บทที่ 6

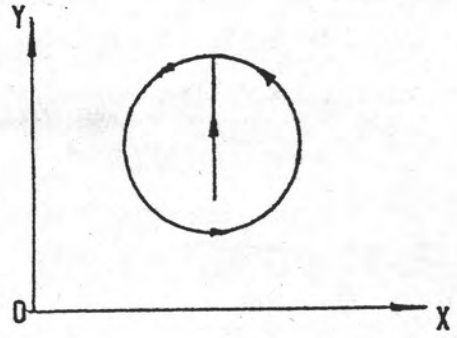
การทดลอง

เนื่องจากความแม่นยำเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญมากในอุตสาหกรรมการผลิต โดยจะเป็นตัวประกอบหนึ่งของการกำหนดประสิทธิภาพของระบบเครื่องจักรกลนั้นๆ การทดลองเป็นวิธีการหนึ่งสำหรับหาค่าความแม่นยำของระบบเครื่องจักรกลใดๆ ซึ่งเป็นความแม่นยำของระบบที่เกิดขึ้นจริง อันจะเป็นตัวแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลนั้น

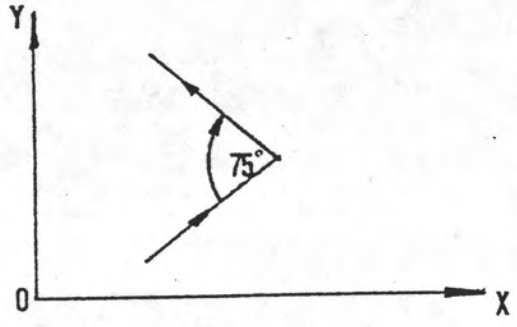
ในการทดลองหาค่าความแม่นยำของโต๊ะตัดแผ่นเหล็กที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ที่ได้พัฒนาขึ้น ได้ทำการทดสอบให้ระบบเคลื่อนที่ตามแนวทางเดินที่กำหนดขึ้น 2 ลักษณะคือ แนวทางเดินที่เป็นวงกลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางและแนวทางเดินที่เป็นเส้นตรงที่มีการหักมุม โดยทำการทดสอบและเก็บผลของตำแหน่งและผลของความเร็วที่เกิดขึ้นจริงนำมาเปรียบเทียบกับจุดอ้างอิงที่กำหนด เพื่อดูค่าความผิดพลาดของตำแหน่งและความเร็ว ในการทดลองจะมีการทดสอบระบบที่ความเร็วตามแนวการตัดและขนาดของภาระต่างๆ โดยใช้เวลาในการสุ่มค่า 20 msec ซึ่งได้ผลการทดสอบดังนี้

6.1 การทดลองเปลี่ยนความเร็วตามแนวทางเดิน

สำหรับค่าความเร็วที่จะทดสอบ จะพิจารณาจากความเร็วในการตัดของการตัดแผ่นเหล็กด้วยเปลวไฟซึ่งมีความสัมพันธ์กับขนาดของหัวตัดและความหนาของแผ่นเหล็กดังรายละเอียดในภาคผนวก ค. และจากตารางในภาคผนวก ค. จะเห็นได้ว่าความเร็วสูงสุดที่ใช้ในการตัดมีค่าเท่ากับ 32 inch/min หรือมีเท่ากับ 0.0135 m/sec ดังนั้นในการทดสอบจะทำการทดลองที่ความเร็วตามแนวการตัด 3 ค่า คือที่ความเร็ว 0.005 m/s, 0.015 m/s และ 0.025 m/s โดยกำหนดลักษณะของแนวทางเดินเป็น 2 ลักษณะคือ เคลื่อนที่เป็นวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ดังแสดงในรูปที่ 6.1A และเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงที่มีการหักมุม 75 องศา ดังแสดงในรูปที่ 6.1B ซึ่งผลของค่าความผิดพลาดของ ตำแหน่งและความเร็ว แสดงดังตารางในรูปที่ 6.2A และ 6.2B ซึ่งแสดงถึงค่าผิดพลาดที่มีค่ามากที่สุดของการเคลื่อนที่ตามแนวการตัดของแกน X และแกน Y



รูปที่ 6.1A แสดงลักษณะของแนวทางเดินที่เป็นวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้ในการทดสอบหาค่าความแม่นยำ



รูปที่ 6.1B แสดงลักษณะของแนวทางเดินที่เป็นเส้นตรงที่มีการหักมุมที่ใช้ในการทดสอบหาค่าความแม่นยำ

ความเร็วตามแนวการตัด (m/sec)	ค่าความผิดพลาดสูงสุด* ของตำแหน่ง (mm)		ค่าความผิดพลาดสูงสุด* ของความเร็วตามแนวการตัด (m/sec)
	แกน X	แกน Y	
0.005	0.65	0.65	0.0028
0.015	0.70	0.76	0.0061
0.025	0.71	0.83	0.0072

* ค่าผิดพลาดในช่วงเริ่มต้นของการเคลื่อนที่และ
ในช่วงที่มีการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่

รูปที่ 6.2A ตารางแสดงผลการทดสอบความแม่นยำ ในการเคลื่อนที่เป็นวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ความเร็วตามแนวการตัดต่างๆ

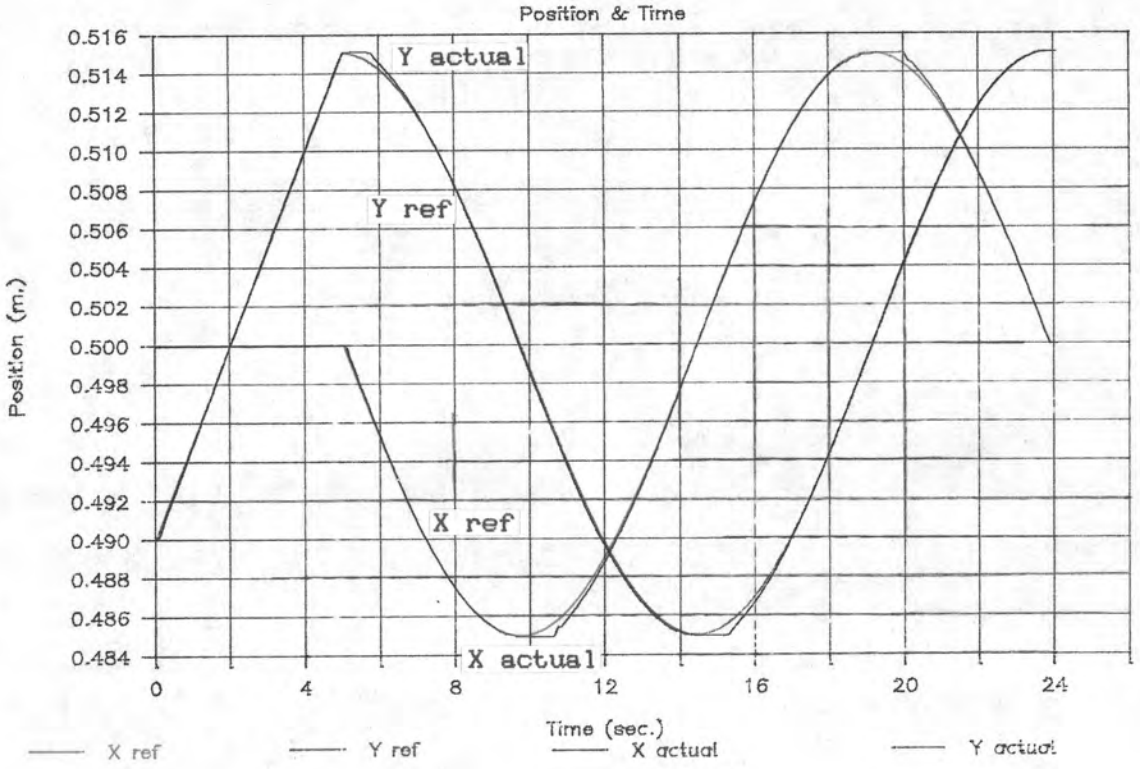
ความเร็วตามแนวการตัด (m/sec)	ค่าความผิดพลาดสูงสุด* ของตำแหน่ง (mm)		ค่าความผิดพลาดสูงสุด* ของความเร็วตามแนวการตัด (m/sec)
	แกน X	แกน Y	
0.005	0.66	0.31	0.0029
0.015	0.69	0.50	0.0072
0.025	0.74	0.71	0.0111

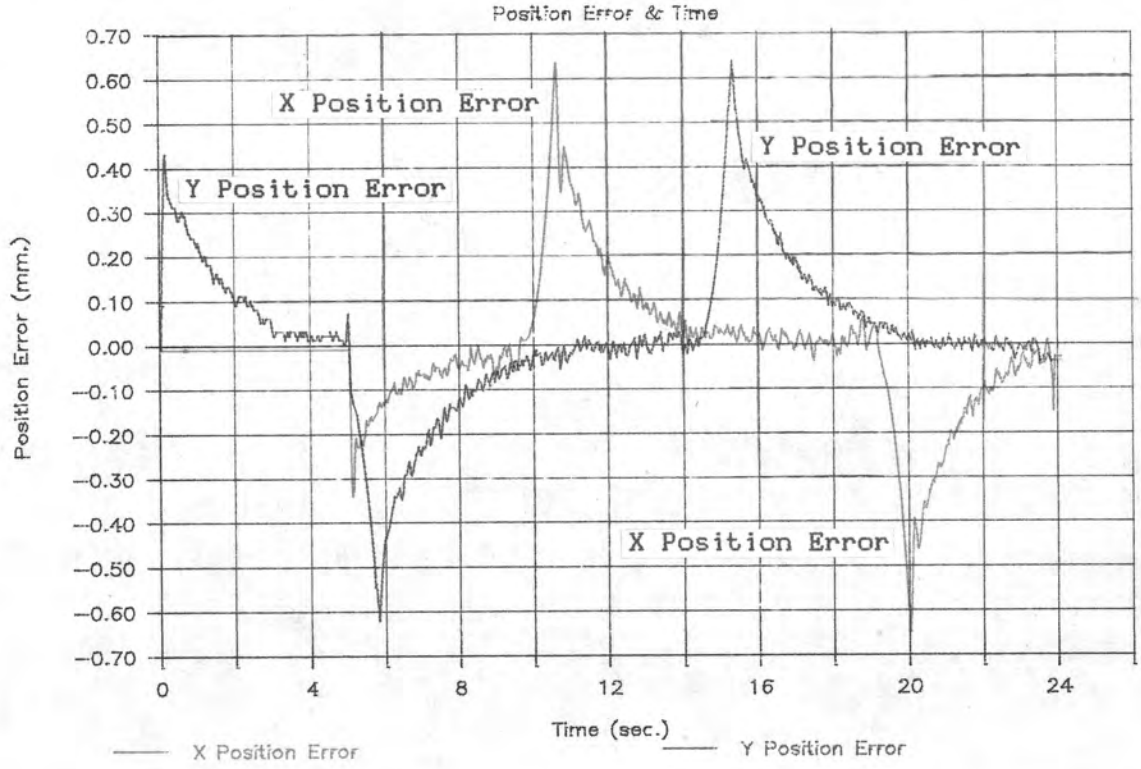
* ค่าผิดพลาดในช่วงเริ่มต้นของการเคลื่อนที่และ
ในช่วงที่มีการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่

รูปที่ 6.2B ตารางแสดงผลการทดสอบความแม่นยำ ในการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ที่มีการหักมุม 75 องศา ที่ความเร็วตามแนวการตัดค่าต่างๆ

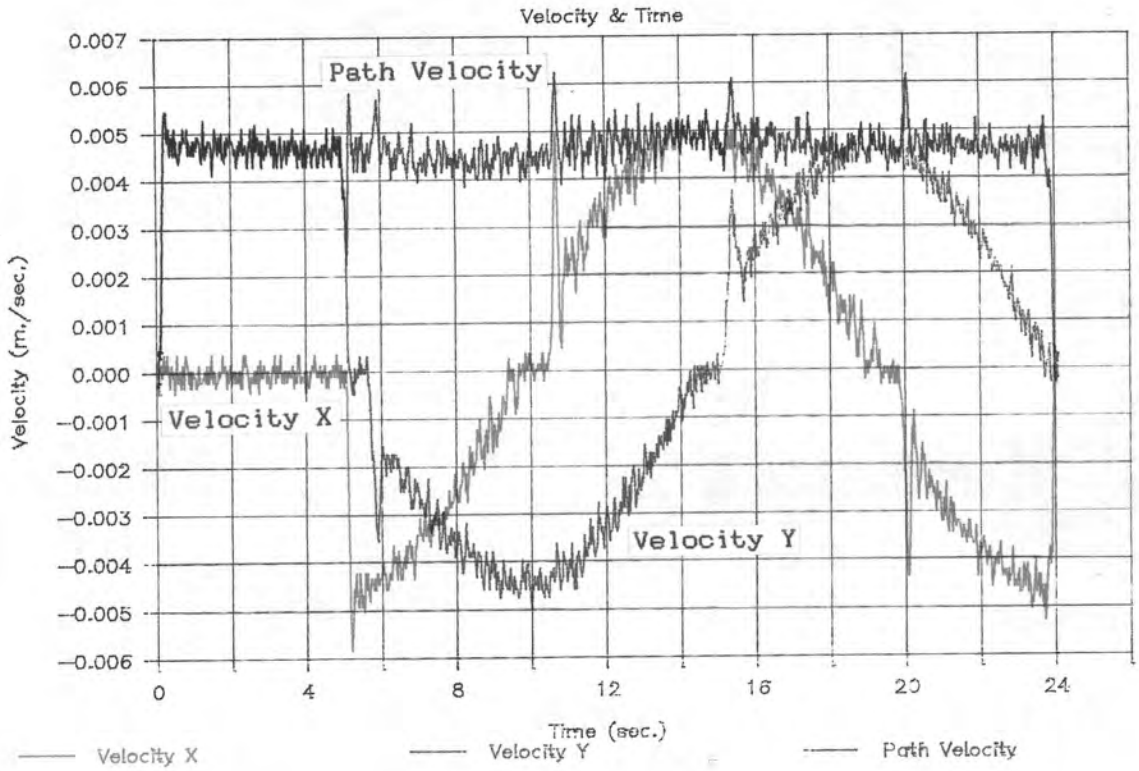
จากตารางในรูปที่ 6.2A และ 6.2B จะเห็นได้ว่าที่ความเร็วตามแนวการตัดค่าต่ำๆ จะมีค่าความผิดพลาดของตำแหน่งและค่าความผิดพลาดของความเร็วน้อยกว่าค่าความผิดพลาดที่ความเร็วตามแนวการตัดที่มีค่าสูง ทั้งนี้เพราะระบบควบคุมที่ใช้ในการควบคุมมีลักษณะเป็นแบบ point to point ดังนั้นค่าเกนของสัญญาณควบคุมที่หาได้จะใช้ได้ดีที่ความเร็วช่วงหนึ่ง ซึ่งการออกแบบเราได้ออกแบบหาค่าเกนที่ช่วงความเร็วต่ำ ดังนั้นถ้าเรานำค่าเกนของสัญญาณควบคุมที่หาได้ไปใช้ควบคุมความเร็วการตัดที่มีค่าสูงขึ้น ค่าความผิดพลาดก็จะมีค่าสูงขึ้น

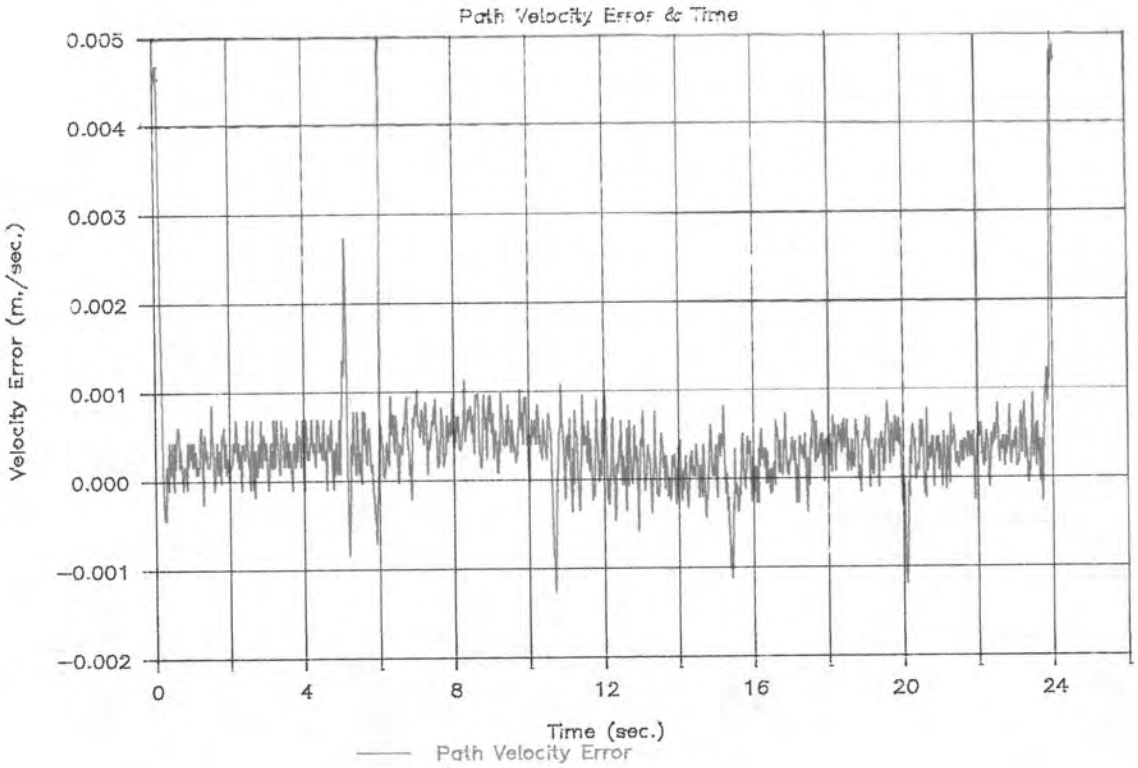
จากรูปที่ 6.3 และ 6.4 เป็นกราฟแสดงผลการทดสอบการเคลื่อนที่เป็นรูปวงกลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง ที่ความเร็วการตัด 0.005 m/s จะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดของตำแหน่งจะเกิดขึ้นในช่วงแรกของการเคลื่อนที่และช่วงที่มีการเคลื่อนที่กลับทิศทาง โดยเฉพาะในช่วงที่มีการเคลื่อนที่กลับทิศทางจะมีค่าความผิดพลาดสูงสุด ซึ่งสาเหตุมาจากในช่วงที่มีการกลับทิศทาง ระบบจะผ่านช่วง backlash ของชุดเฟืองทดซึ่งเป็นช่วง nonlinear โดยที่ชุดเฟืองทดของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนระบบในแนวแกน X มีช่วงของ backlash 0.32 มิลลิเมตร ส่วนชุดเฟืองทดของมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนระบบในแนวแกน Y มีช่วงของ backlash 0.35 มิลลิเมตร ซึ่งจะสังเกตได้จากกราฟในรูปที่ 6.3 จะเห็นได้ว่าจุดที่มีการเปลี่ยนโค้งของจุดอ้างอิง ค่าตำแหน่งของระบบที่เกิดขึ้นจริงจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงขนานกับแกนเวลา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าช่วงดังกล่าวระบบไม่มีการเคลื่อนที่ เพราะผ่านช่วง backlash ของชุดเฟืองทด



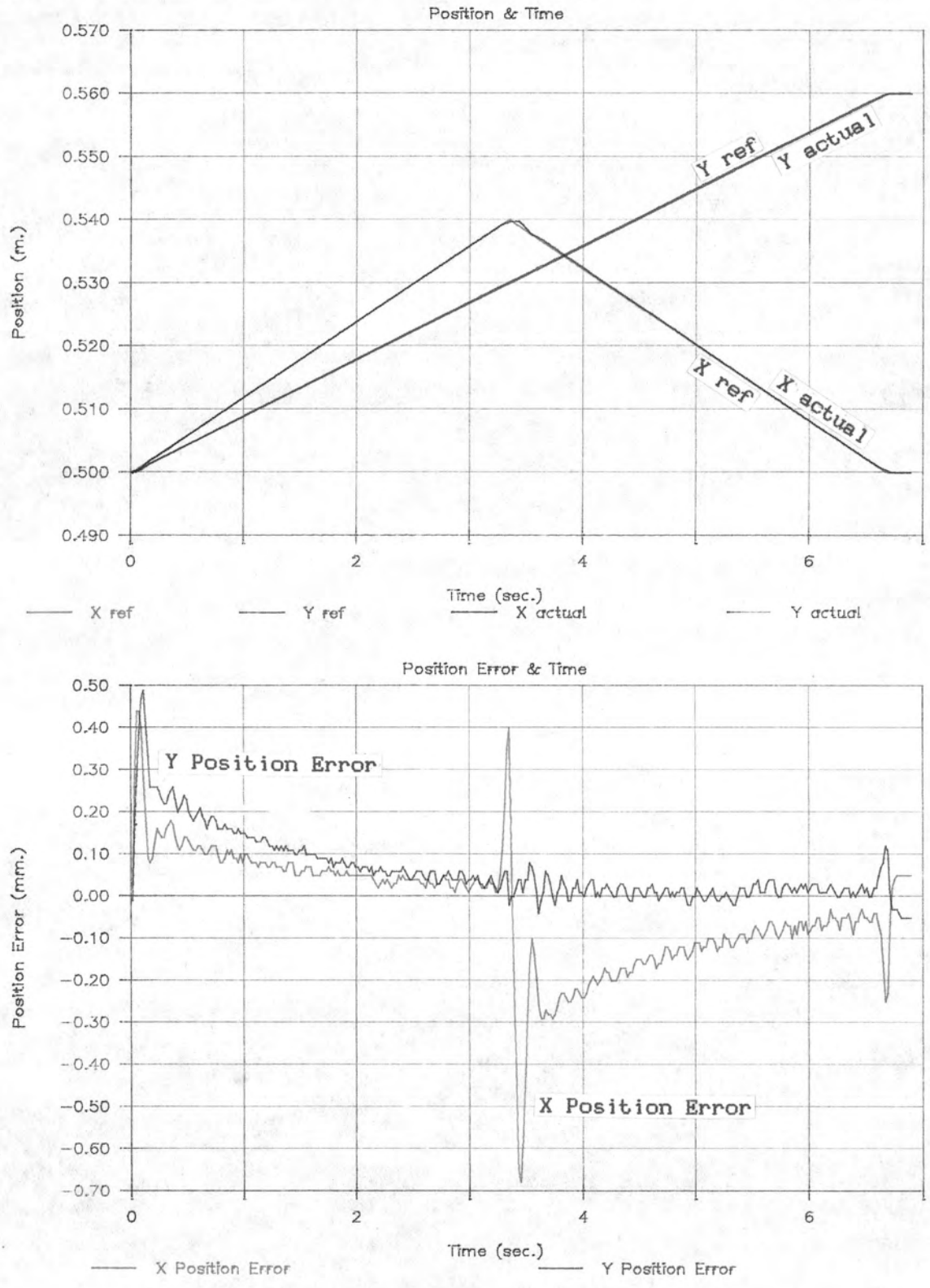


รูปที่ 6.3 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลม
ของโต๊ะตัดแผ่นเหล็กที่ความเร็ว 0.005 m/s

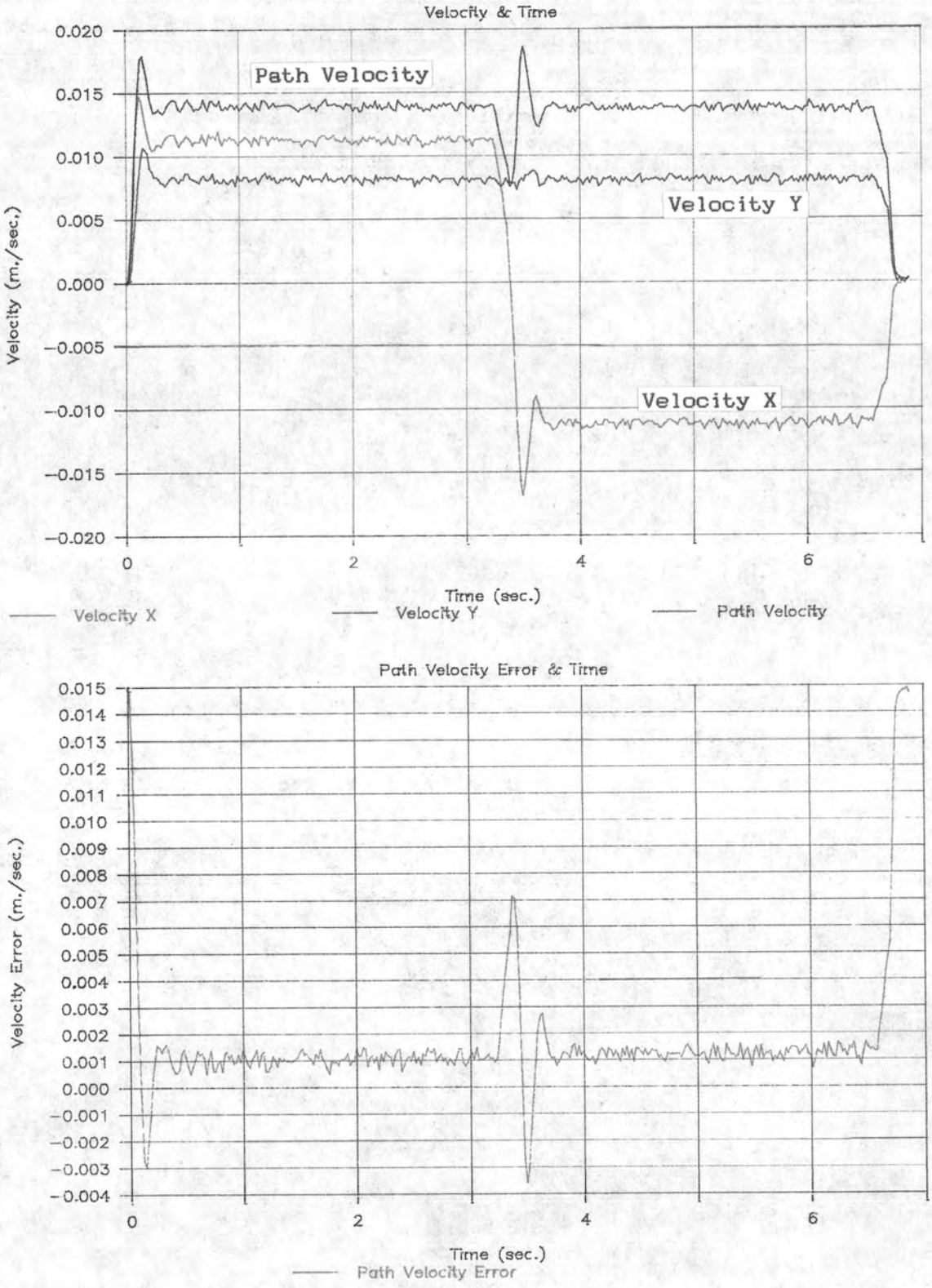




รูปที่ 6.4 กราฟแสดงความเร็วที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลม
ของโต๊ะตัดแผ่นเหล็กที่ความเร็ว 0.005 m/s



รูปที่ 6.5 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงที่มีการหักมุมของโต๊ะตัดแผ่นเหล็กที่ความเร็ว 0.015 m/s



รูปที่ 6.6 กราฟแสดงความเร็วที่ได้จากการเคลื่อนที่เส้นตรงที่มี
การหักมุมของโต๊ะตัดแผ่นเหล็กที่ความเร็ว 0.015 m/s

จากรูปที่ 6.4 เป็นกราฟแสดงผลของความเร็วของแต่ละแกน และผลของความเร็วตามแนวการตัด และค่าผิดพลาดของความเร็วตามแนวการตัด ซึ่งจะเห็นได้ว่าจุดที่ความเร็วมีค่าผิดพลาดมากคือจุดที่มีการเปลี่ยนทิศทางในการเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นผลมาจากความ ผิดพลาดของตำแหน่ง ทั้งนี้เพราะในการออกแบบระบบควบคุมความเร็ว ความถูกต้องของความเร็วจะขึ้นอยู่กับความถูกต้องของตำแหน่ง ดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 5.1

จากรูปที่ 6.5 และ 6.6 เป็นกราฟแสดงการทดสอบผลความแม่นยำเมื่อแนวทางเดินเป็นเส้นตรงที่มีการหักมุม 75 องศา โดยใช้ความเร็วในการตัด 0.015 m/s จะเห็นได้ว่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะมีค่ามากที่สุดที่การเคลื่อนที่มีการกลับทิศทาง ซึ่งในกรณีของการเคลื่อนที่ของเส้นตรงที่มีการหักมุม ค่าความผิดพลาดของตำแหน่งที่เกิดขึ้นจะมีทั้งผลจากค่า backlash ของชุดเฟืองทด และผลของโมเมนต์ของระบบแกน ในขณะที่การกลับทิศทางของการเคลื่อนที่เป็นวงกลมจะมีผลจากโมเมนต์ของระบบแกนน้อยกว่า ทั้งนี้เพราะการเคลื่อนที่เป็นวงกลมระบบมีการลดความเร็วลงจนถึงจุดที่เปลี่ยนทิศทางจะมีค่าความเร็วเป็นศูนย์ หลังจากนั้นค่าความเร็วก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นในทิศทางตรงข้าม

6.2 การทดลองเปลี่ยนภาระ

ในระบบควบคุมอัตโนมัติของเครื่องจักรกลในงาน อุตสาหกรรมจะมีทั้งการควบคุมแบบ open-loop และ แบบ close-loop ซึ่งการควบคุมแบบ open-loop จะใช้ได้กับระบบควบคุมที่มีขนาดของภาระที่มีค่าคงที่เท่านั้น ส่วนระบบที่มีการป้อนกลับจะสามารถใช้ได้กับระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงของภาระในช่วงจำกัดหนึ่ง ซึ่งในโครงการวิทยานิพนธ์นี้ใช้ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบความแม่นยำของระบบเมื่อภาระมีขนาดเปลี่ยนไป โดยทำการทดลองเปลี่ยนขนาดของภาระ 3 ค่าคือ 5 kg, 7.5 kg และ 10 kg โดยมีแนวการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงที่มีค่าความชัน(slope)เท่ากับ 1 ที่ความเร็วตามแนวการตัด 0.005 m/s, 0.015 m/s และ 0.025 m/s ซึ่งผลของการทดลองแสดงดังตารางในรูปที่ 6.7

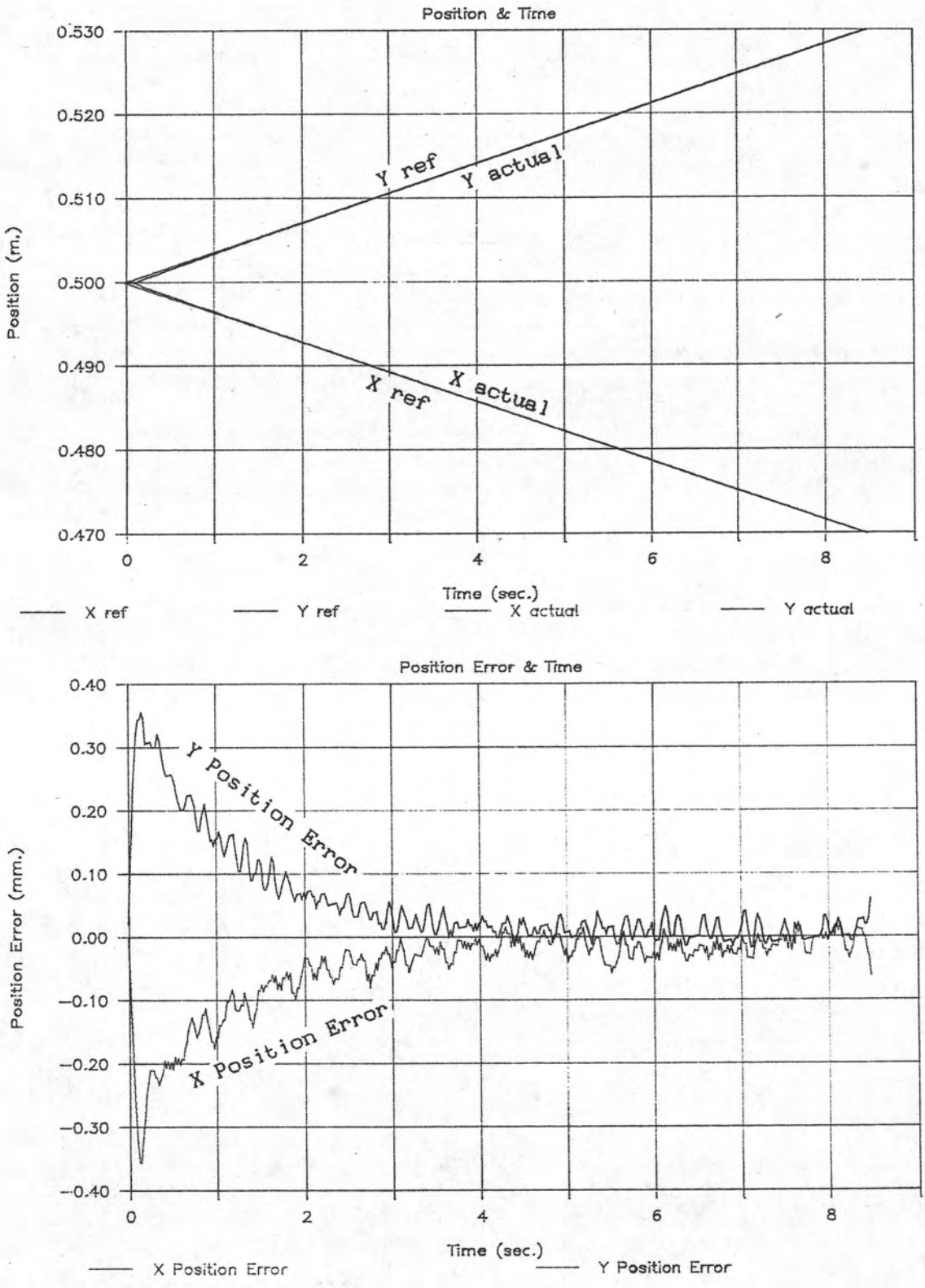
ความเร็วตามแนวการตัด (m/s)	ค่าความผิดพลาดของตำแหน่งและความเร็วที่ภาระขนาดต่างๆ *								
	5 kg			7.5 kg			10 kg		
	ค่าผิดพลาดของตำแหน่ง (mm)		ค่าผิดพลาดของความเร็ว(m/s)	ค่าผิดพลาดของตำแหน่ง (mm)		ค่าผิดพลาดของความเร็ว(m/s)	ค่าผิดพลาดของตำแหน่ง (mm)		ค่าผิดพลาดของความเร็ว(m/s)
	X	Y		X	Y		X	Y	
0.005	0.36	0.35	0.0015	0.40	0.36	0.0016	0.51	0.41	0.0036
0.015	0.43	0.41	0.0023	0.45	0.43	0.0024	0.57	0.46	0.0048
0.025	0.85	0.57	0.0119	0.87	0.60	0.0126	0.92	0.89	0.0156

* ค่าผิดพลาดในช่วงเริ่มต้นของการเคลื่อนที่

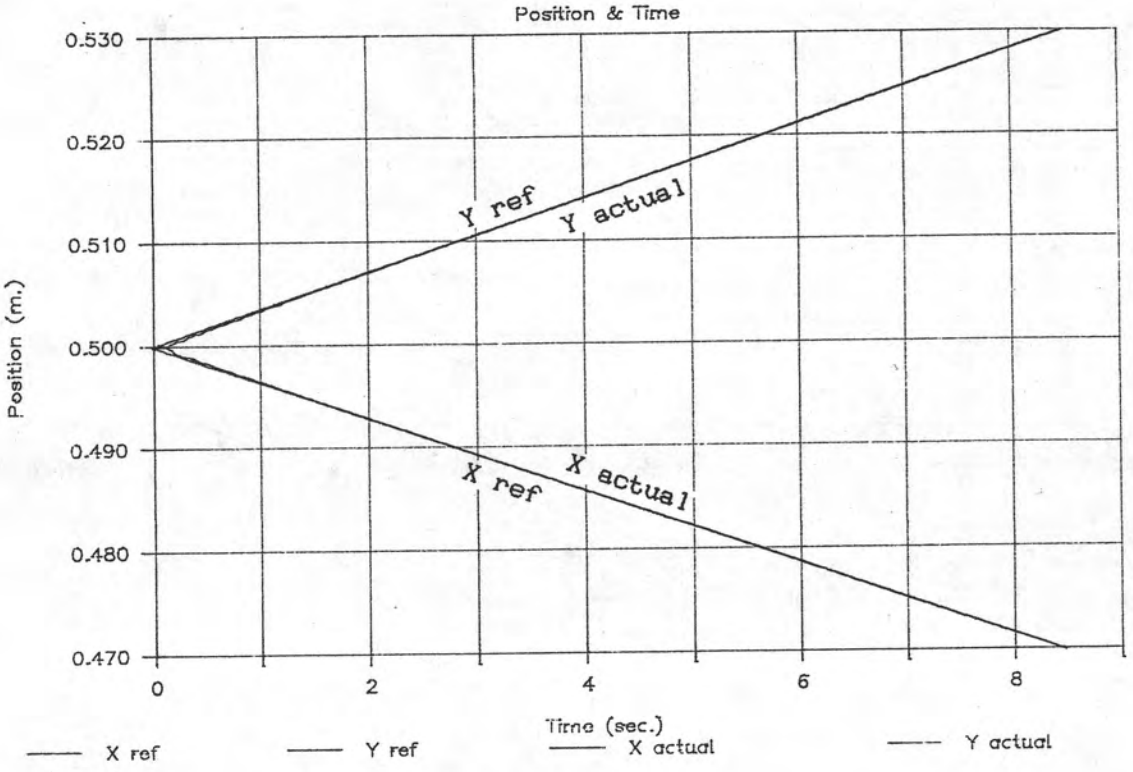
รูปที่ 6.7 ตารางแสดงผลการทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงที่มีค่าความชันเท่ากับ 1 ที่ภาระและความเร็วตามแนวการเคลื่อนที่ค่าต่างๆ

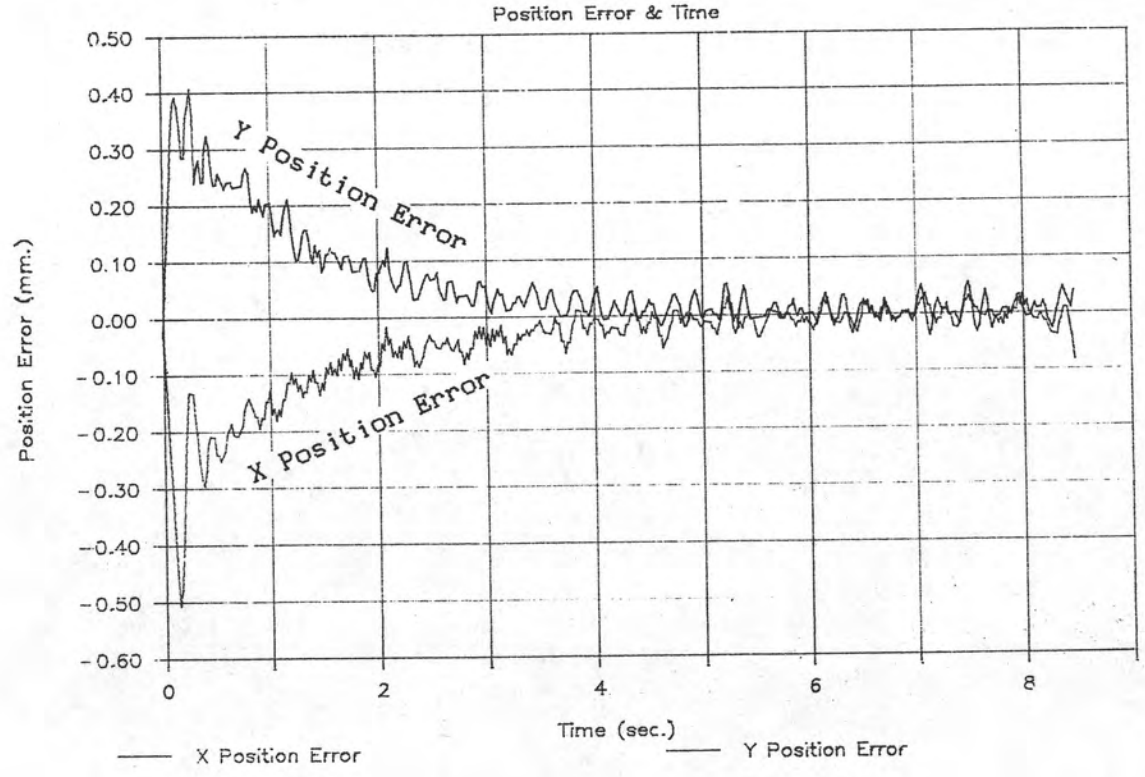
จากตารางในรูปที่ 6.7 เราจะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วตามแนวการตัดและขนาดของภาระมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความผิดพลาดของตำแหน่งและค่าความผิดพลาดของความเร็วจะมีค่ามากขึ้น

จากกราฟแสดงผลการเคลื่อนที่และค่าความผิดพลาดของตำแหน่ง เมื่อมีการเพิ่มขนาดของภาระ 5 Kg, 10 Kg ที่ความเร็วตามแนวการตัด 0.005 m/s ดังแสดงในรูปที่ 6.8 และ 6.9 และที่ความเร็วตามแนวการตัด 0.015 m/s ดังแสดงในรูปที่ 6.10 และ 6.11 ซึ่งเราจะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเป็นค่าความผิดพลาดในช่วงเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ และเมื่อมีการเพิ่มขนาดของภาระให้มีค่ามากขึ้นค่าผิดพลาดในช่วงเริ่มต้นก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นและจะมีการสั่นในช่วงเริ่มต้นของการเคลื่อนที่มากขึ้นด้วย ทั้งนี้เพราะในการเพิ่มขนาดของภาระจะมีผลต่อค่า static friction ของระบบและค่าความยืดหยุ่นของลวดสลิงที่ใช้เป็นระบบขับเคลื่อน ทำให้ระบบมีการสั่นในช่วงเริ่มต้นของการเคลื่อนที่

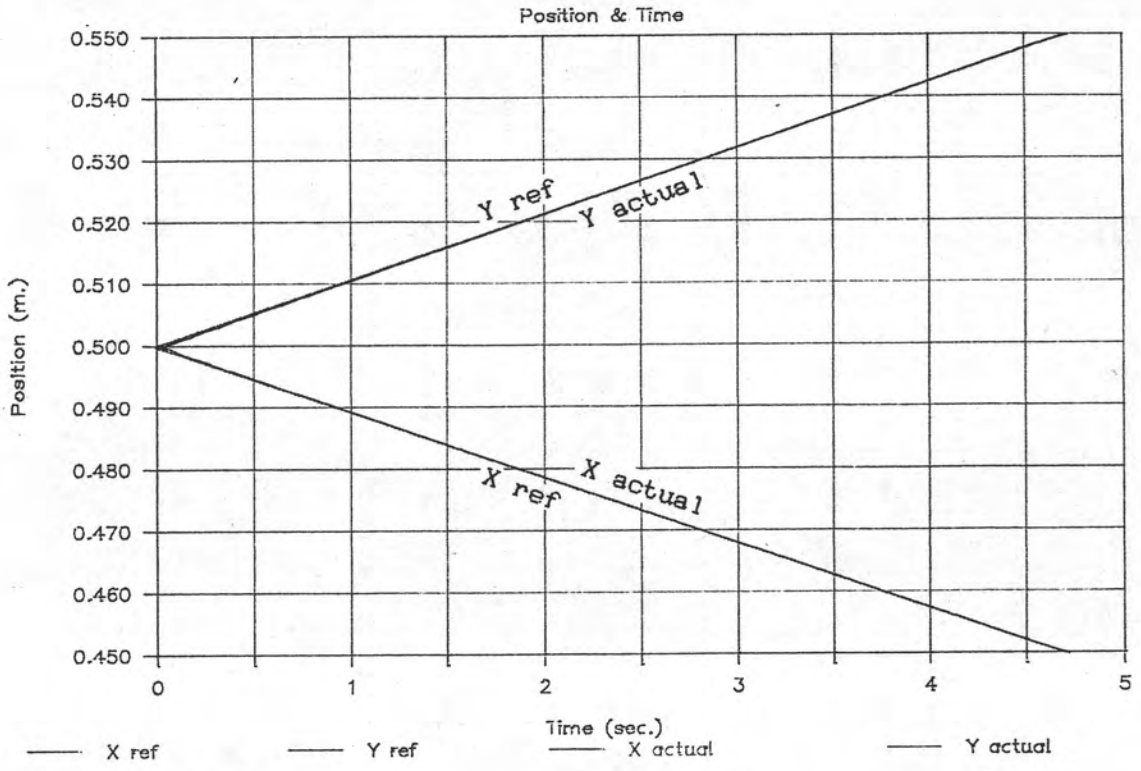


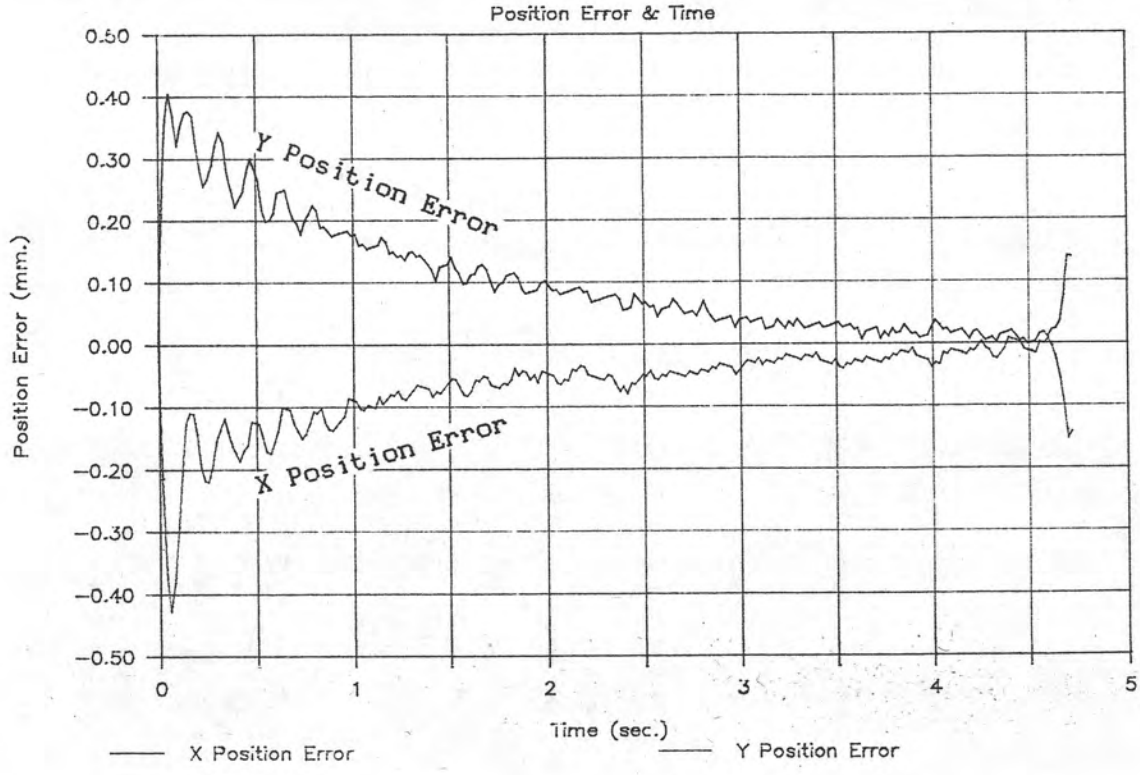
รูปที่ 6.8 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของโต๊ะตัดแผ่นเหล็กที่ความเร็ว 0.005 m/s ที่มีภาระเพิ่มขึ้น 5 Kg



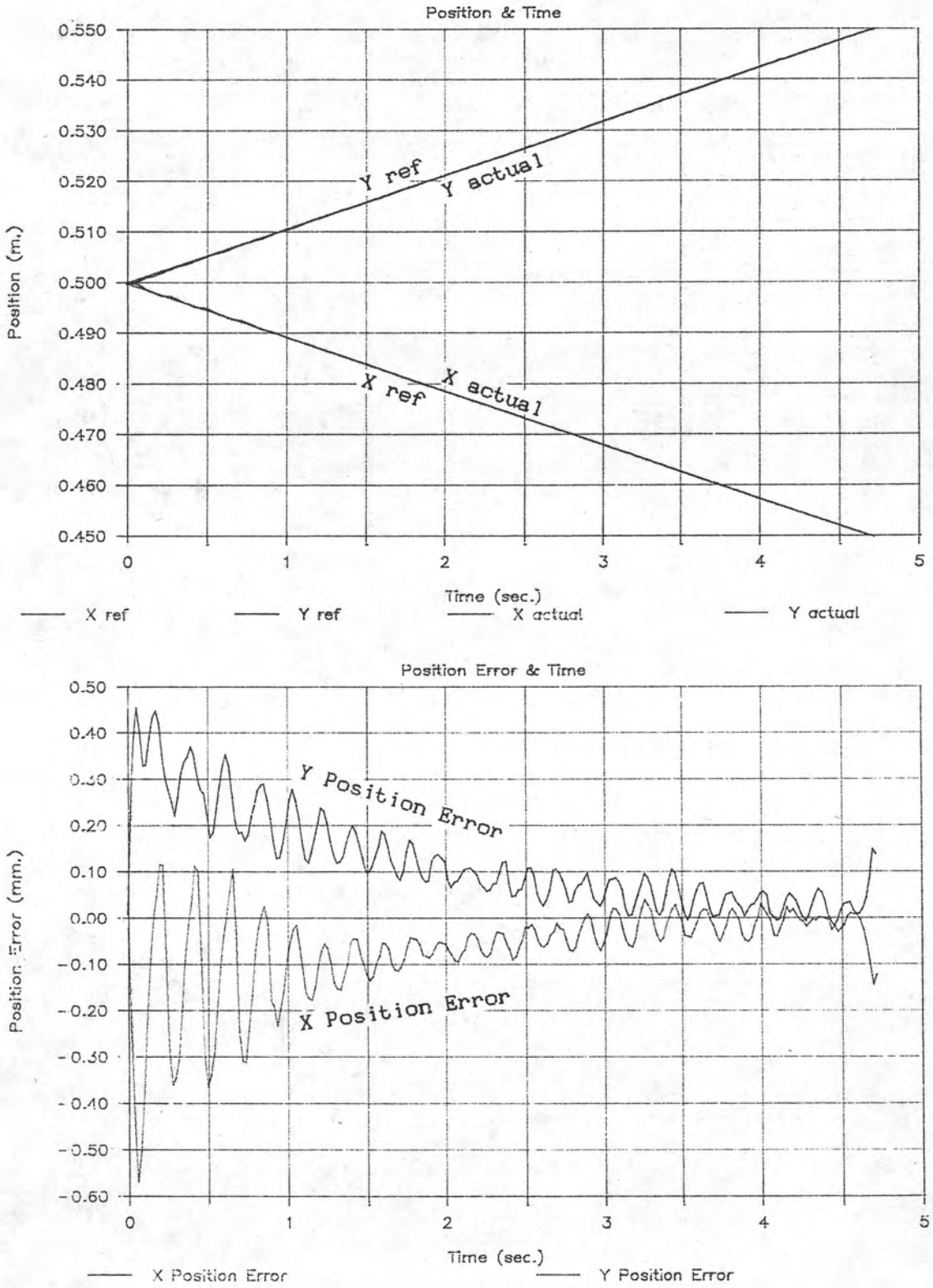


รูปที่ 6.9 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของโต๊ะตัดแผ่นเหล็กที่ความเร็ว 0.005 m/s ที่มีภาระเพิ่มขึ้น 10 Kg





รูปที่ 6.10 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของโต๊ะตัดแผ่นเหล็กที่ความเร็ว 0.015 m/s ที่มีภาระเพิ่มขึ้น 5 Kg



รูปที่ 6.11 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของโต๊ะตัดแผ่นเหล็กที่ความเร็ว 0.015 m/s ที่มีภาระเพิ่มขึ้น 10 Kg