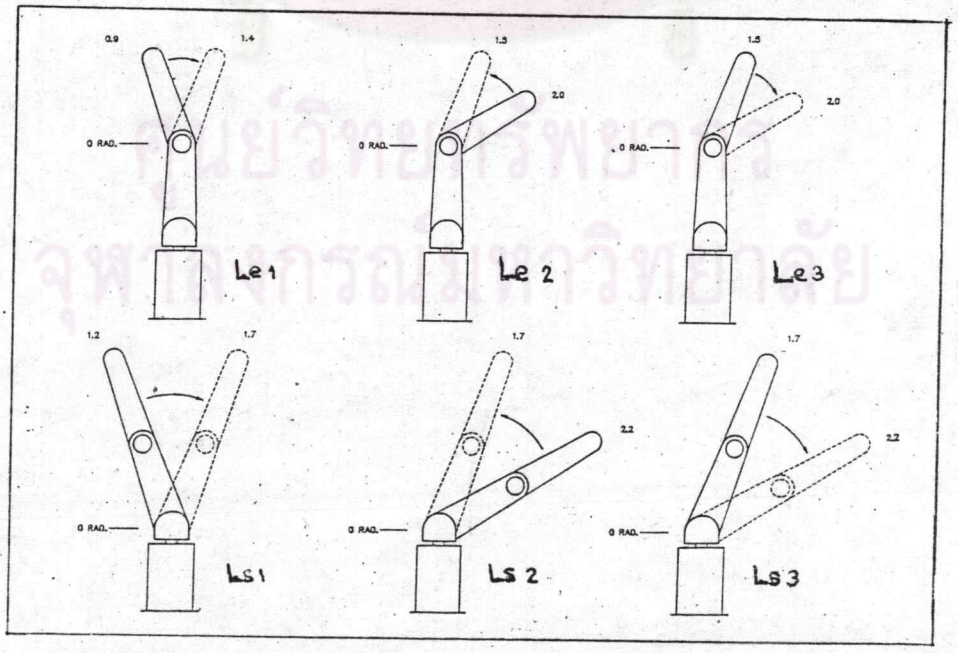
บทที่ 7

การทดสอบระบบแขนกล

การทดสอบแขนกลตามโครงการนี้ เพื่อแสดงถึงประสิทธิภาพของการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการควบคุม สิ่งที่จะแสดงถึงประสิทธิภาพในการทำงานของระบบแขนกลได้มี 2 ประการ คือ 1. ความสามารถในการเคลื่อนที่ หมายถึงการเคลื่อนที่และหยุดในตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างแม่นยำของแขนกล โดยมีความเร็วและอัตราเร่งของการเคลื่อนที่ที่เหมาะสม โดยไม่เกิดการสั่น (oscillate) 2. ความสามารถในการรับภาระน้ำหนักสิ่งของที่ต้องเคลื่อนย้ายไปด้วย ตัวแปรค่าในการทดสอบมี 3 ตัวคือ อัตราเร่งของการเคลื่อนที่ , มุมของการเคลื่อนที่ และ ภาระจากน้ำหนักในการเคลื่อนที่ไปด้วย โดยที่ตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งเป้าหมายของแกนทั้ง 3 ของแขนกลพิจารณาจากแกนฐานเป็นการเคลื่อนที่ในแนวราบ การควบคุมไม่มีผลกระทบจากแรงโน้มถ่วงโลกโดยตรง การทดสอบจะทดสอบที่ช่วงการเคลื่อนที่เพียงช่วงเดียว แต่แกนหัวไหล่ และแกนข้อศอกได้รับผลกระทบโดยตรงจากแรงโน้มถ่วงโลกต่อการควบคุมการเคลื่อนที่ โดยจะเป็นการเพิ่มหรือลดภาระให้ระบบ ดังนั้นการทดสอบจึงจะให้มีการเคลื่อนที่ 3 ลักษณะดังแสดงในรูปที่ 7.1

1. เคลื่อนที่ผ่านแนวดิ่ง
2. เคลื่อนที่ต้านแรงโน้มถ่วงเข้าหาแนวดิ่ง
3. เคลื่อนที่จากแนวดิ่งไปตามแรงโน้มถ่วงโลก



รูปที่ 7.1 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ในการทดสอบแขนกล

ในการทดสอบจะเก็บผลของตำแหน่ง และความเร็วที่เกิดขึ้นจริง นำมาเปรียบเทียบกับจุดอ้างอิงที่กำหนด เพื่อดูค่าความผิดพลาดของตำแหน่ง ในการทดสอบตัวควบคุมของแกนต่างๆ มีค่าดังนี้

แกนฐาน $K_p = 323.6$, $K_i = 174$, $K_d = 6.2$

แกนหัวไหล่ $K_p = 581.8$, $K_i = 288$, $K_d = 11.5$

แกนข้อศอก $K_p = 280.5$, $K_i = 173$, $K_d = 5.5$

ใช้คาบเวลาในการสุ่มค่า 10 มิลลิวินาที ได้ผลการทดลองดังนี้

1. การทดลองกับตัวแปรการเคลื่อนที่ เป็นการแสดงผลความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งของการเคลื่อนที่ที่อัตราเร่ง 0.1 , 0.25 , 0.5 และ 1 เรเดียน/วินาที^{2} มีความเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่ไม่เกิน 0.5 เรเดียน/วินาที^{2} และมีตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งเป้าหมายดังกล่าวข้างต้น โดยได้ทำการทดลองควบคุมแขนกลเป็น 2 ลักษณะคือ

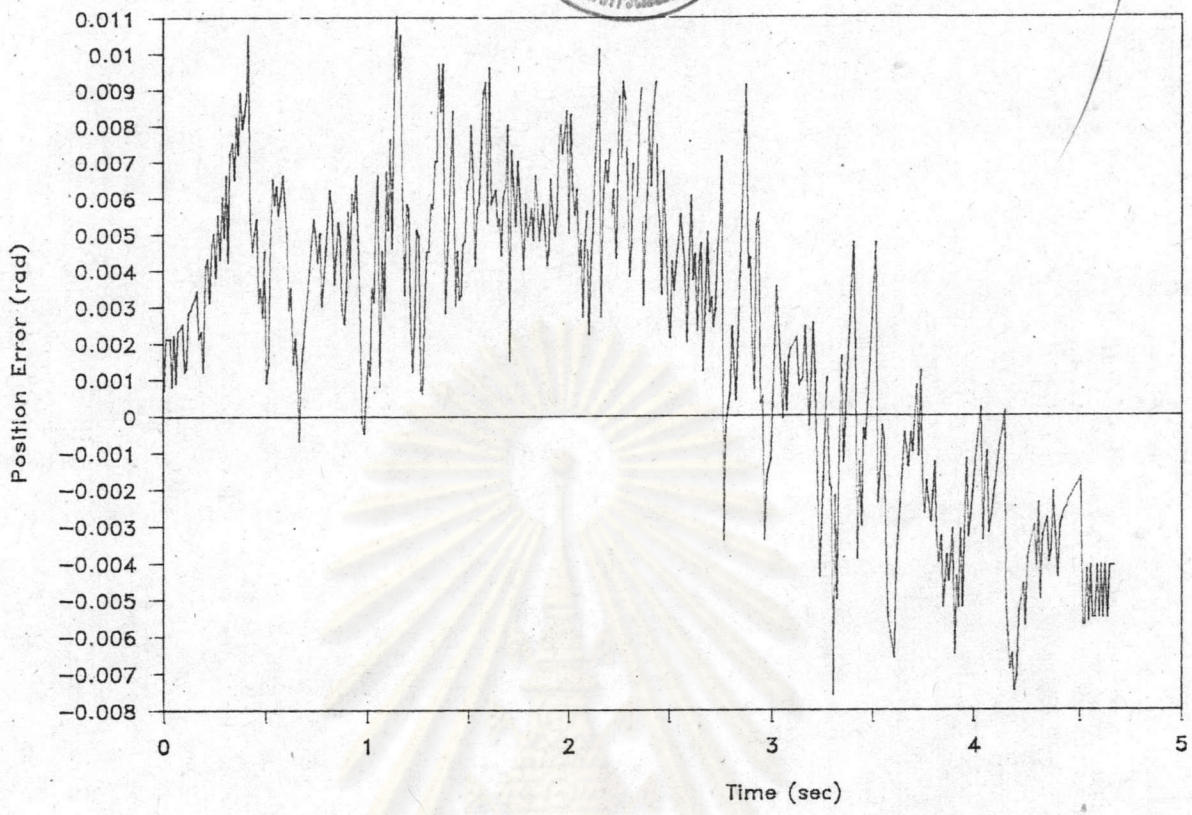
1.1 ทดสอบด้วยการควบคุมแขนกลให้มีการเคลื่อนที่เพียงครั้งละ 1 แกน ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 7.2, 7.3, และ 7.4

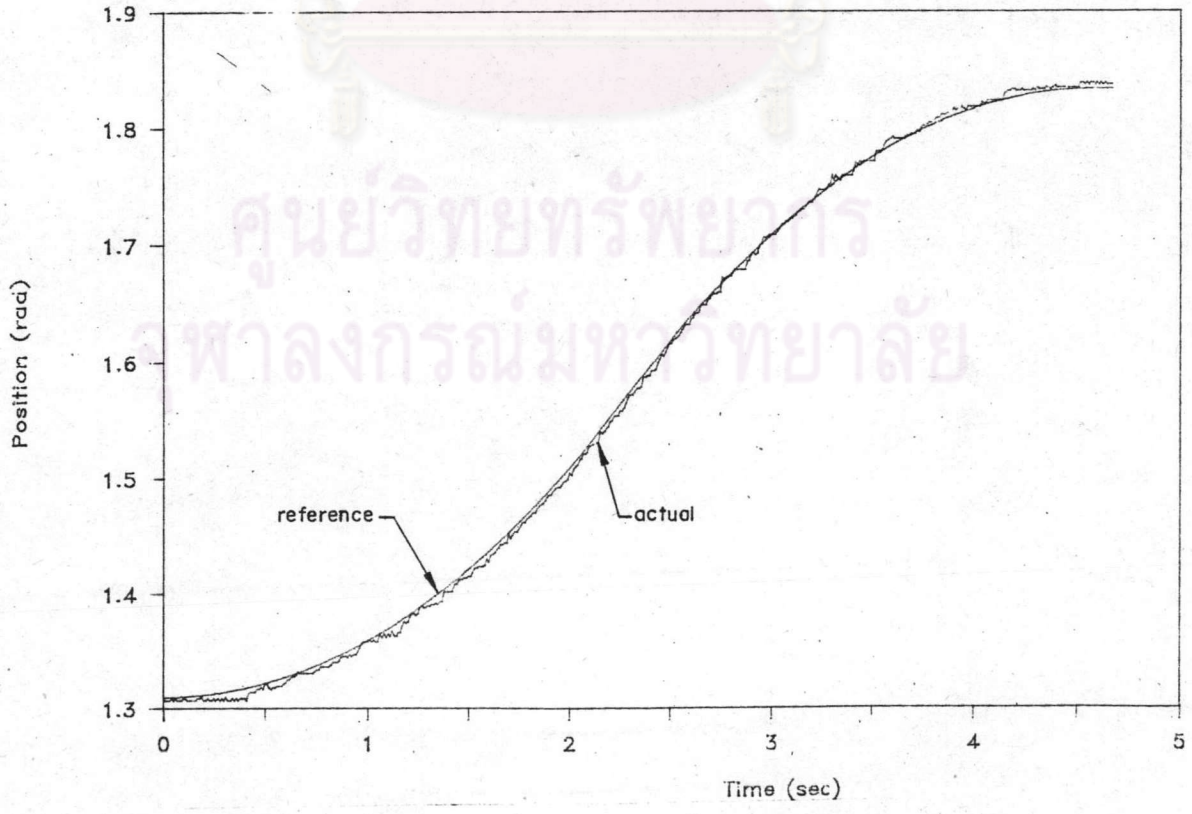
จากรูปที่ 7.2 เป็นกราฟแสดงผลการเคลื่อนที่ของแกนฐานที่อัตราเร่ง 0.25 เรเดียน/วินาที^{2} ความเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ 0.16 เรเดียน/วินาที และมีความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.11 เรเดียน โดยมีกราฟแสดงความเร็วของการเคลื่อนที่จริงและแรงดันที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์แขนกล ดังรูปที่ 7.3 จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการเคลื่อนที่ความคลาดเคลื่อนจะเพิ่มขึ้นตลอด เพราะในช่วงแรกของการเคลื่อนที่มอเตอร์จะถูกต้านจากสเตติคฟริคชั่น หลังจากนั้นความคลาดเคลื่อนจะลดลง จนช่วงสุดท้ายของการเคลื่อนที่เมื่อตำแหน่งอ้างอิงมีค่าคงที่ จะได้เห็นว่าความคลาดเคลื่อนคงตัวของระบบมีค่าประมาณ 0.005 เป็นไปตามข้อกำหนดในการออกแบบเลือกค่าเกนเมื่อระบบเคลื่อนที่ด้วยความเร่งสูงขึ้น กราฟแสดงการเคลื่อนที่จริงของตำแหน่งและความเร็วมีกราฟที่เรียบขึ้นแต่จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงขึ้น ซึ่งอาจทำให้ระบบขาดเสถียรภาพได้ สำหรับรายละเอียดความคลาดเคลื่อนสูงสุดของการเคลื่อนที่ของแขนกลที่มุมการเคลื่อนที่ต่างๆแสดงดังตารางในรูปที่ 7.4

อัตรา เร่ง	ค่าความผิดพลาดสูงสุดของการเคลื่อนที่ (เรเดียน)						
	แกนฐาน	แกนหัวไหล่			แกนข้อศอก		
		ls_1	ls_2	ls_3	le_1	le_2	le_3
	(1.3-1.8)*	(1.2-1.7)	(2.2-1.7)	(1.7-2.2)	(0.9-1.4)	(2.0-1.5)	(1.5-2.0)
0.1	0.010	0.012	-0.016	0.011	0.010	0.010	0.010
.25	0.011	0.016	-0.020	0.014	0.012	0.010	0.012
.50	0.020	0.024	-0.025	0.025	0.018	0.014	0.016
1.0	0.025	0.025	-0.030	0.025	0.022	0.018	0.020

* ช่วงของการเคลื่อนที่ (จาก-ถึง) เรเดียน

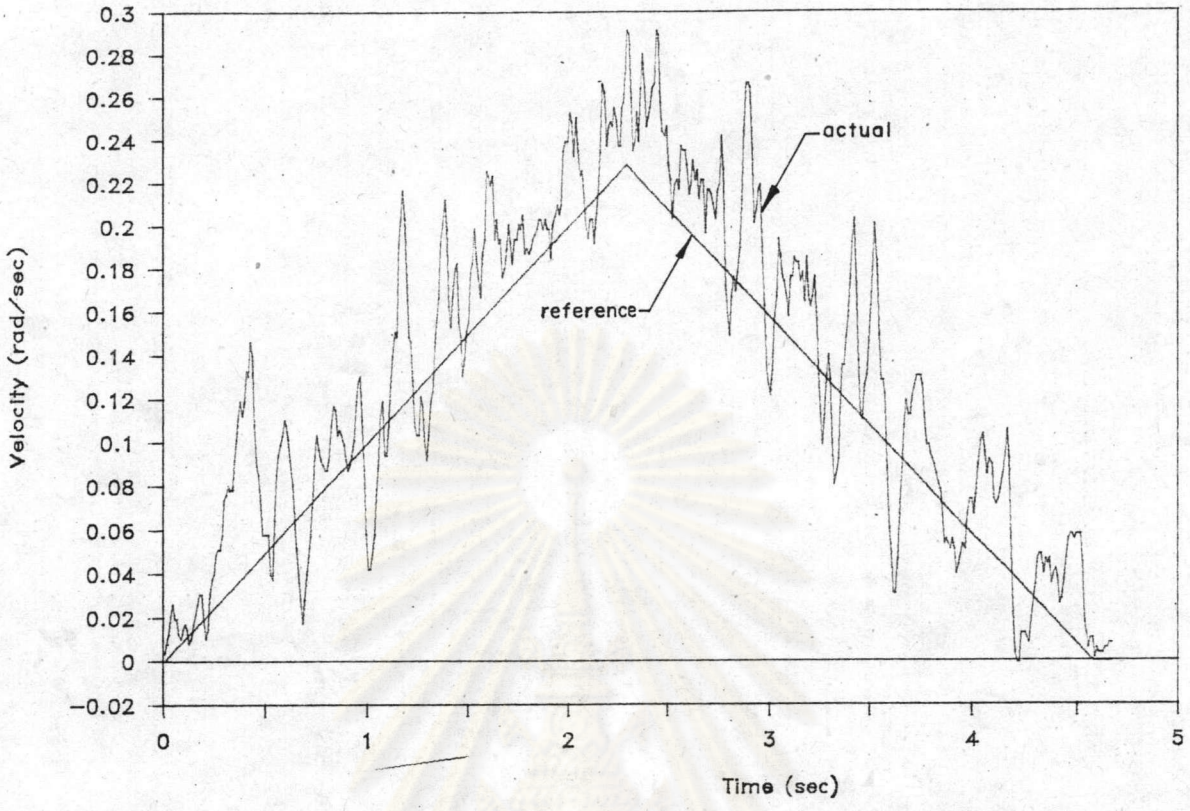
รูปที่ 7.4 ตารางแสดงผลการควบคุมแขนกลแบบเคลื่อนที่แกนเดียว

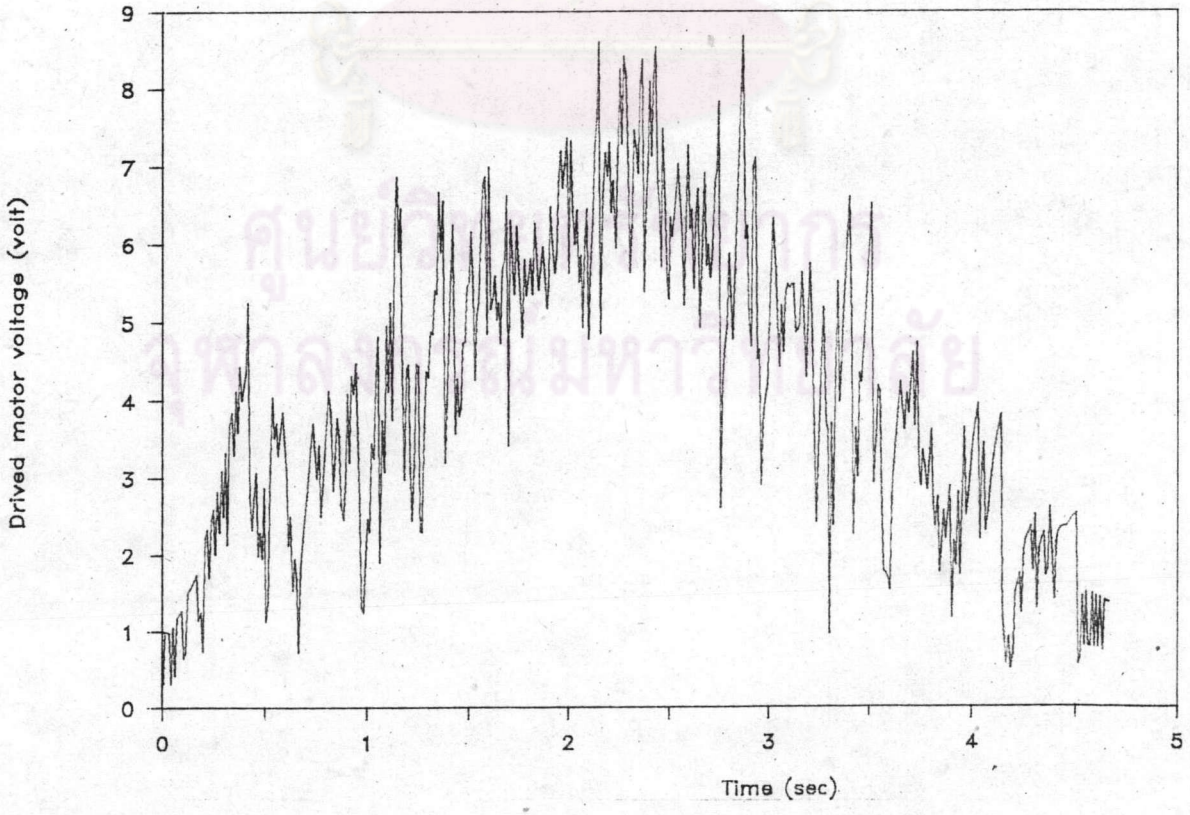




รูปที่ 7.2 กราฟแสดงตำแหน่งการเคลื่อนที่แบบแกนเดียวของแกนฐาน
ที่อัตราเร่ง 0.25 เรเดียน/วินาที^{2}

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 7.3 กราฟแสดงความเร็วและแรงดันขับเคลื่อนของการเคลื่อนที่แบบแกนเดียว ของแกนฐานที่อัตราเร่ง 0.25 เรเดียน/วินาที^{2}

จากตารางในรูปที่ 7.4 เห็นได้ว่าที่อัตราเร่งในการเคลื่อนที่ต่ำๆจะมีความผิดพลาดของตำแหน่งน้อยกว่าที่อัตราเร่งสูงกว่า เนื่องจากการเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร่งสูงทำให้ความเร็วของการเคลื่อนที่สูงขึ้นด้วย ทำให้ผลกระทบจากแรงคอริโอลิสและแรงเซนติฟิกัลมีขนาดมากขึ้น และการเคลื่อนที่ของแกนหัวไหล่ที่อัตราเร่งเดียวกัน การเคลื่อนที่ผ่านแนวดิ่งแบบ ls_1 จะมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดของตำแหน่งน้อยกว่าการเคลื่อนที่แบบ ls_2 และ ls_3 เนื่องจากการเคลื่อนที่ 2 แบบหลังนั้น แกนของแขนกลจะได้รับผลกระทบโดยตรงจากแรงโน้มถ่วงของโลก การเคลื่อนที่แบบ ls_2 มีความผิดพลาดเป็นลบหมายถึงการเคลื่อนที่จริงมีตำแหน่งน้ำตำแหน่งอ้างอิง ทั้งนี้เป็นเพราะระบบควบคุมที่ใช้ในการควบคุมมีค่าเกนของตัวควบคุมคงที่ ซึ่งจะใช้ควบคุมระบบได้ดีในช่วงที่ระบบมีค่าภาระใกล้เคียงกับภาระที่กำหนดในการคำนวณตอนออกแบบค่าเกน ค่าเกนที่ใช้ในการทดลองนี้ได้ออกแบบที่ภาระปานกลาง ดังนั้นการนำค่าเกนนี้ไปควบคุมระบบที่มีอัตราเร่งการเคลื่อนที่สูงหรือภาระสูงก็จะให้ผลการเคลื่อนที่ที่ผิดพลาดเพิ่มตามด้วย

1.2 การทดสอบด้วยการควบคุมแขนกลให้มีการเคลื่อนที่พร้อมกันทั้ง 3 แกนจะทดสอบที่อัตราเร่งการเคลื่อนที่ 0.25 เรเดียน/วินาที^{2} ณ ช่วงการเคลื่อนที่ต่างๆของแขนกลและได้ผลการทดลองจากรูปที่ 7.5 และดังตารางรูปที่ 7.6

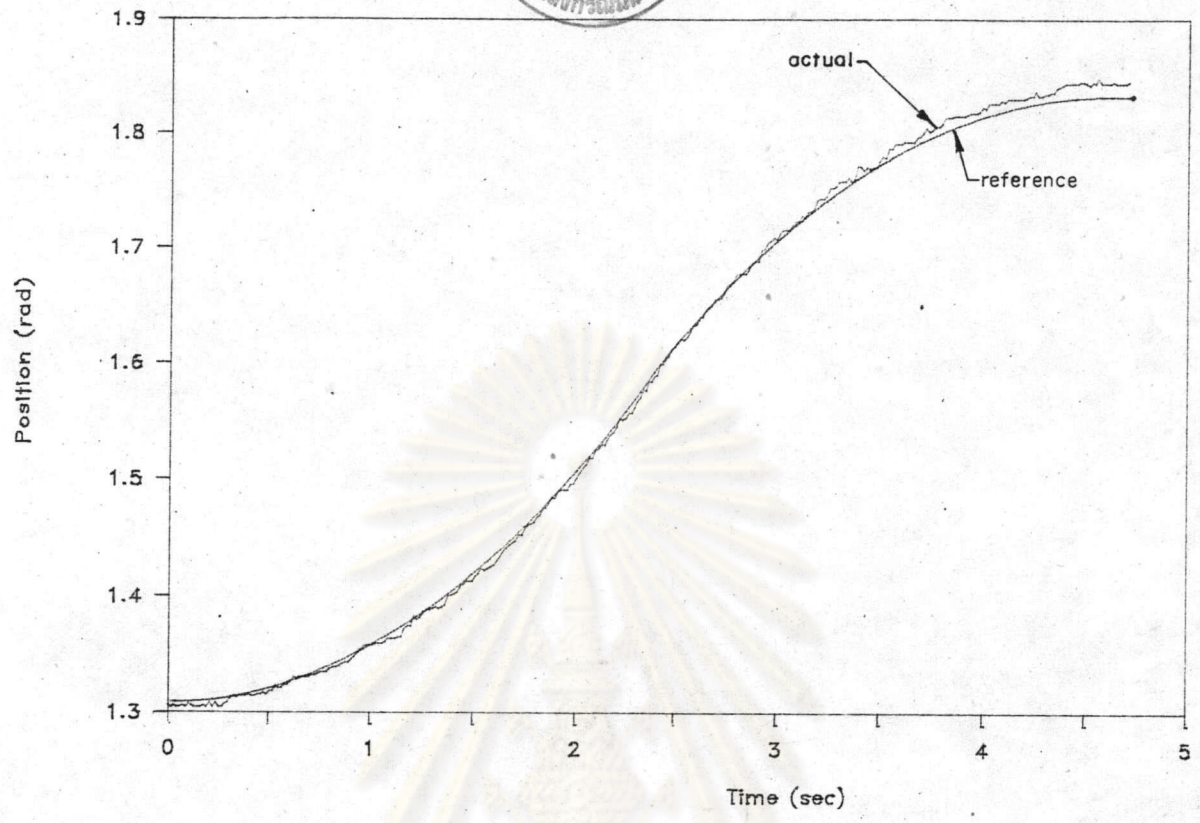
จากกราฟรูปที่ 7.5 แสดงผลการเคลื่อนที่ของแกนฐานที่อัตราเร่ง 0.25 เรเดียน/วินาที^{2} ความเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ 0.16 เรเดียน/วินาที^{2} ในขณะที่มีการเคลื่อนที่ของแกนหัวไหล่แบบ ls_1 และการเคลื่อนที่ของแกนข้อศอกแบบ le_1 มีผลความผิดพลาดของตำแหน่งสูงสุด 0.014 เรเดียน สำหรับรายละเอียดความคลาดเคลื่อนสูงสุดของการเคลื่อนที่ของแขนกลที่มุมการเคลื่อนที่ต่างๆแสดงดังตารางในรูปที่ 7.6

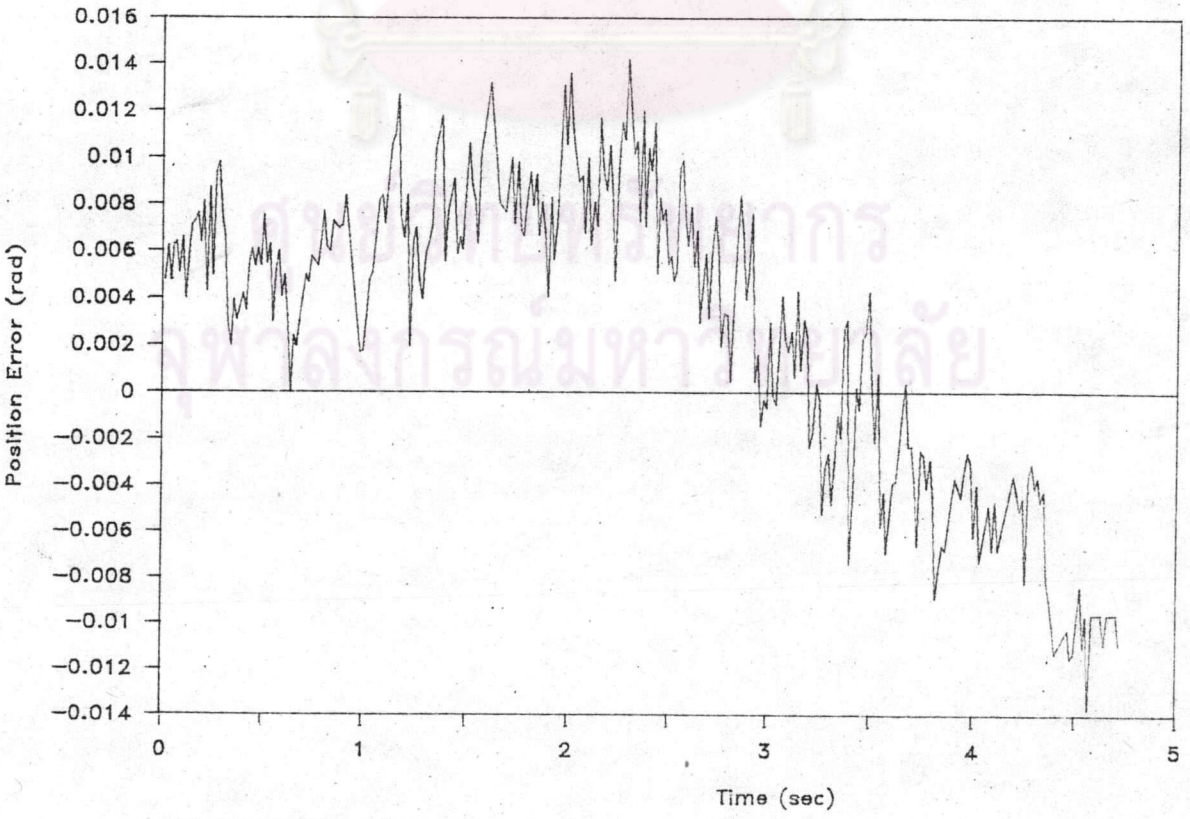
ค่าความผิดพลาดสูงสุดของการเคลื่อนที่ (เรเดียน)						
แกนฐาน	แกนหัวไหล่			แกนข้อศอก		
	ls_1	ls_2	ls_3	le_1	le_2	le_3
(1.3-1.8)*	(1.2-1.7)	(2.2-1.7)	(1.7-2.2)	(0.9-1.4)	(2.0-1.5)	(1.5-2.0)
0.014	0.012			0.012		
0.020		0.016		0.012		
-0.020			0.010	0.010		
-0.018			0.012		0.013	
-0.020			0.014			-0.013
** 0.001	0.002			0.001		
** 0.001			0.002			0.001

* ช่วงของการเคลื่อนที่ (จาก-ถึง) เรเดียน

** ผลการทดสอบกับแบบจำลอง

รูปที่ 7.6 ตารางแสดงผลการควบคุมแขนกลแบบเคลื่อนที่พร้อมกันทั้ง 3 แกน





รูปที่ 7.5 กราฟแสดงตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแกนฐานจากการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน

จากตารางรูปที่ 7.6 จะเห็นว่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ มีค่าสูงกว่าการเคลื่อนที่แบบแกนเดียว ทั้งนี้เพราะการเคลื่อนที่แบบนี้จะมีผลการรบกวนจากแรงภายนอกเนื่องจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกนที่ต่อกัน การทดสอบด้วยวิธีนี้ผลการทดสอบกับแบบจำลองที่ได้แสดงไว้ในตารางมีความผิดพลาดน้อยมาก เนื่องจากในแบบจำลองไม่มีผลความคลาดเคลื่อนจากแบคแลชของชุดเฟืองทด

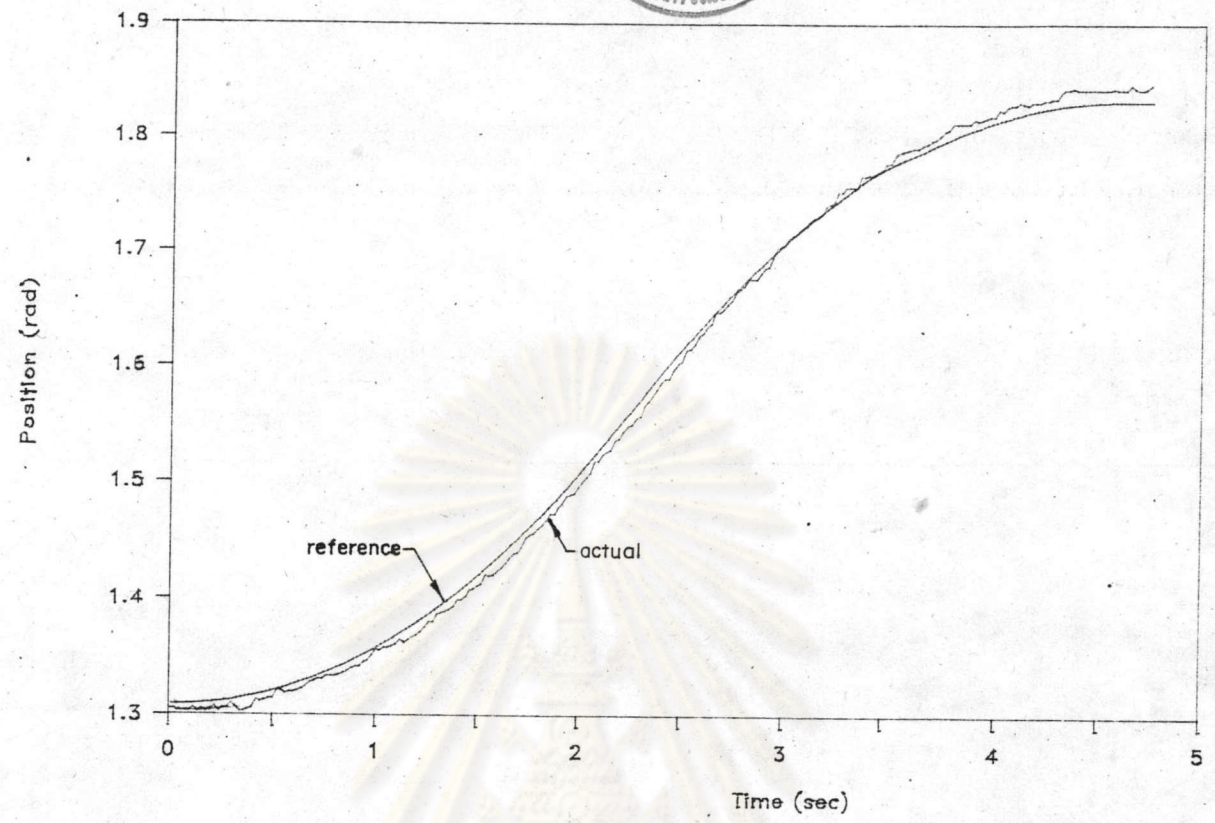
2. การทดสอบกับตัวแปรน้ำหนัก ทดสอบที่อัตราเร่งการเคลื่อนที่ ๐.25 เรเดียน/วินาที^{2} ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแกนหัวไหล่เป็นแบบ ls_i การเคลื่อนที่ของแกนข้อศอกเป็นแบบ le_i ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 7.7 ,7.8 และ 7.9

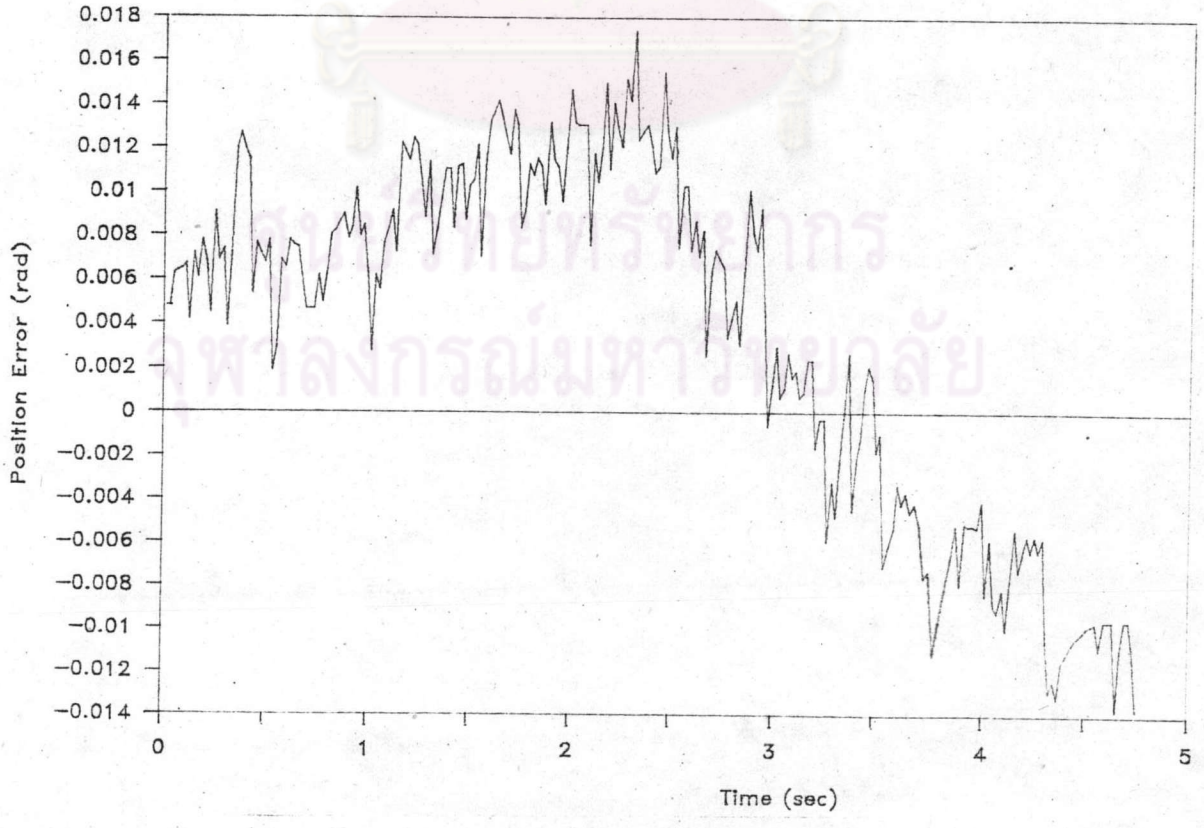
	ค่าความผิดพลาดสูงสุดของการเคลื่อนที่ (เรเดียน)		
น้ำหนัก(กก.)	แกนฐาน	แกนหัวไหล่ ls_i	แกนข้อศอก le_i
1	๐.๐14	-๐.๐16	-๐.๐10
2	-๐.๐20	-๐.๐20	-๐.๐18
3	๐.๐20	-๐.๐20	-๐.๐20
* 8	๐.๐17	๐.๐18	-๐.๐12

* ผลการทดสอบกับแบบจำลอง

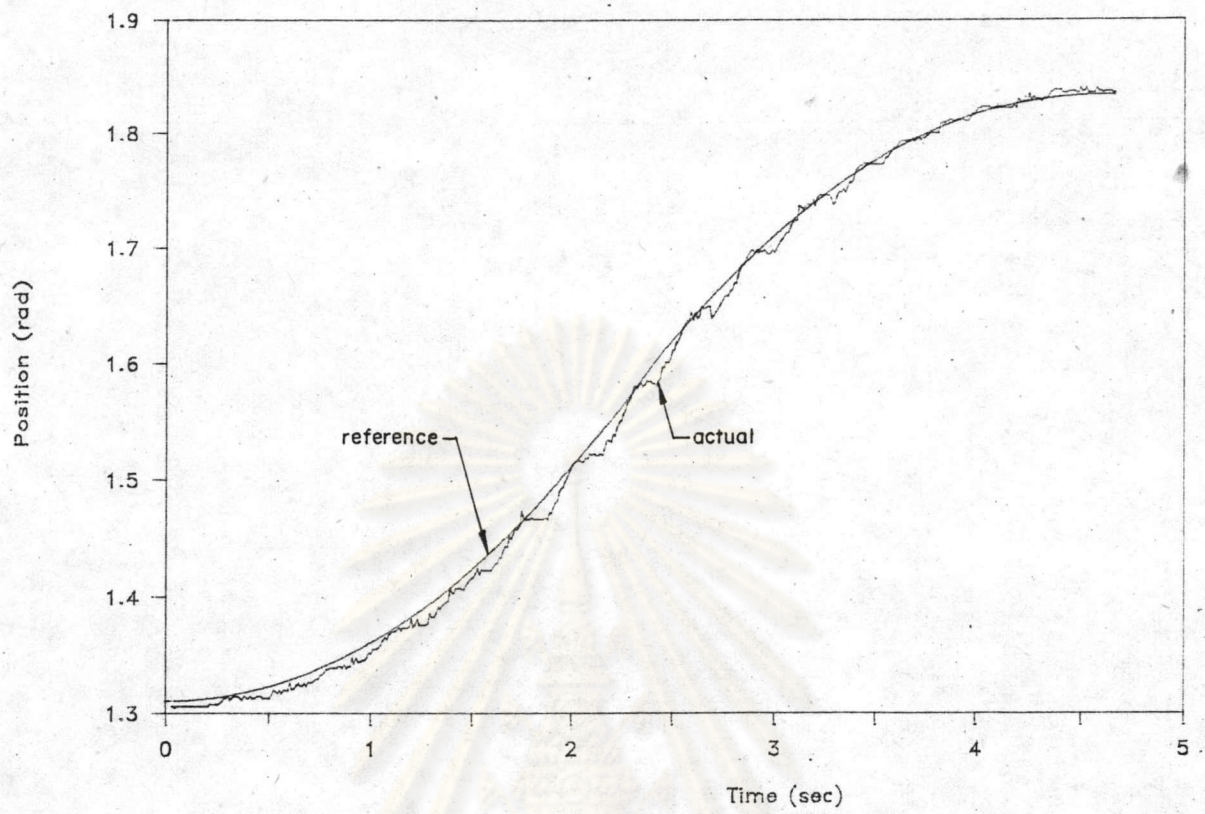
รูปที่ 7.7 ตารางแสดงผลการควบคุมแขนกลเมื่อมีการปรับค่าน้ำหนัก

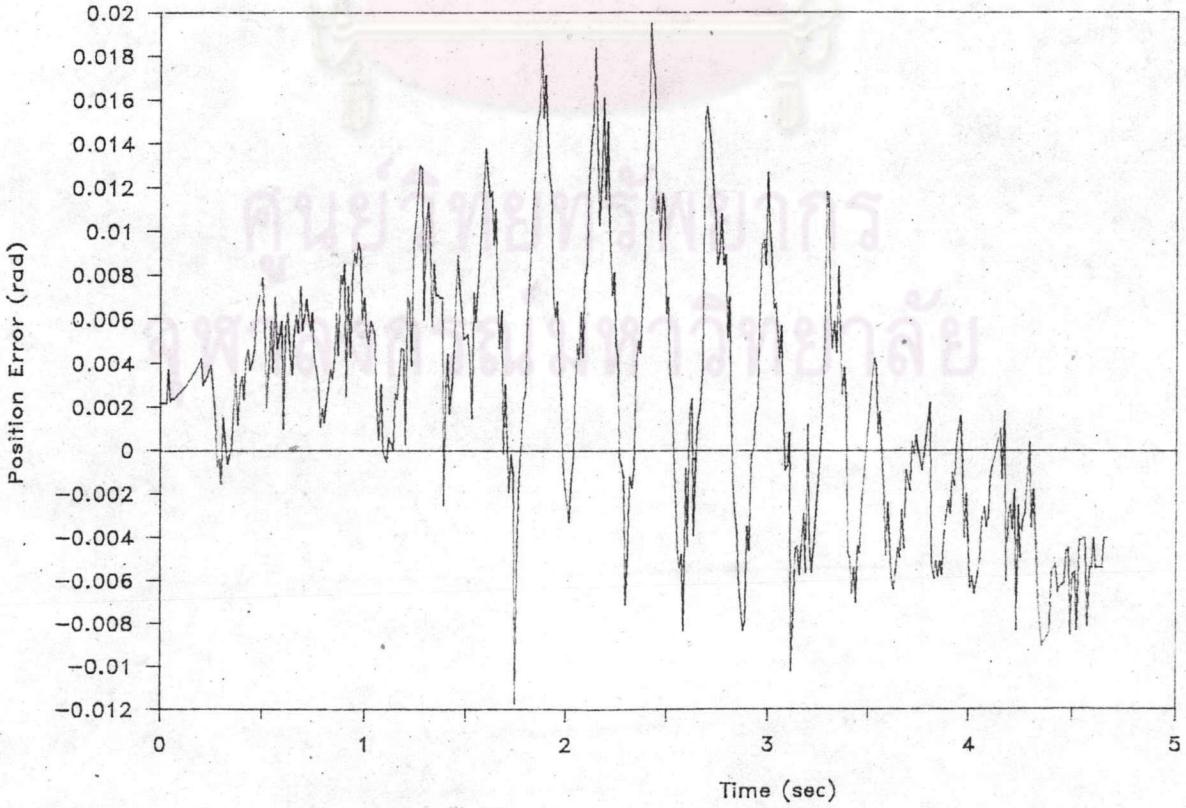
จากตารางรูปที่ 7.7 จะเห็นว่าการทดลองกับแบบจำลองระบบสามารถยกน้ำหนักได้ถึง 8 กก. โดยมีความผิดพลาดของตำแหน่งไม่ถึง ๐.๐2 เรเดียน มีลักษณะการเคลื่อนที่ดังกราฟรูปที่ 7.8 แต่การทดลองกับระบบจริง ระบบสามารถยกน้ำหนักได้เพียง 3 กก. แกนฐานของระบบมีการสั่นเล็กน้อย ดังลักษณะการเคลื่อนที่ที่แสดงในกราฟรูปที่ 7.9 จึงต้องหยุดการทดลองที่ค่านี้ จากกราฟรูปที่ 7.9 จะเห็นว่าระบบเกิดการสั่นมากที่ช่วงเวลา 1.5-3.5 วินาที เป็นช่วงที่ความเร็วของการเคลื่อนที่มีค่าสูงสุด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากแรงเซนติฟิกัลและคอริโอลิส





รูปที่ 7.8 กราฟแสดงตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแกนฐาน
จากแบบจำลองเมื่อยกน้ำหนัก 8 กก.





รูปที่ 7.9 กราฟแสดงตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแกนฐานจากการเคลื่อนที่พร้อมกันสามแกนเมื่อยกน้ำหนัก 3 กก.