

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

ในการดำเนินงานโครงการการออกแบบและสร้างแขนหุ่นยนต์น้ำหนักเบา 6 แกน โดยแบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วนด้วยกัน คือ ในส่วนแรก จะทำการทดลองการควบคุมตำแหน่ง การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์โดยการป้อนค่าองศาการเคลื่อนที่ในแต่ละแกน ส่วนที่สองจะเป็น การทดลองการควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่โดยการป้อนค่าองศาการเคลื่อนที่พร้อมกันทั้ง 6 แกน

4.1 การควบคุมตำแหน่งของแขนกลทีละแกน

4.1.1 การควบคุมมุมหมุน θ_1 ของแกนที่ 1

สำหรับแกนที่ 1 ของแขนกลนั้นสามารถเคลื่อนที่ได้เป็นมุม $\pm 110^\circ$ รอบแกน z_1 โดยการกำหนดค่าสั่งนั้นจะกำหนดเป็นมุม $\pm 110^\circ$

ตารางที่ 4-1 องศาการเคลื่อนที่แขนหุ่นยนต์แกน 1

Command θ_1	Actual θ_1	θ_1 Error	θ_1 % Error
25°	25°	0	0%
20°	21°	1	5%
15°	15°	0	0%
10°	10.5°	0.5	5%
5°	5°	0	0%
0°	0°	0	0%
-5°	-5°	0	0%
-10°	-10.5°	0.5	5%
-15°	-15°	0	0%
-20°	-21°	1	5%
-25°	-25°	0	0%

4.1.2 การควบคุมมุมหมุน θ_2 ของแกนที่ 2

สำหรับแกนที่ 2 ของแขนกลนั้นสามารถเคลื่อนที่ได้เป็นมุม $\pm 100^\circ$ รอบแกน z_2 โดย
การกำหนดคำสั่งนั้นจะกำหนดเป็นมุม $\pm 100^\circ$

ตารางที่ 4-2 องศาการเคลื่อนที่แขนหุ่นยนต์แกน 2

Command θ_2	Actual θ_2	θ_2 Error	θ_2 % Error
25°	25°	0	0%
20°	20°	0	0%
15°	15.5°	0.5	3.33%
10°	10°	0	0%
5°	5°	0	0%
0°	0°	0	0%
-5°	-5°	0	0%
-10°	-10°	0	0%
-15°	-15°	0.5	3.33%
-20°	-20°	0	0%
-25°	-25°	0	0%

4.1.3 การควบคุมมุมหมุน θ_3 ของแกนที่ 3

สำหรับแกนที่ 3 ของแขนกลนั้นสามารถเคลื่อนที่ได้เป็นมุม $\pm 130^\circ$ รอบแกน z_3 โดย
การกำหนดคำสั่งนั้นจะกำหนดเป็นมุม $\pm 130^\circ$

ตารางที่ 4-3 องศาการเคลื่อนที่แขนหุ่นยนต์แกน 3

Command θ_3	Actual θ_3	θ_3 Error	θ_3 % Error
25°	25°	0	0%
20°	20°	0	0%
15°	15°	0	0%
10°	10°	0	0%
5°	5°	0	0%
0°	0°	0	0%
-5°	-5°	0	0%
-10°	-10°	0	0%

Command θ_3	Actual θ_3	θ_3 Error	θ_3 % Error
-15°	-15°	0	0%
-20°	-20°	0	0%
-25°	-25°	0	0%

4.1.4 การควบคุมมุมหมุน θ_4 ของแกนที่ 4

สำหรับแกนที่ 4 ของแขนกลนั้นสามารถเคลื่อนที่ได้เป็นมุม $\pm 160^\circ$ รอบแกน z_4 โดย
การกำหนดคำสั่งนั้นจะกำหนดเป็นมุม $\pm 160^\circ$

ตารางที่ 4-4 องศาการเคลื่อนที่แขนหุ่นยนต์แกน 4

Command θ_4	Actual θ_4	θ_4 Error	θ_4 % Error
25°	25°	0	0%
20°	20°	0	0%
15°	15°	0	0%
10°	10°	0	0%
5°	5.5°	0.5	10%
0°	0°	0	0%
-5°	-5.5°	0.5	10%
-10°	-10°	0	0%
-15°	-15°	0	0%
-20°	-20°	0	0%
-25°	-25°	0	0%

4.1.5 การควบคุมมุมหมุน θ_5 ของแกนที่ 5

สำหรับแกนที่ 5 ของแขนกลนั้นสามารถเคลื่อนที่ได้เป็นมุม $\pm 130^\circ$ รอบแกน z_5 โดยการ
กำหนดคำสั่งนั้นจะกำหนดเป็นมุม $\pm 130^\circ$

ตารางที่ 4-5 องศาการเคลื่อนที่แขนหุ่นยนต์แกน 5

Command θ_5	Actual θ_5	θ_5 Error	θ_5 % Error
25°	25.5°	0.5	2%
20°	20°	0	0%
15°	15°	0	0%

Command θ_5	Actual θ_5	θ_5 Error	θ_5 % Error
10°	10.5°	0.5	5%
5°	5°	0	0%
0°	0°	0	0%
-5°	-5°	0	0%
-10°	-10.5°	0.5	5%
-15°	-15°	1	0%
-20°	-20°	1	0%
-25°	-25.5°	0.5	2%

4.1.6 การควบคุมมุมหมุน θ_6 ของแกนที่ 6

สำหรับแกนที่ 6 ของแขนกลนั้นสามารถเคลื่อนที่ได้เป็นมุม $\pm 180^\circ$ รอบแกน z_6 โดยการกำหนดคำสั่งนั้นจะกำหนดเป็นมุม $\pm 180^\circ$

ตารางที่ 4-6 องศาการเคลื่อนที่แขนหุ่นยนต์แกน 6

Command θ_6	Actual θ_6	θ_6 Error	θ_6 % Error
25°	25°	0	0%
20°	20°	0	0%
15°	15°	0	0%
10°	10°	0	0%
5°	5°	0	0%
0°	0°	0	0%
-5°	-5°	0	0%
-10°	-10°	0	0%
-15°	-15°	0	0%
-20°	-20°	0	0%
-25°	-25°	0	0%

จากการทดลองการควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแต่ละแกน พบว่ามีความคลาดเคลื่อน (% Error) มีค่าน้อยมาก โดยมีค่าใกล้เคียง 0% ในแกนที่ 3 และแกนที่ 6 สำหรับแกนที่ 1, แกนที่ 2, แกนที่ 4, แกนที่ 5 จากการทดลองพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) อยู่บ้าง

4.2 การควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์

การควบคุมแขนหุ่นยนต์นั้นสามารถทำได้โดยการป้อนคำสั่งเป็นค่าองศาให้กับแขนหุ่นยนต์ แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) จะรับค่าองศาที่ป้อนจากคอมพิวเตอร์ไปสร้างสัญญาณพัลส์ส่งให้ Drive Servo Motor เพื่อสั่งให้มอเตอร์เกิดการทำงาน

การทดลองตำแหน่งที่ 1

ตารางที่ 4-7 การควบคุมตำแหน่งที่ 1

ครั้งที่	Command						Actual						Error					
	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6
1	1°	22°	-12°	-3°	-4°	0°	1°	22°	-12°	-3°	-4°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
2	1°	22°	-12°	-3°	-4°	0°	1°	22°	-12°	-3°	-4°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
3	1°	22°	-12°	-3°	-4°	0°	1°	22°	-12°	-3°	-4°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
4	1°	22°	-12°	-3°	-4°	0°	1°	22°	-12°	-3°	-4°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
5	1°	22°	-12°	-3°	-4°	0°	1°	22°	-12°	-3°	-4°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
6	1°	22°	-12°	-3°	-4°	0°	1°	22°	-12°	-3°	-4°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
7	1°	22°	-12°	-3°	-4°	0°	1°	22°	-12°	-3°	-4°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
8	1°	22°	-12°	-3°	-4°	0°	1°	22°	-12°	-3°	-4°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
9	1°	22°	-12°	-3°	-4°	0°	1°	22°	-12°	-3°	-4°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
10	1°	22°	-12°	-3°	-4°	0°	1°	22°	-12°	-3°	-4°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°

การทดลองตำแหน่งที่ 2

ตารางที่ 4-8 การควบคุมตำแหน่งที่ 2

ครั้งที่	Command						Actual						Error					
	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6
1	3°	21°	-10°	-1°	-3°	0°	3°	21°	-10°	-1°	-3°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
2	3°	21°	-10°	-1°	-3°	0°	3°	21°	-10°	-1°	-3°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
3	3°	21°	-10°	-1°	-3°	0°	3°	21°	-10°	-1°	-3°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
4	3°	21°	-10°	-1°	-3°	0°	3°	21°	-10°	-1°	-3°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
5	3°	21°	-10°	-1°	-3°	0°	3°	21°	-10°	-1°	-3°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
6	3°	21°	-10°	-1°	-3°	0°	3°	21°	-10°	-1°	-3°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
7	3°	21°	-10°	-1°	-3°	0°	3°	21°	-10°	-1°	-3°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°

ครั้งที่	Command						Actual						Error					
	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6
8	3°	21°	-10°	-1°	-3°	0°	3°	21°	-10°	-1°	-3°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
9	3°	21°	-10°	-1°	-3°	0°	3°	21°	-10°	-1°	-3°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
10	3°	21°	-10°	-1°	-3°	0°	3°	21°	-10°	-1°	-3°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°

การทดลองตำแหน่งที่ 3

ตารางที่ 4-9 การควบคุมตำแหน่งที่ 3

ครั้งที่	Command						Actual						Error					
	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6
1	-2°	24°	-15°	-2°	-4°	0°	-2°	24°	-15°	-2°	-4°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
2	-2°	24°	-15°	-2°	-4°	0°	-2°	24°	-15°	-2°	-4°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
3	-2°	24°	-15°	-2°	-4°	0°	-2°	24°	-15°	-2°	-4°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
4	-2°	24°	-15°	-2°	-4°	0°	-2°	24°	-15°	-2°	-4°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
5	-2°	24°	-15°	-2°	-4°	0°	-2°	24°	-15°	-2°	-4°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
6	-2°	24°	-15°	-2°	-4°	0°	-2°	24°	-15°	-2°	-4°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
7	-2°	24°	-15°	-2°	-4°	0°	-2°	24°	-15°	-2°	-4°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
8	-2°	24°	-15°	-2°	-4°	0°	-2°	24°	-15°	-2°	-4°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
9	-2°	24°	-15°	-2°	-4°	0°	-2°	24°	-15°	-2°	-4°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
10	-2°	24°	-15°	-2°	-4°	0°	-2°	24°	-15°	-2°	-4°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°

การทดลองตำแหน่งที่ 4

ตารางที่ 4-10 การควบคุมตำแหน่งที่ 4

ครั้งที่	Command						Actual						Error					
	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6
1	3°	25°	-16°	0°	-2°	0°	3°	25°	-16°	0°	-2°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
2	3°	25°	-16°	0°	-2°	0°	3°	25°	-16°	0°	-2°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
3	3°	25°	-16°	0°	-2°	0°	3°	25°	-16°	0°	-2°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
4	3°	25°	-16°	0°	-2°	0°	3°	25°	-16°	0°	-2°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
5	3°	25°	-16°	0°	-2°	0°	3°	25°	-16°	0°	-2°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
6	3°	25°	-16°	0°	-2°	0°	3°	25°	-16°	0°	-2°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°

ครั้งที่	Command						Actual						Error					
	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6
7	3°	25°	-16°	0°	-2°	0°	3°	25°	-16°	0°	-2°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
8	3°	25°	-16°	0°	-2°	0°	3°	25°	-16°	0°	-2°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
9	3°	25°	-16°	0°	-2°	0°	3°	25°	-16°	0°	-2°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
10	3°	25°	-16°	0°	-2°	0°	3°	25°	-16°	0°	-2°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°

การทดลองตำแหน่งที่ 5

ตารางที่ 4-11 การควบคุมตำแหน่งที่ 5

ครั้งที่	Command						Actual						Error					
	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6
1	-2.5°	21°	-11°	0°	-1°	0°	-2.5°	21°	-11°	0°	-1°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
2	-2.5°	21°	-11°	0°	-1°	0°	-2.5°	21°	-11°	0°	-1°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
3	-2.5°	21°	-11°	0°	-1°	0°	-2.5°	21°	-11°	0°	-1°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
4	-2.5°	21°	-11°	0°	-1°	0°	-2.5°	21°	-11°	0°	-1°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
5	-2.5°	21°	-11°	0°	-1°	0°	-2.5°	21°	-11°	0°	-1°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
6	-2.5°	21°	-11°	0°	-1°	0°	-2.5°	21°	-11°	0°	-1°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
7	-2.5°	21°	-11°	0°	-1°	0°	-2.5°	21°	-11°	0°	-1°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
8	-2.5°	21°	-11°	0°	-1°	0°	-2.5°	21°	-11°	0°	-1°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
9	-2.5°	21°	-11°	0°	-1°	0°	-2.5°	21°	-11°	0°	-1°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
10	-2.5°	21°	-11°	0°	-1°	0°	-2.5°	21°	-11°	0°	-1°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°

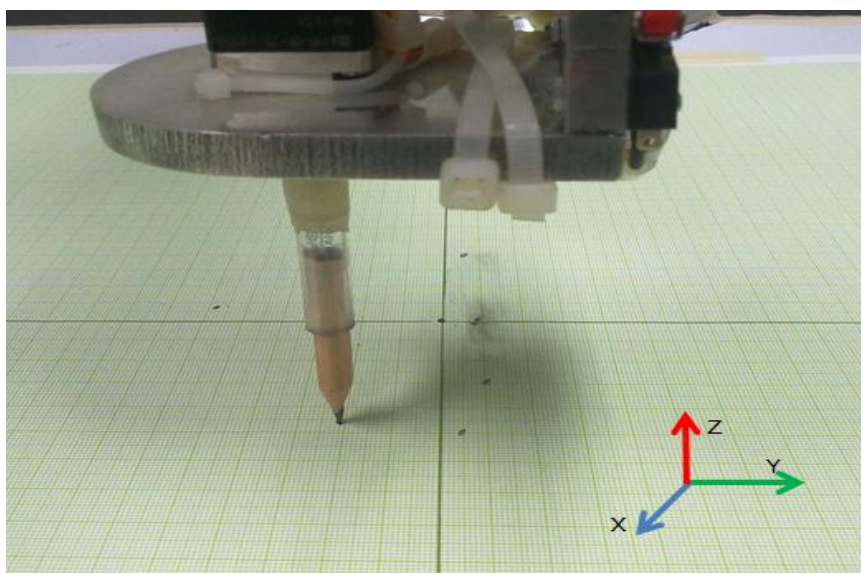
4.3 การควบคุมตำแหน่งด้วยวิธี Forward Kinematics

ในการควบคุมการทำงานของแขนหุ่นยนต์ สามารถทำได้โดยการป้อนค่าองศาการเคลื่อนที่ของแต่ละแกนการเคลื่อนที่เข้าไปในโปรแกรมควบคุมการทำงาน จากนั้นนำค่าองศาที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมควบคุมการทำงานของแต่ละแกนมาคำนวณหาค่าพิกัด X,Y,Z โดยใช้สูตร Forward Kinematics จากสมการที่ (3-1) ถึง (3-8) เพื่อนำค่าที่ได้จากการคำนวณมาเปรียบเทียบกับค่าตำแหน่งที่ตั้งให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไป พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อน % Error โดยสามารถสรุปค่าความคลาดเคลื่อน % Error ของแต่ละพิกัดการเคลื่อนที่ได้ดังนี้

4.3.1 การควบคุมตำแหน่งด้วยวิธี Forward Kinematics ในแนวแกน X

ตารางที่ 4-12 การควบคุมตำแหน่งแนวแกน X

Command						ค่าที่ได้จากการคำนวณ	ค่าที่วัดได้	%Error
θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6			
-8	-4	-1	0	0	0	24 mm	25 mm	4.16 %
-9	-3	-7	0	0	0	47 mm	44 mm	6.38 %
-9	-3	-12	0	0	0	71 mm	62 mm	12.67 %
-9	-1	-21	0	0	0	94 mm	84 mm	10.63 %

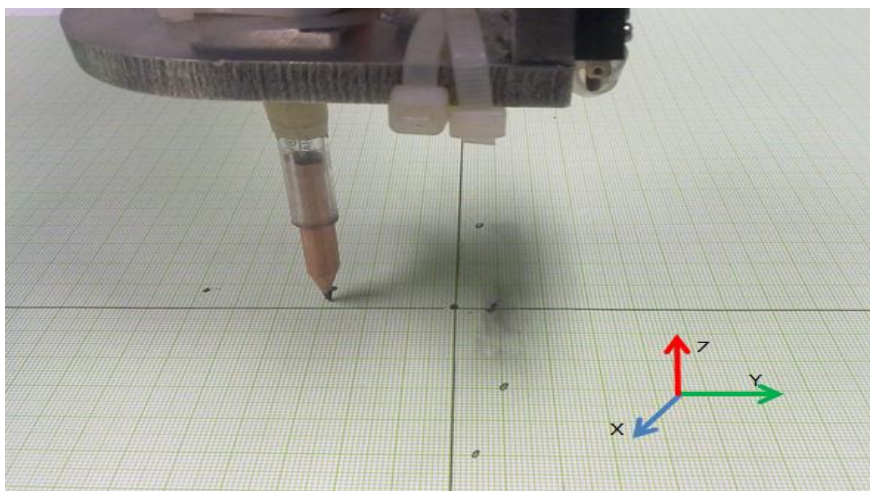


ภาพที่ 4-1 การควบคุมตำแหน่งแนวแกน X

4.3.2 การควบคุมตำแหน่งด้วยวิธี Forward Kinematics ในแนวแกน Y

ตารางที่ 4-13 การควบคุมตำแหน่งแนวแกน Y

Command						ค่าที่ได้จากการคำนวณ	ค่าที่วัดได้	%Error
θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6			
3	0	0	0	0	0	24 mm	28 mm	1.66 %
5	0	0	0	0	0	47 mm	47 mm	0 %
7	0	0	0	0	0	71 mm	65 mm	8.45 %
9	0	0	0	0	0	94 mm	84 mm	10.63 %

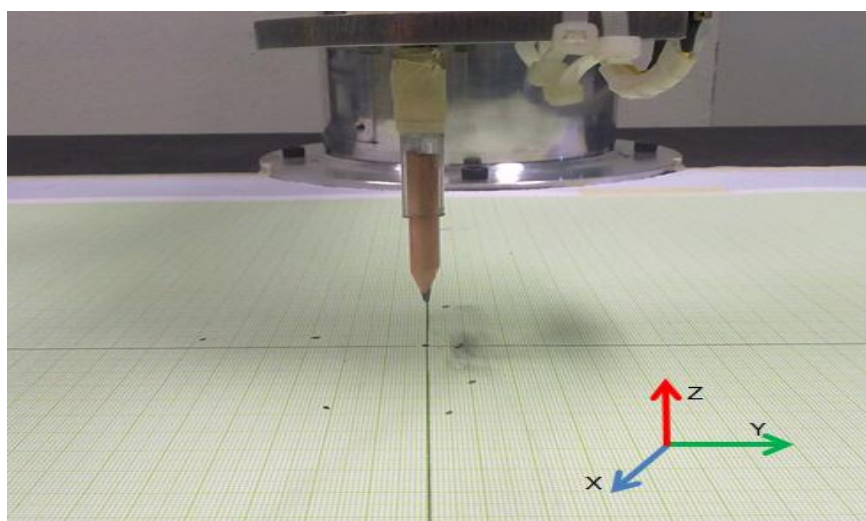


ภาพที่ 4-2 การควบคุมตำแหน่งแนวแกน Y

4.3.3 การควบคุมตำแหน่งด้วยวิธี Forward Kinematics ในแนวแกน Z

ตารางที่ 4-14 การควบคุมตำแหน่งแนวแกน Z

Command						ค่าที่ได้จากการคำนวณ	ค่าที่วัดได้	%Error
θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6			
0	-3	0	0	0	0	24 mm	28 mm	8.33 %
0	-5	0	0	0	0	47 mm	44 mm	6.38 %
0	-7	0	0	0	0	71 mm	62 mm	12.67 %
0	-9	0	0	0	0	94 mm	80 mm	14.89 %



ภาพที่ 4-3 การควบคุมตำแหน่งแนวแกน Z

4.4 การทดสอบการรับโหลดของแขนหุ่นยนต์น้ำหนักเบา 6 แกน เคลื่อนที่อิสระ

จากที่ได้ศึกษาข้อมูลจาก http://www.scholarpedia.org/article/Light-weight_robots เกี่ยวกับคุณสมบัติของแขนหุ่นยนต์น้ำหนักเบา พบว่าค่าน้ำหนักรวมของแขนหุ่นยนต์จะมีผลต่อการรับโหลดของตัวหุ่นยนต์ ซึ่งยิ่งแขนหุ่นยนต์มีน้ำหนักตัวมาก ก็สามารถที่จะรับโหลดได้มากเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น หุ่นยนต์ The Mitsubishi PA10 มีน้ำหนักตัว 38 กิโลกรัม สามารถรับโหลดได้ 10 กิโลกรัม, หุ่นยนต์ The MIRO robot มีน้ำหนักตัว 10 กิโลกรัม สามารถรับโหลดได้ 3 กิโลกรัม

ในโครงการการออกแบบและสร้างแขนหุ่นยนต์น้ำหนักเบาแบบ 6 แกน อิสระ ในส่วนของแขนหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นจะมีน้ำหนักตัวโดยรวมทั้งหมด 12 กิโลกรัม จึงสามารถรับโหลดได้ประมาณ 3.6 กิโลกรัม

จากการทดสอบการรับโหลดของแขนหุ่นยนต์น้ำหนักเบา 6 แกน เคลื่อนที่อิสระ พบว่าแขนหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นสามารถรับโหลดที่มีน้ำหนักประมาณ 3.6 กิโลกรัม ในการทดสอบการรับโหลดของแขนหุ่นยนต์ จะนำโหลดมาติดตั้งตรงปลายแขนหุ่นยนต์แล้วสั่งให้แขนหุ่นยนต์ทำงานในตำแหน่งต่าง ๆ พบว่าแขนหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ได้โดยมีโหลดติดอยู่

ตารางที่ 4-15 เปรียบเทียบน้ำหนักตัวแขนหุ่นยนต์/การรับโหลด

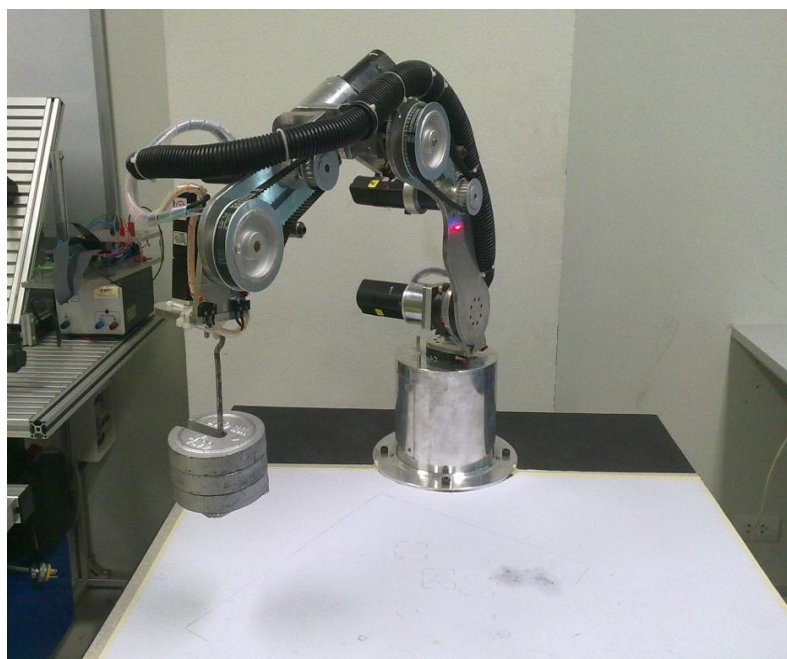
แขนหุ่นยนต์	น้ำหนักตัวแขนหุ่นยนต์	รับโหลด	Ratio
The Mitsubishi PA10	38	10	0.26
The MIRO robot	10	3	0.3
แขนหุ่นยนต์น้ำหนักเบา 6 แกน เคลื่อนที่อิสระ ที่สร้างขึ้น	12	3.6	0.3



ภาพที่ 4-4 น้ำหนักโหลด



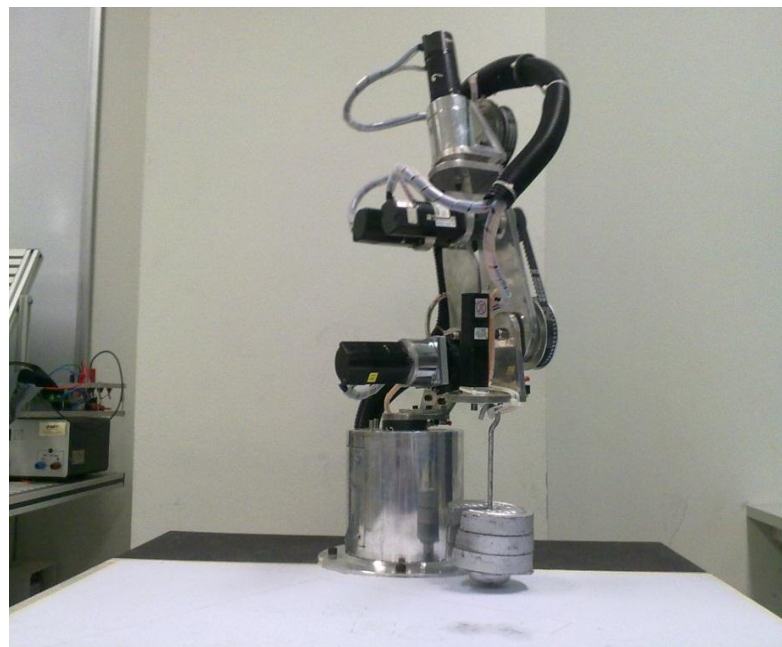
ภาพที่ 4-5 ตำแหน่งแขนหุ่นยนต์ยกโหลดในตำแหน่งยึดสุด



ภาพที่ 4-6 ตำแหน่งแขนหุ่นยนต์ยกโหลดไปทางขวา



ภาพที่ 4-7 ตำแหน่งแขนหุ่นยนต์ยกโหลดไปทางซ้าย



ภาพที่ 4-8 ตำแหน่งแขนหุ่นยนต์ยกโหลดเข้าใกล้ฐาน