

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณหาความหนาของ Compliant sole

ในการออกแบบส่วน Compliant sole จะใช้ PRBM ในการวิเคราะห์โดยนำหลักการของ LWI มาประยุกต์ใช้สำหรับคำนวณหาความหนาเพื่อกำหนดความแข็งของคานส่วนบนเพื่อให้ได้การยุบตัวของคานที่มีมุมเอียงตามที่ต้องการ สำหรับสมการที่จะใช้ในการคำนวณมีดังนี้

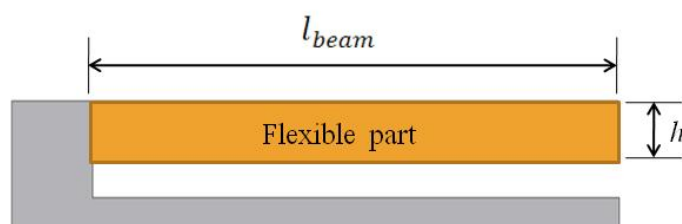
$$1degree = \frac{\pi}{180}radian \quad (ก.1)$$

$$Fx = k\theta \quad (ก.2)$$

$$k = \gamma K_{\theta} \frac{Ebh^3}{12l_{beam}} \quad (ก.3)$$

เมื่อ

F	=	แรงที่กระทำบนคาน (N)
x	=	ระยะการกระจัดของแรงที่กระทำบนคานในแนวระดับ (mm)
k	=	ค่าคงที่ของสปริง (N.mm/radian)
θ	=	มุมที่คานยุบตัวลง (radian)
γ	=	Characteristic radius
K_{θ}	=	Stiffness coefficient (radian ⁻¹)
E	=	Young's modulus of elasticity (MPa, N/mm ²)
b	=	ความกว้างของคาน (mm)
h	=	ความหนาของคาน (mm)
l_{beam}	=	ความยาวของคาน (mm)



รูปที่ ก.1 แสดงส่วนประกอบของ Compliant sole สำหรับใช้ในการคำนวณ

ก. ตัวอย่างการคำนวณความหนาของคานสำหรับ Compliant LWO 2°

กำหนดให้ส่วนคานมีระยะในการยุบตัวเป็นมุม 2° ดังนั้นจากสมการ ก.1 สามารถเปลี่ยนหน่วยของมุมจากองศาให้เป็นเรเดียนได้ โดยที่มุม 2 องศาจะเท่ากับ 0.035 เรเดียน จากนั้นจะคำนวณหาค่าคงที่ของสปริงสำหรับ PRBM จากสมการ ก.2 สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$k = \frac{Fx}{\theta} \quad (\text{ก.4})$$

กำหนดให้ $F = 600 \text{ N}$, $x = 25 \text{ mm}$ และ $\theta = 0.035 \text{ เรเดียน}$ แทนค่าตัวแปรในสมการ ก.4

$$k = \frac{600 \text{ N} \times 25 \text{ mm}}{0.035 \text{ radian}}$$

$$k = 428,571.43 \frac{\text{N} \cdot \text{mm}}{\text{radian}}$$

เมื่อได้ค่าคงที่ของสปริงมาแล้วจากนั้นจะสามารถนำค่าที่ได้ไปใช้ในการหาความหนาของคานที่ต้องการได้ โดยที่สมการ ก.3 จะสามารถจัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$h = \sqrt[3]{\frac{12kl_{beam}}{\gamma k_{\theta} Eb}} \quad (\text{ก.4})$$

กำหนดให้ $\gamma = 0.85$, $K_{\theta} = 2.68 \text{ radian}^{-1}$, $l_{beam} = 60 \text{ mm}$ และ $b = 70 \text{ mm}$ โดยที่ γ และ K_{θ} จะสามารถหาได้จากจากรูปที่ 2.22 และ รูปที่ 2.23 ตามลำดับเมื่อกำหนดให้แรงที่กระทำมีทิศตั้งฉากกับคาน ($\alpha = 0$) ในขณะที่วัสดุสำหรับการออกแบบในที่นี้จะใช้ PLA ซึ่งมีค่า $E = 3,640 \text{ N/mm}^2$ [27] แทนค่าตัวแปรทั้งหมดในสมการ ก.4

$$h = \sqrt[3]{\frac{12 \times 428,571.43 \frac{\text{N} \cdot \text{mm}}{\text{radian}} \times 60 \text{ mm}}{0.85 \times 2.68 \frac{1}{\text{radian}} \times 3,640 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 70 \text{ mm}}}$$

$$h = 8.10 \text{ mm}$$

ดังนั้น Compliant LWO 2° จะมีความหนาของคานส่วนบนเท่ากับ 8.10 mm

ข. ตัวอย่างการคำนวณความหนาของคานสำหรับ Compliant LWO 4°

กำหนดให้ส่วนคานมีระยะในการยุบตัวเป็นมุม 4° ดังนั้นจากสมการ ก.1 สามารถเปลี่ยนหน่วยของมุมจากองศาให้เป็นเรเดียนได้ โดยที่มุม 4 องศาจะเท่ากับ 0.07 เรเดียน จากนั้นจะคำนวณหาค่าคงที่ของสปริงสำหรับ PRBM จากสมการ ก.2 สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$k = \frac{Fx}{\theta} \quad (\text{ก.4})$$

กำหนดให้ $F = 600 \text{ N}$, $x = 25 \text{ mm}$ และ $\theta = 0.07 \text{ เรเดียน}$ แทนค่าตัวแปรในสมการ ก.4

$$k = \frac{600 \text{ N} \times 25 \text{ mm}}{0.07 \text{ radian}}$$

$$k = 214,285.71 \frac{\text{N} \cdot \text{mm}}{\text{radian}}$$

เมื่อได้ค่าคงที่ของสปริงมาแล้วจากนั้นจะสามารถนำค่าที่ได้ไปใช้ในการหาความหนาของคานที่ต้องการได้ โดยที่สมการ ก.3 จะสามารถจัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$h = \sqrt[3]{\frac{12kl_{beam}}{\gamma k_{\theta} E b}} \quad (\text{ก.4})$$

กำหนดให้ $\gamma = 0.85$, $K_{\theta} = 2.68 \text{ radian}^{-1}$, $l_{beam} = 60 \text{ mm}$ และ $b = 70 \text{ mm}$ โดยที่ γ และ K_{θ} จะสามารถหาได้จากจากรูปที่ 2.22 และ รูปที่ 2.23 ตามลำดับเมื่อกำหนดให้แรงที่กระทำมีทิศตั้งฉากกับคาน ($\alpha = 0$) ในขณะที่วัสดุสำหรับการออกแบบในที่นี้จะใช้ PLA ซึ่งมีค่า $E = 3,640 \text{ N/mm}^2$ [27] แทนค่าตัวแปรทั้งหมดในสมการ ก.4

$$h = \sqrt[3]{\frac{12 \times 214,285.71 \frac{\text{N} \cdot \text{mm}}{\text{radian}} \times 60 \text{ mm}}{0.85 \times 2.68 \frac{1}{\text{radian}} \times 3,640 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 70 \text{ mm}}}$$

$$h = 6.43 \text{ mm}$$

ดังนั้น Compliant LWO 4° จะมีความหนาของคานส่วนบนเท่ากับ 6.43 mm

ค. ตัวอย่างการคำนวณความหนาของคานสำหรับ Compliant LWO 6°

กำหนดให้ส่วนคานมีระยะในการยุบตัวเป็นมุม 6° ดังนั้นจากสมการ ก.1 สามารถเปลี่ยนหน่วยของมุมจากองศาให้เป็นเรเดียนได้ โดยที่มุม 6 องศาจะเท่ากับ 0.105 เรเดียน จากนั้นจะคำนวณหาค่าคงที่ของสปริงสำหรับ PRBM จากสมการ ก.2 สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$k = \frac{Fx}{\theta} \quad (\text{ก.4})$$

กำหนดให้ $F = 600 \text{ N}$, $x = 25 \text{ mm}$ และ $\theta = 0.035 \text{ เรเดียน}$ แทนค่าตัวแปรในสมการ ก.4

$$k = \frac{600 \text{ N} \times 25 \text{ mm}}{0.105 \text{ radian}}$$

$$k = 142,857.14 \frac{\text{N} \cdot \text{mm}}{\text{radian}}$$

เมื่อได้ค่าคงที่ของสปริงมาแล้วจากนั้นจะสามารถนำค่าที่ได้ไปใช้ในการหาความหนาของคานที่ต้องการได้ โดยที่สมการ ก.3 จะสามารถจัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$h = \sqrt[3]{\frac{12kl_{beam}}{\gamma k_{\theta} Eb}} \quad (\text{ก.4})$$

กำหนดให้ $\gamma = 0.85$, $K_{\theta} = 2.68 \text{ radian}^{-1}$, $l_{beam} = 60 \text{ mm}$ และ $b = 70 \text{ mm}$ โดยที่ γ และ K_{θ} จะสามารถหาได้จากจากรูปที่ 2.22 และ รูปที่ 2.23 ตามลำดับเมื่อกำหนดให้แรงที่กระทำมีทิศตั้งฉากกับคาน ($\alpha = 0$) ในขณะที่วัสดุสำหรับการออกแบบในที่นี้จะใช้ PLA ซึ่งมีค่า $E = 3,640 \text{ N/mm}^2$ [27] แทนค่าตัวแปรทั้งหมดในสมการ ก.4

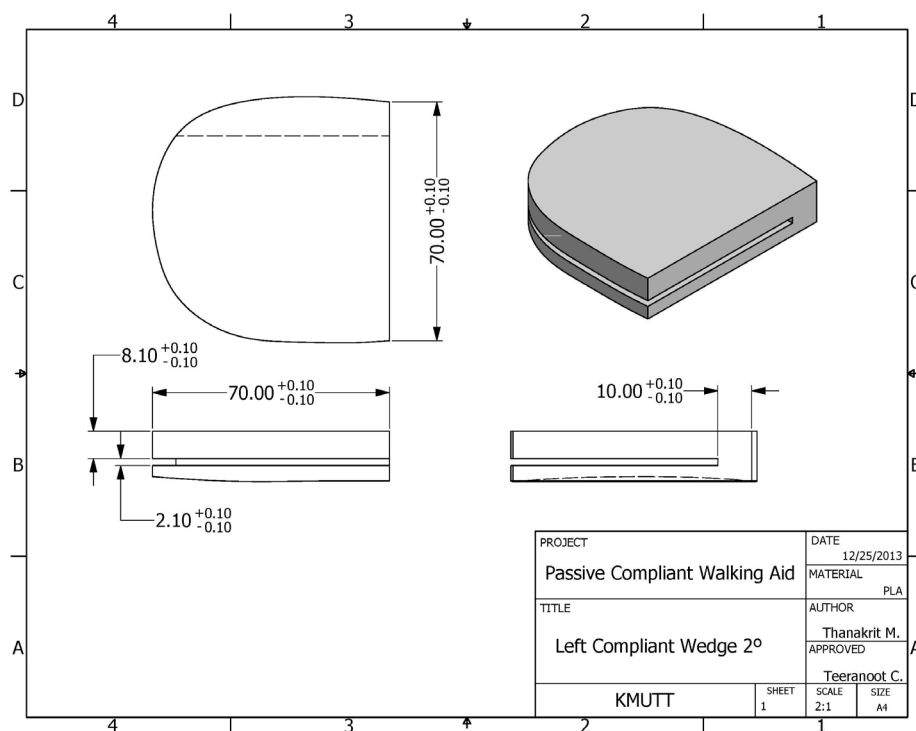
$$h = \sqrt[3]{\frac{12 \times 142,857.14 \frac{\text{N} \cdot \text{mm}}{\text{radian}} \times 60 \text{ mm}}{0.85 \times 2.68 \frac{1}{\text{radian}} \times 3,640 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 70 \text{ mm}}}$$

$$h = 5.62 \text{ mm}$$

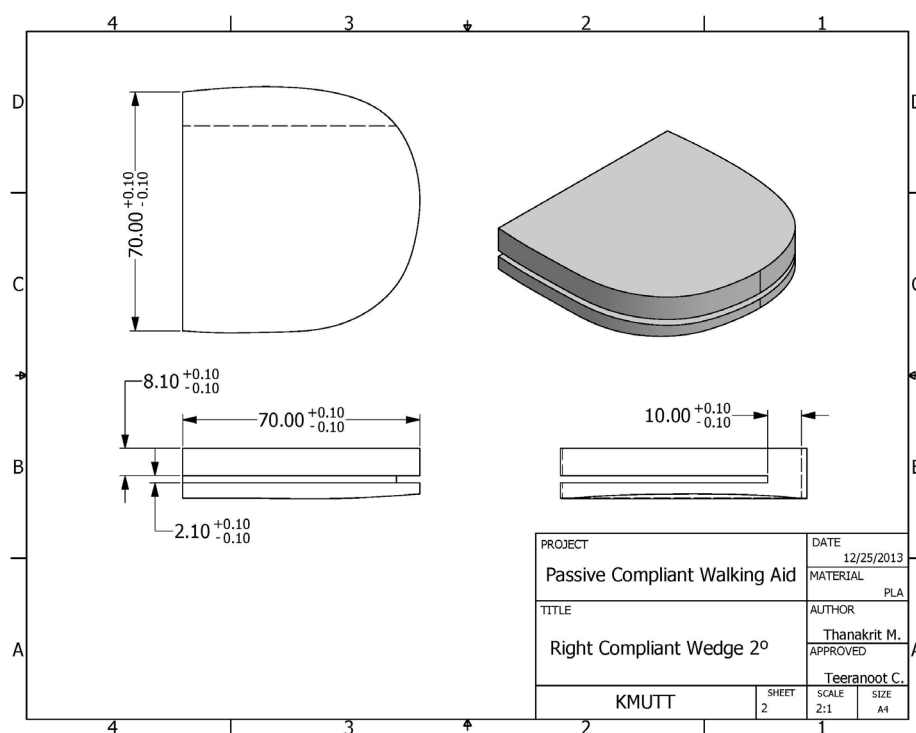
ดังนั้น Compliant LWO 6° จะมีความหนาของคานส่วนบนเท่ากับ 5.62 mm

ภาคผนวก ข

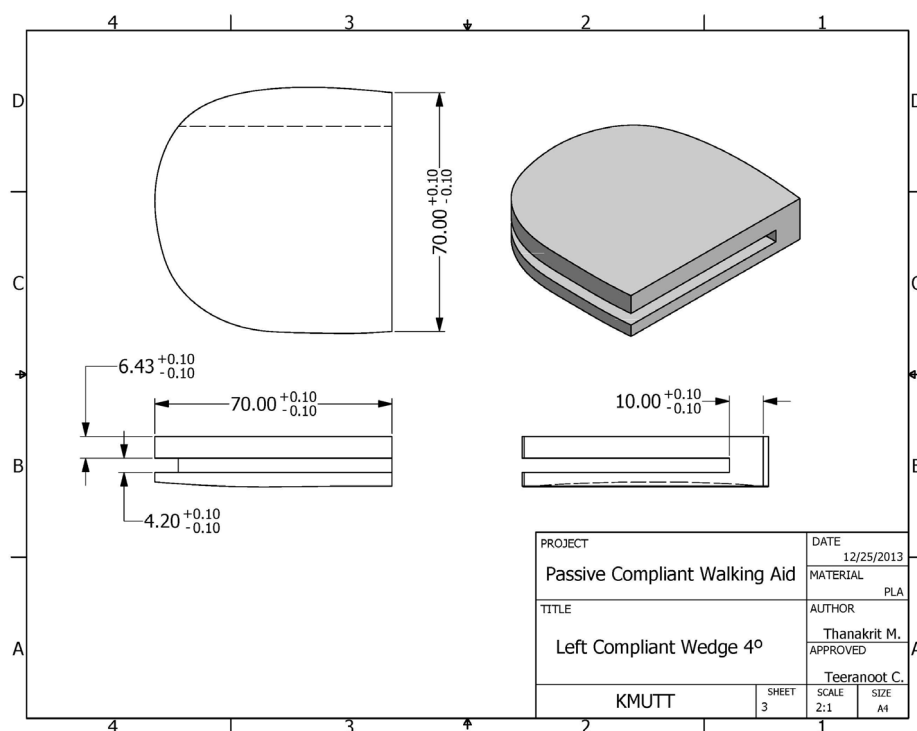
การออกแบบอุปกรณ์ช่วยเดิน Compliant lateral wedge outsole



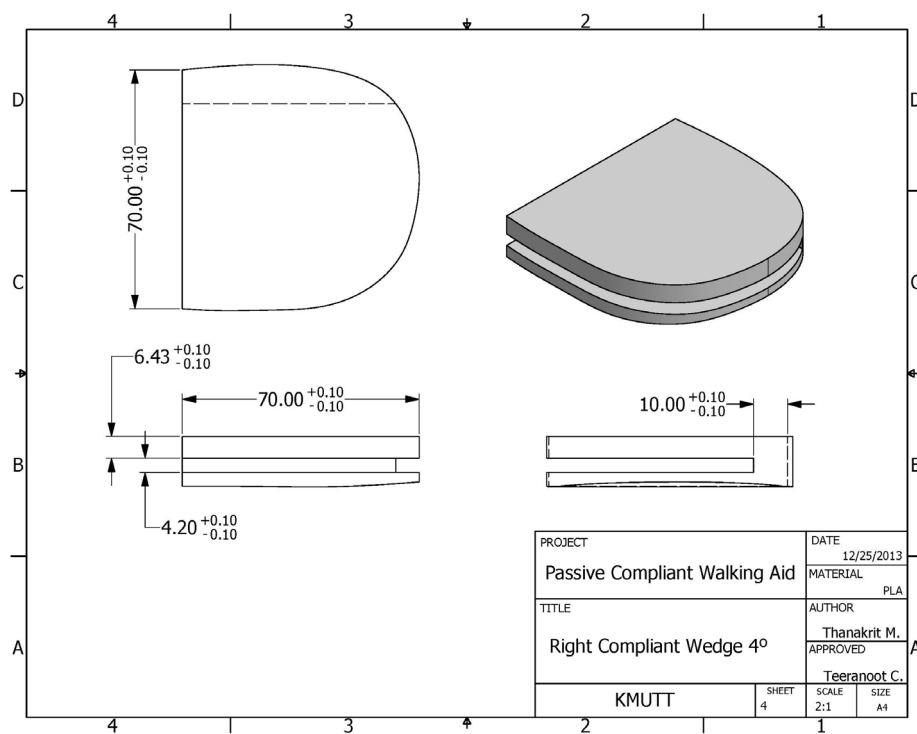
รูปที่ ข.1 แสดงขนาดของ Left compliant wedge 2°



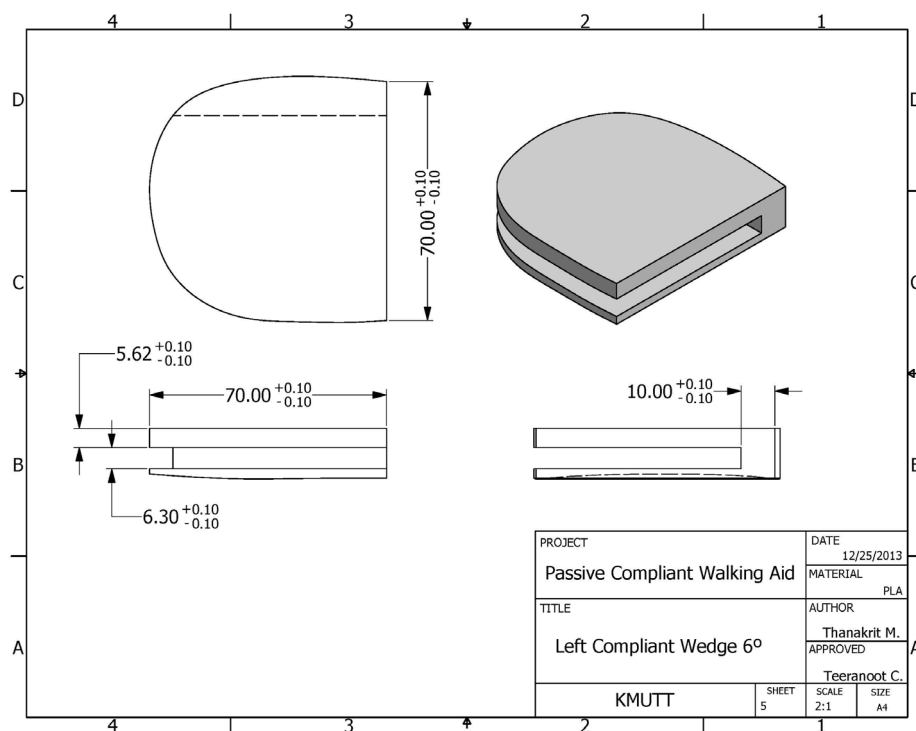
รูปที่ ข.2 แสดงขนาดของ Right compliant wedge 2°



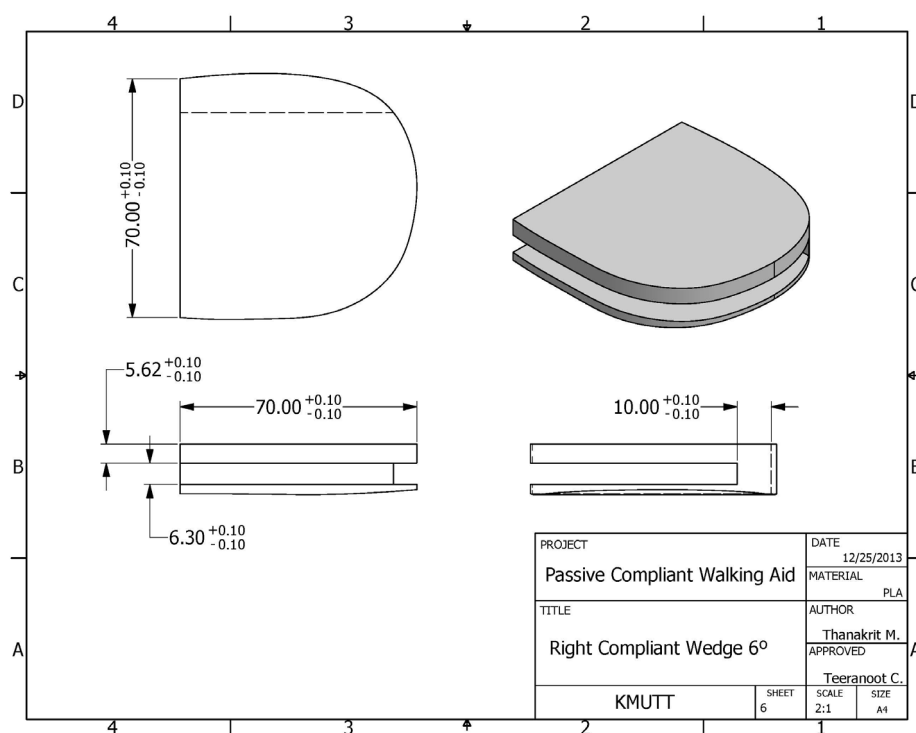
รูปที่ ข.3 แสดงขนาดของ Left compliant wedge 4°



รูปที่ ข.4 แสดงขนาดของ Right compliant wedge 4°



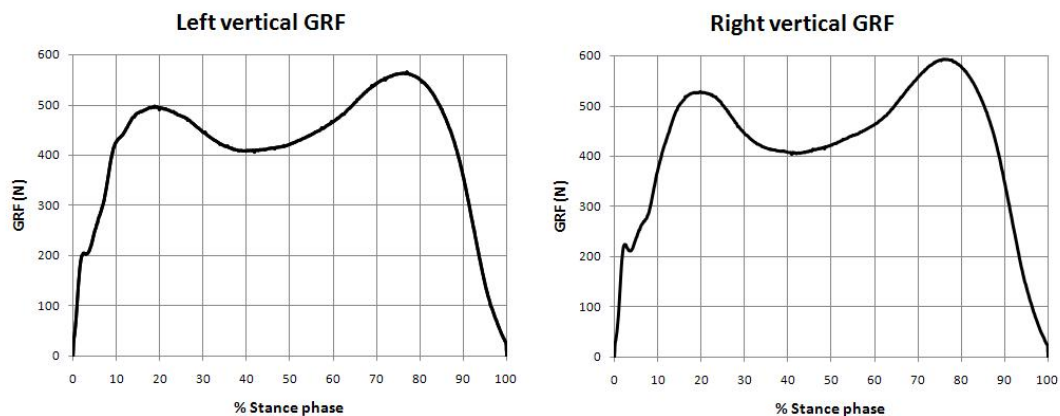
รูปที่ ข.5 แสดงขนาดของ Left compliant wedge 6°



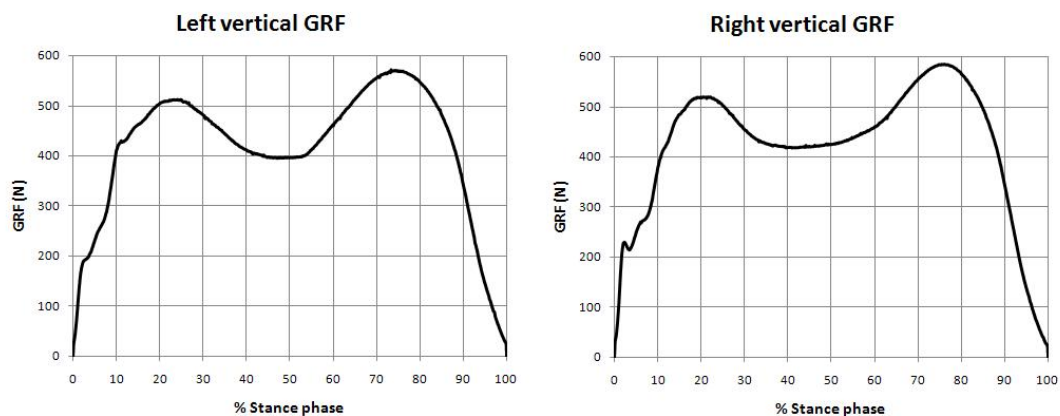
รูปที่ ข.6 แสดงขนาดของ Right compliant wedge 6°

ภาคผนวก ค

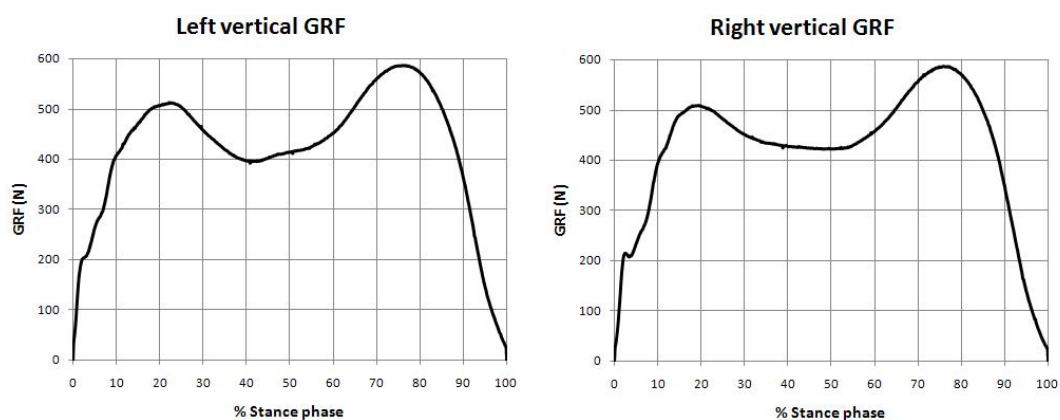
ผลการทดสอบการเดินในห้องปฏิบัติการ Gait Analysis



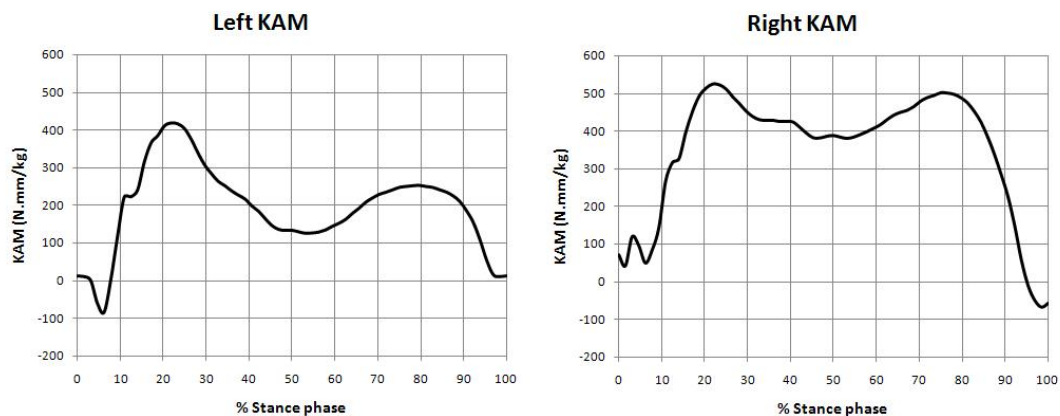
รูปที่ ค.1 แสดงกราฟ Vertical GRF ที่วัดได้จากการเดิน Trial 1 ด้วยเท้าเปล่า



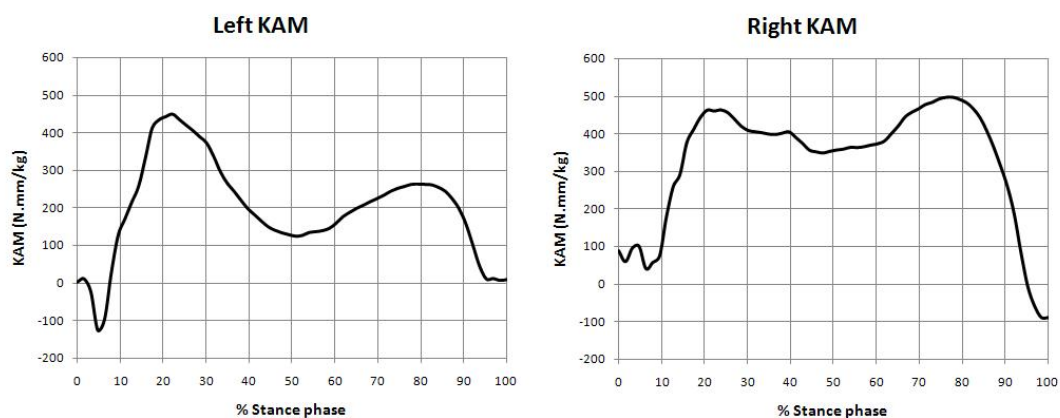
รูปที่ ค.2 แสดงกราฟ Vertical GRF ที่วัดได้จากการเดิน Trial 2 ด้วยเท้าเปล่า



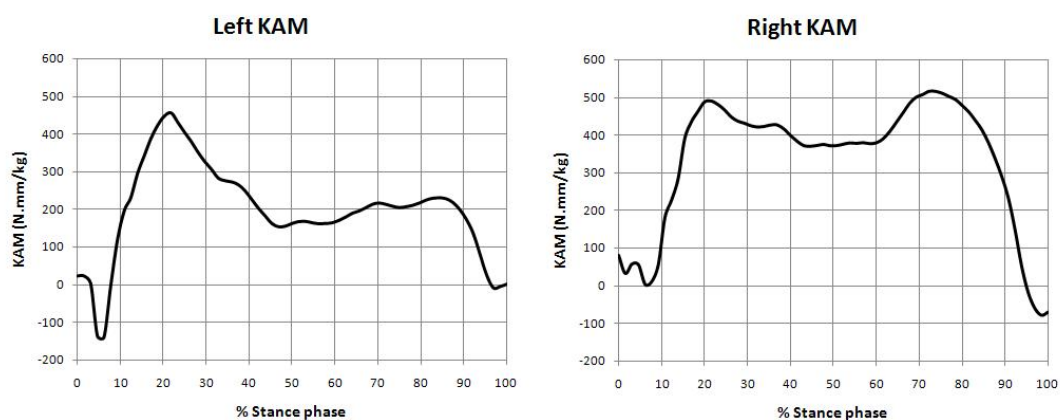
รูปที่ ค.3 แสดงกราฟ Vertical GRF ที่วัดได้จากการเดิน Trial 3 ด้วยเท้าเปล่า



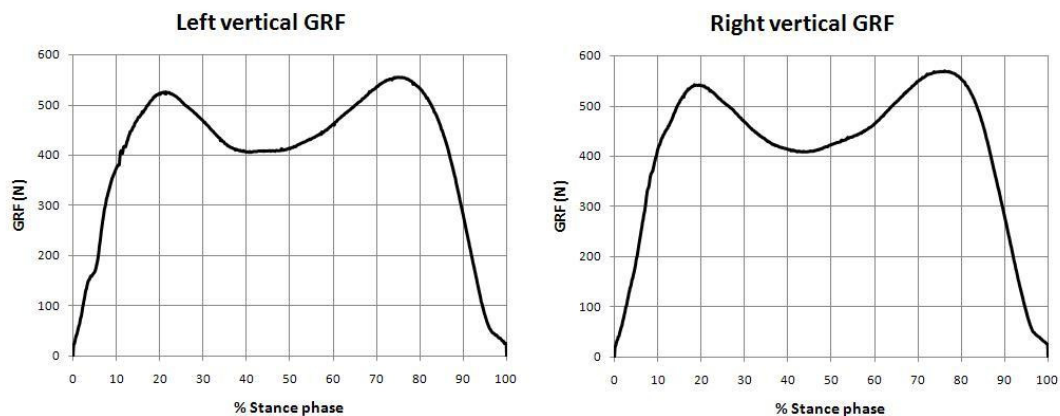
รูปที่ ค.4 แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 1 ด้วยเท้าเปล่า



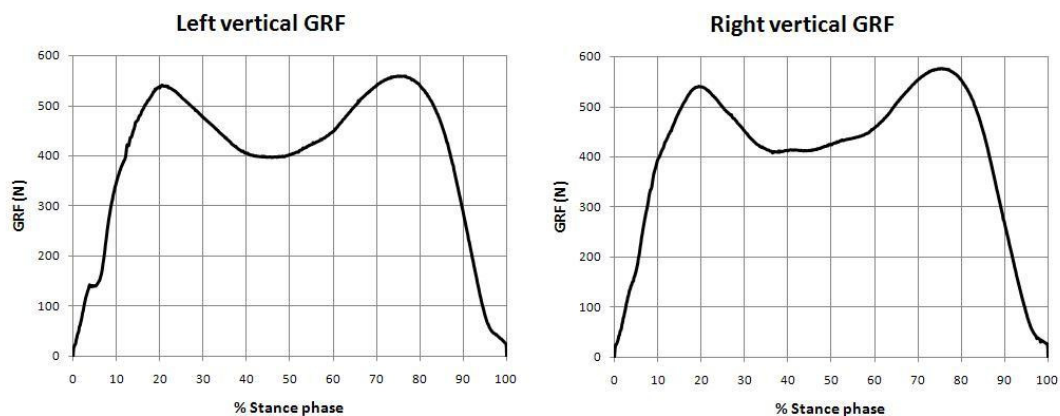
รูปที่ ค.5 แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 2 ด้วยเท้าเปล่า



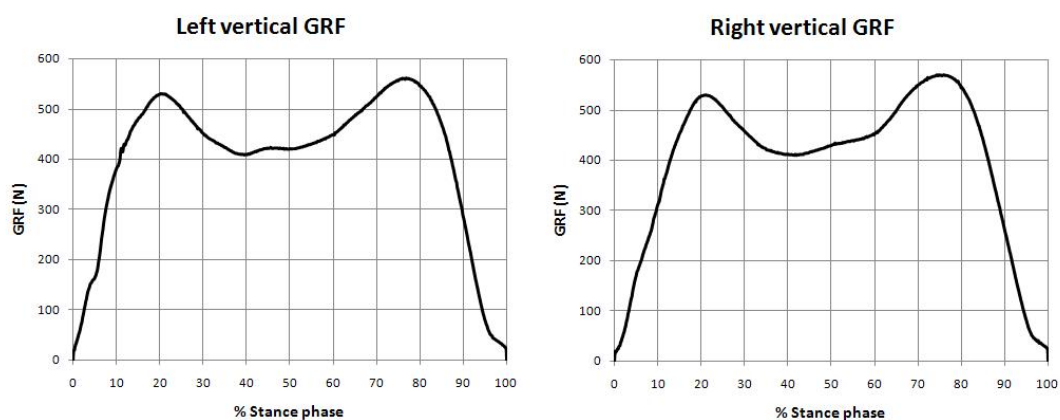
รูปที่ ค.6 แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 3 ด้วยเท้าเปล่า



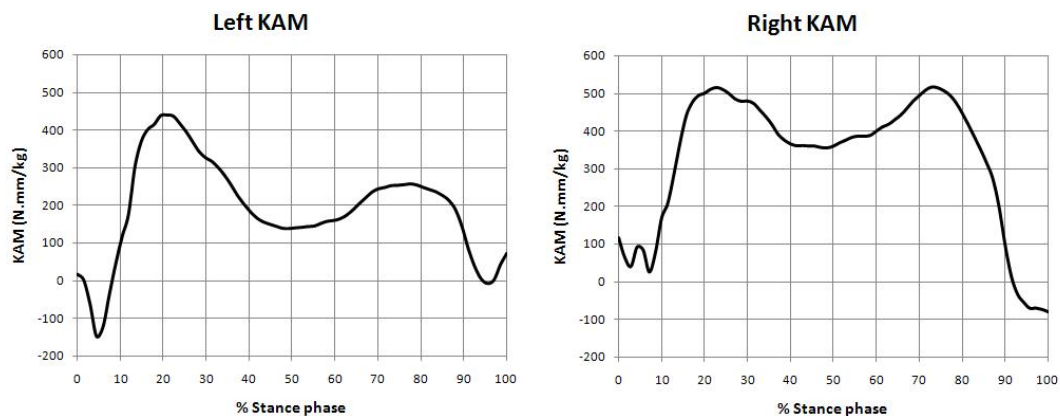
รูปที่ ค.7 แสดงกราฟ Vertical GRF ที่วัดได้จากการเดิน Trial 1 ด้วยรองเท้าหุ้มส้นปกติ



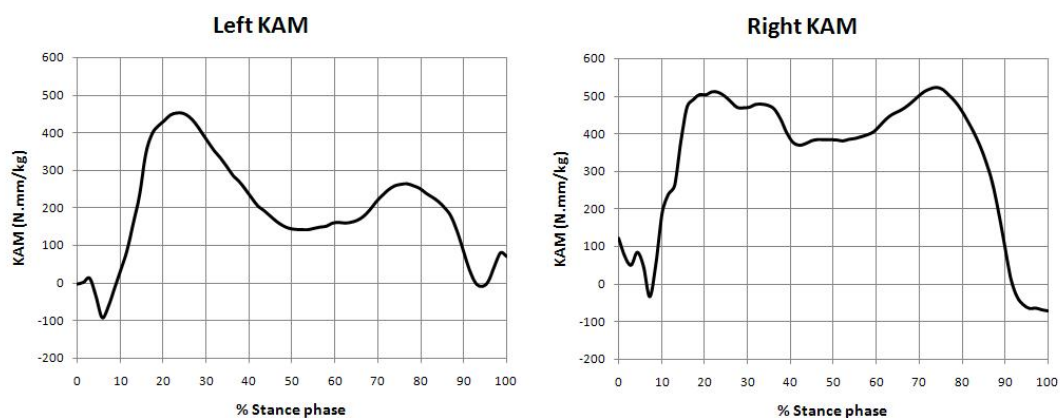
รูปที่ ค.8 แสดงกราฟ Vertical GRF ที่วัดได้จากการเดิน Trial 2 ด้วยรองเท้าหุ้มส้นปกติ



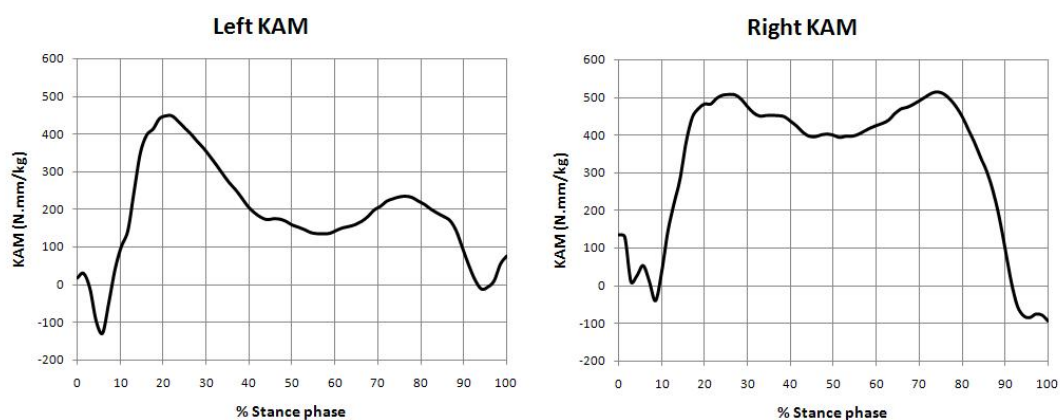
รูปที่ ค.9 แสดงกราฟ Vertical GRF ที่วัดได้จากการเดิน Trial 3 ด้วยรองเท้าหุ้มส้นปกติ



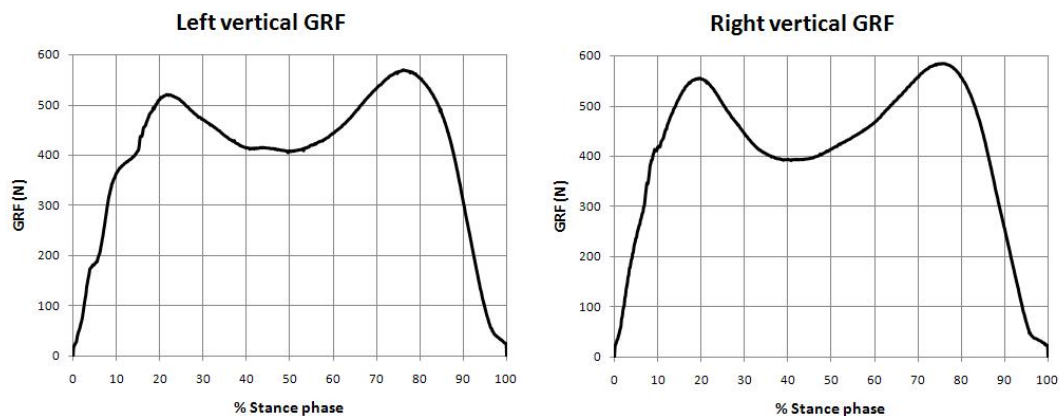
รูปที่ ๑.๑๐ แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 1 ด้วยรองเท้าหุ้มส้นปกติ



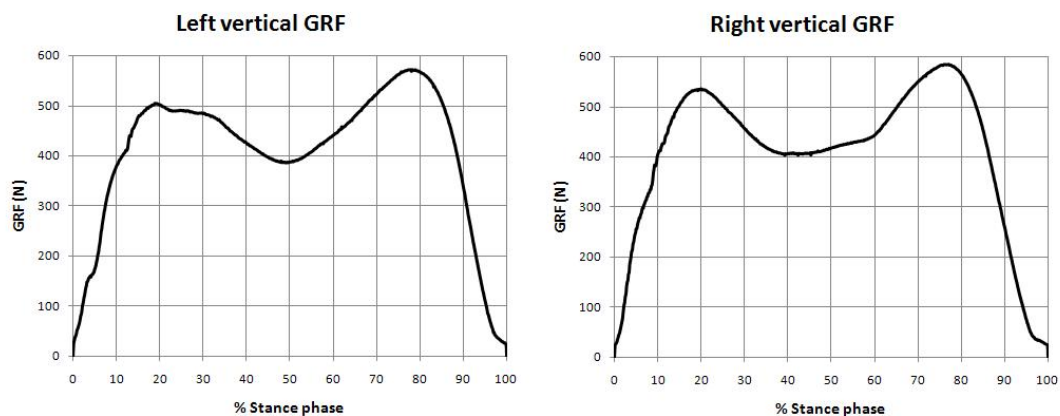
รูปที่ ๑.๑๑ แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 2 ด้วยรองเท้าหุ้มส้นปกติ



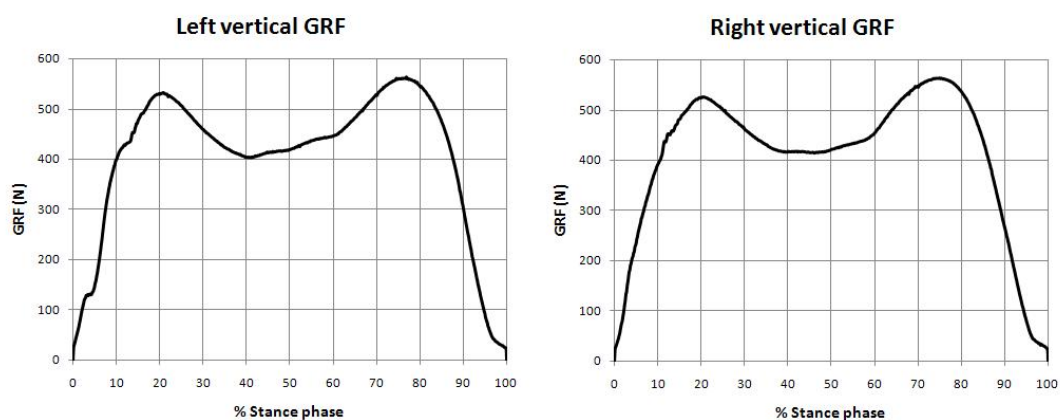
รูปที่ ๑.๑๒ แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 3 ด้วยรองเท้าหุ้มส้นปกติ



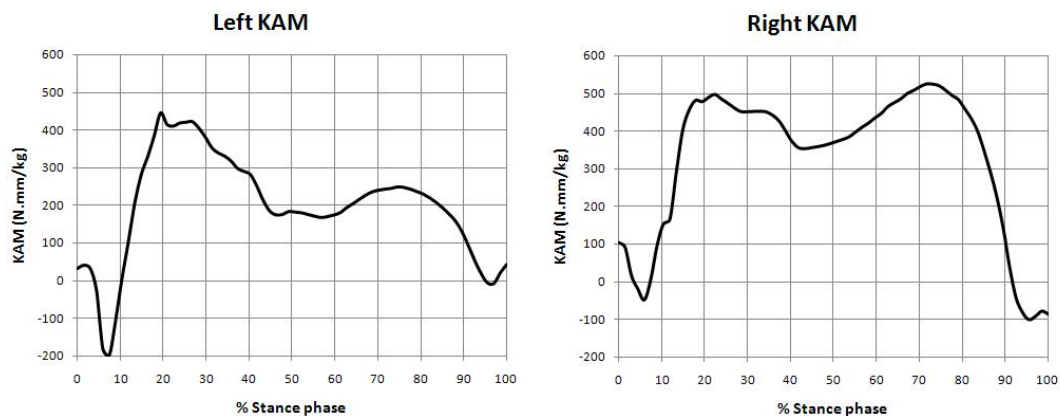
รูปที่ ค.13 แสดงกราฟ Vertical GRF ที่วัดได้จากการเดิน Trial 1 ด้วย Compliant wedge 2°



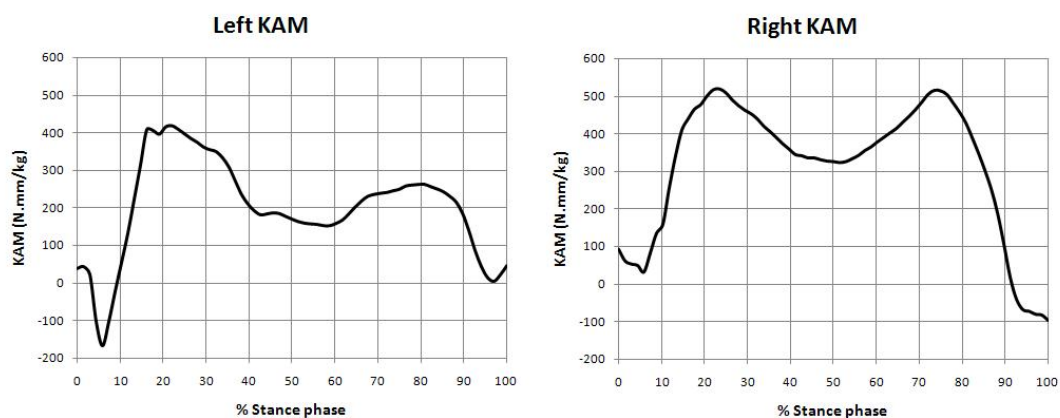
รูปที่ ค.14 แสดงกราฟ Vertical GRF ที่วัดได้จากการเดิน Trial 2 ด้วย Compliant wedge 2°



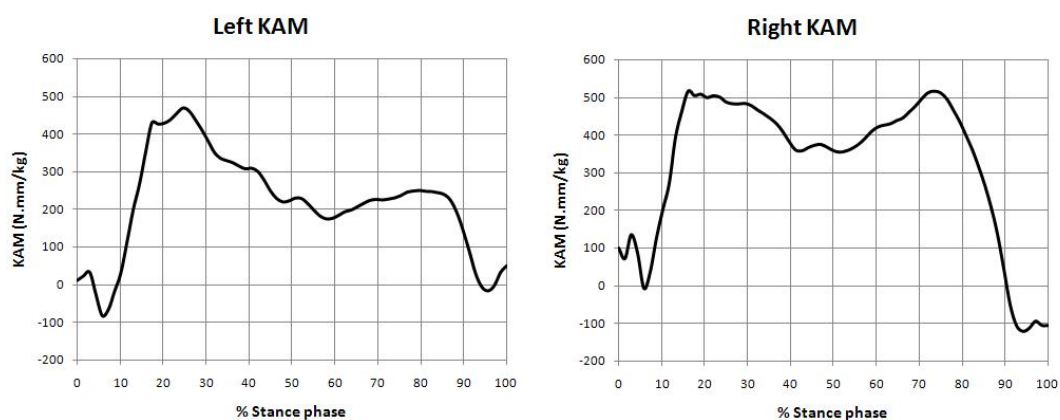
รูปที่ ค.15 แสดงกราฟ Vertical GRF ที่วัดได้จากการเดิน Trial 3 ด้วย Compliant wedge 2°



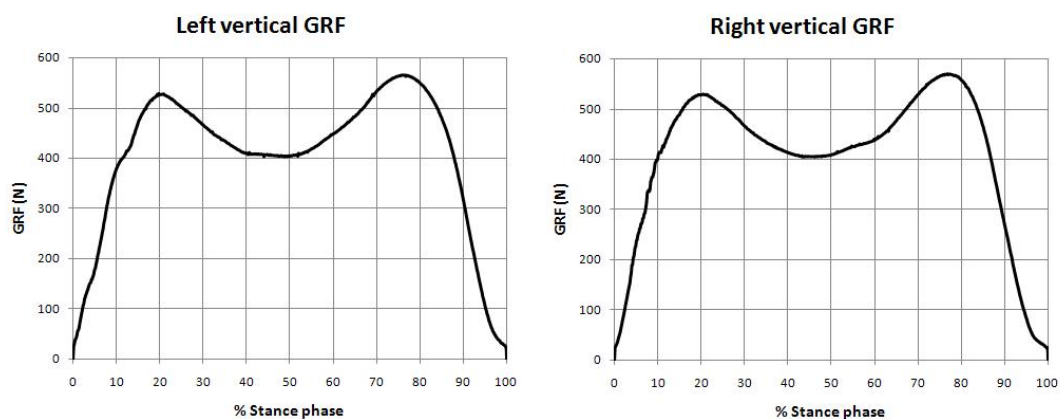
รูปที่ ๑.16 แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 1 ด้วย Compliant wedge 2°



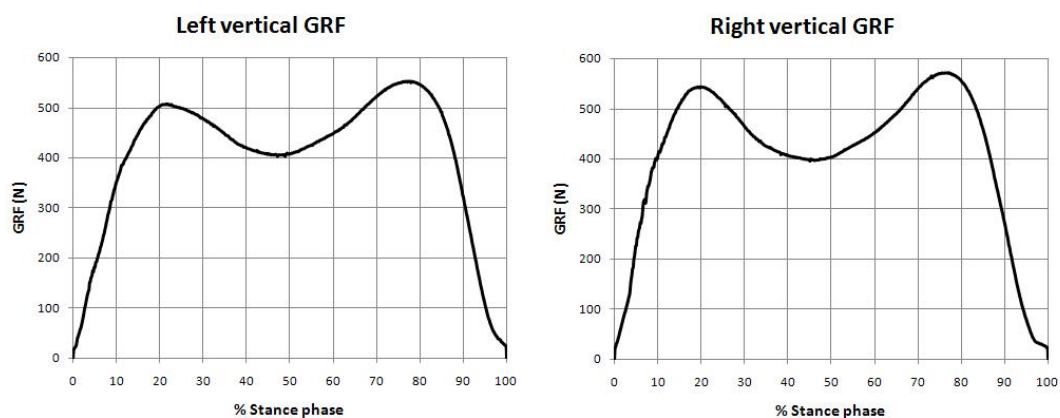
รูปที่ ๑.17 แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 2 ด้วย Compliant wedge 2°



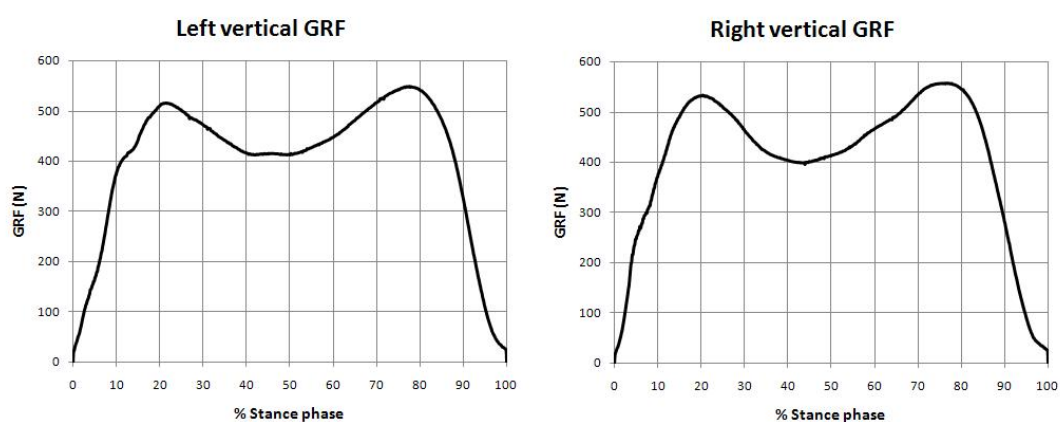
รูปที่ ๑.18 แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 3 ด้วย Compliant wedge 2°



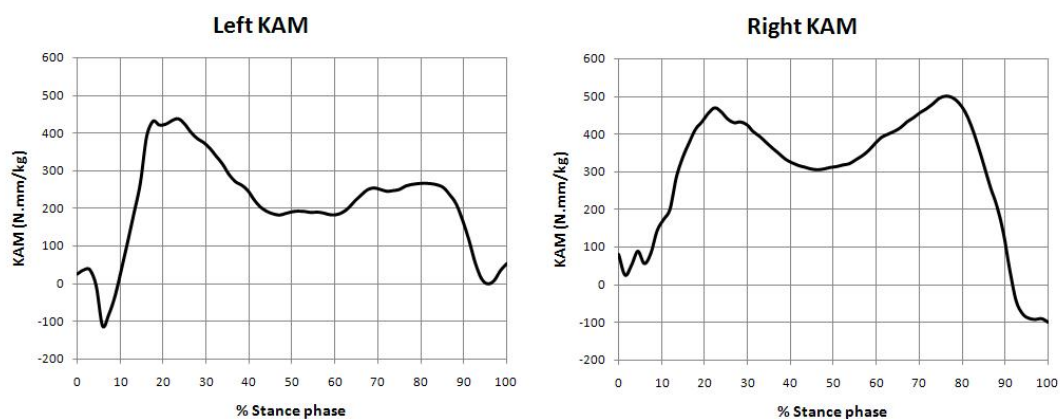
รูปที่ ค.19 แสดงกราฟ Vertical GRF ที่วัดได้จากการเดิน Trial 1 ด้วย Compliant wedge 4°



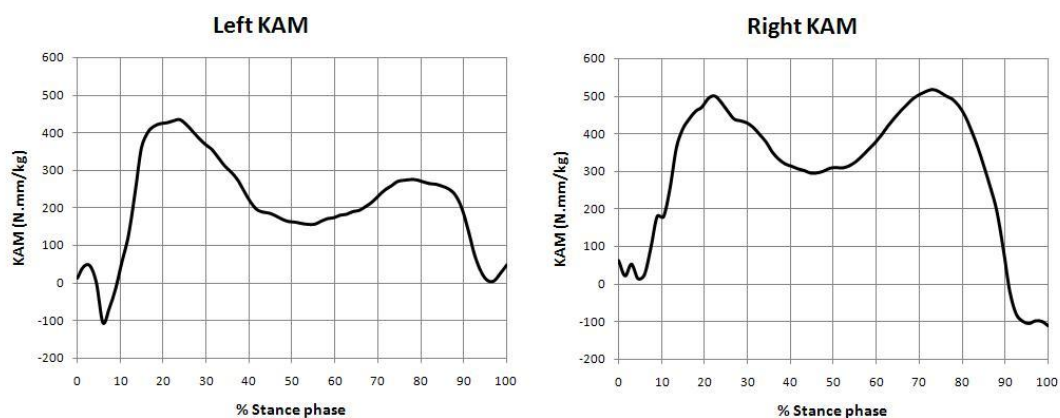
รูปที่ ค.20 แสดงกราฟ Vertical GRF ที่วัดได้จากการเดิน Trial 2 ด้วย Compliant wedge 4°



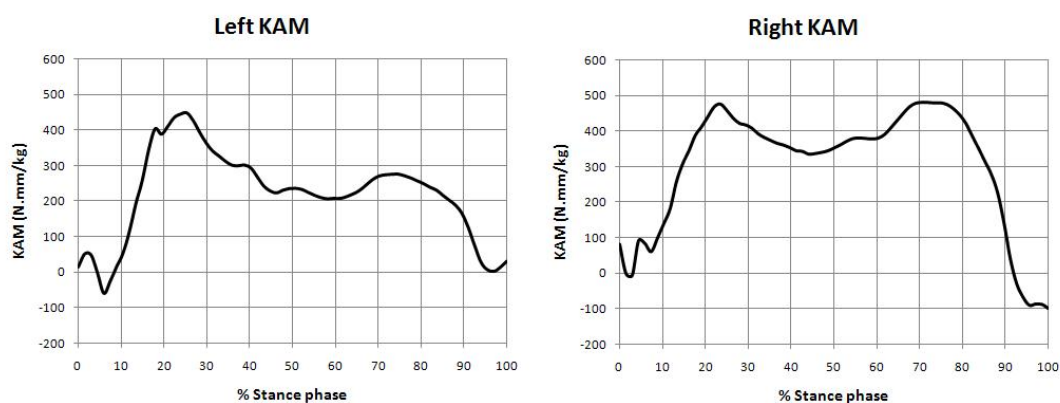
รูปที่ ค.21 แสดงกราฟ Vertical GRF ที่วัดได้จากการเดิน Trial 3 ด้วย Compliant wedge 4°



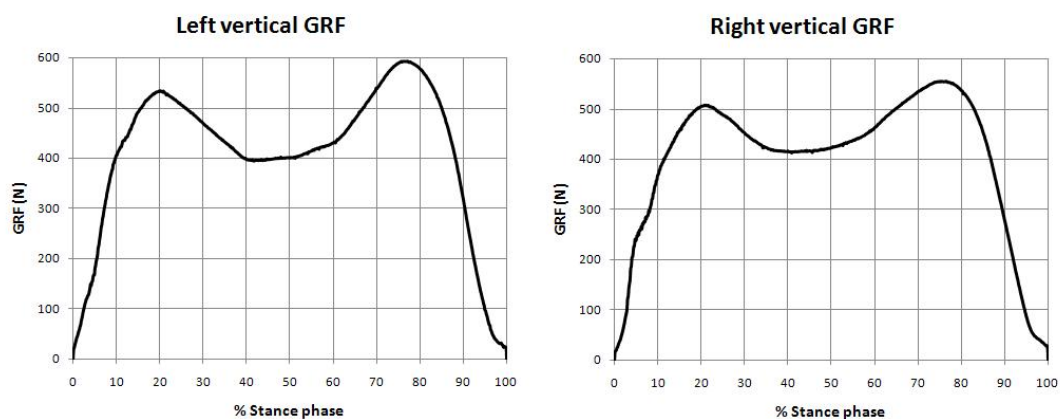
รูปที่ ๒.๒๒ แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 1 ด้วย Compliant wedge 4°



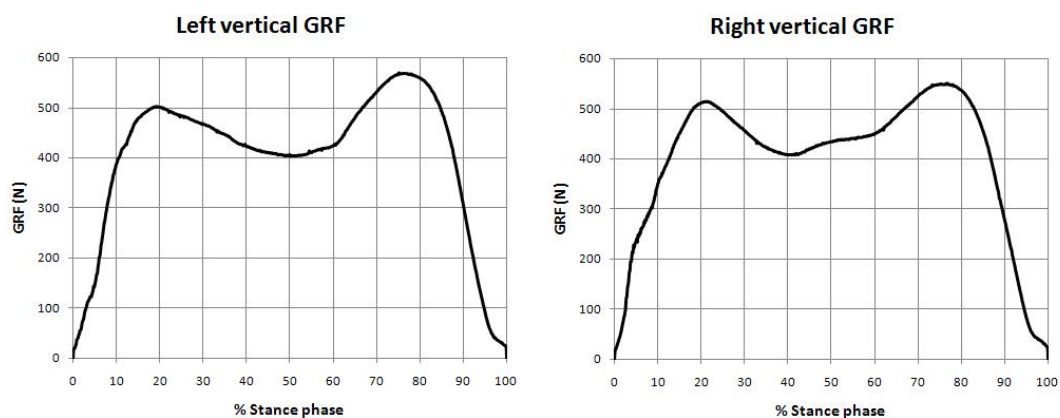
รูปที่ ๒.๒๓ แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 2 ด้วย Compliant wedge 4°



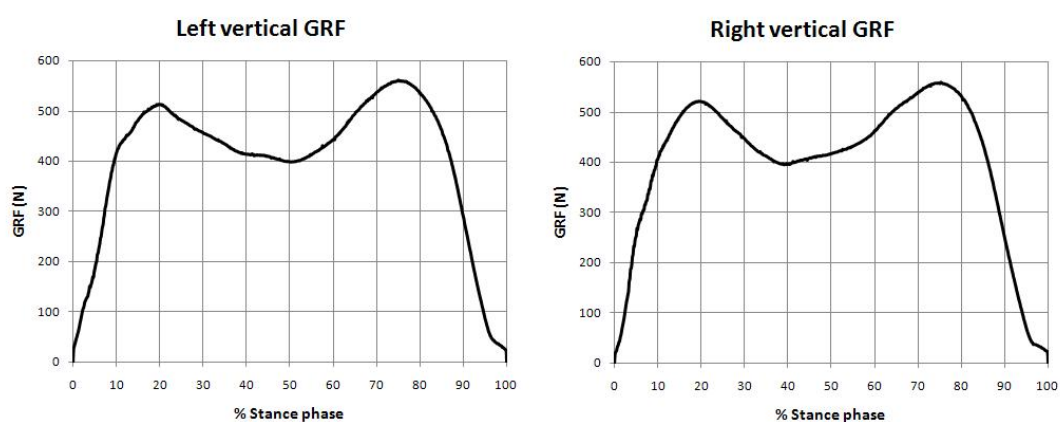
รูปที่ ๒.๒๔ แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 3 ด้วย Compliant wedge 4°



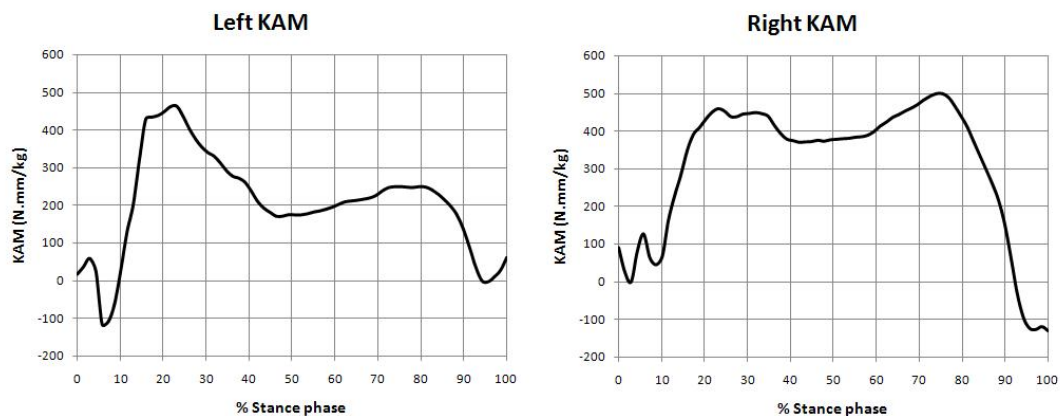
รูปที่ ค.25 แสดงกราฟ Vertical GRF ที่วัดได้จากการเดิน Trial 1 ด้วย Compliant wedge 6°



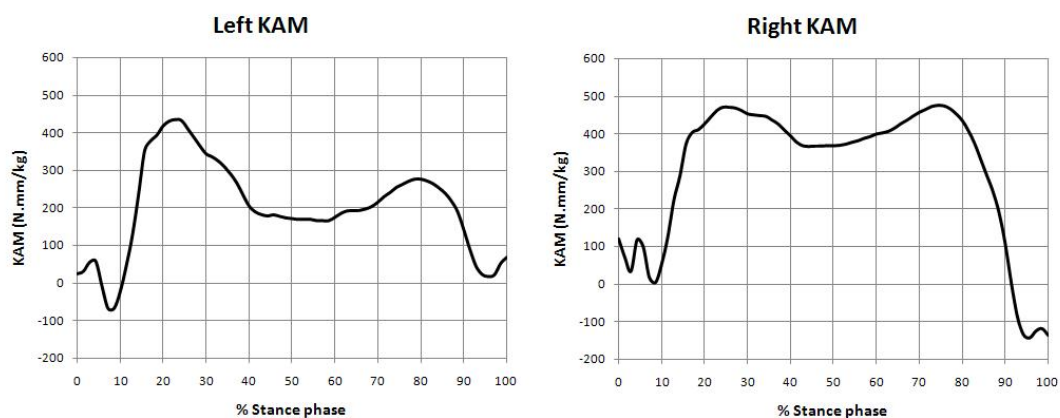
รูปที่ ค.26 แสดงกราฟ Vertical GRF ที่วัดได้จากการเดิน Trial 2 ด้วย Compliant wedge 6°



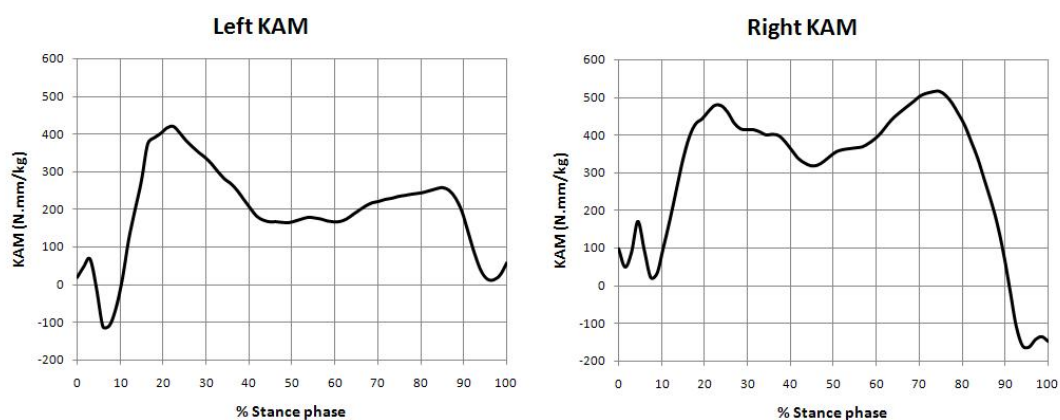
รูปที่ ค.27 แสดงกราฟ Vertical GRF ที่วัดได้จากการเดิน Trial 3 ด้วย Compliant wedge 6°



รูปที่ ๒.๒๘ แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 1 ด้วย Compliant wedge 6°



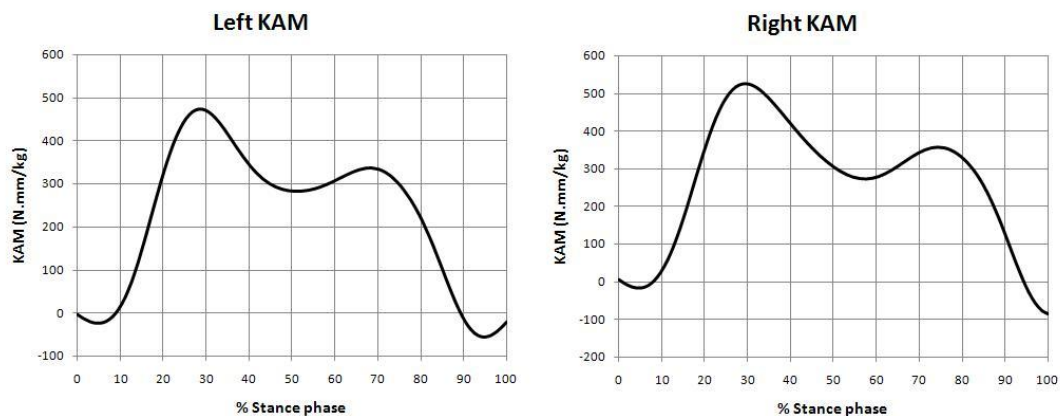
รูปที่ ๒.๒๙ แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 2 ด้วย Compliant wedge 6°



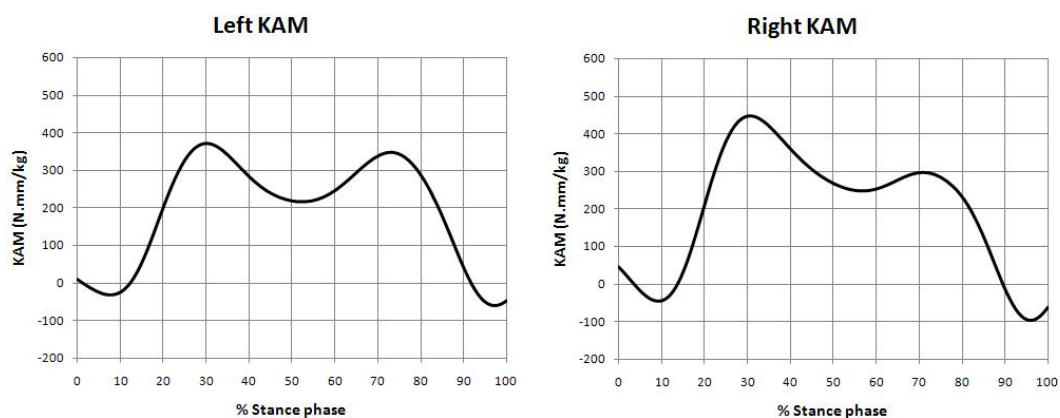
รูปที่ ๒.๓๐ แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 3 ด้วย Compliant wedge 6°

ภาคผนวก ง

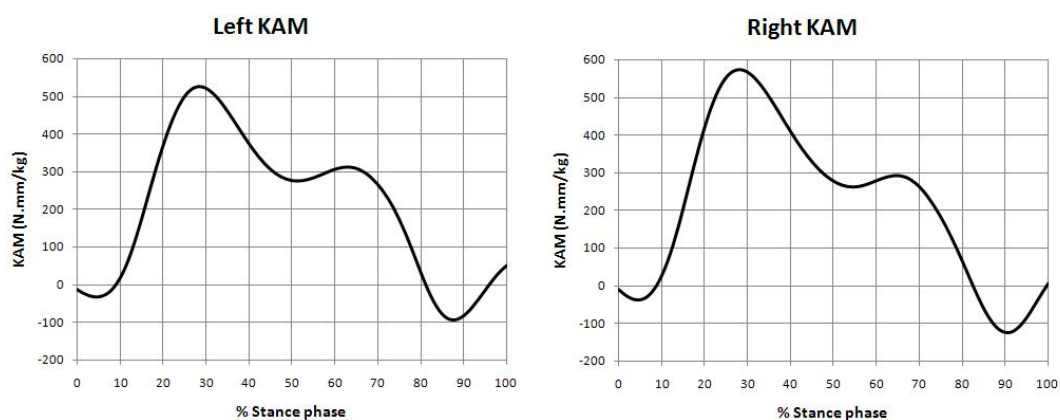
ผลการทดสอบการเดินด้วยแบบจำลองการเดินในโปรแกรม Adams Life Module



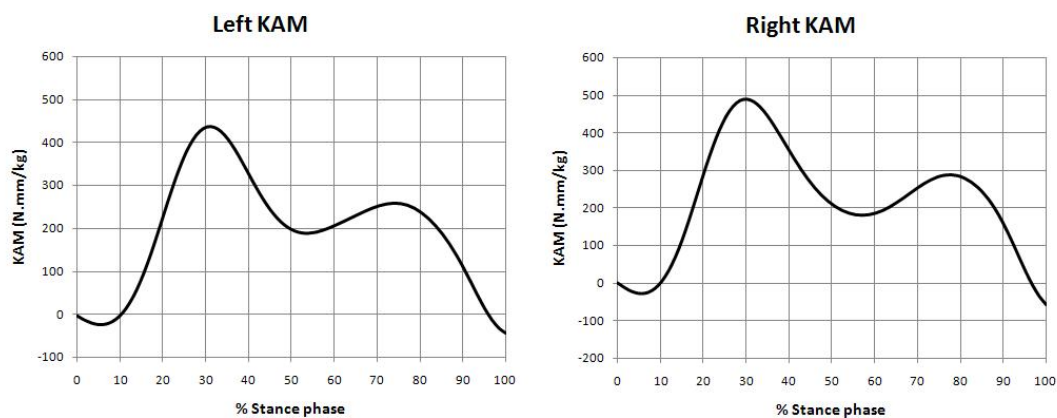
รูปที่ ง.1 แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 1 ด้วย LWO 0°



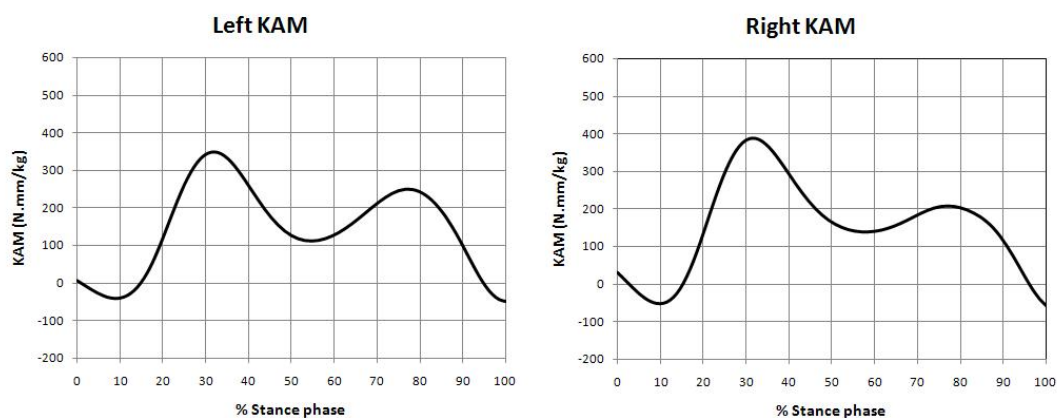
รูปที่ ง.2 แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 2 ด้วย LWO 0°



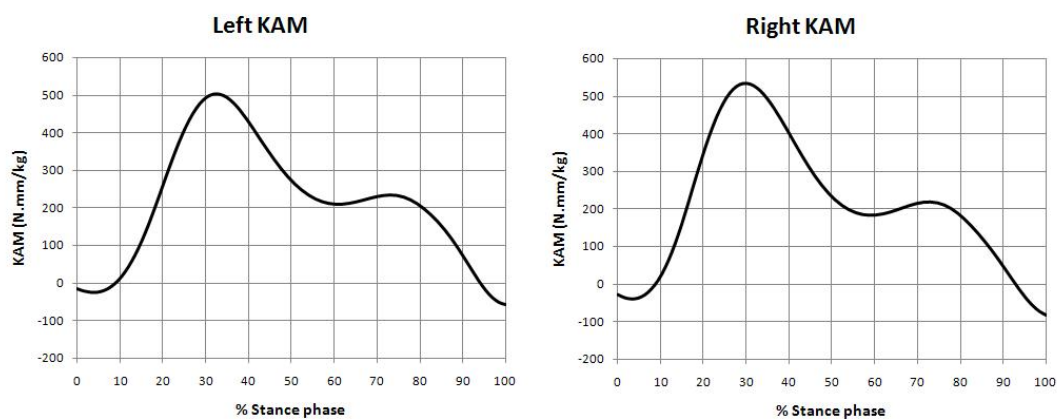
รูปที่ ง.3 แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 3 ด้วย LWO 0°



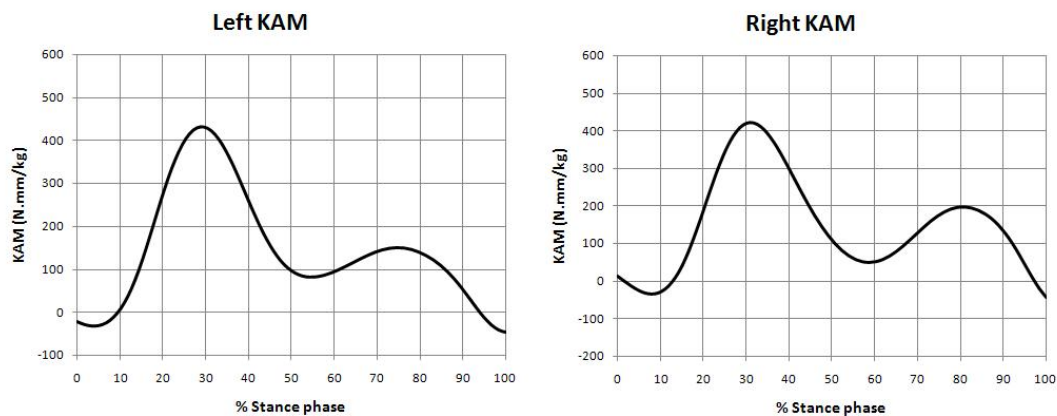
รูปที่ ๔.๔ แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 1 ด้วย LWO 2°



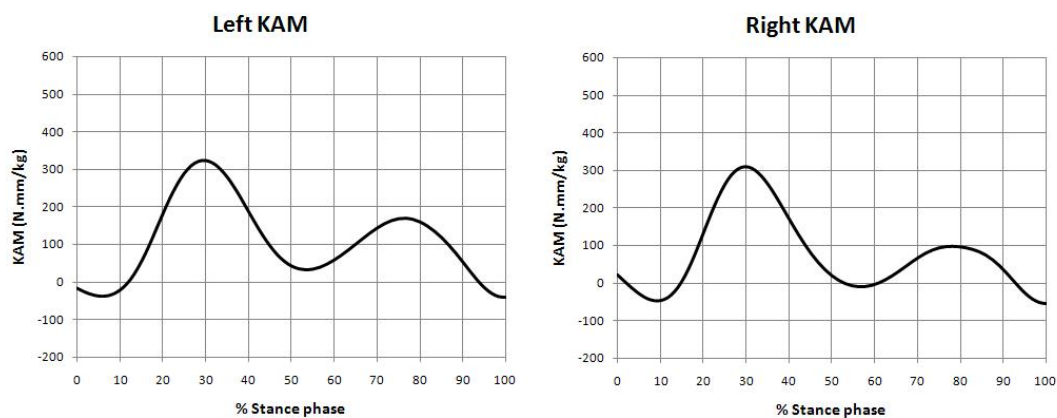
รูปที่ ๔.๕ แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 2 ด้วย LWO 2°



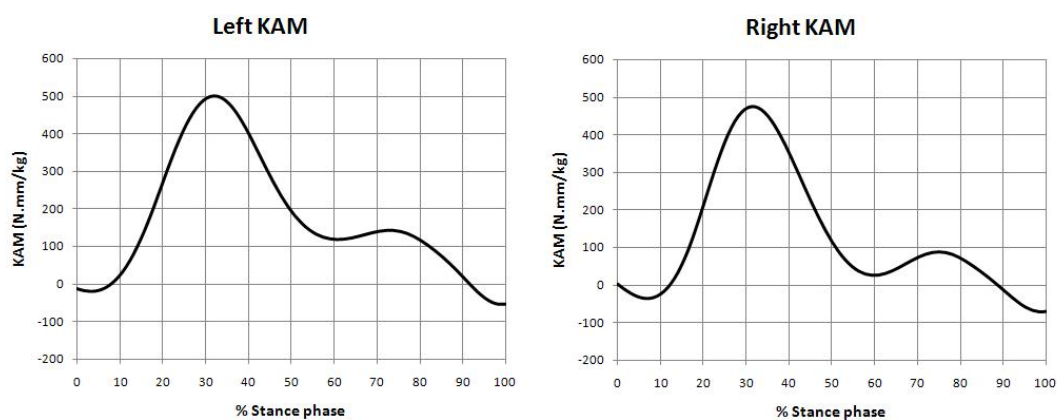
รูปที่ ๔.๖ แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 3 ด้วย LWO 2°



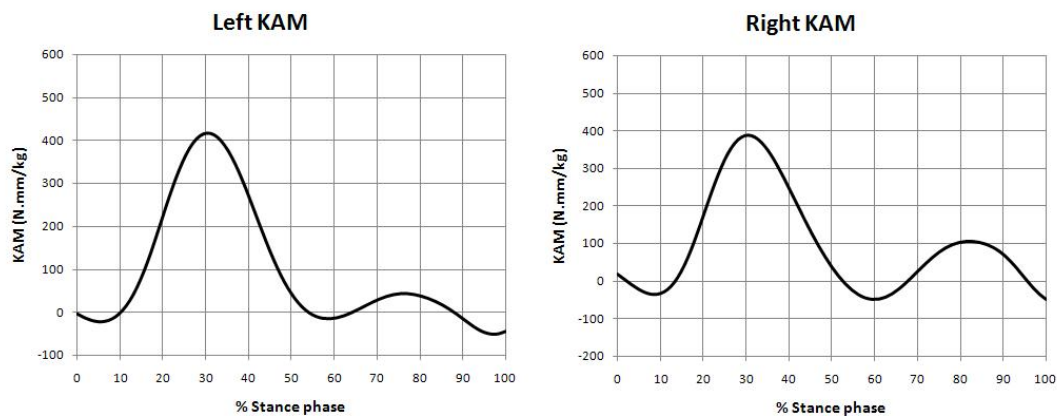
รูปที่ ๗.๗ แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 1 ด้วย LWO 4°



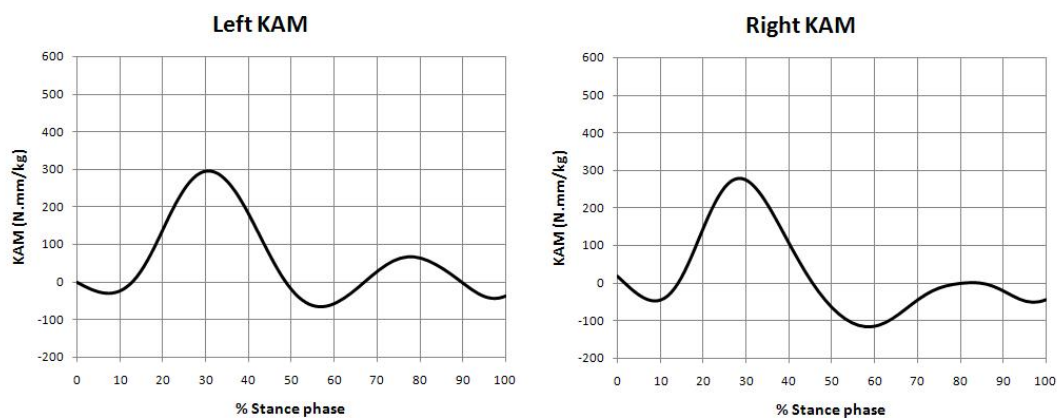
รูปที่ ๗.๘ แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 2 ด้วย LWO 4°



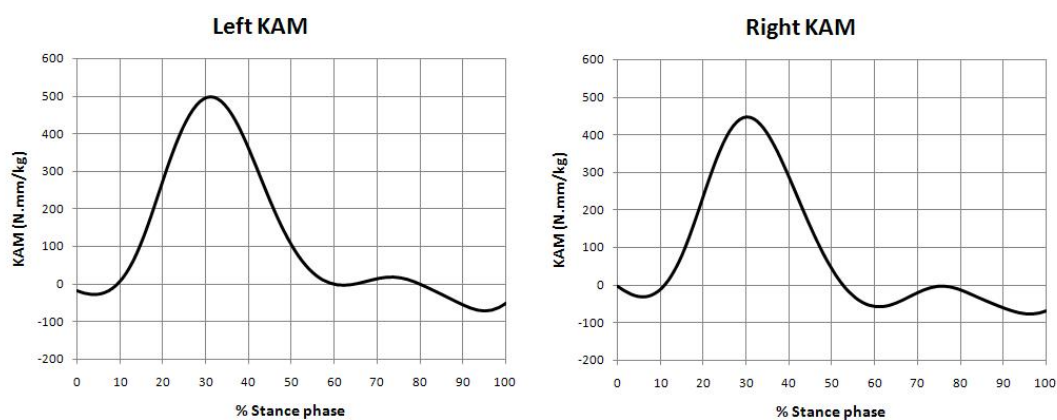
รูปที่ ๗.๙ แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 3 ด้วย LWO 4°



รูปที่ ๑.10 แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 1 ด้วย LWO 6°



รูปที่ ๑.11 แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 2 ด้วย LWO 6°



รูปที่ ๑.12 แสดงกราฟ KAM ที่วัดได้จากการเดิน Trial 3 ด้วย LWO 6°

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นายธนกฤต มณีกิตติโชติ
วัน เดือน ปีเกิด	17 พฤษภาคม 2526
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษา	ประโยคมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนวัดราชโอรส พ.ศ. 2545
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2550
ระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2556
ทุนการศึกษา หรือทุนวิจัย	ทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ ปีงบประมาณ 2556
ประวัติการทำงาน	วิศวกรออกแบบ บริษัท เมททรอน เมคคิลคอล จำกัด พ.ศ. 2551-2553
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	Maneekittichot, T., Sorachaimetha, P., Onmanee, P., and Chanthasopeepphan, T., “The Effect of Vary Varus Malalignment on Knee Adduction Moment during Walking of Human Normal Gait”, 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC’13 , 3-7 July 2013, Osaka, Japan. pp. 7229-7232.