



การพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่เดิน 2 ขาโดยการใช้หลักการสร้างวิถีการเดิน

Development of Biped Locomotion Robot Using

Trajectory Generation Method

นายภูวนารถ โตบำรุง	รหัส	45363017
นายวัฒน์พงศ์ คุยเพี้ยภูมิ	รหัส	45363140
นายสุรศักดิ์ ปิ่นวรรณ	รหัส	45363181
นายเอกสิทธิ์ รัชชหะกุล	รหัส	45363298

i 5091147 e.2
๒๕.
๗๙๘๘
๒๕๔๘.

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระนคร

ปีการศึกษา ๒๕๔๘

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 1,7 ต.ค. 2549
เลขทะเบียน..... 4900010
เลขเรียกหนังสือ.....
มหาวิทยาลัยพระนคร

4900010



ใบรับรองโครงการวิศวกรรมไฟฟ้า

หัวข้อโครงการวิศวกรรมไฟฟ้า : การพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่เดิน 2 ขา โดยการใช้
หลักการสร้างวิถีการเดิน

ผู้ดำเนินงานวิศวกรรมไฟฟ้า : นายภูวนารถ โตบำรุง รหัส 45363017
นายวัฒนพงศ์ คุยเพ็ญภูมิ รหัส 45363140
นายสุรศักดิ์ ปิ่นวรรณ รหัส 45363181
นายเอกสิทธิ์ รัชชหะกุล รหัส 45363298

ที่ปรึกษาโครงการวิศวกรรมไฟฟ้า : ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล
สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม อนุมัติให้โครงการวิศวกรรมไฟฟ้าฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ประธานกรรมการ
(ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

.....กรรมการ
(ดร. สุรเชษฐ์ กานต์ประชา)

.....กรรมการ
(ดร. สมพร เรืองสินชัชวานิช)

.....กรรมการ
(อาจารย์พนัส นัถฤทธิ)

.....กรรมการ
(อาจารย์ปิยคนัย ภาชนะพรรณ)



หัวข้อโครงการ	การพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่เดิน 2 ขา โดยการใช้หลักการสร้างวิถีการเดิน		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายภูวนารถ	โตบำรุง	รหัส 45363017
	นายวิฑนพงษ์	กฤษเกียรติ	รหัส 45363140
	นายสุรศักดิ์	ปิ่นวรรณ	รหัส 45363181
	นายเอกสิทธิ์	รัชชหะกุล	รหัส 45363298
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. สมยศ	เกียรติวินชวิไล	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2548		

บทคัดย่อ

โครงการนี้พัฒนาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เดิน 2 ขา โดยที่ขาทั้ง 2 ข้างประกอบไปด้วย การเชื่อมต่อทั้ง 6 จุดหมุน โครงสร้างของหุ่นยนต์ประกอบไปด้วยข้อหมุน 6 ข้อ ได้แก่ ข้อหมุนตำแหน่งหัว เ่า 2 ข้าง 2 ข้อหมุน, สะโพก 2 ข้าง 2 ข้อหมุน และข้อเท้า 2 ข้อหมุน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของโครงสร้าง หุ่นยนต์ การขับเคลื่อนจะใช้ เซอร์โวมอเตอร์ โดยกำหนดรูปแบบการเคลื่อนที่ไว้ 4 ขั้นตอนคือ ขั้นตอน การเริ่มเดิน โดยการสร้างแนววิถีการเดิน ขั้นตอนการก้าวขาเพื่อรับน้ำหนักจากการสร้างแนววิถีการเดิน ขั้นตอนการเปลี่ยนจุดสมดุลเพื่อเตรียมเดินและขั้นตอนสุดท้าย คือ การหยุดเดิน โดยที่โครงการของเรา นั้นจะทำการทดสอบหุ่นยนต์บริเวณพื้นผิวที่มีความราบเรียบปราศจากสิ่งกีดขวางใด ๆ ผลการทดลอง แสดงให้เห็นถึงความสามารถของหุ่นยนต์ที่พัฒนาขึ้น

Project Title	Development of Biped Locomotion Robot Using Trajectory Generation Method		
Name	Mr. Puwanart	Tobamrung	ID 45363017
	Mr. Wattanaphong	Kuypheaphoum	ID 45363140
	Mr. Surasak	Pinwanna	ID 45363181
	Mr. Ekkasit	Ratchahakul	ID 45363231
Project Advisor	Dr. Somyot	Kiattivanichvilai	
Major	Electrical Engineering		
Department	Electrical and Computer Engineering		
Academic Year	2005		

.....

ABSTRACT

This project develops the locomotion of a biped robot. The robot's legs are composed of 6 linkages. There are 6 joints in the robot structure, 2 joints for both knees, 2 joints for hips and 2 joints for ankle. Driving system in this robot is using the servo motor system. The locomotion pattern has 4 steps, start the trajectory locomotion, stepping motion to support the weight by trajectory locomotion, balancing and stopping. In this project, the biped robot is evaluated in a smooth and planar area without obstacle. The results show the ability of developed robot.

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
สารบัญ.....	ค
สารบัญตาราง.....	ง
สารบัญรูป.....	จ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบข่ายของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 แผนการดำเนิน.....	3
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.7 งบประมาณของโครงการ.....	4

บทที่ 2 ทฤษฎีของหุ่นยนต์เดิน 2 ขา

2.1 ประวัติการพัฒนาหุ่นยนต์ 2 ขา.....	5
2.2 คิเนเมติกส์ (Kinematics).....	7
2.3 จุดศูนย์กลางถ่วง (Center of Gravity : CG).....	8
2.4 การคำนวณหาระยะห่างระหว่างขา.....	8
2.5 การคำนวณหาจุดศูนย์กลางถ่วงมวลของหุ่นยนต์.....	11
2.6 การวิเคราะห์ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงมวลของหุ่นยนต์.....	14

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์.....	16
----------------------------------	----

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 การใช้ Math lab ในการคำนวณหาจุดศูนย์กลางถ่วงมวล.....	21
--	----

สารบัญ

หน้าที่

4.2 ผลการเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟแสดง ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงมวล.....	27
4.3 การเปรียบเทียบรูปการเดินระหว่างหุ่นยนต์จริงกับรูปจากการจำลองด้วยโปรแกรม.....	30
4.4 ทางเดินของจุดศูนย์กลางถ่วงมวลตลอดขั้นตอนการเดิน.....	35
บทที่ 5 บทสรุป	
5.1 สรุปผล.....	37
5.2 ปัญหา ข้อเสนอแนะ และแนวทางแก้ไข.....	37
5.3 แนวทางในการพัฒนาในอนาคต.....	38
เอกสารอ้างอิง.....	39
ภาคผนวก	40



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
1.1 แผนการดำเนินงาน.....	3
3.1 ค่าเวลาที่สั่งให้เซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัวหมุนไป 1 องศาในทิศทางต่างๆ กัน.....	20
4.1 ค่าของมุมและเวลาหนึ่งวินาทีในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”.....	27
4.2 ค่าของมุมและเวลาหนึ่งวินาทีในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”.....	28
ภาคผนวก 1 ค่าของมุมและเวลาหนึ่งวินาทีในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”.....	41
ภาคผนวก 2 ค่าของมุมและเวลาหนึ่งวินาทีในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”.....	42
ภาคผนวก 3 ค่าของมุมและเวลาหนึ่งวินาทีในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”.....	43
ภาคผนวก 4 ค่าของมุมและเวลาหนึ่งวินาทีในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”.....	44
ภาคผนวก 5 ค่าของมุมและเวลาหนึ่งวินาทีในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”.....	45
ภาคผนวก 6 ค่าของมุมและเวลาหนึ่งวินาทีในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”.....	46
ภาคผนวก 7 ค่าของมุมและเวลาหนึ่งวินาทีในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”.....	47
ภาคผนวก 8 ค่าของมุมและเวลาหนึ่งวินาทีในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”.....	48
ภาคผนวก 9 ค่าของมุมและเวลาหนึ่งวินาทีในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”.....	49
ภาคผนวก 10 ค่าของมุมและเวลาหนึ่งวินาทีในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”.....	50
ภาคผนวก 11 ค่าของมุมและเวลาหนึ่งวินาทีในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”.....	51
ภาคผนวก 12 ค่าของมุมและเวลาหนึ่งวินาทีในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”.....	52
ภาคผนวก 13 ค่าของมุมและเวลาหนึ่งวินาทีในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”.....	53
ภาคผนวก 14 ค่าของมุมและเวลาหนึ่งวินาทีในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”.....	54
ภาคผนวก 15 ค่าของมุมและเวลาหนึ่งวินาทีในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”.....	55
ภาคผนวก 16 ค่าของมุมและเวลาหนึ่งวินาทีในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”.....	56
ภาคผนวก 17 ค่าของมุมและเวลาหนึ่งวินาทีในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”.....	57

สารบัญรูป

รูปที่	หน้าที่
2.1 ตำแหน่งพิกัดและจุดต่าง ๆ บนชิ้นส่วนที่เชื่อมต่อกัน.....	7
2.2 ตำแหน่งจุด CG ของวัตถุในแต่ละสถานะ.....	8
2.3 มุมของขาที่อ่อนต่างๆ.....	9
2.4 จุดศูนย์กลางของขาที่อ่อนต่างๆ.....	11
2.5 ระบายเส้นจำนวนจริง.....	13
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	16
3.2 ตัวอย่างพลัสที่ป้อนเข้าเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อทำการหมุนไปที่ตำแหน่ง 0 องศา.....	17
3.3 ตัวอย่างพลัสที่ป้อนเข้าเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อทำการหมุนไปที่ตำแหน่ง 90 องศา(ทวนเข็มนาฬิกา).....	18
3.4 ตัวอย่างพลัสที่ป้อนเข้าเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อทำการหมุนไปที่ตำแหน่ง 90 องศา(ตามเข็มนาฬิกา).....	19
3.5 มุมของเซอร์โวมอเตอร์ตามที่นิยามไว้.....	20
4.1 โฟล์วชาร์ทขั้นตอนการทำงานในโปรแกรมMatlab	22
4.2 (ก) จุดศูนย์กลางมวลที่คำนวณได้เทียบกับฐาน.....	24
4.2 (ข) จุดศูนย์กลางมวลเมื่อมองจากด้านล่าง.....	24
4.3 มุมตลอดการเดินของขาข้างขวา แต่ละท่อนขาเรียงลำดับจากบนลงล่าง.....	25
4.4 มุมตลอดการเดินของขาข้างซ้าย แต่ละท่อนขาเรียงลำดับจากบนลงล่าง.....	25
4.5 การเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟแสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล.....	27
4.6 การเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟแสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล.....	28
4.7 การเปรียบเทียบรูปการเดินระหว่างหุ่นยนต์จริงกับรูปจากการจำลองด้วยโปรแกรม.....	30
4.7 (ต่อ)การเปรียบเทียบรูปการเดินระหว่างหุ่นยนต์จริงกับรูปจากการจำลองด้วยโปรแกรม.....	31
4.7 (ต่อ)การเปรียบเทียบรูปการเดินระหว่างหุ่นยนต์จริงกับรูปจากการจำลองด้วยโปรแกรม.....	32
4.7 (ต่อ)การเปรียบเทียบรูปการเดินระหว่างหุ่นยนต์จริงกับรูปจากการจำลองด้วยโปรแกรม.....	33
4.7 (ต่อ)การเปรียบเทียบรูปการเดินระหว่างหุ่นยนต์จริงกับรูปจากการจำลองด้วยโปรแกรม.....	34
4.8 การเปลี่ยนแปลงจุดศูนย์กลางมวลเทียบกับฐานตลอดขั้นตอนการเดินของหุ่นยนต์.....	35

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันการค้นคว้าและการวิจัยในเรื่องของหุ่นยนต์นั้นมีอย่างแพร่หลายทั้งทางด้านโครงสร้างทางสรีระ และลักษณะโมเดลทางจลศาสตร์ ของหุ่นยนต์ มีหลายองค์กรที่ได้ให้ความสนใจ ไม่ว่าจะเป็นองค์กรที่เกี่ยวกับการศึกษา ทางด้านการทหาร ตลอดจนการนำหุ่นยนต์ไปใช้เพื่ออำนวยความสะดวกให้มนุษย์มีวิถีความเป็นอยู่ที่สบายขึ้น ไม่ว่าจะเป็นหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ด้วย ล้อ ตีนตะขาบ หุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ด้วย 2 ขา และเคลื่อนที่ด้วยขา หลายๆ ขา เป็นต้น ทั้งนี้เพราะสถาบันต่าง ๆ เหล่านี้ได้สังเกตเห็นถึงประโยชน์ที่จะได้รับทั้งในปัจจุบันและในอนาคต เนื่องจากมีงานวิจัย และความรู้อื่น ๆ อีกหลากหลายประเภทที่รอให้มนุษย์ทำการค้นพบและศึกษาวิจัยเพิ่มเติม อาทิเช่น ทางด้านการค้นคว้าและการสำรวจ กล่าวคือ ได้มีการนำหุ่นยนต์ไปใช้ในงานเหล่านี้เนื่องจากในสภาวะแวดล้อมบางอย่างนั้นมนุษย์ไม่สามารถเข้าไปปฏิบัติงานได้ ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากสภาพที่มีความกดดันอยู่ในช่วงที่มนุษย์ไม่สามารถที่จะทนได้ สภาพที่เต็มไปด้วยก๊าซพิษ สภาพที่ไม่มีอากาศหายใจหรือในอวกาศ ซึ่งนั้นก็หมายถึง สภาพที่มนุษย์คิดว่ามีความเสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายแก่ชีวิต และทรัพย์สิน รวมถึงการค้นคว้าและวิจัยในด้านอาวุธสงครามก็ได้มีการนำเอาหุ่นยนต์ไปใช้ประโยชน์ เช่น การสร้างหุ่นยนต์กู้ระเบิด เป็นต้น ทั้งนี้ การที่หุ่นยนต์จะทำงานได้มีประสิทธิภาพมากแค่ไหนนั้นขึ้นอยู่กับ โครงสร้างของตัวหุ่นยนต์เองว่ามีลักษณะใด ในโครงการนี้สนใจการพัฒนาหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ด้วย 2 ขา เนื่องจากการที่มีลักษณะการเคลื่อนไหวที่มีความใกล้เคียงกับการเคลื่อนที่ของมนุษย์เป็นอย่างมาก การเคลื่อนที่ด้วย 2 ขานั้นมีข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับหุ่นยนต์แบบอื่น อาทิเช่น สามารถเคลื่อนที่ข้ามสิ่งกีดขวางหรือขึ้นลง บันไดได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนาลักษณะการเดินทางของหุ่นยนต์เดิน 2 ขา ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยมี การรับคำสั่งจากมนุษย์ผ่านทางคอมพิวเตอร์

1.2.2 เพื่อศึกษาการใช้ไมโคร โพรเซสเซอร์ ในส่วนของการพัฒนาการเดินทางของหุ่นยนต์เดิน 2 ขา

1.2.3 เพื่อพัฒนาโปรแกรมภาษาวิซวลเบสิก (Visual Basic) และ ภาษา แอสเซมบลี ในการควบคุม หุ่นยนต์ 2 ขา

1.3 ขอบข่ายของโครงการ

1.3.1 สร้างแบบจำลองในส่วนท่อนล่างของหุ่นยนต์เดิน 2 ขา

1.3.2 บังคับหุ่นยนต์ด้วยมนุษย์ โดยผ่านทางแป้นพิมพ์ โดยการก้าวเดินของหุ่นยนต์นั้นจะต้องไม่ ล้มในระยะทางไม่ต่ำกว่า 1 ก้าวเป็นอย่างน้อย

1.3.3 การประยุกต์ใช้ความรู้ในเรื่องของสรีระศาสตร์ของการเดินมาใช้ในการเดินของหุ่นยนต์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีที่ต้องใช้ในการออกแบบและการคำนวณการเคลื่อนที่ โดยการสร้างแนววิถีการเดิน

1.4.2 ออกแบบ โครงสร้างของหุ่นยนต์เคลื่อนที่เดิน 2 ขา โดยให้สอดคล้องกับทฤษฎีที่ได้ศึกษา ค้นคว้ามา

1.4.3 ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับ โปรแกรมที่จะนำมาออกแบบควบคุมการเดิน

1.4.4 เขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการเดินตาม โครงสร้างที่ได้ออกแบบมา

1.4.5 ทดสอบการเดินทางของหุ่นยนต์เคลื่อนที่เดิน 2 ขา โดยการสร้างแนววิถีการเดินและเริ่มจัดทำ รูปเล่มโครงการ

1.4.6 พัฒนาโครงสร้างของหุ่นยนต์เคลื่อนที่เดิน 2 ขา, พัฒนาโปรแกรมที่ออกแบบ และตรวจสอบ ข้อผิดพลาดโดยละเอียด

1.4.7 ทดสอบการเดินทางของหุ่นยนต์เคลื่อนที่เดิน 2 ขาที่เหมาะสมที่สุด

1.4.8 สรุปผลการทำงานและจัดทำรูปเล่มโครงการ

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถเข้าใจหลักการเดินของหุ่นยนต์โดยใช้หลักการทางสรีระวิทยาพื้นฐานที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของมนุษย์

1.6.2 สามารถเขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีและภาษาวิซวลเบสิก ในการควบคุมหุ่นยนต์ได้

1.6.3 สามารถสร้างโครงสร้างของหุ่นยนต์เดินสองขาได้โดยใช้หลักการของข้อต่อและลิงค์

1.7 งบประมาณของโครงการ

1.7.1 ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มรายงาน	1000 บาท
1.7.2 ค่ามอเตอร์ชนิดเซอร์โว (servo motor)	2000 บาท
1.7.3 ค่าใช้จ่ายในการผลิตโครงสร้างของหุ่นยนต์	1000 บาท
รวมเป็นเงิน	4000 บาท(สี่พันบาทถ้วน)



บทที่ 2

ทฤษฎีของหุ่นยนต์เดิน 2 ขา

2.1 ประวัติการพัฒนาหุ่นยนต์ 2 ขา

พัฒนาการของเครื่องจักรกลยังคงดำเนินต่อไปอย่างไม่หยุดยั้งซึ่งแนวความคิดเรื่องหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยใช้สองขาหรือก้าวเดินได้อย่างมนุษย์ได้ถูกพัฒนาขึ้น หุ่นยนต์ลักษณะนี้เรียกว่าฮิวแมนอยด์ (Humanoid)

นักพัฒนาหุ่นยนต์แต่ละคนก็มีจุดมุ่งหมายสุดท้ายที่ไม่แตกต่างกัน นั่นคือการสร้างสิ่งที่มีความคล้ายคลึงมนุษย์ทั่วไปให้มากที่สุดและสามารถรับภาระในการทำงานต่างๆ แทนมนุษย์ได้ แต่วิธีที่จะถึงจุดหมายดังกล่าวแตกต่างกันออกไป ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนที่สุดก็คือหุ่นยนต์ของชาวเยอรมันกับผลงานของญี่ปุ่น

หุ่นยนต์ของญี่ปุ่นจะมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาให้มีลักษณะเหมือนกับมนุษย์มากที่สุด ทั้งเรื่องของรูปร่างและการเคลื่อนไหวโดยมีสิ่งที่สำคัญเป็นอันดับแรกก็คือ การเป็นหุ่นยนต์ที่ต้องเดินได้ด้วยขาสองขาเหมือนคน ซึ่งเทรุ เทเคนากะ (Toru Tekenaka) หัวหน้าวิศวกรของศูนย์วิจัยฮอนดา วาโกะ (Honda Wako) ในประเทศญี่ปุ่น ได้เปิดเผยว่า “จุดมุ่งหมายของการพัฒนาก็คือการประดิษฐ์หุ่นยนต์ที่มีความสามารถและอยู่ร่วมกับคนได้อย่างกลมกลืนที่สุด”

ฮอนด้า (Honda) ได้เริ่มต้นพัฒนาหุ่นยนต์ด้วยเครื่องจักรง่ายๆ ที่สามารถเดินได้คือหุ่นยนต์ที่มีชื่อว่า EO ซึ่งเรียกกันในขณะนั้นว่าเครื่องจักรที่เดินได้ (Walk-Machine) โดยหุ่นจะเดินด้วยการใช้ขาสองข้างเหมือนมนุษย์ซึ่งจะมีระบบการรักษาสมดุลของตัวเองที่มีรูปแบบการควบคุมง่ายมาก ต่อมาฮอนด้า (Honda) ได้นำเทคโนโลยีที่เรียกว่า ไอวอล์ค (I-Walk) เข้ามาใช้กับหุ่นยนต์ที่มีชื่อว่าอะซิโม ซึ่งทำให้ออกจากการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและข้างหลังแล้วมันยังเคลื่อนที่ไปด้านข้าง ก้าวลงบันได เดินในที่ลาดชันและเดินเลี้ยวผ่านมุมต่างๆ ได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังวางแผนสำหรับการเคลื่อนที่ก้าวต่อไปได้เหมือนมนุษย์ทุกอย่างรวมถึงการเปลี่ยนทิศทางในการเคลื่อนที่ที่อะซิโม ก็ทำได้โดยไม่ต้องหยุดก่อนด้วยอะซิโม สามารถพูดทักทายโต้ตอบกับมนุษย์ได้โดยไม่มีคนคอยสั่งการได้อย่างน่าทึ่ง เพราะมีระบบการคำนวณระยะห่างและทิศทางเคลื่อนที่ของวัตถุต่างๆ จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้รับ มาประมวลผลแล้วนำผลที่ได้ไปประกอบการตัดสินใจ นอกจากนั้นอะซิโม ยังสามารถพูดภาษาอังกฤษและภาษาญี่ปุ่นประโยคสั้นๆ ได้อีกด้วย ศาสตราจารย์เรดิเจอร์ ดิลแมน (Ruediger Dillman) จากมหาวิทยาลัยคาร์ลส์รุห์ประเทศเยอรมนีได้ให้ความเห็นว่า สาเหตุที่การพัฒนาสาขาแมคคาทรอนิกส์และวิศวกรรมระบบควบคุม (Mechatronics and Control Engineering)

ทำให้หุ่นยนต์ในญี่ปุ่นก้าวหน้าไปไกลกว่าที่อื่นๆ ในโลกสามารถทำงานหรือเคลื่อนไหวได้เหมือนมนุษย์

ผลงานชิ้นสำคัญของงานค้นคว้าพิเศษนี้ได้แก่การพัฒนาหุ่นยนต์แบบที่มีชื่อว่าอาร์มา (ARMAR) ซึ่งเป็นหุ่นยนต์แบบครึ่งตัวที่ประกอบด้วยแขนสองข้างที่มีมือพร้อมด้วยนิ้วมือห้านิ้ว โดยส่วนหัวของหุ่นมีการติดตั้งเซนเซอร์สำหรับจับภาพและเสียงไว้ด้วย การพัฒนาจะมุ่งเน้นไปที่ส่วนหัวและแขนเป็นลำดับแรกทำให้การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ต้นแบบนี้ยังคงอาศัยล้อ

อย่างไรก็ดีในประเทศเยอรมนีได้พัฒนามาเป็นหุ่นยนต์สองขาแล้วโดยตัวที่น่าสนใจมากที่สุดมีชื่อว่าจอห์นนี่ (Jhonnie) สร้างขึ้นโดยศาสตราจารย์ฟรีดริช ไพเพอร์ (Friedrich Pfeiffer) จากมหาวิทยาลัยเทคนิคอล เมืองมิวนิก และได้มีการนำมาทดสอบในห้องปฏิบัติการของศาสตราจารย์อัลลอย คโนล (Alois Knoll) ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์โดยที่ยังเชื่อมต่อกับหุ่นยนต์เข้ากับสายเคเบิลต่างๆ อยู่

ผลการทดสอบจอห์นนี่ ภายในห้องปฏิบัติการแสดงให้เห็นว่าหุ่นยนต์สามารถจดจำรูปแบบตัวอย่าง และสามารถนำรูปแบบตัวอย่างดังกล่าวไปใช้ในการแก้ไขปัญหาส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นได้ แต่ในภาพรวมแล้วจอห์นนี่ ยังคงต้องได้รับการพัฒนาต่อไปอีกหลายขั้นเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ ซึ่งศาสตราจารย์อัลลอย คโนล (Alois Knoll) ได้คาดหวังว่าการพัฒนาหุ่นยนต์ต่างๆ นั้นจะต้องสามารถนำไปใช้งานได้จริง

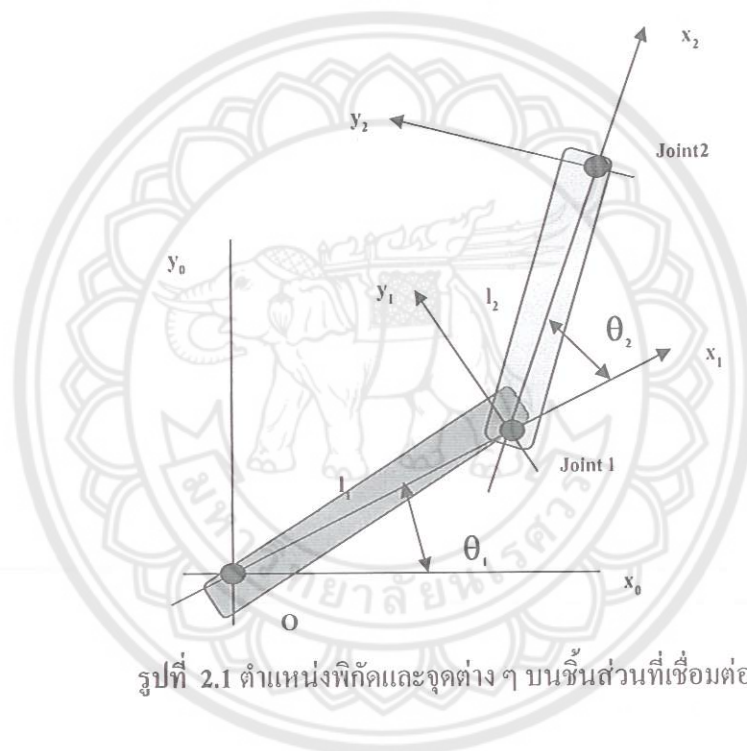
หุ่นยนต์ที่มีรูปร่างและท่าทางเหมือนมนุษย์เพียงอย่างเดียวนั้นยังไม่พอ หุ่นยนต์ที่ขึ้นชื่อว่าเป็นฮิวแมนอยด์ ที่สมบูรณ์จะต้องอยู่ร่วมในสังคมที่มีคนอยู่ด้วยโดยไม่มีข้อจำกัดแม้ในสนามกีฬาที่มีการพัฒนาหุ่นยนต์ให้มีความสามารถด้านนี้ด้วยโซนี่ (Sony) หนึ่งในผู้ผลิตหุ่นยนต์ที่เรารู้จักกันดีสามารถพัฒนาหุ่นยนต์ให้มีความสามารถทางด้านกีฬาอย่างมากได้เป็นผลสำเร็จมีชื่อว่า คิวริโอ ซึ่ง เป็นหุ่นยนต์ตัวแรกที่ไม่เพียงแต่แค่เดินได้เหมือนมนุษย์เท่านั้นแต่ยังสามารถวิ่งได้ด้วย ถ้ามั่นล้ม ก็สามารถลุกขึ้นเองได้ แม้แต่อะซิโม หรือ จอห์นนี่ ก็ยังไม่สามารถทำได้ แต่อย่างไรก็ตามทั้งหมดนั้น หากมีผู้สนับสนุนมากกว่านี้ อนาคตอันใกล้หุ่นตัวอื่นๆ ก็อาจจะวิ่งได้ หรือเล่นกีฬาได้ เช่นเดียวกับคิวริโอ แต่สิ่งหนึ่งที่ทีมงานของญี่ปุ่นยังคิดไม่ถึงก็คือ หุ่นยนต์จอห์นนี่ นั้นกำลังเรียนรู้ที่จะนั่งซึ่งเป็นบทเรียนที่มีความสำคัญมากสำหรับการเริ่มเป็นนักฟุตบอลจากมันั่งข้างสนาม หากหุ่นยนต์ฮิวแมนอยด์ ต้องการเป็นนักฟุตบอลตัวจริง

2.2 คินเมติกส์ (Kinematics)

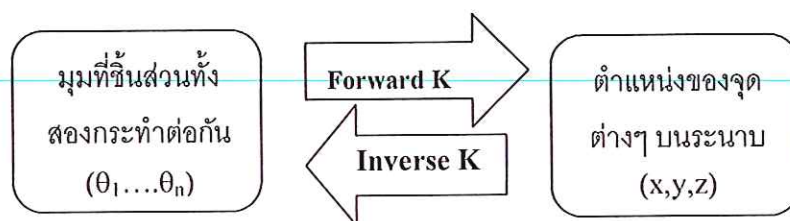
คินเมติกส์ (Kinematics) เป็นการศึกษาถึงลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ของข้อหมุนและการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ โดยไม่มีการพิจารณาแรงกระทำบนวัตถุ

ฟอร์เวิร์ด คินเมติกส์ (Forward Kinematics - angles to position) จะทราบค่าความยาวของชิ้นส่วนที่เชื่อมต่อกัน และมุมที่ชิ้นส่วนทั้งสองกระทำต่อกัน แล้วนำค่าที่มีอยู่ไปคำนวณหาตำแหน่งของจุดต่างๆ บนระนาบ เช่น ในพิกัดฉาก (x,y,z)

อินเวิร์ส คินเมติกส์ (Inverse Kinematics - position to angles) จะเป็นการคำนวณย้อนกลับของฟอร์เวิร์ดคินเมติกส์ นั่นคือ จะทราบขนาดความยาวของชิ้นส่วนที่เชื่อมต่อกัน และตำแหน่งบางตำแหน่งบนตัวหุ่นยนต์ แล้วนำตำแหน่งนี้ไปคำนวณหาค่าของมุมที่ชิ้นส่วนนั้นๆ กระทำต่อกัน

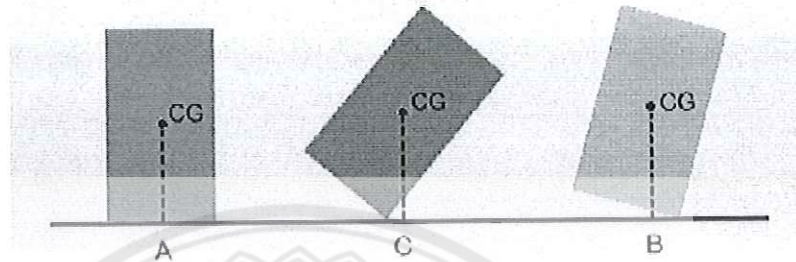


รูปที่ 2.1 ตำแหน่งพิกัดและจุดต่างๆ บนชิ้นส่วนที่เชื่อมต่อกัน



2.3 จุดศูนย์กลางถ่วง (Center of Gravity : CG)

จุดศูนย์กลางถ่วง คือจุดที่เหมือนตำแหน่งที่รวมของน้ำหนักของวัตถุทั้งก้อน ดังแสดงดังรูปที่ 2.1 วัตถุในรูป A วางอยู่ในลักษณะสมดุล เพราะแนวของ CG ที่ตั้งตั้งลงสู่พื้นโลก อยู่ในกรอบฐาน ถ้าโยกวัตถุรูป A ให้อยู่ในตำแหน่ง B มีแนวของจุดศูนย์กลางถ่วง CG ยังอยู่ในฐาน วัตถุจะกลับมาตำแหน่งเดิมตามรูป A ถ้าโยกวัตถุรูป A ให้อยู่ในตำแหน่ง C มีแนวจุดศูนย์กลางถ่วง CG เลยออกจากฐานวัตถุจะล้ม

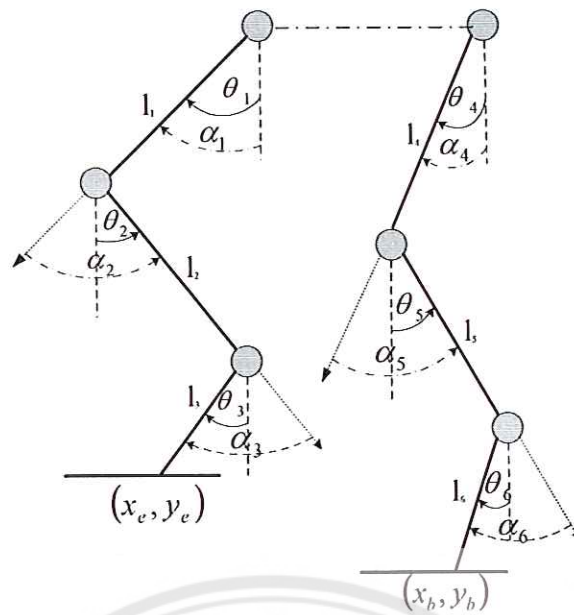


รูปที่ 2.2 ตำแหน่งจุด CG ของวัตถุในแต่ละสถานะ

สรุปได้ว่าวัตถุรูปร่างใดก็ตาม ถ้าแขวนแล้ววัตถุหยุดนิ่งสมดุลของวัตถุนั้นจะเกิดขึ้นได้ต้องให้แนว CG อยู่ในแนวเดียวกับเชือก

2.4 การคำนวณหาระยะห่างระหว่างขา

ในโครงการฉบับนี้ได้ใช้ทฤษฎีของ ฟอร์เวิร์ด คิเนเมติกส์ มาใช้ในการคำนวณหาระยะห่างระหว่างขาโดยทราบค่าความยาวของชิ้นส่วนที่เชื่อมต่อกัน และมุมที่ชิ้นส่วนทั้งสองกระทำต่อกัน แล้วนำค่าไปคำนวณหาตำแหน่งของจุด (x,y) บนระนาบพิกัดฉาก



รูปที่ 2.3 มุมของขาที่ต่างกัน

จากรูปที่ 2.3 โดยใช้พีชคณิตเบื้องต้นจะได้สมการตั้งต้น ดังนี้

$$x_e = x_b + (l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin \theta_2 + l_3 \sin \theta_3) - (l_4 \sin \theta_4 + l_5 \sin \theta_5 + l_6 \sin \theta_6) \quad (2.1)$$

$$y_e = y_b + (l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos \theta_2 + l_3 \cos \theta_3) - (l_4 \cos \theta_4 + l_5 \cos \theta_5 + l_6 \cos \theta_6) \quad (2.2)$$

กำหนดตัวแปรดังนี้

$$\theta_1 \text{ คือ } \alpha_1$$

$$\theta_4 \text{ คือ } \alpha_4$$

$$\theta_2 \text{ คือ } \alpha_1 + \alpha_2$$

$$\theta_5 \text{ คือ } \alpha_4 + \alpha_5$$

$$\theta_3 \text{ คือ } \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$$

$$\theta_6 \text{ คือ } \alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6$$

แทนค่าตัวแปรในสมการ (2.3) และ (2.4)

$$x_e = x_b + [l_1 \sin \alpha_1 + l_2 \sin(\alpha_1 + \alpha_2) + l_3 \sin(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)] - [l_4 \sin(\alpha_4) + l_5 \sin(\alpha_4 + \alpha_5) + l_6 \sin(\alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6)] \quad (2.3)$$

$$y_e = y_b + [l_1 \cos(\alpha_1) + l_2 \cos(\alpha_1 + \alpha_2) + l_3 \cos(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)] - [l_4 \cos(\alpha_4) + l_5 \cos(\alpha_4 + \alpha_5) + l_6 \cos(\alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6)] \quad (2.4)$$

จากสมการสามารถแปลงเป็นสมการเมตริกซ์

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_b \\ y_b \end{bmatrix} + [A] \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \\ l_4 \\ l_5 \\ l_6 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

โดยที่

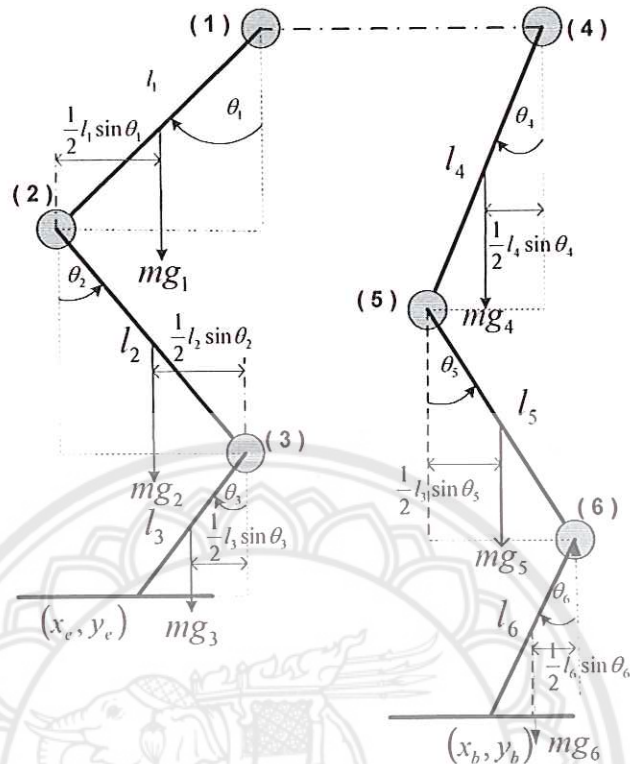
$$[A] =$$

$$\begin{bmatrix} \sin \alpha_1 & \sin(\alpha_1 + \alpha_2) & \sin(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) & (-\sin \alpha_4) & (-\sin(\alpha_4 + \alpha_5)) & (-\sin(\alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6)) \\ \cos \alpha_1 & \cos(\alpha_1 + \alpha_2) & \cos(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) & (-\cos \alpha_4) & (-\cos(\alpha_4 + \alpha_5)) & (-\cos(\alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6)) \end{bmatrix}$$

หมายเหตุ

1. ถ้าค่า x_c ที่ได้มีค่าเป็นบวก แสดงว่าขาที่ใช้เทียบอยู่ข้างหน้าอ้างอิงระยะทางเท่ากับ $|x_c|$ ในแนวแกน x
2. ถ้าค่า x_c ที่ได้มีค่าเป็นลบ แสดงว่าขาที่ใช้เทียบอยู่ข้างหลังอ้างอิงไปในด้านบวกระยะทางเท่ากับ $|x_c|$ ในแนวแกน x
3. ถ้าค่า y_c ที่ได้มีค่าเป็นลบ แสดงว่าขาที่ใช้เทียบอยู่สูงกว่าอ้างอิงระยะทางเท่ากับ $|y_c|$ ในแนวแกน y
4. ถ้าค่า y_c ที่ได้มีค่าเป็นบวก แสดงว่าขาอ้างอิงอยู่สูงกว่าขาที่ใช้เทียบระยะทางเท่ากับ $|y_c|$ ในแนวแกน y

2.5 การคำนวณหาจุดศูนย์กลางถ่วงมวลของหุ่นยนต์



รูปที่ 2.4 จุดศูนย์กลางถ่วงของขาที่อนต่างๆ

จากรูปที่ 2.4 กำหนดให้จุด (x_b, y_b) เป็นจุดหมุนอยู่ที่จุด $(0,0)$ โดยใช้จุดนี้เป็นจุดอ้างอิงพิจารณาแขน l_6 จากรูปที่ 2.4 ระยะในแนวแกนอนของขาที่อน l_6 เท่ากับ $l_6 \sin \theta_6$ หากตำแหน่งจุดหมุน (6) โดยอ้างอิงที่ตำแหน่งจุดหมุน (x_b, y_b) ตำแหน่งจุดหมุนที่ (6) อยู่ ณ ตำแหน่ง $(0 + l_6 \sin \theta_6, 0)$

ในแนวระนาบแกน x ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงมวลขาที่อนที่ 6 อยู่ ณ ตำแหน่ง $(0 + \frac{l_6 \sin \theta_6}{2}, 0)$

พิจารณาแขน l_5

จากรูปที่ 2.4 ระยะในแนวแกนอนของขาที่อน l_5 เท่ากับ $l_5 \sin \theta_5$

หากตำแหน่งจุดหมุน (5) โดยอ้างอิงที่ตำแหน่งจุดหมุน (6) ตำแหน่งจุดหมุนที่ (5) อยู่ ณ ตำแหน่ง $(l_5 \sin \theta_5 + l_6 \sin \theta_6, 0)$

ในแนวระนาบแกน x ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงมวลขาที่อนที่ 5 อยู่ ณ ตำแหน่ง

$$(\frac{l_5 \sin \theta_5}{2} + l_6 \sin \theta_6, 0)$$

พิจารณาแกน I_4

จากรูปที่ 2.4 ระยะในแนวแกนนอนของขาที่อน I_4 เท่ากับ $l_4 \sin \theta_4$

หาค่าแห่งจุดหมุน (4) โดยอ้างอิงที่ตำแหน่งจุดหมุน (5) ตำแหน่งจุดหมุน (4) อยู่ ณ ตำแหน่ง

$$((l_4 \sin \theta_4) + (l_5 \sin \theta_5) + (l_6 \sin \theta_6), 0)$$

ในแนวระนาบแกน x ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงมวลขาที่อนที่ 4 อยู่ ณ ตำแหน่ง

$$\left(\frac{(l_4 \sin \theta_4)}{2} + (l_5 \sin \theta_5) + (l_6 \sin \theta_6), 0 \right)$$

พิจารณาแกน I_3

จากรูปที่ 2.4 ระยะในแนวแกนนอนของขาที่อน I_3 เท่ากับ $l_3 \sin \theta_3$

หาค่าแห่งจุดหมุน (3) โดยอ้างอิงที่ตำแหน่งจุดหมุน (x_c, y_c) ตำแหน่งจุดหมุน (3) อยู่ ณ ตำแหน่ง

$$((-x_c) + l_3 \sin \theta_3, 0)$$

ในแนวระนาบแกน x ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงมวลขาที่อนที่ 3 อยู่ ณ ตำแหน่ง

$$\left((-x_c) + \frac{l_3 \sin \theta_3}{2}, 0 \right)$$

พิจารณาแกน I_2

จากรูปที่ 2.4 ระยะในแนวแกนนอนของขาที่อน I_2 เท่ากับ $l_2 \sin \theta_2$

หาค่าแห่งจุดหมุน (2) โดยอ้างอิงที่ตำแหน่งจุดหมุน (3) ตำแหน่งจุดหมุน (2) อยู่ ณ ตำแหน่ง

$$((l_2 \sin \theta_2) + ((-x_c) + l_3 \sin \theta_3), 0)$$

ในแนวระนาบแกน x ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงมวลขาที่อนที่ 2 อยู่ ณ ตำแหน่ง

$$\left(\frac{(l_2 \sin \theta_2)}{2} + ((-x_c) + l_3 \sin \theta_3), 0 \right)$$

พิจารณาแกน I_1

จากรูปที่ 2.4 ระยะในแนวแกนนอนของขาที่อน I_1 เท่ากับ $l_1 \sin \theta_1$

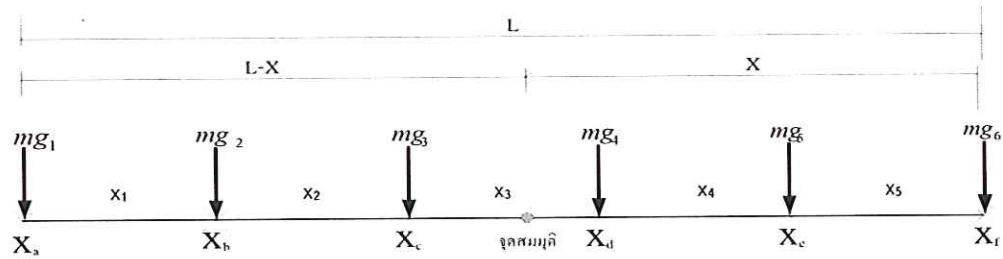
หาค่าแห่งจุดหมุน (1) โดยอ้างอิงที่ตำแหน่งจุดหมุน (2) ตำแหน่งจุดหมุนที่ (1) อยู่ ณ ตำแหน่ง

$$((l_1 \sin \theta_1) + (l_2 \sin \theta_2) + ((-x_c) + l_3 \sin \theta_3), 0)$$

ในแนวระนาบแกน x ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงมวลขาที่อนที่ 1 อยู่ ณ ตำแหน่ง

$$\left(\frac{(l_1 \sin \theta_1)}{2} + ((l_2 \sin \theta_2) + ((-x_c) + l_3 \sin \theta_3)), 0 \right)$$

นำค่า จุดศูนย์กลางมวลของขาแต่ละท่อน ไปเขียนบนระนาบเส้นจำนวนจริงในแนวแกน x



รูปที่ 2.5 ระนาบเส้นจำนวนจริง

จากรูปที่ 2.5 ทำการหาระยะห่างระหว่างจุด โดยกำหนดให้

$$x_1 = \text{ระยะห่างระหว่าง } X_a \text{ กับ } X_b$$

$$x_2 = \text{ระยะห่างระหว่าง } X_b \text{ กับ } X_c$$

$$x_3 = \text{ระยะห่างระหว่าง } X_c \text{ กับ } X_d$$

$$x_4 = \text{ระยะห่างระหว่าง } X_d \text{ กับ } X_e$$

$$x_5 = \text{ระยะห่างระหว่าง } X_e \text{ กับ } X_f$$

ทำการสมมติจุดหมุนขึ้นมาหนึ่งจุดเพื่อเป็นจุดหมุน
จากทฤษฎีบทโมเมนต์

$$\text{โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา} = \text{โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา}$$

(2.6)

กำหนดให้

m คือ มวลของขาแต่ละท่อน

$g_1, g_2, g_3, g_4, g_5, g_6$ คือ แรงโน้มถ่วงของโลก

ทำให้ได้สมการ

$$\begin{aligned} mg_1(L-X) + mg_2((L-X) - x_1) + mg_3((L-X) - x_1 - x_2) \\ = mg_6(X) + mg_5(X - x_5) + mg_4(X - x_5 - x_4) \end{aligned} \quad (2.7)$$

นำค่า mg หารทั้งสองข้างของสมการที่ (2.7) เนื่องจากมวลของขาแต่ละท่อนมีค่าเท่ากันหมด
 mg จึงหักล้างกันทุกค่า จึงทำให้ได้สมการ

$$\begin{aligned} (L-X) + ((L-X) - x_1) + ((L-X) - x_1 - x_2) \\ = X + (X - x_5) + (X - x_5 - x_4) \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$3(L - X) - 2(x_1) - x_2 = 3X - 2(x_5) - (x_4) \quad (2.9)$$

$$3L - 3X - 3X = -2(x_5) - (x_4) + 2(x_1) + (x_2) \quad (2.10)$$

จากสมการที่ (2.10) กำหนดให้

L คือ ระยะห่างของตำแหน่งจุดที่มีค่ามากที่สุดกับตำแหน่งจุดที่มีค่าน้อยที่สุดบนระนาบเส้น
จำนวนจริง $(x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5)$

X คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางถ่วงมวลรวมของหุ่นยนต์ถึงตำแหน่งจุดที่มีค่ามากที่สุดบน
ระนาบเส้นจำนวนจริง

นำค่า L แทนในสมการที่ (2.10) จะทำให้ได้สมการ

$$-6X = 2x_1 + x_2 - x_4 - 2x_5 - 3(x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5) \quad (2.11)$$

$$-6X = -x_1 - 2x_2 - 3x_3 - 4x_4 - 5x_5 \quad (2.12)$$

นำ (-1) คูณทั้งสองข้างของสมการที่ (2.12) ทำให้ได้สมการ

$$6X = x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 4x_4 + 5x_5 \quad (2.13)$$

จากสมการที่ (2.13) นำ 6 หารทั้งสองข้างของสมการจะได้ว่า

$$X = \frac{1}{6}x_1 + \frac{1}{3}x_2 + \frac{1}{2}x_3 + \frac{2}{3}x_4 + \frac{5}{6}x_5 \quad (2.14)$$

ดังนั้น

$$\text{ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงมวลของหุ่นยนต์ } (x_{cg}) = \text{ตำแหน่งของจุด } x_r - X \quad (2.15)$$

2.6 การวิเคราะห์ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงมวลของหุ่นยนต์

2.6.1 กรณีค่า x_c มีค่าเป็นบวก

$x_c < x_{cg} < x_b$ คือ ตำแหน่งที่จุดศูนย์กลางถ่วงมวลของหุ่นยนต์อยู่ภายในฐานทำให้หุ่นยนต์
สามารถคงตัวอยู่ได้

$x_b < x_{cg}$ คือ ตำแหน่งที่จุดศูนย์กลางถ่วงมวลของหุ่นยนต์อยู่ภายนอกฐานทำให้หุ่นยนต์ไม่
สามารถคงตัวอยู่ได้

$x_{cg} < x_c$ คือ ตำแหน่งที่จุดศูนย์กลางถ่วงมวลของหุ่นยนต์อยู่ภายนอกฐานทำให้หุ่นยนต์ไม่

สามารถคงตัวอยู่ได้

2.6.2 กรณีค่า x_c มีค่าเป็นลบ

$x_b < x_{cg} < x_c$ คือ ตำแหน่งที่จุดศูนย์กลางมวลของหุ่นยนต์อยู่ภายในฐานทำให้หุ่นยนต์สามารถคงตัวอยู่ได้

$x_c < x_{cg}$ คือ ตำแหน่งที่จุดศูนย์กลางมวลของหุ่นยนต์อยู่นอกฐานทำให้หุ่นยนต์ไม่สามารถคงตัวอยู่ได้

$x_{cg} < x_b$ คือ ตำแหน่งที่จุดศูนย์กลางมวลของหุ่นยนต์อยู่นอกฐานทำให้หุ่นยนต์ไม่สามารถคงตัวอยู่ได้

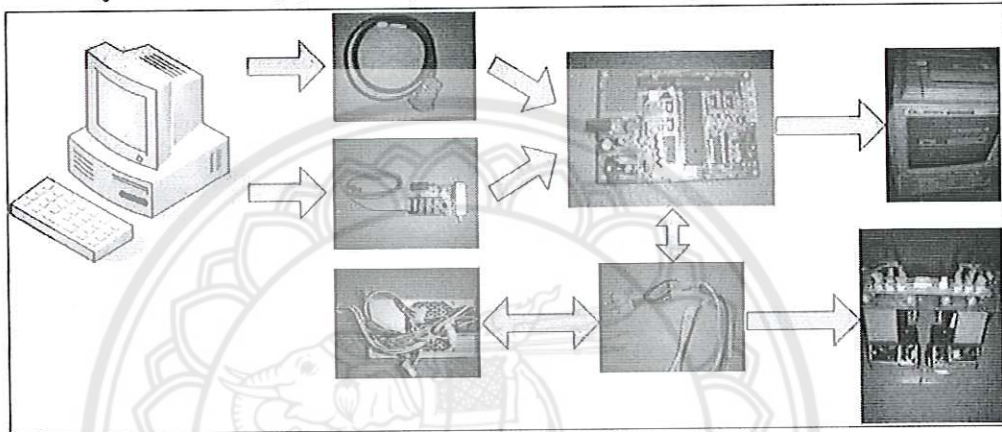
จากที่ได้ทำการศึกษาทฤษฎีบทที่ได้ทำการกล่าวมาข้างต้นทำให้สามารถคำนวณค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลเพื่อทำการวิเคราะห์การทรงตัวของหุ่นยนต์ได้ ในบทต่อไปจะกล่าวถึงขั้นตอนในการดำเนินงานโดยใช้ทฤษฎีบทที่กล่าวมาในข้างต้นมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงาน



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

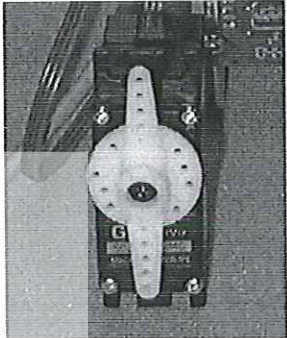
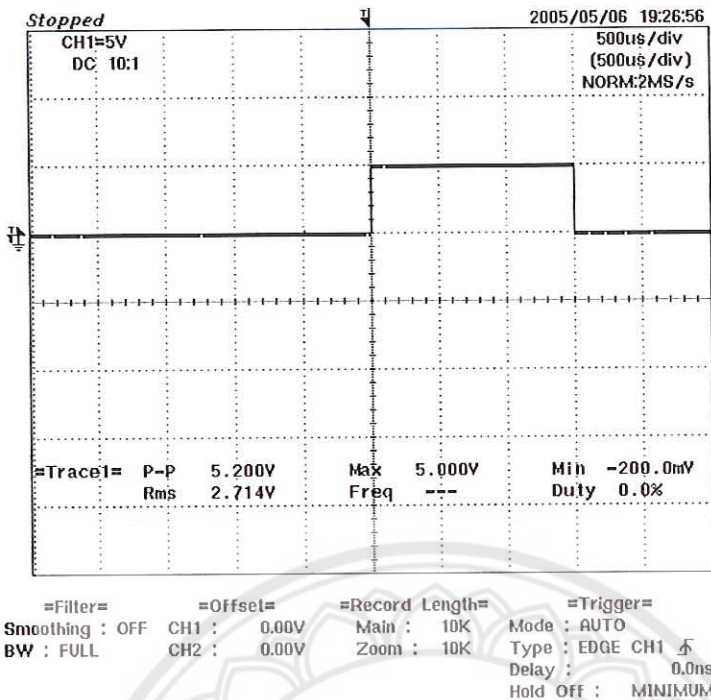
ในรูปที่ 3.1 คือขั้นตอนการดำเนินงาน เริ่มต้นโดยใช้คอมพิวเตอร์ดาวน์โหลดโปรแกรมลงบอร์ดควบคุมจากนั้นใช้โปรแกรมวิซวลเบสิก ในคอมพิวเตอร์สั่งทำทางต่างๆ ผ่านสาย RS-232 ขั้นตอนต่อไปบอร์ดจะทำการประมวลผลแล้วส่งสัญญาณออกทางพอร์ต C0-C5 ซึ่งในการทดลองครั้งแรกจะทำการวัดสัญญาณ โดยออสซิลโลสโคปว่าสัญญาณที่ได้มีความถูกต้องหรือไม่ถ้าขั้นตอนนี้มีความถูกต้องก็จะส่งสัญญาณไปยังหุ่นยนต์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากเพาเวอร์ซัพพลาย



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

ภายในตัวเซอร์โวมอเตอร์ประกอบด้วยแผงควบคุมซึ่งทำหน้าที่รับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ มาควบคุมการหมุนหรือเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ชุดเกียร์ (Gear) ที่ติดตั้งไว้ในประกอบด้วยเฟืองเหล็ก ซึ่งทำหน้าที่เพิ่มกำลังหรือแรงบิดให้กับตัวเซอร์โวมอเตอร์ การรับสัญญาณพัลส์ จากไมโครคอนโทรลเลอร์ ใช้ไฟได้ตั้งแต่ 4.8 - 6 V DC กินกระแส 9.7 mA. (Idle) 130 mA. เซอร์โวมอเตอร์จะรับสัญญาณพัลส์ เพื่อใช้ในการกำหนดการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ ถ้าสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้าง 1.5 ms จะทำให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนกลับมาอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลาง (Center) เมื่อสัญญาณพัลส์มีความกว้างเพิ่มมากขึ้นเช่น 1.8, 1.9, 2.0, 2.1 ms เซอร์โวมอเตอร์ก็จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา เมื่อเพิ่มความกว้างของช่วงพัลส์ ไปจนถึง 2.5 ms ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เซอร์โวมอเตอร์จะหมุนไปที่ตำแหน่งซ้ายสุด (Full Left) ในทำนองกลับกันถ้าต้องการให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา ก็ต้องลดช่วงพัลส์ให้แคบลงไปเรื่อยๆ จนไปถึง 0.5 ms เซอร์โวมอเตอร์ก็จะหมุนมาทาง ขวาสุด (Full Right)



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างพัลส์ที่ป้อนเข้าเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อทำการหมุนไปที่ตำแหน่ง 0 องศา

ในรูปที่ 3.2 จากรูปกราฟที่ได้ เป็นกราฟที่ได้จากโปรแกรม PIC Basic Pro

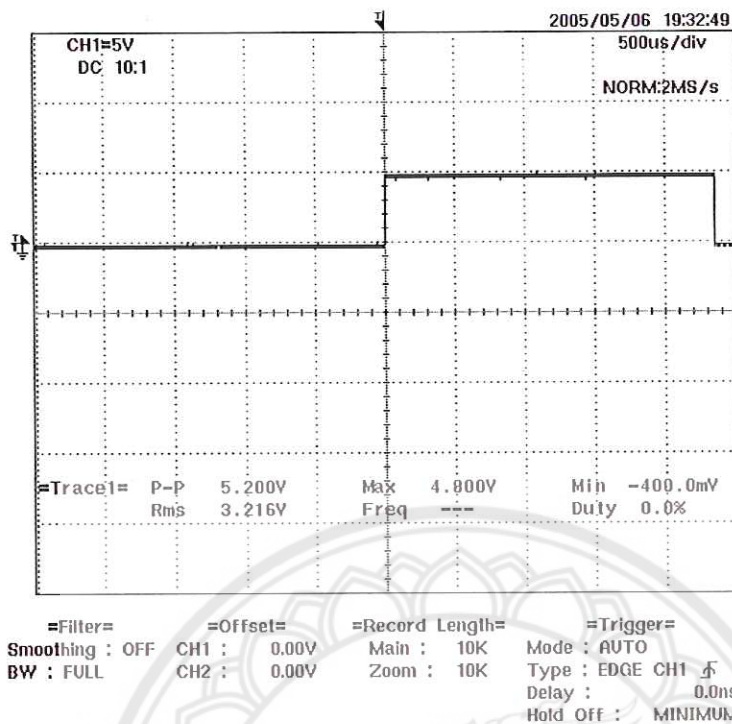
```

INCLUDE "modedefs.bas"
DEFINE OSC 4
TRISC =%00000000
Low PORTC
C VAR PORTC

main:
    C = 1
    PauseUs 1500
    C = 0
    PauseUs 18500
    
```

GoTo main

ซึ่งเป็นการสั่งให้ port c.1 มีเอาต์พุตออกเป็นลอจิก “1” เป็นเวลา 1500 ไมโครวินาที และสั่งให้ port c.1 มีเอาต์พุตออกเป็นลอจิก “0” เป็นเวลา 18500 ไมโครวินาที ซึ่งจะได้พัลส์ที่มีคาบ 20 มิลลิวินาที ผลที่ได้คือเซอร์โวมอเตอร์ จะอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลาง หรือ ศูนย์องศา



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างพัลส์ที่ป้อนเข้าเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อทำการหมุนไปที่ตำแหน่ง 90 องศา(ทวนเข็มนาฬิกา)

ในรูปที่ 3.3 จากรูปกราฟที่ได้ เป็นกราฟที่ได้จาก โปรแกรม PIC Basic Pro ดังนี้

```
INCLUDE "modedefs.bas"
```

```
DEFINE OSC 4
```

```
TRISC =%00000000
```

```
Low PORTC
```

```
C VAR PORTC
```

```
main:
```

```
    C = 1
```

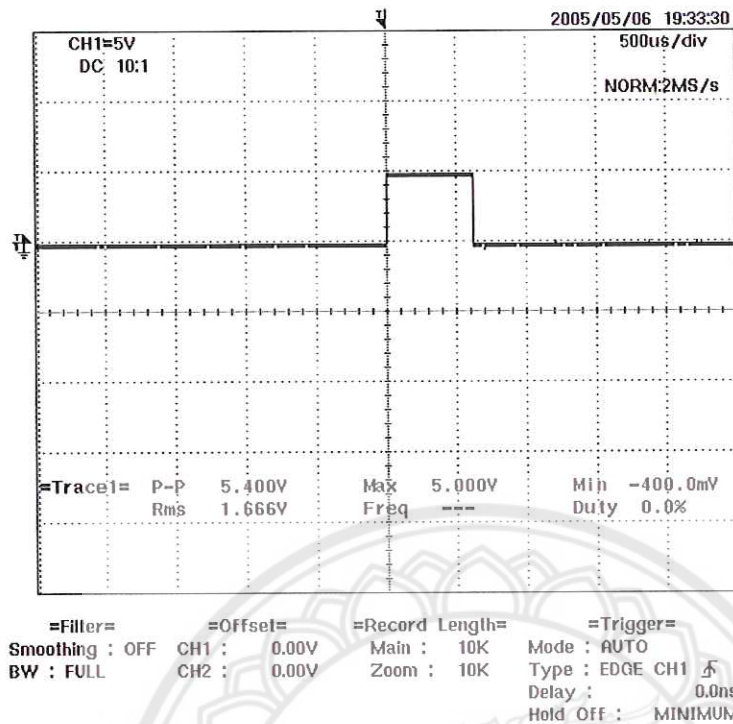
```
    PauseUs 2300
```

```
    C = 0
```

```
    PauseUs 17700
```

```
    GoTo main
```

ซึ่งเป็นการสั่งให้ port c.1 มีเอาต์พุตออกเป็นลอจิก “1” เป็นเวลา 2300 ไมโครวินาที และสั่งให้ port c.1 มีเอาต์พุตออกเป็นลอจิก “0” เป็นเวลา 17700 ไมโครวินาที ซึ่งจะได้พัลส์ที่มีคาบ 20 มิลลิวินาที ผลที่ได้คือเซอร์โวมอเตอร์ จะหมุนทวนเข็มนาฬิกาไปเป็นมุม 90 องศา



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างพัลส์ที่ป้อนเข้าเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อทำการหมุนไปที่ตำแหน่ง 90 องศา(ตามเข็มนาฬิกา)

ในรูปที่ 3.4 จากรูปกราฟที่ได้ เป็นกราฟที่ได้จากโปรแกรม PIC Basic Pro ดังนี้

```
INCLUDE "modedefs.bas"
```

```
DEFINE OSC 4
```

```
TRISC =%00000000
```

```
Low PORTC
```

```
C VAR PORTC
```

```
main:
```

```
    C = 1
```

```
    PauseUs 625
```

```
    C = 0
```

```
    PauseUs 19375
```

```
GoTo main
```

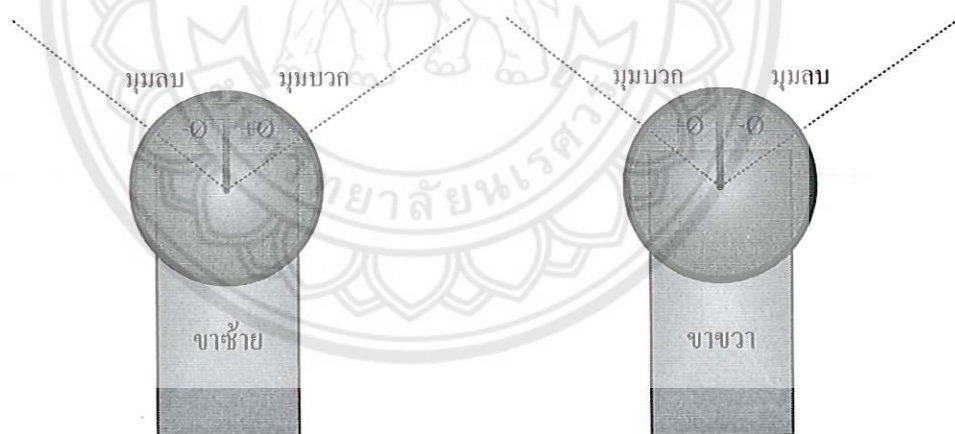
ซึ่งเป็นการสั่งให้ port c.1 มีเอาต์พุตออกเป็นลอจิก "1" เป็นเวลา 625 ไมโครวินาที และสั่งให้ port c.1 มีเอาต์พุตออกเป็นลอจิก "0" เป็นเวลา 19375 ไมโครวินาที ซึ่งจะได้พัลส์ที่มีคาบ 20 มิลลิวินาที ผลที่ได้คือเซอร์โวมอเตอร์ จะหมุนตามเข็มนาฬิกาไปเป็นมุม 90 องศา

จากการทดลองทั้งสามค่ามุม จะเห็นได้ว่ามีความคลาดเคลื่อนในการควบคุมตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์ในแต่ละทิศทาง เนื่องจากค่าที่สั่งในแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน อีกทั้งการวัดมุมเซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัวก็มีค่าไม่เท่ากันด้วย ดังนั้น ในโครงการนี้จึงได้ทำการทดลองเพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการใช้งานจริงของเซอร์โวมอเตอร์ โดยทำการป้อนค่าเวลาที่เซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัวใช้เพื่อทำการเคลื่อนที่ไปในแต่ละ 1 องศาได้ผลดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าเวลาที่สั่งให้เซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัวหมุนไป 1 องศาในทิศทางต่างๆ กัน

	ตำแหน่งท่อนขา	มุมบวก (μs)	มุมลบ (μs)
ขาขวา	ท่อนบน	9.1	9.4
	ท่อนกลาง	9.5	9.6
	ท่อนล่าง	9.3	9.4
ขาซ้าย	ท่อนบน	9.7	9.7
	ท่อนกลาง	8.9	8.6
	ท่อนล่าง	9.3	9.3

มุมบวกและมุมลบของเซอร์โวมอเตอร์ที่ติดตั้งในขาแต่ละข้าง นิยามดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 มุมของเซอร์โวมอเตอร์ ตามที่นิยามไว้

จากวิธีการดำเนินงานที่กล่าวมาข้างต้นในบทนี้ได้ทำการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์โดยควบคุมผ่านทางคอมพิวเตอร์และทำให้ทราบถึงค่าการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ที่แท้จริงในแต่ละตัวซึ่งผลการประยุกต์การดำเนินงานจะทำการแสดงในบทที่ 4 ต่อไป

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองทั้งหมดในโครงการนี้ ซึ่งแบ่งออกเป็นส่วนการวิเคราะห์โปรแกรม MATLAB เพื่อคำนวณหาจุดศูนย์กลางถ่วงมวล เพื่อตรวจสอบว่าการป้อนค่ามุมดังกล่าวจะทำให้หุ่นยนต์ล้มหรือไม่และในหัวข้อ 4.2 จะแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างรูปจากการจำลองการเดินด้วยคอมพิวเตอร์และจากการทดลองบนหุ่นยนต์จริง

4.1 การใช้ MATLAB ในการคำนวณหา จุดศูนย์กลางถ่วงมวล

หลักการการทำงานของโปรแกรม คือในโปรแกรมจะรับค่าจากมุมทั้ง 6 มุม ที่ป้อนเข้ามาเพื่อหาลักษณะของขา หลังจากนั้นทำการคำนวณหาจุดศูนย์กลางถ่วงมวลของแต่ละลิงค์ (ดังที่ได้อธิบายมาแล้วในบทที่ 2) แล้วนำมาพล็อตค่าในแนวแกน X เพื่อทำการเทคโมเมนต์ ซึ่งในส่วนนี้จะต้องแบ่งค่าในแนวแกน X ที่ได้เป็นส่วนเล็กๆ และจากจุดในแต่ละจุดที่แบ่งได้ต้องทำการเช็คโมเมนต์ว่าเท่ากับศูนย์หรือไม่ ถ้ายังไม่เท่ากับศูนย์ก็ทำไปจนกว่าจะพบ แล้วส่งค่าจุดนั้นออกมาซึ่งก็คือ จุดศูนย์กลางถ่วงมวลของหุ่นยนต์

ตัวอย่างการคำนวณและค่าผลลัพธ์ที่แสดงบน MATLAB

```
X_axis = 1.8379 2.3662 4.4915 1.0673 -0.3951 0.1961
```

```
RANG = 4.8866
```

```
Xe = 4.6093
```

```
check_moment = 6.9885e-004
```

```
Xselect = 1.5939
```

```
count = 19891
```

```
center of gravity on base
```

X_axis คือ จุดศูนย์กลางถ่วงมวลทั้ง 6 จุด

Xe คือ ช่วงความกว้างของฐาน

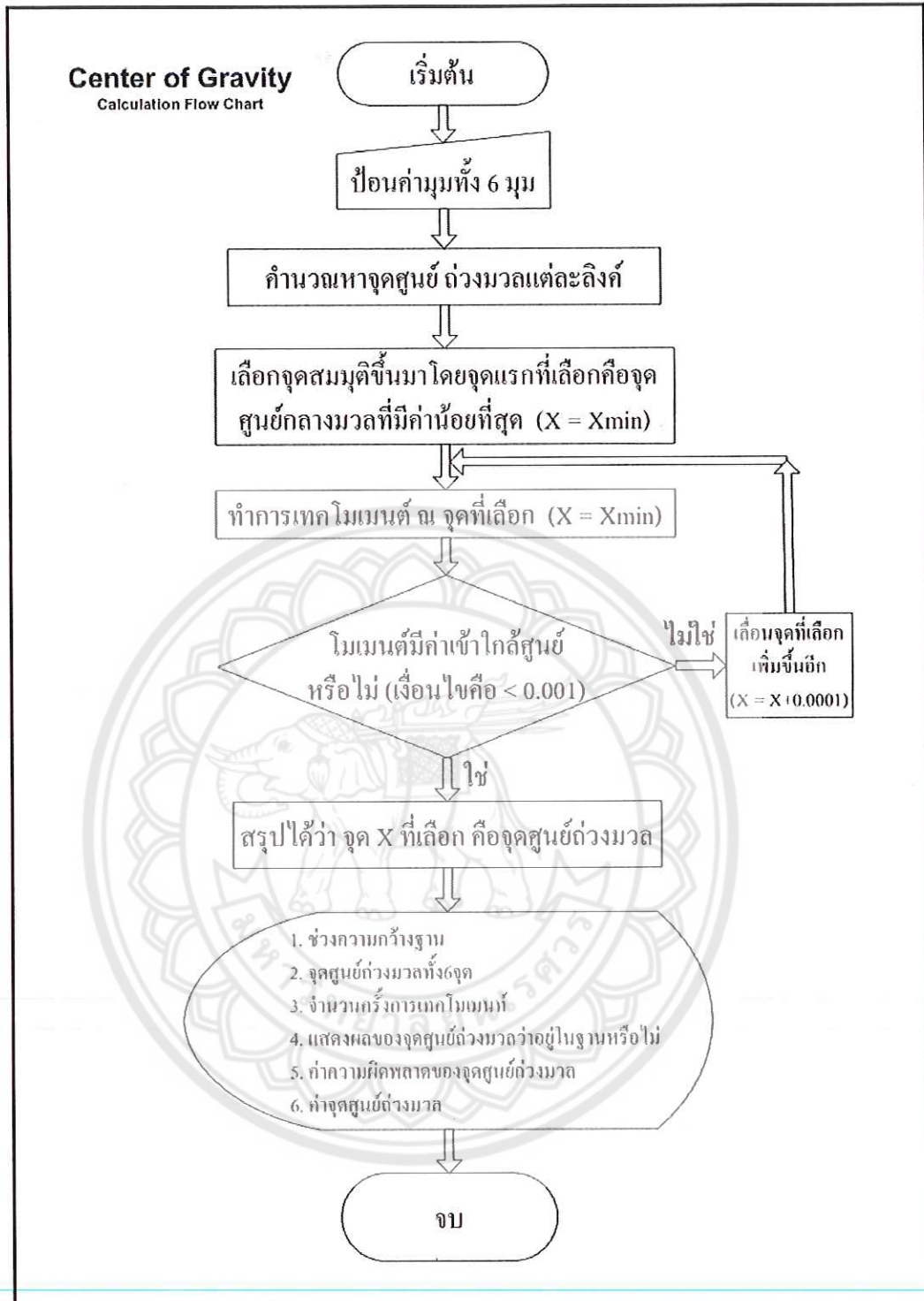
count คือ จำนวนครั้งที่ทำการเทคโมเมนต์

RANG คือ ช่วงที่ต้องทำการเทคโมเมนต์

Xselect คือ ค่าของจุดศูนย์กลางถ่วงมวลที่ได้

check_moment คือ ค่าความผิดพลาดของโมเมนต์ในตัวอย่างคือ 6.9885 ไมโครเมตร

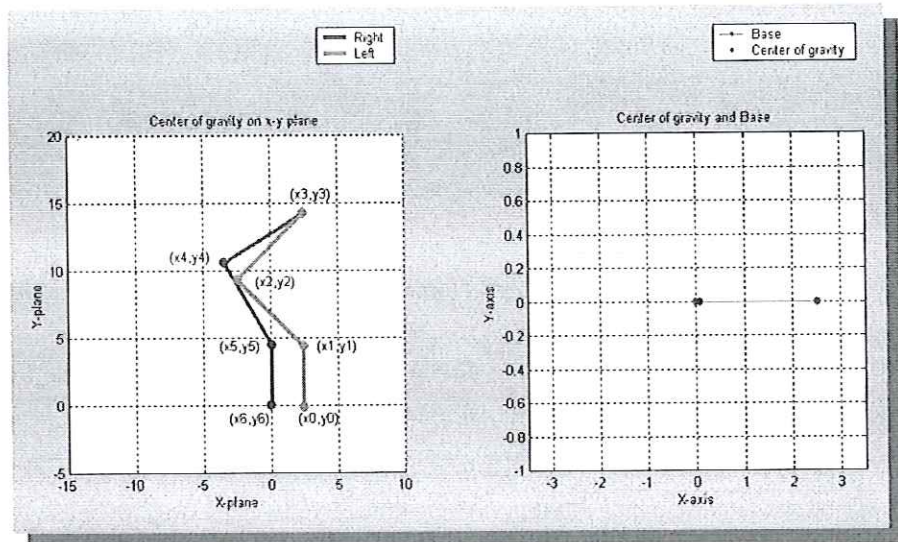
center of gravity on base คือ ข้อความที่แสดงว่าจุดศูนย์กลางถ่วงมวลอยู่ในฐานหรือไม่ ผลของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 4.2



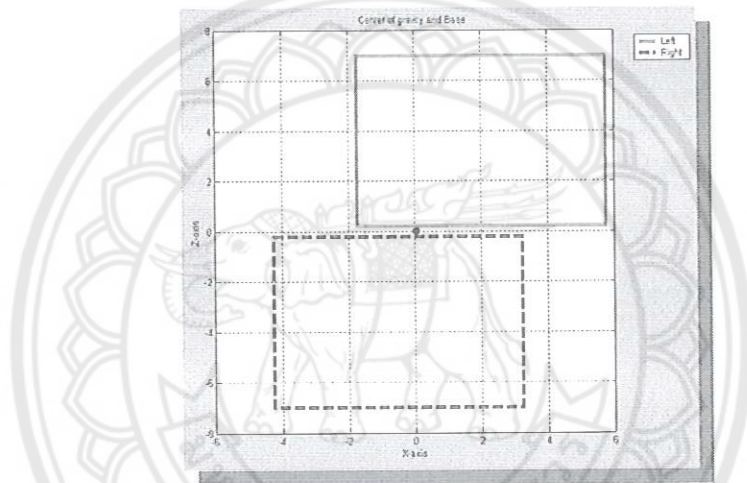
รูปที่ 4.1 ไฟล์ชาร์ทขั้นตอนการทำงานในโปรแกรม MATLAB

ในรูปที่ 4.1 เป็นโฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคำนวณหาจุดศูนย์กลางถ่วงมวล ด้วยโปรแกรม MATLAB โดยขั้นตอนแรกทำการป้อนค่ามุมทั้ง 6 มุม แล้วโปรแกรมจะทำการคำนวณหาจุดศูนย์กลางถ่วงมวลในแต่ละลิงค์ ต่อไปโปรแกรมจะเลือกจุดสมมุติขึ้นมาโดยเลือกตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงมวลที่มีค่าน้อยที่สุดขึ้นเป็นตำแหน่งแรก เพื่อทำการเทคโมเมนต์ ณ ตำแหน่งนั้น แล้วเข้าสู่ขั้นตอนตรวจสอบเงื่อนไขว่าโมเมนต์ ณ ตำแหน่งนั้นเป็น 0 หรือไม่ (ในโปรแกรมเราใช้ค่า 0.001 แทนค่า 0 เนื่องจากการใช้ค่าศูนย์จะทำให้การทำงานของโปรแกรมมีเวลานาน) ถ้าเงื่อนไขไม่เป็นจริงโปรแกรมจะทำการสุ่มเลือกตำแหน่งที่ใช้เทคโมเมนต์ตำแหน่งต่อไป (ในโปรแกรมจะเพิ่มค่าตำแหน่งที่ใช้เทคโมเมนต์ขึ้นอีก 0.0001) ถ้าเงื่อนไขเป็นจริง จะได้ว่าตำแหน่งที่เลือกคือจุดศูนย์กลางถ่วงมวลของหุ่นยนต์ แล้วโปรแกรมก็จะทำการแสดงค่าต่างๆ ที่ได้คำนวณออกมาดังในโฟลว์ชาร์ท





(ก)

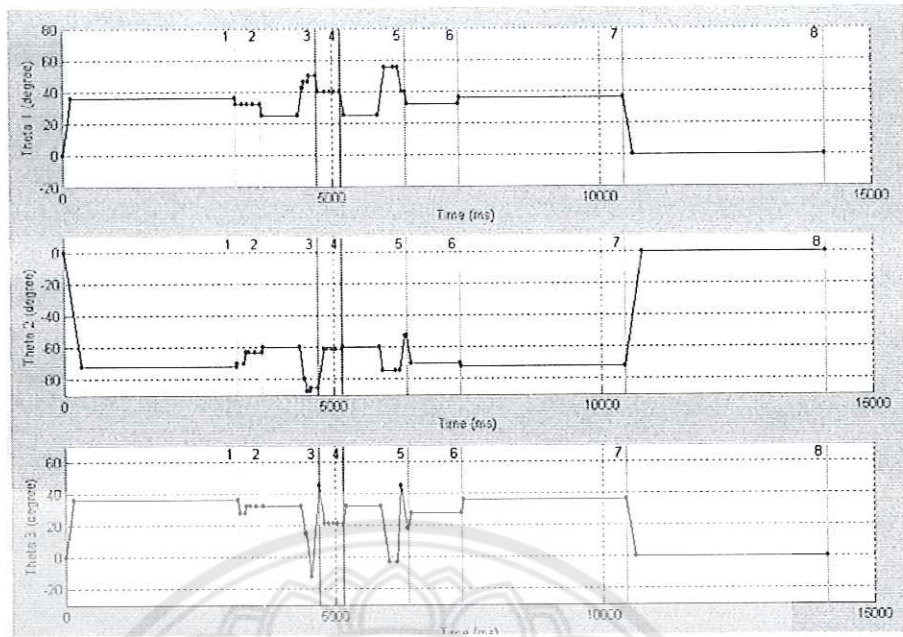


(ข)

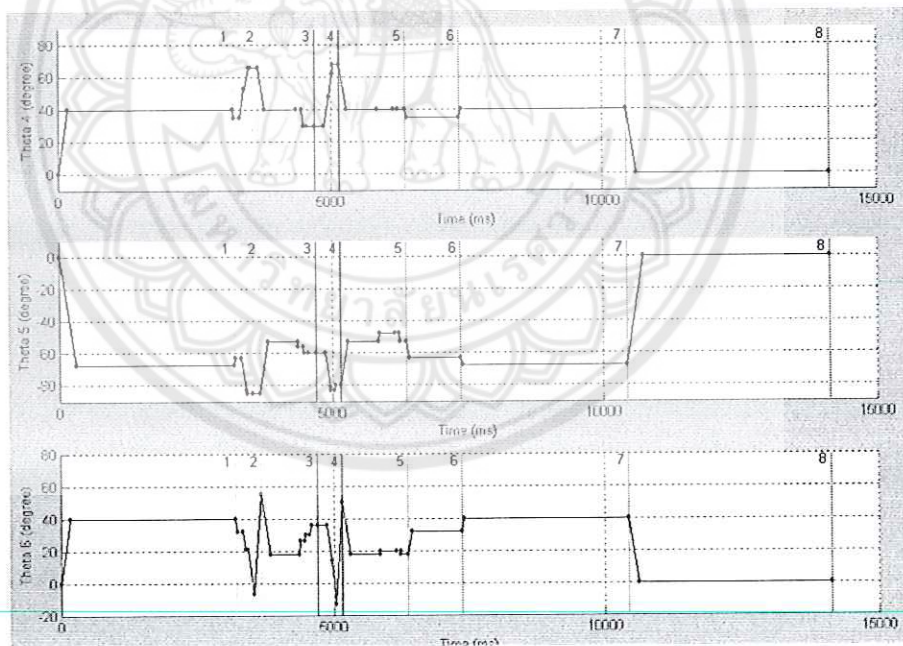
รูปที่ 4.2 (ก) จุดศูนย์กลางมวลที่คำนวณได้เทียบกับฐาน
(ข) จุดศูนย์กลางมวลเมื่อมองจากด้านล่าง

ในรูปที่ 4.2 (ก) รูปด้านซ้ายแสดงลักษณะท่าทางของหุ่นยนต์ในแนวแกน X-Y หลังจากการป้อนค่ามุมทั้ง 6 มุม และรูปด้านขวาแสดงจุดศูนย์กลางมวลของหุ่นยนต์ในระนาบ X-Y ในรูปที่ 4.2 (ข) แสดงจุดศูนย์กลางมวลของหุ่นยนต์เปรียบเทียบกับเท้าในระนาบ X-Z โดยที่เส้นประหมายความว่าเท้าข้างนั้นไม่ได้วางอยู่บนพื้น

การกำหนดมุมการเดินในแต่ละขั้นของหุ่นยนต์ จะพิจารณาจากการที่จุดศูนย์กลางมวลในตำแหน่งพิกัดของหุ่นยนต์จะต้องไม่ตกนอกฐานเท่านั้น ซึ่งในโครงการนี้ได้กำหนดมุมการทำงานของแต่ละข้อต่อด้วยรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 มุมตลอดการเดินของขาข้างขวา แต่ละท่อนขาเรียงลำดับจากบนลงล่าง

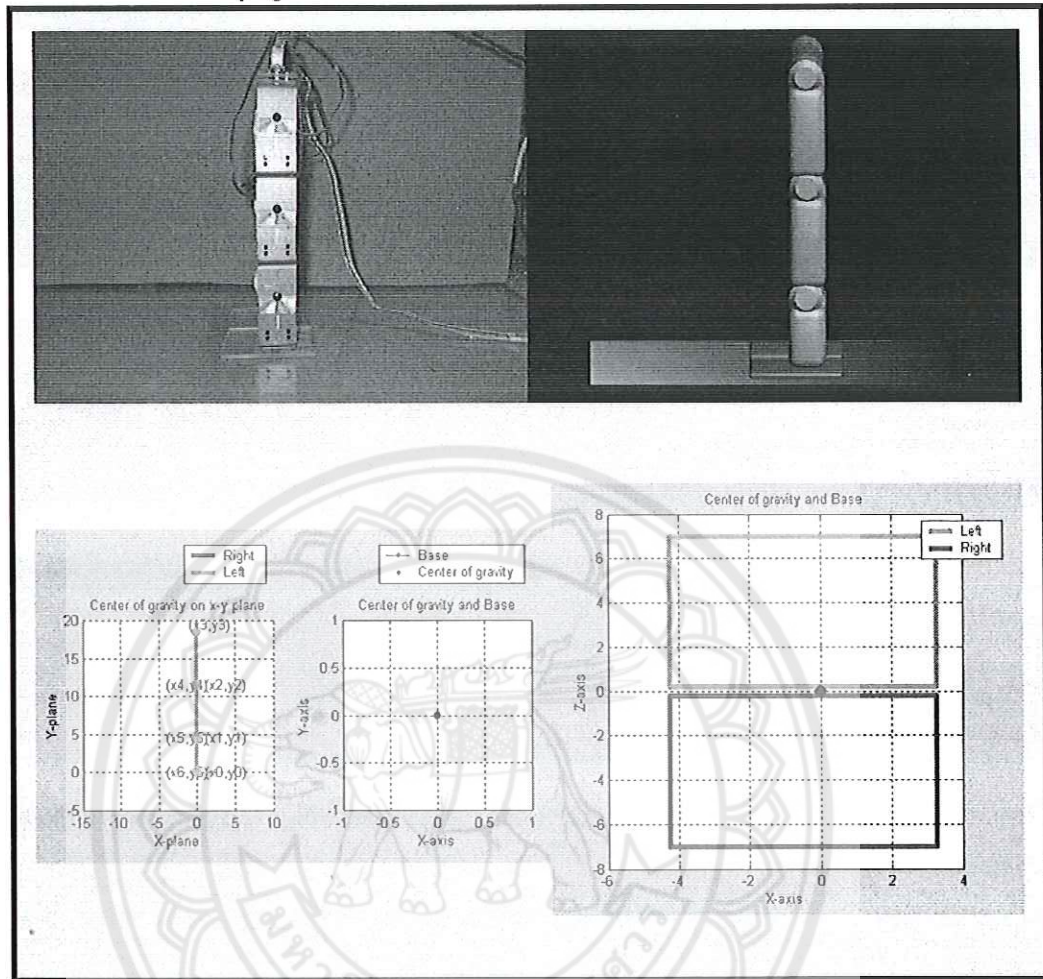


รูปที่ 4.4 มุมตลอดการเดินของขาข้างซ้าย แต่ละท่อนขาเรียงลำดับจากบนลงล่าง

ในรูปที่ 4.3 และ รูปที่ 4.4 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่ใช้ควบคุมการเดินของหุ่นยนต์และเวลาที่ใช้ในแต่ละท่า โดยหุ่นยนต์จะทำการเดินจากท่ายืนตรงแล้วเดิน 1 ก้าวโดยก้าวเท้าซ้ายก่อนแล้วกลับมายืนตรง จะเห็นได้ว่าเวลาที่ใช้เป็นช่วงเวลาที่สั้นๆ เนื่องจากว่า เราใช้เซอร์โวมอเตอร์เพียง 6 ตัวเท่านั้น ซึ่งไม่เพียงพอที่จะสามารถรักษาจุดศูนย์กลางถ่วงมวลให้อยู่ในฐานได้สำหรับท่าที่ใช้ขาข้างเดียวเป็นฐาน ดังนั้นบางท่าจึงต้องใช้ท่าอื่นๆ มารองรับการรักษาจุดศูนย์กลางถ่วงมวลให้อยู่ในฐานโดยเร็วที่สุด ดังเช่นรูปที่ 4.3 มุม θ_3 และรูปที่ 4.4 มุม θ_6 ซึ่งเป็นมุมของข้อเท้าถือว่าเป็นมุมที่มีความสำคัญที่สุด เนื่องจากว่าท่าทางการเดินของหุ่นยนต์นั้นจะใช้ปลายเท้าสัมผัสพื้นแล้วยกส้นเท้าขึ้น จากท่านี้เองจะทำให้จุดศูนย์กลางถ่วงมวลของเท้าข้างที่ทำเช่นนั้น นำหน้าข้างที่สัมผัสพื้น แล้วจากนั้นก็ยกปลายเท้าพร้อมกับยึดตัวขึ้นจะทำให้มีแรงเฉื่อยพุ่งขึ้นไปในแนวตั้งช่วยทำให้ท่าการยกปลายเท้าขึ้นนั้น มีการเอียงไปด้านนั้นๆ น้อยลง หลังจากจบขั้นตอนนี้ ก็จะสั่งให้หุ่นยนต์ทำการย่อตัวรับเท้าข้างที่ลอยอยู่บนอากาศทันที ซึ่งพิจารณาได้จากกราฟในระหว่างขั้นตอนที่ 6 ถึงขั้นตอนที่ 7 ข้างต้น โดยมุมที่เป็นบวก หมายความว่าลึงค์มีลักษณะการเคลื่อนที่มาด้านหน้าและในทางตรงกันข้าม มุมที่เป็นลบหมายความว่า ลึงค์มีลักษณะการเคลื่อนที่มาด้านหลัง ดังนั้นขั้นตอนที่ 6 ถึงขั้นตอนที่ 7 หุ่นยนต์จะอยู่ในท่าย่อตัวตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น



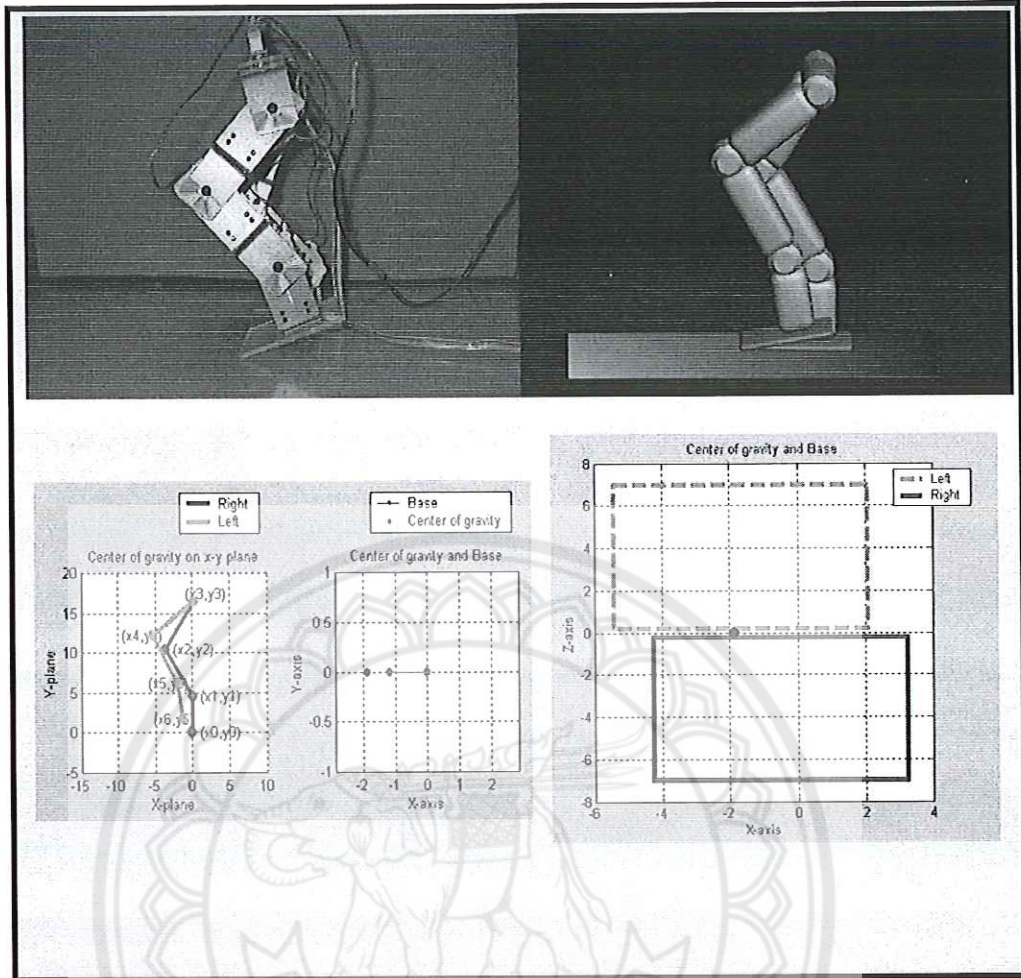
4.2 ผลการเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟแสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟแสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล

ตารางที่ 4.1 ค่าของมุมและเวลาหน่วยในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”

	มุม		เวลาหน่วยในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”	
	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย
ขาที่อนบน	0	0	1500	1500
ขาที่อนกลาง	0	0	1500	1500
ขาที่อนล่าง	0	0	1500	1500



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟแสดง ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงมวล

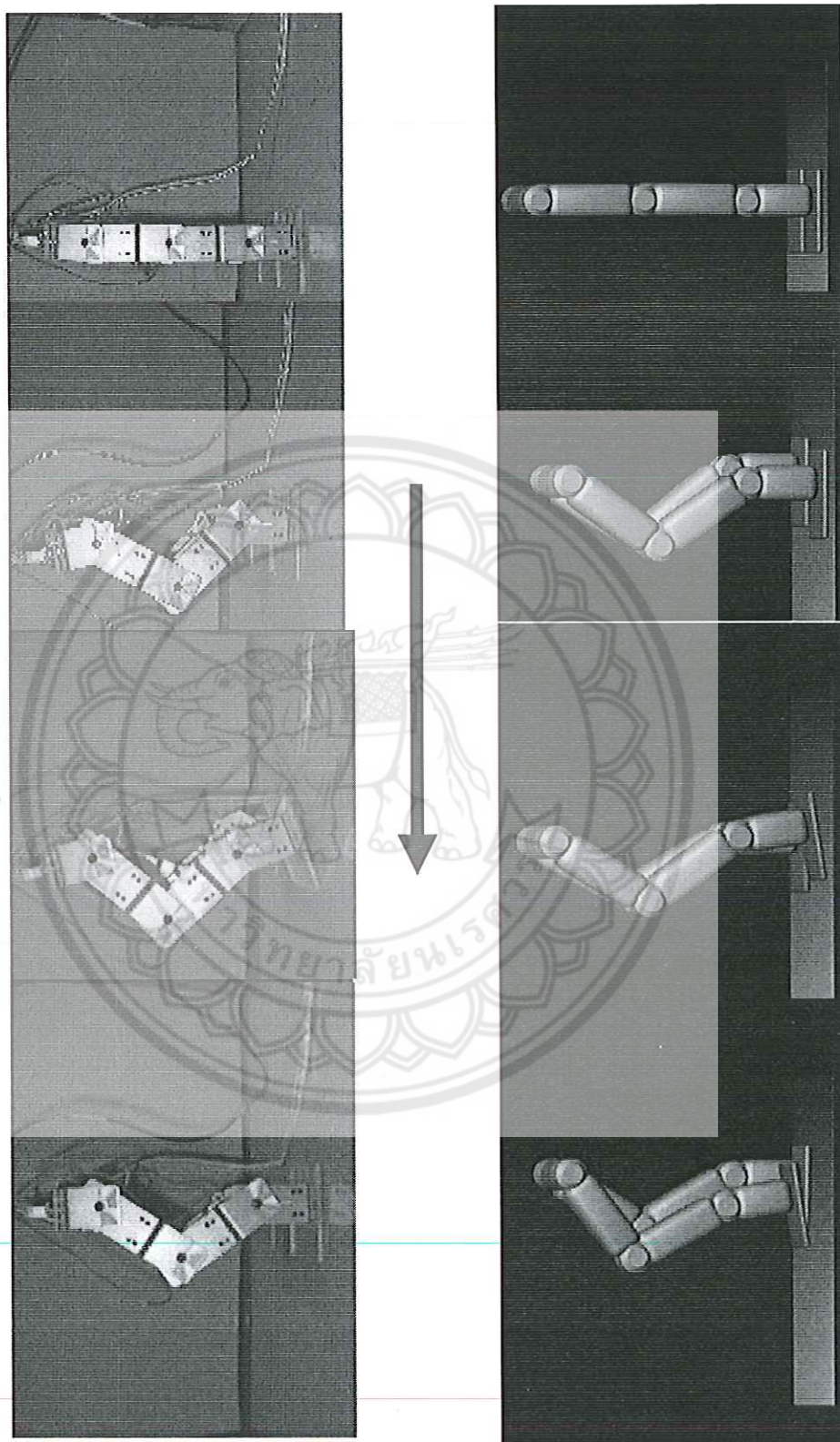
ตารางที่ 4.2 ค่าของมุมและเวลาหน่วงในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”

	มุม		เวลาหน่วงในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”	
	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย
ขาอ่อนบน	32	53	1791.2	985.9
ขาอ่อนกลาง	-63	-83	895.2	2213.8
ขาอ่อนล่าง	32	21	1797.6	1304.7

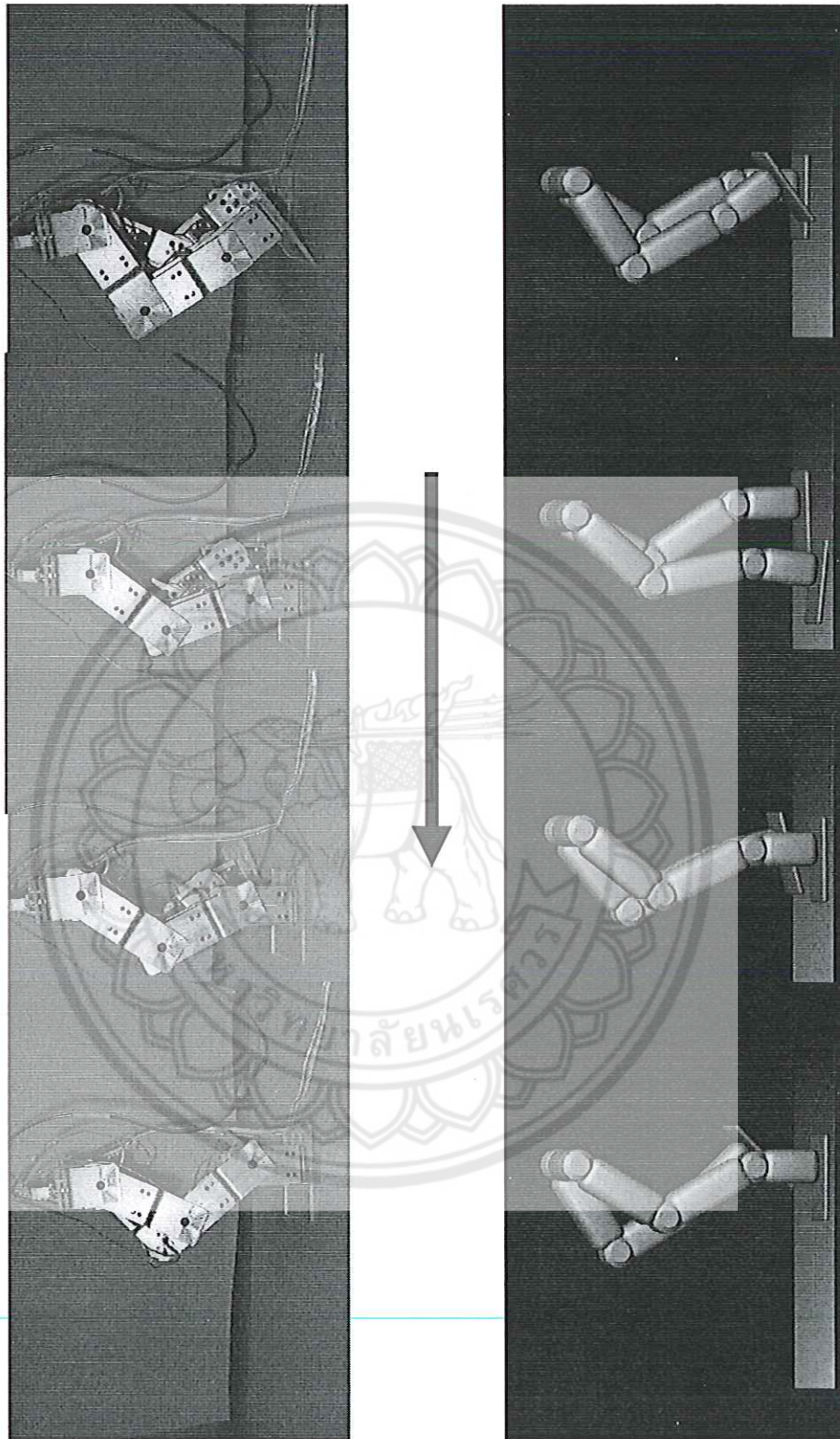
ในรูปที่ 4.5 คือผลการเปรียบเทียบระหว่างลักษณะท่าทางของหุ่นยนต์ ที่ได้จากการป้อนค่ามุมในแต่ละท่า กับรูปที่ได้จากการป้อนค่ามุมของทำนองๆ ในโปรแกรม 3-D MAX และรูปภาพด้านล่างเป็นการแสดงจุดศูนย์กลางมวลในระนาบ X-Y และในระนาบ X-Z และในตารางที่ 4.1 คือค่ามุมของขาแต่ละตอนที่แสดงในรูปที่ 4.5 และในรูปที่ 4.6 กับตารางที่ 4.2 ก็สามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกันกับที่ได้กล่าวมาข้างต้น เพียงแต่ท่าทางเปลี่ยนไป



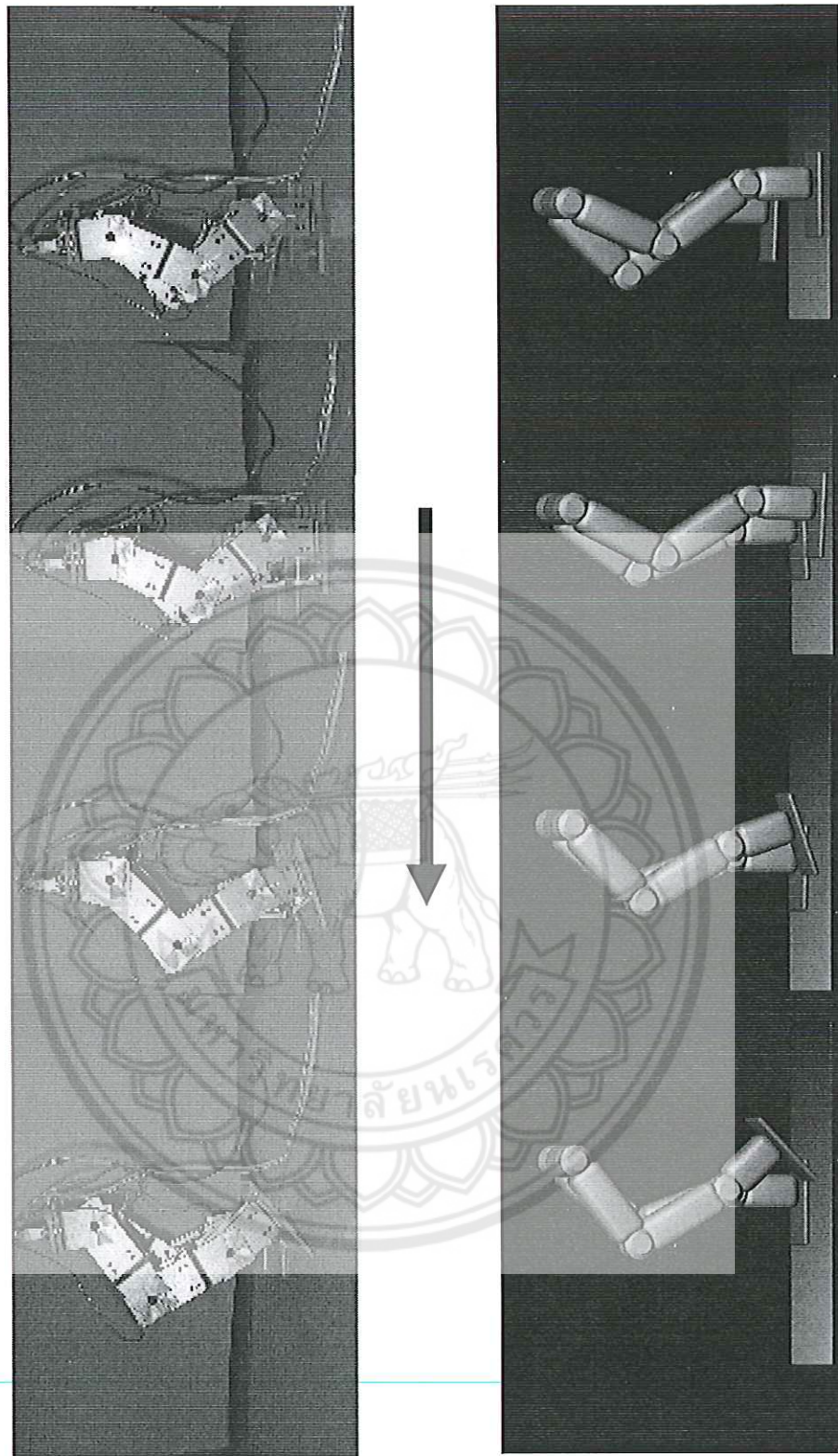
4.3 การเปรียบเทียบรูปการเดินระหว่างหุ่นยนต์จริงกับรูปจากการจำลองด้วยโปรแกรม



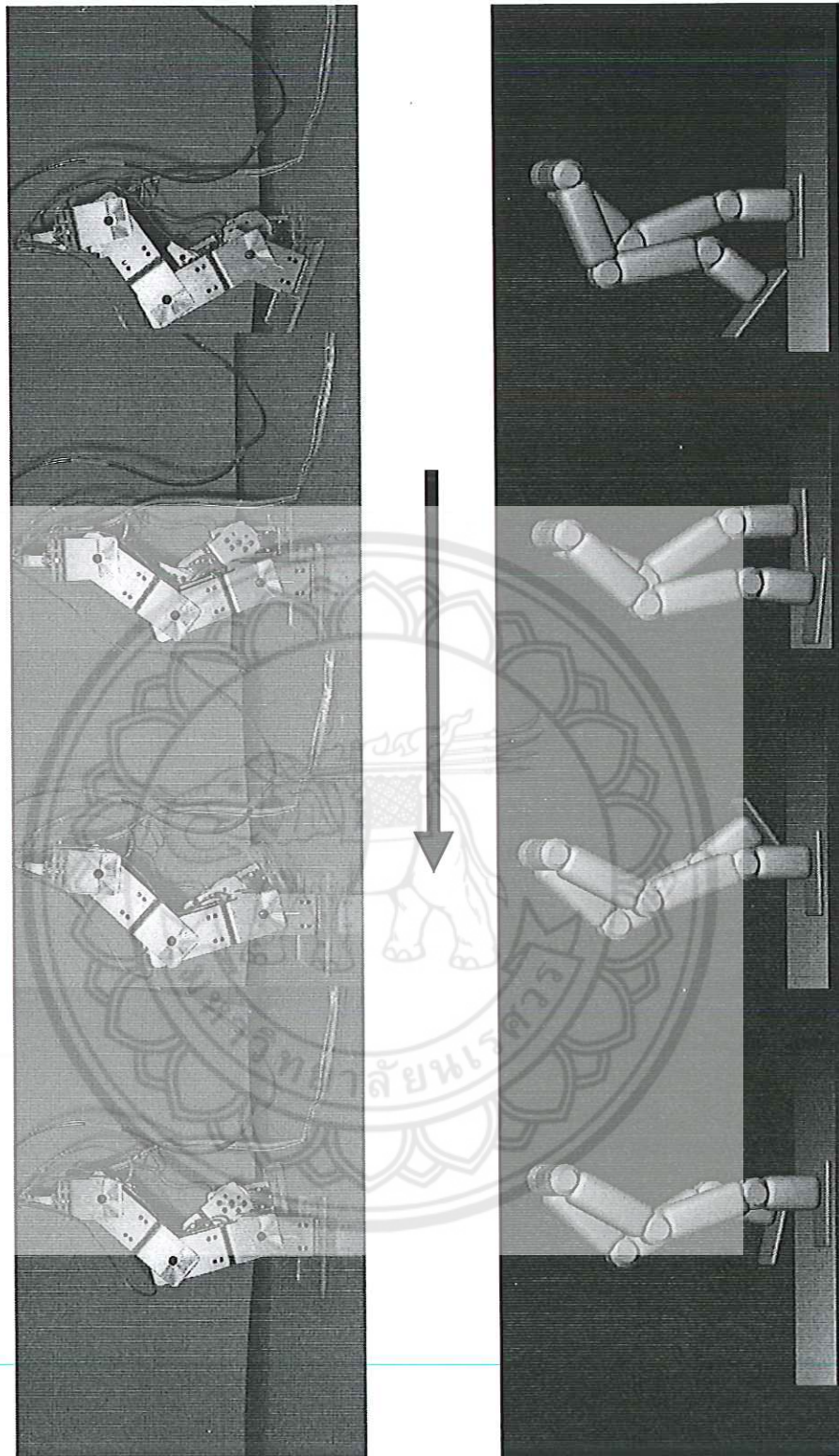
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบรูปการเดินระหว่างหุ่นยนต์จริงกับรูปจากการจำลองด้วย โปรแกรม



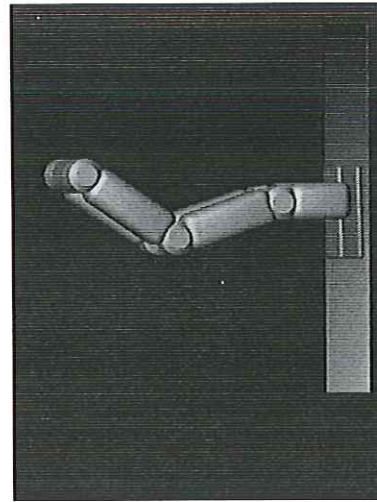
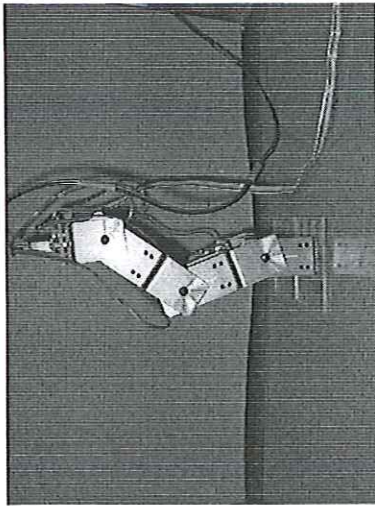
รูปที่ 4.7 (ต่อ)การเปรียบเทียบรูปการเดินระหว่างหุ่นยนต์จริงกับรูปจากการจำลองด้วยโปรแกรม



รูปที่ 4.7 (ต่อ)การเปรียบเทียบรูปการเดินระหว่างหุ่นยนต์จริงกับรูปจากการจำลองด้วย โปรแกรม



รูปที่ 4.7 (ต่อ)การเปรียบเทียบรูปการเดินระหว่างหุ่นยนต์จริงกับรูปจากการจำลองด้วยโปรแกรม

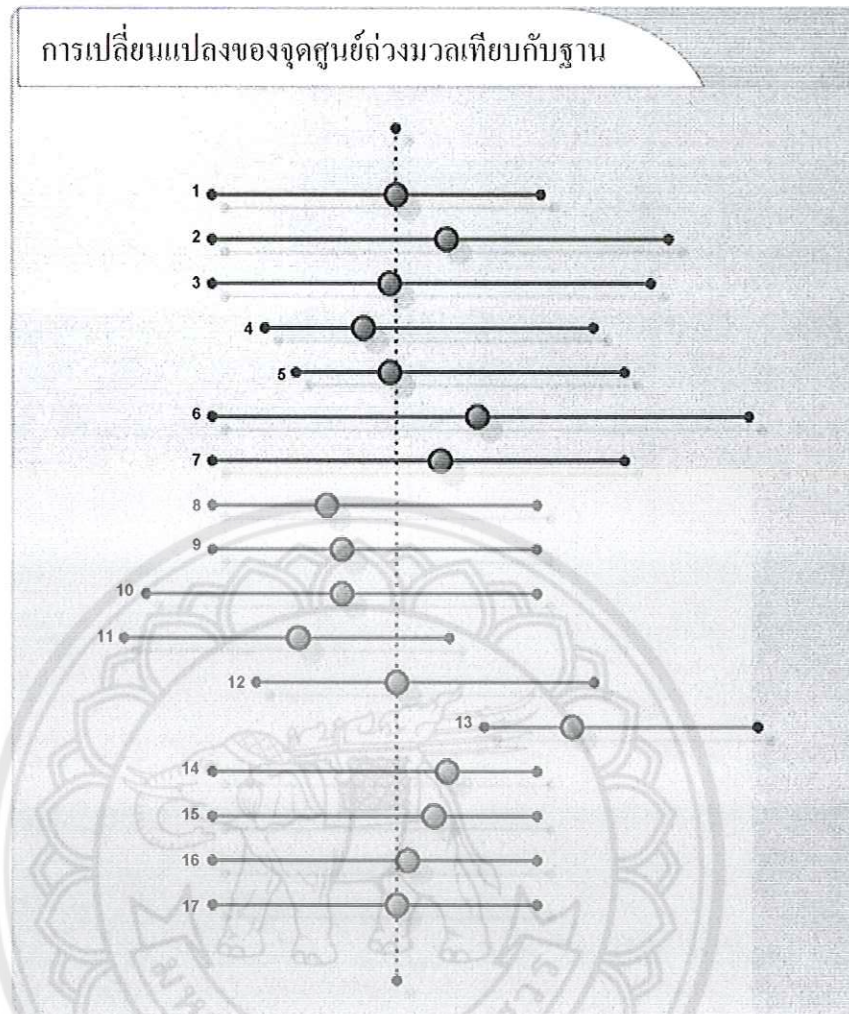


รูปที่ 4.7 (ต่อ)การเปรียบเทียบรูปการเดินระหว่างหุ่นยนต์จริงกับรูปจากการจำลองด้วยโปรแกรม

ในรูปที่ 4.7 เป็นการเปรียบเทียบท่าทางการเดินทั้ง 17 ท่าระหว่างการเดินของหุ่นยนต์จริงกับรูปที่ได้จากการจำลองโดยโปรแกรม 3D-MAX เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของท่าแต่ละท่า



4.4 การเปลี่ยนแปลงจุดศูนย์กลางถ่วงมวลเทียบกับฐานตลอดขั้นตอนการเดิน



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงจุดศูนย์กลางถ่วงมวลเทียบกับฐานตลอดขั้นตอนการเดินของหุ่นยนต์

หมายเหตุ

1. ●—● คือระยะฐานที่เทียบจากเท้าของหุ่นยนต์
2. ● คือตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวล
3. ●···· คือแนวอ้างอิงที่ค่าศูนย์ในแกน X

ในรูปที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงของจุดศูนย์กลางถ่วงมวลเทียบกับฐานตลอดขั้นตอนการเดินของหุ่นยนต์ตั้งแต่ท่าที่ 1 ถึงท่าที่ 17 จากทฤษฎีในบทที่ 2 เราได้อ้างอิงให้ข้อเท้าข้างหนึ่งอยู่ในตำแหน่ง $(0,0)$ ในระนาบ $X-Y$ ดังนั้น ในรูปที่ 4.8 จึงทำการพล็อตค่าของจุดศูนย์กลางถ่วงมวลกับระยะของฐานโดยใช้ค่าอ้างอิงที่ตำแหน่ง $(0,0)$ จากท่าที่ 1 ถึงท่าที่ 17 ซึ่งใช้ฐานที่อ้างอิงมาจากเท้าของหุ่นยนต์ข้างที่วางอยู่บนพื้นดังรูปที่ 4.8

จากผลการทดลองที่ปรากฏข้างต้นได้ทำการนำทฤษฎีในบทที่ 2 มาทำการเขียนโปรแกรมในการคำนวณหาจุดศูนย์กลางมวลเพื่อตรวจสอบการทรงตัวของหุ่นว่าสามารถทรงตัวอยู่ได้หรือไม่ในแต่ละท่า และใช้ความรู้ในบทที่ 3 มาทำการประยุกต์ใช้ในการขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์ทั้ง 6 ตัวให้สัมพันธ์กันและยังทำการตรวจสอบความถูกต้องของกระบวนการทำในแต่ละท่าว่าถูกต้องหรือไม่โดยใช้โปรแกรม 3D-MAX ทำให้ได้กระบวนการเดินที่สมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น ซึ่งจะทำการสรุปผลที่ได้ทั้งหมดในบทที่จะกล่าวต่อไป



บทที่ 5

บทสรุป

จากการศึกษาเรื่องของทฤษฎีเกี่ยวกับการเดินของหุ่นยนต์ใน โครงการนี้สามารถสรุปผลและเสนอแนะแนวทางได้ดังนี้

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาโครงการในเรื่องนี้ได้ทำการศึกษาด้านคิเนเมติกส์ (Kinematics) และการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ผ่านทางคอมพิวเตอร์ จากทฤษฎีที่ได้กล่าวมาข้างต้นทำให้ทราบว่า การพิจารณาจุดศูนย์กลางวงนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งทั้งในด้านการควบคุมการทรงตัว และการเคลื่อนที่ และจากการทดสอบการเดินของหุ่นยนต์ได้ผลว่า หุ่นยนต์ที่ทำการทดสอบ เมื่อต้องการควบคุมให้หุ่นยนต์โน้มตัวไปข้างหน้าทำได้โดย การควบคุมให้จุดศูนย์กลางเคลื่อนไปข้างหน้า ซึ่งจะเป็นการสร้างแรงเฉื่อยให้กับหุ่นยนต์ ในขณะที่เดียวกันนั้นก็ทำการก้าวเท้า โดยควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ให้สัมพันธ์กันทั้ง 6 ตัว เพื่อให้เป็นการก้าวสำหรับค้ำยันป้องกันการล้มของหุ่นยนต์ ลักษณะเช่นนี้ก็ถือว่าเป็นการก้าวเดินของหุ่นยนต์ได้ 1 ก้าว ถ้าทำการสลับขา เพื่อทำการก้าวเพื่อค้ำยันไปเรื่อยๆ จะเป็นการควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เดินไปข้างหน้าได้ โดยการใช้ทฤษฎีฟอร์เวิร์ด คิเนเมติกส์มาใช้ในการตรวจสอบจุดศูนย์กลางว่าอยู่นอกหรือภายในฐาน โดยสามารถตรวจสอบได้สองวิธีคือใช้วิธีการคำนวณด้วยทฤษฎี และการคำนวณด้วยโปรแกรม MATLAB

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ถ้าทำการควบคุมตำแหน่งของจุดศูนย์กลางให้อยู่ในฐานได้ก็จะทำให้การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์นั้นสามารถเคลื่อนที่ไปได้โดยไม่ล้ม กล่าวคือ ถ้าพิจารณาการเคลื่อนที่ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางทางด้านหน้าอย่างเดียวกันก็สามารถสร้างแรงเฉื่อยในแนวระนาบได้เช่นกัน ซึ่งแรงเฉื่อยในแนวระนาบนี้จะเป็นแรงที่ผลักดันให้หุ่นยนต์ก้าวเท้าเพื่อการเคลื่อนที่ได้ แต่ถ้าทำการพิจารณาทำบางท่าซึ่งจุดศูนย์กลางมวลไม่ได้้อยู่ภายในฐานตามทฤษฎีแล้วหุ่นจะไม่สามารถคงตัวอยู่ได้จึงจำเป็นต้องใช้ท่าอื่นมารองรับด้วยเวลาอันรวดเร็วก็จะทำให้หุ่นทำการทรงตัวได้ตามปกติ

5.2 ปัญหา ข้อเสนอแนะ และแนวทางแก้ไข

ในโครงการนี้ปัญหาส่วนหนึ่งเกิดจากเซอร์โวมอเตอร์ที่ไม่มีความเที่ยงตรง และใช้กำลังไฟฟ้ามาก อีกทั้งแต่ละตัวไม่เหมือนกันทำให้การออกแบบยุ่งยากและทำให้การเขียนโปรแกรมยากขึ้นด้วย ดังนั้นการเลือกเซอร์โวมอเตอร์ที่ดีจะทำให้ลดขั้นตอนและความยุ่งยากเหล่านี้ได้

5.3 แนวทางในการพัฒนาในอนาคต

1. ใช้ระบบนิวเมติก (Pneumatic) ในการควบคุมโดยระบบการส่งกำลังออกจากคันทงไปยังปลายทางโดยอาศัยลมเป็นตัวกลางในการส่งกำลังและควบคุมการทำงานด้วยระบบลมผสมไฟฟ้า
2. ใช้การควบคุมโดยทำการวิเคราะห์เชิงไดนามิก
3. ใช้เดินในพื้นที่แบบอื่นๆได้อีก
4. เคลื่อนไหวได้มากกว่าการเดิน เช่น วิ่ง กระโดด เดินข้าม
5. ใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า(Power Supply) แบบเคลื่อนที่ได้ และสามารถส่งงานแบบไร้สาย (Wireless)



เอกสารอ้างอิง

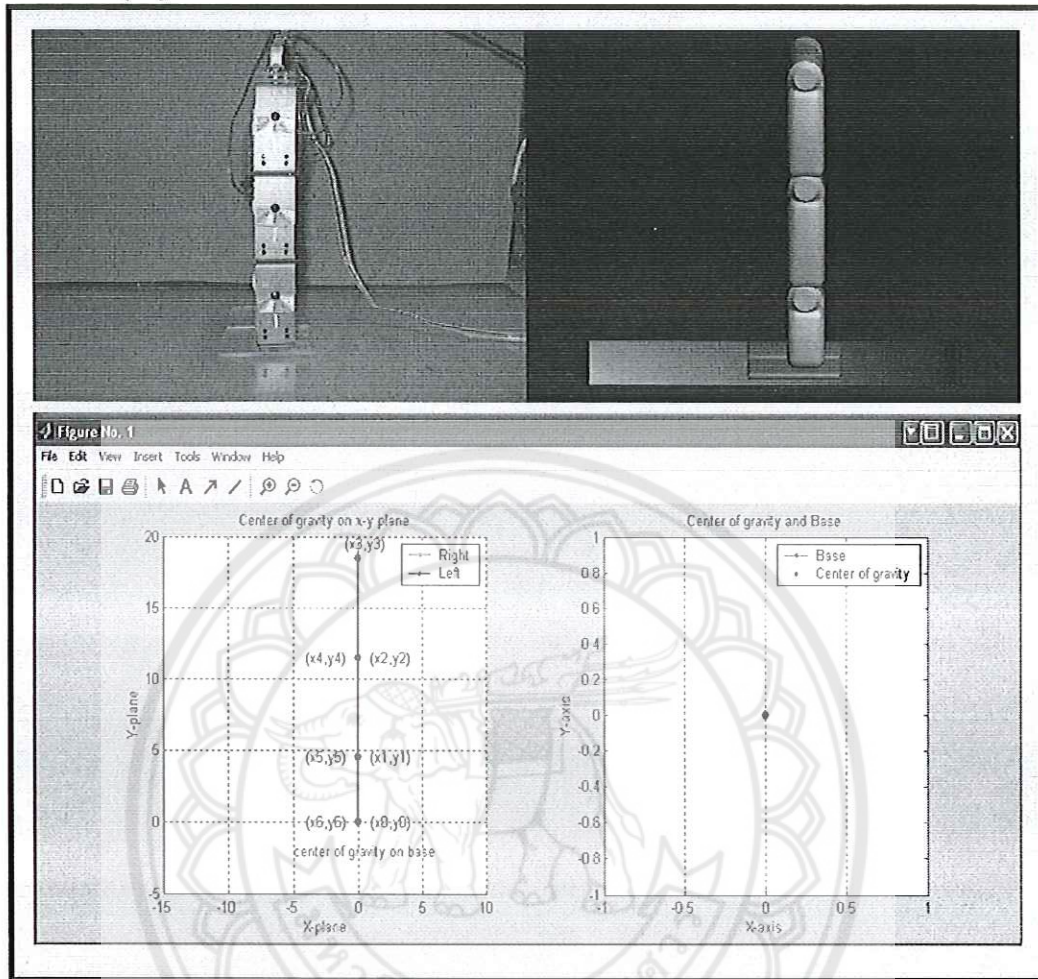
- [1] รศ.ดร.มนัส ตั้งวรศิลป์. วรรัตน์ ภัทรอมรกุล. คู่มือโปรแกรม MATLAB ฉบับสมบูรณ์.
กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์อินโฟเพรส. 2543.
- [2] อภิชาติ ภู่อัลป์. เริ่มต้นเขียนโปรแกรมติดต่อและควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วย Visual Basic.
กรุงเทพมหานคร : Infopress Developer Book. 2546.
- [3] กิตติ ภักดีวัฒนะกุล. จำลอง ครูอุตสาหะ. Visual Basic6 ฉบับฐานข้อมูล. พิมพ์ครั้งที่ 5.
กรุงเทพมหานคร : บริษัท เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์ จำกัด . 2546.
- [4] ผศ.ธีรวัฒน์ ประกอบผล. การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์. พิมพ์ครั้งที่ 6.
กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. 2546.
- [5] ดอนสัน ปอผาบ. การเขียนโปรแกรมภาษาซีในงานควบคุม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์
ส.ส.ท. 2547.
- [6] กฤษดา ใจเย็น. ญัฐพล วงศ์สุนทรชัย. ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. เรียนรู้และใช้งาน Pic BASIC
Pro คอมไพเลอร์ เขียนโปรแกรมภาษาเบสิกควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ Pic.
กรุงเทพมหานคร : บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเนอริเมนต์ จำกัด. 2521.
- [7] H.K. Lum, M. Zribi*, Y.C. Soh. "Planning and control of a biped robot". School of Electrical and
Electronic Engineering, Nanyang Technological University, Nanyang
Avenue, Singapore 639798, Singapore. 1998.

ภาคผนวก

ผลการเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟแสดง
ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล



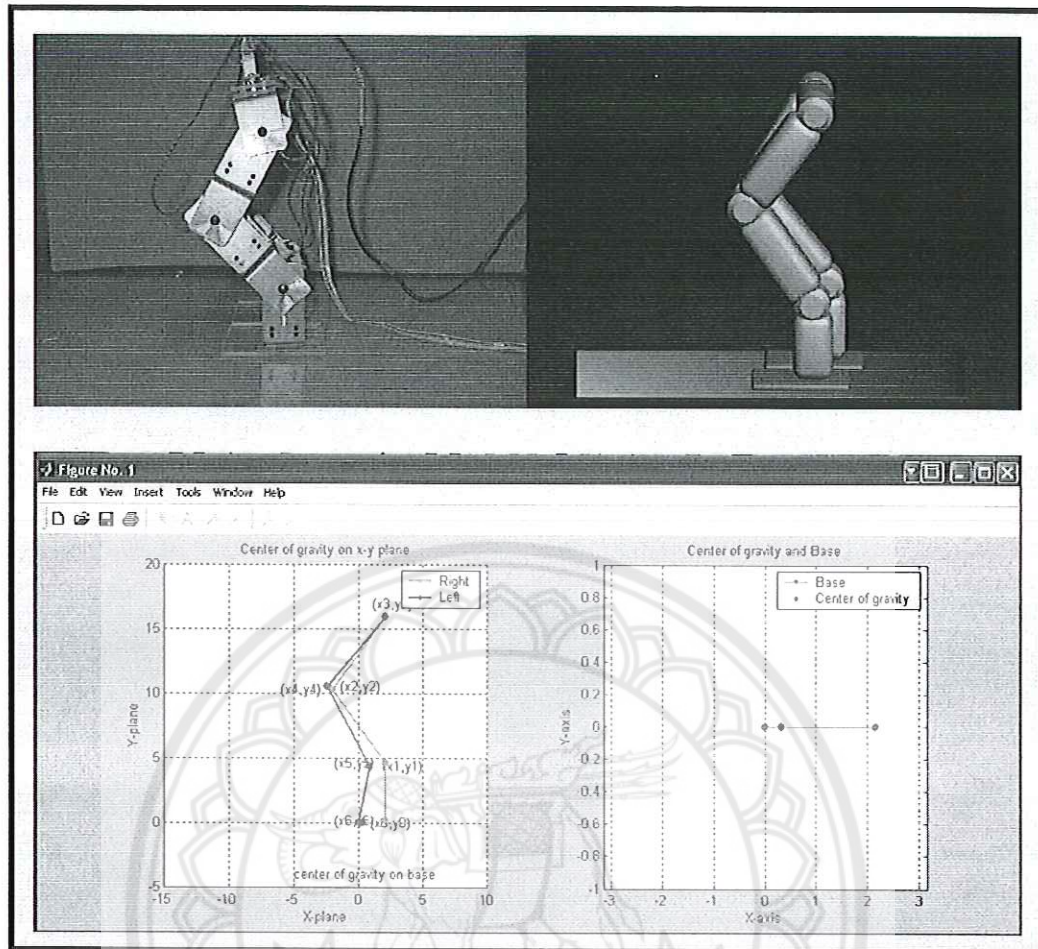
ผลการเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟแสดงตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงมวล



รูปที่ ภาคผนวก 1 การเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟแสดงตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงมวล

ตารางที่ ภาคผนวก 1 ค่าของมุมและเวลาหนึ่งในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก "1"

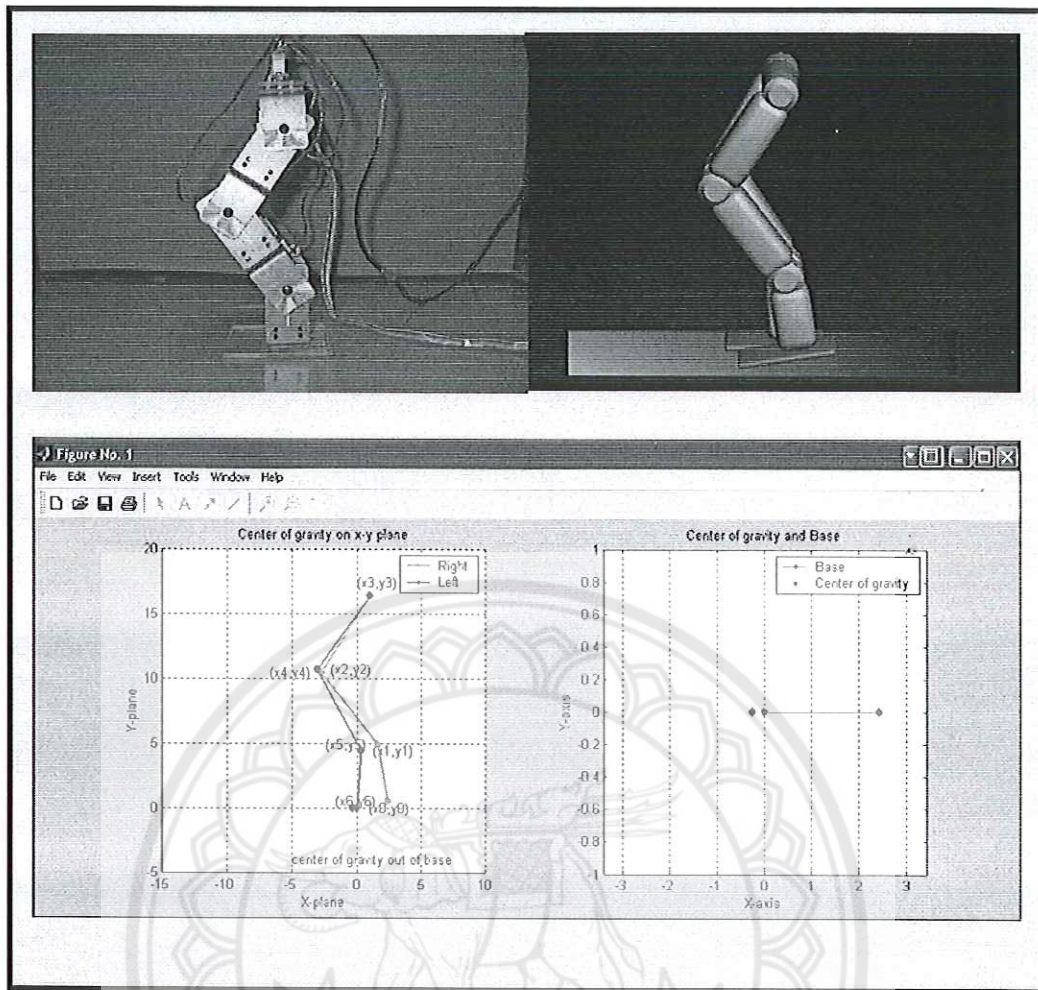
	มุม		เวลาหนึ่งในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก "1"	
	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย
ขาที่บนบน	0	0	1500	1500
ขาที่บนกลาง	0	0	1500	1500
ขาที่บนล่าง	0	0	1500	1500



รูปที่ ภาคผนวก 2 การเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟ
แสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล

ตารางที่ ภาคผนวก 2 ค่าของมุมและเวลาหน่วงในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก "1"

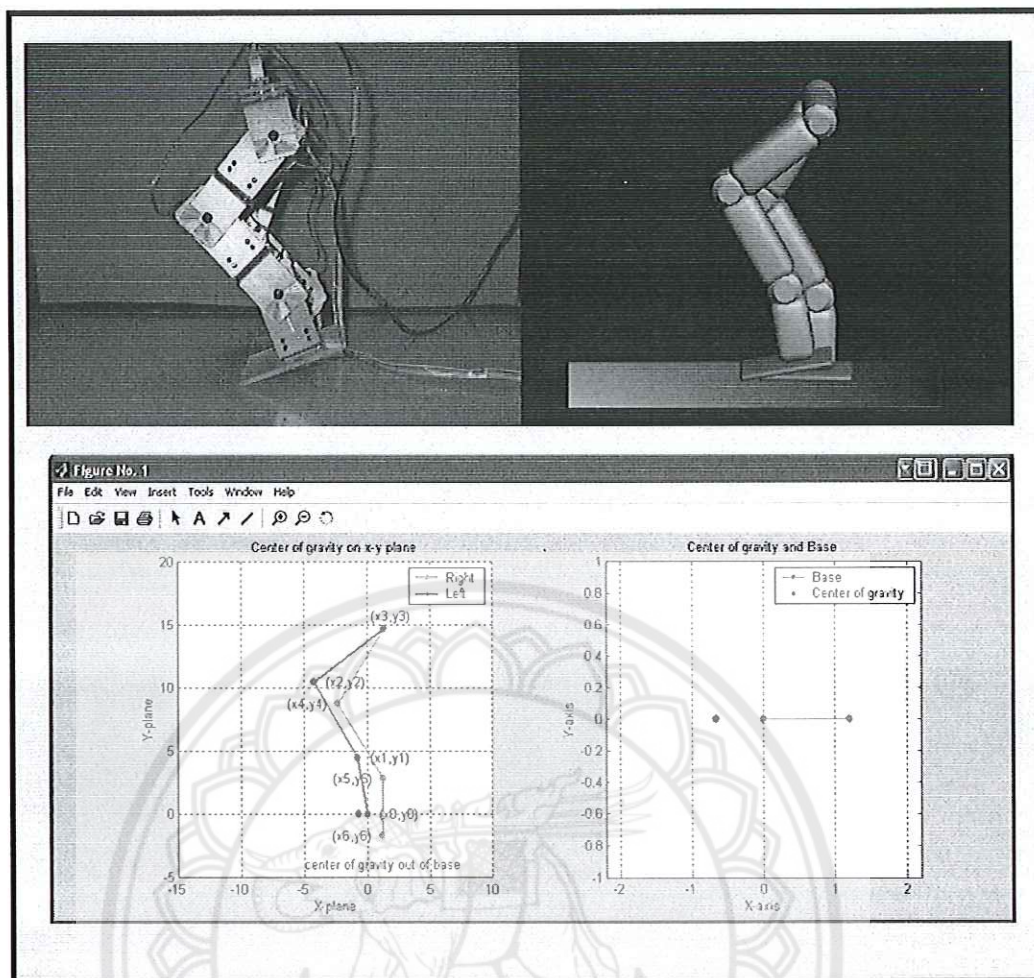
	มุม		เวลาหน่วงในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก "1"	
	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย
ขาอ่อนบน	36	40	1827.6	1112
ขาอ่อนกลาง	-72	-63	808.8	2084.8
ขาอ่อนล่าง	36	40	1834.8	1128



รูปที่ ภาคผนวก 3 การเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟ
แสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล

ตารางที่ ภาคผนวก 3 ค่าของมุมและเวลาหน่วยในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก "1"

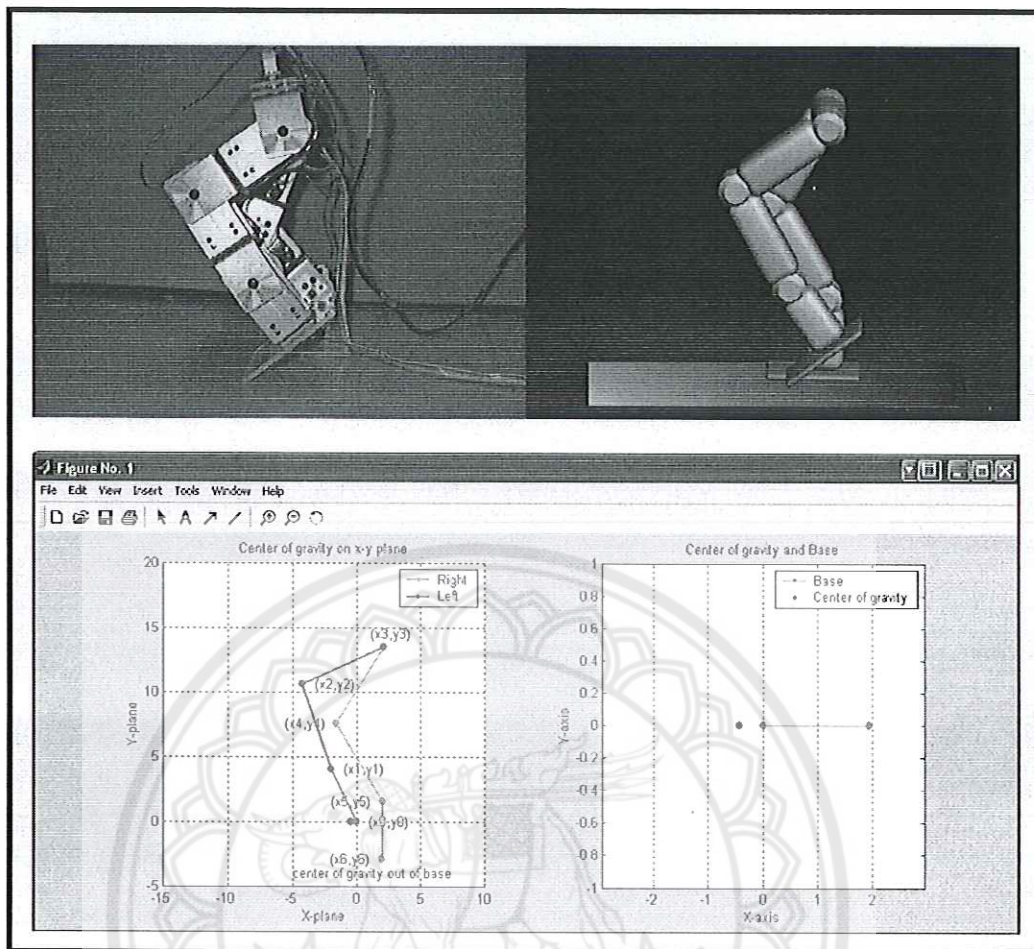
	มุม		เวลาหน่วยในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก "1"	
	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย
ขาที่อนบน	32	35	1791.2	1160.5
ขาที่อนกลาง	-70	-63	828	2041.8
ขาที่อนล่าง	28	32	1760.4	1202.4



รูปที่ ภาคผนวก 4 การเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟ แสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล

ตารางที่ ภาคผนวก 4 ค่าของมุมและเวลาหน่วงในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”

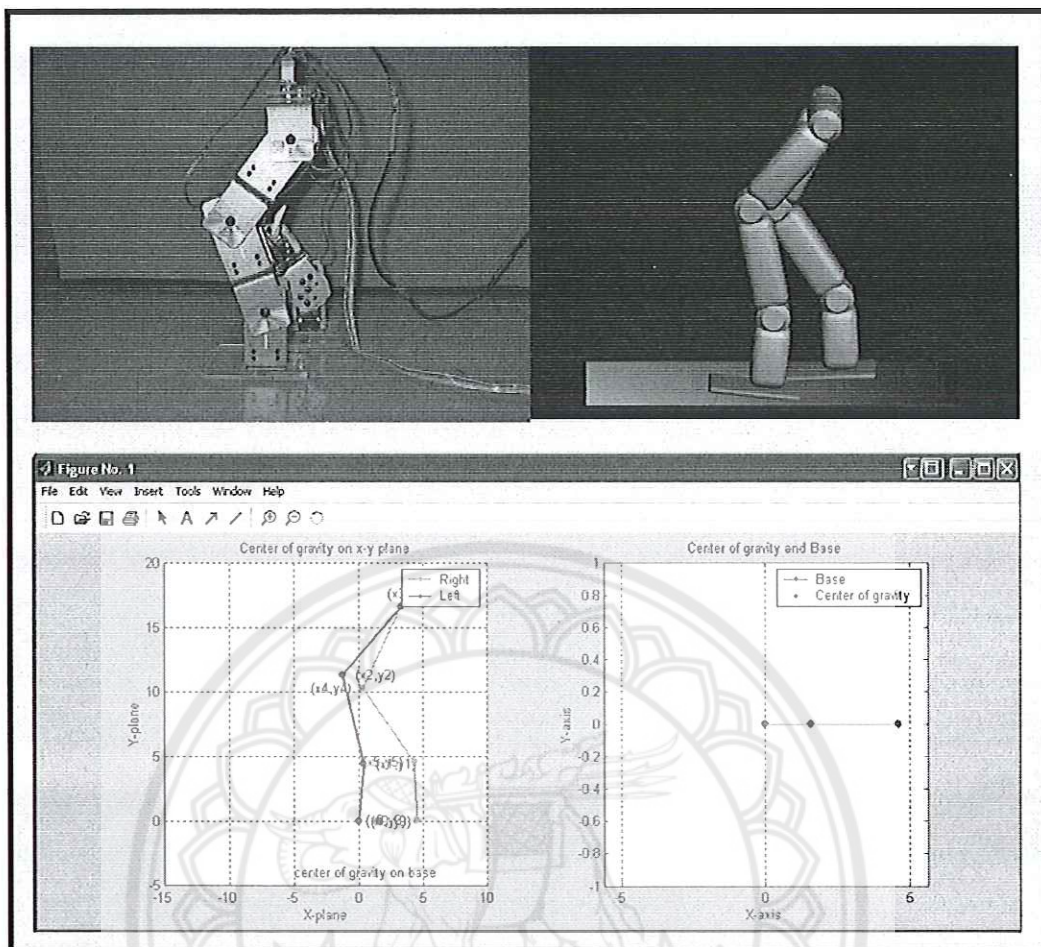
	มุม		เวลาหน่วงในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”	
	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย
ขาที่อ่อนบน	32	53	1791.2	985.9
ขาที่อ่อนกลาง	-63	-83	895.2	2213.8
ขาที่อ่อนล่าง	32	21	1797.6	1304.7



รูปที่ ภาคผนวก 5 การเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟแสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงมวล

ตารางที่ ภาคผนวก 5 ค่าของมุมและเวลาหน่วงในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก "1"

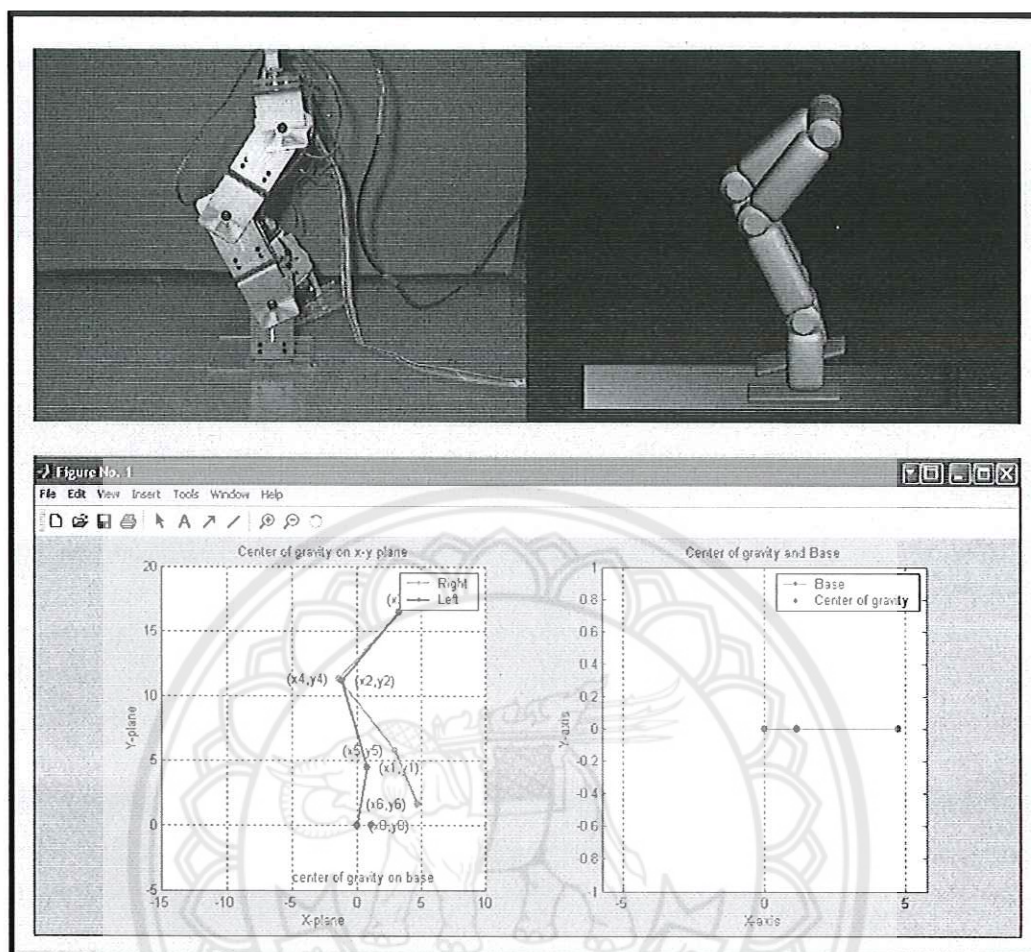
	มุม		เวลาหน่วงในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก "1"	
	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย
ขาที่อ่อนบน	32	66	1791.2	859.8
ขาที่อ่อนกลาง	-63	-85	895.2	223.1
ขาที่อ่อนล่าง	32	-7	1797.6	1565.1



รูปที่ ภาคผนวก 6 การเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟแสดงตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงมวล

ตารางที่ ภาคผนวก 6 ค่าของมุมและเวลาหน่วยในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก "1"

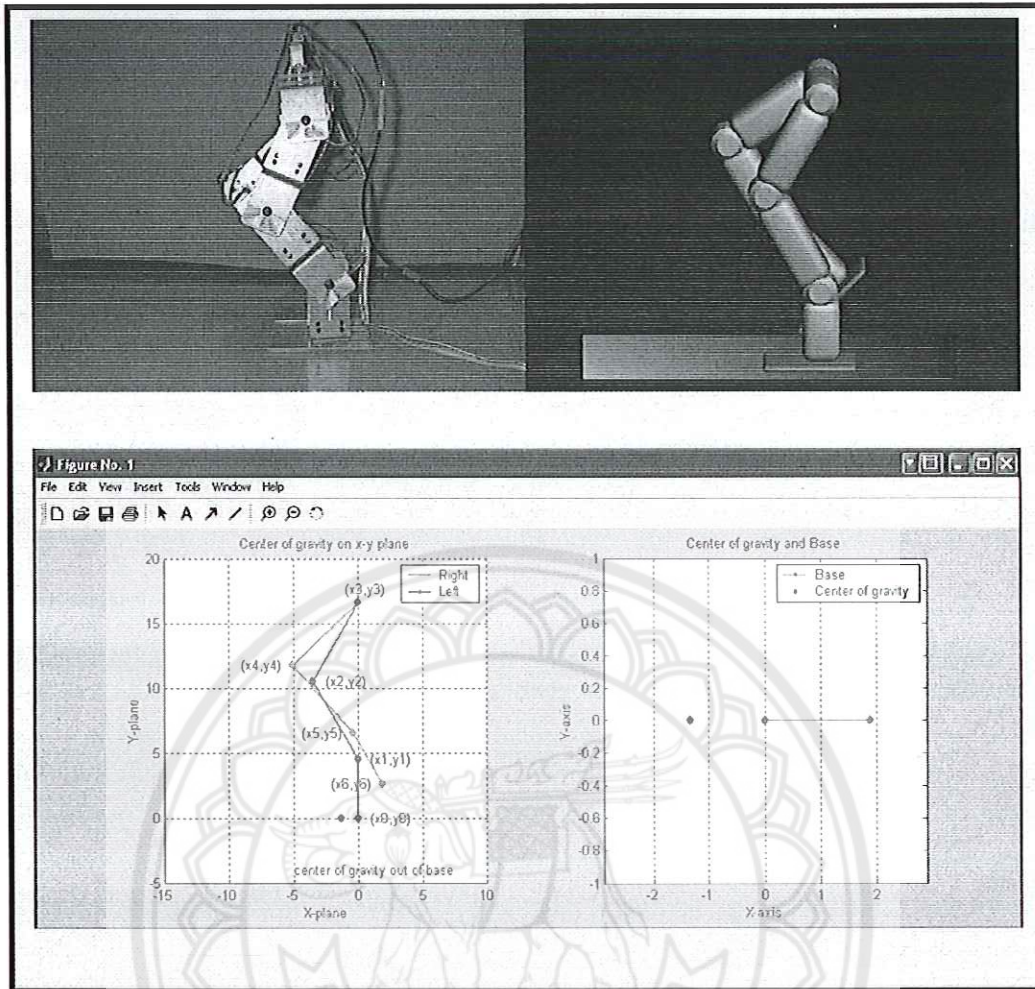
	มุม		เวลาหน่วยในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก "1"	
	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย
ขาที่อ่อนบน	25	40	1727.5	1112
ขาที่อ่อนกลาง	-60	-53	924	1955.8
ขาที่อ่อนล่าง	32	18	1797.6	1332.6



รูปที่ ภาคผนวก 7 การเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟ แสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล

ตารางที่ ภาคผนวก 7 ค่าของมุมและเวลาหนึ่งในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก "1"

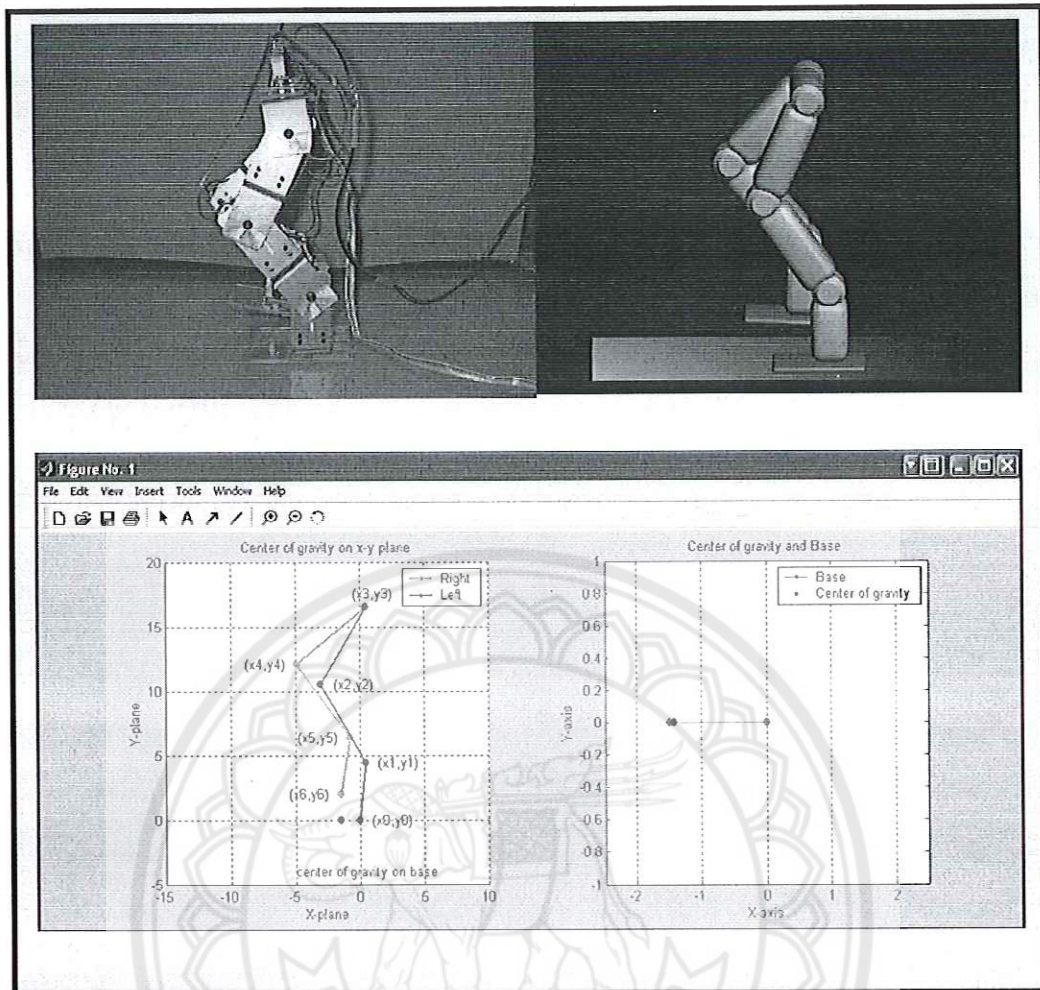
	มุม		เวลาหนึ่งในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก "1"	
	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย
ขาที่อ่อนบน	42	40	1882.2	1112
ขาที่อ่อนกลาง	-80	-56	732	1981.6
ขาที่อ่อนล่าง	15	26	1639.5	1258.2



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟ แสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล

ตารางที่ 8 ค่าของมุมและเวลาหน่วงในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”

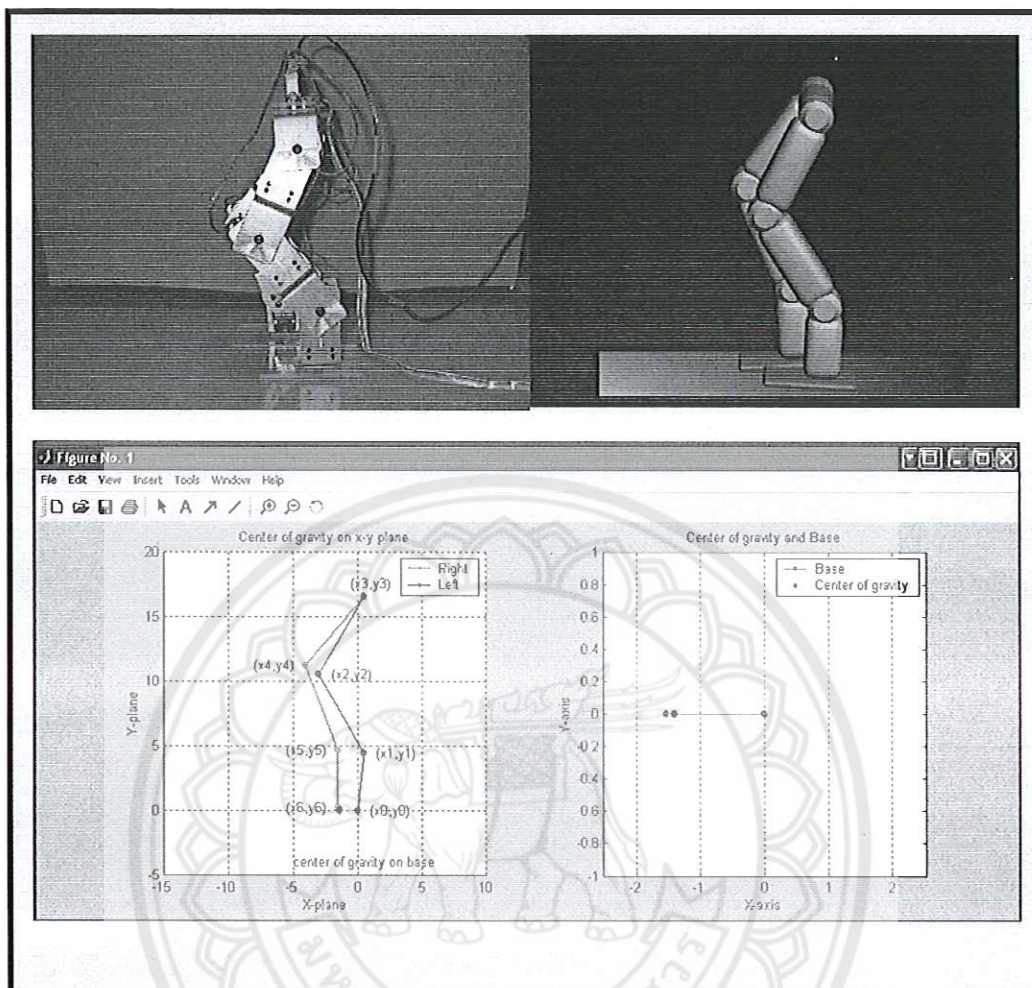
	มุม		เวลาหน่วงในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”	
	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย
ขาที่อนบน	46	30	1918.6	1209
ขาที่อนกลาง	-88	-60	655.2	2016
ขาที่อนล่าง	-12	30	1387.2	1221



รูปที่ ภาคผนวก 9 การเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟ แสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล

ตารางที่ ภาคผนวก 9 ค่าของมุมและเวลาหน่วยในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก "1"

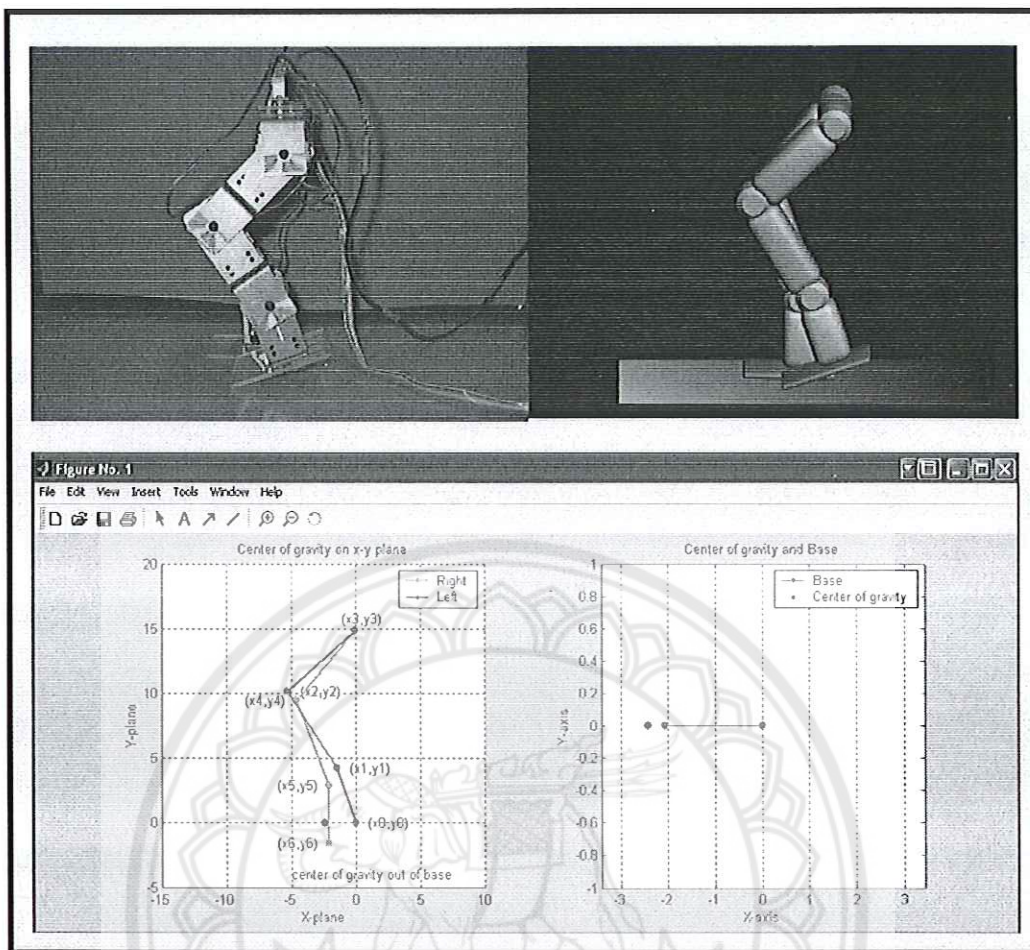
	มุม		เวลาหน่วยในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก "1"	
	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย
ขาที่อ่อนบน	50	30	1955	1209
ขาที่อ่อนกลาง	-86	-60	674.4	2016
ขาที่อ่อนล่าง	45	36	1918.5	1165.2



รูปที่ ภาคผนวก 10 การเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟ แสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงมวล

ตารางที่ ภาคผนวก 10 ค่าของมุมและเวลาหน่วยในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก "1"

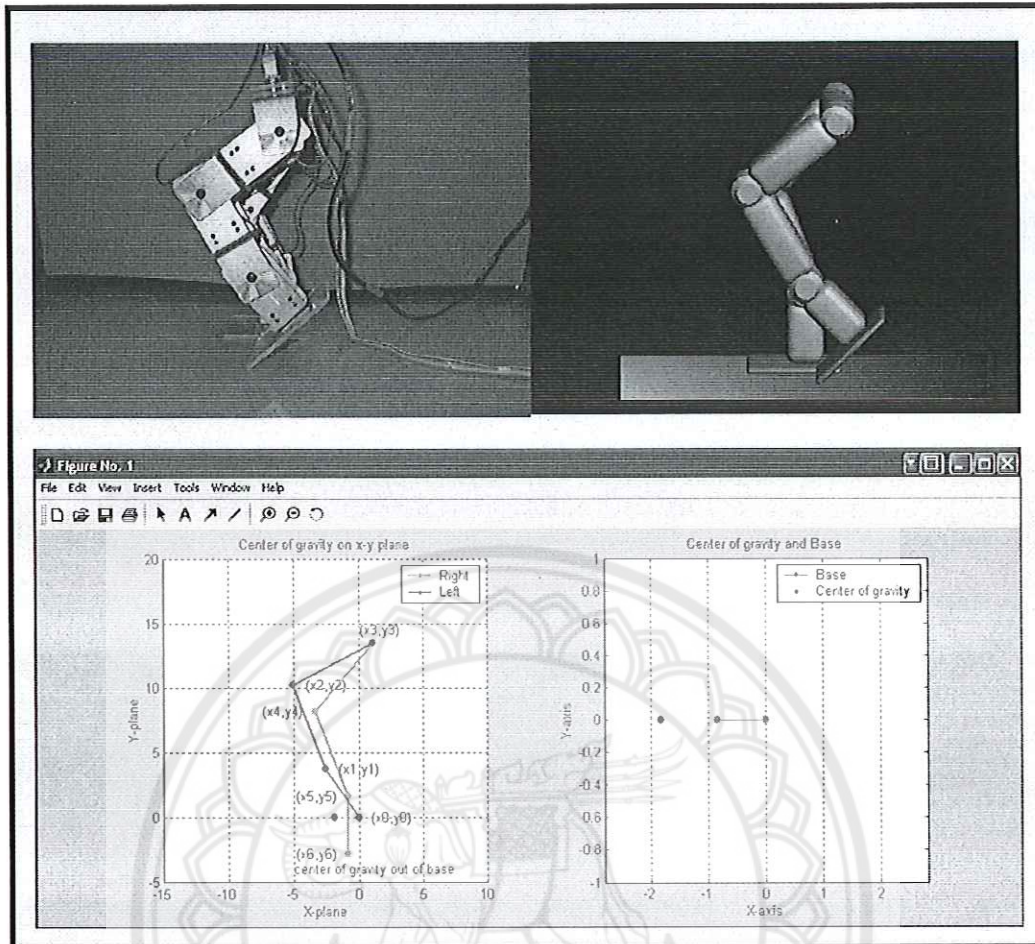
	มุม		เวลาหน่วยในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก "1"	
	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย
ขาที่อ่อนบน	40	30	1864	1209
ขาที่อ่อนกลาง	-61	-60	914.4	2016
ขาที่อ่อนล่าง	21	36	1695.3	1165.2



รูปที่ ภาคผนวก 11 การเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟ แสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงมวล

ตารางที่ ภาคผนวก 11 ค่าของมุมและเวลาหนึ่งวงในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”

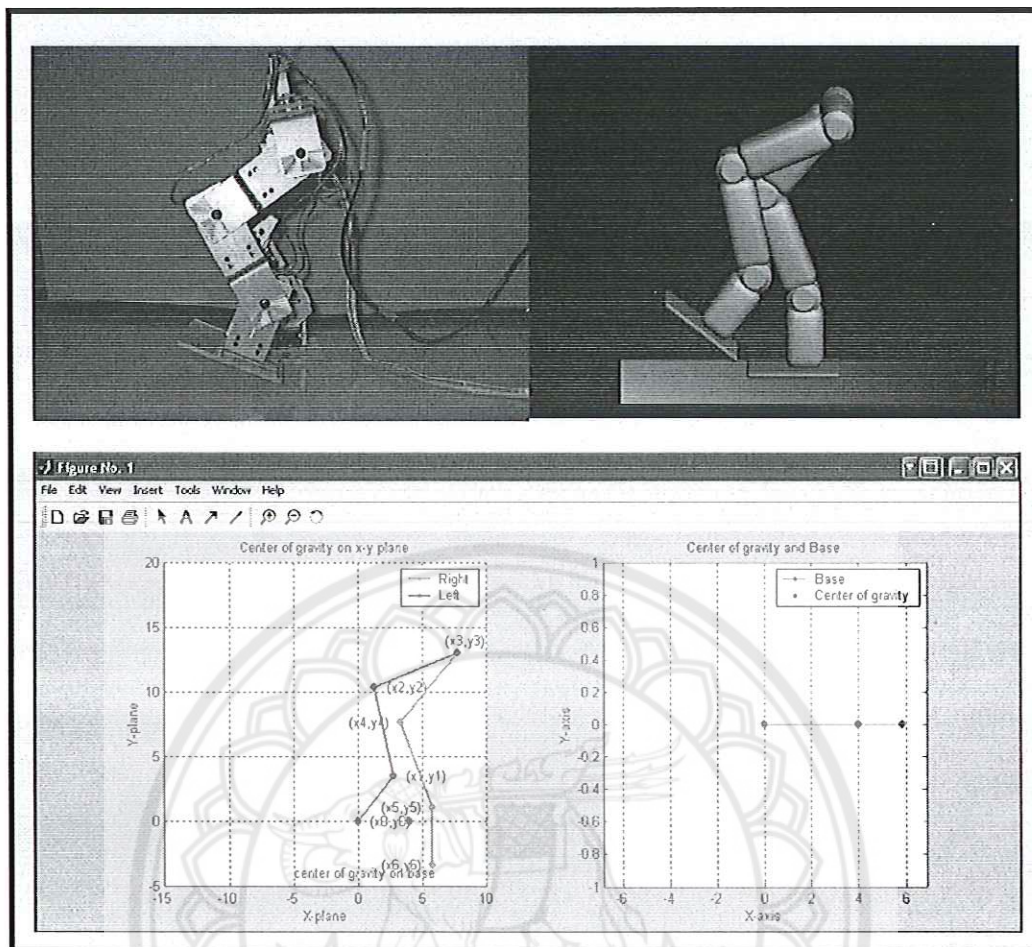
	มุม		เวลาหนึ่งวงในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”	
	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย
ขาที่อ่อนบน	40	48	1864	1034.4
ขาที่อ่อนกลาง	-61	-81	914.4	2196.6
ขาที่อ่อนล่าง	21	14	1695.3	1369.8



รูปที่ ภาคผนวก 12 การเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟ แสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล

ตารางที่ ภาคผนวก 12 ค่าของมุมและเวลาหน่วงในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”

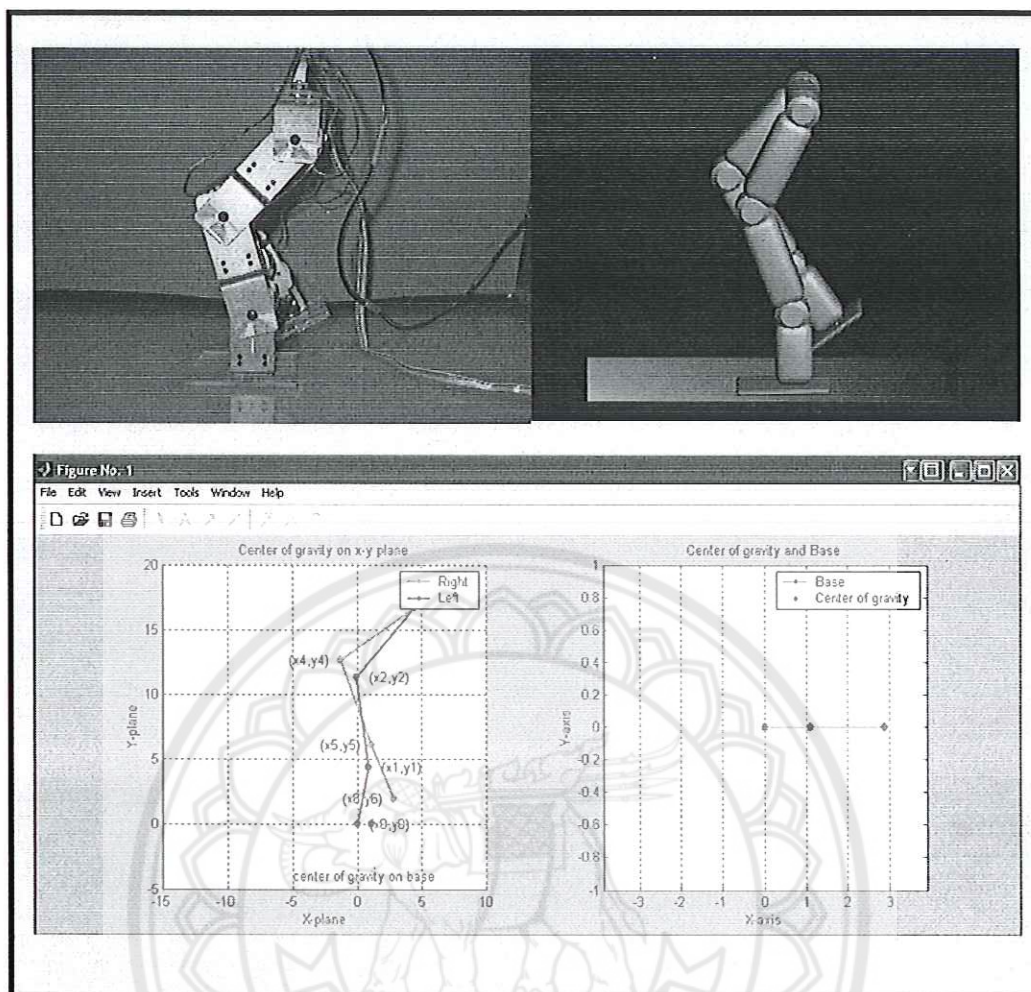
	มุม		เวลาหน่วงในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”	
	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย
ขาที่อ่อนบน	40	62	1864	898.6
ขาที่อ่อนกลาง	-61	-83	914.4	2213.8
ขาที่อ่อนล่าง	21	-13	1695.3	1620.9



รูปที่ ภาคผนวก 13 การเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟ แสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล

ตารางที่ ภาคผนวก 13 ค่าของมุมและเวลาหน่วยในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”

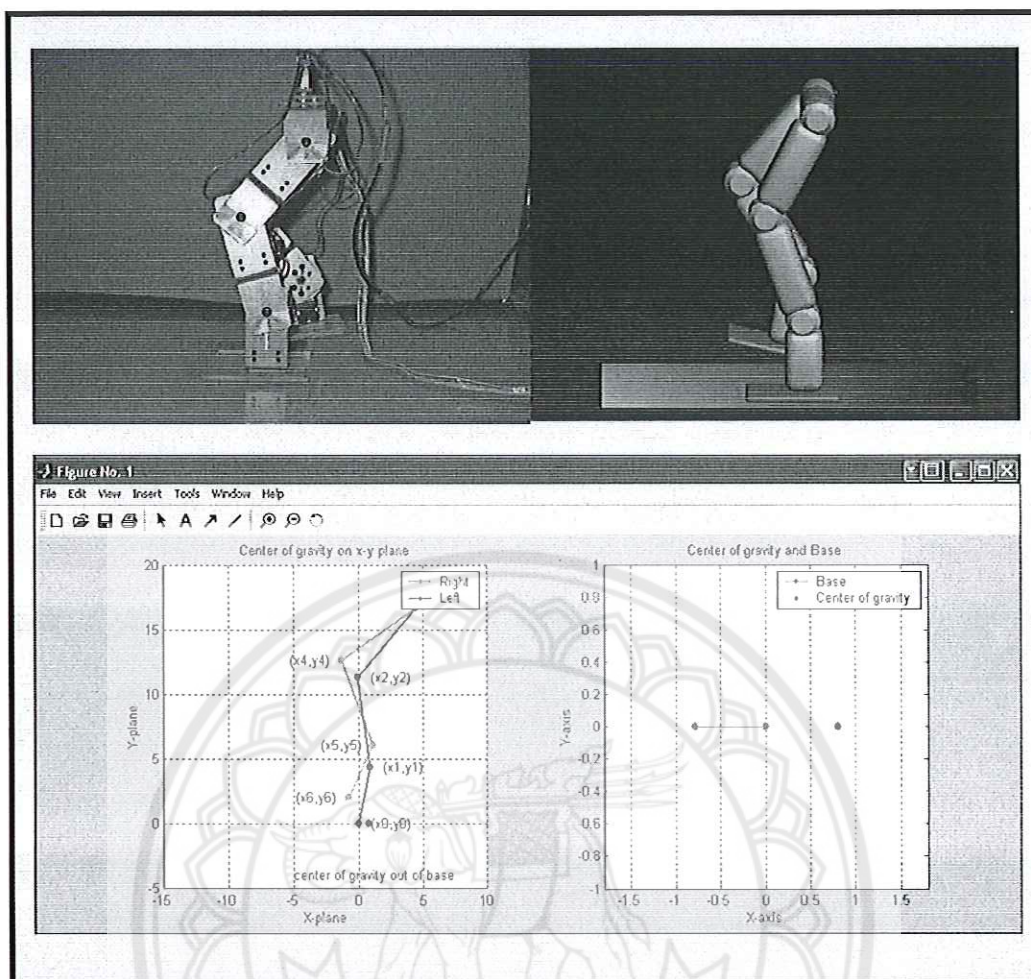
	มุม		เวลาหน่วยในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”	
	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย
ขาที่อ่อนบน	40	68	1864	840.4
ขาที่อ่อนกลาง	-61	-80	914.4	2188
ขาที่อ่อนล่าง	21	50	1695.3	1035



รูปที่ ภาคผนวก 14 การเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟ แสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล

ตารางที่ ภาคผนวก 14 ค่าของมุมและเวลาหนึ่งวงในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”

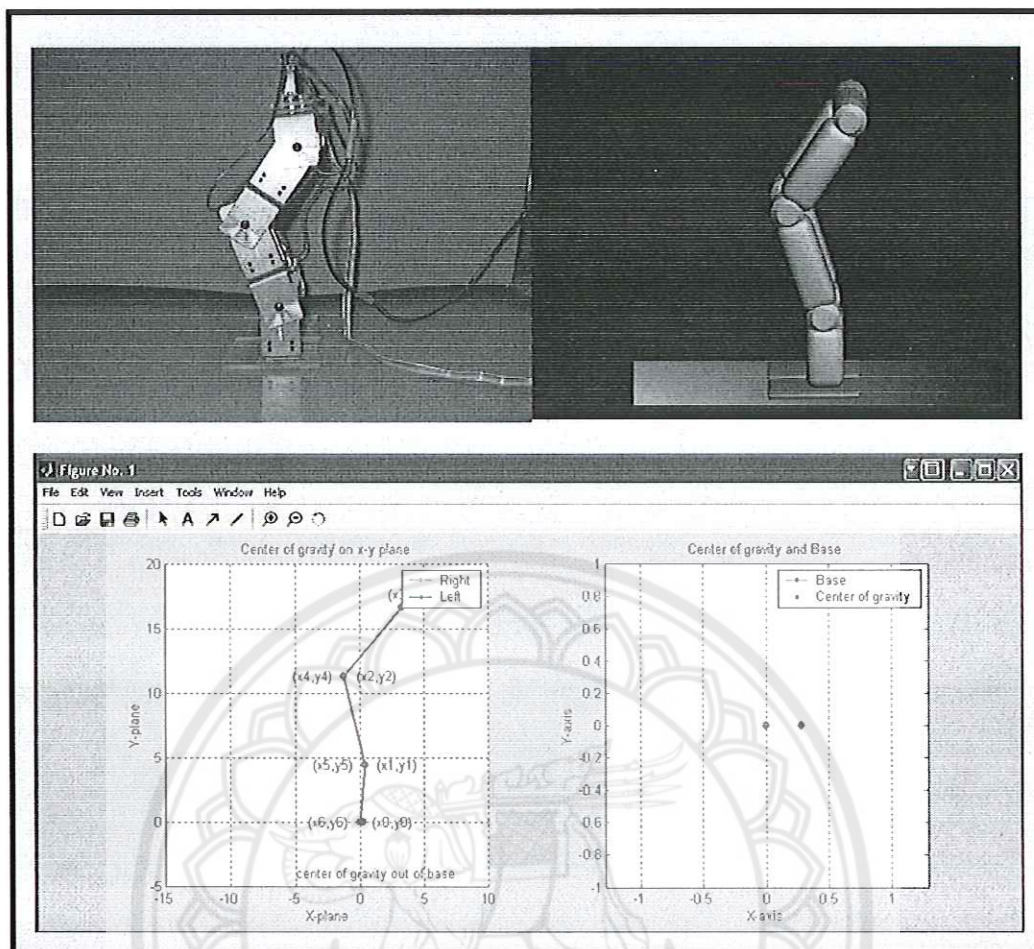
	มุม		เวลาหนึ่งวงในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”	
	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย
ขาที่อ่อนบน	55	40	2000.5	1112
ขาที่อ่อนกลาง	-75	-48	780	1912.8
ขาที่อ่อนล่าง	-3	20	1471.8	1314



รูปที่ ภาคผนวก 15 การเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟแสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล

ตารางที่ ภาคผนวก 15 ค่าของมุมและเวลาหน่วงในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”

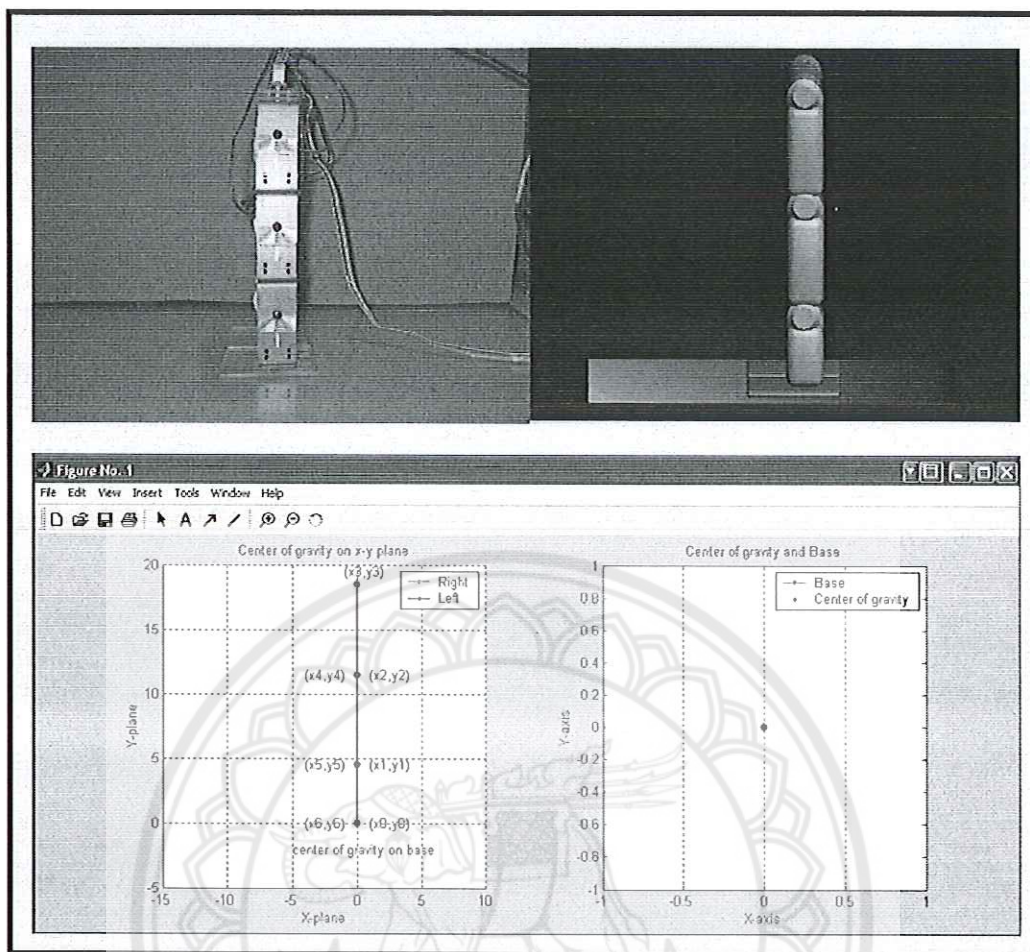
	มุม		เวลาหน่วงในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”	
	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย
ขาที่อ่อนบน	55	40	2000.5	1112
ขาที่อ่อนกลาง	-75	-48	780	1912.8
ขาที่อ่อนล่าง	45	20	1918.5	1314



รูปที่ ภาคผนวก 16 การเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟ แสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล

ตารางที่ ภาคผนวก 16 ค่าของมุมและเวลาหน่วยในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”

	มุม		เวลาหน่วยในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก “1”	
	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย
ขาอ่อนบน	40	40	1864	1112
ขาอ่อนกลาง	-53	-53	991.2	1955.8
ขาอ่อนล่าง	18	18	1667.4	1332.6



รูปที่ ภาคผนวก 17 การเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ต้องการกับมุมที่ได้จากการทดลองจริง และ กราฟแสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล

ตารางที่ ภาคผนวก 17 ค่าของมุมและเวลาหน่วงในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก "1"

	มุม		เวลาหน่วงในช่วงที่สัญญาณที่เป็นลอจิก "1"	
	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย
ขาที่อนบน	0	0	1500	1500
ขาที่อนกลาง	0	0	1500	1500
ขาที่อนล่าง	0	0	1500	1500

ประวัติผู้เขียนโครงการ



ชื่อ นายภูวนารถ โตบำรุง
ภูมิลำเนา 77 หมู่ 3 ต.หนองกระดิ่ง อ.คีรีมาศ จ.สุโขทัย
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนคีรีมาศพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : nart_tob@hotmail.com



ชื่อ นายวัฒน์พงศ์ คุยเพ็ชฌุมิ
ภูมิลำเนา 89 หมู่ 3 ต.บ้านเพิ่ม อ.ผาขาว จ.เลย
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเลยพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : ddyeefactor@yahoo.com



ชื่อ นายสุรศักดิ์ ปิ่นวรรณ
ภูมิลำเนา 56/2 หมู่ 8 ต.ประตูป่า อ.เมือง จ.ลำพูน
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนจักรคำคณาทร
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : iamantony_pin@hotmail.com



ชื่อ นายเอกสิทธิ์ รัชชหะกุล
ภูมิลำเนา 85 หมู่ 3 ต.บางกระเบา อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนรัตนโกสินทร์สมโภชบวรนิเวศศาลายา(ในพระสังฆราชูปถัมภ์)
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : rutchahakul_a@hotmail.com

