + (P_y - B_y + P_{b_y})^2$$

ดังนั้น สมการความสูงของ H_2 จะเป็น

$$H_2 = \sqrt{L_2^2 - (P_x - B_x + P_{b_x})^2 + (P_y - B_y + P_{b_y})^2} \quad (2.13)$$

จากการพิสูจน์ตามสมการที่ (2.7) ถึง (2.13) จึงสรุปได้ว่า สมการความสูงของ H_1, H_2 และ H_3

$$H_1 = \sqrt{L_1^2 - (P_x - A_x + P_{a_x})^2 + (P_y - A_y + P_{a_y})^2}$$

$$H_2 = \sqrt{L_2^2 - (P_x - B_x + P_{b_x})^2 + (P_y - B_y + P_{b_y})^2}$$

$$H_3 = \sqrt{L_3^2 - (P_x - C_x + P_{c_x})^2 + (P_y - C_y + P_{c_y})^2}$$

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื้องต้น สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน ได้มีวิธีการดำเนินงานดังนี้

- 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย
- 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
- 3.3 การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล
- 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและการสรุปผล

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1.1 ศึกษาข้อมูลและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

- ศึกษาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อรวบรวมข้อมูลในการออกแบบสำหรับการสร้างเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื้องต้น สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน

3.1.2 การออกแบบ

- การออกแบบเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื้องต้น สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน โดยใช้โปรแกรม Solidwork 2012

3.1.3 ตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษา

- เมื่อทำการออกแบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ได้ส่งอาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อตรวจสอบความถูกต้องว่าเป็นไปตามแนววัตถุประสงค์ที่กล่าวไว้หรือไม่

3.1.4 สร้างเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื้องต้น สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน

- สร้างเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื้องต้น สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน และประกอบโครงสร้างตัวเครื่องต้นแบบฯ

- ติดตั้งสกรูขนาด 15x4 มม. สำหรับใช้ขับเคลื่อนเครื่องมือตัด

- ติดตั้ง สเต็ปปีงมอเตอร์ สำหรับการขับเคลื่อนเครื่องมือตัด

3.1.5 ติดตั้งระบบคอนโทรลแบบ PC Controller และติดตั้งโปรแกรมในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวกัด ได้แก่ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสำหรับการวิจัยในครั้งนี้

- ติดตั้งตู้คอนโทรลและติดตั้งระบบคอนโทรลแบบ PC-Controller

3.1.6 พัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวกัดให้เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง และเส้นโค้งบนระนาบ X-Y สำหรับใช้ในการวิจัยในครั้งนี้โดยใช้โปรแกรม Matlab และโปรแกรม LabView

3.1.7 ทำการทดสอบการทำงานของเครื่อง

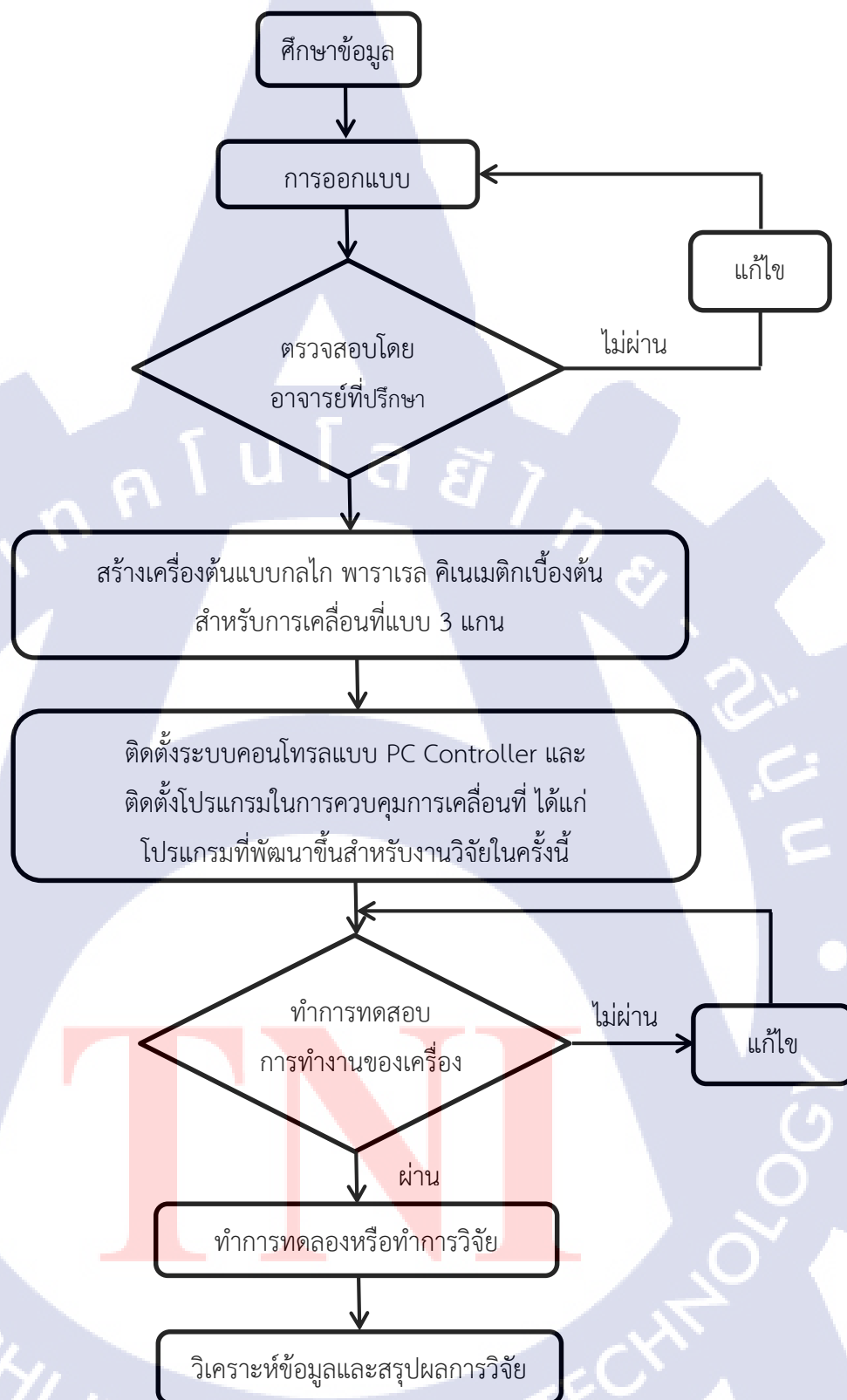
- ทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบฯ และทดสอบพารามิเตอร์ต่างๆ

3.1.8 ทำการทดลองเพื่อศึกษาความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของเครื่องต้นแบบฯ

3.1.9 วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการวิจัย

ซึ่งสามารถสรุปเป็นแผนผังที่แสดงขั้นตอนการดำเนินการได้ ดังรูปที่ 3.1



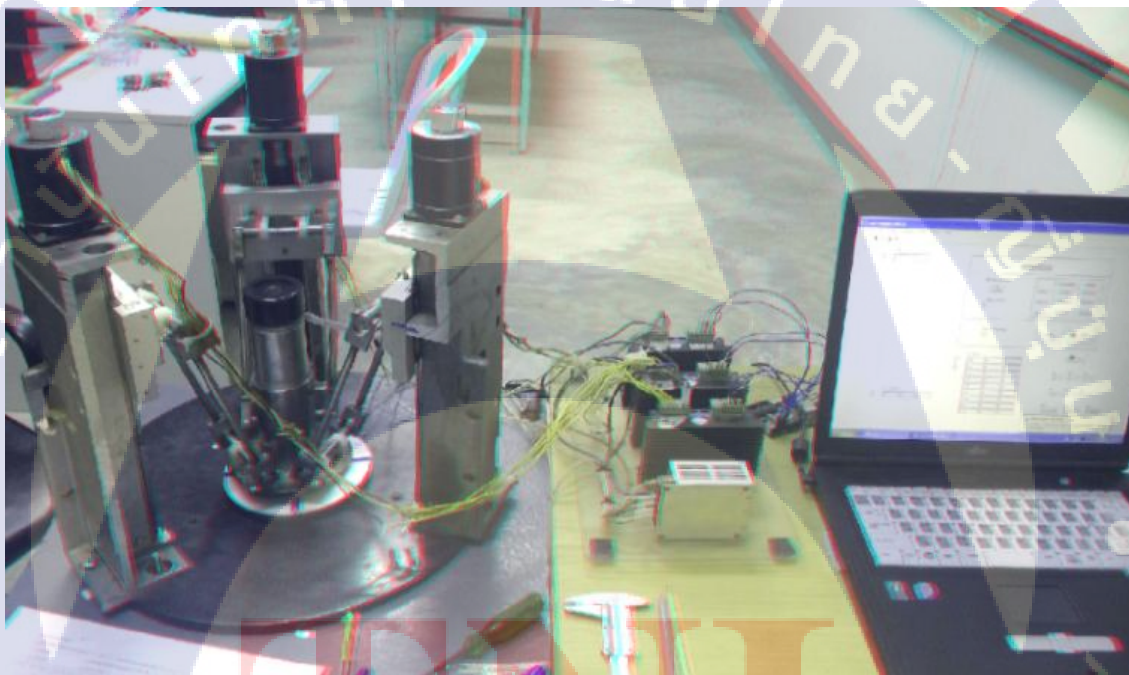


รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

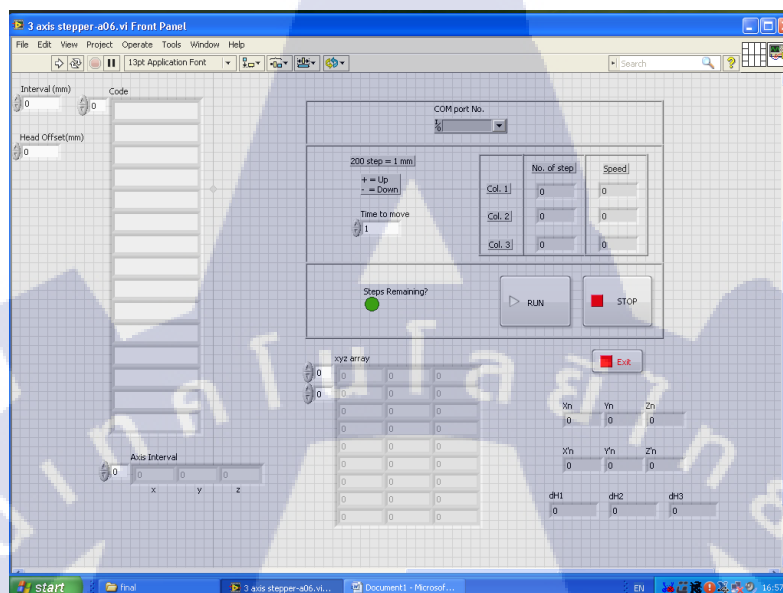
การวิจัยในครั้งนี้ เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื้องต้น สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน และเป็นการพัฒนาโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวกัด ให้เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงและเส้นโค้งบนเพลน X-Y เพื่อศึกษาค่าความผิดพลาด ของการเคลื่อนที่ของเครื่องต้นแบบฯ ดังนั้น ในการวิจัยจึงแบ่งเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ดังนี้

3.2.1 เครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื้องต้น สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน ขับเคลื่อนโดยใช้สเต็ปป์มอเตอร์ ขับบอลสกรู ใช้คอนโทรลเลอร์ แบบ PC-Controller ใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดโดยมีรูปแบบของเครื่องต้นแบบ ดังรูปที่ 3.2

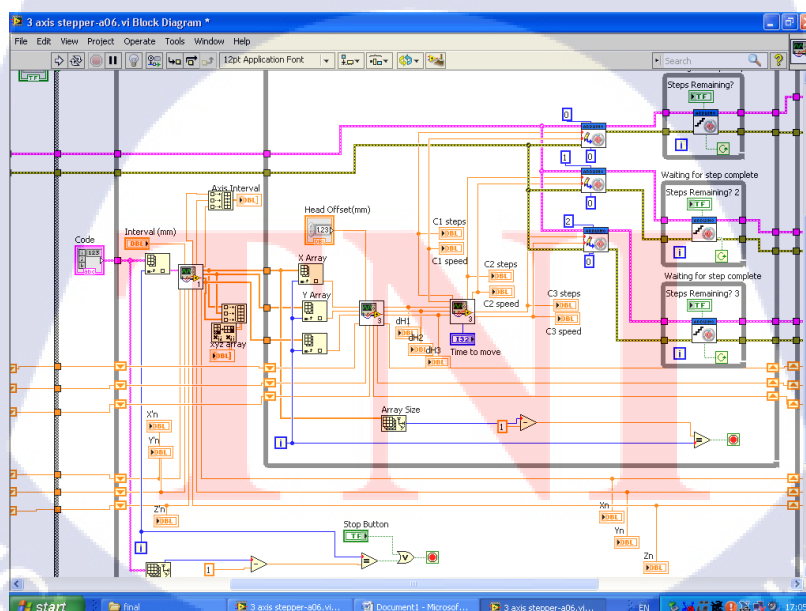


รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของเครื่อง Parallel kinematic milling machine

3.2.2 โปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวกัดที่พัฒนาขึ้นสำหรับการวิจัยในครั้งนี้จะสร้าง UGI โดยโปรแกรม LabView ดังรูปที่ 3.3 และแสดงบล็อกไดอะแกรมดังรูป 3.4

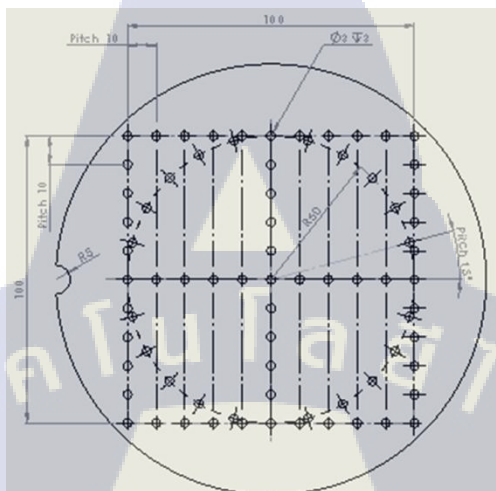


รูปที่ 3.3 แสดงหน้าจอ GUI ที่พัฒนาขึ้นโดยโปรแกรม LabView



รูปที่ 3.4 แสดง Block Diagram ของโปรแกรมควบคุมการทำงานของหัวกัด

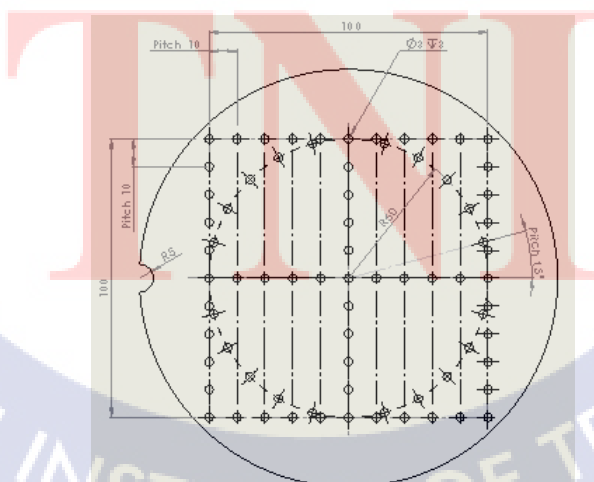
3.2.3 ชิ้นงานทดลองสำหรับการทดลองการกัดเพื่อศึกษาความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของหัวกัดของเครื่องต้นแบบฯ ใช้วิธีการทดลองโดยการทำโปรแกรมสั่งให้หัวกัดเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งโคออดิเนตต่าง ๆ แล้วกัดชิ้นงานทดลองให้ได้ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองในการทำโปรแกรมสั่งให้หัวกัดเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งโคออดิเนตต่างๆ

3.3 การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3.1 แบบตรวจสอบขนาดของชิ้นงานที่เคลื่อนที่โดยเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรลคิเนเมติกเบื้องต้น สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน สำหรับการทดลองการกัดเพื่อศึกษาความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของหัวกัดของเครื่องต้นแบบฯ ใช้วิธีการทดลองโดยการทำโปรแกรมสั่งให้หัวกัดเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งโคออดิเนตต่าง ๆ ให้มีขนาดดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงขนาดกำหนดของชิ้นงานทดลอง

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล

การวิจัยในครั้งนี้ เป็นการศึกษาความผิดพลาดโดยเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ของหัวกดของเครื่องต้นแบบ ดังนั้น ในการวิเคราะห์ข้อมูลจึงนำค่าความผิดพลาดที่ได้จากการทดลองมาหาค่าเฉลี่ย ดังนี้

$$\text{ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย } \bar{x} = \frac{\sum X}{N} \quad (3.1)$$

โดยที่ $\bar{x}$ = ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย

$\sum X$ = ผลรวมของค่าความผิดพลาด

N = จำนวนครั้งในการทดลอง

$$\text{ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย } \bar{y} = \frac{\sum Y}{N} \quad (3.2)$$

โดยที่ $\bar{y}$ = ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย

$\sum Y$ = ผลรวมของค่าความผิดพลาด

N = จำนวนครั้งในการทดลอง

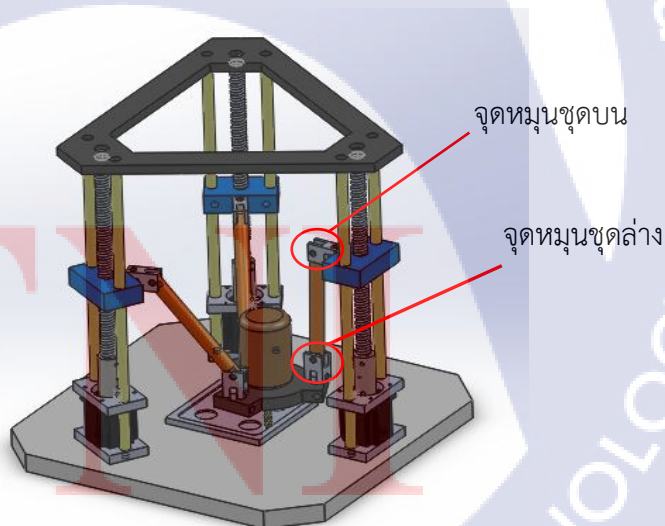
บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื้องต้น สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1. ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื้องต้น สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน 2. เพื่อพัฒนาโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวกัดให้เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงและเส้นโค้งบนระนาบ X-Y และ 3. เพื่อศึกษาความผิดพลาดโดยเฉลี่ยของการเคลื่อนที่หัวกัด ของเครื่องต้นแบบฯ และมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

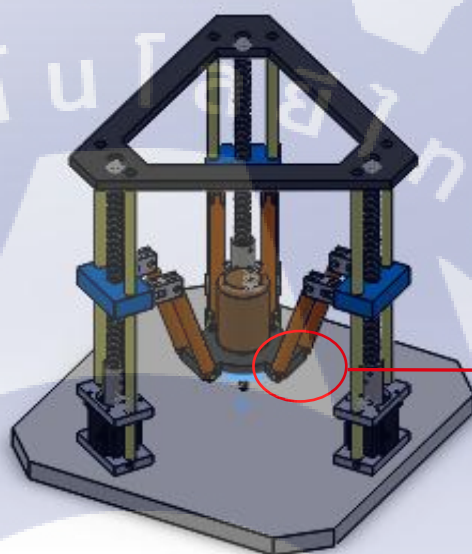
4.1 ผลด้านการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื้องต้น สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน

การออกแบบเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื้องต้น สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน ในครั้งนี้ได้ทำการออกแบบโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางคอมพิวเตอร์ประเภท 3 มิติ ชื่อโปรแกรม Solidwork 2012 โดยการออกแบบเริ่มแรกจะได้เครื่องต้นแบบฯ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการออกแบบเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื้องต้นสำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน Model ที่ 1

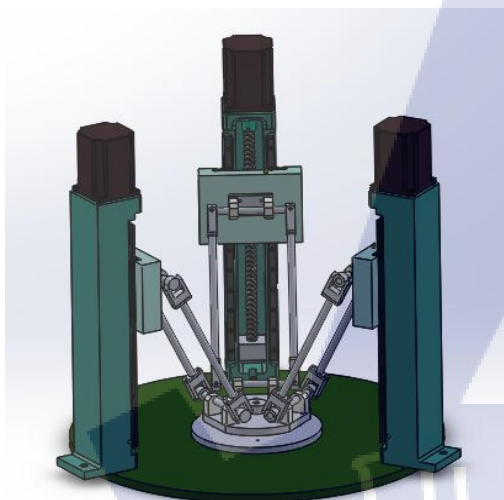
จากการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื้องต้น สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน Model ที่ 1 ทำให้ทราบว่า เราไม่สามารถควบคุม การหมุนของจุดหมุนชุดบน และจุดหมุนชุดล่าง ในตำแหน่งต่างๆได้ เพราะจุดหมุนต่างๆ หมุนได้ทุกตำแหน่ง และหมุนได้รอบทิศทาง ทำให้ Degree of freedom มากเกินไป ทำให้แผ่นMoving Plate ของหัวกัด ไม่อยู่ในแนวขนานกับ ผิวระนาบ หรือจะควบคุมให้อยู่ในแนวระนาบได้ยาก จึงได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบฯ ใน Model ที่ 2 ดังรูปที่ 4.2



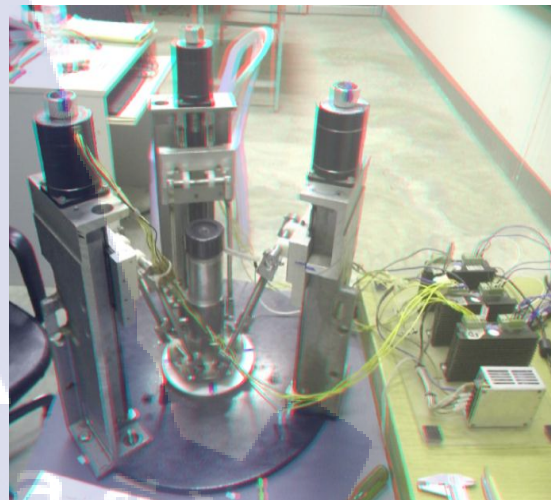
จุดยึดต่อชุดล่าง

รูปที่ 4.2 แสดงการออกแบบเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื้องต้นสำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน Model ที่ 2

จากการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื้องต้น สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน Model ที่ 2 ทำให้ทราบว่า ไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากจุดยึดต่อชุดล่าง เกิดการขัดตัวไม่สามารถหมุนได้ มีสาเหตุมาจากการนำจุดยึดมาประกบไว้ด้านข้างของ Moving Plate ของหัวกัดทำให้แกนต่อ (link) เกิดการขัดตัวกันเอง จึงได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบฯ ใน Model ที่ 3 ใหม่ ดังรูปที่ 4.3 และมีผลการสร้างเครื่องต้นแบบฯ ดังรูปที่ 4.4 โดยมีพื้นที่ในการทำงาน อยู่ที่ขนาด 100x100x50 มม.



รูปที่ 4.3 แสดง 3D Model ที่ออกแบบ
โดยโปรแกรม Solid Work 2012

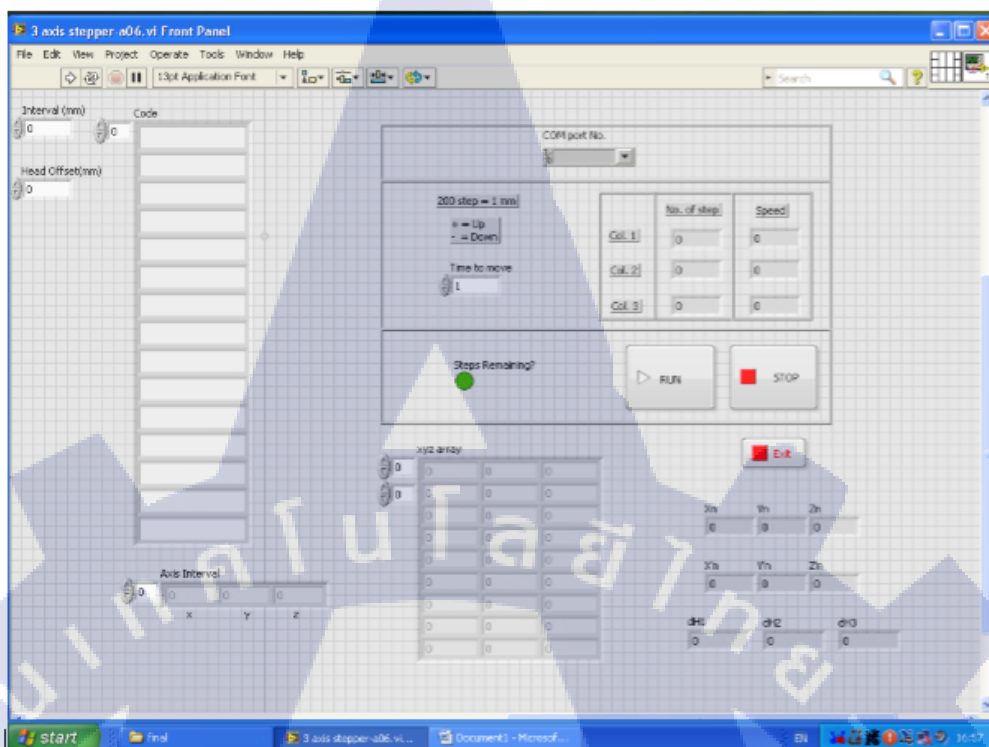


รูปที่ 4.4 แสดงเครื่องต้นแบบฯ ที่สร้างได้

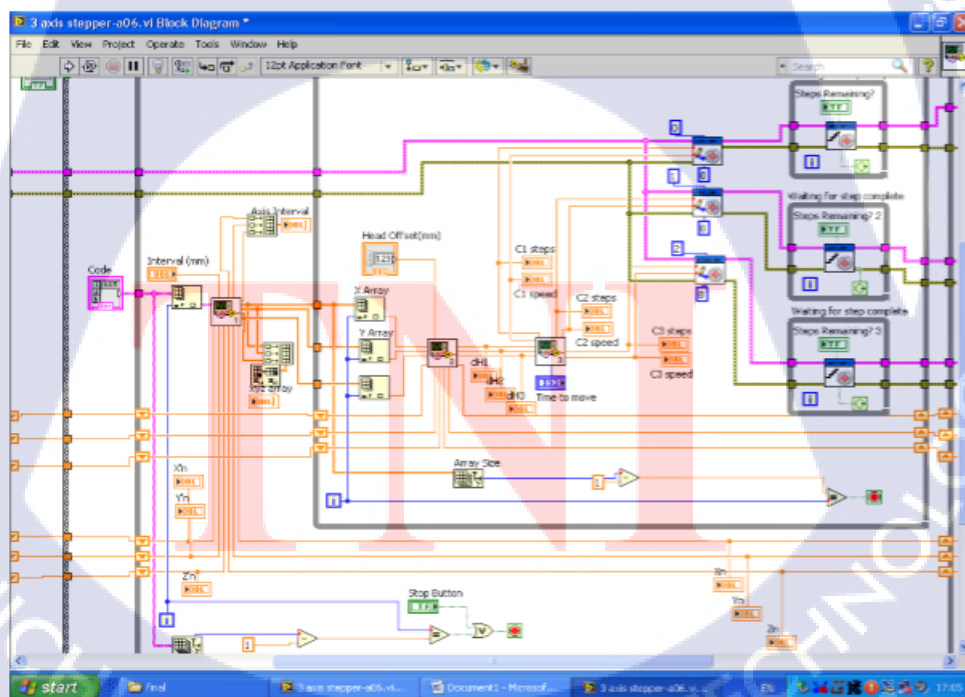
จากการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื้องต้น สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ แต่จะทำงานได้ดี อยู่ในช่วง 60x60x30 มม. เพราะถ้ามากกว่านั้นการเคลื่อนที่ของหัวกัทจะไม่ขนานกับแนวระนาบ

4.2 ผลการพัฒนาโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวกัท

การควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวกัทได้พัฒนาโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวกัท โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการสร้างหน้าจออินเตอร์เฟสและระบบควบคุมการทำงานของ สเต็ปมอเตอร์ดัง รูปที่ 4.5 และมีบล็อกไดอะแกรมสำหรับการควบคุมการเคลื่อนที่และการทำงานของ สเต็ปมอเตอร์ ดังรูปที่ 4.6

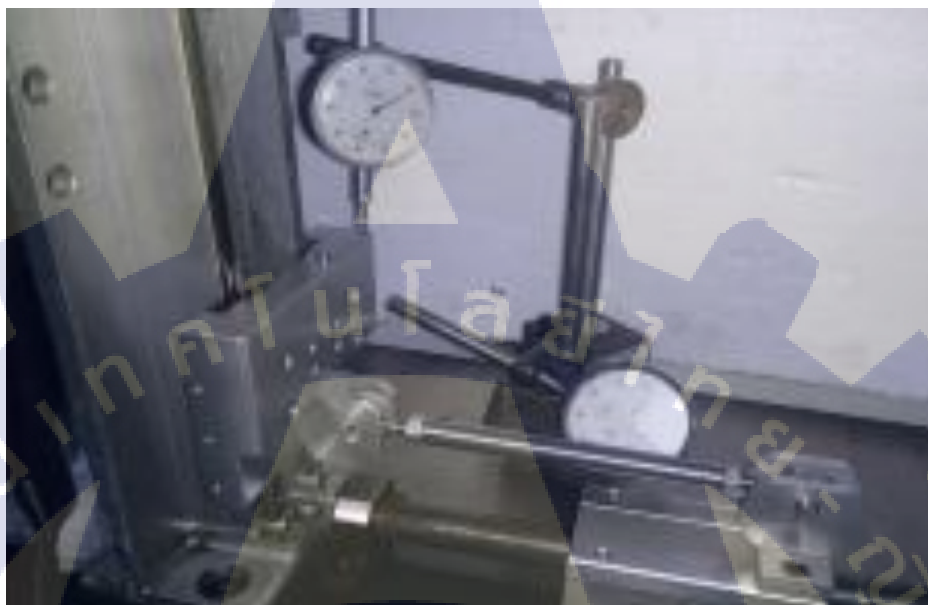


รูปที่ 4.5 แสดงหน้าจออินเตอร์เฟซ (GUI) ที่สร้างขึ้นโดยโปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 4.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมสำหรับการสร้างโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวกัด

และได้ทำการทดลองสั่งให้ควบคุมการหมุนของสเต็ปปีงมอเตอร์ให้หมุนขับเคลื่อนให้เกิดการเคลื่อนที่ตามระยะความยาว ดังรูปที่ 4.7 และมีผลการทดลองตามตารางที่ 4.1, 4.2 และ ตารางที่ 4.3 ดังนี้



รูปที่ 4.7 แสดงการทดสอบการเคลื่อนที่เมื่อสั่งให้ควบคุมการหมุนของสเต็ปปีงมอเตอร์ให้หมุนขับเคลื่อนให้เกิดการเคลื่อนที่

4.2.1 การทดลองการสั่งให้เคลื่อนที่แบบเดินหน้าต่อเนื่อง ครึ่งละ 1 มม.

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการสั่งให้เคลื่อนที่แบบเดินหน้าต่อเนื่อง ครึ่งละ 1 มม.

ครั้งที่	ระยะสั่งให้เคลื่อนที่(mm.)	ระยะที่เคลื่อนที่ได้จริง(mm.)	ระยะผิดพลาด(mm.)
1	1	0.95	-0.05
2	1	1.05	0.05
3	1	1.05	0.05
4	1	1.08	0.08
5	1	1.06	0.06

4.2.2 การทดลองการสั่งให้เคลื่อนที่แบบเดินหน้า – ถอยหลัง ครึ่งละ 1 มม.

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองการสั่งให้เคลื่อนที่แบบไปกลับ ครึ่งละ 1 มม.

ครั้งที่	เดินหน้า		ถอยหลัง		Error (มม.)
	ระยะสั่งให้เคลื่อนที่ (มม.)	ระยะเคลื่อนที่ได้จริง (มม.)	ระยะสั่งให้เคลื่อนที่ (มม.)	ระยะเคลื่อนที่ได้จริง (มม.)	
	(มม.)	(มม.)	(มม.)	(มม.)	
1	1	1.08	1	1.01	-0.07
2	1	1.05	1	0.98	-0.07
3	1	1.07	1	1.01	-0.06
4	1	1.05	1	0.96	-0.09
5	1	0.96	1	0.92	-0.04
				เฉลี่ย	-0.066

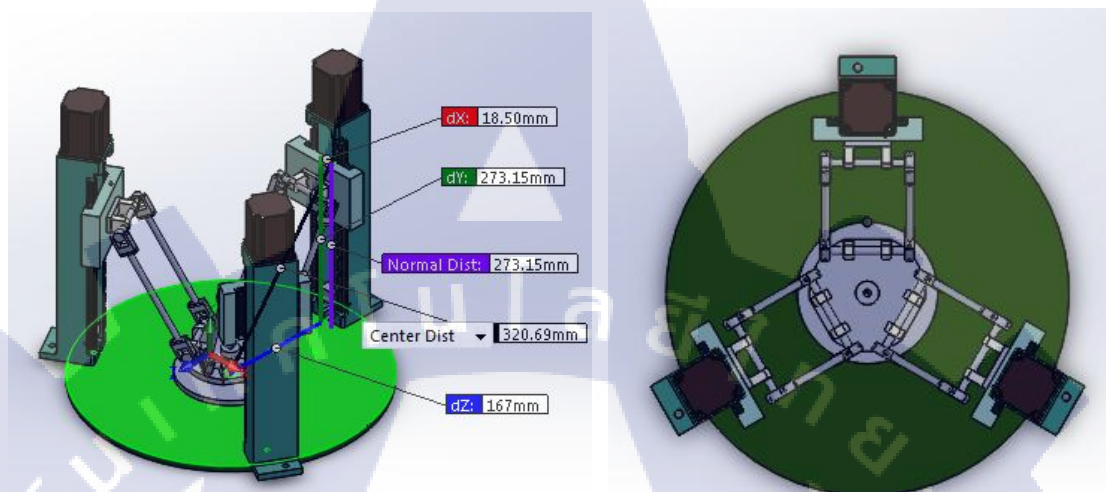
4.2.3 การทดลองการสั่งให้เคลื่อนที่เพื่อหาระยะการเคลื่อนที่ได้น้อยที่สุด

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการสั่งให้เคลื่อนที่ เพื่อหาระยะการเคลื่อนที่ได้น้อยที่สุด

ระยะสั่งให้เคลื่อนที่ (มม.)			
1	0.5	0.05	0.005
1.03	0.46	0.06	-
1.05	0.54	0.07	-
1.08	0.53	0.06	-
1.06	0.55	0.04	-
1.07	0.48	0.07	-

4.3 การศึกษาความผิดพลาดโดยเฉลี่ยของการเคลื่อนที่หัวกัดของเครื่องต้นแบบฯ

4.3.1 การจำลองการเคลื่อนที่ของหัวกัดโดยโปรแกรม Solidwork ดังรูปที่ 4.8 เพื่อหา ระยะความสูงจริงของจุดวัดเมื่อกำหนดให้หัวกัดอยู่ในตำแหน่งโคออดิเนตต่างๆ ตามที่กำหนด



รูปที่ 4.8 แสดงการจำลองและหาความสูงของจุดวัดในแต่ละคอลัมน์ เมื่อเคลื่อนที่หัวกัดไปยังโคออดิเนตต่างๆ ตามที่กำหนด

และทำการวัดระยะความสูงจริง ที่จุดวัดของแต่ละคอลัมน์ และบันทึกค่าระยะความสูงของจุดวัด ที่วัดได้จากการจำลอง เมื่อนำหัวกัดไปยังตำแหน่งโคออดิเนต ตามที่กำหนดไว้ในแบบ ดังค่าในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความสูงของจุดวัดที่วัดได้จริงโดยการจำลองการเคลื่อนที่เมื่อนำหัวกัดไปยังตำแหน่งโคออดิเนตต่าง ๆ โดยใช้ค่าhead Offset เท่ากับ 25 mm. โดยโปรแกรม Solidwork

ตำแหน่งโคออดิเนตตามแบบ		ระยะความสูงของจุดวัดที่วัดได้จริง		
X d	Y d	C t1	C t2	C t3
0	0	273.15	273.15	273.15
10	0	272.88	277.34	268.52
20	0	272.04	280.84	263.02
30	0	270.7	283.7	256.8
40	0	268.8	286.01	249.74
50	0	266.26	287.82	241.65
-10	0	272.95	268.47	277.31
-20	0	272.03	262.97	280.87
-30	0	270.72	256.81	283.71
-40	0	268.82	249.75	286.02
-50	0	266.15	241.58	287.87
0	10	278	270.36	270.37
0	20	282.05	266.95	266.95
0	30	285.62	262.85	262.85
0	40	288.55	258.04	258.04
0	50	290.99	252.35	252.32
0	0	273.15	273.15	273.15
0	-10	267.83	275.45	275.47
0	-20	261.53	277.2	277.18
0	-30	254.44	278.35	278.37
0	-40	246.42	278.95	278.93
0	-50	237.36	279.02	278.99

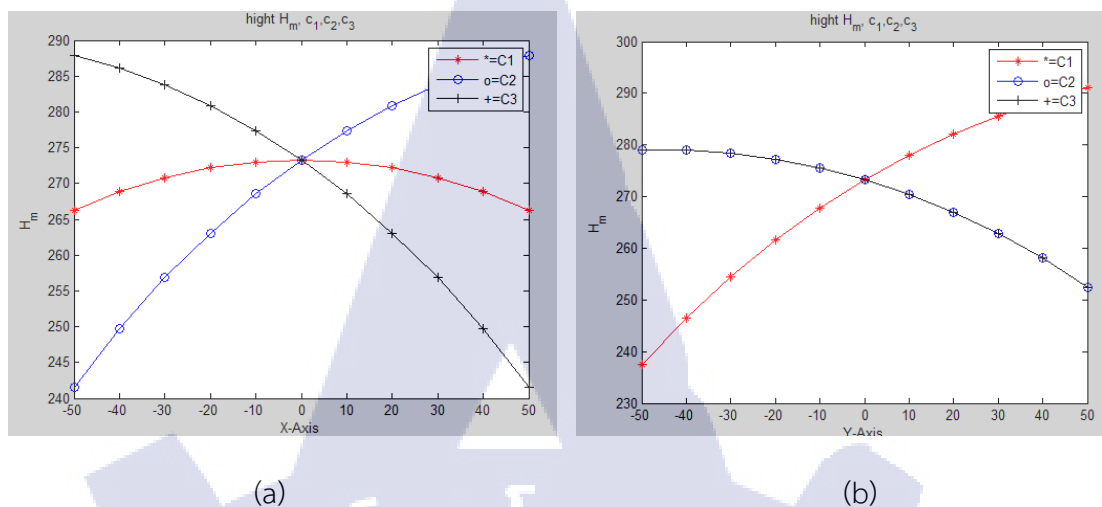
โดยที่ Xd, Yd หมายถึง ตำแหน่ง โคออดิเนต X, Y ที่กำหนดไว้ตามแบบ

Ct1, Ct2, และ Ct3 หมายถึง ความสูงของจุดวัดที่วัดได้จริงในคอลัมน์ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

4.3.2 การคำนวณโดยโปรแกรม MatLAB เพื่อคำนวณหาค่าระยะความสูงจริงของจุดวัดของแต่ละคอลัมน์ และเป็นการพิสูจน์สมการ ว่าเป็นจริงหรือไม่ ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงระยะความสูงจริงของจุดวัดในแต่ละคอลัมน์ที่คำนวณได้จากโปรแกรม MatLAB โดยใช้ค่า head Offset เท่ากับ 25 mm.

ตำแหน่งโคออดิเนตตามแบบ		ระยะความสูงของจุดวัดที่วัดได้จริง		
Xd	Yd	Ct1	Ct2	Ct3
0	0	273.28	273.28	273.28
10	0	273.00	277.37	268.53
20	0	272.17	280.84	263.07
30	0	270.78	283.73	256.82
40	0	268.82	286.07	249.70
50	0	266.27	287.87	241.58
-10	0	273.00	268.53	277.37
-20	0	272.17	263.07	280.84
-30	0	270.79	256.82	283.73
-40	0	268.82	249.70	286.07
-50	0	266.27	241.58	287.87
0	10	278.03	270.43	270.43
0	20	282.15	266.97	266.97
0	30	285.66	262.86	262.86
0	40	288.60	258.05	258.05
0	50	291.00	252.45	252.45
0	0	273.28	273.28	273.28
0	-10	267.83	275.54	275.54
0	-20	261.62	277.23	277.23
0	-30	254.56	278.37	278.37
0	-40	246.54	278.97	278.97
0	-50	237.39	279.04	279.04



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงระยะความสูงจริงของจุดวัดในแต่ละคอลัมน์ที่คำนวณได้จากโปรแกรม MatLAB

4.3.3 การทดลองการพล็อตค่าโคออดิเนตจากการสั่งการเคลื่อนที่โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น โดยสั่งให้เคลื่อนที่ครั้งละ 10 มม. ตามแนวแกน X และแนวแกน Y และ Interval ที่ 0.5, 1 และ 2 มม. แล้วนำค่าที่ได้มาบันทึกดังตารางที่ 4.6, ตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.6 แสดงการพล็อตค่าตามตำแหน่งโคออดิเนตโดยการสั่งการเคลื่อนที่โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น โดยมีค่า Inc. = 10, Interval = 0.5, X = -30:10:30, Y = 0 และ X = 0, Y = [-30:10:30] มม.

โคออดิเนตที่กำหนดในแบบ		ตำแหน่งตามคำสั่งควบคุม		ตำแหน่งเคลื่อนที่จริง		ระยะคลาดเคลื่อน		ระยะคลาดเคลื่อน	
Xd	Yd	Xc	Yc	Xt	Yt	Error X	Error Y	Error X (%)	Error Y (%)
30	0	10		33	0.78	3	0.78	10.00	
20	0	10		22.8	0.56	2.8	0.56	14.00	
10	0	10		11.5	0.88	1.5	0.88	15.00	
0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
-10	0	-10		-11.3	0.84	1.3	0.84	13.00	
-20	0	-10		-21.86	0.62	1.86	0.62	9.30	
-30	0	-10		-33.7	0.58	3.7	0.58	12.33	
0	30		10	1	34.4	1	-4.4		14.67
0	20		10	0.8	23.8	0.8	3.8		19.00
0	10		10	5	11.78	5	1.78		17.80
0	0		0	0.7	0	0.7	0		
0	-10		-10	1	-11.98	1	1.98		19.80
0	-20		-10	1.3	-23.46	1.3	3.46		17.30
0	-30		-10	0.7	-36.22	0.7	6.22		20.73
โดยเฉลี่ย						1.76	1.22	10.52	15.61

ตารางที่ 4.7 แสดงการพล็อตค่าตามตำแหน่งโคออดิเนต โดยการสั่งการเคลื่อนที่โดยโปรแกรม
ที่พัฒนาขึ้น โดยมีค่า Inc. = 10, Interval = 1, X = [-30:10:30], Y = 0 และ X = 0,
Y = [-30:10:30] มม.

โคออดิเนตที่กำหนดในแบบ		ตำแหน่งตามคำสั่งควบคุม		ตำแหน่งเคลื่อนที่จริง		ระยะคลาดเคลื่อน		ระยะคลาดเคลื่อน	
Xd	Yd	Xc	Yc	Xt	Yt	Error X	Error Y	Error X (%)	Error Y (%)
30	0	10		32.06	1.4	2.06	1.4	6.87	
20	0	10		21.88	1.2	1.88	1.2	9.40	
10	0	10		11.04	0.8	1.04	0.8	10.40	
0	0	0	0	0	0	0	0		
-10	0	-10		-10.98	0.9	0.98	0.9	9.80	
-20	0	-10		-21.72	1.3	1.72	1.3	8.60	
-30	0	-10		-33.86	0.7	3.86	0.7	12.87	
0	30		10	0.5	31.78	0.5	1.78		5.93
0	20		10	0.4	20.58	0.4	0.58		2.90
0	10		10	0.7	11.3	0.7	1.3		13.00
0	0		0	0	0	0	0		
0	-10		-10	1.24	-10.78	1.24	0.78		-7.80
0	-20		-10	1	-1.46	1	18.54		-92.70
0	-30		-10	0.8	-30.44	0.8	0.44		
โดยเฉลี่ย						1.16	2.12	8.28	-11.24

ตารางที่ 4.8 แสดงการพล็อตค่าตามตำแหน่งโคออดิเนต โดยการสั่งการเคลื่อนที่โดยโปรแกรม
ที่พัฒนาขึ้น โดยมีค่า Inc. = 10, Interval = 2, X = [-30:10:30], Y = 0 และ X = 0,
Y = [-30:10:30] มม.

โคออดิเนตที่กำหนดในแบบ		ตำแหน่งตามคำสั่งควบคุม		ตำแหน่งเคลื่อนที่จริง		ระยะคลาดเคลื่อน		ระยะคลาดเคลื่อน	
Xd	Yd	Xc	Yc	Xt	Yt	Error X	Error Y	Error X (%)	Error Y (%)
30	0	10		33.65	0.5	3.65	0.5	12.17	
20	0	10		21.36	0.5	-1.36	0.5	-6.80	
10	0	10		8.98	0.7	1.02	0.7	10.20	
0	0	0	0	0	0	0	0		
-10	0	-10		-11.84		1.84	0	18.40	
-20	0	-10		-0.54		19.46	0	97.30	
-30	0	-10		-36.68		-6.68	0	-22.3	
0	30		10	0.5	33.56	0.5	3.56		11.87
0	20		10	1	23.04	1	3.04		15.20
0	10		10	0.8	11.8	0.8	1.8		18.00
0	0		0	0	0	0	0		
0	-10		-10	0.7	-12.08	0.7	2.08		20.80
0	-20		-10	0.4	-21.68	0.4	1.68		8.40
0	-30		-10	0.8	-32.65	0.8	2.65		8.83
โดยเฉลี่ย						1.58	1.18	15.57	11.87

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การพล็อตจุดตามโคออดิเนตมีความผิดพลาดสูงและระยะห่างในการพล็อตในแต่ละจุดไม่คงที่ และได้ทำการวิเคราะห์ถึงสาเหตุว่าความผิดพลาดมาจากการยืดหยุ่นของระบบกลไกในการเคลื่อนที่และการหมุนของกลไก ทำให้เกิดการขัดตัวของกลไก จึงได้ทำการปรับปรุงระบบการยึดแน่นในแต่ละส่วนใหม่และทำการทดลองอีกครั้งหนึ่ง

4.3.4 การทดลองการพล็อตค่าโคออดิเนตหลังจากปรับปรุงระบบ การยึดแน่น ทำการพล็อตค่าจากการสั่งการเคลื่อนที่โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น โดยสั่งให้เคลื่อนที่ครั้งละ 10 มม. ตามแนวแกน X และแนวแกน Y และ Interval ที่ 0.5, 1 และ 2 มม. แล้วนำค่าที่ได้มาบันทึกดังตารางที่ 4.9, ตารางที่ 4.10 และตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.9 แสดงการพล็อตค่าตามตำแหน่งโคออดิเนต โดยการสั่งการเคลื่อนที่โดยโปรแกรม ที่พัฒนาขึ้น โดยมีค่า Inc. = 10, Interval = 0.5, X = -30:10:30, Y = 0 และ X = 0, Y = [-30:10:30] มม.

โคออดิเนตที่กำหนดในแบบ		ตำแหน่งตามคำสั่งควบคุม		ตำแหน่งเคลื่อนที่จริง		ระยะคลาดเคลื่อน		ระยะคลาดเคลื่อน	
Xd	Yd	Xc	Yc	Xt	Yt	Error X	Error Y	Error X (%)	Error Y (%)
30	0	10		31.68	1.86	1.68	1.86	5.60	
20	0	10		21.86	1.36	1.86	1.36	9.30	
10	0	10		11.3	1.5	1.3	1.5	13.00	
0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
-10	0	-10		-11.48	-1.46	1.48	1.46	14.80	
-20	0	-10		-21.32	1.66	1.32	1.66	6.60	
-30	0	-10		-31.04	1.02	1.04	1.02	3.47	
0	30		10	1.2	31.06	1.2	1.06		3.53
0	20		10	0.8	21.08	0.8	1.08		5.4
0	10		10	0.5	10.76	0.5	0.76		7.6
0	0		0	0	0	0	0		
0	-10		-10	-1.2	-10.64	1.20	0.64		6.4
0	-20		-10	2.3	-21.86	2.30	1.86		9.3
0	-30		-10	1.6	-31.08	1.60	1.08		3.6
โดยเฉลี่ย						1.16	1.10	7.54	5.12

ตารางที่ 4.10 แสดงการพล็อตค่าตามตำแหน่งโคออดิเนต โดยการสั่งการเคลื่อนที่โดยโปรแกรม ที่พัฒนาขึ้น โดยมีค่า Inc. = 10, Interval = 1, X = [-30:10:30], Y = 0 และ X = 0, Y = [-30:10:30] มม.

โคออดิเนตที่กำหนดในแบบ		ตำแหน่งตามคำสั่งควบคุม		ตำแหน่งเคลื่อนที่จริง		ระยะคลาดเคลื่อน		ระยะคลาดเคลื่อน	
Xd	Yd	Xc	Yc	Xt	Yt	Error X	Error Y	Error X (%)	Error Y (%)
30	0	10		31.06	0.8	1.06	0.8	3.53	
20	0	10		20.88	1.02	0.88	1.02	4.40	
10	0	10		10.4	1	0.4	1	4.00	
0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
-10	0	-10		-11	0.8	1	0.8	10.00	
-20	0	-10		-20.84	1	0.84	1	4.20	
-30	0	-10		-30.44	-1.3	0.44	1.3	1.47	
0	30		10	0.6	31.42	0.6	1.42		4.73
0	20		10	1	20.86	1	0.86		4.30
0	10		10	0.8	11.22	0.8	1.22		12.20
0	0		0	0	0	0	0		0.00
0	-10		-10	-1	-10.84	1	0.84		8.40
0	-20		-10	-0.8	-21.34	0.8	1.34		6.70
0	-30		-10	-0.5	-31.42	0.5	1.42		4.73
						0.67	0.93	3.94	5.87

ตารางที่ 4.11 แสดงการพล็อตค่าตามตำแหน่งโคออดิเนต โดยการสั่งการเคลื่อนที่โดยโปรแกรม ที่พัฒนาขึ้น โดยมีค่า Inc. = 10, Interval = 2, X = [-30:10:30], Y = 0 และ X = 0, Y = [-30:10:30] มม

โคออดิเนตที่กำหนดในแบบ		ตำแหน่งตามคำสั่งควบคุม		ตำแหน่งเคลื่อนที่จริง		ระยะคลาดเคลื่อน		ระยะคลาดเคลื่อน	
Xd	Yd	Xc	Yc	Xt	Yt	Error X	Error Y	Error X (%)	Error Y (%)
30	0	10		31.68	1.86	1.68	1.86	5.60	
20	0	10		21.86	1.36	1.86	1.36	9.30	
10	0	10		11.3	1.5	1.3	1.5	13.00	
0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
-10	0	-10		-11.48	-1.46	1.48	1.46	14.80	
-20	0	-10		-21.32	1.66	1.32	1.66	6.60	
-30	0	-10		-31.04	1.02	1.04	1.02	3.47	
0	30		10	1.2	31.06	1.2	1.06		3.53
0	20		10	0.8	21.08	0.8	1.08		5.4
0	10		10	0.5	10.76	0.5	0.76		7.6
0	0		0	0	0	0	0		
0	-10		-10	-1.2	-10.64	1.20	0.64		6.4
0	-20		-10	2.3	-21.86	2.30	1.86		9.3
0	-30		-10	1.6	-31.08	1.60	1.08		3.6
โดยเฉลี่ย						1.16	1.10	7.54	5.12

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การพล็อตจุดตามโคออดิเนตมีแนวโน้มไปในทางที่ดีขึ้น มีค่าความผิดพลาดน้อยลง มีระยะการเคลื่อนที่ที่แน่นอนมากขึ้น จึงได้ทำการทดลองพล็อตค่าตามแผนในการทดลองวิจัย

4.3.5 การพล็อตค่าตามแผนการทดลอง

4.3.5.1 การทดลองการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรง

การพล็อตค่าตามแผนการทดลองได้ทำการพล็อตค่าจากการสั่งการเคลื่อนที่โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น โดยสั่งให้เคลื่อนที่ครั้งละ 10 มม. โดยมีค่า Interval ที่ 0.5, 1 และ 2 มีผลการทดลองดัง ตารางที่ 4.12 แสดงผลการพล็อตโคออดิเนต โดยสั่งให้เคลื่อนที่ครั้งละ 10 มม. Interval 0.5 มม.

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการพล็อตโคออดิเนตโดยสั่งให้เคลื่อนที่ Inc=10 มม. Interval 0.5

โคออดิเนตที่กำหนดในแบบ		ตำแหน่งตามคำสั่งควบคุม		ตำแหน่งเคลื่อนที่จริง		ระยะคลาดเคลื่อน		ระยะคลาดเคลื่อน	
Xd	Yd	Xc	Yc	Xt	Yt	Error X	Error Y	Error X (%)	Error Y (%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00
10	0	10	0	9.3	0.8	0.7	0.8	7.00	0.00
20	0	10	0	22.49	1.75	2.49	1.75	12.45	0.00
30	0	10	0	34.9	3.42	4.9	3.42	16.33	0.00
30	10	0	10	34.8	14.32	4.8	4.32	16.00	43.20
30	20	0	10	35.08	26.16	5.08	6.16	16.93	30.80
30	30	0	10	35.80	39.41	5.8	9.41	19.33	31.37
20	30	-10	0	24.37	40.79	4.37	10.79	21.85	35.97
10	30	-10	0	12.06	39.73	2.06	9.73	20.60	32.43
0	30	-10	0	0.94	39.36	0.94	9.36	0.00	31.20
-10	30	-10	0	-11.37	39.7	1.37	9.7	13.70	32.33
-20	30	-10	0	-24.11	39.27	4.11	9.27	20.55	30.90
-30	30	-10	0	-39.39	38.71	9.39	8.71	31.30	29.03
-30	20	0	-10	-39.55	28.63	9.55	8.63	31.83	43.15
-30	10	0	-10	-39.48	16.22	9.48	6.22	31.60	62.20
-30	0	0	-10	-39.38	3.37	9.38	3.37	31.27	0.00
-30	-10	0	-10	-39.65	-5.2	9.65	4.8	32.17	48.00
-30	-20	0	-10	-39.21	-18.25	9.21	1.75	30.70	8.75
-30	-30	0	-10	-38.99	-32.03	8.99	2.03	29.97	6.77
-20	-30	-10	0	-28.41	-33.65	8.41	3.65	42.05	12.17
-10	-30	-10	0	-16.18	-33.26	6.18	3.26	61.80	10.87
0	-30	-10	0	-2.2	-32.77	2.2	2.77	0.00	9.23
10	-30	-10	0	6.88	-32.83	3.12	2.83	31.20	9.43
20	-30	-10	0	20.14	-32.42	0.14	2.42	0.70	8.07
30	-30	-10	0	32.46	-31.1	2.46	1.1	8.20	3.67
30	-20	0	-10	33.7	-21.21	3.7	1.21	12.33	6.05
30	-10	0	-10	33.11	8.61	3.11	1.39	10.37	13.90
โดยเฉลี่ย						4.6996	4.60179	19.65	19.27

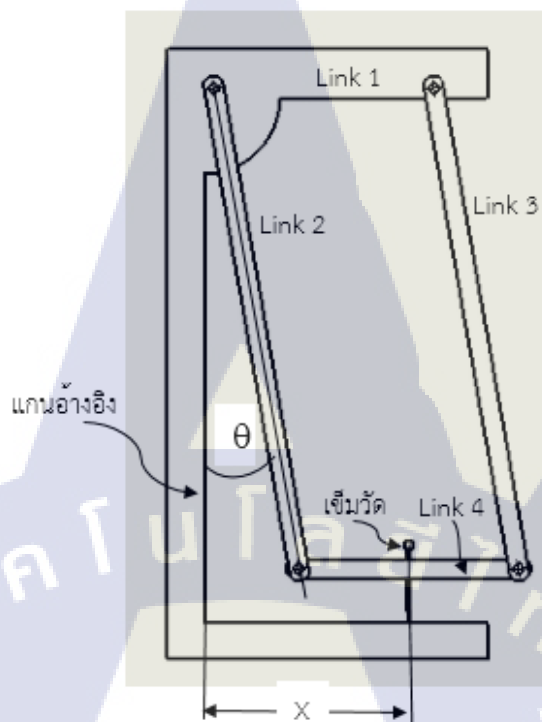
ตารางที่ 4.13 แสดงผลการพล็อตโคออดิเนต โดยสั่งให้เคลื่อนที่ Inc. 10 มม. Interval 1 มม.

โคออดิเนตที่กำหนดในแบบ		ตำแหน่งตามคำสั่งควบคุม		ตำแหน่งเคลื่อนที่จริง		ระยะคลาดเคลื่อน		ระยะคลาดเคลื่อน	
Xd	Yd	Xc	Yc	Xt	Yt	Error X	Error Y	Error X(%)	Error Y(%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0
10	0	10	0	11.78	0.8	1.78	0.8	17.80	0.00
20	0	10	0	22.2	1.75	2.2	1.75	11.00	0.00
30	0	10	0	34.9	3.42	4.9	3.42	16.33	0.00
30	10	0	10	36.4	11.98	6.4	1.98	21.33	19.80
30	20	0	10	36.45	25.47	6.45	5.47	21.50	27.35
30	30	0	10	36.9	37.8	6.9	7.8	23.00	26.00
20	30	-10	0	23.37	40.79	3.37	10.79	16.85	35.97
10	30	-10	0	11.06	39.73	1.06	9.73	10.60	32.43
0	30	-10	0	0.94	39.36	0.94	9.36	0.00	31.20
-10	30	-10	0	-11.37	39.7	1.37	9.7	13.70	32.33
-20	30	-10	0	-23.11	39.27	3.11	9.27	15.55	30.90
-30	30	-10	0	-39.39	38.71	9.39	8.71	31.30	29.03
-30	20	0	-10	-39.55	28.63	9.55	8.63	31.83	43.15
-30	10	0	-10	-39.48	16.22	9.48	6.22	31.60	62.20
-30	0	0	-10	-39.38	3.37	9.38	3.37	31.27	0.00
-30	-10	0	-10	-39.65	-5.2	9.65	4.8	32.17	48.00
-30	-20	0	-10	-39.21	-18.25	9.21	1.75	30.70	8.75
-30	-30	0	-10	-38.99	-32.03	8.99	2.03	29.97	6.77
-20	-30	-10	0	-28.41	-33.65	8.41	3.65	42.05	12.17
-10	-30	-10	0	-14.18	-33.26	4.18	3.26	41.80	10.87
0	-30	-10	0	-3.2	-32.77	3.2	2.77	0.00	9.23
10	-30	-10	0	6.88	-32.83	3.12	2.83	31.20	9.43
20	-30	-10	0	20.14	-32.42	0.14	2.42	0.70	8.07
30	-30	-10	0	34.98	-35.41	4.98	5.41	16.60	18.03
30	-20	0	-10	34.43	-25.34	4.43	5.34	14.77	26.70
30	-10	0	-10	34.11	-11.78	4.11	1.78	13.70	17.80
0	0	0	-10			0	0	0.00	0.00
โดยเฉลี่ย						4.88	4.75	19.55	19.51

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการพล็อตโคออดิเนต โดยสั่งให้เคลื่อนที่ Inc.= 10 มม. Interval 2

โคออดิเนตที่กำหนดในแบบ		ตำแหน่งตามคำสั่งควบคุม		ตำแหน่งเคลื่อนที่จริง		ระยะคลาดเคลื่อน		ระยะคลาดเคลื่อน	
Xd	Yd	Xc	Yc	Xt	Yt	Error X	Error Y	Error X (%)	Error Y (%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	12.71	2.56	2.71	2.56	27.10	0.00
20	0	10	0	23.52	3.3	3.52	3.3	17.60	0.00
30	0	10	0	34.75	3.38	4.75	3.38	15.83	0.00
30	10	0	10	36.85	14.56	6.85	4.56	22.83	45.60
30	20	0	10	36.00	25.19	6	5.19	20.00	25.95
30	30	0	10	36.88	39.23	6.88	9.23	22.93	30.77
20	30	-10	0	25.23	39.96	5.23	9.96	26.15	33.20
10	30	-10	0	12.9	39.66	-2.9	9.66	29.00	32.20
0	30	-10	0	2.81	37.45	2.81	7.45	0.00	24.83
-10	30	-10	0	-11.66	37.14	1.66	7.14	16.60	23.80
-20	30	-10	0	-24.18	37.29	4.18	7.29	20.90	24.30
-30	30	-10	0	-34.41	37.96	4.41	7.96	14.70	26.53
-30	20	0	-10	-36.01	24.52	6.01	4.52	20.03	22.60
-30	10	0	-10	-36.85	12.34	6.85	2.34	22.83	23.40
-30	0	0	-10	-36.41	0	6.41	0	21.37	0.00
-30	-10	0	-10	-35.84	-12.61	5.84	2.61	19.47	26.10
-30	-20	0	-10	-34.71	-25.07	4.71	5.07	15.70	25.35
-30	-30	0	-10	-34.41	-37.95	4.41	7.95	14.70	26.50
-20	-30	-10	0	-23.64	-39.81	3.64	9.81	18.20	32.70
-10	-30	-10	0	-12.47	-38.15	2.47	8.15	24.70	27.17
0	-30	-10	0	1.58	-38.88	1.58	8.88	0.00	29.60
10	-30	-10	0	14.7	-37.05	4.7	7.05	47.00	23.50
20	-30	-10	0	24.84	-36.02	4.84	6.02	24.20	20.07
30	-30	-10	0	38.79	-32.51	8.79	2.51	29.30	8.37
30	-20	0	-10	38.96	-22.76	8.96	2.76	29.87	13.80
30	-10	0	-10	38.04	-10.08	8.04	0.08	26.80	0.80
โดยเฉลี่ย						4.61	5.19	19.56	19.54

จากผลการทดลองในการพล็อตค่า ตำแหน่งโคออดิเนตต่าง ๆ ตามที่กำหนด จะมีความผิดพลาดสูง จึงได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุ ที่ทำให้เกิดความผิดพลาด ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากการสร้าง 4 bar linkage ไม่เท่ากัน หรือเกิดจากการประกอบชิ้นส่วน Linkage ที่มีจุดยึดต่อมาเกินไป ทำให้เกิดการผิดพลาดจากการประกอบได้ จึงได้ทำการจำลองความผิดพลาดที่เกิดจาก 4 bar Linkage เพื่อเป็นการวิเคราะห์หาผลกระทบ ของความยาวของขา Link ว่ามีผลกระทบเล็กน้อยเพียงใด และเป็นสาเหตุให้เกิดการผิดพลาดได้เล็กน้อยเพียงใด ซึ่งมีวิธีการจำลองดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.10 แสดงวิธีการทดลองเพื่อวิเคราะห์ สาเหตุของความผิดพลาดในการสร้างเครื่องต้นแบบ พาราแรลลิเนเมติก มิลลิ่ง แมชชีน

วิธีการทดลอง

1. ทดลองหาระยะทาง X ในอุดมคติ คือ ไม่มีค่าความผิดพลาดใดๆ เนื่องจากการขบวนการผลิตและการประกอบของชิ้นส่วนต่างๆ แล้วเปลี่ยนแปลงมุม θ จาก 0-25 องศา โดยเปลี่ยนแปลงทีละ 5 องศา เพื่อหาระยะทางของ X แล้วบันทึกผลเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับระยะทางของ X เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะความยาวของรูเจาะใน Link 3 และ Link 4
2. ทดลองเปลี่ยนแปลงระยะความยาวของรูเจาะ ของ link3 แล้วเปลี่ยนแปลงมุม θ จาก 0-25 องศา โดยเปลี่ยนแปลงทีละ 5 องศา เพื่อหาระยะทางของ X แล้วบันทึกผลเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับระยะทาง X ในอุดมคติ
3. ทดลองเปลี่ยนแปลงระยะความยาวของรูเจาะของ link 4 แล้วเปลี่ยนแปลงมุม θ จาก 0-25 องศา โดยเปลี่ยนแปลงทีละ 5 องศา เพื่อหาระยะทางของ X แล้วบันทึกผลเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับระยะทาง X ในอุดมคติ

4. ทดลองเปลี่ยนแปลงระยะความยาวของรูเจาะของ link 3 และ Link 4 แล้ว
เปลี่ยนแปลงมุม θ จาก 0-25 องศา โดยเปลี่ยนแปลงทีละ 5 องศา เพื่อหาระยะทางของ X แล้ว
บันทึกผลเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับระยะทาง X ในอุดมคติ การทดลองดังกล่าวได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.16 แสดงระยะทางของ X ในอุดมคติ ทุกชิ้นส่วนไม่มีความผิดพลาดใด

θ	0	5	10	15	20	25
X	49.00	66.43	83.73	100.76	117.40	133.52

ตารางที่ 4.17 แสดงระยะทางของ X เมื่อเปลี่ยนแปลง ระยะความยาวความยาวของรูเจาะ Link 3
ให้สั้นลง 0.1 mm.

θ	0	5	10	15	20	25
X	49.00	66.43	83.73	100.76	117.40	133.52
X _(-0.1)	49.02	66.45	83.75	100.79	117.44	133.57
X Error	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05

ตารางที่ 4.18 แสดงระยะทางของ X เมื่อเปลี่ยนแปลง ระยะความยาวความยาวของรูเจาะ Link 3
ให้สั้นลง 0.5 mm.

θ	0	5	10	15	20	25
X	49.00	66.43	83.73	100.76	117.40	133.52
X _(-0.5)	49.11	66.54	83.85	100.91	117.59	133.76
X Error	0.11	0.11	0.12	0.15	0.19	0.24

ตารางที่ 4.19 แสดงระยะทางของ X เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะความยาวความยาวของรูเจาะ Link 3 ให้สั้นลง 1.0 mm.

θ	0	5	10	15	20	25
X	49.00	66.43	83.73	100.76	117.40	133.52
X _(-1.0)	49.21	66.65	83.98	101.06	117.77	133.99
X Error	0.21	0.22	0.25	0.30	0.37	0.47

ตารางที่ 4.20 แสดงระยะทางของ X เมื่อเปลี่ยนแปลง ระยะความยาวความยาวของรูเจาะ Link 4 ให้ยาวขึ้น 0.1 mm.

θ	0	5	10	15	20	25
X	49.00	66.43	83.73	100.76	117.40	133.52
X _(+0.1)	49.10	66.53	83.83	100.87	117.52	133.64
X Error	0.10	0.10	0.10	0.11	0.12	0.12

ตารางที่ 4.21 แสดงระยะทางของ X เมื่อเปลี่ยนแปลง ระยะความยาวความยาวของรูเจาะ Link 4 ให้ยาวขึ้น 0.5 mm.

θ	0	5	10	15	20	25
X	49.00	66.43	83.73	100.76	117.40	133.52
X _(+0.5)	49.50	66.94	84.25	101.30	117.97	134.12
X Error	0.50	0.51	0.52	0.54	0.57	0.60

ตารางที่ 4.22 แสดงระยะทางของ X เมื่อเปลี่ยนแปลง ระยะความยาวความยาวของรูเจาะ Link 4 ให้ยาวขึ้น 1.0 mm

θ	0	5	10	15	20	25
X	49.00	66.43	83.73	100.76	117.40	133.52
X_(+1.0)	50.00	67.45	84.77	101.84	118.53	134.72
X Error	1.00	1.02	1.04	1.08	1.13	1.20

ตารางที่ 4.23 แสดงระยะทางของ X เมื่อเปลี่ยนแปลง ระยะความยาวความยาวของรูเจาะ Link 3 ให้สั้นลง 0.1 mm. และ Link 4 ให้ยาวขึ้น 0.1 mm.

θ	0	5	10	15	20	25
X	49.00	66.43	83.73	100.76	117.40	133.52
X_(+1.0)	49.12	66.56	83.86	100.90	117.55	133.69
X Error	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15	0.17

ตารางที่ 4.24 แสดงระยะทางของ X เมื่อเปลี่ยนแปลง ระยะความยาวความยาวของรูเจาะ Link 3 ให้สั้นลง 0.5 mm. และ Link 4 ให้ยาวขึ้น 0.5 mm.

θ	0	5	10	15	20	25
X	49.00	66.43	83.73	100.76	117.40	133.52
X_(+0.5)	49.61	67.05	84.38	101.45	118.15	134.35
X Error	0.61	0.62	0.65	0.69	0.75	0.83

ตารางที่ 4.25 แสดงระยะทางของ X เมื่อเปลี่ยนแปลง ระยะความยาวความยาวของรูเจาะ Link 3 ให้สั้นลง 1.0 mm. และ Link 4 ให้ยาวขึ้น 1.0 mm.

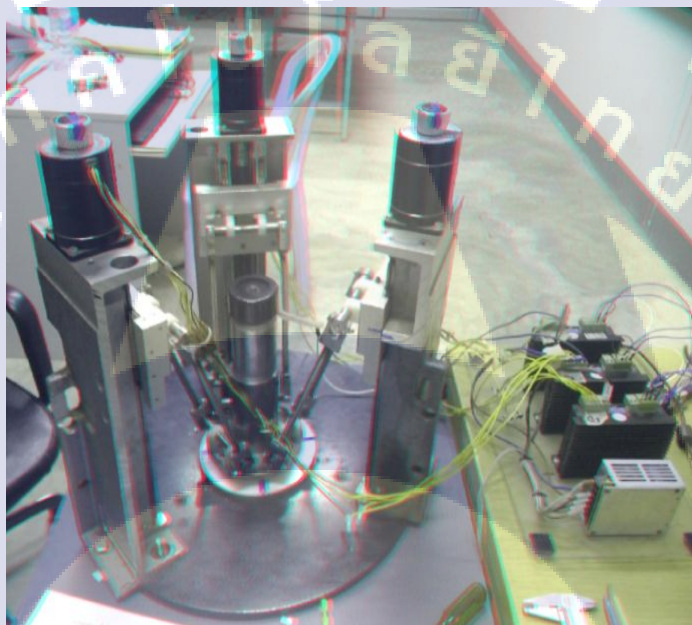
θ	0	5	10	15	20	25
X	49.00	66.43	83.73	100.76	117.40	133.52
X_(+1.0)	50.21	67.67	85.02	102.14	118.90	135.18
X Error	1.21	1.24	1.29	1.38	1.50	1.66



บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

5.1 ผลการวิจัยด้านการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื้องต้น สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน

การวิจัยในครั้งนี้ เป็นการวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื้องต้น สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน ซึ่งสรุปผลได้ว่า การออกแบบและสร้างตามโมเดลที่ 3 ดังรูปที่ 5.1 เป็นรูปแบบที่ดีที่สุดสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ โดยมีพื้นที่ในการทำงานที่ดีที่สุดที่ขนาด $60 \times 60 \times 30$ มม.



รูปที่ 5.1 แสดงผลการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื้องต้นสำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน ในโมเดลที่ 3

5.2 ผลการพัฒนาโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวกัท

การพัฒนาโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวกัทในการวิจัยในครั้งนี้เป็นการสร้างโดยโปรแกรม LabVIEW และมีค่าความละเอียดในการเคลื่อนที่ได้น้อยที่สุด 0.05 มม. และมีค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่โดยเฉลี่ย 0.05 มม.

5.3 ผลการศึกษาความผิดพลาดโดยเฉลี่ยของการเคลื่อนที่หัวกัด ของเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื่องตัน สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน

จากการศึกษาวิจัยโดยการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื่องตัน สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน ในครั้งนี้มีค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งโคออดิเนตต่าง ๆ โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1 มม.

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ในการสร้างเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื่องตัน สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน ควรระมัดระวังเรื่องของค่าความผิดพลาด (Tolarance) ในการผลิตชิ้นส่วนแต่ละชิ้น ให้มีค่าความถูกต้องมากที่สุด

5.4.2 ในการสร้างเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื่องตัน สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน ควรใช้บอลสกรูเป็นชิ้นส่วนในการขับเคลื่อนเพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ไม่ควรใช้ลีดสกรูในการขับเคลื่อนเพราะจะเกิดปัญหาทางด้าน Backlash ซึ่งส่งผลถึงค่าความถูกต้องในการเคลื่อนที่

5.4.3 ในการสร้างเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื่องตัน สำหรับการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน ควรใช้การควบคุมแบบ Close Loop เพื่อความถูกต้องของระยะการเคลื่อนที่

TNI

บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- [1] พิมพ์เพชร สระทองอ่อน, “ผลกระทบของตัวแปรความผิดพลาดของเครื่องกัดแนวตั้งต่อค่าพิถีความเผื่อรูปทรงชิ้นงาน,” วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เทคโนโลยีวิศวกรรม), สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ, 2555.
- [2] ธรธิป ภูระหงษ์, “เครื่องมือซีเอ็นซีควบคุมโดยโปรแกรม MACH3,” [Online]. Available : <http://www.scribd.com/doc/176456089/minicnc-mach3>. [Accessed : June 26, 2013].
- [3] Sasa Zivanovic et al., “Mathodology for configuring Desktop 3-axis Parallel Kinematic Machine,” *FME Transactions*, vol.37, pp. 107-115, July 2009.
- [4] S.Mitsi et al., “Optimal design of a modified orthoglide parallel kinematic mechanism used in a cnc milling machine,” *International Conference on Manufacturing Engineering, ICMEN*, Chalkidiki, Greece, October 1-3, 2008, pp.495-502.
- [5] Damien Chablat and Philippe Wenger, “Architecture Optimization of a 3-DOF Translational Parallel Mechanism for Machining Applications,” [Online]. Available : <https://arxiv.org/pdf/0708.3381.pdf>. [Accessed: Feb.27,2013].
- [6] Jinbo Wu and Zhouping Yin, “A Novel 4-DOF Parallel Manipulator,” [Online]. Available : http://www.intechopen.com/books/parallel_manipulators_towards_new_applications/a_novel_4-dof_parallel_manipulator_h4. [Accessed : June 26, 2013].
- [7] Viera Poppeova et al., “The Concept of HSC Milling Machine with Hybrid Kinematic Structure Application,” [Online]. Available : <https://www.Yumpu.com/en/document/view/51211391/the-concept-of-hsc-milling-machine-with-hybrid-kinematic>. [Accessed : July 26, 2013].
- [8] D. Milutinovic et al., “Mini educational 3-axis parallel kinematic milling machine,” *International Confernce on Manufacturing Engineering, ICMEN*, Chalkidiki, Greece, October 1-3, 2008, pp.463-474.
- [9] Toshihiro OKUDA et al., “Disturbance estimation on a hexapod-type parallel kinematic machine tool by using a disturbance observer,” *2004 Japan _USA Symposium on Flexible Automation Denver, JUSFA*, Colorado, July 19-21, 2004, pp.1764-1769.
- [10] V.Poppeova et al., “The Development of Mechanism Based on Hybid Kinematic Structure,” [Online]. Available : https://www.researchgate.net/publication/255579542_

DIDACTIC_PROTOTYPE_OF_A_MACHINE_TOOL_BASED_ON_A_PARALLEL_KINEMATIC_MECHANISM.[Accessed : june 26, 2013].

- [11] Tracisio A. et al., “*Didactic Prototype of a Machine Tool Based on Parallel Kinematic Mechanism,*” [Online]. Available :
[http://www.academia.edu/24024077/](http://www.academia.edu/24024077/Didactic_Prototype_of_a_Machine_Tool_Based_on_a_Parallel_Kinematic_Machanism)
Didactic_Prototype_of_a_Machine_Tool_Based_on_a_Parallel_Kinematic_Machanism.
[Accessed : Feb. 27, 2013].



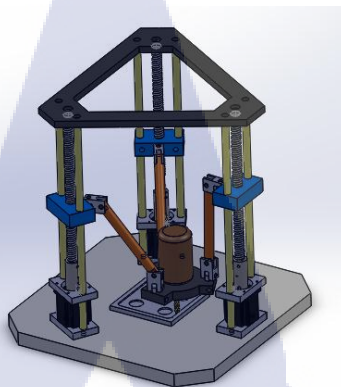
ภาคผนวก

TNI

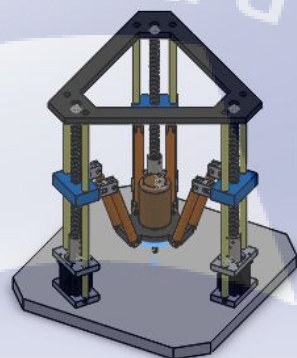
ภาคผนวก ก

รูปแสดงผลการออกแบบเครื่องต้นแบบกลไก พาราเรล คิเนเมติกเบื้องต้น

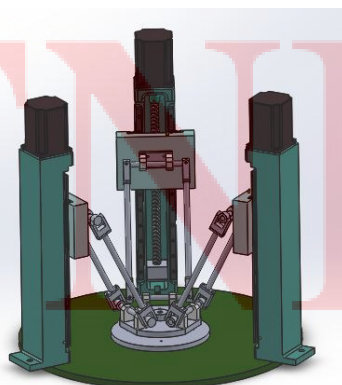
TNI



รูปที่ ก.1 ผลการออกแบบ Model ที่ 1



รูปที่ ก.2 ผลการออกแบบ Model ที่ 2



รูปที่ ก.3 ผลการออกแบบ Model ที่ 3

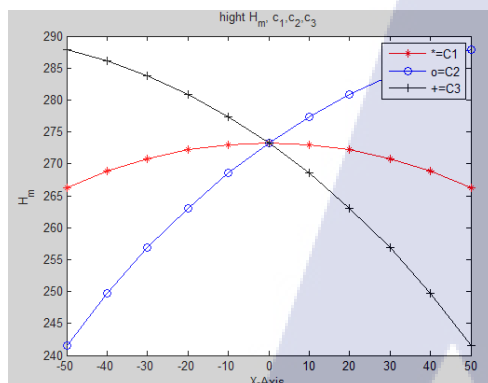
ภาคผนวก ข

รูปแสดงโปรแกรมการคำนวณหาความสูงของ H_1 , H_2 และ H_3
โดยออदिเนตต่างๆ โดยโปรแกรม Math Lab

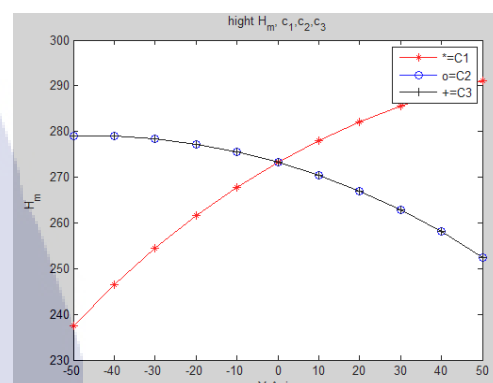
TNI



รูปที่ ข.1 แสดงโปรแกรมการคำนวณหาความสูงของ H_1 , H_2 และ H_3 โดยออติเน็ตต่างๆ โดยโปรแกรม Math Lab



(a) แสดงกราฟในแนวแกน X



(b) แสดงกราฟในแนวแกน Y

รูปที่ ข.2 แสดงกราฟความสูงโดยโปรแกรม Math Lab

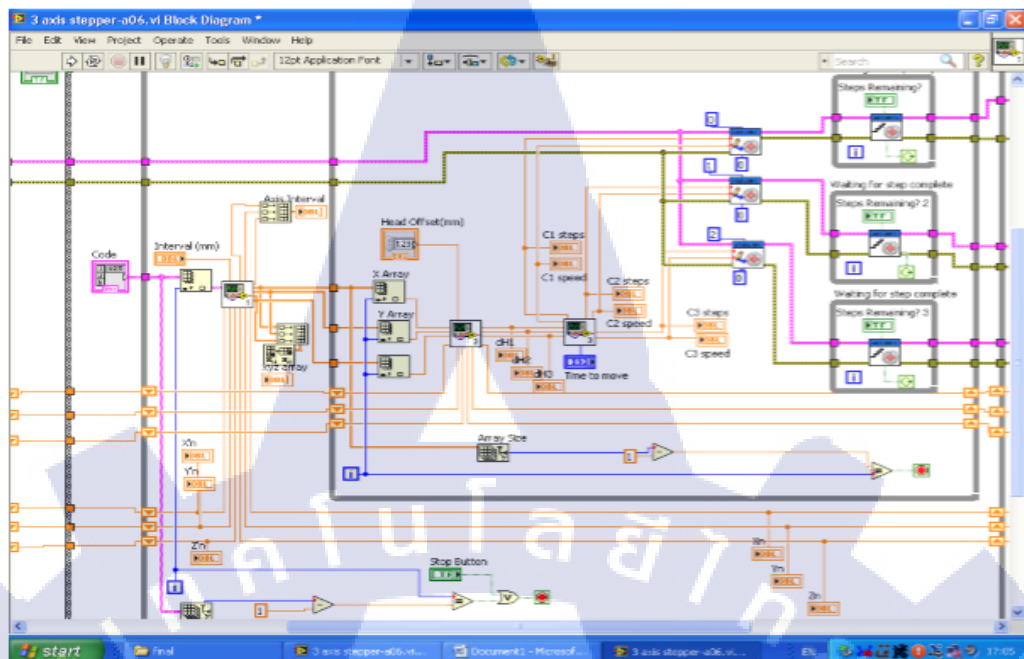
TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

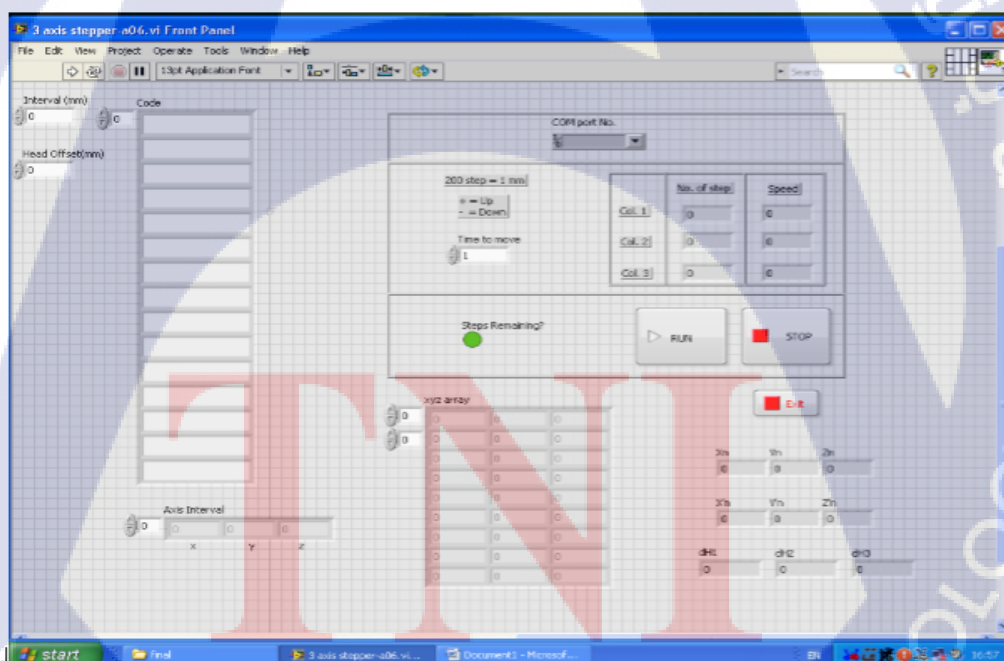
ภาคผนวก ค

แสดง Block Diagram และ GUI ที่สร้างโดยโปรแกรม Lab View

TNI



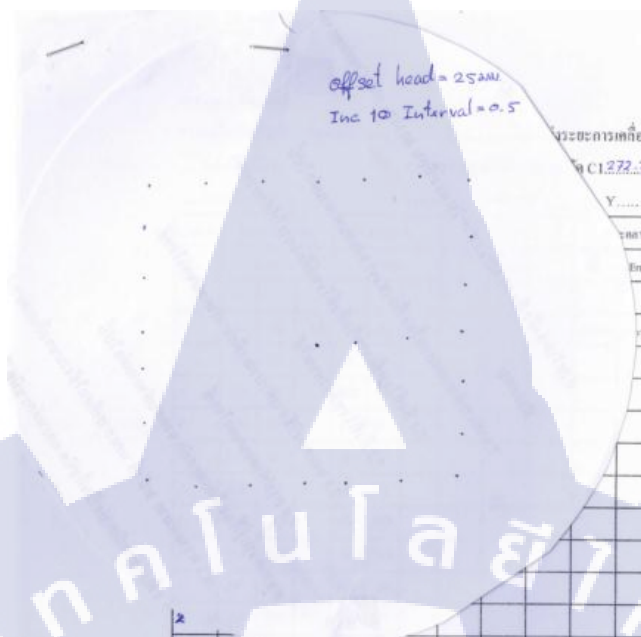
รูปที่ ค.1 Block Diagram ที่สร้างโดยโปรแกรม Lab View



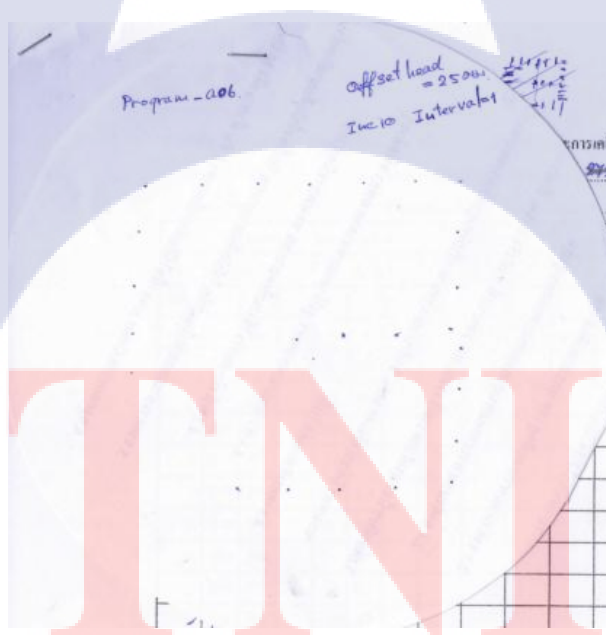
รูปที่ ค.2 GUI ที่สร้างโดยโปรแกรม Lab View

ภาคผนวก ง
แสดงตัวอย่างชิ้นงานที่พล็อตได้

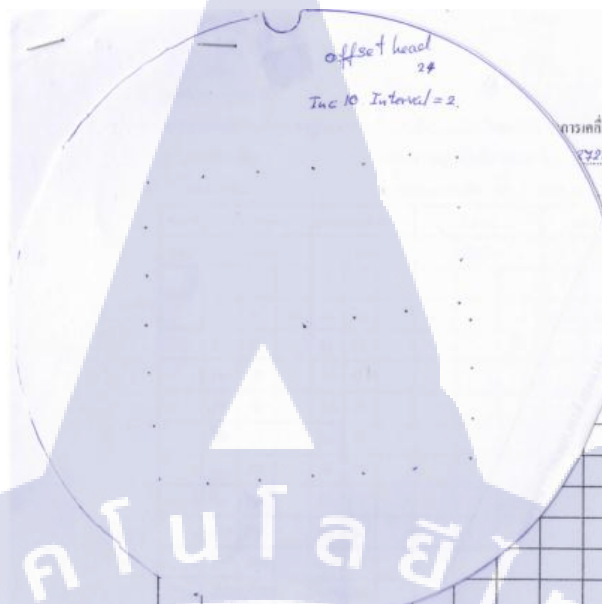
TNI



รูปที่ 3.1 offset head = 25 mm. Inc. 10 Interval = 0.5 mm.



รูปที่ 3.2 offset head = 25 mm. Inc. 10 Interval = 1 mm.



รูปที่ 3.3 offset head = 25 mm. Inc. 10 Interval = 2 mm.