



มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รายงานการวิจัย
เรื่อง

การออกแบบและควบคุมเครื่องกัดชนิด3 แกน
DESIGN AND CONTROL A THREE AXIS MILLING MACHINE

วิทยา พันธุ์เจริญศิลป์
อดุลย์ พัฒนภักดี
สถาพร คล้ายคลึง

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม
ปีการศึกษา 2542

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีส่วนหนึ่งด้วยความร่วมมือจากนักศึกษาและอาจารย์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ที่มีส่วนช่วยเหลือในการ
ประกอบและติดตั้งฮาร์ดแวร์ของเครื่องกัดชนิด3 แกน นี้

โดยการวิจัยครั้งนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม ในโครงการ
ทุนอุดหนุนการวิจัยของสำนักวิจัยทั้งหมด จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ และมหาวิทยาลัยศรีปทุม ที่ได้
เอื้อเฟื้อสถานที่และทุนในการทำวิจัยและเครื่องมือประกอบการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

วิทยา พันธุ์เจริญศิลป์

ผู้วิจัย

ตุลาคม 2548

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

Research Title : Design and Control a three axis milling machine

Name of Research : Mr.Vitthaya Phancharoensinn,Mr.Adual Pattanapukdee and Mr.Sathaporn Klaykleung

Name of Institution : Sripatum University,Bangkhane Campus

Year of Publication : B.E.2548

ABSTRACT

A Three axis milling machine, for testing a closed loop control system is designed and constructed for this research. The moving part of the machine are motivated by a permanent magnetic DC Servo motors, Which has a unit drive as PWM(Pulse Width Modulation).

The motion of a machine is controlled by using a PI controller. The controller is implemented on 150 MHz-Pentium microprocessor. Two type of the reference position command input that can be vary are consist of the constant acceleration - constant deceleration profile and the constant acceleration -constant velocity-constant deceleration profile.

The suitable result for the constant acceleration- constant deceleration profile is for the x axis are $\pm 1.3 \text{ mm/s}^2$, the y axis are $\pm 1.5 \text{ mm/s}^2$ and the z axis are $\pm 1 \text{ mm/s}^2$, the suitable result for constant acceleration-constant velocity-constant deceleration profile for the x axis velocity is 4 mm/s and acceleration are $\pm 1.5 \text{ mm/s}^2$, the y axis velocity is 4 mm/s and acceleration are $\pm 3 \text{ mm/s}^2$ and the z axis velocity is 2 mm/s and acceleration are $\pm 2 \text{ mm/s}^2$.

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

Keywords : PI controller, constant acceleration-constant velocity-constant deceleration

หัวข้อวิจัย : การออกแบบและควบคุมเครื่องกัดชนิด 3 แกน
ผู้วิจัย : นายวิทยา พันธุ์เจริญศิลป์, นายอดุลย์ พัฒนภักดี และ นายสถาพร คล้ายคลึง
หน่วยงาน : มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตบางเขน
ปีที่พิมพ์ : พ.ศ.2548

บทคัดย่อ

การสร้างและออกแบบเครื่องกัดชนิด 3 แกน ซึ่งใช้สำหรับการทดลอง โดยการเคลื่อนที่ถูกขับด้วยดีซีซี เซอร์โวมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร โดยมีPWM เป็นชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ในแต่ละแกน

การควบคุมการเคลื่อนที่เป็นแบบลูปปิด โดยมีคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ควบคุมแบบ พี.ไอ. ที่ถูกสร้างขึ้นจาก โปรแกรมบนไมโครคอมพิวเตอร์รุ่น Pentium-150 MHz การควบคุมเป็นการสร้างโปรไฟล์คำสั่งเพื่อใช้ในการ ควบคุมสองแบบคือแบบแรกเป็นแบบ ความเร่งคงที่-ความหน่วงคงที่ และแบบที่สอง ความเร่งคงที่-ความเร็ว คงที่-ความหน่วงคงที่ โดยค่าของความเร็วและความเร่งในการควบคุมสามารถเปลี่ยนค่าได้

จากผลการทดลองพบว่าการควบคุมการเคลื่อนที่ภายใต้โปรไฟล์คำสั่งแบบแรก สำหรับแกน x ค่าที่ดีที่สุดอยู่ที่ +/- 1.3 mm/s² แกน Y เท่ากับ +/- 1.5 mm/s² และแกน Z เท่ากับ +/- 1 mm/s² ผลการควบคุม ภายใต้โปรไฟล์คำสั่งแบบที่สองสำหรับแกน x ค่าที่ดีที่สุดความเร็วคงที่เท่ากับ 4 mm/s และความเร่งความหน่วง คงที่เป็น +/- 1.5 mm/s² แกน Y ค่าที่ดีที่สุดความเร็วคงที่เท่ากับ 4 mm/s และความเร่งความหน่วงคงที่เท่ากับ +/- 3 mm/s² และแกน Z ความเร็วคงที่เท่ากับ 2 mm/s และความเร่งความหน่วงคงที่เท่ากับ +/- 2 m/s²

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

คำสำคัญ : ควบคุมแบบ พี.ไอ., ความเร่งคงที่-ความเร็วคงที่-ความหน่วงคงที่

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ.....	1
	ความสำคัญและที่มาของการวิจัย.....	1
	วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	2
	ขอบเขตของการวิจัย.....	2
2	วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
	ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับงานวิจัย.....	3
	ทฤษฎีรองรับเรื่องที่วิจัย.....	3
	ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
3	ระเบียบวิธีการวิจัย.....	9
	รูปแบบการวิจัย.....	9
	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	9
	การออกแบบส่วนต่างๆ.....	10
	เครื่องมือประกอบการวิจัย.....	20
	วิธีการทดลองและการรวบรวมข้อมูล.....	23
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	30
5	สรุป อภิปรายผล วิจาร์ณผลและข้อเสนอแนะ.....	45
	สรุปผลการวิจัย.....	45
	อภิปรายผล.....	45
	วิจาร์ณผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	46
	บรรณานุกรม.....	47

บทที่	หน้า
ภาคผนวก.....	49
ภาคผนวก ก. ตารางและภาพกราฟอ้างอิง.....	50
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	60



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	แสดงตารางสรุปขั้นตอนการดำเนินงาน.....	9
2	แสดงค่าจากการคำนวณหาจุดศูนย์ถ่วงของแผ่นยึดเสาแกน Y.....	15
3	ค่าเกินวิกฤตของแต่ละแกนภายใต้การทดลอง.....	27



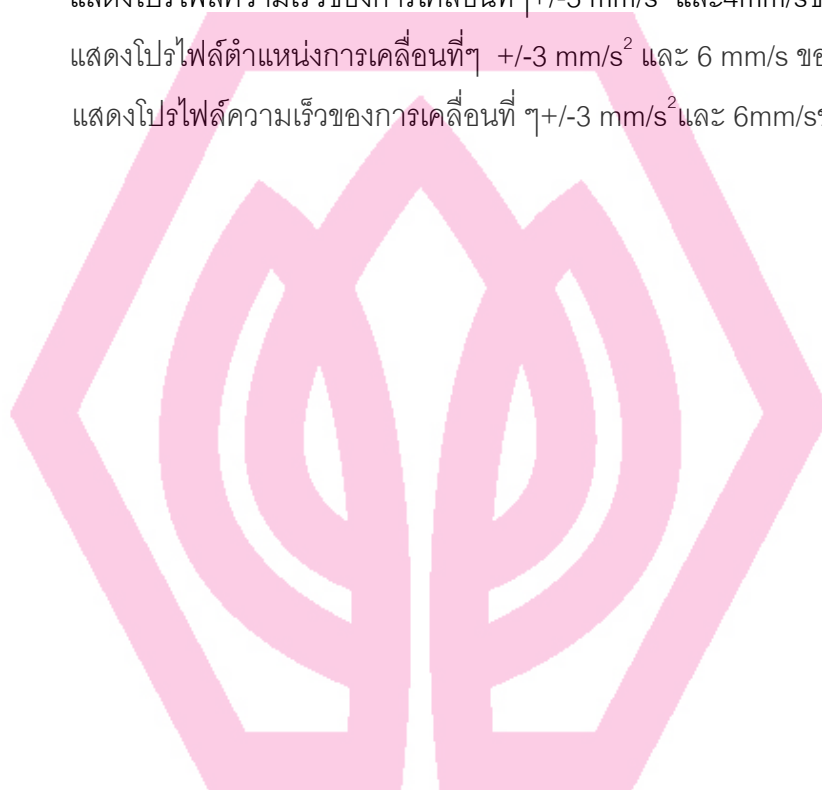
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1	บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี ของดีซีเซอร์โวมอเตอร์..... 3
2	บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบ พี..... 4
3	บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบ พี.ดี..... 5
4	บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบ พี.ไอ..... 5
5	บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบ พี.ไอกับระบบที่ถูกรบกวนจากแรงภายนอก 6
6	บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี กับมอเตอร์แกนกััด..... 7
7	โครงสร้างของเครื่องกััดอัตโนมัติ..... 10
8	แสดงลักษณะของโครงสร้างฐานและโต๊ะ..... 12
9	แสดงการโค้งตัวของแกน Y 14
10	แสดงโครงสร้างของฐานเครื่องที่มีตัวยึดแขนแกน Y..... 14
11	แสดงลักษณะขนาดของแผ่นยึดแกน Y 15
12	แสดงตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงมวล..... 16
13	แสดงแรงที่กระทำกับเสายึดแกน Y และ Z 16
14	แสดง FBD. ของแผ่นรองรับน้ำหนักชุดหัวกััด..... 18
15	แสดงแรงที่เกิดขึ้นกับคานรับน้ำหนักระยะชุดกััดเคลื่อนที่..... 19
16	ออสซิลโลสโคปแบบดิจิทัลของTektronik..... 21
17	แสดงภาพหน้าจอคอมพิวเตอร์ของโปรแกรมควบคุม..... 21
18	แสดงการ์ดD/A และ I/O..... 21
19	ชุดขับเคลื่อนแบบPWM..... 22
20	วงจรดีโคเดออร์สัญญาณตำแหน่งของมอเตอร์..... 22
21	ภาพแสดงเครื่องกััดชนิด3 แกนและตู้ควบคุม..... 23
22	สวิทช์การควบคุมด้วยมือที่ตู้ควบคุม..... 23
23	ชุดควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยมือ..... 24
24	แสดงตำแหน่งสวิทช์เลือกโหมดควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์..... 24
25	ภาพแสดงหน้าจอการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์.....25
26	โปรไฟล์ความเร็ว สำหรับการควบคุมตำแหน่งแบบจุดต่อจุด.....25
27	ภาพแสดงผลตอบสนองของระบบต่อฟังก์ชันขั้นบันได.....26

28	แสดงคาบเวลาของการแกว่งที่ค่าเกินวิกฤตซึ่งทำให้ระบบเริ่มขาดเสถียรภาพ..	27
29	ผลการควบคุมแกนX ที่ พี.ไอ ควบคุม($K_p=1.78, K_i=3.29$).....	28
30	ผลการควบคุมแกนY ที่ พี.ไอ ควบคุม($K_p=1.67, K_i=3.09$).....	28
31	ผลการควบคุมแกนZ ที่ พี.ไอ ควบคุม($K_p=1.94, K_i=3.59$).....	29
32	ที่ความเร็วคงที่ 1 mm/s ของแกนZ.....	30
33	ที่ความเร็วคงที่ 2 mm/s ของแกนX และ Y	30
34	ที่ความเร็วคงที่ 4mm/s ของแกนY.....	31
35	ที่ความเร็วคงที่ 6.5 mm/s ของแกนY.....	31
36	ที่ความเร็วคงที่ 7 mm/s ของแกนY	32
37	ที่ความเร่งคงที่ 1.5 mm/s ² ของแกนZ.....	32
38	ที่ความเร่งคงที่ 2 mm/s ² ของแกน X.....	33
39	ที่ความเร่งคงที่ 4 mm/s ² ของแกน Y.....	33
40	แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ๆ +/-1.3 mm/s ² ของแกน X	34
41	แสดงโปรไฟล์ความเร็วการเคลื่อนที่ๆ +/-1.3 mm/s ² ของแกน X.....	34
42	แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ๆ +/-4 mm/s ² ของแกน X.....	35
43	แสดงโปรไฟล์ความเร็วการเคลื่อนที่ๆ +/-4 mm/s ² ของแกน X.....	35
44	แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ๆ +/-4 mm/s ² ของแกน X.....	36
45	แสดงโปรไฟล์ความเร็วการเคลื่อนที่ๆ +/-4 mm/s ² ของแกน X.....	36
46	แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ๆ +/-6.5 mm/s ² ของแกน Y	37
47	แสดงโปรไฟล์ความเร็วการเคลื่อนที่ๆ +/-6.5 mm/s ² ของแกน Y.....	37
48	แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ๆ +/-2 mm/s ² และ 2 mm/s ของแกน Y. 38	
49	แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ๆ +/-2 mm/s ² และ 2 mm/s ของแกน Y.. 38	
50	แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ๆ +/-1.5 mm/s ² และ 4 mm/s ของแกนX 39	
51	แสดงโปรไฟล์ความเร็วการเคลื่อนที่ๆ +/-1.5 mm/s ² และ 4 mm/s ของแกนX 39	
52	แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ๆ +/-2 mm/s ² และ 4 mm/s ของแกน Y...40	
53	แสดงโปรไฟล์ความเร็วการเคลื่อนที่ๆ +/-2 mm/s ² และ 4 mm/s ของแกน Y.. 40	
54	แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ๆ +/-2 mm/s ² และ 2 mm/s ของแกน Z...41	
55	แสดงโปรไฟล์ความเร็วการเคลื่อนที่ๆ +/-2 mm/s ² และ 2mm/s ของแกน Z...41	

56	แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ $\pm 3 \text{ mm/s}^2$ และ 4 mm/s ของแกน X...42
57	แสดงโปรไฟล์ความเร็วของการเคลื่อนที่ $\pm 3 \text{ mm/s}^2$ และ 4 mm/s ของแกน X.42
58	แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ $\pm 3 \text{ mm/s}^2$ และ 4 mm/s ของแกน Y...43
59	แสดงโปรไฟล์ความเร็วของการเคลื่อนที่ $\pm 3 \text{ mm/s}^2$ และ 4 mm/s ของแกน Y 43
60	แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ $\pm 3 \text{ mm/s}^2$ และ 6 mm/s ของแกน Y.. 44
61	แสดงโปรไฟล์ความเร็วของการเคลื่อนที่ $\pm 3 \text{ mm/s}^2$ และ 6 mm/s ของแกน Y. 44



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

เนื่องจากปัจจุบันมีการแข่งขันทางธุรกิจค่อนข้างสูงโดยเฉพาะอาหาลัยหรือขึ้นส่วนทางด้านวิศวกรรมยานยนต์และเครื่องจักรกลต่างๆ ซึ่งใช้ยุทธวิธีการตลาดต้นทุนการนำเข้าแบบถาวรเป็นการผลิตขึ้นเอง โดยเทคโนโลยีการผลิตนี้เองที่ต้องอาศัยเครื่องจักรที่มีความรวดเร็ว , ความถูกต้องโดยเฉพาะอย่างยิ่งชิ้นงานที่มีความซับซ้อน ในเชิงผลผลิตมวลรวมแล้วจะใช้เครื่องจักรดังกล่าวในการผลิตแม่พิมพ์เพื่อการฉีดหรือหล่อ ด้วยเหตุดังกล่าวทำให้ประเทศไทยต้องนำเข้าเครื่องจักรดังกล่าวคิดเป็นเงินตราที่ไหลออกนอกประเทศมากมายมหาศาลและเป็นไปแบบถาวร ทราบว่าประเทศไทยยังไม่สามารถผลิตเครื่องดังกล่าวได้เอง จากเหตุผลดังกล่าวนี้เองผู้วิจัยเห็นว่าการจะได้มีการวิจัยในเรื่องนี้อย่างจริงจังเพื่อพัฒนาไปสู่การผลิตเครื่องดังกล่าวนี้ได้เองโดยจากข้อมูลที่ได้ค้นคว้าจากเว็บไซต์ของหอสมุดแห่งชาติ<http://www.nlt/ipac> และเว็บไซต์สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย <http://www.trf.or.th/research> จากผลการค้นหาค้นพบว่ามีการวิจัยเพื่อสร้างเครื่องกัดดังกล่าวให้ใช้งานในเชิงอุตสาหกรรมได้จริงและมีประสิทธิภาพยังไม่มี จึงได้ทำการวิจัยนี้โดยเบื้องต้นเป็นการสร้างต้นแบบเครื่องกัดเพื่อการศึกษาโดยมีขอบเขตของงานอยู่เพียง 3 แกน โดยอ้างอิงค่าความถูกต้องที่ได้เป็นหลักโดยไม่คำนึงถึงเวลาหรือความเร็วในการทำงาน(ความหมายในที่นี้คือการพิจารณาทฤษฎีการควบคุมแบบต่างๆ โดยกระทำบนเครื่องกัดตัวเดียวกัน) กับการพัฒนาไปสู่เครื่องกัดแบบ 4 แกน ถึง 6 แกน เพื่อสามารถทำงานที่ซับซ้อนในเชิงอุตสาหกรรมได้จริงรวมถึงการพัฒนาโปรแกรมในการสร้างคำสั่งเพื่อการควบคุมให้อยู่ในรูปแบบการใช้งานที่ง่าย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ออกแบบและสร้างโครงสร้างเครื่องกัดแบบ 3 แกน

เหตุที่ต้องเลือกวัตถุประสงค์ดังกล่าวนี้เนื่องจากว่าโครงสร้างมีความสำคัญสูงสุด เพราะการออกแบบโครงสร้างที่ดีจะทำให้เครื่องกัดสามารถทำงานที่ให้ค่าความถูกต้องสูงสุด และนำไปสู่ความง่ายต่อการพัฒนาแกนที่ 4 ถึง แกนที่ 6

1.2.2 การออกแบบและสร้างระบบควบคุม

ระบบควบคุมมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการทำงานและค่าความถูกต้องของเครื่องในส่วนของสัญญาณเพื่อการควบคุมรวมถึงระบบความปลอดภัยในการทำงานของเครื่องกัดและการวางระบบเพื่อการพัฒนาฟังก์ชันต่างๆ ที่จำเป็นในอนาคต เช่น ระบบควบคุมชุดหัวกัดที่

มากกว่า 1 หัว, ชุดควบคุมหัวจับชุดหัวกัดแบบอัตโนมัติ, ชุดควบคุมระบบหล่อเย็น, ชุดควบคุมไฟส่องสว่างบนตัวเครื่อง, ชุดควบคุมการปิดเปิดการ์ดกันเศษวัสดุจากการกัดและน้ำหล่อเย็น เป็นต้น

1.2.3 ทดสอบผลการควบคุมภายใต้คอนโทรลเลอร์แบบต่างๆ

การทดสอบโดยการเปลี่ยนรูปแบบการควบคุมแบบต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบผลการควบคุม การเปรียบเทียบผลเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งที่จะให้การทำงานของเครื่องจักรมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดและให้ผลตอบสนองหรือความเร็วในการทำงานสูงสุด

1.2.4 การออกแบบไฟล์ชาร์ทและการเขียนโปรแกรมควบคุม

การเขียนโปรแกรมควบคุมที่มีประสิทธิภาพต้องมีการวางลจิกเพื่อการสั่งการหรือกระบวนการในการทำงานที่ทำให้สามารถใช้งานได้ง่าย มีการประมวลผลที่รวดเร็ว และสามารถขยายขอบเขตหรือขีดความสามารถของโปรแกรมได้ง่าย

1.2.5 เพื่อให้เป็นชุดทดลองประกอบการเรียนการสอนในรายวิชาการควบคุมระบบแบบอัตโนมัติของนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและไฟฟ้าได้

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.3.1 จะได้เครื่องต้นแบบที่สามารถพัฒนาไปสู่เครื่องกัดแบบ 4 ถึง 6 แกน

1.3.2 จากผลการควบคุมจะทำให้สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้ในการควบคุมและพัฒนาในโครงการถัดไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3.3 จากผลสำเร็จในโครงการนี้จะสามารถนำเครื่องดังกล่าวไปใช้ในการกัดชิ้นงานที่มีรูปทรงอย่างง่ายได้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 สร้างโครงสร้างเครื่องกัดแบบ 3 แกน

1.4.2 สร้างระบบควบคุม

1.4.3 ทดสอบผลการควบคุมภายใต้คอนโทรลเลอร์แบบต่างๆ

1.4.4 เขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการทดสอบผลการควบคุมภายใต้คอนโทรลเลอร์แบบต่างๆ

1.4.5 สามารถใช้เป็นชุดทดลองเพื่อการเรียนการสอน

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับงานวิจัย

มีองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยดังนี้

2.1.1 ทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุและการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล

2.1.2 ทฤษฎีงานกัดและงานกลึง

2.1.3 ทฤษฎีวงจรรีเลย์คทรอนิกส์กำลังและวงจรถิศจิตอล

2.2 ทฤษฎีรองรับเรื่องทวิจ้ย

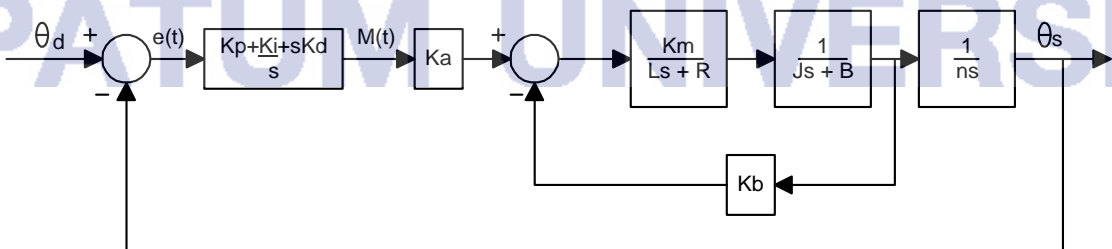
เป็นการนำหลักการควบคุมระบบแบบอัตโนมัติมาประยุกต์ใช้กับการควบคุมเครื่องจักรกลให้มีความสามารถทำงานแบบอัตโนมัติ ซึ่งเรียกว่าการควบคุมระบบอัตโนมัติแบบคลาสสิกซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ควบคุม โดยการเก็บข้อมูลของชุดคำสั่งเปรียบเทียบกับผลตอบสนองที่ได้รับจากอุปกรณ์ตรวจรู้คำสั่งเพื่อนำสัญญาณผลต่างไปใช้ในการควบคุมแต่ละแกนให้ทำงานตามระบบที่ผู้ควบคุมต้องการซึ่งในโครงการนี้ได้ใช้การควบคุมระบบป้อนกลับแบบพี.ไอ คอนโทรลเลอร์ มีเป้าหมายคือทำให้ระบบสามารถตอบสนองต่อคำสั่งควบคุมได้รวดเร็วแม่นยำและมีเสถียรภาพ

โดยการพิจารณาเลือกระบบควบคุมต้องพิจารณาถึงข้อสำคัญ 3 ประการคือ

2.2.1 การตอบสนองคำสั่งของช่วงทรานเซียนท์(Transient – response)

2.2.2 เสถียรภาพของระบบควบคุม

2.2.3 ความคลาดเคลื่อนคงตัว(steady – state error) โดยที่ความคลาดเคลื่อนคงตัวเกิดจากความคลาดเคลื่อนของช่วงทรานเซียนท์ , ความคลาดเคลื่อนของอัตราขยาย , การรบกวนจากภายนอกระบบ(disturbance) และความคลาดเคลื่อนจากอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบเช่นสแตติกฟริคชัน (static friction) , แบคแลช(backlash)



ภาพประกอบ1 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี ของดีซีเซอร์โวมอเตอร์

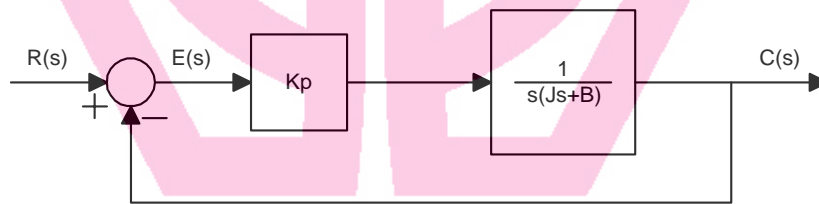
การควบคุมมอเตอร์ขับเคลื่อนแกนกัตโดยใช้การควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี ดังภาพประกอบ1 สามารถตอบสนองต่อคำสั่งควบคุมได้ตามวัตถุประสงค์ข้างต้นทั้ง 3 โดยที่ตัวควบคุมแบบ พี (proportional controller : K_p) เป็นตัวปรับปรุงความเร็วการตอบสนองในช่วงทรานเซียนท์ถ้า K_p มีค่ามากระบบก็จะมี การตอบสนองเร็ว ตัวควบคุมแบบ ไอ(Integral Controller: K_i) เป็นตัวกำจัด ความคลาดเคลื่อนคงตัวจากสาเหตุต่างๆ ที่กล่าวแล้วข้างต้น (ยกเว้นแบบแลช) และตัวควบคุม แบบ ดี (Derivative controller: K_d) เป็นตัวปรับปรุงเสถียรภาพของระบบด้วยการเป็นแด้มปิ้ง (damping) และลดโอเวอร์ชูท(Over shoot) ของระบบที่เพิ่มตามค่า K_p

2.2.4 การควบคุมแบบ พี กับ ความคลาดเคลื่อนคงตัว พิจารณาระบบควบคุม อันดับที่ 2 หรือดีซีเซอร์โวมอเตอร์ ดังภาพประกอบ2 หาความสัมพันธ์ของความคลาดเคลื่อน $E(s)$ กับคำสั่งควบคุม $R(s)$ ได้ดังสมการ

$$E(s) = R(s)(Js^2+Bs)/Js^2+Bs+K_p \quad (2.1)$$

ถ้าคำสั่งควบคุมเป็นแบบแร่มพ์($R(s) = 1/s^2$) ความคลาดเคลื่อนคงตัว(e_{ss}) หาได้จากสมการ

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = B/K_p \quad (2.2)$$



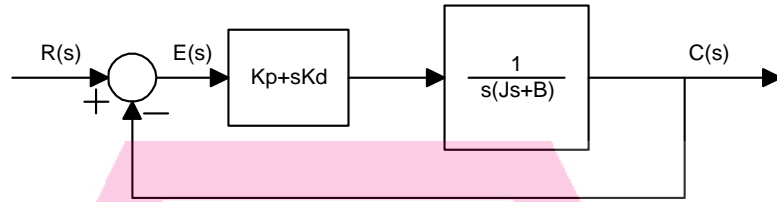
ภาพประกอบ2 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบ พี

จากภาพประกอบ2 ระบบมีอัตราส่วนแด้มปิ้ง $\zeta = B/2(K_p J)^{1/2}$ และจากสมการดังกล่าว เมื่อทำการเพิ่มค่า K_p จะทำให้ความคลาดเคลื่อนคงตัวและอัตราส่วนแด้มปิ้งลดลง แต่การลดลงของอัตราส่วนดังกล่าวทำให้การตอบสนองคำสั่งควบคุมแบบขั้นบันได(Step Input) ของระบบมีค่าโอเวอร์ชูทมากขึ้น ซึ่งอาจทำให้ระบบขาดเสถียรภาพได้

2.2.5 การควบคุมแบบ พี.ดี กับ ความคลาดเคลื่อนคงตัว พิจารณาระบบควบคุม อันดับที่ 2 จากภาพประกอบ3 สามารถใช้การควบคุมแบบ พี.ดี โดยที่ผลความสัมพันธ์ของค่า ความคลาดเคลื่อนหาได้ตามสมการ ผลของความคลาดเคลื่อนคงตัวของคำสั่งควบคุมแบบแร่มพ์ (Ramp Input) หาได้ดังสมการ

$$E(s) = Js^2+(B+K_d)s/Js^2+(K_d+B)s+K_p \quad (2.3)$$

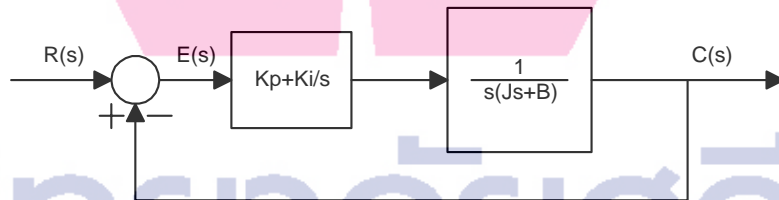
$$e_{ss} = B/K_p$$



ภาพประกอบ3 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบ พี.ดี

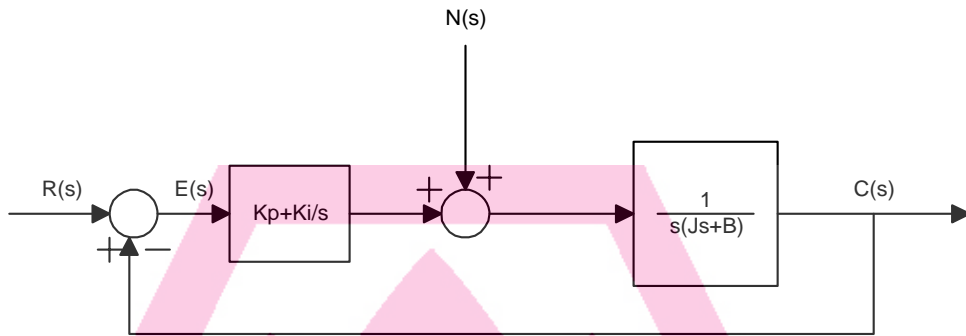
ภาพประกอบ3 ระบบมีอัตราส่วนแด้มปีง $\zeta = (B+K_d)/2(K_d J)^{1/2}$ และจากสมการการเพิ่มค่า K_p จะให้ผลลักษณะเดียวกับการควบคุมแบบ พี แต่อัตราส่วนแด้มปีงสามารถทำการปรับเพิ่มค่าได้ตามค่า K_d ซึ่งเป็นการลดโอเวอร์ชูทของระบบหรือกล่าวได้ว่า K_d เป็นตัวปรับที่รักษาเสถียรภาพ

2.2.6 การควบคุมแบบ พี.ไอ กับความคลาดเคลื่อนคงตัว การควบคุมแบบ พีกับระบบอันดับที่2 ดังภาพประกอบ4สามารถใช้ในการควบคุมแบบ พี.ไอ ได้ดังภาพโดยที่ผลของความคลาดเคลื่อนของระบบหาได้จากสมการที่2.4



ภาพประกอบ4 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบ พี.ไอ

แล้วนำมาหาความคลาดเคลื่อนคงตัวของคำสั่งควบคุมแบบแรมพ์ เช่นเดียวกับการควบคุมแบบพี ข้างต้นพบว่าความคลาดเคลื่อนคงตัวมีค่าเป็นศูนย์แสดงว่าการควบคุมแบบ ไอ (Ki) สามารถกำจัดความคลาดเคลื่อนคงตัวให้ระบบได้ แต่โดยแท้จริงของการควบคุมพบว่าระบบมักจะถูกรบกวนจากปัจจัยภายนอกด้วยจึงทำให้ความคลาดเคลื่อนของระบบยังมีอยู่ จากภาพประกอบ4 นำมาพิจารณาระบบควบคุมแบบมีการรบกวนจากภายนอกได้ดังภาพประกอบ5



ภาพประกอบ5 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบ พี.ไอ กับระบบที่ถูกรบกวนจากแรงภายนอก

พิจารณาผลการรบกวนจากแรงภายนอกเป็นแบบแรมพ์ $N(s)$ เมื่อไม่มีคำสั่งควบคุม $R(s)$ หรือ $R(s)$ มีค่าเป็นศูนย์ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการ

$$E(s) = N(s) \cdot (-s) / (Js^3 + Bs^2 + K_p s + K_i) \quad (2.4)$$

ถ้าการรบกวนระบบจากแรงภายนอกเป็นแบบแรมพ์ $N(s) = T_n/s^2$ ความคลาดเคลื่อนคงตัวของ การควบคุมมีค่าดังสมการแต่ถ้าการรบกวนระบบจากแรงภายนอกเป็นแบบขั้นบันได(Step Input) $N(s) = T_n/s$ ความคลาดเคลื่อนคงตัวมีค่าเป็นศูนย์ แสดงว่า K_i สามารถกำจัดความคลาดเคลื่อน การรบกวนแบบขั้นบันไดได้ดังนี้

$$e_{ss} = T_n / K_i$$

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} (-s^2 T_n / s) / (Js^3 + Bs^2 + K_p s + K_i) = 0$$

2.2.7 การควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี กับแกนซึ่งทำหน้าที่กัก การควบคุมตำแหน่งของ มอเตอร์ที่มีชุดเฟืองทดของระบบแบบ พี.ไอ.ดี มีบล็อกไดอะแกรมดังภาพประกอบ6 ขนาดของ สัญญาณควบคุม $m(t)$ หาได้ตามสมการ

$$m(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \dot{e}(t) \quad (2.5)$$

โดยที่

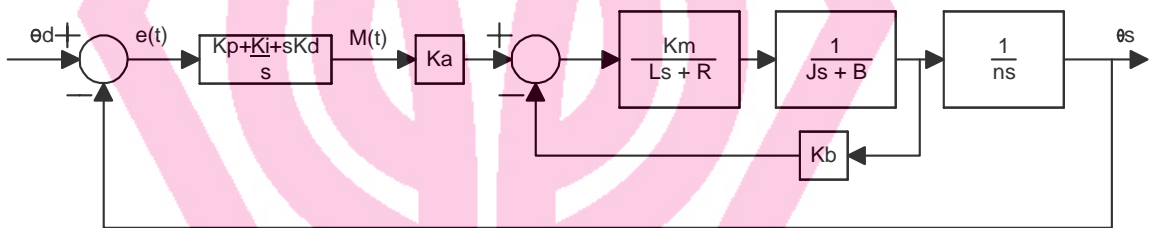
$m(t)$ = สัญญาณควบคุมที่ได้จากตัวควบคุม พี.ไอ.ดี ที่เวลา t

$e(t)$ = ค่าสัญญาณแตกต่างระหว่างจุดอ้างอิงกับค่าที่วัดได้ที่เวลา t

K_p = ค่าคงที่ของตัวควบคุมแบบ พี

K_i = ค่าคงที่ของตัวควบคุมแบบ ไอ

- K_d = ค่าคงที่ของตัวควบคุมแบบ ดี
- K_a = อัตราขยายของเพาเวอร์แอมพลิไฟเออร์
- K_m = ค่าคงที่แรงบิดมอเตอร์
- K_b = ค่าคงที่แรงดันย้อนกลับ
- L = ค่าอินดักแตนซ์ของมอเตอร์
- R = ค่าความต้านทานของมอเตอร์
- J = โมเมนต์แรงเฉื่อยของมอเตอร์และโหลด
- B = สัมประสิทธิ์วิสกอสแด็มปีงของมอเตอร์และโหลด
- N = อัตราทดของชุดเฟืองทด



ภาพประกอบ6 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี กับมอเตอร์แกนกััด

2.3 ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 การออกแบบและควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรมชนิด 3 ข้อต่อ ที่มีการเคลื่อนที่แบบพิกัด

จากโดย ศ.ดร.วริทธิ์ อิงภากรณ์ และ ผศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ พุศักราช 2535

มีความเกี่ยวเนื่องกล่าวคือใช้ทฤษฎีการควบคุมแบบอัตโนมัติ ในการทดสอบผลการควบคุม โดยมีส่วนของโครงสร้างที่เหมือนกันเพียง 1 แกนคือแกน Z ต่างกันในส่วนองโครงสร้างแกน X-Y และวัตถุประสงค์การทำงานรวมถึงขอบเขตของงานที่แตกต่างกัน กล่าวคืองานวิจัยที่ทำ มีการมุ่งเน้นถึงการเขียนโปรแกรมที่ทำให้สามารถใช้ประกอบการเรียนการสอนเชิงปฏิบัติการ ของวิชาการควบคุมระบบแบบป้อนกลับและโครงสร้างมีการออกแบบเพื่อใช้ได้กับงานกััดจริง ขณะที่โครงงานดังกล่าวนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการสแกนโมเดลของชิ้นงานหรือตรวจจู้รูปทรงของ ชิ้นงาน

หน่วยงานอ้างอิง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ประเภทของทุนหรือโครงการ ทุนวิจัยรัชดาภิเษก สมโภช

2.3.2 เครื่องกัด CNC ชนิด 3 แกนแบบตั้งขนาดเล็ก

จัดทำโดย คุณมนัส ศรีวงศ์ สำเร็จปีการศึกษา 2539 การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องกัดต้นแบบ ซี เอ็น ซี แนวตั้งขนาดเล็ก โดยมีชุดควบคุมแบบสำเร็จรูป การศึกษาครอบคลุมถึงการทดสอบประสิทธิภาพ , สมรรถนะ และความละเอียดในการเคลื่อนที่ของตัวเครื่อง ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยที่ทำกล่าวคือมีการจัดสร้างชุดควบคุมเองในส่วนของวงจรมอเตอร์และวงจรถอดรหัสตำแหน่งของมอเตอร์ ส่วนการนำสัญญาณควบคุมและการรับค่าตำแหน่งเป็นคาร์ดสำเร็จรูปราคาถูกที่ผู้ใช้ต้องเขียนโปรแกรมเพื่อการควบคุมทั้งหมด ซึ่งรวมถึงคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม หน่วยงานอ้างอิง พระจอมเกล้าพระนครเหนือ ระเบียบ 1000685 , ประเภทของทุนหรือโครงการ วิทยานิพนธ์

2.3.3 เครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติสำหรับการผลิตเปลือกหุ้มคอมเพรสเซอร์

โดย คุณองอาจ วีระชาติยานุกูล สำเร็จปีการศึกษา 2537 โครงการวิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาและการพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติจากทดลองในห้องปฏิบัติการไปสู่การใช้งานจริงในอุตสาหกรรม โดยทำการสร้างเครื่องป้อนชิ้นงานเปลือกคอมเพรสเซอร์ตู้เย็น เข้าและออกจากเครื่องป้อนขึ้นรูปประกอบด้วยชุดแขนเคลื่อนที่ในแนวตั้ง 4 แขน ตรงบริเวณปลายก้านมีแผ่นยางสูญญากาศสำหรับจับชิ้นงานวางร่วมอยู่บนแกนเคลื่อนที่แนวนอน 1 แกน โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์กระแสสลับแบบไม่ใช้แปรงถ่านควบคุมตำแหน่งแกนมอเตอร์ ด้วยการควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี. เป็นชุดขับเคลื่อน ใช้ชุดควบคุม พี.แอล.ซี. ควบคุมระบบการทำงานและระบบควบคุมความปลอดภัย ซึ่งมีข้อแตกต่างจากงานวิจัยที่ทำกล่าวคือเป็นการควบคุมในลักษณะแกนเดียวโดยโครงสร้างและชุดควบคุมแบบสำเร็จรูปที่มีโปรแกรมควบคุมแบบสำเร็จรูป และมีโครงสร้างหรือวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน จากสถาบันจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระเบียบ SBN 974-632-479-9, ประเภทของทุนหรือโครงการ วิทยานิพนธ์

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นออกแบบและคำนวณโครงสร้างเครื่องจักรกลรวมถึงการดำเนินการจัดสร้าง และนำหลักการทางทฤษฎีระบบควบคุมอัตโนมัติทำหน้าที่แทนสมองให้มีการสั่งการให้เครื่องจักร สามารถทำงานตามคำสั่งได้แบบอัตโนมัติภายใต้ระบบควบคุมแบบลูปปิด

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนทั้งหมดของการดำเนินงานวิจัยสรุปได้ตามตาราง 1 ข้างล่างนี้
ตาราง 1 แสดงตารางสรุปขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินการ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ออกแบบโครงสร้างและ จัดซื้อจัดจ้าง	←→		←→										
ออกแบบชุดควบคุมและ จัดซื้อจัดจ้าง			←→		←→								
การเดินตลาดเพื่อจัดซื้อชุด ขับเคลื่อนและควบคุม					←→								
การประกอบโครงสร้างและ เดินสายไฟชุดควบคุม						←→							
การอินทิเกรตสัญญาณขับ เคลื่อนและการควบคุม						←→		←→					
การเขียนโปรแกรมเพื่อการ ควบคุม				←→				←→		←→			
การทดสอบและการเก็บผล การควบคุม									←→		←→		
รายงานสรุปผล											←→		←→

หมายเหตุ

←→ แผนงานเดิม

←---> แผนงานที่ขอปรับปรุงใหม่

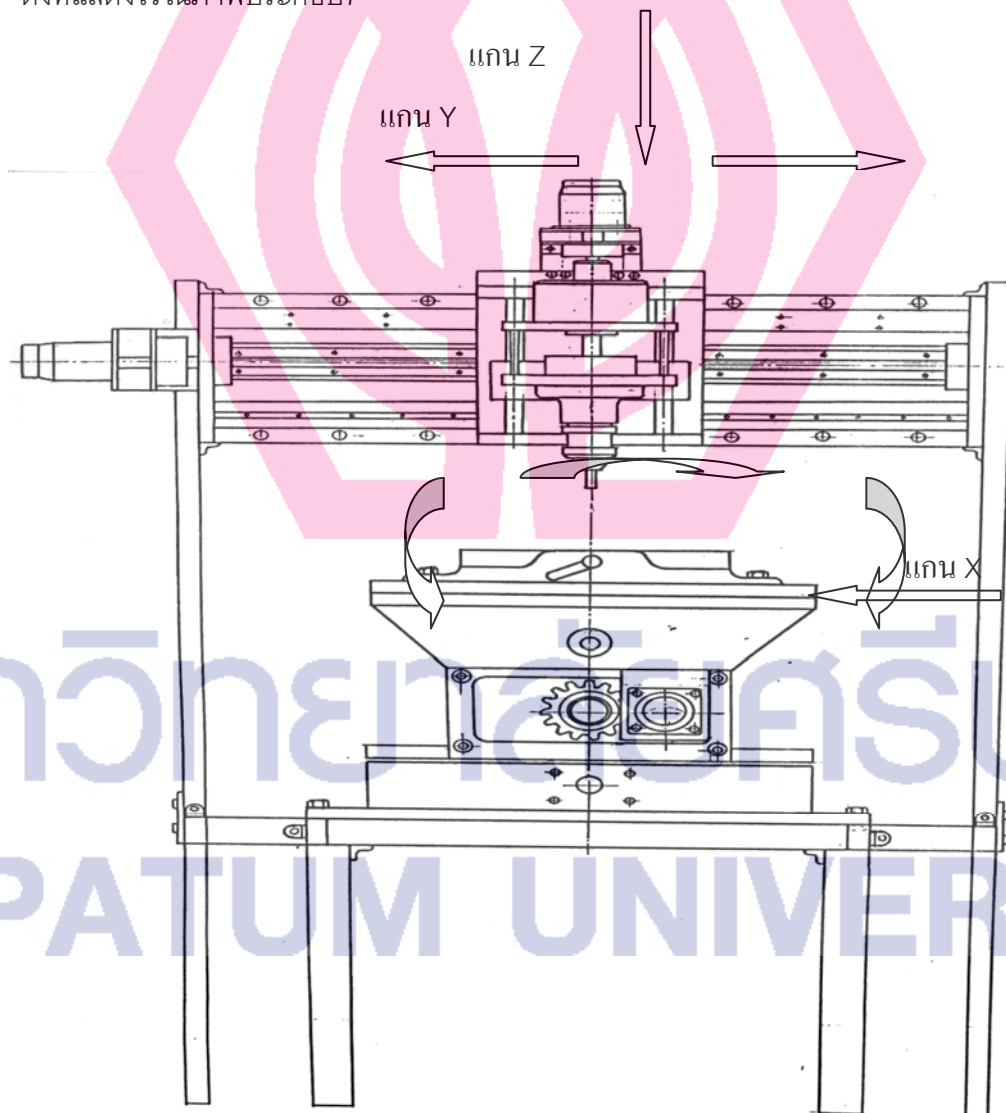
←---> การศึกษาสภาพปัจจุบันเสร็จ

←---> การศึกษาสภาพอนาคตเสร็จ

3.3 การออกแบบส่วนต่างๆ

กำหนดเงื่อนไขในการออกแบบและการคำนวณ ที่ชนิดของมีดกัด List No. 4906 TW End mill ประเภทของวัสดุที่ใช้ทำมีดกัด (Milled Material) คือ Medium tensile strength steels โดยมีช่วงความเร็วตัด (Cutting speed range) เท่ากับ 80–120 m/min อัตราการป้อน ต่อ จำนวนฟัน F_z (Feed per tooth) สำหรับช่วงขนาดของมีดกัด ต่าง ๆ ดังนี้ Diameter 6–8 mm = 0.02–0.035 mm

โครงสร้างโดยรวมและทิศทางการเคลื่อนที่ในแต่ละแนวแกนทั้งหมดของเครื่องกัดอัตโนมัติ ดังที่แสดงไว้ในภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 โครงสร้างของเครื่องกัดอัตโนมัติ

3.3.1 ขนาดของแรงขณะกัดชิ้นงาน

แรงที่เกิดขึ้นขณะกัดชิ้นงานซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ใช้กับการกัด (F_{ms}) ซึ่งเป็นแรงตัดจำเพาะ แรงตัดที่เกิดจากการกัด โดยที่เม็ดกัดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 mm (ขนาดที่ใหญ่ที่สุดของเม็ดกัด) มีจำนวน 4 ฟัน มีมุมเลี้ยว 30° กัดวัสดุเหล็ก 3 mm ค่าอัตราในการป้อนกัดวัสดุ St 37 มีค่าเท่ากับ 0.035 mm/s โดยมีความเร็วตัด 25 m/min

$$\begin{aligned} \phi_s &= 180 \\ \phi_1 &= 0 \\ h_m &= \frac{57.3 \times F \times \sin k \times (\cos \phi_1 - \cos \phi_2)}{\phi_s} \end{aligned} \quad (3.1)$$

จากสมการข้างบนแทนค่าได้

$$\begin{aligned} h_m &= \frac{57.3 \times 0.035 \times \sin 60 \times (\cos 0 - \cos 180)}{180} \\ h_m &= 0.0193 \\ b &= \frac{a}{\sin k} \end{aligned} \quad (3.2)$$

จากสมการข้างบนแทนค่าได้

$$\begin{aligned} b &= \frac{3}{\sin 60} = 3.464 \text{ mm} \\ Z_{\text{eff}} &= \frac{Z \times \phi_s}{360} = \frac{4 \times 180}{360} = 2 \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$k_s = \frac{k_s \times 1.1}{h_m^2} = \frac{1780 \times 1.1}{0.0193^{0.17}} = 3830.61 \quad (3.4)$$

ค่า k_s หาได้จากภาคผนวก ค ตาราง A-1 แรงตัดจำเพาะ

$$F_{ms} = \frac{Z_{\text{eff}} \times \phi_s \times b \times h_m \times k_s}{360} \quad (3.5)$$

แทนค่าลงในสมการข้างบนได้

$$F_{ms} = \frac{2 \times 180 \times 3.464 \times 0.0193 \times 3830.61}{360}$$

$$F_{ms} = 256.193 \text{ N}$$

กำลังตัดที่มีเม็ดกัด

$$P_s = F_s \times V \quad (3.6)$$

$$P_s = 256.193 \times \frac{25}{60}$$

$$P_s = 106.75 \text{ watt}$$

ถ้าประสิทธิภาพของมอเตอร์ประมาณ 60 % จะได้ขนาดมอเตอร์ที่ใช้งานในขอบเขตดังกล่าวนี้คือ

$$P_s = \frac{106.75}{0.60} = 177.92 \text{ watt}$$

3.3.2 แรงการกีดในแนวระดับ และ แรงในแนวตั้ง

แรงในการกีดในแนวระดับ (F_s) = 256.193 N ค่ามุมฟรี α ได้จาก ตาราง 3.1

เท่ากับ 4° แรงเสียดทานระหว่างผิว เท่ากับ 1.7

$$F = F_t \cos \alpha + F_c \sin \alpha \quad (3.7)$$

$$N = F_t \cos \alpha - F_c \sin \alpha \quad (3.8)$$

$$F/N = \mu = 1.7$$

$$F/N = \frac{F_t \cos \alpha + F_c \sin \alpha}{F_t \cos \alpha - F_c \sin \alpha}$$

$$1.7 = \frac{256.193 \cos(4) + F_c \sin(4)}{F_t \cos(4) - 256.193 \sin(4)}$$

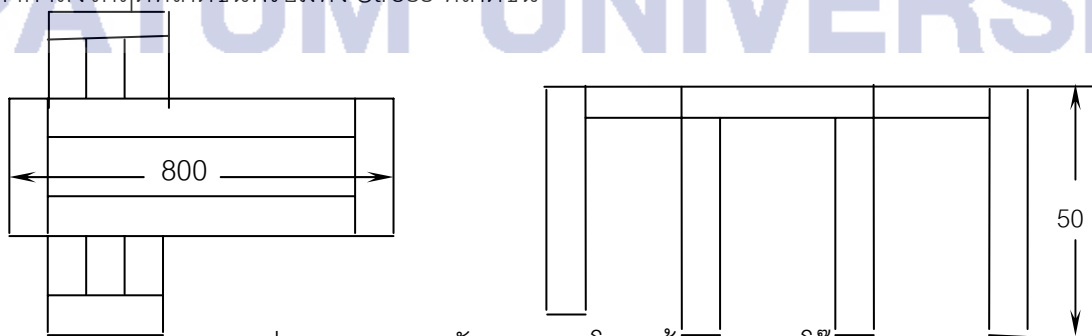
$$F_c = 175.43 \text{ N}$$

น้ำหนักที่เกิดจากแผ่นอลูมิเนียมแกน Y ขนาด $0.9 \times 28 \times 80 \text{ cm}^3$ เท่ากับ 22 กิโลกรัม

น้ำหนักที่เกิดจากแผ่นอลูมิเนียมแกน Z ขนาด $0.9 \times 24 \times 30 \text{ cm}^3$ เท่ากับ 3.4 กิโลกรัม

น้ำหนักที่เกิดจากชุดหัวกีดเท่ากับ 11 กิโลกรัม น้ำหนักทั้งหมดที่กดลงมาบนฐานโครงสร้างเท่ากับ 95 kg วัสดุที่ใช้ทำฐานเป็นอลูมิเนียมโปรไฟล์ขนาด $45 \times 60 \text{ cm}^2$ ช่วงของความยาวที่ไม่ถูกยึดของขาโต๊ะเท่ากับ 50 cm โดยที่ลักษณะการยึดเป็นแบบปลายด้านหนึ่งยึดตายและปลายอีกด้าน

อิสระ แรงในแนวตั้งเท่ากับ 175.43 N และแรงในแนวระดับเท่ากับ 256.193 N ดังแสดงในภาพ หากำลังวิกฤตที่เกิดขึ้นพร้อมทั้ง Stress ที่เกิดขึ้น



ภาพประกอบ 8 แสดงลักษณะของโครงสร้างฐานและโต๊ะ

จากตารางข้อมูลของอลูมิเนียมโปรไฟล์ $I_{xx} = 121.8 \text{ cm}^4$ และ $I_{yy} = 30.0 \text{ cm}^4$
 $L_e = 2L$; เป็นไปตามรูปเฟคเตอร์ที่เกิดจากลักษณะของการยึดตั้งภาพประกอบ 8

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad ; \text{ ผลที่เกิดขึ้นรอบแกน } x \quad (3.9)$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 73.10 \times 10^9 \times 121.8 \times 10^{-8}}{(2 \times 0.5)^2}$$

$$P_{cr} = 878.748 \text{ kN}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad ; \text{ ผลที่เกิดขึ้นรอบแกน } y$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 73.10 \times 10^9 \times 30.0 \times 10^{-8}}{(2 \times 0.5)^2}$$

$$P_{cr} = 216.440 \text{ kN}$$

3.3.3 ระยะเวลาโก่งตัวของคานอลูมิเนียม (Aluminium Profile)

ภาระที่เกิดขึ้นในแนวดิ่งเท่ากับ $931.95 + 175.43 = 1,107.38 \text{ N}$

จะเห็นว่าแรงวิกฤตที่อลูมิเนียมโปรไฟล์ขนาด $45 \times 60 \text{ cm}^2$ รับได้ถึง 216.44 kN

หาระยะเวลาโก่งของโปรไฟล์ (Deflection of Profile under static point loading) ได้ 2 วิธี

ดังนี้

$$\text{สูตร } d_3 = \frac{F \times L^3}{192E \times I \times 10^4}, \text{ mm} \quad (3.10)$$

ใช้กราฟ Selection Data ในเอกสารอ้างอิง

เมื่อ $E = 70,000 \text{ N/mm}^2$ (modulus of elasticity)

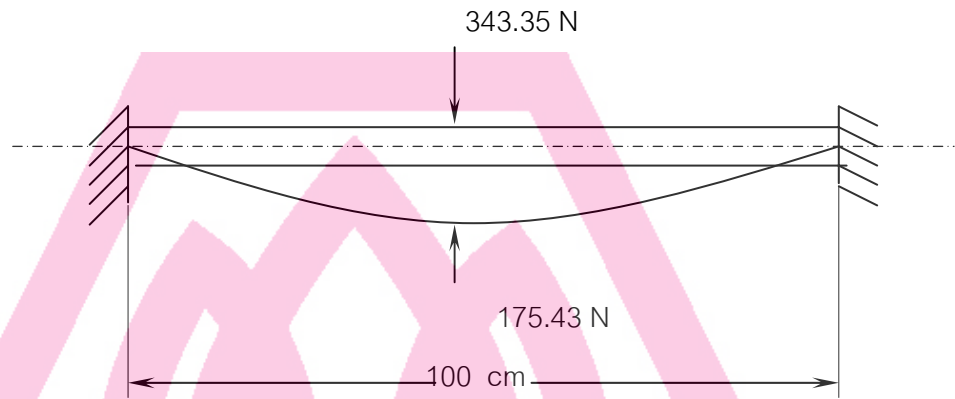
$L =$ ความยาวที่ไม่มีจุดรองรับ (Unsupported Length, mm)

$F =$ Point Load (N)

$W =$ Selection Modulus (cm^4)

หาระยะเวลาโก่งของคานในแนวแกน Y เมื่อมีแรงเนื่องจากน้ำหนักของชุดหัวกัด และ มอเตอร์เท่ากับ 35 กก. (343.35 N) และ แรงในการกัดในแนวดิ่งเท่ากับ 175.43 N คานที่ใช้ ทำจากอลูมิเนียมโปรไฟล์ (Aluminium Profile) $45 \times 90 \text{ cm}^2$ ความยาวที่ใช้ในการรับน้ำหนัก

ระหว่างจุดรองรับแบบปลายทั้ง2 ด้านยึดตาย(Rigidity fixed both ends)เท่ากับ1m โดยแสดง
 ดังในภาพประกอบ9



ภาพประกอบ9 แสดงการโก่งตัวของแกน Y

เมื่อ $F_c = 0$
 $F = F_w - F_c$
 $F = (35 \times 9.81) - 0 = 343.35 \text{ N}$

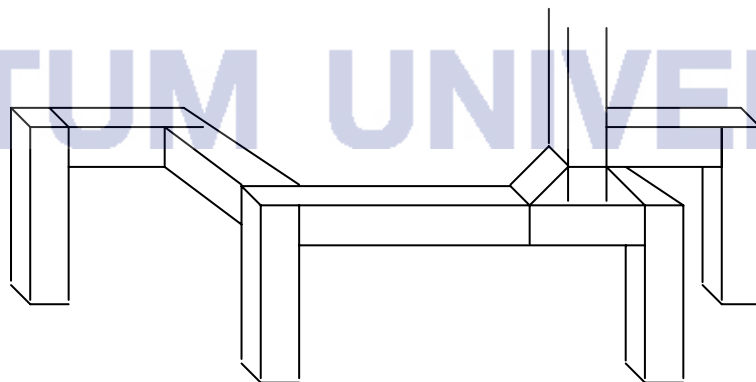
แทนค่า

$$d_{\max} = \frac{F_{\max} \times L^3}{192E \times I \times 10^4}, \text{ mm}$$

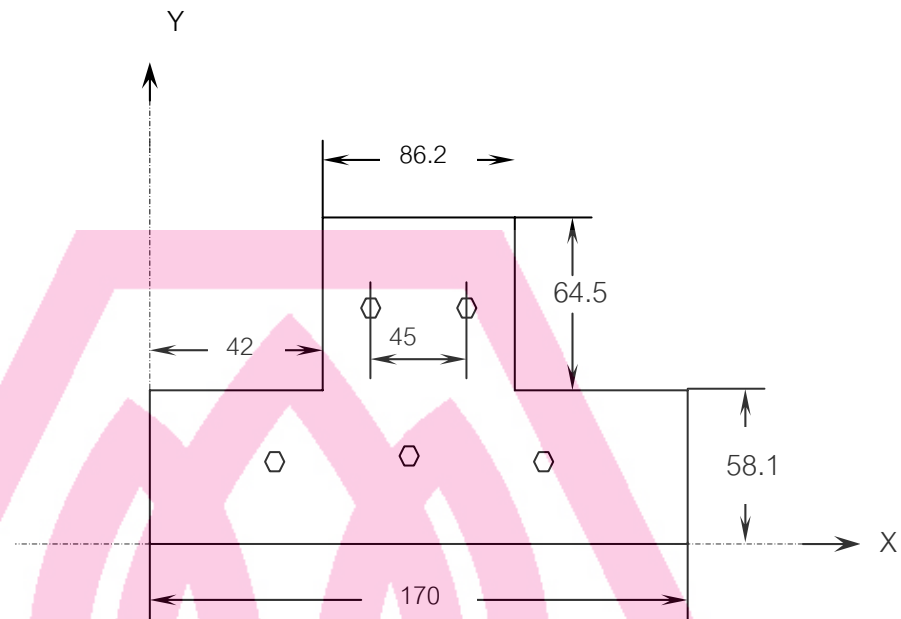
$$d_{\max} = \frac{345.35 \times 1000^3}{192(70000) \times 121.8 \times 10^4}, \text{ mm}$$

$$d_{\max} = 210.75 \times 10^{-6} \text{ mm}$$

จะเห็นว่าค่าการโก่งตัวของคานรับน้ำหนักในแนวแกน Y นี้มีผลกระทบต่อการกัดน้ำน้อยมาก



ภาพประกอบ10 แสดงโครงสร้างของฐานเครื่องที่มีตัวยึดแขนแกน Y



ภาพประกอบ 11 แสดงลักษณะขนาดของแผ่นยึดแกน Y

ภาพแสดงตำแหน่งของตัวยึดโครงสร้างด้านข้างของแกนแกน Y เพื่อช่วยเพิ่มการรับแรงในการสั่นสะเทือนของโครงสร้าง ตามหลักการคิด โมเมนต์ที่เกิดขึ้นนั้นจะเกิดขึ้นได้ 2 แนวแกน โดยที่ตัวยึดนี้จะรับแรงการสั่นสะเทือนทางด้านแกน Y เป็นส่วนใหญ่และส่วนที่จะช่วยการรับแรงการสั่นสะเทือนตามแนวแกน X นั้นจะเป็นตัวbucket

หาจุดเซนทรอยของตัวยึด

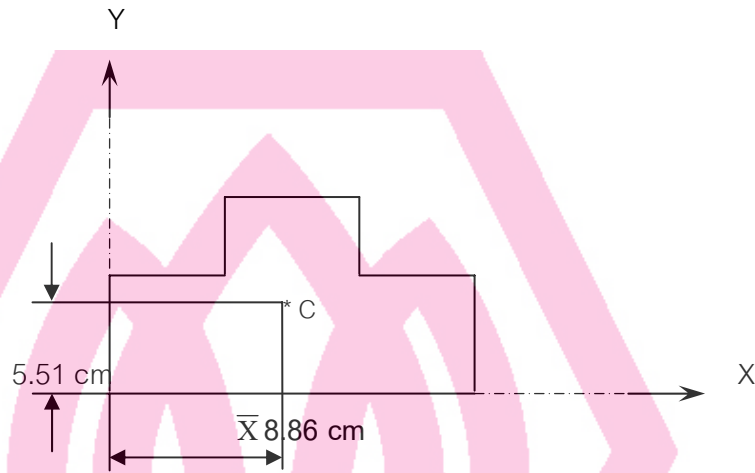
$$\bar{X} = \frac{\sum \bar{x}A}{\sum A}, \quad \bar{Y} = \frac{\sum \bar{y}A}{\sum A} \quad (3.11)$$

ตาราง 2 แสดงค่าจากการคำนวณหาจุดศูนย์กลางถ่วงของแผ่นยึดเสาแกน Y

ชั้นที่	(A) cm ²	\bar{x} (cm)	\bar{y} (cm)	$\sum \bar{x}A$	$\sum \bar{y}A$
1	208.42	8.5	6.13	1771.57	1277.615
2	-27.09	2.1	9.035	-56.889	-244.758
3	-27.09	12.82	9.035	-347.29	-244.758
รวม	154.24			1367.391	788.100

$$\bar{X} = 8.86 \text{ cm}, \bar{Y} = 5.11 \text{ cm}$$

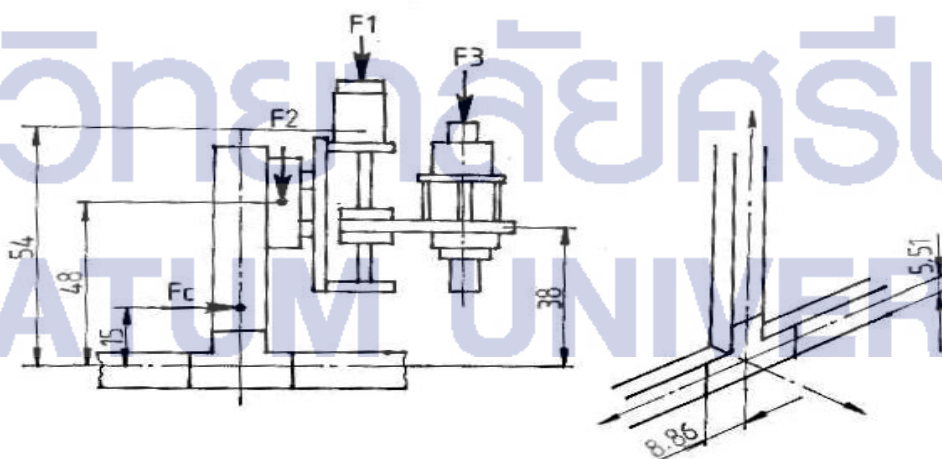
โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับจุดศูนย์กลางของตัวยึดเสาคาน Y มีจุดศูนย์กลางดังรูป



ภาพประกอบ12 แสดงตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวล

3.3.4 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับตัวยึดโครงสร้าง

โมเมนต์ที่เกิดขึ้นจากแรงต่างๆที่กระทำกับโครงสร้าง มายังแผ่นยึดกระทำที่จุดศูนย์กลางตรงตำแหน่งที่ได้คำนวณไว้ ตามที่ได้แสดง F.B.D. ตามภาพประกอบ13



ภาพประกอบ13 แสดงแรงที่กระทำกับเสายึดแกน Y และ Z

รายละเอียดของแรงที่เกิดขึ้นทั้งหมดมีดังนี้

น้ำหนักของมอเตอร์และชุดบังคับการเคลื่อนที่ของแนวแกน Z(F1) เท่ากับ 6 ก.ก.

น้ำหนักของแผ่นอะลูมิเนียมพร้อมชุดรางเลื่อน(F2) เท่ากับ 28 ก.ก.

น้ำหนักมอเตอร์พร้อมชุด Spindle (F3) เท่ากับ 8 ก.ก.

แรงการกักในแนวระดับโดยที่มีการเคลื่อนที่ตามทิศทางที่แสดงไว้ในFBD (Fc) เท่ากับ 256.193 N

$$\hat{M} = \sum_{i=1}^n \hat{r}_i \times \hat{F}_i \quad (3.12)$$

$$\hat{r}_1 = 0\hat{i} - 55\hat{j} + (48 - 5.51)\hat{k}$$

$$\hat{r}_2 = 17\hat{i} - 55\hat{j} + (54 - 5.51)\hat{k}$$

$$\hat{r}_3 = 30\hat{i} - 55\hat{j} + (38 - 5.51)\hat{k}$$

$$\hat{r}_4 = 30\hat{i} - 55\hat{j} + (18 - 5.51)\hat{k}$$

$$\hat{F}_1 = -274.68\hat{k}$$

$$\hat{F}_2 = -58.86\hat{k}$$

$$\hat{F}_3 = -78.78\hat{k}$$

$$\hat{F}_c = 256.193\hat{j}$$

$$\hat{M}_1 = 151.074\hat{i}$$

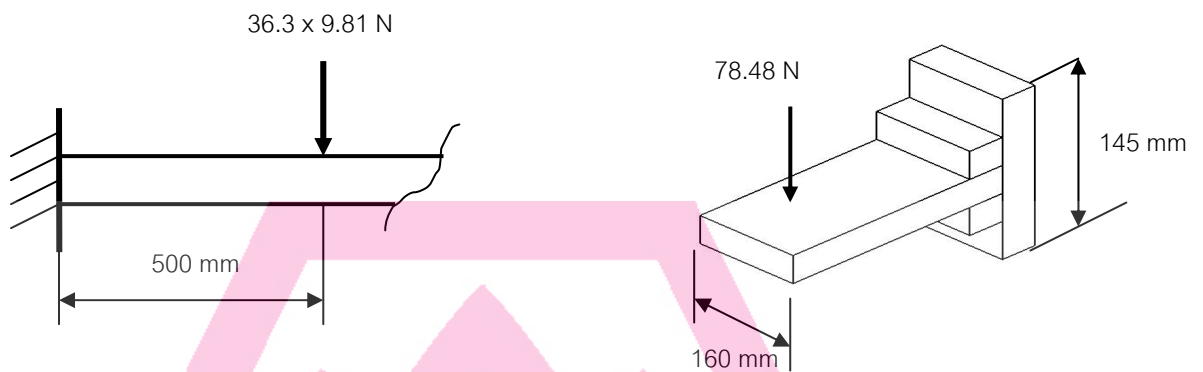
$$\hat{M}_2 = 32.373\hat{i} + 10.00\hat{j}$$

$$\hat{M}_3 = 43.164\hat{i} + 23.544\hat{j}$$

$$\hat{M}_c = -24.313\hat{i} + 76.858\hat{k}$$

$$\sum \hat{M} = 202.30\hat{i} + 33.544\hat{j} + 76.858\hat{k}$$

แรงที่เกิดขึ้นขณะที่ขึ้นส่วนต่าง ๆ อยู่หนึ่ง และ น้ำหนักทั้งหมดตกลงอยู่ตรงกลางของคาน เมื่อน้ำหนักของแผ่นอะลูมิเนียมพร้อมที่ยึดหัวก๊าดซึ่งได้ 36.3 kg(356.103N) และน้ำหนักของชุดหัวก๊าดเท่ากับ 8 kg(78.48N) มีระยะในการติดตั้งดังแสดงตามภาพประกอบ14



ภาพประกอบ 14 แสดง FBD. ของแผ่นรองรับน้ำหนักชุดหัวกัด

1. ชุดของคานารับน้ำหนัก ของแกน Y และ แกน Z ขณะที่อุปกรณ์ทำงานอยู่กับที่
กำหนดให้ $W = (36.3) \times 9.81 = 434.583 \text{ N}$ (กรณีที่อยู่กับเครื่องนี้ไม่เกิดแรงกัด)

พิจารณาที่ A

$$\hat{M}_A = \hat{r}_{A/O} \times \hat{W}$$

$$\hat{r}_{A/O} = -0.500\hat{i} + 0.145\hat{j} + 0.08\hat{k}$$

$$\hat{W} = 434.583\hat{j}$$

แทนค่า

$$\hat{M}_A = (-0.500\hat{i} + 0.145\hat{j} + 0.08\hat{k}) \times (434.583\hat{j})$$

$$\hat{M}_A = -34.77\hat{i} - 217.29\hat{k}$$

โมเมนต์ที่หมุนรอบแกน X ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเท่ากับ 34.77 Nm และหมุนรอบแกน Z ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเท่ากับ 217.29 Nm

หาค่า Stress (σ) ที่เกิดขึ้นกับ Aluminium Profiles 45X90 cm²

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (3.13)$$

โดยที่ แนวแกน X ค่า $c = 0.045 \text{ m}$, form TECHNICAL DATA $I_{xx} = 121.8 \text{ cm}^4 (1.218 \times 10^{-8} \text{ m}^4)$

$$\sigma = \frac{34.77 \times 0.045}{1.218 \times 10^{-8}}$$

$$\sigma = 128.461 \text{ MN/m}^2$$

แนวแกน Z ค่า $c = 0.0225 \text{ m}$ $I_{yy} = 30.0 \text{ cm}^4 (300 \times 10^{-9} \text{ m}^4)$

$$\sigma = \frac{217.29 \times 0.0225}{300 \times 10^{-9}}$$

$$\sigma = 16.297 \text{ MN/m}^2$$

ค่า σ ที่ยอมรับได้สูงสุดต้องไม่เกิน $200 \text{ N/mm}^2 (200 \text{ MN/m}^2)$

Maximum allowable bending stress สามารถหาได้จากสมการ(3.14)

$$\sigma = \frac{F \times L}{8W \times 10^3} \quad (3.14)$$

แทนค่า

$$\sigma = \frac{356.10 \times 1000}{8(27.1) \times 10^3}$$

$$\sigma = 1.64 \text{ N/mm}^2$$

2. จุดของคานรับน้ำหนัก ของแกน Y และ แกน Z ขณะที่อุปกรณ์ทำงาน ในตำแหน่งที่หัวกัดเคลื่อนไปซ้ายสุดหรือขวาสุดของคานซึ่งเป็นจุดที่คานด้านใดด้านหนึ่งต้องรับภาระน้ำหนักสูงซึ่งแสดงดังภาพประกอบ15



ภาพประกอบ15 แสดงแรงที่เกิดขึ้นกับคานรับน้ำหนักขณะชุดกัดเคลื่อนที่

$$\text{กำหนดให้ } W = 36.3 \times 9.81 = 356.103 \text{ N}$$

$$\text{พิจารณา A } \sum \hat{M}_A = (\hat{r}_{A/O} \times \hat{W}) - (\hat{i} \times R_B \hat{j}) = 0$$

$$\hat{r}_{A/O} = -0.105\hat{i} + 0.145\hat{j} + 0.08\hat{k}$$

$$\hat{W} = 356.103\hat{j}$$

$$\text{แทนค่า } \sum \hat{M}_A = (-0.105\hat{i} + 0.145\hat{j} + 0.08\hat{k}) \times (356.103\hat{j}) - (\hat{i} \times R_B \hat{j})$$

$$\therefore 0 = -28.5\hat{i} - 37.39\hat{k} - R_B \hat{k}$$

$$R_B \hat{k} = -28.5\hat{i} - 37.39\hat{k}$$

$$-\downarrow \sum F_j = (-356.103\hat{j} + R_A \hat{j} + R_B \hat{j}) = 0$$

$$R_A = 356.103\hat{j} - (-28.5\hat{i} - 37.39\hat{k})$$

$$R_A = 28.5\hat{i} + 356.103\hat{j} + 37.39\hat{k}$$

$$\sum \hat{M}_A = (-0.105\hat{i} + 0.145\hat{j} + 0.08\hat{k}) \times (356.103\hat{j}) - (-28\hat{i} - 37.39\hat{k}) \times \hat{k}$$

$$\sum \hat{M}_A = -28.5\hat{i} - 37.39\hat{k} + 28.5\hat{j}$$

โมเมนต์ที่หมุนรอบแกน X ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเท่ากับ 28.5 Nm หมุนรอบแกน Y ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาเท่ากับ 28.5 N-m และหมุนรอบแกน Z ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเท่ากับ 37.39 N-m

-หาค่าความเค้น Stress (σ) ที่เกิดขึ้นกับอลูมิเนียมโพลีไฟต์ (Aluminium Profiles 45×90 cm²)

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

โดยที่ แกน X ค่า $c = 0.045$ m , $I_{xx} = 121.8$ cm⁴ (1.218×10^{-8} m⁴)

$$\sigma = \frac{37.39 \times 0.045}{1.218 \times 10^{-8}}$$

$$\therefore \sigma = 138.14 \text{ MN/m}^2$$

แกน Y ค่า $c = 0.0105$ m $I_{yy} = 30.0$ cm⁴ (300×10^{-9} m⁴)

$$\sigma = \frac{28.5 \times 0.0105}{300 \times 10^{-9}}$$

$$\therefore \sigma = 1 \text{ MN/m}^2$$

แกน Z ค่า $c = 0.0225$ m $I_{yy} = 30.0$ cm⁴ (300×10^{-9} m⁴)

$$\sigma = \frac{37.39 \times 0.0225}{300 \times 10^{-9}}$$

$$\therefore \sigma = 2.8 \text{ MN/m}^2$$

ค่า σ ที่ยอมรับได้สูงสุดต้องไม่เกิน 200 N/mm² (200 MN/m²)

พิจารณาภาระที่กระทำต่อโครงสร้างตามแกน Z ขณะที่ถูกกระทำงานทั้งหมดอยู่นิ่งแรงที่เกิดขึ้นกับบอลสกรู

3.4 เครื่องมือประกอบการวิจัย

3.4.1 ดิจิตอลออสซิลโลสโคป



ภาพประกอบ16 ออสซิลโลสโคปแบบดิจิตอลของTektronix

3.4.2 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์



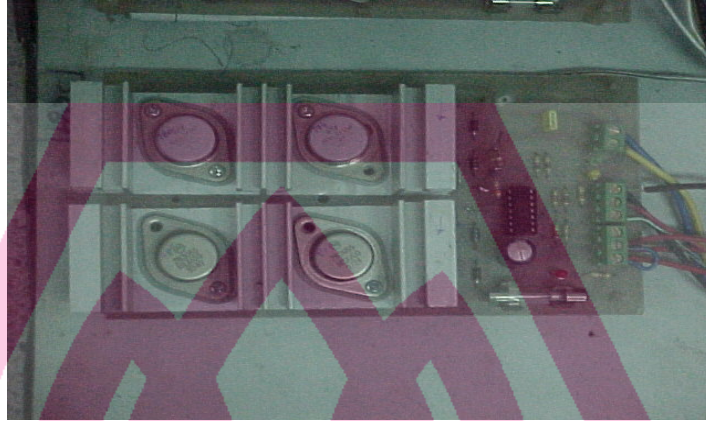
ภาพประกอบ17 แสดงภาพหน้าจอคอมพิวเตอร์ของโปรแกรมควบคุม

3.4.3 อินเทอร์เฟซการ์ด D/A (Digital to Analog Converter) และ I/O(Digital - Input/Output)



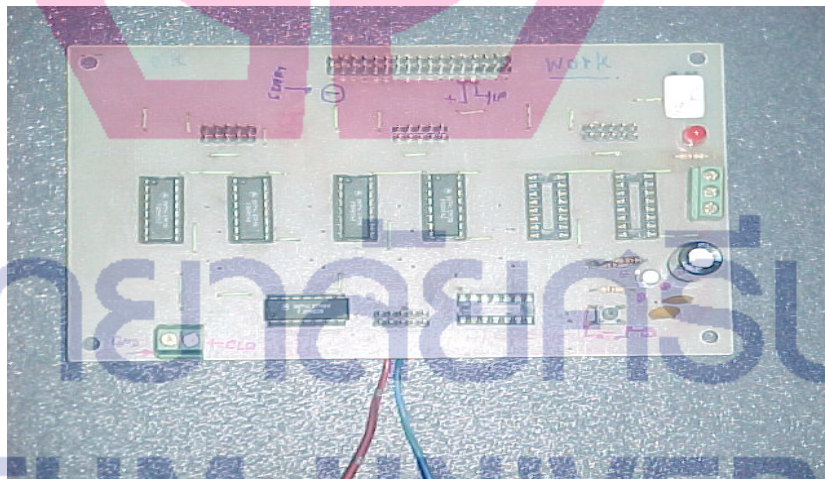
ภาพประกอบ18 แสดงการ์ดD/A และ I/O

3.4.4 ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์แบบพัลส์วิดท์



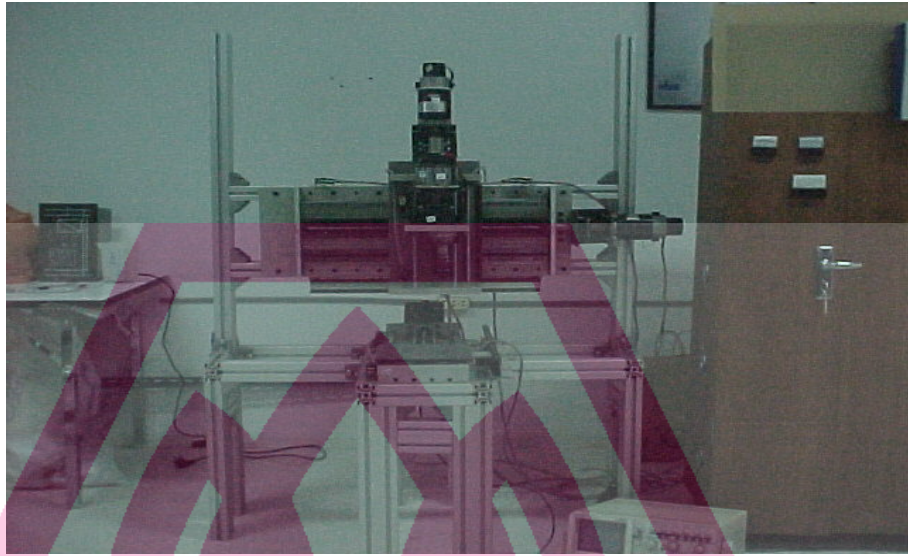
ภาพประกอบ19 ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์แบบPWM

3.4.5 ชุดอ่านค่าสัญญาณตำแหน่งแบบดิจิตอล



ภาพประกอบ20 วงจรดีโคเดอร์สัญญาณตำแหน่งของมอเตอร์

3.4.6 เครื่องกีดชนิด 3 แกนและตู้ควบคุมระบบ



ภาพประกอบ21 ภาพแสดงเครื่องกัดชนิด3 แกนและตู้ควบคุม

3.4.7 เวอร์เนียร์สำหรับวัดระยะทางเพื่อการอ้างอิงค่าการควบคุม

3.5 วิธีการทดลองและการรวบรวมข้อมูล

3.5.1 การควบคุมด้วยมือ(Manual Mode)

- ทำการเปิดสวิตช์ Power On ที่สวิตช์สีแดงด้านข้างตู้ควบคุมตำแหน่งบนสุด
- เลือกสวิตช์ตรงกับแกนที่ต้องการควบคุม โดยโยกขึ้นจะเป็น Manual Mode ซึ่งมีทั้งหมด 4 สวิตช์ โดยอยู่แถวล่างของสวิตช์ Power On



ภาพประกอบ22 แสดงสวิตช์การควบคุมด้วยมือที่ตู้ควบคุม

3.5.2 การควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์(Computer Mode)

1. ทำการเปิดสวิตช์ Power On ที่สวิตช์สีแดงด้านข้างตู้ควบคุมตำแหน่งบนสุด
2. เลือกสวิตช์ตรงกับแกนที่ต้องการควบคุมโดยโยกลงจะเป็น Computer Mode ซึ่งมีทั้งหมด 4 สวิตช์ โดยอยู่แถวล่างของสวิตช์ Power On



ภาพประกอบ23 แสดงตำแหน่งสวิตช์เลือกโหมดควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

- 2.1 ทำการโยกสวิตช์เพื่อเลือกทิศทางการเคลื่อนที่ของมอเตอร์แต่ละแกนจาก 5 สวิตช์แถวแรก
- 2.2 ทำการปรับอัตราเร็วรอบหัวกัทจากโพเทนทิโอมิเตอร์ตัวบนสุดสี่เหลืองด้านขวา
- 2.3 ทำการกดปุ่ม Jog ให้ตรงกับแกน ซึ่งมี 5 ปุ่มในแถวล่างสุด
- 2.4 สามารถปรับอัตราเร็วในการเดินให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ทั้ง 2 ทิศทางที่ปุ่มควบคุมทิศทางของแต่ละแกนจาก 2 แถวกลางของชุดควบคุมโดยมือ

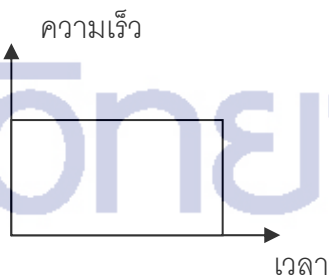


ภาพประกอบ24 ชุดควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยมือ

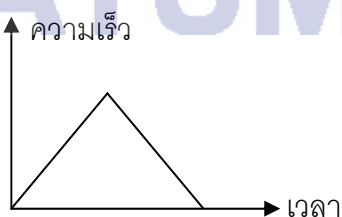


ภาพประกอบ25 ภาพแสดงหน้าจอการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

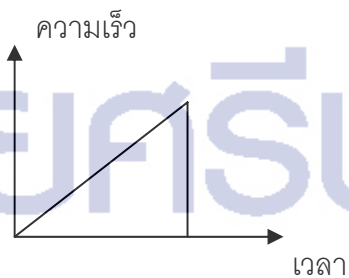
3. ทำการเปิดโปรแกรมและไปที่ เมนูระบบเข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้น (Home Position)
4. จากหน้าจอหลักทำการเลือกเมนูที่ต้องการทำการควบคุมเพื่อทดสอบ
5. กำหนดค่าเกณฑ์ของคอนโทรลเลอร์เพื่อการควบคุมระบบด้วยหลักการทางทฤษฎีควบคุมระบบอัตโนมัติแบบคลาสสิก
6. กำหนดค่าความเร็วและความเร่งรวมถึงระยะทางของเส้นทางเดินตามรูปแบบโปรไฟล์ควบคุมเส้นทางการเดินแบบต่างๆ ดังนี้



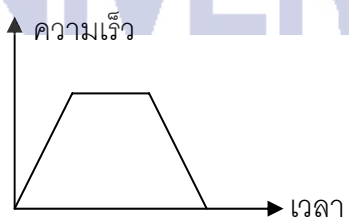
ก. ความเร็วคงที่



ค. ความเร่ง-ความหน่วง คงที่



ข. ความเร่งคงที่



ง. ความเร่ง-ความเร็ว-ความหน่วง คงที่

ภาพประกอบ26 โปรไฟล์ความเร็ว สำหรับการควบคุมตำแหน่งแบบจุดต่อจุด

7. จากการอินพุทรูปแบบโปรไฟล์ดังข้อที่6 ระบบจะทำการสร้างไฟล์ซึ่งเป็นรูปแบบการเดินของแต่ละแกนในลักษณะแบบจุดต่อจุดในแต่ละคาบของการสุ่ม(sampling time)
8. จากเมนูเลือกแกนที่จะทำการควบคุม ระบบจะทำการอ่านไฟล์ข้อมูลซึ่งเป็นโปรไฟล์การเดินของแกนที่ต้องการโดยอ่านแบบจุดต่อจุด
9. เมื่อเริ่มทำการควบคุมระบบระบบจะทำการบันทึกผลการควบคุมลงบนไฟล์ นำไฟล์ข้อมูลของการบันทึกค่าสัญญาณการควบคุมและผลลัพธ์ที่ได้จากการควบคุมเส้นทางเดินไปพล็อตกราฟหรือผลการควบคุมด้วยโปรแกรมMatlab หรือ Excel

3.5.3 ผลหรือข้อมูลการทดลอง

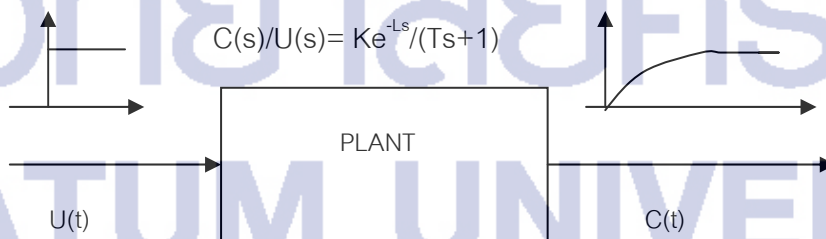
ในการเก็บข้อมูลหรือผลการทดลองจะทำการทดลองภายใต้คอมพิวเตอร์ควบคุมแบบลูปปิดเท่านั้นโดยลำดับวิธีการทดลองดังนี้

3.5.3.1 การหาค่าเกนคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ในการควบคุมระบบ

เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าเกนที่ใช้ในการควบคุมระบบ โดยเป็นการกระทำแบบลองผิดลองถูกภายใต้ทฤษฎีของซีเกลอร์นิโคลส์(Ziegler-Nichols) สำหรับกรณีที่เราไม่รู้

ค่าพารามิเตอร์ของระบบทำให้ไม่ทราบค่าบางค่าที่จะแทนลงในโมเดลคณิตศาสตร์ของระบบ โดยการกระทำดังกล่าวมีเป้าหมายคือการหาค่าเกนที่ภายใต้การอินพุทคำสั่งแบบฟังก์ชันขั้นบันไดจะให้ค่าโอเวอร์ชูตสูงสุดที่ 25 เปอร์เซ็นต์มีวิธีการที่กระทำได้ 2 วิธีด้วยกันคือ

1. วิธีการปฏิกิริยาของขบวนการ(Process reaction method)

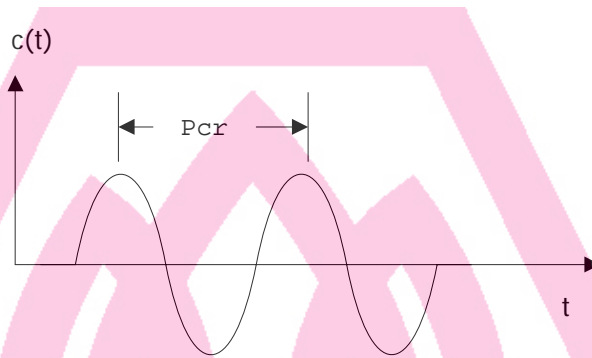


ภาพประกอบ 27 ภาพแสดงผลตอบสนองของระบบต่อฟังก์ชันขั้นบันได

เป็นการพิจารณาผลตอบสนองของระบบเมื่อป้อนสัญญาณแบบฟังก์ชันขั้นบันได(step input) ภายใต้รูปเปิดจะได้ผลตอบสนองของเอาต์พุตเทียบกับเวลาเป็นรูปตัว S ซึ่งทำให้เรา

สามารถอ่านค่า R และ L จากเส้นโค้งปฏิกิริยาเพื่อนำไปคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของคอนโทรลเลอร์จากตาราง

2. วิธีการวัฏจักรสุดท้าย(Ultimate cycle method)



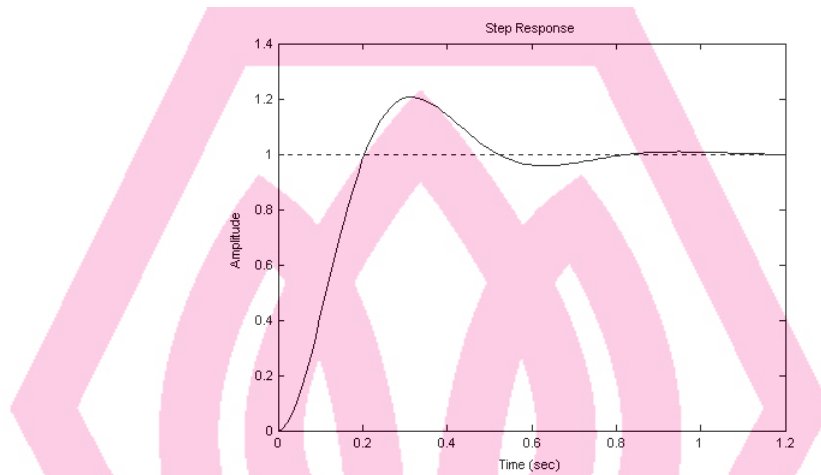
ภาพประกอบ 28 แสดงคาบเวลาของการแกว่งที่ค่าเกินวิกฤตซึ่งทำให้ระบบเริ่มขาดเสถียรภาพ ป้อนอินพุตแบบหนึ่งหน่วยขั้นบันได(unit step input) แล้วดูผลการตอบสนองของระบบกับการเปลี่ยนแปลงค่าเกนสัญญาณควบคุมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆภายใต้ลูปปิด จนกระทั่งระบบเริ่มมีการเคลื่อนที่แบบสั่นหรือเริ่มจะไม่มีเสถียรภาพ บันทึกที่ค่าเกนดังกล่าว(K_u) และอ่านค่าคาบในการแกว่ง(P_u) จากค่าพารามิเตอร์ทั้งสองนำไปหาค่าเกนการควบคุมแบบต่างๆ ตามตาราง 3 โดยค่าเกนที่เหมาะสมจะต้องให้ผลการตอบสนองที่มีลักษณะการแกว่งเป็นแบบลดลงด้วยอัตราหนึ่งในสี่(Quarter-decay) ซึ่งหมายความว่าค่าโอเวอร์ชูตที่สองจะน้อยกว่า 25 % ของโอเวอร์ชูตครั้งแรกเมื่ออินพุตของระบบคือตำแหน่งภายใต้โมเดลทางคณิตศาสตร์อยู่ในรูประบบกำลังสอง เราเรียกวินิจฉัยนี้ว่า(Ultimate cycle method)

โดยในการวิจัยนี้เราเลือกวิธีที่ 2 ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและสามารถสังเกตได้ด้วยตา ที่ค่าเกนดังกล่าว(K_u) ที่สภาวะคงตัวระบบเริ่มมีการเคลื่อนที่แบบสั่นหรือเริ่มจะไม่มีเสถียรภาพ โดยผลจากการทดลองสรุปค่าที่ได้ในแต่ละเกนดังตารางข้างล่างนี้

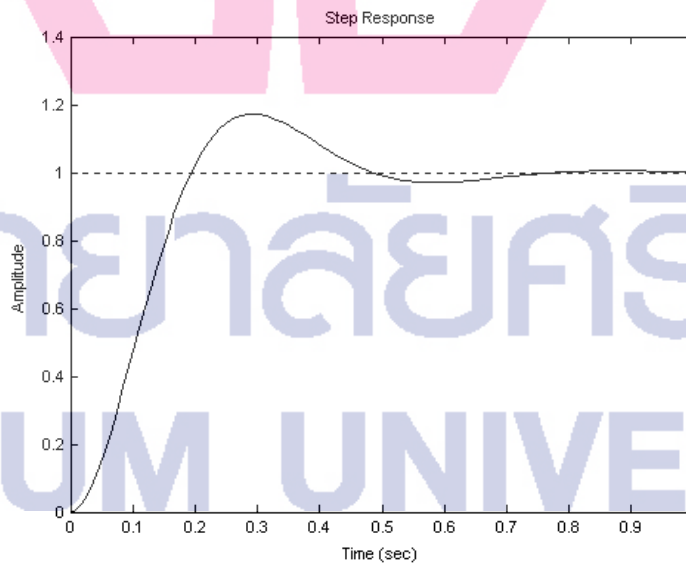
ตาราง 3 ค่าเกนวิกฤตของแต่ละเกนภายใต้การทดลอง

ชื่อเกน	ค่าเกนวิกฤต (K_u)	คาบการแกว่งที่วิกฤต (P_{cr})วินาที
X	3.94	1.97
Y	3.70	1.85
Z	4.30	2.15

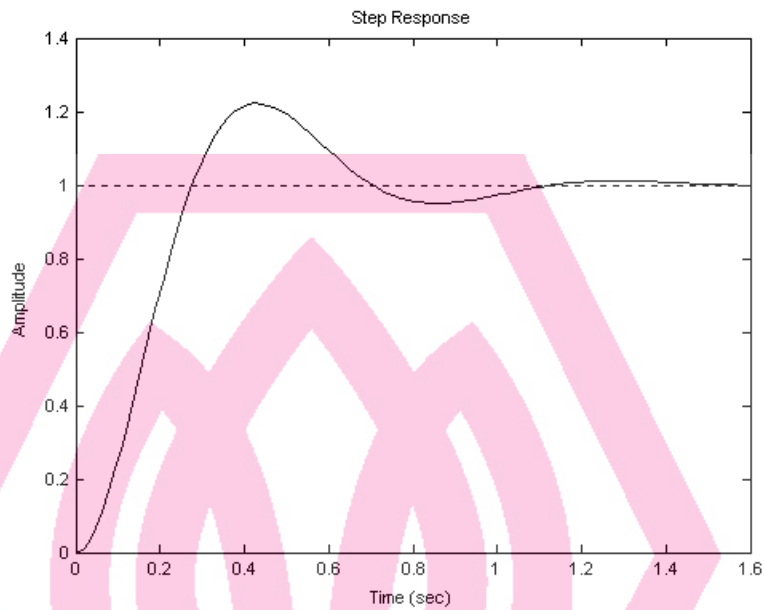
นำผลลัพธ์ที่ได้จากตารางไปหาค่าเกณฑ์ตามคำแนะนำของ Ziegler Nichols สำหรับแต่ละ
แกนเพื่อตรวจสอบผลการควบคุมที่เหมาะสมภายใต้ผลตอบสนองที่โอเวอร์ชูตสูงสุดไม่เกิน 25 %
โดยแต่ละแกนได้ผลลัพธ์ของการควบคุมตามภาพประกอบ40 ถึงภาพประกอบ42



ภาพประกอบ29 ผลการควบคุมแกนX ที่ พี.ไอ ควบคุม($K_p=1.78, K_i=3.29$)



ภาพประกอบ30 ผลการควบคุมแกนY ที่ พี.ไอ ควบคุม($K_p=1.67, K_i=3.09$)



ภาพประกอบ31 ผลการควบคุมแกนZ ที่ พี.ไอ ควบคุม($K_p=1.94, K_i=3.59$)

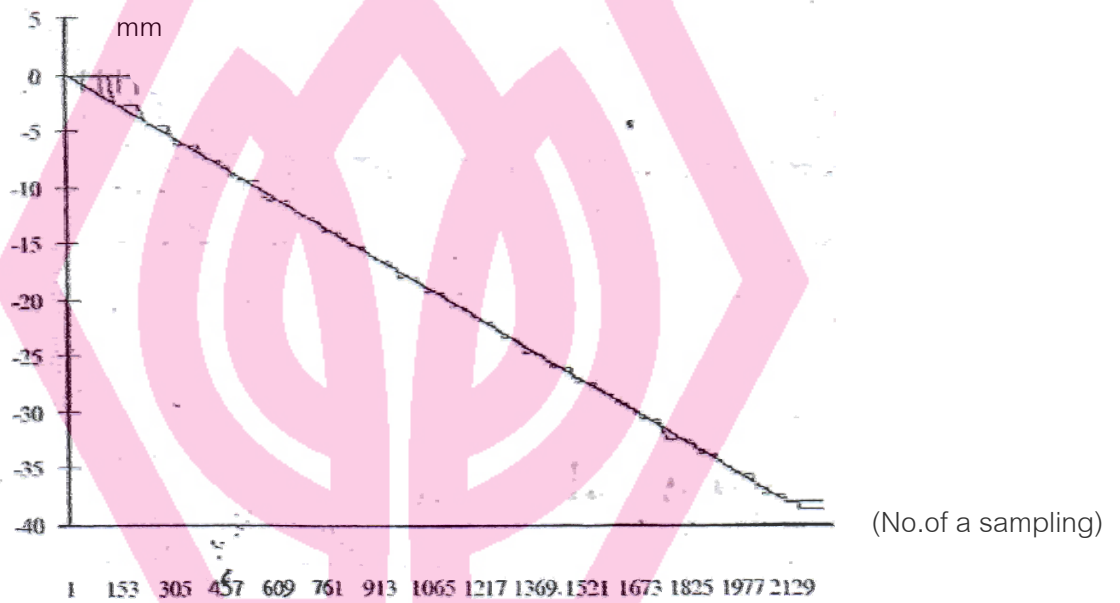
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บทที่ 4

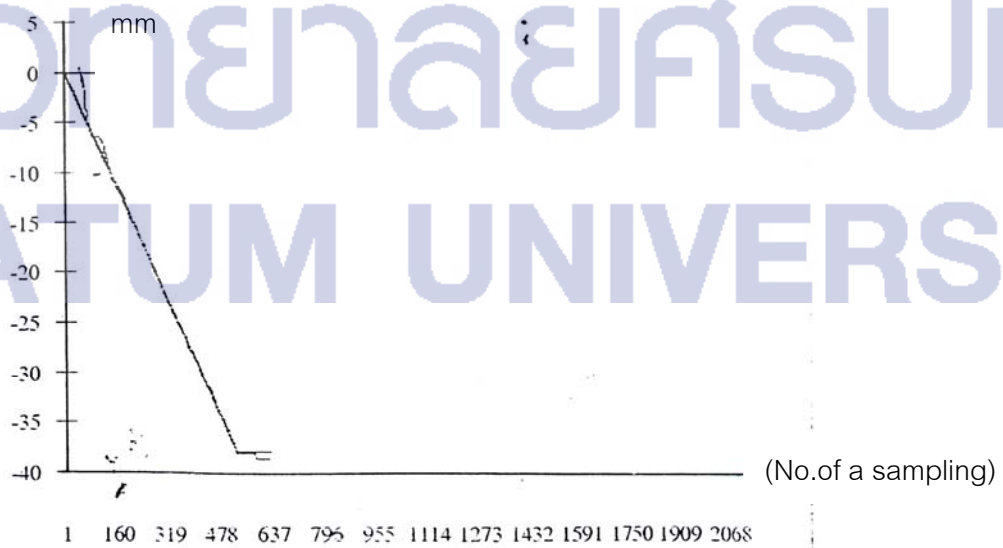
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลค่าเกณฑ์ที่ได้ของแต่ละแกนจากขั้นตอนการทดสอบ 3.5.3.1 นำไปควบคุมการเคลื่อนที่ของแต่ละแกนในรูปแบบต่างๆ ดังนี้

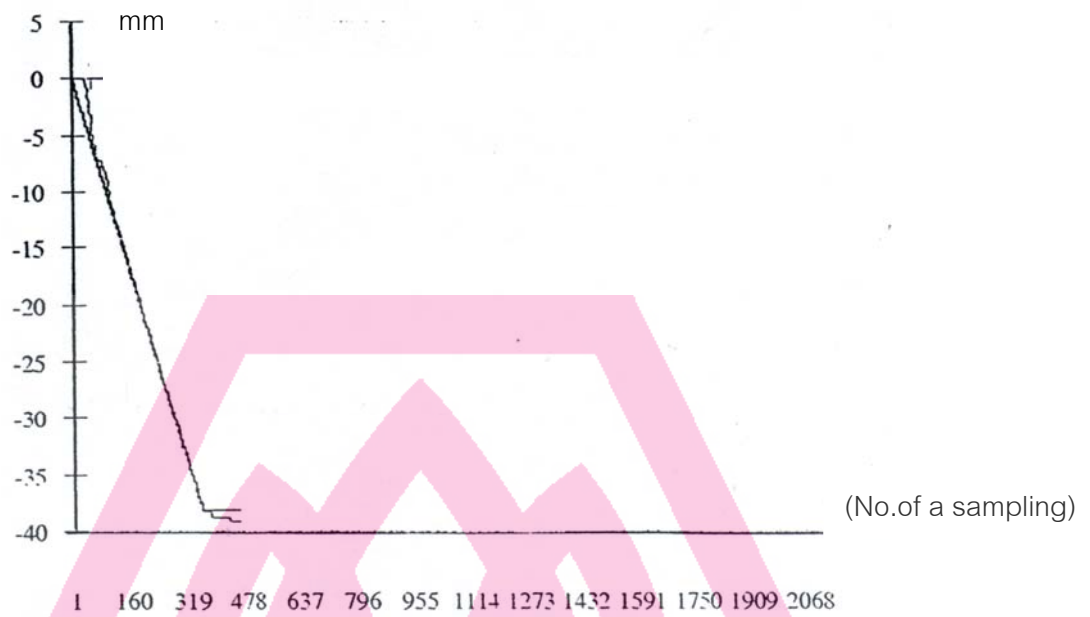
1. การควบคุมที่ความเร็วคงที่



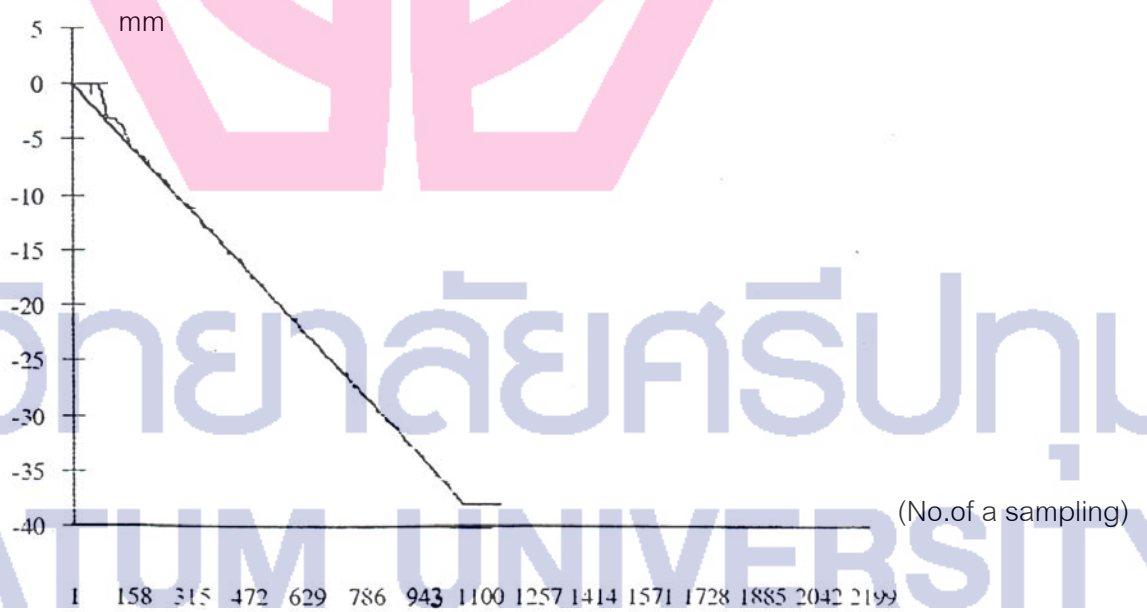
ภาพประกอบ 32 ที่ความเร็วคงที่ 1 mm/s ของแกน Z



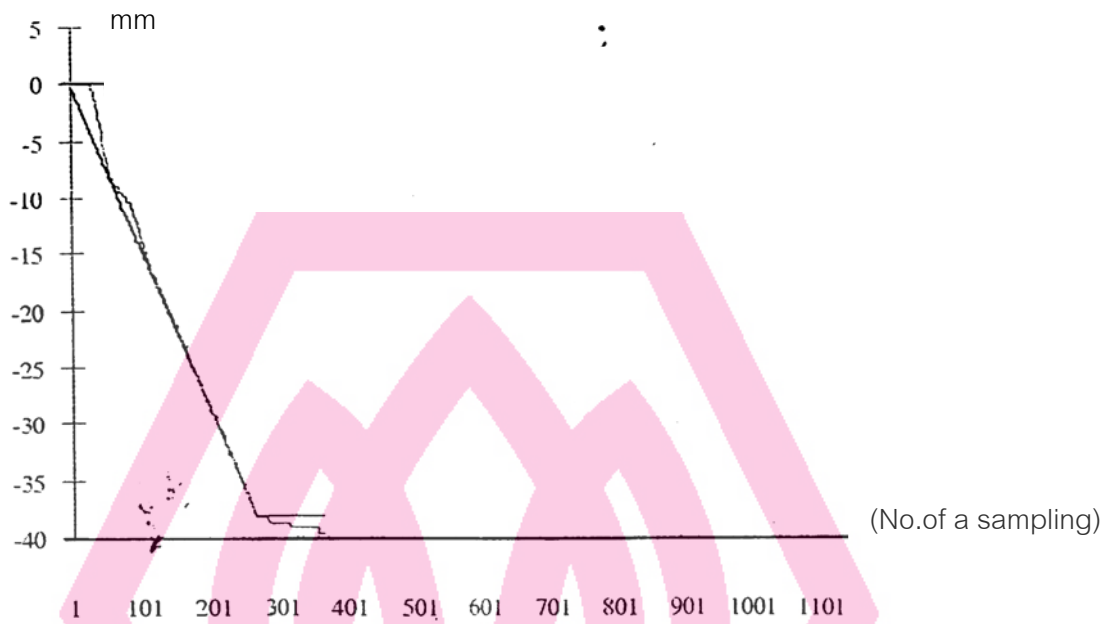
ภาพประกอบ 33 ที่ความเร็วคงที่ 2 mm/s ของแกน X และ Y



ภาพประกอบ34 ที่ความเร็วคงที่ 4mm/s ของแกนY

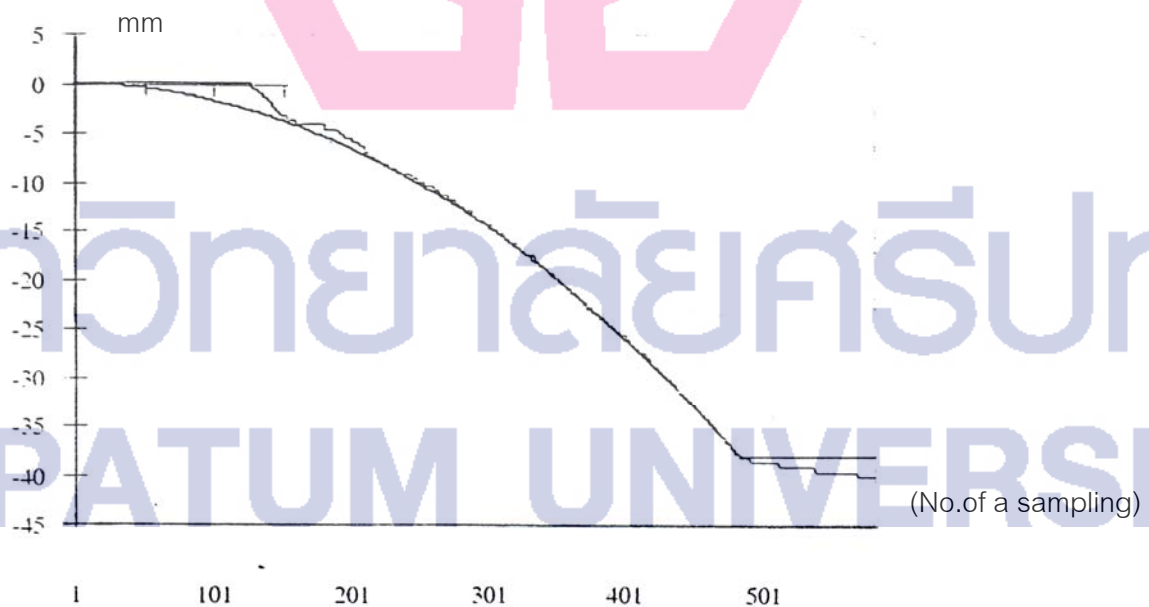


ภาพประกอบ35 ที่ความเร็วคงที่ 6.5 mm/s ของแกนY

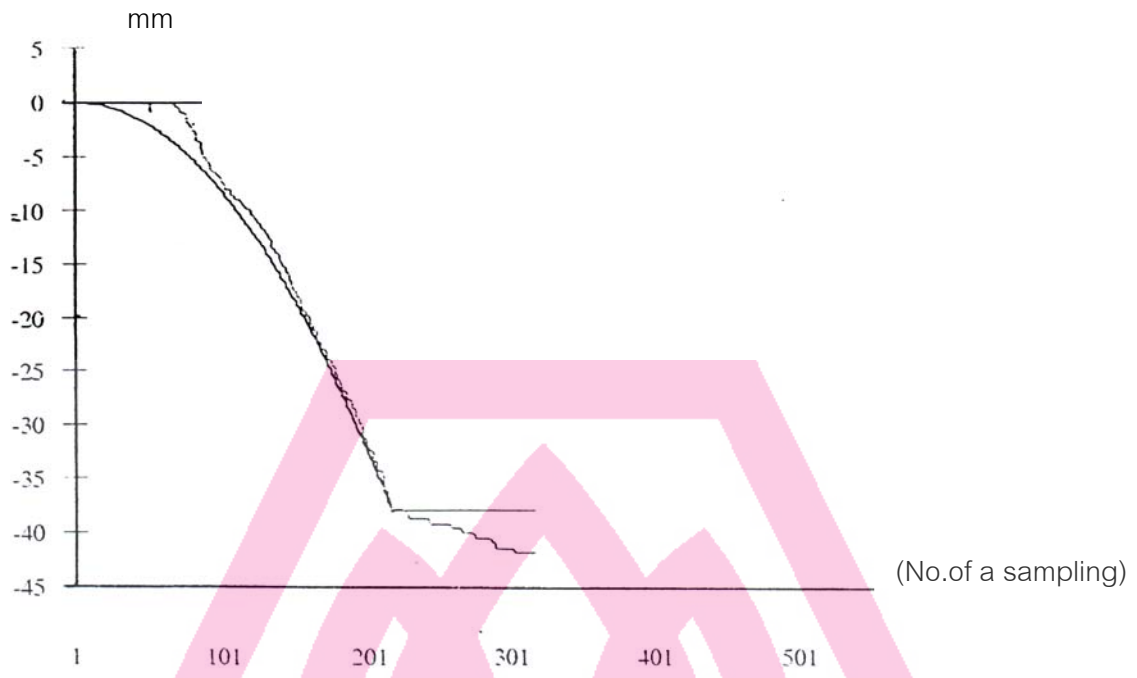


ภาพประกอบ36 ที่ความเร็วคงที่ 7 mm/s ของแกนY

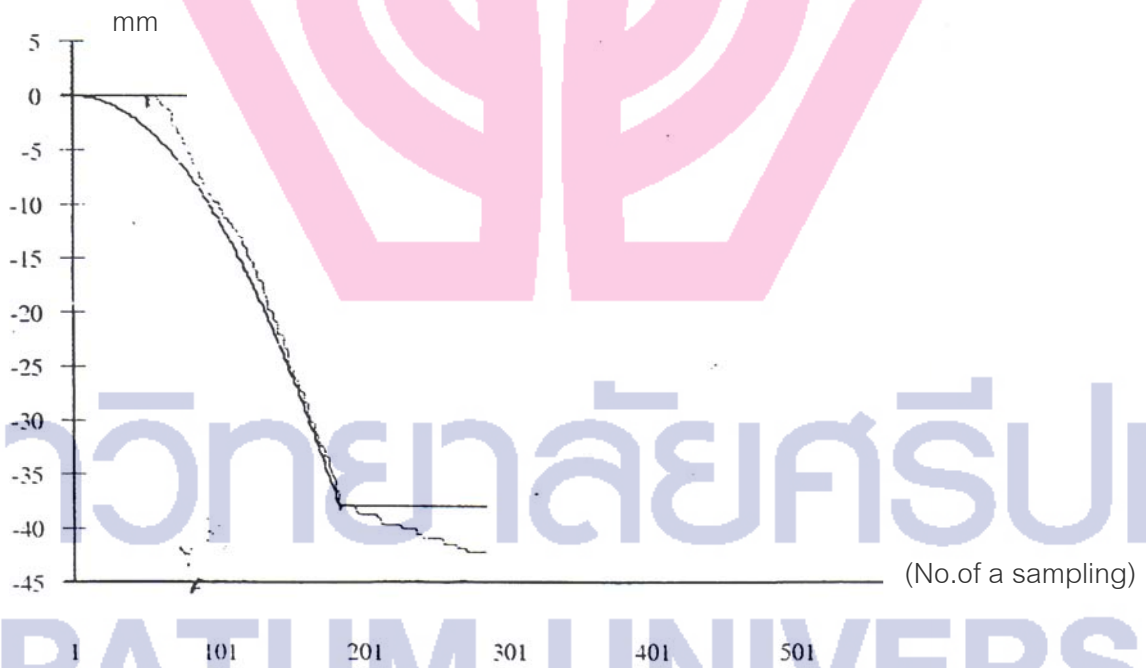
2. การควบคุมที่ความเร่งคงที่



ภาพประกอบ37 ที่ความเร่งคงที่ 1.5 mm/s² ของแกนZ

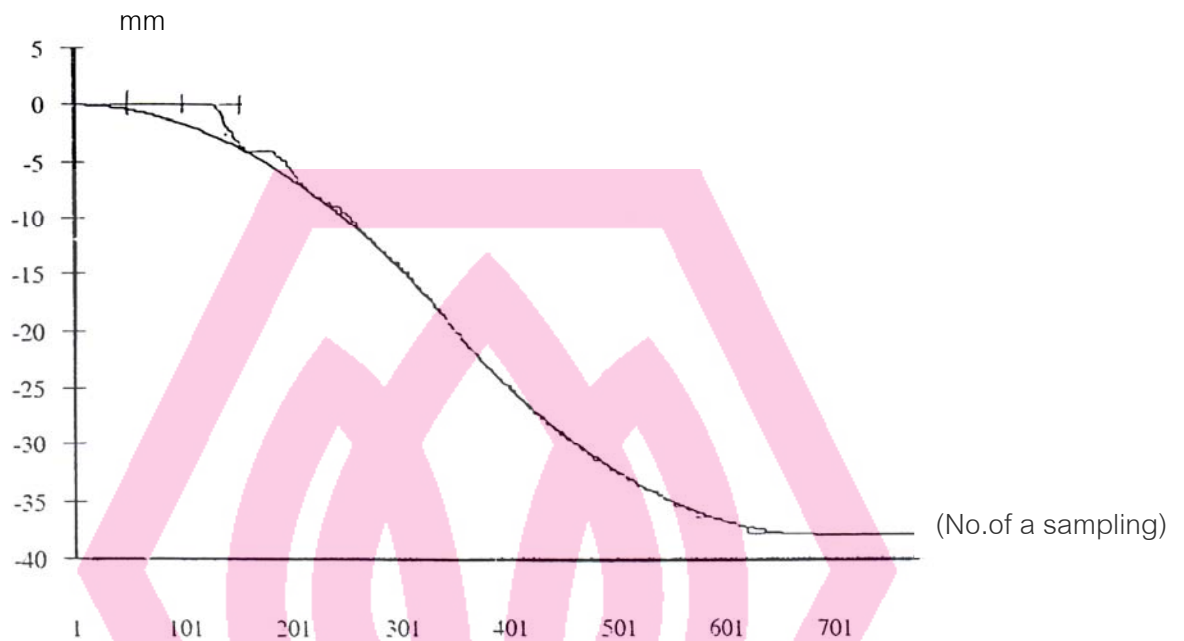


ภาพประกอบ 38 ที่ความเร่งคงที่ 2 mm/s^2 ของแกน X

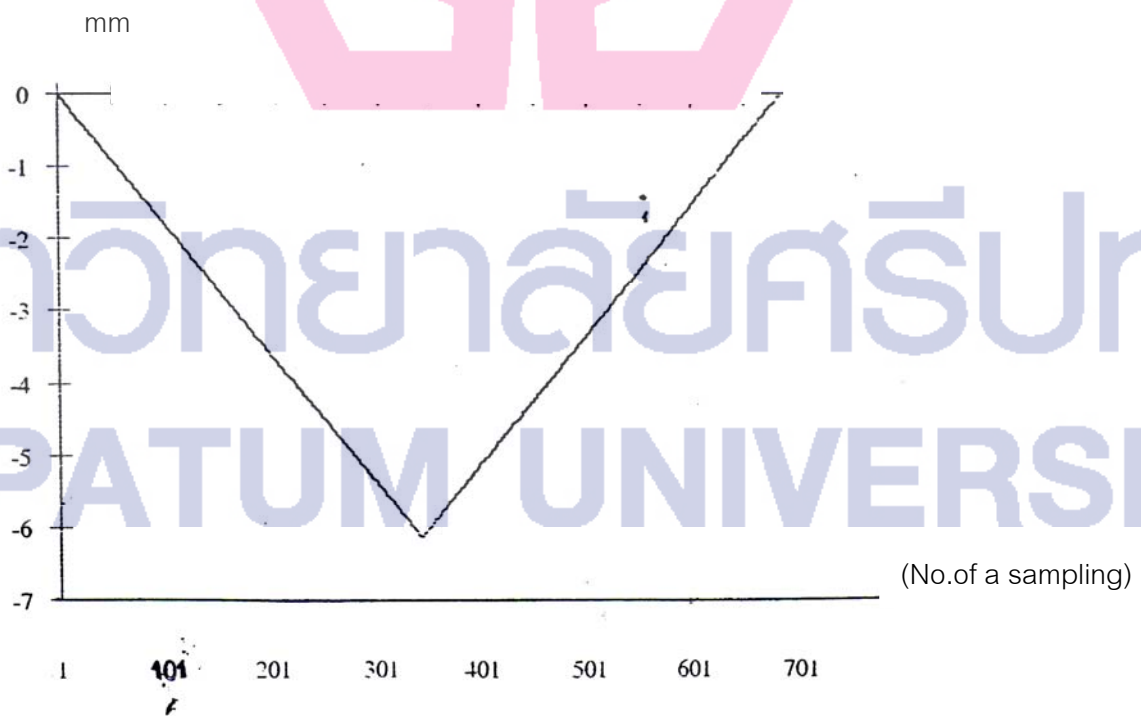


ภาพประกอบ 39 ที่ความเร่งคงที่ 4 mm/s^2 ของแกน Y

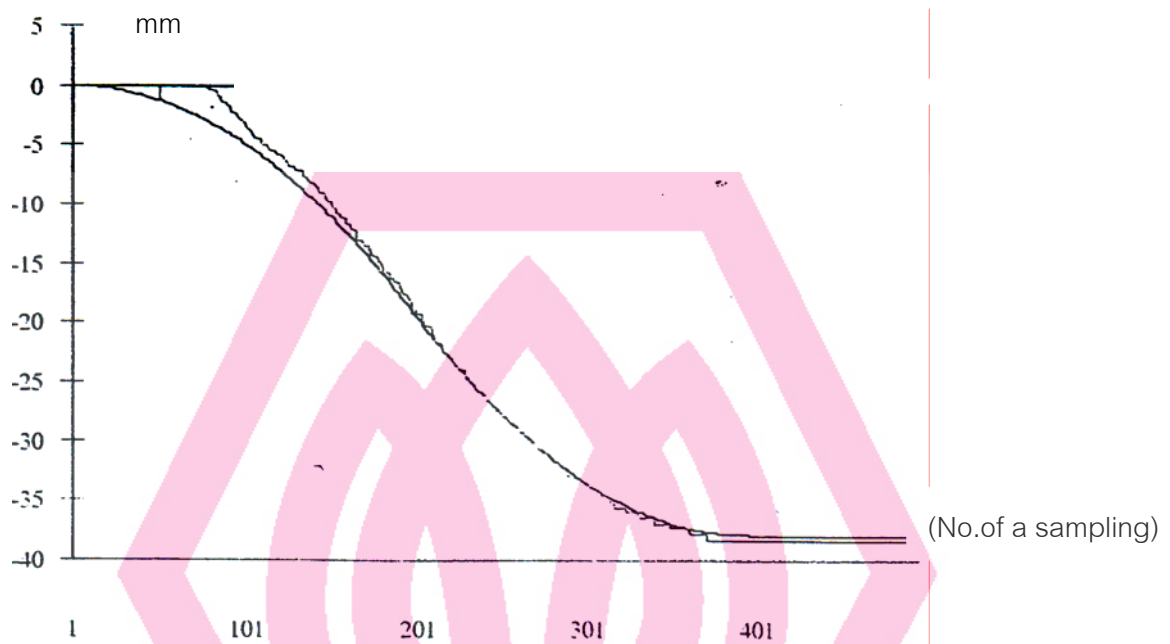
3. การควบคุมที่ความเร่งและความหน่วงคงที่



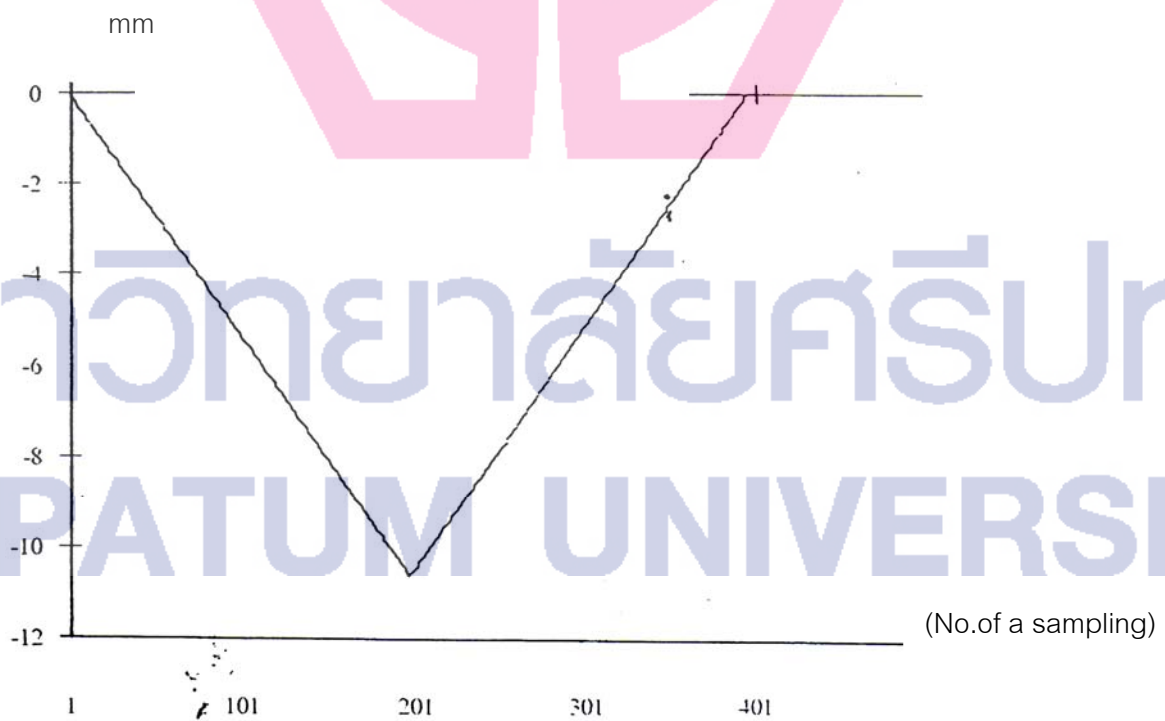
ภาพประกอบ 40 แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ที่ $\pm 1.3 \text{ mm/s}^2$ ของแกน X



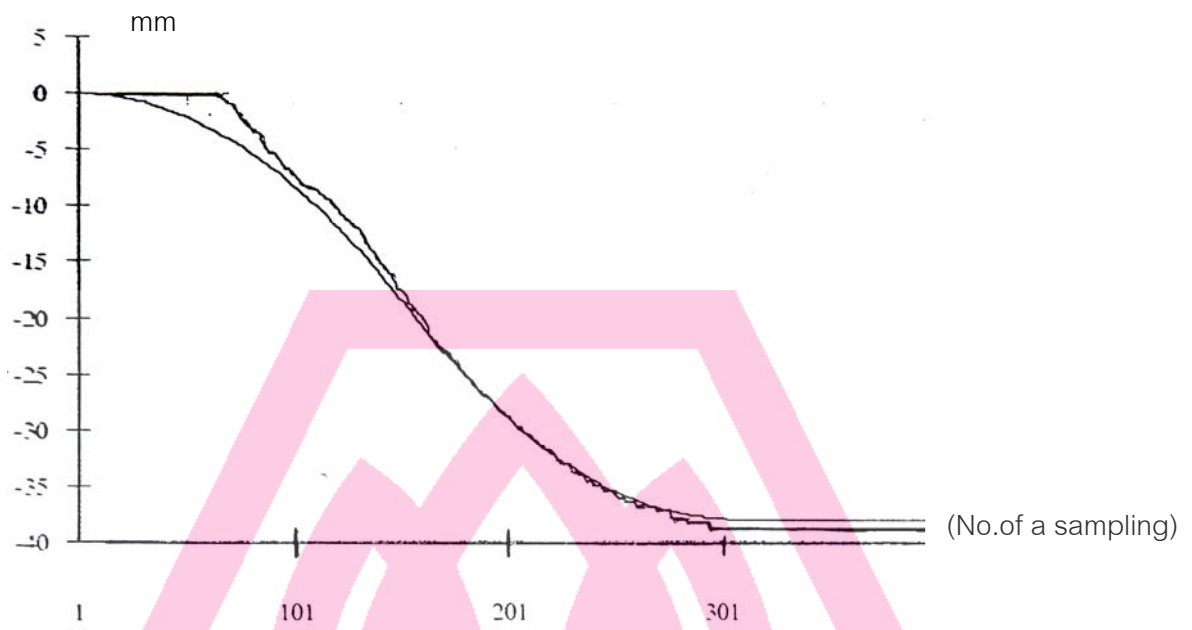
ภาพประกอบ 41 แสดงโปรไฟล์ความเร็วการเคลื่อนที่ที่ $\pm 1.3 \text{ mm/s}^2$ ของแกน X



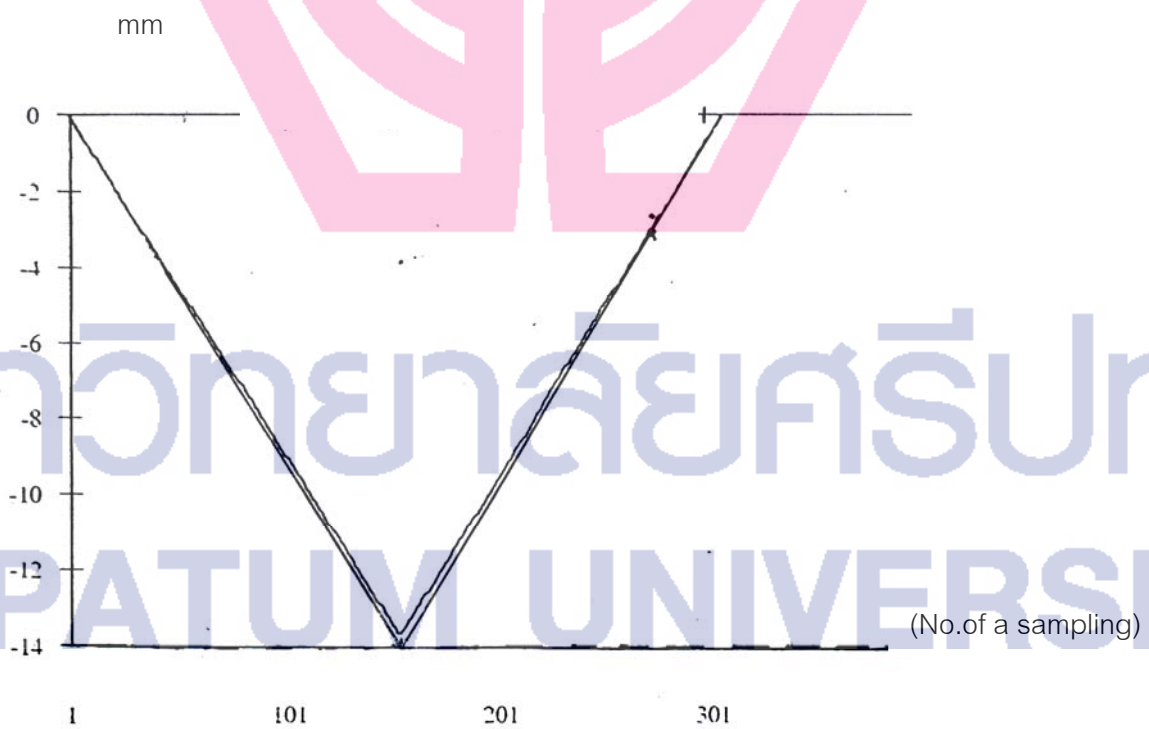
ภาพประกอบ42 แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ที่ $\pm 4 \text{ mm/s}^2$ ของแกน X



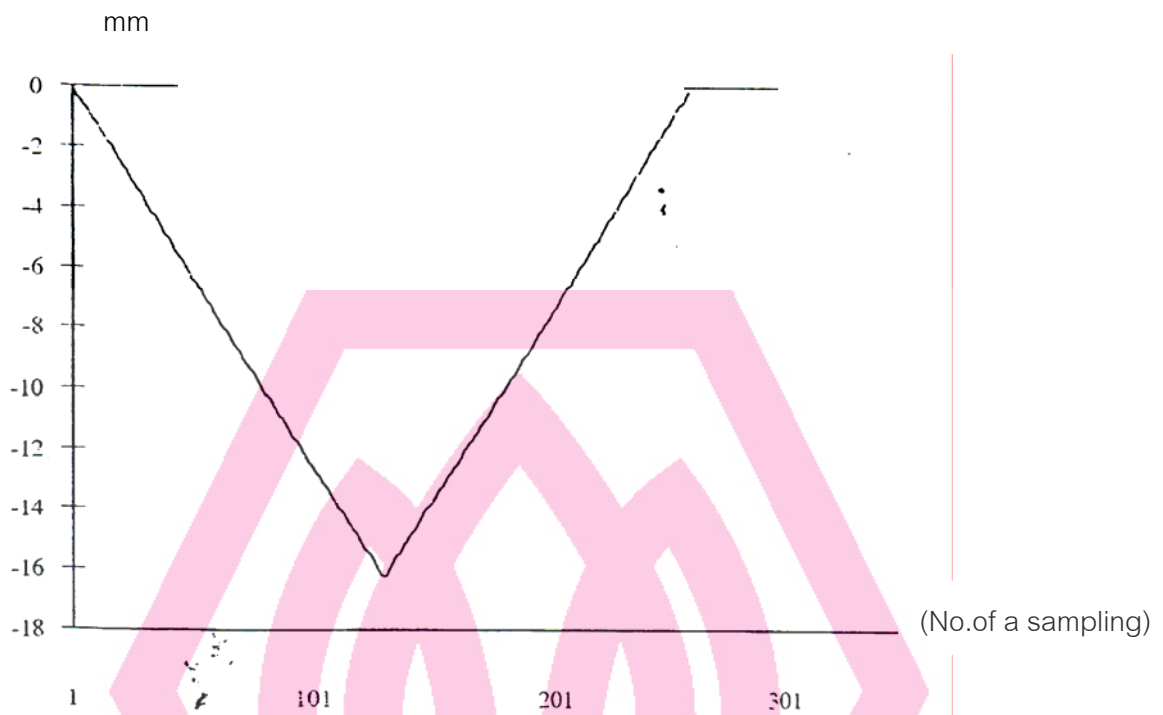
ภาพประกอบ43 แสดงโปรไฟล์ความเร็วการเคลื่อนที่ที่ $\pm 4 \text{ mm/s}^2$ ของแกน X



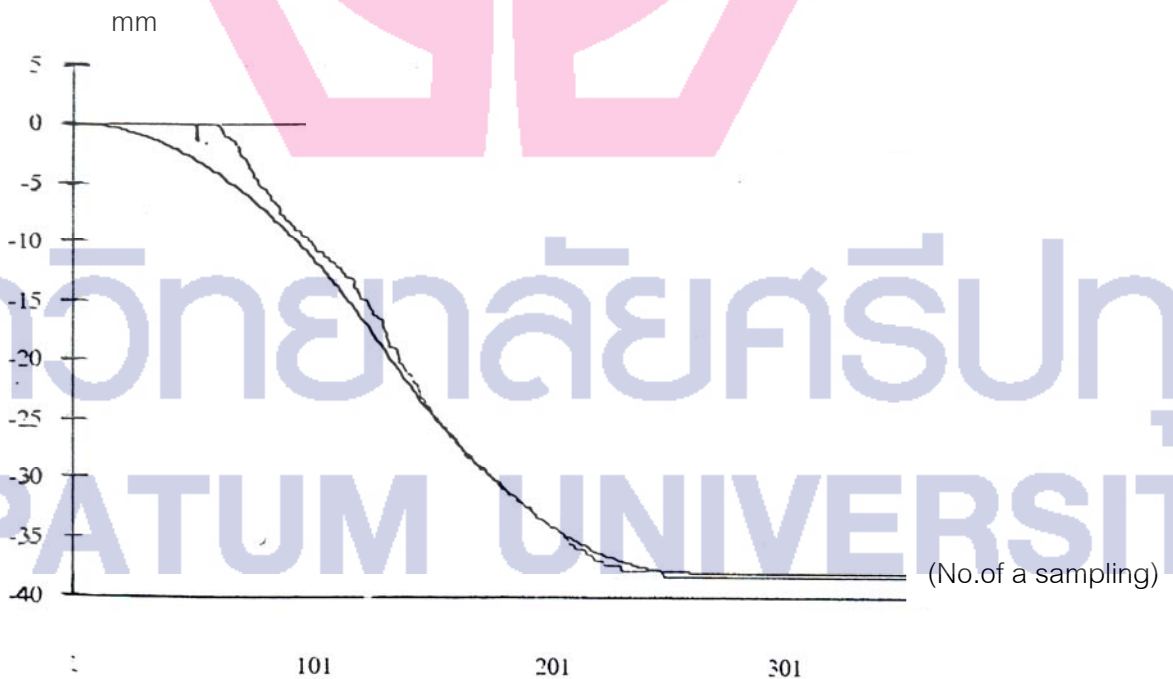
ภาพประกอบ44 แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ที่ $\pm 4 \text{ mm/s}^2$ ของแกน X



ภาพประกอบ45 แสดงโปรไฟล์ความเร็วการเคลื่อนที่ที่ $\pm 4 \text{ mm/s}^2$ ของแกน X

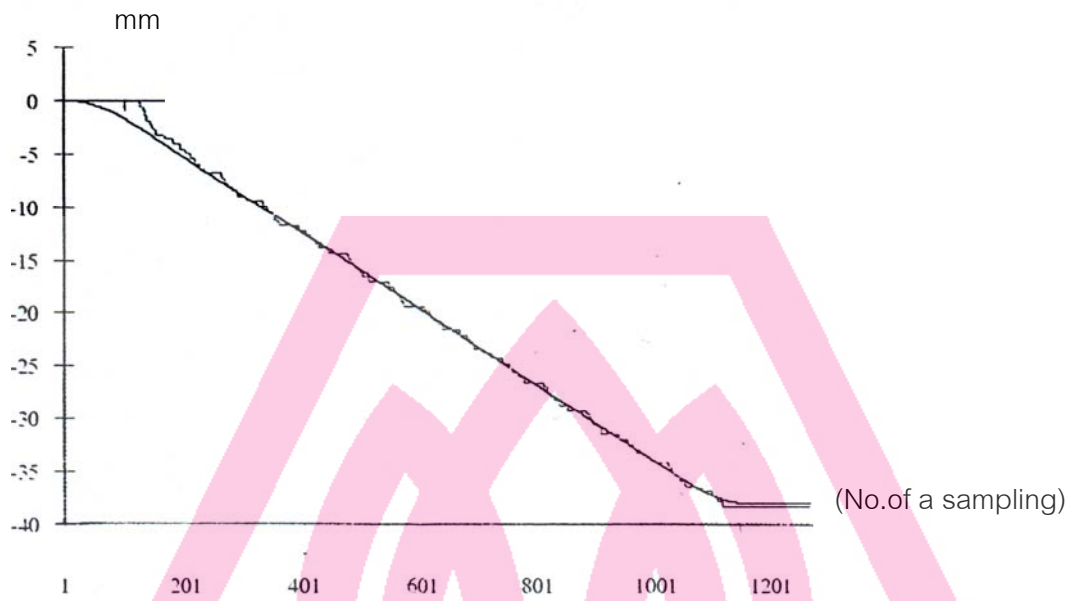


ภาพประกอบ46 แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ๆ $\pm 6.5 \text{ mm/s}^2$ ของแกน Y

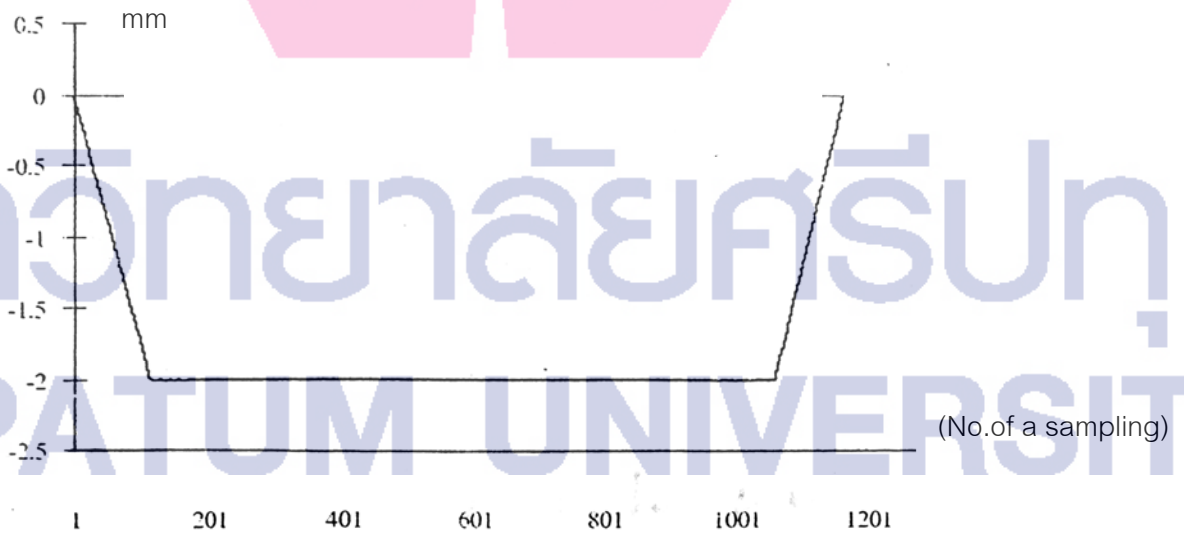


ภาพประกอบ47 แสดงโปรไฟล์ความเร็วการเคลื่อนที่ๆ $\pm 6.5 \text{ mm/s}^2$ ของแกน Y

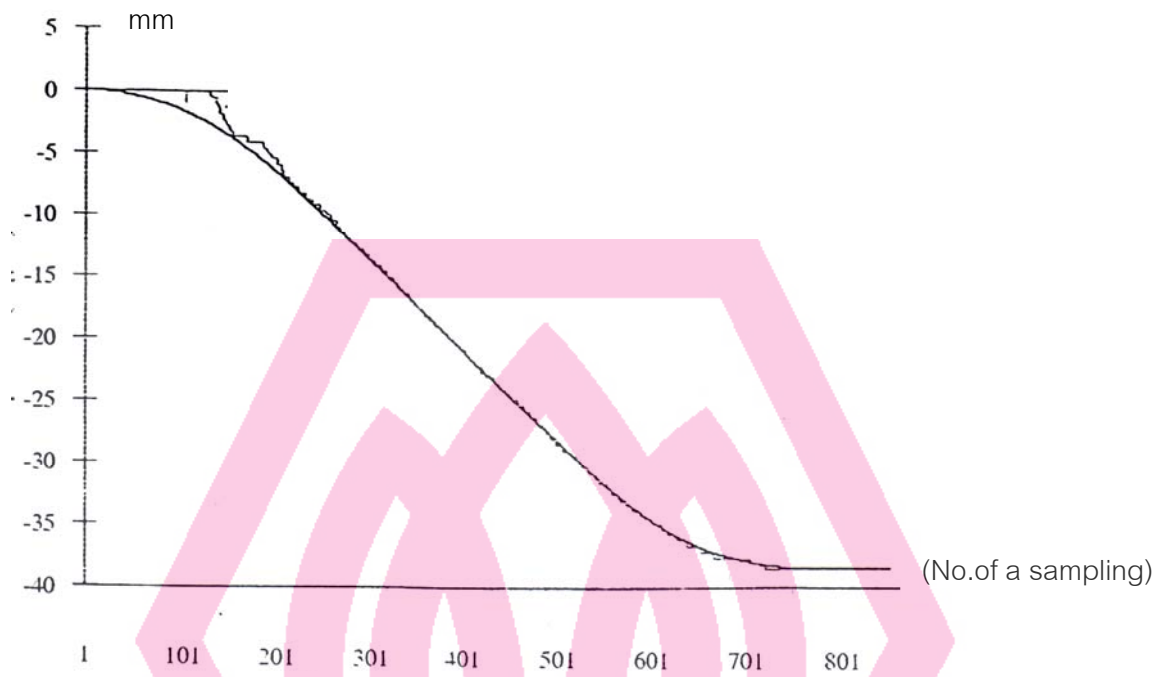
1. การควบคุมที่ความเร่ง-ความเร็ว-ความหน่วง คงที่



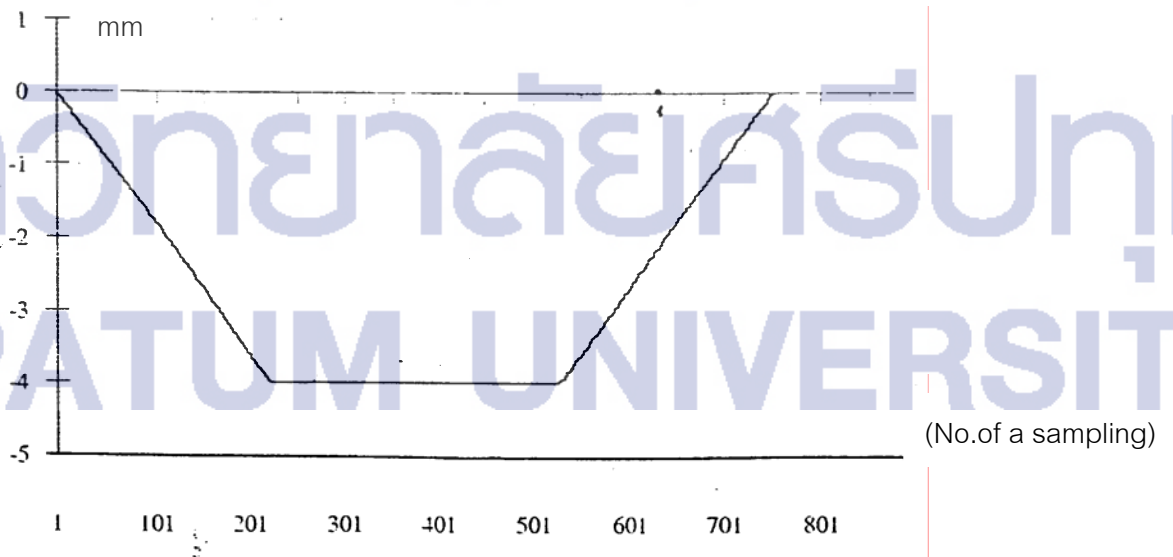
ภาพประกอบ48 แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ที่ $\pm 2 \text{ mm/s}^2$ และ 2 mm/s ของแกน Y



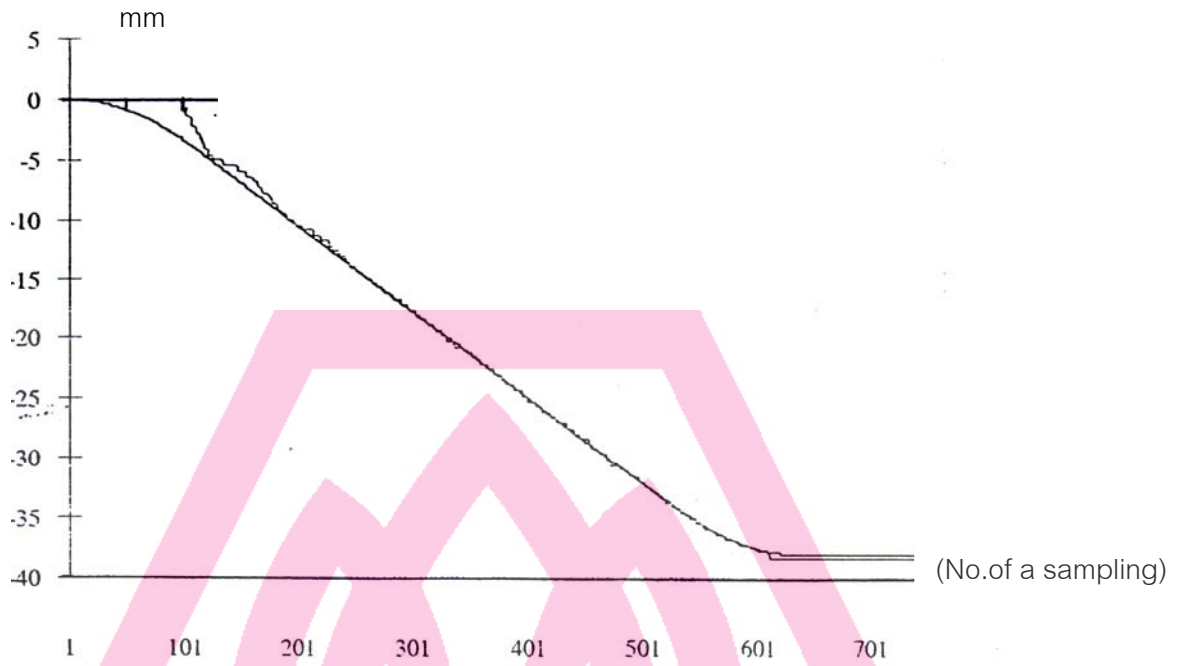
ภาพประกอบ49 แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ที่ $\pm 2 \text{ mm/s}^2$ และ 2 mm/s ของแกน Y



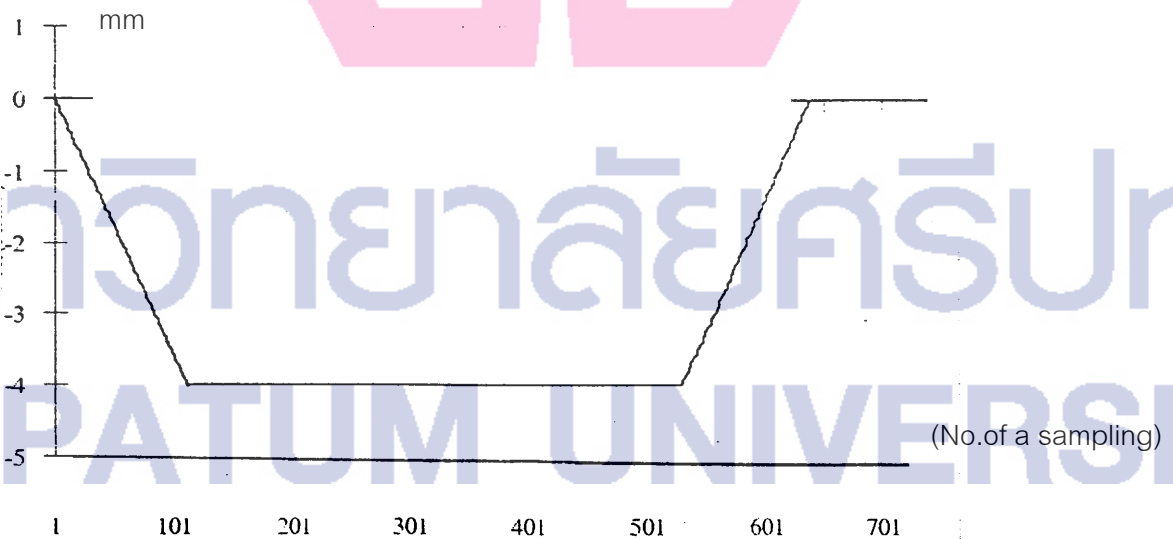
ภาพประกอบ 50 แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ที่ $\pm 1.5 \text{ mm/s}^2$ และ 4 mm/s ของแกน X



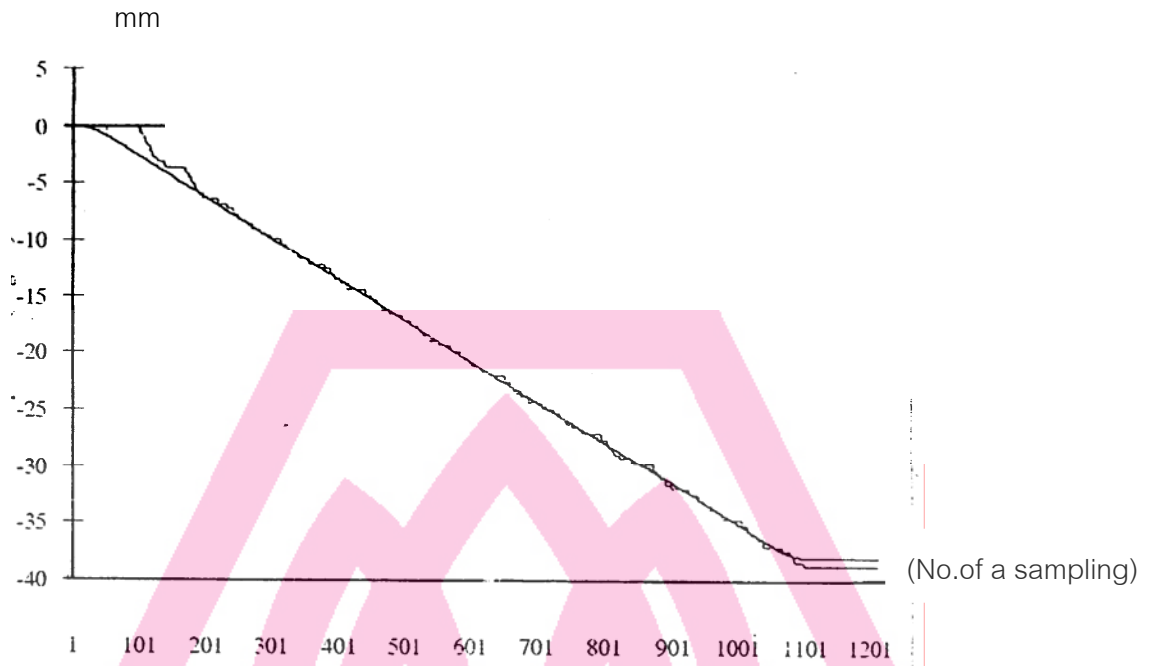
ภาพประกอบ 51 แสดงโปรไฟล์ความเร็วการเคลื่อนที่ที่ $\pm 1.5 \text{ mm/s}^2$ และ 4 mm/s ของแกน X



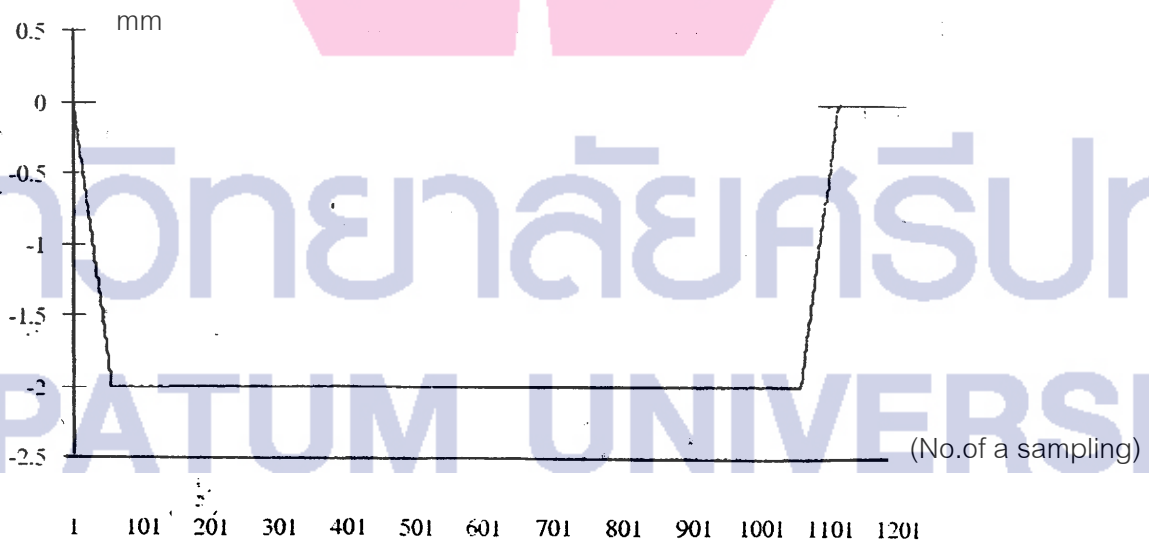
ภาพประกอบ52 แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ที่ $\pm 2 \text{ mm/s}^2$ และ 4 mm/s ของแกน Y



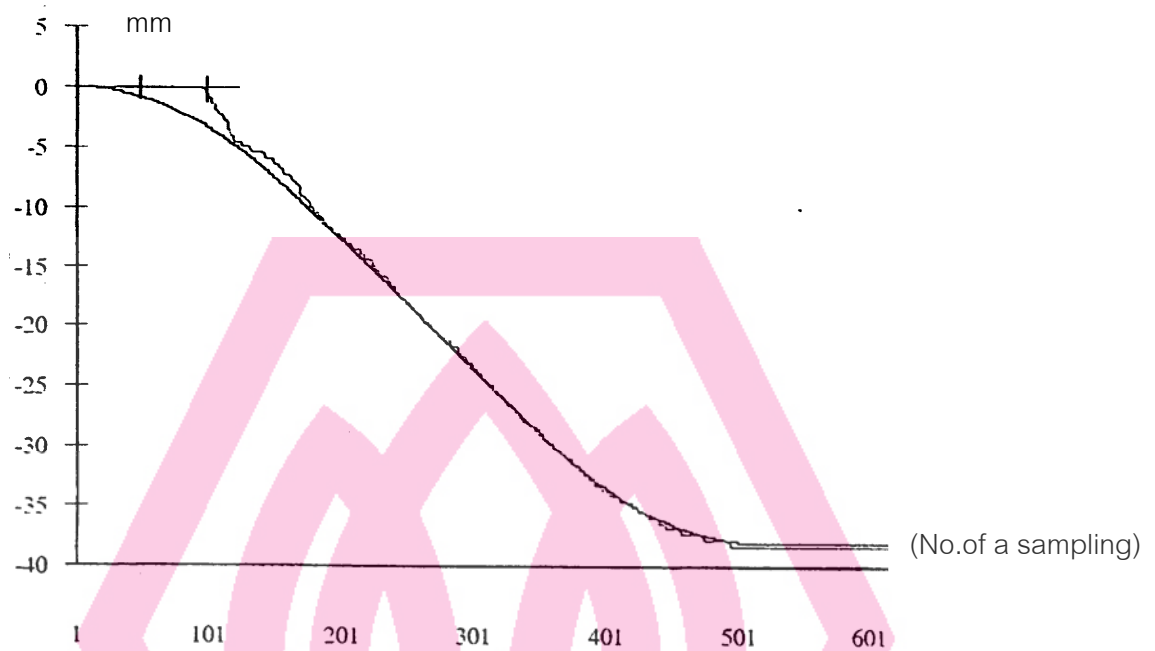
ภาพประกอบ53 แสดงโปรไฟล์ความเร็วการเคลื่อนที่ที่ $\pm 2 \text{ mm/s}^2$ และ 4 mm/s ของแกน Y



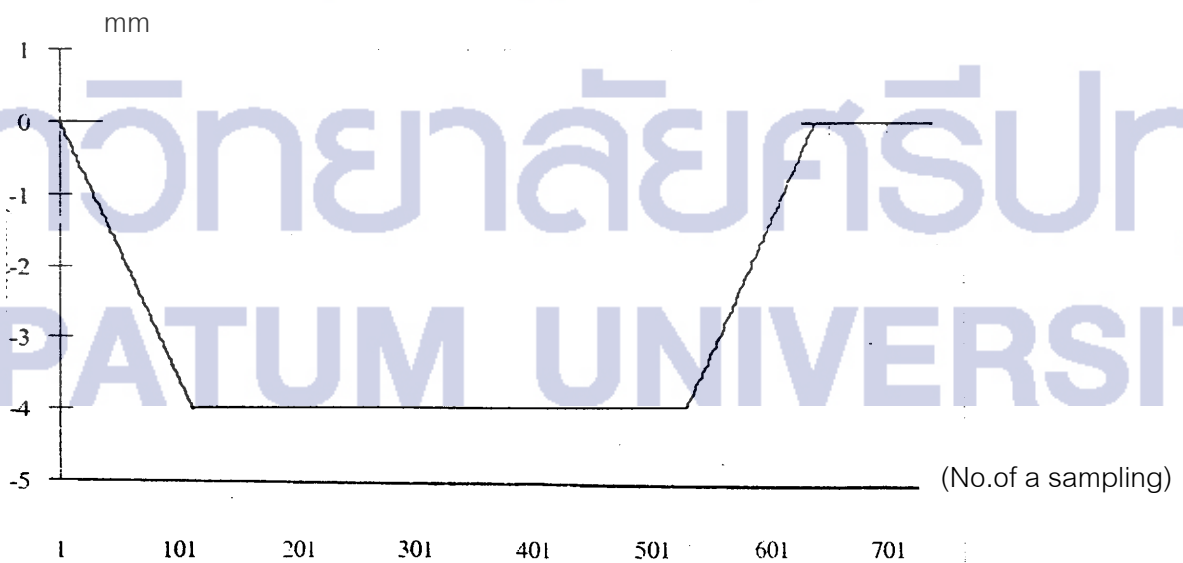
ภาพประกอบ54 แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ที่ $\pm 2 \text{ mm/s}^2$ และ 2 mm/s ของแกน Z



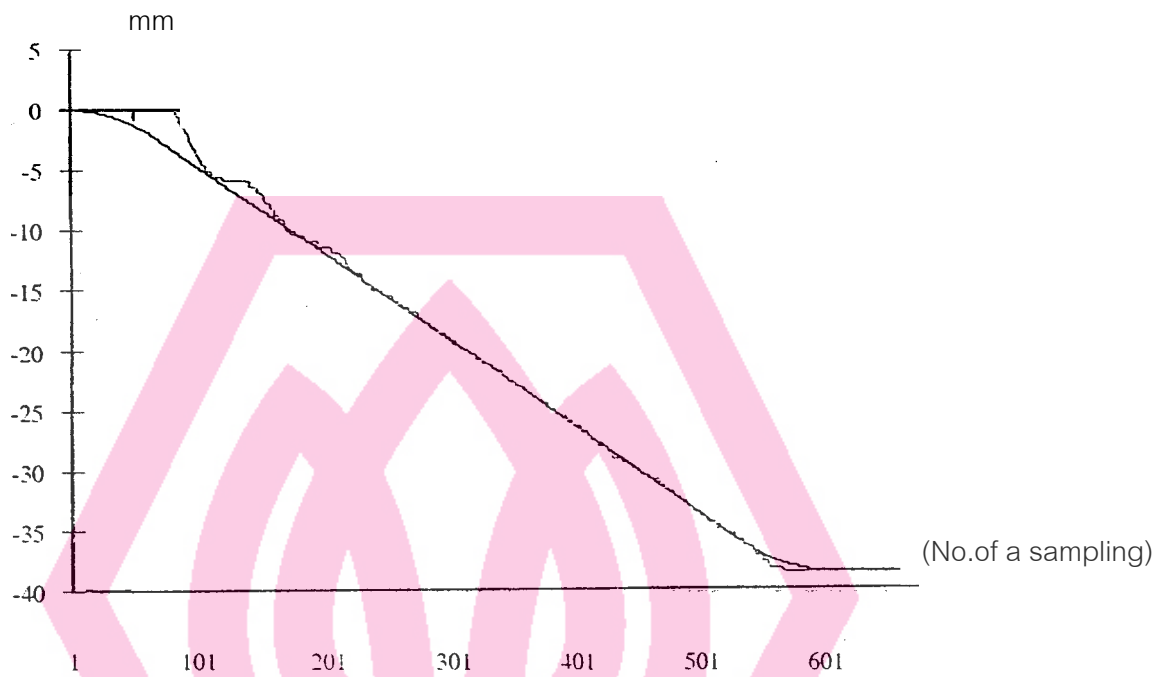
ภาพประกอบ55 แสดงโปรไฟล์ความเร็วการเคลื่อนที่ที่ $\pm 2 \text{ mm/s}^2$ และ 2 mm/s ของแกน Z



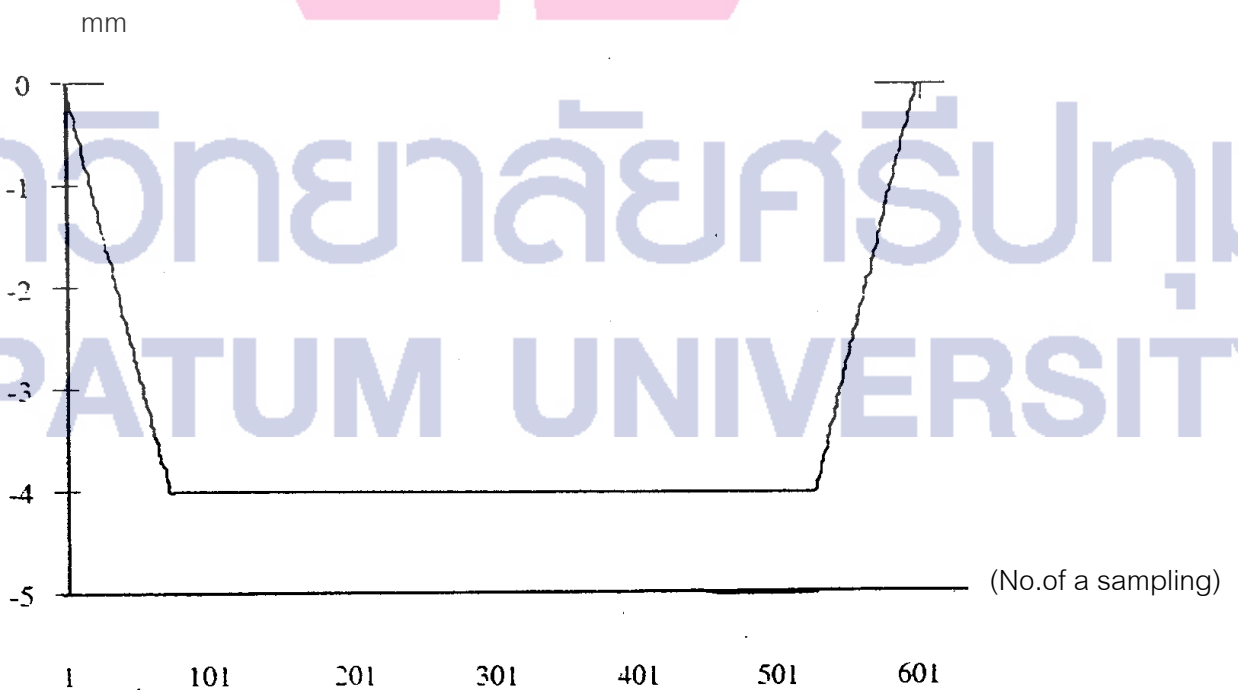
ภาพประกอบ 56 แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ที่ $\pm 3 \text{ mm/s}^2$ และ 4 mm/s ของแกน X



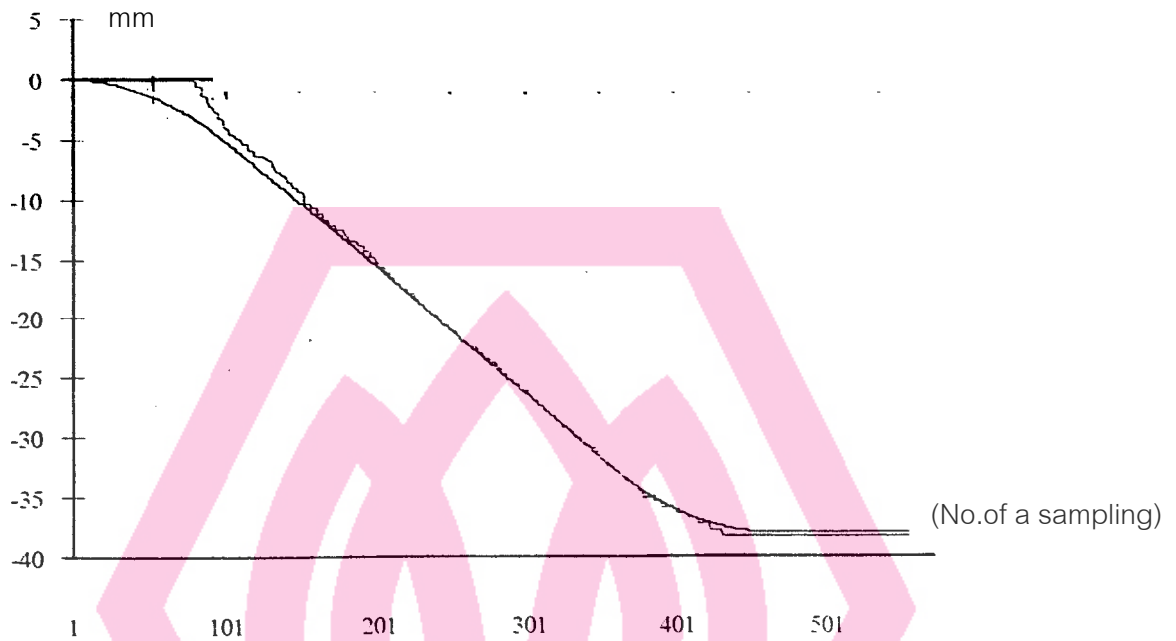
ภาพประกอบ 57 แสดงโปรไฟล์ความเร็วของการเคลื่อนที่ที่ $\pm 3 \text{ mm/s}^2$ และ 4 mm/s ของแกน X



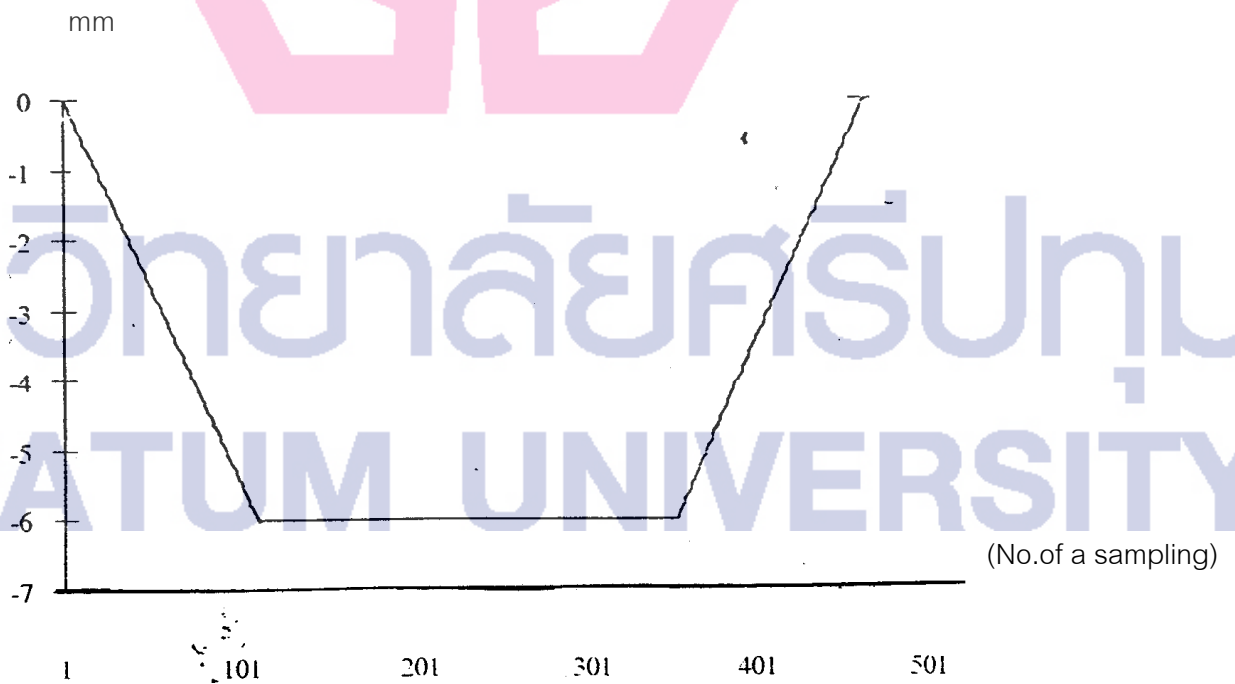
ภาพประกอบ58 แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ที่ $\pm 3 \text{ mm/s}^2$ และ 4 mm/s ของแกน Y



ภาพประกอบ59 แสดงโปรไฟล์ความเร็วของการเคลื่อนที่ที่ $\pm 3 \text{ mm/s}^2$ และ 4 mm/s ของแกน Y



ภาพประกอบ60 แสดงโปรไฟล์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ที่ $\pm 3 \text{ mm/s}^2$ และ 6 mm/s ของแกน Y



ภาพประกอบ61 แสดงโปรไฟล์ความเร็วของการเคลื่อนที่ที่ $\pm 3 \text{ mm/s}^2$ และ 6 mm/s ของแกน Y

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล วิจัยรณผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองควบคุมตำแหน่งที่ภายใต้เงื่อนไขโปรไฟล์ของความเร็วแบบต่างๆ พบว่าที่ภายใต้ความเร็วและความเร่งคงที่ให้ผลควบคุมที่ไม่ดีเนื่องจาก มีค่าความผิดพลาดที่ปลายทางหรือที่ตำแหน่งเป้าหมายค่อนข้างสูงอันเป็นผลเนื่องจาก ความไม่เป็นเชิงเส้นของความเสียดทานในระบบส่งผ่านการเคลื่อนที่และแบคแลชในระบบเพื่อทรวมถึงรูปแบบโปรไฟล์ควบคุมการเดินของแต่ละแกน

ดังนั้นการควบคุมที่ดีที่สุดทำได้เพียงการลดค่าความผิดพลาดเนื่องจากแรงเฉื่อยโดยใช้โปรไฟล์ความเร็วในการวิ่งแบบความเร่ง-ความหน่วงคงที่และความเร่ง-ความเร็ว-ความหน่วงคงที่โดยค่าความผิดพลาดที่เกิดจาก ความไม่เป็นเชิงเส้นของความเสียดทานไม่สามารถขจัดได้เนื่องจากระบบขาดเซ็นเซอร์วัดทอร์กที่เกิดขึ้นขณะเดียวกันที่ความเร่งหรือความเร็วสูงๆ ระบบก็จะมีค่าความผิดพลาดเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากขีดจำกัดของความเร็วในการตอบสนองของระบบทางกลของมอเตอร์

5.2 อภิปรายผล

5.1.1 จากผลการทดสอบควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่แกนx ซึ่งมีลักษณะโปรไฟล์แบบความเร่ง-ความหน่วงคงที่ให้ผลการควบคุมที่ดีที่สุดที่ค่า $\pm 1.3 \text{ mm/s}^2$ ให้ผลของความผิดพลาดที่ค่าสุดท้ายเป็นศูนย์ และที่ค่าความเร่ง $\pm 4 \text{ mm/s}^2$ ให้ค่าความผิดพลาดประมาณ 1 mm

5.1.2 จากผลทดสอบการควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ ซึ่งมีลักษณะโปรไฟล์เป็นแบบความเร่ง-ความเร็ว-ความหน่วงคงที่ของแกนX พบว่าผลการเคลื่อนที่ค่าความเร่งความหน่วงคงที่เป็น $\pm 1.5 \text{ mm/s}^2$ และความเร็วคงที่เป็น 4 mm/s ให้ผลการควบคุมที่ดีที่สุดที่ค่าความผิดพลาดปลายเป็นศูนย์ และที่ค่าความเร่ง $\pm 3 \text{ mm/s}^2$ และความเร็วคงที่เป็น 4 mm/s ให้ค่าความผิดพลาดประมาณ 0.5 mm

5.1.3 การทดสอบควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่แกนY ซึ่งมีลักษณะโปรไฟล์แบบความเร่ง-ความหน่วงคงที่ให้ผลการควบคุมที่ดีที่สุดที่ค่า $\pm 1.5 \text{ mm/s}^2$ ให้ผลของความผิดพลาดที่ค่าสุดท้ายเป็นศูนย์ และที่ค่าความเร่ง $\pm 6.5 \text{ mm/s}^2$ ให้ค่าความผิดพลาดประมาณ 0.5 mm

5.1.4 ผลการทดลองการควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ ซึ่งมีลักษณะโปรไฟล์เป็นแบบความเร่ง-ความเร็ว-ความหน่วงคงที่ของแกนYพบว่าที่ค่าความเร่งความหน่วงคงที่เป็น $\pm 3 \text{ mm/s}^2$

และความเร็วคงที่เป็น 4 mm/s ให้ผลการควบคุมดีที่สุดที่ค่าความผิดพลาดปลายเป็นศูนย์ และที่ค่าความเร่ง $\pm 3 \text{ mm/s}^2$ และความเร็วคงที่เป็น 6 mm/s ให้ค่าความผิดพลาดประมาณ 0.5 mm

5.1.5 ผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่แกน Y ซึ่งมีลักษณะโปรไฟล์แบบความเร่ง-ความหน่วงคงที่ซึ่งให้ผลการควบคุมดีที่สุดพบที่ค่า $\pm 1 \text{ mm/s}^2$ ให้ผลของความผิดพลาดที่ค่าสุดท้ายเป็นศูนย์

5.1.6 ผลการทดสอบการควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ ซึ่งมีลักษณะโปรไฟล์เป็นแบบความเร่ง-ความเร็ว-ความหน่วงคงที่ของแกน Y พบที่ค่าความเร่งความหน่วงคงที่ $\pm 2 \text{ mm/s}^2$ และความเร็วคงที่เป็น 2 mm/s ให้ผลควบคุมดีที่สุดที่ความผิดพลาดปลายทางประมาณ 0.5 mm

5.3 วิจัยรณผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากผลทดลอง การควบคุมทั้ง 3 แกน มีความผิดพลาดเนื่องจากความเสียดทานสามารถลดลงได้ 2 ทาง คือ การพัฒนาวิธีควบคุมโดยการชดเชยแบบป้อนไปข้างหน้า (Feed forward compensation) หรือ เพิ่มเซ็นเซอร์วัดทอร์คที่เกิดขึ้นเพื่อการควบคุมแบบป้อนกลับ

5.2.2 ความผิดพลาดเนื่องจากแบคแลชในระบบเฟืองทดของมอเตอร์ ส่งผลให้เกิดค่าผิดพลาดในการควบคุมสามารถแก้ไขได้ โดยการใช้เซ็นเซอร์วัดตำแหน่งที่เป็นคนละตัวกับมอเตอร์เพื่อติดตั้งที่ปลายด้านเอาต์พุทของลิเนียร์สกรู

5.2.3 เป็นระบบที่สามารถพัฒนาให้เป็นกรณีศึกษา ในการควบคุมส่วนของระบบแบบไม่เป็นเชิงเส้น(Nonlinear Control System)

5.2.4 การไม่รู้พารามิเตอร์ของรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของระบบเป็นแนวทางหนึ่งที่จะใช้หลักการของNeural Network เพื่อทำการเรียนรู้ระบบในการหาค่าพารามิเตอร์ระบบที่ไม่รู้ค่า

5.2.5 การใช้คอนโทรลเลอร์เพื่อการควบคุมแบบต่างๆ ในเชิงเปรียบเทียบผลเช่น Adaptive Control, Fuzzy Logic Control, Optimal Control, Digital Control, Modern Control เป็นต้น



บรรณานุกรม

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บรรณานุกรม

วรวิทย์ อิงภากรณ์ . และ วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ . การวิจัยการออกแบบ และควบคุมหุ่นยนต์
อุตสาหกรรมชนิด 3 ข้อต่อที่มีการเคลื่อนที่แบบพิกัดฉาก. ม.ป.ท. 2535.

วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ. การควบคุมระบบพลศาสตร์ . กรุงเทพมหานคร .จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
2538.

มนัส ศรีวงศ์ . เครื่องกัด CNC ชนิด 3 แกนแบบตั้งขนาดเล็ก . พระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
2539.

องอาจ วีระชาติยานุกูล . เครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติสำหรับการผลิตเปลือกหุ้มคอมเพรสเซอร์ .
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย . 2537.

John G.Bollinger , Neil A.Duffie. Computer Control of Machines and Processes.
Addison-Wesley,1988.

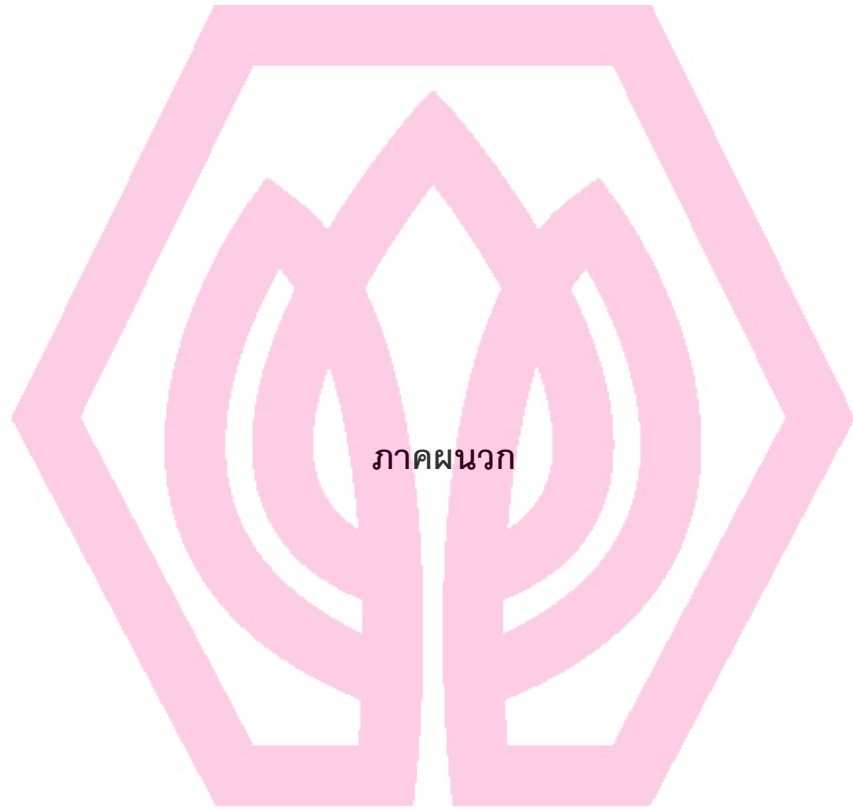
Katsuhiko Ogata. Modern Control Engineering. Prentice-Hall International,1990.

Tomokazu Hirabayashi,Kazuo Yamafuji. "Control of the Variable-Structure-Type
Locomotive Robot (Walking Forms and Controlling Methods of the Leg-Leg
Type)". :JSME Series3,Vol.35.m.p,1992.

William J.Palm. Control System Engineerings. John Wiley & Sons,1986.

Idereklam , Sandviken. "Modern Metal Cutting". AB Sandvik Coromant
Sweden : Tofters Tryckeri AB,1994.

Joseph Edward Shigley , Charics R. Mischke. Mechanical Engineering Design.
Mc Graw Hill ,1998



ภาคผนวก

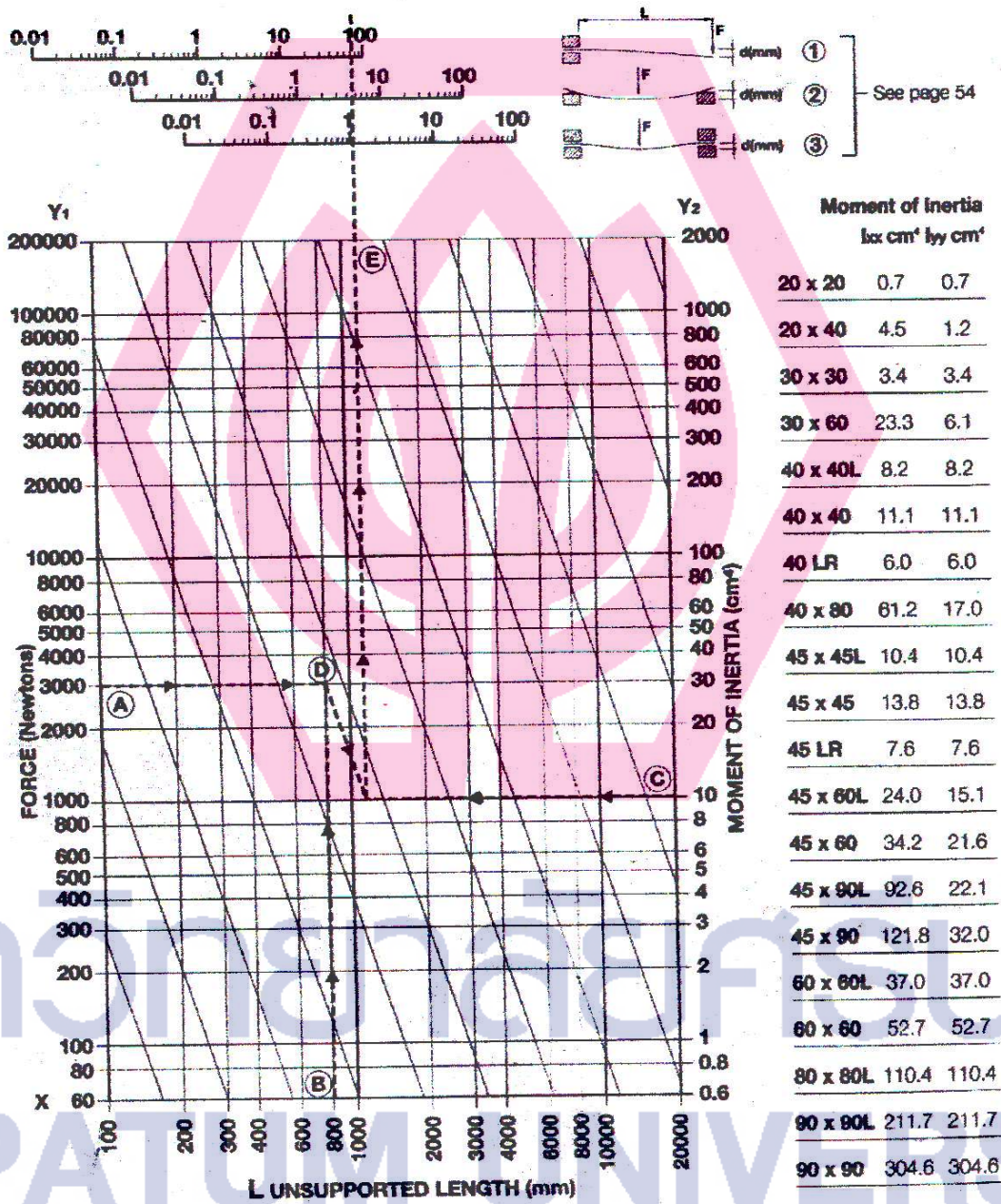
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ภาคผนวก ก.

ตารางและภาพกราฟอ้างอิงประกอบการออกแบบและการคำนวณ

- กราฟแสดงความสัมพันธ์แรงต่ออลูมิเนียมโปรไฟล์ภายใต้โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดขนาดต่างๆ
- ตารางแสดงค่าความเร็วในการกัดและอัตราการป้อนกัดต่อหนึ่งฟันของดอกกัด
- ตารางแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการป้อนกัดต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของดอกกัด
- ตารางแสดงผลของมุมที่เข้ากัดของดอกกัดต่ออัตราการป้อนกัด
- ตารางแสดงค่าคุณสมบัติวัสดุวิศวกรรมชนิดต่างๆ
- กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของดอกกัดและความลึกในการกัดของAluminiumและSteel
- ตารางแสดงค่าคุณสมบัติในการรับแรงของบอลสกรู
- ตารางแสดงค่าคุณสมบัติในการรับแรงของรางสไลด์
- ตารางแสดงการหาค่าเกณฑ์สำหรับคอนโทรลเลอร์ของซีเกลอร์-นิโคลส์

กราฟแสดงความสัมพันธ์แรงต่ออลูมิเนียมโปรไฟล์ภายใต้โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดขนาดต่างๆ



ตารางแสดงค่าความเร็วในการกัดและอัตราการป้อนกัดต่อหนึ่งฟันของดอกกัด


Milled Material	Cutting speed Range (m/min)	Tool diameter range		
		Dia. 6-8 mm	Dia. 10-12 mm	Dia. 14-25 mm
		Feed per tooth (mm)		
Free cutting steels	90-150	0.025-0.040	0.050-0.060	0.070-0.120
Medium tensile strength Steels	80-120	0.020-0.035	0.040-0.050	0.060-0.100
High tensile strength steels	40-80	0.015-0.030	0.035-0.045	0.060-0.090
Tool steels	50-90	0.020-0.035	0.040-0.050	0.060-0.100
Die and mold steels	60-100	0.020-0.035	0.040-0.050	0.060-0.100
Armor steels	30-60	0.015-0.030	0.035-0.045	0.050-0.090
Hardened steels	25-50	0.010-0.015	0.015-0.025	0.035-0.060

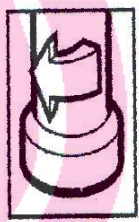
อ้างอิงมาจากชุดฝึกอบรม ชื่อ เทคโนโลยีการตัดเฉือนสำหรับงานกัด Machining Technology for Milling

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการป้อนกัดต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของดอกกัด

$$h_m = f_z \sqrt{\frac{a_e}{D}}$$

$$f_z = h_m \sqrt{\frac{D}{a_e}}$$


$$h_m = \frac{\sin \kappa \times 180 \times a_e \times f_z}{\pi \times D \times \arcsin \left(\frac{a_e}{D} \right)}$$


a _e /D	f _z (mm)										
	0,04	0,08	0,10	0,16	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,0
	h _m (mm)										
1/50					0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,11	0,14
1/40				0,03	0,03	0,05	0,06	0,08	0,09	0,13	0,16
1/25				0,03	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20
1/20				0,03	0,04	0,07	0,09	0,11	0,13	0,18	0,22
1/10			0,03	0,05	0,06	0,09	0,12	0,16	0,19	0,25	
2/10		0,03	0,04	0,07	0,09	0,13	0,17	0,22	0,26		
3/10		0,04	0,05	0,08	0,10	0,16	0,21	0,26			
4/10		0,05	0,06	0,09	0,12	0,18	0,23				
5/10	0,03	0,05	0,06	0,10	0,13	0,19	0,25				

ตารางแสดงผลของมุมที่เข้ากัดของดอกกัดต่ออัตราการป้อนกัด

Effect of entering angle on average chip thickness

$$f_z = \frac{h_m}{X_K}$$



a_e/D	X_K							
	$\kappa = 90^\circ$		$\kappa = 75^\circ$		$\kappa = 60^\circ$		$\kappa = 45^\circ$	
0.025	0.16	1.0	0.15	0.97	0.14	0.87	0.11	0.71
0.05	0.22	1.0	0.21	0.97	0.19	0.87	0.16	0.71
0.075	0.27	1.0	0.26	0.97	0.23	0.87	0.19	0.71
0.10	0.31	1.0	0.30	0.96	0.27	0.86	0.22	0.71
0.15	0.38	1.0	0.36	0.96	0.33	0.86	0.27	0.70
0.20	0.43	0.99	0.42	0.96	0.37	0.86	0.31	0.70
0.25	0.48	0.99	0.46	0.96	0.42	0.86	0.34	0.70
0.30	0.52	0.98	0.50	0.95	0.45	0.85	0.37	0.70
0.35	0.55	0.98	0.53	0.95	0.48	0.85	0.39	0.69
0.40	0.58	0.97	0.56	0.94	0.51	0.84	0.41	0.69
0.45	0.61	0.96	0.59	0.93	0.53	0.83	0.43	0.68
0.50	0.64	0.95	0.61	0.92	0.55	0.83	0.45	0.68
0.60	0.68	0.93	0.65	0.90	0.59	0.81	0.48	0.66
0.70	0.71	0.90	0.68	0.87	0.61	0.78	0.50	0.64
0.80	0.72	0.86	0.70	0.83	0.63	0.75	0.51	0.61
0.90	0.72	0.80	0.70	0.78	0.62	0.70	0.51	0.57
1.0	0.64	0.64	0.61	0.61	0.55	0.55	0.45	0.45

ตารางแสดงค่าคุณสมบัติวัสดุวิศวกรรมชนิดต่างๆ

ตารางแสดงค่าคุณสมบัติวัสดุวิศวกรรมชนิดต่างๆ (ต่อหน้า)

Materials	Density ρ (Mg/m ³)	Modulus of Elasticity E (GPa)		Modulus of Rigidity G (GPa)		Yield Strength σ_y (MPa)		Ultimate Strength σ_u (MPa)		% Elongation in 50 mm specimen	Poisson's Ratio ν	Coef. of Therm. Expansion α (10 ⁻⁶ /°C)
		—	—	Tens.	Comp. ^b	Tens.	Comp. ^b	Tens.	Comp. ^b			
Aluminum Wrought Alloys [2014-T6, 6061-T6]	2.79	73.1	27	414	172	469	290	10	0.35	23		
	2.71	68.9	26	255	131	290	186	12	0.35	24		
Cast Iron Alloys [Gray ASTM 20, Malleable ASTM A-197]	7.19	67.0	27	—	—	179	669	0.6	0.28	12		
	7.28	172	68	—	—	276	572	5	0.28	12		
Copper Alloys [Red Brass C83400, Bronze C86100]	8.74	101	37	70.0	70.0	241	241	35	0.35	18		
	8.83	103	38	345	345	655	655	20	0.34	17		
Magnesium Alloy [Am 1004-T61]	1.83	44.7	18	152	152	276	276	1	0.30	26		
Steel Alloys [Structural A36, Stainless 304, Tool L2]	7.85	200	75	250	250	400	400	30	0.32	12		
	7.86	193	75	207	207	517	517	40	0.27	17		
	8.16	200	75	703	703	800	800	22	0.32	12		
Titanium Alloy [Ti-6Al-4V]	4.43	120	44	924	924	1,000	1,000	16	0.36	9.4		
Concrete	2.38	22.1	—	—	12	—	—	—	0.15	11		
	2.38	29.0	—	—	38	—	—	—	0.15	11		
Plastic Reinforced	1.45	131	—	—	—	717	483	2.8	0.34	—		
	1.45	72.4	—	—	—	90	131	—	0.34	—		
Wood Select Structural Grade	0.47	13.1	—	—	—	2.1 ^c	36 ^d	—	0.29 ^e	—		
	3.60	9.65	—	—	—	2.3 ^e	36 ^d	—	0.31 ^e	—		

^a Specific values may vary for a particular material due to alloy or mineral composition, mechanical working of the specimen, or heat treatment. For a more exact value reference books for the material should be consulted.

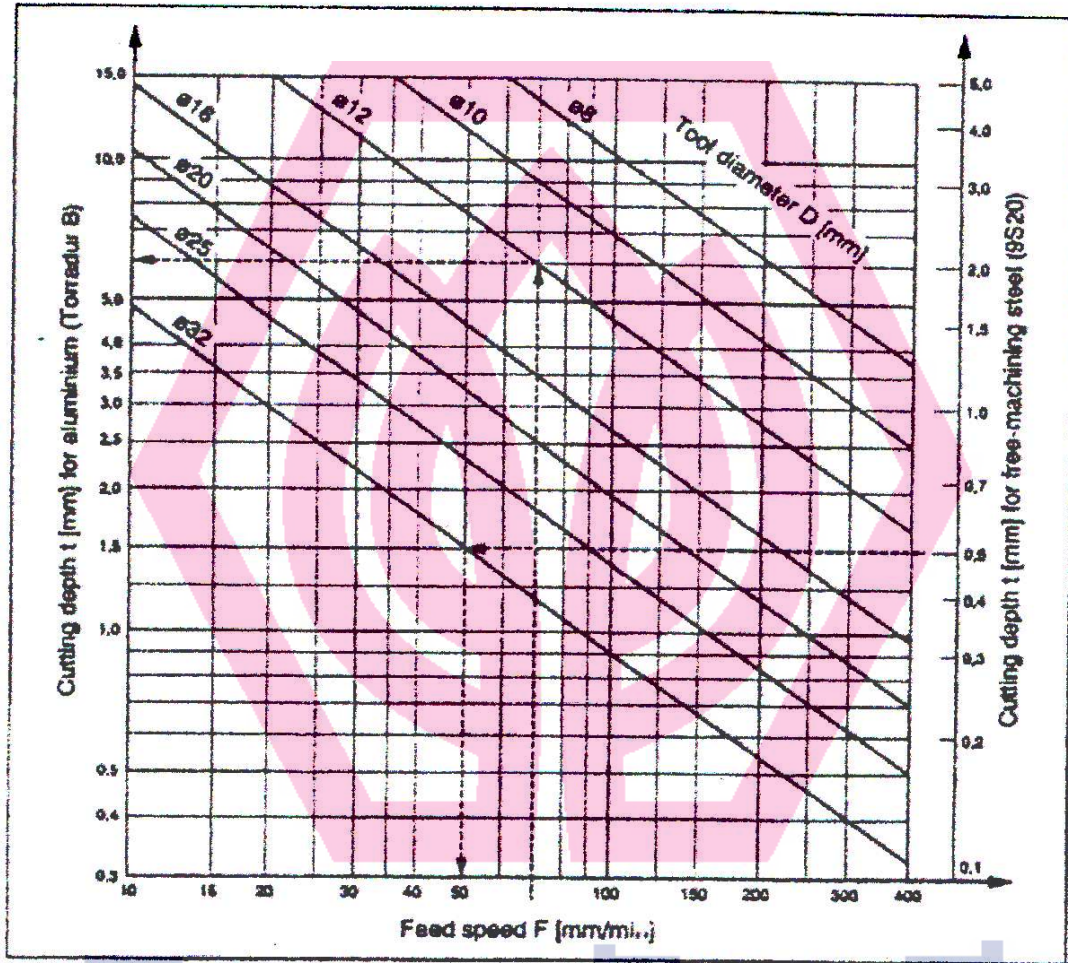
^b The yield and ultimate strengths for ductile materials can be assumed equal for both tension and compression.

^c Measured perpendicular to the grain.

^d Measured parallel to the grain.

^e Deformation measured perpendicular to the grain when the load is applied along the grain.

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของดอกกัดและความลึกในการกัดของAluminiumและSteel



Milling - determination of the cutting depth t and the feed speed F

ตารางแสดงค่าคุณสมบัติในการรับแรงของบอลสกรู

STAR Precision Ball Screw Assemblies

Single Nut with Flange

Mounting dimensions in

Accordance with DIN 69051

Part

Flange shape C

Right-hand thread

Nut with ground- thread

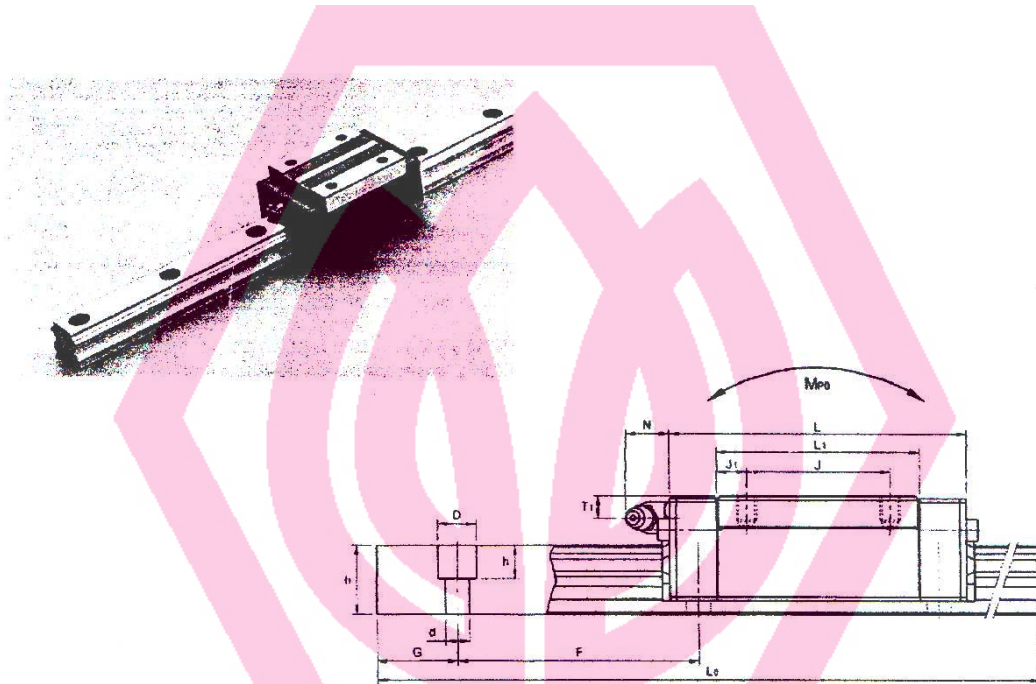
raceway



Size $d_o \times P$	Part no.	Basic load rating		Rigidity	
		Dyn. C (N)	Stat. C_o (N)	Nut R_{nu} (N/ μ m)	Screw R_{s1} ((N/ μ m).m)
16×5	1502-0-1085	12300	16100	350	32
20×5	1502-1-1065	14300	21600	440	53
25×5	1502-2-1065	15900	27200	510	86
25×10	1502-2-4065	15800	27000	540	86
32×5	1502-3-1065	21500	40000	610	144
32×10	1502-3-4066	26200	50400	810	144
40×5	1502-4-1066	29100	64300	880	232
40×10	1502-4-4065	50000	86300	840	211
40×20	1502-4-7065	37800	62800	640	211
50×5	1502-5-1066	32100	81500	1010	373
50×10	1502-5-4066	79700	166500	1450	345

เอกสารอ้างอิง The Star Product Range บริษัท ฮยโคเฟร็กซิมิลเลียนจีนีซิ่ง จำกัด

ตารางแสดงค่าคุณสมบัติในการรับแรงของรางสไลด์

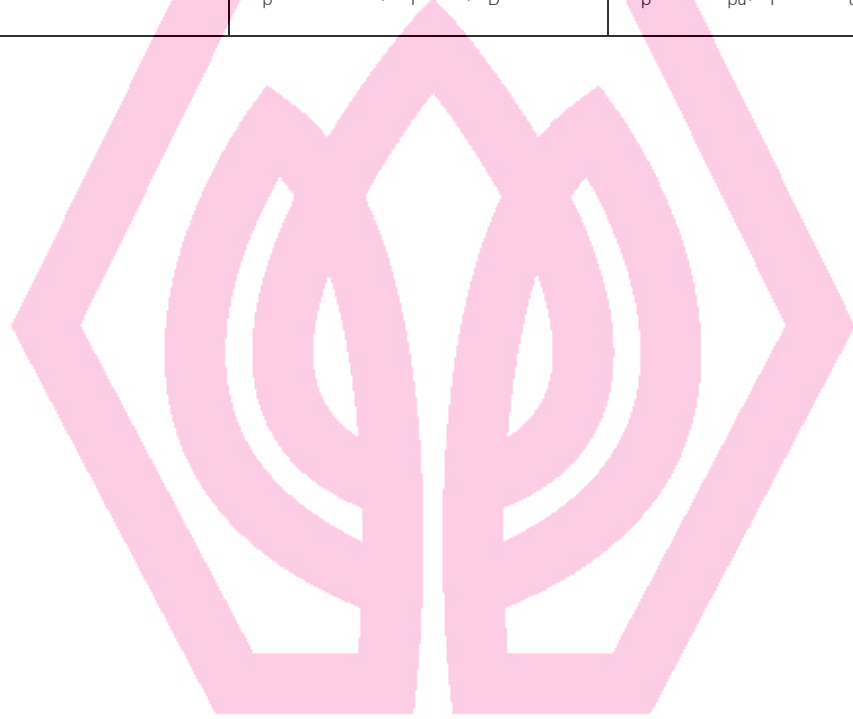


Dimension : mm

Rail Size						Load capacity					Weight		Reference
Width	Height	Pitch	Bolt Hole	G	Max. length of rail L _{OMAX}	Dynamic C(kgf)	Stationary C _s (kgf)	Stationary Moment(kgf · m)			bearing (kgf)	rail (kgf/m)	
Wl	Hl	F	d×D×h					M _{in}	M _o	M _e			
15	15	60	4.5×7.5×5.3	20	1,600	850	1370	7	5	5	0.2	1.5	SBG 15 SL
20	17.5	60	6×9.5×8.5	20	2,200	1450	2560	22	18	18	0.36	2.16	SBG 20 SL
23	21.8	60	7×11×9	20	2,200	2140	4000	36	32	31	0.6	3.14	SBG 25 SL
28	25	80	9×14×12	20	3,000	2980	5490	60	50	49	1.00	4.5	SBG 30 SL
34	29	80	9×14×12	20	3,000	3960	7010	96	75	73	1.62	6.3	SBG 35 SL
45	38	105	14×20×17	22.5	2,985	6290	11292	202	159	157	2.94	10.9	SBG 45 SL
53	45	120	16×23×20	30	3,160	9307	16012	344	274	270	4.2	14.9	SBG 55 SL
63	58.5	150	18×26×22	35	3,000	15100	24500	629	495	484	6.55	21.3	SBG 65 SL

ตารางแสดงการหาค่าเกณฑ์สำหรับคอนโทรลเลอร์ของซีเกลอร์-นิโคลส์

รูปแบบการควบคุม	วิธีปฏิกิริยาของขบวนการ	วิธีการวิจัยสุดท้าย
ตัวควบคุมแบบ พี	$K_p=1/RL$	$K_p=0.5K_{pu}$
ตัวควบคุมแบบพีไอ	$K_p=0.9/RL, T_I=3.3L$	$K_p=0.45K_{pu}, T_I=0.83P_u$
ตัวควบคุมแบบพีไอดี	$K_p=1.2/RL, T_I=2L, T_D=0.5L$	$K_p=0.6K_{pu}, T_I=0.5P_u, T_D=0.125 P_u$



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นายวิทยา พันธุ์เจริญศิลป์
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 27 พฤษภาคม 2513
สถานที่เกิด	อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่945 ถนนอิสรภาพ แขวง วัดอรุณ เขตบางกอกใหญ่ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10600
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตบางเขน
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. 2534 วิศวกรรมเครื่องกล จาก มหาวิทยาลัยสยาม วศ.ม. 2538 วิศวกรรมเครื่องกล จาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นายอดุลย์ พัฒนภักดี
วัน เดือน ปีเกิด	21 มิถุนายน 2512
สถานที่เกิด	อ.เข็ญใหญ่ จ.นครศรีธรรมราช
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	18/146 หมู่บ้านเมืองทรัพย์ธานี แขวงสามวาตะวันตก เขตคลองสามวา กรุงเทพมหานคร 10510
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมยานยนต์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตบางเขน
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2534	วศ.บ. เครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
พ.ศ. 2542	M.S. (Control System Engineering), West Virginia Institute of Technology, USA.

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นายสถาพร ค้ายคั้ง
วัน เดือน ปีเกิด	16 กรกฎาคม 2501
สถานที่เกิด	อ.เมือง จ.นนทบุรี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	127/3 หมู่6 ต.บางเขน อ.เมือง จ.นนทบุรี
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตบางเขน
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2531	ค.บ. วิทยาลัยครูพระนคร
พ.ศ.2538	อ.สบ.เครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY