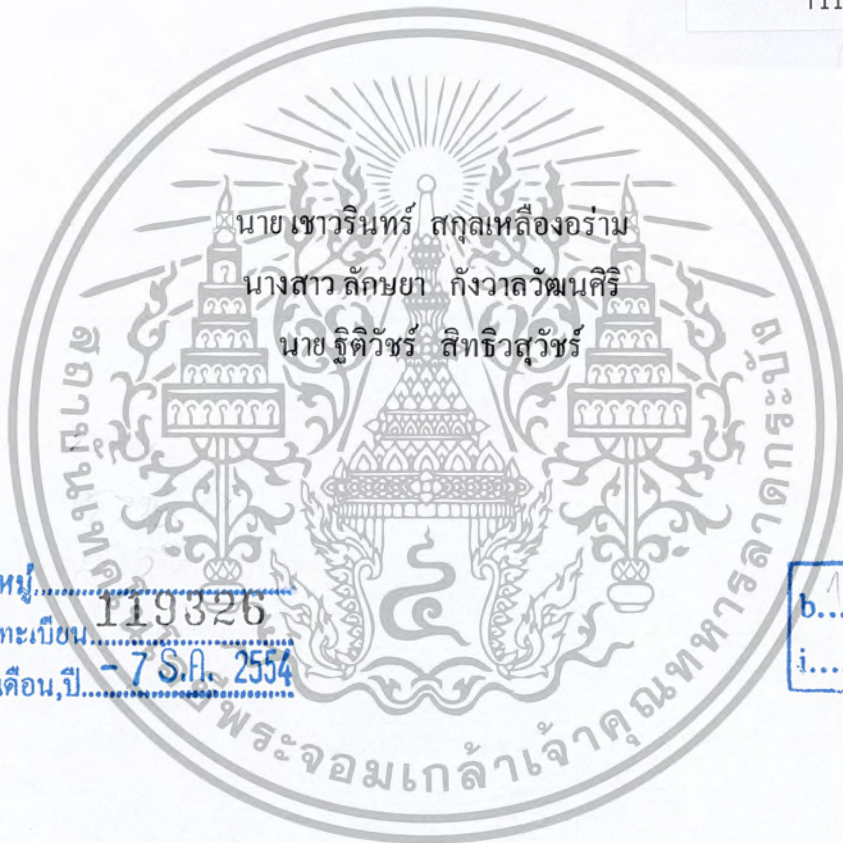


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์จลนพลศาสตร์ของชิ้นส่วนขามนุษย์ในท่วงท่าการเดิน
KINETICS ANALYSIS OF LOWER LIMBS DURING WALKING GAIT



T119326



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

T119326

- 7 S.A. 2554

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์จลนพลศาสตร์ของชิ้นส่วนขามนุษย์ในท่วงท่าการเดิน
KINETICS ANALYSIS OF LOWER LIMBS DURING WALKING GAIT



b. 12263989
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2553

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวิเคราะห์จลนพลศาสตร์ของชิ้นส่วนขามนุษย์ในท่วงท่าการเดิน

KINETICS ANALYSIS OF LOWER LIMBS DURING WALKING GAIT

ผู้จัดทำ

1. นาย เซาวรินทร์ สกุดเหลืองอร่าม รหัสประจำตัว 50010389

2. นางสาว ลักขยา กังวาลวัฒน์ศิริ รหัสประจำตัว 50011337

3. นาย จูติวัชร สิทธีวสุวัชร รหัสประจำตัว 50011354



[Handwritten Signature]

อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร. อุन्नัต พิณ โสภณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์จลนพลศาสตร์ของชิ้นส่วนขามนุษย์ในท่าทางการเดิน

นาย เชาวรินทร์ สุกุลเหลืองอร่าม 50010389

นางสาว ลักขยา กังวาลวัฒน์ศิริ 50011337

นาย จูติวัชร สิทธีวัชร 50011354

ผศ.ดร. อุन्नัต พิณโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

โครงการนี้เกี่ยวกับระบบการวิเคราะห์แรงและโมเมนต์ ที่กระทำต่อชิ้นส่วนของขามนุษย์ในลักษณะของการเดิน โดยใช้ชุดอุปกรณ์ที่สร้างเองได้ซึ่งมีราคาต้นทุนต่ำ การวิเคราะห์ท่าทางการเดินสามารถแยกการประมวลผลออกได้เป็นสองส่วนหลักๆ คือ ด้านพลศาสตร์ (Kinematics) โดยใช้การบันทึกวิดีโอ (VDO) การเดินของผู้ทดลองที่ติดมาร์คเกอร์ ที่ส่วนต่างๆของขา แล้ว ประมวลผลตำแหน่งเป็นระบบพิกัด 2 มิติ เพื่อหาการเคลื่อนที่ ความเร็ว ความเร่ง ทั้งเชิงเส้นและเชิงมุม สำหรับนำไปประมวลผลกับส่วนหลักที่สอง คือ ด้านจลนพลศาสตร์ (Kinetics) ซึ่งใช้แทนรับแรงที่มีโครงสร้างเป็นแท่งอลูมิเนียมเป็นตัวรับ น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของการเดิน โดยติดตั้งสเตรนเกจเพื่อแปลงน้ำหนักเป็นแรงกด เมื่อรวบรวมข้อมูลทั้งสองส่วน ก็สามารถหาแรงและ โมเมนต์ที่กระทำต่อข้อต่อของชิ้นส่วนขาเพื่อใช้ในการแพทย์ ด้านการรักษาทางกายภาพด้วยท่าที่เหมาะสม จากการทดลองพบว่าตำแหน่งการวางเท้าบนแท่นรับแรงที่ต่างกัน มีผลโดยตรงต่อค่าแรงที่วัดได้ และโปรแกรมยังไม่สามารถตรวจจับตำแหน่งของมาร์คเกอร์ของผู้ทดลองที่เดินเร็วได้ และปัจจัยเรื่องความเร่ง โมเมนต์ ความเฉื่อย ก่อให้เกิดโมเมนต์ที่ข้อเข่าน้อยมากเมื่อเทียบกับแรงที่กระทำที่เท้า

KINETICS ANALYSIS OF LOWER LIMBS DURING WALKING GAIT

Chaulwarin Sakulluangaram

Laksaya Kangvanwatanasiri

Thitiwat Sitthiwasuwat

Assist. Prof. Unnat Pinsopon Advisor

ABSTRACT

Forces and moments of forces acted on each part of leg during walking gait have been studied in this research project. Our device is cheaper than available commercial devices. Walking gait analysis can be separated in 2 parts. The first part, kinematics analysis, is accomplished by using video records of walking. The gait characteristics are studied on the motion of markers attached to both legs. The gait motions are computed into 2 dimensions to obtain linear and angular displacements, velocities, and accelerations. The second part, kinetics analysis is realized by force plate. Data from both parts are used to compute forces and moments of forces acting on each joint. The data obtained could be useful for medical purpose. From the experiments it is learned that position of foot on the force plate has a big effect on the measuring value of force. The program still could not detect the marker positions from the swift motion. Acceleration and moment of inertia have less effect on moment of force acting at knee joint than the foot force.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก ผศ.ดร. อุณนัต พิณโสภณ ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณ นาย เพชร จันบรรจง และ นางสาว รุ่งพรธยา มณีขาว ที่ช่วยเข้าร่วมทดลองการเดิน ที่ใช้ในโครงการนี้ และขอบคุณที่รณพล ลัคนาวัฒน์ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆในการทำโครงการนี้ และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นาย เขาวรินทร์ สกุศลเหลืออร่าม

นางสาว ลักขณา กังวาลวัฒนศิริ

นาย จูติวัชร สิทธีวัชร



สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 การแปลงพิกัดในสองมิติ (Transformation 2D)	2
2.1.1 การเคลื่อนที่ในแนวตรง (Translation)	2
2.1.2 การเคลื่อนที่วิถีโค้ง (Rotation)	3
2.2 การวิเคราะห์ทางจลนพลศาสตร์และจลศาสตร์	8
2.2.1 ความเร็ว (Linear Velocity)	8
2.2.2 ความเร่งเชิงเส้น (Linear Acceleration)	11
2.2.3 ความเร็วเชิงมุม (Rotational velocity)	12
2.2.4 ความเร่งเชิงมุม (Angular acceleration)	13
2.2.5 การเคลื่อนที่ของวัตถุแข็งเกร็ง ที่ต่อด้วยข้อต่อ แบบ Revolute joint โดยใช้การอ้างอิงอ้างอิงด้วยตัวเลข	14
2.2.6 แรงสถิตย์ (Static forces)	15
2.2.7 สมการของนิวตันและสมการออยเลอร์	16
2.2.8 สมการของนิวตัน (Newton's Equation)	16
2.2.9 สมการออยเลอร์ (Euler's Equation)	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
2.2.10 โมเมนต์ความเฉื่อย(Moment of Inertia)	16
2.3 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (A/D , ADC or A to D)	19
2.4 สมการ Polynomials สำหรับการประมาณค่า (Evaluating Polynomials)	20
2.4.1 การสร้างกราฟ (Curve fitting)	20
2.5 การวิเคราะห์แรง	21
บทที่ 3 การทดลองและอุปกรณ์	22
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	22
3.2 หลักการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง	24
3.2.1 โปรแกรม Marker Detector	24
3.2.2 โปรแกรม Force Calibration	25
3.3 วิธีการทดลอง	26
บทที่ 4 ผลการทดลอง	27
4.1 ผลจากโปรแกรม Force Calibration	27
4.2 ผลการทดลองจากผู้ทดลองคนที่ 1	32
4.3 ผลการทดลองจากผู้ทดลองคนที่ 2	36
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	40
5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง	40
5.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง	40
ภาคผนวก ก	41
ภาคผนวก ข	51
ภาคผนวก ค	53
บรรณานุกรม	60

สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 2-1 การคำนวณทางชีวกลศาสตร์	19
ตารางที่ 4-1 ผลที่ได้จากการทดลองและเก็บค่าผู้ทดลองที่ 1 (การทดลองครั้งที่ 1)	32
ตารางที่ 4-2 ผู้ทดลองที่ 1 (การทดลองครั้งที่ 2)	32
ตารางที่ 4-3 การทดลองกับผู้ทดลองคนที่ 2 (ครั้งที่ 1)	36
ตารางที่ 4-4 การทดลองกับผู้ทดลองคนที่ 2 (ครั้งที่ 2)	36



สารบัญรูป

	หน้าที่
รูปที่ 2-1 Translation	2
รูปที่ 2-2 Rotation	3
รูปที่ 2-3 Rotation จาก frame B ไปยัง frame B'	3
รูปที่ 2-4 Translation จาก B' ไป A	4
รูปที่ 2-5 Multi Transformation	5
รูปที่ 2-6 Transformation กรอบ D เทียบกรอบ U	6
รูปที่ 2-7 โครงสร้างขา	6
รูปที่ 2-8 แบบจำลองขา (คิดเป็นวัตถุแข็งเกร็ง)	6
รูปที่ 2-9 กรอบอ้างอิงขาส่วนต่าง ๆ	6
รูปที่ 2-10 แสดงวิธีการ Transformation อย่างง่าย	7
รูปที่ 2-11 Generation motion	8
รูปที่ 2-12 แสดงการหาความเร็วลัพธ์ โดยเทียบกรอบอ้างอิงของตัวเอง	9
รูปที่ 2-13 แสดงการหาความเร็วลัพธ์ โดยเทียบกรอบอ้างอิงของตัวเองของขาที่อนล่าง	10
รูปที่ 2-14 แสดงการหาความเร็วลัพธ์ โดยเทียบกรอบอ้างอิงของตัวเองของเท้า	11
รูปที่ 2-15 ความเร็วสัมพัทธ์ของวัตถุแข็งเกร็ง (E) เมื่อได้รับความเร็วเชิงมุม	13
รูปที่ 2-16 Freebody diagram ของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของขา	17
รูปที่ 2-17 แสดงการแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล	20
รูปที่ 2-18 แสดงการวิเคราะห์แรง	21
รูปที่ 3-1 แสดงแทนทางเดิน	22
รูปที่ 3-2 แสดงแทนวัดแรง	22
รูปที่ 3-3 แสดงแอมพลิฟายเออร์	23
รูปที่ 3-4 แสดงไมโครคอนโทรลเลอร์	23
รูปที่ 3-5 แสดงการติคมาร์คเกอร์	24
รูปที่ 3-6 แสดง Marker Detector Program	25
รูปที่ 3-7 แสดง Force Calibration Program	26
รูปที่ 4-1 กราฟแสดงการคาลิเบรตระหว่างน้ำหนักกับค่าสัญญาณอนาล็อกจากไมโครคอนโทรลเลอร์	27
รูปที่ 4-2 กราฟแรงปฏิบัติการจากผลการทดลองของ D.A. Winter	27
รูปที่ 4-3 ผลที่ได้จากแทนรับแรง	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา VIII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4-4	โมเมนต์ข้อเหวี่ยงจากการทดลองของ D.A. Winter	29
รูปที่ 4-5	โมเมนต์ข้อเหวี่ยงจากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น	29
รูปที่ 4-6	โมเมนต์ข้อเหวี่ยงจากการทดลองของ D.A. Winter	30
รูปที่ 4-7	โมเมนต์ข้อเหวี่ยงจากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น	30
รูปที่ 4-8	โมเมนต์สะโพกจากการทดลองของ D.A. Winter	31
รูปที่ 4-9	โมเมนต์สะโพกจากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น	31
รูปที่ 4-10	ภาพการเดินของผู้ทดลอง	33
รูปที่ 4-11	มุมระหว่างขาที่อนล่างและเท้า	33
รูปที่ 4-12	มุมระหว่างขาที่อนบนและขาที่อนล่าง	33
รูปที่ 4-13	มุมของขาแต่ละส่วนเทียบกับแกน X ของพื้นโลก	33
รูปที่ 4-14	ศูนย์กลางมวลของขาส่วนต่างๆ วัดจากแกน X	33
รูปที่ 4-15	ศูนย์กลางมวลของขาส่วนต่างๆ วัดจากแกน Y	33
รูปที่ 4-16	ความเร็วเชิงมุมของขาแต่ละส่วน	33
รูปที่ 4-17	ความเร่งเชิงมุมของขาแต่ละส่วน	33
รูปที่ 4-18	ความเร็วเชิงเส้นของแต่ละชิ้นส่วนที่จุด CG	34
รูปที่ 4-19	ความเร่งเชิงเส้นของแต่ละชิ้นส่วนที่จุด CG	34
รูปที่ 4-20	แรงที่เท้า(คิดเทียบกรอบอ้างอิงของตัวเอง)	34
รูปที่ 4-21	แรงที่ขาที่อนล่าง(คิดเทียบกรอบอ้างอิงของตัวเอง)	34
รูปที่ 4-22	แรงที่ขาที่อนบน(คิดเทียบกรอบอ้างอิงของตัวเอง)	34
รูปที่ 4-23	โมเมนต์จากปัจจัยต่าง ๆ ที่ข้อเท้า	34
รูปที่ 4-24	โมเมนต์จากปัจจัยต่าง ๆ ที่ข้อเข่า	34
รูปที่ 4-25	โมเมนต์จากปัจจัยต่าง ๆ ที่สะโพก	34
รูปที่ 4-26	ภาพการเดินของผู้ทดลอง	37
รูปที่ 4-27	มุมระหว่างขาที่อนล่างและเท้า	37
รูปที่ 4-28	มุมระหว่างขาที่อนบนและขาที่อนล่าง	37
รูปที่ 4-29	มุมของขาแต่ละส่วนเทียบกับแกน X ของพื้นโลก	37
รูปที่ 4-30	ศูนย์กลางมวลของขาส่วนต่างๆ วัดจากแกน X	37
รูปที่ 4-31	ศูนย์กลางมวลของขาส่วนต่างๆ วัดจากแกน Y	37
รูปที่ 4-32	ความเร็วเชิงมุมของขาแต่ละส่วน	37
รูปที่ 4-33	ความเร่งเชิงมุมของขาแต่ละส่วน	37
รูปที่ 4-34	ความเร็วเชิงเส้นของแต่ละชิ้นส่วนที่จุด CG	38
รูปที่ 4-35	ความเร่งเชิงเส้นของแต่ละชิ้นส่วนที่จุด CG	38

รูปที่ 4-36	แรงที่เท่า(คิดเทียบกรอบอ้างอิงของตัวเอง)	38
รูปที่ 4-37	แรงที่ขาที่อ่อนล่าง(คิดเทียบกรอบอ้างอิงของตัวเอง)	38
รูปที่ 4-38	แรงที่ขาที่อ่อนบน (คิดเทียบกรอบอ้างอิงของตัวเอง)	38
รูปที่ 4-39	โมเมนต์จากปัจจัยต่าง ๆ ที่ข้อเท้า	38
รูปที่ 4-40	โมเมนต์จากปัจจัยต่าง ๆ ที่ข้อเข่า	38
รูปที่ 4-41	โมเมนต์จากปัจจัยต่าง ๆ ที่สะโพก	38
รูปที่ ก-1	แสดงการสร้าง GUI Layout	41
รูปที่ ก-2	แสดงส่วนประกอบของ Layout Editor	42
รูปที่ ก-3	แสดง GUI Components	43
รูปที่ ก-4	แสดงการสร้าง GUI	45
รูปที่ ก-5	แสดงการตั้งชื่อตัวแปรอ้างอิง(Tag)	46
รูปที่ ก-6	แสดงเฟรมภาพที่ถูกแยกออกจากไฟล์ภาพวิดีโอ	49
รูปที่ ข-1	แสดงวิธีการใส่ค่า และเลือกไฟล์เพื่อคาลิเบรต	50
รูปที่ ข-2	แสดงวิธีการเลือกจุดที่ต้องการคาลิเบรต	51
รูปที่ ข-3	แสดงวิธีการเลือกไฟล์ที่ต้องการตรวจจับ	51
รูปที่ ข-4	แสดงวิธีการปรับค่าThreshold เพื่อตรวจจับตำแหน่ง	51
รูปที่ ค-1	สัดส่วนของร่างกายเทียบกับความสูง	54
รูปที่ ค-2	ความหนาแน่นเฉลี่ยเทียบกับความหนาแน่นร่างกาย	55
รูปที่ ค-3	อัตราส่วนชิ้นส่วนเทียบกับมวลทั้งหมดของร่างกาย	56
รูปที่ ค-4	ความสัมพันธ์การกระจายของมวลกับตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล	56
รูปที่ ค-5	จุดศูนย์กลางมวลในแต่ละชิ้นส่วนของร่างกาย	58



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบันการศึกษาและวิเคราะห์การเคลื่อนไหวที่ใช้กับผู้ป่วยที่มีปัญหาเกี่ยวกับการเดินยังไม่ได้รับความสนใจเท่าที่ควร อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ตามโรงพยาบาลยังมีราคาสูงและมีใช้จำกัดเฉพาะโรงพยาบาลใหญ่เท่านั้น การศึกษาวิจัยนี้จึงทำขึ้นเพื่อสร้างอุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์การเดินที่มีราคาต้นทุนถูกกว่าอุปกรณ์ที่สั่งซื้อมาจากต่างประเทศ ดังนั้นการศึกษากการเคลื่อนไหวของมนุษย์โดยวิธีทางกลศาสตร์สามารถให้ข้อมูลสนับสนุนงาน ในส่วนเวชศาสตร์การฟื้นฟูได้ คือ เป็นข้อมูลสำหรับคิดแปลงอุปกรณ์ต่างๆ ทางกายภาพ เช่น ขาเทียม แขนเทียม เครื่องประคองต่างๆ การรักษาโดยการตัดข้อต่อ การฝึกเดิน เป็นต้น และหากการวิจัยและพัฒนาสร้างเครื่องมืออุปกรณ์ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวได้ภายในประเทศด้วยต้นทุนต่ำประสบความสำเร็จจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการรักษาฟื้นฟูผู้ป่วยเหล่านี้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. สามารถตรวจจับภาพเคลื่อนไหว 2 มิติ ของชิ้นส่วนขามนุษย์ในท่วงท่าการเดิน โดยใช้วิธีการประมวลผลภาพ ด้วยต้นทุนต่ำ และอาจนำมาพัฒนาเพื่อให้เป็น 3 มิติได้
2. สามารถวัดแรงกดในแนวตั้งฉากกับพื้นของช่วงจังหวะฝ่าเท้าที่สัมผัสกับพื้นในท่วงท่าการเดิน ด้วยอุปกรณ์ที่สามารถสร้างขึ้นได้เอง
3. สามารถวิเคราะห์ผลทางจลนพลศาสตร์และจลนศาสตร์ เพื่อแสดงค่าตามข้อต่อต่างๆ โดยผลลัพธ์ที่ได้เป็นของชิ้นส่วนขาขวา พร้อมทั้งแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบของกราฟ
4. สามารถนำข้อมูลไปเป็นพื้นฐานการพัฒนาปรับปรุงการสร้างเครื่องมืออุปกรณ์ทางการแพทย์ทางด้านชีวกลศาสตร์

1.3 ขอบเขตการทำงาน

1. ตรวจสอบตำแหน่งของมาร์คเกอร์โดยใช้กล้องวีดีโอ และ โปรแกรมที่สร้างขึ้นบน Matlab
2. ช่วงเวลาที่ใช้ในการคณาน้ำหนักบนแท่นวัดแรงประมาณไม่เกิน 5 วินาที
3. น้ำหนักที่กดลงบนแท่นวัดแรงไม่เกิน 100 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ในโครงการนี้ คือ หลักการแปลงพิกัดตำแหน่ง (Transformation) เพื่อช่วยในการวิเคราะห์หาพิกัดต่างๆ หลักการวิเคราะห์ด้านจลศาสตร์ (Kinematic) และจลนพลศาสตร์ (Kinetic) เพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งข้อต่อและแรงต่างๆ หลักการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลในไมโครคอนโทรลเลอร์ และหลักการสร้างกราฟเพื่อใช้แสดงผลการทดลองที่วิเคราะห์มาได้

2.1 การแปลงพิกัดในสองมิติ (Transformation 2D)

ถ้าต้องการเปลี่ยนการอ้างอิงตำแหน่งจาก กรอบอ้างอิงหนึ่งเป็นอีกกรอบหนึ่ง สามารถทำได้ โดยกระบวนการ Mapping Transformation โดยหลักการ mapping มีดังนี้

2.1.1 การเคลื่อนที่ในแนวตรง (Translation)

เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างกรอบอ้างอิง 2 อันที่มีแกนขนานกันทั้งหมด ถ้ามีเวกเตอร์ระบุตำแหน่งจุดบนกรอบอ้างอิง B ต้องการจะระบุจุดนี้เทียบกับกรอบอ้างอิง A จะสามารถทำได้จากสมการ

$${}^A P = {}^B P + {}^A P_{Borg} \quad (2.1)$$

รูปที่ 2-1 Translation

$$\text{เมื่อ } {}^A P = \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} \quad \text{คือ เวกเตอร์วัดระยะจากกรอบ A}$$

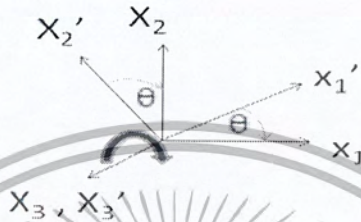
$${}^B P = \begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} \quad \text{คือ เวกเตอร์วัดระยะจากกรอบ B}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_{Borg} คือ เวกเตอร์สัมพันธ์ของกรอบอ้างอิง 2 อัน (เวกเตอร์ที่วัดจากจุด origin B เทียบแกนอ้างอิง A)

2.1.2 การเคลื่อนที่วิถีโค้ง (Rotation)

มีกรอบอ้างอิงที่จุด origin เดียวกัน 2 กรอบ โดยกรอบหนึ่งหมุนทำมุม θ จากอีกกรอบหนึ่ง สามารถหาความสัมพันธ์ของกรอบอ้างอิงทั้ง 2 อันนี้ได้ จาก Rotation matrix โดย เขียนพิกัด ในระบบ 2 มิติ โดยใช้แกน x_3 และ x_3' เป็นแกนหมุน



รูปที่ 2-2 Rotation

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \tag{2.2}$$

เมื่อ r_{12} คือ แกน x_2' เทียบแกน x_1 ในกรณี 2 มิติสามารถลดรูปได้เป็น

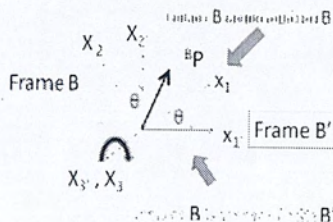
$$R = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2.3}$$

แต่ใน พิกัดจริงจะมีทั้งการอ้างอิงแบบ Translation และ rotation ซึ่งจะสามารถเขียนได้เป็น ขั้นตอนดังนี้

1. ทำการหมุนกรอบอ้างอิง B ให้มาเทียบกับกรอบอ้างอิง B' โดยใช้ Rotation matrix

$$B'P = B'RBP \tag{2.4}$$

เมื่อ $B'R$ เป็น Rotation matrix ของ frame B เทียบ frame B'



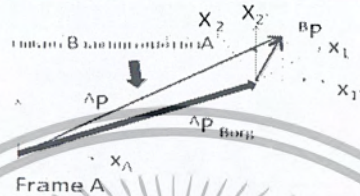
รูปที่ 2-3 Rotation จาก frame B ไปยัง frame B'

แต่จะเห็นว่าจุดกำเนิดยังอยู่คนละจุดจึงต้องทำการ Translation ให้มาเทียบกับกรอบอ้างอิง A

2. Translation เลื่อนเวกเตอร์ที่อ้างอิงในกรอบอ้างอิงให้มาเทียบตำแหน่งอ้างอิงที่ต้องการ

$${}^A P = {}^B P + {}^A P_{Borg} \tag{2.5}$$

จาก สมการ (2.4) จะสามารถเขียนใหม่ได้



รูปที่ 2-4 Translation จาก B' ไป A

$${}^A P = {}^B R {}^B P + {}^A P_{Borg} \tag{2.6}$$

เมื่อ กรอบอ้างอิง B' แกนทั้งหมดขนานกับ กรอบอ้างอิง A แต่จุดกำเนิดอยู่คนละจุด สามารถเขียนได้เป็น

$${}^A P = {}^A R {}^B P + {}^A P_{Borg} \tag{2.7}$$

ในความเป็นจริง Rotation matrix ${}^A R$ เป็น matrix ขนาด 3x3 แต่ Translation matrix ${}^A P_{Borg}$ เป็น matrix ขนาด 3x1 ถ้าต้องการจะเขียนให้อยู่ในรูป matrix จะสามารถทำได้โดยการเพิ่ม ขนาด matrix ให้เป็นขนาด 4x4 โดยเพิ่ม matrix เพิ่มอีกแถวมีค่าเท่ากับ 1 เรียก matrix ทั้งหมดว่า Transformation matrix (T)

$$\begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \\ 1 \end{bmatrix} \tag{2.8}$$

เขียนในรูป เวกเตอร์

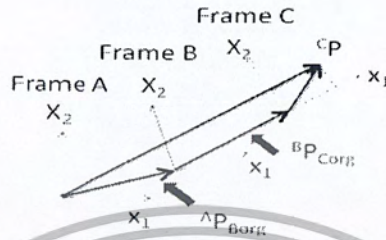
$$\begin{bmatrix} {}^A P \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^A R & {}^A P_{Borg} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}^B P \\ 1 \end{bmatrix} \tag{2.9}$$

หรือ เขียนในรูปอย่างง่าย

$${}^A P = {}^A T_B {}^B P \tag{2.10}$$

ถ้ามีการเปลี่ยนตำแหน่งอ้างอิงหลาย ๆ ครั้งเทียบกับกรอบอ้างอิงอื่น จะสามารถทำได้โดยเปลี่ยน กรอบอ้างอิง C ให้เทียบกับกรอบอ้างอิง B แล้วเปลี่ยนตำแหน่งอ้างอิงจาก กรอบอ้างอิง B เทียบกับ กรอบอ้างอิง A

ในตอนแรกทำการเปลี่ยนพิกัดจาก กรอบอ้างอิง C เป็นกรอบอ้างอิง B



รูปที่ 2-5 Multi Transformation

$${}^B P = {}^B C R \begin{bmatrix} C P \\ 1 \end{bmatrix} + {}^B P_{Corig} \tag{2.11}$$

และ

$${}^A P = {}^A B R \begin{bmatrix} B P \\ 1 \end{bmatrix} + {}^A P_{Borig} \tag{2.12}$$

∴

$${}^A P = {}^A B R ({}^B C R \begin{bmatrix} C P \\ 1 \end{bmatrix} + {}^B P_{Corig}) + {}^A P_{Borig} \tag{2.13}$$

$${}^A P = {}^A B R \begin{bmatrix} B C R \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C P \\ 1 \end{bmatrix} + {}^A B R \begin{bmatrix} B P_{Corig} \\ 1 \end{bmatrix} + {}^A P_{Borig} \tag{2.14}$$

สามารถเขียนได้ในรูป Transformation matrix T

$$\begin{bmatrix} A P \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A B R C R & A B R P_{Corig} + A P_{Borig} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C P \\ 1 \end{bmatrix} \tag{2.15}$$

เมื่อ

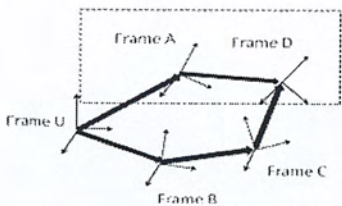
$${}^A_C T = \begin{bmatrix} A B R C R & A B R P_{Corig} + A P_{Borig} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2.16}$$

จะสามารถเขียนได้ในรูป

$${}^A P = {}^A_C T \begin{bmatrix} C P \\ 1 \end{bmatrix} \tag{2.17}$$

เมื่อมีกรอบอ้างอิงหลายกรอบสามารถแสดงการ Transformation ได้หลายแบบ เช่น ถ้าต้องการอ้างอิงตำแหน่งบนกรอบอ้างอิง D โดยอ้างอิงเทียบกับ กรอบอ้างอิง U สามารถทำได้ 2 แบบ

1. เปลี่ยนตำแหน่งอ้างอิงจากกรอบอ้างอิง D เป็นกรอบอ้างอิง A แล้วเปลี่ยนตำแหน่งอ้างอิงจาก กรอบอ้างอิง A เป็น กรอบอ้างอิง U



รูปที่ 2-6 Transformation กรอบ D เทียบกรอบ U

$${}^U_D T = {}^U_A T {}^A_D T \tag{2.18}$$

- เปลี่ยนตำแหน่งอ้างอิงจากกรอบอ้างอิง D เป็นกรอบอ้างอิง A หลังจากนั้น เปลี่ยนตำแหน่งอ้างอิงจากกรอบอ้างอิง C เป็นกรอบอ้างอิง B และ เปลี่ยนตำแหน่งอ้างอิงจากกรอบอ้างอิง B เป็น กรอบอ้างอิง U

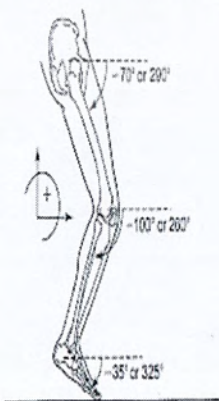
$${}^U_D T = {}^U_B T {}^B_C T {}^C_D T \tag{2.19}$$

$$\therefore {}^U_A T {}^A_D T = {}^U_B T {}^B_C T {}^C_D T \tag{2.20}$$

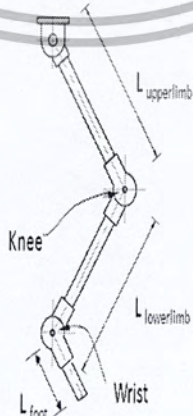
ดังนั้น ถ้าเราต้องการจะหาพิกัดจากตำแหน่งบนกรอบอ้างอิง D เทียบกรอบอ้างอิง U เราจะสามารถทำได้ โดยทำการ Transformation เพียง 2 ครั้ง เราจะได้พิกัดของ ตำแหน่ง D โดยวัดจากกรอบอ้างอิง U หรือ ถ้าอยากทราบความสัมพันธ์ระหว่างกรอบอ้างอิง 2 อัน เมื่อทราบ transformation ของเฟรมอื่นๆ เราจะสามารถหาความสัมพันธ์ของ กรอบอ้างอิง ที่เหลือได้ โดยใช้การ inverse matrix ถ้าต้องการหาพิกัดของ กรอบอ้างอิง C เทียบ กรอบอ้างอิง B

$${}^B_C T = {}^U_B T^{-1} {}^U_A T {}^A_D T {}^C_D T^{-1} \tag{2.21}$$

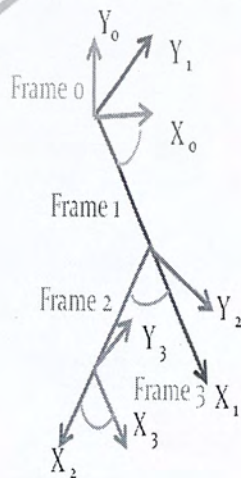
หลังจากทราบวิธีการสร้างสมการ การ Transformation ของกรอบอ้างอิงต่าง ๆ เทียบ กรอบอื่นได้แล้ว เราจะต้องกำหนด กรอบอ้างอิง ของขาแต่ละส่วนขึ้น



รูป 2-7 โครงสร้างขา



รูป 2-8 แบบจำลองขา (คิดเป็นวัตถุแข็งเกร็ง)



รูป 2-9 กรอบอ้างอิงขาส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกำหนดให้ขาแต่ละส่วน (ขาท่อนบน, ขาท่อนล่าง, เท้า) เป็นวัตถุแข็งเกร็งที่วางตัวขนานอยู่ในแนวแกน x ของกรอบอ้างอิงของตนเอง โดยจุดปลายของขาท่อนบนจะเป็นจุดเดียวกับจุดกำเนิดของขาท่อนล่าง และจุดปลายของขาท่อนล่างจะเป็นจุดเดียวกับจุดกำเนิดของเท้า โดยวิธีการคิดแบบนี้คือการคิดว่าวัตถุแข็งเกร็งต่อกันด้วย revolute joint แล้วหาความสัมพันธ์ของแต่ละจุดเริ่มตั้งแต่จุดแรกจนถึงจุดสุดท้าย

โดยปกติแล้ว (ความเร็ว ความเร่ง แรง และ โมเมนต์) จะเป็นเวกเตอร์ซึ่งอ้างอิงอยู่บนกรอบอ้างอิงใดอันหนึ่งอยู่ ในตอนแรกจะให้เวกเตอร์นี้อ้างอิงอยู่บนกรอบอ้างอิง 0 ถ้าต้องการให้เวกเตอร์นี้อ้างอิงเทียบกรอบอ้างอิง A จะต้องทำการ Transformation เพื่อหาว่าเวกเตอร์นี้มีขนาดเท่าไรในแนวแกน X, Y, Z ของกรอบอ้างอิง A ถ้ามีเวกเตอร์อื่นอยู่ในกรอบอ้างอิง A อยู่แล้วเราจะสามารถนำเวกเตอร์ที่ผ่านวิธีการ Transformation มาแล้วมารวมตามแนวแกนต่าง ๆ ได้โดยตรง (เนื่องจากมีกรอบอ้างอิงเดียวกันแล้ว) วิธีการนี้เป็นวิธีการทาง Robotic ที่จะทำให้เราทราบข้อมูลต่าง ๆ ที่ต้องการหาได้อย่างละเอียดมากยิ่งขึ้น โดยปกติแล้วเวลาคำนวณการเคลื่อนที่ของวัตถุแข็งเกร็งนั้นจะคิดเทียบกรอบอ้างอิง 0 (พื้นโลกคือแกน X_0 ความสูงคือแกน Y_0) เราจะสามารถคำนวณหาผลลัพธ์ได้เพียงแค่กรอบอ้างอิง 0 เช่น วัตถุมีความเร็วในแนวแกน $X_0 = 1\text{ m/s}$ แต่ถ้าเราใช้สมการ Transformation นี้เราจะสามารถรู้ได้ถึงความเร็วเริ่มต้นเมื่อเทียบจากกรอบอ้างอิงอื่นเช่น วัตถุมีความเร็วในแนวแกน $X_0 = 1\text{ m/s}$ แต่เมื่อเทียบกับกรอบอ้างอิง B ที่แกน X ทำมุม 30° กับพื้นโลก วัตถุนี้จะมีความเร็วเมื่อเทียบจากกรอบอ้างอิง B คือ 0.5 m/s ในแนวแกน Y_B และ 0.866 m/s ในแนวแกน X_B เป็นต้น



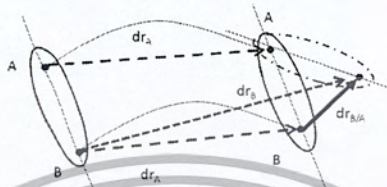
รูป 2-10 แสดงวิธีการ Transformation อย่างง่าย

การเคลื่อนที่บนระนาบของวัตถุแข็งเกร็งจะถูกอธิบายด้วยการรวมกันของการเคลื่อนที่แบบ Translation และ Rotation ในการมองการเคลื่อนที่แบบนี้จะต้องมองแบบแยกการเคลื่อนที่ออกจากกัน จะใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์กรอบอ้างอิง 2 กรอบ โดยการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดจะถูกเขียน ในรูปสมการคณิตศาสตร์ ที่เป็นฟังก์ชันของความยาวและมุมระหว่างกรอบอ้างอิง 2 กรอบ ซึ่งมีปัจจัยต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องวิเคราะห์ ดังนี้

2.2 การวิเคราะห์ทางจลนพลศาสตร์และจลศาสตร์

2.2.1 ความเร็ว (Linear Velocity)

ในการหาความสัมพันธ์ของความเร็วระหว่าง จุด A และ จุด B จะต้องทำการอนุพันธ์สมการตำแหน่ง ดังนี้



รูป 2-11 Generation motion

จาก

$$r_B = r_A + r_{B/A} \tag{2.22}$$

ระหว่างช่วงเวลาใด ๆ จุด A และจุด B อยู่ภายใต้การกระจัด dr_A และ dr_B ถ้าพิจารณาการเคลื่อนที่แบบทั่วไปโดยองค์ประกอบของมัน จะพบว่าวัตถุทั้งหมดจะเคลื่อนไปโดยระยะกระจัด dr_A ดังนั้นจุด A จะเคลื่อนไปยังตำแหน่งสุดท้ายของจุด A และ B ก่อนหลังจากนั้นจุด B ก็จะหมุนไปยังจุด B' โดยวัตถุหมุนรอบจุดหมุน A ด้วยมุม $d\theta$ ดังนั้น จุด B จะอยู่ภายใต้การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ $dr_{B/A}$ และเคลื่อนไปยังตำแหน่งสุดท้ายคือจุด B' เนื่องจากการหมุนรอบจุด A

$$dr_{B/A} = r_{B/A} d\theta \tag{2.23}$$

และการกระจัดคือ

$$dr_B = dr_A + dr_{B/A} \tag{2.24}$$

ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของจุด A และ B จำเป็นต้องทำการอนุพันธ์สมการตำแหน่ง จะได้

$$\frac{dr_B}{dt} = \frac{dr_A}{dt} + \frac{dr_{B/A}}{dt} \tag{2.25}$$

$$V_B = V_A + V_{B/A} \tag{2.26}$$

เมื่อ V_B และ V_A ถูกวัดจากกรอบอ้างอิง 0 หมายถึงความเร็วสัมบูรณ์ของจุด A และ B และขนาดของพจน์ที่ 3 คือ $V_{B/A} = r_{B/A} \dot{\theta} = r_{B/A} \omega$ หรือเขียนในรูปเวกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_B = V_A + \omega \times r_{B/A} \tag{2.27}$$

จากสมการ Transformation ถ้ามีเวกเตอร์ใดเวกเตอร์หนึ่ง เช่น เวกเตอร์ความเร็วที่อ้างอิงจากกรอบอ้างอิงหนึ่ง เราจะสามารถหาเวกเตอร์นี้เทียบกับกรอบอ้างอิงอื่นได้ดังนี้

ถ้าจุดกำเนิดของกรอบอ้างอิง A มีความเร็วที่อ้างอิงจากกรอบอ้างอิง 0 เราสามารถใช้ Rotation Matrix ที่ได้กล่าวถึงขั้นต้นนั้น แปลงเวกเตอร์ที่อ้างอิงบนกรอบอ้างอิง 0 ให้มาอ้างอิงบนพิกัด A ดังนี้

$$V_{AX} = (\cos \theta)V_{0X} - (\sin \theta)V_{0Y} \tag{2.28}$$

$$V_{AY} = (\sin \theta)V_{0X} + (\cos \theta)V_{0Y} \tag{2.29}$$

เขียนได้ในรูป matrix

$$\begin{bmatrix} V_{AX} \\ V_{AY} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{0X} \\ V_{0Y} \end{bmatrix} \tag{2.30}$$

$${}^A_0V = {}^A_0R {}^0V \tag{2.31}$$

หรือ

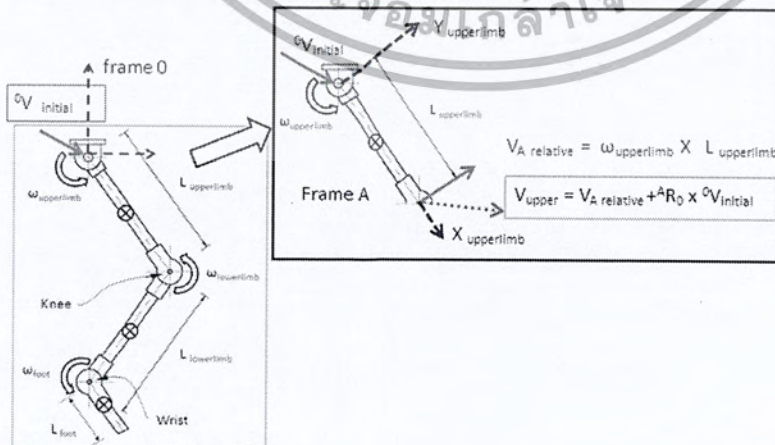
$$*{}^A_0V = [{}^A_0R]^{-1} {}^0V \tag{2.32}$$

เมื่อ $*{}^A_0V$ คือความเร็วต้นจากกรอบอ้างอิง 0 ที่แปลงให้อยู่ในกรอบอ้างอิง A

หลังจากนั้นนำไปรวมกับความเร็วที่เกิดจากความเร็วเชิงมุม

$$V_{A \text{ relative}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega_{A/0} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r_{A/0} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \omega_{A/0} \cdot r_{A/0} \\ 0 \end{bmatrix} \tag{2.33}$$

∴ ความเร็วลัพธ์ของเมื่อวัดเทียบ กรอบอ้างอิง A (กรอบของตัวเอง) ${}^AV_A = V_{upper} = V_{A \text{ relative}} + {}^AV_0$



รูป 2-12 แสดงการหาความเร็วลัพธ์โดยเทียบกรอบอ้างอิงของตัวเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นถ้าต้องการหาความเร็วของชิ้นส่วนที่ต่อกับชิ้นส่วนนี้จะสามารถทำได้ เช่นเดียวกันโดยถือว่าความเร็ว ${}^A V_A$ เป็นความเร็วต้น โดยทำการ Transformation เทียบกับกรอบอ้างอิงใหม่ เนื่องจากจุดกำเนิดของกรอบอ้างอิง B ติดกับจุดปลายของวัตถุแข็งเกร็งในกรอบอ้างอิง A

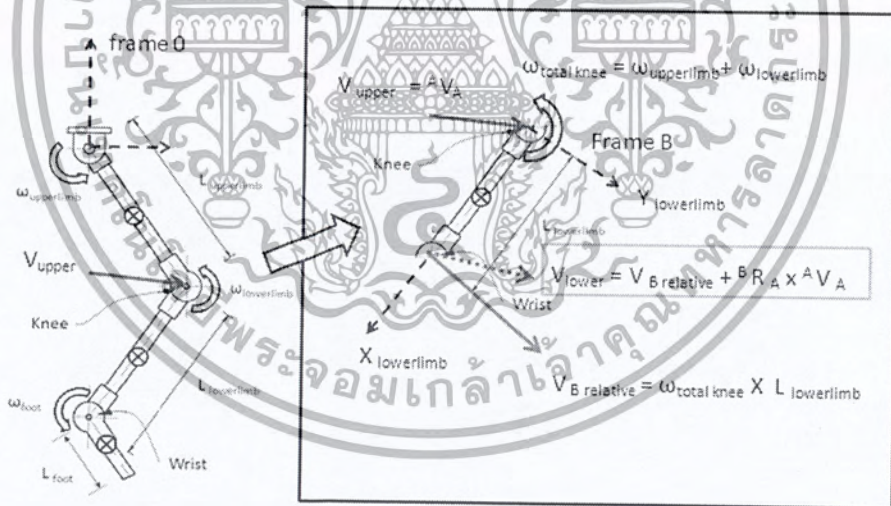
$${}^B_0V = [{}^A_B R]^{-1} A V \tag{2.34}$$

$$V_{B \text{ relative}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ (\omega_{A/0} + \omega_{B/0})^{**} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r_{B/A} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ (\omega_{A/0} + \omega_{B/0}) \cdot r_{B/A} \\ 0 \end{bmatrix} \tag{2.35}$$

** ความเร็วเชิงมุมและความเร่งเชิงมุมของชิ้นส่วนที่ 2 จะได้รับผลจากความเร็วเชิงมุมและความเร่งเชิงมุมของชิ้นส่วนที่ 1 รวมกับความเร็วเชิงมุมและความเร่งเชิงมุมของตัวเอง

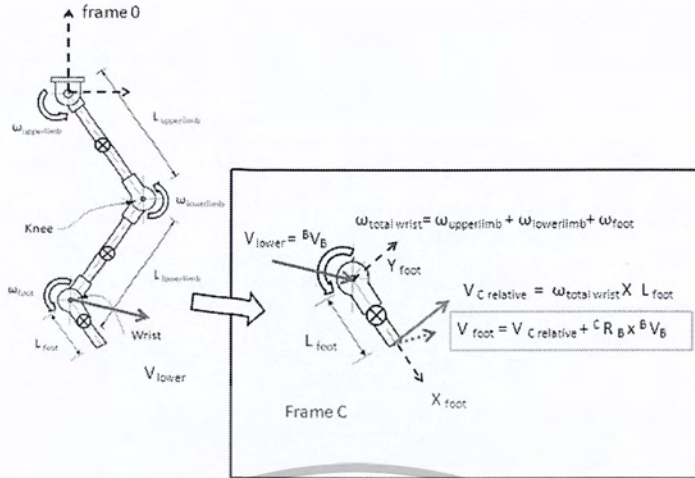
∴ ความเร็วลัพธ์ของเมื่อวัดเทียบ กรอบอ้างอิง B (กรอบของตัวเอง)

$${}^B V_B = {}^B_0V + V_{B \text{ relative}} \tag{2.36}$$



รูป 2-13 แสดงการหาความเร็วลัพธ์โดยเทียบกรอบอ้างอิงของตัวเองของขาที่อ่อนล่าง

หลังจากนั้นถ้าต้องการหาความเร็วของชิ้นส่วนที่ต่อกับชิ้นส่วนนี้จะสามารถทำได้ เช่นเดียวกันโดยถือว่าความเร็ว ${}^B V_B$ เป็นความเร็วต้น โดยทำการ Transformation เทียบกับกรอบอ้างอิงใหม่ เนื่องจากจุดกำเนิดของกรอบอ้างอิง C ติดกับจุดปลายของวัตถุแข็งเกร็งในกรอบอ้างอิง B แสดงในภาพดังนี้



รูป 2-14 แสดงการหาความเร็วลัพธ์โดยเทียบกรอบอ้างอิงของตัวเองของเท้า

หรือ อาจจะเขียนให้เป็นสมการคณิตศาสตร์ในรูปของการระบุกรอบอ้างอิงเป็นตัวเลข

ความเร็วเชิงเส้นของจุดกำเนิดของกรอบอ้างอิง (i+1) จะเท่ากับกับ ความเร็วของจุดกำเนิด กรอบอ้างอิง (i) บวกกับ ความเร็วที่เกิดจากการหมุนของกรอบอ้างอิง (i) จะสามารถเขียนได้

$${}^iV_{i+1} = {}^iV_i + {}^i\omega_i \times {}^iP_{i+1} \tag{2.37}$$

เมื่อ ${}^iV_{i+1}$ คือ ความเร็วของจุดกำเนิดของกรอบอ้างอิง (i+1) เทียบกับกรอบอ้างอิง (i)

$${}^{i+1}V_{i+1} = {}^{i+1}R({}^iV_i + {}^i\omega_i \times {}^iP_{i+1}) \tag{2.38}$$

ถ้าต้องการหาความเร็วของจุด B เทียบกับกรอบอ้างอิง 0 ก็สามารทำได้โดยการคูณ Rotation matrix เข้าด้วยกัน โดยต้องเริ่มจากหลังสุด ไปอันแรก (เนื่องจากmatrix ไม่มีคุณสมบัติการสลับที่)

$${}^0V_B = {}^0R_A R_B^A B V_B \tag{2.39}$$

2.2.2 ความเร่งเชิงเส้น (Linear Acceleration)

สมการความเร่งของจุด A และจุด B บนวัตถุแข็งเกร็งที่ได้รับผลมาจากการเคลื่อนที่ทั่วไป จะหาได้โดยการทำการอนุพันธ์สมการความเร็วเทียบเวลา จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{dV_B}{dt} = \frac{dV_A}{dt} + \frac{dV_{B/A}}{dt} \tag{2.40}$$

จากการทำการอนุพันธ์แล้วจะได้สมการดังนี้

$$a_B = a_A + a_{B/A} \tag{2.41}$$

เมื่อ $a_{B/A} = (a_{B/A})_{\text{tangent}} + (a_{B/A})_{\text{normal}} = (\alpha \times r_{BA}) + (\omega \times \omega \times r_{BA})$

ซึ่งวิธีการคิดหาความเร่งเชิงเส้นนี้โดยวิธีการ Transformation นั้นจะเหมือนกับวิธีคิดหาความเร็วเชิงเส้นที่ได้กล่าวไปก่อนหน้านี้แต่ ความเร่งจะมีพจน์ที่เพิ่มขึ้นมาคือ $(a_{B/A})_t$ และ $(a_{B/A})_n$ จะสามารถเขียนในรูป matrix ได้ดังนี้

$$a_{\text{Relative (tangent)}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \alpha_{A/O} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r_{A/O} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \alpha_{A/O} \cdot r_{A/O} \\ 0 \end{bmatrix} \tag{2.42}$$

และ

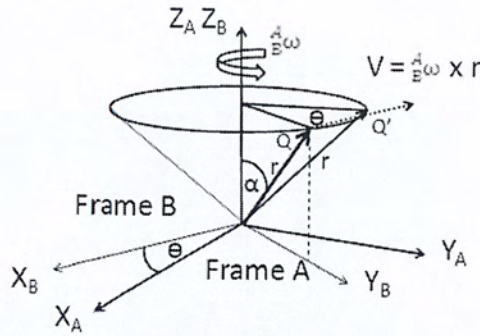
$$a_{\text{Relative (normal)}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega_{A/O} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega_{A/O} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r_{A/O} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(\omega_{A/O})^2 \cdot r_{A/O} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{2.43}$$

2.2.3 ความเร็วเชิงมุม (Rotational velocity)

พิจารณากรอบอ้างอิง 2 กรอบที่มีจุดกำเนิดร่วมกัน และมีความเร็วสัมพัทธ์เป็น 0 ดังนั้น จุดกำเนิดจะเป็นจุดเดียวกันตลอดเวลา ซึ่งวัตถุแข็งเกร็งจะถูกติดกับ กรอบ B ทิศทางของของกรอบอ้างอิง B เทียบกับกรอบอ้างอิง A จะเปลี่ยนแปลงตามเวลา ความเร็วเชิงมุมของกรอบอ้างอิง B เทียบกับกรอบอ้างอิง A จะถูกอธิบายโดย ${}^A_B\omega$ แต่เนื่องจาก ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของ เวกเตอร์ ${}^B_P V_Q$ เมื่อเทียบกับกรอบอ้างอิง B $\therefore {}^B_V_Q = 0$ และถ้าทำการสังเกต เวกเตอร์ B_P

เทียบกับกรอบอ้างอิง A จะพบว่ามีความเร็วเกิดขึ้น ความเร็วนี้เกิดจาก ความเร็วเชิงมุม ${}^A_B\omega$ ในการหาความเร็วของจุด Q เมื่อเทียบกับกรอบอ้างอิง A จะทำได้จากการวิเคราะห์ภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2-15 ความเร็วสัมผัสของวัตถุแข็งเกร็ง(r) เมื่อได้รับความเร็วเชิงมุม

เมื่อ r คือ ขนาดของ เวกเตอร์ใด ๆ

ความเร็วของ จุด Q ที่ถูกเลื่อนไปยังจุด Q' ด้วยมุม θ องศา ในเวลา t วินาที เมื่อเทียบกับกรอบอ้างอิง A จะสามารถ หาได้จาก

$$V = {}^A_B \omega (r \sin \alpha) \tag{2.44}$$

หรือสามารถเขียนได้ในรูป cross product คือ

$$V = {}^A_B \omega \times r \tag{2.45}$$

ในกรณีทั่วไป เวกเตอร์ ${}^B P$ อาจเปลี่ยนแปลงเทียบกับกรอบอ้างอิง B เมื่อต้องการจะเทียบกับกรอบอ้างอิง A จะสามารถเขียนได้เป็น

$${}^A V_Q = {}^A_B \omega \times {}^A P + {}^A ({}^B V_Q) \tag{2.46}$$

หรือ

$${}^A V_Q = {}^A_B \omega \times {}^A R^B P + {}^A R^B V_Q \tag{2.47}$$

2.2.4 ความเร่งเชิงมุม (Angular acceleration)

พิจารณากรณีที่ กรอบอ้างอิง B หมุนเทียบกับกรอบอ้างอิง A ด้วยความเร็วเชิงมุม ${}^A \omega_B$ และกรอบอ้างอิง C หมุนเทียบกับกรอบอ้างอิง B ด้วยความเร็วเชิงมุม ${}^B \omega_C$ ต้องการหาความเร่งเชิงมุม ของ ${}^A \omega_C$ เมื่อ คัดเทียบกรอบอ้างอิง A สามารถทำได้โดยการอนุพันธ์เทียบเวลา

$${}^A \omega_C = {}^A \omega_B + {}^A R^B \omega_C \tag{2.48}$$

$${}^A\dot{\omega}_C = {}^A\dot{\omega}_B + \frac{d({}^A R^B \omega_C)}{dt} \quad (2.49)$$

$${}^A\dot{\omega}_C = {}^A\dot{\omega}_B + {}^A R^B \dot{\omega}_C + {}^A\omega_B \times {}^A R^B \omega_C \quad (2.50)$$

ในพจน์ที่ 3 นั้นจะพบว่าในระบบการหมุนบนระนาบ xy นั้น ω จะหมุนรอบแกน Z เท่านั้น ทำให้พจน์ที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0

2.2.5 การเคลื่อนที่ของวัตถุแข็งเกร็งที่ต่อกันด้วยข้อต่อ แบบ Revolute joint โดยใช้การอ้างอิงกรอบอ้างอิงด้วยตัวเลข

พิจารณา link ที่ติดกันด้วยข้อต่อแบบหมุนได้ ซึ่ง link แต่ละอันจะมีการเคลื่อนที่ เทียบกับ link อื่นที่อยู่ติดกัน จากการวิเคราะห์แบบนี้ ทำให้สามารถคำนวณหาปัจจัยต่าง ๆ ของ แต่ละ link ได้ตามลำดับโดยเริ่มจากฐาน ตัวอย่างเช่น ความเร็วของ link (i+1) จะมีความเร็วเท่ากับความเร็วของ link (i) รวมกับ ความเร็วสัมพัทธ์ ของ link (i+1)

ความเร็วเชิงมุมของวัตถุแข็งเกร็งจะสามารถรวมกันได้ก็ต่อเมื่อ เวกเตอร์ ω ที่อยู่คนละกรอบอ้างอิง ถูกแปลงให้อยู่บนกรอบอ้างอิงเดียวกัน ดังนั้น ความเร็วเชิงมุมของวัตถุแข็งเกร็งที่อยู่บนกรอบอ้างอิง (i+1) จะเท่ากับ ความเร็วเชิงมุมของกรอบอ้างอิง (i) รวมกับ ความเร็วเชิงมุมของกรอบอ้างอิง (i+1) จะสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการได้

$${}^i\omega_{i+1} = {}^i\omega_i + {}_{i+1}^i R \dot{\theta}_{i+1} {}^{i+1}\hat{Z}_{i+1} \quad (2.51)$$

$$\text{เมื่อ } \dot{\theta}_{i+1} {}^{i+1}\hat{Z}_{i+1} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_{i+1} \end{bmatrix} \quad (2.52)$$

ถ้าต้องการจะหาความเร็วเชิงมุมของ กรอบอ้างอิง (i+1) เทียบตัวเองจะสามารถทำได้โดย คูณ rotation matrix ${}_{i+1}^i R$ ทั้ง 2 ข้างของสมการ จากสมการ (51)

$${}^{i+1}\omega_{i+1} = {}^{i+1} R^i \omega_i + \dot{\theta}_{i+1} {}^{i+1}\hat{Z}_{i+1} \quad (2.53)$$

แต่ในขณะนี้ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนที่บนระนาบเท่านั้น แต่วิธีการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการคิดแบบ 3 มิติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 แรงสถิตย์ (Static forces)

ในการพิจารณา แรงทางสถิตศาสตร์ ที่กระทำต่อ link ต่างๆ ในขั้นตอนแรกนั้น จะต้องทำให้ ข้อต่อทั้งหมดไม่สามารถหมุนได้ link ทั้งหมดจะถูกทำให้เป็น โครงสร้างเดียวกัน ต่อมาจึงมาพิจารณา แต่ละ link และเขียนสมการ สมดุลแรง และ โมเมนต์ในรูปของกรอบอ้างอิงของแต่ละ link (โดยแรง ที่ได้รับนั้นจะเป็นแรงที่กระทำที่จุดปลายของ link) สุดท้ายจึงคำนวณหา Torque ที่กระทำรอบข้อต่อ เพื่อให้ โครงสร้างเกิดสมดุล static

กำหนดให้ $i = 1$ ถึง N (กรอบอ้างอิงที่ i)

f_i = แรงที่กระทำต่อ link (i) เนื่องจาก แรงจาก link ($i+1$)

n_i = โมเมนต์ที่กระทำต่อ link (i) เนื่องจาก โมเมนต์จาก link ($i+1$)

เราจะใช้วิธีการกำหนดแบบนี้ เพื่อกำหนดกรอบอ้างอิงให้แต่ละ link โดยใช้กฎข้อที่ 1 ของนิวตัน

$$\sum f = 0 ; \quad {}^i f_i - {}^i f_{i+1} = 0 \quad (2.54)$$

หรือ

$${}^i f_i = {}^i f_{i+1} \quad (2.55)$$

และ ผลรวม Torque รอบจุดกำเนิดของกรอบอ้างอิง (i)

$$\sum n = 0 ; \quad {}^i n_i - {}^i n_{i+1} - {}^i p_{i+1} \times {}^i f_{i+1} = 0 \quad (2.56)$$

$${}^i n_i = {}^i n_{i+1} + {}^i p_{i+1} \times {}^i f_{i+1} \quad (2.57)$$

ถ้าต้องการเขียนสมการ (2.55) และ (2.57) ในรูปของ แรง และ โมเมนต์ ของ link ของตัวเอง สามารถทำได้โดยทำการ Transformation ด้วย Rotation matrix ${}^{i+1}_i R$ จะทำให้เราหาความสัมพันธ์ของแรงระหว่าง กรอบอ้างอิง 2 กรอบได้

จาก สมการ (2.55) สามารถเขียนได้

$${}^i f_i = {}_{i+1}^i R \quad {}^{i+1} f_{i+1} \quad (2.58)$$

จาก สมการ (2.57) สามารถเขียนได้

$${}^i n_i = {}_{i+1} R^{i+1} n_{i+1} + {}^i P_{i+1} \times {}^i f_{i+1} \quad (2.59)$$

2.2.7 สมการของนิวตันและสมการออยเลอร์

พิจารณาวัตถุแข็งเกร็ง ถ้าเราทราบ จุดศูนย์กลางมวล และ โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุแข็งเกร็งแต่ก่อน เมื่อมีการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้น จะต้องมีการเพิ่มหรือลดความเร่งวัตถุนั้น แรงที่เกิดขึ้นนั้น จะเป็น ฟังก์ชันของ ความเร่งและการกระจายมวลของ วัตถุนั้น กฎของ Newton และ กฎของ Euler จะถูกใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ของ แรง ความเฉื่อย และความเร่ง

2.2.8 สมการของนิวตัน (Newton's Equation)

วัตถุแข็งเกร็งที่กำลังเร่งด้วยความเร่งที่จุดศูนย์กลางมวล จะก่อให้เกิดแรง ตามกฎข้อที่ 2 ของ Newton

$$F = m\ddot{x}_C \quad (2.60)$$

เมื่อ m คือมวลรวมของวัตถุแข็งเกร็งนั้น

2.2.9 สมการออยเลอร์ (Euler's Equation)

วัตถุแข็งเกร็งที่หมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω และความเร่งเชิงมุม $\dot{\omega}$ จะก่อให้เกิด โมเมนต์ (N) ที่ทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ สามารถเขียนได้จากสมการ

$$N = {}^C I \dot{\omega} + \omega \times {}^C I \omega \quad (2.61)$$

เมื่อ ${}^C I$ คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของกรอบอ้างอิง C เมื่อจุดกำเนิดอยู่ที่จุดศูนย์กลางมวล

2.2.10 โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of Inertia)

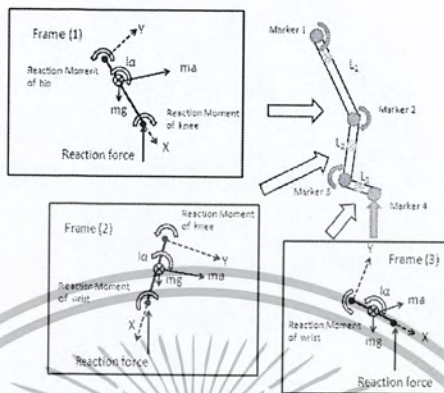
เนื่องจากวัตถุแข็งเกร็งมีขนาดและรูปร่างที่แน่นอน แรงที่ให้กับระบบ อาจก่อให้เกิดการ Translate และ Rotate (ซึ่งก่อให้เกิด Moment ถูกสร้างจากสมการ $M = I\alpha$ โดย I คือโมเมนต์ความเฉื่อย (การวัดความต้านทานของวัตถุในการหมุนด้วยความเร่งเชิงมุม จะเหมือนกับมวล ที่วัดการต้านทานในการเร่งเชิงเส้นของวัตถุ ($F = ma$))) โดยค่า I ของคน สามารถหาได้จากการทดลองทางการแพทย์

สมการโมเมนต์ ที่เกิดจากแรงภายนอก, แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุ และแรงที่เกิดจากความเร่งของวัตถุเองนั้นสามารถก่อให้เกิด โมเมนต์ได้ถ้า line of action ของแรงที่ได้กล่าวมานั้น ไม่อยู่บนจุดหมุนของวัตถุโดยโมเมนต์ที่เกิดขึ้นนั้นประกอบด้วย 1. โมเมนต์เนื่องจากความเร่งนั้นจะ

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เกิดที่จุดศูนย์กลางมวลของวัตถุแข็งเกร็ง 2. โมเมนต์ที่เกิดจากความเร่งเชิงมุม 3. โมเมนต์สถิต(Static moment) เป็น โมเมนต์ที่เกิดจากแรงภายนอกมากระทำ สามารถเขียนสมการได้ คือ

$$\sum O M = l \times R_{reactionforce} = I_O \alpha + m a_y r_{CG,x} + m a_x r_{CG,y} \tag{2.62}$$



รูปที่ 2-16 Freebody diagram ของชิ้นส่วนต่างๆของขา

ในทาง Robotic นั้นมีระบบที่ซับซ้อนมากมายที่มีจำนวน degree of freedom มาก ๆ จึงมีการสรุปแนวคิดให้เป็นสมการคณิตศาสตร์เพื่อทำให้ง่ายต่อการใช้วิเคราะห์จริง ดังนี้

Outward iterations : $i : 0 \rightarrow 3$ เป็นการคิดเริ่มจากจุดต้น ไปยังจุดปลาย

เนื่องจากวัตถุแข็งเกร็งติดกันด้วยข้อต่อแบบหมุนได้ ความเร็วและความเร่งของวัตถุนั้นจะเกิดจากความเร็วของวัตถุนั้น รวมกับความเร็วสัมพัทธ์

$${}^{i+1}\omega_{i+1} = \text{ความเร็วเชิงมุมของ marker (i+1) เทียบกรอบอ้างอิง (i+1)}$$

$${}^{i+1}P_{C_{i+1}} = \text{ความยาวจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุแข็งเกร็งเทียบกับกรอบอ้างอิง (i+1)}$$

$${}^{i+1}R = \text{Rotation matrix ของกรอบอ้างอิง (i) เทียบกับกรอบอ้างอิง (i+1)}$$

$${}^{i+1}F_{i+1} = \text{แรงจากความเร่งที่จุดศูนย์กลางมวลของวัตถุแข็งเกร็งที่ marker(i+1) เทียบกับกรอบอ้างอิง (i+1)}$$

$${}^{i+1}N_{i+1} = \text{โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุที่มีจุดหมุนอยู่บน marker (i+1) คิดเทียบ กรอบอ้างอิง (i+1)}$$

$${}^{i+1}\omega_{i+1} = {}^{i+1}R^i \omega_i + \dot{\theta}_{i+1} {}^{i+1}Z_{i+1} \tag{2.63}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$${}^{i+1}\dot{\omega}_{i+1} = {}^{i+1}{}_i R^i \dot{\omega}_i + {}^{i+1}{}_i R^i \omega_i \times \dot{\theta}_{i+1} {}^{i+1}\hat{Z}_{i+1} + \ddot{\theta}_{i+1} {}^{i+1}\hat{Z}_{i+1} \quad (2.64)$$

$${}^{i+1}\dot{v}_{i+1} = {}^{i+1}{}_i R ({}^i \dot{\omega}_i \times {}^i P_{i+1} + {}^i \omega_i \times ({}^i \omega_i \times {}^i P_{i+1}) + {}^i \dot{v}_i) \quad (2.65)$$

$${}^{i+1}\dot{v}_{C_{i+1}} = ({}^{i+1}\dot{\omega}_{i+1} \times {}^i P_{C_{i+1}} + {}^{i+1}\omega_{i+1} \times ({}^{i+1}\omega_{i+1} \times {}^{i+1}P_{C_{i+1}}) + {}^{i+1}\dot{v}_{i+1}) \quad (2.66)$$

$${}^{i+1}F_{i+1} = m_{i+1} {}^{i+1}\dot{v}_{C_{i+1}} \quad (2.67)$$

$${}^{i+1}N_{i+1} = {}^{C_{i+1}}I_{i+1} {}^{i+1}\dot{\omega}_{i+1} + {}^{i+1}\omega_{i+1} \times {}^{C_{i+1}}I_{i+1} {}^{i+1}\omega_{i+1} \quad (2.68)$$

Inward iterations : $i : 1 \rightarrow 4$ เป็นการคิดเริ่มจากจุดปลายกลับมายังจุดต้น

f_i = แรงที่กระทำต่อ marker (i) เนื่องจาก แรงจาก marker (i+1)

n_i = โมเมนต์ที่กระทำต่อ marker (i) เนื่องจาก โมเมนต์จาก marker (i+1)

$${}^i f_i = {}^i_{i+1} R^{i+1} f_{i+1} + {}^i F_i \quad (2.69)$$

$${}^i n_i = {}^i N_i + {}^i_{i+1} R^{i+1} n_{i+1} + {}^i P_{C_i} \times {}^i F_i + {}^i P_{i+1} \times {}^i_{i+1} R^{i+1} f_{i+1} \quad (2.70)$$

หลังจากทราบวิธีการสร้างสมการ Transformation ของ Frame ต่าง ๆ เทียบ Frame อ้างอิง และสร้างสมการที่ใช้ในการหาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการคำนวณหาโมเมนต์ที่ข้อต่อส่วนต่างๆ ได้แล้วเราจะนำพิกัดที่ได้จากกล้องถ่ายวิดีโอ (พิกัดที่ระบุตำแหน่งของแต่ละส่วนของขาจาก Frame อ้างอิง) มาวิเคราะห์หย้อนกลับ เพื่อหา Transformation Matrix ของแต่ละส่วนของขา (Transformation Matrix ที่หาได้นั้นจะนำมาหาความเร็ว ความเร่ง แรงของแต่ละชิ้นส่วนได้) เมื่อทราบพิกัดที่ได้จากกล้องถ่ายวิดีโอ จะสามารถนำมาหามุมของแต่ละชิ้นส่วนได้ โดยใช้วิธีการ Dot Product

$$L_{\text{foot}} \cdot L_{\text{lowerlimb}} = |L_{\text{foot}}| |L_{\text{lowerlimb}}| \cos \theta_3 \quad (2.71)$$

$$L_{\text{lowerlimb}} \cdot L_{\text{upperlimb}} = |L_{\text{lowerlimb}}| |L_{\text{upperlimb}}| \cos \theta_2 \quad (2.72)$$

$$L_{\text{upperlimb}} \cdot L_{\text{rev}} = |L_{\text{upperlimb}}| |L_{\text{rev}}| \cos \theta_1 \quad (2.73)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้องวิดีโอที่ใช้ในการจับภาพนั้นจะมีความเร็วประมาณ 30 เฟรม/วินาที แสดงว่า 1 ภาพจะใช้เวลาประมาณ 1/30วินาที เราจะหาการเปลี่ยนแปลงมุมที่ส่วนต่าง ๆ ของขา ของภาพแต่ละภาพนำมาเทียบเวลาที่ใช้ใน 1 ภาพเพื่อนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ต่อไป

Segment	Definition	Segment Weight/ Total Body Weight	Center of Mass/ Segment Length		Radius of Gyration/ Segment Length			Density
			Proximal	Distal	C of G	Proximal	Distal	
Hand	Wrist axis/knuckle II middle finger	0.006 M	0.506	0.494 P	0.297	0.587	0.577 M	1.16
Forearm	Elbow axis/ulnar styloid	0.016 M	0.430	0.570 P	0.303	0.526	0.647 M	1.13
Upper arm	Glenohumeral axis/elbow axis	0.028 M	0.436	0.564 P	0.322	0.542	0.645 M	1.07
Forearm and hand	Elbow axis/ulnar styloid	0.022 M	0.682	0.318 P	0.468	0.827	0.565 P	1.14
Total arm	Glenohumeral joint/ulnar styloid	0.050 M	0.530	0.470 P	0.368	0.645	0.596 P	1.11
Foot	Lateral malleolus/head metatarsal II	0.0145 M	0.50	0.50 P	0.475	0.690	0.690 P	1.10
Leg	Femoral condyles/medial malleolus	0.0465 M	0.433	0.567 P	0.302	0.528	0.643 M	1.09
Thigh	Greater trochanter/femoral condyles	0.100 M	0.433	0.567 P	0.323	0.540	0.653 M	1.05
Foot and leg	Femoral condyles/medial malleolus	0.061 M	0.606	0.394 P	0.416	0.735	0.572 P	1.09
Total leg	Greater trochanter/medial malleolus	0.161 M	0.447	0.553 P	0.326	0.560	0.650 P	1.06
Head and neck	C7-T1 and 1st rib/ear canal	0.081 M	1.000	— PC	0.495	1.116	— PC	1.11
Shoulder mass	Sternoclavicular joint/ glenohumeral axis	—	0.712	0.288	—	—	—	1.04
Thorax	C7-T1/T12-L1 and diaphragm*	0.216 PC	0.82	0.18	—	—	—	0.92
Abdomen	T12-L1/L4-L5*	0.139 LC	0.44	0.56	—	—	—	—
Pelvis	L4-L5/greater trochanter*	0.142 LC	0.105	0.895	—	—	—	—
Thorax and abdomen	C7-T1/L4-L5*	0.355 LC	0.63	0.37	—	—	—	—
Abdomen and pelvis	T12-L1/greater trochanter*	0.281 PC	0.27	0.73	—	—	—	1.01
Trunk	Greater trochanter/ glenohumeral joint*	0.497 M	0.50	0.50	—	—	—	1.03
Trunk head neck	Greater trochanter/ glenohumeral joint*	0.578 MC	0.66	0.34 P	0.503	0.830	0.607 M	—
HAT	Greater trochanter/ glenohumeral joint*	0.678 MC	0.626	0.374 PC	0.496	0.798	0.621 PC	—
HAT	Greater trochanter/mid rib	0.678	1.142	—	0.903	1.456	—	—

*NOTE: These segments are presented relative to the length between the greater trochanter and the glenohumeral joint.
Source Codes: M, Dempster via Miller and Nelson; *Biomechanics of Sport*, Lea and Febiger, Philadelphia, 1973. P, Dempster via Plagenhoef; *Patterns of Human Motion*, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J., 1971. L, Dempster via Plagenhoef from living subjects; *Patterns of Human Motion*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1971. C, Calculated.

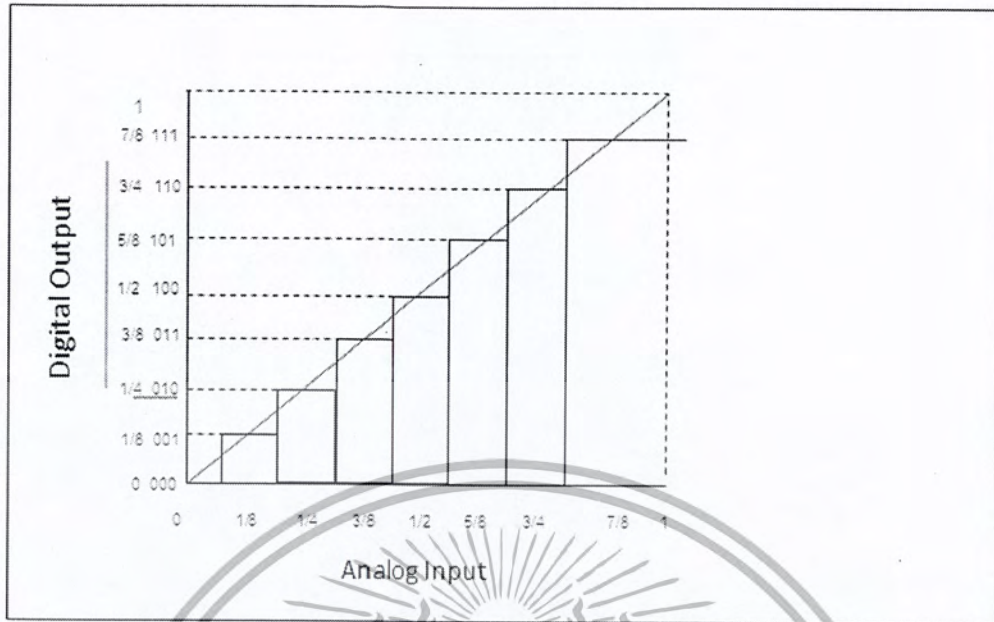
ตารางที่ 2-1 การคำนวณทางชีวกลศาสตร์*

*ข้อมูลทางชีวกลศาสตร์ส่วนอื่น สามารถหาได้จาก ภาคผนวก ค

2.3 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (A/D , ADC or A to D)

A/D เป็นกระบวนการแปลงสัญญาณที่ต่อเนื่อง (Analog) เช่น ค่าความต่างศักย์ หรือ กระแสไฟฟ้า ไปสู่ค่าดิจิตอล ในโครงการนี้เราได้รับค่าสัญญาณ ไฟฟ้า (สัญญาณอนาล็อก) จาก แอมพลิฟายเออร์ในช่วง 0 – 5 V และนำเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-17 แสดงการแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล

จากรูปถ้าเราใส่ค่าอินพุต (สัญญาณอนาล็อก) 0 ถึง 1 V เราสามารถแบ่ง 1 โวลต์ไปสู่ค่าดิจิทัลจำนวน 8 ค่า ซึ่งแต่ละค่าคือ 1/8 V เริ่มโดย 0 V สำหรับ 000, และ 001 สำหรับ 1/8 V ไปถึง 111 สำหรับ 7/8 V กระบวนการนี้เรียกว่า quantization process ซึ่งค่าที่มากที่สุดสำหรับกระบวนการนี้คือ 7/8 V สำหรับการอินพุต 1 V อนาล็อก

ดังนั้น error คือ $1\text{ V} - 7/8\text{ V} = 1/8\text{ V}$ ซึ่งค่า error นี้สามารถลดได้โดยการเพิ่มจำนวนบิต

ถ้าใช้ 10 bit A/D converter ก็จะมีค่าดิจิทัล 1024 (2^{10}) ค่า ถ้าใช้ช่วงอินพุตโวลต์ 0 – 5 โวลต์ สำหรับ 1 บิตที่อ่านได้คือ $5/1024 = 4.8\text{ mV}$ หรือ Resolution คือ 4.8 mV ค่า Full scale คือ $5 - 0.0048 = 4.9952\text{ V}$ ดังนั้นถ้าเราใส่ค่าแรงดัน 5 V ที่สามารถอ่านได้มากที่สุดเมื่อใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 10 บิตคือ 4.9952 V

2.4 สมการ Polynomials สำหรับการประมาณค่า (Evaluating Polynomials)

สมมุติว่ามีฟังก์ชัน $y = x^2 + 2x + 1$ และเราต้องการหาผลลัพธ์ (ค่า y) โดยการแทนค่า x เข้าไปในฟังก์ชัน ใน Matlab ค่า Polynomial ถูกเก็บในรูปแบบของเมตริกซ์ [1 2 1] ซึ่งรูปสมการโดยทั่วไปของ Polynomial ทุกๆลำดับคือ

$$a_1x^n + a_2x^{n-1} + a_3x^{n-2} + \dots + a_nx + a_{n+1}$$

ใน Matlab ค่า Polynomial ถูกเก็บในรูปแบบของเมตริกซ์ $[a_1\ a_2\ a_3\ \dots\ a_n\ a_{n+1}]$ ขนาดของแถวคือ n+1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

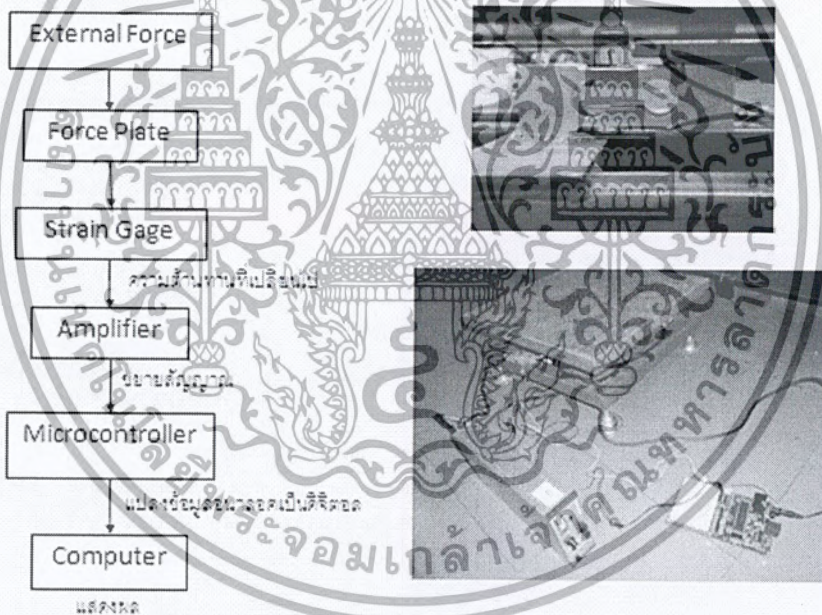
2.4.1 การสร้างกราฟ (Curve fitting)

ในการประยุกต์ทางคณิตศาสตร์ เรามักจะทำการวัดข้อมูล (input และ output จากการทดลอง) และเราจำเป็นต้องหา Polynomial มาอธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูล โดยใช้หลักการ Polynomial Curve Fitting ฟังก์ชัน POLYFIT ของ Matlab จะทำการสร้าง n-order ของ Polynomial จากข้อมูลที่มีอยู่โดยวิธีการ least squares minimization technique เขียนในรูปทั่วไปได้ดังนี้

$$\text{Poly} = \text{polyfit}(x,y,N)$$

เมื่อ x และ y คือข้อมูลจากการทดลอง และ N คือลำดับที่จะใช้สร้างฟังก์ชัน Polynomial

2.5 การวิเคราะห์แรง



รูปที่ 2-18 แสดงการวิเคราะห์แรง

เมื่อแท่นรับแรงถูกกดจะทำให้สเตรนเกจมีการยืดและหด ทำให้ค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทเปลี่ยนไป ซึ่งค่าสัญญาณเอาท์พุทที่วัดได้นั้นจะน้อยมากซึ่งอยู่ประมาณช่วงมิลลิโวลต์ จึงต้องขยายสัญญาณก่อน โดยใช้แอมพลิฟลายเออร์ จากนั้นจึงส่งต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นดิจิทัล โดยผ่านทางพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ ผ่านทางโปรแกรม Hyperterminal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

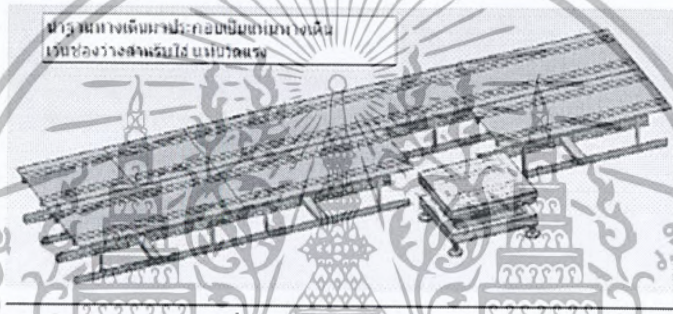
บทที่ 3

การทดลองและอุปกรณ์

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

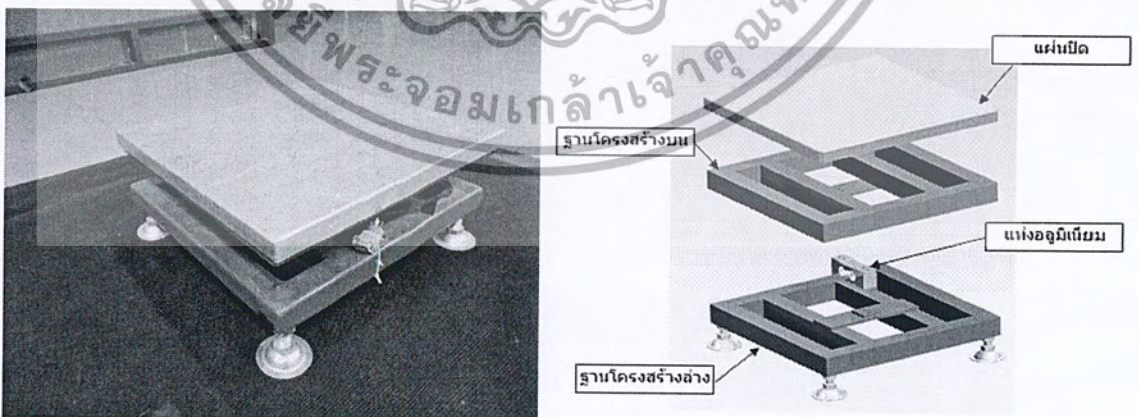
เน้นการสร้างจากวัสดุอุปกรณ์มาตรฐานที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไป เพื่อต้นทุนที่ไม่สูงมากเกินไป โครงสร้างหลักเป็นเหล็กกล่องที่มีจุดรับแรงแบบคาน โดยใช้วัสดุคืออลูมิเนียมที่ติดสเตรนเกจ โดยต่อวงจรวิสโตนบริดจ์เพื่อทำหน้าที่รับรู้แรงที่กระทำ

1. แทนทางเดิน เพื่อให้ผู้ทดลองสามารถเดินได้อย่างเป็นธรรมชาติ



รูปที่ 3-1 แสดงแทนทางเดิน

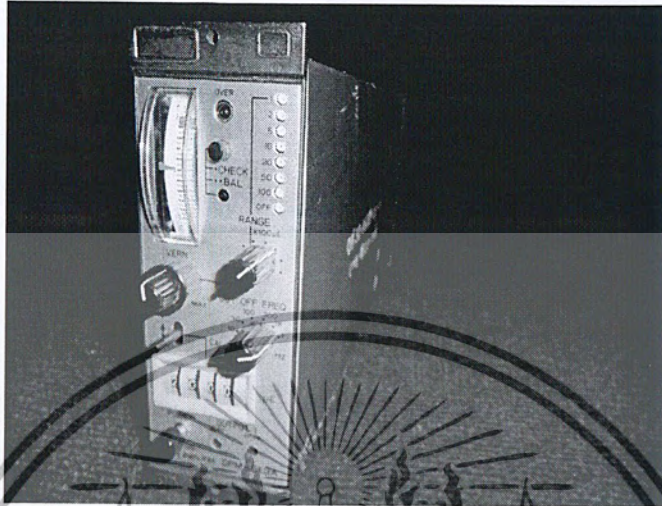
2. แทนวัดแรงสำหรับวัดแรงเพื่อใช้ในการคำนวณด้านจลนพลศาสตร์



รูปที่ 3-2 แสดงแทนวัดแรง

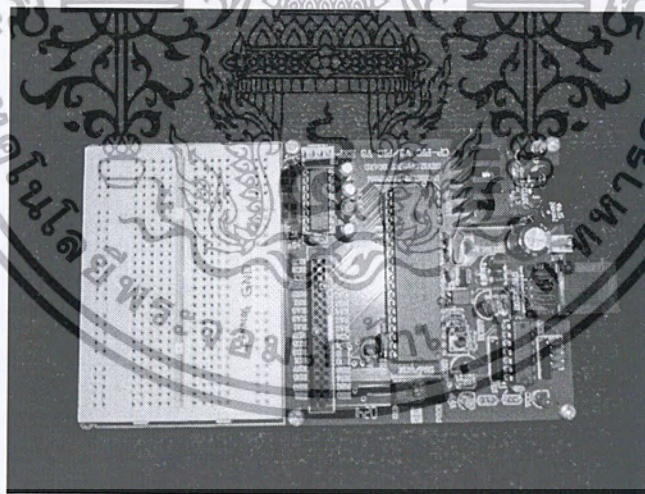
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กล้องวิดีโอ (กล้องดิจิทัล) จำนวน 1 เครื่องความเร็วในการจับภาพคือ 30 ภาพต่อวินาที
4. เครื่องขยายสัญญาณ รับและขยายสัญญาณทางไฟฟ้า



รูปที่ 3-3 แสดงแอมพลิฟายเออร์

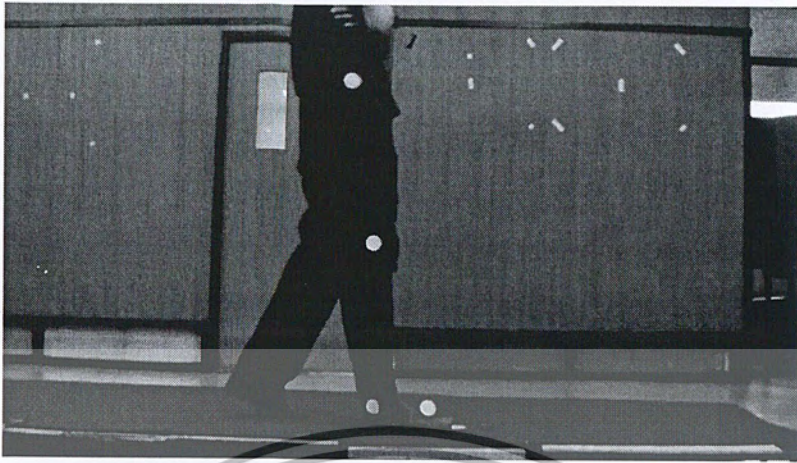
5. ไมโครคอนโทรลเลอร์แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล



รูปที่ 3-4 แสดงไมโครคอนโทรลเลอร์

6. คอมพิวเตอร์สำหรับรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแหล่งบันทึกข้อมูล
7. เครื่องหมายแทนจุดข้อต่อ (มาร์คเกอร์) ในการทดลองนี้ใช้ลูกปิงปองสีขาว ติดที่จุดข้อต่อต่างๆของผู้ทดลองเพื่อเป็นเครื่องหมายอ้างอิงการเคลื่อนไหวของจุดข้อต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-5 แสดงการติดมาร์คเกอร์

3.2 หลักการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 โปรแกรม Marker-Detector

คือโปรแกรมที่ใช้ในการสอบเทียบ (Calibration) และตรวจจับตำแหน่งต่างๆของมาร์คเกอร์ หลักการประกอบไปด้วย 4 ส่วนดังนี้

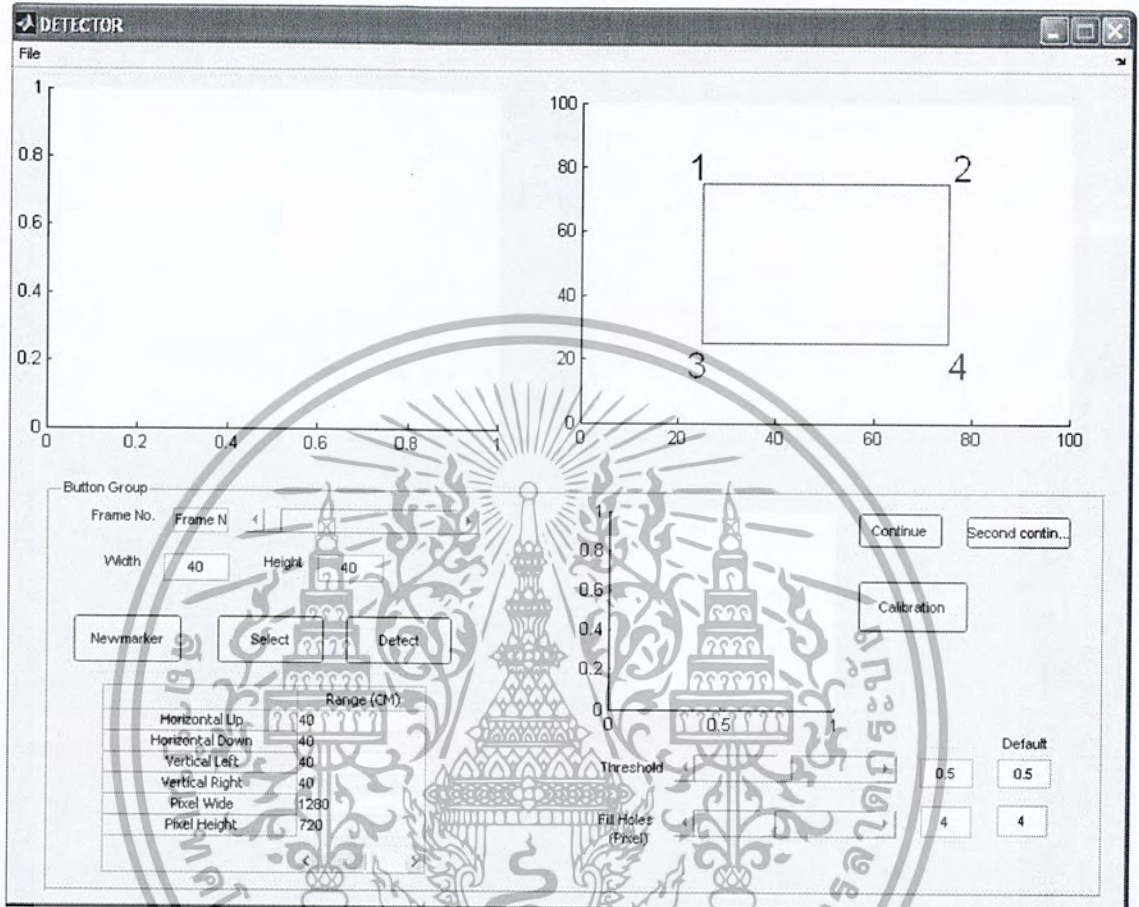
1. Calibration คือการหาระยะห่างจริงของจุดจากภาพถ่ายวิดีโอ วิธีการคือ ใช้ฟิวเจอร์บอร์ด สีเหลืองจัตุรัส (สีดำ) เป็นพื้นหลัง โดยมีมาร์คเกอร์ (จุดสีขาว) ติดที่มุมทั้ง 4 ของฟิวเจอร์บอร์ด โดยติดห่างกันระยะ 40 เซนติเมตร หลังจากนั้นถ่ายภาพ (ขนาด 1920 * 1280) แล้วนำเข้าโปรแกรมเพื่อหาระยะห่างในรูปของ pixel แล้วหาอัตราส่วนเทียบกัน

2. Input คือ การนำข้อมูลการเดินจากกล้องวิดีโอที่ได้มาเลือกช่วงเวลาที่ต้องการ แล้วจึงนำมาแยกออกมาเป็นเฟรมรูปภาพ (เลือกใช้ 30 เฟรมภาพต่อ 1 วินาที) เพื่อทำการวิเคราะห์ทีละเฟรม

3. Image Processing Step

- ทำการเปลี่ยน RGB Image ให้เป็น Grayscale Image
- ทำ Grayscale Image ให้เป็น Binary Image โดยตั้งค่า Threshold. ไว้ที่ 0.5 หรือตามความเหมาะสม
- เปลี่ยนพื้นที่สีขาวที่มีขนาดเล็กกว่า 4 pixels ให้กลายเป็นสีดำโดยตั้งค่า Fill hole ไว้ที่ 4 หรือตามความเหมาะสม
- ทำการเลือกตัดภาพ (crop)
- คำนวณหาจุดศูนย์กลางของวัตถุสีขาว (Centroid) จากภาพที่ถูกตัดออกมาของแต่ละเฟรมภาพ

4. Output คอยตรวจดูว่ามีสิ่งรบกวนในรูปภาพหรือไม่เช่น จุดสีขาว 2 จุดหรือมากกว่า ถ้ามี ให้ทำการลบออกไปโดยปรับแต่งค่า Threshold หรือ Fill hole จนเหลือจุดสีขาวเพียงจุดเดียว



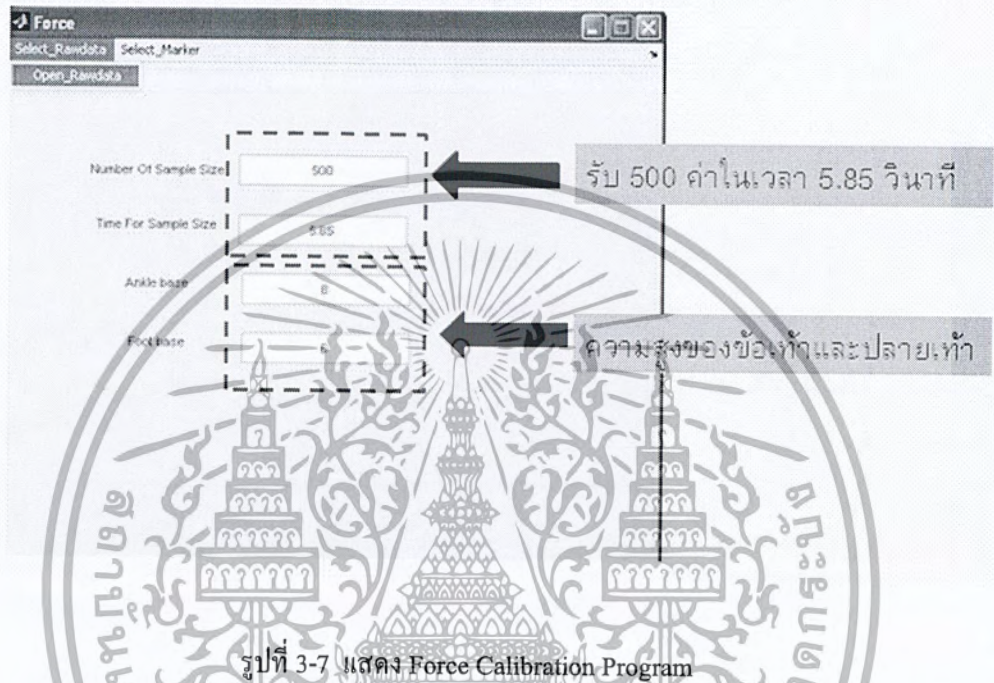
รูปที่ 3-6 แสดง Marker Detector Program

3.2.2 โปรแกรม Force Calibration

การวัดแรงนั้นทำโดยติดตั้งสเตรนเกจ 4 ตัวไว้ที่อะลูมิเนียมบาร์ใต้แท่นรับแรง ส่งค่าแรงคืนผ่านเครื่องขยายสัญญาณ โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์คอยรับค่า ตั้งให้รับค่าทั้งหมด 500 ค่าภาพในเวลา 5.25 วินาที ซึ่งผู้ทดลองจะต้องเหยียบบนแท่นรับแรงภายในช่วงเวลานี้ ในขณะที่เดียวกันก็ได้ถ่ายวิดีโอบันทึกการเดินเอาไว้ด้วยเช่นกัน จากนั้นนำวิดีโอที่บันทึกไว้มาตัดเลือกช่วงที่จะวิเคราะห์ แล้วนำเข้าสู่โปรแกรม Marker Detector เพื่อหาตำแหน่ง ส่วนแรงที่วัดได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะอยู่ในรูปของ raw data (บันทึกไว้ในรูปของ text file) ต่อไปใช้โปรแกรม Force Calibration เพื่อทำการสอบเทียบแรง ให้เป็นน้ำหนักและจับคู่เฟรมภาพกับน้ำหนักในแต่ละเฟรม หลักการคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เลือกใช้ raw data ช่วงที่มีค่ามากกว่า 0 และนับเวลาที่ใช้ จากนั้นนำค่า raw data ไปแปลงให้เป็นน้ำหนักโดยการสอบเทียบ จากนั้นนำไปพล็อตกราฟ
2. เลือกภาพ 3 เฟรมแรก ของปลายเท้าและสันเท้า จากนั้นนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับน้ำหนักโดยอยู่ต่ำกว่า (ส่วนที่อยู่ต่ำกว่านั้นคือส่วนที่เท้าเริ่มเหยียบนั่นเอง)
3. ใส่ค่าน้ำหนักเริ่มต้นให้กับเฟรมภาพที่เท้าเริ่มเหยียบและจับคู่ต่อไปเรื่อยๆจนครบ



3.3 วิธีการทดลอง

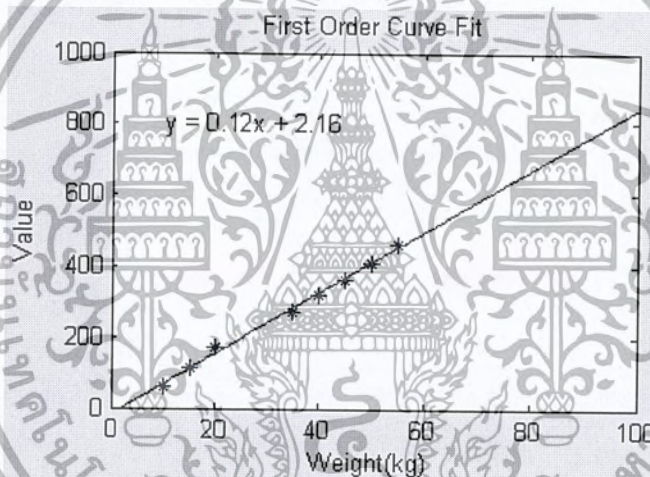
1. ติดตั้งอุปกรณ์ทดลอง และติดมาร์คเกอร์ที่ผู้ทดลอง
2. ทำการการสอบเทียบ โดยใช้แผ่นฟิวเจอร์บอร์ด(สีดำ)เป็นพื้นหลัง โดยมีมาร์คเกอร์ (จุดสีขาว) ติดที่มุมทั้ง 4 ของฟิวเจอร์บอร์ด ติดห่างกันระยะ 40 เซนติเมตร
3. ทำการการสอบเทียบ raw data จากไมโครคอนโทรลเลอร์
4. บันทึกภาพถ่ายวีดีโอพร้อมกับ รัน ไมโครคอนโทรลเลอร์
5. ตัดเฉพาะภาพถ่ายวีดีโอช่วงที่ขาของเรากำลังจะเริ่มเหยียบแทนรับแรงจนก้าวออกจากแผ่นรับแรง
6. นำภาพถ่ายวีดีโอที่ได้เข้าไปโปรแกรม Marker Detector และ Force calibration ที่ได้สร้างขึ้นจากโปรแกรม Matlab ซึ่งจะเก็บค่าที่ได้ไว้ใน Microsoft excel

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทดลองนั้นเริ่มต้นด้วยการสอบเทียบ (Calibration) กับแท่นรับแรงเพื่อเปรียบเทียบให้ได้ค่าน้ำหนักจริงของผู้ทำการทดลอง หลังจากนั้นจึงให้ผู้ทดลองทำการเดินเพื่อหาค่าตำแหน่งข้อต่อต่างๆ จากภาพวิดีโอที่บันทึกไว้โดยใช้โปรแกรม Marker Detector นำค่ามาวิเคราะห์ร่วมกับค่าแรงที่ได้จากแท่นรับแรงจากโปรแกรม Force calibration โดยค่าต่างๆที่หาได้จะแสดงอยู่ในรูปของกราฟ

4.1 ผลจากโปรแกรม Force Calibration

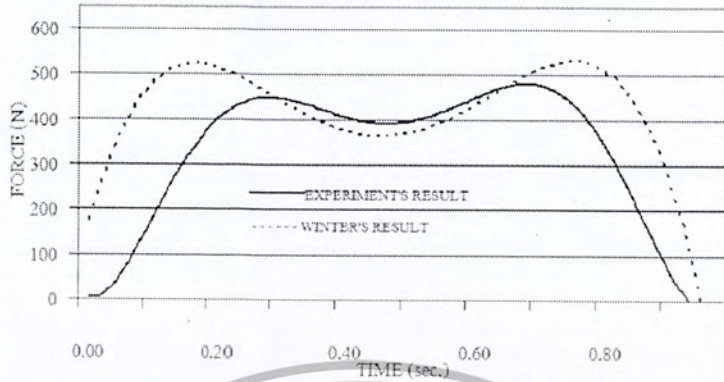


รูปที่ 4-1 กราฟแสดงการคาถิบรระหว่งน้ำหนักกับค่าสัญญาณอนาล็อกจากไมโครคอนโทรลเลอร์
จากกราฟ

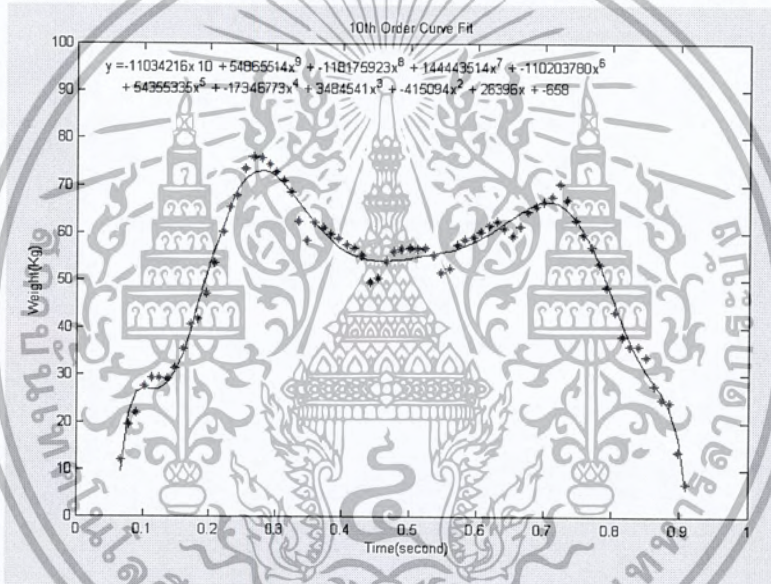
จากกราฟเป็นการสอบเทียบ ระหว่างข้อมูลของน้ำหนักกับค่าสัญญาณอนาล็อกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งได้แสดงในของรูปสมการ Linear Polynomial ได้กราฟเป็นเส้นตรง

เมื่อทำการทดลองหาค่าต่างๆ ได้กราฟมาแล้วจึงนำกราฟค่าโมเมนต์ต่างๆ มาเปรียบเทียบกับกราฟของ D.A. Winter (ผู้เชี่ยวชาญทางด้านชีวกลศาสตร์) เพื่อตรวจสอบว่าผลที่ได้จากกราฟมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด โดยกราฟที่แสดงการเปรียบเทียบเป็นไปดังรูป

เปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาที่ได้จาก โปรแกรมกับผลที่ได้จากการทดลองของ D.A. Winter



รูปที่ 4-2 กราฟแรงปฏิกิริยาจากผลการทดลองของ D.A. Winter



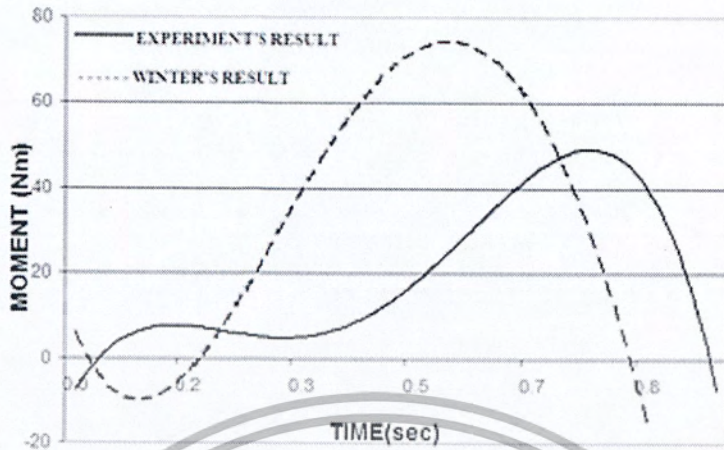
รูปที่ 4-3 ผลที่ได้จาก แทนรับแรง

จากผลการทดลองแรงที่เกิดขึ้นนั้นมี 2 ช่วง ในช่วงแรกของกราฟที่ขึ้นสูงไปนั้นคือช่วงจังหวะการเดินที่ส้นเท้าสัมผัสกับพื้น และจะลดลงเมื่อปลายเท้าเริ่มสัมผัสพื้น และจะขึ้นค่าแรงสูงสุดอีกครั้งเมื่อส้นเท้าเริ่มยกเหนือแต่เพียงปลายเท้าที่สัมผัสพื้นเท่านั้นจากนั้นแรงจะลดลงจนเป็นศูนย์เมื่อปลายเท้าเริ่มยกออกจากพื้นจนไม่มีส่วนใดของฝ่าเท้าสัมผัสกับพื้นเลย

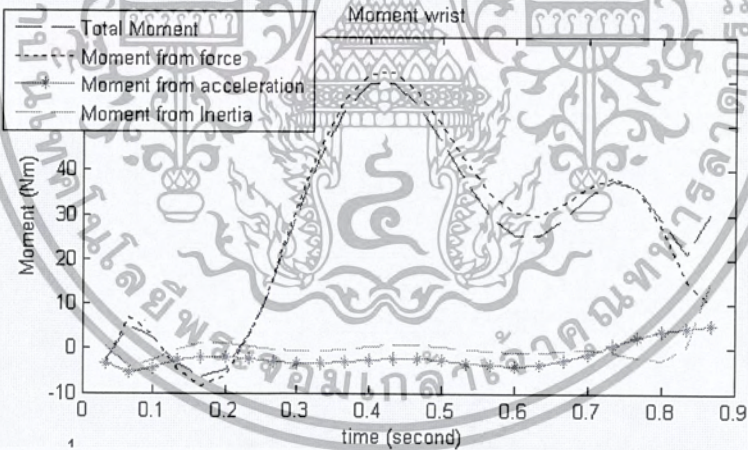
ช่วงจังหวะการเดินที่มีผลต่อชิ้นส่วนข้อต่อต่างๆจะเกิดขึ้นตอนที่ฝ่าเท้าสัมผัสพื้นในเวลาไม่เกิน 1 วินาทีเป็นส่วนใหญ่และอาศัยการวิเคราะห์ด้านจลนพลศาสตร์ในการแสดงผลข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการทางการแพทย์เพื่อวิเคราะห์แรงต่างๆ ที่กระทำต่อส่วนช่วงล่างของมนุษย์ โดยส่วนมากข้อมูลของโมเมนต์ที่ข้อต่อต่างๆ หาได้โดยคำนวณผลมาจากภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบผลของโมเมนต์ข้อเท้าที่หาได้จากผลของ D.A. Winter



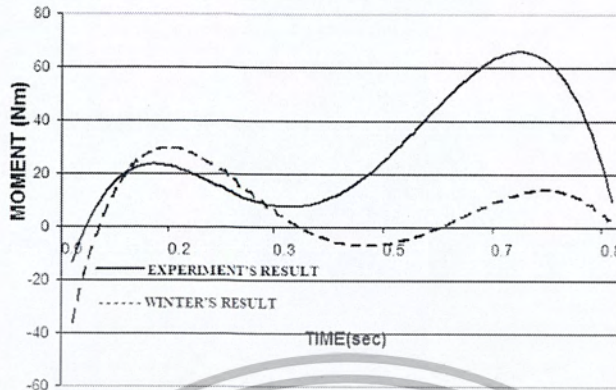
รูปที่ 4-4 โมเมนต์ข้อเท้าจากการทดลองของ D.A. Winter



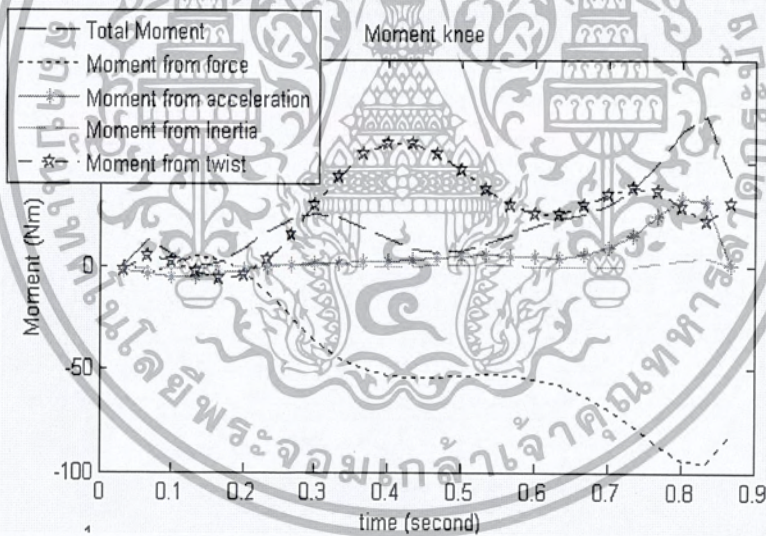
รูปที่ 4-5 โมเมนต์ข้อเท้าจากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบผลของ โมเมนต์ข้อเข่าที่หาได้กับผลของ D.A. Winter



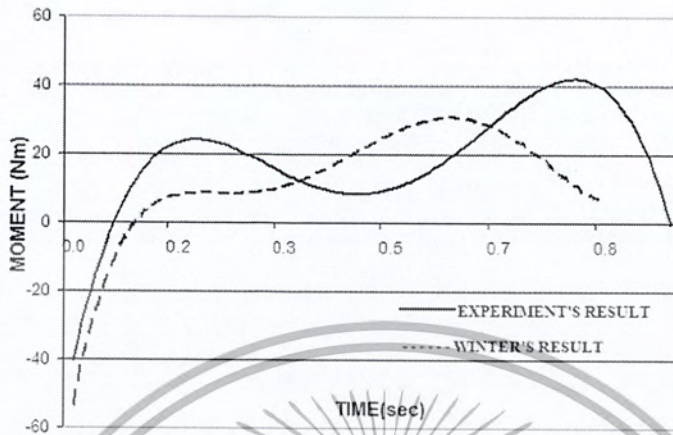
รูปที่ 4-6 โมเมนต์ข้อเข่าจากการทดสอบของ D.A. Winter



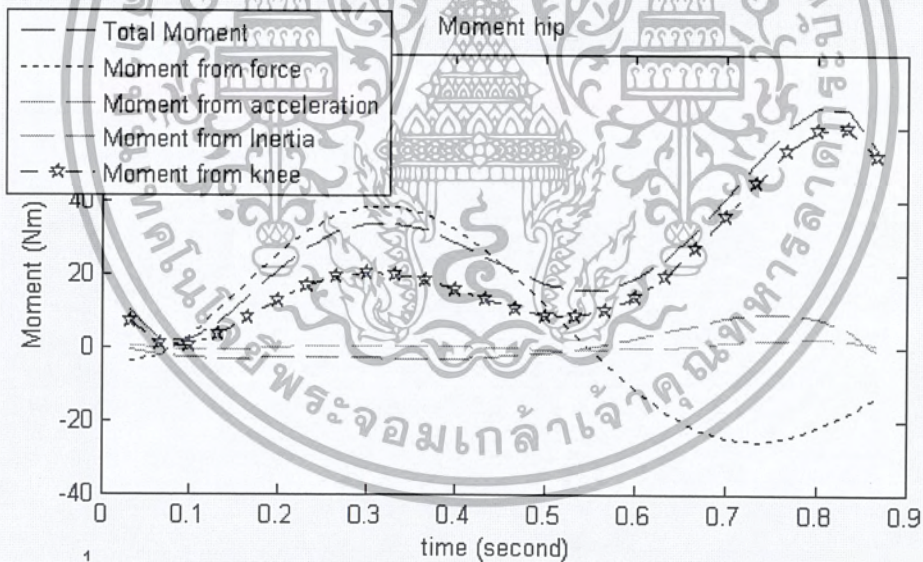
รูปที่ 4-7 โมเมนต์ข้อเข่าจากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบผลของโมเมนต์สะโพกที่ทำได้กับผลของ D.A. Winter



รูปที่ 4-8 โมเมนต์สะโพกจากการทดลองของ D.A. Winter



รูปที่ 4-9 โมเมนต์สะโพกจากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น

จะเห็นได้ว่ากราฟจากโปรแกรมที่ได้สร้างขึ้นนั้นคล้ายกับกราฟที่ได้จากการทดลองของ D.A. Winter ลักษณะกราฟไม่เหมือนกันทั้งหมดเป็นเพราะลักษณะการเดินของแต่ละบุคคลนั้นจะไม่มีทางเหมือนกัน ดังนั้นเราจึงสามารถสรุปได้ว่าโปรแกรมที่ได้สร้างขึ้นนั้นสามารถนำไปใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองใช้ผู้ทดลอง 2 คนเพื่อนำที่ได้มาวิเคราะห์และดูแนวโน้มของค่าต่างๆ ที่ได้จาก การทดลองทั้ง 2 ครั้ง โดยผลการทดลองเป็นดังนี้

4.2 ผลการทดลองจากผู้ทดลองคนที่ 1

	Moment Wrist		Moment Knee		Moment hip	
	Max 1	Max 2	Max 1	Max 2	Max 1	Max 2
Moment Magnitude	59.23	37.35	23.5	72.22	34.1	64.87
Frame	12	22	9	25	10	24
Seta foot refer to frame 0	-15.38	-45.29	-10.25	-75.21	-11.11	-59.82
Seta lowerlimb refer to frame 0	-	-	-102.56	-144.44	-106.83	-139.32
Seta upperlimb refer to frame 0	-	-	-	-	-82.91	-99.14
Seta between Upper & Lower	23.48	26.77	21.09	50.41	22.58	41.73
Seta between Lower & Foot	87.91	83.42	86.84	66.76	86.31	77.13
Force @foot X axis	-96.79	-138.67	-	-	-	-
Force @foot Y axis	396.79	229.27	-	-	-	-
Force @Lowerlimb X axis	-	-	-405.77	-250.21	-	-
Force @Lowerlimb Y axis	-	-	-46.79	45.94	-	-
Force @Upperlimb X axis	-	-	-	-	-368.59	-117.31
Force @Upperlimb Y axis	-	-	-	-	83.11	235.68

	Magnitude	Frame	Magnitude	Frame	Magnitude	Frame
F foot max X axis	-198.5	26	-	-	-	-
F foot max Y axis	474.57	10	-	-	-	-
F lowerlimb max X axis	-	-	-214.74	10	-	-
F lowerlimb max Y axis	-	-	69.87	24	-	-
F upperlimb max X axis	-	-	-	-	-362.61	10
F upperlimb max Y axis	-	-	-	-	235.68	24

ตารางที่ 4-1 ผลที่ได้จากการทดลองและเก็บค่า ผู้ทดลองที่ 1 (การทดลองครั้งที่ 1)

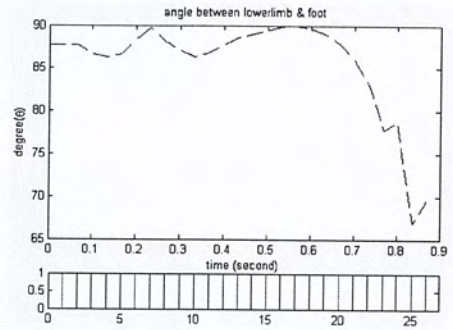
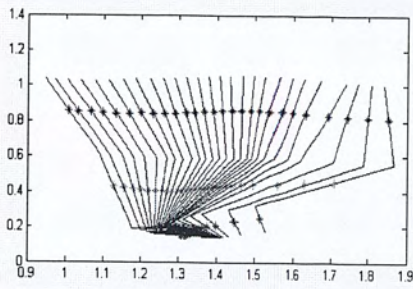
	Moment Wrist		Moment Knee		Moment hip	
	Max 1	Max 2	Max 1	Max 2	Max 1	Max 2
Moment Magnitude	39.87	30.38	39.96	26.79	34.57	85.68
Frame	16	24	16	27	6	26
Seta foot refer to frame 0	-16.24	-40.17	-6.84	-71.79	-6.84	-56.41
Seta lowerlimb refer to frame 0	-	-	-102.56	-144.44	-94.01	-141.88
Seta upperlimb refer to frame 0	-	-	-	-	-73.5	-92.31
Seta between Upper & Lower	19.1	30.48	23.72	54.49	20.83	48.59
Seta between Lower & Foot	85.26	89.19	84.49	75.29	88.85	84.05
Force @foot X axis	-45.94	-68.93	-	-	-	-
Force @foot Y axis	199.06	169.44	-	-	-	-
Force @Lowerlimb X axis	-	-	-120.79	-99.79	-	-
Force @Lowerlimb Y axis	-	-	-70.73	1.07	-	-
Force @Upperlimb X axis	-	-	-	-	-254.94	-0.64
Force @Upperlimb Y axis	-	-	-	-	26.28	110.04

	Magnitude	Frame	Magnitude	Frame	Magnitude	Frame
F foot max X axis	-78.84	21	-	-	-	-
F foot max Y axis	498.5	9	-	-	-	-
F lowerlimb max X axis	-	-	-455.68	9	-	-
F lowerlimb max Y axis	-	-	45.94	25	-	-
F upperlimb max X axis	-	-	-	-	-374.57	9
F upperlimb max Y axis	-	-	-	-	-162.18	28

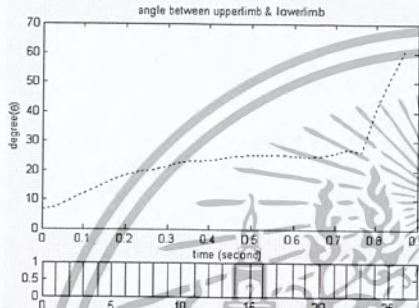
ตารางที่ 4-2 ผู้ทดลองที่ 1 (การทดลองครั้งที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

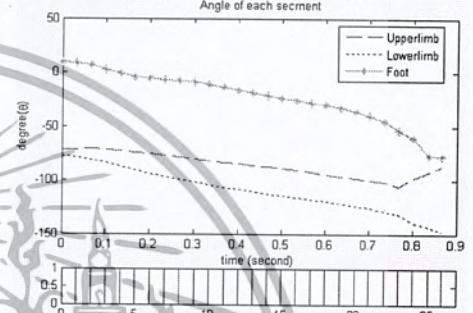
กราฟที่ได้จากการทดลองของผู้ทดลองที่ 1



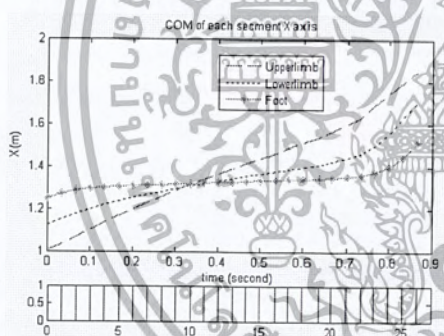
รูปที่ 4-10 ภาพการเดินของผู้ทดลอง



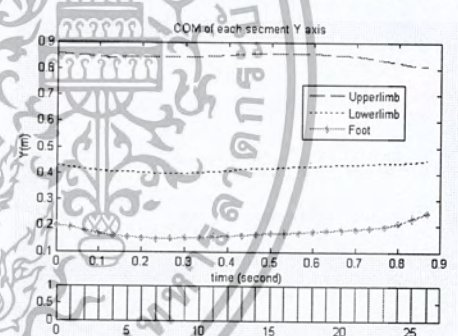
รูปที่ 4-11 มุมระหว่างขาที่อ่อนล่างและเท้า



รูปที่ 4-12 มุมระหว่างขาที่อ่อนบนและขาที่อ่อนล่าง

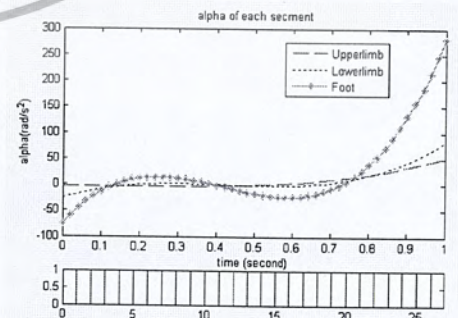
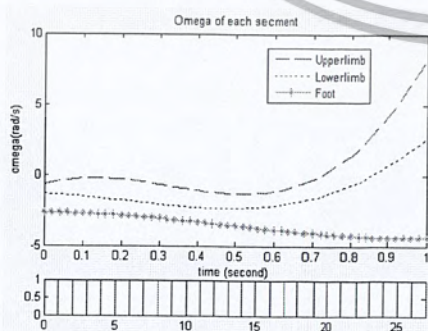


รูปที่ 4-13 มุมของขาแต่ละส่วนที่ขยแกน X ของพื้นโลก



รูปที่ 4-14 ศูนย์กลางมวลของขาส่วนต่างๆ วัดจากแกน X

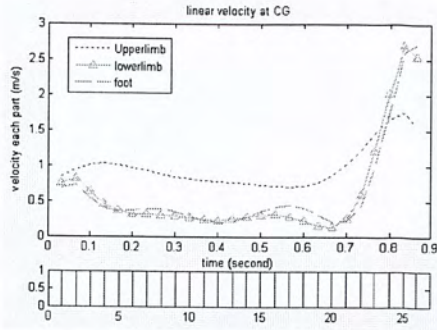
รูปที่ 4-15 ศูนย์กลางมวลของขาส่วนต่างๆ วัดจากแกน Y



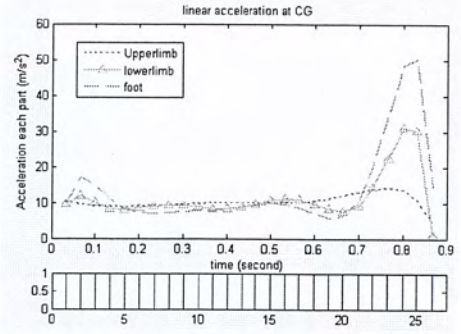
รูปที่ 4-16 ความเร็วเชิงมุมของขาแต่ละส่วน

รูปที่ 4-17 ความเร่งเชิงมุมของขาแต่ละส่วน

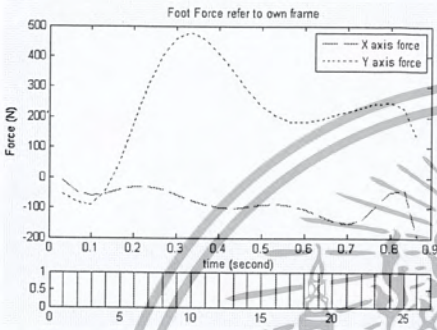
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



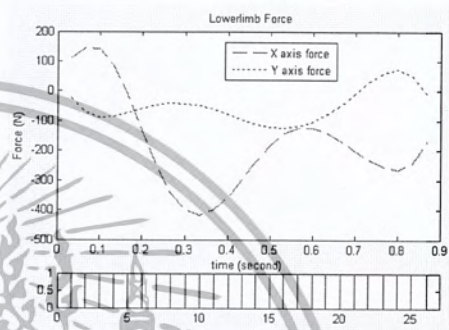
รูปที่ 4-18 ความเร็วเชิงเส้นของแต่ละชั้นส่วนที่จุด CG



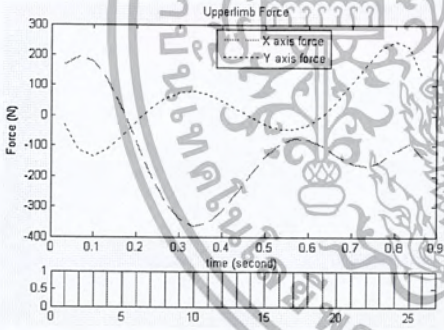
รูปที่ 4-19 ความเร่งเชิงเส้นของแต่ละชั้นส่วนที่จุด CG



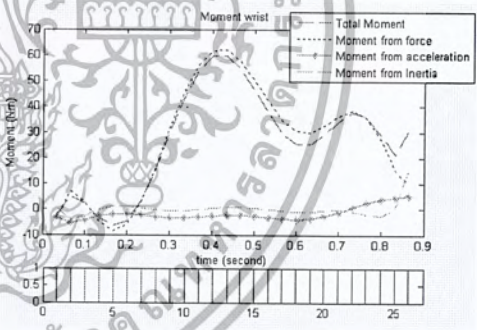
รูปที่ 4-20 แรงที่เท้า (คิดเทียบกรอบอ้างอิงของตัวเอง)



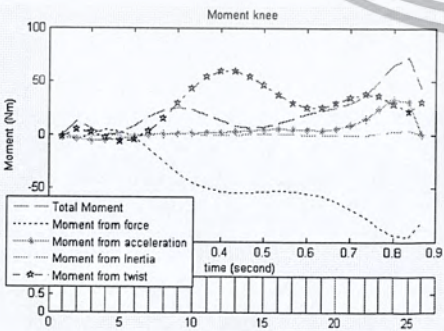
รูปที่ 4-21 แรงที่ขาตอนล่าง (คิดเทียบกรอบอ้างอิงของตัวเอง)



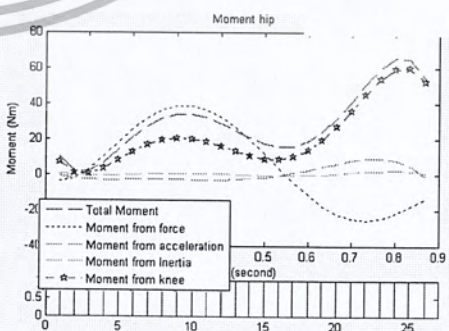
รูปที่ 4-22 แรงที่ขาตอนบน (คิดเทียบกรอบอ้างอิงของตัวเอง)



รูปที่ 4-23 โมเมนต์จากปัจจัยต่าง ๆ ที่ข้อเท้า



รูปที่ 4-24 โมเมนต์จากปัจจัยต่าง ๆ ที่ข้อเข่า



รูปที่ 4-25 โมเมนต์จากปัจจัยต่าง ๆ ที่สะโพก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองของผู้ทดลองคนที่ 1 สามารถสรุปข้อมูลได้ดังนี้

จากรูปที่ 4-23 โมเมนต์ที่ข้อเท้ามีขนาดสูงอยู่ 2 ช่วง อยู่ในช่วงเฟรมที่ 12 และเฟรมที่ 22 โดยช่วงแรก (เฟรมที่ 12) นั้นจะเป็นช่วงที่ส้นเท้ากำลังจะเริ่มลอยออกจากพื้น มุมระหว่างเท้าจะทำมุมประมาณ 15-16 องศา (รูปที่ 4-13) มุมระหว่างขาที่อนบนและล่างทำมุม 19-23 องศา (รูปที่ 4-12) และมุมระหว่างขาที่อนล่างและเท้าทำมุม 87-85 องศา (รูปที่ 4-11) จะให้โมเมนต์ที่กระทำต่อข้อเท้ามากที่สุดคือ 59.23 Nm

พิจารณาในรูปเดิม โมเมนต์ที่มีขนาดมากในช่วงที่ 2 (เฟรมที่ 22) เป็นช่วงที่ปลายเท้ากำลังจะเริ่มยกตัวออกจากพื้น มุมที่เท้าเมื่อวัดเทียบจากพื้นนั้นเป็นมุม 40-45 องศา มุมระหว่างขาที่อนบนและล่างทำมุม 26-30 องศา และมุมระหว่างขาที่อนล่างและเท้าทำมุม 83-89 องศาจะให้โมเมนต์ที่กระทำต่อข้อเท้ามากที่สุด ประมาณ 30-37 Nm

แรงภายในทั้งแกน x และแกน y เมื่อ แรงในแนวแกน x คือ แรงกด และแรงในแนวแกน y คือ แรงที่ก่อให้เกิดโมเมนต์ จากรูปที่ 4-20 พบว่า ขณะที่ปลายเท้ากำลังจะลอยออกจากพื้น แรงที่กด (แรงในแนวแกน x) จะมากที่สุดประมาณ 200 N และขณะที่ส้นเท้ากำลังจะยกออกจากพื้น แรงในแนวแกน y จะประมาณ 480 N

โมเมนต์ที่ข้อเท้ามีขนาดสูงสุด (ดูรูปที่ 4-20) จะอยู่ในเฟรมที่ 25 ทำให้ช่วงที่มุมระหว่างเท้ากับพื้นในเฟรมนี้จะมีค่ามุมประมาณ 70-75 องศาและมุมระหว่างขาที่อนล่างกับพื้นทำมุม 140-145 องศา (รูปที่ 4-13) มุมระหว่างขาที่อนล่างและเท้าทำมุม 60-73 องศา (รูปที่ 4-11) และมุมระหว่างขาที่อนบนและขาที่อนล่างประมาณ 50-55 องศา (มุม 130-135 องศา) (รูปที่ 4-12) จะให้โมเมนต์ที่กระทำต่อข้อเท้ามากที่สุดคือ 73 Nm เกิดขึ้นประมาณช่วงที่กำลังจะก้าวเท้าออกจากพื้น

4.3 ผลการทดลองจากผู้ทดลองคนที่ 2

	Moment Wrist		Moment Knee		Moment hip	
	Max 1	Max 2	Max 1	Max 2	Max 1	Max 2
Moment Magnitude	-2.2	32	23	19	52	24
Frame	17	29	20	35	6	32
Seta foot refer to frame 0	-7.7	-18.6	-7.7	-38	2	-26
Seta lowerlimb refer to frame	-	-	-100	-121	-83	-118
Seta upperlimb refer to frame	-	-	-	-	-75	-100
Seta between Upper & Lower	8.5	15.8	9.4	21	8.3	18
Seta between Lower & Foot	89.7	85	88	84	83	89
Force @foot X axis	-65	-68	-	-	-	-
Force @foot Y axis	425	218	-	-	-	-
Force @Lowerlimb X axis	-	-	-295	-91	-	-
Force @Lowerlimb Y axis	-	-	-46.7	-20	-	-
Force @Upperlimb X axis	-	-	-	-	-170	-103
Force @Upperlimb Y axis	-	-	-	-	32	-1.2

	Magnitude	Frame	Magnitude	Frame	Magnitude	Frame
F foot max X axis	89	41	-	-	-	-
F foot max Y axis	502	12	-	-	-	-
F lowerlimb max X axis	-	-	-447	13	-	-
F lowerlimb max Y axis	-	-	162	41	-	-
F upperlimb max X axis	-	-	-	-	-385	12
F upperlimb max Y axis	-	-	-	-	119	41

ตารางที่ 4-3 การทดลองกับผู้ทดลองคนที่ 2 (ครั้งที่ 1)

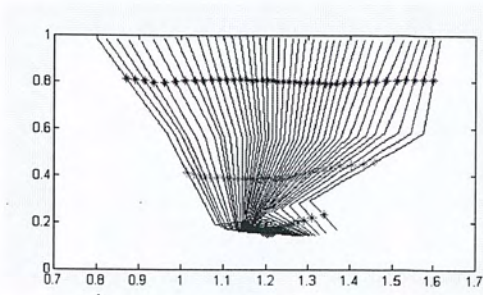
	Moment Wrist		Moment Knee		Moment hip	
	Max 1	Max 2	Max 1	Max 2	Max 1	Max 2
Moment Magnitude	-4.5	36.8	23	19	51	28
Frame	14	29	6	35	7	36
Seta foot refer to frame 0	-7	-12	-2.9	-40	-5.6	-30
Seta lowerlimb refer to frame	-	-	-81	-123	-82	-118
Seta upperlimb refer to frame	-	-	-	-	-78	-100
Seta between Upper & Lower	6	21	3.3	20	3	17
Seta between Lower & Foot	85	87	77	82	77	87
Force @foot X axis	-52	-65	-	-	-	-
Force @foot Y axis	541	275	-	-	-	-
Force @Lowerlimb X axis	-	-	-205	-74	-	-
Force @Lowerlimb Y axis	-	-	23	-14	-	-
Force @Upperlimb X axis	-	-	-	-	-220	-86
Force @Upperlimb Y axis	-	-	-	-	28	7

	Magnitude	Frame	Magnitude	Frame	Magnitude	Frame
F foot max X axis	186	35	-	-	-	-
F foot max Y axis	544	13	-	-	-	-
F lowerlimb max X axis	-	-	-485	13	-	-
F lowerlimb max Y axis	-	-	141	46	-	-
F upperlimb max X axis	-	-	-	-	-432	14
F upperlimb max Y axis	-	-	-	-	84	46

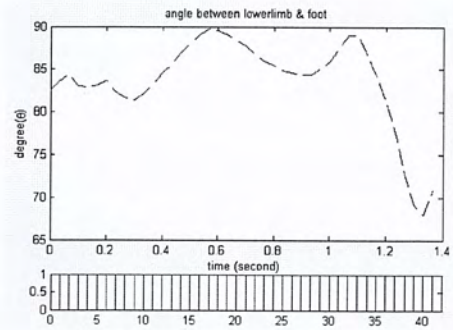
ตารางที่ 4-4 การทดลองกับผู้ทดลองคนที่ 2 (ครั้งที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

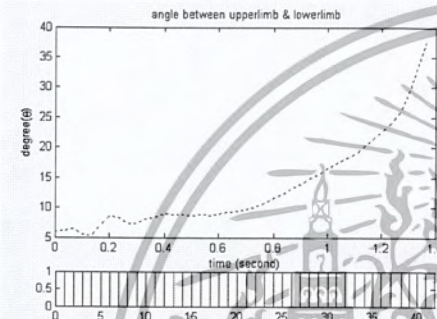
กราฟที่ได้จากการทดลองของผู้ทดลองที่ 2



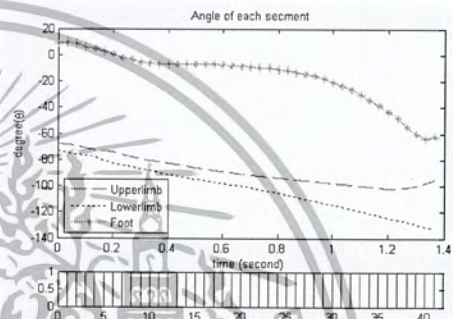
รูปที่ 4-26 ภาพการเดินของผู้ทดลอง



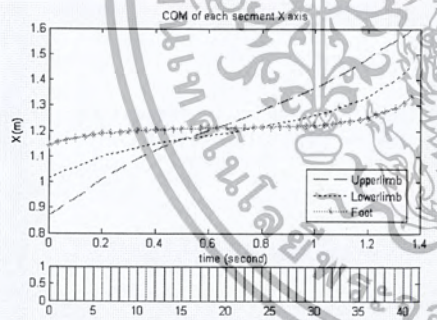
รูปที่ 4-27 มุมระหว่างขาที่อ่อนล่างและเท้า



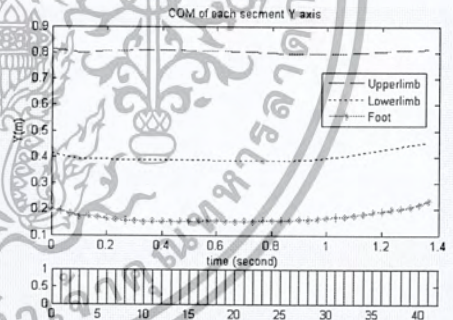
รูปที่ 4-28 มุมระหว่างขาที่อ่อนบนและขาที่อ่อนล่าง



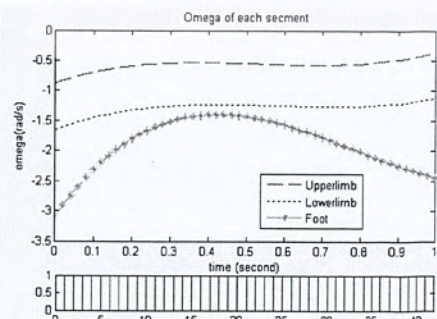
รูปที่ 4-29 มุมของขาแต่ละส่วนเทียบกับแกน X ของพื้นโลก



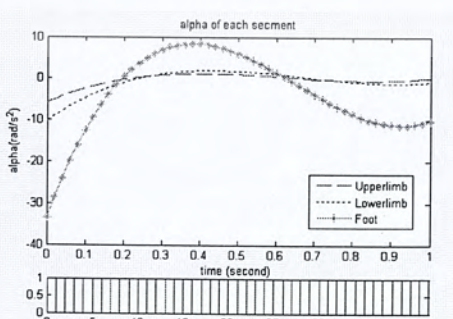
รูปที่ 4-30 ศูนย์ถ่วงมวลของขาส่วนต่างๆ วัดจากแกน X



รูปที่ 4-31 ศูนย์ถ่วงมวลของขาส่วนต่างๆ วัดจากแกน Y

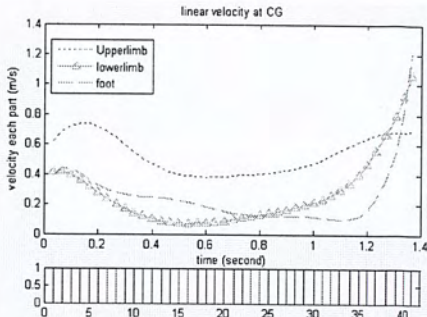


รูปที่ 4-32 ความเร็วเชิงมุมของขาแต่ละส่วน

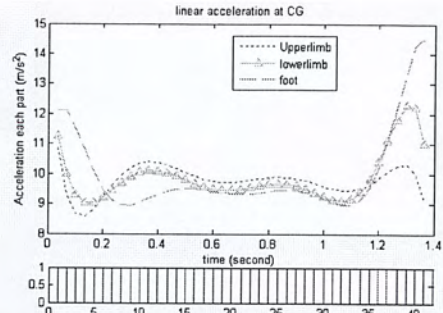


รูปที่ 4-33 ความเร่งเชิงมุมของขาแต่ละส่วน

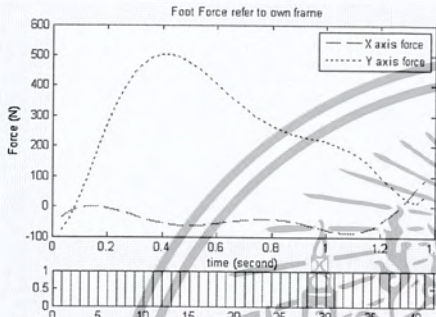
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



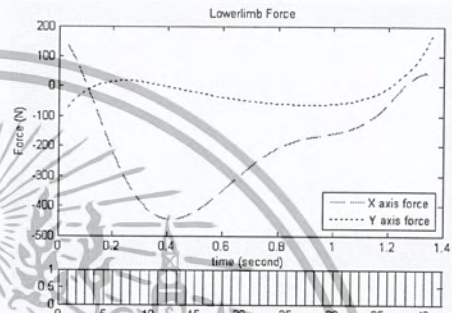
รูปที่ 4-34 ความเร็วเชิงเส้นของแต่ละชั้นส่วนที่จุด CG



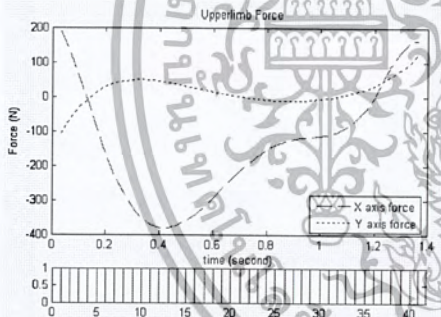
รูปที่ 4-35 ความเร่งเชิงเส้นของแต่ละชั้นส่วนที่จุด CG



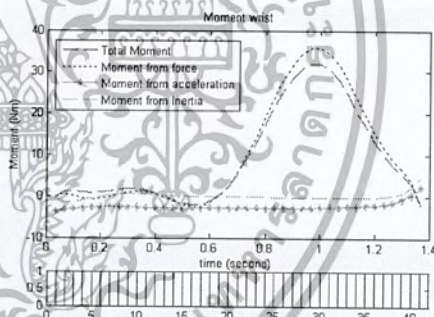
รูปที่ 4-36 แรงที่เท้า(คิดเทียบกรอบอ้างอิงของตัวเอง)



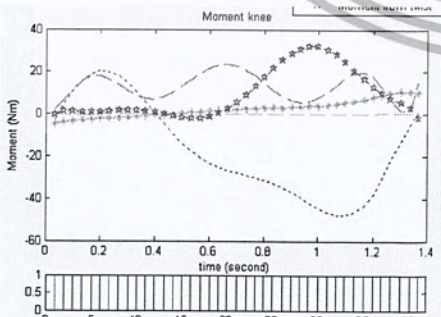
รูปที่ 4-37 แรงที่ขาตอนล่าง(คิดเทียบกรอบอ้างอิงของตัวเอง)



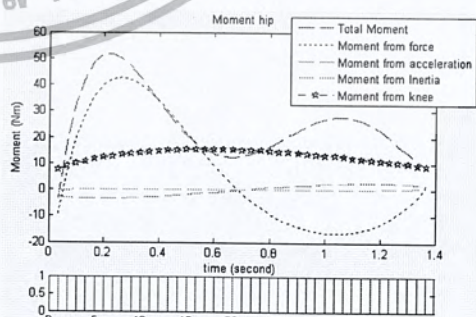
รูปที่ 4-38 แรงที่ขาตอนบน (คิดเทียบกรอบอ้างอิงของตัวเอง)



รูปที่ 4-39 โมเมนต์จากปัจจัยต่างๆ ที่ข้อเท้า



รูปที่ 4-40 โมเมนต์จากปัจจัยต่างๆ ที่ข้อเข่า



รูปที่ 4-41 โมเมนต์จากปัจจัยต่างๆ ที่สะโพก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองของผู้ทดลองคนที่ 2 สามารถสรุปข้อมูลได้ดังนี้

จากรูปที่ 4-39 โมเมนต์ที่ข้อเท้ามีขนาดสูงเพียงแค่ 1 ช่วง ซึ่งเป็นโมเมนต์ที่กระทำต่อข้อเท้ามากที่สุดคือ 39 Nm (เฟรมที่ 29) เป็นช่วงที่ปลายเท้ากำลังถีบตัวออกจากพื้น จะมีมุมระหว่างเท้าประมาณ 12-18 องศา (รูปที่ 4-29) มุมระหว่างขาที่อนบนและล่างทำมุม 11-16 องศา (รูปที่ 4-28) และมุมระหว่างขาที่อนล่างและเท้าทำมุม 85-87 องศา (รูปที่ 4-27)

จากกราฟแรงภายในทั้งแกน x และแกน y (รูปที่ 4-36) พบว่า ขณะที่ปลายเท้ากำลังถีบตัวออกจากพื้น แรงที่กด(แรงในแนวแกน x) จะมากที่สุดประมาณ 80-90 N และขณะที่ส้นเท้ากำลังจะยกออกจากพื้น แรงในแนวแกน y จะประมาณ 500-550 N

จากรูปที่ 4-40 โมเมนต์ที่ข้อเข่ามีขนาดสูงสุด 2 ช่วง ในช่วงแรก จังหวะที่ส้นเท้าเริ่มออกจากพื้น ที่มีมุมระหว่างเท้ากับพื้นจะทำมุมประมาณ 3-8 องศา และมุมระหว่างขาที่อนล่างกับพื้นทำมุม 80-120 องศา (รูปที่ 4-29) มุมระหว่างขาที่อนล่างและเท้าทำมุม 75-90 องศา (รูปที่ 4-27) และมุมระหว่างขาที่อนบนและขาที่อนล่าง ประมาณ 3-10 องศา (มุม 178-170 องศา) (รูปที่ 4-28) จะให้โมเมนต์ที่กระทำต่อข้อเข่ามากที่สุดคือ 23 Nm

ในการทำงานเดียวกันเมื่อพิจารณาช่วงที่ 2 จังหวะที่กำลังปลายเท้าเริ่มออกจากพื้น ที่มีมุมระหว่างเท้ากับพื้นจะทำมุมประมาณ 35-40 องศา มุมระหว่างขาที่อนล่างกับพื้นทำมุม 120-125 องศา มุมระหว่างขาที่อนล่างและเท้าทำมุม 80-85 องศา และมุมระหว่างขาที่อนบนและขาที่อนล่าง ประมาณ 20-22 องศา (มุม 160-158 องศา) จะให้ โมเมนต์ที่กระทำต่อข้อเข่ามากที่สุดคือ 19 Nm เกิดขึ้นประมาณช่วงที่กำลังจะยกส้นเท้าออกจากพื้น

จากการทดลองทั้งสองครั้ง พบว่าขนาดของโมเมนต์ที่ดูจากกราฟนั้นอาจจะไม่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากการเดินแต่ละครั้งของผู้ทดลองไม่เหมือนกัน แต่เราก็สามารถหาแนวโน้มของมุมที่ก่อให้เกิดโมเมนต์มากที่สุดเพื่อจะนำค่าที่ได้ไปช่วยในการรักษาผู้ป่วยต่อไป

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง

1. โมเมนต์ที่ข้อเข่าจังหวะที่ขณะกำลังก้าวออกจากแท่นรับแรงมีค่ามากที่สุด ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาการปวดที่ข้อเข่า

2. น้ำหนักจะมีค่ามากในจังหวะที่เท้าก้าวลงบนแท่นรับแรง และขณะที่เท้าขึ้นนิ่งเฉยๆ น้ำหนักจะมีค่าน้อยกว่า

3. ปัจจัยเรื่องความเร่ง, โมเมนต์ความเฉื่อย ก่อให้เกิด โมเมนต์ที่ข้อเข่าน้อยมากเมื่อเทียบกว่าแรงที่กระทำที่ขา

5.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง

1. ตำแหน่งการวางเท้าลงบนแท่นรับแรงไม่เหมือนกัน ซึ่งส่งผลให้ได้ค่าแรงที่มีความแตกต่างกันตามไปด้วย เช่น ถ้าเหยียบตรงปลายแท่นรับแรงจะได้น้ำหนักมากกว่าปกติ

2. โปรแกรมยังไม่สามารถจับภาพการเดินที่เร็วเกินไปได้ทัน เนื่องจากเฟรมภาพที่ได้จากกล้องวีดีโอไม่เพียงพอ จะส่งผลให้ภาพเบลอในบางเฟรม

3. ลักษณะการเดินของผู้ทดลอง แต่ละคนไม่เหมือนกัน ซึ่งส่งผลให้ผลที่ได้จากการทดลองมีค่าแตกต่างกันด้วย

5.3 ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาต่อ

1. ควรสร้างอุปกรณ์ที่เมื่อมีแรงกระทำบนแท่นวัดแรง และส่งให้กล้องวีดีโอเริ่มทำงานทันที

2. ควรให้พื้นหลังห้องมีโทนสีดำ เพื่อลดการรบกวนในการใช้โปรแกรมตรวจจับตำแหน่ง

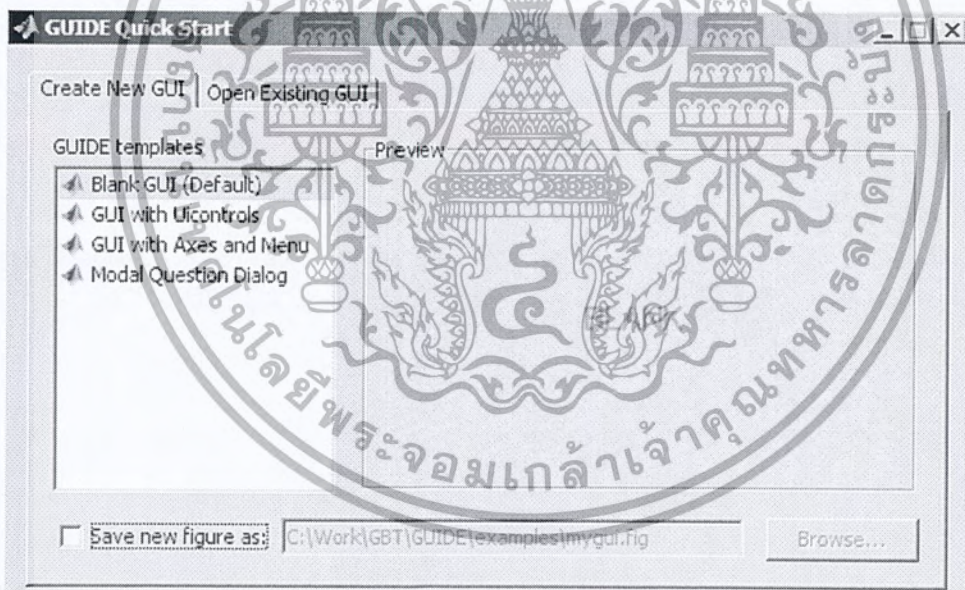
3. การติดมาร์คเกอร์ที่ดีควรติดให้แน่นอยู่กับข้อต่อ เพื่อขณะเดินมาร์คเกอร์จะได้ไม่เคลื่อนไปมาจากจุดที่ต้องการตรวจจับ

ภาคผนวก ก

MATLAB graphical user interface development environment (GUIDE)

GUIDE เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรม Matlab ที่มีชุดของเครื่องมือในการสร้างงานกราฟฟิกที่สามารถติดต่อกับผู้ใช้ได้โดยการคลิกเมาส์หรือป้อนข้อมูลทางคีย์บอร์ด การใช้ GUIDE แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ GUI Layout และ GUI Programming ซึ่งในโปรแกรมนี้เราได้สร้างบน GUI Layout เป็นหลัก(เรียกสั้นๆว่า GUI) โดยจะไม่กล่าวถึง GUI Programming

GUI Layout นั้นจะใช้เครื่องมือใน Matlab ที่เรียกว่า Editorช่วยสร้าง ซึ่งเราสามารถสร้าง GUI ได้โดยการคลิกและลาก GUI Component โดยใช้เมาส์ เช่น แกนที่ใช้วาดกราฟ (axes) ปุ่มต่าง (buttons) ตัวกรอกข้อมูล (text fields) บาร์ (sliders) ภายในพื้นที่ของ Layout และสามารถสร้าง Menu เพื่อเซฟและอ่านข้อมูลได้เช่นกัน

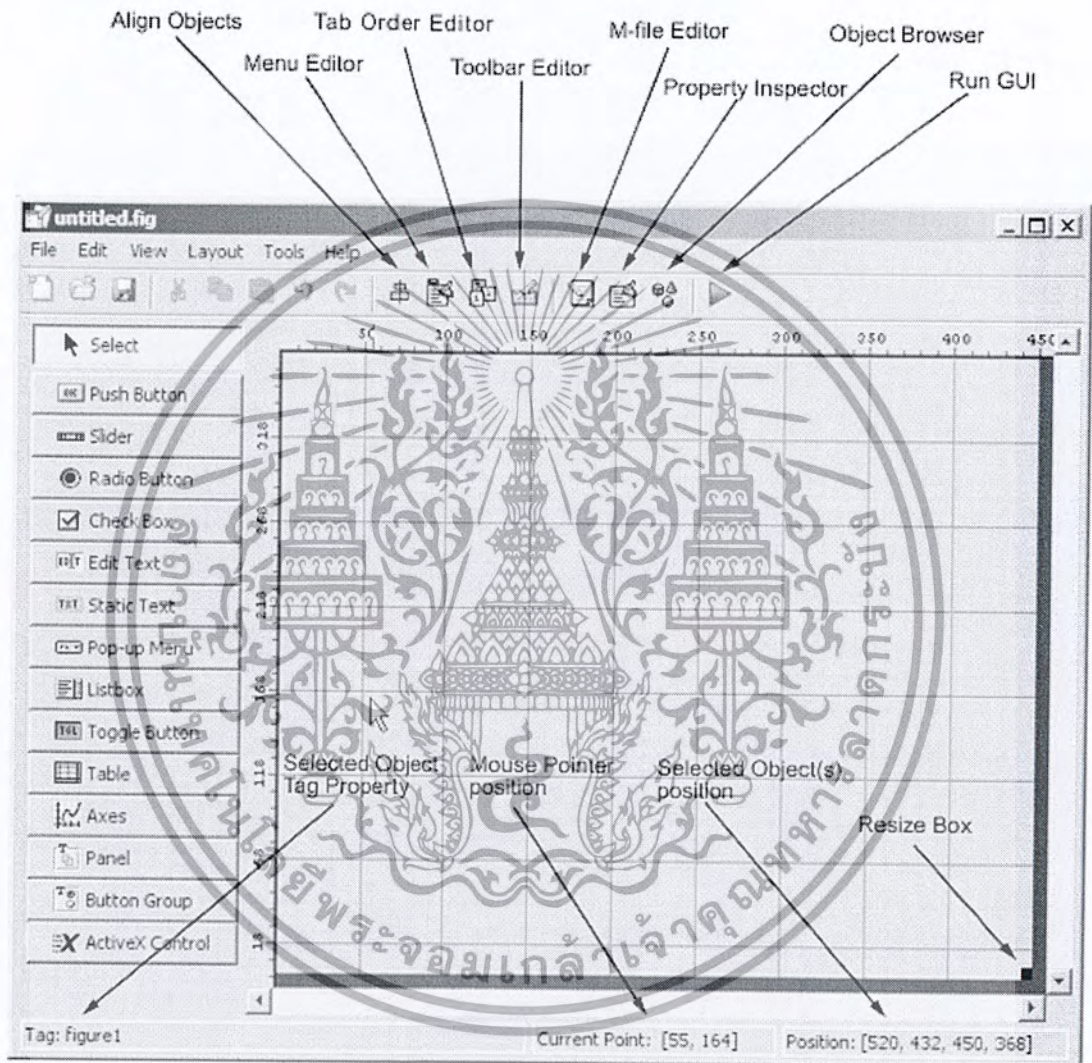


รูป ก-1 แสดงการสร้าง GUI Layout

ซึ่งการทำงานของ GUI โดยทั่วไปแล้วจะทำงานร่วมกับ M-file เมื่อเราสร้าง GUI เสร็จและทำการเซฟข้อมูล Matlab ก็ จะสร้าง Fig-file (ไฟล์ที่มีนามสกุล .fig) M-file (ไฟล์ที่มีนามสกุล .m) เบื้องต้นให้กับเราด้วย ซึ่งเราสามารถสั่งให้แต่ละปุ่มภายใน GUI ทำงานได้โดยการใส่ซอร์สโค้ด (Source code) ลงไปใน M-file ที่สัมพันธ์กับปุ่มใน GUI นั้นๆ โดยการอ้างชื่อที่ Tag

การตั้งชื่อตัวแปรระหว่างฟังก์ชัน

โดยปกติตัวแปรเราสามารถกำหนดตามแบบทั่วไป แต่ถ้าเราต้องการให้ตัวแปรนั้นมีการทำงานข้ามฟังก์ชันกันภายใน GUI ตัวแปรที่ใช้จะต้องมีคำว่า handles. นำหน้า เช่น dog ให้เปลี่ยนเป็น handles.dog



รูปที่ ก-2 แสดงส่วนประกอบของ Layout Editor

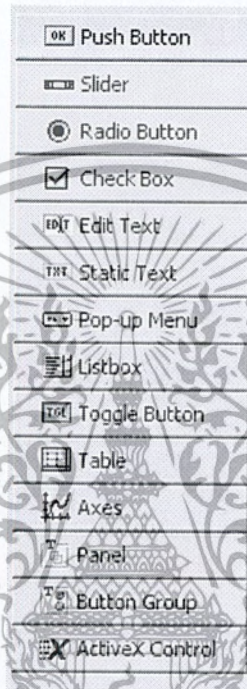
จากรูปมีส่วนต่างๆที่สำคัญคือ

1. Align Object ใช้สำหรับจัดวางปุ่มให้เป็นระเบียบ
2. Menu Editor ใช้สำหรับสร้างเมนูด้านบนซ้ายของ GUI เพื่อเปิดและบันทึกไฟล์
3. M-file Editor ใช้สำหรับเปิด M-file ที่สัมพันธ์กับ fig-file นั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Property Inspector ใช้สำหรับเปลี่ยนชื่อปุ่มโดยสามารถเปลี่ยนชื่อปุ่มได้ที่ String และเปลี่ยนชื่อตัวอ้างอิงปุ่มนี้กับ M-file โดยการเปลี่ยนชื่อที่ Tag
5. ปุ่ม Run เพื่อให้โปรแกรมทำงาน

GUI Components ประกอบไปด้วย



รูปที่ ก-3 แสดง GUI Components

1. Push Button เป็นปุ่มทั่วไปเพื่อกดก็มีการทำงาน ใน M-file จะมีชื่อว่า
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
เมื่อเราต้องการให้ปุ่มนี้แสดงคำว่า Goodbye เมื่อมีการกดก็ให้ใส่คำว่า
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
display Goodbye
2. Slider เป็นแถบเลื่อนเมื่อเลื่อนไปทางซ้ายสุดจะมีค่าเป็น 0 และเมื่อเลื่อนไปขวาสุดจะมีค่าเป็น 1
3. Radio Button เป็นปุ่มที่เมื่อมีการกดเม้าส์ลงจะแสดงการมาร์คและทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

function radiobutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
if (get(hObject,'Value') == get(hObject,'Max'))
    A = 1;
else
    A = 2;
end

```

จากซอร์สโค้ดข้างบนเมื่อปุ่ม Radio Button มีการกดค่าที่ได้คือ Max (A จะมีค่า 1) และเมื่อไม่มีการกดค่าที่ได้คือ Min (A จะมีค่า 2)

4. Edit Text ใช้สำหรับสร้างกรอบเพื่อรับข้อมูลจากผู้พิมพ์เข้ามาโดยในนี้จะเก็บค่าที่พิมพ์ไว้ในตัวแปรที่ชื่อว่า user_string

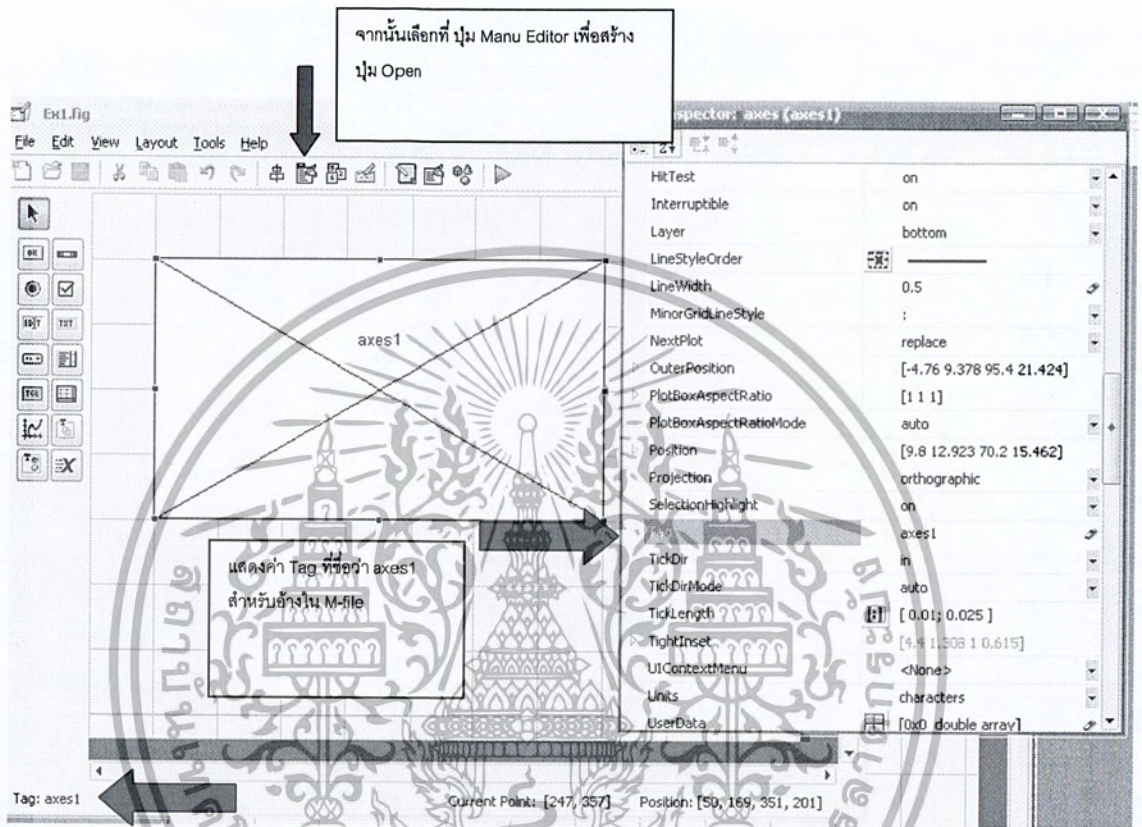
```

function edittext1_Callback(hObject, eventdata, handles)
user_string = get(hObject,'String');
% Proceed with callback

```

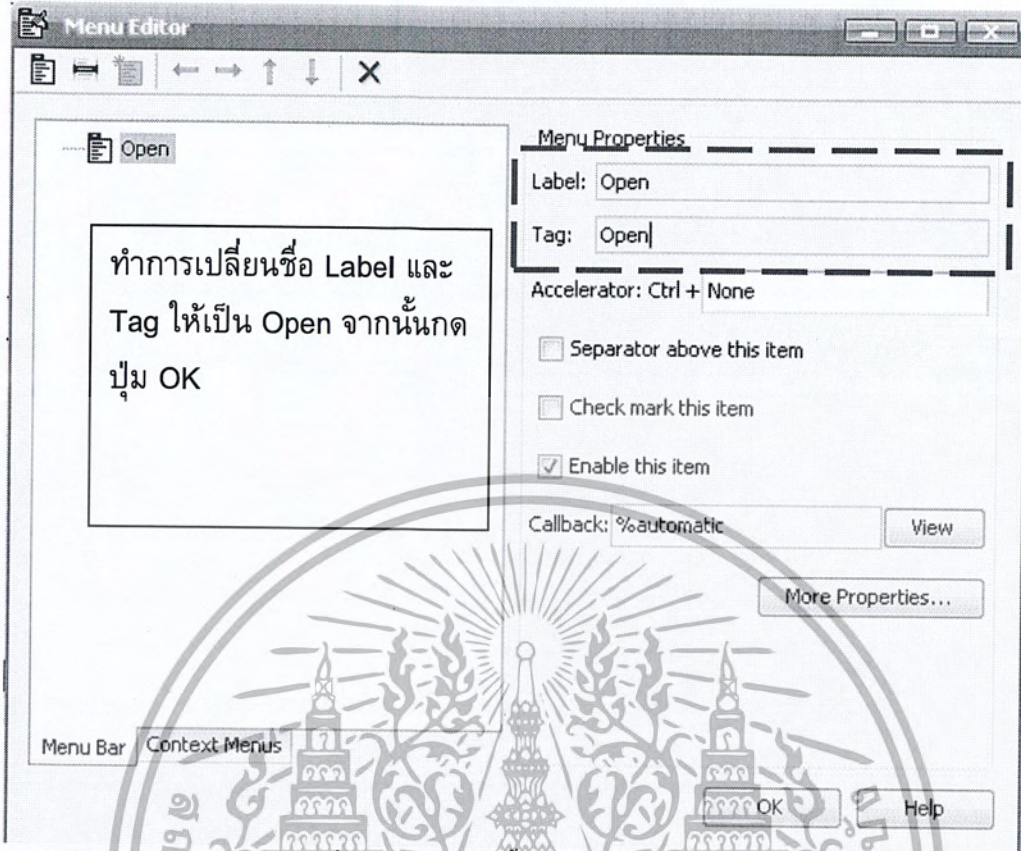
5. Static Text ทำงานคล้ายกับ Edit Text แต่ไม่สามารถใส่ค่าที่พิมพ์ได้
6. Table ใช้สำหรับแสดงหรือรับข้อมูลจำนวนมากๆลงในตาราง
7. Axes ใช้สำหรับพล็อตกราฟต่างๆลงไป
8. Panel ใช้สำหรับรวมปุ่มต่างๆเพื่อสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย จะมีประโยชน์กับปุ่ม Radio Button เมื่ออยู่ใน Panel นั้น Radio Button จะทำงานที่ปุ่มเมื่อเรากด

ตัวอย่าง การทำงานอย่างง่ายของ GUI เช่น สร้างเพื่อรับค่าวิดีโอจากไฟล์ AVI แล้วนำมาแสดงใน Axes1 ทำโดยสร้าง GUI ใหม่แล้วลาก เพื่อสร้าง Axes1



รูปที่ ก-4 แสดงการสร้าง GUI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-5 แสดงการตั้งชื่อตัวแปรอ้างอิง(Tag)

ทำการบันทึกไฟล์ จากนั้นไปที่ M-file นี้คือส่วนที่โปรแกรม Matlab สร้างขึ้นให้เองโดยอัตโนมัติ



```

1 function varargout = Ex1(varargin)
2     gui_Singleton = 1;
3     gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
4                       'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
5                       'gui_OpeningFcn', @Ex1_OpeningFcn, ...
6                       'gui_OutputFcn',  @Ex1_OutputFcn, ...
7                       'gui_LayoutFcn',  [] , ...
8                       'gui_Callback',   []);
9     if nargin && ischar(varargin{1})
10        gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
11    end
12
13    if nargout
14        [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
15    else
16        gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
17    end
18    % End initialization code - DO NOT EDIT
19
20
21    % --- Executes just before Ex1 is made visible.
22    function Ex1_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
23    % This function has no output args, see OutputFcn.
24    % hObject    handle to figure
25    % eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
26    % handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
27    % varargin   command line arguments to Ex1 (see VARARGIN)
28
29    % Choose default command line output for Ex1
30    handles.output = hObject;
31
32    % Update handles structure
33    guidata(hObject, handles);
34
35    % UIWAIT makes Ex1 wait for user response (see UIRESUME)
36    % uiwait(handles.figure1);
37
38
39    % --- Outputs from this function are returned to the command line.
40    function varargout = Ex1_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
41    % varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
42    % hObject    handle to figure
43    % eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
44    % handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
45
46    % Get default command line output from handles structure
47    varargout{1} = handles.output;
48
49
50    % -----
51    function Open_Callback(hObject, eventdata, handles)
52    % hObject    handle to Open (see GCBO)
53    % eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
54    % handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
55
56

```

ส่วนนี้คือตัว
หลักห้ามทำ
การแก้ไข

ส่วนนี้ใช้
สำหรับตั้งค่า
เริ่มต้นต่างๆ
ให้กับโปรแกรม
สามารถแก้ไข
ได้

ส่วนนี้จะ
ทำงานเมื่อมี
การกดปุ่ม
Open

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เราแก้ไขที่ `Open_Callback` โดยเพิ่มชอร์ดโค้ดไปอีกครั้งนี้

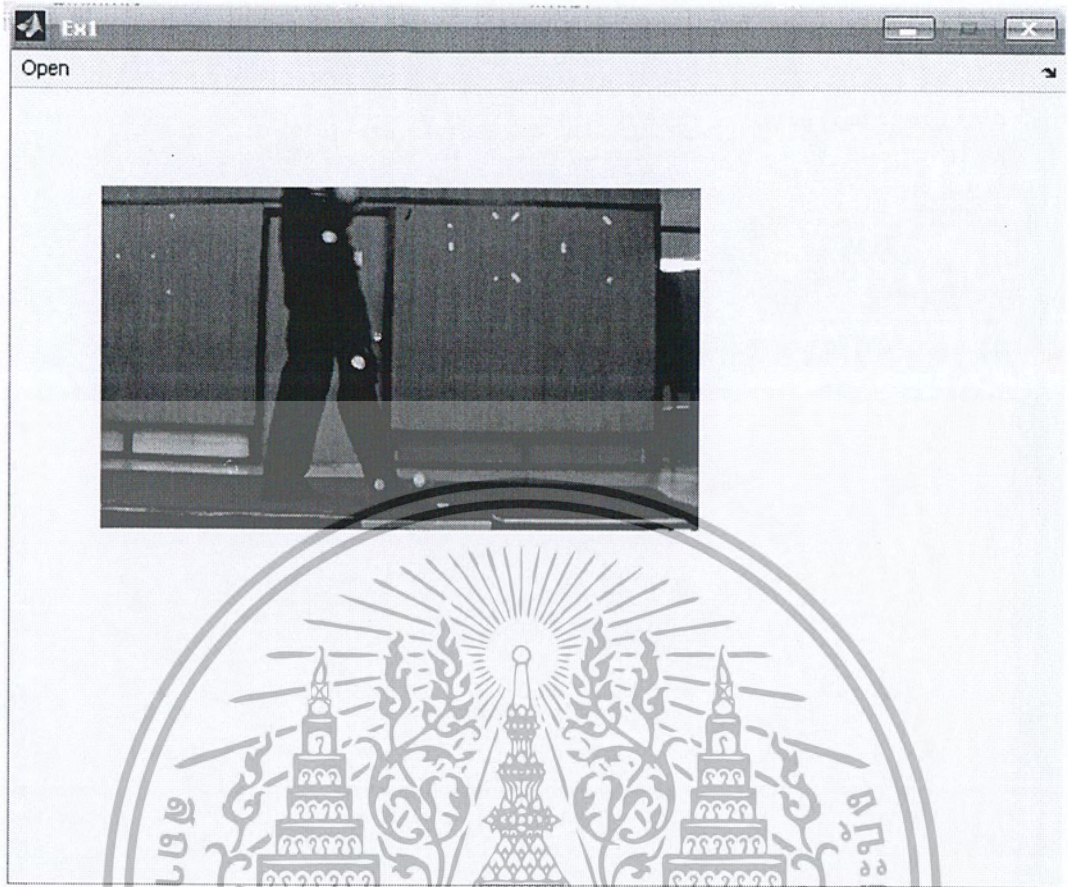
```
function Open_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Open (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
[filename, pathname] = uigetfile( ...
    {'*.avi', 'All AVI-Files (*.avi)'; ...
    '*.*', 'All Files (*.*)'}, ...
    'Select AVI file');
% If "Cancel" is selected then return
if isequal([filename,pathname],[0,0])
    return
% Otherwise construct the fullfilename and C
else
    File = fullfile(pathname,filename);
    % if the MAT-file is not valid, do not save the name
    handles.mov = aviread(File);
end
guidata(hObject, handles);
[handles.I,Map] = frame2im(handles.mov(1));
guidata(hObject, handles);
cla;
axes(handles.axes1);
hold on, imshow(handles.I);
guidata(hObject, handles);
```

ส่วนนี้เขียนเพื่อให้โปรแกรมทำการรับเฉพาะไฟล์ .AVI และตรวจสอบว่าได้มีการเลือกหรือไม่ จากนั้นจะเก็บว่าไฟล์วิดีโอไว้ในตัวแปรที่ชื่อ handles.mov

ส่วนนี้จะทำการพล็อตเฉพาะเฟรมภาพที่ 1 ลงไปใน Axes1

จากนั้นทำการรัน โปรแกรมก็จะได้ผลดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



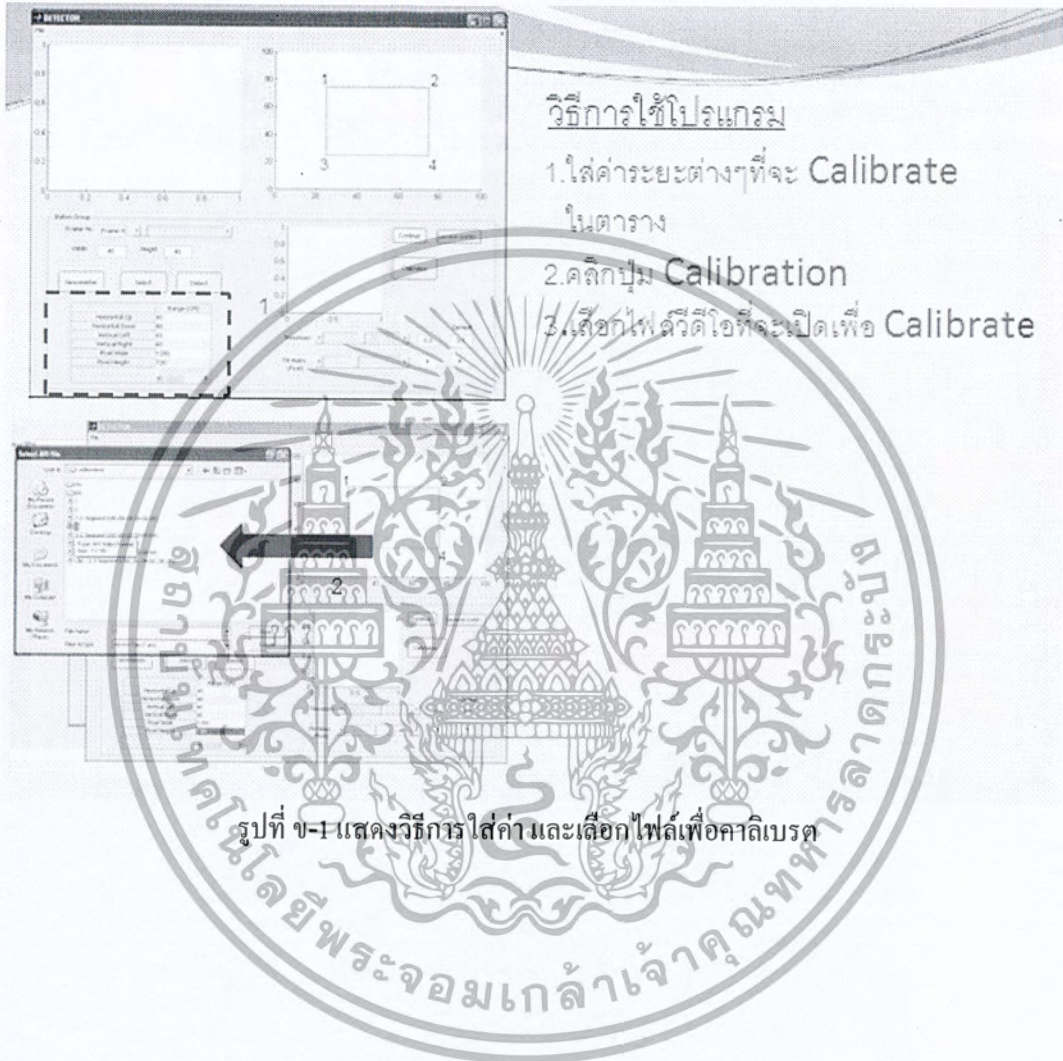
รูปที่ ก-6 แสดงเฟรมภาพที่ถูกแยกออกจากไฟล์ภาพวิดีโอ



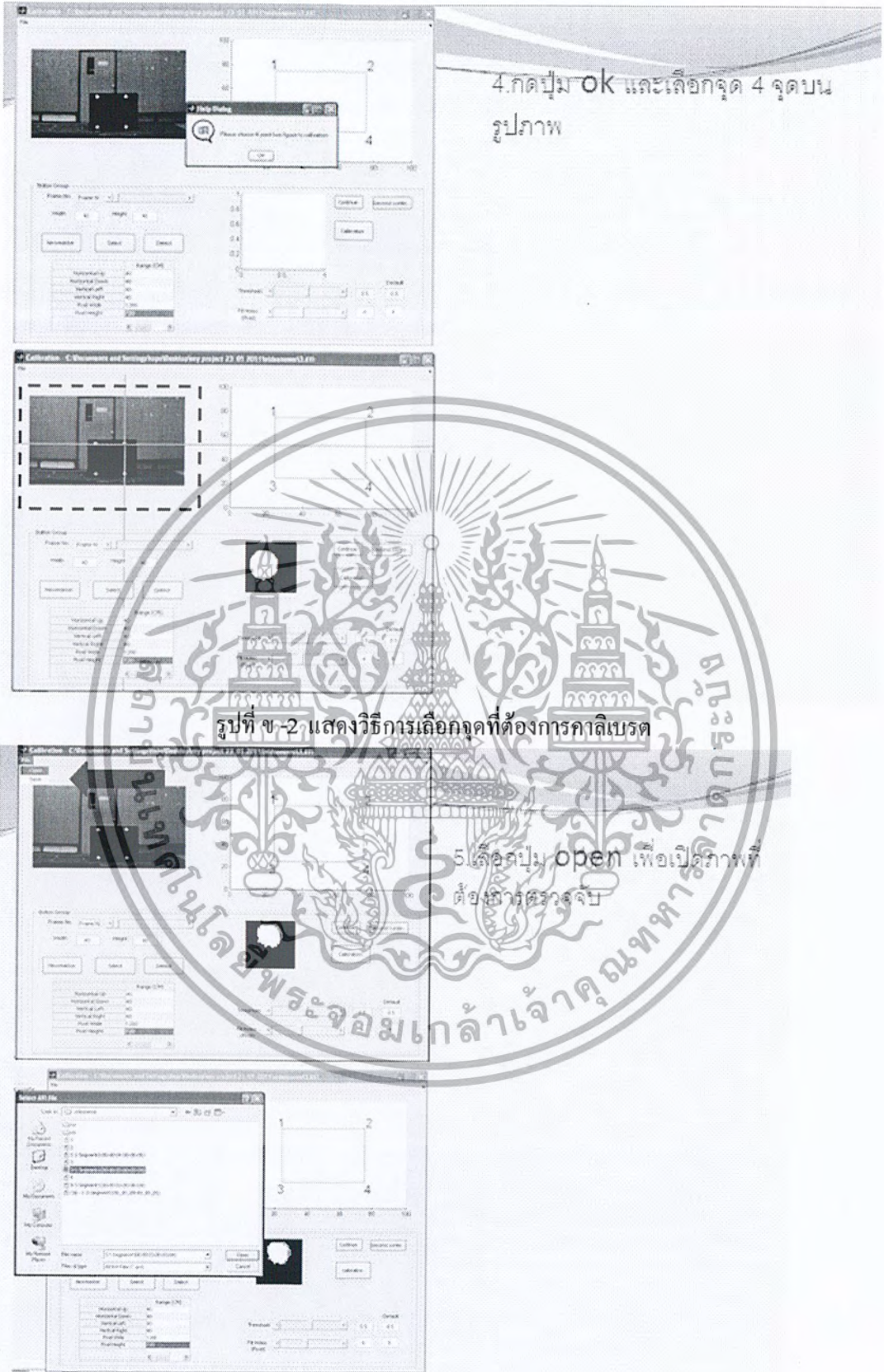
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

วิธีการใช้โปรแกรม Marker Detector



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



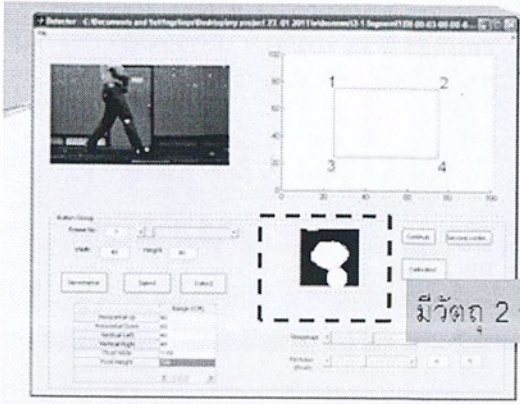
4.กดปุ่ม ok และเลือกจุด 4 จุดบนรูปภาพ

รูปที่ ข-2 แสดงวิธีการเลือกจุดที่ต้องการคาลิเบรต

5.เลือกปุ่ม open เพื่อเปิดภาพที่ต้องการตรวจสอบ

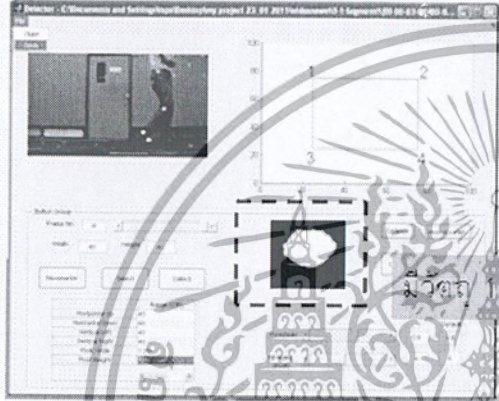
รูปที่ ข-3 แสดงวิธีการเลือกไฟล์ที่ต้องการตรวจจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



6. ถ้าภาพที่ตรวจจับได้มี 2 ภาพให้ทำการปรับแต่ง Threshold จนเหลือเพียงภาพเดียว

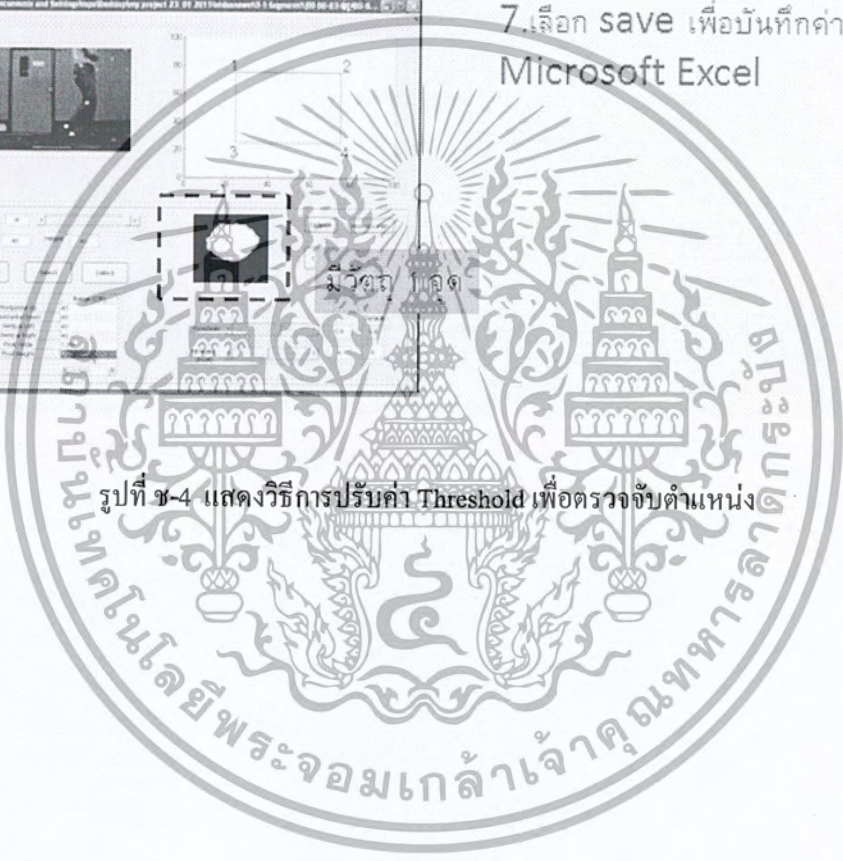
มีวัตถุ 2 จุด



7. เลือก save เพื่อบันทึกค่าลง Microsoft Excel

มีวัตถุ 1 จุด

รูปที่ ๗-4 แสดงวิธีการปรับค่า Threshold เพื่อตรวจจับตำแหน่ง



ภาคผนวก ค

ทฤษฎีการคำนวณชีวกลศาสตร์

การวัดร่างกายมนุษย์

ขอบเขตการวัดร่างกายมนุษย์ในชีวกลศาสตร์การเคลื่อนที่

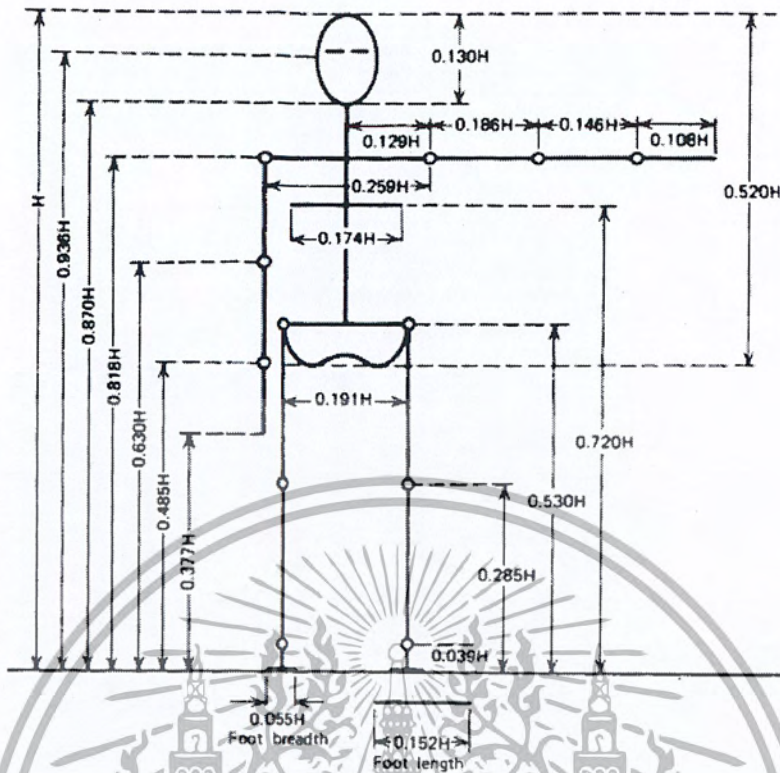
การวัดร่างกายมนุษย์เป็นสาขาหลักของมานุษยวิทยาซึ่งศึกษาการวัดร่างกายมนุษย์เพื่อหาความแตกต่างในเชิงเดี่ยวและเชิงกลุ่ม วิธีการวัดร่างกายหลายวิธีได้นำมาใช้อธิบายและจำแนกคุณลักษณะของ เชื้อชาติ, เพศ, อายุ, และ ประเภทของร่างกาย การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของมนุษย์ต้องการ การวัดเชิงจลนพลศาสตร์ เช่น มวล, โมเมนต์, โมเมนต์ความเฉื่อย เป็นต้น

ขนาดชิ้นส่วน

ขนาดชิ้นส่วนของร่างกายที่พื้นฐานที่สุด คือ ความยาวของชิ้นส่วนระหว่างแต่ละข้อต่อ ขนาดเหล่านี้แปรไปตามรูปร่าง, เพศ และ เชื้อชาติ Dempster [5] และทีมงาน ได้รวบรวมค่าประมาณของความยาวชิ้นส่วน และตำแหน่งศูนย์กลางของข้อต่อเทียบกับตำแหน่งอ้างอิงทางกายวิภาค ค่าเฉลี่ยของความยาวชิ้นส่วนร่างกายถูกคิดออกมาเป็นร้อยละของความสูงซึ่งได้รับการค้นคว้าไว้โดย Drills และ Contiti [6] ดังรูปที่ 1 สัดส่วนของชิ้นส่วนร่างกายเหล่านี้สามารถนำมาเป็นค่าประมาณได้เป็นอย่างดีในกรณีที่ขาดข้อมูลจากการวัดขนาดจริงของแต่ละชิ้นส่วน

ความหนาแน่น, มวล และ คุณสมบัติความเฉื่อย

การวิเคราะห์จลนศาสตร์และจลนพลศาสตร์ต้องการข้อมูลเกี่ยวกับ การกระจายของมวล, จุดศูนย์กลางมวล, โมเมนต์ความเฉื่อย และข้อมูลอื่นๆ ในประเภทนี้ การวัดหาข้อมูลบางอย่าง สามารถวัดได้จากสฟโดยตรง ส่วนข้อมูลอื่นๆ สามารถหาได้จากการวัดปริมาตรชิ้นส่วนร่วมกับการแปลงข้อมูลด้วยตารางความหนาแน่น และเทคโนโลยีที่ทันสมัยกว่า เช่น ใช้ระบบการสแกนซึ่งสามารถสร้างภาพตัดขวางของชิ้นส่วนได้



รูปที่ ๑-1 สัดส่วนของร่างกายเทียบกับความสูง [6]

ความหนาแน่นทั้งหมดของร่างกาย

ร่างกายของมนุษย์ประกอบด้วยเนื้อเยื่อหลายชนิด และแต่ละชนิดมีความหนาแน่นต่างกัน เช่น ไขมันของกระดูกมีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.8, เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อมีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.0 เล็กน้อย ส่วนไขมันนั้นมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1.0

ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเป็นฟังก์ชันของรูปร่างร่างกาย เรียกว่า Somatotype [6] ซึ่ง Drills และ Contini พัฒนาขึ้นมาเพื่อหาความหนาแน่นของร่างกาย (d) ในรูปของ ดัชนีความหนัก (c) โดย

$$c = h/w^{1/3} \quad (\text{ก-1})$$

โดย w คือมวลร่างกายเป็นกิโลกรัม

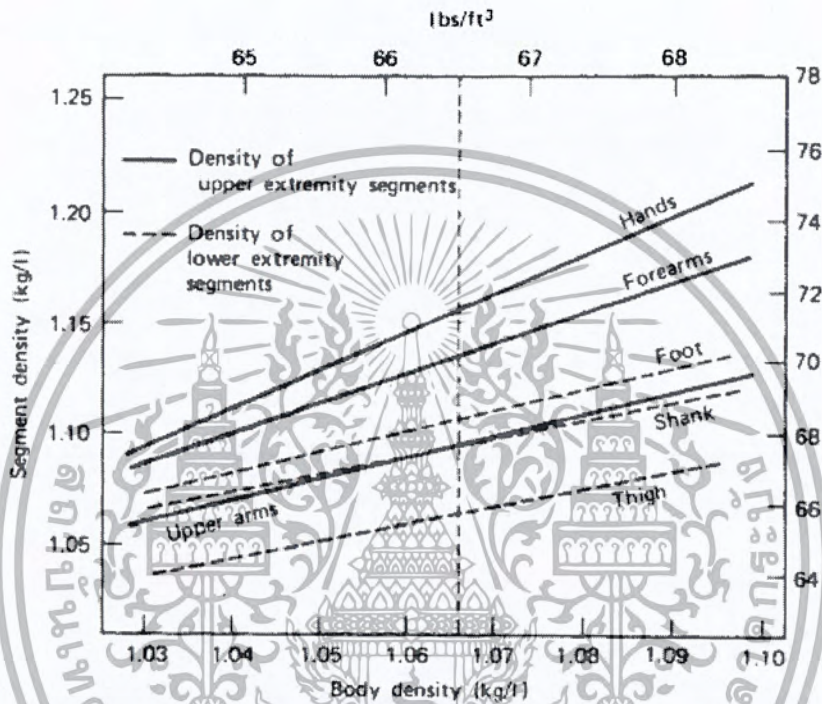
h คือความสูงเป็นเมตร

ซึ่งคำนวณหาความหนาแน่นของร่างกาย ได้จากสมการที่ 2

$$d = 0.69 + 0.9c \quad (\text{ก-2})$$

ความหนาแน่นของชิ้นส่วน

แต่ละชิ้นส่วนของร่างกายมีการรวมกันของกระดูก, มัดกล้ามเนื้อ, ไขมัน และ เนื้อเยื่ออื่นๆ ด้วยสัดส่วนที่เฉพาะ และ ความหนาแน่นของแต่ละชิ้นส่วนไม่เท่ากัน โดยทั่วไปแล้ว เพราะสัดส่วนของกระดูกมากขึ้น ความหนาแน่นของชิ้นส่วนที่อยู่ไกลมากกว่าชิ้นส่วนที่อยู่บริเวณใกล้เคียง ความหนาแน่นของแต่ละชิ้นส่วนมีแนวโน้มมากขึ้นตามความหนาแน่นเฉลี่ยของร่างกายที่มากขึ้น ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2- ความหนาแน่นเฉลี่ยเทียบกับความหนาแน่นร่างกาย [4]

มวลของชิ้นส่วน และ จุดศูนย์กลางมวล

จุดศูนย์กลางมวล และ จุดศูนย์กลาง มักถูกใช้แทนกัน จุดศูนย์กลางมวลใช้เรียกกันโดยทั่วไป ในขณะที่จุดศูนย์กลางอ้างอิงไปยังจุดศูนย์กลางมวลใน 1 แกนเท่านั้น ซึ่งถูกกำหนดโดยทิศทางของแรงโน้มถ่วง ในแกนบนแนวระนาบ 2 แกน จุดศูนย์กลางมวลจะต้องถูกนำมาใช้

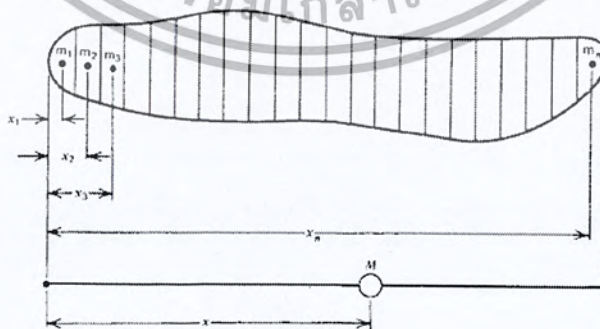
เมื่อมวลทั้งหมดของร่างกายมากขึ้น มวลของแต่ละชิ้นส่วนร่างกายเพิ่มขึ้นเช่นกัน เพราะฉะนั้นจึงมีความเป็นไปได้ ที่จะกำหนดมวลของแต่ละชิ้นส่วนร่างกายเป็นร้อยละของมวลทั้งหมดของร่างกาย ดังแสดงในรูปที่ 3 เป็นข้อมูลที่นักวิจัยได้รวบรวมไว้ ค่าในตารางได้ถูกคำนวณในด้านจลนพลศาสตร์และพลังงานมาแล้ว จุดศูนย์กลางมวลให้ข้อมูลไว้ในรูปของร้อยละของความยาวชิ้นส่วนทั้งที่อยู่ใกล้ และ ไกลส่วนปลาย การหาจุดศูนย์กลางจากศพนั้นสามารถทำได้ง่าย ด้วยการหา

จุดศูนย์กลางของจุดสมดุลของชิ้นส่วนนั้นๆ แต่การหาจุดศูนย์กลางมวลของร่างกายที่ยังมีชีวิต ข้อมูลที่ต้องการคือ โครงร่างของพื้นที่ตัดขวางและ ความยาว ตัวอย่างดังรูปที่ 4

Segment	Definition	Segment Weight/ Total Body Weight	Center of Mass/ Segment Length		Radius of Gyration/ Segment Length			Density
			Proximal	Distal	C of G	Proximal	Distal	
Hand	Wrist axis/knuckle II middle finger	0.006 M	0.506	0.494 P	0.297	0.587	0.577 M	1.16
Forearm	Elbow axis/ulnar styloid	0.016 M	0.430	0.570 P	0.303	0.526	0.647 M	1.13
Upper arm	Glenohumeral axis/elbow axis	0.028 M	0.436	0.564 P	0.322	0.542	0.645 M	1.07
Forearm and hand	Elbow axis/ulnar styloid	0.022 M	0.682	0.318 P	0.468	0.827	0.565 P	1.14
Total arm	Glenohumeral joint/ulnar styloid	0.050 M	0.530	0.470 P	0.368	0.645	0.596 P	1.11
Foot	Lateral malleolus/head metatarsal II	0.0145 M	0.50	0.50 P	0.475	0.690	0.690 P	1.10
Leg	Femoral condyles/medial malleolus	0.0465 M	0.433	0.567 P	0.302	0.528	0.643 M	1.09
Thigh	Greater trochanter/femoral condyles	0.100 M	0.433	0.567 P	0.323	0.540	0.653 M	1.05
Foot and leg	Femoral condyles/medial malleolus	0.061 M	0.606	0.394 P	0.416	0.735	0.572 P	1.09
Total leg	Greater trochanter/medial malleolus	0.161 M	0.447	0.553 P	0.326	0.560	0.650 P	1.06
Head and neck	C7-T1 and 1st rib/ear canal	0.081 M	1.000	— PC	0.495	1.116	— PC	1.11
Shoulder mass	Sternoclavicular joint/ glenohumeral axis	0.712	0.288	—	—	—	—	1.04
Thorax	C7-T1/T12-L1 and diaphragm*	0.216 PC	0.82	0.18	—	—	—	0.92
Abdomen	T12-L1/L4-L5*	0.139 LC	0.44	0.56	—	—	—	—
Pelvis	L4-L5/greater trochanter*	0.142 LC	0.105	0.895	—	—	—	—
Thorax and abdomen	C7-T1/L4-L5*	0.385 LC	0.63	0.37	—	—	—	—
Abdomen and pelvis	T12-L1/greater trochanter*	0.281 PC	0.27	0.73	—	—	—	1.01
Trunk	Greater trochanter/ glenohumeral joint*	0.497 M	0.50	0.50	—	—	—	1.03
Trunk head neck	Greater trochanter/ glenohumeral joint*	0.578 MC	0.66	0.34 P	0.503	0.830	0.607 M	—
HAT	Greater trochanter/ glenohumeral joint*	0.678 MC	0.626	0.374 PC	0.496	0.798	0.621 PC	—
HAT	Greater trochanter/mid rib	0.678	1.142	—	0.903	1.456	—	—

*NOTE: These segments are presented relative to the length between the greater trochanter and the glenohumeral joint.
 Source Codes: M, Dempster via Miller and Nelson; *Biomechanics of Sport*, Lea and Febigel, Philadelphia, 1973. P, Dempster via Plogenhof; *Patterns of Human Motion*, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J., 1971. L, Dempster via Plogenhof from living subjects; *Patterns of Human Motion*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1971. C, Calculated.

รูปที่ ก-3 อัตรารส่วนชิ้นส่วนเทียบกับมวลทั้งหมดของร่างกาย [4]



รูปที่ ก-4 ความสัมพันธ์การกระจายของมวลกับตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มวลรวม M สามารถหาได้จากสมการ

$$M = \sum_{i=1}^n m_i \quad (\text{ก-3})$$

โดย m_i คือมวลของแต่ละชิ้นส่วน

$$m_i = d_i V_i \quad (\text{ก-4})$$

โดย d_i คือความหนาแน่นของแต่ละชิ้นส่วน

V_i คือปริมาตรของแต่ละชิ้นส่วน

ถ้ากำหนดให้ความหนาแน่นเท่ากันทุกชิ้นส่วน สามารถหามวลรวมได้ดังนี้

$$M = d \sum_{i=1}^n V_i \quad (\text{ก-5})$$

เมื่อหามวลรวมได้แล้ว จากนั้นสามารถหาระยะห่างของ M จากปลายด้านใดด้านหนึ่ง (ดังรูป) ได้จากสมการ

$$Mx = \sum_{i=1}^n m_i x_i \quad (\text{ก-6})$$

$$x = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i x_i \quad (\text{ก-7})$$

จุดศูนย์กลางมวล และ ระบบชิ้นส่วนร่างกาย

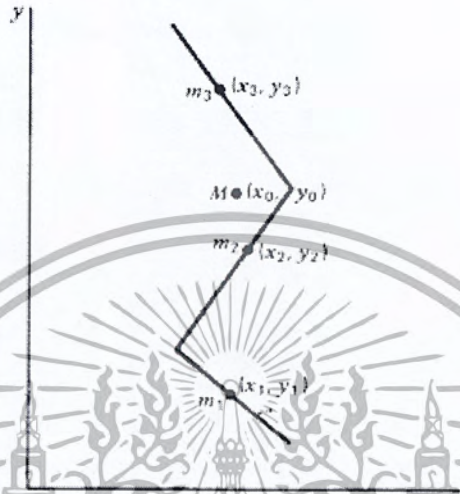
เมื่อแต่ละชิ้นส่วนร่างกายมีการเคลื่อนไหว จุดศูนย์กลางมวลของร่างกายจะเปลี่ยนไปอย่างต่อเนื่องตามเวลา ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องคำนวณซ้ำหลังจากเวลาเปลี่ยนไป และการคำนวณนี้ต้องการทราบถึงวิถีการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางมวลของแต่ละชิ้นส่วนร่างกายด้วย

พิจารณาแต่ละจุดของเวลาของชิ้นส่วนช่วงล่างของมนุษย์กำหนดให้มี 3 ชิ้น ดังรูปที่ 3.5 จุดศูนย์กลางมวลรวมอยู่ที่ (x_0, y_0) และแต่ละพิกัดเหล่านี้สามารถคำนวณแยกกัน ดังนี้

$$M = m_1 + m_2 + m_3 \quad (\text{ก-8})$$

$$x_0 = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3}{M} \quad (\text{ก-9})$$

$$y_0 = \frac{m_1y_1 + m_2y_2 + m_3y_3}{M} \quad (\text{ก-10})$$



รูปที่ ก-5 จุดศูนย์กลางมวลในแต่ละชั้นส่วนของร่างกาย [4]

การใช้งานหลักของการหาจุดศูนย์กลางมวลคือ นำไปใช้ในการวิเคราะห์ในการกีฬา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การกระโดด และ การศึกษาท่าทาง การทรงตัวของร่างกาย การหาจุดศูนย์กลางมวล ก็เป็นการคำนวณที่จำเป็นเช่นกัน

โมเมนต์ความเฉื่อยของมวล และ รัศมีของการหมุน

ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของแต่ละชั้นส่วนร่างกาย เป็นข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ การเคลื่อนที่ เมื่อมีความเร่งเข้ามาเกี่ยวข้อง จำเป็นต้องทราบแรงต้านทานความเฉื่อยที่มีต่อการเคลื่อนที่เพิ่มเติม

$F = ma$ อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง แรง F และ ความเร่ง a ในเชิงเส้น เมื่อมีการหมุน อธิบายความสัมพันธ์ด้วย $M = I\alpha$ เมื่อ M คือ โมเมนต์ของแรงที่ทำให้เกิดความเร่งเชิงมุม α เพราะฉะนั้น I คือค่าคงที่ ที่บอกความสามารถของชิ้นส่วนร่างกายในการต้านการเปลี่ยนแปลง ความเร็วเชิงมุม M มีหน่วยเป็น $N \cdot m$, α มีหน่วยเป็น rad/s^2 , I มีหน่วยเป็น $kg \cdot m^2$

ค่า I ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่เกิดการหมุนและจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อการหมุนเกิดที่จุดศูนย์กลางของมวล พิจารณาชิ้นส่วนที่ถูกแยกออกดังรูป 3.3 โมเมนต์ความเฉื่อยที่จุดปลายด้านซ้ายเป็นดังนี้

$$I = m_1x_1^2 + m_2x_2^2 + \cdots + m_nx_n^2 = \sum_{i=1}^n m_ix_i^2 \quad (\text{ค-11})$$

จะเห็นว่ามวลที่อยู่ใกล้จุดศูนย์กลางมีผลต่อค่า I น้อย ในขณะที่มวลที่อยู่ไกลที่สุดมีผลมากอย่างเห็นได้ชัด

พิจารณาโมเมนต์ความเฉื่อยรอบจุดศูนย์กลางมวล ดังรูปที่ 3.5 แบ่งมวลออกเป็นสองส่วนเท่าๆกัน ตำแหน่งของมวลทั้งสอง อยู่ที่ระยะห่าง ρ_0 จากจุดศูนย์กลางมวล ดังนี้

$$I_0 = m\rho_0^2 \quad (\text{ค-12})$$

โดย ρ_0 คือรัศมีการหมุน

และมวลสองชิ้นที่เท่ากันนี้มีโมเมนต์ความเฉื่อยที่เท่ากันบนระนาบการหมุนรอบจุดศูนย์กลางมวล



บรรณานุกรม

- [1] David McMahon, *MATLAB □ Demystified*, McGraw - Hill Companies, 2007.
- [2] Zeid, *CAD/CAM Theory and Practice*, McGraw -Hill , 1sted., March 1, 1991.
- [3] Collett, C.V, A.D. *Hope Engineering Measurements*, Longman, 1990.
- [4] D.A. Winter, *The Biomechanics and Motor Control of Human Movement*, 3rd ed., John Wiley & Sons, 2004.
- [5] Dempster, W.T., W.C. Gabel, and W.J.L. Felts., *The Anthropometry of Manual Work Space for the Seated Subjects*, Am. J. Phhys.Anthrop., Vol.17, 1959, pp. 289-317.
- [6] Drillis, R., and R.Contini, *Body Segment Parameters*, Rep.1163-03, Office of Vocational Rehabilitation, Department of Health, Education, and Welfare, New York, 1966.
- [7] JOHN L. SEMMLOW, *Biosignal Biomedical Image Processing*, 2nded., Marcel Dekker, Inc., 2004.
- [8] Gonzalez Woods & Edd, *Digital Image Processing Using Matlab*, Pearson Prentice Hall, 2004.
- [9] John J.Craig, *Introduction to Robotics*, 3rd edition”, Pearson Prentice Hall,2005
- [10] Ramesh S. Gaonkar, *Fundamentals of Microcontrollers and Application*, Thomson,2007