

## บทที่ 4 วิธีการทดลอง

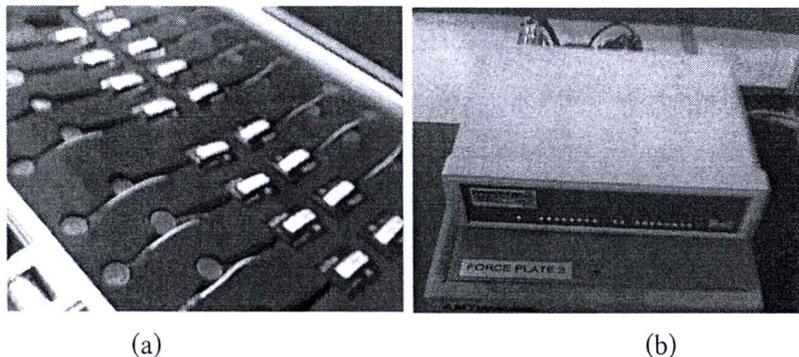
วิทยานิพนธ์นี้มีการทดลองอยู่สองช่วงด้วยกัน การทดลองแรกเป็นการหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการจำแนกกลุ่มสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อในการเดิน และการทดลองที่สองคือการนำวิธีลดมิติข้อมูลที่ได้ดังกล่าววิธีประยุกต์ใช้กับการจำแนกกลุ่มสัญญาณเพื่อบ่งบอกสภาพพื้นผิวในการเดิน

### 4.1 ขั้นตอนการทดลองวิเคราะห์ประสิทธิภาพวิธีการลดมิติข้อมูลสำหรับการจำแนกเฟสการเดิน

การทดลองนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีลดมิติข้อมูลแต่ละวิธีในงานจำแนกรูปแบบสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของการเดินเพื่อบ่งบอกเฟสของการเดิน ณ ขณะเวลานั้นของผู้ใช้ อันประกอบไปด้วยสองเฟสคือ Swing Phase และ Stance Phase โดยใช้ Support Vector Machine เป็นตัวจำแนกกลุ่ม เป้าหมายของการทดลองนี้คือการเปรียบเทียบวิธีการลดมิติของข้อมูลที่ได้เลือกมาทดสอบเพื่อศึกษาว่าวิธีการใดจะให้ค่าความแม่นยำในการจำแนกมากที่สุด และเปรียบเทียบว่าวิธีใดให้ค่าความแยกตัวของกลุ่มข้อมูลหลังการแปลงดีที่สุด

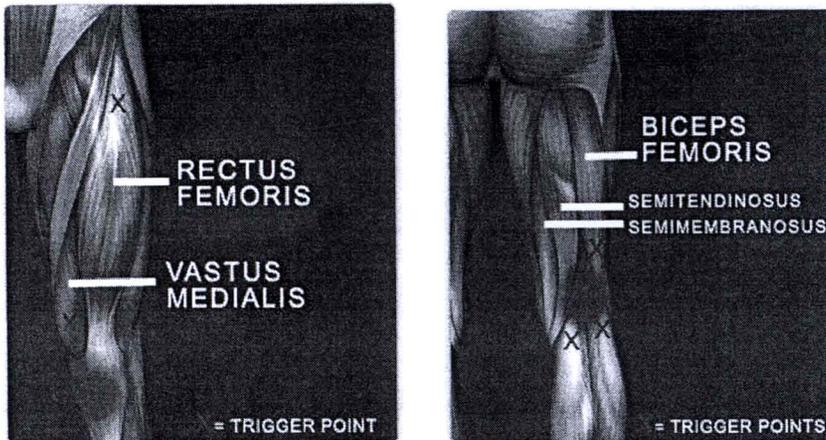
#### 4.1.1 การบันทึกข้อมูล

สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่นำมาทดลองนี้เป็นสัญญาณที่เก็บบันทึกมาจากอาสาสมัครที่มีร่างกายแข็งแรงด้วยอุปกรณ์วัดสัญญาณกล้ามเนื้อ ZeroWire ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อแบบไร้สายของบริษัท Noraxon ประกอบไปด้วยอิเล็กโทรดที่จะใช้ติดกับตัวอาสาสมัครเป็นภาคส่งสัญญาณ ดังแสดงในรูป 4.1 (a) และมีกล่องรับสัญญาณเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ดังในรูปที่ 4.1 (b)

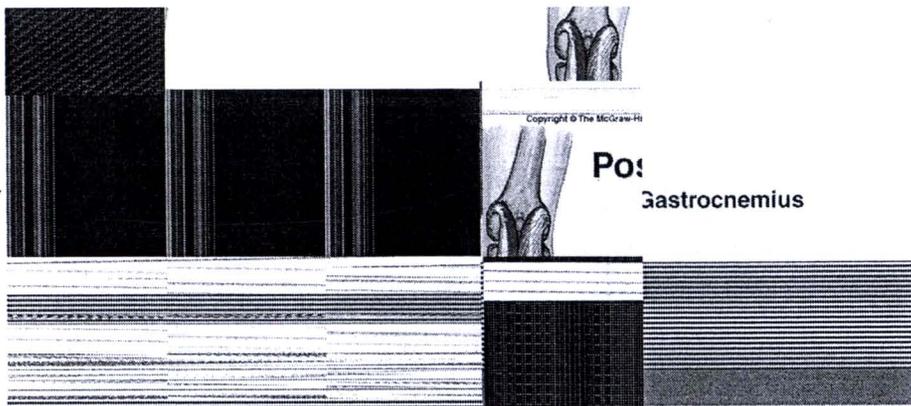


รูปที่ 4.1 อุปกรณ์วัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อแบบไร้สาย (ZeroWire)

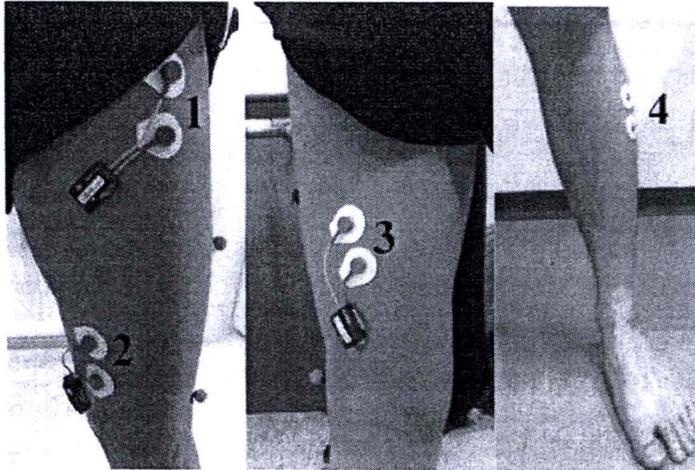
บริเวณกล้ามเนื้อที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบไปด้วย 4 มัด คือ 1).Rectus Femoris 2).Semitendinosus 3).Tibialis Anterior และ 4). Gastrocnemius Medialis ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 อิเล็กโทรดที่ใช้เป็นประเภท Ag-AgCl ซึ่งมีตำแหน่งการติดอิเล็กโทรดของแต่ละมัดกล้ามเนื้อนั้นเป็นไปตามรูปที่ 4.4 โดยเครื่อง ZeroWire จะทำการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อด้วยอัตราการสุ่มตัวอย่างเท่ากับ 1,500 เฮิร์ต แล้วส่งค่าออกมาเป็นข้อมูลดิจิทัล 16 บิต อาสาสมัครจะถูกบอกให้เดินเท้าเปล่าอย่างผ่อนคลายด้วยความเร็วปกติไปบนพื้นแข็งความยาว 10 เมตร ซึ่งมีแผ่นวัดแรงอยู่ที่พื้น 3 แผ่น ทำหน้าที่ตรวจจับจังหวะที่ส้นเท้ากระทบพื้น (Heel Strike) และจังหวะยกปลายเท้าออกจากพื้น (Toe Off) รูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นถึงจังหวะการก้าวเดินของอาสาสมัครที่เป็นจังหวะ Stance Phase ของเท้าซ้าย ในขณะที่กำลังจะเริ่มเข้าสู่จังหวะยกปลายเท้าออกจากพื้นของเท้าขวา



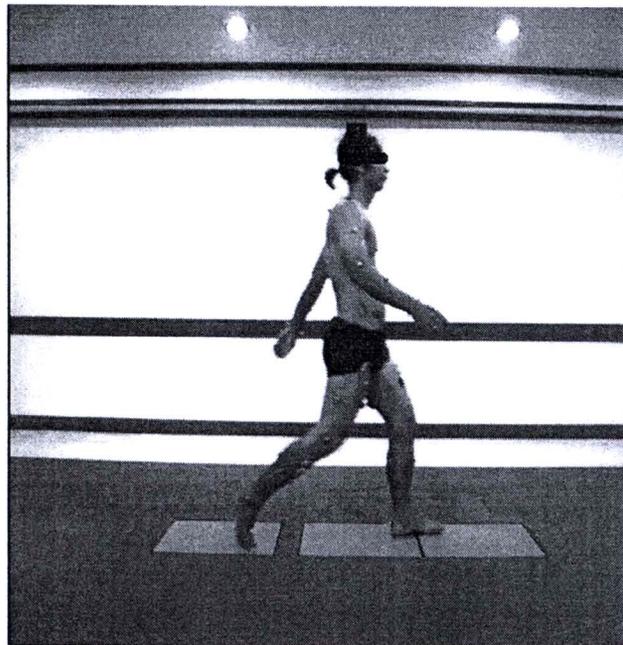
รูปที่ 4.2 บริเวณกล้ามเนื้อ Rectus Femoris และ Semitendinosus



รูปที่ 4.3 บริเวณกล้ามเนื้อ Tibialis Anterior และ Gastrocnemius Medialis

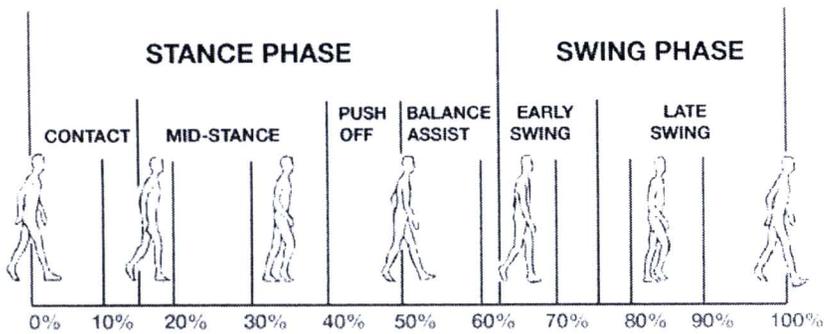


รูปที่ 4.4 ตำแหน่งการติดอิเล็กโทรดบนขาข้างซ้าย (1) Rectus Femoris (2) Semitendinosus (3) Gastrocnemius Medialis และ (4) Tibialis Anterior

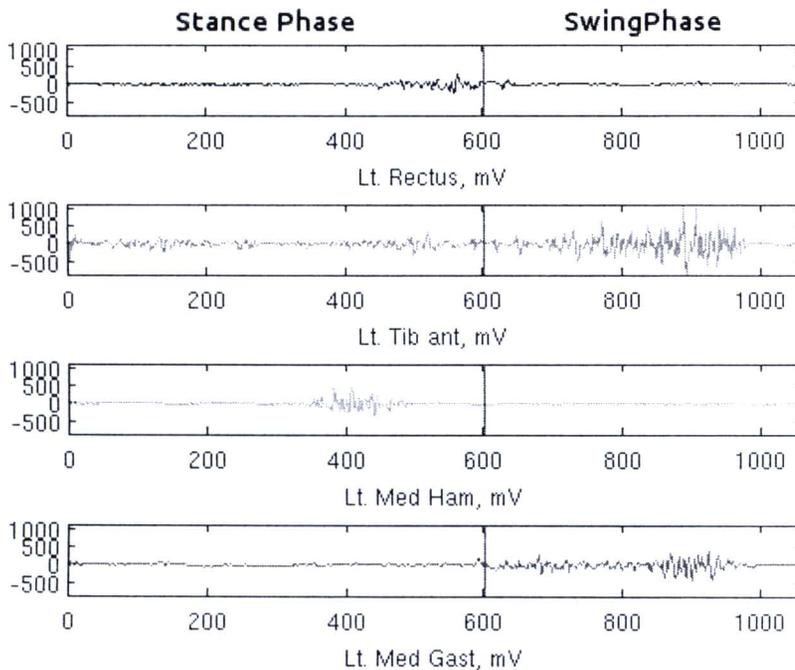


รูปที่ 4.5 อาสาสมัครเดินเหยียบบนแผ่นวัดแรง

เมื่อทำการบันทึกสัญญาณเสร็จสิ้นแล้ว ข้อมูลทั้งหมดจะถูกนำมากำหนดหมายเลขกลุ่มด้วยมือ โดยแต่ละเฟสนั้นถูกแบ่งออกดังเช่นแสดงในรูปที่ 4.6 กำหนดให้เลขกลุ่มของเวลาที่สัญญาณอยู่ในช่วง Stance Phase มีค่าเท่ากับ -1 และกำหนดให้กลุ่มของสัญญาณในช่วง Swing Phase มีค่าเท่ากับ 1 รูปที่ 4.7 แสดงตัวอย่างสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของขาข้างซ้ายในการเดินหนึ่งช่วงวงจร เส้นสีแดงตรงตำแหน่ง  $t = 600$  คือเส้นแบ่งระหว่าง Stance Phase กับ Swing Phase



รูปที่ 4.6 ช่วงเวลา Stance Phase และ Swing Phase ในท่าทางการเดินปกติ [14]



รูปที่ 4.7 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขาข้างซ้าย

#### 4.1.2 การประมวลผลสัญญาณ

ขั้นตอนการประมวลผลสัญญาณในการทดลองเป็นไปตามแผนภูมิสายงานในรูปที่ 4.8 โดยหลังจากทำการแบ่งข้อมูลสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อออกเป็นสองกลุ่มคือ Stance Phase และ Swing Phase แล้วข้อมูลทั้งหมดจะถูกนำมาสกัดค่าลักษณะเด่นภายใต้แบบแผนการเคลื่อนที่หน้าต่างดังรูปที่ 3.3 กำหนดให้ขนาดหน้าต่างมีค่า  $N = 256$  และเคลื่อนที่หน้าต่างไปที่ละ 128 ข้อมูล ลักษณะเด่นที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบไปด้วยลักษณะเด่นเชิงเวลา 8 ชนิด และลักษณะเด่นเชิงความถี่อีก 2 ชนิด ดังนี้

### ลักษณะเด่นเชิงเวลา

1. Mean Absolute Value (MAV)
2. Slope Sign Changes (SSC)
3. Waveform Length (WL)
4. Willison Amplitude (wAmp)
5. Variance (VAR)
6. Root Mean Square (RMS)
7. log-Detector (logDetect)
8. Zero Crossing (ZC)



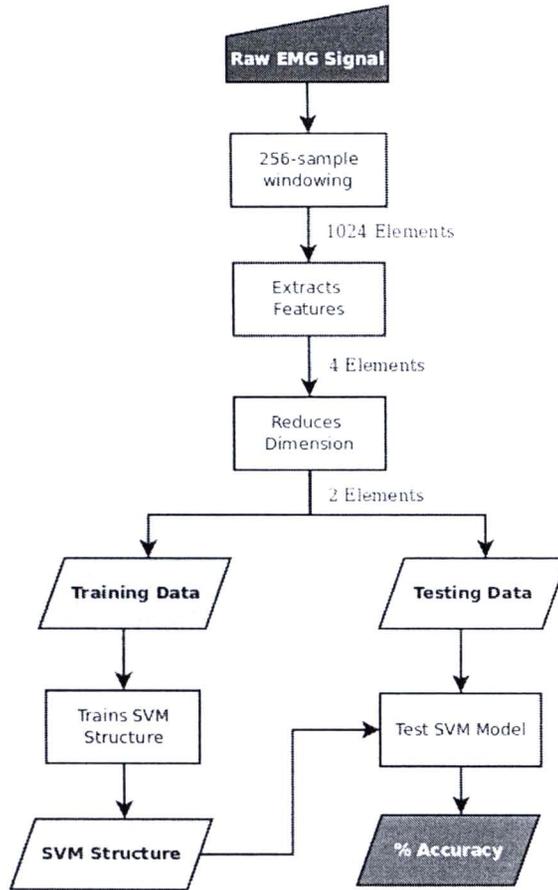
### ลักษณะเด่นเชิงความถี่

9. Median Frequency (MDF)
10. Mean Frequency (MNF)

ผลลัพธ์เวกเตอร์ลักษณะเด่นที่ได้ออกมาจากกระบวนการดังกล่าวจะมีขนาดเท่ากับ 4 มิติ ในขั้นตอนถัดไปถูกนำไปลดมิติลงให้เหลือ 2 มิติด้วยวิธีลดมิติข้อมูลจำนวนทั้งสิ้น 8 วิธี คือ

1. Principle Component Analysis (PCA)
2. Neighborhood Components Analysis (NCA)
3. Maximally Collapsing Metric Learning (MCML)
4. Locality Preserving Projection (LPP)
5. Neighborhood Preserving Embedding (NPE)
6. Gaussian Process Latent Variable Model (GPLVM)
7. Generalized Discriminant Analysis (GDA)
8. Kernel Principle Component Analysis (kPCA)

ดังนั้นข้อมูลที่เป็นอินพุตสำหรับระบบในแต่ละวิธีลดมิติข้อมูลจะมีจำนวนวิธีละ 10 ชุด รวมทั้งหมดจะได้ข้อมูล 80 ชุด จากข้อมูลที่เหลือเพียง 2 มิติแล้วนั้น กลุ่มข้อมูลนี้จะถูกแบ่งออกเป็นสองเซตเท่าๆกัน โดยเซตแรกจะนำไปใช้สำหรับเรียนรู้โมเดล SVM และอีกเซตจะถูกเก็บไว้ใช้สำหรับทดสอบโมเดลที่สร้างขึ้นมา โมเดลแต่ละโมเดลที่สร้างขึ้นจะใช้สำหรับทดสอบการจำแนกข้อมูลอินพุต 1 ชุดรวมแล้วจะมีทั้งหมด 80 โมเดล เช่นเดียวกับจำนวนชุดอินพุตที่นำมาทดสอบ ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบระบบคือค่าความแม่นยำในการจำแนกกลุ่มคิดเป็นร้อยละ



รูปที่ 4.8 แผนภาพขั้นตอนการทดลองหาประสิทธิภาพขั้นตอนวิธีลดมิติข้อมูล

นอกจากการวัดค่าความแม่นยำแล้ว การทดลองนี้จะทำการคำนวณค่าความแยกตัวของกลุ่มหลังจากที่ทำการลดมิติข้อมูลลงเหลือ 2 มิติ โดยอาศัยตัวบ่งชี้สองค่า คือ Fisher's Index (J) และ Thornton's Separability Index (SI) เพื่อดูถึงผลลัพธ์ของแต่ละวิธีลดมิติข้อมูลว่าวิธีใดให้ความแยกตัวที่ดีที่สุด

#### 4.2 ขั้นตอนการทดลองจำแนกสภาพพื้นผิวการเดิน

ผลจากการทดลองในหัวข้อ 4.1 จะทำให้ได้วิธีที่มีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับนำมาประยุกต์ใช้กับจำแนกกลุ่มสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของการเดิน ในการทดลองนี้จะนำเอาวิธีดังกล่าวมาใช้สำหรับจำแนกลักษณะสภาพพื้นผิวในการเดิน ได้แก่ พื้นเรียบ ขึ้นบันได และลงบันได รวมถึงการทดสอบการทำงานบนระบบฝังตัว

### 4.2.1 การบันทึกข้อมูล

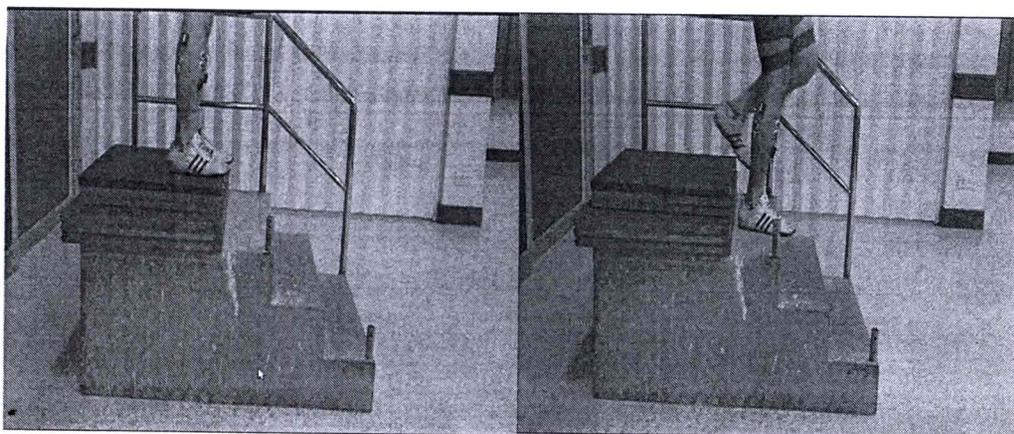
การติดตั้งอิเล็กโทรดและอุปกรณ์การบันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อในการทดลองนี้อยู่ในลักษณะเดียวกันกับการทดลองที่ 4.1 คือ ทำการบันทึกจาก 4 มัดกล้ามเนื้อของขาทั้งสองข้าง ประกอบไปด้วย

1. Rectus Femoris
2. Semitendinosus
3. Tibialis Anterior
4. Gastrocnemius Medialis

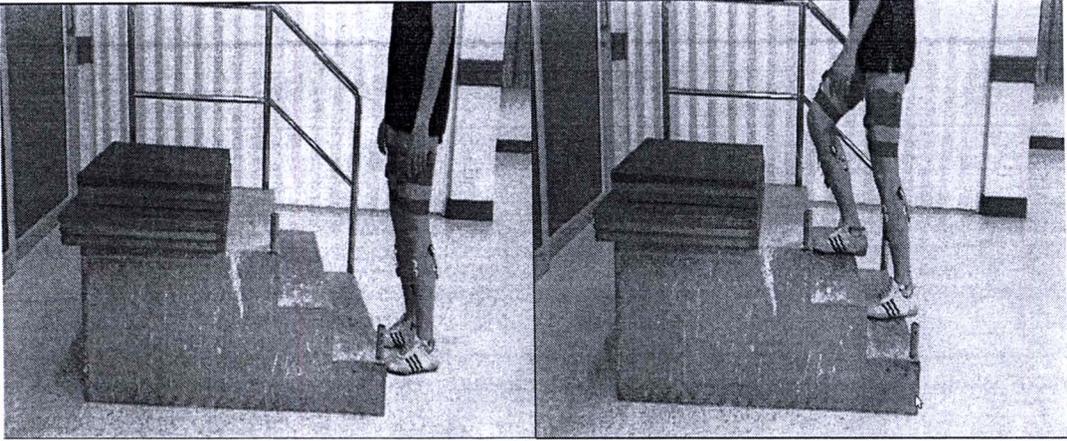
แต่ในการทดลองนี้อาสาสมัครจะทำการเดินบนอย่างสบายบนสภาพพื้นผิวที่แตกต่างกัน 3 ลักษณะคือ

1. เดินบนทางเรียบ
2. เดินขึ้นบันได
3. เดินลงบันได

สำหรับการเดินขึ้นและลงบันได อาสาสมัครจะเริ่มต้นจากการยืนนิ่งแล้วก้าวขาไปยังขั้นบันได ดังในรูปที่ 4.9 และ 4.10 เป็นท่าทางการเดินลงบันไดของอาสาสมัครในจังหวะเริ่มก้าวลงบันไดและขึ้นบันไดตามลำดับ



รูปที่ 4.9 จังหวะการเดินลงบันไดของอาสาสมัคร



รูปที่ 4.10 จังหวะการเดินขึ้นบันไดของอาสาสมัคร

#### 4.2.2 การประมวลผลสัญญาณ

ข้อมูลสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่บันทึกได้จะแบ่งออกเป็นสองเซตสำหรับเรียนรู้ระบบและทดสอบระบบตามลำดับ สัญญาณดังกล่าวจะถูกนำมาสกัดลักษณะเด่นทั้งหมด 10 ประเภท เช่นเดียวกับการทดลองในหัวข้อที่ 4.1 ต่อจากนั้นจะนำวิธี NCA มาทำการลดมิติข้อมูลในแต่ละเวกเตอร์ลักษณะเด่นจาก 4 มิติ ให้คงเหลือเพียง 2 มิติ แล้วนำข้อมูลในเซตสำหรับเรียนรู้ไปสร้าง โมเดล SVM และทดสอบหาร้อยละความแม่นยำจากข้อมูลในเซตทดสอบ ท้ายที่สุดจะนำโมเดลที่สร้างขึ้นมาได้ไปปรับใช้กับระบบฝังตัวเพื่อทดสอบในส่วนของเวลาประมวลผล