โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การศึกษาการเดินและการวิ่งด้วยวีดีโอ

ชื่อนิสิต นายอัจฉริยะ ศรียัง เลขประจำตัว 5833448123

ภาควิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2561

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานโครงงานนิสิตชั้นปีที่ 4

เรื่อง

การศึกษาการเดินและการวิ่งด้วยวีดีโอ

Study of Walking and Running with Video

โดย

นายอัจฉริยะ ศรียัง รหัสประจำตัวนิสิต 5833448123

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

หัวข้อโครงการ	การศึกษาการเดินและการวิ่งด้วยวีดีโอ
	Study of Walking and Running with Video
ชื่อนิสิต	นายอัจฉริยะ ศรียัง
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.สธน วิจารณ์วรรณลักษณ์
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2561

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับโครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี ในรายวิชา 2304499 SENIOR PROJECT ปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการได้ตรวจสอบและรับรองรายงานเล่มนี้แล้ว

วิสิทธิ์ ลีลาศิริวงศ์ ....ประธานกรรมการ

(อาจารย์วิสิทธิ์ ลีลาศิริวงศ์)

อรพิน วรรณดิลก ....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.อรพิน วรรณดิลก)

สธน วิจารณ์วรรณลักษณ์ ....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร.สธน วิจารณ์วรรณลักษณ์)

หัวข้อโครงการ	การศึกษาการเดินและการวิ่งด้วยวีดีโอ
ชื่อนิสิต	นายอัจฉริยะ ศรียัง
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.สธน วิจารณ์วรรณลักษณ์
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์ว่าค่าสัมประสิทธิ์ C และเลขยกกำลัง α ของการเดินและการวิ่งในสมการของอเล็กซานเดอร์มีค่าต่างกัน ซึ่งได้ทำการทดลองโดยการให้ผู้ร่วมทดลองทั้งสิ้น 30 คน แบ่งเป็นเพศชาย 16 คน และเพศหญิง 14 คน ทำการเดิน เดินเร็ว วิ่งเหยาะ และวิ่งเร็ว บันทึกวีดีโอแล้วนำไปวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ C และเลขยกกำลัง α ของการเคลื่อนในแต่ละแบบ แล้วนำค่าที่ได้ของแต่ละรูปแบบการเคลื่อนที่มาเปรียบเทียบกันระหว่างเพศชายและเพศหญิงและเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการเคลื่อนที่ของเพศนั้น

ผลการศึกษาพบว่า เพศชายมีค่าเลขยกกำลัง α และสัมประสิทธิ์ C ไม่ต่างกันในการเดินและวิ่งเร็วโดยมีค่า $\alpha = 0.28 \pm 0.02$ และ $C = 2.43 \pm 0.03$ ส่วนเพศหญิงพบว่าค่าเลขยกกำลัง α สัมประสิทธิ์ C ต่างกันในการเดินและวิ่งเร็ว โดยในกรณีของการเดิน $\alpha = 0.32 \pm 0.02$ และ $C = 2.67 \pm 0.03$ ส่วนการวิ่งเร็ว $\alpha = 0.28 \pm 0.03$ และ $C = 2.56 \pm 0.03$ ทั้งนี้สันนิษฐานว่ารูปแบบการเดินและวิ่งเร็วในเพศหญิงมีลักษณะปลีกย่อยที่ต่างไปจากเพศชาย

Title	Study of Walking and Running with Video
Student Name	Mr. Atchariya Sriyang
Project Adviser	Dr. Sathon Vijarnwannaluk
Department	Physics
Academic Year	2561

Abstract

This study aims to prove that the α and C of walking and running in Alexander's equation have different values. The experiment was conducted by using 30 participants which were divided into 16 males and 14 females. The videos in which participants walk, brisk walk, jog, and sprint were recorded in order to analyze and investigate the α and C of each movement. Then α and C values of each movement pattern of males and females and between males and females were compared.

The findings of the study indicated that the α and C values of males are not different in walking and sprinting, i.e. $\alpha = 0.28 \pm 0.02$ and $C = 2.43 \pm 0.03$. Whereas, females showed that α and C are different in walking and sprinting (in the case of walking $\alpha = 0.32 \pm 0.02$ and $C = 2.67 \pm 0.03$, while sprinting $\alpha = 0.28 \pm 0.03$ and $C = 2.56 \pm 0.03$). It is assumed that the pattern of walking and sprinting in females have finer detail different from males.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.สธน วิจารณ์วรรณลักษณ์ ที่สละเวลาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ในด้านการให้คำปรึกษา เสนอแนะ และให้ความรู้ในส่วนต่างๆ ที่ข้าพเจ้าไม่เข้าใจ และกราบขอบพระคุณ อาจารย์วิสิทธิ์ ลีลาศิริวงศ์ และ อาจารย์ ดร.อรพิน วรรณดิลก ที่สละเวลามาเป็นกรรมการในการสอบครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อุดมศิลป์ ปิ่นสุข และเพื่อนๆ ทั้งในและนอกภาควิชาฟิสิกส์ที่สละเวลามาเป็นผู้ร่วมทดลองในโครงงานครั้งนี้ด้วย

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
-ที่มาและความสำคัญ	1
-ขอบเขตของการศึกษา	2
-วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
-วิธีการดำเนินการ	2
-ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
-สมมติฐาน	3
บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง	
-การพิจารณาความสมดุลของร่างกาย	4
-การเดิน	5
-ลูกตุ้มฟิสิกัล	8
-สมการของ Alexander	11
-การวิ่ง	13
-วิธีกำลังสองน้อยที่สุด	14
บทที่ 3 วิธีการศึกษา	19
บทที่ 4 ผลการศึกษา	25
-ผลการศึกษาค่าเลขยกกำลัง α และค่าสัมประสิทธิ์ C ในกรณีการเดิน	25
-ผลการศึกษาค่าเลขยกกำลัง α และค่าสัมประสิทธิ์ C ในกรณีการเดินเร็ว	27
-ผลการศึกษาค่าเลขยกกำลัง α และค่าสัมประสิทธิ์ C ในกรณีการวิ่งเหยาะ	29
-ผลการศึกษาค่าเลขยกกำลัง α และค่าสัมประสิทธิ์ C ในกรณีการวิ่งเร็ว	31
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	34
บรรณานุกรม	36

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

ในปี ค.ศ. 1976 โรเบิร์ต แม็คเนลล์ อเล็กซานเดอร์ (Robert McNeill Alexander) นักสัตววิทยาชาวอังกฤษซึ่งเป็นผู้บุกเบิกในการศึกษาทางด้านชีวกลศาสตร์ (Biomechanics) ได้ตีพิมพ์บทความวิจัยลงในวารสารวิทยาศาสตร์เนเจอร์ (Nature) จากการที่เขาทำการศึกษาการเคลื่อนที่ของมนุษย์รวมทั้งสัตว์บกหลายชนิดและได้สร้างสมการที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วในการเดินหรือการวิ่ง (u) ระยะการก้าวเท้า (λ) ความยาวขา (L) และความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) โดยเขามีจุดมุ่งหมายเพื่อนำไปใช้ในการหาความเร็วในการเคลื่อนที่ของไดโนเสาร์[1] สมการนี้สร้างโดยอาศัยหลักที่มองว่าในการเดินหรือวิ่งนั้น การเคลื่อนที่ของขาเปรียบเสมือนการแกว่งของลูกตุ้มกายภาพ (Physical Pendulum) [2] โดยสมการคือ

$$\lambda/L = C(u^2/gL)^{\alpha} \qquad (1.1)$$

โดยที่ C และ α เป็นค่าคงที่

จากการศึกษาข้างต้นของอเล็กซานเดอร์ พบว่าสัมประสิทธิ์ C มีค่าเท่ากับ 2.3 และเลขยกกำลัง α มีค่าเท่ากับ 0.3 [1] โดยที่ใช้ค่าคงที่ทั้งสองนี้เหมือนกันทั้งในการเดินและการวิ่ง และใช้ตัวอย่างเพียง 4 ตัวอย่างเท่านั้น แต่ตามหลักการแล้วการเดินและการวิ่งนั้นเป็นรูปแบบการเคลื่อนที่ที่มีความแตกต่างกัน คือ การเดินนั้นจะมีส่วนหนึ่งของร่างกายสัมผัสพื้นอยู่เสมอ ขณะเดินการก้าวเท้าไปด้านหน้าเสมือนเป็นการพยายามควบคุมสมดุลการล้มของร่างกาย การเดินจึงเป็นรูปแบบการเคลื่อนที่คล้ายกับการล้มหรือเรียกว่าการเดินนั้นเป็นอนุกรมของการล้ม[3] ส่วนการวิ่งนั้นจะมีระยะก้าวเท้ามากกว่าการเดินเพราะต้องใช้ขาที่อยู่กับพื้นกระโดดส่งตัวไปด้านหน้าซึ่งเป็นช่วงที่ทุกส่วนของร่างกายพ้นจากพื้น มีเส้นทางการเคลื่อนที่ขณะลอยตัวกลางอากาศเป็นแบบโพรเจกไทล์เหมือนลักษณะของการกระโดดหรือเรียกว่าการวิ่งนั้นเป็นอนุกรมของการกระโดด[4] ดังนั้นแล้วค่าของสัมประสิทธิ์ C และเลขยกกำลัง α ของการเดินและการวิ่งในสมการของอเล็กซานเดอร์ควรมีค่าต่างกัน

จากข้อสมมติฐานข้างต้นเพื่อเป็นการพิสูจน์ ผู้ศึกษาจึงจะทำการทดลองเพื่อหาค่าของสัมประสิทธิ์ C และเลขยกกำลัง α ของการเดินและการวิ่ง โดยจะใช้จำนวนตัวอย่างในการทดลองเพิ่มขึ้นจากของอเล็กซานเดอร์เพื่อให้มีความแม่นยำเพิ่มขึ้น ซึ่งหากข้อสมมติฐานนี้ถูกต้องจะทำให้สมการ

ของอเล็กซานเดอร์นั้นมีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น สามารถนำไปใช้ได้เหมาะสมกับสถานการณ์

ขอบเขตของการศึกษา

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

1. กลุ่มตัวอย่างเพศชายและเพศหญิง อายุระหว่าง 21- 24 ปี จำนวนรวมทั้งสิ้น 30 คน
2. บันทึกข้อมูลด้วยกล้องวีดีโอ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการทุกอย่างอยู่ในแหล่งข้อมูลเดียวกัน คือ ความเร็วของการเดิน การวิ่ง และระยะช่วงก้าวเท้า

นำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกวีดีโอมาหา ความเร็วของการเดิน การวิ่ง และระยะช่วงก้าวเท้า ด้วยโปรแกรม Tracker จัดระเบียบและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel 2013

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. พิสูจน์ว่าค่าสัมประสิทธิ์ Cและเลขยกกำลัง α ของการเดินและการวิ่งในสมการของอเล็กซานเดอร์มีค่าต่างกัน
2. สามารถนำความรู้และข้อมูลจากแหล่งความรู้ต่างๆมาใช้ในการสรุปผลการศึกษา และวิเคราะห์ผลการศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีการดำเนินการ

1. ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์วีดีโอ โปรแกรม Tracker
3. นำผู้ร่วมทดลองมาทำการทดลองและเก็บข้อมูล
4. วิเคราะห์ผลการทดลอง
5. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้และเปรียบเทียบผลที่ได้กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
6. สรุปผลการศึกษา เขียนรายงานและจัดทำเอกสารฉบับสมบูรณ์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ C และเลขยกกำลัง α ที่ถูกต้องและสอดคล้องกับรูปแบบการเคลื่อนที่
2. เพื่อเป็นแนวทางขยายสู่การวิจัยขั้นต่อไป
3. ฝึกการทำงานอย่างนักวิทยาศาสตร์

สมมติฐาน

ในสมการของอเล็กซานเดอร์ การเดินและการวิ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ C และเลขยกกำลัง α ต่างกัน

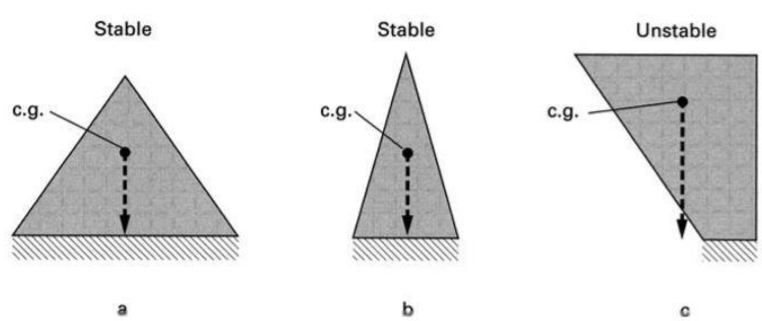
บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

การพิจารณาความสมดุลสำหรับร่างกายมนุษย์

โลกออกแรงดึงดูดต่อมวลของสิ่งต่างๆทั้งมีชีวิตและไม่มีชีวิต ในความเป็นจริงทุกองค์ประกอบเล็กๆ ของมวลในวัตถุ (หรือร่างกายของสิ่งมีชีวิต) ถูกดึงดูดโดยโลก ผลรวมของแรงเหล่านี้คือน้ำหนักรวมของวัตถุ ในบางกรณีน้ำหนักนี้สามารถพิจารณาได้ว่าเกิดจากแรง (อาจเป็นแรงโน้มถ่วงของโลก) ที่กระทำผ่านจุดเดียวที่เรียกว่าจุดศูนย์กลางมวล (center of mass) หรือจุดศูนย์ถ่วง (center of gravity) วัตถุจะอยู่ในลักษณะสมดุลคงที่เมื่อผลรวมของเวกเตอร์ของทั้งแรงและทอร์คที่กระทำต่อวัตถุนั้นเป็นศูนย์ หากนั้นแล้ววัตถุจะอยู่ในสถานะที่ไม่สมดุล เช่น ในกรณีของการล้ม

ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงเมื่อเทียบกับฐานของวัตถุเป็นตัวกำหนดว่าวัตถุมีความสมดุลหรือไม่ วัตถุจะอยู่ในลักษณะสมดุลเมื่อเส้นที่ลากดิ่งผ่านจุดศูนย์ถ่วงมายังพื้นที่ที่ฐานสัมผัสยังอยู่ภายในบริเวณพื้นที่ฐานดังแสดงในรูปที่ 2.1a และรูปที่ 2.1b ภายใต้เงื่อนไขนี้แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อฐานจะหักล้างผลจากแรงโน้มถ่วงและทอร์คที่เกิดขึ้น ถ้าเส้นที่ลากดิ่งผ่านจุดศูนย์ถ่วงมายังพื้นที่ที่ฐานสัมผัสอยู่นอกพื้นที่ฐาน ทอร์คที่เกิดจากน้ำหนักมีแนวโน้มที่จะทำให้วัตถุล้มได้แสดงในรูปที่ 2.1c

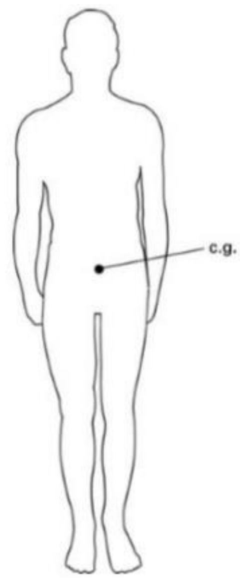


รูปที่ 2.1 ความเสถียรของวัตถุ จาก P. Davidovits, 2008, Physics in Biology and Medicine 3rd Edition, p. 3. Copyright 2008 by Elsevier Inc.

ในกรณีของคนที่ยืนตรงและวางแขนแนบลำตัว โดยที่วัดความสูงจากฝ่าเท้าถึงตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงคิดเป็นประมาณ 56% ของความสูงของคนนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2 จุดศูนย์ถ่วงจะเปลี่ยนไป

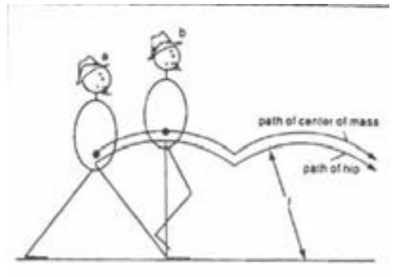
เมื่อคนนั้นเคลื่อนไหวและงอตัว ในการทรงตัวต้องรักษาจุดศูนย์ถ่วงให้อยู่ภายใต้พื้นที่ของเท้า และคนๆนั้นจะล้มเมื่อจุดศูนย์ถ่วงอยู่เลยออกนอกพื้นที่ของเท้า

การเดิน



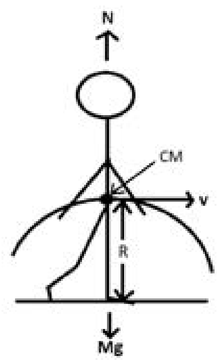
รูปที่ 2.2 จุดศูนย์ถ่วงของคน จาก P. Davidovits, 2008, Physics in Biology and Medicine 3rd Edition, p. 4. Copyright 2008 by Elsevier Inc.

การเดิน เป็นหนึ่งในการเคลื่อนที่ของสัตว์บก การเดินนั้นจะมีส่วนหนึ่งของร่างกายสัมผัสพื้นอยู่เสมอ จะมีช่วงที่เท้าเพียงข้างเดียวสัมผัสพื้นและช่วงที่เท้าทั้งสองข้างสัมผัสพื้น ขณะเดินการแกว่งขาไปด้านหน้าเสมือนเป็นการพยายามควบคุมสมดุลการล้มของร่างกาย โดยการแกว่งขาไปด้านหน้าเป็นการเพิ่มพื้นที่ฐานเพื่อรองรับจุดศูนย์ถ่วง (เส้นที่ลากดิ่งผ่านจุดศูนย์ถ่วงไปยังพื้นอยู่ในพื้นที่ฐาน) การเดินจึงเป็นรูปแบบการเคลื่อนที่คล้ายกับควบคุมการล้มหรือเรียกว่าการเดินนั้นเป็นอนุกรมของการล้ม



รูปที่ 2.3 การเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางมวลในขณะที่เดิน จาก R. M. Alexander, 1996, Walking and Running, Math Gazette 80(488): 262–266. Copyright 1996 by The Mathematical Association.

สมมติในขณะที่เดินขาที่ติดพื้นตรงและมีลักษณะเป็นวัตถุแข็งเกร็ง เท้าข้างที่ติดพื้นจะเป็นจุดหมุน เท้าที่ก้าวจะออกแรงถีบพื้นส่งร่างกายให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า จุดศูนย์กลางมวลจะเคลื่อนเป็นส่วนโค้งของวงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะจากจุดศูนย์กลางมวลถึงพื้น



รูปที่ 2.4 แรงที่กระทำในขณะที่เดิน

พิจารณาจากรูปที่ 2.4 ในขณะที่เดิน (ที่จุดสูงสุด)

$$\sum \mathrm{F} = \mathrm{ma_c}$$

$$\mathrm{mg} - \mathrm{N} = \mathrm{m}\frac{\mathrm{v}^2}{\mathrm{R}} \tag{2.1}$$

เมื่อ m คือ มวลของคนที่เดิน มีหน่วยเป็น กิโลกรัม

mg คือ น้ำหนักของคนที่เดิน มีหน่วยเป็น นิวตัน หรือ กิโลกรัม·เมตร/วินาที^{2}

R	คือ	ระยะจากจุดศูนย์กลางมวลถึงพื้น มีหน่วยเป็น เมตร
v	คือ	ความเร็วในการเดิน มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที
N	คือ	แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อเท้า นิวตัน หรือ กิโลกรัม·เมตร/วินาที^{2}
a_c	คือ	ความเร่งสู่ศูนย์กลาง มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที^{2}

จากสมการ (2.1) ถ้าเดินเร็วขึ้นจนมีความเร่งค่าหนึ่งที่ทำให้ $N = 0$ ส่งผลให้

$$mg - N = m\frac{v^2}{R} \tag{2.2}$$

จะเกิดกรณีอย่างสมการที่ (2.2) ได้นั้น เท้าต้องหลุดจากพื้น จากการเดินกลายเป็นการวิ่งแทน ทำให้ได้ว่าในการเดินจะมีความเร็วสูงสุดที่เป็นขีดจำกัดอยู่คือ

$$mg - N = m\frac{v_{max}^2}{R}$$

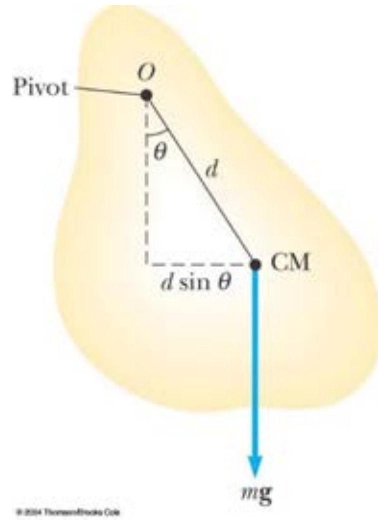
$$v_{max} = \sqrt{Rg}$$

และ

$$v \leq \sqrt{Rg} \tag{2.3}$$

จากสมการ (2.3) ความเร็วในการเดินจะขึ้นอยู่กับความยาวขา และความเร็วสูงสุดที่สามารถเดินได้คือ $\sqrt{Rg}$

ลูกตุ้มฟิสิกัล (Physical Pendulum)



รูปที่ 2.5 ลูกตุ้มฟิสิกัล จาก R. A. Serway, J. W. Jewett, 2004, Physics for Scientists and Engineers 6th Edition, p. 469. Copyright 2004 by Thomson Brooks/Cole.

ลูกตุ้มฟิสิกัล ประกอบด้วยวัตถุเกร็งที่แกว่งรอบแกนราบอันหนึ่ง จากรูปที่ จุด CM คือศูนย์กลางมวลห่างจากจุดหมุนเป็นระยะ d และทำมุม θ กับแนวดิ่ง ทอร์คที่กระทำกับวัตถุในทิศที่ให้วัตถุดึงกลับ คือ

$$\tau = -mgd\sin\theta \tag{2.4}$$

เครื่องหมายลบ (-) แสดงให้เห็นว่าทอร์ก τ มีทิศตรงข้ามกับการกระจัดเชิงมุม θ

เมื่อ τ คือ ทอร์คที่ดึงวัตถุกลับสู่จุดสมดุล มีหน่วยเป็น นิวตัน•เมตร

mg คือ น้ำหนักของวัตถุ มีหน่วยเป็น นิวตัน

$d\sin\theta$ คือ ระยะจากจุดศูนย์กลางมวลถึงจุดหมุนในแนวตั้งฉาก มีหน่วยเป็น เมตร

และจากนิยามของทอร์ค

$$\tau = I\alpha \tag{2.5}$$

$$\tau = I\frac{d^2\theta}{dt^2} \tag{2.6}$$

เมื่อ τ คือ ทอร์คที่ดึงวัตถุกลับสู่จุดสมดุล มีหน่วยเป็น นิวตัน•เมตร

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม·เมตร^2

α คือ ความเร่งเชิงมุมของวัตถุ มีหน่วยเป็น เรเดียน/วินาที

θ คือ มุมที่เบนไปจากแนวสมดุล มีหน่วยเป็น เรเดียน

จากสมการ (2.4) และ (2.6) จะได้

$$I\frac{d^2\theta}{dt^2} = -mgd\sin\theta \tag{2.7}$$

จัดรูปสมการใหม่ได้ว่า

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{mgd\sin\theta}{I} = 0 \tag{2.8}$$

จากเอกลักษณ์ทางตรีโกณมิติ เมื่อ θ เป็นมุมเล็กๆ จะได้ว่า $\sin\theta \approx \theta$ จะได้สมการการเคลื่อนที่แบบ ฮาร์มอนิกอย่างง่าย คือ

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{mgd}{I}\theta = 0 \tag{2.9}$$

เมื่อเปรียบเทียบกับรูปทั่วไปของสมการการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \omega^2\theta = 0 \tag{2.10}$$

จะพบว่า

$$\omega^2 = \frac{mgd}{I} \tag{2.11}$$

จากนิยามความถี่เชิงมุม

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \tag{2.12}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{mgd}{I}} \tag{2.13}$$

นั่นคือ

$$\frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{mgd}{I}} \tag{2.14}$$

ได้ว่า

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgd}} \tag{2.15}$$

เมื่อ T คือ คาบการแกว่งของลูกตุ้มฟิสิกัล มีหน่วยเป็น วินาที

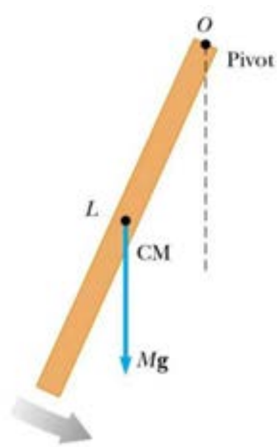
I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม·เมตร^2

m คือ มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม

g คือ ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที^{2}

d คือ ระยะจากจุดศูนย์กลางมวล มีหน่วยเป็น เมตร

ในการเดินและการวิ่งนั้นการแกว่งของขาขณะก้าวเท้าสามารถเปรียบว่าเป็นการแกว่งของลูกตุ้มฟิสิกัล โดยการมองว่าขาเป็นแท่งวัตถุตรงบาง จุดหมุนอยู่ที่ปลายด้านหนึ่ง มีมวลสม่ำเสมอเท่ากันตลอดแท่ง มีจุดศูนย์กลางมวลอยู่ตรงกลาง ช่วงที่ก้าวเท้าขาจะเหยียดตรง ไม่งอ



รูปที่ 2.6 ขาที่เปรียบเป็นลูกตุ้มฟิสิกัล จาก R. A. Serway, J. W. Jewett, 2004, Physics for Scientists and Engineers 6th Edition, p. 470. Copyright 2004 by Thomson Brooks/Cole.

จากสมการที่ (2.15) ได้คาบการแกว่งของขาดังนี้

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{2I}{mgL}} \tag{2.16}$$

แทนค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของขา โดยเปรียบขาเป็นแท่งวัตถุตรงยาวและบางที่มีจุดหมุนอยู่ที่ปลายด้านหนึ่ง

$$I = \frac{1}{3}mL^2 \tag{2.17}$$

ได้ว่า

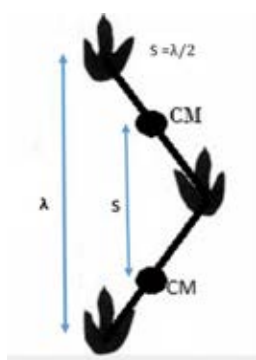
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{2L}{3g}} \tag{2.18}$$

เมื่อ T คือ คาบการแกว่งของลูกตุ้มฟิสิกัล มีหน่วยเป็น วินาที

g คือ ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที^{2}

L คือ ความยาวขาวัดจากจุดหมุนถึงพื้น มีหน่วยเป็น เมตร

สมการของ Alexander



รูปที่ 2.7 การก้าวเท้า ระยะยะก้าวและการกระจัดของจุด CM

จากรูปที่ 2.7 การกระจัดของจุด CM ในช่วงเวลา t มีค่า

$$s = \frac{\lambda}{2} \tag{2.19}$$

และ

$$v = \frac{s}{t} = \frac{\lambda}{2t} \tag{2.20}$$

เมื่อ s คือ การกระจัดของจุดศูนย์กลางมวล มีหน่วยเป็น เมตร

λ คือ ระยะก้าวเท้า มีหน่วยเป็น เมตร (โดยทั่วไปสำหรับการเดิน $\lambda \approx L$ หรือมีค่ามากกว่าเล็กน้อย)

t คือ เวลาที่จุดศูนย์กลางมวลเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็น วินาที (นานเท่ากับเวลาที่แกว่งขาจากจุดเริ่มต้นไปจุดสุดท้าย)

ถ้าสามารถก้าวได้ f ก้าวต่อวินาที

$$t = \frac{1}{f} \tag{2.21}$$

$$v = \frac{\lambda f}{2} \tag{2.22}$$

เมื่อ f คือ ความถี่ในการก้าวเท้า มีหน่วยเป็น ก้าว/วินาที

โดยการก้าวขาหนึ่งครั้งเทียบได้กับการแกว่งไปครึ่งรอบ ของลูกตุ้มฟิสิกัล ได้

$$t = \frac{T}{2} \tag{2.23}$$

จาก (2.19) และ (2.23) ในการแกว่งขาหนึ่งครั้งได้

$$v = \frac{\lambda}{T} \tag{2.24}$$

แทนค่า T จาก (2.18) ได้

$$v = \frac{\lambda}{2\pi}\sqrt{\frac{3g}{2L}} \tag{2.25}$$

คูณด้วย $\frac{L}{L}$ และทำการจัดรูปสมการ จะได้

$$\frac{\lambda}{L} = 2\pi\sqrt{\frac{2}{3}} \times \sqrt{\frac{v^2}{gL}} \tag{2.26}$$

ได้ว่า

$$\frac{\lambda}{L} \propto \sqrt{\frac{v^2}{gL}} \tag{2.27}$$

สมการ (2.26) และ (2.27) เป็นที่มาของสมการของ Alexander ในสมการ (1.1)

$$\lambda/L = C(u^2/gL)^{\alpha} \tag{2.28}$$

เมื่อ C และ α คือ ค่าคงที่

ปริมาณไร้หน่วย $\frac{v^2}{gL}$ มีชื่อเรียกว่าเลขฟรุด (Froude number) และจากสมการ (2.3) สามารถเขียนเป็น

$$\frac{v^2}{gL} \leq 1 \tag{2.29}$$

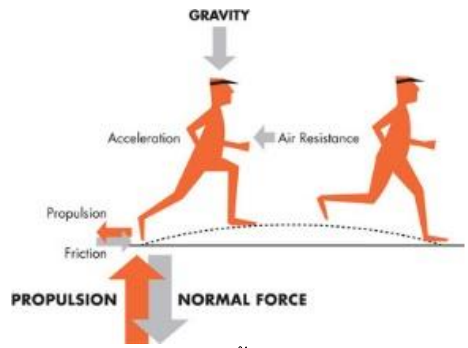
แสดงให้เห็นว่าเราไม่สามารถเดินได้ด้วยเลขฟรุดที่มีค่ามากกว่า 1 (ยกเว้นนักกีฬาที่แข่งเดินเร็ว)

จุดเด่นของแนวคิดของเลขฟรุด คือไม่ได้ผูกติดอยู่กับรูปเฉพาะแบบการเดิน แต่เป็นการแสดงให้เห็นถึงสมมติฐานทั่วไป ที่ว่าสัตว์ที่มีรูปร่างคล้ายคลึงกันแต่ขนาดต่างกันจะมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนรูปแบบการเคลื่อนที่เพื่อที่จะมีเลขฟรุดเท่ากัน (เช่น ม้า จากการเดินไปวิ่งเหยาะๆ หรือจากวิ่งเหยาะๆ ไปเป็นควบ) เปรียบเทียบสุนัขกับม้าที่มีขายาวกว่าสี่เท่า เพื่อให้มีเลขฟรุดเท่ากันม้าจะต้องเปลี่ยนรูปแบบการเคลื่อนที่ โดยจะต้องเคลื่อนที่เร็วกว่าสุนัขสองเท่า

การวิ่ง

การวิ่งไม่ใช่แค่เพียงการเดินให้เร็ว มันมีความแตกต่างในเชิงคุณภาพกับการเดิน ระหว่างเดินเท้าแต่ละข้างอยู่บนพื้นนานกว่าและบางครั้งเท้าทั้งคู่ก็อยู่บนพื้นพร้อมกัน เท้าทั้งสองข้างไม่เคยหลุดจากพื้นพร้อมกัน ในระหว่างการวิ่งเท้าแต่ละข้างอยู่บนพื้นน้อยกว่าและมีช่วงที่เท้าทั้งสองไม่ได้อยู่บนพื้น โดยก่อนหน้าที่เท้าทั้งสองจะหลุดออกจากพื้น เท้าที่ติดพื้นจะออกแรงกระโดดเพื่อส่งตัวข้างหน้า ขณะลอยตัวกลาง

อากาศมีเส้นทางการเคลื่อนที่เป็นแบบโพรเจกไทล์เหมือนลักษณะของการกระโดดหรือเรียกว่าการวิ่งนั้นเป็นอนุกรมของการกระโดด จากที่กล่าวมายังทำให้ระยะก้าวเพิ่มขึ้นจากการเดินด้วย ซึ่งในการวิ่ง $\frac{\lambda}{L} \geq 2$



รูปที่ 2.8 การวิ่ง (จังหวะที่ขาที่ติดพื้นออกแรงกระโดดส่งตัวไปข้างหน้า)
จาก https://forces-in-running.weebly.com/how-do-forces-affect-running.html

วิธีกำลังสองน้อยที่สุด[5]

ข้อมูลที่เหมาะกับเส้นตรง

ปัญหาการทดลองชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ คือการวัดปริมาณทางกายภาพสองตัวหลายๆครั้ง เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างตัวแปรทั้งสอง เช่น ปล่อยหินจากความสูงที่ต่างกัน $h_1, \ldots, h_N$ แล้วจับเวลาการตก $t_1, \ldots, t_N$ เพื่อดูว่าความสูงสัมพันธ์และเวลาเกี่ยวข้องกันตามความสัมพันธ์ $h = \frac{1}{2}gt^2$ หรือไม่

ในบรรดาการทดลองประเภทนี้ การทดลองที่สำคัญที่สำคัญที่สุดอาจจะเป็นการทดลองที่คาดหวังเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear) เช่น ถ้าเราเชื่อว่าวัตถุตกลงมาด้วยความเร่งคงที่ g แล้วความเร็ว v ควรจะเป็นฟังก์ชันของเวลา t ตามสมการ

$$v = v_0 + gt \tag{2.30}$$

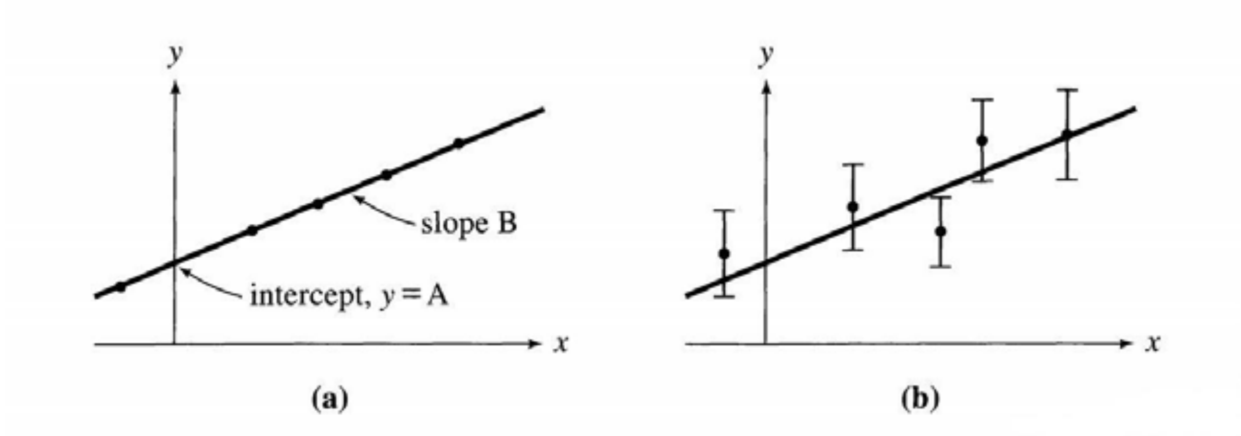
ในกรณีทั่วไป เราจะพิจารณาตัวแปรทางกายภาพสองตัวใดๆ x และ y ซึ่งถูกคาดว่าเกี่ยวข้องกันด้วยความสัมพันธ์เชิงเส้นในรูป

$$y = A + Bx \tag{2.31}$$

โดย A และ B คือค่าคงตัว

ถ้าตัวแปร x และ y สัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นตาม (2.31) แล้วกราฟระหว่าง x กับ y จะเป็นเส้นตรงความชัน B และตัดแกน y ที่ A ถ้าเราวัดค่าต่างๆ N ค่า $x_1, x_2, \ldots, x_N$ และค่าของตัวแปรตาม $y_1, y_2, \ldots, y_N$ และถ้าการวัดของเราไม่มีความไม่แน่นอนแล้ว จุดแต่ละจุด (x_i, y_i) จะ

อยู่บนเส้นตรง $y = A + Bx$ ดังรูปที่ 2.9a แต่ในทางปฏิบัติจะมีความไม่แน่นอนเสมอ เราจึงคาดหวังสูงสุดได้เพียงเส้นตรงที่เหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับความไม่แน่นอน ดังรูปที่ 2.9b



รูปที่ 2.9 (a) ถ้าตัวแปร x และ y สัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นดังสมการ (2.31) และถ้าการวัดของเราไม่มีความไม่แน่นอนแล้วจุดของผลการวัด (x_i, y_i) ทั้งหมดจะอยู่บนเส้นตรง $y = A + Bx$

(b) ในทางปฏิบัติจะมีความไม่แน่นอนเสมอ เราจึงคาดหวังสูงสุดได้เพียงจุด (x_i, y_i) ทั้งหลายอยู่ใกล้กับเส้นตรงอย่างเหมาะสม

จาก J. R. Taylor, 1997, An Introduction to Error Analysis The Study of Uncertainties in Physical Measurements 2nd Edition, p.182. . Copyright 1997 by University Science Books.

การคำนวณค่าคงตัว A และ B

โดยในที่นี้จะสมมติว่า ถึงแม้ผลการวัดค่า y จะมีความไม่แน่นอนอยู่ในระดับหนึ่ง แต่ความไม่แน่นอนของผลการวัดค่า x สามารถละทิ้งได้ สมมติฐานนี้ส่วนมากแล้วสมเหตุสมผล เพราะว่าความไม่แน่นอนของตัวแปรหนึ่งมักจะมีค่ามากกว่าความไม่แน่นอนของตัวแปรที่เหลืออย่างมาก จึงละทิ้งได้โดยไม่เกิดผลเสีย และจะสมมติอีกว่า ความไม่แน่นอนของ y มีขนาดเท่ากันทั้งหมด (สมมติฐานนี้สมเหตุสมผลกับการทดลองหลายอย่าง แต่ถ้าความไม่แน่นอนต่างกัน เราสามารถดัดแปลงการวิเคราะห์ได้ด้วยแนวคิดของการถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมให้ผลการวัด) หรือก็คือ เราสมมติให้ผลการวัด y_i แต่ละตัวเป็นการแจกแจงเกาส์ที่มีพารามิเตอร์ความกว้าง σ_y เท่ากัน

ถ้าเราทราบค่าคงที่ A และ B สำหรับค่า x_i ใดๆ ที่กำหนด((ซึ่งสมมติว่าไม่มีความไม่แน่นอน) แล้วจะสามารถคำนวณค่าจริงของ y_i ได้จาก

$$\text{ค่าจริงของ } y_i = A + Bx_i \tag{2.32}$$

ผลการวัด y_i เป็นการแจกแจงเกาส์ที่มีศูนย์กลางอยู่ที่ค่าจริง และมีความกว้าง σ_y ดังนั้น ความน่าจะเป็นที่จะได้ค่า y_i คือ

$$P_{A,B}(y_i) \propto \frac{1}{\sigma_y} e^{-(y_i - A - Bx_i)^2/2\sigma_y^2} \tag{2.33}$$

ตัวห้อย A และ B ใช้แสดงว่าความน่าจะเป็นขึ้นกับ A และ B (ซึ่งยังไม่ทราบค่า) ดังนั้น ความน่าจะเป็นที่จะได้ข้อมูลทั้งชุด $y_1, y_2, \ldots, y_N$ คือ

$$P_{A,B}(y_1, y_2, \ldots, y_N) = P_{A,B}(y_1) \cdots P_{A,B}(y_N) \propto \frac{1}{\sigma_y} e^{-\chi^2/2} \tag{2.34}$$

โดยเลขชี้กำลังคือ

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{N} \frac{(y_i - A - Bx_i)^2}{\sigma_y^2} \tag{2.35}$$

ค่าประมาณที่ดีที่สุดของค่าคงตัวที่ไม่ทราบค่า A , B ก็คือค่า A และ B ที่ทำให้ความน่าจะเป็น $P_{A,B}(y_1, y_2, \ldots, y_N)$ มีค่าสูงสุด หรือผลบวกกำลังสอง χ^2 ในสมการ (2.35) มีค่าต่ำสุด (นี่คือสาเหตุที่ทำให้เรียกวิธีนี้ว่าวิธีกำลังสองน้อยที่สุด) เพื่อหาค่าทั้งสอง ต้องทำการหาค่าอนุพันธ์ χ^2 เทียบกับ A และ B และกำหนดให้อนุพันธ์มีค่าเท่ากับศูนย์

$$\frac{\partial \chi^2}{\partial A} = \frac{-2}{\sigma_y^2} \sum_{i=1}^{N} (y_i - A - Bx_i) = 0 \tag{2.36}$$

$$\frac{\partial \chi^2}{\partial B} = \frac{-2}{\sigma_y^2} \sum_{i=1}^{N} x_i(y_i - A - Bx_i) = 0 \tag{2.37}$$

สมการทั้งสองสมการสามารถเขียนในรูปสมการหลายชั้น (simultaneous equations) ของ A และ B ได้ดังนี้

$$AN + B \sum x_i = \sum y_i \tag{2.38}$$

และ

$$A \sum x_i + B \sum x_i^2 = \sum x_i y_i \tag{2.39}$$

สมการทั้งสองนี้มีชื่อเรียกว่าสมการปกติ (normal equation) เมื่อแก้สมการ จะได้ค่าประมาณกำลังสองน้อยที่สุดสำหรับค่าคงตัว A และ B ดังนี้

$$A = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i}{\Delta} \tag{2.40}$$

และ

$$B = \frac{N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\Delta} \tag{2.41}$$

โดย

$$\Delta = N \sum x_i^2 - \left(\sum x_i\right)^2 \tag{2.42}$$

ผลลัพธ์ (2.40) และ (2.41) คือค่าประมาณที่ดีที่สุดสำหรับค่าคงตัว A และ B ของเส้นตรง $y = A + Bx$ จากข้อมูล $(x_1, y_1), \ldots, (x_N, y_N)$ เส้นตรงที่ได้เรียกว่า เส้นตรงเหมาะสมกำลังสองน้อยที่สุดของข้อมูล หรือเส้นตรงถดถอยของ y ต่อ x (line of regression of y on x)

ความไม่แน่นอนในการวัด y

ในระหว่างที่วัดค่า $y_1, y_2, \ldots, y_N$ นั้นถือได้ว่าได้สร้างแนวคิดบางอย่างเกี่ยวกับความไม่แน่นอนของผลการวัด แต่เรื่องสำคัญที่ต้องรู้คือ จะคำนวณความไม่แน่นอนจากข้อมูลที่เก็บมาได้อย่างไร เนื่องจากจำนวน $y_1, y_2, \ldots, y_N$ มาใช่ผลการวัด N ครั้งของปริมาณเดียวกัน (เช่น ข้อมูลอาจหมายถึง เวลาที่ก้อนหินตกถึงพื้นจากระดับความสูงต่างกัน N ระดับ) การพิจารณาค่าที่แผ่กระจายเหล่านี้จึงไม่มีทางทราบความเชื่อถือได้ของผลการวัด

สามารถประมาณค่าความไม่แน่นอน σ_y ของจำนวน $y_1, y_2, \ldots, y_N$ ได้โดย ผลการวัด y_i แต่ละค่ามีการแจกแจงปกติรอบค่าจริง $A + Bx_i$ โดยมีพารามิเตอร์ความกว้าง σ_y ดังนั้น ส่วนเบี่ยงเบน $y_i - A - Bx_i$ จึงมีการแจกแจงปกติ มีศูนย์กลางอยู่ที่ศูนย์ และมีความกว้างเท่ากันคือ σ_y สิ่งนี้ชี้แนะว่าค่าประมาณที่ดีที่สุดสำหรับ σ_y คือผลบวกกำลังสองต่อไปนี้

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{N} \sum (y_i - A - Bx_i)^2 \tag{2.43}$$

และจากที่จำนวน A และ B ใน (2.43) เป็นค่าจริงของค่าคงตัว A และ B ซึ่งยังไม่ทราบค่าในทางปฏิบัติ เราต้องแทนค่าทั้งสองด้วยค่าประมาณที่ดีที่สุดของ A และ B จาก (2.40) และ (2.41)

การแทนค่านี้ทำให้ (2.43) มีค่าลดลงเล็กน้อย สามารถชดเชยการลดลงนี้ด้วยการแทนตัวหาร N ด้วย (N-2) ดังนั้นคำตอบสุดท้ายของเราเกี่ยวกับความไม่แน่นอนในผลการวัด $y_1, y_2, \ldots, y_N$ คือ

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{(N-2)} \sum (y_i - A - Bx_i)^2 \tag{2.44}$$

เหตุผลที่ต้องใช้ตัวประกอบ (N-2) ใน (2.44) คือ เรามีการวัด N ครั้ง แต่ก่อนจะคำนวณ σ_y เราต้องคำนวณปริมาณสองตัว คือ A และ B การทำเช่นนี้ทำให้เราเหลือค่าองศาเสรี (degree of freedom) N-2 โดยทั่วไปนิยามค่าองศาเสรี ณ ขั้นตอนใดๆ ของการคำนวณทางสถิติว่าเท่ากับจำนวนผลการวัดที่เป็นอิสระกันลบด้วยจำนวนพารามิเตอร์ที่คำนวณจากผลการวัดเหล่านี้ และมีข้อสังเกตบางประการที่ควรใช้ (N-2) ประการแรก เทอม N และ (N-2) จะแทบไม่ต่างกัน เมื่อ N มีค่ามากพอควร ประการที่สอง ความสมเหตุสมผลของตัวประกอบ (N-2) จะปรากฏชัดเมื่อเรามีข้อมูลสองคู่ (x_1, y_1) และ (x_2, y_2) เมื่อมีจุดเพียงสองจุด เราสามารถหาเส้นตรงที่ผ่านจุดทั้งสองนี้ได้เสมอ และผลการวิเคราะห์กำลังสองน้อยที่สุดก็จะให้เส้นตรงเส้นเดียวกัน กล่าวคือ เราจะบอกอะไรไม่ได้เลยเกี่ยวกับความน่าเชื่อถือของผลการวัดจากข้อมูลแค่สองคู่ ตอนที่จุดทั้งคู่อยู่บนเส้นตรงที่ดีที่สุด ผลบวกสองเทอมใน (2.43) และ (2.44) จะเท่ากับศูนย์ สมการ (2.43) ที่ N=2 จึงให้คำตอบ $\sigma_y = 0$ ขณะที่ (2.44) จะให้ (N-2) = 0 หรือ $\sigma_y = 0/0$ ซึ่งสะท้อนความหมายว่าเราหา σ_y ไม่ได้จากผลการวัดเพียงสองจุด

ความไม่แน่นอนของค่าคงตัว $\mathbf{A}$ และ $\mathbf{B}$

เมื่อทราบความไม่แน่นอน σ_y ของค่าที่วัด $y_1, y_2, \ldots, y_N$ เราสามารถย้อนกลับไปที่การประมาณค่า A และ B และคำนวณความไม่แน่นอนของค่าคงตัวทั้งสองได้ เพราะว่า (2.40) และ (2.41) ซึ่งใช้ประมาณค่า A และ B นั้นเป็นฟังก์ชันแจ่มชัด (well-defined function) ของจำนวนที่วัด $y_1, y_2, \ldots, y_N$ ดังนั้นความไม่แน่นอนของ A และ B ก็คือการแผ่ความไม่แน่นอนของ $y_1, y_2, \ldots, y_N$ ได้

$$\sigma_A^2 = \sigma_y^2 \frac{\sum x_i^2}{\Delta} \tag{2.45}$$

และ

$$\sigma_B^2 = \frac{N\sigma_y^2}{\Delta} \tag{2.46}$$

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

3.1 การเตรียมข้อมูล

โดยในการศึกษาจะใช้ผู้ร่วมทดลองจำนวน 30 คน แบ่งเป็นเพศชาย 16 คน และเพศหญิง 14 คน

1) ใช้สายวัดตัววัดความยาวขา (L) ของผู้ร่วมทดลองแต่ละคน

2) ให้ผู้ร่วมทดลองจำนวน 30 คน ทำการทดลองโดยการ

-เดิน	10	เมตร
-เดินเร็ว	10	เมตร
-วิ่งเหยาะ	10	เมตร
-วิ่งเต็มความเร็ว	10	เมตร

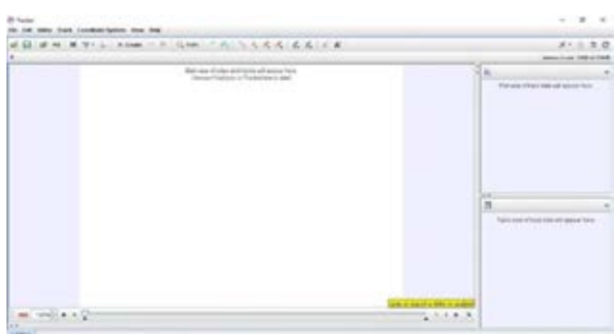
ทำอย่างละ 10 ครั้ง พร้อมใช้กล้องวีดีโอบันทึกวีดีโอเพื่อนำไปวิเคราะห์ผล

(ระยะทางที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลจะอยู่ในช่วง 10 ± 1 เมตร)

3.2 วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Tracker

นำวีดีโอที่บันทึกการเดินและการวิ่งมาหาความเร็วในการเคลื่อนที่ (u) และระยะก้าวเท้าทั้ง 4 แบบ ของผู้ร่วมทดลองทุกคน โดยใช้โปรแกรม Tracker วัดระยะทางและจับเวลาในการเคลื่อนที่ และเมื่อนำระยะทางหารด้วยเวลาที่ใช้เคลื่อนที่จะได้ความเร็วในการเคลื่อนที่มา โดยขั้นการการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Tracker มีดังนี้

1) เปิดโปรแกรม Tracker ซึ่งจะปรากฏขึ้นมาดังนี้

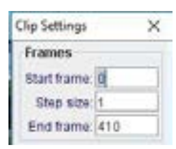


รูปที่ 3.1 หน้าเริ่มต้นของโปรแกรม Tracker

2) เปิดไฟล์ที่ต้องการวิเคราะห์ โดยคลิกที่ File, Import และ video

รูปที่ 3.2 วิธีเปิดไฟล์ที่ต้องการวิเคราะห์

3) เลือกวีดีโอที่ต้องการวิเคราะห์
4) กำหนดจุดที่ต้องการเริ่มจับเวลา และจุดที่หยุดจับเวลา โดยคลิกที่แถบด้านล่าง จะปรากฏคำสั่งให้เลือก เลือก Clip Settings

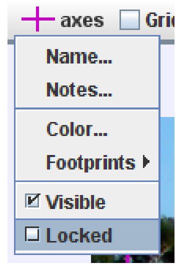


รูปที่ 3.3 การกำหนดเวลาจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้าย

5) กำหนดจุดอ้างอิงระยะทาง คลิกที่ axes จะได้แกนพิกัด x-y มา นำไปวางเป็นตำแหน่งอ้างอิง

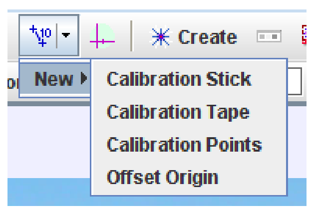
รูปที่ 3.4 กำหนดแกนอ้างอิงระยะทาง

6) เมื่อได้จุดที่เหมาะสมแล้วให้คลิกที่คำสั่ง axes และคลิกถูกที่ช่องสี่เหลี่ยมหน้าคำสั่ง Locked เพื่อป้องกันไม่ให้แกนพิกัด x-y เคลื่อน



รูปที่ 3.5 ล็อกแกนอ้างอิง

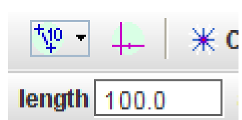
7) กำหนดระยะทาง คลิกที่สัญลักษณ์กำหนดระยะทาง(สีฟ้า) ต่อจากนั้นคลิกที่ Calibration Stick



รูปที่ 3.6 สร้าง Calibration Stick

8) เมื่อ Calibration Stick ปรากฏขึ้น สามารถกำหนดระยะทางได้โดยการเปลี่ยนค่าที่ช่อง length

รูปที่ 3.7 Calibration Stick



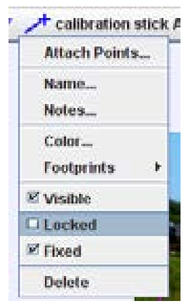
รูปที่ 3.8 กำหนดความยาวให้ Calibration Stick

9) นำ Calibration Stick ไปวางตามแนวราบของแกนพิกัด x-y ในช่วงระยะทางที่

กำหนด

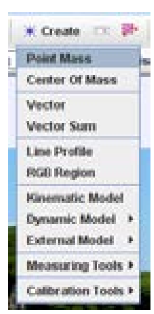
รูปที่ 3.9 นำ Calibration Stick ไปวางเป็นระยะทางอ้างอิงที่ใช้ในการวัด

10) เมื่อได้จุดที่เหมาะสมแล้วให้คลิกที่คำสั่ง Calibration Stick และคลิกถูกที่ช่องสี่เหลี่ยมหน้าคำสั่ง Locked เพื่อป้องกันไม่ให้เคลื่อน



รูปที่ 3.10 ล็อก Calibration Stick

11) คลิกที่ Create เลือก Point Mass



รูปที่ 3.11 สร้าง Point Mass

12) กด Shift+คลิกเมาส์ซ้าย ที่จุดเริ่มต้นและจุดสุดท้าย จะได้เวลาและระยะทางในการเคลื่อนที่

Table ◇ mass A

t	x
0.000	0.599
7.074	10.69

รูปที่ 3.12 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่กับระยะทาง(ที่จุดเริ่มต้นกับจุดสุดท้าย)

13) นับจำนวนก้าวทั้งหมดตั้งแต่เริ่มจับเวลาจนถึงหยุดจับเวลา โดยในที่นี้จะดูที่จังหวะที่เท้าสัมผัสพื้นในบริเวณที่สนใจ ถ้าตอนเริ่มจับเวลาเลือกจังหวะที่ปลายเท้าสัมผัสพื้น ตอนหยุดจับเวลาก็ต้องเลือกในจังหวะเดียวกัน

3.3 วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Microsoft Excel 2013

ในส่วนนี้จะเป็นการนำข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จากวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Tracker คือ ระยะทาง เวลาในการเคลื่อนที่ และจำนวนก้าว มาวิเคราะห์ผลต่อเพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ C และเลขยกกำลัง α ของการเคลื่อนที่ทั้ง 4 แบบ ของผู้ร่วมทดลองแต่ละคน

1) คำนวณระยะการก้าวเท้า (λ)

$$\text{ระยะก้าวเท้า } (\lambda) = \frac{\text{ระยะทาง}}{\text{จำนวนก้าวทั้งหมด}/2} \tag{3.1}$$

2) แปลงสมการที่ (1.1) $\lambda/L = C(u^2/gL)^{\alpha}$ ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง

$$\text{ได้ } \log\left(\frac{\lambda}{L}\right) = \alpha \cdot \log\left(\frac{u^2}{gL}\right) + \log(C) \tag{3.2}$$

3) คำนวณค่า $\log\left(\frac{\lambda}{L}\right)$ และ $\log\left(\frac{u^2}{gL}\right)$ เพื่อใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ C และเลขยกกำลัง α ของการเคลื่อนที่ทั้ง 4 แบบ โดยในโปรแกรม Microsoft Excel จะมีฟังก์ชัน LINEST ในการคำนวณหาสถิติสำหรับเส้นตรงโดยการใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด

เพื่อคำนวณหาเส้นตรงที่เหมาะสมที่สุดกับข้อมูล สามารถใช้ได้โดยพิมพ์คำสั่งและป้อนข้อมูลดังนี้ “=LINEST(known_y’s,known_x’s,const,stats)”

โดย

Know_y’s คือ ชุดของค่า y ที่ทราบในความสัมพันธ์ y=mx+b

Known_x’s คือ ชุดของค่า x ที่ทราบในความสัมพันธ์ y=mx+b

Const คือ ค่าตรรกะที่ระบุว่าจะกำหนดให้ค่าคงที่ b เท่ากับ 0 หรือไม่ กรณีที่ const เป็น TRUE หรือละไว้ b จะถูกคำนวณตามวิธีปกติ ถ้า const เป็น FALSE จะตั้งค่า b ให้เท่ากับศูนย์ และปรับค่า m ให้เหมาะสมกับสมการ y=mx

Stats คือ ค่าตรรกะที่ใช้ระบุว่าจะส่งกลับค่าสถิติการถดถอยเพิ่มเติมหรือไม่ ถ้า stats เป็น FALSE หรือถ้าไม่ใส่ค่าอะไรไว้ฟังก์ชั่น LINEST จะส่งกลับเฉพาะสัมประสิทธิ์ m และค่าคงที่ b

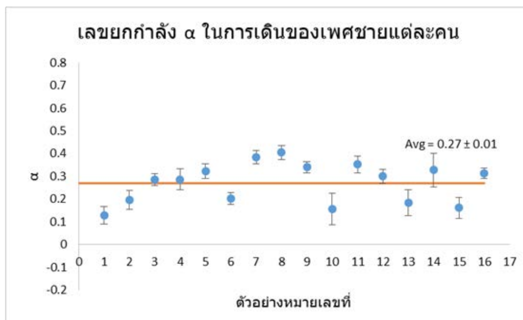
4) จากการวิเคราะห์ข้อมูลจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ C และเลขยกกำลัง α ในการเคลื่อนที่ทั้ง 4 แบบ ของผู้ร่วมการทดลองทุกคนมาอย่างละ 1 ค่าต่อคน แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยแยกกันระหว่างเพศชายและเพศหญิง เปรียบเทียบค่าที่ได้ในการเคลื่อนที่แบบต่างๆระหว่างเพศชายและเพศหญิง และเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการเคลื่อนที่ของแต่ละเพศ

บทที่ 4

ผลการศึกษา

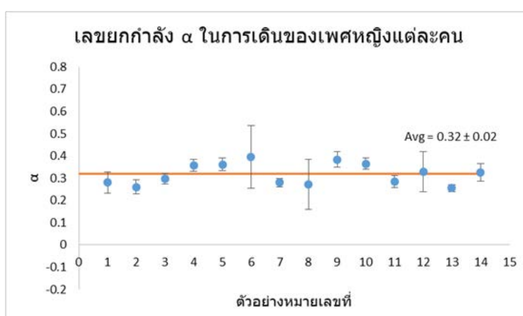
4.1 ผลการศึกษาค่าเลขยกกำลัง α และค่าสัมประสิทธิ์ C ในกรณีการเดิน

ในการหาค่าเลขยกกำลัง α และค่าสัมประสิทธิ์ C ของการเดิน จะใช้วีดีโอที่บันทึกการเดินของผู้ร่วมการทดลองทั้ง 30 คน ซึ่งให้ผู้ร่วมการทดลองแต่ละคนเดินด้วยความเร็วปกติ (ความเร็วไม่เกิน 1.4 เมตร/วินาที โดยประมาณ) แล้วนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าเลขยกกำลัง α และค่าสัมประสิทธิ์ C ของเพศชายและเพศหญิง ได้ผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 แสดงค่าเลขยกกำลัง α ในการเดินของเพศชาย ที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้ง 16 คน

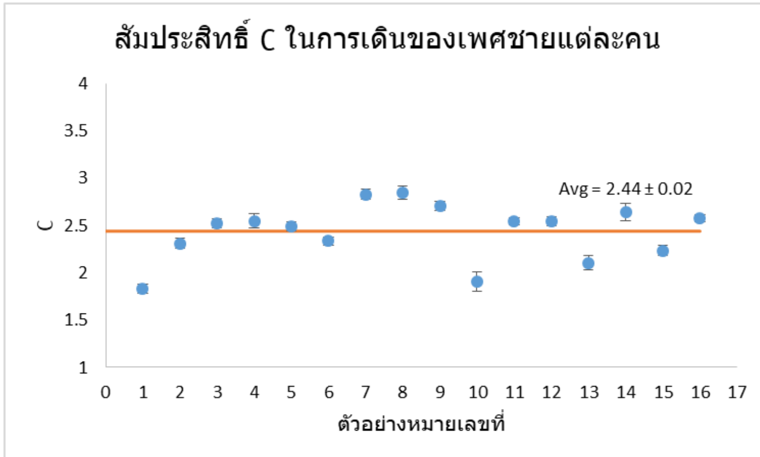
เพศชาย เมื่อหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 16 คน ได้ $\alpha_{\text{เดิน}} = 0.27 \pm 0.01$



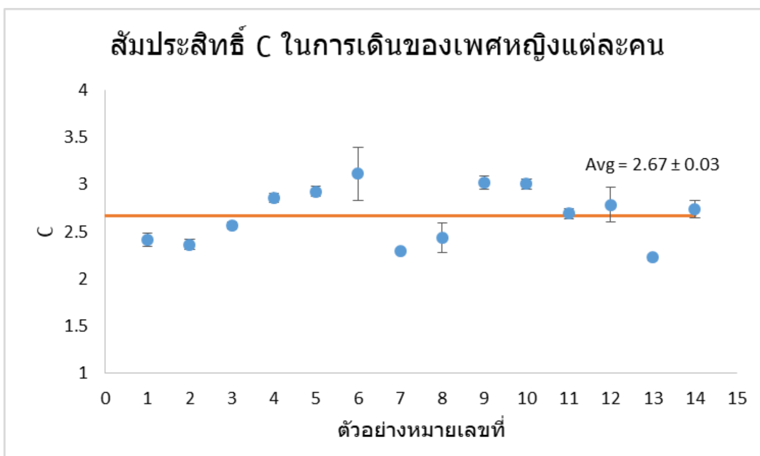
รูปที่ 4.2 แสดงค่าเลขยกกำลัง α ในการเดินของเพศหญิง ที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้ง 14 คน

เพศหญิง เมื่อหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 14 คน ได้ $\alpha_{\text{เดิน}} = 0.32 \pm 0.02$

จากในรูปที่ 4.2 ค่า α เฉลี่ยในการเดินของตัวอย่างเพศหญิงหมายเลข 6,8 และ 12 มีความคลาดเคลื่อนสูง มีสาเหตุมาจากตัวอย่างหมายเลขดังกล่าวมีลักษณะการเดินที่แตกต่างกันในแต่ละครั้ง ทำให้ข้อมูลที่นำมาใช้หาค่า α เฉลี่ยมีการกระจายมาก



รูปที่ 4.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ C ในการเดินของเพศชาย ที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้ง 16 คน เพศชาย เมื่อหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 16 คน ได้ $C_{เดิน} = 2.44 \pm 0.02$

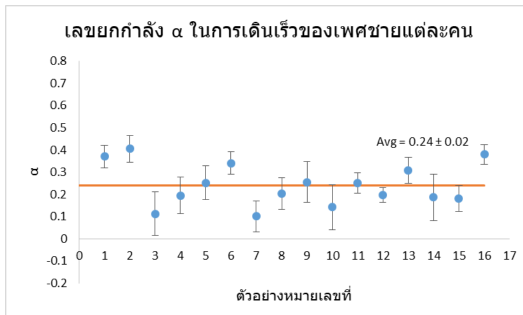


รูปที่ 4.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ C ในการเดินของเพศหญิง ที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้ง 14 คน เพศหญิง เมื่อหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 14 คน ได้ $C_{เดิน} = 2.67 \pm 0.03$

จากในรูปที่ 4.4 ค่า C เฉลี่ยในการเดินของตัวอย่างเพศหญิงหมายเลข 6,8 และ 12 มีความคลาดเคลื่อนสูง มีสาเหตุมาจากตัวอย่างหมายเลขดังกล่าวมีลักษณะการเดินที่แตกต่างกันในแต่ละครั้ง ทำให้ข้อมูลที่นำมาใช้หาค่า C เฉลี่ยมีการกระจายมาก

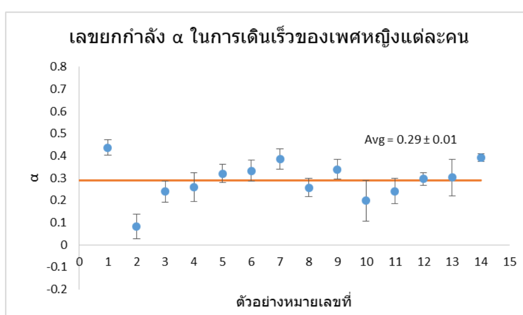
4.2 ผลการศึกษาค่าเลขยกกำลัง α และค่าสัมประสิทธิ์ C ในกรณีการเดินเร็ว

ในการหาค่าเลขยกกำลัง α และค่าสัมประสิทธิ์ C ของการเดินเร็ว จะใช้วีดีโอที่บันทึกการเดินเร็วของผู้ร่วมการทดลองทั้ง 30 คน ซึ่งให้ผู้ร่วมการทดลองแต่ละคนเดินด้วยความเร็วที่มากกว่า 1.4 เมตร/วินาที (หรือเดินด้วยความเร็วสูงสุดเท่าที่สามารถทำได้) แล้วนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าเลขยกกำลัง α และค่าสัมประสิทธิ์ C ของเพศชายและเพศหญิง ได้ผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้



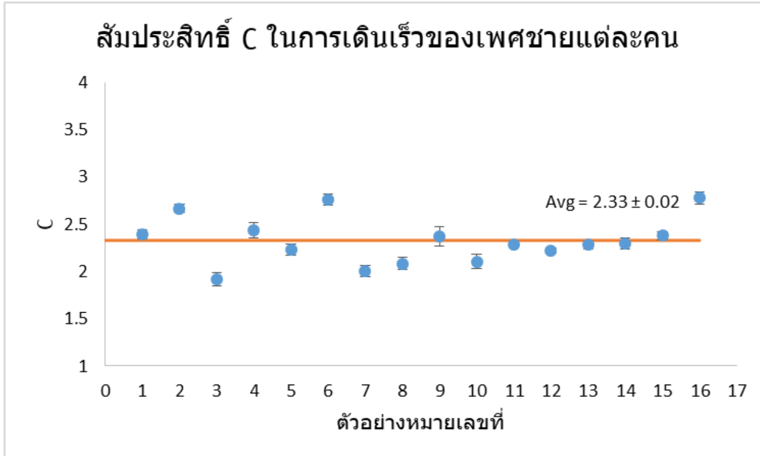
รูปที่ 4.5 แสดงค่าเลขยกกำลัง α ในการเดินเร็วของเพศชาย ที่ได้จาการวิเคราะห์ทั้ง 16 คน เพศชาย เมื่อหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 16 คน ได้ $\alpha_{\text{เดินเร็ว}} = 0.24 \pm 0.02$

จากในรูปที่ 4.5 ค่า α เฉลี่ยในการเดินเร็วของตัวอย่างเพศชายหมายเลข 3,9,10 และ 14มีความคลาดเคลื่อนสูง มีสาเหตุมาจากตัวอย่างหมายเลขดังกล่าวมีลักษณะการเดินเร็วที่แตกต่างกันในแต่ละครั้ง ทำให้ข้อมูลที่นำมาใช้หาค่า α เฉลี่ยมีการกระจายมาก

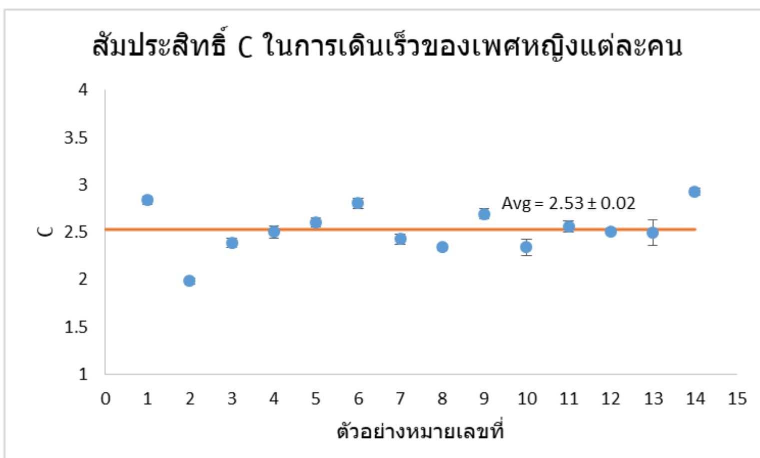


รูปที่ 4.6 แสดงค่าเลขยกกำลัง α ในการเดินเร็วของผู้เพศหญิง ที่ได้จาการวิเคราะห์ทั้ง 14 คน เพศหญิง เมื่อหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 14 คน ได้ $\alpha_{\text{เดินเร็ว}} = 0.29 \pm 0.01$

จากในรูปที่ 4.6 ค่า α เฉลี่ยในการเดินเร็วของตัวอย่างเพศหญิงหมายเลข 10 และ 13 มีความคลาดเคลื่อนสูง มีสาเหตุมาจากตัวอย่างหมายเลขดังกล่าวมีลักษณะการเดินเร็วที่แตกต่างกันในแต่ละครั้ง ทำให้ข้อมูลที่นำมาใช้หาค่า α เฉลี่ยมีการกระจายมาก



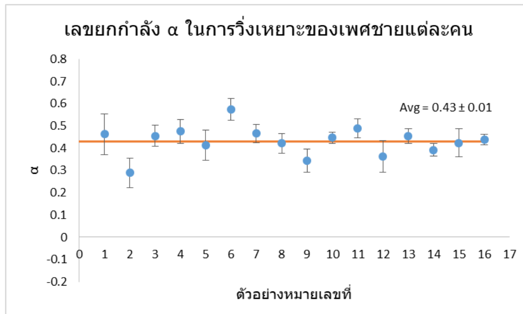
รูปที่ 4.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ C ในการเดินเร็วของเพศชาย ที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้ง 16 คน เพศชาย เมื่อหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 16 คน ได้ $C_{\text{เดินเร็ว}} = 2.33 \pm 0.02$



รูปที่ 4.8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ C ในการเดินเร็วของเพศหญิง ที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้ง 14 คน เพศหญิง เมื่อหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 14 คน ได้ $C_{\text{เดินเร็ว}} = 2.53 \pm 0.02$

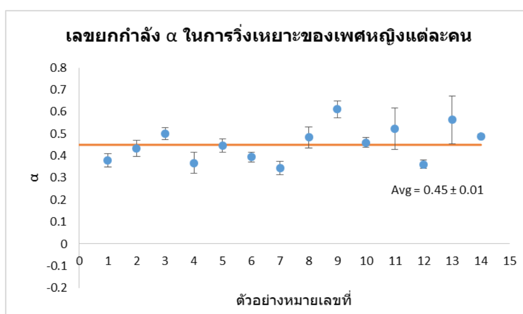
4.3 ผลการศึกษาค่าเลขยกกำลัง α และค่าสัมประสิทธิ์ C ในกรณีการวิ่งเหยาะ

ในการหาค่าเลขยกกำลัง α และค่าสัมประสิทธิ์ C ของการวิ่งเหยาะ จะใช้วีดีโอที่บันทึกการวิ่งเหยาะของผู้ร่วมการทดลองทั้ง 30 คน ซึ่งให้ผู้ร่วมการทดลองแต่ละคนวิ่งด้วยความเร็วระหว่าง 1.8 เมตร/วินาที ถึง 2.7 เมตร/วินาที แล้วนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าเลขยกกำลัง α และค่าสัมประสิทธิ์ C ของเพศชายและเพศหญิง ได้ผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้



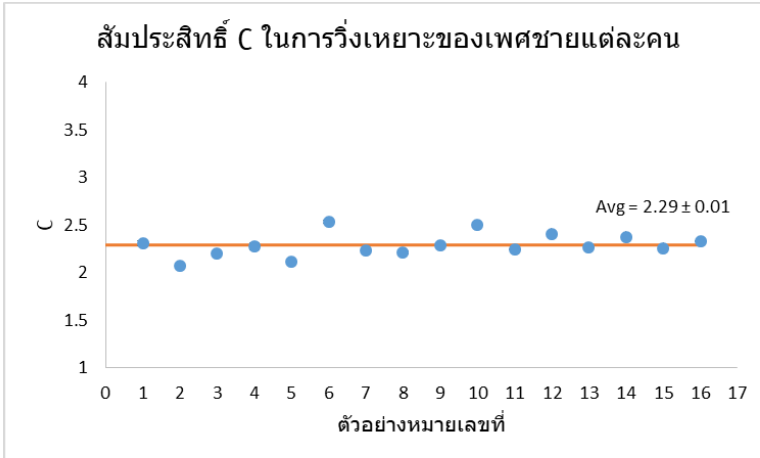
รูปที่ 4.9 แสดงค่าเลขยกกำลัง α ในการวิ่งเหยาะของเพศชาย ที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้ง 16 คน เพศชาย เมื่อหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 16 คน ได้ $\alpha_{\text{วิ่งเหยาะ}} = 0.43 \pm 0.01$

จากในรูปที่ 4.9 ค่า α เฉลี่ยในการวิ่งเหยาะของตัวอย่างเพศชายหมายเลข 1 และ 12 มีความคลาดเคลื่อนสูง มีสาเหตุมาจากตัวอย่างหมายเลขดังกล่าวมีลักษณะการวิ่งเหยาะที่แตกต่างกันในแต่ละครั้ง โดยบางครั้งอาจวิ่งด้วยความเร็วที่สูงกว่าความเร็วของการวิ่งเหยาะ ทำให้ข้อมูลที่นำมาใช้หาค่า α เฉลี่ยมีการกระจายมาก

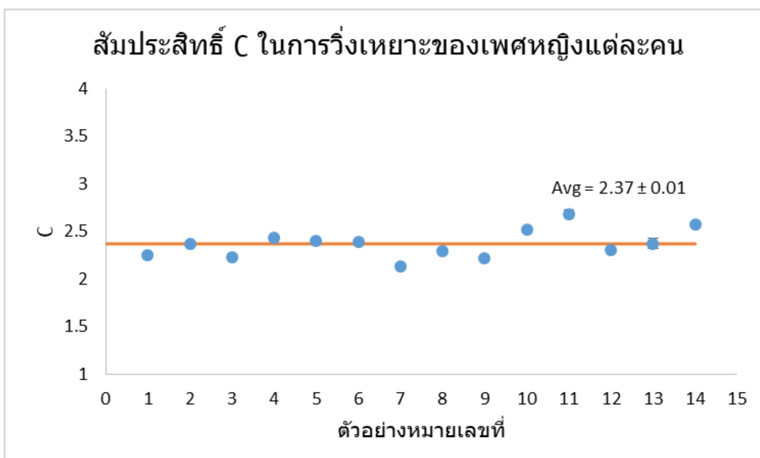


รูปที่ 4.10 แสดงค่าเลขยกกำลัง α ในการวิ่งเหยาะของเพศหญิง ที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้ง 14 คน เพศหญิง เมื่อหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 14 คน ได้ $\alpha_{\text{วิ่งเหยาะ}} = 0.45 \pm 0.01$

จากในรูปที่ 4.10 ค่า α เฉลี่ยในการวิ่งเหยาะของตัวอย่างเพศหญิงหมายเลข 11 และ 13 มีความคลาดเคลื่อนสูง มีสาเหตุมาจากตัวอย่างหมายเลขดังกล่าวมีลักษณะการวิ่งเหยาะที่แตกต่างกันในแต่ละครั้ง โดยบางครั้งอาจวิ่งด้วยความเร็วที่สูงกว่าความเร็วของการวิ่งเหยาะที่กำหนดไว้ ทำให้ข้อมูลที่นำมาใช้หาค่า α เฉลี่ยมีการกระจายมาก



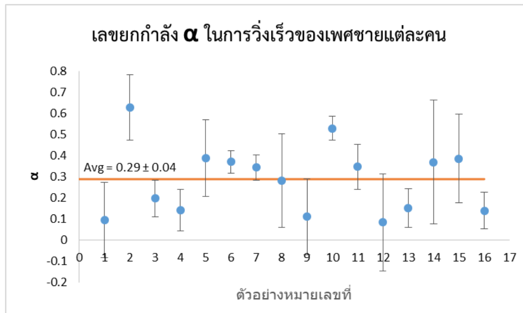
รูปที่ 4.11 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ C ในการวิ่งเหยาะของเพศชาย ที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้ง 16 คน เพศชาย เมื่อหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 16 คน ได้ $C_{\text{วิ่งเหยาะ}} = 2.29 \pm 0.01$



รูปที่ 4.12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ C ในการวิ่งเหยาะของเพศหญิง ที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้ง 14 คน เพศหญิง เมื่อหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 14 คน ได้ $C_{\text{วิ่งเหยาะ}} = 2.37 \pm 0.01$

4.4 ผลการศึกษาค่าเลขยกกำลัง α และค่าสัมประสิทธิ์ C ในกรณีการวิ่งเร็ว

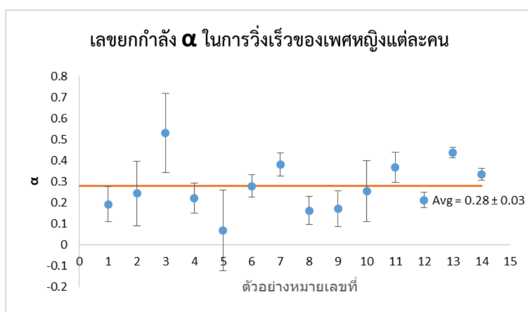
ในการหาค่าเลขยกกำลัง α และค่าสัมประสิทธิ์ C ของการวิ่งเร็ว จะใช้วีดีโอที่บันทึกการวิ่งเร็วของผู้ร่วมการทดลองทั้ง 30 คน ซึ่งให้ผู้ร่วมการทดลองแต่ละคนวิ่งด้วยความเร็วที่มากกว่าการวิ่งเหยาะหรือวิ่งด้วยความเร็ว 2.7 เมตร/วินาที ขึ้นไป แล้วนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าเลขยกกำลัง α และค่าสัมประสิทธิ์ C ของเพศชายและเพศหญิง ได้ผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.13 แสดงค่าเลขยกกำลัง α ในการวิ่งเร็วของเพศชาย ที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้ง 16 คน

เพศชาย เมื่อหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 16 คน ได้ $\alpha_{\text{วิ่งเร็ว}} = 0.29 \pm 0.04$

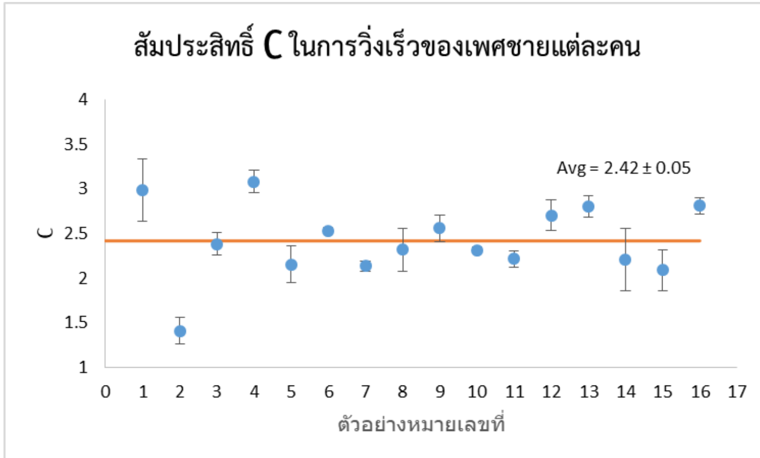
จากในรูปที่ 4.13 ค่า α เฉลี่ยในการวิ่งเร็วของตัวอย่างเพศชายหมายเลข 1,2,5,8,9,12,14 และ 15 มีความคลาดเคลื่อนสูง มีสาเหตุมาจากตัวอย่างหมายเลขดังกล่าวมีลักษณะการวิ่งเร็วที่แตกต่างกันในแต่ละครั้ง ทำให้ข้อมูลที่นำมาใช้หาค่า α เฉลี่ยมีการกระจายมาก



รูปที่ 4.14 แสดงค่าเลขยกกำลัง α ในการวิ่งเร็วของเพศหญิง ที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้ง 14 คน

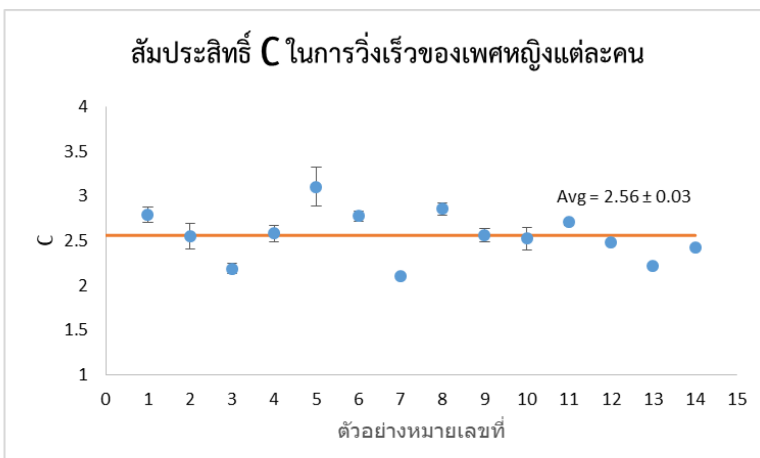
เพศหญิง เมื่อหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 14 คน ได้ $\alpha_{\text{วิ่งเร็ว}} = 0.28 \pm 0.03$

จากในรูปที่ 4.14 ค่า α เฉลี่ยในการวิ่งเร็วของตัวอย่างเพศหญิงหมายเลข 2,3,5 และ 10 มีความคลาดเคลื่อนสูง มีสาเหตุมาจากตัวอย่างหมายเลขดังกล่าวมีลักษณะการวิ่งเร็วที่แตกต่างกันในแต่ละครั้ง ทำให้ข้อมูลที่นำมาใช้หาค่า α เฉลี่ยมีการกระจายมาก



รูปที่ 4.15 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ C ในการวิ่งเร็วของเพศชาย ที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้ง 16 คน เพศชาย เมื่อหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 16 คน ได้ $C_{\text{วิ่งเร็ว}} = 2.42 \pm 0.05$

จากในรูปที่ 4.15 ค่า C เฉลี่ยในการวิ่งเร็วของตัวอย่างเพศชายหมายเลข 1 และ 14 มีความคลาดเคลื่อนสูง มีสาเหตุมาจากตัวอย่างหมายเลขดังกล่าวมีลักษณะการวิ่งเร็วที่แตกต่างกันในแต่ละครั้ง ทำให้ข้อมูลที่นำมาใช้หาค่า C เฉลี่ยมีการกระจายมาก



รูปที่ 4.16 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ C ในการวิ่งเร็วของเพศหญิง ที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้ง 14 คน เพศหญิง เมื่อหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 14 คน ได้ $C_{\text{วิ่งเร็ว}} = 2.56 \pm 0.03$

จากในรูปที่ 4.16 ค่า C เฉลี่ยในการวิ่งเร็วของตัวอย่างเพศหญิงหมายเลข 5 มีความคลาดเคลื่อนสูง มีสาเหตุมาจากตัวอย่างหมายเลขดังกล่าวมีลักษณะการวิ่งเร็วที่แตกต่างกันในแต่ละครั้ง ทำให้ข้อมูลที่นำมาใช้หาค่า C เฉลี่ยมีการกระจายมาก

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยของเลขยกกำลัง α ของเดิน เดินเร็ว วิ่งเหยาะ และวิ่งเร็ว ระหว่างเพศชายและเพศหญิง

รูปแบบการเคลื่อนที่	เพศชาย	เพศหญิง
1.เดิน	0.27 ± 0.01	0.32 ± 0.02
2.เดินเร็ว	0.24 ± 0.02	0.29 ± 0.01
3.วิ่งเหยาะ	0.43 ± 0.01	0.45 ± 0.01
4.วิ่งเร็ว	0.29 ± 0.04	0.28 ± 0.03

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ C ของเดิน เดินเร็ว วิ่งเหยาะ และวิ่งเร็ว ระหว่างเพศชายและเพศหญิง

รูปแบบการเคลื่อนที่	เพศชาย	เพศหญิง
1.เดิน	2.44 ± 0.02	2.67 ± 0.03
2.เดินเร็ว	2.33 ± 0.02	2.53 ± 0.02
3.วิ่งเหยาะ	2.29 ± 0.01	2.37 ± 0.01
4.วิ่งเร็ว	2.42 ± 0.05	2.56 ± 0.03

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

เมื่อนำค่าเลขยกกำลัง α และสัมประสิทธิ์ C มาเปรียบเทียบกันระหว่างการเดินและการวิ่งเร็ว โดยพิจารณาค่า $\Delta\alpha = |\alpha_{\text{เดิน}} - \alpha_{\text{วิ่งเร็ว}}|$ และ $\Delta C = |C_{\text{เดิน}} - C_{\text{วิ่งเร็ว}}|$ เทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนของผลต่าง $\delta_\alpha = \sqrt{\delta^2_{\text{เดิน}} + \delta^2_{\text{เดินเร็ว}}}$ และ $\delta_C = \sqrt{\delta^2_{\text{เดิน}} + \delta^2_{\text{เดินเร็ว}}}$ โดยเราจะสรุปว่าค่าเลขยกกำลัง α และสัมประสิทธิ์ C ของการเดินและการวิ่งต่างกันเมื่อค่า $\delta_\alpha < \Delta\alpha$ และ $\delta_C < \Delta C$ และไม่ต่างกันเมื่อ $\delta_\alpha > \Delta\alpha$ และ $\delta_C > \Delta C$ ผลการพิจารณาเป็นไปตามตารางที่ 5.1 และ 5.2

ตารางที่ 5.1 แสดงการเทียบค่าเลขยกกำลัง α ของเดินกับวิ่งเร็วในเพศชายและเพศหญิง

เพศ	$\Delta\alpha = \|\alpha_{\text{เดิน}} - \alpha_{\text{วิ่งเร็ว}}\|$	$\delta_\alpha = \sqrt{\delta^2_{\text{เดิน}} + \delta^2_{\text{เดินเร็ว}}}$
ชาย	0.020	0.041
หญิง	0.040	0.036

ตารางที่ 5.2 แสดงการเทียบค่าสัมประสิทธิ์ C ของเดินกับวิ่งเร็วในเพศชายและเพศหญิง

เพศ	$\Delta C = \|C_{\text{เดิน}} - C_{\text{วิ่งเร็ว}}\|$	$\delta_C = \sqrt{\delta^2_{\text{เดิน}} + \delta^2_{\text{เดินเร็ว}}}$
ชาย	0.020	0.054
หญิง	0.110	0.042

5.1 สรุปผลการศึกษาเรื่องความแตกต่างระหว่างการเดินกับการวิ่งเร็ว

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพิสูจน์สมมติฐานที่ว่าค่าเลขยกกำลัง α และสัมประสิทธิ์ C ในการเดินและการวิ่งเร็วนั้นมีค่าต่างกัน จากเหตุผลที่ว่าเดินกับวิ่งเร็วนั้นเป็นรูปแบบการเคลื่อนที่ที่มีความต่างกันในรายละเอียดคือ เดินเป็นอนุกรมของการล้มส่วนวิ่งเร็วเป็นอนุกรมของการกระโดด แต่จากผลการศึกษาพบว่าไม่สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยค่าเลขยกกำลัง α และสัมประสิทธิ์ C ของการ

เดินและการวิ่งเร็วไม่ได้มีความต่างกันอย่างชัดเจน อันเนื่องมาจากค่าทั้งสองที่ได้มีความแตกต่างกันระหว่างเพศชายและเพศหญิง โดยในเพศชายค่าทั้งสองของการเดินกับวิ่งเร็วไม่ต่างกัน เฉพาะในเพศหญิงที่ค่าทั้งสองของการเดินกับวิ่งเร็วต่างกันแต่ไม่ได้ต่างอย่างมีนัยสำคัญมากนัก ทั้งนี้สันนิษฐานว่ารูปแบบการเดินและวิ่งเร็วในเพศหญิงมีลักษณะปลีกย่อยที่ต่างไปจากเพศชาย ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าในการเดินและการวิ่งเร็วนั้นความต่างในรายละเอียดของการเคลื่อนที่นั้นอาจไม่ได้ส่งผลต่อค่าเลขยกกำลัง α และสัมประสิทธิ์ C มากนัก ซึ่งหากต้องการเหตุผลที่แน่ชัดกว่านี้จำเป็นต้องมีการศึกษาในส่วนอื่นเพิ่มเติม

5.2 สรุปผลการศึกษาเรื่องความแตกต่างระหว่างเพศชายและเพศหญิงในการเดินและการวิ่งเร็ว

จากการทดลองเพื่อหาค่าเลขยกกำลัง α และสัมประสิทธิ์ C ของเดิน เดินเร็ว วิ่งเหยาะ และวิ่งเร็ว ในสมการของอเล็กซานเดอร์ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างเพศชายและเพศหญิงพบว่าค่าเลขยกกำลัง α ในการเดิน เดินเร็ว และวิ่งเหยาะ ของเพศชายและเพศหญิงจะมีค่าต่างกัน พบเฉพาะวิ่งเร็วเท่านั้นที่ค่าเลขยกกำลัง α เท่ากันระหว่างเพศชายและเพศหญิง ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ C พบว่าระหว่างเพศหญิงและเพศชายเมื่อเปรียบเทียบกันในแต่ละรูปแบบการเคลื่อนที่พบว่ามีค่าต่างกันทุกรูปแบบการเคลื่อนที่ และเมื่อพิจารณาระหว่างรูปแบบการเคลื่อนที่พบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเดินกับวิ่งเร็วจากตารางที่ 5.1 และตารางที่ 5.2 พบว่าในเพศชาย ค่าเลขยกกำลัง α และสัมประสิทธิ์ C มีค่าไม่ต่างกันเนื่องจาก $\delta_\alpha > \Delta\alpha$ และ $\delta_C > \Delta C$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าเลขยกกำลัง α และสัมประสิทธิ์ C ของการเดินกับวิ่งเร็วในเพศชายมีค่าไม่ต่างกัน ส่วนในเพศหญิงพบว่าค่าเลขยกกำลัง α และสมประสิทธ์ C มีค่าต่างกัน เนื่องจาก $\delta_\alpha < \Delta\alpha$ และ $\delta_C < \Delta C$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าเลขยกกำลัง α และสัมประสิทธิ์ C ของการเดินกับวิ่งเร็วในเพศหญิงมีค่าต่างกัน จึงได้ว่าในเพศชายเดินกับวิ่งเร็วจะใช้ค่าเลขยกกำลัง α และสัมประสิทธิ์ C เหมือนกัน คือ $\alpha = 0.28 \pm 0.02$ และ $C = 2.43 \pm 0.03$ ส่วนในเพศหญิงในกรณีของการเดิน $\alpha = 0.32 \pm 0.02$ และ $C = 2.67 \pm 0.03$ ส่วนการวิ่งเร็ว $\alpha = 0.28 \pm 0.03$ และ $C = 2.56 \pm 0.03$

บรรณานุกรม

[1] Alexander,R. McN.(1976).Estimates of speeds of dinosaurs.Nature.261,129–130.

[2] Mochon,S. and McMahon, T. A.(1980).Ballistic walking. J.Biomech.13,4-57.

[3] Rosenbaum DA,Chapman KM,Coelho CJ,Gong L,Studenka BE.(2013).Choosing actions. Frontiers in Psychology. 4, 273.

[4] Alexander, R. McN.(1984).Walking and running: Our movements are subtly adapted to minimize energy costs.American Scientist.72,348-354.

[5] Taylor, R. J.//(1984).//An Introduction to Error Analysis The Study of Uncertainties in Physical Measurements.//Translated by Jirapong Kasivitamnuay,p.135-139.