

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

ในบทที่ 3 นี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 2 ส่วน โดยที่เนื้อหาในส่วนแรกอธิบายถึงขั้นตอนสำหรับการดำเนินงานวิจัยที่เป็นการสร้างแบบจำลองการเดินด้วยโปรแกรมและการทดสอบการเดินในห้องปฏิบัติการ และในส่วนที่สองเป็นการอธิบายถึงขั้นตอนในการออกแบบการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อออกแบบอุปกรณ์ช่วยเดินที่สามารถช่วยลด KAM ที่เกิดขึ้นในขณะเดิน โดยที่ในขั้นตอนของการออกแบบจะใช้แบบจำลองซึ่งสร้างด้วยโปรแกรม Adams life module เพื่อคำนวณ KAM ที่เปลี่ยนไปเมื่อมีการใช้อุปกรณ์ช่วยเดินที่มีลักษณะแตกต่างกัน จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองไปใช้สำหรับการออกแบบอุปกรณ์ ซึ่งการออกแบบจะใช้หลักการในการย้ายตำแหน่ง CoP จากด้าน Medial ไปยังด้าน Lateral หรือที่เรียกว่า “Medial shifted CoP” จากนั้นเมื่อได้แบบของอุปกรณ์ช่วยเดินมาแล้วจะนำแบบที่ได้ไปสร้างเพื่อนำตัวอย่างไปใช้ในเดินเพื่อทดสอบในห้องปฏิบัติการ Gait analysis อีกครั้ง ดังนั้นขั้นตอนสำหรับดำเนินงานวิจัยนี้สามารถแบ่งขั้นตอนในการดำเนินงานออกได้เป็น 5 ขั้นตอนดังนี้คือ

3.1.1 การเก็บข้อมูลการเดิน

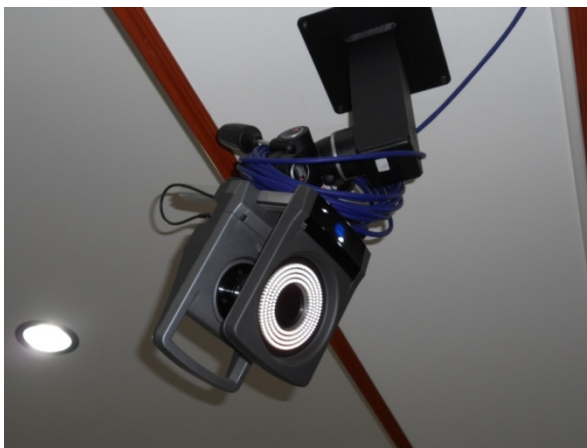
การเก็บข้อมูลการเดินเป็นการบันทึกการเปลี่ยนตำแหน่งของร่างกายส่วนต่างๆเทียบกับเวลา โดยการเก็บข้อมูลการเดินจะทำในห้องปฏิบัติการ Gait analysis ซึ่งในการวิเคราะห์ข้อมูลการเดินจะนำข้อมูลที่แสดงการเคลื่อนที่ของร่างกายมารวมเข้ากับแรง GRF ที่วัดได้จาก Force plate โดยการเคลื่อนไหวของร่างกายจะถูกบันทึกด้วยระบบ VICON system ซึ่งเป็นระบบที่ใช้สำหรับการเก็บข้อมูลการเคลื่อนไหวโดยจะประกอบไปด้วยกล้อง Optical camera ที่ใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนที่ของ Optical marker ทรงกลมที่ถูกติดเอาไว้ตามร่างกายของผู้ร่วมการทดสอบการเดิน จากนั้นข้อมูลจะถูกนำไปประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ผ่านระบบคอมพิวเตอร์และข้อมูลที่ถูกประมวลผลแล้วจะถูกบันทึกเก็บไว้ในหน่วยความจำของระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้ ซึ่งระบบ VICON system ที่ใช้สำหรับการทดลองนี้คือรุ่น MX-F40 ที่จะประกอบไปด้วย Optical camera ทั้งหมด 8 ตัวสำหรับการเก็บข้อมูลการเคลื่อนไหวของร่างกายที่มีความถี่ 100 Hz นอกจากนี้ Force plate ของ AMTI ขนาด 508x438 mm. ทั้ง 3 แผ่นซึ่งจะถูกติดตั้งอยู่บนพื้นระหว่างเส้นทางที่ใช้ในการทดสอบการเดินโดยการเก็บข้อมูล GRF ด้วย Force plate จะเก็บข้อมูลด้วยควาถี่ 1,000 Hz



รูปที่ 3.1 แสดงไดอะแกรมขั้นตอนการทดลอง



รูปที่ 3.2 แสดงระบบ VICON system ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลการเคลื่อนไหวร่างกาย



รูปที่ 3.3 แสดงภาพ Optical camera



รูปที่ 3.4 แสดงภาพ Optical marker



รูปที่ 3.5 แสดงภาพ Force plate

ขั้นตอนในการเก็บข้อมูลการเดินจะประกอบไปด้วย

1. เก็บข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมทดสอบโดยการซักถามข้อมูลส่วนตัวของผู้เข้าร่วมทดสอบ เช่น อายุ, น้ำหนัก และส่วนสูง เป็นต้น พร้อมทั้งวัดขนาดของร่างกายส่วนต่างๆ เช่น ความยาวของขา, ความโค้งหรือผิครูปของข้อเข่า เป็นต้น



รูปที่ 3.6 แสดงการเก็บข้อมูลพื้นฐานของผู้ร่วมทดสอบโดยการชั่งน้ำหนักและวัดส่วนสูง



รูปที่ 3.7 แสดงการเก็บข้อมูลเบื้องต้นของผู้ร่วมทดสอบโดยการวัดความยาวของขา



รูปที่ 3.8 แสดงการเก็บข้อมูลเบื้องต้นของผู้ร่วมทดสอบโดยการวัดขนาดของข้อมือ

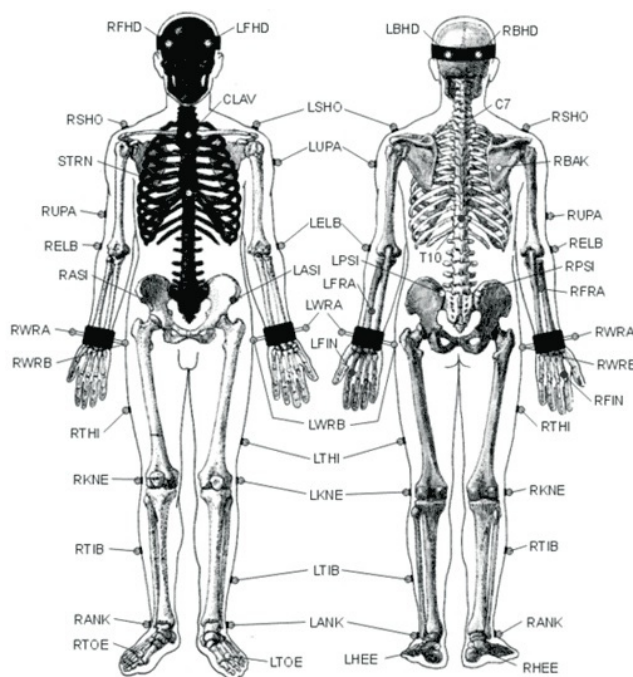


รูปที่ 3.9 แสดงการเก็บข้อมูลเบื้องต้นของผู้ร่วมทดสอบโดยการวัดขนาดของข้อเข่า

2. ติด Optical marker ลงบนร่างกายของผู้เข้าร่วมการทดสอบ โดยการติด Optical marker จะใช้เทปขาวที่ใช้เฉพาะในทางการแพทย์ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังของผู้เข้าร่วมทดสอบ สำหรับรูปแบบในการติด Optical marker จะใช้การติดด้วยวิธี Plug-in-gait marker set ซึ่งจะใช้ Optical marker ทั้งหมด 35 ชิ้น



รูปที่ 3.10 แสดงการติด Optical marker บนร่างกายของผู้ร่วมทดสอบ

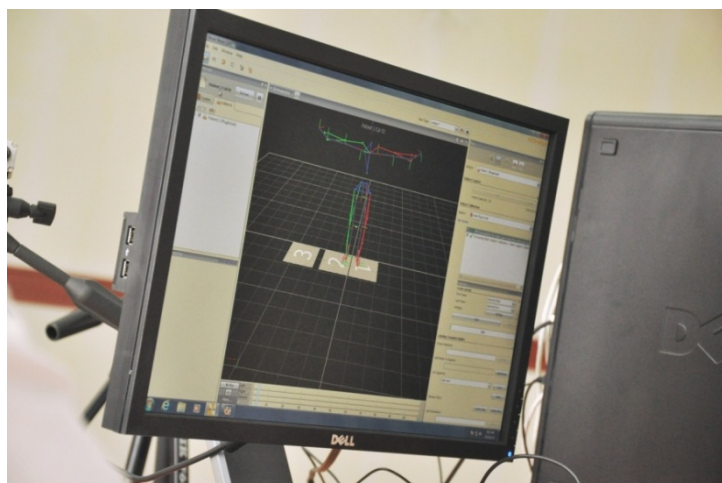


รูปที่ 3.11 แสดงตำแหน่งสำหรับติด Marker ด้วยวิธี Plug-in-gait marker set [24]

3. ทำ Static capture ซึ่งเป็นการให้ผู้ร่วมทดสอบยืนบน Force plate โดยเท้าหนึ่งข้างจะอยู่บน Force plate หนึ่งแผ่น โดยการยืนจะต้องทิ้งน้ำหนักตัวลงบนเท้าทั้งสองข้างให้เท่ากัน จากนั้นก็จะตรวจสอบและยืนยันตำแหน่งของ Marker แต่ละจุดที่แสดงในระบบคอมพิวเตอร์ให้ตรงตามตำแหน่งของ Marker แต่ละจุดที่ถูกติดบนร่างกายของผู้ร่วมทดสอบ



รูปที่ 3.12 แสดงการทำ Static capture โดยการยืนอยู่บน Force plate ด้วยการพยายามทิ้งน้ำหนักตัวทั้งหมดลงบนเท้าทั้ง 2 ข้างเท่าๆกัน



รูปที่ 3.13 แสดงการทำ Static capture โดยตำแหน่งของ Marker และ GRF จะถูกประมวลผลและแสดงให้เห็นผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

4. เริ่มทดสอบการเดินด้วยความเร็วในการเดินตามปกติของผู้ร่วมทดสอบ โดยในการเก็บข้อมูลการเดินสำหรับการทดลองนี้ต้องการข้อมูลที่เป็นการเดินทางอย่างสมบูรณ์ (Successful trial) ทั้งหมด 3 ครั้ง ซึ่งลักษณะข้อมูลการเดินที่สมบูรณ์นี้จะเกิดขึ้นในขณะที่ทำแต่ละข้างสัมผัสลงบนตำแหน่งกึ่งกลางของ Force plate และจะต้องไม่มีส่วนใดส่วนหนึ่งของเท้าอยู่นอกแผ่น Force plate ดังรูปที่ 3.14



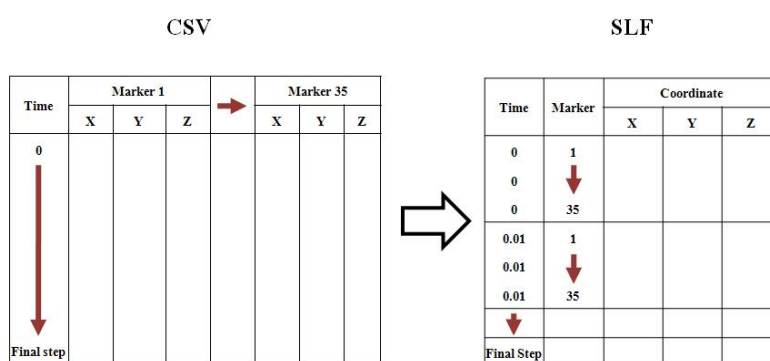
รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะการเดินที่เป็น Successful trial

3.1.2 สร้างแบบจำลองการเดิน 3 มิติด้วย Adams life module [25, 26]

แบบจำลองการเดิน 3 มิติจะถูกสร้างด้วยโปรแกรม Adams life module ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลองการเคลื่อนไหวของมนุษย์โดยอาศัยข้อมูลการเคลื่อนไหวร่างกายจากห้องปฏิบัติการ Gait analysis โดยที่ Adams life module เป็นเพียงส่วนหนึ่งของซอฟต์แวร์เสริมในโปรแกรม MSC

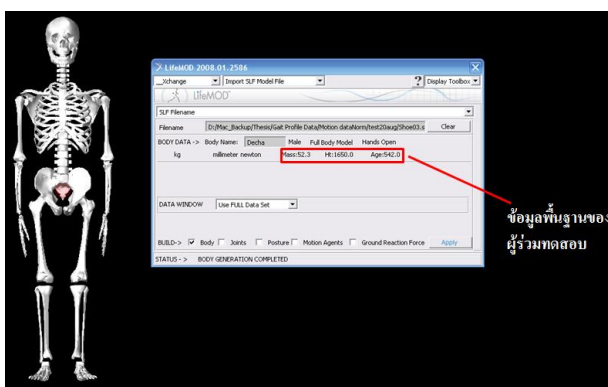
Adams เท่านั้น ทั้งนี้โดยพื้นฐานแล้วโปรแกรมนี้สามารถจำลองการเคลื่อนที่ของวัตถุได้ซึ่งสามารถทำให้ทราบทั้งความเร็ว, ความเร่งและแรงที่เกิดขึ้นของวัตถุที่สนใจ ซึ่งในการทดลองจะใช้โปรแกรมนี้ในการสร้างแบบจำลองการเดินเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ KAM ที่เกิดขึ้นขณะเดิน โดยขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองการเดินจะประกอบไปด้วยขั้นตอนดังนี้คือ

1. ข้อมูลการเคลื่อนที่ของ Marker แต่ละจุดจะถูกบันทึกให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ที่มีนามสกุลเป็น.csv ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแปลงข้อมูลการเคลื่อนที่ให้อยู่ในรูปแบบที่สนับสนุนกับโปรแกรม Adams life module โดยรูปแบบข้อมูลที่โปรแกรมรองรับคือไฟล์ที่มีนามสกุลเป็น.sif ซึ่งการแปลงข้อมูลการเคลื่อนที่ที่สามารถทำผ่านโปรแกรม Microsoft excel ได้โดยการจัดเรียงข้อมูลใหม่ให้ตรงตามรูปแบบที่โปรแกรมรองรับ



รูปที่ 3.15 แสดงรูปแบบสำหรับการแปลงข้อมูลจากไฟล์.csv เป็นไฟล์.sif

2. สร้างแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลพื้นฐานของผู้ร่วมทดสอบ ซึ่งแบบจำลองที่สร้างด้วยโปรแกรม Adams life module นี้จะถูกแสดงด้วยโครงสร้าง 3D skeleton body ซึ่งมีส่วนสูง, น้ำหนักและอายุเท่ากันกับผู้ร่วมทดสอบดังรูปที่ 3.16

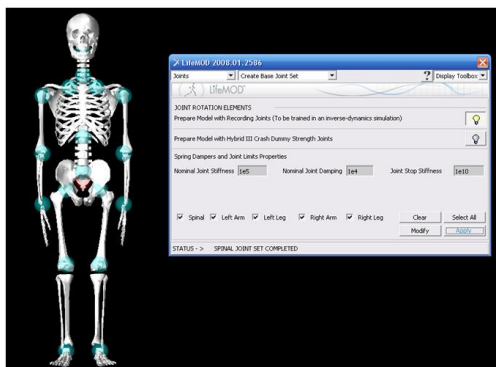


รูปที่ 3.16 แสดงแบบจำลอง 3 มิติที่ถูกสร้างด้วยโปรแกรม Adams life module

3. เชื่อมข้อต่อต่างๆของแบบจำลองเข้าด้วยกันโดยการสร้าง Passive joint ซึ่งเป็นการกำหนดคุณสมบัติในการเคลื่อนไหวของข้อต่อ ในที่นี้จะกำหนดค่าตัวแปรตามตัวอย่างของการสร้างแบบจำลองการเดินดังตารางที่ 3.1

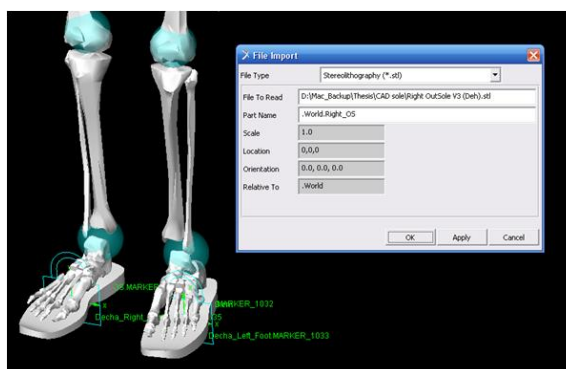
ตารางที่ 3.1 ค่าของตัวแปรที่กำหนดในโปรแกรม Adams life module สำหรับสร้าง Passive joint

ตัวแปร	ค่าที่กำหนด
Nominal joint stiffness	100,000
Nominal joint damping	10,000
Joint stop stiffness	10,000,000,000



รูปที่ 3.17 แสดงการสร้าง Passive joint โดยจะแสดงด้วยรูปทรงกลมสีเขียว

4. ใส่แบบ Outsole ที่สร้างด้วยโปรแกรม Inventor โดยใช้ขนาดตามจริงของรองเท้าที่ใช้ในการทดสอบการเดิน ซึ่งจากรูปที่ 3.18 จะแสดงภาพในขณะที่ Outsole ถูกติดเข้ากับเท้าแต่ละข้างของแบบจำลอง

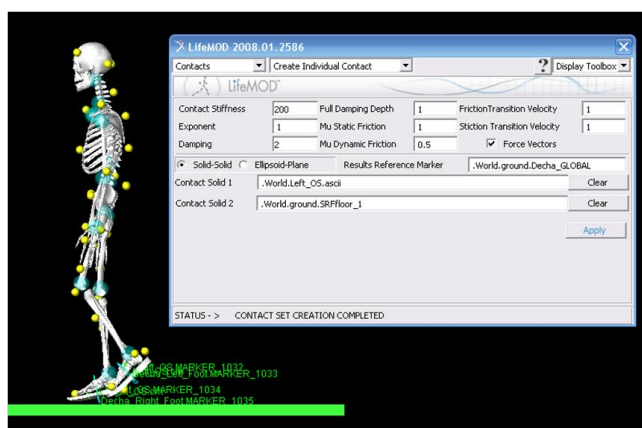


รูปที่ 3.18 แสดงการเลือกไฟล์ CAD เพื่อติดตั้งและประกอบ Outsole เข้ากับแบบจำลอง

6. สร้างแบบจำลองของพื้นขึ้นมาโดยกำหนดให้ส่วนของพื้นที่สร้างขึ้นมาจะสัมผัสกับ Outsole โดยค่าของตัวแปร Contact properties จะกำหนดตามตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 3.2 สำหรับพื้นที่สร้างขึ้นมานี้กำหนดให้มีความหนาเท่ากับ 50 mm. ซึ่งจะมีความกว้างและยาวเท่ากับ 4,000 mm. ทั้งนี้การกำหนดขนาดของพื้นจะขึ้นอยู่กับระยะทางในการเดินของแบบจำลอง

ตารางที่ 3.2 ค่า Contact properties ที่กำหนดในโปรแกรม Adams life module สำหรับสร้าง
ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นและ Outsole

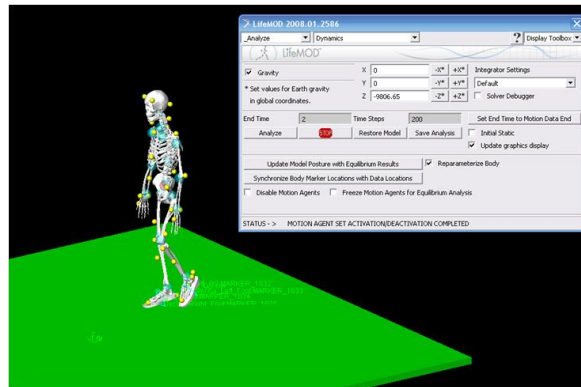
ตัวแปร	ค่าที่กำหนด
Contact stiffness	200
Exponent	1
Damping	2
Full damping depth	1
Mu static friction	1
Mu dynamic friction	0.5
Friction transition velocity	1
Stiction transition velocity	1



รูปที่ 3.22 แสดงการสร้างพื้นและการกำหนดค่า Contact properties

7. คำนวณผล Inverse simulation โดยใช้คำสั่ง Analysis ในโปรแกรม Adams life module ในขั้นตอนนี้จะกำหนดให้การคำนวณผล Simulation เป็นเวลา 2 วินาทีซึ่งครอบคลุมการเดินครบทั้ง Gait cycle ในขณะที่การคำนวณจะแบ่งช่วงสำหรับการคำนวณออกเป็น 200 ช่วงเพื่อให้ผลการคำนวณสอดคล้องกับข้อมูลที่เก็บได้จากในห้องปฏิบัติการ Gait analysis ซึ่งเป็น

ข้อมูลที่ถูกเก็บด้วยความถี่ 100 Hz นอกจากนี้จะยังต้องกำหนดทิศทางของแรงโน้มถ่วงด้วย ซึ่งในที่นี้แรงโน้มถ่วงที่เกิดขึ้นในแนวดิ่งคือทิศทาง Z สำหรับในขั้นตอนนี้แบบจำลองจะสามารถเคลื่อนที่ได้เหมือนกับการเคลื่อนที่จริงด้วยชุดข้อมูล Motion agent

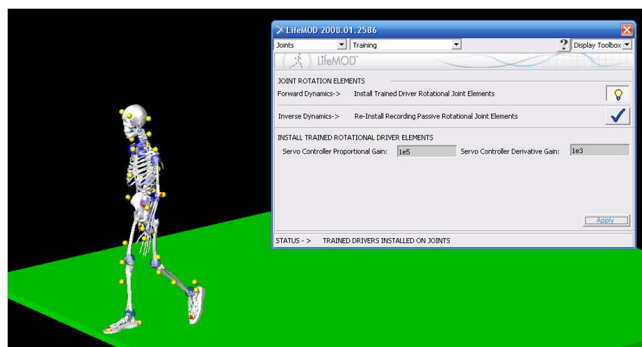


รูปที่ 3.23 แสดงการกำหนดค่าเพื่อการคำนวณ Inverse simulation

8. หลังจากที่แบบจำลองสามารถเคลื่อนไหวได้แล้ว ในขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนดให้ Passive joint แต่ละจุดบันทึกการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นจากการทำ Inverse simulation โดยค่าที่ต้องกำหนดสำหรับการ Trained joint จะแสดงดังในตารางที่ 3.3 หลังจากที่ข้อต่อเปลี่ยนจาก Passive joint เป็น Trained joint ทรงกลมที่ข้อต่อจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำเงิน

ตารางที่ 3.3 ค่าของตัวแปรที่กำหนดสำหรับการสร้าง Trained joint

ตัวแปร	ค่าที่กำหนด
Servo controller proportional gain	100,000
Servo controller derivative gain	1,000

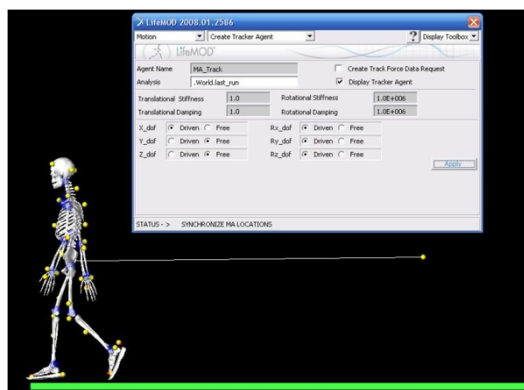


รูปที่ 3.24 แสดงการสร้าง Trained joint ซึ่งจะแสดงด้วยทรงกลมสีน้ำเงิน

9. กำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของ CoG โดยการสร้าง Tracking agent โดยตำแหน่ง CoG ของแบบจำลองจะถูกแสดงด้วยทรงกลมสีแดงซึ่งจะอยู่บริเวณกระดูกเชิงกราน (Pelvic) ของแบบจำลอง เส้นทางการเคลื่อนที่ของ CoG นี้จะเกิดขึ้นภายหลังการทำ Inverse simulation ซึ่งเส้นทางการเคลื่อนที่นี้จะถูกบันทึกให้เป็น Tracking agent โดยจะกำหนดให้แบบจำลองสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในทิศทาง Y ซึ่งอยู่ในแนว Mediolateral และทิศทาง Z ซึ่งอยู่ในแนว Vertical เพราะในงานวิจัยนี้สนใจที่จะศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นในระนาบ Frontal plane นอกจากนี้ค่าของตัวแปรต่างๆสำหรับการสร้าง Tracking agent จะแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่าของตัวแปรที่กำหนดสำหรับการสร้าง Tracking agent

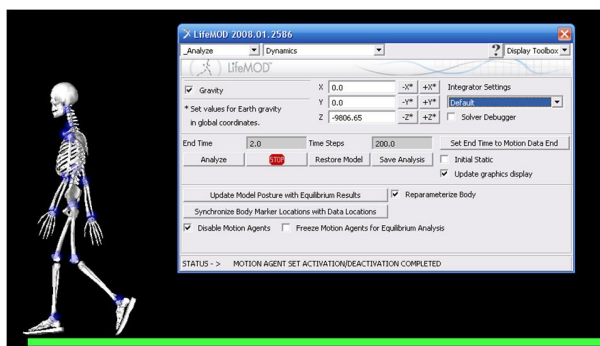
ตัวแปร	ค่าที่กำหนด
Transition stiffness	1
Transition damping	1
Rotational stiffness	1,000,000
Rotational damping	1,000,000



รูปที่ 3.25 แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของ CoG ซึ่งถูกกำหนดให้เป็น Tracking agent

10. ทำ Forward simulation โดยเลือกคำสั่ง Analysis เช่นเดียวกับการทำ Inverse simulation ซึ่งจะกำหนดให้ช่วงเวลาในการคำนวณคือ 2 วินาทีและมีการแบ่งช่วงสำหรับการคำนวณเท่ากับ Inverse simulation คือ 200 ช่วง โดยความแตกต่างระหว่างการคำนวณทั้ง 2 แบบนี้คือ Forward simulation จะทำให้แบบจำลองเคลื่อนไหวได้โดยใช้ Trained joint ในขณะที่ Inverse simulation จะใช้การเคลื่อนที่ของชุดข้อมูล Motion agent เพื่อควบคุมการเคลื่อนไหวของ

แบบจำลองแทน ดังนั้นเมื่อไม่ต้องการให้แบบจำลองเคลื่อนที่ด้วย Motion agent ในขั้นตอนนี้ สำหรับการทำให้ Forward simulation จะต้องเลือก “Disable motion agents”



รูปที่ 3.26 แสดงการทำ Forward simulation โดยการ Disable motion agents

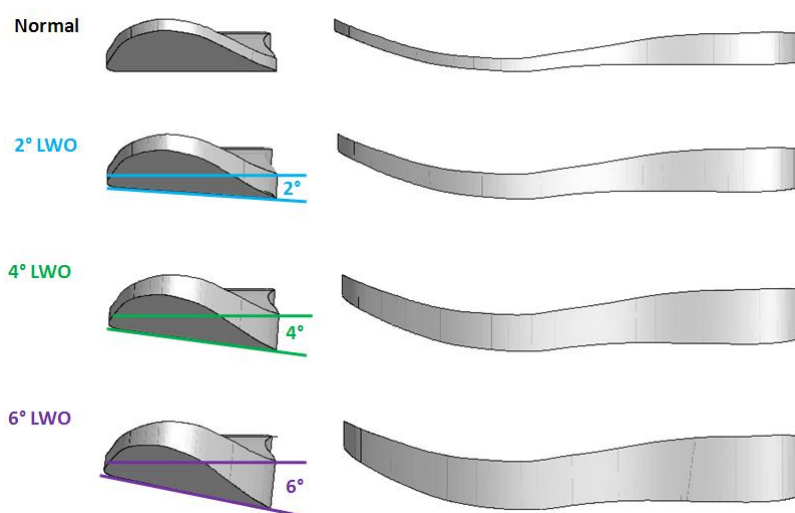
11. ขั้นตอนสุดท้ายคือการปรับแต่งค่าตัวแปร โดยที่ความแม่นยำของแบบจำลองจะขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง สำหรับในการศึกษานี้จะทำการปรับแต่งเฉพาะค่าตัวแปรของ Tracking agent คือ Rotational stiffness (RoK) และ Rotational damping (RoC) ซึ่งเป็นตัวแปรที่จะส่งผลกระทบต่อค่า KAM โดยในขั้นตอนของการปรับแต่งค่าจะเริ่มต้นโดยการปรับค่า RoK และ RoC อย่างหยาบเพื่อดูช่วงของค่าตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า KAM จากนั้นจะทำการปรับค่าอย่างละเอียดอีกครั้งซึ่งในการทดลองจะนำผลการคำนวณที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการหึ่งปฏิบัติการ Gait analysis โดยที่ค่าของตัวแปรที่เลือกจะเป็นค่าที่ให้ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของ Peak KAM ทั้งข้างซ้ายและขวามีค่าน้อยที่สุด สำหรับขั้นตอนการปรับแต่งค่าตัวแปรในแบบจำลองการเดินจะแสดงดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 แสดงขั้นตอนการปรับแต่งค่าตัวแปรของ Tracking agent และ Contact floor

3.1.3 คำนวณค่า Peak KAM ด้วยแบบจำลองโดยใช้ LWO ที่มีมุมต่างกัน

หลังจากได้ตัวแปรที่ทำให้แบบจำลองสามารถคำนวณค่า Peak KAM ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดได้แล้ว ในขั้นตอนนี้จะนำแบบจำลองที่ได้ไปใช้สำหรับศึกษาถึงผลกระทบของ Lateral wedge outsole (LWO) ที่มีมุมแตกต่างกันต่อ Peak KAM สำหรับในการศึกษานี้จะนำ LWO มาประยุกต์ใช้แทน LWI โดยที่มุมของ LWI ที่ใช้ในการทดลองส่วนมากจะมีค่าประมาณ 0° ถึง 10° แต่การออกแบบ LWI ไม่ควรจะออกแบบให้มีมุมเอียงมากเกินไปเพราะจะทำให้เกิดความไม่สบายในขณะที่เดินโดยมุมเอียงของ LWI ควรจะมีค่าประมาณ 5° [16] ดังนั้นในการศึกษานี้จะใช้ LWO ที่มีมุมเอียงต่างกันคือ 2° , 4° และ 6° ตามลำดับ ซึ่งในที่นี้การสร้างแบบจำลองของ LWO ที่มีมุมต่างๆจะใช้โปรแกรม Inventor ในการสร้างโดยจะใช้ขนาดและสัดส่วนของ Outsole ตามรองเท้าจริงที่ใช้ในการทดสอบการเดิน



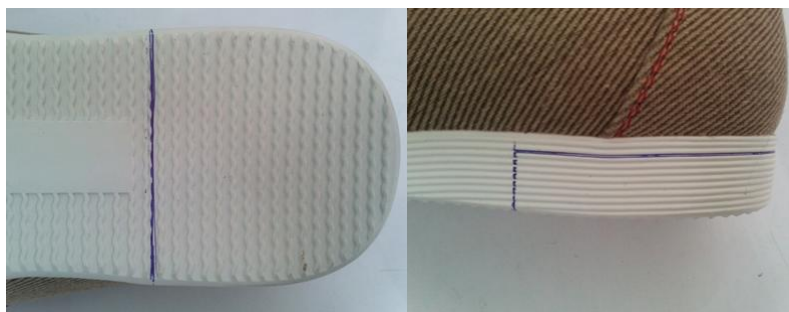
รูปที่ 3.28 แสดง Lateral wedge outsole ที่มีมุมเท่ากับ 0° , 2° , 4° และ 6°

3.1.4 การออกแบบอุปกรณ์ช่วยเดินโดยใช้ Compliant mechanism

การออกแบบอุปกรณ์ช่วยเดินสำหรับใช้ในการทดลองจะใช้การดัดแปลงรองเท้าเฉพาะในส่วนบริเวณส้นเท้า โดยจะนำหลักการออกแบบโครงสร้างด้วย Compliant mechanism มาประยุกต์ใช้แทนพื้นรองเท้าที่เป็น Lateral wedge ซึ่งเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณจึงกำหนดให้ส่วนที่จะออกแบบมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดกว้าง 70 mm. และยาว 70 mm. โดยจะมีความหนาประมาณ 15 mm. ดังนั้นในขั้นตอนแรกจะต้องเตรียมรองเท้าที่จะนำมาใช้ในการทดลองโดยจะตัดส่วนของส้นเท้าให้มีขนาดเท่ากับขนาดของอุปกรณ์ช่วยเดินที่จะนำมาติดตั้งดังรูปที่ 3.30 และ 3.31 สำหรับรองเท้าที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นรองเท้าหุ้มส้นพื้นเรียบโดยขนาดของรองเท้าที่ใช้เป็นขนาดรองเท้าปกติของผู้ร่วมทดสอบคือเบอร์ 41 ซึ่งจะมีความยาวของพื้นรองเท้าประมาณ 290 mm. และมีความหนาบริเวณส้นรองเท้าประมาณ 20 mm.



รูปที่ 3.29 แสดงภาพรองเท้าสำหรับการทดสอบการเดิน



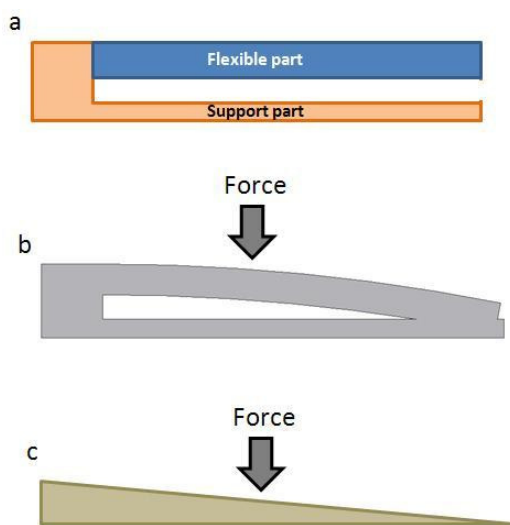
รูปที่ 3.30 แสดงตำแหน่งของเส้นรองเท้าบริเวณที่จะตัดออกโดยจะถูกแทนที่ด้วย Compliant wedge



รูปที่ 3.31 แสดงภาพรองเท้าหลังจากที่ตัดส่วนของเส้นรองเท้าออก

ในการออกแบบอุปกรณ์ช่วยเดินโดยใช้ Compliant mechanism จำเป็นต้องกำหนดขอบเขตและขนาดของชิ้นงานที่จะออกแบบซึ่งจะเรียกว่า “Design domain” ซึ่งในที่นี้จะกำหนดให้ Design domain มีขนาด 70x70x15 mm.(กว้างxยาวxหนา) จากนั้นเมื่อสามารถกำหนดขนาดของ Design domain ได้แล้ว ในขั้นตอนถัดไปจะต้องกำหนดชนิดของ Input ที่ให้รวมไปถึงชนิดของ Output ที่ต้องการได้รับจาก

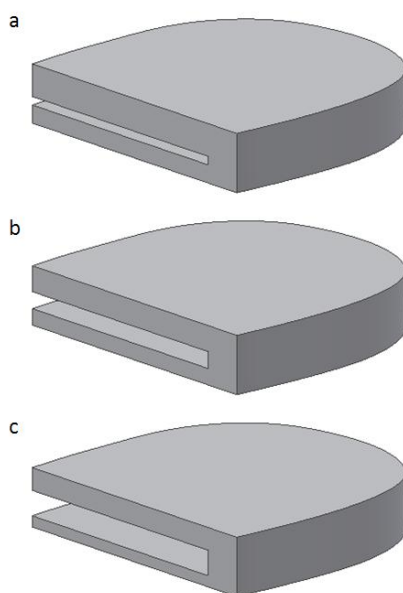
อุปกรณ์ที่ออกแบบ สำหรับในการออกแบบนี้จะกำหนดให้ Input คือแรงจากน้ำหนักตัวที่กระทำที่สันเท้าในขณะเดินและ Output ที่ต้องการคือ Deflection ที่ปลายด้านหนึ่ง เมื่อได้ Design domain ที่ต้องการสำหรับการใช้ในการออกแบบแล้ว ในขั้นตอนต่อมาจะต้องแบ่งโครงสร้างของชิ้นงานออกเป็น 2 ส่วนคือ Flexible part และ Support part เพื่อให้โครงสร้างของชิ้นงานที่ออกแบบสามารถยุบตัวได้ที่ปลายด้านหนึ่งในขณะที่มีแรงมากที่บริเวณด้านบนของชิ้นงานซึ่งการออกแบบโดยยอมให้โครงสร้างสามารถยุบตัวได้ในลักษณะนี้จะทำให้รูปร่างของโครงสร้างเมื่อมีแรงกดมากจะทำให้โครงสร้างเปลี่ยนรูปร่างไปเหมือนกับรูปร่างของ Lateral wedge



รูปที่ 3.32 (a) แสดงการแบ่ง Design domain ออกเป็น Flexible part และ Support part (b) แสดงรูปร่างของโครงสร้าง Compliant wedge เมื่อมีแรงกดมากกระทำ (c) แสดงลักษณะของรูปร่าง Lateral wedge ปกติเมื่อมีแรงมากกระทำ

ส่วนสำคัญในการออกแบบโครงสร้าง Compliant คือการคำนวณหาความแข็งของโครงสร้างในการต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Stiffness) โดยที่ในการคำนวณหาที่กำหนดให้ส่วน Flexible part เป็น Cantilever beam ก็จะทำให้สามารถคำนวณหาความหนาของส่วน Flexible part ซึ่งจะทำให้ปลายด้านหนึ่งของโครงสร้างสามารถยุบตัวได้ตามระยะที่ต้องการ แต่เนื่องจากสมการที่ใช้สำหรับคำนวณหาระยะ Deflection ของ Catilever beam เป็นสมการที่เหมาะสมสำหรับใช้ในกรณีที่มี Deflection เกิดขึ้นน้อยมากๆ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของคานจะเป็น Linear แต่ในกรณีนี้ในส่วนของคานที่จะออกแบบสำหรับ Flexible part จะมี Deflection เกิดขึ้นมากจึงทำให้ไม่สามารถใช้สมการปกติในการคำนวณได้ ดังนั้นในการออกแบบนี้จึงใช้ Pseudo-rigid body model เพื่อคำนวณหาความหนาในส่วนของ Flexible part แทน โดยที่ Pseudo-rigid body model ที่นำมาใช้คำนวณจะเป็นการแทนโครงสร้างในส่วน of Flexible part ด้วย Rigid link และ Torsion spring ซึ่งทำให้การคำนวณ Deflection มีความ

แม่นยำมากกว่า โดยค่าที่แสดงถึงความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงการเกิด Deflection ของส่วน Flexible part ใน Pseudo-rigid body model คือค่า k ซึ่งจากสมการ (2.21) ค่า k จะสามารถคำนวณได้จากความยาวของคาน (l_{beam}) และค่า Bending stiffness (EI) แต่เนื่องจากการศึกษานี้ได้กำหนดให้คานมีความกว้างและความยาวเท่ากับ 70mm. และ 60mm. ตามลำดับ นอกจากนี้วัสดุที่จะใช้ในการสร้างตัวอย่างคือ PLA ดังนั้นจึงทำค่า Area of moment of inertia (I) เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อค่า k สำหรับคานที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะมีค่า I เท่ากับ $bh^3/12$ โดยที่ b คือความกว้างของคาน และ h คือความหนาของคาน ดังนั้นความหนาของคานจึงเป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการออกแบบ Compliant wedge โดยที่ความกว้างของคานจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของส่วนโค้งที่บริเวณสันเท้าทำให้ส่วนปลายจะมีความกว้างน้อยกว่าอีกด้านหนึ่ง ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบจึงกำหนดให้รูปร่างของ Compliant wedge ที่จะออกแบบมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมที่มีหน้าตัดคงที่ ทั้งนี้ อุปกรณ์ที่ออกแบบด้วย Compliant mechanism ที่จะใช้ทดลองจะกำหนดให้มีมุมของ Lateral wedge เท่ากับ 2° , 4° และ 6° โดยที่ตัวอย่างของอุปกรณ์ช่วยเดินทั้งหมดจะถูกสร้างโดยใช้เครื่อง 3D Printer โดยวัสดุที่ใช้คือ PLA ซึ่งเป็นพลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) ที่ไม่ย่อยสลายในสภาพแวดล้อมทั่วไปแต่สามารถย่อยสลายได้ด้วยการฝังกลบในดิน โดยที่ PLA สามารถขึ้นรูปได้แบบเทอร์โมพลาสติกทั่วไป ดังนั้นเมื่ออุปกรณ์ช่วยเดินนี้ถูกสร้างด้วยพลาสติกจึงทำให้อุปกรณ์นี้มีน้ำหนักเบาเหมาะกับการนำไปติดตั้งเข้ากับรองเท้าปกติโดยไม่เป็นอุปสรรคต่อผู้ใช้งานในขณะเดิน



รูปที่ 3.33 แสดงภาพอุปกรณ์ช่วยเดินที่ออกแบบด้วยโปรแกรม Inventor (a) Compliant wedge 2°
(b) Compliant wedge 4° (c) Compliant wedge 6°

3.1.5 การทดสอบการเดินด้วย Compliant wedge

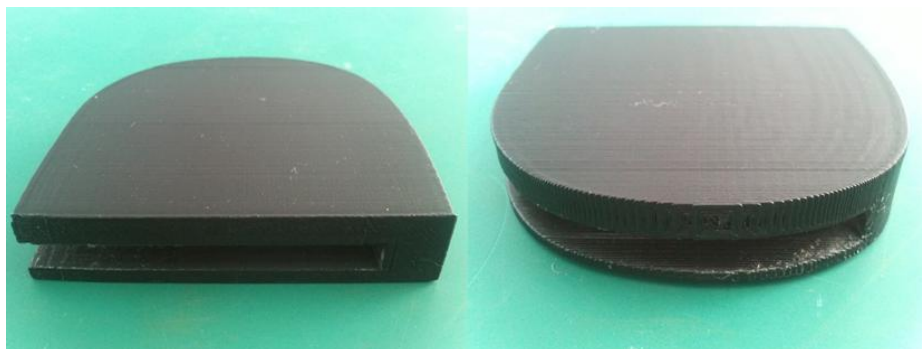
เมื่อได้ตัวอย่างของอุปกรณ์ช่วยเดินที่สร้างจากเครื่อง 3D printer มาแล้ว ในขั้นตอนต่อไปจะนำตัวอย่างของ Compliant wedge ไปติดตั้งที่ส้นรองเท้าเพื่อนำไปใช้ทดสอบการเดิน โดยที่การทดสอบการเดินด้วยรองเท้าที่ติดตั้ง Compliant wedge จะทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ Gait analysis สำหรับการเก็บข้อมูลการเดินในแต่ละการทดลอง จะเก็บข้อมูลที่เป็น Successful trial ทั้งหมด 3 ครั้ง โดยที่ในการศึกษานี้จะทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่มีต่อ Peak KAM เมื่อใช้ Compliant wedge ที่มีมุมต่างกันคือ 2° , 4° และ 6° โดยค่า Peak KAM ที่ได้จากการทดสอบด้วย Compliant wedge ที่มีมุมต่างๆจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลการเดินด้วยเท้าเปล่าและการเดินด้วยรองเท้าปกติ



รูปที่ 3.34 แสดงภาพอุปกรณ์ช่วยเดิน Compliant wedge 2°



รูปที่ 3.35 แสดงภาพอุปกรณ์ช่วยเดิน Compliant wedge 4°



รูปที่ 3.36 แสดงภาพอุปกรณ์ช่วยเดิน Compliant wedge 6°

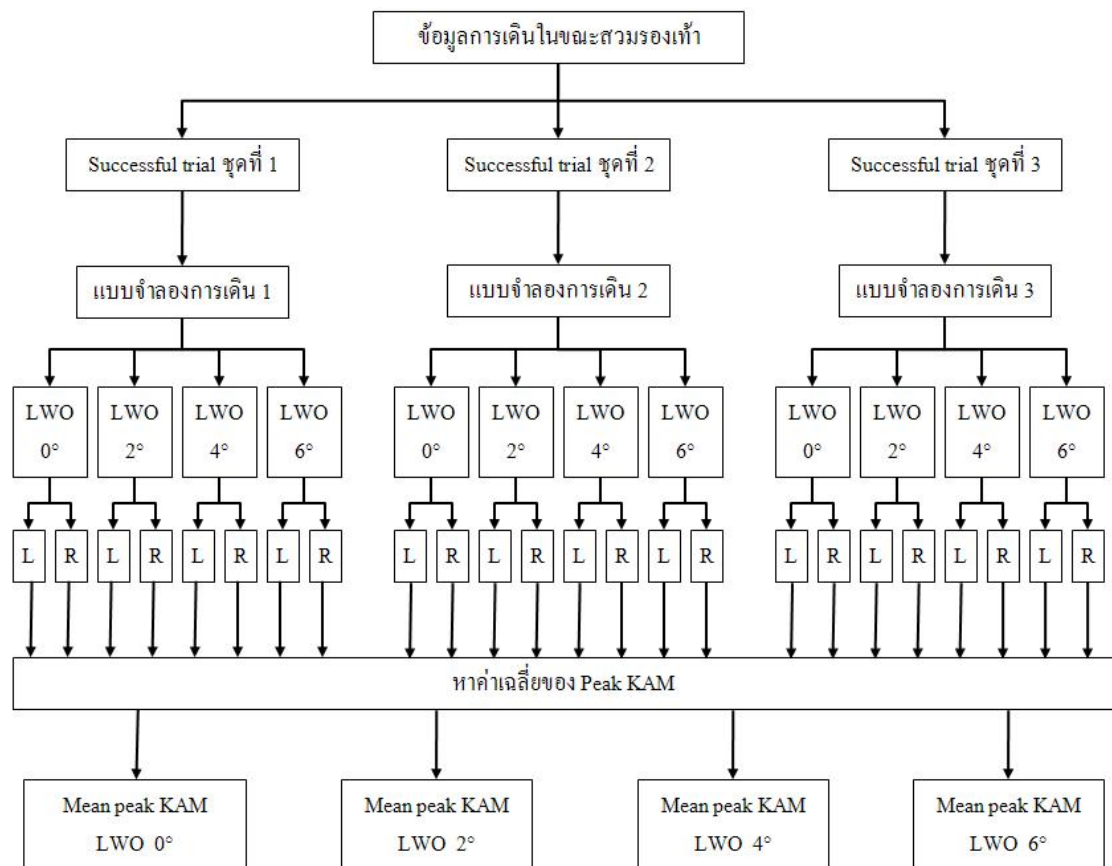


รูปที่ 3.37 แสดงภาพรองเท้าเมื่อติดตั้งอุปกรณ์ช่วยเดินเข้าไปที่บริเวณส้นเท้า

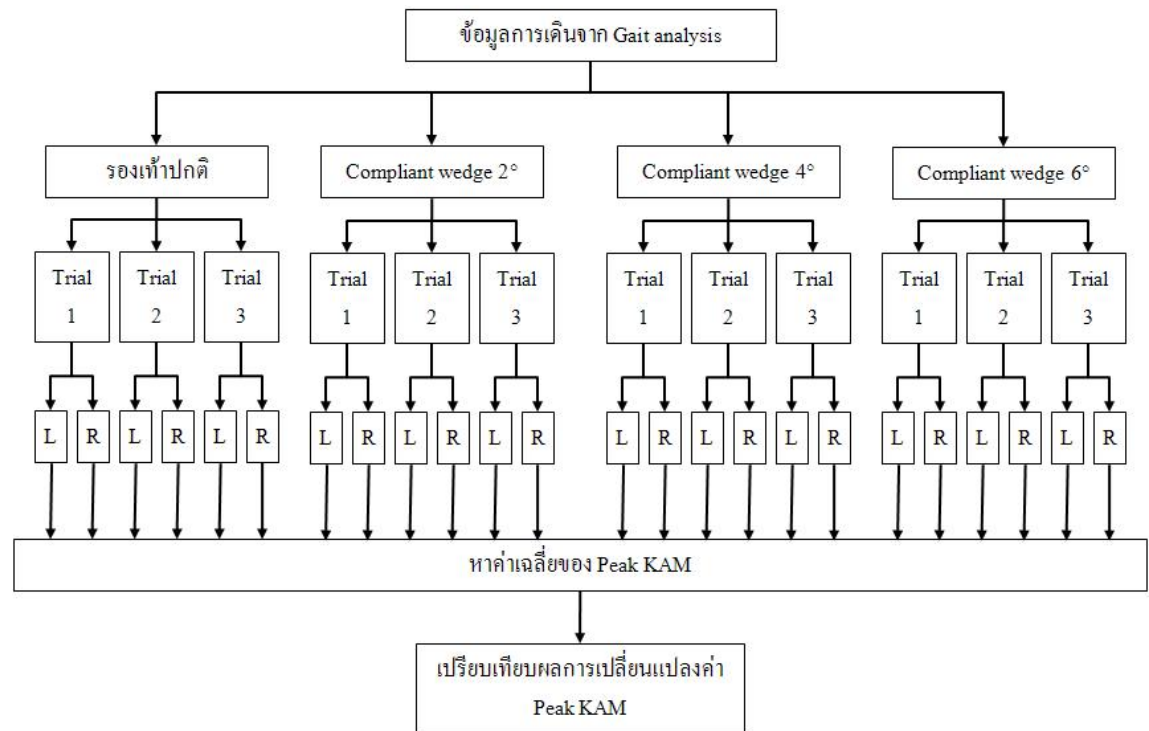
3.2 การออกแบบการทดลอง

ในการทดลองจะใช้ข้อมูลการเดินของผู้ร่วมทดสอบ 1 คนจากห้องปฏิบัติการ Gait analysis ที่เป็นข้อมูล Successful trial ทั้งหมด 3 ชุดซึ่งมีทิศทางในการเดินเป็นทิศเดียวกัน สำหรับในการทดลองจะทำการทดสอบการเดินด้วยลักษณะการเดินต่าง ๆ กันดังนี้คือ การเดินด้วยเท้าเปล่า, การเดินในขณะที่สวมรองเท้าเพื่อใช้สำหรับสร้างแบบจำลองการเดินด้วยโปรแกรม Adams life module, การเดินในขณะที่สวม Compliant wedge 2°, 4° และ 6° ในขณะที่เก็บข้อมูลการเดินจะจับเวลาที่ใช้ในการเดินแต่ละรอบเพื่อต้องการข้อมูลการเดินที่ความเร็วในการเดินใกล้เคียงกัน โดยที่ความเร็วในการเดินเป็นความเร็วที่ผู้ร่วมทดสอบเป็นผู้เลือกเอง สำหรับแบบจำลองการเดินที่ถูกสร้างด้วยโปรแกรม Adams life module ทั้ง 3 ชุดจะถูกนำไปใช้ในการทดลองโดยใช้ LWO ที่มีมุมต่าง ๆ กันเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของ Peak KAM ที่เกิดขึ้น ซึ่งแบบจำลองแต่ละชุดจะมีผลการคำนวณ Peak KAM ที่มุม

ต่างกันของ LWO ดังนั้นในแบบจำลองชุดหนึ่งจะประกอบไปด้วยข้อมูล Peak KAM ทั้งข้างซ้ายและข้างขวาของ LWO ซึ่งมีมุมเท่ากับ 0° , 2° , 4° และ 6° ซึ่งข้อมูล Peak KAM ที่จะนำไปใช้เพื่อหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ Peak KAM จะเป็นค่าเฉลี่ยของ Peak KAM ในแต่ละแบบของ LWO ทั้งข้างซ้ายและข้างขวา ในขณะที่การหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ Peak KAM เมื่อมีการใช้ Compliant wedge ซึ่งมีมุมเท่ากับ 2° , 4° และ 6° ก็จะทำเหมือนกับการหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ได้จากแบบจำลองการเดินโดยใช้ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล Successful trial ทั้ง 3 ชุด



รูปที่ 3.38 แสดงขั้นตอนในการทดลองเพื่อหาค่า Peak KAM ด้วยแบบจำลองการเดิน



รูปที่ 3.39 แสดงขั้นตอนในการทดลองเพื่อหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า Peak KAM เมื่อใช้ Compliant wedge ที่มีมุมต่างกัน