



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ระบบการวิเคราะห์การเดินของผู้ผิดปกติในการเดิน ของผู้ป่วยในโรงพยาบาล แบบใช้
เซ็นเซอร์ตรวจจับแบบ 3 มิติ ชนิดไม่สัมผัส

The patient's gait analysis paralysis a sensor detect 3D non-contact



ผศ.ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2558

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ระบบการวิเคราะห์การเดินของผู้ผิดปกติในการเดิน ของผู้ป่วยในโรงพยาบาล แบบใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับแบบ 3 มิติ ชนิดไม่สัมผัส

The patient's gait analysis paralysis a sensor detect 3D non-contact

ศศ.ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ

6002๓0043

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2558

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนวิจัย
เงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ 2558



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: The patient's gait analysis paralysis a sensor detect 3D non-contact.

Researcher:.....Asst.Prof. Dr.Pattarapong Phasukkit.....

Faculty: Engineering.....**Department:** Electronic Engineering.....

ABSTRACT

This research presented the system to analyze disorders of the gesture on body movements using three dimensions (3-D) non-contact sensors by using the theory of vector multiplication to calculate the angle joints. This research uses Kinect sensor to detecting the movement in 3-D to detect skeleton and classify the joints of the body. The system provides information as 3-D coordinates (X axis, Y axis and Z axis). This system can measurement the angle joints such as elbows, shoulders, knees, and the height of the hip. From our system test compared to standard tool were found to have tolerance values up to 5 degrees. Which is acceptable in the medical application. Then tested this system with 10 participants, that found the system can detected 1 person had knees disorders. Then lead this system to measure with 3 patients in hospital for measurement the height of hip and the knees angle. Results of the tested were consistent with the symptoms of patients and physiotherapist. By the first person and the second person of patients have the height of the right hip is over about 1 cm, 5 cm compared to the left hip, respectively. For the third patient has the angle joints of right knee more than the left knee is 85 degrees. In addition, the system can applied to measure the football player's movements in 5 gestures, found the passing kick and corner kick have the values of angle joints on the right ankle less than 0 degree in while the back foot kick, volley kick and free kick have the values of angle joints on the right ankle more than 0 degree.

This thesis can measurement the angle of the movement on several joints and the height of hip at the same time. Which different from the standard tool that can measurement only one of angle joints and can not measurement while movement. The system can lead to analysis of participant disorder and the football players movement .

Keywords : Gait Analysis, rehab ability , Kinect , 3D camera

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่องานวิจัย: ระบบการวิเคราะห์การเดินของผู้ผิดปกติในการเดิน ของผู้ป่วยในโรงพยาบาล แบบใช้ เซ็นเซอร์
ตรวจจับแบบ 3 มิติ ชนิดไม่สัมผัส

นักวิจัย:..... ผศ.ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุกกิจ.....

คณะ: วิศวกรรมศาสตร์..... สาขาวิชา: วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์.....

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยฉบับนี้ จัดทำขึ้นเพื่อวิเคราะห์ความผิดปกติของท่าทาง การเคลื่อนไหว ของร่างกาย โดยเซ็นเซอร์ 3 มิติ ชนิดไม่สัมผัส โดยใช้ทฤษฎีการคูณเวกเตอร์เพื่อคำนวณหาค่ามุมบริเวณข้อต่อ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ Kinect หรือ เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวแบบสามมิติ ซึ่งมีความสามารถในการตรวจจับโครงกระดูก และสามารถจำแนก ตำแหน่งของข้อต่อของร่างกาย โดยให้ข้อมูลเป็นแบบพิกัดสามมิติ (แกนX, แกนY และแกนZ) ระบบนี้สามารถวัด มุมบริเวณหัวไหล่ ข้อศอก และหัวเข่า และสามารถวัดความสูงของสะโพก จากการทดสอบระบบเมื่อเปรียบเทียบกับ เครื่องวัดมุมมาตรฐาน(Goniometer) พบว่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 5 องศา ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในทางการแพทย์ เมื่อนำระบบไปทดสอบกับผู้เข้าร่วม 10 คน พบว่าระบบสามารถตรวจจับความผิดปกติ ที่หัวเข่าของอาสาสมัครได้ 1 ราย จากนั้นนำระบบไปใช้กับผู้ป่วยในโรงพยาบาลจำนวน 3 คน เพื่อใช้วัดความสูง ของสะโพก และมุมบริเวณหัวเข่าพบว่าผลลัพธ์จากการทดสอบมีความสอดคล้องกับอาการเจ็บป่วย และข้อมูลที่ได้ จากนักกายภาพ โดยผู้ป่วยคนที่ 1 และ 2 มีค่าความสูงของสะโพกซ้าย และขวาแตกต่างกัน 1 เซ็นติเมตร และ 5 เซนติเมตร ตามลำดับ ขณะที่ผู้ป่วยคนที่ 3 มีค่ามุมที่หัวเข่าซ้าย และขวาแตกต่างกัน 85 องศา นอกจากนี้ยังนำ ระบบไปใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของนักฟุตบอล 5 ท่าทาง พบว่าท่าเตะแปะ และท่าเตะมุมที่บริเวณข้อเท้า ขวามีค่า 0 องศา ในขณะที่ท่าเตะหลังเท้า เตะวอลเลย์ และเตะฟรีคิก มีค่ามุมที่บริเวณข้อเท้าขวามากกว่า 0 องศา

งานวิจัยนี้สามารถวัดมุมขณะเคลื่อนไหวบริเวณข้อต่อได้หลายข้อต่อ และความสูงของสะโพกได้ในเวลา เดียวกัน ซึ่งแตกต่างจากการวัดด้วยเครื่องวัดมุมมาตรฐานที่วัดค่ามุมได้เพียงข้อต่อเดียว และไม่สามารถวัดค่ามุม ขณะผู้เข้าร่วมเคลื่อนไหว

คำสำคัญ: ระบบการวิเคราะห์การเดิน, เซ็นเซอร์ตรวจจับแบบ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.6 โครงสร้างวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	4
2.1 ทฤษฎีการเดิน.....	4
2.1.1 การเดิน.....	4
2.1.2 การตรวจการเดินปกติ.....	5
2.1.3 ความผิดปกติที่เกิดจากท่าเดิน.....	5
2.2 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์การเดินของมนุษย์.....	6
2.2.1 เครื่อง Visual 3D™ ของบริษัท C-Motion.....	6
2.2.2 เครื่อง Motion monitoring ของบริษัท The Motion Monitoring.....	7
2.2.3 เครื่อง Qualisys ของบริษัท Qualisys Medical AB.....	7
2.2.4 เครื่อง 3D Real Time Gait Analysis on Treadmill or Walk.....	7
2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดช่วงการเคลื่อนไหวของข้อ (Goniometer).....	8
2.3.1 ลักษณะของ Universal Goniometer.....	9
2.3.2 ความผิดพลาดของการวัดด้วย goniometer.....	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้ท่านไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 Microsoft Kinect Sensor.....	9
2.4.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของ Microsoft Kinect Sensor.....	10
2.4.2 หลักการทำงานของ Microsoft Kinect Sensor.....	10
2.4.3 การตรวจจับการเคลื่อนไหว.....	12
2.5 ผลคุณของเวกเตอร์.....	13
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.6.1 Video System for Dynamic Motion Analysis of Human Gait.....	15
2.6.2 A Dancer's Performance using Kinect-based Skeleton Tracking.....	15
2.6.3 Markerless Motion Capture using multiple Color-Depth Sensors.....	15
2.6.4 Behavioral Synchronization of Human and Humanoid Robot.....	15
บทที่ 3 การออกแบบระบบ.....	16
3.1 การออกแบบซอฟต์แวร์ หรือโปรแกรมแสดงผล.....	16
3.1.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน.....	16
3.1.2 โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมหลัก.....	16
3.2 การออกแบบสถานที่ทำการทดลอง.....	18
3.3 วิธีการคำนวณมุมที่ข้อต่อและ ความสูงของสะโพก.....	18
3.3.1 การคำนวณมุมที่หัวไหล่.....	19
3.3.2 การคำนวณมุมที่ข้อศอก.....	21
3.3.3 การคำนวณมุมที่หัวเข่า.....	22
3.3.4 การคำนวณความสูงของสะโพก.....	23
3.4 การออกแบบการทดลอง.....	23
3.4.1 การทดลองที่ 1 ทดสอบความถูกต้องของระบบ.....	23
3.4.2 การทดลองที่ 2 การวัดมุมของผู้เข้าร่วม 20 คน.....	25
3.4.3 การทดลองที่ 3 การวัดมุมของผู้ป่วยในโรงพยาบาล.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.4 การทดสอบที่ 4 การวัดมุมของนักฟุตบอล.....	26
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	29
4.1 การทดลองที่ 1 เปรียบเทียบค่ามุมระหว่างเครื่องวัด Goniometer กับระบบ.....	29
4.1.1 เปรียบเทียบค่ามุมที่หัวเข่าระหว่างเครื่องวัด Goniometer กับระบบ.....	29
4.1.2 เปรียบเทียบค่ามุมที่หัวไหล่ระหว่างเครื่องวัด Goniometer กับระบบ.....	31
4.1.3 เปรียบเทียบค่ามุมที่หัวเข่าระหว่างเครื่องวัด Goniometer กับระบบ.....	32
4.2 การทดลองที่ 2 การเปรียบเทียบค่ามุมของผู้ที่มีอาการบาดเจ็บกับผู้ที่ไม่มีอาการบาดเจ็บ....	34
4.3 การทดลองที่ 3 การวัดค่ามุมของผู้ที่มีอาการบาดเจ็บ.....	37
4.3.1 ผู้ป่วยเป็นหมอนรองกระดูกทับเส้นประสาท.....	37
4.3.2 ผู้ป่วยมีอาการปวดหลัง ปวดต้นเอวซ้าย มีอาการเรื้อรังมาประมาณ 4 ปี.....	39
4.3.3 ผู้ป่วยมีอาการศิวาดเข่าขวา.....	40
4.4 การทดลองที่ 4 การวัดค่ามุมของนักฟุตบอลขณะเตะบอลใน 5 ท่าทาง คือ เตะแป เตะวอล เลย์ เตะหลังเท้า เตะฟรีคิก และเตะคอนเนอร์.....	43
4.4.1 การวัดมุมของนักฟุตบอลขณะเตะบอลท่าเตะแปบอล.....	44
4.4.2 การวัดมุมของนักฟุตบอลขณะเตะบอลท่าเตะหลังเท้า.....	50
4.4.3 การวัดมุมของนักฟุตบอลขณะเตะบอลท่าเตะวอลเลย์.....	57
4.4.4 การวัดมุมของนักฟุตบอลขณะเตะบอลท่าเตะฟรีคิก.....	64
4.4.5 การวัดมุมของนักฟุตบอลขณะเตะบอลท่าเตะคอนเนอร์.....	70
4.5 อภิปรายผลการทดลอง.....	77
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	78
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	78
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	79
อ้างอิง.....	80
ภาคผนวก ก.....	81
ประวัติผู้เขียน.....	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงสูตรผลคูณเชิงสเกลาร์ระหว่างเวกเตอร์สองมิติและเวกเตอร์สามมิติ	14
4.1 แสดงผลเปรียบเทียบค่ามุมที่หัวเข่าระหว่างเครื่องวัด Goniometer กับระบบ	30
4.2 แสดงผลเปรียบเทียบค่ามุมที่หัวไหล่ระหว่างเครื่องวัด Goniometer กับระบบ.....	31
4.2 แสดงผลเปรียบเทียบค่ามุมที่หัวไหล่ระหว่างเครื่องวัด Goniometer กับระบบ.....	32
4.3 แสดงผลเปรียบเทียบค่ามุมที่ข้อศอกระหว่างเครื่องวัด Goniometer กับระบบ.....	33
4.4 แสดงผลการวัดค่ามุมและความสูงของสะโพกในท่าที่ 1	35
4.5 แสดงผลการวัดค่ามุมหัวไหล่ในท่าที่ 2	36
4.6 แสดงผลการวัดค่ามุมในท่าที่ 3	37
4.7 แสดงค่าความสูงของสะโพกข้างซ้าย และขวาของผู้ป่วยที่มีอาการปวดหลังร้าวลงขาข้างขวา....	38
4.8 แสดงค่าความสูงของสะโพกข้างซ้าย และขวาของผู้ป่วยที่มีอาการปวดหลัง.....	39
4.9 แสดงผลการวัดความสูงของสะโพก และมุมเข่าขณะงอเข่าขวา.....	41
4.10 แสดงผลการวัดความสูงของสะโพก และมุมเข่าขณะงอเข่าซ้าย.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงลักษณะการเดินของวงจรการเดิน	5
2.2 หน้าจอแสดงผลของเครื่อง Visual 3D™	6
2.3 แสดงหน้าจอเครื่อง Motion monitoring ของบริษัท The Motion Monitoring	7
2.4 แสดงการใช้เครื่อง Qualisys ของบริษัท Qualisys Medical AB และแสดงภาพจำลองในภาพ สามมิติ.....	7
2.5 แสดงเครื่อง 3D Real Time Gait Analysis on Treadmill or Walk ขณะการใช้งาน	8
2.6 โภนิโอมิเตอร์ (Goniometer).....	8
2.7 (ก) กล้อง Kinect (ข) แสดงองค์ประกอบของกล้อง Kinect	9
2.8 แสดงจุดอิฟราเรดที่ถูกฉายออกจากกล้อง Kinect	10
2.9 แสดงภาพระดับความตื้นลึกที่ถ่ายได้จากกล้อง Kinect.....	11
2.10 (ก) แสดงจำนวนที่กล้อง Kinect สามารถตรวจจับได้ และที่กล้องมองเห็น	11
(ข) แสดงของโครงกระดูกมนุษย์ที่แทนด้วยข้อต่อ 20 จุดสำคัญตามร่างกาย.....	11
2.11 แสดงระยะ ความสูง และมุมที่กล้อง Kinect ตรวจจับผู้ใช้.....	12
2.12 แสดงท่าทางเมื่อมีความผิดพลาดของระบบ PrimeSense NITE.....	12
2.13 แสดงทิศทางของแกน X Y และ Z ของกล้อง Kinect.....	13
2.14 แสดงเวกเตอร์สามมิติ	14
3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ.....	16
3.2 แผนผังการทำงานของโปรแกรมหลัก.....	17
3.3 แสดงมุมมองของกล้องมุมสูง	18
3.4 แสดงมุมมองของกล้องมุมกว้าง	18
3.5 แสดงพิกัดที่ใช้ในการคำนวณมุมที่บริเวณหัวไหล่	20
3.6 แสดงมุมการเคลื่อนไหวข้อต่อของหัวไหล่	20
3.7 แสดงพิกัดที่ใช้ในการคำนวณมุมที่บริเวณข้อศอก	21
3.8 แสดงมุมการเคลื่อนไหวข้อต่อของข้อศอก	21
3.9 แสดงพิกัดที่ใช้ในการคำนวณมุมที่บริเวณหัวเข่า	22
3.10 แสดงมุมการเคลื่อนไหวข้อต่อของหัวเข่า	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 แสดงท่าทางที่ใช้ทดสอบการเคลื่อนไหวของหัวไหล่.....	24
3.12 การทดสอบการเคลื่อนไหวของข้อศอก.....	24
3.13 การทดสอบวัดค่ามุมของข้อเข่า.....	25
3.14 แสดงหน้าจอแสดงผล.....	26
3.15 แสดงท่าเตะแปบอล.....	27
3.16 แสดงท่าเตะวอลเลย์บอล.....	27
3.17 แสดงท่าเตะหลังเท้า.....	28
3.18 แสดงท่าเตะฟรีคิก.....	28
4.1 แสดงการวัดมุมข้อเข่าด้วย Goniometer.....	29
4.2 แสดงการวัดมุมหัวไหล่ด้วย Goniometer.....	31
4.3 แสดงการวัดมุมข้อศอกด้วย Goniometer.....	33
4.4 แสดงท่าทางที่ใช้ในการทดลอง (ก) ท่าที่ 1 ยืนตรง (ข) ท่าที่ 2 ขู่มือ (ค) ท่าที่ 3 งอศอก.....	34
4.5 แสดงท่าทางที่ใช้ในการทดสอบผู้ป่วยเหมือนร่องกระดูกทับเส้น.....	38
4.6 แสดงท่าทางในการทดสอบผู้ป่วยมีอาการปวดหลัง ปวดบั้นเอวซ้าย.....	39
4.7 แสดงท่างอเข่าข้างขวา.....	41
4.8 แสดงท่างอเข่าข้างซ้าย.....	41
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะแปนักกีฬาคนที่ 1.....	44
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะแปนักกีฬาคนที่ 1.....	45
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะแปนักกีฬาคนที่ 2.....	45
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะแปนักกีฬาคนที่ 2.....	46
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะแปนักกีฬาคนที่ 3.....	47
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะแปนักกีฬาคนที่ 3.....	47
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมขณะของมุมหัวเข่า และข้อเท้าเตะแปนักกีฬาคนที่ 4.....	48
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมขณะของมุมหัวไหล่ และข้อศอกเตะแปนักกีฬาคนที่ 4.....	49
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะแปนักกีฬาคนที่ 5.....	49
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมขณะของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะแปนักกีฬาคนที่ 5.....	50
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะหลังเท้า นักกีฬาคนที่ 1.....	51
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะหลังเท้า นักกีฬาคนที่ 1.....	51
4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะหลังเท้า นักกีฬาคนที่ 2.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข้า และข้อเท้าขณะเตะคอนเนอร์นักกีฬาคนที่ 2..	72
4.52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะคอนเนอร์นักกีฬาคนที่2...	73
4.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข้า และข้อเท้าขณะเตะคอนเนอร์นักกีฬาคนที่ 3..	73
4.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะคอนเนอร์นักกีฬาคนที่3...	74
4.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข้า และข้อเท้าขณะเตะคอนเนอร์นักกีฬาคนที่ 4..	75
4.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะคอนเนอร์นักกีฬาคนที่ 4.	75
4.57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข้า และข้อเท้าขณะเตะคอนเนอร์นักกีฬาคนที่ 5....	76
4.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะคอนเนอร์นักกีฬาคนที่ 5.	77



บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา สาระสำคัญที่เป็นปัจจัยหลัก รวมทั้งวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมุติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการทำวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย และรวมทั้งโครงสร้างปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อวิเคราะห์ความผิดปกติของท่าทาง การเคลื่อนไหว ของร่างกายโดยใช้เซ็นเซอร์ 3 มิติ ชนิดไม่สัมผัส เนื่องจากปัจจุบันคนไทยต้องเข้ารับการถ่ายภาพบำบัดเป็นจำนวนมาก ซึ่งสาเหตุเกิดจากโรคข้อไหล่ติดจากข้อมูลศูนย์กายภาพบำบัด และธาราบำบัด ภาควิชา กายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ โรคนี้อาการเจ็บมากขึ้นเวลาขยับ มีอาการติดขัดในการเคลื่อนไหวบางท่าพบได้ประมาณ 2 % ของประชากรโดยมักจะพบในคนอายุระหว่าง 40-60 ปี โดยอาจจะไม่ได้มีประวัติความผิดปกติของหัวไหล่ [1] โรคข้อเข่าเสื่อมจากข้อมูล คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล สถิติของผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมพบประมาณ 1 ใน 3 หรือคิดเป็นร้อยละ 34.5 - 45.6 ของประชากรทั้งประเทศ โดยส่วนใหญ่จะพบในผู้สูงอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป แต่ปัจจุบันพบเร็วขึ้นอายุประมาณ 45 - 50 ปี เนื่องจากมีปัจจัยส่งเสริม เช่น ภาวะอ้วน ทำให้ข้อเข่าแบกรับน้ำหนักเกิน หรือการนั่งยองๆ การนั่งพับเพียบ หรือการเล่นกีฬาหักโหมเกินไป อย่างการเล่นฟุตบอล [2] และการเกิดอุบัติเหตุ เหตุซึ่งประเทศไทยครองอันดับ 2 สะท้อนปัญหาอุบัติเหตุบนท้องถนนที่ควรแก้ไข โดยอันดับดังกล่าวมาจากการเก็บสถิติของสถาบันวิจัยด้านการคมนาคมมหาวิทยาลัยมิชิแกน สหรัฐอเมริกา ร่วมกับข้อมูลจากองค์การอนามัยโลก ระบุว่า สถิติการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุบนท้องถนนทั่วโลก มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 18 คน ต่อประชากร 100,000 คนต่อปี แต่สำหรับไทย นามิเบีย และอิหร่าน ซึ่งเป็น 3 อันดับต้นๆ มีสถิติมากกว่าค่าเฉลี่ยเกิน 2 เท่า นั่นคือ 45 คน 44 คน และ 38 คนต่อประชากร 100,000 คนต่อปี และจากข้อมูลสถิติศูนย์ข้อมูลอุบัติเหตุ เพื่อพัฒนาวัฒนธรรมความปลอดภัยทางถนนในปี 2558 มีผู้บาดเจ็บ 475,812 คน และเสียชีวิต 8,301 คน [3]

ซึ่งการวินิจฉัยและการรักษา แพทย์จะดูการเคลื่อนไหวของข้อต่อ หรืออาจจะต้อง x-ray เพื่อตรวจว่ามีภาวะแทรกซ้อนอย่างอื่น การตรวจมุมช่วงการเคลื่อนไหวของข้อต่อโดยเครื่องวัดมุมมาตรฐาน (Goniometer) ซึ่งการตรวจมุมองศาในการเคลื่อนไหวของข้อต่อ เป็นวิธีการสำคัญในการตรวจประเมินข้อต่อและเนื้อเยื่อรอบข้อ นอกเหนือจากการซักประวัติ และอาการสำคัญในผู้ป่วย ซึ่งเครื่องมือที่ใช้วัดช่วงการเคลื่อนไหวของข้อมีหลายแบบ ชนิดตั้งแต่อย่างสลับซับซ้อนมาก ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องปฏิบัติการ ซึ่งต้องการความละเอียดอ่อนมา จนถึงแบบที่เรียบง่ายเพื่อใช้ในทางคลินิก เครื่องมือที่ใช้สำหรับทางคลินิก ควรมีคุณสมบัติดังนี้ เรียบง่าย ทนทาน สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกสามารถใช้ได้กับทุกส่วนของร่างกาย ทั้งในบุคคลที่มีรูปร่างและอายุต่างกัน มีความแม่นยำ เมื่อใช้วัดซ้ำจากผู้วัดหลาย ๆ คนที่ฝึกมาเหมือนกัน เครื่องมือที่ใช้นั้นมาก คือ เครื่องวัดมุมมาตรฐาน แต่มักจะพบปัญหาในการวัดอยู่เสมอ ซึ่งทำให้ได้ผลไม่แม่นยำเสมอไป ดังนั้น จึงอนุโลมผลของการวัดให้ผิดพลาดได้ ± 5 ถือว่าเชื่อถือได้ ในคลินิกเดียวกันควรใช้เครื่องมือเดียวกัน เพื่อลดข้อผิดพลาดอันเกิดจากเครื่องมือ [4]

การใช้โคโนมิเตอร์วัดมุมต้องใช้เวลาในการวัดแต่ละข้อต่อ ทางผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าเพื่อความรวดเร็วในการวัดมุมบริเวณข้อต่อในแต่ละครั้งระบบควรวัดได้หลายข้อต่อ ควรวัดความสูงของสะโพกเพื่อตรวจสอบอาการสะโพกยกเนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีอุปกรณ์ และสามารถวิเคราะห์การเคลื่อนไหวได้

K.Berger และคณะ ในปี 2011 [5] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการตรวจจับการเคลื่อนไหวปราศจากการทำเครื่องหมายตามตำแหน่งต่างๆ บนร่างกาย โดยใช้กล้อง Kinect หนึ่งถึงสี่ตัวในการตรวจจับแล้วนำภาพสีที่แสดงความลึก ที่ได้จากกล้องในหลายๆ มุมมอง นำไปคำนวณหาตำแหน่งของข้อต่อของร่างกายผู้ถูกตรวจจับ จากนั้นนำตำแหน่งของข้อต่อไปสร้างเป็นโครงร่างมนุษย์ และในปีเดียวกันนี้ งานวิจัยของ B. Igorevich, E. Ismoilovich และ D. Min [6] ได้เสนอระบบการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยท่าทางของผู้ควบคุม โดยควบคุมให้หุ่นยนต์แสดงท่าทางเช่นเดียวกับท่าทางของผู้ควบคุม งานวิจัยนี้ใช้กล้อง Kinect ในการตรวจจับท่าทางของผู้ควบคุม และใช้ OpenNI ในการให้ข้อมูลตำแหน่งของข้อต่อ สำหรับการควบคุมท่าทางของหุ่นยนต์ งานวิจัยนี้ใช้ขนาดมุมระหว่างข้อต่อของร่างกายของผู้ควบคุมที่คำนวณจากข้อมูลตำแหน่งของข้อต่อที่กล้องตรวจจับได้ไปควบคุมการแสดงท่าทางของหุ่นยนต์

ในงานวิจัยนี้จะใช้กล้อง Kinect เป็นตัวตรวจจับข้อต่อเพื่อสร้างระบบที่สามารถวัดมุมที่บริเวณข้อต่อ หัวไหล่ ข้อศอก และหัวเข่า และวัดความสูงของสะโพก โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ติดตามร่างกายในขณะที่วัด ใช้เวลาในการวัดเพียงไม่นาน สามารถวัดมุมได้พร้อมกันหลายข้อต่อ และสามารถวิเคราะห์การเคลื่อนไหวได้ ซึ่งเครื่องมือวัดมุมมาตรฐานไม่สามารถทำได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อวัดค่ามุมที่บริเวณทั้งสองข้างของ หัวไหล่ ข้อศอก และหัวเข่า
- 1.2.2 เพื่อวัดความสูงของสะโพกชายและชว
- 1.2.3 เพื่อวัดการเคลื่อนไหวของนักฟุตบอล
- 1.2.4 ระบบต้องไม่สร้างความรำคาญให้ผู้ป่วย

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้อง Kinect นำจะนำมาใช้เพื่อศึกษาการวัดมุมระหว่างข้อต่อ และสามารถนำมาใช้ทดแทนการทำงานของเครื่องวัดมุมมาตรฐาน นอกจากนี้สามารถวัดความสูงสะโพกซึ่งยังไม่มีเครื่องมือใดสามารถวัดได้ และวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของนักกีฬา เมื่อใช้ร่วมกับ 3 D motion

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

โดยใช้ทฤษฎีเวกเตอร์ 3 มิติ ในการคำนวณมุมของข้อต่อบริเวณต่าง เพื่อศึกษาความผิดปกติของข้อต่อ การเคลื่อนไหวของข้อต่อ เช่น โรคข้อติดจะทำให้ค่ามุมที่ข้อต่อนั้นมีค่ามากกว่าค่ามุมที่ข้อต่อที่ปกติ และลักษณะท่าทางในการเตะฟุตบอล

1.5 ขอบเขตการวิจัย

- 1.5.1 ทำการศึกษาออกแบบและพัฒนาโปรแกรมด้วย VB 2010
- 1.5.2 ใช้กล้อง Kinect 360 box 1 ตัว เพื่อตรวจจับข้อต่อต่างๆ
- 1.5.3 ผู้เข้าทดสอบต้องยืนห่างจากกล้อง 2 เมตร และทดสอบได้ครั้งละ 1 คน
- 1.5.4 ทำการทดลองกับคนปกติ
- 1.5.5 ทำการทดลองกับการเคลื่อนไหวของนักฟุตบอล

1.6 โครงสร้างวิทยานิพนธ์

ระบบตรวจจับความผิดปกติของผู้ป่วยที่มีความผิดปกติทางการเดินโดยใช้เซนเซอร์ 3 มิติ (Kinect) ได้อธิบายถึงขั้นตอนและวิธีการออกแบบ โดยส่วนเนื้อหาของบทต่างๆ ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ ในบทนี้จะกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญวัตถุประสงค์ของการศึกษา แนวความคิดที่ใช้ในการทำปริญญาโท ขอบเขตของการศึกษา ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ขั้นตอน และเวลาในการจัดทำโครงงาน รวมทั้งโครงสร้างปริญญาโท เป็นต้น

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ในบทนี้จะกล่าวถึง ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกายเพื่อป้องกันข้อติด หรือเพิ่มพิสัยการเคลื่อนไหวของข้อ (Range of motion) เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ หรือ Kinect เครื่องวัดมุมโกนิโอมิเตอร์ การคำนวณเวกเตอร์ โปรแกรม Microsoft Visual Studio 2010 เป็นต้น

บทที่ 3 การออกแบบระบบ ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบซอฟต์แวร์ การออกแบบสถานที่ทำการทดลอง วิธีการคำนวณมุมที่ข้อต่อและความสูงของสะโพก และการออกแบบการทดลอง

บทที่ 4 ผลการทดลอง ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองการวัดมุมบริเวณหัวเข่า หัวไหล่ และข้อศอก และการวัดความสูงของสะโพก โดยเซนเซอร์ 3 มิติ ชนิดไม่สัมผัส ซึ่งสามารถแบ่งการทดลองออกได้เป็น 4 การทดลองคือ การเปรียบเทียบค่ามุมที่หัวเข่า ข้อศอก และหัวไหล่โดยเครื่องมือ

วัด Goniometer และระบบ การเปรียบเทียบค่ามุมของผู้ที่มีอาการบาดเจ็บกับผู้ที่ไม่มีอาการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บาดเจ็บ การวัดค่ามุมของผู้ที่มีอาการบาดเจ็บ และการวัดค่ามุมของนักฟุตบอลขณะเตะบอลใน 5 ท่าทาง คือ เตะแปบอล เตะวอลเลย์ เตะหลังเท้า เตะฟรีคิกบอล และเตะคอนเนอร์บอล

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ ในบทนี้จะกล่าวถึง สรุปผลการวิจัย และ ข้อเสนอแนะรวมถึงแนวทางในการพัฒนาต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ในบทนี้จะกล่าวถึง ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกาย เพื่อป้องกันข้อติด หรือเพิ่มพิสัยการเคลื่อนไหวของข้อ (Range of motion) เช่น เซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ หรือ Kinect เครื่องวัดมุมโกนิโอมิเตอร์ การคำนวณเวกเตอร์ โปรแกรม Microsoft Visual Studio 2010 เป็นต้น

2.1 ทฤษฎีการเดิน

2.1.1 การเดิน [8]

การเดินเป็นการเคลื่อนไหวของขาสองข้างสลับกัน อย่างเป็นจังหวะ และมีการเคลื่อนไหวของลำตัวเพื่อให้จุดศูนย์กลางของร่างกายเคลื่อนไปข้างหน้า โดยการเดินต้องเป็นวงจรรเรียกว่า วงจรการเดิน ซึ่งครอบคลุม

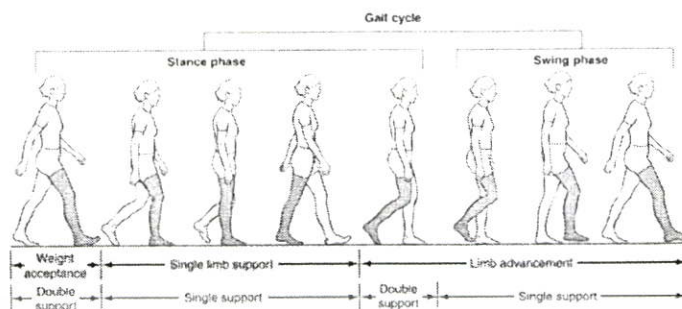
2.1.1.1 Stance phase เป็นระยะที่ขาข้างหนึ่งยังคงวางอยู่บนพื้น ประกอบด้วย 4 ระยะย่อย คือ ระยะที่ส้นเท้าอยู่กับพื้น ระยะที่ฝ่าเท้าอยู่กับพื้น ระยะที่น้ำหนักตัวลงไปบนเท้าข้างที่สัมผัสพื้น ระยะที่ส้นเท้ายกขึ้นจากพื้น ไปจนถึงนิ้วเท้ายกจากพื้น

2.1.1.2 Swing phase เป็นระยะที่ขาข้างนั้นยกลอยขึ้นจากพื้น ประกอบด้วย 3 ระยะย่อยคือ

1. ระยะที่นิ้วเท้ายกขึ้นจากพื้น และยกสูงขึ้น (Acceleration)
2. ระยะกลางของ ระยะสวิง (Swing phase) เป็นระยะที่เท้าจะเคลื่อนต่ำลงมาจนเกือบถึงพื้น แล้วเข้าสู่ระยะสแทนซ
3. ระยะสุดท้ายของ Swing phase เป็นระยะที่เท้าจะเคลื่อนต่ำลงมาจนเกือบถึงพื้นแล้วเข้าสู่ Stance phase ใหม่ ในระยะนี้ถ้าสังเกตที่พื้น จะพบว่าความกว้างของฐานหรือระยะระหว่างขาทั้งสองข้างจากส้นเท้าข้างหนึ่งถึงอีกข้างหนึ่ง ควรจะเท่ากับ 2 - 4 นิ้ว

2.1.1.3 Double support เป็นช่วงเวลาเท้าแต่ละข้างใช้เวลาเดียวกันโดยที่ขาข้างหนึ่งอยู่ในระหว่างยกเท้า (Push off) และนิ้วเท้าขึ้นจากพื้น (Toe off) ส่วนขาอีกข้างอยู่ในระยะที่ส้นเท้าและฝ่าเท้าแตะอยู่กับพื้น (Heel strike and Foot flat) ช่วงระยะดับเบิลซัพพอร์ต (Double support) จะพบในการเดินปกติแต่จะไม่พบในการวิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการเดินของวงจรการเดิน

2.1.2 การตรวจการเดินปกติ

ในช่วงการเดินปกติ ทุกคนจะมีความเป็นอิสระ และการเคลื่อนไหวแขนขา ลำตัว ไบหน้าจะเป็นไปโดยธรรมชาติ มีการลงน้ำหนักของขาข้างหนึ่งเพื่อให้ขาอีกข้างหนึ่งก้าวไปข้างหน้า และเชิงกรานจะทำมุมใกล้เคียง 90 องศา กับขาข้างที่ลงน้ำหนักขณะเดียวกันแขนด้านตรงข้ามจะขยับไปข้างหน้าอัตโนมัติ หัวไหล่ข้างเดียวกันก็จะไปข้างหน้าด้วย รูปร่างท่าทางของลำตัวจะแตกต่างกันไปแต่ละคน แต่ทั่วไปแล้วจะตั้งตรง ในการตรวจจึงควรสังเกตสิ่งต่อไปนี้

2.1.2.1 สังเกตการเอียงตัวซ้ายและขวาของผู้ป่วยขณะเดินมาหาว่าเท่ากันหรือไม่ การวางแขนและการเหยียดแขนได้จังหวะและเท่ากันหรือไม่ ลักษณะของวงจรการเดินเป็นปกติหรือไม่ หลังจากนั้นสังเกตสิ่งเดียวกันทางด้านหลัง และด้านข้างของผู้ป่วย

2.1.2.2 ใ้ดูทั้งตัวตามที่กล่าวไว้ ตลอดจนถึงเท้า การเคลื่อนไหวสะโพก ความกว้างของฐาน ฯลฯ

2.1.2.3 สังเกตความผิดปกติท่าเดินที่ผิดปกติ

2.1.3 ความผิดปกติที่เกิดจากท่าเดิน

คนบางคนอาจมีท่าเดินที่ไม่เหมือนปกติ (เดินเขย่งปลายเท้า) และอื่นๆ โดยลักษณะการเดินเช่นนี้อาจถือได้ว่าเป็นสิ่งปกติที่แตกต่างกันได้ในแต่ละคนเหมือนกับรูปร่างหน้าตาคนเราที่แตกต่างกัน ถ้าเมื่อใดลักษณะการเดินนั้นแปลกออกไปมาก เราจำเป็นต้องประเมินดูว่าความผิดปกติ นั้นจะมีผลมาก หรือน้อยเพียงใดเพื่อพิจารณาหาสาเหตุ และหาทางแก้ไขต่อไป โดยปัจจัยที่มักทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของท่าเดินไปจากปกติได้แก่

1. มีการจำกัดการเคลื่อนไหวของข้อ (Restrict of joint motion) ซึ่งรวมถึงการที่ข้อถูกตึงรั้ง(Contracture)
2. มีความปวดทำให้การเคลื่อนไหวไม่คล่องตัว
3. กล้ามเนื้ออ่อนแรง (Muscle weakness)
4. มีความผิดปกติของการรับรู้ (Sensation) เช่นมีความเจ็บปวดมากขึ้นหรือลดลง

หรือสูญเสียเกี่ยวกับความรู้สึกตำแหน่งของร่างกาย (Joint position sense) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สูญเสียการทำงานที่ประสานกันของกล้ามเนื้อ (Coordination)

ความผิดปกติที่พบบ่อย

1. Trendelenburg's gait (Glutens medius gait) เป็นความผิดปกติที่กล้ามเนื้อ Abductors บริเวณสะโพก หรือกล้ามเนื้อสะโพกอ่อนแอ ส่งผลให้ขณะเดินลำตัวจะเบนไปข้างหน้า เพื่อรักษาสสมดุลไว้ไม่ให้ล้ม อาจพบในผู้ป่วยที่เป็นอัมพาตที่กล้ามเนื้อ Gluteus medius และ Minimus ข้อสะโพกเคลื่อน เป็นต้น

2. Gluteus Maximus gait เป็นความผิดปกติที่กล้ามเนื้อ Extensors บริเวณสะโพก ขณะเดินส่วนบนจะเอนไปข้างหลัง เพื่อรักษาสสมดุลไม่ให้ พบในผู้ป่วยที่เป็นอัมพาตของ Gluteus Maximus

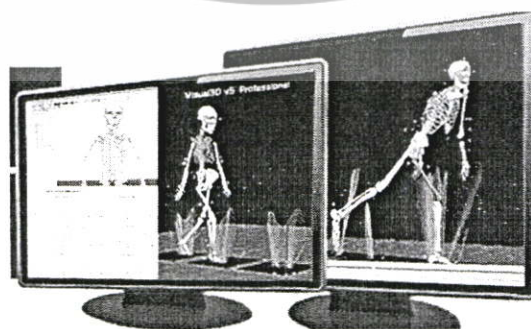
3. Quadriceps paralysis เกิดจากกล้ามเนื้อบริเวณต้นขาหน้า (Quadriceps) เป็นอัมพาต มีปัญหาขณะก้าวเดินในระยะ Foot flat จนก่อนจะถึงระยะ Mid-stance ซึ่งเป็นระยะที่ขาต้องรับน้ำหนักตัว จึงต้องใช้กล้ามเนื้อ Soleus และ Gluteus maximus แทนการตรึงเข้าเพื่อให้เดินได้อย่างปกติ

4. Stepage gait เกิดจากกล้ามเนื้อ Foot dorsiflexors (Paralytic foot drop) เป็นอัมพาต หรือมีอาการข้อเท้าติดแข็งอยู่ในท่าเหยง ขณะก้าวเดินจะยกเข่าสูงเพื่อให้ปลายเท้าไม่สัมผัสพื้น และเวลาก้าวเท้าลงพื้นส่วนของปลายเท้าจะสัมผัสพื้นก่อนแทนที่จะเป็นส้นเท้า

2.2 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์การเดินของมนุษย์ [9]

2.2.1 เครื่อง Visual 3D™ ของบริษัท C-Motion

เครื่อง Visual 3D™ เป็นเครื่องมือที่ใช้มาร์คเกอร์ชนิดสะท้อนแสงติดตามร่างกาย ผู้เข้าร่วมโดยรับข้อมูลภาพจากกล้องมากกว่า 1 ตัว เพื่อที่จะใช้สร้างภาพสามมิติ ซึ่งสามารถที่จะหา มุมของข้อต่อสะโพก ข้อเข่า และข้อเท้า รวมทั้งสามารถหาความเร็ว ความเร่ง เเชิงมุม และแรงที่กระทำ กับกระดูกแต่ละชิ้นในการขณะเคลื่อนไหว

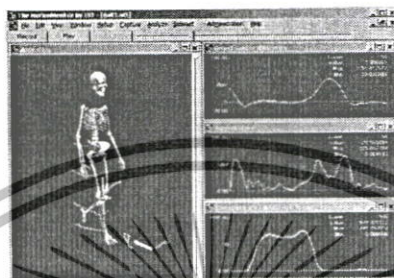


รูปที่ 2.2 หน้าจอแสดงผลของเครื่อง Visual 3D™

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 เครื่อง Motion monitoring ของบริษัท The Motion Monitoring [10]

เครื่อง Motion monitoring ใช้มาร์คเกอร์ชนิดแถบแม่เหล็กโดยข้อมูลภาพที่ได้ถ่ายจากกล้องวีดีโอ เพื่อใช้ในการสร้างภาพสามมิติ ซึ่งสามารถหามุมของข้อสะโพก ข้อเข่า ข้อเท้า ความเร็ว ความเร่งเชิงมุม และแรงลัพท์ที่กระทำกับขาที่ข้อบน และขาที่ข้อล่าง



รูปที่ 2.3 แสดงหน้าจอเครื่อง Motion monitoring ของบริษัท The Motion Monitoring

2.2.3 เครื่อง Qualisys ของบริษัท Qualisys Medical AB [11]

เครื่อง Qualisys ใช้มาร์คเกอร์ ชนิด Active ซึ่งภาพที่ได้จากกล้องมากกว่า 1 ตัว เพื่อสร้างภาพสามมิติ เครื่องนี้สามารถหามุมของข้อสะโพก ข้อเข่า ข้อเท้า ความเร็ว และความเร่งเชิงมุม และแรงลัพท์ที่กระทำกับขาที่ข้อบนและขาที่ข้อล่าง ซึ่งเครื่องนี้จะใช้ร่วมกับเซ็นเซอร์วัดแรงกดเท้า เพื่อหาแรงที่ขาแต่ละส่วน

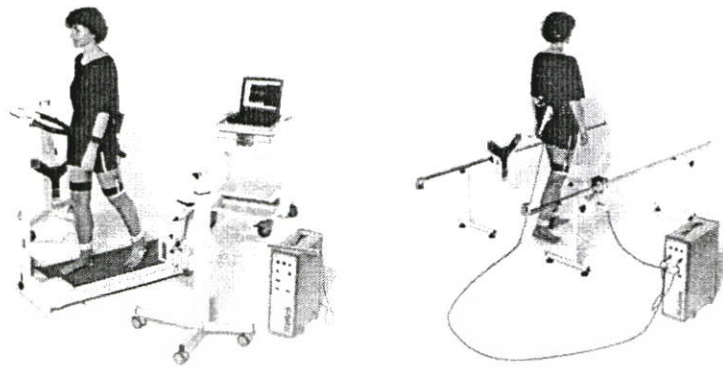


รูปที่ 2.4 แสดงการใช้เครื่อง Qualisys ของบริษัท Qualisys Medical AB และแสดงภาพจำลองในภาพสามมิติ

2.2.4 เครื่อง 3D Real Time Gait Analysis on Treadmill or Walk [12]

เครื่อง 3D Real Time Gait Analysis on Treadmill or Walk ผลิตโดยบริษัท © zebris Medical GmbH โดยใช้มาร์คเกอร์ชนิด Active แบบไมโครโฟน และ Ultrasonic Transmitter ซึ่งเครื่องนี้สามารถที่จะหามุมของข้อสะโพก ข้อเข่า ข้อเท้า ความเร็ว และความเร่งเชิงมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงเครื่อง 3D Real Time Gait Analysis on Treadmill or Walk ขณะการใช้งาน

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดช่วงการเคลื่อนไหวของข้อ (Goniometer) [4]

การวัดช่วงการเคลื่อนไหวของข้อต่างๆ มีประโยชน์ คือ การรู้ค่าของช่วงการเคลื่อนไหวของข้อต่อ จะใช้เป็นข้อมูลในการวินิจฉัยและการตั้งวัตถุประสงค์การรักษา (Treatment goals) เพื่อใช้ในการประเมินผลการรักษาถึงความก้าวหน้า (Progression) เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกัน ในกลุ่มผู้รายงาน ทำให้ประหยัดเวลา และค่าใช้จ่ายเพราะจำเป็นต้องตรวจผู้ป่วย



รูปที่ 2.6 โคนิโอมิเตอร์ (Goniometer)

เครื่องมือที่ใช้วัดช่วงการเคลื่อนไหวของข้อมีหลายแบบ ชนิดตั้งแต่อย่างสลับซับซ้อนมาก ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งต้องการความละเอียดอ่อนมา ถึงแบบที่เรียบง่ายเพื่อใช้ในทางคลินิก เครื่องมือที่ใช้สำหรับทางคลินิก ควรมีคุณสมบัติดังนี้ เรียบง่าย ทนทาน สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก สามารถใช้ได้กับทุกส่วนของร่างกาย ทั้งในบุคคลที่มีรูปร่างและอายุต่างกัน มีความแม่นยำ เมื่อใช้วัดซ้ำจากผู้วัดหลายๆ คนที่ฝึกมาเหมือนกัน เครื่องมือที่ใช้กันมากคือ Goniometer Spondylometer Tape และลูกตั้ง แต่มักจะพบปัญหาในการวัดอยู่เสมอ ซึ่งทำให้ได้ผลไม่แม่นยำเสมอไป ดังนั้น จึงอนุโลมผลของการวัดให้ผิดพลาดได้ +5 ถือว่าเชื่อถือได้ ในคลินิกเดียวกันควรใช้เครื่องมือเดียวกัน เพื่อลดข้อผิดพลาดอันเกิดจากเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือวัดมุมโกนิโอมิเตอร์ (Goniometer) เป็นเครื่องมือที่ทั้งวัดมุมหรือช่วยให้วัตถุที่จะหมุนไปยังตำแหน่งเชิงมุมที่แม่นยำ Goniometers นี้จะสามารถวัดช่วงของการเคลื่อนไหวรอบข้อต่อของส่วนต่างๆของร่างกาย

2.3.1 ลักษณะของ Universal Goniometer

2.3.1.1 เป็นสเกลแบบวงกลมหรือครึ่งวงกลม มีแกน 2 อัน ยาวประมาณ 12 นิ้ว อาจมีแกนยาว 6 นิ้ว หรือ 8 นิ้ว ในกรณีสำหรับใช้วัดนิ้วมือ หรือข้อมือ แกนที่ใช้วางขนานกับร่างกาย ส่วนที่อยู่กับที่ เรียกว่า Stationary arm ส่วนอีกแกนหนึ่งเคลื่อนไปตามส่วนของร่างกายที่เคลื่อนไหว เรียกว่า Movable arm โดยแกนทั้งสองนี้อาจใช้สลับกันได้

2.3.1.2 สเกลละเอียดพออ่านได้ 1- 2 องศา และมีช่องห่างพอควร เพื่อให้อ่านได้ง่ายและสะดวก

2.3.1.3 ถ้าเป็นครึ่งวงกลมควรมีตัวเลขแสดงจำนวน 2 องศา คือ 0 – 180 องศา และ 180 องศา

2.3.1.4 มีจุดหมุนที่ทำให้แกนเคลื่อนได้สะดวก แต่ก็ไม่ลื่นจนเกินไปทำให้อ่านไม่ทัน

2.3.2 ความผิดพลาดของการวัดด้วย goniometer เกิดขึ้นได้เนื่องจาก

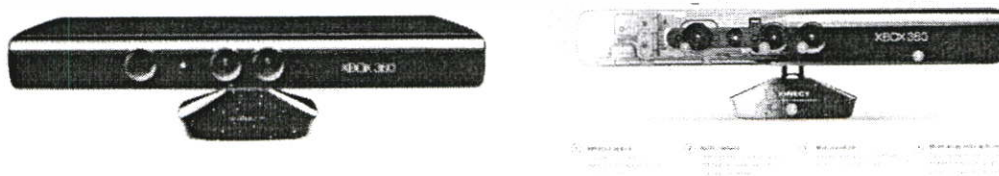
2.3.2.1 การจัดวางเครื่องมือ และการอ่านของผู้วัด

2.3.2.2 ความชำนาญของผู้วัด

2.3.2.3 ความชัดเจนของส่วนที่จะวัด

2.4 Microsoft Kinect Sensor [13]

Microsoft Kinect Sensor คือ อุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Microsoft ซึ่งสามารถทำให้ผู้ใช้สามารถควบคุมและมีปฏิสัมพันธ์กับเครื่องเล่นเกมหรือคอมพิวเตอร์ได้โดยใช้การออกท่าทางและคำสั่งเสียงแทนการใช้อุปกรณ์ควบคุมอื่นๆ



รูปที่ 2.7 (ก) กล้อง Kinect (ข) แสดงองค์ประกอบของกล้อง Kinect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของ Microsoft Kinect Sensor

1. Infrared optics (Depth sensor) ซึ่งประกอบไปด้วย Infrared projector ทำหน้าที่ฉายแสงอินฟราเรดซึ่งมองด้วยตาเปล่าไม่เห็นออกมาเป็นแพทเทิร์นจุด และมี Infrared camera ที่ทำหน้าที่รับแสงอินฟราเรดที่ถูกฉายออกไปเพื่อใช้ในการสร้างภาพที่บอกความลึกของวัตถุ (Depth map)

2. RGB camera เป็นกล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหวใช้รับข้อมูลสีและช่วยในระบบจดจำใบหน้า (Face recognition)

3. Motorized tilt ทำหน้าที่ในการปรับการมองเห็นของ Kinect ให้เงยขึ้นหรือก้มลงได้ 27 องศา

4. Multi-array microphone มีหน้าที่ใช้รับเสียงและมีส่วนช่วยในการระบุตำแหน่งของผู้ใช้ว่าอยู่ที่ไหน มีไมโครโฟนทั้งหมดจำนวน 4 ตัว สามารถใช้แยกแยะเสียงของผู้เล่นและเสียงรบกวนภายนอกออกจากกันได้

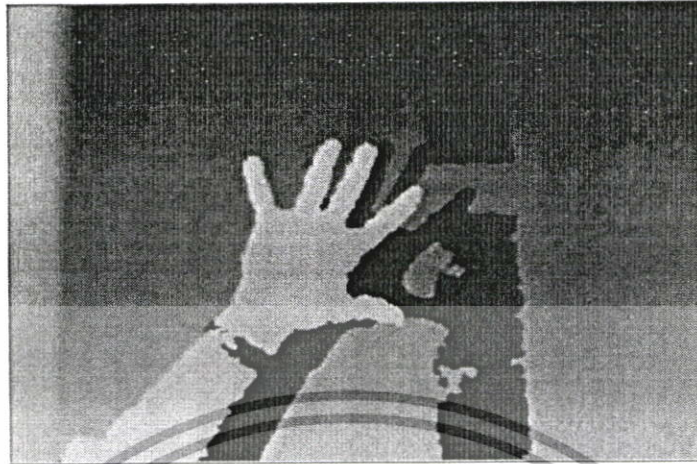
2.4.2 หลักการทำงานของ Microsoft Kinect Sensor

Microsoft Kinect Sensor จะตรวจจับการเคลื่อนไหวของผู้ใช้โดยเริ่มต้นจากการให้ Infrared projector ฉายแสงอินฟราเรดในลักษณะเป็นแพทเทิร์นจุดดังรูปที่ 2.7 จากนั้น Infrared camera จะรับระดับความสว่างของแสงที่ตกกระทบบนวัตถุ โดยวัตถุที่อยู่ใกล้แสงจะมีความสว่างมากและวัตถุที่อยู่ไกลจะมีแสงสว่างน้อยกว่า จากนั้นจะนำข้อมูลที่ไปประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์จะได้ระดับความลึกออกมาดังรูปที่ 2.8 โดยวัตถุที่อยู่ใกล้กับตัวเซนเซอร์จะมีสีอ่อนและวัตถุที่อยู่ไกลจะมีสีเข้มไล่ระดับกันไป



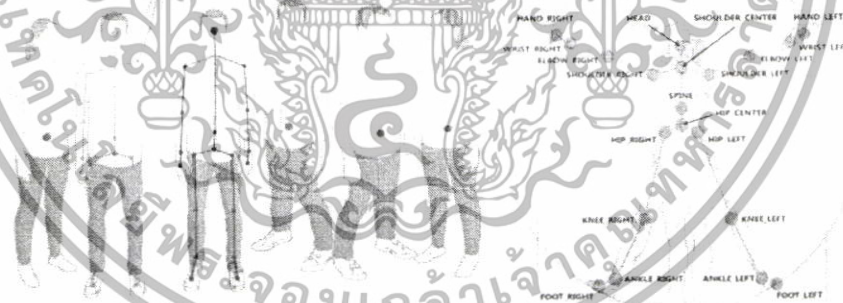
รูปที่ 2.8 แสดงจุดอินฟราเรดที่ถูกฉายออกจากกล้อง Kinect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงภาพระดับความตื้นลึกที่ถ่ายได้จากกล้อง Kinect

เมื่อ Kinect รู้ระดับความตื้นลึกแล้วก็จะสามารถแยกผู้เล่นออกจากสภาพแวดล้อมภายในห้องได้ นอกจากนี้ Microsoft Kinect Sensor ยังมีระบบ Skeletal Tracking ที่ใช้ติดตามโครงกระดูกของผู้ใช้งาน ซึ่งสามารถติดตามได้มากที่สุด 2 คน แต่จะมองเห็นทั้งหมด 6 คน ซึ่งภาพที่แสดงจะเป็นภาพของโครงกระดูกมนุษย์ที่แทนด้วยข้อต่อ 20 จุดสำคัญตามร่างกายดังรูปที่ 2.9 – 2.10

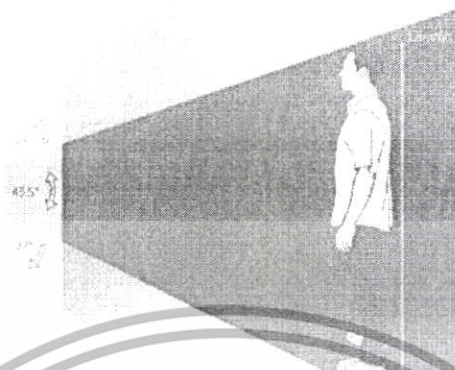


รูปที่ 2.10 (ก) แสดงจำนวนที่กล้อง Kinect สามารถตรวจจับได้ และที่กล้องมองเห็น

(ข) แสดงของโครงกระดูกมนุษย์ที่แทนด้วยข้อต่อ 20 จุดสำคัญตามร่างกาย

ระยะการตรวจจับการเคลื่อนไหวของ Kinect นั้นจะตรวจจับได้ไกลที่สุดในระยะที่ห่างออกไป 0.8 เมตร จนไปถึง 4 เมตร แต่ระยะที่ทำการตรวจจับได้ดีที่สุดคือห่างจาก Kinect ตั้งแต่ 1.2 เมตร จนไปถึง 3.5 เมตรดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงระยะ ความสูง และมุมที่กล้อง Kinect ตรวจสอบผู้ใช้

2.4.3 การตรวจจับการเคลื่อนไหว

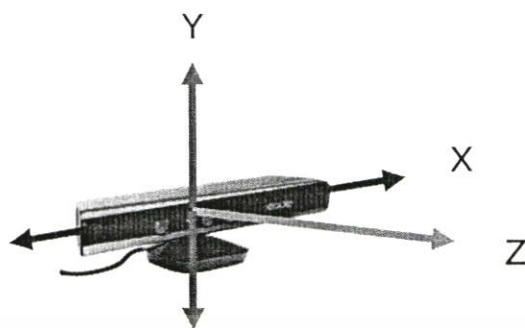
การตรวจจับการเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์โดยใช้กล้อง Kinect และ OpenNI ที่มี PrimeSense NiTE เป็น Middleware ก่อนที่จะเริ่มตรวจจับการเคลื่อนไหว ระบบสามารถให้ข้อมูลตำแหน่งของแต่ละข้อได้ทันที แต่หากมีความผิดพลาดเกิดขึ้นในขณะที่ทำการตรวจจับการเคลื่อนไหว ให้แสดงท่าทางดังรูปที่ 2.12 เพื่อช่วยแก้ไข้ปัญหา



รูปที่ 2.12 แสดงท่าทางเมื่อมีความผิดพลาดของระบบ PrimeSense NiTE

ข้อมูลข้อต่อที่ได้จากระบบจะอยู่ในรูปแบบพิกัดสามมิติ (X Y และ Z) โดยตำแหน่งของจุดกำเนิดจะเป็นตำแหน่งของกล้องที่ใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนไหว และมีทิศทางของแกน X Y และ Z ดังรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แสดงทิศทางของแกน X Y และ Z ของกล้อง Kinect

ซึ่งค่า X เป็นค่าแสดงระยะทางที่ห่างออกไปจากจุดกำเนิดตามแนวนอนสัมพัทธ์กับกล้องที่ตรวจจับจะมีค่าเป็นบวกเมื่อตำแหน่งที่ถูกตรวจจับได้อยู่ทางด้านขวาของกล้อง ค่า Y เป็นค่าแสดงระยะทางที่ห่างออกไปจากจุดกำเนิดตามแนวตั้งที่กล้องตรวจจับ จะมีค่าเป็นบวกเมื่อตำแหน่งที่ถูกตรวจจับได้อยู่สูงกว่าตำแหน่งของกล้อง และค่า Z จะเป็นระยะทางที่ห่างออกไปจากกล้อง และค่า Z จะเป็นระยะทางที่ห่างออกไปจากกล้อง หรือระยะทางด้านหน้าของกล้องระหว่างกล้องกับผู้ใช้ แต่ระยะตำแหน่งของข้อต่อจะมีหน่วยเป็นเมตร ในการตรวจจับการเคลื่อนไหวหากผู้ใช้ยืนอยู่ในมุมกล้องประมาณ 1.2-3.5 เมตร แต่ระยะที่ตรวจจับได้ดีคือ 2.5 เมตร จะมีความใกล้เคียงกับการวัดจริง 2.3 คำแนะนำเพิ่มเติมในการใช้ระบบ

1. ผู้เข้าร่วมไม่ควรสวมใส่ชุดที่หลวมในขณะที่ทำการตรวจจับการเคลื่อนไหว
2. การตรวจจับข้อต่อที่แขนจะมีความเสถียรน้อย หากแขนนั้นอยู่ใกล้ชิดกับส่วนของร่างกายโดยเฉพาะอยู่กับลำตัว ถ้าแขนทั้งสองอยู่ชิดกับลำตัว หรืออยู่ใกล้กับส่วนอื่น ระบบอาจรวมแขนนั้นเป็นส่วนหนึ่งของร่างกายส่วนนั้นได้ และจะทำให้ไม่สามารถตรวจจับข้อต่อที่แขนได้
3. การตรวจจับข้อต่อที่ขาจะมีการตรวจจับที่ดีขึ้น หากผู้ใช้ไม่ยืนขาชิด
4. การเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็วหรือการแสดงท่าทางที่ซับซ้อน อาจจะทำให้ไม่สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวได้

2.5 ผลคูณของเวกเตอร์ [14]

- การคูณเวกเตอร์มี 2 ชนิดได้แก่ ผลคูณที่ได้เป็นปริมาณสเกลาร์ เรียกว่าผลคูณแบบดอท (dot product) หรือผลคูณสเกลาร์ (scalar product) และ ผลคูณที่ได้เป็นปริมาณเวกเตอร์ เรียกว่าผลคูณแบบครอส (cross product) หรือผลคูณเวกเตอร์ (vector)

ผลคูณเชิงสเกลาร์ (scalar product or dot product) บทนิยาม ผลคูณเชิงสเกลาร์ของ \vec{u} และ \vec{v} เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\vec{u} \cdot \vec{v}$ โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงสูตรผลคูณเชิงสเกลาร์ระหว่างเวกเตอร์สองมิติและเวกเตอร์สามมิติ

สองมิติ	สามมิติ
$\vec{u} = a_1\vec{i} + b_1\vec{j}$	$\vec{u} = a_1\vec{i} + b_1\vec{j} + c_1\vec{k}$
$\vec{v} = a_2\vec{i} + b_2\vec{j}$	$\vec{v} = a_2\vec{i} + b_2\vec{j} + c_2\vec{k}$
$\vec{u} \cdot \vec{v} = a_1a_2 + b_1b_2$	$\vec{u} \cdot \vec{v} = a_1a_2 + b_1b_2 + c_1c_2$

ในบทนิยามดังกล่าวจะใช้ \cdot แทนเครื่องหมาย โดยจะเรียกผลคูณที่ได้อีกอย่างหนึ่งว่าผลคูณจุด (dot product)



จากทฤษฎี ให้ \vec{u} และ \vec{v} เป็นเวกเตอร์ และ θ เป็นมุมระหว่าง \vec{u} กับ \vec{v} โดยที่ $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ จะได้ว่าได้จากสมการที่ 2.1

$$\vec{u} \cdot \vec{v} = |\vec{u}||\vec{v}|\cos\theta \quad (2.1)$$

ในกรณีที่ต้องการหามุมระหว่าง \vec{u} กับ \vec{v} จะได้ว่าหาได้จาก สมการ 2.2

$$\cos \theta = \frac{\vec{u} \cdot \vec{v}}{|\vec{u}||\vec{v}|}$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{\vec{u} \cdot \vec{v}}{|\vec{u}||\vec{v}|}\right) \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 Video System for Dynamic Motion Analysis of Human Gait [15]

เฉลิมพล คงเขียว ในปี 2010 จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้ศึกษาการวิเคราะห์การเดินของมนุษย์ สามารถแก้ไขการเดิน หรือลักษณะความผิดปกติของการเดิน ใช้ระบบภาพเคลื่อนไหวแบบไดนามิกในการวิเคราะห์การเดินของมนุษย์ ซึ่งประกอบด้วยกล้องวิดีโอ และใช้หลอด LED สีน้ำเงินเป็นมาร์คเกอร์จะติดด้านข้างของลำตัวที่ตำแหน่งสะโพก และเข่า เพื่อศึกษาค่าความผิดพลาดของรูปคลื่น ค่าแอมพลิจูดของความถี่หลักมูล และค่าความเร็วเชิงมุมของคนปกติ

2.6.2 A Dancer's Performance using Kinect-based Skeleton Tracking [16]

D.Alexialdis และคณะ ในปี 2011 ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบการวัดประสิทธิภาพของนักเต้นโดยใช้กล้อง Kinect ในการตรวจจับการเคลื่อนไหว และใช้ Open NI เป็น API ในการให้ข้อมูลการตรวจจับงานวิจัยนี้ในการเปรียบเทียบตำแหน่งของข้อต่อของนักเต้นสองคนที่ได้ จากการตรวจจับตามเวลาจริงมาเป็นส่วนหนึ่งในการให้คำแนะนำการเต้น ผลการศึกษาของงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า สามารถนำข้อมูลตำแหน่งของข้อต่อไปใช้งานในด้านการตรวจจับการเคลื่อนไหว

2.6.3 Markerless Motion Capture using multiple Color-Depth Sensors [5]

K.Berger และคณะ ในปี 2011 ได้ศึกษาเกี่ยวกับการตรวจจับการเคลื่อนไหวปราศจากการทำเครื่องหมายตามตำแหน่งต่างๆ บนร่างกาย โดยใช้กล้อง Kinect หนึ่งถึงสี่ตัวในการตรวจจับ แล้วนำภาพสีที่แสดงความลึก ที่ได้จากกล้องในหลายๆ มุมมอง นำไปคำนวณหาตำแหน่งของข้อต่อของร่างกายผู้ถูกตรวจจับ จากนั้นนำตำแหน่งของข้อต่อไปสร้างเป็นโครงร่างมนุษย์

2.6.4 Behavioral Synchronization of Human and Humanoid Robot [6]

R. Igorevich, E. Ismoilovich และ D. Min ในปี 2011 ได้เสนอระบบการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยท่าทางของผู้ควบคุม โดยควบคุมให้หุ่นยนต์แสดงท่าทางเช่นเดียวกับท่าทางของผู้ควบคุม งานวิจัยนี้ใช้กล้อง Kinect ในการตรวจจับท่าทางของผู้ควบคุม และใช้ OpenNI ในการให้ข้อมูลตำแหน่งของข้อต่อ สำหรับการควบคุมท่าทางของหุ่นยนต์ งานวิจัยนี้ใช้ขนาดมุมระหว่างข้อต่อของร่างกายของผู้ควบคุมที่คำนวณจากข้อมูลตำแหน่งของข้อต่อที่กล้องตรวจจับได้ไปควบคุมการแสดงผลท่าทางของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบระบบ

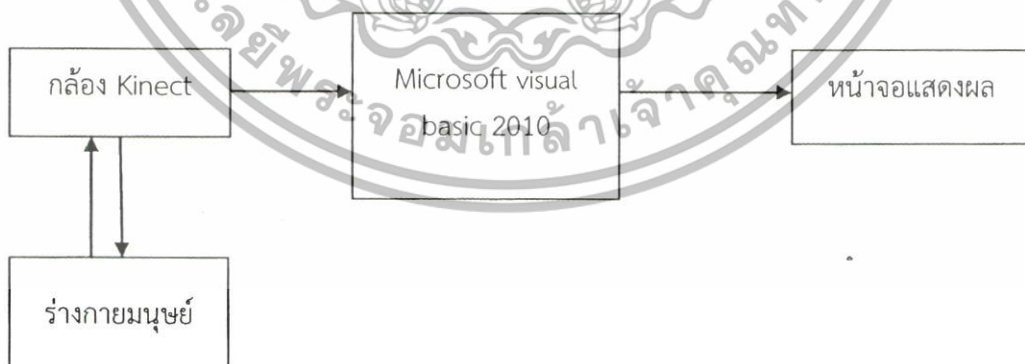
การออกแบบระบบ ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบซอฟต์แวร์ การออกแบบสถานที่ทำการ ทดลอง วิธีการคำนวณมุมที่ข้อต่อและความสูงของสะโพก และการออกแบบการทดลองดังนี้

3.1 การออกแบบซอฟต์แวร์

ในการออกแบบโปรแกรมวิเคราะห์ และแสดงผล สามารถเลือกใช้ได้หลากหลายโปรแกรม แต่ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้โปรแกรม Visual Basic 2010 เนื่องจาก สามารถที่จะแยกออกแบบ หน้าจอโดยเขียนโปรแกรมแยกออกจากโปรแกรมหลัก ซึ่งสามารถมาพัฒนาโปรแกรมจากไมโครซอฟท์ ที่ได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมการตรวจจับและวิเคราะห์ข้อมูลจากกล้อง Kinect ในโหมด Skeleton tracking

3.1.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

การทำงานของระบบนี้ใช้ กล้อง Kinect เป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับร่างกายมนุษย์ โดยสามารถตรวจจับข้อต่อได้ถึง 20 ข้อต่อในการวัดระยะหรือความลึกของวัตถุต่าง ๆ นั้นอาศัยการทำงานของอุปกรณ์เซ็นเซอร์วัดระยะ (Depth Sensor) ซึ่งประกอบอุปกรณ์ 2 ชนิดคือ Infrared Laser Projector และ Monochrome CMOS Sensor โดยตัว Infrared Laser Projector จะส่งแสงอินฟราเรดไปกระทบกับวัตถุที่อยู่ในแนวรัศมี เมื่อแสงอินฟราเรดกระทบกับวัตถุก็จะสะท้อนกลับมาที่ตัวรับ Monochrome CMOS Sensor จากนั้นซอฟต์แวร์ก็จะคำนวณระยะทางอาศัยเวลาการเดินทางของแสงอินฟราเรดและจะส่งค่าที่ได้ไปประมวลผลบน Microsoft Visual basic 2010 และส่งข้อมูลผ่านหน้าจอแสดงผล ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ

3.1.2 โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมหลัก

การทำงานของระบบ มีขั้นตอนการทำงานดังนี้ เริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม ตรวจสอบการเชื่อมต่อระหว่างกล้อง Kinect กับระบบ หากไม่เชื่อมต่อบนหน้าจอจะไม่แสดงข้อมูล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใดๆ แต่หากเชื่อมต่อระบบจะนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาขนาดของเวกเตอร์ และเวกเตอร์ เมื่อได้สองค่านี้ระบบจะทำการคำนวณเป็นมุมระหว่างข้อต่อ หากกดปุ่ม Save ระบบจะทำการเก็บข้อมูลไว้บน Data base พร้อมทั้งแสดงภาพเคลื่อนไหวของผู้เข้าร่วม



รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของโปรแกรมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบสถานที่ทำการทดลอง

การออกแบบสถานที่ทำการทดลองเป็นสิ่งสำคัญต่อวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องออกแบบให้สถานที่ทำการทดลองมีความเหมาะสมต่อคุณสมบัติของกล้อง Kinect สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวได้ไกลที่สุดในระยะที่ห่างออกไป 0.8 เมตร จนถึง 4 เมตร แต่ระยะที่ทำการตรวจจับได้ดีที่สุดคือห่างจาก Kinect ตั้งแต่ 1.2 เมตร จนถึง 3.5 เมตร โดยฟังก์ชัน Skeleton tracking จะตรวจจับข้อต่อได้ดีในระยะ 2.5 เมตร ห่างจากกล้อง ค่าตำแหน่งของข้อต่อที่ถูกตรวจจับจะมีค่าใกล้เคียงกับการวัดจริง มุมกล้องปกติมีค่ามุม 47 องศา แต่สามารถบวกเพิ่มและลดลงได้อีก 27 องศา สามารถตรวจจับผู้เข้าร่วมที่มีความสูงมากกว่า 180 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงมุมมองของกล้องมุมกว้าง

3.3 วิธีการคำนวณมุมที่ข้อต่อ และความสูงของสะโพก

วิธีการคำนวณมุมที่บริเวณข้อต่อโดยใช้กล้อง Kinect เพื่อตรวจจับข้อมูลบริเวณข้อต่อที่ได้จากระบบจะอยู่ในรูปแบบพิกัดสามมิติ ซึ่งค่าเหล่านี้ถูกนำไปคำนวณเพื่อหาขนาดของเวกเตอร์ และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวกเตอร์ เพื่อนำไปคำนวณหามุมด้วยวิธีผลคูณแบบดอท (Dot product) ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้
คำนวณหามุมทั้งหมด 3 บริเวณ คือ บริเวณหัวไหล่ บริเวณข้อศอก และบริเวณหัวเข่า

สูตรคำนวณหามุมของหัวไหล่

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{\vec{v} \cdot \vec{u}}{|\vec{v}| |\vec{u}|} \right) \quad (3.1)$$

สูตรการหาผลรวมเวกเตอร์ของหัวไหล่

$$\vec{v} = (A_x - B_x) + (A_y - B_y) + (A_z - B_z) \quad (3.2)$$

$$\vec{u} = (B_x - C_x) + (B_y - C_y) + (B_z - C_z) \quad (3.3)$$

$$\vec{v} \cdot \vec{u} = ((A_x - B_x) + (A_y - B_y) + (A_z - B_z)) \times ((B_x - C_x) + (B_y - C_y) + (B_z - C_z)) \quad (3.4)$$

สูตรการหาผลรวมขนาดเวกเตอร์ของหัวไหล่

$$|\vec{v}| = \sqrt{(A_x - B_x)^2 + (A_y - B_y)^2 + (A_z - B_z)^2} \quad (3.5)$$

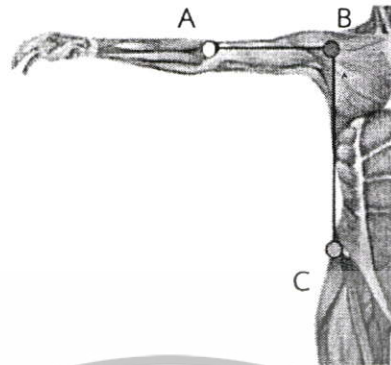
$$|\vec{u}| = \sqrt{(B_x - C_x)^2 + (B_y - C_y)^2 + (B_z - C_z)^2} \quad (3.6)$$

$$|\vec{v}| |\vec{u}| = \sqrt{((A_x - B_x)^2 + (A_y - B_y)^2 + (A_z - B_z)^2) \times ((B_x - C_x)^2 + (B_y - C_y)^2 + (B_z - C_z)^2)} \quad (3.7)$$

3.3.1 การคำนวณมุมที่หัวไหล่

งานวิจัยนี้หาขนาดมุมระหว่างข้อต่อบนร่างกาย ซึ่งคำนวณจากข้อมูลตำแหน่งของข้อต่อที่กล้อง Kinect สามารถตรวจจับ ซึ่งขนาดมุมที่หัวไหล่จะสามารถคำนวณจากสมการที่ 3.1 ซึ่งพิกัด A เป็นพิกัดที่บริเวณข้อศอก พิกัด B เป็นพิกัดบริเวณหัวไหล่ และพิกัด C เป็นพิกัดบริเวณสะโพก ดังรูปที่ 3.5 ข้อมูลของพิกัดเหล่านี้สามารถนำมาคำนวณหาเวกเตอร์ V และเวกเตอร์ U ดังสมการที่ 3.2 และสมการที่ 3.3 และเมื่อนำค่าเวกเตอร์ V และเวกเตอร์ U มาคูณดังสมการที่ 3.4 เพื่อไปแทนลงในสมการที่ 3.1 และค่าพิกัดที่ได้จากกล้อง Kinect สามารถนำมาคำนวณขนาดของเวกเตอร์ V และขนาดของเวกเตอร์ U ดังสมการที่ 3.5 และ 3.6 และเมื่อนำขนาดของเวกเตอร์ V และขนาดของเวกเตอร์ U มาคูณกันเพื่อไปแทนลงในสมการที่ 3.1 เพื่อหาค่ามุมระหว่างเวกเตอร์ V และเวกเตอร์ U

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

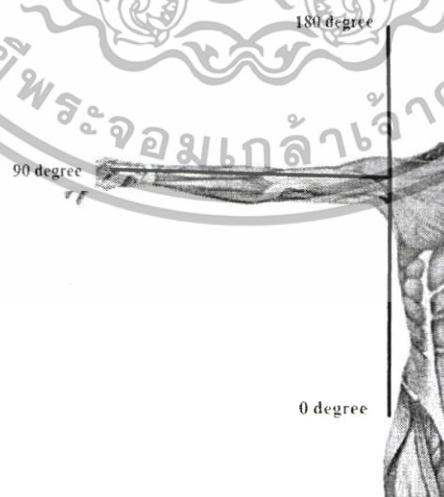


รูปที่ 3.5 แสดงพิกัดที่ใช้ในการคำนวณมุมที่บริเวณหัวไหล่

กำหนดให้ $A = (A_x, A_y, A_z)$ $B = (B_x, B_y, B_z)$ และ $C = (C_x, C_y, C_z)$

จากรูปที่ 3.5 แสดงพิกัดที่ใช้ในการคำนวณมุมที่บริเวณหัวไหล่ โดยพิกัด A ประกอบด้วยค่า A_x เป็นค่าแกน X ของข้อศอก A_y เป็นค่าแกน Y ของข้อศอก และ A_z เป็นค่าแกน Z ของข้อศอก พิกัด B ประกอบด้วยค่า B_x เป็นค่าแกน X ของหัวไหล่ B_y เป็นค่าแกน Y ของหัวไหล่ และ B_z เป็นค่าแกน Z ของหัวไหล่ และพิกัด C ประกอบด้วยค่า C_x เป็นค่าแกน X ของสะโพก C_y เป็นค่าแกน Y ของสะโพก และ C_z เป็นค่าแกน Z ของสะโพก ซึ่งค่าเหล่านี้นำไปแทนในสมการที่ 3.1-3.7 จะได้ค่ามุมของหัวไหล่

มุมจากการเคลื่อนไหวของหัวไหล่ นั้น โดยทั่วไปการเคลื่อนไหวของหัวไหล่ควรเหยียดได้ตรง มุมปกติของการเคลื่อนไหวจากท่าหัวไหล่เหยียดควรเริ่มจาก 0 องศา และเมื่องอหัวไหล่ควรได้มุมตั้งแต่ 135 องศา เป็นต้นไปจนถึง 180 องศา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาหรือความตึงตัวของเนื้อเยื่อใต้ข้อพับของคนนั้นๆ เองดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงมุมการเคลื่อนไหวข้อต่อของหัวไหล่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การคำนวณมุมที่ข้อศอก

งานวิจัยนี้หาขนาดมุมระหว่างข้อต่อบนร่างกาย ซึ่งคำนวณจากข้อมูลตำแหน่งของข้อต่อที่กล้อง Kinect สามารถตรวจจับ ซึ่งขนาดมุมที่ข้อศอกจะสามารถคำนวณจากสมการที่ 3.1 ซึ่งพิกัด A เป็นพิกัดที่บริเวณข้อมือ พิกัด B เป็นพิกัดบริเวณข้อศอก และพิกัด C เป็นพิกัดบริเวณหัวไหล่ ดังรูปที่ 3.7 ข้อมูลของพิกัดเหล่านี้สามารถนำมาคำนวณหาเวกเตอร์ V และเวกเตอร์ U ดังสมการที่ 3.2 และสมการที่ 3.3 และเมื่อนำค่าเวกเตอร์ V และเวกเตอร์ U มาคูณดังสมการที่ 3.4 เพื่อไปแทนลงในสมการที่ 3.1 และค่าพิกัดที่ได้จากกล้อง Kinect สามารถนำมาคำนวณขนาดของเวกเตอร์ V และขนาดของเวกเตอร์ U ดังสมการที่ 3.5 และ 3.6 และเมื่อนำขนาดของเวกเตอร์ V และขนาดของเวกเตอร์ U มาคูณกันเพื่อไปแทนลงในสมการที่ 3.1 เพื่อหาค่ามุมระหว่างเวกเตอร์ V และเวกเตอร์ U

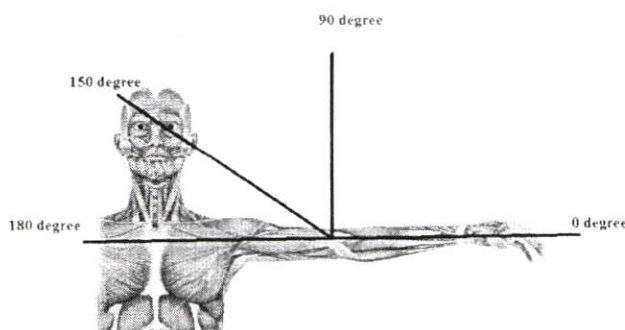


รูปที่ 3.7 แสดงพิกัดที่ใช้ในการคำนวณมุมที่บริเวณข้อศอก

กำหนดให้ $A = (A_x, A_y, A_z)$ $B = (B_x, B_y, B_z)$ และ $C = (C_x, C_y, C_z)$

จากรูปที่ 3.7 แสดงพิกัดที่ใช้ในการคำนวณมุมที่บริเวณข้อศอก โดยพิกัด A ประกอบด้วยค่า A_x เป็นค่าแกน X ของข้อมือ A_y เป็นค่าแกน Y ของข้อมือ และ A_z เป็นค่าแกน Z ของข้อมือ พิกัด B ประกอบด้วยค่า B_x เป็นค่าแกน X ของข้อศอก B_y เป็นค่าแกน Y ของข้อศอก และ B_z เป็นค่าแกน Z ของข้อศอก และพิกัด C ประกอบด้วยค่า C_x เป็นค่าแกน X ของหัวไหล่ C_y เป็นค่าแกน Y ของหัวไหล่ และ C_z เป็นค่าแกน Z ของหัวไหล่ ซึ่งค่าเหล่านี้นำไปแทนในสมการที่ 3.1-3.7 จะได้ค่ามุมของข้อศอก

มุมจากการเคลื่อนไหวของข้อศอกนั้น โดยทั่วไปการเคลื่อนไหวของข้อศอกควรเหยียดได้ตรงมุมปกติของการเคลื่อนไหวจากท่าหัวไหล่เหยียดควรเริ่มจาก 0 องศา ถึง 10 องศา และเมื่องอหัวไหล่ควรได้มุมตั้งแต่ 90 องศา เป็นต้นไปจนถึง 150 องศา ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงมุมการเคลื่อนไหวข้อต่อของข้อศอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การคำนวณมุมที่หัวเข่า

งานวิจัยนี้หาขนาดมุมระหว่างข้อต่อบนร่างกาย ซึ่งคำนวณจากข้อมูลตำแหน่งของข้อต่อที่กล้อง Kinect สามารถตรวจจับ ซึ่งขนาดมุมที่หัวเข่าจะสามารถคำนวณจากสมการที่ 3.1 ซึ่งพิกัด A เป็นพิกัดที่บริเวณสะโพก พิกัด B เป็นพิกัดบริเวณหัวเข่า และพิกัด C เป็นพิกัดบริเวณข้อเท้า ดังรูปที่ 3.9 ข้อมูลของพิกัดเหล่านี้สามารถนำมาคำนวณหาเวกเตอร์ V และเวกเตอร์ U ดังสมการที่ 3.2 และสมการที่ 3.3 และเมื่อนำค่าเวกเตอร์ V และเวกเตอร์ U มาคูณดังสมการที่ 3.4 เพื่อไปแทนลงในสมการที่ 3.1 และค่าพิกัดที่ได้จากกล้อง Kinect สามารถนำมาคำนวณขนาดของเวกเตอร์ V และขนาดของเวกเตอร์ U ดังสมการที่ 3.5 และ 3.6 และเมื่อนำขนาดของเวกเตอร์ V และขนาดของเวกเตอร์ U มาคูณกันเพื่อไปแทนลงในสมการที่ 3.1 เพื่อหาค่ามุมระหว่างเวกเตอร์ V และเวกเตอร์ U



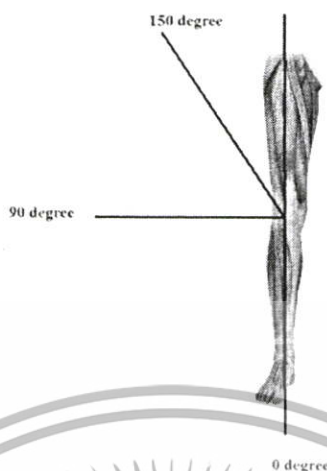
รูปที่ 3.9 แสดงพิกัดที่ใช้ในการคำนวณมุมที่บริเวณหัวเข่า

กำหนดให้ $A = (A_x, A_y, A_z)$ $B = (B_x, B_y, B_z)$ และ $C = (C_x, C_y, C_z)$

จากรูปที่ 3.9 แสดงพิกัดที่ใช้ในการคำนวณมุมที่บริเวณหัวเข่า โดยพิกัด A ประกอบด้วยค่า A_x เป็นค่าแกน X ของสะโพก A_y เป็นค่าแกน Y ของสะโพก และ A_z เป็นค่าแกน Z ของสะโพก พิกัด B ประกอบด้วยค่า B_x เป็นค่าแกน X ของหัวเข่า B_y เป็นค่าแกน Y ของหัวเข่า และ B_z เป็นค่าแกน Z ของหัวเข่า และพิกัด C ประกอบด้วยค่า C_x เป็นค่าแกน X ของข้อเท้า C_y เป็นค่าแกน Y ของข้อเท้า และ C_z เป็นค่าแกน Z ของข้อเท้า ซึ่งค่าเหล่านี้นำไปแทนในสมการที่ 3.1-3.7 จะได้ค่ามุมของข้อเท้า

มุมจากการเคลื่อนไหวของข้อศอกนั้น โดยทั่วไปการเคลื่อนไหวของข้อศอกควรหยุดได้ตรงมุมปกติของการเคลื่อนไหวจากท่าเข่าเหยียดควรเริ่มจาก 0 องศา และเมื่องอข้อเข่าได้จนสุดข้อพับควรได้มุมตั้งแต่ 120 องศา เป็นต้นไปจนถึง 155 องศา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาและความตึงตัวของข้อพับแต่ละบุคคลดังรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงมุมการเคลื่อนไหวข้อต่อของหัวเข่า

3.3.4 การคำนวณความสูงของสะโพก

ความสูงของสะโพกซ้าย และขวาสามารถคำนวณได้จากค่าแกน Y ที่ได้จากการตรวจจับร่างกายมนุษย์จากกล้อง Kinect ซึ่งค่าแกน Y ที่ได้จะมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ในเล่มวิทยานิพนธ์นี้ได้นำค่าที่ได้คูณกับ 100 เพื่อให้ค่าได้ออกมามีหน่วยเป็นเซนติเมตร เพื่อง่ายต่อการอ่านค่า และวิเคราะห์ แต่ค่าความสูงที่ได้ เป็นความสูงที่สูงจากจุดศูนย์กลางของกล้อง

ตัวอย่าง ค่าแกน Y = 0.8759 มิลลิเมตร

ต้องการแปลงหน่วยให้เป็นเมตร จะได้ว่า $0.8759 \times 100 = 87.59$ เมตร

3.4 การออกแบบการทดลอง

3.4.1 การทดลองที่ 1 ทดสอบความถูกต้องของระบบ

3.4.1.1 วิธีการทดลองที่ 1

1. กำหนดตำแหน่งที่จะติดตั้งกล้อง ตำแหน่งที่ผู้เข้าร่วมยืนควรห่างจากกล้อง 2.5 เมตร และติดตั้งกล้องสูงจากพื้น 1 เมตร

2. ให้ผู้เข้าร่วมไปยืนตำแหน่งที่กำหนดไว้หน้ากล้องสอบประวัติ อายุ เพศ ความสูง น้ำหนักและอาการเจ็บป่วยหรือประวัติการเกิดอุบัติเหตุ

3. ให้ผู้เข้าร่วมแสดงท่าทางดังรูปที่ 3.11-3.13 ทีละท่าพร้อมโดยใช้เครื่องวัด Goniometer วัดมุมในส่วนที่ต้องการเก็บค่าพร้อมจดบันทึกไว้ และอ่านค่ามุมที่ได้จากระบบพร้อมจดบันทึก

4. จากข้อที่ 3 ทำการบันทึกข้อมูลที่ได้ลงในตาราง เพื่อหาความถูกต้องของค่ามุมระหว่างเครื่องวัดมาตรฐานกับระบบ

5. จากข้อมูลที่ได้จากข้อที่ 4 นำมาวิเคราะห์และปรับปรุงระบบ

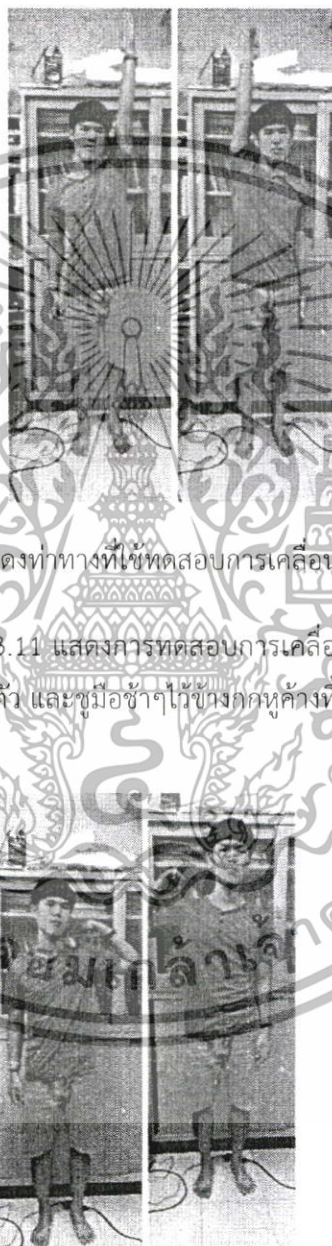
6. ทำซ้ำจากข้อที่ 1 – ข้อที่ 5 จนมีค่าความความแตกต่างของค่ามุมอย่าง

มาก 5 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.2 ท่าทางที่ใช้ทดลอง

ในการทดลองจำเป็นต้องมีการออกแบบท่าทางที่ถูกใช้ในการทดสอบ เช่นเดียวกับท่าทางที่ใช้ทดสอบการเคลื่อนไหวของข้อต่อของนักกายภาพ และแพทย์ เพื่อให้ทราบถึง ค่ามุมโดยทั่วไปของมุมของข้อต่อ ทางผู้วิจัยจึงเลือกท่าทางที่ใช้ทดสอบ 3 ท่า เพื่อทดสอบการ เคลื่อนไหวของหัวไหล่ ข้อศอก และหัวเข่า



รูปที่ 3.11 แสดงท่าทางที่ใช้ทดสอบการเคลื่อนไหวของหัวไหล่

จากรูปที่ 3.11 แสดงการทดสอบการเคลื่อนไหวของข้อต่อหัวไหล่ ซึ่งขณะ ทดสอบผู้ทดสอบควรโน้มแขนแนบลำตัว และขมื่อซ้ายไว้ข้างกศหูกวางทิ้งไว้สักพัก โดยควรทำทีละข้าง



รูปที่ 3.12 การทดสอบการเคลื่อนไหวของข้อศอก

จากรูปที่ 3.12 แสดงท่าทางเป็นที่ใช้ในการทดสอบการการเคลื่อนไหว ข้อศอกงอโดยทำนี้ทำการงอแขนเข้าหาลำตัวจนสุด และทำค้างไว้สักพัก โดยควรทำทีละข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 การทดสอบวัดค่ามุมของข้อเข่า

จากรูปที่ 3.13 เป็นทำการทดสอบการวัดค่ามุมของข้อเข่าในท่ายืนตรง ที่ใช้ท่าทางนี้ในการทดสอบเนื่องจากสามารถวัดความผิดปกติได้หลายอย่างเช่น การเจ็บเข่า ขาไม่เท่ากัน ขาบิด และขาโก่ง

3.4.2 การทดลองที่ 2 การวัดมุมของผู้เข้าร่วม 20 คน

3.4.2.1 วิธีการทดลองที่ 2

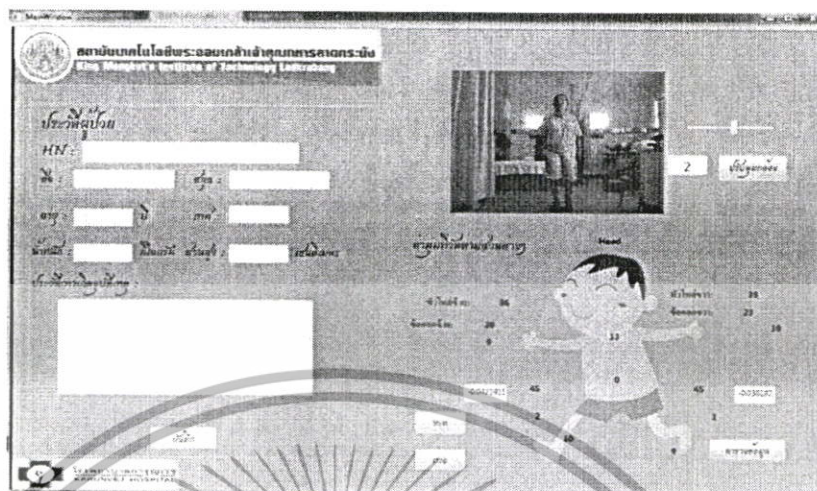
1. กำหนดตำแหน่งที่จะติดตั้งกล้อง ตำแหน่งที่ผู้เข้าร่วมยืนควรห่างจากกล้อง 2.5 เมตร และติดตั้งกล้องสูงจากพื้น 1 เมตร
2. ให้ผู้เข้าร่วมไปยืนตำแหน่งที่กำหนดไว้หน้ากล้อง สอบประวัติ อายุ เพศ ความสูง น้ำหนักและอาการเจ็บป่วยหรือประวัติการเกิดอุบัติเหตุ
3. ให้ผู้เข้าร่วมแสดงท่าทางดังรูปที่ 3.11-3.13 ที่ละท่า พร้อมทั้งเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล โดยเก็บผลกับคนที่ไม่เคยเกิดอุบัติเหตุ 19 คน และคนที่เคยเกิดอุบัติเหตุ 1 คน
4. จากข้อที่ 3 ทำการบันทึกข้อมูลที่ได้ลงในตาราง
5. วิเคราะห์ผลการทดลอง

3.4.3 การทดลองที่ 3 การวัดมุมของผู้ป่วยในโรงพยาบาล

3.4.3.1 วิธีการทดลองที่ 1

1. กำหนดตำแหน่งที่จะติดตั้งกล้อง ตำแหน่งที่ผู้เข้าร่วมยืนห่างจากกล้อง 2.5 เมตร และติดตั้งกล้อง
2. ให้ผู้เข้าร่วมไปยืนตำแหน่งที่กำหนดไว้หน้ากล้อง สอบประวัติของผู้ร่วม ชื่อ นามสกุล น้ำหนัก ส่วนสูง อายุ เพศ และอาการเจ็บป่วยหรือประวัติการเกิดอุบัติเหตุลงในฐานข้อมูลดังรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงหน้าจอแสดงผล

3. ปรับมกกล้องให้เห็นผู้เข้าร่วมทั้งตัว
4. ให้ผู้เข้าร่วมแสดงท่าทางที่ใช้ทดสอบที่ละทำดังรูป 3.11-3.13
5. นำค่าที่ได้ในแต่ละท่าไปคำนวณหาค่ามุมที่บริเวณหัวไหล่ ข้อศอก และหัวเข่า และหาความสูงของสะโพก
6. วิเคราะห์ และสรุปผลที่ได้จากการทดลอง

3.4.4 การทดสอบที่ 4 การวัดมุมของนักฟุตบอล

3.4.4.1 วิธีการทดลองที่ 4

1. กำหนดตำแหน่งที่จะติดตั้งกล้อง ตำแหน่งที่ผู้เข้าร่วมยืนควรห่างจากกล้อง 2.5 เมตร และติดตั้งกล้องสูงจากพื้น 1 เมตร
2. ให้ผู้เข้าร่วมไปยืนตำแหน่งที่กำหนดไว้หน้ากล้องสอบประวัติ อายุ เพศ ความสูง น้ำหนักและอาการเจ็บป่วยหรือประวัติการเกิดอุบัติเหตุ
3. ให้ผู้เข้าร่วมแสดงท่าทาง 5 ท่าที่ใช้เตะบอล มีดังนี้ เตะแปลูก เตะวอลเลย์ เตะหลังเท้า เตะฟรีคิก และเตะคอนเนอร์ที่ละท่า พร้อมทั้งเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล โดยเก็บผลนักฟุตบอลอาชีพ 1 คน และนักฟุตสไมร์เล่น 1 คน
4. จากข้อที่ 3 ทำการบันทึกข้อมูลที่ได้ลงในตาราง พร้อมทั้งพล็อตกราฟ
5. วิเคราะห์ผลการทดลอง

3.4.4.2 ท่าทางที่ใช้ทดลอง

1. ท่าที่ 1 การเตะแปบอล

นักเตะระดับโลกที่เราเห็นกันในโทรทัศน์นั้น มีரியาบดต่างๆที่เขาเหล่านั้นแสดงออกมา ไม่ได้เป็นเรื่องบังเอิญหากแต่เกิดจากการฝึกฝนจนเป็นความชำนาญ ซึ่งวิธีการเตะแปบอลถือเป็นก้าวแรกสู่การเป็นยอดนักเตะ ด้วยข้างเท้าด้านใน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญมากในการแข่งขันแต่ละแมชท์ จากการสำรวจพบว่าการแปบอลเป็นวิธีส่งบอลที่เกิดขึ้นนับจำนวนครั้งได้มากที่สุด เมื่อเทียบกับการส่งบอลด้วยวิธีการอื่น ซึ่งการเตะแปบอลจะทำให้ลูกฟุตบอลเรียบกับพื้น เพราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

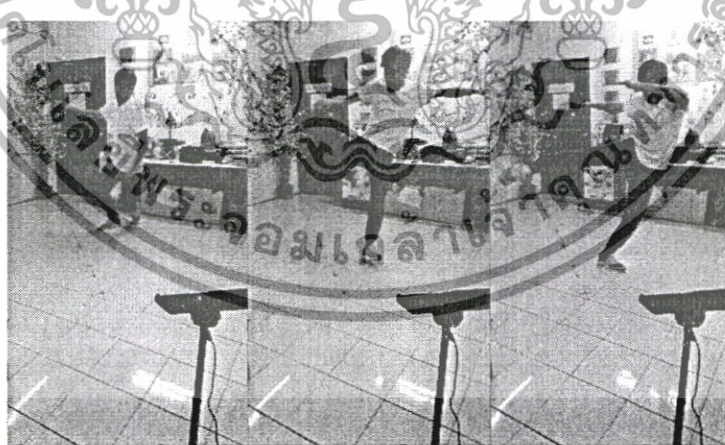
ถ้าเราซอมนได้ลูกมากเกินไปลูกจะโด่ง เพื่อนจะเล่นยาก หรือตรงกันข้ามถ้าสัมผัสโดนด้านบนลูกจะบดไม่มีน้ำหนัก ฉะนั้นพยายามจ้องที่จุดตรงกึ่งกลางลูกเอาไว้แล้วแบให้โดนตรงนั้น



รูปที่ 3.15 แสดงท่าเตะแบบอล

2. ท่าที่ 2 วอลเลย์

การเตะลูกนี้ เตะได้ทั้งผู้ที่เล่นแดนหน้า และแดนหลัง การเตะลูกอากาศเตะได้ ๒ อย่างคือ ลูกมาตรงหน้า และลูกมาข้างๆ ลูกมาตรงหน้าปล่อยลูกให้ลงต่ำเหวี่ยงเท้าเป็นท่อนไขหลังเท้าเตะลูกปลายเท้างมเข้ายึดข้อเท้าตั้ง โนมตัวไปข้างหน้าเพื่อไม่ให้ลูกโด่ง แต่กะให้ลูกเฉียดตาข่าย แขนเหวี่ยงให้สัมพันธ์กับขา ลูกที่มาข้าง ปล่อยให้ลูกลงได้ระดับสะเอว ตวัดเท้าไปข้าง ๆ ให้เป็นเส้นตรงขนานกับพื้น ใช้หลังเท้าเตะลูก และตวัดลูกลงสู่พื้น เพื่อให้ลูกเรียบ



รูปที่ 3.16 แสดงท่าเตะวอลเลย์บอล

3. ท่าที่ 3 เตะหลังเท้า

การเตะหลังเท้าใช้สำหรับการส่งลูกไกล ลูกไกล และยิงประตู การส่งลูกไกลโอกาสนำไปใช้น้อยมากเนื่องจากอาจจะมีย่าตรงข้ามยืนขวางทางลูกบอลอยู่ และไม่แน่นอน ส่วนใหญ่จะนำไปใช้ยิงประตูเพราะถ้าวางเท้าหลักได้สมดุลโดยให้สะโพกเป็นจุดหมุน แล้วเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอี้ยวตัววาดเท้าที่จะเตะให้ตึง เกร็งข้อเท้าจุ่มปลายเท้าให้เท้าเป็นเส้นตรงเดียวกันทั้งหมด การส่งแรงไปยังลูกบอลจะมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น มีวิธีการเตะแสดงในภาพดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แสดงท่าเตะหลังเท้า

4. ท่าที่ 4 เตะฟรีคิก หรือเตะลูกมุด

นักฟุตบอลส่วนมากจะยิงฟรีคิก ซึ่งจะนิยมยิงแบบข้างเท้าด้านใน เช่น โรนัลดีนิโย ปิเล และเบคแคม ซึ่งในแต่ละคนมีลักษณะการเตะลูกฟรีคิกที่แตกต่างกันบางคนใช้ข้างเท้าด้านในเตะ ใช้ข้างเท้า หรือใช้หลังเท้าแล้วแต่ความถนัดของนักเตะดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แสดงท่าเตะฟรีคิก

5. ท่าที่ 5 เตะคอนเนอร์ หรือเตะมุม

การเตะมุมในกีฬาฟุตบอล สร้างความได้เปรียบอย่างมาก หากนักฟุตบอลที่ได้รับมอบหมายหน้าที่นี้ มีคุณสมบัติที่ วางลูกฟุตบอลได้อย่างแม่นยำตามจุดนัดพบต่างๆที่วางแผนกันเอาไว้ เตะมุมได้โค้งหนีมือผู้รักษาประตู หรือเตะมุมโค้งเข้าศีรษะของผู้เล่นฝ่ายเรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองการวัดมุมบริเวณหัวเข่า หัวไหล่ และข้อศอก และการวัดความสูงของสะโพก โดยเซ็นเซอร์ 3 มิติ ชนิดไม่สัมผัส ซึ่งสามารถแบ่งการทดลองออกได้เป็น 4 การทดลอง คือ การเปรียบเทียบค่ามุมที่หัวเข่า ข้อศอก และหัวไหล่โดยเครื่องมือวัดมุมมาตรฐาน (Goniometer) และระบบ การเปรียบเทียบค่ามุมของผู้ที่มีอาการบาดเจ็บกับผู้ที่ไม่มีอาการบาดเจ็บ การวัดค่ามุมของผู้ที่มีอาการบาดเจ็บ และการวัดค่ามุมของนักฟุตบอลขณะเตะบอลใน 5 ท่าทาง คือ เตะแปบอล เตะวอลเลย์ เตะหลังเท้า เตะฟรีคิกบอล และเตะคอนเนอร์บอล ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การทดลองที่ 1 เปรียบเทียบค่ามุมระหว่าง Goniometer กับระบบ

การทดลองที่ 1 เปรียบเทียบค่ามุมระหว่างเครื่องมือวัดมุมมาตรฐาน กับระบบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของระบบ โดยใช้เครื่องมือวัดมุมมาตรฐานวัดค่ามุมหัวเข่า หัวไหล่ และข้อศอก เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดจากระบบ โดยจะทดสอบกับผู้เข้าร่วมที่ไม่เคยประสบอุบัติเหตุจำนวน 20 คน

4.1.1 เปรียบเทียบค่ามุมที่หัวเข่าระหว่าง Goniometer กับระบบ

การเปรียบเทียบค่ามุมที่หัวเข่าระหว่างเครื่องมือวัดกับระบบ ซึ่งโดยคนทั่วไปทำโดยตรง ค่ามุมที่หัวเข่าจะต้องมีค่าน้อยกว่า 10 องศา ซึ่งจากรูปที่ 4.1 แสดงการวัดด้วย Goniometer



รูปที่ 4.1 แสดงการวัดมุมข้อเข่าด้วย goniometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลเปรียบเทียบค่ามุมที่หัวเข่าระหว่าง Goniometer กับระบบ

คนที่	อายุ (ปี)	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	มุมที่หัวเข่า				หมายเหตุ
				Goniometer (องศา)		ระบบ (องศา)		
				ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	
1	19	43	169	3	2	4	2	-
2	20	90	177	3	3	4	4	-
3	21	75	174	6	3	6	3	-
4	24	64	165	8	7	8	9	-
5	24	82	175	4	6	4	6	-
6	18	48	150	4	4	3	4	-
7	18	75	183	5	5	5	7	-
8	18	75	175	3	5	2	5	-
9	24	90	185	6	9	6	9	-
10	20	72	172	3	1	3	1	-
11	19	57	175	6	6	7	8	-
12	20	77	172	2	3	5	5	-
13	19	84	178	5	6	5	6	-
14	21	65	176	4	3	4	3	-
15	16	83	176	3	5	3	5	-
16	22	61	168	7	9	6	9	-
17	20	58.5	175	3	3	2	3	-
18	21	87	174	4	4	4	2	-
19	19	98	184	7	7	8	9	-
20	22	52	157	5	7	6	7	-

จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่ามุมที่วัดจากระบบ มีค่าใกล้เคียงกับ Goniometer โดยในบางคน ค่ามุมจากระบบมีค่าเท่ากับ Goniometer และในบางคนค่ามุมที่วัดจากระบบ กับ Goniometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกันเพียง 1 องศาถึง 2 องศา ซึ่งผู้เข้าร่วมแต่ละคนมีค่ามุมที่หัวเข่าน้อยกว่า 10 องศาซึ่งค่ามุมของคนทั่วไป

4.1.2 เปรียบเทียบค่ามุมที่หัวไหล่ระหว่างเครื่องวัด Goniometer กับระบบ

การเปรียบเทียบค่ามุมที่หัวไหล่ระหว่างเครื่องวัด Goniometer กับระบบ ซึ่งโดยคนทั่วไปชูแขนค่ามุมที่หัวไหล่จะต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 135 - 180 องศา ซึ่งจากรูปที่ 4.2 แสดงการวัดมุมหัวไหล่ด้วย Goniometer



รูปที่ 4.2 แสดงการวัดมุมหัวไหล่ด้วย Goniometer

ตารางที่ 4.2 แสดงผลเปรียบเทียบค่ามุมที่หัวไหล่ระหว่างเครื่องวัด Goniometer กับระบบ

คนที่	อายุ (ปี)	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	มุมหัวไหล่				หมายเหตุ
				Goniometer (องศา)		ระบบ (องศา)		
				ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	
1	19	43	169	160	160	158	159	-
2	20	90	177	162	160	161	160	-
3	21	75	174	165	165	165	168	-
4	24	64	165	162	165	160	165	-
5	24	82	175	160	165	159	163	-
6	18	48	150	166	165	165	165	-
7	18	75	183	160	161	158	160	-
8	18	75	175	158	160	159	161	-
9	24	90	185	160	163	157	159	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

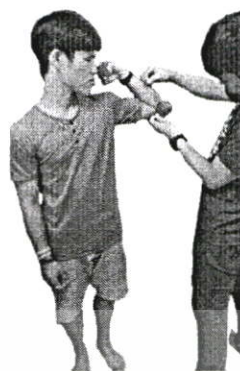
คนที่	อายุ (ปี)	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	มุมที่หัวไหล่				หมายเหตุ
				Goniometer (องศา)		ระบบ (องศา)		
				ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	
10	20	72	172	170	170	170	171	-
11	19	57	175	165	168	165	165	-
12	20	77	172	170	172	169	168	-
13	19	84	178	175	173	173	172	-
14	21	65	176	170	170	167	168	-
15	16	83	176	165	165	162	160	-
16	22	61	168	173	175	169	173	-
17	20	58.5	175	165	168	163	166	-
18	21	87	174	165	167	166	165	-
19	19	98	184	170	170	169	168	-
20	22	52	157	171	170	170	170	-

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลเปรียบเทียบความมุมที่หัวไหล่ระหว่างเครื่องวัด (Goniometer) กับระบบ ผลที่ได้พบว่า ผลที่ได้พบว่าความมุมที่หัวไหล่ของผู้เข้าร่วม 20 คนระหว่างวัดด้วยระบบกับวัดด้วยเครื่องมือมาตรฐานมีค่าแตกต่างกัน 1-5 องศา และจากค่ามุมการเคลื่อนไหวที่ข้อศอกของผู้เข้าทดสอบแต่ละคนมีค่าอยู่ในช่วง 135-180 องศา

4.1.3 เปรียบเทียบค่ามุมที่หัวเข่าระหว่างเครื่องวัด Goniometer กับระบบ

การเปรียบเทียบค่ามุมที่ข้อศอกระหว่างเครื่องวัด Goniometer กับระบบ ซึ่งโดยคนทั่วไปข้อศอกเข้าหาลำตัวค่ามุมที่หัวไหล่จะต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 135-150 องศา ซึ่งจากรูปที่ 4.3 แสดงการวัดมุมข้อศอกด้วย Goniometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงการวัดมุมข้อศอกด้วย Goniometer

ตารางที่ 4.3 แสดงผลเปรียบเทียบค่ามุมที่ข้อศอกระหว่างเครื่องวัด Goniometer กับระบบ

คนที่	อายุ (ปี)	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	มุมที่ข้อศอก				หมายเหตุ
				Goniometer (องศา)		ระบบ (องศา)		
				ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	
1	19	43	169	140	138	139	137	-
2	20	90	177	137	135	136	135	-
3	21	75	174	140	140	137	138	-
4	24	64	165	140	141	139	140	-
5	24	82	175	138	140	135	137	-
6	18	48	150	140	140	138	139	-
7	18	75	183	140	140	141	142	-
8	18	75	175	135	137	133	135	-
9	24	90	185	138	140	137	138	-
10	20	72	172	140	136	138	137	-
11	19	57	175	140	136	137	136	-
12	20	77	172	135	142	135	143	-
13	19	84	178	148	148	145	147	-
14	21	65	176	147	148	145	146	-
15	16	83	176	150	150	150	149	-
16	22	61	168	140	143	137	143	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

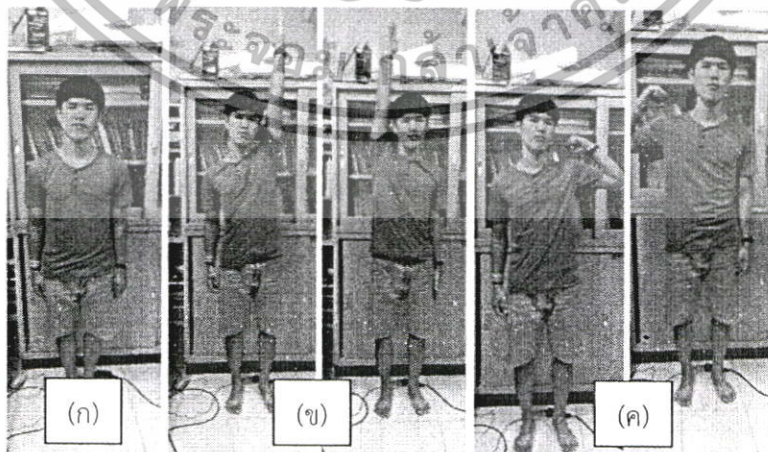
ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

คนที่	อายุ (ปี)	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	มุมที่ข้อศอก				หมายเหตุ
				Goniometer (องศา)		ระบบ (องศา)		
				ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	
17	20	58.5	175	148	149	146	146	-
18	21	87	174	150	150	150	146	-
19	19	98	184	140	142	138	139	-
20	22	52	157	150	150	148	149	-

จากตารางที่ 4.3 แสดงผลเปรียบเทียบค่ามุมที่ข้อศอกระหว่างเครื่องวัด Goniometer กับระบบ ผลที่ได้พบว่าค่ามุมที่ข้อศอกของผู้เข้าร่วม 20 คนระหว่างวัดด้วยระบบกับวัดด้วยเครื่องมือมาตรฐานมีค่าแตกต่างกัน 1-5 องศา และจากค่ามุมการเคลื่อนไหวที่ข้อศอกของผู้เข้าทดสอบแต่ละคนมีค่าอยู่ในช่วง 135-150 องศา

4.2 การทดลองที่ 2 การเปรียบเทียบค่ามุมของผู้ที่มีอาการบาดเจ็บกับผู้ที่ไม่มีอาการบาดเจ็บ

จากการทดลองที่ 2 จะทำการวัดมุมของข้อต่อเข้า หัวไหล่ และศอก ซึ่งในแต่ละท่าทางจะใช้วัดค่ามุมบริเวณที่ต่างกัน โดยในท่าที่ 1 เป็นท่ายืนตรงจะวัดมุมที่บริเวณหัวเข่าทั้งสองข้าง และวัดความสูงของสะโพกทั้งสองข้างดังรูปที่ 4.2 ท่าที่ 2 เป็นท่าขมวดจะวัดมุมบริเวณหัวไหล่ทั้งสองข้างดังรูปที่ 4.3 และท่าที่ 3 เป็นท่างอศอกเข้าหาลำตัวจะวัดมุมบริเวณข้อศอกดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงท่าทางที่ 1 ในการทดลอง (ก) ท่าที่ 1 ยืนตรง (ข) ท่าที่ 2 ขมวด (ค) ท่าที่ 3 งอศอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวัดค่ามุมและความสูงของสะโพกในท่าที่ 1

คนที่	อายุ	น้ำหนัก	ส่วนสูง	มุมเข้า (องศา)		ความสูงของสะโพก (ซ.ม.)		หมายเหตุ
				ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	
1	24	58	160	3	2	8.04	8.00	-
2	17	64	175	5	5	18.4	18.7	-
3	18	58	175	3	0	21.8	21.9	-
4	25	80	166	2	1	15.1	15.3	-
5	37	65	178	8	3	8.1	8.3	เคยเอ็นเข้า ซ้ายฉีก
6	17	60	178	5	6	21.4	21.3	-
7	21	65	170	5	7	10.1	10.1	-
8	17	46	160	5	5	4.2	4.2	-
9	22	61	164	3	2	12.7	12.6	-
10	23	54	164	6	7	11.4	10.7	-

จากตารางที่ 4.4 แสดงผลการวัดค่ามุมและความสูงของสะโพกในท่าที่ 1 ผู้เข้าร่วมคนที่ 5 มีค่ามุมที่เข้าซ้าย 8 องศา และเข้าขวา 3 องศา ซึ่งค่ามุมเข้าซ้ายและขวาแตกต่างกัน 5 องศาแต่มีความสูงของสะโพกซ้าย 8.1 ซ.ม. และสะโพกขวา 8.3 ซ.ม. แตกต่างกันเพียง 0.02 ซ.ม. ซึ่งจากการซักประวัติของผู้เข้าร่วมคนที่ 5 พบว่าผู้เข้าร่วมเคยเอ็นเข้าซ้ายฉีก และผู้เข้าร่วมที่เหลืออีก 9 คนมีค่ามุมเข้าซ้าย และขวามีค่าใกล้เคียงกันห่างกันเพียง 1 องศาถึง 2 องศา และมีค่าความสูงของสะโพกซ้ายและขวาที่ใกล้เคียงกันทุกคนโดยมีค่านห่างกันเพียง 0.01-0.05 ซ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวัดค่ามุมหัวไหล่ในท่าที่ 2

คนที่	อายุ	น้ำหนัก	ส่วนสูง	มุมหัวไหล่ (องศา)		หมายเหตุ
				ซ้าย	ขวา	
1	24	58	160	166	164	-
2	17	64	175	161	158	-
3	18	58	175	155	152	-
4	25	80	166	148	145	-
5	37	65	178	157	158	เคยเอ็นเข้าซ้ายฉีก
6	17	60	178	151	152	-
7	21	65	170	155	157	-
8	17	46	160	152	149	-
9	22	61	164	156	155	-
10	23	54	164	157	156	-

จากตารางที่ 4.5 แสดงผลการวัดค่ามุมหัวไหล่ในท่าที่ 2 ผู้เข้าร่วมทั้งหมดมีมุมมากกว่า 145 องศา และค่ามุมที่หัวไหล่ของแต่ละคนมีค่าใกล้เคียงโดยแตกต่างกัน 2 องศาถึง 3 องศา รวมไปถึงผู้เข้าร่วมคนที่ 5 ซึ่งมีค่ามุมหัวไหล่ซ้าย 157 องศา และขวา 158 องศา ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันแตกต่างกัน 1 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวัดค่ามุมในท่าที่ 3

คนที่	อายุ	น้ำหนัก	ส่วนสูง	มุมข้อศอก (องศา)		หมายเหตุ
				ซ้าย	ขวา	
1	24	58	160	141	142	-
2	17	64	175	140	139	-
3	18	58	175	136	136	-
4	25	80	166	136	138	-
5	37	65	178	136	137	เคยเอ็นเข้าซ้ายฉีก
6	17	60	178	142	143	-
7	21	65	170	130	135	-
8	17	46	160	139	141	-
9	22	61	164	136	136	-
10	23	54	164	138	139	-

จากตารางที่ 4.6 แสดงผลการวัดค่ามุมข้อศอกในท่าที่ 2 ผู้เข้าร่วมทั้งหมดมีมุมมากกว่า 135 องศา และค่ามุมที่ข้อศอกของแต่ละคนมีค่าใกล้เคียงกันโดยแตกต่างกัน 2 องศาถึง 3 องศา รวมไปถึงผู้เข้าร่วมคนที่ 5 ซึ่งมีค่ามุมหัวไหล่ซ้าย 136 องศา และขวา 137 องศา ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันแตกต่างกัน 1 องศา

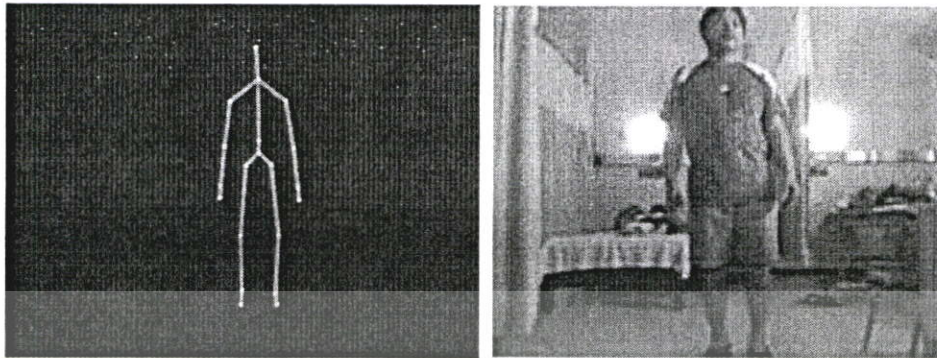
4.3 การทดลองที่ 3 การวัดค่ามุมของผู้ที่มีอาการบาดเจ็บ

การทดลองที่ 3 เป็นการทดลองที่นำระบบไปวัดท่ามุมของผู้ป่วย ซึ่งจะมีผู้ป่วยที่มีอาการปวดหลัง ปวดบั้นเอว ปวดเข่า เคยได้รับการผ่าตัดเข่า และผู้ที่เป็นหมอนรองกระดูกทับเส้นประสาท ซึ่งในแต่ละผู้ป่วยจะใช้ท่าทางในการทดสอบต่างโดยจะขึ้นอยู่กับอาการเจ็บป่วย และความสามารถทางการเคลื่อนไหวของผู้ป่วย และตำแหน่งที่ทำการวัดมุมของผู้ป่วยในแต่ละคนอาจจะแตกต่างกัน

4.3.1 ผู้ป่วยเป็นหมอนรองกระดูกทับเส้นประสาท

ผู้ป่วยเป็นหมอนรองกระดูกทับเส้นประสาท ชื่อนายวิฑูรย์ เพ็ชรวัตร์ เพศ ชาย อายุ 51 ปี น้ำหนัก 90 โล และส่วนสูง 178 เซนติเมตร แพทย์วินิจฉัยว่าผู้ป่วยเป็นหมอนรองกระดูกทับเส้นประสาท ซึ่งก่อนหน้าที่ผู้ป่วยจะเข้ารับการรักษาพยาบาลบ่าบั้นข้อมือที่ขึ้นจะมีอาการปวดสะโพกอย่างรุนแรง ยืนได้ไม่นาน มีอาการสั่นและเหงื่อออกขณะยืน ซึ่งผู้ป่วยได้รับการกายภาพมา 6 สัปดาห์ ก่อนทำการวัดด้วยระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงท่าทางที่ใช้ในการทดสอบผู้ป่วยหมอนรองกระดูกทับเส้น

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความสูงของสะโพกข้างซ้าย และขวาของผู้ป่วยที่มีอาการปวดหลังร้าวลงขาข้างขวา

เวลา	ความสูงของสะโพก (ซ.ม.)		มุมเข่า (องศา)	
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา
10:32:37	17.16225	17.82475	12	3
10:32:38	16.56126	17.41111	12	3
10:32:40	16.37688	17.28669	12	4
10:32:42	16.2704	17.21578	13	4
10:32:43	16.22548	17.1668	12	4
10:32:45	16.19408	17.14531	12	4
10:32:46	16.11963	17.07364	12	4
10:32:48	16.06763	17.00957	12	3
10:32:49	16.05435	16.97916	12	4
10:32:51	16.04495	16.95823	12	4
10:32:52	16.03158	16.9387	12	4
10:32:54	16.00032	16.91185	12	4
10:32:55	15.95462	16.86275	12	4
10:32:57	15.95786	16.85983	12	4
10:32:58	15.96762	16.86674	12	4
10:33:00	15.96623	16.85585	12	4
10:33:02	15.97089	16.82426	12	4
10:33:03	16.05646	16.79622	12	4

จากตารางที่ 4.7 แสดงค่าความสูงของสะโพกข้างซ้าย และขวาของผู้ป่วยที่มีอาการปวดหลังร้าวลงขาข้างขวา เมื่อใช้ระบบตรวจสอบพบว่าความสูงที่สะโพกขวามากกว่าความสูงที่สะโพกซ้าย ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบว่าสะโพกข้างขวายกสูงกว่าสะโพกข้างซ้ายอยู่ประมาณ 0.005 เนื่องจากผู้ป่วยได้ผ่านการกายภาพบำบัดทำให้อาการของผู้ป่วยดีขึ้น ซึ่งจากกรตรวจสอบถนัดกายภาพเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ผู้อื่นใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง

พบว่าก่อนหน้าที่จะรับเข้ารับรักษาผู้ป่วยมีการยกตัวของสะโพกข้างขวาอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับวันที่ใช้ระบบตรวจวัดถือว่าอยู่ในลักษณะปกติ และอาการปวดมีเพียงเล็กน้อย ขณะที่ยืนผู้ป่วยไม่มีสีหน้าเจ็บปวด ไม่มีอาการสั่น หรือเหงื่อออก และสามารถยืนได้นานกว่าเดิมเมื่อสอบถามอาการของผู้ป่วย นักกายกล่าวว่า “ผู้ป่วยมีอาการดีขึ้นกว่าวันแรกมาก อาการเจ็บปวดลดลง”

ซึ่งจากข้อมูลที่ได้จากระบบพบว่าค่าแนวแกนตั้งของสะโพกข้างซ้าย และขวามีค่าใกล้เคียงกัน มัน หรืออยู่ในค่าที่ปกติ โดยผู้ป่วยมีอาการเจ็บปวดเพียงเล็กน้อยที่บริเวณสะโพกเมื่อเทียบกับก่อนรักษา

4.3.2 ผู้ป่วยมีอาการปวดหลัง ปวดบั้นเอวซ้าย มีอาการเรื้อรังมาประมาณ 4 ปี

ผู้ป่วยมีอาการปวดหลัง ปวดบั้นเอวซ้าย มีอาการเรื้อรังมาประมาณ 4 ปี ชื่อนาย พิเชษฐ์ แสงทับทิม อายุ 40 ปี น้ำหนัก 68 โล และส่วนสูง 178 เซนติเมตร ผู้ป่วยชอบเล่นกีฬา ฟุตบอล และเคยมีอาการเจ็บเข่าแต่ไม่ได้รับการรักษา



รูปที่ 4.6 แสดงภาพทางในการทดสอบผู้ป่วยมีอาการปวดหลัง ปวดบั้นเอวซ้าย

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความสูงของสะโพกข้างซ้าย และขวาของผู้ป่วยที่มีอาการปวดหลัง

เวลา	ความสูงของสะโพก (ซ.ม.)		มุมเข่า (องศา)	
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา
10:31:10	23.33461	18.41014	30	13
10:31:12	23.15331	18.28714	31	12
10:31:14	23.06561	18.22755	31	12
10:31:16	22.98193	18.16925	31	12
10:31:18	22.90282	18.11305	32	12
10:31:20	22.82202	18.05486	32	12
10:31:22	22.76855	18.02074	32	13
10:31:24	22.71527	17.98476	33	15
10:31:26	22.66482	17.95184	33	15
10:31:28	22.62118	17.94733	33	15
10:31:30	22.58536	17.96127	33	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

เวลา	ความสูงของสะโพก (ซ.ม.)		มุมเข่า (องศา)	
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา
10:31:32	22.55423	17.98691	32	17
10:31:34	22.52685	18.02087	32	17
10:31:36	22.5001	18.0429	32	18
10:31:38	22.47237	18.04968	32	18
10:31:40	22.44703	18.05667	32	19
10:31:42	22.42405	18.0636	32	19
10:31:44	22.737654	18.0793271	31.94118	15

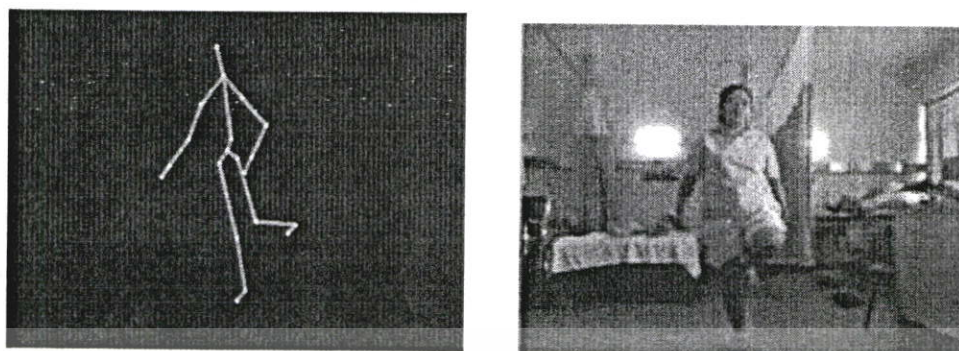
จากตารางที่ 4.8 แสดงค่าความสูงของสะโพกข้างซ้าย และขวาของผู้ป่วยที่มีอาการปวดหลัง บั้นเอวซ้าย มีอาการเรื้อรังมาประมาณ 4 ปี เมื่อใช้ระบบตรวจสอบพบว่า ค่าแนวแกนตั้งของสะโพก ด้านซ้ายมากกว่าค่าแนวตั้งของสะโพกข้างขวาอยู่ 0.047 ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบว่ามีการยกสูงของสะโพกด้านซ้าย ซึ่งค่าแกนตั้งของสะโพกข้างซ้ายมีค่ามากกว่าด้านขวาจึงทำให้ด้านซ้ายยกตัวสูงกว่าด้านขวา เมื่อนักกายภาพทราบข้อมูลจากระบบ แล้วทำการตรวจสอบบริเวณสะโพกของผู้ป่วย พบว่ามีการยกตัวสูงของสะโพกข้างซ้ายจริง โดยก่อนหน้านี้ นักกายภาพไม่ได้ตรวจสอบที่สะโพกของผู้ป่วย ซึ่งทำให้นักกายภาพและผู้ป่วยประหลาดใจมาก และผู้ป่วยยังให้ข้อมูลเพิ่มเติมกับนักกายภาพ เรื่องอาการเจ็บเข่าก่อนหน้าที่จะมีอาการเจ็บหลัง ซึ่งนักกายภาพได้อธิบายว่าการที่เกิดอาการเจ็บเข่าแล้วทิ้งไว้เป็นเวลานานจะทำให้ผู้ป่วยเกิดความเคยชินที่จะไม่ลงน้ำหนักตัวที่เข่าข้างที่เจ็บจึงส่งผลทำให้สะโพกข้างขวาถูกใช้งานมากและแข็งแรง ส่วนสะโพกข้างซ้ายค่อยๆ อ่อนแรงลง และยกตัวขึ้นในที่สุดทำให้ผู้ป่วยมีอาการปวดหลังและบั้นเอวอีกด้วย

ซึ่งจากข้อมูลที่ได้จากระบบมีความสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์จากนักกายภาพบำบัดและอาการของผู้ป่วย โดยมีอาการปวดบริเวณหลัง บั้นเอวซ้าย ซึ่งสาเหตุมาจากอาการปวดเข่าเรื้อรังประมาณ 4 ปี

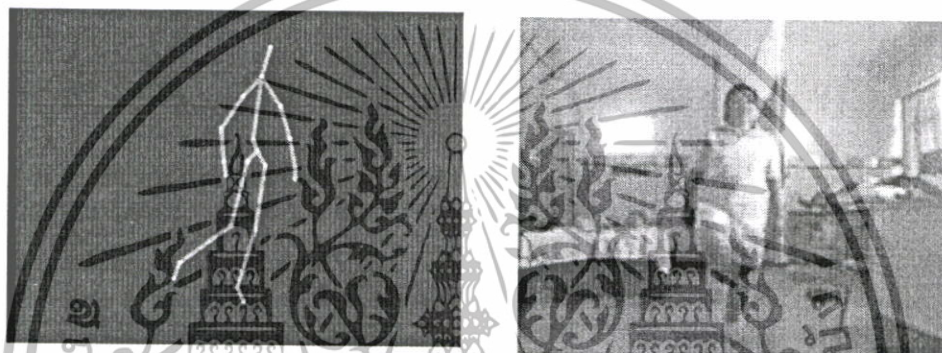
4.3.3 ผู้ป่วยมีอากาศปวดเข่าขวา

ผู้ป่วยมีอากาศปวดเข่าขวา ชื่อนางสำราญ วิโรจน์ อายุ 54 ปี นหนัก 61 โล สูง 157 ปี เคยได้รับการผ่าตัดหัวเข่าข้างซ้ายมาแล้ว 6 เดือน มารับการรักษาเนื่องจากเจ็บเข่าขวา เมื่อเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2555 และเมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2557 ผ่าตัดเข่าซ้ายเพื่อขูดกระดูกบริเวณเข่าซ้าย มาเข้ารับการรักษาด้วยอาการปวดเข่าขวา และเริ่มมีอาการปวดเข่าซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงท่างอเข้าข้างขวา



รูปที่ 4.8 แสดงท่างอเข้าข้างซ้าย

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการวัดความสูงของสะโพก และมมเข้าขณะงอเข้าขวา

เวลา	ความสูงของสะโพก (ซ.ม.)		มมเข้า (องศา)	
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา
10:42:13	2.603	1.959	8	130
10:42:14	2.591	1.962	8	131
10:42:16	2.579	1.965	8	133
10:42:17	2.567	1.968	8	134
10:42:19	2.555	1.973	8	135
10:42:20	2.544	1.978	8	136
10:42:22	2.532	1.983	8	137
10:42:23	2.521	1.989	8	137
10:42:25	2.511	1.996	8	138
10:42:26	2.5	2.003	8	138
10:42:27	2.489	2.01	8	138
10:42:29	2.479	2.017	8	138
10:42:30	2.469	2.024	8	138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

เวลา	ความสูงของสะโพก (ซ.ม.)		มุมเข่า (องศา)	
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา
10:42:32	2.459	2.032	8	138
10:42:33	2.449	2.039	8	138
10:42:35	2.439	2.047	8	137
10:42:36	2.429	2.055	8	137
10:42:37	2.419	2.063	8	137
10:42:39	2.41	2.07	8	137
10:42:40	2.4	2.078	8	137
10:42:42	2.391	2.086	8	138
10:42:52	2.328	2.124	8	142
10:42:53	2.319	2.125	8	141
10:42:55	2.31	2.125	8	138
10:42:56	2.301	2.124	8	133
10:42:57	2.292	2.123	8	118

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการวัดความสูงของสะโพก และมุมเข่าขณะย่อเข่าซ้าย

เวลา	ความสูงของสะโพก (ซ.ม.)		มุมเข่า (องศา)	
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา
10:41:39	2.593	4.694	56	4
10:41:42	2.598	4.703	56	4
10:41:45	2.604	4.711	56	4
10:41:48	2.609	4.719	56	4
10:41:51	2.613	4.727	56	4
10:41:54	2.618	4.734	55	4
10:41:57	2.622	4.741	55	4
10:41:59	2.627	4.748	55	4
10:42:02	2.631	4.754	55	4
10:42:05	2.635	4.76	55	4
10:42:08	2.639	4.766	55	4
10:42:10	2.644	4.773	55	4
10:42:12	2.648	4.779	55	4
10:42:13	2.653	4.785	54	4
10:42:14	2.657	4.791	54	4
10:42:16	2.662	4.797	54	4
10:42:17	2.667	4.803	54	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

เวลา	ความสูงของสะโพก (ซ.ม.)		มุมเข่า (องศา)	
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา
10:42:19	2.672	4.809	54	4
10:42:20	2.677	4.816	54	4
10:42:22	2.682	4.822	54	4
10:42:23	2.687	4.828	53	4
10:42:25	2.692	4.835	53	4
10:42:26	2.698	4.842	53	4
10:42:27	2.704	4.848	53	4
10:42:29	2.71	4.855	53	4
10:42:30	2.716	4.862	53	4
10:42:32	2.722	4.869	53	4
10:42:33	2.728	4.876	53	4
10:42:35	2.735	4.883	52	4
10:42:36	2.741	4.89	52	4
10:42:37	2.754	4.904	51	4
10:42:39	2.761	4.911	51	4

จากตารางที่ 4.9 และ 4.10 แสดงผลการวัดความสูงของสะโพก และมุมเข่าขณะงอเข่าขวาของผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัดเข่าข้างซ้าย เมื่อใช้ระบบตรวจสอบโดยให้ผู้ป่วยงอเข่าขวา พบว่าค่ามุมที่เข่าข้างขวามีค่ามุม 142 องศา และจากตารางที่ 4.10 แสดงผลการวัดความสูงของสะโพก และมุมเข่าขณะงอเข่าซ้าย พบว่าค่ามุมที่เข่าข้างขวามีค่ามุม 56 องศา เมื่อนำค่ามุมของเข่าซ้ายและขวาขณะงอมาเปรียบเทียบพบว่า ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบว่าผู้ป่วยยังมีปัญหาที่เข่าขวาที่เคยรับการผ่าตัดสองข้าง โดยยังไม่สามารถที่จะงอได้อย่างเต็มที่ แต่เข่าข้างขวาที่มีอาการปวดยังสามารถงอได้อย่างปกติ จากข้อมูลนี้ทำให้นักกายภาพบำบัดเพิ่มการรักษาร่วมกับเข่าซ้ายร่วมกับเข่าขวา เพื่อให้ผู้ป่วยงอเข่าได้มากกว่าเดิม เพราะอาการที่ปวดเข่าขวาเกิดจากเข่าซ้ายที่ไม่สามารถรับน้ำหนักเข่าขวาจึงต้องรับน้ำหนักตัว ทำให้เข่าขวามีอาการปวด หากจะทำให้เข่าขวาหายจะต้องรักษาเข่าซ้ายด้วยเพื่อให้ใช้งานได้ปกติ เพื่อไม่ให้เข่าขวารับภาระจากน้ำหนักตัวเพียงข้างเดียว

ซึ่งจากข้อมูลที่ได้จากระบบมีความสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์จากนักกายภาพบำบัดและเพิ่มการรักษาผู้ป่วยคือรักษาทั้งเข่าข้างขวาและซ้าย

4.4 การทดลองที่ 4 การวัดค่ามุมของนักฟุตบอลขณะเตะบอลใน 5 ท่าทาง คือ เตะแปบอล เตะวอลเลย์ เตะหลังเท้า เตะฟรีคิกบอล และเตะคอนเนอร์บอล

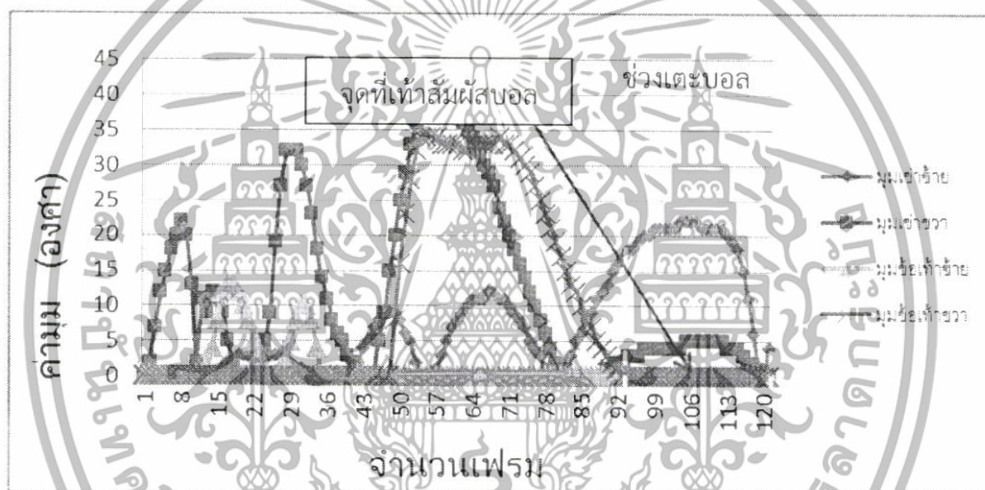
การทดลองที่ 4 เป็นการวัดมุมของนักฟุตบอลขณะเตะบอล 5 ท่าทาง คือ เตะแปบอล เตะวอลเลย์ เตะหลังเท้า เตะฟรีคิก และเตะคอนเนอร์ ซึ่งเป็นท่าเตะที่นักฟุตบอลใช้รับส่งบอล และทำประตุมิมีความสำคัญต่อเกมส์การเล่น หากนักฟุตบอลขาดทักษะจะทำให้เกมส์การเล่นเสียเปรียบทีม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรงข้าม ในการทดลองนี้จะทำการวัดมุมที่เข้า ข้อเท้า หัวไหล่ และข้อศอก ของนักฟุตบอลขณะ เคลื่อนไหวใน 5 ท่าทาง ดังนี้

4.4.1 การวัดมุมของนักฟุตบอลขณะเตะบอลท่าเตะแป

การเตะแปเป็นการเตะเพื่อส่งลูกฟุตบอลให้กับผู้เล่นอีกคน เป็นการเตะที่ผู้เล่นทุกคน ต้องมีการกำหนดทิศทางในการแปให้ถูกต้องหากส่งพลาดจะส่งผลให้ผู้ต่อสู้อัดบอล เมื่อวัดมุมขณะการ เคลื่อนไหวค่ามุมจะถูกนำมาพล็อตกราฟโดยแบ่งออกเป็นสองกราฟคือ กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่า มุมของมุมหัวเข้าและข้อเท้า ขณะเตะแป และกราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และ ข้อศอกขณะเตะแป

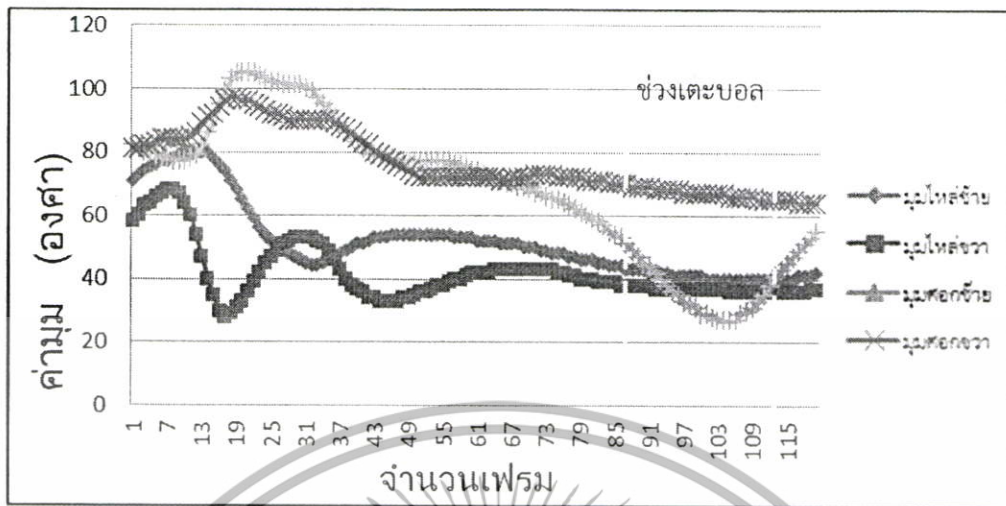
นักกีฬาคนที่ 1



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข้า และข้อเท้าขณะเตะแปนักกีฬาคนที่ 1

จากรูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข้า และข้อเท้าขณะเตะแปนักกีฬา คนที่ 1 พบว่าช่วงที่นักฟุตบอลจะเตะบอล ค่ามุมของข้อเท้าขวามีค่า 0 องศา เนื่องจากขณะเตะบอล เท้าอยู่ในลักษณะตั้งฉากกับหน้าแข้ง และมุมที่เข้าขวามีค่า 5 องศา ซึ่งมีการงอเล็กน้อย แต่ก่อนช่วง เตะบอลนักกีฬาจะมีการเปิดข้อเท้าขวาค่ามุม 33 องศา และมีการงอเข้าขวาค่ามุม 40 องศา และเมื่อ จะเตะบอลค่ามุมของข้อเท้า และหัวเข้าจะลดลงจนมีค่า 0 องศา

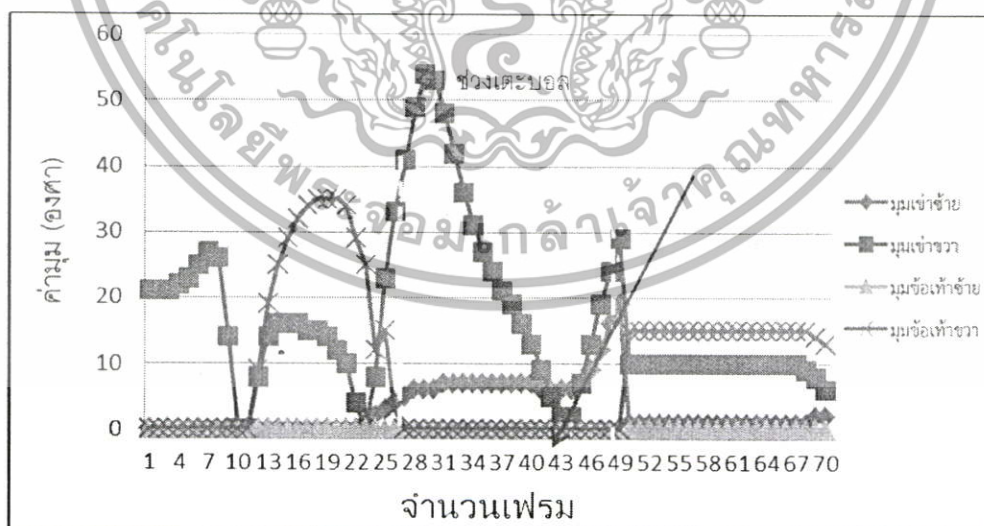
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามูลของมูลหัวไหล่ และข้อคอกขณะเตะแป้นักกีฬาคนที่ 1

จากรูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามูลของมูลหัวไหล่ และข้อคอกขณะเตะแป้นักกีฬาคนที่ 1 พบว่าในช่วงที่เตะบอลค่ามูลข้อคอกขวามีค่า 70 องศา ลดลงเป็น 60 องศา ข้อคอกอยู่ในลักษณะงอเข้าหาลำตัว ค่ามูลหัวไหล่ขวามีค่า 40 องศา อยู่ในท่าแกว่งแขนไปด้านหลังลำตัว ค่ามูลข้อคอกซ้ายมีค่า 40 องศา ลดลงเหลือ 23 องศา ในท่างอศอก และค่อยๆ เหยียดออกนอกลำตัว และค่ามูลหัวไหล่ซ้ายมีค่า 40 องศา ในท่าแกว่งแขนออกนอกลำตัว

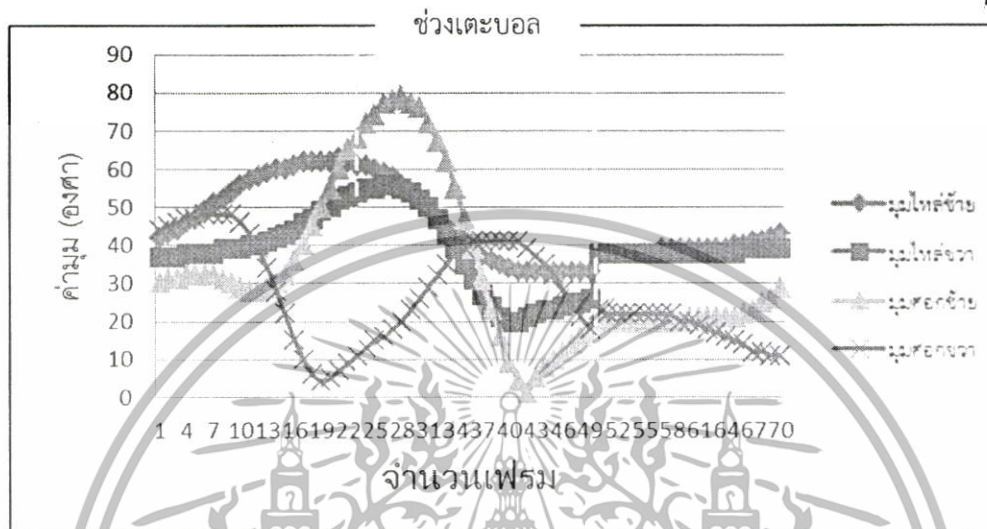
นักกีฬาคนที่ 2



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามูลของมูลหัวเข้า และข้อเท้าขณะเตะแป้นักกีฬาคนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค้ำมของมูมหัวเข้าและข้อเท้าขณะเตะแบ็กกีกฬาคนที่ 2 พบว่าช่วงที่นักกีฬาคนที่ 2 เตะบอล ค้ำมข้อเท้าขวามีค่า 0 องศา และค้ำมหัวเข้าขวามีค่า 0 องศา เมื่อเท้าสัมผัสบอล นักเตะเกร็งข้อเท้าให้ตั้งฉากกับหน้าแข้ง และงอเข้าเพื่อเตรียมที่จะเตะบอล

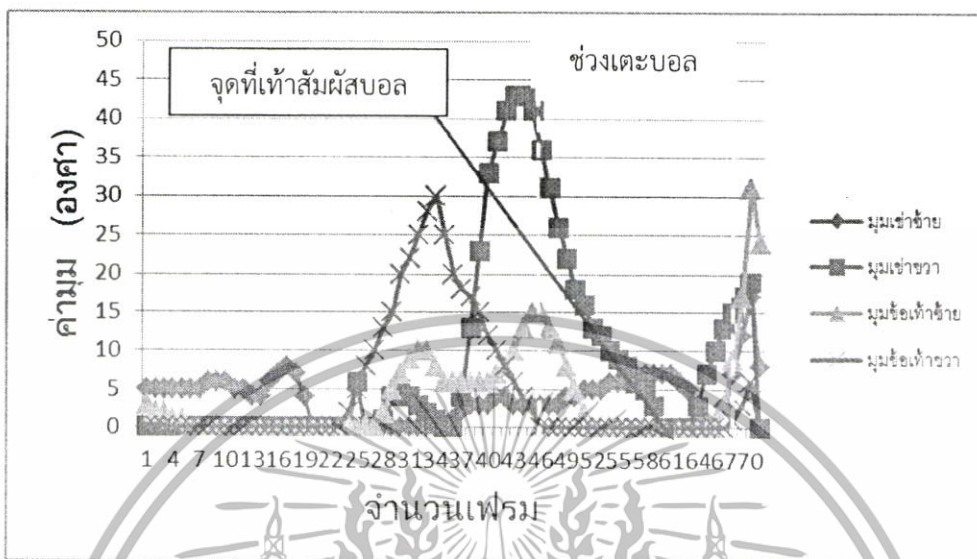


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค้ำมของมูมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะแบ็กกีกฬาคนที่ 2

จากรูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค้ำมของมูมหัวเข้า และข้อเท้าขณะเตะแบ็กกีกฬาคนที่ 2 พบว่าช่วงที่นักกีฬาคนที่ 2 เตะบอล ค้ำมข้อเท้าขวามีค่า 0 องศา และค้ำมหัวเข้าขวามีค่า 0 องศา ในจุดที่เท้าสัมผัสบอล เนื่องจากขณะที่เท้าสัมผัสบอลเท้าอยู่ในลักษณะตั้งฉากกับหน้าแข้ง และหัวเข้าอยู่ในท่าเหยียดตรง เป็นการบังคับเพื่อให้ลูกบอลไปในทิศทางที่นักกีฬากำหนด ซึ่งจากกราฟจะแสดงให้เห็นว่า นักกีฬาคนที่ 2 ได้ควบคุมข้อเท้าให้อยู่ในลักษณะตั้งฉากกับหน้าแข้งตั้งแต่มีการงอหัวเข้า ที่มุม 50 องศา หรือช่วงที่นักกีฬาขว้างเท้าไปด้านหน้าเพื่อสร้างแรงเหวี่ยงก่อนที่เท้าจะสัมผัสบอล

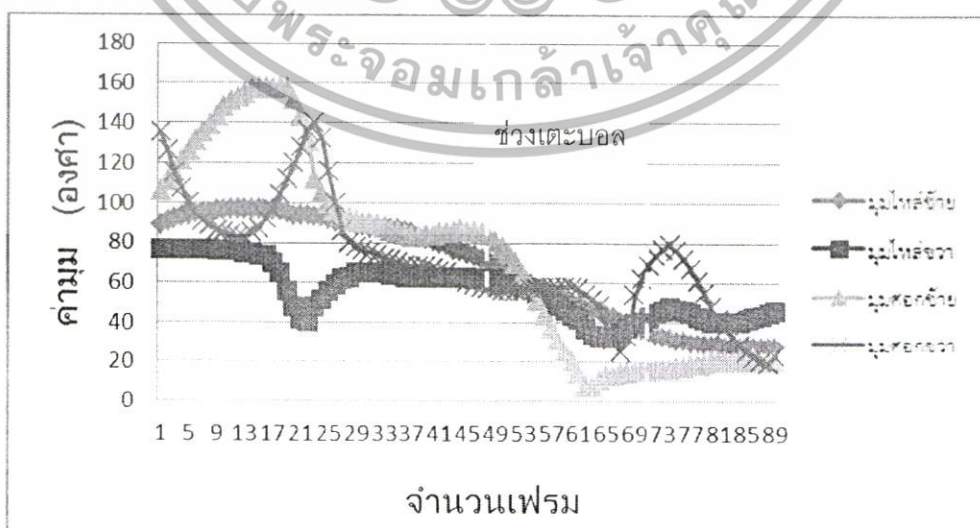
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นักกีฬาคนที่ 3



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าวมของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะแบ่นักกีฬาคนที่ 3

จากรูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าวมของมุมหัวเข่าและข้อเท้าขณะเตะแบ่นักกีฬาคนที่ 3 พบว่าช่วงที่นักกีฬาคนที่ 3 เตะบอล ค่าวมข้อเท้าขวามีค่า 0 องศา และมุมเข้าขวามีค่า 0 องศาในจุดที่เท้าสัมผัสบอล เนื่องจากขณะที่เท้าสัมผัสบอลเข้าอยู่ในลักษณะตั้งฉากกับหน้าแข้ง และหัวเข่าอยู่ในท่าเหยียดตรง เป็นการบังคับเพื่อให้ลูกบอลไปในทิศทางที่นักกีฬากำหนด ซึ่งจากกราฟจะแสดงให้เห็นว่า นักกีฬาคนที่ 2 ได้ควบคุมข้อเท้าให้อยู่ในลักษณะตั้งฉากกับหน้าแข้ง ตั้งแต่มีการงอหัวเข่า ที่มุม 50 องศา หรือช่วงที่นักกีฬาร่างเท้าไปด้านหลังเพื่อสร้างแรงเหวี่ยงก่อนที่เท้าจะสัมผัสบอล



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าวมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะแบ่นักกีฬาคนที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นประโยชน์ของการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค้ำมของมูมหัวเข้าและข้อเท้า ขณะเตะแบ่นักกีฬาคนที่ 3 พบว่าช่วงที่นักกีฬาคนที่ 3 เตะบอล ค้ำมข้อศอกขวามีค่า 60 องศา และลดลงเหลือ 25 องศา ในท่างอศอก และค้อยเหยียดตรง ค้ำมหัวไหล่ขวามีค่า 60 องศา และค้อยๆลดลงเป็น 30 องศา ในท่าแกว่งแขนออกนอกลำตัว และค้อยแกว่งแขนเข้าหาลำตัว ค้ำมข้อศอกซ้ายมีค่า 80 องศา และลดลงเป็น 2 องศา ในท่างอศอก และค้อยๆ ลดลงในท่าเหยียดแขนตรง ค้ำมหัวไหล่ซ้ายมีค่า 75 องศา และค้อยๆ ลดลงเป็น 22 องศา ในท่าแกว่งแขนออกนอกลำตัว และค้อยๆ แกว่งแขนเข้าหาลำตัว

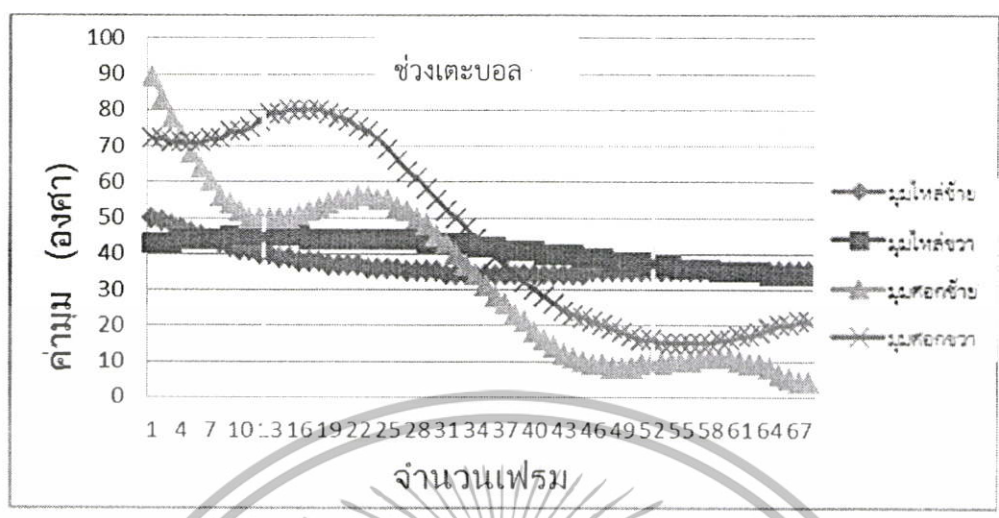
นักกีฬาคนที่ 4



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค้ำมขณะของมูมหัวเข้า และข้อเท้าเตะแบ่นักกีฬาคนที่ 4

จากรูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค้ำมของมูมหัวเข้า และข้อเท้าขณะเตะแบ่นักกีฬาคนที่ 4 พบว่าช่วงที่นักกีฬาคนที่ 4 เตะบอล ค้ำมข้อเท้าขวามีค่า 0 องศา เนื่องจากข้อเท้าอยู่ในลักษณะขนาดกัปพื้น แต่ตั้งฉากกับหน้าแข้งจึงทำให้ข้อเท้าขวามีค่า 0 องศา และในขณะที่หัวเข้ามีค้ำม 10 องศา ในลักษณะงอเล็กน้อย ส่วนข้อเท้าซ้ายมีค่า 0 องศา เช่นกันเนื่องจากข้อเท้าซ้ายต้องรับน้ำหนักร่างกายขณะมีการเตะบอล และมูมเข้าซ้ายมีค่า 10 องศา เข้าอยู่ในท่างอเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามมขณะของมมหัวใหญ่ และข้อคอกเตะแบนักกีฬาคนที่ 4

จากรูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามมของมมหัวใหญ่ และข้อคอกขณะเตะแบนักกีฬาคนที่ 4 พบว่าช่วงเริ่มต้นเตะบอลค่ามมที่ข้อคอกขวาเพิ่มขึ้นมีการงอแขน 80 องศา และข้อคอกซ้าย 55 องศา และค่ามมของข้อคอกซ้าย และขวาค่อยๆลดลง เกือบอยู่ในท่าเหยียดแขนในช่วงหลังจากเตะบอลค่ามมข้อคอกซ้าย และขวาเพิ่มขึ้น

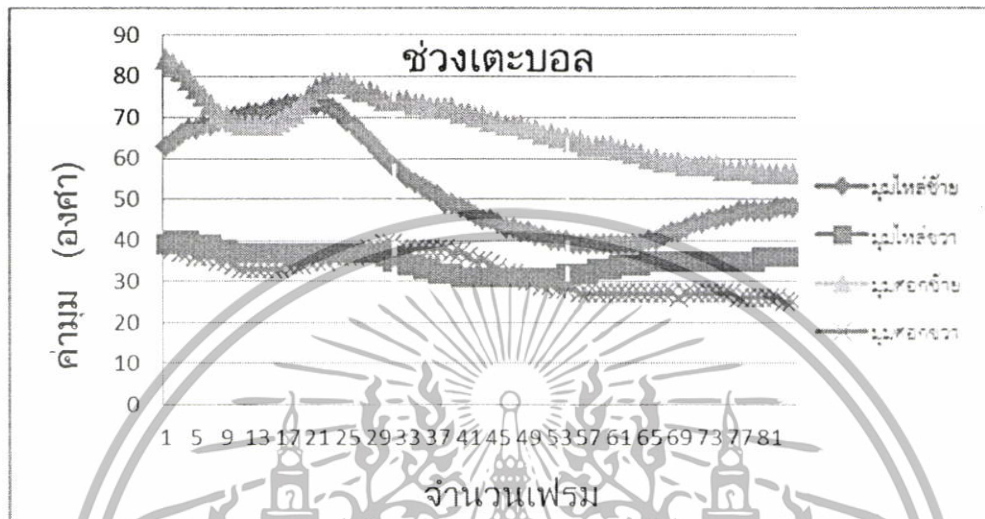
นักกีฬาคนที่ 5



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามมของมมหัวเข้า และข้อเท้าขณะเตะแบนักกีฬาคนที่ 5

จากรูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามมของมมหัวเข้า และข้อเท้าขณะเตะแบนักกีฬาคนที่ 5 พบว่าช่วงนักกีฬาคนที่ 5 เตะบอล ค่ามมข้อเท้าขวามีค่า 0 องศา และค่ามมเข้าขวามีค่า 0 องศา ในจุดที่เท่าสัมผัสบอลเนื่องจากขณะที่เท่าสัมผัสบอลเหยียดอยู่ในลักษณะตั้งฉากกับหน้าแข้ง และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น ผู้อนุญาตเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวเข่าอยู่ในท่าเหยียดตรง เป็นการบังคับเพื่อให้ลูกบอลไปในทิศทางที่นักกีฬากำหนด ซึ่งจากกราฟจะแสดงให้เห็นว่า นักกีฬาคนที่ 2 ได้ควบคุมข้อเท้าให้อยู่ในลักษณะตั้งฉากกับหน้าแข้งตั้งแต่มีการงอหัวเข่า ที่มุม 10 องศา หรือช่วงที่นักกีฬากำลังลดระดับเท้าเพื่อที่เตะบอล



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์มุมข้อมุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะแบ่นักกีฬาคนที่ 5

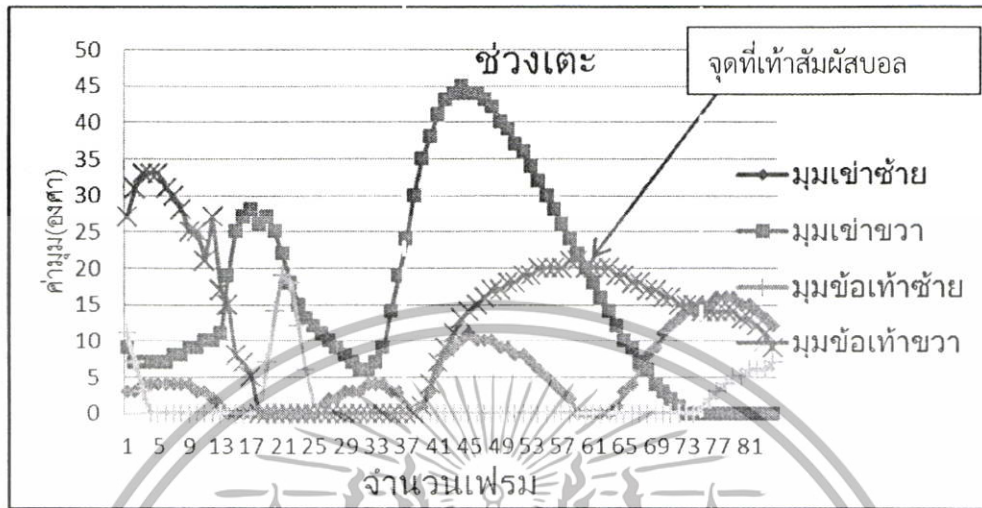
จากรูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์มุมข้อมุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะแบ่นักกีฬาคนที่ 5 พบว่าช่วงการเตะของนักกีฬาคนที่ 5 มุมหัวไหล่ขวามีค่า 30 องศา เพิ่มขึ้นเป็น 38 องศา หัวไหล่อยู่ในลักษณะแกว่งออกนอกลำตัว มุมข้อศอกขวามีค่า 38 องศา ลดลงเป็น 25 องศา ข้อศอกอยู่ในลักษณะงอเล็กน้อย และค้อมาเหยียดออกนอกลำตัว และมุมข้อศอกซ้ายมีค่า 70 องศา ลดลงเหลือ 58 องศา ข้อศอกซ้ายอยู่ในลักษณะงอเข้าหาลำตัว และค้อมาเหยียดออกนอกลำตัว เช่นเดียวกับมุมข้อศอกขวา แต่มุมหัวไหล่ขวามีค่า 50 องศา ลดลงเป็น 48 องศา หัวไหล่อยู่ในลักษณะแกว่งแขนออกนอกลำตัว

4.4.2 การวัดมุมของนักฟุตบอลขณะเตะบอลท่าเตะหลังเท้า

การเตะหลังเท้าเป็นการเตะเพื่อส่งลูกฟุตบอลให้กับผู้เล่นอีกคนในระยะใกล้ เป็นการเตะที่ผู้เล่นทุกคนต้องมี และต้องกำหนดทิศทางในการแปบอลให้ถูกต้องหากส่งพลาดจะส่งผลให้ผู้เล่นต่อสู้อาจได้บอลได้ เมื่อวัดมุมขณะการเคลื่อนไหวมุมจะถูกนำมาพล็อตกราฟโดยแบ่งออกเป็นสองกราฟคือ กราฟแสดงความสัมพันธ์มุมของมุมหัวเข่าและข้อเท้า ขณะเตะหลังเท้า และกราฟแสดงความสัมพันธ์มุมของมุมหัวไหล่และข้อศอก ขณะเตะหลังเท้า

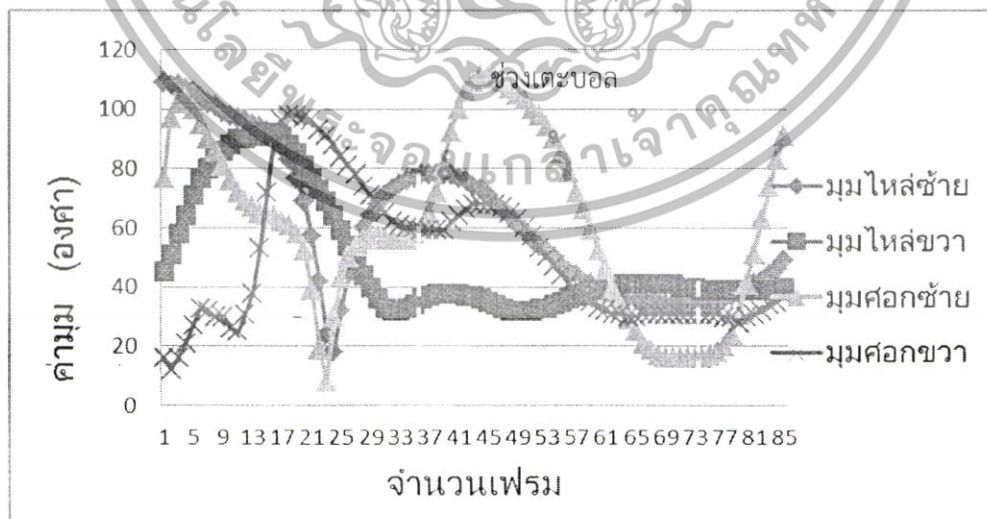
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นักกีฬาคนที่ 1



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามมของมมหัวเข้า และข้อเท้าขณะเตะหลังเท้านักกีฬาคนที่ 1

จากรูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามมของมมหัวเข้า และข้อเท้าขณะเตะหลังเท้า นักกีฬาคนที่ 1 พบว่าช่วงที่นักกีฬาคนที่ 1 เตะบอล ค่ามมที่บริเวณเข้าขวามีค่า 20 องศา และมมข้อเท้าขวามีค่า 20 องศาเป็นจุดที่เท่าสัมผัสบอล เนื่องจากการเตะหลังเท้าลักษณะของข้อเท้าขณะเท้าสัมผัสบอลมีการจิกปลายเท้าไปด้านหลัง และจะบังคับไม่ให้ข้อเท้าเคลื่อนไหวเนื่องจากหลังเท้าจะเป็นจุดที่สัมผัสบอล ส่งผลให้ค่ามมข้อเท้ามีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่มีการงอเข้าเพื่อสร้างแรงเพื่อเตะบอลจนหลังจากที่เท้าสัมผัสบอลไปแล้ว

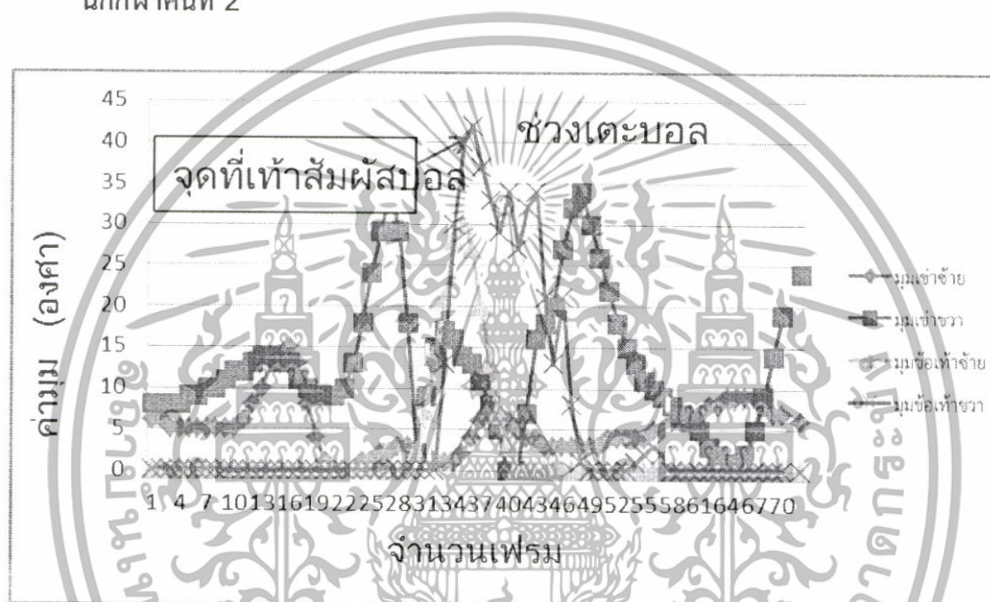


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามมของมมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะหลังเท้านักกีฬาคนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

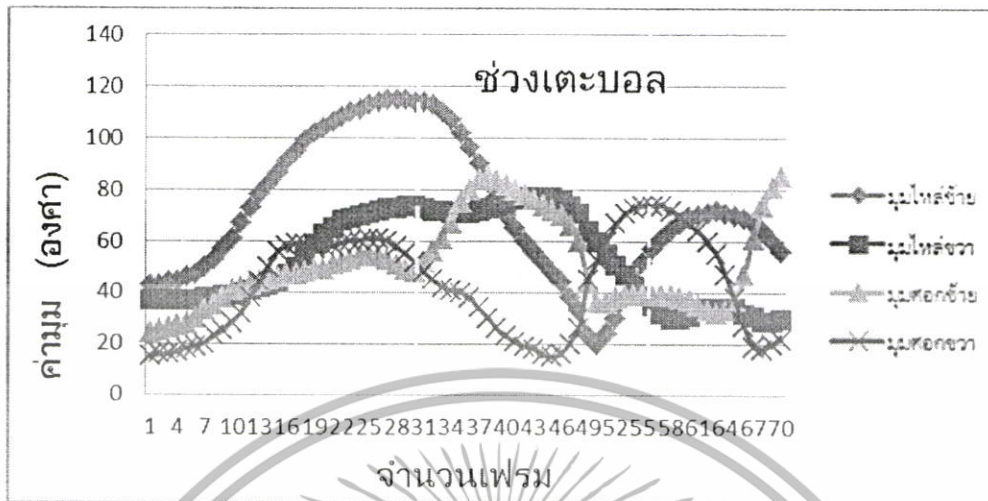
จากรูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะหลังเท้า นักกีฬาคนที่ 1 พบว่าก่อนช่วงเตะบอลการเคลื่อนไหวท่อนบนของร่างกายนักฟุตบอลค่ามุมของข้อศอกซ้ายที่วัดได้มีค่าสูงและจะค่อยๆ ลดลงในช่วงการเตะบอล ส่วนมุมไหล่ซ้าย และข้อศอกขวา มีการเพิ่มขึ้นและค่อยๆ ลดลง แตกต่างจากมุมข้อศอกขวามีการเพิ่ม และลดลงในช่วงเวลาสั้นๆ แต่ค่ามุมของข้อศอกขวาในช่วงก่อนเตะบอลมีการเพิ่มขึ้นประมาณ 95 องศา และค่อยๆ ลดลง เช่นเดียวกับมุมไหล่ซ้าย มุมไหล่ขวา และมุมศอกซ้าย การเคลื่อนไหวก่อนเตะบอลของนักฟุตบอลมีการเคลื่อนไหวเพื่อรักษาสถิตก่อนที่เท้าจะสัมผัสบอล

นักกีฬาคนที่ 2

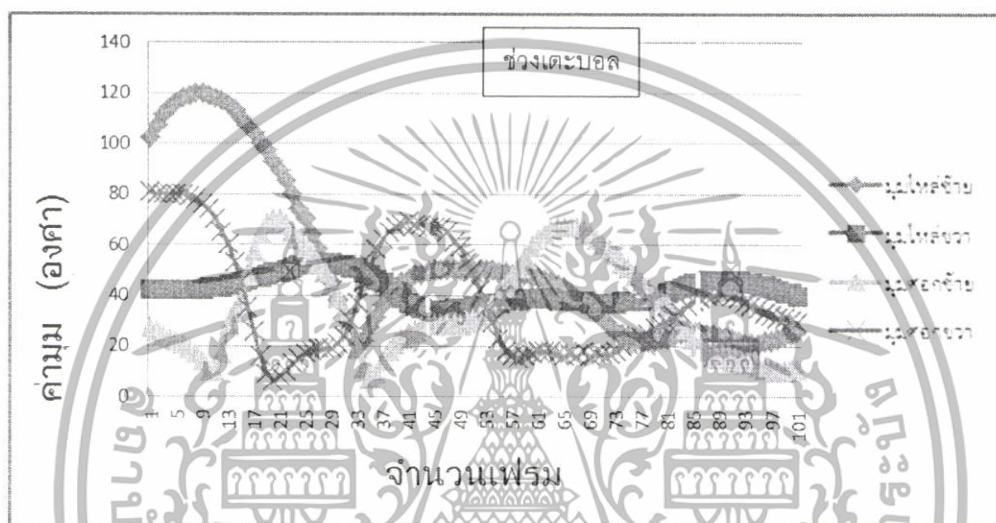


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะหลังเท้า นักกีฬาคนที่ 2

จากรูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะหลังเท้า นักกีฬาคนที่ 2 พบว่าช่วงที่นักกีฬาคนที่ 2 เตะบอล ค่ามุมที่บริเวณเข่าขวามีค่า 5 องศา และมุมข้อเท้าขวามีค่า 35 องศา เป็นจุดที่เท้าสัมผัสบอล เนื่องจากการเตะหลังเท้าลักษณะของข้อเท้าขณะเท้าสัมผัสบอลมีการจิกปลายเท้าไปด้านหลัง และจะบังคับไม่ให้ข้อเคลื่อนไหวเนื่องหลังเท้าจะเป็นจุดที่สัมผัสบอล ส่งผลให้ค่ามุมข้อเท้ามีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่มีการงอเข่าเกือบเหยียดตรงหลังจากเหวี่ยงเท้าไปด้านหลัง



จากรูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข้า และข้อเท้าขณะเตะหลังเท้า นักกีฬาคนที่ 3 พบว่าช่วงที่นักกีฬาคนที่ 3 เตะบอล ค่ามุมที่บริเวณเข้าขวามีค่า 10 องศา และมุมข้อเท้าขวามีค่า 10 องศาเป็นจุดที่เท้าสัมผัสบอล เนื่องจากการเตะหลังเท้าลักษณะของข้อเท้าขณะเท้าสัมผัสบอลมีการจิกปลายเท้าไปด้านหลัง และจะบังคับไม่ให้ข้อเคลื่อนไหวเนื่องหลังเท้าจะเป็นจุดที่สัมผัสบอล ส่งผลให้ค่ามุมข้อเท้ามีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่มีการงอเข้า 10 องศา หลังจากเหวี่ยงเท้าไปด้านหลังเพื่อสร้างแรงที่เตะบอลข้างหน้าซึ่งค่ามุมหัวเข้าจะค่อยๆลดลง เพื่อลดระดับให้เท้าอยู่ในจุดที่จะสัมผัสบอลได้

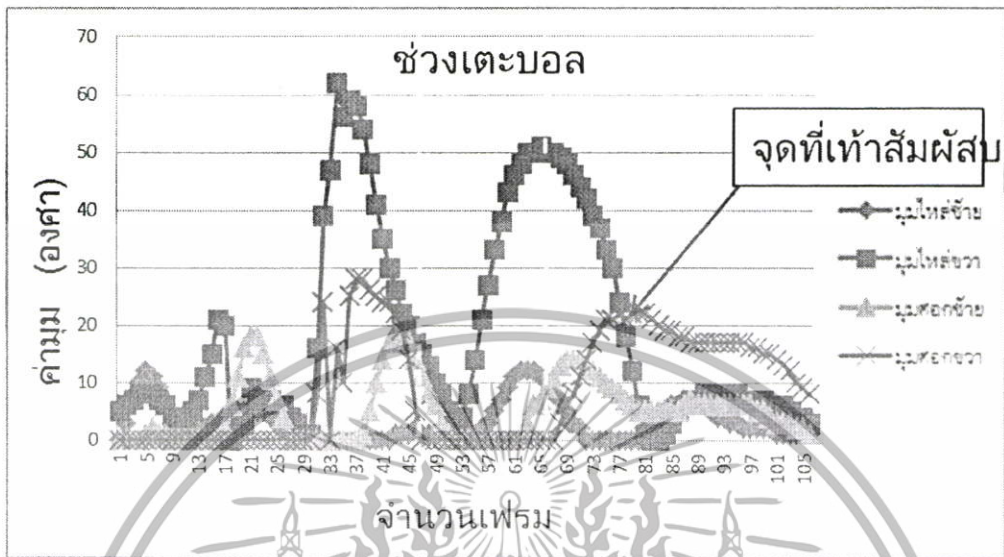


รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะหลังเท้า นักกีฬาคนที่ 3

รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะหลังเท้า นักกีฬาคนที่ 3 พบว่าในช่วงที่นักกีฬาคนที่ 3 เตะหลังเท้า ค่ามุมข้อศอกขวามีค่าลดลงจาก 70 องศา ลดลงเป็น 18 องศา ซึ่งข้อศอกจะอยู่ในลักษณะงอ และค่อยๆเหยียดออกไปนอกลำตัว มุมหัวไหล่ขวา มีค่า 38 องศา เพิ่มขึ้นมีค่า 50 องศา หัวไหล่อยู่ในลักษณะแกว่งออกไปนอกลำตัว และเมื่อค่ามุมเพิ่มขึ้นหัวไหล่แกว่งออกนอกลำตัวมากกว่าช่วงเริ่มต้นการเตะ มุมข้อศอกซ้ายมีค่า 25 องศา เพิ่มขึ้น 70 องศา และลดลง 18 องศา ข้อศอกซ้ายอยู่ในลักษณะงอเล็กน้อยเมื่อค่ามุมเพิ่มขึ้นข้อศอกซ้ายก็จะงอเข้าหาลำตัวมากขึ้น และค่อยๆเหยียดตรง และค่ามุมที่หัวไหล่ซ้ายมีค่า 50 องศา ลดลงเหลือ 20 องศา หัวไหล่อยู่ในลักษณะแกว่งออกไปนอกลำตัว และค่อยๆ แกว่งกลับเข้าหาลำตัว

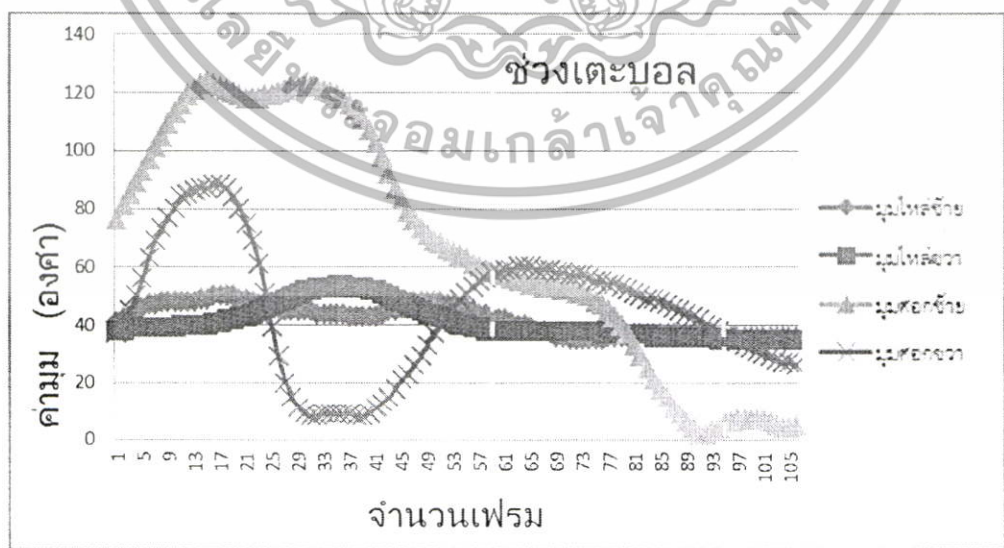
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นักกีฬาคนที่ 4



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะหลังเท้านักกีฬาคนที่ 4

จากรูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะหลังเท้า นักกีฬาคนที่ 4 พบว่าช่วงที่นักกีฬาคนที่ 4 เตะบอล ค่ามุมที่บริเวณเข่าขวามีค่า 20 องศา และมุมข้อเท้าขวามีค่า 22 องศา เป็นจุดที่เท้าสัมผัสบอล เนื่องจากการเตะหลังเท้าลักษณะของข้อเท้าขณะเท้าสัมผัสบอลมีการจิกปลายเท้าไปด้านหลัง และจะบังคับไม่ให้ข้อเคลื่อนไหวเนื่องหลังเท้าจะเป็นจุดที่สัมผัสบอล ส่งผลให้ค่ามุมข้อเท้ามีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่มีการงอเข่าเพื่อสร้างแรงเพื่อเตะบอลจนหลังจากที่เท้าสัมผัสบอลไปแล้ว



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะหลังเท้านักกีฬาคนที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะหลังเท้า นักกีฬาคนที่ 4 พบว่าในช่วงที่นักกีฬาคนที่ 4 เตะหลังเท้า ค่ามุมข้อศอกขวามีค่าลดลงจาก 60 องศา ลดลงเป็น 22 องศา ซึ่งข้อศอกจะอยู่ในลักษณะงอ และค่อยๆเหยียดออกไปนอกลำตัว มุมหัวไหล่ขวามีค่า 40 องศา เพิ่มขึ้นมีค่า 38 องศา หัวไหล่อยู่ในลักษณะแกว่งออกไปนอกลำตัว และเมื่อค่ามุมลดลง หัวไหล่แกว่งเข้าหาลำตัว มุมข้อศอกซ้ายมีค่า 60 องศา และลดลง 0 องศา ข้อศอกซ้ายอยู่ในลักษณะงอเมื่อค่ามุมลดลงที่ 0 องศา ข้อศอกอยู่ในลักษณะเหยียดตรง และค่ามุมที่หัวไหล่ซ้ายมีค่า 45 องศา ลดลงเหลือ 35 องศา หัวไหล่อยู่ในลักษณะแกว่งออกไปนอกลำตัว และค่อยๆ แกว่งกลับเข้าหาลำตัว

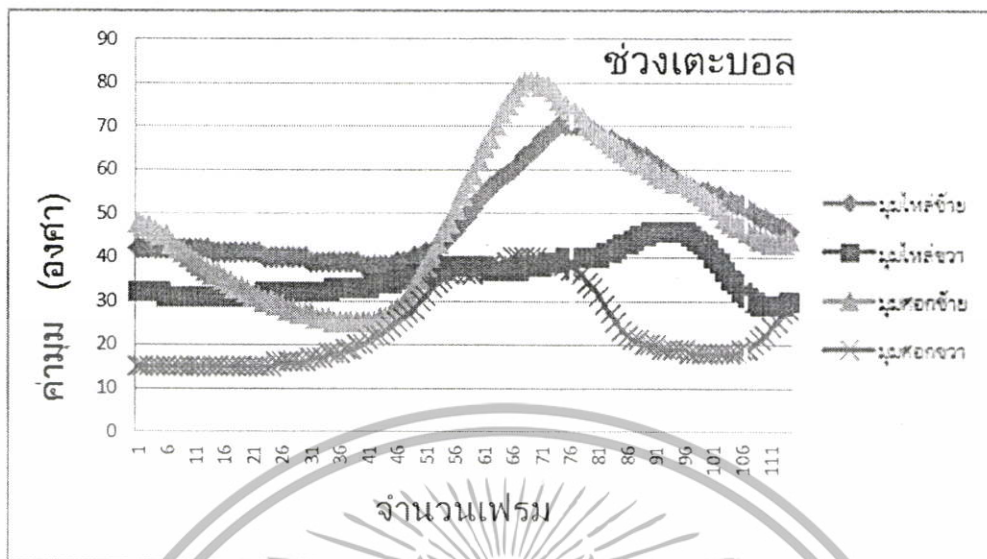
นักกีฬาคนที่ 5



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะหลังเท้า นักกีฬาคนที่ 5

จากรูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข่าและข้อเท้าขณะเตะหลังเท้า นักกีฬาคนที่ 5 พบว่าช่วงที่นักกีฬาคนที่ 5 เตะบอล ค่ามุมที่บริเวณเข่าขวามีค่า 20 องศา และมุมข้อเท้าขวามีค่า 26 องศา เป็นจุดที่เท้าสัมผัสบอล เนื่องจากการเตะหลังเท้าลักษณะของข้อเท้าขณะเท้าสัมผัสบอลมีการจิกปลายเท้าไปด้านหลัง และจะบังคับไม่ให้ข้อเคลื่อนไหวเนื่องหลังเท้าจะเป็นจุดที่สัมผัสบอล ส่งผลให้ค่ามุมข้อเท้ามีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่มีการงอเข่าเพื่อสร้างแรงเพื่อเตะบอลจนหลังจากที่เท้าสัมผัสบอลไปแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเร็วของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะหลังเท้า นักกีฬาคนที่ 5

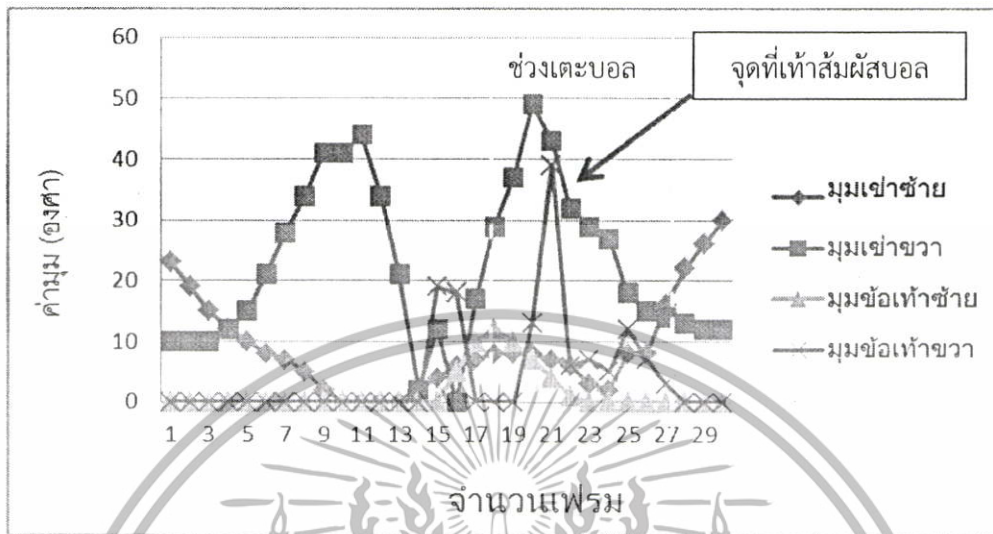
จากรูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเร็วของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะหลังเท้า นักกีฬาคนที่ 5 พบว่าในช่วงที่นักกีฬาคนที่ 5 เตะหลังเท้า ความเร็วข้อศอกขวามีค่าลดลงจาก 40 องศา ลดลงเป็น 18 องศา ซึ่งข้อศอกจะอยู่ในลักษณะงอ และค่อยๆเหยียดออกไปนอกลำตัว มุมหัวไหล่ขวามีค่า 57 องศา เพิ่มขึ้นมีค่า 30 องศา หัวไหล่อยู่ในลักษณะแกว่งออกไปนอกลำตัว และเมื่อความเร็วลดลง หัวไหล่แกว่งเข้าหาลำตัว มุมข้อศอกซ้ายมีค่า 70 องศา และลดลง 42 องศา ข้อศอกซ้ายอยู่ในลักษณะงอเมื่อความเร็วลดลงที่ 42 องศา ข้อศอกอยู่ในลักษณะงอเล็กน้อย และความเร็วที่หัวไหล่ซ้ายมีค่า 70 องศา ลดลงเหลือ 45 องศา หัวไหล่อยู่ในลักษณะแกว่งออกไปนอกลำตัว และค่อยๆ แกว่งกลับเข้าหาลำตัว

4.4.3 การวัดมุมของนักฟุตบอลขณะเตะบอลท่าเตะวอลเลย์

การเตะวอลเลย์ เมื่อวัดมุมขณะการเคลื่อนไหวความเร็วจะถูกนำมาพล็อตกราฟโดยแบ่งออกเป็นสองกราฟคือ กราฟแสดงความสัมพันธ์การเคลื่อนไหวขณะเตะวอลเลย์ของมุมหัวเข้าและข้อเท้า และกราฟแสดงความสัมพันธ์การเคลื่อนไหวขณะเตะวอลเลย์ของมุมหัวไหล่และข้อศอก

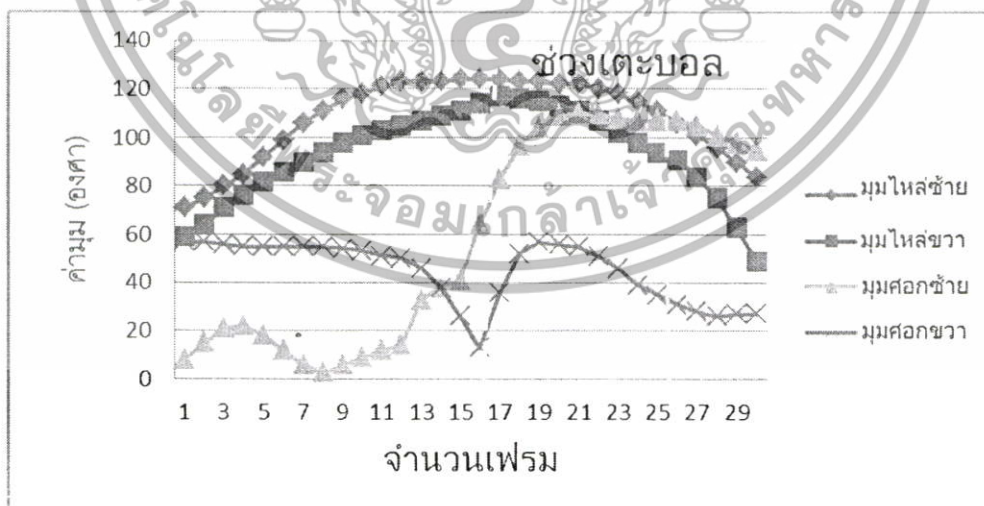
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นักกีฬาคนที่ 1



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามูมของมูมหัวเช่า และซื้อเท้าขณะเตะวอลเลย์นักกีฬาคนที่ 1

จากรูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามูมของมูมหัวเช่า และซื้อเท้าขณะเตะวอลเลย์นักกีฬาคนที่ 1 พบว่าในช่วงเตะบอลค่ามูมเช่าขวา และซื้อเท้าขวามีค่ามากกว่ามูมเช่าซ้าย และซื้อเท้าซ้าย ซึ่งจะสังเกตได้ว่าในท่าเตะวอลเลย์ค่ามูมในช่วงการเตะบอลมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจะลดลงอย่างรวดเร็วแสดงให้เห็นว่าการเตะบอลในท่านี้ใช้ความเร็วในการเตะเร็ว แต่ต่างจากมูมเช่าซ้าย และซื้อเท้าซ้ายที่มีค่ามูมเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างต่อเนื่องซึ่งเป็นขาที่รับน้ำหนักตัว

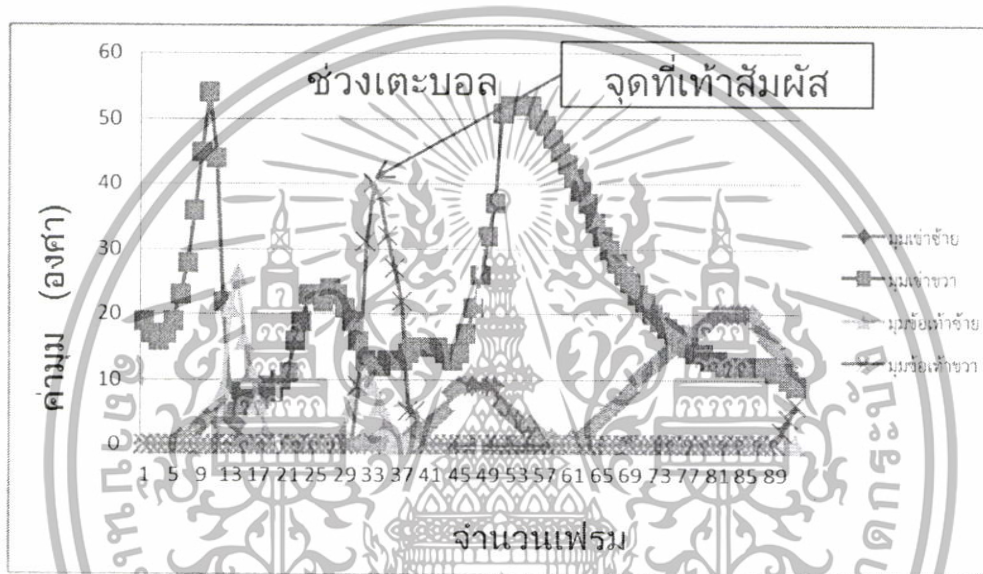


รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามูมของมูมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะวอลเลย์นักกีฬาคนที่ 1

จากรูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามูมของมูมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะวอลเลย์คนที่ 1 พบว่าในช่วงที่นักกีฬาคนที่ 1 เตะหลังเท้า ค่ามูมข้อศอกขวามีค่ามูม 20 องศา เพิ่มขึ้นเป็น 58 องศาเป็นเอกสารที่สวนไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญได้เดินทางไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องศา ซึ่งข้อศอกจะอยู่ในลักษณะงอเล็กน้อย เมื่อค่ามุมเพิ่มขึ้นข้อศอกงอเข้าหาลำตัวมากกว่าเดิม มุมหัวไหล่ขวามีค่า 118 องศา ลดลงมีค่า 95 องศา หัวไหล่อยู่ในลักษณะแกว่งออกไปนอกลำตัว และเมื่อค่ามุมลดลงหัวไหล่แกว่งเข้าหาลำตัว มุมข้อศอกซ้ายมีค่า 80 องศา และเพิ่มขึ้น 110 องศา ข้อศอกซ้ายอยู่ในลักษณะงอเมื่อค่ามุมเพิ่มขึ้นที่ 110 องศา ข้อศอกอยู่ในลักษณะงอเข้าหาลำตัวมากขึ้น และค่ามุมที่หัวไหล่ซ้ายมีค่า 122 องศา ลดลงเหลือ 110 องศา หัวไหล่อยู่ในลักษณะแกว่งออกไปนอกลำตัว และค่อยๆ แกว่งกลับเข้าหาลำตัว

นักกีฬาคนที่ 2



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมขณะเตะบอลเลยของมุมหัวเข่าและข้อเท้า นักกีฬาคนที่ 2

จากรูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะบอลเลย นักกีฬาคนที่ 2 พบว่าในช่วงเตะบอลนักกีฬาคนที่ 2 ค่ามุมเข่าขวาเพิ่มขึ้นและค่อยๆลดลง ในช่วงที่ค่ามุมเข่าขวาลดลง ค่ามุมข้อเท้าขวาเพิ่มขึ้น ซึ่งในช่วงนี้เป็นจุดที่เท้าสัมผัสบอล และหลังจากนั้นค่ามุมข้อเท้าขวาจะค่อยๆลดลง แต่หลังจากช่วงเตะบอลค่ามุมของเข่าขวาก็จะเพิ่มขึ้นเกิดจากการเคลื่อนไหวหลังการเตะ

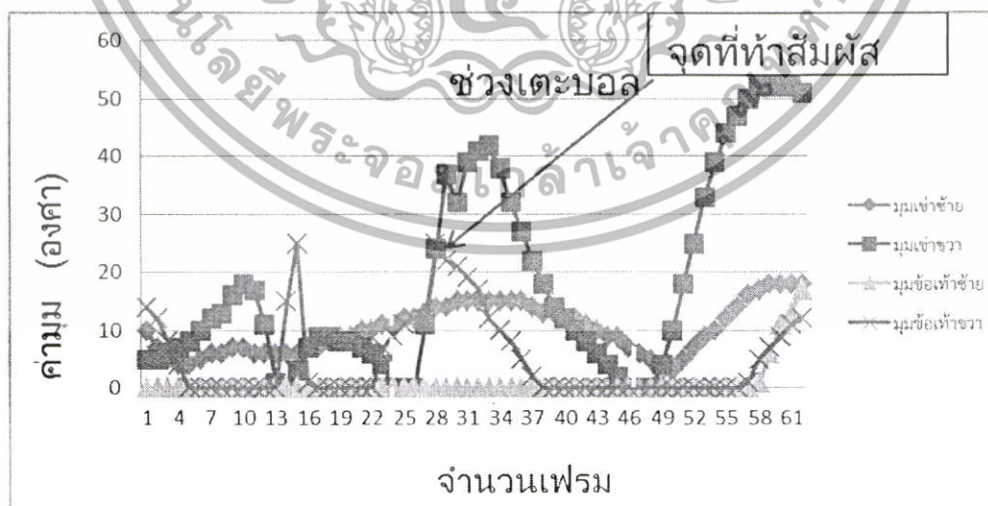
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค้ำมของมูมหัวไห้ และข้อคอกขณะตะบอกลเลี้ยงนักกีฬาคนที่ 2

จากรูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค้ำมของมูมหัวไห้ และข้อคอกขณะตะบอกลเลี้ยงนักกีฬาคนที่ 2 พบว่าในช่วงตะบอกลนักกีฬาคนที่ 2 ค้ำมหัวไห้ขวาและข้อคอกขวาเพิ่มขึ้น แต่ในขณะนั้นค้ำมหัวไห้ซ้าย และข้อคอกซ้ายลดลง แสดงให้เห็นมีการง้อข้อคอกขวา 80 งามา และแกว่งแขนขวาเพื่อเคลื่อนไห้ในการตะบอกล ในขณะที่ข้อคอกขวางอ 80 งามา คอกซ้ายงอเพียง 45 งามา ตามการเคลื่อนไห้

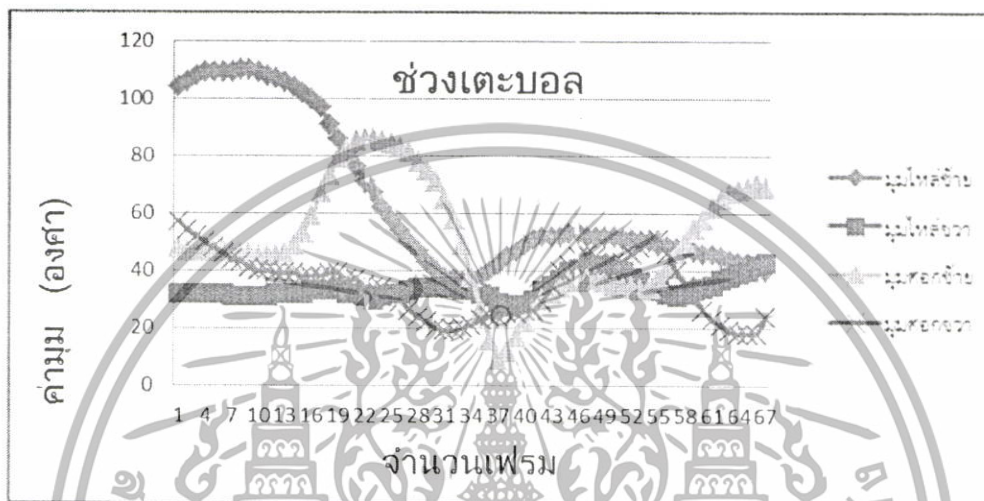
นักกีฬาคนที่ 3



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค้ำมของมูมหัวเข้า และข้อไห้ขณะตะบอกลเลี้ยงนักกีฬาคนที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

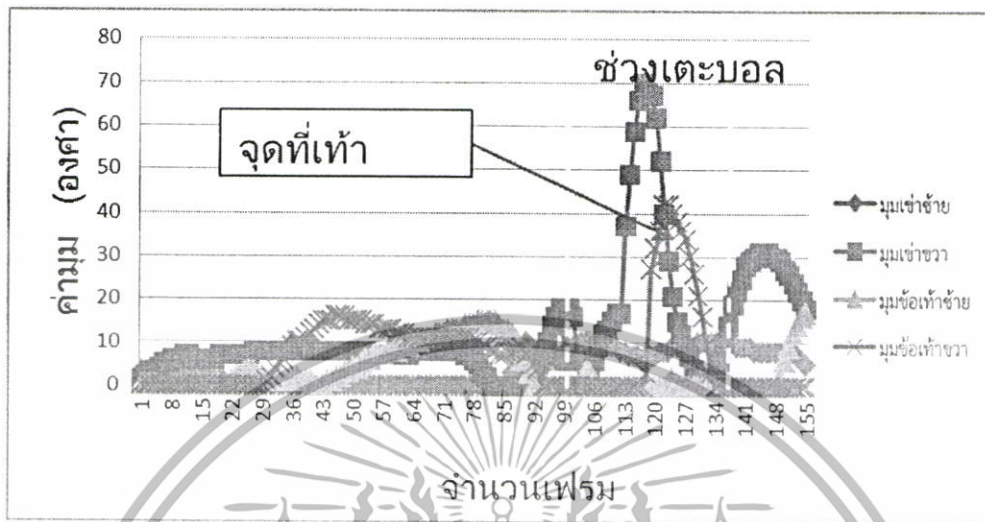
จากรูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข้า และข้อเท้าขณะเตะวอลเลย์ นักกีฬาคนที่ 3 พบว่าในช่วงเตะบอลนักกีฬาคนที่ 3 ค่ามุมเข้าขวา และข้อเท้าขวาเพิ่มขึ้น 25 องศา เป็นจุดที่เท้าสัมผัสบอล หลังจากนั้นค่ามุมค่อยๆลดลงจนถึง 0 องศา แต่ค่ามุมที่เข้าขวายังเพิ่มขึ้น 43 องศา และค่อยๆลดลง 0 องศา หลังจากช่วงการเตะค่ามุมเข้าขวาก็เพิ่มขึ้นจนถึง 53 องศา แสดงให้เห็นว่าหลังจากเตะบอลยังมีการเคลื่อนที่ต่อไป



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะวอลเลย์นักกีฬาคนที่ 3

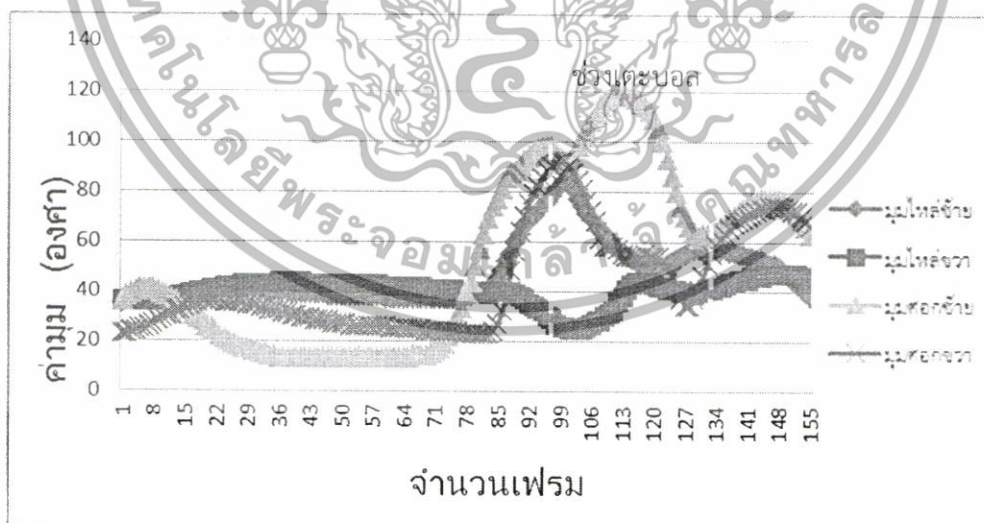
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมขณะเตะวอลเลย์ของมุมหัวไหล่และข้อศอก นักกีฬาคนที่ 3 พบว่าในช่วงเตะบอลนักกีฬาคนที่ 3 ค่ามุมหัวไหล่ซ้ายลดลงโดยแกว่งแขนออกไป 40 องศา และข้อศอกขวาลดลงอยู่ที่ 5 องศา ในท่าแขนเหยียดตรง หลังจากช่วงเตะบอลค่ามุมทั้งก็ค่อยๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งในช่วงการเตะค่ามุมข้อศอกขวามีค่าลดลงอยู่ที่ 20 องศา และค่อยๆ เพิ่มขึ้น 43 องศา ในช่วงที่เตะบอลนักกีฬาคนที่ 3 มีการแกว่งแขนขวาเล็กน้อยเมื่อดูจากค่ามุมหัวไหล่ขวา หรืออาจเปรียบเทียบจากการเคลื่อนไหวของหัวไหล่ซ้าย และข้อศอกซ้าย

นักกีฬาคนที่ 4



รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่านมของมุมหัวเข้า และข้อเท้าขณะเตะวอลเลย์นักกีฬาคนที่ 4

จากรูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่านมของมุมหัวเข้า และข้อเท้าขณะเตะวอลเลย์นักกีฬาคนที่ 4 พบว่าในช่วงเตะบอลค่านมหัวเข้าเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 70 องศา ในขณะที่ค่านมข้อเท้าขวาก็เพิ่มขึ้นอยู่ที่ 43 องศา และค่านมที่หัวเข่าลดลงอยู่ที่ 0 องศา ค่านมข้อเท้าขวาก็ลดลงอยู่ที่ 0 องศา เช่นเดียวกัน แสดงให้เห็นว่านักกีฬาคนที่ 4 มีการเคลื่อนไหวเข่าก่อนจะเปิดข้อเท้าที่จะเตะบอล

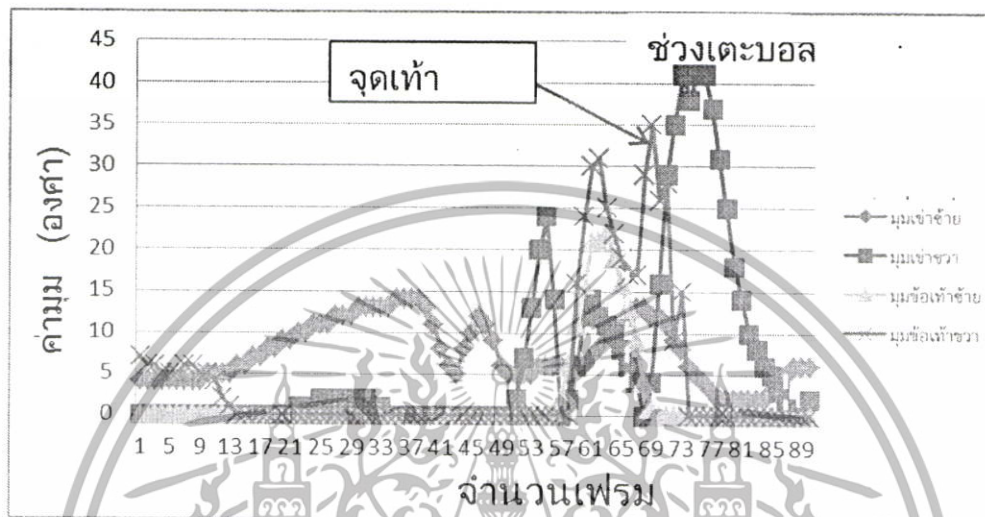


รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่านมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะวอลเลย์นักกีฬาคนที่ 4

จากรูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่านมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะวอลเลย์นักกีฬาคนที่ 3 พบว่าในช่วงเตะบอลค่านมหัวไหล่ซ้าย 83 องศา ในท่าแกว่งออกนอกกล้าตัว มุมข้อศอกซ้ายเพิ่มขึ้น 120 องศา ในท่างอข้อศอก ซึ่งนักกีฬาเคลื่อนไหวร่างกายซีกซ้ายมากกว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

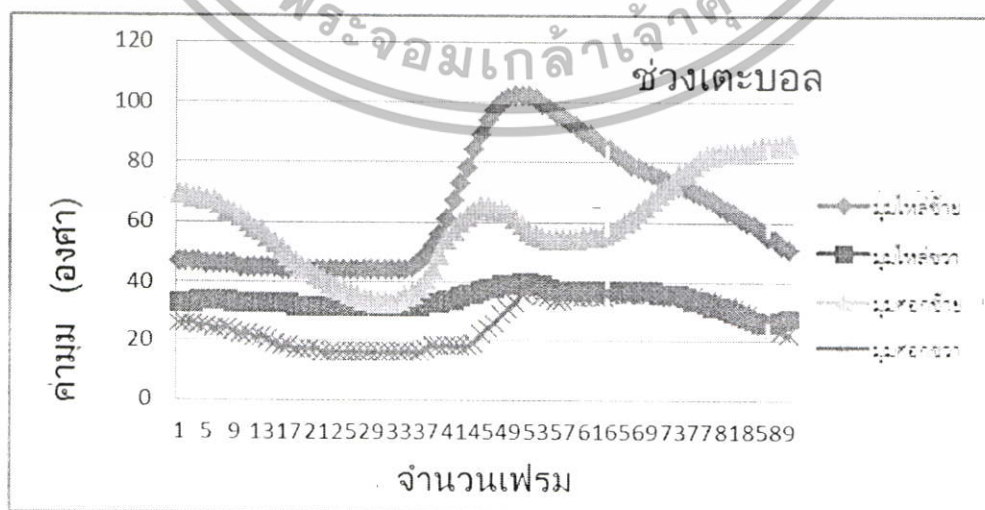
เนื่องจากมุมที่หัวไหล่ซ้ายมีค่า 45 องศา และข้อศอกขวามีค่า 90 องศา และค่ามุมหัวไหล่ซ้าย ข้อศอกซ้าย และข้อศอกขวาค่อยๆลดลง อยู่ในท่าเหยียดแขน

นักกีฬาคนที่ 5



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะบอลเล่นนักกีฬาคนที่ 5

จากรูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะบอลเล่นนักกีฬาคนที่ 5 พบว่าในช่วงที่นักกีฬาคนที่ 5 เตะบอล ค่ามุมของเข่าขวา 42 องศา อยู่ในลักษณะงอเข่า และมุมข้อเท้าขวา 35 องศา ข้อเท้าขวามีลักษณะจิกเท้าเพื่อเปิดข้อเท้าให้หนักเท้าสัมผัสบอลให้มากที่สุด และมุมทั้งสองค่อยๆลดลงจนมีค่า 0 องศา ส่วนค่ามุมที่ข้อเท้าซ้ายมีค่า 0 องศา อยู่ในลักษณะเท้าขนาดกบพื้นเนื่องจากต้องรับน้ำหนักร่างกายขณะเตะบอล และเข่าขวามีค่า 3 องศาอยู่ในท่าเหยียดตรง

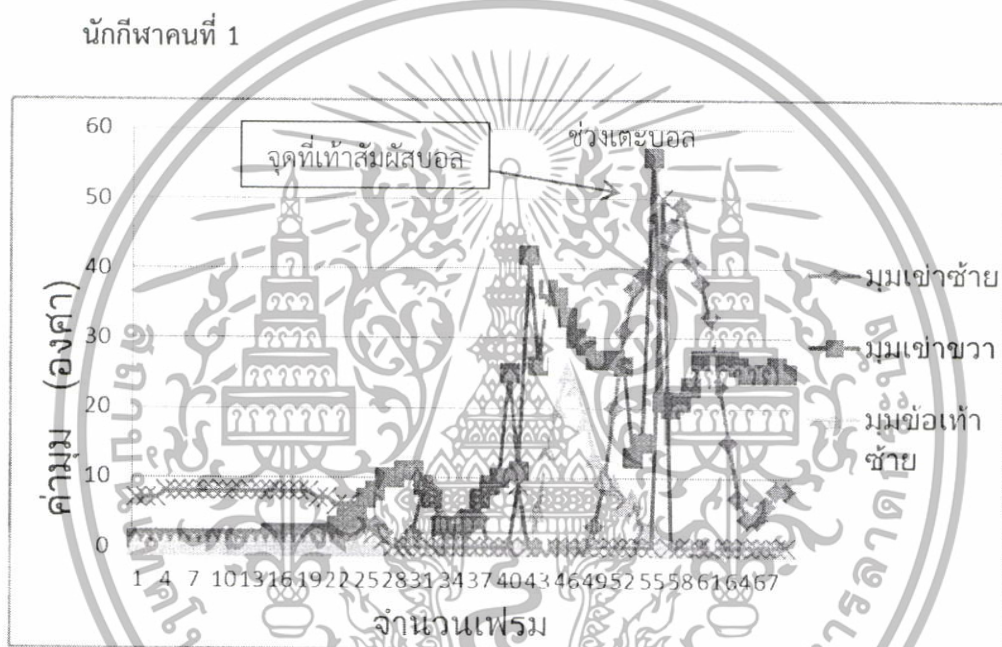


รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะบอลเล่นนักกีฬาคนที่ 5 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใดไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่านมของนมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะวอลเลย์ นักกีฬาคนที่ 5 พบว่าในช่วงเตะบอลค่านมหัวไหล่ซ้าย หัวไหล่ขวา และข้อศอกซ้ายลดลง แต่นมข้อศอกซ้าย 85 องศาซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าในช่วงเตะบอลนักกีฬามีจากข้อศอกซ้ายขณะเตะและงอข้อศอกขวา 38 องศา เมื่อเทียบกับข้อศอกซ้ายและข้อศอกซ้ายงอมากกว่าข้อศอกขวา

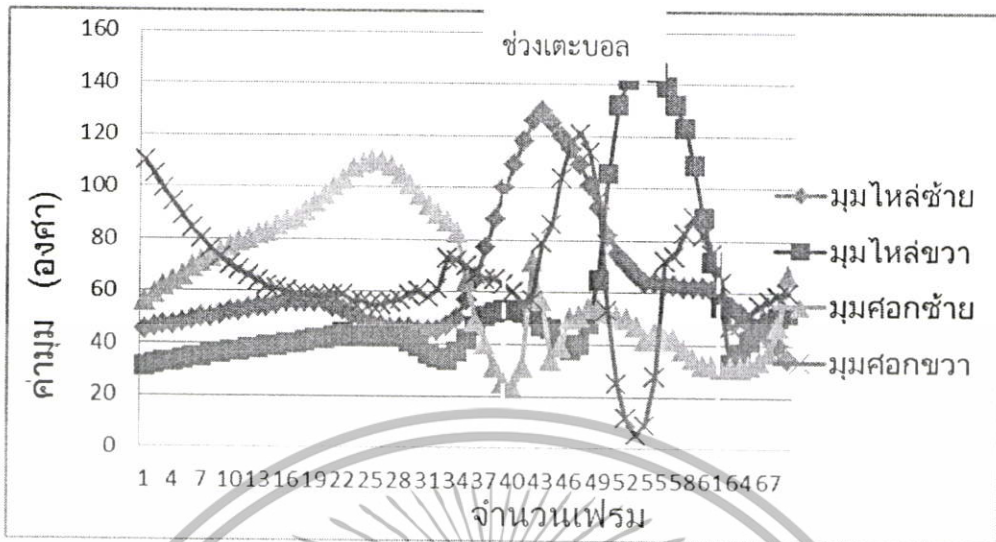
4.4.4 การวัดมุมของนักฟุตบอลขณะเตะบอลท่าเตะฟรีคิก

การเตะฟรีคิก เมื่อวัดมุมขณะการเคลื่อนไหวค่านมจะถูกนำมาพล็อตกราฟโดยแบ่งออกเป็นสองกราฟคือ กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่านมของนมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะฟรีคิก และกราฟแสดงความสัมพันธ์ค่านมของนมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะฟรีคิก



รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่านมของนมหัวเข่า และข้อเท้าเคลื่อนไหวขณะเตะฟรีคิก นักกีฬาคนที่ 1

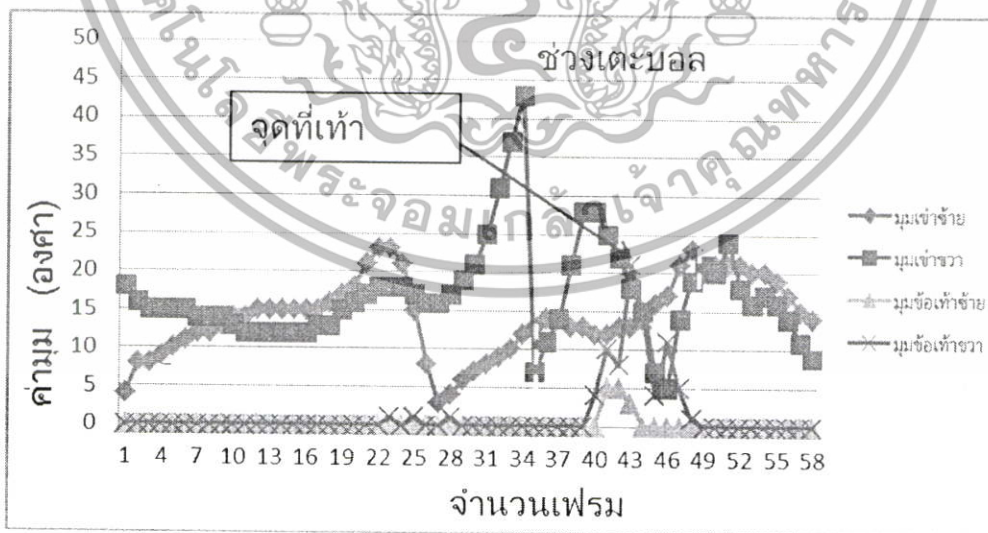
จากรูปที่ 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่านมของนมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะฟรีคิก นักกีฬาคนที่ 1 พบว่าในช่วงการเตะบอลค่านมเข่าขวา และนมข้อเท้าขวามีเพิ่มขึ้นเร็ว และลดลงอย่างรวดเร็ว ก่อนและหลังในช่วงเตะบอลมีการนมข้อเท้าซ้ายมีค่า 0 องศา มีการเคลื่อนไหวข้อเท้าซ้ายน้อยมาก และค่านมข้อเท้าขวาก่อนเตะมีการเพิ่มขึ้น และลดลงก่อนที่จะจะมีการเตะบอล ซึ่งจากกราฟจะสังเกตได้ค่านมเข่าขวาเพิ่มขึ้นและลดลงทุกช่วงในการเตะบอล



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่านมของมมหัวไหล่ และข้อศอกขณะตะพรีคิกนักกีฬาคนที่ 1

จากรูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่านมของมมหัวไหล่และข้อศอกขณะตะพรีคิกนักกีฬาคนที่ 1 พบว่าในช่วงตะบอลลค่ามมไหล่ขวามีค่ามากกว่าไหล่ซ้าย และมมที่ข้อศอกขวามีค่ามากกว่าข้อศอกซ้าย ในช่วงก่อนตะบอลลค่ามมไหล่ซ้าย ไหล่ขวา ข้อศอกซ้าย และข้อศอกขวา มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลง แต่มิกรเพิ่มขึ้นของค่านมไหล่ขวา และข้อศอกขวา และจะค่อยๆลดลงหลังช่วงตะบอลล

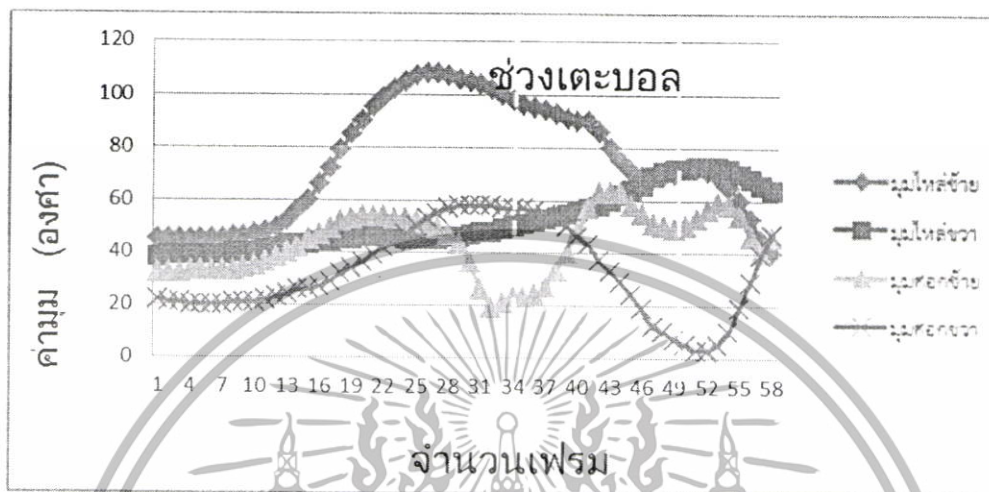
นักกีฬาคนที่ 2



รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่านมของมมหัวเข้า และข้อเท่าขณะตะพรีคิกนักกีฬาคนที่ 2

จากรูปที่ 4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่านมของมมหัวเข้า และข้อเท่าขณะตะพรีคิกนักกีฬาคนที่ 2 พบว่าในช่วงตะบอลลค่ามมเข้าขวามีค่า 28 องศา เข้าซ้ายมีค่า 24 องศา ข้อเท่าขวามีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

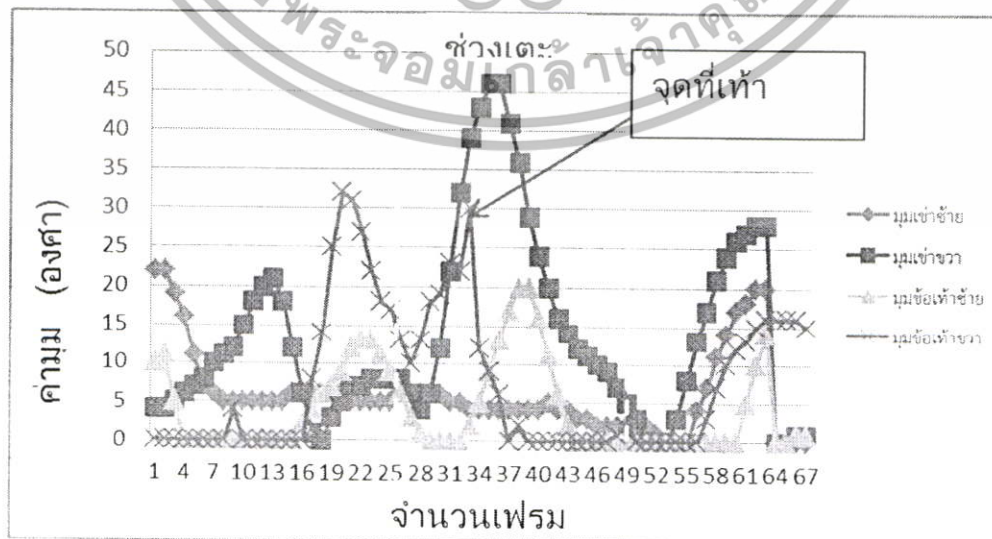
ค่า 22 องศา เป็นจุดที่เท้าสัมผัสบอล และค่ามุมข้อเท้าซ้ายมีค่า 5 องศา ซึ่งจากกราฟจะสังเกตได้ว่าเมื่อค่ามุมของเข่าขวาลดลงค่ามุมข้อเท้าขวาจะเพิ่มขึ้น และอยู่ในจุดที่เท้าสัมผัสบอล หลังจากเท้าสัมผัสบอลค่ามุมของเท้าขวา และข้อศอกขวาลดลง



รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะฟรีคิกนักกีฬาคนที่ 2

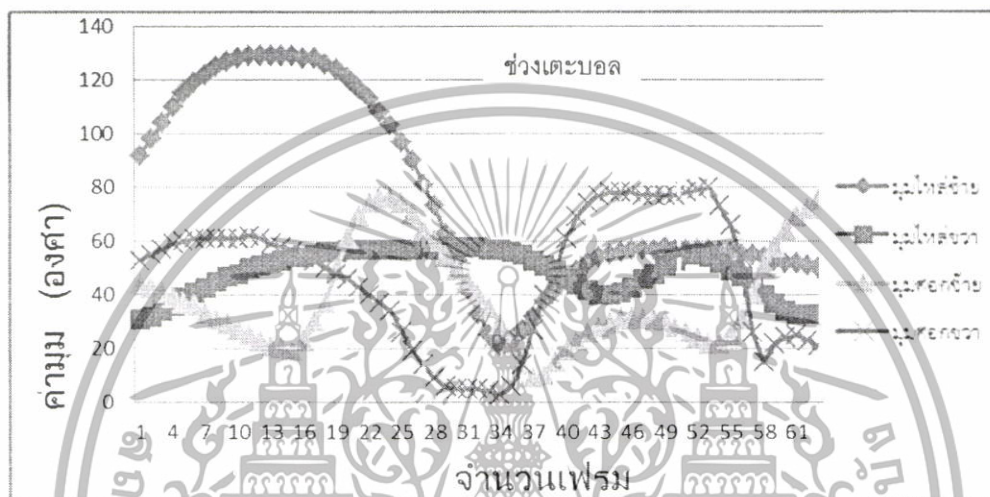
จากรูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะฟรีคิกนักกีฬาคนที่ 2 พบว่าในช่วงเตะบอลค่ามุมหัวไหล่ขวาเพิ่มขึ้น 55 องศา แต่ค่ามุมข้อศอกขวามีค่า 2 องศา แสดงให้เห็นว่าช่วงเวลานี้นักกีฬาเตะบอลเหยียดแขน และแกว่งแขนออกไปนอกลำตัว ส่วนค่ามุมของหัวไหล่ซ้ายมีค่า 100 องศา และลดลง 65 องศา และค่ามุมที่ข้อศอกซ้ายมีค่า 20 องศา และเพิ่มขึ้น 60 องศา จากค่ามุมของหัวไหล่ซ้าย และข้อศอกซ้าย นักกีฬาแกว่งแขนเข้ามาลำตัว และข้อศอกซ้าย

นักกีฬาคนที่ 3



รูปที่ 4.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะฟรีคิกนักกีฬาคนที่ 3 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

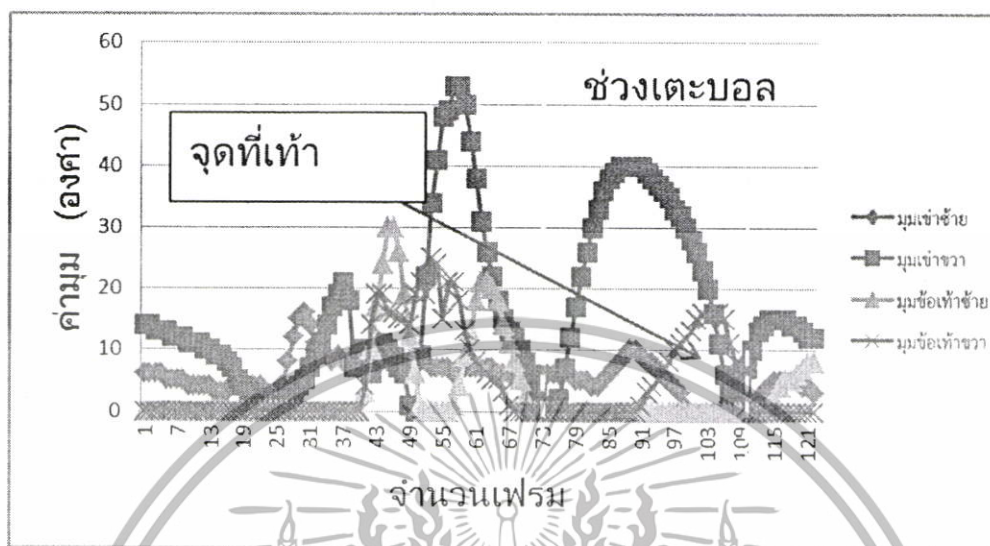
จากรูปที่ 4.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะฟรีคิก นักกีฬาคนที่ 3 พบว่าในช่วงเตะบอลค่ามุมหัวเข่าขวามีค่า 45 องศา และค่ามุมข้อเท้าขวามีค่า 30 องศา เป็นจุดที่เท้าสัมผัสบอล หลังจากเท้าสัมผัสบอลค่ามุมของข้อเท้าขวาก็ลดลงที่ 10 องศา และมุมหัวเข่าขวาลดลงที่ 22 องศา แต่ค่ามุมข้อเท้าซ้ายเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 20 องศา แสดงให้เห็นว่าหลังจากที่นักกีฬาเตะบอลแล้วมีการเคลื่อนไหวของขาข้างซ้าย และหลังจากช่วงเตะบอลค่ามุมของเข่าและข้อศอกเพิ่มขึ้น ยังคงมีการเคลื่อนที่หลังจากเตะบอล



รูปที่ 4.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะฟรีคิกนักกีฬาคนที่ 3

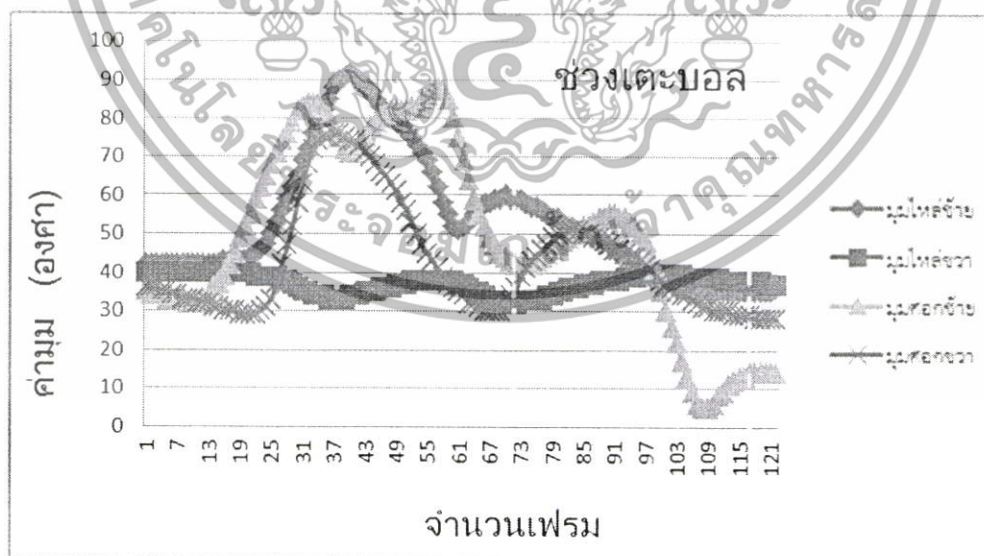
จากรูปที่ 4.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะฟรีคิก นักกีฬาคนที่ 3 พบว่าค่ามุมหัวไหล่ขวามีค่า 60 องศา ลดลงเหลือ 40 องศา และค่ามุมข้อศอกขวา 25 องศา เพิ่มขึ้น 80 องศา แสดงให้เห็นว่านักกีฬาแกว่งแขนเข้าหาลำตัวพร้อมทั้งงอแขนขณะเตะ ส่วนค่ามุมที่หัวไหล่ซ้ายมีค่า 100 องศา ลดลงเหลือ 20 องศา และมุมข้อศอกซ้ายมีค่า 76 องศา ลดลงเหลือ 10 องศา แสดงให้เห็นว่าขณะเตะบอลนักกีฬาแกว่งแขนเข้าหาลำตัว พร้อมกับค่อยๆ เหยียดแขน

นักกีฬาคนที่ 4



รูปที่ 4.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่านมของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะฟรีคิกนักกีฬาคนที่ 4

จากรูปที่ 4.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเคลื่อนไหวขณะเตะฟรีคิกองมุมหัวเข่า และข้อเท้า นักกีฬาคนที่ 4 พบว่าในช่วงเตะบอลค่านมหัวเข่าขวามีค่า 40 องศา และค่านมข้อเท้าขวามีค่า 17 องศา แสดงให้เห็นว่านักกีฬาเคลือบหัวเข่าข้างขวาเพื่อจะเปิดข้อเท้าเพื่อเตะบอล เมื่อเท้าสัมผัสบอลค่านมข้อเท้าขวาจะค่อยๆ ลดลงเป็น 0 องศา

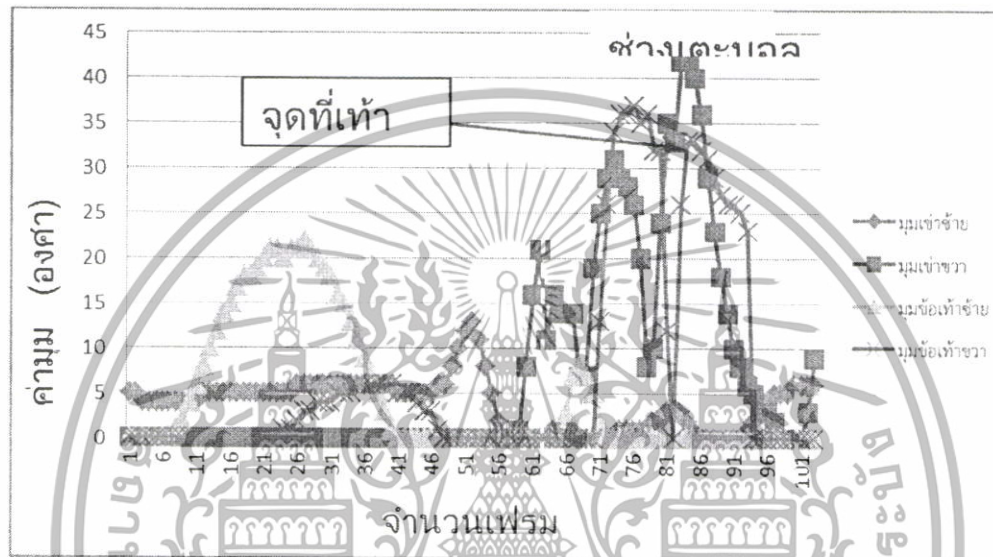


รูปที่ 4.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่านมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะฟรีคิกนักกีฬาคนที่ 4

จากรูปที่ 4.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่านมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะฟรีคิก นักกีฬาคนที่ 4 พบว่าในช่วงเตะบอลค่านมที่หัวไหล่ขวามีค่า 30 องศา เพิ่มขึ้นเป็น 10 องศา และค่าเอกซอร์นี้ เป็นเอกซอร์ที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มูมข้อดอกขวามีค่า 50 องศา ลดลงเป็น 30 องศา แสดงให้เห็นว่าขณะที่นักกีฬาแขวนขาแกว่งออก จากลำตัว และมีการเหยียดแขนทิ้งไว้เล็กน้อย ส่วนค่ามูมที่ไหล่ซ้ายมีค่า 60 องศา ลดลงเป็น 35 องศา และค่ามูมข้อศอกซ้ายมีค่า 55 องศา ลดลงเป็น 5 องศา แสดงให้เห็นว่าขณะเตะบอลนักกีฬา เคลื่อนไหวแขนซ้ายแกว่งเข้าหาลำตัว และค่อยๆ เหยียดตรงข้อศอก

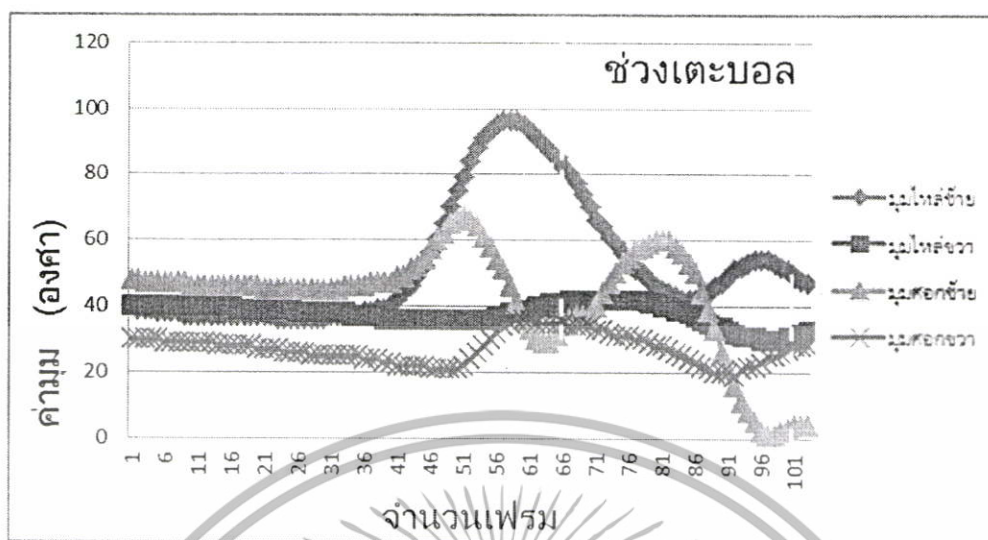
นักกีฬาคนที่ 5



รูปที่ 4.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมูมหัวเข้า และข้อเท้าขณะเตะฟรีคิกนักกีฬาคนที่ 5

จากรูปที่ 4.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมูมหัวเข้า และข้อเท้าขณะเตะฟรีคิก นักกีฬาคนที่ 5 พบว่าก่อนที่เท้าสัมผัสบอลค่ามุมที่เข้าขวามีค่า 32 องศา และค่ามุมข้อเท้าขวามีค่า 36 องศา และค่ามุมทั้งสองมีค่าลดลง หลังจากนั้นค่ามุมที่เข้าขวามีค่า 43 องศา และข้อเท้าขวามีค่า 33 องศาเป็นจุดที่เท้าสัมผัสบอล หลังจากนั้นค่ามุมทั้งสองก็ค่อยๆ ลดลง 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเร็วของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะฟรีคิกนักกีฬาคนที่ 5

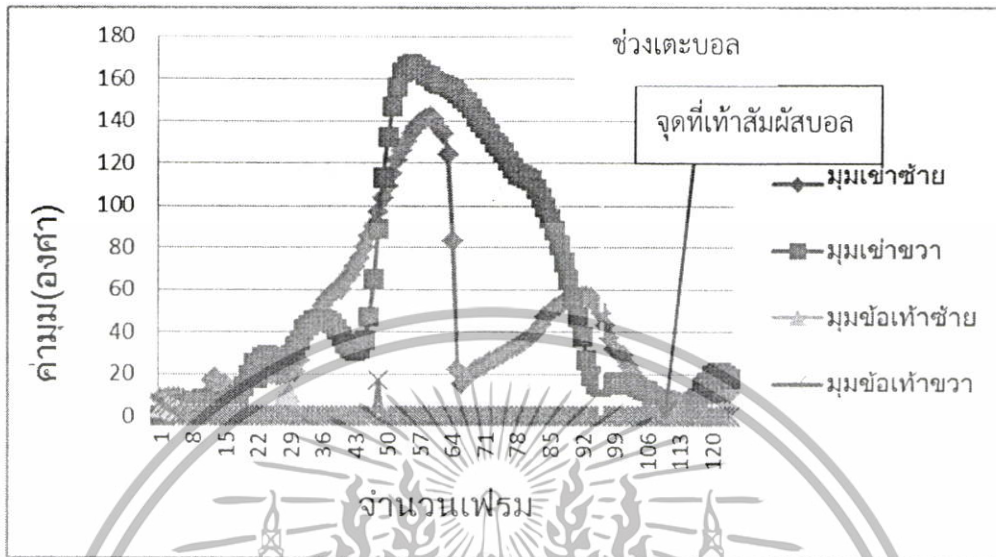
จากรูปที่ 4.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเร็วของมุมหัวไหล่ และข้อศอก นักกีฬาคนที่ 5 พบว่าในช่วงที่เตะบอลความเร็วหัวไหล่ขวามีค่า 40 องศา ลดลงอยู่ที่ 30 องศา และความเร็วข้อศอกขวามีค่า 38 องศา ลดลงอยู่ที่ 20 องศา แสดงให้เห็นว่าขณะช่วงเตะบอลนักกีฬาแกว่งแขนเข้าลำตัว และข้อศอกเกือบอยู่ในท่าเหยียดตรง ส่วนความเร็วหัวไหล่ซ้ายมีค่า 90 องศา ลดลงอยู่ที่ 40 องศา และความเร็วข้อศอกซ้ายมีค่า 60 องศา ลดลง 0 องศา แสดงให้เห็นว่านักกีฬาแกว่งแขนเข้าหาลำตัวพร้อมทั้งเหยียดแขนตรง

4.4.5 การวัดมุมของนักฟุตบอลขณะเตะบอลท่าเตะคอนเนอร์

การเตะคอนเนอร์ เมื่อวัดมุมขณะการเคลื่อนไหวค่ามุมจะถูกนำมาพล็อตกราฟโดยแบ่งออกเป็นสองกราฟคือ กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเร็วของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะคอนเนอร์ และกราฟแสดงความสัมพันธ์ความเร็วของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะคอนเนอร์

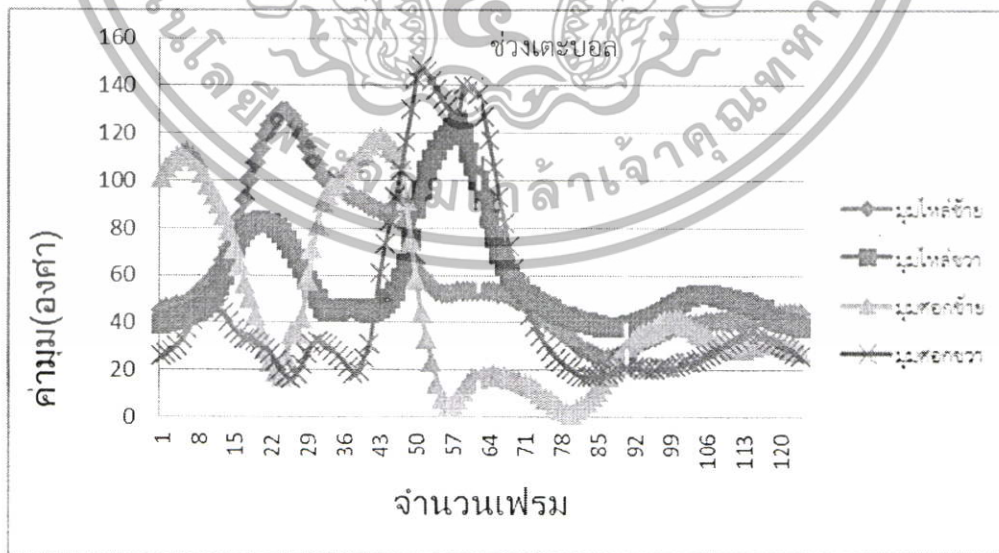
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นักกีฬาคนที่ 1



รูปที่ 4.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามมของมุมหัวเข้า และช้อเท้าขณะเตะคอนเนอร์นักกีฬาคนที่ 1

จากรูปที่ 4.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามมของมุมหัวเข้า และช้อเท้าขณะเตะคอนเนอร์นักกีฬาคนที่ 1 พบว่าช่วงนักกีฬาคนที่ 1 เตะบอล ค่ามมช้อเท้าขวามีค่า 0 องศา และค่ามมเข้าขวามีค่า 18 องศา ในจุดที่เท้าสัมผัสบอล เนื่องจากขณะที่เท้าสัมผัสบอลเท้าอยู่ในลักษณะตั้งฉากกับหน้าแข้ง และหัวเข่าอยู่ในท่าอ 18 องศา เป็นการบังคับเพื่อให้ลูกบอลไปในทิศทางที่นักกีฬากำหนด

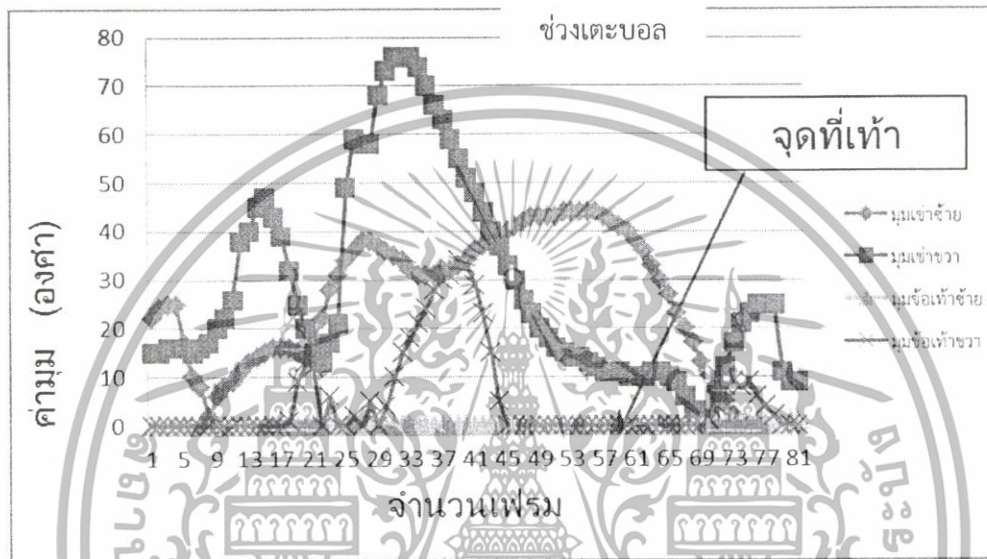


รูปที่ 4.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามมของมุมหัวโหล และช้อออกขณะเตะคอนเนอร์นักกีฬาคนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะคอนเนอร์ นักกีฬาคนที่ 1 พบว่าตลอดการเตะบอลค่ามุมมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลง แต่ในช่วงเตะบอลมุมที่ไหล่ขวา และข้อศอกขวามีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดและค่อยๆลดลง ส่วนในช่วงหลังเตะบอลค่ามุมของทุกส่วนมีค่าน้อยกว่าช่วงก่อนเตะและช่วงเตะบอล

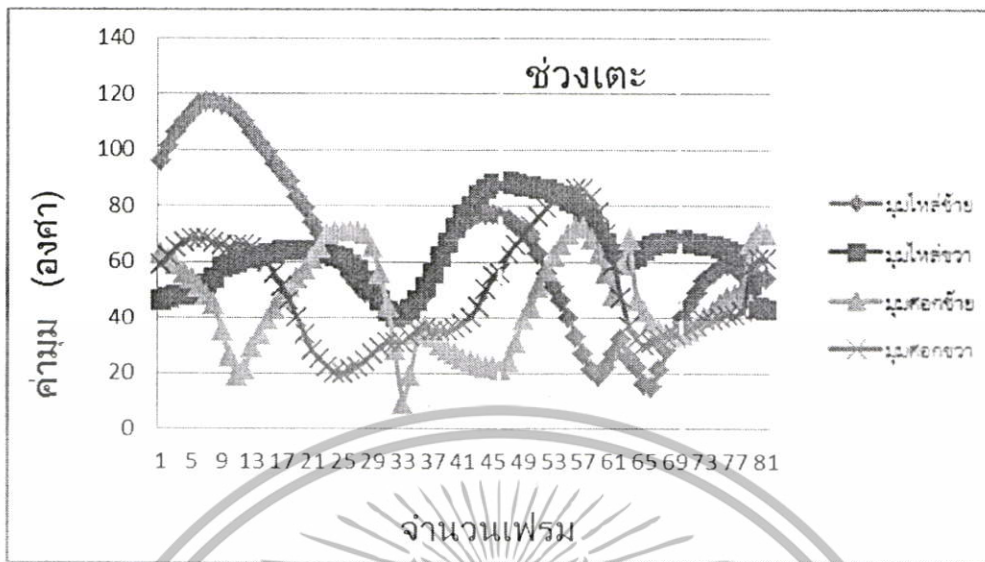
นักกีฬาคนที่ 2



รูปที่ 4.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะคอนเนอร์ นักกีฬาคนที่ 2

จากรูปที่ 4.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะคอนเนอร์ นักกีฬาคนที่ 2 พบว่าช่วงนักกีฬาคนที่ 2 เตะบอล ค่ามุมข้อเท้าขวามีค่า 0 องศา และค่ามุมเข่าขวามีค่า 12 องศา ในจุดที่เท้าสัมผัสบอล เนื่องจากขณะที่เท้าสัมผัสบอลเท้าอยู่ในลักษณะตั้งฉากกับหน้าแข้ง และหัวเข่าอยู่ในท่าอง 12 องศา เป็นการบังคับเพื่อให้ลูกบอลไปในทิศทางที่นักกีฬากำหนดและเพิ่มแรงเตะบอล

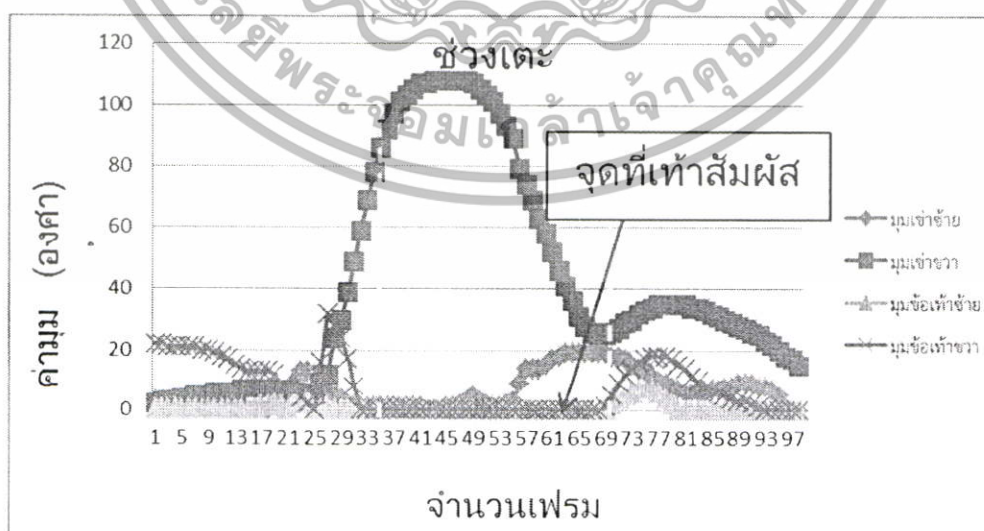
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค้ำมมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะคอนเนอร์ นักกีฬาคนที่ 2

จากรูปที่ 4.52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค้ำมมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะคอนเนอร์ นักกีฬาคนที่ 2 พบว่าในช่วงเตะบอลค้ำมมหัวไหล่ซ้ายมีค่า 40 องศาเพิ่มขึ้นเป็น 90 องศา และมุมข้อศอกขวามีค่า 20 องศา เพิ่มขึ้นเป็น 80 องศา แสดงให้เห็นว่านักกีฬาแกว่งแขนออกนอกลำตัว พร้อมทั้งข้อศอกขณะเตะบอล ส่วนค้ำมมหัวไหล่ซ้ายมีค่า 40 องศา เพิ่มขึ้นเป็น 80 องศา และค้ำมมข้อศอกมีค่า 5 องศา เพิ่มขึ้นเป็น 60 องศา แสดงให้เห็นว่านักกีฬาแกว่งแขนซ้ายออกนอกลำตัว และงอข้อศอกซ้าย แต่การงอและกรแกว่งแขนน้อยกว่าแขนซ้ายขวา

นักกีฬาคนที่ 3



รูปที่ 4.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค้ำมมของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะคอนเนอร์

นักกีฬาคนที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวเข้า และข้อเท้าขณะเตะคอนเนอร์ นักกีฬาคนที่ 3 พบว่าช่วงนักกีฬาคนที่ 3 เตะบอล ค่ามุมข้อเท้าขวามีค่า 0 องศา และค่ามุมเข้าขวามีค่า 22 องศา ในจุดที่เท้าสัมผัสบอล เนื่องจากขณะที่เท้าสัมผัสบอลเท้าอยู่ในลักษณะตั้งฉากกับหน้าแข้ง และหัวเข้าอยู่ในท่าอ 22 องศา เป็นการบังคับเพื่อให้ลูกบอลไปในทิศทางที่นักกีฬากำหนด

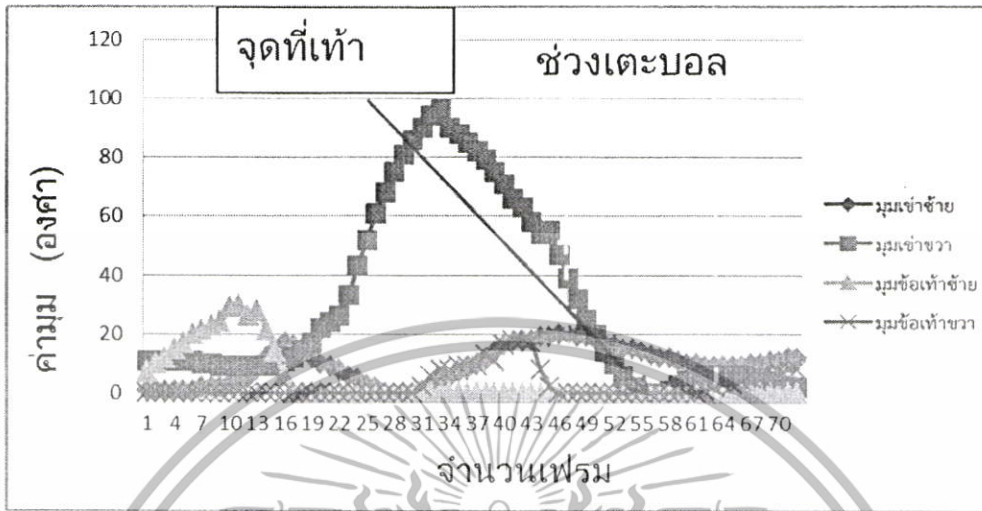


รูปที่ 4.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะคอนเนอร์ นักกีฬาคนที่ 3

จากรูปที่ 4.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะคอนเนอร์ นักกีฬาคนที่ 3 พบว่าค่ามุมหัวไหล่ขวามีค่า 100 องศา ลดลงเหลือ 50 องศาหัวไหล่อยู่ในลักษณะแกว่งแขนออกนอกลำตัว และเมื่อค่ามุมลดลงแขนได้ค่อยๆแกว่งแขนกลับเข้ามาหาลำตัว และค่ามุมข้อศอกขวา 60 องศา ลดลงเหลือ 2 องศา ข้อศอกอยู่ในลักษณะงอข้อศอกและเมื่อมุมลดลงข้อศอกจะค่อยๆเหยียดตรง ส่วนค่ามุมที่หัวไหล่ซ้ายมีค่า 138 องศา ลดลงเหลือ 40 องศาหัวไหล่ซ้ายอยู่ในลักษณะแกว่งแขนออกนอกลำตัว และเมื่อค่ามุมลดลงหัวไหล่อยู่ลักษณะแกว่งเข้าหาลำตัว และมุมข้อศอกซ้ายมีค่า 40 องศา ลดลงเหลือ 5 องศา ข้อศอกอยู่ในลักษณะงอ และค่อยๆเหยียดตรง

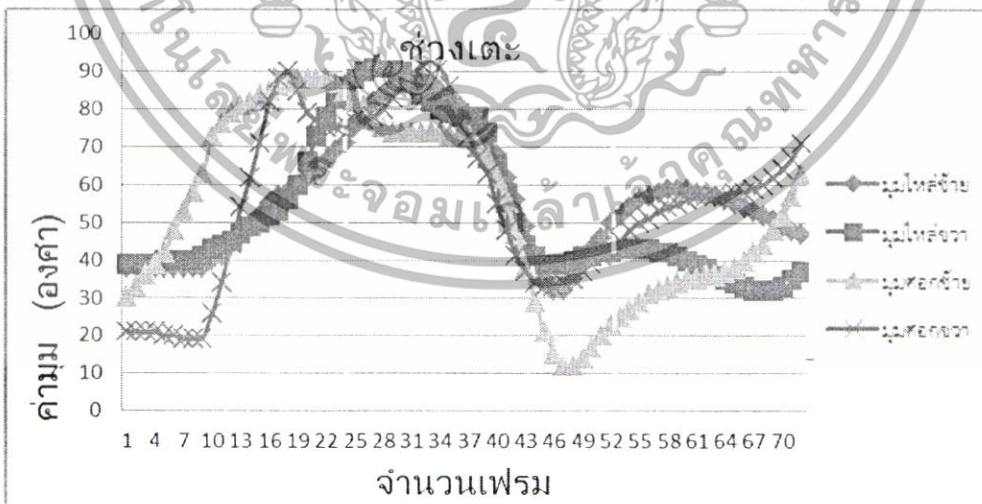
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นักกีฬาคนที่ 4



รูปที่ 4.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเร็วของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะคอนเนอร์ นักกีฬาคนที่ 4

รูปที่ 4.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเร็วของมุมหัวเข่า และข้อเท้าขณะเตะคอนเนอร์ นักกีฬาคนที่ 4 พบว่าช่วงนักกีฬาคนที่ 4 เตะบอล ความเร็วข้อเท้าขวามีค่า 0 องศา และความเร็วเข้าขวามีค่า 0 องศา ในจุดที่เท้าสัมผัสบอล เนื่องจากขณะที่เท้าสัมผัสบอลเท้าอยู่ในลักษณะตั้งฉากกับหน้าแข้ง และหัวเข่าอยู่ในลักษณะเหยียดตรง เป็นการบังคับเพื่อทำให้ลูกบอลไปในทิศทางที่นักกีฬากำหนด

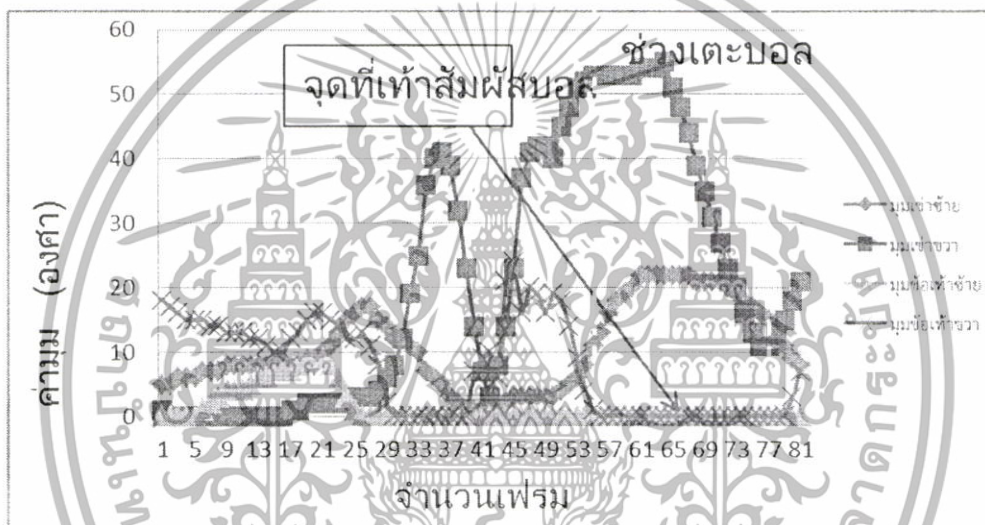


รูปที่ 4.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเร็วของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะคอนเนอร์ นักกีฬาคนที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่านมของนมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะคอนเนอร์ นักกีฬาคนที่ 4 พบว่าค่านมหัวไหล่ขามีค่า 90 องศา ลดลงเหลือ 40 องศา หัวไหล่อยู่ในลักษณะแกว่งแขนออกนอกลำตัว และเมื่อค่านมลดลงแขนค่อยๆ แกว่งกลับเข้ามาหาลำตัว และค่านมข้อศอกขวา 92 องศา ลดลงเหลือ 35 องศา ข้อศอกอยู่ในลักษณะงอข้อศอกและเมื่อมุลดลงข้อศอกจะค่อยๆเหยียดออกนอกลำตัว ส่วนค่านมที่หัวไหล่ซ้ายมีค่า 88 องศา ลดลงเหลือ 30 องศา หัวไหล่ซ้ายอยู่ในลักษณะแกว่งแขนออกนอกลำตัว และเมื่อค่านมลดลงหัวไหล่อยู่ลักษณะแกว่งเข้าหาลำตัว และนมข้อศอกซ้ายมีค่า 88 องศา ลดลงเหลือ 10 องศา ข้อศอกอยู่ในลักษณะงอ และค่อยๆ เหยียดตรง

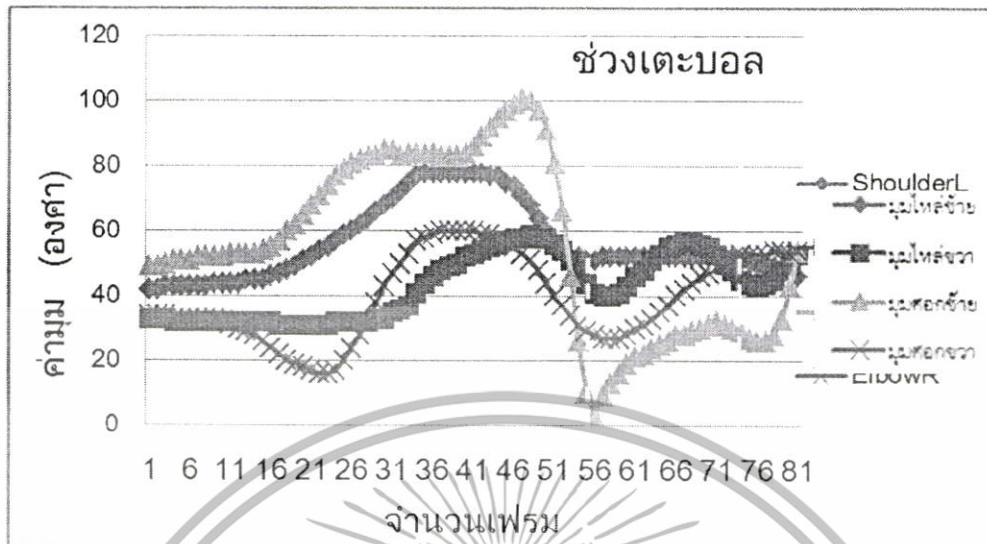
นักกีฬาคนที่ 5



รูปที่ 4.57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่านมของนมหัวเข้า และข้อเท้าขณะเตะคอนเนอร์นักกีฬาคนที่ 5

รูปที่ 4.57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่านมของนมหัวเข้า และข้อเท้าขณะเตะคอนเนอร์ นักกีฬาคนที่ 5 พบว่าช่วงนักกีฬาคนที่ 5 เตะบอล ค่านมข้อเท้าขวามีค่า 10 องศา และค่านมเข้าขวามีค่า 10 องศา ในจุดที่เท้าสัมผัสบอล เนื่องจากขณะที่เท้าสัมผัสบอลเท้าอยู่ในลักษณะตั้งฉากกับหน้าแข้ง และหัวเข้าอยู่ในลักษณะเหยียดตรง เป็นการบังคับเพื่อให้ลูกบอลไปในทิศทางที่นักกีฬา กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะคอนเนอร์ นักกีฬาคนที่ 3

จากรูปที่ 4.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามุมของมุมหัวไหล่ และข้อศอกขณะเตะคอนเนอร์ นักกีฬาคนที่ 5 พบว่าค่ามุมหัวไหล่ขวามีค่า 40 องศา เพิ่มขึ้นเป็น 56 องศา หัวไหล่ซ้ายอยู่ในลักษณะแกว่งแขนออกนอกลำตัว และเมื่อค่ามุมเพิ่มขึ้นแขนค้อยๆแกว่งออกนอกลำตัวมากขึ้น และค่ามุมข้อศอกขวา 30 องศา เพิ่มขึ้นเป็น 55 องศา ข้อศอกอยู่ในลักษณะงอข้อศอกและเมื่อมุมเพิ่มขึ้นข้อศอกจะค้อยๆงอเขานาลำตัวมากขึ้น ส่วนค่ามุมที่หัวไหล่ซ้ายมีค่า 55 องศาครั้งที่ หัวไหล่ซ้ายอยู่ในลักษณะแกว่งแขนออกนอกลำตัว และมุมข้อศอกซ้ายมีค่า 0 องศา ลดลงเหลือ 30 องศา ข้อศอกอยู่ในลักษณะเหยียดตรง และค้อยๆ งอเขานาลำตัว

4.5 อธิบายผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าค่ามุมที่ผิดพลาดเกิดจากการสวมใส่เสื้อผ้าที่หลวม หรือมีวัสดุมาบดบังบริเวณข้อต่อที่กล้อง Kinect ตรวจจับ และแสงที่สว่างมากเกินไป หรือมืดมากเกินไปมีผลต่อการทำงานของกล้อง Kinect ส่งผลให้โปรแกรมเกิดความผิดพลาด ระบบนี้ควรใช้ในห้อง หรือในสถานที่ที่มีแสงสว่างเหมาะสม

งานวิจัยนี้เหมาะสมที่จะวัดมุมข้อต่อ และความสูงของสะโพกขณะผู้เข้าร่วมเคลื่อนไหวร่างกายในท่าทางต่างๆ ซึ่งแตกต่างจากการใช้เครื่องวัดมาตรฐานที่ใช้วัดได้ในขณะที่ผู้เข้าร่วมแสดงท่าทางต่างๆ ขณะอยู่นิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการวิเคราะห์ความผิดปกติของท่าทาง การเคลื่อนไหวของร่างกายโดยเซ็นเซอร์ 3 มิติ ชนิดไม่สัมผัส และการวัดนี้มีการตรวจจับตามเวลาจริงโดยใช้กล้อง Kinect จากผลของการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า หลังจากทำการตรวจจับระบบพิกัดของตำแหน่งของข้อต่อต่าง สามารถใช้คำนวณมุมของข้อต่อ คือ มุมที่หัวไหล่ ข้อศอก และหัวเข่า ด้วยวิธีการหาขนาดของมุมระหว่างเวกเตอร์ 2 เวกเตอร์ ซึ่งมุมที่คำนวณได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่ามุมที่วัดได้จากเครื่องมือมาตรฐาน goniometer เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของระบบ และสามารถวัดความสูงจากกล้อง Kinect การวัดด้วยวิธีนี้ยังนำไปตรวจจับผู้ป่วย หรือผู้ที่เกิดอุบัติเหตุ และการเตะบอลของนักฟุตบอลในท่าทางที่กำหนด

จากผลการทดลองที่ 1 เปรียบเทียบค่ามุมระหว่างเครื่องวัด Goniometer กับระบบ พบว่าความแตกต่างระหว่าง 2 เครื่องมือ แตกต่างกันไม่เกิน 5 องศา ซึ่งค่ามุมที่วัดได้จากระบบก็มีค่าใกล้เคียงกับที่วัดได้จาก Goniometer จากผลการทดลองทำให้ทราบว่ามุมที่หัวไหล่มีความแตกต่างมากที่สุด เนื่องจากผู้ถูกทดสอบสวมใส่เสื้อผ้าที่ตัวใหญ่ทำให้เกิดความผิดพลาดเมื่อวัดด้วยระบบ

จากผลการทดลองที่ 2 การเปรียบเทียบค่ามุมของผู้ที่มีอาการบาดเจ็บกับผู้ที่ไม่มีอาการบาดเจ็บ พบว่า ผู้เข้าร่วมคนที่ 5 เคยมีอาการเอ็นฉีกที่เข่าซ้ายค่ามุมเข่าซ้ายมีค่ามากกว่าเข่าขวา 5 องศา ซึ่งสอดคล้องกับประวัติการป่วยส่งผลให้ขาข้างขวารับน้ำหนักมากกว่าขาข้างซ้าย ทำให้มุมเข่าข้างขวาน้อยกว่าเข่าข้างซ้าย ส่วนค่ามุมที่บริเวณหัวไหล่ซ้ายและขวามีค่าแตกต่างกัน 1 องศา และข้อศอกมีค่าแตกต่างกัน 1 องศา โดยที่หัวไหล่และข้อศอกไม่เคยได้รับบาดเจ็บ

จากผลการทดลองที่ 3 การวัดค่ามุมของผู้ที่มีอาการบาดเจ็บ พบว่าผู้ป่วยที่มีอาการเจ็บปวดที่อวัยวะส่วนใดจะมีค่ามุมในการเคลื่อนไหวน้อยกว่าค่ามุมของคนทั่วไป จากผลการทดลองผู้ป่วยที่มีอาการกระดูกทับเส้นประสาทพบว่าค่าความสูงของสะโพกซ้ายและขวา ไม่เท่ากันห่างกัน 0.6 เซนติเมตร ผู้ป่วยที่มีอาการปวดหลัง ปวดบั้นเอวซ้ายมีค่ามุมหัวเข่าทั้งสองข้างแตกต่างกันเกือบ 20 องศา เนื่องจากเกิดอาการเจ็บเข่าแล้วทิ้งไว้เป็นเวลานานจะทำให้ผู้ป่วยเกิดความเคยชินที่จะไม่ลงน้ำหนักตัวที่เข่าข้างที่เจ็บจึงส่งผลทำให้สะโพกข้างขวาถูกใช้งานมากและแข็งแรง ส่วนสะโพกข้างซ้ายค่อยๆ อ่อนแรงลง และยกตัวขึ้นในที่สุดทำให้ผู้ป่วยมีอาการปวดหลังและบั้นเอว และผู้ป่วยที่มีอาการปวดเข่าพบว่าค่ามุมที่เข่าข้างขวามีค่ามุมมากกว่าค่ามุมเข่าข้างซ้ายอยู่ประมาณเกือบ 50 องศา ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบว่าผู้ป่วยยังมีปัญหาที่เข่าซ้ายที่เคยรับการผ่าตัดสองข้าง โดยยังไม่สามารถที่จะงอได้อย่างเต็มที่ แต่เข่าข้างขวาก็มีอาการปวดยังสามารถงอได้อย่างปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองที่ 4 การวัดค่ามุมของนักฟุตบอลขณะเตะบอลใน 5 ท่าทาง คือ เตะแปบอล เตะวอลเลย์ เตะหลังเท้า เตะฟรีคิกบอล และเตะคอนเนอร์บอล พบว่าท่าเตะแป และท่าเตะมูมีค่ามุม 0 องศา เนื่องจากข้อเท้าอยู่ในลักษณะตั้งฉากกับหน้าแข้ง แต่ขนานกับพื้น ท่าเตะหลังเท้า วอลเลย์ และฟรีคิก มีค่ามุมบริเวณข้อเท้ามากกว่า 0 องศา เนื่องจากข้อเท้าอยู่ในลักษณะจิกปลายเท้าได้ ด้านหลัง

งานวิจัยนี้สามารถวัดมุมขณะเคลื่อนไหวบริเวณข้อต่อได้หลายข้อต่อ และความสูงของสะโพกได้ในเวลาเดียวกัน ซึ่งแตกต่างจากการวัดด้วยเครื่องวัดมุมมาตรฐานที่วัดค่ามุมได้เพียงข้อต่อเดียว และไม่สามารถวัดค่ามุมขณะผู้เข้าร่วมเคลื่อนไหว ระบบนี้สามารถนำไปวิเคราะห์ความผิดปกติของผู้เข้าร่วม และการเคลื่อนไหวของนักฟุตบอล ซึ่งระบบนี้เหมาะต่อการวัดมุมบริเวณข้อต่อ และความสูงของสะโพกขณะเคลื่อนไหวร่างกาย

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อจำกัดของงานวิจัยฉบับนี้ คือ ทางผู้วิจัยทำการทดลองการวัดมุมด้วยกล้อง Kinect ซึ่งมีหลักการทำงานโดยการยิงลำแสงอินฟราเรสไปยังผู้เข้าร่วม กล้อง Kinect มีตัวรับแสงอินฟราเรสที่สะท้อนกลับมา ซึ่งหากผู้เข้าร่วมสวมใส่เสื้อผ้ากางเกงที่มีขนาดใหญ่หรือหลวมมากเกินไป จะส่งผลให้ค่าที่วัดได้มีความผิดพลาด และในขณะที่วัดไม่ควรให้ผู้คนเดินผ่านไปผ่านมาควรเป็นฉากปิดด้านหลัง เพื่อไม่ให้กล้องตรวจจับผู้อื่นที่ไม่ต้องการวัด งานวิจัยนี้ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ร่วมกับนักกายภาพบำบัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สถานพยาบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. “ข้อไหล่ติด (Frozen Shoulder).” [Online]. Available : <http://www.inf.ku.ac.th/article/diag/491204/.2550>.
- [2] โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์. “โรคข้อเข่าเสื่อม.” [Online]. Available : <https://www.bumrungrad.com/th/joint-replacement-surgery-center-bangkok-thailand/knee-osteoarthritis.2557>.
- [3] องค์การอนามัยโลก. “สถิติการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุบนท้องถนนทั่วโลก.” [Online]. Available : <http://ts2.thairsc.com/eng/.2558>.
- [4] Wikipedia. “Goniometer.” [Online]. Available : <https://en.wikipedia.org/wiki/Goniometer.2558>.
- [5] K. Berger, K. Ruhl, Y. Schroeder, C. Bruemmer, Al. Scholz, and M. Magnor, “Markerless Motion Capture using multiple Color-Depth Sensors” Proc. Vision, Modeling and Visualization ; Oct. 2011, pp. 317-324.
- [6] Igorevich, R.R, Ismoilovich, E.P. and Min, D., 2011, “Behavioral Synchronization of Human and Humanoid Robot”, 8th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, Incheon at Korea, November 23-26. pp. 655 - 660.
- [7] Microsoft. “คุณสมบัติของกล้อง Kinect.” [Online]. Available : http://mcu56.learninginventions.org/?page_id=244.2257.
- [8] สุรธี สุทัศน์ ณ อยุธยา. กายวิภาคศาสตร์ระบบการเคลื่อนไหว. ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2533
- [9] C-Motion. “เครื่อง Visual 3DTM ของบริษัท C-Motion.” [Online]. Available : <http://www.c-motion.com/products/visual3d/.2553>.
- [10] The Motion monitoring. “เครื่อง Motion monitoring ของบริษัท The Motion Monitoring.” [Online]. Available : <http://www.innsport.com/.2011>.
- [11] Qualisys Medical AB. “เครื่อง Qualisys ของบริษัท Qualisys Medical AB และแสดงภาพจำลองในภาพสามมิติ.” [Online]. Available : <http://www.qualisys.com/products/.2013>.
- [12] Marian Medical. “เครื่อง 3D Real Time Gait Analysis on Treadmill or Walk.” [Online]. Available : <http://www.marianimedical.it/it/?item=102.2558>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [13] Kanyanut Piroonrat and Guitared Amagedon. "Microsoft Kinect Sensor."
[Online]. Available : http://mcu56.learninginventions.org/?page_id=244.2556.
- [14] ทีมงานทรูปลูกปัญญา. "สูตรผลรวมของเวกเตอร์." [Online]. Available :
http://www.trueplookpanya.com/new/cms_detail/knowledge/27415-039854/.2556
- [15] เฉลิมพล. "ระบบภาพเคลื่อนไหวสำหรับการวิเคราะห์การเดินของมนุษย์."
วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า,
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2553.
- [16] D. Alexiadis, P. Kelly, P. Daras, N. E. O'Connor, T. Boubekeur, and M. B. Moussa,
"A Dancer's Performance using Kinect-based Skeleton Tracking."
Proceedings of the 19th ACM international conference on Multimedia, Nov.
2011, pp. 659-662.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้