

ผลกระทบลักษณะกระเป๋าสะพายหลังและการจัดเรียงสิ่งของต่ออัตราการเต้นของหัวใจและท่าทาง
ของร่างกายที่นอนบน



นางสาวอรุณี แจ่มปฐม

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE EFFECTS OF BACKPACKS' CHARACTERISTIC AND OBJECT ARRANGEMENT ON HEART
RATE AND POSTURE OF UPPER BODY.



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลกระทบลักษณะกระเปาะสพายหลังและการจัดเรียง
สิ่งของต่ออัตราการเต้นของหัวใจและท่าทางของร่างกาย
ที่นอนบน

โดย

นางสาวอรุณี แจ่มปฐม

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล)

..... กรรมการ

(ดร. อริศรา เจียมสงวนวงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์อดิศักดิ์ ผลิตผลการพิมพ์)

อรุณี แจ่มปฐม : ผลกระทบลักษณะกระเป๋าสะพายหลังและการจัดเรียงสิ่งของต่ออัตราการเต้นของหัวใจและท่าทางของร่างกายที่นอนบน (THE EFFECTS OF BACKPACKS' CHARACTERISTIC AND OBJECT ARRANGEMENT ON HEART RATE AND POSTURE OF UPPER BODY.) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล, 129 หน้า.

ปัญหาจากการเลือกใช้กระเป๋าสะพายหลัง นอกจากเรื่องของน้ำหนักที่บรรจุแล้ว ยังมีประเด็นอื่นที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจเลือกและวิธีการใช้ เช่น ลักษณะของกระเป๋าสะพายหลังที่มีความหลากหลายเหมาะกับการใช้งานที่แตกต่างกัน และการจัดเรียงสิ่งของที่อาจส่งผลกระทบต่อร่างกาย งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาปัจจัยของกระเป๋าสะพายหลัง ได้แก่ ลักษณะของกระเป๋าและวิธีการจัดเรียงสิ่งของที่ส่งผลกระทบต่อร่างกายและท่าทาง โดยกำหนดให้ผู้เข้าร่วมการทดลองจำนวน 8 คน สะพายกระเป๋า 3 รูปแบบ ได้แก่ กระเป๋าสะพายหลังแบบทั่วไปที่ใช้วัสดุเป็นผ้า กระเป๋าแบบที่มีสายรัดอกและเอวและมีแผ่นรองหลัง กระเป๋าสะพายหลังแบบมีโครงสร้างที่แข็ง ที่บรรจุน้ำหนักร้อยละ 10 ของน้ำหนักผู้เข้าร่วมทดลอง และจัดเรียงสิ่งของให้จุดศูนย์กลางของกระเป๋าอยู่ตำแหน่งที่แตกต่างกัน 2 ระดับ คือ ด้านบน และด้านล่าง ศึกษากิจกรรม 2 รูปแบบ คือ เดินด้วยความเร็วปกติ และวิ่งช้าๆ บนสายพานปรับความเร็ว (Treadmill) ในห้องปฏิบัติการ โดยอัตราการเต้นของหัวใจของผู้เข้าร่วมการทดลองได้ถูกบันทึกตลอดเวลา พร้อมกับข้อมูลพิคตการเคลื่อนที่ 3 มิติ ของร่างกายที่นอนด้วยระบบบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยภาพ OptiTrack™ ที่อัตรา 30 ภาพต่อวินาที เพื่อดูผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงาน อัตราการเปลี่ยนแปลงองศาของการโน้มตัวไปด้านหน้าในระนาบ Sagittal และพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าเทียบกับลำตัวในระนาบ Frontal จากการศึกษาพบว่าการสะพายกระเป๋าแบบที่มีสายรัดอกและเอวและมีแผ่นรองหลังส่งผลให้มีอัตราการใช้พลังงาน และพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าเทียบกับลำตัวต่ำที่สุดในขณะเดินและวิ่ง สำหรับการจัดเรียงสิ่งของนั้นพบว่าการจัดเรียงสิ่งของโดยให้จุดศูนย์กลางของกระเป๋าอยู่ตำแหน่งด้านล่างของกระเป๋าส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการใช้พลังงาน และพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าเทียบกับลำตัวต่ำที่สุดในขณะเดินและวิ่ง แต่ในขณะเดียวกันจัดเรียงสิ่งของโดยให้จุดศูนย์กลางอยู่ตำแหน่งด้านล่างทำให้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้าที่ต่ำกว่าในกรณีของการวิ่ง ซึ่งแตกต่างจากการเดินที่อัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้าที่จะสูงกว่า

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2560

5870984121 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: BACKPACK, HEART RATE, UPPER BODY POSTURE

ONRUJEE JAMPATHOM: THE EFFECTS OF BACKPACKS' CHARACTERISTIC AND OBJECT ARRANGEMENT ON HEART RATE AND POSTURE OF UPPER BODY..

ADVISOR: ASST. PROF. PHAIROAT LADAVICHITKUL, Ph.D., 129 pp.

The problems with the backpack, not only the weight issue but also about backpacks' characteristic and object arrangement so this research was studied on backpacks' characteristic and object arrangement by using 8 participants to carry 3 kinds of backpack; a regular backpack made of fabric (General style), a backpack with strap, waist and rigid steel or plastic structure attached to the back (Ergonomics style), and a backpack with solid structure (Japanese style) contain with the object weighted at 10 percent of participant's weight. The object arrangement to keep the center of gravity of the backpack in 2 different positions which are on the upper and the lower part of the backpack. The participants walked and ran on treadmill in the laboratory and their heart rate and movement were recorded by OptiTrack™ motion capture system at 30 frames per second. To study the effect on energy expenditure rate, degree of leaning forward rate in the Sagittal plane and the swing area of backpacks in the Frontal plane. The result, in both cases whether participants were asked to run or walk, shows that when carrying an Ergonomics backpack, energy expenditure rate and the swing area of backpack were lower than others. In term of object arrangement factor, the result indicated that when keeping the center of gravity of the backpack on the lower part, energy expenditure rate and the swing area of backpack were lower than keeping the center of gravity of the backpack on the upper part. However, In term of degree of leaning forward rate, when keeping the center of gravity of the backpack on the lower part affect to the rate lower than keeping the center of gravity of the backpack on the upper part in case of running only.

Department: Industrial Engineering Student's Signature

Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2017

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยคำปรึกษาด้านการวิจัยและการสนับสนุนตลอดมา จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลักของวิทยานิพนธ์นี้ และวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้รับความช่วยเหลือจากอาจารย์หลายท่าน อาทิ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์อันประกอบไปด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัสวงศ์ โอสถศิลป์ อาจารย์ ดร. อริศรา เจียมสงวนวงศ์ และ รองศาสตราจารย์นายแพทย์อดิศักดิ์ ผลิตผลการพิมพ์ รวมถึงขอขอบคุณอาสาสมัครผู้เข้าร่วมการทดลองทุกคนและครอบครัวของข้าพเจ้าที่ได้ให้ความร่วมมือและให้การสนับสนุนตลอดมา

ข้าพเจ้าขอถือโอกาสขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สำหรับความเอื้อเฟื้อในด้านสถานที่และเครื่องมืออุปกรณ์ รวมถึงผู้ที่มีส่วนร่วมสนับสนุนให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ทุกท่าน ทั้งที่ได้กล่าวถึงไปแล้วข้างต้นและไม่ได้กล่าวถึงไว้เป็นอย่างสูง ณ ที่นี้



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	6
1.3 ขอบเขตการวิจัย	6
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 การเคลื่อนไหวร่างกายและการทรงตัวของร่างกายมนุษย์	8
2.1.1 การวิเคราะห์การเดิน การวิ่ง และการรักษาสมดุลร่างกายขณะเคลื่อนที่	8
2.1.2 การทรงตัว และการควบคุมการทรงตัว	12
2.1.3 การหาค่าพื้นที่สนับสนุนการทรงตัว (Support Surface: SS) เพื่อตรวจวัดการแกว่ง (Swaying) ของร่างกาย.....	14
2.1.4 จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วง.....	15
2.1.5 การคำนวณภาระงานที่กระทำบนกระดูกสันหลังส่วนล่าง.....	17
2.2 อัตราการเต้นของหัวใจและการใช้พลังงาน	19
2.2.1 กระบวนการสร้างพลังงาน.....	20
2.2.2 ระบบไหลเวียนของเลือดและอัตราการเต้นของหัวใจ.....	22
2.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานและอัตราการเต้นของหัวใจ.....	24

2.3 ระบบบันทึกการเคลื่อนไหว	27
2.4 งานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง.....	29
2.5 สมมติฐานงานวิจัย	34
2.5.1 สมมติฐานด้านอัตราการใช้พลังงาน	34
2.5.2 สมมติฐานด้านอัตราการเปลี่ยนแปลงของสภาวะการโน้มตัวไปด้านหน้า	34
2.5.3 สมมติฐานด้านพื้นที่การแกว่งของกระดูกสันหลัง	35
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	36
3.1 ผู้เข้าร่วมการทดลอง	36
3.2 เครื่องมือและสถานที่สำหรับการดำเนินงานวิจัย	36
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	39
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	42
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	44
4.1 ข้อมูลอัตราการเต้นของหัวใจ และอัตราการใช้พลังงาน	47
4.2 ข้อมูลองศาการโน้มตัวไปด้านหน้า และอัตราการเปลี่ยนแปลงขององศาการโน้มตัวไปด้านหน้า.....	49
4.3 ข้อมูลตำแหน่งการแกว่งของกระดูกสันหลังเมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลางลำตัว และพื้นที่การแกว่งของกระดูกสันหลัง.....	52
4.4 วิเคราะห์ตัวชี้วัดอัตราการใช้พลังงาน.....	61
4.4.1 การวิเคราะห์ตัวชี้วัดอัตราการใช้พลังงานขณะเดิน	61
4.4.2 การวิเคราะห์ตัวชี้วัดอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่ง	68
4.5 การวิเคราะห์ตัวชี้วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้า.....	75
4.5.1 การวิเคราะห์ค่าเริ่มต้นของการโน้มตัวไปด้านหน้า.....	75
4.5.2 การวิเคราะห์ตัวชี้วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะเดิน	78
4.5.3 การวิเคราะห์ตัวชี้วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะวิ่ง.....	82
4.6 การวิเคราะห์ตัวชี้วัดพื้นที่การแกว่งของกระดูกสันหลัง	88

4.6.1 การวิเคราะห์ตัวชี้วัดพื้นที่การแกว่งของกระเปาะขณะเดิน.....	88
4.6.2 การวิเคราะห์ตัวชี้วัดพื้นที่การแกว่งของกระเปาะขณะวิ่ง.....	94
4.7 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณของตัวชี้วัด.....	100
4.7.1 การทดสอบการแจกแจงปกติของอัตราการใช้พลังงาน.....	100
4.7.2 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น.....	101
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	104
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	104
5.2 ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย.....	107
5.3 งานวิจัยในอนาคต.....	108
รายการอ้างอิง.....	109
ภาคผนวก.....	113
ภาคผนวก ก หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมการวิจัย.....	114
ภาคผนวก ข เอกสารการประชุมวิชาการขายงานวิศวกรรมประจำปี พ.ศ 2560.....	115
ภาคผนวก ค ตัวอย่าง ข้อมูลจากผลการทดลอง.....	121
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	129

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ช่วงน้ำหนักระเป่าสะพายหลังที่เหมาะสมกับนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษา.....	2
ตารางที่ 1.2 คุณสมบัติของกระเป่าแต่ละชนิดตามคำโฆษณาของผู้ผลิตหรือผู้ขาย	4
ตารางที่ 2.1 อัตราการเต้นของหัวใจในขณะพัก (Resting heart rate) แบ่งตามช่วงอายุเพศชาย	23
ตารางที่ 2.2 อัตราการเต้นของหัวใจในขณะพัก (Resting heart rate) แบ่งตามช่วงอายุเพศหญิง	23
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมการทดลอง.....	44
ตารางที่ 4.2 อัตราการใช้พลังงานของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะเดินในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง	49
ตารางที่ 4.3 อัตราการใช้พลังงานของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะวิ่งในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง	49
ตารางที่ 4.4 สมการเส้นแนวโน้มของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะเดินในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง	51
ตารางที่ 4.5 สมการเส้นแนวโน้มของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะวิ่งในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง	52
ตารางที่ 4.6 พื้นที่การแกว่งของกระเป่าตามระนาบ Frontal ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะเดินในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง	54
ตารางที่ 4.7 พื้นที่การแกว่งของกระเป่าตามระนาบ Frontal ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะวิ่งในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง.....	54
ตารางที่ 4.8 ผลการเก็บข้อมูลของตัวชี้วัดทั้ง 3 ประเภทของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 ราย ในขณะเดินทดลองทั้ง 8 รายในขณะเดิน.....	55
ตารางที่ 4.9 ผลการเก็บข้อมูลของตัวชี้วัดทั้ง 3 ประเภทของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 ราย ในขณะวิ่ง.....	59
ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ระดับของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน	102

ตารางที่ 4.11 สรุปผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวชี้วัด..... 104

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์เพื่อศึกษาระดับปัจจัย..... 105



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 การส่ายกระเปาะเพื่อบรรจุสัณนิษฐานไปโรงเรียน	1
รูปที่ 1.2 คำแนะนำการใช้กระเปาะส่ายของหลัง	3
รูปที่ 1.3 รูปแบบกระเปาะส่ายหลังที่พบเห็นนักเรียนใช้ในปัจจุบัน	3
รูปที่ 1.4 คำแนะนำการจัดเรียงสิ่งของที่ตำแหน่งต่างๆ.....	6
รูปที่ 2.1 วงจรการเดินของมนุษย์.....	10
รูปที่ 2.2 การสร้างสมดุลในทศกัณฐ์ขณะวิ่ง	11
รูปที่ 2.3 เส้นเอ็น Nuchal Ligament	11
รูปที่ 2.4 พื้นที่วงรีเป็นกรอบครอบคลุมของ Support Surface.....	14
รูปที่ 2.5 การหาจุดศูนย์กลางมวลโดยใช้เครื่องชั่ง	16
รูปที่ 2.6 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลส่วนร่างกายของความยาวส่วนนั้นของชายไทย	16
รูปที่ 2.7 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลโดยประมาณ.....	17
รูปที่ 2.8 การเกิดแรงดึงจากกล้ามเนื้อ และโมเมนต์ที่หมอนรองกระดูก L5/S1.....	18
รูปที่ 2.9 แผนภาพผังอิสระในสภาวะสถิตย์ที่มีแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อกระดูกสันหลัง ส่วนล่าง.....	18
รูปที่ 2.10 ระดับการใช้พลังงานและการใช้ออกซิเจนในระหว่างการทำงาน.....	21
รูปที่ 2.11 ระดับอัตราการเต้นของหัวใจในระหว่างการทำงาน	22
รูปที่ 2.12 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสมการเชิงถดถอยระหว่างการวัดอัตราการใช้พลังงาน ต่อวัน โดยเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและเครื่องวัดการใช้พลังงาน	26
รูปที่ 2.13 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสมการเชิงถดถอยระหว่างการวัดอัตราการใช้พลังงาน แต่ละกิจกรรม โดยเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและเครื่องวัดการใช้พลังงาน	26
รูปที่ 2.14 Optical Motion Capture	28
รูปที่ 2.15 ตำแหน่งมาตรฐานการติด Marker	29

รูปที่ 2.16 การวัดมุมบริเวณส่วนต่อของศีรษะและคอ (Craniovertebral) มุมเอียงของลำตัว (Forward Trunk Lean) และมุมเอียงของกระดูกเชิงกราน (Pelvic Tilt)	31
รูปที่ 2.17 ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของผู้เข้าร่วมการทดลองเมื่อสะพานกระดูกเป่า	31
รูปที่ 2.18 โครงสร้างของกระดูกเป่านักเรียนปกติขนาดที่ได้รับการแก้ไขโดยใช้วิธี CGSHIFTER.....	32
รูปที่ 2.19 รูปแบบ Backres ของกระดูกเป่า Randoseru.....	32
รูปที่ 2.20 รูปแบบสายสะพานหลังแบบเป็นโครง และแบบสายสะพานปกติ.....	33
รูปที่ 3.1 กล้องถ่ายภาพและวิดีโอ	36
รูปที่ 3.2 กล้องอินฟราเรด รุ่น Flex 13	37
รูปที่ 3.3 ลูกบอลลาวแสง (Marker)	37
รูปที่ 3.4 เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ Runtastic.....	37
รูปที่ 3.5 ลักษณะกระดูกเป่าสะพานหลังสำหรับการทดลอง 3 รูปแบบ.....	38
รูปที่ 3.6 น้ำหนักบาร์เบลล์บรรจุในกล่องพลาสติก	38
รูปที่ 3.7 พื้นที่ใช้งานสำหรับการวิจัยที่ติดตั้งระบบบันทึกการเคลื่อนไหว และเครื่องออกกำลังกายแบบลู่วิ่ง....	39
รูปที่ 3.8 ลักษณะการจัดเรียงสิ่งของเพื่อกำหนดตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวล	40
รูปที่ 3.9 ตำแหน่งติดลูกบอลลาวแสงที่ผู้เข้าร่วมทดลองและบริเวณกระดูกเป่า.....	40
รูปที่ 3.10 องศาการโน้มตัวไปด้านหน้า (θ) เมื่อเทียบกับการยืนโดยไม่มีภาระงานตามระนาบ Sagittal.....	42
รูปที่ 3.11 ตำแหน่งการแกว่งของกระดูกเป่าเทียบกับจุดศูนย์กลางลำตัวในระนาบ Frontal.....	42
รูปที่ 4.1 อัตราการเต้นของหัวใจของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะเดินในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง	48
รูปที่ 4.2 อัตราการเต้นของหัวใจของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะวิ่งในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง	48
รูปที่ 4.3 องศาการโน้มตัวไปด้านหน้าเมื่อเทียบกับการยืนโดยไม่มีภาระงานตามระนาบ Sagittal ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะเดินเมื่อสะพานกระดูกเป่านักเรียนญี่ปุ่นและจัดเรียงสิ่งของให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ที่ตำแหน่งด้านล่าง	51

รูปที่ 4.4 องศาการโน้มตัวไปด้านหน้าเมื่อเทียบกับการยืนโดยไม่มีภาระงานตามระนาบ Sagittal ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะวิ่งเมื่อสะพานกระเป๋านักเรียนญี่ปุ่นและจัดเรียงสิ่งของให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ที่ตำแหน่งด้านล่าง	51
รูปที่ 4.5 พื้นที่การแกว่งของกระเป๋าทตามระนาบ Frontal ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะเดินเมื่อสะพานกระเป๋านักเรียนญี่ปุ่นและจัดเรียงสิ่งของให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ที่ตำแหน่งด้านล่าง .	53
รูปที่ 4.6 พื้นที่การแกว่งของกระเป๋าทตามระนาบ Frontal ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะวิ่งเมื่อสะพานกระเป๋านักเรียนญี่ปุ่นและจัดเรียงสิ่งของให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ที่ตำแหน่งด้านล่าง ...	53
รูปที่ 4.7 ข้อมูลอัตราการใช้พลังงานขณะเดินของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง.....	61
รูปที่ 4.8 Residual Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดอัตราการใช้พลังงานขณะเดินทุกเงื่อนไขการทดลองของผู้เข้าร่วมการทดลอง 8 คน.....	62
รูปที่ 4.9 Box-Cox Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดอัตราการใช้พลังงานขณะเดิน	63
รูปที่ 4.10 Residual Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดอัตราการใช้พลังงานขณะเดินทุกเงื่อนไขการทดลองของผู้เข้าร่วมการทดลอง 8 คน (ที่ได้ปรับปรุงข้อมูลแล้ว).....	63
รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าอัตราการใช้พลังงานขณะเดิน	65
รูปที่ 4.12 Interval Plot ของข้อมูลอัตราการใช้พลังงานขณะเดินของทุกเงื่อนไขการทดลอง ที่แสดงผลจากปัจจัยด้านการจัดเรียงสิ่งของ	66
รูปที่ 4.13 Interval Plot ของข้อมูลอัตราการใช้พลังงานขณะเดินของทุกเงื่อนไขการทดลอง ที่แสดงผลจากปัจจัยลักษณะกระเป๋า	66
รูปที่ 4.14 Bonferroni Test ของปัจจัยลักษณะของกระเป๋า.....	67
รูปที่ 4.15 ข้อมูลอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่งของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง.....	68
รูปที่ 4.16 Residual Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่งทุกเงื่อนไขการทดลองของผู้เข้าร่วมการทดลอง 8 คน.....	69
รูปที่ 4.17 Box-Cox Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่ง	70
รูปที่ 4.18 Residual Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่งทุกเงื่อนไขการทดลองของผู้เข้าร่วมการทดลอง 8 คน (ที่ได้ปรับปรุงข้อมูลแล้ว).....	70

รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่ง	72
รูปที่ 4.20 Interval Plot ของข้อมูลอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่งของทุกเงื่อนไขการทดลอง ที่ แสดงผลจากปัจจัยด้านการจัดเรียงสิ่งของ	73
รูปที่ 4.21 Interval Plot ของข้อมูลอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่งของทุกเงื่อนไขการทดลองที่ แสดงผลจากปัจจัยลักษณะกระเป๋า	73
รูปที่ 4.22 Bonferroni Test ของปัจจัยลักษณะของกระเป๋า	74
รูปที่ 4.23 ข้อมูลค่าเริ่มต้นของการเอียงตัวไปด้านหน้าของทุกเงื่อนไขการทดลอง.....	76
รูปที่ 4.24 Residual Plot ของมูลค่าเริ่มต้นของการเอียงตัวไปด้านหน้าของทุกเงื่อนไขการ ทดลอง	76
รูปที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าเริ่มต้นองศาการโน้มตัวไปด้านหน้า.....	78
รูปที่ 4.26 ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะเดินแต่ละเงื่อนไขการทดลอง ...	79
รูปที่ 4.27 Residual Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะ เดินทุกเงื่อนไขการทดลอง ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 8 คน	80
รูปที่ 4.28 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะเดิน .	81
รูปที่ 4.29 Interval Plot ของข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะเดินของทุก เงื่อนไขการทดลอง ที่แสดงผลจากปัจจัยด้านการจัดเรียงสิ่งของ	82
รูปที่ 4.30 ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะวิ่งของแต่ละเงื่อนไขการ ทดลอง	83
รูปที่ 4.31 Residual Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะ วิ่งทุกเงื่อนไขการทดลอง ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 8 คน	84
รูปที่ 4.32 Box-Cox Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะวิ่ง .	85
รูปที่ 4.33 Residual Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะ วิ่งทุกเงื่อนไขการทดลอง ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 8 คน (ที่ได้ปรับปรุงข้อมูลแล้ว).....	85
รูปที่ 4.34 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะ วิ่ง.....	87

รูปที่ 4.35 Interval Plot ของข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะวิ่งของทุก เงื่อนไขการทดลอง ที่แสดงผลจากปัจจัยด้านการจัดเรียงสิ่งของ.....	88
รูปที่ 4.36 ข้อมูลพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าระยะเดินของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง.....	89
รูปที่ 4.37 Residual Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าระยะเดินทุกเงื่อนไขการ ทดลอง ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 8 คน.....	90
รูปที่ 4.38 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าระยะเดิน.....	91
รูปที่ 4.39 Interval Plot ของข้อมูลพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าระยะเดินของทุกเงื่อนไขการ ทดลอง ที่แสดงผลจากปัจจัยด้านการจัดเรียงสิ่งของ.....	92
รูปที่ 4.40 Interval Plot ของข้อมูลพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าระยะเดินของทุกเงื่อนไขการ ทดลอง ที่แสดงผลจากปัจจัยลักษณะกระเป๋.....	92
รูปที่ 4.41 Bonferroni Test ของปัจจัยลักษณะของกระเป๋.....	93
รูปที่ 4.42 ข้อมูลพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าระยะวิ่งของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง	94
รูปที่ 4.43 Residual Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าระยะวิ่งทุกเงื่อนไขการ ทดลอง ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 8 คน.....	95
รูปที่ 4.44 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าระยะวิ่ง	96
รูปที่ 4.45 Interval Plot ของข้อมูลพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าระยะวิ่งของทุกเงื่อนไขการทดลอง ที่แสดงผลจากปัจจัยด้านการจัดเรียงสิ่งของ	97
รูปที่ 4.46 Interval Plot ของข้อมูลพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าระยะวิ่งของทุกเงื่อนไขการทดลอง ที่แสดงผลจากปัจจัยลักษณะกระเป๋.....	98
รูปที่ 4.47 Bonferroni Test ของปัจจัยลักษณะของกระเป๋.....	99
รูปที่ 4.48 Probability Plot และ Histogram ข้อมูลอัตราการใช้พลังงานขณะเดิน.....	100
รูปที่ 4.49 Probability Plot และ Histogram ข้อมูลอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่ง.....	101
รูปที่ 4.50 Scatterplot ระหว่างอัตราการใช้พลังงานและตัวแปรอิสระ	102

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เป็นที่ทราบกันดีว่าทั่วโลกมีนักเรียนจำนวนมากที่ใช้กระเป๋าสะพายหลังเพื่อบรรจุสัมภาระไปโรงเรียน ซึ่งถ้าหากแบกกระเป๋าที่มีน้ำหนักมากจนเกินไปจะส่งผลให้เกิดน้ำหนักกดทับโดยตรงที่กล้ามเนื้อต้นคอ ไหล่ หลัง และกระดูกสันหลัง ทำให้เกิดอาการปวดบริเวณดังกล่าว (วารสารฉลาดซื้อ, 2550) ไปจนถึงการกลายเป็นคนที่เดินผิดปกติ ซึ่งในระยะยาวอาจมีผลต่อพัฒนาการด้านความสูง ทั้งนี้หากนักเรียนมีปัญหาทางด้านสุขภาพก็จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของการเรียนตามไปด้วย (ประชาชาติธุรกิจ, 2556)

จากข้อมูลของมูลนิธิคุ้มครองผู้บริโภคที่ได้ทำการสำรวจและรวบรวมข้อมูลน้ำหนักกระเป๋า นักเรียนชั้นประถมศึกษาในกรุงเทพฯ และต่างจังหวัดอีก 10 จังหวัดครอบคลุมทั่วประเทศ พบว่ามีน้ำหนักเกินกว่าร้อยละ 20 ของน้ำหนักตัวของนักเรียนประมาณร้อยละ 80 นอกจากนี้พบว่านักเรียนในจำนวนนี้กว่าร้อยละ 70 ใช้กระเป๋าสะพายหลังเป็นหลักและกว่าร้อยละ 29 ของกลุ่มตัวอย่างมีอาการปวดคอ ไหล่หรือหลัง ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกันกับข้อมูลจากศูนย์วิจัยเพื่อสร้างเสริมความปลอดภัยและป้องกันการบาดเจ็บในเด็ก โรงพยาบาลรามาธิบดี ที่ได้สำรวจข้อมูลน้ำหนักกระเป๋า นักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนต้นพบว่ามีเด็กนักเรียนแบกกระเป๋าที่มีน้ำหนักเกินกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนักตัวเกินกว่าร้อยละ 90 ซึ่งจัดเป็นกลุ่มที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดอาการบาดเจ็บสูง (หนังสือพิมพ์แนวหน้า, 2550) อีกทั้งจากการเก็บข้อมูลผู้เข้าร่วมงานจุฬานิทรรศ 17 จำนวน 20 รายพบว่าร้อยละ 90 ของผู้ร่วมงานใช้กระเป๋าสะพายหลังในการแบกสัมภาระต่างๆ และกว่าร้อยละ 55 มีการบรรจุสัมภาระรวมมากถึงร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 15 ของน้ำหนักตัว



รูปที่ 1.1 การสะพายกระเป๋าเพื่อบรรจุสัมภาระไปโรงเรียน (มติชนออนไลน์, 2559)

ซึ่งการใช้กระดาษปะพายหลังที่มีน้ำหนักมากเกินไปนั้นจะส่งผลกระทบต่อร่างกายผู้ใช้งานในระยะยาว โดยคณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดียืนยันว่าหากมีอาการปวดหลังตั้งแต่ตอนเด็กเมื่อโตขึ้นอาการปวดหลังก็จะเกิดเรื้อรัง เทียบเคียงข้อมูลจากต่างประเทศที่พบว่าคนวัยแรงงานที่มีอาการปวดหลังเรื้อรังนั้นมีปัญหามาตั้งแต่วัยเด็กและวัยรุ่น (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2551)

จากปัญหาดังกล่าวทำให้มีการหารือร่วมกันระหว่างคณะกรรมการกิจการสังคมเด็ก เยาวชนสตรี ผู้สูงอายุ คนพิการและด้อยโอกาส สถานิติบัญญัติแห่งชาติ (สนช.) และศูนย์วิจัยเพื่อสร้างเสริมความปลอดภัยและป้องกันการบาดเจ็บในเด็ก โรงพยาบาลรามาธิบดี ผลักดันให้กระทรวงศึกษาธิการเข้มงวดเรื่องน้ำหนักกรวมของกระดาษนักเรียนมากขึ้นโดยการสนับสนุนให้เกิดความร่วมมือระหว่างโรงเรียน อาจารย์ ผู้ปกครองเพื่อแก้ปัญหา ซึ่งเห็นควรให้โรงเรียนจัดทำที่เก็บสัมภาระรวมทั้งขอความร่วมมือจากอาจารย์ในการพิจารณาตารางสอนให้เหมาะสม พร้อมกับให้ความรู้แก่ผู้ปกครองและแนะนำให้ผู้ปกครองช่วยดูแลน้ำหนักกรวมของกระดาษของเด็กนักเรียนให้มีน้ำหนักไม่เกินมาตรฐานความปลอดภัย ซึ่งทั่วโลกกำหนดเกณฑ์น้ำหนักที่เหมาะสมคือ ไม่เกินร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 20 ของน้ำหนักตัว ซึ่งประเทศไทยคิดเป็นค่ากลางคือ ไม่เกินร้อยละ 15 ของน้ำหนักตัว ทั้งนี้ศูนย์วิจัยเพื่อสร้างเสริมความปลอดภัยและป้องกันการบาดเจ็บในเด็ก โรงพยาบาลรามาธิบดีแนะนำช่วงน้ำหนักกรวมของกระดาษปะพายหลังที่เหมาะสมกับนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษา ดังตารางที่ 1 (ผู้จัดการออนไลน์, 2554)

ตารางที่ 1.1 ช่วงน้ำหนักกระดาษปะพายหลังที่เหมาะสมกับนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษา

ระดับชั้น	น้ำหนักที่เหมาะสม
ประถมศึกษาปีที่ 1	ไม่เกิน 3 กิโลกรัม
ประถมศึกษาปีที่ 2	ไม่เกิน 3.5 กิโลกรัม
ประถมศึกษาปีที่ 3	ไม่เกิน 4 กิโลกรัม

พร้อมกันนี้ยังให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้งานกระดาษปะพายหลัง โดยไม่ควรสะพายด้วยไหล่เพียงข้างเดียวเนื่องจากทำให้น้ำหนักของกระดาษที่กดไหล่อยู่เพียงด้านเดียวส่งผลให้สมดุลของร่างกายเปลี่ยนแปลงและอาจจะทำให้กระดูกสันหลังคดงอ และไม่ควรสะพายกระดาษที่น้ำหนักเกินโดยก้นของกระดาษไม่ควรอยู่ระดับต่ำกว่าเอวเกินกว่า 4 นิ้ว ด้วยเหตุผลเดียวกันคือ น้ำหนักของกระดาษจะทำให้การทรงตัวที่เปลี่ยนไปเพื่อสร้างสมดุลซึ่งจะส่งผลกระทบต่อกระดูกสันหลังทั้งระยะสั้นและระยะยาว และขนาดของกระดาษควรมีขนาดที่เหมาะสม มีสายสะพายแบบกว้าง และควรจัดเรียงสัมภาระที่มีน้ำหนักมากที่สุดไว้ด้านในของกระดาษให้ชิดหลังของผู้ใช้งานมากที่สุดซึ่งจะช่วยเอื้อน้ำหนักได้ดี(ประชาชาติ

ธุรกิจ, 2556) ไม่นักไปทางด้านใดด้านหนึ่ง การปรับสายกระเป๋าควรปรับให้กระเป๋านแนบกับลำตัวมากที่สุด แต่อย่าแน่นจนเกินไปไม่เช่นนั้นก็เกิดอาการกดทับได้(ผู้จัดการออนไลน์, 2554)



รูปที่ 1.2 คำแนะนำการใช้กระเป๋าสะพายของหลัง (ศูนย์วิจัยเพื่อสร้างเสริมความปลอดภัย และป้องกันการบาดเจ็บในเด็ก โรงพยาบาลรามาธิบดี, 2559)

อย่างไรก็ตามปัญหาเหล่านี้ยังไม่ได้รับการแก้ไขอย่างเป็นรูปธรรมมากนักทำให้ผู้ปกครองเกิดความกังวลใจเกี่ยวกับปัญหาสุขภาพของเด็กอันเนื่องมาจากการสะพายกระเป๋านักเรียนที่มีน้ำหนักมาก จึงทำให้ผู้ปกครองพยายามหากระเป๋าสะพายหลังที่เหมาะสมให้กับบุตร หลาน ของตน อีกทั้งในปัจจุบันโรงเรียนหลายแห่งในประเทศไทยได้ให้อิสระในการใช้กระเป๋านักเรียน จึงพบรูปแบบของกระเป๋าสะพายหลังที่หลากหลาย สำหรับรูปแบบของกระเป๋าสะพายหลังที่พบเห็นได้ทั่วไปในปัจจุบันมีอยู่ 3 ประเภทหลัก ได้แก่

1. กระเป๋าที่มีลักษณะคงรูปโดยมีโครงที่แข็งทั้งกระเป๋าหรือกระเป๋านักเรียนญี่ปุ่น
2. กระเป๋าที่มีลักษณะไม่คงรูปโดยใช้วัสดุเป็นผ้าเพียงอย่างเดียว
3. กระเป๋าที่มีลักษณะกึ่งคงรูปโดยมีโครงที่บริเวณหลัง และมีสายรัดอกและสะโพกหรือกระเป๋าเออร์โกโนมิกส์



กระเป๋าที่มีลักษณะคงรูปโดยโครงที่แข็งทั้งกระเป๋าหรือกระเป๋านักเรียนญี่ปุ่น



กระเป๋าที่มีลักษณะไม่คงรูปโดยใช้วัสดุเป็นผ้าเพียงอย่างเดียว



กระเป๋าที่มีลักษณะกึ่งคงรูปโดยมีโครงที่บริเวณหลัง และมีสายรัดอกและสะโพกหรือกระเป๋าเออร์โกโนมิกส์

รูปที่ 1.3 รูปแบบกระเป๋าสะพายหลังที่พบเห็นนักเรียนใช้ในปัจจุบัน

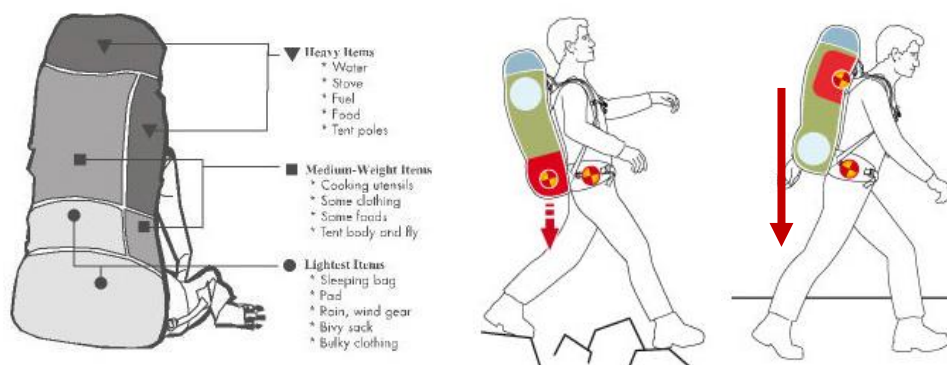
ซึ่งลักษณะของกระเป๋าเหล่านี้อาจจะส่งผลต่อพฤติกรรมการใช้งาน โดยในปัจจุบันพบว่า ผู้ผลิตแต่ละรายต่างระบุว่ากระเป๋าของตนมีคุณสมบัติในการช่วยป้องกันการบาดเจ็บต่อกระดูกสันหลังและกล้ามเนื้อ ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 คุณสมบัติของกระเป๋าแต่ละชนิดตามคำโฆษณาของผู้ผลิตหรือผู้ขาย

ประเภทกระเป๋า	คุณสมบัติของกระเป๋าตามคำโฆษณาของผู้ผลิตหรือผู้ขาย
<p>1. กระเป๋าที่มีลักษณะคงรูปโดยมีโครงที่แข็งทั้งกระเป๋าหรือกระเป๋านักเรียนญี่ปุ่น</p>	<div style="display: flex; flex-direction: column;"> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p>- กระเป๋าออกแบบมาให้เป็นโครงที่เป็นรูปทรงอยู่ตัวและกว้างเท่ากับแผ่นหลังของผู้ใช้งาน</p> <p>- ส่วนที่ต้องแนบกับลำตัวจะบุด้วยวัสดุที่มีความนิ่มเพื่อลดการกดทับที่อาจจะก่อให้เกิดการบาดเจ็บจากการใช้งาน</p> </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 10px;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p>- กระเป๋าจะไม่ทิ้งน้ำหนักไปที่จุดใดจุดหนึ่ง แต่จะกระจายน้ำหนักอย่างเหมาะสมและพอดี ช่วยลดการปวดไหล่หรือสะโพกจากการที่ต้องโค้งตัว จึงสามารถช่วยป้องกันอาการหลังค่อมได้</p> </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 10px;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p>- ขนาดสายได้มาตรฐาน (กว้างมากกว่า 6 เซนติเมตร) สามารถปรับตามสรีระร่างกายได้</p> </div> </div> </div>
<p>2. กระเป๋าที่มีลักษณะไม่คงรูปโดยใช้วัสดุเป็นผ้าเพียงอย่างเดียว</p>	<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p>- มีลวดลายสวยงาม ราคาไม่แพงและเป็นที่ยอมรับ</p> </div> </div>

ประเภทกระเป๋า	คุณสมบัติของกระเป๋าคำโฆษณาของผู้ผลิตหรือผู้ขาย
<p>3. กระเป๋าที่มีลักษณะกึ่งคงรูป โดยมีโครงที่บริเวณหลัง และมีสายรัดอกและสะโพกหรือกระเป๋าเออร์โกโนมิกส์</p>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>Frame Sheet</p> <p>Sternum Straps</p> <p>Hip Belt</p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="margin-left: 20px;"> <ul style="list-style-type: none"> - สายรัดอก (Sternum Straps) ทำหน้าที่ยึดไม่ให้กระเป๋าเหวี่ยงไปมาขณะเดิน - สายรัดสะโพก (Hip Belt) รองรับภาระกระแทกระหว่างน้ำหนักของกระเป๋ากับสะโพก ช่วยในการกระจายน้ำหนัก - แผ่นรองหลัง (Frame Sheet) ช่วยลดการกระแทกระหว่างที่อยู่ภายในกระเป๋า </div> </div>

ในขณะเดียวกันการจัดเรียงสิ่งของในกระเป๋ายังเป็นอีกปัจจัยที่ผู้ปกครองให้ความสนใจ โดยคำแนะนำส่วนใหญ่ที่พบคือการจัดเรียงสิ่งของที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านในของกระเป๋าให้ชิดแผ่นหลังของผู้ใช้งานมากที่สุด และอยู่ในตำแหน่งความสูงระดับไหล่ เนื่องจากจะไม่ทำให้ผู้ใช้งานรู้สึกท้อถอยเกินไปด้านหลัง เนื่องจากธรรมชาติของมนุษย์ขณะเดินหรือวิ่งจะมีการเอียงลำตัวไปด้านหน้าเล็กน้อยเพื่อรักษาสมดุลร่างกาย หากพิจารณาการจัดเรียงสิ่งของโดยให้จุดศูนย์กลางมวลของสิ่งของอยู่ในตำแหน่งบน จะส่งผลให้แรงนั้นส่งผ่านหรือใกล้เคียงบริเวณสะโพก ซึ่งสอดคล้องกับคำแนะนำของผู้ผลิตกระเป๋าในการจัดเรียงสิ่งของสำหรับการเดินทางแบบพื้นราบ โดยให้สัมภาระที่มีน้ำหนักเบา เช่น ถูขนอน, หมอน จัดไว้ในตำแหน่งล่างสุดของกระเป๋า สำหรับสัมภาระที่มีน้ำหนักปานกลาง เช่น เสื้อผ้า ควรจัดเรียงไว้ส่วนกลาง และสัมภาระที่มีน้ำหนักมาก เช่น เต็นท์, อาหาร, แจ็คเก็ตขนาดใหญ่ ควรจัดเรียงให้อยู่ตำแหน่งบนสุด และแนบชิดกับลำตัว ดังรูปที่ 1.4 ซึ่งเป็นตามหลักการเชิงชีวกลศาสตร์ที่ระบุว่าการทำงานกิจกรรมยก แบก หาม นั้นควรให้จุดศูนย์กลางมวลใกล้กับจุดหมุนของผู้ยก แบก หาม มากที่สุดเนื่องจากจะทำให้เกิดแขนของโมเมนต์ที่ต่ำกว่า แต่ผลกระทบที่กล่าวถึงทั้งหมดนั้นเป็นการอนุมานในสภาวะสถิต ซึ่งแตกต่างจากพฤติกรรมของมนุษย์ที่มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา



รูปที่ 1.4 คำแนะนำการจัดเรียงสิ่งของที่ตำแหน่งต่างๆ (<http://blog.deuterusa.com/packing-a-backpack>, 2013)

สำหรับกิจกรรมการสะพายกระเป๋าขณะเดินและวิ่งนั้น จะต้องใช้พลังงานจากกล้ามเนื้อในการทรงตัวเพื่อรักษาสมดุลร่างกายและช่วยให้เกิดการเคลื่อนไหวที่ได้โดยไม่เกิดการล้ม ซึ่งพลังงานที่ใช้จำเป็นต้องใช้ออกซิเจนที่ลำเลียงผ่านเลือด การใช้พลังงานจึงมีความแปรผันกับอัตราการเต้นของหัวใจ ดังนั้นการแกว่งของกระเป๋าน่าจะเป็นอุปสรรคต่อการควบคุมการทรงตัวและส่งผลกระทบต่ออัตราการเต้นของหัวใจเช่นเดียวกัน

จากปัญหาและความไม่รู้เหล่านี้จึงเป็นที่มาของการวิจัยที่มุ่งเน้นการศึกษาลักษณะกระเป๋าสะพายหลังและการจัดเรียงสิ่งของที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเต้นของหัวใจและท่าทางของร่างกายก่อนบนในสภาวะพลวัตทั้งขณะเดินและวิ่ง เพื่อให้ความกระจ่างและให้คำแนะนำแก่ผู้ปกครอง เด็กนักเรียน อาจารย์ สถานศึกษาและผู้เกี่ยวข้องอื่นๆ ส่งผลให้เกิดความเข้าใจและช่วยพัฒนาคุณภาพชีวิตของเด็กนักเรียนให้ดีขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

เปรียบเทียบลักษณะของกระเป๋าสะพายหลังและวิธีการจัดเรียงสิ่งของที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเต้นของหัวใจและท่าทางของร่างกายก่อนบน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาการใช้พลังงานโดยอาศัยอัตราการเต้นของหัวใจ
2. ศึกษาท่าทางของร่างกายก่อนบนโดยอาศัยองศาการโน้มเอียงไปด้านหน้าที่เกี่ยวข้องต่อการโค้งงอของกระดูกสันหลังและตำแหน่งของการแกว่งกระเป๋า
3. ศึกษาการเดินและเริ่มวิ่งเล็กน้อยบนลู่วิ่งในห้องทดลอง

1.4 ประโยชน์ของงานวิจัย

เพื่อให้ความกระจ่างและให้คำแนะนำแก่ผู้ปกครอง เด็กนักเรียน อาจารย์ สถานศึกษาและผู้เกี่ยวข้องอื่นๆ ส่งผลให้เกิดความเข้าใจและช่วยพัฒนาคุณภาพชีวิตของเด็กนักเรียนให้ดีขึ้น

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการแบกสิ่งของโดยใช้กระเป๋าสะพายหลัง
2. กำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย
3. ศึกษาการใช้เครื่องมือวัด
4. กำหนดเงื่อนไขการทดลอง
5. ดำเนินการทดลองและบันทึกข้อมูล
6. วิเคราะห์ผลการทดลอง
7. สรุปผลวิจัย และข้อเสนอแนะ เผยแพร่ผลงานและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 4 หัวข้อหลักดังนี้

1. การเคลื่อนไหวร่างกายและการทรงตัวของร่างกายมนุษย์
2. อัตราการเต้นของหัวใจและการใช้พลังงาน
3. ระบบบันทึกการเคลื่อนไหว
4. งานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเคลื่อนไหวร่างกายและการทรงตัวของร่างกายมนุษย์

มนุษย์สามารถเคลื่อนไหวร่างกายได้นั้นเป็นผลมาจากการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อที่ยึดติดอยู่กับกระดูก การเคลื่อนไหวร่างกายที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ การเดิน การวิ่ง และการรักษาสมดุลร่างกายเพื่อให้สามารถเคลื่อนไหวตัวไปข้างหน้าได้

2.1.1 การวิเคราะห์การเดิน การวิ่ง และการรักษาสมดุลร่างกายขณะเคลื่อนไหว

นิยามของการเดินและการวิ่งนั้นมีความคล้ายคลึงกันเนื่องจากการเคลื่อนที่โดยใช้ขาทั้งสองข้างก้าวสลับกันไปมา แต่การสังเกตความแตกต่างของการเดินและการวิ่งจะอยู่ที่เท้า ซึ่งเมื่อเกิดการเคลื่อนไหวขึ้น การเดินนั้นจะต้องมีเท้าข้างใดข้างหนึ่งสัมผัสที่พื้นผิวตลอดวงจรการเคลื่อนไหว หากเท้าทั้งสองข้างลอยขึ้นจากพื้นผิวจะไม่ถูกนิยามว่าเป็นการเดินแต่จะเป็นการวิ่งแทน สำหรับอีกตัวแปรหนึ่งที่สามารถใช้ในการบ่งบอกว่าขณะนี้กำลังเดินหรือวิ่งคือความเร็ว

ความเร็วของการเดินและวิ่งในภาพรวมนั้นไม่สามารถกำหนดได้แน่นอน เนื่องจากมีปัจจัยภายนอกต่างๆ ที่ทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลง เช่น อายุ ส่วนสูง รูปร่าง เป็นต้น อย่างไรก็ตามได้มีการกำหนดความเร็วของการเดินไว้เป็นช่วงดังนี้ (สิวลี เจตธำรง, 2558)

- เดินปกติ เป็นการเดินปกติโดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน โดยจะใช้ความเร็วประมาณ 3.2 – 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- เดินเร็ว แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือเดินเร็วปกติ และเดินเร็วเพื่อการกีฬา โดยการเดินเร็วปกติจะใช้ความเร็วประมาณ 6.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และการเดินเร็วเพื่อการกีฬาจะใช้ความเร็วประมาณ 8 - 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

การเดินของมนุษย์มีลักษณะเป็นวงจร เรียกว่า Gait cycle แบ่งออกเป็น 2 ช่วง

1. Stance phase คือ ช่วงเท้าข้างที่สนใจวางอยู่บนพื้นดิน (ใช้ระยะเวลาประมาณ 60% ของวงจรการเดิน) ประกอบด้วย

- Heel strike เป็นขั้นตอนที่ส้นเท้าแตะพื้น กล้ามเนื้อที่ทำงานในระยษนี้คือ Quadriceps ทำหน้าที่ให้เข่าเหยียด, Gluteus maximus ทำหน้าที่เหยียดสะโพกเพื่อให้ส้นเท้ากดกับพื้น, Hamstrings ทำหน้าที่ช่วยเหยียดสะโพกเพื่อให้ส้นเท้ากดกับพื้น และกล้ามเนื้อกลุ่มกระดกข้อเท้าขึ้น ทำให้เท้ากระดกพื้นขึ้น

- Foot flat เป็นขั้นตอนของการเดินที่เท้าแตะพื้น ใช้กล้ามเนื้อเหมือนระยะ Heel strike เว้นแต่ข้อเท้ากระดกประมาณ 15 องศา

- Mid stance เป็นขั้นตอนของการเดินที่มีการเคลื่อนไหวของลำตัวมาด้านหน้ามากขึ้น น้ำหนักตัวตกลงในแนวศูนย์กลางมวลของร่างกาย ผ่านหลังข้อสะโพกหน้าข้อเข่าและข้อเท้ากล้ามเนื้อที่ทำงานระยะนี้ คือ Iliopsoas ทำหน้าที่ให้ข้อสะโพกงอเกินไป Hyperextension มากไป, กล้ามเนื้อ Gluteus medius, Gluteus minimus และ Tensor lata ทำหน้าที่ให้กระดูกเชิงกรานอยู่ระดับไม่ให้เอียงไปด้านใดด้านหนึ่ง, กล้ามเนื้อ Quadriceps ทำหน้าที่ไม่ให้เข่างอพับลงมา, กล้ามเนื้อกระดกเท้า ทำหน้าที่ให้ฝ่าเท้าแนบพื้น

- Heel off เป็นขั้นตอนที่ส้นเท้ายกสูงจากพื้น ลำตัวเอนไปข้างหน้ามากขึ้น กล้ามเนื้อที่ทำงานระยะนี้ คือ Iliopsoas ทำหน้าที่ให้ข้อสะโพกงอเกินไป Hyperextension มากไป, กล้ามเนื้อ Hamstring ทำหน้าที่งอเข่า, กล้ามเนื้อกระดกเท้าลง ทำหน้าที่กระดกข้อเท้าลง

- Toe off เป็นขั้นตอนที่นิ้วเท้าดันให้ขาไปข้างหน้า เพื่อสู่ระยะ Swing phase กล้ามเนื้อ Iliopsoas ทำหน้าที่งอสะโพกเหวี่ยงขาไปข้างหน้า กล้ามเนื้อที่ทำงานระยะนี้ เป็นกล้ามเนื้อที่ป้องกันการงอเข่าเร็วเกินไป, กล้ามเนื้อกระดกเท้าลง ที่ทำหน้าที่ดันให้ขาเหวี่ยงไปข้างหน้า

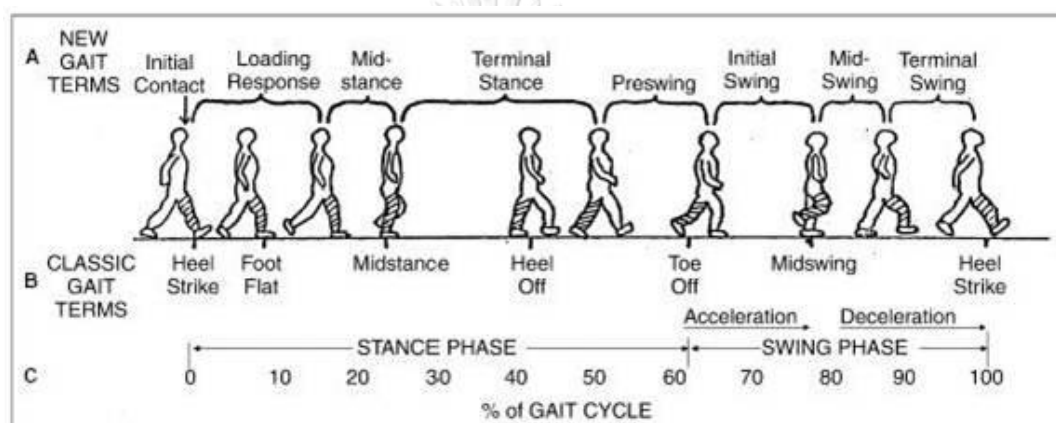
2. Swing phase คือ ช่วงที่เท้าข้างที่สนใจลอยอยู่ในอากาศ เพื่อเหวี่ยงเท้าไปข้างหน้า (ใช้ระยะเวลาประมาณ 40% ของวงจรการเดิน) ประกอบด้วย

- Acceleration เป็นขั้นตอนที่ขาเหวี่ยงไปข้างหน้าด้วยความเร็วจากแรงเฉื่อย กล้ามเนื้อที่ทำงานระยะนี้คือ Iliopsoas ทำหน้าที่เหวี่ยงและ

งอสะโพกไปข้างหน้า, กล้ามเนื้อ Quadriceps ทำหน้าที่ป้องกันการงอเขามากเกินไป, กล้ามเนื้อกระดกเท้าขึ้น ทำให้ข้อเท้ากระดกขึ้น เพื่อไม่ให้ปลายเท้าแตะพื้นกันล้ม

- Mid swing เป็นขั้นตอนที่ขาถูกดึงให้ลอยมาอยู่ใต้ลำตัว กล้ามเนื้อที่ใช้เหมือนระยะ Acceleration

- Deceleration เป็นขั้นตอนการเดินที่ขาข้างที่ถูกเหวี่ยงไปข้างหน้าจากแรงกล้ามเนื้อที่กล่าวมาถูกชะลอให้ช้าลง เพื่อเข้าสู่ Stance phase อีกครั้ง

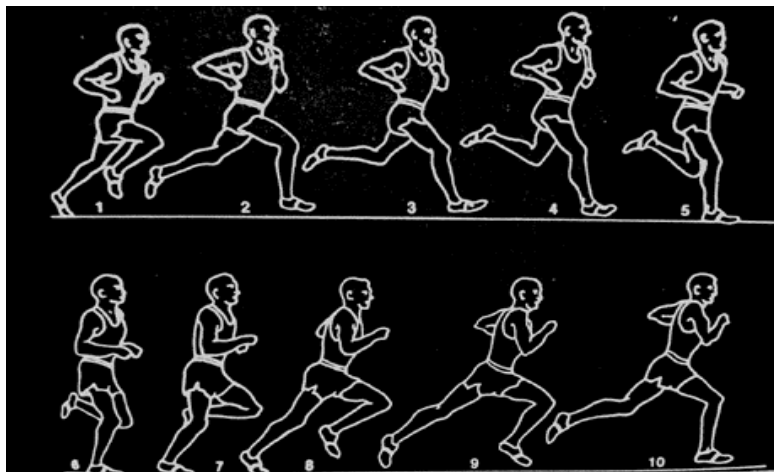


รูปที่ 2.1 วงจรการเดินของมนุษย์ (<http://www.physio-pedia.com/gait>)

จากรูปที่ 2.1 แสดงวงจรการเดินของมนุษย์โดยการก้าวเท้าขวาแล้วใช้เท้าซ้ายยันพื้นรับน้ำหนัก ตัว (Stance phase) โดยเท้าซ้ายทำหน้าที่ดันลำตัวให้ไปด้านหน้าและในขณะที่ลำตัวเคลื่อนที่ไปด้านหน้านั้นเท้าซ้ายที่ลอยอยู่ก็จะมาแตะพื้นเพื่อรับน้ำหนักแทน ส่วนเท้าขวาจะทำหน้าที่ดันลำตัวแทนเท้าซ้ายเมื่อก่อนหน้านั้น ซึ่ง ณ ขณะนี้เท้าขวาจะลอยจากพื้น (Swing phase) และจะวนกลับไปทำหน้าที่รับน้ำหนักเหมือนเดิมเมื่อลำตัวเคลื่อนที่ไปด้านหน้า

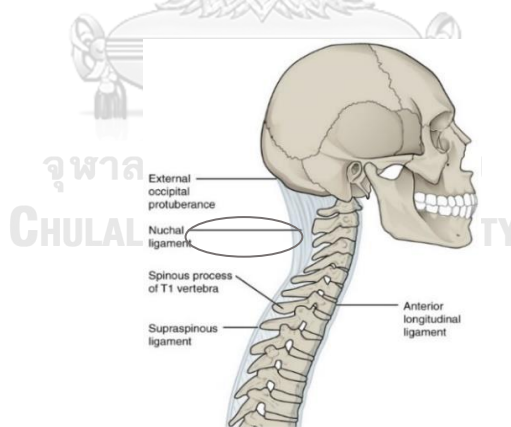
ทั้งนี้การวิ่งจะทำให้การรักษาสมดุลร่างกายมีความเสถียรกว่าการเดิน ทุกครั้งที่เท้าข้างใดข้างหนึ่งแตะที่พื้นร่างกายจะมีแรงส่งจากขาอีกข้างหนึ่งทำให้ลำตัวจะเอนไปข้างหน้า การรักษาสมดุลของร่างกายขณะวิ่งเริ่มจาก ขาทำหน้าที่เหวี่ยงลำตัวให้เอนไปทางด้านซ้ายและขวา ในขณะที่ไหล่และแขนจะทำหน้าที่เหวี่ยงลำตัวไปในทิศทางตรงกันข้ามเพื่อให้เกิดการรักษาสมดุลในทิศกลับกัน (Counter Balance) อีกทั้งเอวที่มีลักษณะแคบและยาวจะทำให้

ให้สามารถบิดลำตัวได้ในขณะวิ่ง ซึ่งทำหน้าที่ลดผลกระทบที่เกิดจากแรงจากขาที่ทำให้เกิดการเสียสมดุลการทรงตัว ดังรูปที่ 2.2 (3)



รูปที่ 2.2 การสร้างสมดุลในทิศกลับกันขณะวิ่ง (www.doctor.or.th, 2015)

ในขณะที่ศีรษะของมนุษย์จะมีเส้นเอ็นที่อยู่หลังคอ (Nuchal Ligament) ทำหน้าที่จำกัดการเคลื่อนไหวที่เกิดจากกล้ามเนื้อของลำตัว ซึ่งน้ำหนักของแขนจะเชื่อมต่อกับกึ่งกลางของเอ็นเส้นนี้ ทำหน้าที่ดึงรั้งศีรษะไว้ในขณะวิ่ง เพื่อไม่ให้ศีรษะเคลื่อนที่ไปด้านหน้าตามลำตัว (องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย, 2556)



รูปที่ 2.3 เส้นเอ็น Nuchal Ligament (<http://oerpub.github.io>, 2010)

ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเป้าหมายหลักของการเดินและวิ่งคือการรักษาสมดุลของร่างกายโดยให้แกนของลำตัวอยู่หนึ่งแต่การเดินและวิ่งทำให้ร่างกายท่อนบนและท่อนล่างทำงานแยกกัน ซึ่งในขณะที่ร่างกายท่อนล่างบิดไปด้านใดด้านหนึ่ง ร่างกายท่อนบนก็จะต้องบิดไปในทิศทางสวนกลับเพื่อให้เกิดความสมดุลทำให้ไม่เกิดการล้มและสามารถควบคุมทิศทางการมองเห็นได้

2.1.2 การทรงตัว และการควบคุมการทรงตัว

ความหมายของการทรงตัวถูกให้นิยามในหลายรูปแบบ ซึ่งโดยรวมหมายถึงความสามารถในการรักษาสภาพเพื่อต้านแรงโน้มถ่วงของโลก ควบคุม และรักษาจุดศูนย์กลางมวลหรือจุดศูนย์กลางของร่างกายให้อยู่ในบริเวณฐานรับน้ำหนักร่างกาย ในขณะยืน นั่ง หรือเคลื่อนไหว โดยมีระบบรับรู้ความรู้สึกที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการทรงตัวอยู่ 3 ระบบคือ 1.ระบบรับรู้การทรงตัวจากหูชั้นใน (Vestibular System) 2.การรับสัมผัสตำแหน่งและอัตราการเคลื่อนไหว (Proprioceptive Senses) 3.ระบบรับรู้ผ่านการมองเห็น (Visual System) การทำงานของกล้ามเนื้อจะต้องอาศัยข้อมูลจากทั้ง 3 ระบบนี้ โดยมีศูนย์กลางการประมวลผลอยู่ที่สมอง ที่ทำหน้าที่ประเมินตำแหน่งของร่างกายและส่งกระแสประสาทจากสมองผ่านไขสันหลัง และประสาทส่วนปลายไปยังกล้ามเนื้อขา และลำตัว ทั้งนี้หากส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบรับรู้ความรู้สึกเกิดความสูญเสีย จะมีการทำงานทดแทนส่วนที่เสียไปให้มากขึ้นเพื่อให้สามารถทรงตัวได้ ดังนั้นความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจะส่งผลต่อการทรงตัวเช่นกัน หากกล้ามเนื้อไม่แข็งแรงพอที่จะสามารถรองรับน้ำหนักและส่วนต่างๆ ของร่างกาย รวมถึงการตอบสนองต่อแรงกระทำภายนอกของร่างกาย เช่น แรงผลัก แรงชน การทรงตัวก็จะล้มเหลว (ชูศักดิ์ เวชแพศย์, 2540)

1. การรับรู้การทรงตัวจากหูชั้นใน (Vestibular System)

มีอวัยวะการทรงตัว ประกอบด้วยหลอดครึ่งวงกลม (Semicircular Canal) 3 คู่ ได้แก่ ซุปรีเรีย (Superior) โปสทีเรีย (Posterior) และ เลทเทอรัล (Lateral) ซึ่งตั้งฉากกันใน 3 ระนาบ ทำหน้าที่รับรู้การเคลื่อนไหวของศีรษะ แต่จะไม่สามารถตรวจวัดร่างกายที่เสียสมดุลไปเมื่อเอนไปด้านข้าง ข้างหน้า หรือหลังได้ แต่ทำหน้าที่ได้เมื่อศีรษะเริ่มหมุนหรือหยุดหมุนเท่านั้น ดังนั้นจึงไม่เกี่ยวกับการรักษาสมดุลขณะอยู่กับที่ (Static Equilibrium) หรือช่วยรักษาสมดุลเมื่อมีความเร่งตามแนวตรง, ถูกรบกวนในหูชั้นใน (Utricle) ทำหน้าที่รักษาสมดุลของร่างกายเมื่อมีการเคลื่อนไหวเชิงเส้น เช่น การเคลื่อนไหวตามแนวราบ และแนวตั้ง และส่วนตุ่มเล็กๆ ภายในหูชั้นใน (Saccule) อวัยวะรับรู้ความรู้สึกในการทรงตัวที่มีลักษณะคล้ายก้อนกรวดเล็กๆ ทำหน้าที่เทียบตำแหน่งของศีรษะกับแรงโน้มถ่วงโลก

2. การรับสัมผัสตำแหน่งและอัตราการเคลื่อนไหว (Proprioceptive Senses)

การรับสัมผัสตำแหน่งและอัตราการเคลื่อนไหวเป็นการรับสัมผัสตำแหน่งและอัตราการเคลื่อนไหวของร่างกาย ซึ่งจะสามารถทราบตำแหน่งของร่างกายเมื่อข้อต่อมีการเคลื่อนไหวจากแรงภายนอกหรือการหดตัวของกล้ามเนื้อ ซึ่งความสามารถนี้เรียกว่า โพรปริโอเซปชัน (Proprioception) โดยมีตัวรับข้อมูลเหล่านี้เรียกว่า โพรปริโอเซปเตอร์ (Proprioceptors) ซึ่งอยู่ภายในกล้ามเนื้อ เอ็น และแคปซูลของข้อต่อ ซึ่งจะปล่อยพลังประสาทที่เปลี่ยนแปลงไปได้สัดส่วนกับตำแหน่งของข้อต่อในขณะพัก และได้สัดส่วนกับความเร็วการเคลื่อนไหว

3. ระบบรับรู้ผ่านการมองเห็น (Visual System)

ระบบรับรู้ผ่านการมองเห็นเป็นระบบที่สำคัญสำหรับการรับรู้ตำแหน่งและการทรงตัวของร่างกายโดยจะรับรู้ตำแหน่งและการเคลื่อนไหวของร่างกายผ่านภาพที่มองเห็น โดยเปรียบเทียบกันในแต่ละตำแหน่งของร่างกายเองกับสภาพแวดล้อมรอบตัว

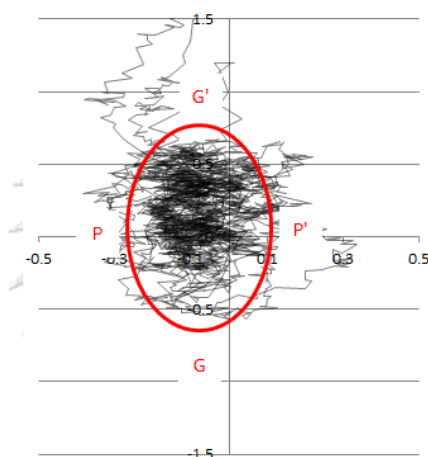
การควบคุมการทรงตัวเป็นกระบวนการของร่างกายเพื่อควบคุม และรักษาจุดศูนย์กลางมวลหรือจุดศูนย์กลางของร่างกายให้อยู่ภายในเขตจำกัดฐานรับน้ำหนักร่างกาย (Base of Support : BOS) ทั้งขณะเคลื่อนที่ หรืออยู่นิ่ง ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ 1.การทรงตัวในท่านิ่ง หรือการทรงตัวแบบอยู่กับที่ (Static Balance) 2.การทรงตัวในท่าเคลื่อนที่ หรือการทรงตัวแบบเคลื่อนที่ (Dynamic Balance) ความสามารถในการคงสภาพร่างกายจุดศูนย์กลางอยู่ภายในเขตจำกัดฐานรับน้ำหนักร่างกายมี 2 ปัจจัย คือ พื้นฐานยิ่งมาก ระดับความคงที่ก็จะมากตาม และเมื่อใกล้จุดศูนย์กลางของร่างกายที่ตำแหน่งกลางฐาน จะยิ่งมีความคงที่มากขึ้น อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัย อื่นที่ส่งผลกระทบต่อระบบควบคุมสมดุลร่างกาย เช่น การมองเห็น การรู้สึก ความคิด อាកการเจ็บป่วย ยา และอายุ

กล้ามเนื้อที่ช่วยควบคุมจุดศูนย์กลางของร่างกาย ได้แก่ กล้ามเนื้อหลัง กล้ามเนื้อท้อง กล้ามเนื้อต้นขา กล้ามเนื้อน่อง และกล้ามเนื้อหน้าแข้งเป็นกล้ามเนื้อหลักที่ทำหน้าที่ประสานกันในการรักษาท่าทาง และควบคุมจุดศูนย์กลางให้อยู่ภายในฐานรับน้ำหนักร่างกาย เพื่อไม่ให้เกิดการล้มเมื่อเคลื่อนที่ (สมนึก กุลสถิตพร, 2549)

กล้ามเนื้อท้อง กล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง และกล้ามเนื้อยึดกระดูกสันหลัง เรียกรวมว่า กล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวเป็นกล้ามเนื้อที่มีความสำคัญอย่างมากสำหรับรักษาสมดุลของร่างกาย ทำให้ร่างกายมีความมั่นคงโดยเฉพาะส่วนกระดูกสันหลัง ช่วงลำตัว กระดูกเชิงกราน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการทรงตัวและรักษาระบบโครงสร้างของมนุษย์ และยังเป็นกล้ามเนื้อที่ช่วยถ่ายพลังงานไปยังกล้ามเนื้อแขนและขา

2.1.3 การหาค่าพื้นที่สนับสนุนการทรงตัว (Support Surface: SS) เพื่อตรวจวัดการแกว่ง (Swaying) ของร่างกาย

วิธีหนึ่งที่จะตรวจสอบการแกว่งของร่างกายได้นั้นคือการหาค่าพื้นที่สนับสนุนการทรงตัวหรือที่เรียกว่า Support Surface (SS) ซึ่ง SS หมายถึงพื้นที่วงรีที่เป็นกรอบครอบคลุม 90% ของตำแหน่งจุดศูนย์กลางความดันที่ได้จากการทดลองด้วยวิธีการทดสอบสมรรถภาพการทรงตัวแบบ Romberg ดังรูปที่ 2.4 หากค่า SS มีค่ามากนั้นหมายถึงการพบว่าร่างกายมีการแกว่งมาก (วีรเกียรติ พันธุมะโอภาส, 2558)



รูปที่ 2.4 พื้นที่วงรีเป็นกรอบครอบคลุมของ Support Surface (Gagey อ้างโดย วีรเกียรติ, 2558)

การคำนวณค่า SS ตามวิธีของ Gagey ดังนี้

จากรูปที่ 2.4 ระยะ GG' และ PP' คือ

$$GG' = \sqrt{4.6V_x} \quad \dots (1)$$

$$PP' = \sqrt{4.6V_y} \quad \dots (2)$$

โดยที่ V_x คือ ความแปรปรวนของข้อมูล (Variance) ตามแนวแกน X

V_y คือ ความแปรปรวนของข้อมูล (Variance) ตามแนวแกน Y

พื้นที่ของ SS สามารถคำนวณได้ดังสมการ 3

$$SS = \pi \times GG' \times PP' \quad \dots (3)$$

2.1.4 จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์กลาง

จุดศูนย์กลางมวล (Center of mass: C.M.) เป็นจุดที่เสมือนเป็นที่รวมมวลของวัตถุทั้งก้อนนั้น ซึ่งอาจอยู่นอกเนื้อวัตถุนั้นได้ หากมีแรงมากระทำผ่านจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุนั้นจะไม่เกิดการเคลื่อนที่แบบหมุน

ศูนย์กลางของความโน้มถ่วง (Center of gravity: C.G.) หรือที่นิยมเรียกสั้นๆว่าจุดศูนย์กลาง นั้น จะเป็นจุดที่แรงลัพธ์ของแรงดึงดูดของโลกต่อส่วนต่างๆ ของวัตถุกระทำ ซึ่งในสถานการณ์ธรรมดาที่สนามโน้มถ่วงมีค่าสม่ำเสมอทั่วปริมาตรของวัตถุ จุดศูนย์กลางมวลกับศูนย์กลางจะเป็นจุดเดียวกัน

การคำนวณหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางหรือจุดศูนย์กลางมวลของมนุษย์สามารถคำนวณได้จากหลายวิธี โดยในปัจจุบันมี 3 วิธีหลัก ซึ่งทุกวิธีจะใช้หลักการของสมดุลโมเมนต์ ซึ่งหมายถึงผลรวมของวัตถุรอบจุดหมุนใดๆ มีค่าเท่ากับศูนย์ (อานัต หัตถา, 2534)

1. การศึกษาโดยใช้วิธีการของแมนนิกิน (Manikin Method) เป็นการใช้หลักการแขวนหรือถ่วงดุลบนลิ้ม

2. การศึกษาด้วยกระดานปฏิกิริยา (Reaction Board Method) เป็นการใช้หลักการกระทำของแรงรอบจุดหมุนใดๆ โดยให้มนุษย์นอนอยู่บนกระดานและมีตาชั่งน้ำหนัก 2 ตัวที่อยู่ในตำแหน่งหัวและท้ายโดยจะสามารถคำนวณตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลได้จากหลักการของสมดุลโมเมนต์ ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและได้รับความนิยมนมากที่สุดวิธีการใช้ไม้กระดานและเครื่องชั่งขนาดเล็ก 2 เครื่องเพื่อหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลโดยใช้สมการของโมเมนต์ (กิตติ อินทรานนท์, 2559)

$$m_1(L) - m_m(Y_2) - m_b(d) = 0$$

$$Y_2 = [m_1(L) - m_b(d)] / m_m \quad \dots (4)$$

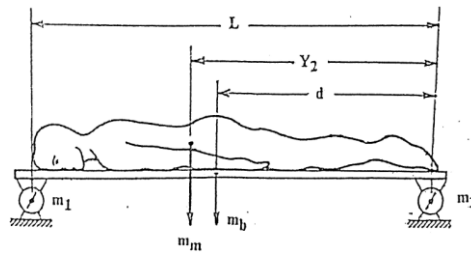
เมื่อ $m_m = m_1 + m_2 - m_b$

m_m คือ มวลของร่างกาย

m_1 คือ มวลที่อ่านได้จากเครื่องชั่งทางซ้ายมือ

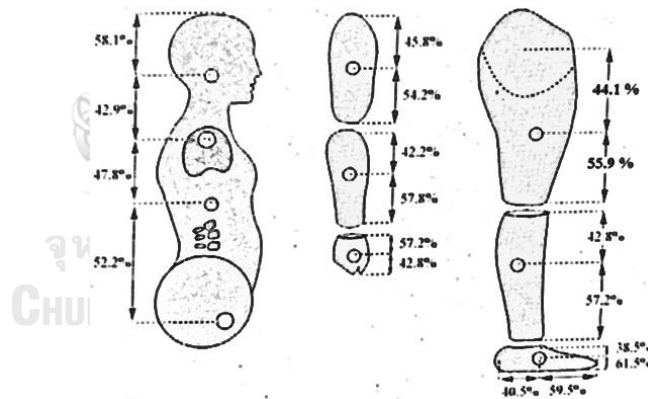
m_2 คือ มวลที่อ่านได้จากเครื่องชั่งทางขวามือ

m_b คือ มวลไม้กระดาน



รูปที่ 2.5 การหาจุดศูนย์กลางมวลโดยใช้เครื่องชั่ง (กิตติ, 2559)

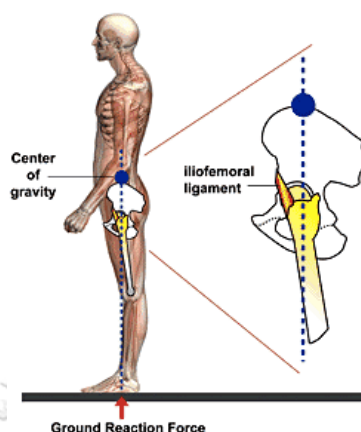
3. การศึกษาโดยวิธีแยกส่วน (Segmental Method) เป็นการนำหลักการผลบวกของโมเมนต์ย่อยตามแนวแกน x และ y ของวัตถุใดๆ มีค่าเท่ากับโมเมนต์รวมของวัตถุนั้นๆ ในการศึกษาจุดศูนย์กลางถ่วงของคนจะถือว่าระยะยาค์ เช่น แขน ขา ลำตัว ศีรษะ มือ เท้า เป็นคานย่อยและแต่ละคานจะมาประกอบเป็นคานหลัก ซึ่งจะแบ่งการหาจุดศูนย์กลางถ่วงของร่างกายในแต่ละส่วนและนำมารวมกันเป็นจุดศูนย์กลางถ่วงของร่างกายการกำหนดตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลของส่วนต่างๆ มักจะระบุเป็นเปอร์เซ็นต์ของความยาวส่วนนั้นๆ ดังรูปที่ 2.6 จะเป็นการระบุระยะของจุดศูนย์กลางมวลของสัดส่วนร่างกาย



รูปที่ 2.6 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลส่วนต่างๆ ของร่างกายของความยาวส่วนนั้นๆ ของชายไทย (กิตติ, 2559)

ทั้งนี้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลจะเปลี่ยนไปตามเวลาตามการเคลื่อนที่ และตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของแต่ละบุคคลจะมีความแตกต่างกัน จุดศูนย์กลางถ่วงของเพศชายจะอยู่ประมาณร้อยละ 56.18 และจุดศูนย์กลางถ่วงของเพศหญิงจะอยู่ประมาณร้อยละ 55.44 จากความสูงของร่างกาย เนื่องจากเพศหญิงจะมีสะโพกและขาที่หนักกว่า และขาของเพศหญิงสั้นกว่า (อานันต์ หัตถา, 2534) ในทำนองตรงจุดศูนย์กลางถ่วงของเพศชายจะสูงประมาณร้อยละ 57 และจุดศูนย์กลางถ่วงของเพศหญิงจะสูงประมาณร้อยละ 55 จากความสูงของร่างกายในขณะที่ระดับจุดศูนย์กลางถ่วงของร่างกายนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายในกรุงเทพมหานคร พบว่า

ค่าเฉลี่ยระดับจุดศูนย์ถ่วงร่างกายของนักเรียนชายสูงร้อยละ 55.90 และนักเรียนหญิงร้อยละ 54.59 จากความสูงของร่างกาย (สุคนธ์ แสงสุข, 2533)



รูปที่ 2.7 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลโดยประมาณ

2.1.5 การคำนวณภาระงานที่กระทำบนกระดูกสันหลังส่วนล่าง

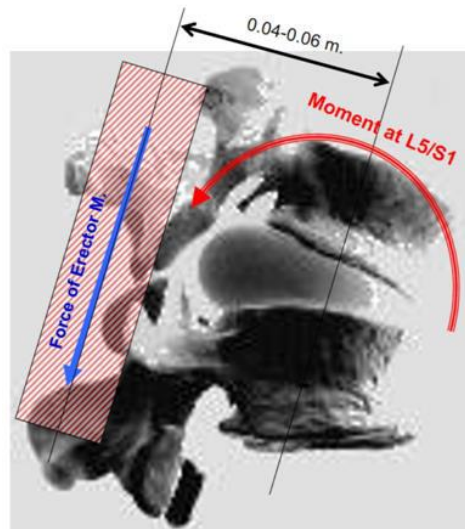
ธรรมชาติของมนุษย์จะมีการรักษาสมดุลของร่างกาย โดยจะรักษาจุดศูนย์กลางมวลหรือจุดศูนย์ถ่วงของร่างกายให้อยู่ในบริเวณฐานรับน้ำหนักร่างกาย ทั้งนี้หากมีภาระงานอยู่บนแผ่นหลังก็จะทำให้มนุษย์เอียงลำตัวไปด้านหน้าหรือด้านหลังเพื่อรักษาสมดุลดังกล่าว

การทำงานในลักษณะนี้จะส่งผลต่อข้อต่อของกระดูกสันหลังตามหลักของการส่งผ่านโมเมนต์ ซึ่งแรงที่มากกระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างประกอบไปด้วย

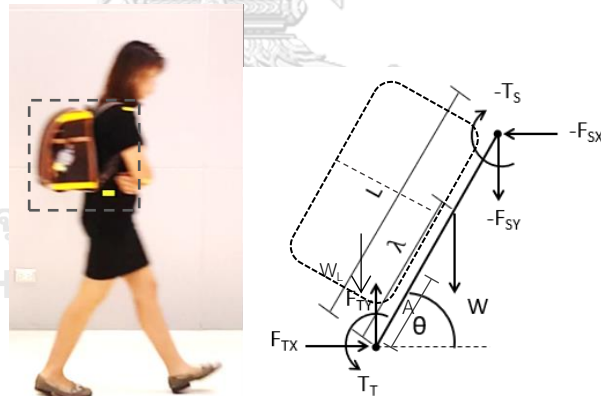
- แรงที่เกิดจากน้ำหนักตัวที่อยู่เหนือกระดูกสันหลังส่วนล่าง
- แรงที่เกิดจากน้ำหนักวัตถุขณะทำการขนย้าย
- แรงที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อเอ็กซ์เทนเซอร์อีเรคเตอร์ สไปแน

(Extensor Erector Spinae) ซึ่งทำหน้าที่ในการเหยียดหลังให้ตรงเพื่อให้ร่างกายทรงตัวได้ โดยจะอยู่ห่างจากกระดูกสันหลังประมาณ 0.04-0.06 เมตร

ลักษณะของกระดูกสันหลังนั้นประกอบด้วยกระดูกหลายชิ้นแนบกับกล้ามเนื้อหลัง ซึ่งศูนย์กลางของกระดูกสันหลังคือเส้นประสาทที่ส่งมาจากสมองผ่านไขสันหลังนอกจากนั้นกระดูกสันหลังยังประกอบไปด้วยเนื้อเยื่ออ่อน และมีหมอนรองแทรกอยู่ระหว่างกระดูกแต่ละชิ้น ช่วยเป็นเหมือนข้อต่อที่ช่วยในการเคลื่อนไหวของกระดูกสันหลัง โดยส่วนที่รับแรงมากที่สุดจะอยู่บริเวณ 2 ข้อต่อล่างสุดระหว่างกระดูกลัมบาร์ชั้นที่ 5 และกระดูกซาครัลชั้นที่ 1 ซึ่งจะเรียกว่า L5/S1 (วริษา ศิลาวงศ์, 2559) โดยมีรายละเอียดดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การเกิดแรงดึงจากกล้ามเนื้อ และโมเมนต์ที่หมอนรองกระดูก L5/S1 สำหรับการแบกภาระงานไว้บนหลังสามารถแสดงแผนภาพผังอิสระในสภาวะสถิตย์ของร่างกายที่มีโมเมนต์และแรงที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างดังรูปที่ 2.9 และสามารถคำนวณผลรวมโมเมนต์และแรงกอดที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างได้ตามข้อที่ 2.1.5.1 และ 2.1.5.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการโน้มตัวไปข้างหน้าที่มากขึ้นจะทำให้เกิดโมเมนต์จากกล้ามเนื้อเอ็กซ์เทนเซอร์อีเรคเตอร์ สไปแน่มากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 2.9 แผนภาพผังอิสระในสภาวะสถิตย์ที่มีแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง

2.1.5.1 การคำนวณผลรวมโมเมนต์ที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง

$$\Sigma T = T_T - T_S - ((\lambda \cos\theta) * W) - ((A \cos\theta) * W_L) - ((L \cos\theta) * F_{sy}) - ((L \sin\theta) * F_{sx}) = 0 \dots (5)$$

โดยที่

W = มวลของส่วน (Segment) ที่คำนวณและมวลของวัตถุ

- λ = ระยะจากข้อต่อที่ใกล้ที่สุด (Proximal) ถึงจุดศูนย์กลางมวล
 L = ความยาวของ Segment ที่คำนวณ
 A = ความยาวจากข้อต่อที่ใกล้ที่สุด (Proximal) จนถึงจุดศูนย์กลางมวลของกระดูก
 θ = องศาของ Segment กับแนวระนาบ
 T_S = โมเมนต์ที่กระทำต่อข้อต่อที่ใกล้จุดศูนย์กลางมวล (Proximal)
 T_T = โมเมนต์ที่กระทำต่อข้อต่อที่ไกลจากจุดศูนย์กลางมวล (Distal)
 F_{sx} = แรงปฏิกิริยาต่อข้อต่อใกล้จุดศูนย์กลางมวล (Proximal) ในแนวระนาบ
 F_{sy} = แรงปฏิกิริยาต่อข้อต่อใกล้จุดศูนย์กลางมวล (Proximal) ในแนวตั้ง

2.1.5.2 การคำนวณแรงกดอัดหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง

$$F_c = F_{mc} + F_{txc} + F_{tyc} \quad \dots(6)$$

เมื่อ

$$F_{mc} = \frac{T_s}{d}$$

$$F_{txc} = F_{cx} \cos \theta$$

$$F_{tyc} = (W_1 + W_2 + W_{\dots}) \cos \theta$$

$$F_{cx} = F_{sx}$$

$$F_{cy} = W_n + F_{sy}$$

โดยที่

- F_c = แรงกดอัดรวมที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง
 F_{mc} = แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง ที่เกิดจากแรงดึงกล้ามเนื้อหลัง
 F_{txc} = แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างแนวระนาบ
 F_{tyc} = แรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างแนวตั้ง
 T_s = โมเมนต์ที่กระทำต่อข้อต่อที่ใกล้จุดศูนย์กลางมวล (Proximal)
 d = ระยะจากจุดศูนย์กลางกล้ามเนื้อหลังถึงจุดศูนย์กลางของ L5/S1
 W_n = น้ำหนักของมวลในแต่ละ Segment ที่กระทำต่อข้อต่อที่คำนวณและมวลของวัตถุ
 F_{cx} = แรงปฏิกิริยาภายนอกในแนวระนาบที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง
 F_{cy} = แรงปฏิกิริยาภายนอกในแนวตั้งที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่าง

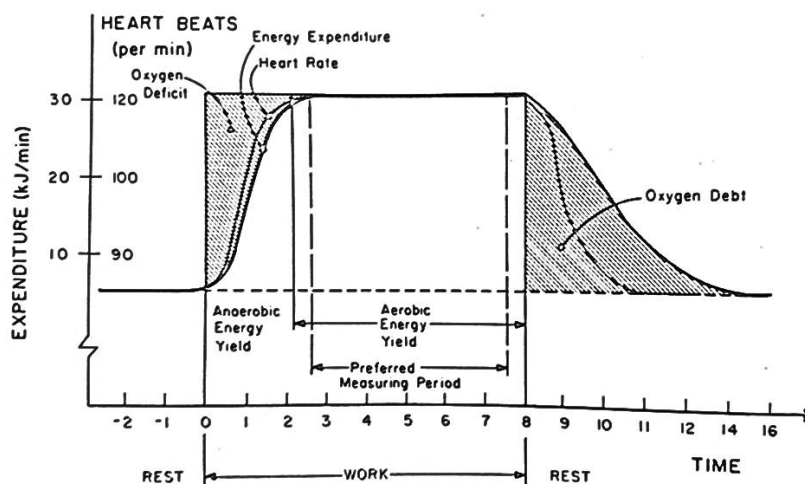
2.2 อัตราการเต้นของหัวใจและการใช้พลังงาน

การใช้พลังงานนั้นมีความสัมพันธ์กับการใช้ออกซิเจน ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับกลไกการหายใจเพื่อแลกเปลี่ยนก๊าซและยังสัมพันธ์กับระบบไหลเวียนเลือด ดังนั้นการใช้พลังงานจึงมีความแปรผันกับ

อัตราการเต้นของหัวใจ เนื่องจากหัวใจทำหน้าที่ในการสูบฉีดเลือดให้ไหลเวียนไปทั่วร่างกายเพื่อให้มีการแลกเปลี่ยนออกซิเจนที่เซลล์เนื้อเยื่อและที่ถุงลมในปอด โดยชีพจรหัวใจสามารถเป็นตัววัดปริมาณของการฉีดเลือดออกจากหัวใจครั้งหนึ่งหรือเป็นอัตราส่วนปริมาณของออกซิเจนที่ใช้ไปต่อการเต้นของหัวใจ 1 ครั้ง (กิตติ อินทรานนท์, 2559)

2.2.1 กระบวนการสร้างพลังงาน

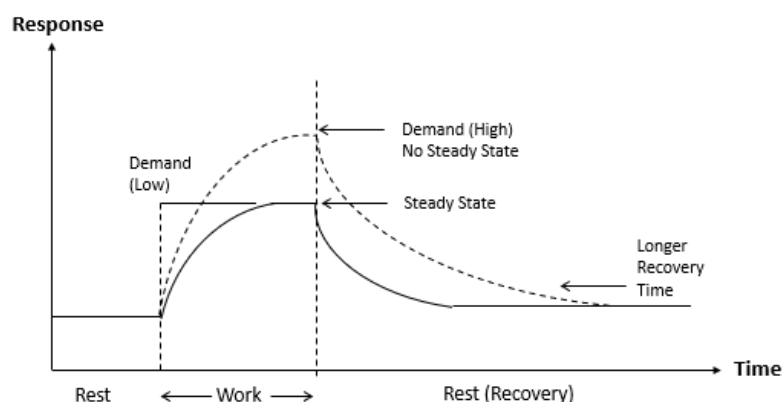
แหล่งพลังงานของร่างกายมาจากสารอาหาร ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ในคนปกติจะได้รับสารอาหารจากการรับประทานอาหารโดยจะถูกย่อยและดูดซึมในระบบทางเดินอาหารสารอาหารจะเข้าสู่กระแสเลือดไปยังกระบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการจะได้เป็นสารพลังงานสูงเรียกว่า Adenosine Triphosphate (ATP) เพื่อเก็บไว้เป็นแหล่งพลังงานของกล้ามเนื้อในการประกอบกิจกรรมต่างๆ กล่าวคือ เป็นปฏิกิริยาเคมีที่เปลี่ยนแปลงอาหารและออกซิเจนให้กลายเป็นความสามารถในการทำงานได้ทั้งภายในและภายนอก และความร้อน (ชยกร พาลสิงห์ & ดวงไกร ทวีสุข, 2555) พลังงานที่กล้ามเนื้อจะใช้โดยการย่อยสลายของสารอาหารมีที่มาจากอยู่ 2 ทางคือ การใช้ออกซิเจน (Aerobic Process) และการไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Process) เมื่อผู้ปฏิบัติงานทำงานปกติและสามารถทำได้ต่อเนื่องในลักษณะนี้ทั้งวัน แสดงว่าออกซิเจนที่เข้าไปผ่านปอดมีเพียงพอที่จะสร้างพลังงาน ซึ่งส่วนใหญ่การทำงานจะอยู่ในลักษณะนี้ แต่เมื่อใดก็ตามที่ระดับการทำงานมีมากขึ้น ต้องใช้ความพยายามมากขึ้น ออกซิเจนที่เข้าไปในร่างกายเริ่มไม่เพียงพอที่จะกำจัดกรดแลคติกที่สะสมในเลือด ซึ่งจะนำไปสู่ความล้า สภาวะนี้เลือดและกล้ามเนื้อจะขาดออกซิเจน เรียกสภาวะนี้ว่า การขาดออกซิเจน (Oxygen Deficit) ร่างกายต้องการการพักให้หายเหนื่อย เพื่อให้เวลาแก่ออกซิเจนกำจัดกรดแลคติกออกจากระบบ เรียกว่า การเป็นหนี้ออกซิเจน (Oxygen Debt)



รูปที่ 2.10 ระดับการใช้พลังงานและการใช้ออกซิเจนในระหว่างการทำงาน (กิตติ, 2559)

การสร้างพลังงานขณะพักคือการสร้างอัตราการสร้างพลังงานที่เกิดขึ้นในร่างกาย (Basal Metabolic Rate, BRM) ภายหลังจากบุคคลนั้นอดอาหาร 12 ชั่วโมงและพักอีก 8 ชั่วโมง หรือเป็นระดับการใช้พลังงาน (Energy Expenditure) หรือปริมาณการใช้ออกซิเจน (Oxygen Consumption) เพื่อให้คนมีชีวิตอยู่โดยไม่ต้องทำงานออกแรง มีค่าประมาณ 1 ใน 5 ถึง 1 ใน 3 ของจำนวนลิตรของออกซิเจนที่ใช้ต่อนาที หรือประมาณเท่ากับการใช้พลังงาน 1.5 kcal/นาที (กิตติ อินทรานนท์, 2559)

จากรูปที่ 2.10 แสดงถึงการใช้พลังงานระหว่างการทำงานโดยเริ่มต้นขณะพัก และจะเริ่มเข้าสู่สภาวะขณะพักอีกครั้งหนึ่งหลังจากเลิกงานและร่างกายฟื้นตัวไปแล้วเวลาหนึ่ง ซึ่งขณะเริ่มทำงานร่างกายไม่สามารถส่งผ่านออกซิเจนได้ทันที ดังนั้นจึงสร้างพลังงานโดยกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน เรียกช่วงนี้ว่าช่วงขาดออกซิเจน (Oxygen Deficit) หลังจากนั้นร่างกายจะสามารถนำออกซิเจนไปสู่เนื้อเยื่อเพื่อสร้างพลังงานได้จนถึงระยะคงตัว (Steady State) เมื่อหยุดทำงานแล้วปริมาณการใช้ออกซิเจนจะไม่ลดลงไปสู่สภาวะขณะพักโดยทันที แต่จะค่อยๆ ลดลง อันเป็นระยะฟื้นตัว เรียกว่าเป็นหนี้ออกซิเจน (Oxygen Debt) หากความหนักเบาของงานเปลี่ยนไป กราฟการใช้พลังงานก็จะเปลี่ยนไปด้วย โดยเมื่องานหนักความชันของกราฟจะเพิ่มสูงในช่วงขาดออกซิเจน และจะมีระยะคงตัวในระดับที่สูงขึ้นด้วย ทั้งนี้เมื่องานหนักขึ้นไปอีกระยะคงตัวอาจจะมีไม่ได้แต่กราฟจะมีความชันไม่ราบและไม่ขนานแกนนอนต่อไปเพราะการใช้พลังงานจะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับสูงสุดเรียกว่าค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2 Max) ซึ่งระดับสูงสุดนี้ขึ้นอยู่กับสภาพร่างกายของแต่ละคน ทั้งนี้การใช้ออกซิเจนก็จะ เป็นไปในทางเดียวกันกับอัตราการเต้นของหัวใจ ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงถึงอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (Rest) และเริ่มทำงานจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) และสิ้นสุดการทำงาน เพื่อเข้าสู่ระยะฟื้นฟู (Recovery) ทั้งนี้การทำงานของหัวใจ ขึ้นอยู่กับความหนักเบาของงานที่ทำ โดยงานที่เบากว่าเส้นกราฟของอัตราการเต้นของหัวใจ ขณะเริ่มทำงานจนถึงสภาวะคงตัวจะชันน้อยกว่าการทำงานที่หนัก และจะเข้าสู่สภาวะคงตัวเร็วกว่า อีกทั้งยังสามารถฟื้นฟูได้โดยใช้ระยะเวลาที่สั้นกว่า



รูปที่ 2.11 ระดับอัตราการเต้นของหัวใจในระหว่างการทำงาน (กิตติ, 2559)

2.2.2 ระบบไหลเวียนของเลือดและอัตราการเต้นของหัวใจ

หัวใจทำหน้าที่เหมือนเครื่องสูบลมสูบฉีดเลือดให้ไหลเวียนไปทั่วร่างกายเพื่อให้มีการแลกเปลี่ยนก๊าซที่เซลล์เนื้อเยื่อและที่ถุงลมในปอด หัวใจประกอบด้วย 4 ห้องซึ่ง 2 ห้องบนเรียกว่าห้องต้นหัวใจ (Atria) และ 2 ห้องล่างเรียกว่าห้องปลายหัวใจ (Ventricles) ห้องต้นหัวใจทำหน้าที่ในการกักเก็บปริมาณเลือดก่อนที่จะส่งไปยังห้องปลายหัวใจที่มีแรงดันมากพอจะส่งเลือดออกไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย หัวใจยังสามารถแบ่งออกเป็นซีกซ้ายและซีกขวา ซึ่งแต่ละซีกประกอบด้วยห้องต้นหัวใจและห้องปลายหัวใจอย่างละ 1 ห้อง โดยห้องซ้ายจะรับเลือดที่มีออกซิเจนจากปอด ฉีดไปหล่อเลี้ยงเนื้อเยื่อต่างๆ ทั่วร่างกาย แต่ห้องทางขวาจะทำหน้าที่รับเลือดดำหรือเลือดที่มีของเสีย ส่งไปพอกที่ปอดกับออกซิเจนในลมหายใจเข้าการไหลของเลือดในหลอดเลือดเป็นการไหลแบบปั่นป่วนตามจังหวะการเต้นของชีพจร ซึ่งปกติจะเป็น 60-80 ครั้งต่อนาที (กิตติ อินทรานนท์, 2559)

ชีพจร หรือ อัตราการเต้นของหัวใจ (Pulse หรือ Heart rate) คือการนับจำนวนครั้งของการเต้นของหลอดเลือดแดงในระยะเวลา 1 นาที ทั้งนี้ตำแหน่งที่นิยมวัดหรือจับชีพจร คือ ตำแหน่งด้านหน้าข้อมือส่วนที่ต่ำกว่าฐานของนิ้วหัวแม่มือ โดยการวางนิ้วชี้และนิ้วกลางลงบนตำแหน่งนั้น กดลงเบาๆก็จะรับรู้ได้ถึงการเต้นของหลอดเลือดแดง ทั้งนี้สามารถจับวัดชีพจรได้ในตำแหน่งต่างๆ ที่หลอดเลือดแดงขนาดกลางอยู่ติดกับผิวหนัง จึงสามารถคลำพบได้ง่าย (ปกติหลอดเลือดแดงจะอยู่ลึก คลำพบยาก หลอดเลือดส่วนใหญ่ที่มองเห็นจะเป็นหลอดเลือดดำ) เช่น ที่ขาพับด้านนิ้วหัวแม่มือ ที่ด้านในของขานิ้ว ที่ลำคอส่วนที่ติดกับลูกกระเดือก เป็นต้น ส่วนการประเมินอีกประเภทหนึ่งที่มีความแม่นยำมากขึ้น คือ การประเมินชีพจรแบบใช้เครื่องมือ เช่น หูฟัง, อุปกรณ์วัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitor) หรือเครื่องวัดคลื่นหัวใจไฟฟ้า (Electrocardiogram)

อัตราการเต้นของหัวใจ สามารถแบ่งออกได้ตามช่วงเวลาที่วัดได้ดังนี้ (Glover B., 2007)

1. Resting heart rate (RHR) คืออัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก โดยอัตราการเต้นขณะพักของผู้ชายควรอยู่ประมาณ 60-80 ครั้งต่อนาที ขณะที่ผู้หญิงอยู่ที่ 70-90 ครั้งต่อนาที

2. Maximum heart rate (MHR) คืออัตราการเต้นสูงสุดที่ร่างกายของรับได้ ซึ่งสามารถคำนวณโดยนำอายุหักออกจาก 220

3. Training Heart Rate (THR) คืออัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกาย ซึ่ง American College of Sports Medicine (ACSM) แนะนำว่าระดับต่ำสุดของ THR ควรจะอยู่ที่ 60% ของ MHR

4. Recovery heart rate คืออัตราการเต้นของหัวใจเมื่อทำการ Cool-Down ซึ่งเป็นการค่อยๆลดระดับอัตราการเต้นของหัวใจลงและควรจะลดลงมากระดับที่สูงกว่าอัตราการเต้นของหัวใจก่อนพัก ทั้งนี้หาก recovery heart rate ของลดลงช้าอาจจะหมายความว่าออกกำลังกายหนักเกินไป

ทั้งนี้ชีพจรของแต่ละคนจะไม่เท่ากัน และในคนๆเดียวกันหากวัดชีพจรในช่วงเวลาที่แตกต่างกันก็จะไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น อายุ เพศ น้ำหนักตัว การเคลื่อนไหว อารมณ์ (พวงทอง ไกรพิบูลย์, 2553) วัยรุ่นและผู้ใหญ่อายุมากกว่า 18 ปี มีอัตราการเต้นของหัวใจปกติอยู่ที่ 60-100 ครั้งต่อนาที (bpm) โดยอัตราการเต้นของหัวใจปกติในเพศชายอยู่ที่ 70 ครั้งต่อนาที และในเพศหญิงจะสูงกว่าเล็กน้อย อยู่ที่ 75 ครั้งต่อนาที

ตารางที่ 2.1 อัตราการเต้นของหัวใจในขณะพัก (Resting heart rate) แบ่งตามช่วงอายุเพศชาย (Wood, 2008)

ช่วงอายุ	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	65+
นักกีฬา	49-55	49-54	50-56	50-57	51-56	50-55
ดีมาก	56-61	55-61	57-62	58-63	57-61	56-61
ดี	62-65	62-65	63-66	64-67	62-67	62-65
สูงกว่าค่าเฉลี่ย	66-69	66-70	67-70	68-71	68-71	66-69
ค่าเฉลี่ย	70-73	71-74	71-75	72-76	72-75	70-73
ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย	74-81	75-81	76-82	77-83	76-81	74-79
แย่	82+	82+	83+	84+	82+	80+

ตารางที่ 2.2 อัตราการเต้นของหัวใจในขณะพัก (Resting heart rate) แบ่งตามช่วงอายุเพศหญิง (Wood, 2008)

ช่วงอายุ	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	65+
นักกีฬา	54-60	54-59	54-59	54-60	54-59	54-59

ช่วงอายุ	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	65+
ดีมาก	61-65	60-64	60-64	61-65	60-64	60-64
ดี	66-69	65-68	65-69	66-69	65-68	65-68
สูงกว่าค่าเฉลี่ย	70-73	69-72	70-73	70-73	69-73	69-72
ค่าเฉลี่ย	74-78	73-76	74-78	74-77	74-77	73-76
ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย	79-84	77-82	79-84	78-83	78-83	77-84
แย่	85+	83+	85+	84+	84+	84+

เนื่องจากหัวใจของทำหน้าที่เหมือนปั๊มที่ออกแบบมาเพื่อไหลเวียนเลือดทั่วร่างกาย ซึ่งน้ำหนักตัวส่วนเกินอาจเป็นปัจจัยที่ขัดขวางความสามารถในการสูบฉีดของหัวใจ อัตราการเต้นหัวใจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณความต้องการใช้พลังงานของกล้ามเนื้อ เมื่อความต้องการสูงหัวใจของคุณสูบฉีดหนักขึ้นเพื่อให้ออกซิเจนกับกล้ามเนื้อสำหรับการเผาผลาญ น้ำหนักส่วนเกินในรูปของไขมันทำให้เกิดอัตราการเต้นของหัวใจสูงขึ้นเพราะไปจำกัดการไหลเวียนของโลหิตผ่านหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ และจากการศึกษาโดยแผนกประสาทวิทยาที่โรงพยาบาล Deaconess ในสหรัฐอเมริกาพบว่ามีความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจและดัชนีมวลกาย (Body Mass Index: BMI)

2.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานและอัตราการเต้นของหัวใจ

การใช้พลังงานสามารถคำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจซึ่งจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากภาระงานที่เพิ่มขึ้นปัจจัยภายนอกต่างๆ เช่น น้ำหนักของสัมภาระที่แบก หาม กิจกรรมเปลี่ยนแปลงไป เช่น เดินหรือวิ่ง ลักษณะกระเป่าและการจัดเรียงน้ำหนัก สิ่งเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อการควบคุมร่างกายและการใช้พลังงาน (ไฟโรจน์ ลดาวิจิตรกุล, 2560)

นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยอีกหลายท่านได้คิดค้นสมการประเมินการใช้พลังงานจากอัตราการเต้นของหัวใจ จากสมการทำนายการใช้พลังงานจากอัตราการเต้นของหัวใจ อายุ เพศ และน้ำหนัก ดังนี้ (วริษา ศิลาวงศ์, 2559)

$$\text{Energy expenditure (EE)} = \text{gender} \times (-55.0969 + 0.6309 \times \text{heart rate} + 0.1988 \times \text{weight} + 0.2017 \times \text{age}) + (1 - \text{gender}) \times (-20.4022 + 0.4472 \times \text{HR} - 0.1263 \times \text{weight} + 0.074 \times \text{age}) \quad \dots (7)$$

โดยที่ กำหนดแทนค่าเพศชาย = 1 และแทนค่าเพศหญิง = 0

EE = อัตราการใช้พลังงาน (ต่อนาที) หน่วยคือ กิโลแคลอรี

W = น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)

HR = อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย

และวิธีของ Karvonen-method เป็นการทำนายการใช้พลังงานจากอัตราการเต้นของหัวใจ น้ำหนักและระยะเวลาการออกกำลังกายของเพศชายและเพศหญิง ดังนี้

เพศชาย

$$EE = ((0.2017 * \text{age}) + (0.09036 * (W) + (0.6309 * \text{HR}) - (55.0969)) \times t / 4.184 \quad \dots(8)$$

เพศหญิง

$$EE = ((0.074 * \text{age}) - (0.05741 * (W) + (0.4472 * \text{HR}) - 20.4022) * t / 4.184 \quad \dots(9)$$

โดยที่ EE = อัตราการใช้พลังงาน (กิโลแคลอรีต่อนาที)

W = น้ำหนักตัว (ปอนด์)

HR = อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย (ครั้งต่อนาที)

t = เวลาที่ใช้ในการออกกำลังกาย (นาที)

นอกจากนี้เมื่อนำผลจากเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจเปรียบเทียบกับผลจากเครื่องวัดการใช้พลังงาน (Calorimeter) โดยวัดอัตราการใช้พลังงานต่อวัน (Total daily energy expenditure: TDEE) และอัตราการใช้พลังงานแต่ละกิจกรรม (Energy expended in activity: EAC) โดยให้กลุ่มตัวอย่างติดเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและทำกิจกรรมต่างๆ ในห้องวัดการใช้พลังงาน จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของสมการเชิงถดถอย (Regression analysis) ระหว่างการวัดอัตราการใช้พลังงานต่อวันโดยเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและเครื่องวัดการใช้พลังงานมีค่า คือ

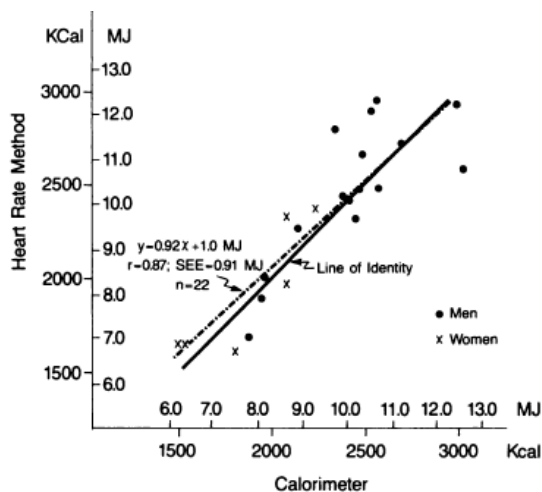
$$Y = 0.92X + 1.0 \text{ MJ}; (r = 0.87, \text{SEE} = 0.91 \text{ MJ}) \quad \dots(10)$$

สำหรับการวัดอัตราการใช้พลังงานแต่ละกิจกรรมมีค่า คือ

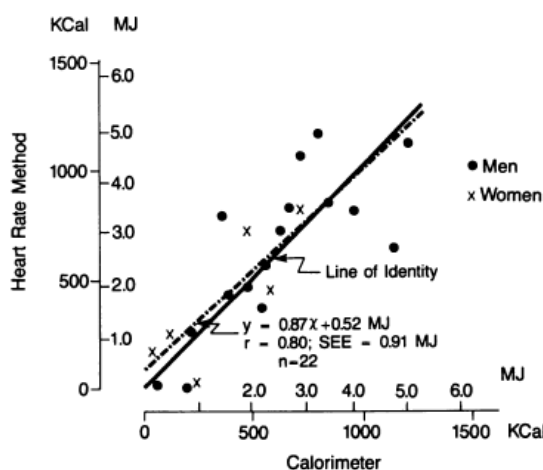
$$Y = 0.87X + 0.52 \text{ MJ}; (r = 0.80, \text{SEE} = 0.91 \text{ MJ}) \quad \dots(11)$$

โดยที่ Y = ผลจากการวัดอัตราการใช้พลังงานต่อวันโดยใช้เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ

X = ผลจากการวัดอัตราการใช้พลังงานต่อวันโดยใช้เครื่องวัดการใช้พลังงาน



รูปที่ 2.12 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสมการเชิงถดถอยระหว่างการวัดอัตราการใช้พลังงานต่อวัน โดยเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและเครื่องวัดการใช้พลังงาน (Spurr et al., 1988)



รูปที่ 2.13 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสมการเชิงถดถอยระหว่างการวัดอัตราการใช้พลังงานแต่ละกิจกรรม โดยเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและเครื่องวัดการใช้พลังงาน (Spurr et al., 1988)

ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการวัดอัตราการใช้พลังงานด้วย 2 วิธีนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจสามารถใช้แทนเครื่องวัดการใช้พลังงานเพื่อประเมินการใช้พลังงานได้ (Spurr G. et al., 1988)

ทั้งนี้ยังมีการวัดอัตราการใช้พลังงานในสภาวะอิสระนอกห้องทดลอง (Free-living energy expenditure) โดยใช้ข้อมูลอัตราการเต้นของหัวใจและการตรวจจับการเคลื่อนไหว (Movement Sensing) ทั้งแบบสอบเทียบรายบุคคลและไม่สอบเทียบรายบุคคลกับวิธี doubly-labelled water (DLW) โดยทดสอบกับผู้ทดลองจำนวน 46 คน เพศชาย 23 คน และเพศหญิง 23 คน น้ำหนัก 48-104 กิโลกรัม มีไขมันในร่างกายร้อยละ 8-46 โดยผู้เข้าร่วม

การทดลองทั้งหมดจะได้รับการตรวจวัดอัตราการใช้พลังงานขณะพัก (Resting energy expenditure) เป็นระยะเวลา 45 นาที ทดสอบโดยใช้ลู่วิ่ง 20 นาที การทดสอบโดยการก้าว 8 นาที และทดสอบโดยการเดิน 3 นาทีสำหรับการสอบเทียบรายบุคคล สำหรับการทดลอง กำหนดให้ผู้เข้าร่วมการทดลองใส่อุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตราการเต้นของหัวใจและการเคลื่อนไหวตลอดเวลาเป็นระยะเวลา 14 วัน และคำนวณอัตราการใช้พลังงานทั้งหมด (Total energy expenditure : TEE) โดยวิธี DLW ซึ่งพบว่าอัตราการเต้นของหัวใจและการตรวจจับการเคลื่อนไหวสามารถใช้ในการประมาณ EE ในผู้ใหญ่ทั้งชายและหญิงยุโรปได้ โดยจะมีความถูกต้องยิ่งขึ้นถ้าใช้ข้อมูลร่วมกันและหากอัตราการเต้นของหัวใจถูกปรับเทียบเป็นรายบุคคล (Brage S. et al., 2015)

2.3 ระบบบันทึกการเคลื่อนไหว

เทคโนโลยี Motion Capture หรือเรียกโดยย่อว่า MoCap เป็นเทคนิคที่ใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนไหวซึ่งมีเซนเซอร์ (Sensor) ติดอยู่กับร่างกายผู้ถูกบันทึกข้อมูล การบันทึกข้อมูลโดยเทคโนโลยีนี้ส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ในการสร้างภาพยนตร์ การ์ตูน 3 มิติ หรือเกม 3 มิติโดยใช้เซนเซอร์ติดตามร่างกายของนักแสดง เพื่ออ่านและแปลค่าการเคลื่อนไหวของนักแสดงเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ ทำให้ตัวละครที่สร้างขึ้นเป็น 3 มิติ สามารถแสดงท่าทางได้อย่างสมจริง

เทคโนโลยี Motion Capture มีการศึกษาและพัฒนามาตั้งแต่ช่วงปี 1970 โดยนำมาใช้ทางการทหาร (Military) และได้ถูกนำมาใช้ทางการแสดงเพื่อความบันเทิง (Entertainment) ตั้งแต่ช่วงปี 1980 (Matzer M., 1997)หลายปีที่ผ่านมาได้มีการพัฒนา Motion Capture หลากหลายประเภทที่มีข้อได้เปรียบแตกต่างกันสามารถสรุปการประยุกต์ใช้ได้เป็น 3 ประเภทหลักด้วยกัน (Coco D., 1997) ดังนี้

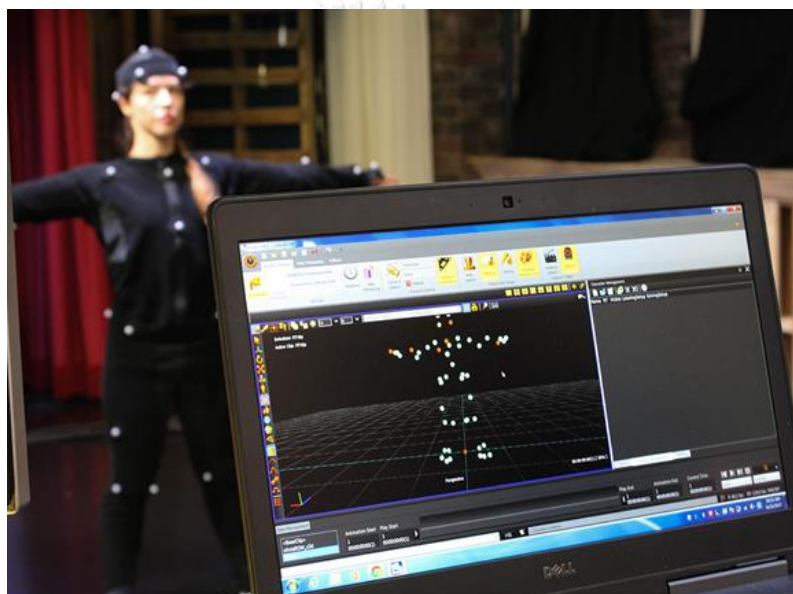
1. ประเภทเชิงกล (Mechanical)
2. ประเภทเชิงแสง (Optical)
3. ประเภทเชิงแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic)

การวิจัยครั้งนี้จะใช้เทคโนโลยี Motion Capture ประเภทเชิงแสงซึ่งผู้ถูกบันทึกการเคลื่อนไหวจะใส่ชุดที่มีจุดสะท้อนแสง (Reflective Dots) หรือมาร์กเกอร์ (Marker) ที่ติดไว้ตามร่างกายของผู้ถูกบันทึกการเคลื่อนไหว โดยมาร์กเกอร์ยังแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ มาร์กเกอร์แบบลูกบอลวาวแสง (Reflective ball or Passive marker) จะปรากฏเป็นจุดแสงจากกล้องอินฟราเรด ทำให้เห็นตำแหน่งของมาร์กเกอร์ อีกประเภทหนึ่งคือมาร์กเกอร์แบบหลอดแอลอีดี (LED or Active marker) ซึ่งสามารถเปล่งแสงออกมาจากหลอดแอลอีดีได้เอง ที่มีกล้องจับภาพอยู่โดยรอบ ซึ่งจุด

สะท้อนแสงจะใช้เพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของผู้ถูกบันทึกการเคลื่อนไหวที่นำมาใช้ในงานด้านดนตรี เช่น การตรวจจับการเคลื่อนไหวของคอนดักเตอร์ (Conductor) และได้พัฒนามาใช้เพื่องานทางการแพทย์ (Biomedical) เช่น การตรวจจับการบาดเจ็บในการกีฬา หรือการวิเคราะห์สมรรถภาพของนักกีฬา

ข้อดี คือ ผู้ถูกบันทึกการเคลื่อนไหวจะสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระเพราะไม่มีการใช้สายมาโยงกับอุปกรณ์ สามารถใช้กับวัตถุขนาดใหญ่หรือวัตถุหลายชิ้นได้ และยังได้ข้อมูลที่มีความละเอียดด้วย

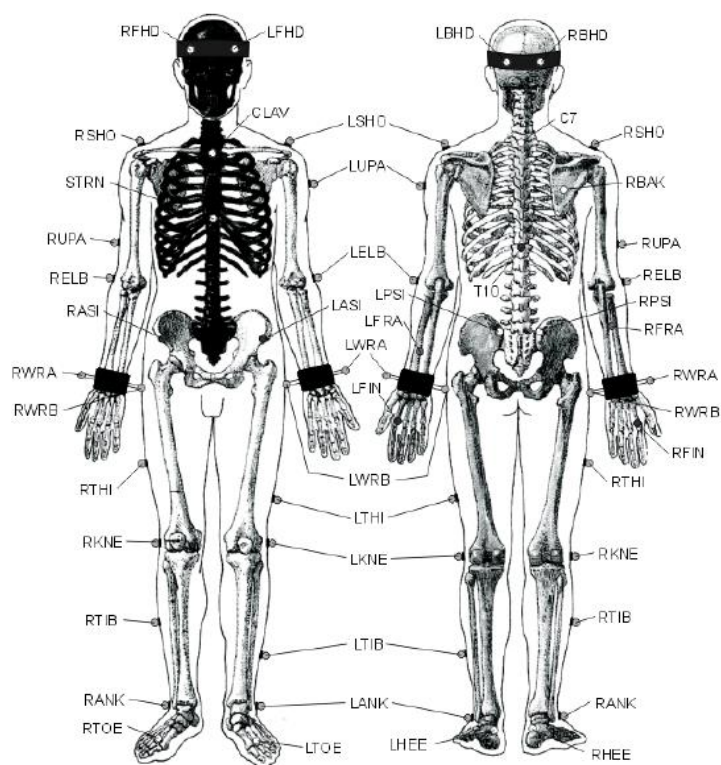
ข้อเสีย คือ อาจเกิดการรบกวนของแสงจากภายนอก จุดสะท้อนแสงอาจจะแตกหักได้ ทำให้สูญเสียข้อมูลบางส่วน ซึ่งสามารถเพิ่มเติมแก้ไขชดเชยข้อมูลได้โดยการประมาณตำแหน่งจุดที่หายไป



รูปที่ 2.14 Optical Motion Capture

มาตรฐานการติด Marker ที่ร่างกายมีการกำหนดไว้จาก The university of Texas โดยให้รายละเอียดตำแหน่งการติด Marker ตามส่วนที่ต้องการวิเคราะห์ แบ่งเป็นส่วนบน และส่วนล่าง สำหรับลำตัวของร่างกายแบ่งเป็น 7th Cervical Vertebrae, 10th Thoracic Vertebrae, Clavicle, Sternum และ Right Back (The university of Texas) ดังรูปที่ 2.14

ทั้งนี้ตำแหน่งของการติด Marker อาจมีการเพิ่มตำแหน่งในการติดมากขึ้นตามเพื่อให้ค่าที่ได้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะการเก็บข้อมูลที่ต้องมีสิ่งของติดอยู่กับลำตัวอาจจะไม่สามารถติด Marker ตามมาตรฐานที่กำหนดได้ ซึ่งจะต้องมีการปรับเปลี่ยนวิธีการตามความเหมาะสมของผู้วิจัย



รูปที่ 2.15 ตำแหน่งมาตรฐานการติด Marker (<http://www.uta.edu/uta/>, 2017)

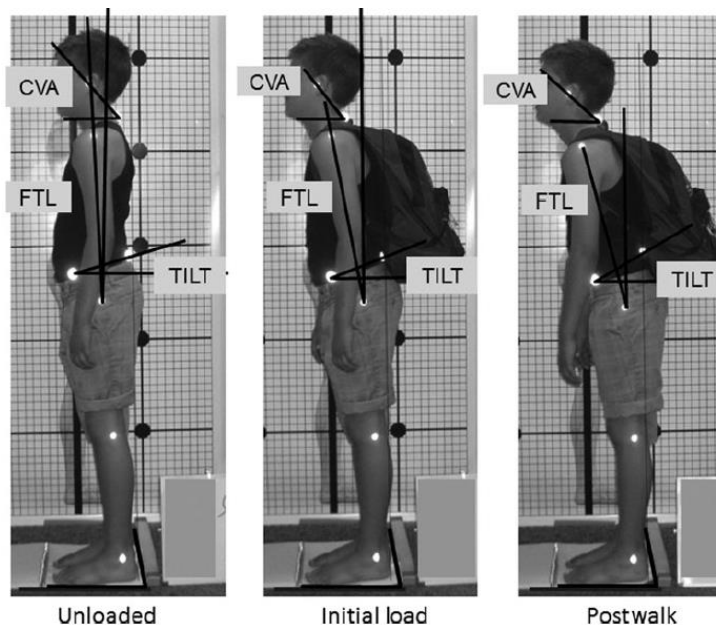
2.4 งานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาเกี่ยวกับกระเป่าสะพายหลังในประเทศไทยนั้นพบว่านักเรียนส่วนใหญ่ใช้กระเป่าสะพายหลังเพื่อบรรจุสัมภาระไปโรงเรียน จากการสำรวจนักเรียนระดับมัธยม โรงเรียนดาราวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย จำนวน 1,280 คน โดยให้ตอบแบบสอบถาม พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ใช้กระเป่าสะพายแบบ 2 สายแบบไม่มีสายรัดอกและเอวร้อยละ 88.3 และสะพายกระเป่าเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมงต่อวันร้อยละ 51.6 โดยนักเรียนส่วนใหญ่มีอาการปวดภายใน 2 ชั่วโมง ในขณะที่สะพายกระเป่าอย่างต่อเนื่องร้อยละ 37.7 บริเวณที่พบแสดงอาการปวดบ่อยมากคือ ไหล่และสะบักด้านซ้ายร้อยละ 78.2 และขวาร้อยละ 80.1 (ศิริรัตน์ ดิสุงเนิน & นवलลอ ธวินชัย, 2555) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่นพบว่านักเรียนเริ่มเปลี่ยนจากการใช้กระเป่าสะพายหลังมาเป็นการใช้กระเป่าแบบล้อลาก เนื่องจากกระเป่าสะพายหลังมีน้ำหนักมากเกินไปและยังทำให้เกิดอาการปวดตามร่างกาย (วัชระ รัตนสีทา และคนอื่นๆ, 2551) ทั้งนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินผลกระทบบความรู้สึกไม่สบายที่ตำแหน่งต่างๆ ในต่างประเทศเมื่อสะพายกระเป่าที่มีน้ำหนักมากไปโรงเรียน การศึกษานี้ใช้วิธีการสัมภาษณ์และแบบประเมินความเมื่อยล้าของร่างกาย (Body Discomfort Chart: BDC) นักเรียนจำนวน 300 คน อายุระหว่าง 10-13 ปี ประเทศอินเดีย พบว่านักเรียนส่วนใหญ่เกิดอาการปวดบริเวณผิวหนังที่เส้นประสาทมาเลี้ยง (Radiating Pain) ปวดแบบเฉียบพลัน (Sharp

Pain) และปวดแบบเป็นจุด (Pins & Needle Pain) โดยบริเวณคอ, ไหล่, หลังส่วนบน, หลังส่วนล่าง, ขา, หัวเข่าพบอาการปวดเฉียบพลันเพศชายร้อยละ 57.9 และเพศหญิงร้อยละ 56.6 ในขณะที่ แขน, นิ้ว, นิ้วเท้า พบอาการปวดบริเวณผิวหนังที่เส้นประสาทมาเลี้ยงเพศชายร้อยละ 36.6 และเพศหญิงร้อยละ 39.7 และร้อยละ 41.5 ของเพศชายและร้อยละ 45.6 ของเพศหญิง อาการปวดแบบเป็นจุด (Rai A. & Agarwai S., 2014)

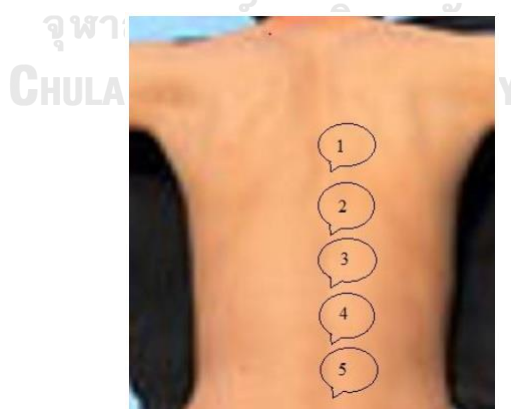
นอกจากอาการเจ็บปวดบริเวณต่างๆที่เกิดขึ้นจากการสลายหลังแล้วยังมีการวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบต่อสมรรถภาพปอดเนื่องจากความแตกต่างของมุมคอ มุมลำตัว โดยมีงานวิจัยที่ตรวจสอบค่าสมรรถภาพปอดได้แก่ค่า Force Vital Capacity (FVC) หรือปริมาตรสูงสุดของอากาศที่หายใจออกอย่างรวดเร็วและแรงเต็มที่จนสุด จากตำแหน่งที่หายใจเข้าเต็มที่ค่า Force Expiratory Volume in one second (FEV_1) หรือปริมาตรของอากาศที่ถูกขับออกในวินาทีแรกของการหายใจออกอย่างรวดเร็วและแรงเต็มที่ อัตราส่วนของค่า FEV_1 และ FVC (FEV_1/FVC) และค่า Peak Expiratory Flow (PEF) หรืออัตราการไหลของอากาศหายใจออกที่สูงที่สุดขณะยืนไม่ส่ายสะพายกระเป๋าและขณะส่ายสะพายกระเป๋าที่น้ำหนักร้อยละ 10, 11, 12, 13, 14, 15 ของน้ำหนักตัวนักเรียนหญิงจำนวน 52 ราย พบว่าเมื่อส่ายสะพายกระเป๋าที่ร้อยละ 10 ถึง 15 ของน้ำหนักตัวทำให้มุมคอ มุมลำตัวค่า FEV_1 และ FVC โดยมุมคอและลำตัวลดลงมากที่สุดเมื่อส่ายสะพายกระเป๋าที่ร้อยละ 12 และ 14 ของน้ำหนักตัวตามลำดับ และเมื่อส่ายสะพายกระเป๋าที่ร้อยละ 15 ของน้ำหนักตัวทำให้ค่า PEF ลดลงเมื่อเทียบกับขณะยืนไม่ส่ายสะพายกระเป๋า และค่า FEV_1 , FVC และ PEF ลดลงมากที่สุดเมื่อส่ายสะพายกระเป๋าที่น้ำหนักร้อยละ 15 ของน้ำหนักตัว (วิภาพร ตันต์สุระ & อรพินท์ การุณทรัพย์เจริญ, 2553)

อีกทั้งยังมีการศึกษาถึงผลกระทบของการแบกกระเป๋าสะพายหลังน้ำหนักมากถึง 20% ของน้ำหนักตัวเกี่ยวกับท่าทางและอาการความเจ็บปวดของเด็กนักเรียนชั้นประถมศึกษา โดยวัดมุมบริเวณส่วนต่อของศีรษะและคอ (Craniovertebral) มุมเอียงของลำตัว (Forward Trunk Lean) และมุมเอียงของกระดูกเชิงกราน (Pelvic Tilt) ในขณะก่อนและหลังเดินสะพายกระเป๋าสายหลังที่มีน้ำหนักร้อยละ 10, 15 หรือ 20 ของน้ำหนักตัว ดังรูปที่ 2.13 จากรูปถ่ายในระนาบ Sagittal โดยมีผู้เข้าร่วมการทดลองจำนวน 62 คน อายุ 8-11 ปี ความรุนแรงของอาการปวดหลังจากเดินสะพายกระเป๋าสะพายหลังเป็นเวลา 6 นาทีจะถูกเก็บข้อมูลด้วยการประเมินแบบสอบถาม พบว่าการสะพายกระเป๋าสะพายหลังทำให้มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของร่างกายในทางที่แยกลง ซึ่งจะเกิดอาการความเจ็บปวดมากขึ้นเมื่อส่ายสะพายกระเป๋าด้วยน้ำหนักที่มากขึ้น ทำให้เด็กมีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บและปวดมากขึ้น ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ที่ชัดเจนสำหรับอาการปวดหลังในวัยผู้ใหญ่ (Kistner F., Fiebert I., Roach K., & Moore J., 2013)



รูปที่ 2.16 การวัดมุมบริเวณส่วนต่อของศีรษะและคอ (Craniovertebral) มุมเอียงของลำตัว (Forward Trunk Lean) และมุมเอียงของกระดูกเชิงกราน (Pelvic Tilt) (Frances, 2013)

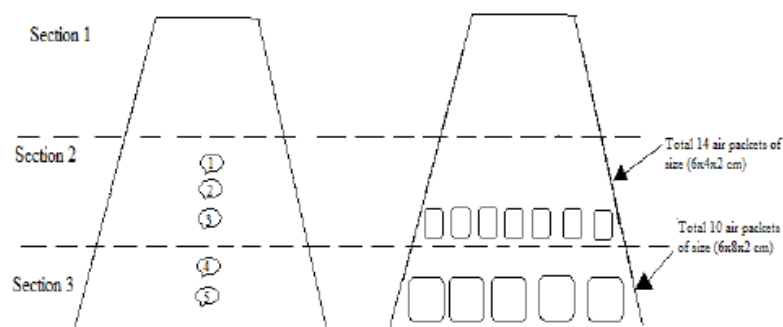
จากผลกระทบของการสพายหลังดังกล่าวนำมาซึ่งการศึกษาเพื่อลดผลกระทบโดยการศึกษาวิธีการเปลี่ยนจุดศูนย์ถ่วงของร่างกายขณะสพายกระเป๋าเพื่อลดแรงกดอัด (Stress) ที่เกิดขึ้นกับร่างกาย โดยศึกษานักเรียนจำนวน 600 คน ประเทศอินเดีย สพายกระเป๋านักเรียนขนาด 17x13x6 เซนติเมตร น้ำหนัก 7.5 กก. ในลักษณะที่แตกต่างกันเพื่อให้ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงเปลี่ยนจากตำแหน่งจาก P1 เป็น P5 ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.16 ของผู้เข้าร่วมการทดลอง



รูปที่ 2.17 ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของผู้เข้าร่วมการทดลองเมื่อสพายกระเป๋า (Khan and Goyal, 2015)

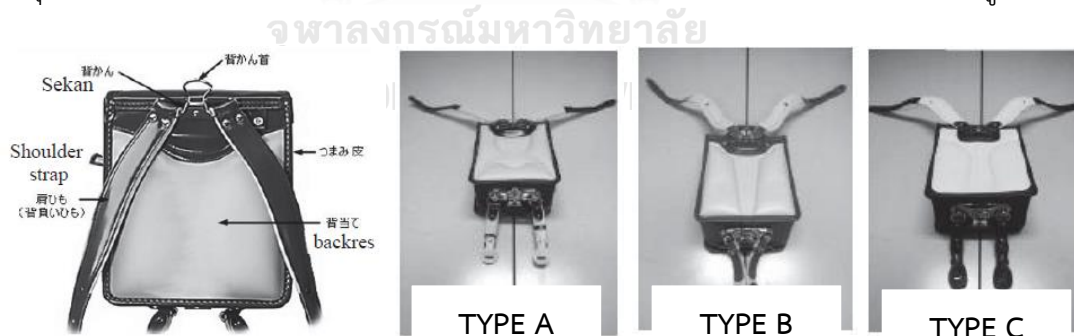
พบว่าบริเวณ P4 และ P5 มีแรงกดอัด (Stress) ที่น้อยกว่าบริเวณ P1 ถึง P3 ดังนั้นเพื่อเลื่อนตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของร่างกาย กระเป๋านักเรียนจำเป็นต้องเพิ่มน้ำหนักที่ส่วนล่าง โครงสร้างของ

กระเป๋านักเรียนปกติขนาด (17x13x6 ซม.) ได้รับการแก้ไขโดยใช้วิธี CGSHIFTER ซึ่งเป็นการบรรจุถุงอากาศไปในกระเป๋าดังเช่นรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.18 โครงสร้างของกระเป๋านักเรียนปกติขนาดที่ได้รับการแก้ไขโดยใช้วิธี CGSHIFTER (Khan and Goyal, 2015)

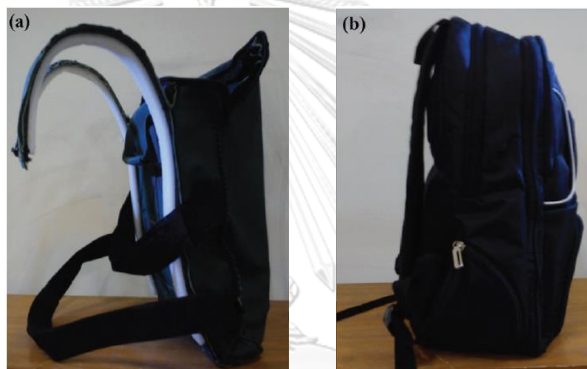
ทำให้ผลกระทบของแรงกดอัดต่อร่างกายลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งของศูนย์ถ่วงโดย CGSHIFTER ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพเนื่องจากมีต้นทุนต่ำและจะช่วยลดผลกระทบของกระเป๋าคู่กระดูกสันหลัง (Khan B. & Goyal A., 2015) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับออกแบบกระเป๋าคู่เพื่อตอบสนองต่อการใช้งานอีกมากมาย โดยใช้แรงกดอัดเป็นตัวชี้วัด โดยเฉพาะกระเป๋านักเรียนที่เป็นเหมือนอัตลักษณ์ของประเทศญี่ปุ่นหรือกระเป๋าคู่ Radoseru ซึ่งได้ทำการวิจัยส่วนประกอบของกระเป๋าคู่ด้านหลังหรือที่เรียกว่า Backres โดยทำการวัดการกระจายของแรงกดอัดที่กระทำต่อหลังของผู้ใช้งานในระดับอนุบาลและประถมศึกษา โดยใช้แผ่นเซ็นเซอร์วัดแรงที่แปะไว้บริเวณ Backres เพื่อส่งข้อมูลผ่านระบบ I-SCAN ซึ่งกำหนดให้ผู้เข้าร่วมทดลองอายุ 5-7 ปี จำนวน 20 คนสะพายกระเป๋าคู่ที่บรรจุน้ำหนักประมาณ 3 กิโลกรัม (รวมน้ำหนักกระเป๋าคู่) โดยมี Backres แตกต่างกัน 3 แบบดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.19 รูปแบบ Backres ของกระเป๋าคู่ Radoseru (Oigawa et al, 2015)

และทำการวัดการกระจายของแรงกดอัดกระทำต่อหลังของผู้เข้าร่วมการทดลองในขณะยืน นั่ง ในขณะที่เดินและโค้งตัวพบว่ากระเป๋าคู่ที่มี Backres ในรูปแบบ B ให้ผลของการกระจายแรงกดอัดที่แผ่นหลังน้อยที่สุด (Oigawa H., Ishikawa Y., Takata M., & Joe K., 2015)

ทั้งนี้สายสะพายของกระเป๋าก็มีความสำคัญต่อการใช้งาน โดยทั่วไปสายสะพายกระเป๋าจะถูกออกแบบมาให้สามารถปรับได้เพื่อความยืดหยุ่นในการใช้งานและความสบายของผู้ใช้งาน แต่ก็ส่งผลเสียเนื่องจากผู้ใช้งานต้องคอยควบคุมการแกว่งของกระเป๋า จึงได้มีการออกแบบสายสะพายแบบที่เป็นโครงซึ่งไม่สามารถยืดหยุ่นได้ (a) ซึ่งเชื่อว่าสามารถแรงโมเมนต์ที่กระทำต่อที่หมอนรองกระดูกส่วนเอว (Lumbar region) ได้และได้ทำการเปรียบเทียบกับกระเป๋าที่มีสายสะพายแบบปกติ (b) ดังรูปที่ 2.17 โดยให้ผู้เข้าร่วมการทดลองจำนวน 9 คนสวมใส่กระเป๋าสะพายหลังทั้ง 2 ประเภท บรรจุน้ำหนักร้อยละ 10 ของน้ำหนักตัวผู้เข้าร่วมทดลอง และเดินบนลู่วิ่งที่ระดับความเร็ว 1.5 เมตร/วินาที จนถึง 2.5 เมตร/วินาทีเป็นเวลา ทั้งสิ้น 15 นาที และเดินด้วยความเร็วคงที่ 3 เมตร/วินาทีเป็นเวลา ทั้งสิ้น 15 นาที หลังจากนั้นให้ตอบแบบสอบถามที่บ่งบอกความรู้สึกไม่สบายบริเวณคอ, ไหล่, เอวและกล้ามเนื้อขาส่วนบน และล่าง โดยแบ่งเป็นระดับ ต่ำ กลาง และสูง



รูปที่ 2.20 รูปแบบสายสะพายหลังแบบเป็นโครง และแบบสายสะพายปกติ

ผลการตอบแบบสอบถามพบว่าสายสะพายหลังแบบ a ให้ความรู้สึกไม่สบายบริเวณกล้ามเนื้อคอส่วนหน้าอยู่ในระดับต่ำซึ่งไม่แตกต่างกับแบบ b ส่วนบริเวณกล้ามเนื้อคอส่วนหลังและเอวความรู้สึกไม่สบายอยู่ในระดับต่ำเมื่อสะพายสายแบบ a มีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ b และกล้ามเนื้อบริเวณไหล่จะให้ความรู้สึกไม่สบายมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกล้ามเนื้อบริเวณอื่น สำหรับกล้ามเนื้อขาส่วนบนเมื่อใช้สายสะพายแบบ b พบว่ารู้สึกไม่สบายระดับต่ำมากกว่าแบบ a ทั้งนี้กล้ามเนื้อขาส่วนล่างจะไม่มี ความแตกต่างกันระหว่างสายสะพายแบบ a แบบ b (Mallakzadeh M., Mehrdad J., Sirwan A., & M., 2015)

สำหรับคำแนะนำเกี่ยวกับน้ำหนักที่ปลอดภัยในการใช้กระเป๋าสะพายหลังพบว่ามีตั้งแต่ไม่เกินร้อยละ 10 – ร้อยละ 20 เพื่อหลีกเลี่ยงอาการปวดหลังส่วนล่างและปัญหาที่เกี่ยวข้อง ในขณะที่สมาคมกิจกรรมบำบัดแห่งสหรัฐอเมริกา (American Occupational Therapy Association : AOTA) แนะนำให้สะพายกระเป๋าน้ำหนักไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนักตัว ทั้งนี้มีนักวิจัยหลายท่าน

ทำการศึกษาความแตกต่างระหว่างการแบกกระเป๋าที่น้ำหนักต่างๆ โดยใช้ความรู้สึก และท่าทางของร่างกายที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นตัวชี้วัด ซึ่งพบว่าการสะพายกระเป๋าที่มีน้ำหนักมากกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนักตัวเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญขณะเดิน (Bauer, Denise H., & Freivalds A., 2008) อีกทั้งยังมีผลต่อระยะก้าวเดินและความรู้สึกไม่สบายต่อกล้ามเนื้อ แต่อย่างไรก็ตามการใช้น้ำหนักเป็นเกณฑ์กำหนดภาระงานนั้นไม่เหมาะสมกับผู้ที่มือน้ำหนักร่างกายเกินมาตรฐาน เนื่องจากความแข็งแรงของกล้ามเนื้อไม่ได้แปรผันตามน้ำหนักตัว (สุธาริน สุวรรณโณ, 2554)

2.5 สมมติฐานงานวิจัย

จากความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา และการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ได้กำหนดตัวชี้วัดเป็นไปในแนวทางการตอบสนองทางด้านความรู้สึก (Subjective) งานวิจัยนี้จึงได้ใช้ตัวชี้วัดในเชิงวิศวกรรมมากขึ้นโดยใช้ตัวชี้วัดเป็นอัตราการใช้พลังงานเพื่อบ่งชี้ถึงความเหนื่อยล้าหรือความรู้สึกไม่สบาย อัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้า และพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าเพื่อบ่งชี้ถึงลักษณะของการเปลี่ยนไปของลักษณะหลังเมื่อสะพายกระเป๋าในระยะเวลาที่นานขึ้น ทั้งนี้เป็นการกำหนดตัวชี้วัดให้สอดคล้องกับพฤติกรรมมนุษย์ที่มีการเคลื่อนที่และการใช้พลังงานตลอดเวลา โดยคาดว่า การใช้ลักษณะกระเป๋าที่แตกต่างกันและการจัดเรียงสิ่งของโดยการกำหนดจุดศูนย์กลางมวลที่ต่างกันจะส่งผลต่อตัวชี้วัดดังกล่าว จึงได้กำหนดสมมติฐานทั้งหมด 9 แบบ ดังนี้

2.5.1 สมมติฐานด้านอัตราการใช้พลังงาน

สมมติฐานที่ 1 ลักษณะของกระเป๋าที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่ออัตราการใช้พลังงาน

สมมติฐานที่ 2 การจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่ออัตราการใช้พลังงาน

สมมติฐานที่ 3 ลักษณะของกระเป๋าและการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่ออัตราการใช้พลังงาน

2.5.2 สมมติฐานด้านอัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้า

สมมติฐานที่ 4 ลักษณะของกระเป๋าที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้า

สมมติฐานที่ 5 การจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้า

สมมติฐานที่ 6 ลักษณะของกระเป๋าและการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้า

2.5.3 สมมติฐานด้านพื้นที่การแกว่งของกระเป่า

สมมติฐานที่ 7 ลักษณะของกระเป่าที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อพื้นที่การแกว่งของกระเป่า

สมมติฐานที่ 8 การจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อพื้นที่การแกว่งของกระเป่า

สมมติฐานที่ 9 ลักษณะของกระเป่าและการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อพื้นที่การแกว่งของกระเป่า



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะกระเปาะสเปพายหลังใช้ในชีวิตรประจำวันจำนวน 3 แบบ ที่มีการจัดเรียงตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลรวมที่แตกต่างกัน 2 ตำแหน่งที่ส่งผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจ และท่าทางร่างกายท่อนบน ในสภาวะพลวัตสอดคล้องกับพฤติกรรมของมนุษย์ในชีวิตประจำวันที่มีการเคลื่อนที่เดินและวิ่งเล็กน้อย

3.1 ผู้เข้าร่วมการทดลอง

1. อาสาสมัครเพศชายและหญิง อายุระหว่าง 18-25 ปี ดัชนีมวลกายอยู่ในเกณฑ์ปกติ และส่วนสูง 155-160 เซนติเมตร จำนวน 8 คน
2. มีสภาพร่างกายปกติ แข็งแรง สุขภาพดี และไม่ใช่นักกีฬา
3. ไม่เคยพบประวัติการบาดเจ็บหรือผ่าตัดบริเวณหลัง ไม่เคยพบประวัติการเป็นโรคเกี่ยวกับหัวใจ และไม่เคยพบประวัติการบาดเจ็บขาหรือข้อเท้าหรือมีเท้าหรือขาที่ผิดปกติ
4. อาสาสมัครผู้เข้าร่วมการทดลองทำการอ่านและลงนามหนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วม

3.2 เครื่องมือและสถานที่สำหรับการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับงานวิจัย

1. สายวัดระยะยาว 12 เมตร (หรือมากกว่า)
2. กล้องถ่ายภาพและวิดีโอ Sony A5100



รูปที่ 3.1 กล้องถ่ายภาพและวิดีโอ

3. ระบบบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยภาพ OptiTrack™ (NaturalPoint, Inc.) สามารถบันทึกภาพโดยครอบคลุมพื้นที่ขนาด 4.5 x 3.9 เมตรประกอบด้วย - กล้องอินฟาเรด รุ่น Flex 13 จำนวน 12 ตัว



รูปที่ 3.2 กล้องอินฟาเรด รุ่น Flex 13

- ลูกบอลลาวแสง (Marker) ขนาด 4.4 x 4.4 เซนติเมตร



รูปที่ 3.3 ลูกบอลลาวแสง (Marker)

- คอมพิวเตอร์พร้อมซอฟต์แวร์ Motive: Body (Version 1.7.5)

4. ระบบบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจ ประกอบด้วย

- เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบรัดหน้าอก Runtastic รุ่น Combo



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ Runtastic

- แอปพลิเคชันบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจ Sport Gear Tracker ผ่านโทรศัพท์มือถือ Samsung Galaxy Note 5

5. เครื่องออกกำลังกายแบบลู่วิ่งปรับความเร็ว (Trademill)

6. กระเป๋าสะพายหลัง 3 รูปแบบ ได้แก่

- รูปแบบที่ 1 กระเป๋าที่มีลักษณะคงรูปโดยมีโครงที่แข็งทั้งกระเป๋าหรือกระเป๋านักเรียนญี่ปุ่น
- รูปแบบที่ 2 กระเป๋าที่มีลักษณะไม่คงรูปโดยใช้วัสดุเป็นผ้าอย่างเดียว

- รูปแบบที่ 3 กระเป๋าที่มีลักษณะกึ่งทรงรูปโดยมีโครงที่บริเวณหลัง และมีสายรัดอกและสะโพกหรือกระเป๋าเออร์โกโนมิกส์ โดยมีลักษณะดังรูปที่ 3.5



รูปแบบที่ 1 ขนาด 17 x 26 x 32 ซม.



รูปแบบที่ 2 ขนาด 15 x 28 x 45 ซม.



รูปแบบที่ 3 ขนาด 20 x 26 x 45 ซม.

รูปที่ 3.5 ลักษณะกระเป๋าสะพายหลังสำหรับการทดลอง 3 รูปแบบ

7. น้ำหนักบาร์เบลล์บรรจุในกล่องพลาสติกขนานข้างด้วยโฟม



รูปที่ 3.6 น้ำหนักบาร์เบลล์บรรจุในกล่องพลาสติก

3.2.2 สถานที่สำหรับงานวิจัย

ห้องปฏิบัติการการกายศาสตร์สำหรับนักศึกษาระดับชั้นบัณฑิตศึกษา ชั้น 8 อาคาร เจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.7 พื้นที่ใช้งานสำหรับการวิจัยที่ติดตั้งระบบบันทึกการเคลื่อนไหว และเครื่องออกกำลังกายแบบลู่วิ่ง

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ผู้เข้าร่วมการทดลองทำความเข้าใจขั้นตอนการทดลองและลงนามหนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมงานวิจัย
2. เก็บข้อมูลพื้นฐาน เช่น ชื่อ เพศ อายุ น้ำหนักตัว ลักษณะกระเป่าที่ใช้ในชีวิตประจำวัน เป็นต้น
3. เก็บข้อมูลอัตราเร็วขณะเดินปกติ และขณะเริ่มวิ่งเล็กน้อย ดังนี้
 - ติดตั้งสายวัดบนพื้น ระยะ 15-20 เมตร (ประมาณ มากกว่า 10 ก้าว) พร้อมกำหนดจุดเริ่มต้นเดิน
 - บันทึกวีดีโอ เวลา และระยะทาง ตลอด 10 ก้าว
 - ผู้เข้าร่วมการทดลองเดิน 5 รอบ รอบละ 10 ก้าว ที่ความเร็วปกติ Rating 100% พักระหว่างรอบ 0.5 - 1 นาที
 - ผู้เข้าร่วมการทดลองเดิน 5 รอบ รอบละ 10 ก้าว ที่ความเร็วสูงสุด โดยต้องมีเท้าข้างใดข้างหนึ่งอยู่บนพื้นเสมอ (หากมีการก้าวเท้าก้าวใดที่เท้าทั้งสองลอยอยู่บนพื้นหรือไม่มีส่วนหนึ่งส่วนใดของเท้าอยู่บนพื้น ให้ยกเลิกแล้วทดลองใหม่) พักระหว่างรอบ 1 - 2 นาที

- หาเวลาและระยะทางเฉลี่ยจากการเดิน 10 ก้าว ของแต่ละรอบที่อัตราเร็วต่างๆ ของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคน เพื่อใช้เป็นเกณฑ์การกำหนดความเร็วของเครื่องออกกำลังกายแบบลู่วิ่งปรับความเร็ว (Treadmill) สำหรับเงื่อนไขการเดินปกติและเริ่มวิ่งเล็กน้อย
- 4. สอบเทียบความถูกต้องของอุปกรณ์และระบบที่ใช้บันทึกการเคลื่อนไหวพร้อม กำหนดให้จำนวนตำแหน่งที่บันทึกต่อเวลา (Frame) เป็น 30 ภาพต่อวินาที (fps) ซึ่งมีความคลาดเฉลี่ย (Mean error) ต้องไม่เกิน 1 มิลลิเมตร
- 5. เตรียมกระเป๋าและน้ำหนักที่ใช้สำหรับผู้เข้าร่วมวิจัยโดยกำหนดให้กระเป๋าแต่ละแบบมีการบรรจุน้ำหนัก โดยให้มีน้ำหนักรวมทั้งสิ้น 10% ของน้ำหนักผู้เข้าร่วมวิจัย และกำหนดตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลให้อยู่ในระดับบน และระดับล่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ลักษณะการจัดเรียงสิ่งของเพื่อกำหนดตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวล

- 6. กำหนดให้ผู้เข้าร่วมการทดลองใส่เสื้อผ้าที่ไม่หลวมจนเกินไป เพื่อความถูกต้องของการบันทึกค่าโดยจะติดลูกบอลวางแสงที่ผู้เข้าร่วมทดลองจำนวน 4 ตำแหน่ง และบริเวณกระเป๋า 1 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ตำแหน่งติดลูกบอลวางแสงที่ผู้เข้าร่วมทดลองและบริเวณกระเป๋า

7. กำหนดให้ผู้เข้าร่วมการทดลองติดเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบรัดหน้าอก Runtastic รุ่น Combo ตลอดการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลอัตราการเต้นของหัวใจตามเวลาจริง
8. ให้ผู้เข้าร่วมการทดลองสะพานยกกระเปาะที่บรรจุน้ำหนักรวมประมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักตัว โดยกำหนดให้ ผู้เข้าร่วมการทดลองสะพานยกกระเปาะในแต่ละแบบ ได้แก่
 - กระเปาะที่มีลักษณะคงรูปโดยมีโครงที่แข็งทั้งกระเปาะหรือกระเปาะนักเรียนญี่ปุ่น
 - กระเปาะที่มีลักษณะไม่คงรูปโดยใช้วัสดุเป็นผ้าเพียงอย่างเดียว
 - กระเปาะที่มีลักษณะกึ่งคงรูปโดยมีโครงที่บริเวณหลัง และมีสายรัดอกและสะโพกหรือกระเปาะเออร์โกโนมิกส์
 ซึ่งบรรจุแท่งน้ำหนักบาร์เบลด้วย 2 ตำแหน่ง ได้แก่
 - บรรจุแท่งน้ำหนักบาร์เบลให้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลอยู่บริเวณด้านบนของกระเปาะ
 - บรรจุแท่งน้ำหนักบาร์เบลให้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลอยู่บริเวณด้านล่างของกระเปาะ
 กำหนดให้ผู้เข้าร่วมการทดลองเดินและวิ่งเล็กน้อยบนเครื่องออกกำลังกายแบบลู่วิ่ง (Treadmill) ด้วยระยะกึ่งกลางของระยะห่างระหว่างสถานีตามการออกแบบการวางตำแหน่งสถานีระบบขนส่งสาธารณะแบบรถไฟฟ้าใต้ดิน และรถประจำทางตามลำดับ ดังนี้
 - ผู้เข้าร่วมการทดลองเดินด้วยอัตราเร็วเฉลี่ยของการเดินปกติของแต่ละบุคคลตามข้อ 3 เป็นระยะทางประมาณ 500 เมตร
 - ผู้เข้าร่วมการทดลองเริ่มวิ่งเล็กน้อยด้วยอัตราเร็วที่มากกว่าความเร็วสูงสุดของการเดินในข้อ 3 เป็นระยะทางประมาณ 100 เมตร
 ดังนั้นผู้เข้าร่วมการทดลอง 1 คนจะต้องทำกิจกรรมเดินและเริ่มวิ่งเล็กน้อยอย่างละ 6 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 12 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งจะให้ผู้เข้าร่วมการทดลองพักเป็นเวลา 2 นาทีหรือจนกว่าอัตราการเต้นของหัวใจจะอยู่ในสภาวะปกติแล้วจึงจะทำการเริ่มทดลองในเงื่อนไขถัดไป
9. ทำการบันทึกข้อมูลด้วยระบบบันทึกการเคลื่อนไหว
10. ตรวจสอบข้อมูลทันทีหลังเสร็จสิ้นการบันทึก หากมีข้อผิดพลาดจะทำการทดลองในเงื่อนไขนั้นซ้ำ
11. แปลงข้อมูลจากการบันทึกวิดีโอให้เป็นข้อมูลเชิงปริมาณ โดยข้อมูลที่ได้อาจจะเป็นพิกัดสามมิติ โดยความสูงอยู่แนวแกน Y การแกว่งของลำตัวและกระเปาะตามแนวระนาบ Frontal ขนานกับแนวแกน X และทิศทางการเดินตามแนวแกน Z

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

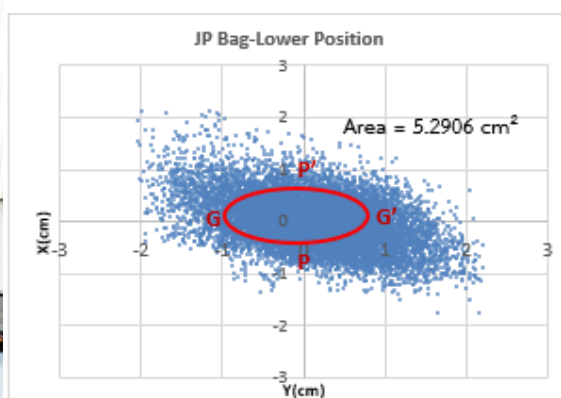
เพื่อศึกษาลักษณะกระเป๋าสะพายหลังที่ใช้ในชีวิตประจำวันจำนวน 3 แบบ ที่มีการจัดเรียงตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลรวมที่แตกต่างกัน 2 ตำแหน่ง ที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเต้นของหัวใจและท่าทางร่างกายก่อนบน ผู้วิจัยได้กำหนดตัวชี้วัดที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ได้แก่

1. ข้อมูลอัตราการใช้พลังงาน (Energy expenditure: EE) ประเมินจากอัตราการเต้นของหัวใจ
2. ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้า (Lean Angle Rate: LR) โดยประเมินจากเส้นแนวโน้มขององศาการโน้มตัวไปด้านหน้า (θ) เมื่อเทียบกับการยืนโดยไม่มีภาระงานตามระนาบ Sagittal ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 องศาการโน้มตัวไปด้านหน้า (θ) เมื่อเทียบกับการยืนโดยไม่มีภาระงานตามระนาบ Sagittal

3. ข้อมูลพื้นที่การแกว่งของกระเป๋า (Sway Area: SA) โดยประเมินจากของตำแหน่งการแกว่งของกระเป๋าเทียบกับจุดศูนย์กลางลำตัวในระนาบ Frontal ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ตำแหน่งการแกว่งของกระเป๋าเทียบกับจุดศูนย์กลางลำตัวในระนาบ Frontal

จากวิธีการดำเนินการวิจัยจะสามารถแสดงผลลัพธ์ว่าลักษณะกระเปาะและการจัดเรียงสิ่งของแบบใดส่งผลกระทบต่ออัตราการเต้นของหัวใจและท่าทางร่างกายที่นอนบนน้อยที่สุดซึ่งจะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางหรือแบบมีสองปัจจัยโดยการวางแผนแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design Two-way ANOVA or Two Factors ANOVA : RCBD Two-way or Two Factors ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทั้งนี้หากพบว่าอย่างน้อยมีค่าเฉลี่ยหนึ่งคู่ที่แตกต่างกันจะทำการหาค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Post Hoc Test or Multiple Comparison)



บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบลักษณะของกระเป่าสะพายหลังและวิธีการจัดเรียงสิ่งของที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเต้นของหัวใจและท่าทางของร่างกายก่อนบนทั้งในขณะเดินและวิ่ง โดยตัวแปรอิสระที่สนใจศึกษาวิจัย ได้แก่ ประเภทของกระเป่าสะพายหลัง ซึ่งเป็นเงื่อนไขของการทดลองกำหนดไว้ 3 รูปแบบคือ กระเป่าที่มีลักษณะคงรูปโดยมีโครงที่แข็งทั้งกระเป่าหรือกระเป่านักเรียนญี่ปุ่น(กระเป่าญี่ปุ่น) กระเป่าที่มีลักษณะไม่คงรูปโดยใช้วัสดุเป็นผ้าเพียงอย่างเดียว (กระเป่าผ้า) และกระเป่าที่มีลักษณะกึ่งคงรูปโดยมีโครงที่บริเวณหลังและมีสายรัดอกและสะโพกหรือกระเป่าเออร์โกโนมิกส์ (กระเป่าเออร์โกโนมิกส์) รวมถึงการกำหนดตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลของกระเป่าในตำแหน่งที่แตกต่างกัน 2 ระดับ คือ บน และ ล่าง ซึ่งคาดว่าจะส่งผลกระทบต่ออัตราการเต้นของหัวใจและท่าทางของร่างกายก่อนบน ทั้งนี้การวิเคราะห์ผลการวิจัยใช้ตัวชี้วัด 3 ประเภท คือ ข้อมูลอัตราการใช้พลังงาน (Energy expenditure: EE) ประเมินจากอัตราการเต้นของหัวใจ ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้า (Lean Angle Rate: LR) โดยประเมินจากเส้นแนวโน้มขององศาการโน้มตัวไปด้านหน้า (θ) เมื่อเทียบกับการยืนโดยไม่มีภาระงานตามระนาบ Sagittal และข้อมูลพื้นที่การแกว่งของกระเป่า (Sway Area: SA) โดยประเมินจากของตำแหน่งการแกว่งของกระเป่าเทียบกับจุดศูนย์กลางลำตัวในระนาบ Frontal

ในการทดลองนี้มีอาสาสมัครเข้าร่วมการทดลองทั้งเพศหญิงและชายทั้งหมด 8 คน อายุระหว่าง 18-25 ปี ดัชนีมวลกายอยู่ในเกณฑ์ปกติ และส่วนสูง 155-160 เซนติเมตร โดยกำหนดให้รับภาระงานในขนาดที่เท่ากัน คือ 10% ของน้ำหนักตัวผู้เข้าร่วมการทดลอง และเดินในระยะทาง 500 เมตร วิ่งในระยะทาง 100 เมตร ด้วยอัตราเร็วเฉลี่ยของการเดินและวิ่งแต่ละบุคคล ข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมการทดลอง

ลำดับ	เพศ	อายุ (ปี)	ส่วนสูง (ม.)	น้ำหนัก (กก.)	ดัชนีมวลกาย (กก./ม ²)	อัตราเร็วเฉลี่ยแต่ละบุคคล (กม./ชม.)	
						เดิน	วิ่ง
1	หญิง	18	1.54	44	18.55	4.4	7.5
2	หญิง	20	1.57	52	21.09	4.3	7.3
3	หญิง	22	1.56	49	20.28	5.5	7

ลำดับ	เพศ	อายุ (ปี)	ส่วนสูง (ม.)	น้ำหนัก (กก.)	ดัชนีมวลกาย (กก./ม ²)	อัตราเร็วเฉลี่ยแต่ละบุคคล (กม./ชม.)	
						เดิน	วิ่ง
4	หญิง	23	1.52	47	20.34	4.9	6.2
5	หญิง	25	1.58	48	19.14	5.2	6.5
6	ชาย	19	1.60	57	22.21	5.2	7.5
7	ชาย	25	1.59	48	18.99	5.2	6.1
8	ชาย	24	1.58	48	19.22	5.8	7.2

ทั้งนี้ผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 รายจะถูกบันทึกข้อมูลอัตราการเต้นของหัวใจและตำแหน่งการเคลื่อนที่ของทุกเงื่อนไขการทดลองตลอดระยะเวลาการทดลอง เพื่อนำไปคำนวณ อัตราการใช้พลังงาน อัตราการเปลี่ยนแปลงท่าทางของร่างกายก่อนบน และ พื้นที่การแกว่งของกระดูก โดยงานวิจัยนี้ศึกษาว่าปัจจัยใดที่ส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัดดังกล่าว ซึ่งกำหนดที่ 2 ปัจจัย คือ ลักษณะของกระดูกสะพายหลัง และวิธีการจัดเรียงสิ่งของ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 และ 2 ระดับตามลำดับ ทั้งนี้การทดลองสำหรับการเดินมีจำนวนทั้งสิ้น 6 ทริตเมนต์คอมบิเนชัน และการทดลองสำหรับการวิ่งมีจำนวนทั้งสิ้น 6 ทริตเมนต์คอมบิเนชัน รวมทั้งสิ้น 12 ทริตเมนต์คอมบิเนชัน

ผลการทดลองที่ได้จากผู้เข้าร่วมการทดลองจะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางหรือแบบมีสองปัจจัยโดยการวางแผนแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design Two-way ANOVA or Two Factors ANOVA : RCBD Two-way or Two Factors ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โปรแกรม Minitab 2017 โดยทำการวิเคราะห์ผลในภาพรวมของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด ทั้งนี้เมื่อพบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของปัจจัยจะทำการวิเคราะห์ว่ามีค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน โดยทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ (Post Hoc Test or Multiple Comparison) เพิ่มเติมโดยวิธี Bonferroni Test

การกำหนดสมมติฐานของงานวิจัยทั้งในขณะเดินและวิ่ง ดังนี้

1. การวิเคราะห์ตัวชี้วัดอัตราการใช้พลังงาน

สมมติฐานปัจจัยลักษณะกระดูก

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_i = 0$ (ลักษณะของกระดูกสะพายหลังที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยอัตราการใช้พลังงานไม่แตกต่างกัน)

$H_1 : \tau_i \neq 0$ (ลักษณะของกระดูกสะพายหลังที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยอัตราการใช้พลังงานแตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า)

สมมติฐานปัจจัยการจัดเรียงสิ่งของ

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j = 0$ (ลักษณะของการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยอัตราการใช้พลังงานไม่แตกต่างกัน)

$H_1 : \beta_j \neq 0$ (ลักษณะของการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยอัตราการใช้ พลังงานแตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า)

สมมติฐานปัจจัยร่วม

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$ สำหรับทุกค่า i, j (อันตรกิริยา 2 ทางที่เกิดจากลักษณะของ กระจเป่าสะพายหลังและการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันไม่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ย อัตราการใช้พลังงาน)

$H_1 : (\tau\beta)_{ij} \neq 0$ (อันตรกิริยา 2 ทางที่เกิดจากลักษณะของกระจเป่าสะพาย หลังที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยอัตราการใช้พลังงานอย่างน้อย 1 ค่า)

2. การวิเคราะห์หัตถ์ชีวิตข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้า

สมมติฐานปัจจัยลักษณะกระจเป่า

$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i = 0$ (ลักษณะของกระจเป่าสะพายหลังที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าไม่แตกต่างกัน)

$H_1 : \alpha_i \neq 0$ (ลักษณะของกระจเป่าสะพายหลังที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าแตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า)

สมมติฐานปัจจัยการจัดเรียงสิ่งของ

$H_0 : \gamma_1 = \gamma_2 = \dots = \gamma_j = 0$ (ลักษณะของการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าไม่แตกต่างกัน)

$H_1 : \gamma_j \neq 0$ (ลักษณะของการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยอัตราการ เปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าแตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า)

สมมติฐานปัจจัยร่วม

$H_0 : (\alpha\gamma)_{ij} = 0$ สำหรับทุกค่า i, j (อันตรกิริยา 2 ทางที่เกิดจากลักษณะของ กระจเป่าสะพายหลังและการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันไม่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ย อัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้า)

$H_1 : (\alpha\gamma)_{ij} \neq 0$ (อันตรกิริยา 2 ทางที่เกิดจากลักษณะของกระจเป่าสะพาย หลังที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไป ด้านหน้าอย่างน้อย 1 ค่า)

3. การวิเคราะห์ตัวชี้วัดพื้นที่การแกว่งของกระเป๋

สมมติฐานปัจจัยลักษณะกระเป๋

$H_0 : \delta_1 = \delta_2 = \dots = \delta_i = 0$ (ลักษณะของกระเป๋าสะพายหลังที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยพื้นที่การแกว่งของกระเป๋ไม่แตกต่างกัน)

$H_1 : \delta_i \neq 0$ (ลักษณะของกระเป๋าสะพายหลังที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยพื้นที่การแกว่งของกระเป๋แตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า)

สมมติฐานปัจจัยการจัดเรียงสิ่งของ

$H_0 : \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_j = 0$ (ลักษณะของการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยพื้นที่การแกว่งของกระเป๋ไม่แตกต่างกัน)

$H_1 : \rho_j \neq 0$ (ลักษณะของการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยพื้นที่การแกว่งของกระเป๋แตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า)

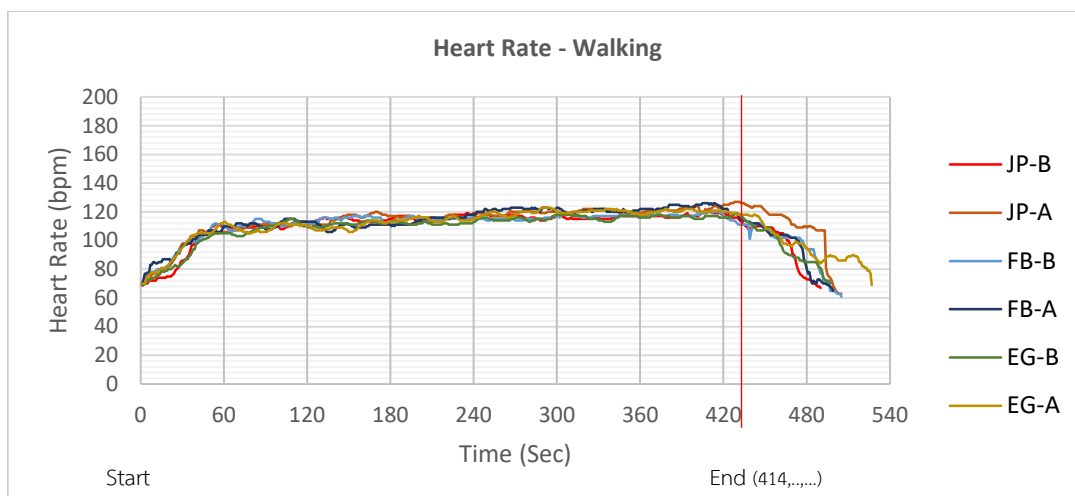
สมมติฐานปัจจัยรวม

$H_0 : (\delta\rho)_{ij} = 0$ สำหรับทุกค่า i, j (อันตรกิริยา 2 ทางที่เกิดจากลักษณะของกระเป๋าสะพายหลังและการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันไม่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้า)

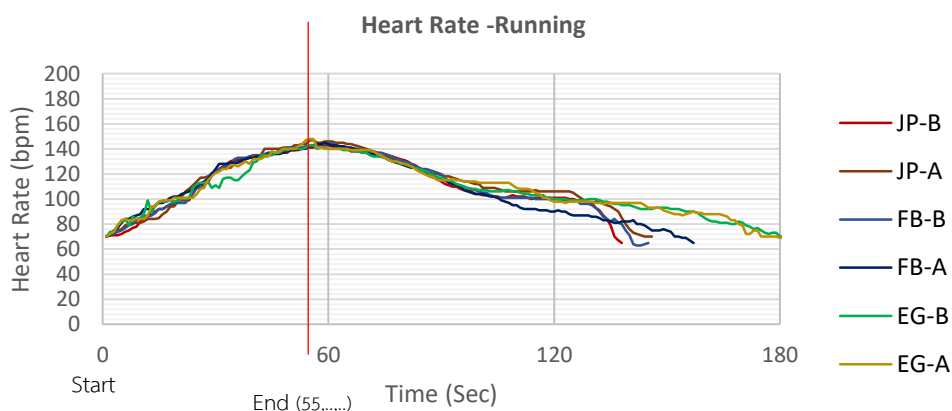
$H_1 : (\delta\rho)_{ij} \neq 0$ (อันตรกิริยา 2 ทางที่เกิดจากลักษณะของกระเป๋าสะพายหลังที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าอย่างน้อย 1 ค่า)

4.1 ข้อมูลอัตราการเต้นของหัวใจ และอัตราการใช้พลังงาน

อัตราการเต้นของหัวใจของผู้เข้าร่วมการทดลองของทุกเงื่อนไขถูกบันทึกเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบรัดหน้าอก Runtastic รุ่น Combo แบบ Real Time ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 หลังจากนั้นนำมาคำนวณอัตราการใช้พลังงานต่อนาทีของทุกเงื่อนไขการทดลองด้วยสมการของ Keytel, L.R., Goedecke, J.H., Noakes, T.D., et



รูปที่ 4.1 อัตราการเต้นของหัวใจของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะเดินในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง



รูปที่ 4.2 อัตราการเต้นของหัวใจของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะวิ่งในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 เป็นผลการเก็บข้อมูลอัตราการเต้นของหัวใจขณะทำกิจกรรมแต่ละประเภทด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกันของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราการเต้นของหัวใจขณะเดินและวิ่ง ณ จุดเริ่มต้นอยู่ที่ประมาณ 75-77 รอบต่อนาที ในขณะที่กิจกรรมการเดินอัตราการเต้นของหัวใจมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง 115 รอบต่อนาทีในช่วงนาทีที่ 1 หลังจากนั้น มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึง 120 รอบต่อนาทีจนสิ้นสุดกิจกรรม ในขณะที่กิจกรรมการวิ่งอัตราการเต้นของหัวใจมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นจนถึง 145 รอบต่อนาทีในช่วงนาทีที่ 1 (เนื่องจากกำหนดเงื่อนไขการทดลองของการวิ่งที่ 100 เมตร จึงทำให้อัตราการเต้นของหัวใจ ณ เวลาสิ้นสุดกิจกรรมอยู่ที่ 1 นาทีแรกเท่านั้น)

เมื่อได้อัตราการเต้นของหัวใจตลอดกิจกรรมของทุกเงื่อนไขการทดลองแล้ว นำมาคำนวณอัตราการใช้พลังงานต่อนาทีด้วยการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟระหว่างระยะเวลาและอัตราการเต้นของ

หัวใจแต่ละนาที และแปลงเป็นอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยต่อกิจกรรมของทุกเงื่อนไขการทดลอง เพื่อคำนวณอัตราการใช้พลังงานต่อนาทีด้วยสมการของ Keytel, L.R., Goedecke, J.H., Noakes, T.D., et โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.2 อัตราการใช้พลังงานของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะเดินในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

Condition		Area (bpm.sec)	HR _{avg} (bpm)	EE (Kcal/min)
JP	Below	46,044.00	111.22	5.86
	Above	47,028.00	113.59	6.11
FB	Below	46,396.50	112.07	5.95
	Above	47,062.50	113.68	6.12
EG	Below	45,391.00	109.64	5.69
	Above	46,498.00	112.31	5.97

ตารางที่ 4.3 อัตราการใช้พลังงานของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะวิ่งในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

Condition		Area (bpm.sec)	HR _{avg} (bpm)	EE (Kcal/min)
JP	Below	6,155.50	111.92	5.93
	Above	6,231.00	113.29	6.08
FB	Below	6,200.50	112.74	6.02
	Above	6,290.50	114.36	6.19
EG	Below	6,123.50	111.34	5.87
	Above	6,224.50	113.17	6.06

จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 จะเห็นได้ว่าอัตราการใช้พลังงานของแต่ละกิจกรรมมีความแตกต่างกัน จากข้อมูลข้างต้นของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 ราย จะนำไปทดสอบสมมติฐานในหัวข้อถัดไป

4.2 ข้อมูลการโน้มตัวไปด้านหน้า และอัตราการเปลี่ยนแปลงขององศาการโน้มตัวไปด้านหน้า

ผู้เข้าร่วมการทดลองถูกบันทึกตำแหน่งการเคลื่อนไหวที่ด้วยระบบบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยภาพ OptiTrack™ (NaturalPoint, Inc.) ด้วยอัตรา 30 เฟรมต่อวินาทีโดยได้ติดลูกบอลวางแสงไว้ที่

ตำแหน่งที่ต้องการ หลังจากนั้นก็ให้นำค่าตำแหน่งที่ได้จากการบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยภาพมาคำนวณองศาการโน้มตัวไปด้านหน้าเมื่อเทียบกับการยืนโดยไม่มีภาระงานตามระนาบ Sagittal ด้วยสมการ 4.1 เพื่อนำมาพล็อตกราฟระหว่างองศาการโน้มตัวไปด้านหน้าเมื่อเทียบกับการยืนโดยไม่มีภาระงานตามระนาบ Sagittal (ดีกรี) และเวลา (วินาที) เพื่อหาเส้นแนวโน้ม (Trend Line) และค่าความชันของเส้นแนวโน้มดังกล่าว แสดงได้ดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4

$$\theta = \arctan \frac{Z_{L5S1} - Z_{shoulder}}{Y_{shoulder} - Y_{L5S1}}$$

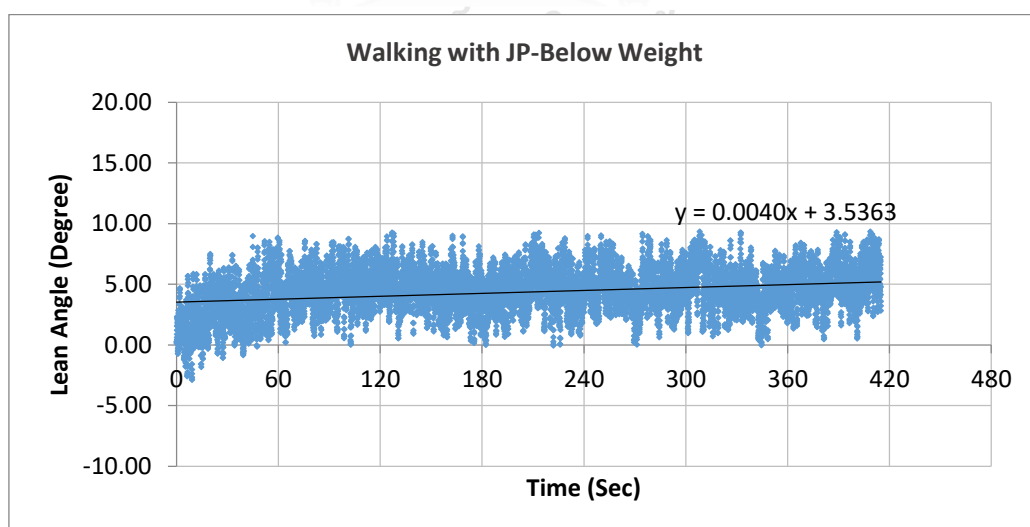
เมื่อ θ คือ องศาการโน้มตัวไปด้านหน้าเมื่อเทียบกับการยืนโดยไม่มีภาระงานตามระนาบ Sagittal (ดีกรี)

Z_{L5S1} คือ ตำแหน่งของ L5S1 ในแนวแกน Z ที่กำหนดไว้ในระบบบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยภาพ OptiTrack™ (เซนติเมตร)

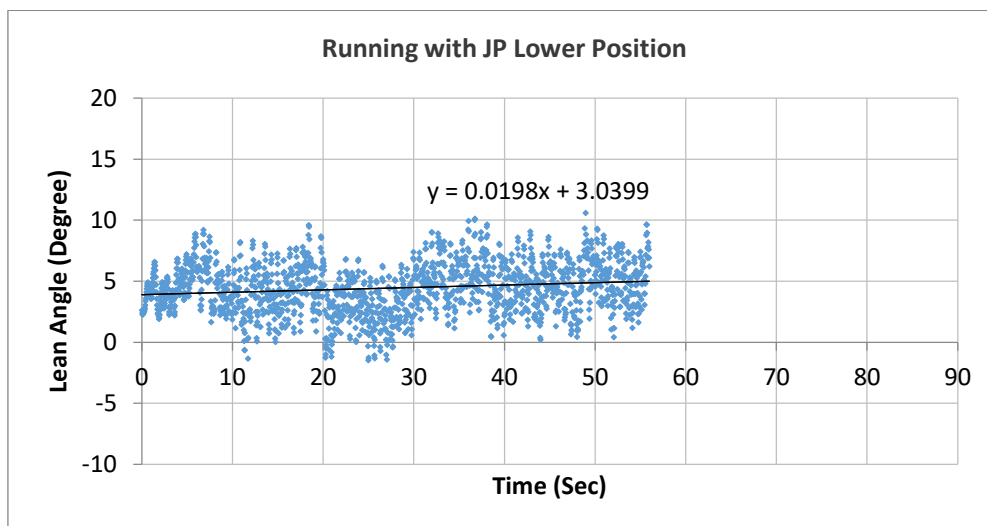
$Z_{shoulder}$ คือ ตำแหน่งของหัวไหล่ในแนวแกน Z ที่กำหนดไว้ในระบบบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยภาพ OptiTrack™ (เซนติเมตร)

Y_{L5S1} คือ ตำแหน่งของ L5S1 ในแนวแกน Y ที่กำหนดไว้ในระบบบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยภาพ OptiTrack™ (เซนติเมตร)

$Y_{shoulder}$ คือ ตำแหน่งของหัวไหล่ในแนวแกน Y ที่กำหนดไว้ในระบบบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยภาพ OptiTrack™ (เซนติเมตร)



รูปที่ 4.3 องศาการโน้มตัวไปด้านหน้าเมื่อเทียบกับการยืนโดยไม่มีภาระงานตามระนาบ Sagittal ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะเดินเมื่อสะพานกระเป๋านักเรียนญี่ปุ่นและจัดเรียงสิ่งของให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ที่ตำแหน่งด้านล่าง



รูปที่ 4.4 องศาการโน้มตัวไปด้านหน้าเมื่อเทียบกับการยืนโดยไม่มีภาระงานตามระนาบ Sagittal ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะวิ่งเมื่อสะพานกระเป๋านักเรียนญี่ปุ่นและจัดเรียงสิ่งของให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ที่ตำแหน่งด้านล่าง

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 เป็นผลการเก็บข้อมูลองศาการโน้มตัวไปด้านหน้าเมื่อเทียบกับการยืนโดยไม่มีภาระงานตามระนาบ Sagittal ขณะสะพานกระเป๋านักเรียนญี่ปุ่นและจัดเรียงสิ่งของให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ที่ตำแหน่งด้านล่างของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเส้นแนวโน้มมีความชันเป็นบวก อาจหมายความว่าเมื่อสะพานกระเป๋าดังกล่าวทำให้ท่าทางของร่างกายที่นอนบนเปลี่ยนแปลงไป โดยจะมีลักษณะโน้มตัวไปด้านหน้ามากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ทั้งขณะเดินและวิ่งของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 มีพฤติกรรมที่เป็นไปในแนวทางเดียวกัน โดยเส้นแนวโน้ม (Trend Line) ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ทุกเงื่อนไขการทดลองแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.4 และ 4.5

ตารางที่ 4.4 สมการเส้นแนวโน้มของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะเดินในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

Condition		Slop (degree/sec)	Y-Intercept (degree)
JP	Below	0.0040	3.5363
	Above	0.0028	6.2013
FB	Below	0.0030	4.7080

Condition		Slop (degree/sec)	Y-Intercept (degree)
	Above	0.0006	3.2410
EG	Below	0.0068	2.9137
	Above	0.0036	1.8024

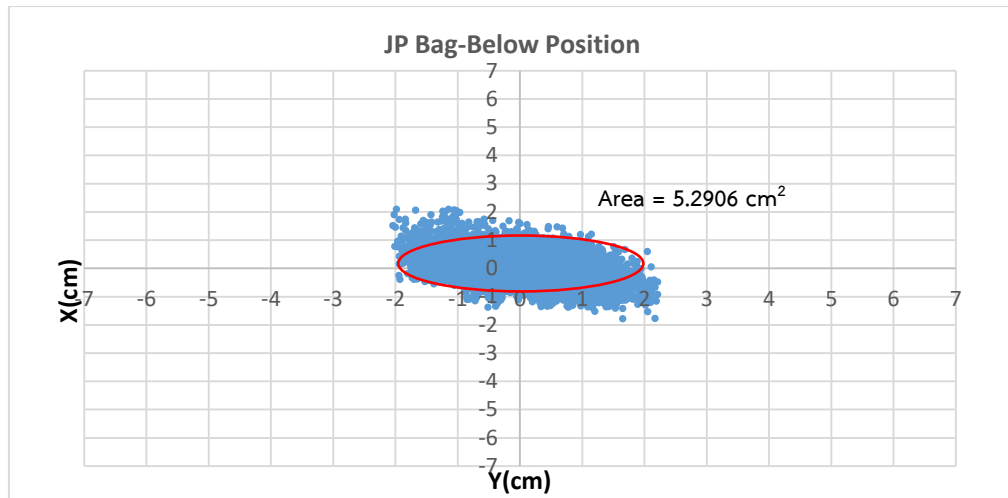
ตารางที่ 4.5 สมการเส้นแนวโน้มของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะวิ่งในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

Condition		Slop (degree/sec)	Y-Intercept (degree)
JP	Below	0.0198	3.0399
	Above	0.0724	4.69
FB	Below	0.0111	3.0887
	Above	0.0433	3.3963
EG	Below	0.0517	3.5389
	Above	0.0508	3.8296

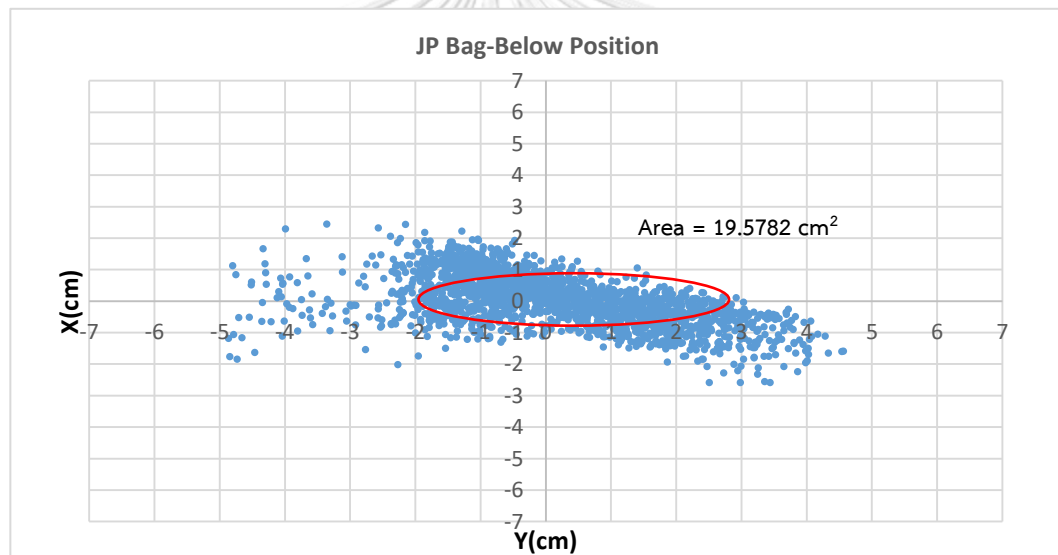
จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 จะเห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลองศาการโน้มตัวไปด้านหน้าเมื่อเทียบกับการยืนโดยไม่มีภาระงานตามระนาบ Sagittal ของแต่ละกิจกรรมมีความแตกต่างกัน จากข้อมูลข้างต้นของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 ราย จะถูกนำไปทดสอบสมมติฐานในหัวข้อถัดไป

4.3 ข้อมูลตำแหน่งการแกว่งของกระดูกสันหลังเมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลางลำตัว และพื้นที่การแกว่งของกระดูกสันหลัง

ผู้เข้าร่วมการทดลองถูกบันทึกตำแหน่งการเคลื่อนที่ด้วยระบบบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยภาพ OptiTrack™ (NaturalPoint, Inc.) ด้วยอัตรา 30 เฟรมต่อวินาทีโดยได้ติดลูกบอลวางแสงไว้ที่ตำแหน่งที่ต้องการ หลังจากนั้นจะนำค่าตำแหน่งที่ได้จากการบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยภาพมาคำนวณตำแหน่งของกระดูกสันหลังที่เปลี่ยนแปลงไปโดยเทียบกับจุดศูนย์กลางลำตัวทั้งในแนวแกน X และแกน Y เพื่อนำมาพล็อตกราฟระหว่างตำแหน่งของกระดูกสันหลังที่เปลี่ยนแปลงไปโดยเทียบกับจุดศูนย์กลางลำตัว (เซนติเมตร) ในแนวแกน X และ Y ในระนาบ Frontal เพื่อหาพื้นที่การแกว่งของกระดูกสันหลังตามวิธีของ Gagey แสดงได้ดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 พื้นที่การแกว่งของกระเป๋าตามระนาบ Frontal ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะเดิน เมื่อสะพายกระเป๋านักเรียนญี่ปุ่นและจัดเรียงสิ่งของให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ที่ตำแหน่งด้านล่าง



รูปที่ 4.6 พื้นที่การแกว่งของกระเป๋าตามระนาบ Frontal ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะวิ่ง เมื่อสะพายกระเป๋านักเรียนญี่ปุ่นและจัดเรียงสิ่งของให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ที่ตำแหน่งด้านล่าง

สำหรับพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าตามระนาบ Frontal ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ทุกเงื่อนไขการทดลอง แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.6 และ 4.7

ตารางที่ 4.6 พื้นที่การแกว่งของกระเป๋าทามระนาบ Frontal ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะเดินในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

Condition		GG'	PP'	Area (cm ²)
JP	Below	1.6032	1.0504	5.2906
	Above	1.5239	1.2318	5.8970
FB	Below	1.3454	1.2700	5.5681
	Above	1.4753	1.3153	6.0961
EG	Below	1.3986	1.1620	5.1056
	Above	1.4724	1.2448	5.7581

ตารางที่ 4.7 พื้นที่การแกว่งของกระเป๋าทามระนาบ Frontal ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ขณะวิ่งในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

Condition		GG'	PP'	Area (cm ²)
JP	Below	3.6163	1.7233	19.5782
	Above	4.7238	2.0541	30.4834
FB	Below	4.4402	1.8768	22.1809
	Above	5.3696	2.4637	41.5605
EG	Below	2.9288	1.5917	20.6451
	Above	4.4800	1.9243	27.0830

จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 พื้นที่การแกว่งของกระเป๋าทามระนาบ Frontal ของแต่ละกิจกรรมมีความแตกต่างกัน จากข้อมูลข้างต้นของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 ราย จะถูกนำไปทดสอบสมมติฐานในหัวข้อถัดไป

ทั้งนี้สำหรับข้อมูลตัวชี้วัดทั้ง 3 ประเภท ของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 ราย ของทุกเงื่อนไขการทดลอง แสดงได้ดังตารางที่ 4.8 และ 4.9

ตารางที่ 4.8 ผลการเก็บข้อมูลของตัวชี้วัดทั้ง 3 ประเภทของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 รายในขณะเดินที่ 8 รายในขณะเดิน

Condition / Result	1 st Participant			2 nd Participant			3 rd Participant		
	EE (Kcal/min)	Slop (°/Sec)	Sway Area (cm ²)	EE (Kcal/min)	Slop (°/Sec)	Sway Area (cm ²)	EE (Kcal/min)	Slop (°/Sec)	Sway Area (cm ²)
Japanese Lower	5.8557	0.0040	5.2906	4.3759	0.0002	5.2018	8.3575	0.0146	4.8268
Style Upper	6.1098	0.0028	5.8970	4.4937	-0.0019	7.0820	8.6213	0.0038	13.7900
General Lower	5.9467	0.0030	5.5681	4.4231	0.0007	6.5019	8.3879	0.0085	9.5836
Fabric Upper	6.1187	0.0006	6.0961	4.6645	-0.0038	9.5103	8.6863	0.0052	14.0660
Ergonomics Lower	5.6872	0.0068	5.1056	3.7802	0.0005	5.1763	7.2310	0.0061	4.5472
Style Upper	5.9730	0.0036	5.7581	4.4623	-0.0058	6.6672	8.4426	0.0051	13.0379

ตารางที่ 4.8 ผลการเก็บข้อมูลของตัวชี้วัดทั้ง 3 ประเภทของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 รายในขณะเดิน

Condition / Result	4 th Participant			5 th Participant			6 th Participant		
	EE (Kcal/min)	Slop (°/Sec)	Sway Area (cm ²)	EE (Kcal/min)	Slop (°/Sec)	Sway Area (cm ²)	EE (Kcal/min)	Slop (°/Sec)	Sway Area (cm ²)
Japanese Lower	6.8242	0.0022	8.3662	8.7567	0.0071	9.1664	7.8208	0.0026	6.6716
Style Upper	7.0181	0.0063	10.8067	8.5906	0.0009	8.5888	8.5963	-0.0010	7.4718
General Lower	6.9245	0.0058	9.8316	9.0480	0.0096	9.4156	8.5469	0.0020	7.2228
Fabric Upper	7.0831	0.0056	16.6992	9.3211	0.0010	11.3114	8.8929	-0.0049	9.0359
Ergonomics Lower	6.8644	0.0106	8.9349	7.9747	0.0066	4.0785	8.4370	0.0030	6.9534
Style Upper	7.0398	0.0011	11.6041	8.4504	0.0061	4.8980	8.6278	-0.0009	8.9270

ตารางที่ 4.8 ผลการเก็บข้อมูลของตัวชี้วัดทั้ง 3 ประเภทของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 รายในขณะเดิน

Condition / Result	7 th Participant			8 th Participant		
	EE (Kcal/min)	Slop (°/Sec)	Sway Area (cm ²)	EE (Kcal/min)	Slop (°/Sec)	Sway Area (cm ²)
Japanese Lower	8.7690	0.0080	5.7361	9.5368	0.0022	11.4371
Japanese Upper	9.9768	0.0040	7.4525	11.3672	-0.0034	18.4127
General Lower	9.9706	0.0081	6.1572	10.8773	0.0033	13.2196
General Upper	10.6202	0.0035	8.6457	11.8398	-0.0072	21.0465
Ergonomics Lower	9.4690	0.0095	5.9468	8.5485	0.0132	10.2237
Ergonomics Upper	10.3484	0.0094	8.0206	11.1806	-0.0059	16.0823

ตารางที่ 4.9 ผลการเก็บข้อมูลของตัวชี้วัดทั้ง 3 ประเภทของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 รายในขณะวิ่ง

Condition / Result	1 st Participant			2 nd Participant			3 rd Participant		
	EE (Kcal/min)	Slop (°/Sec)	Sway Area (cm2)	EE (Kcal/min)	Slop (°/Sec)	Sway Area (cm2)	EE (Kcal/min)	Slop (°/Sec)	Sway Area (cm2)
Japanese Lower	5.9306	0.0198	19.5782	4.5414	0.0052	5.0878	8.3325	0.0686	22.6086
Style Upper	6.0774	0.0724	30.4834	4.7880	0.1087	13.5476	8.7292	0.0774	30.4728
General Lower	6.0181	0.0111	22.1809	4.5843	0.0184	10.0778	8.3644	0.0442	30.7095
Fabric Upper	6.1920	0.0433	41.5605	4.9014	0.0578	26.0930	8.7520	0.1025	40.8402
Ergonomics Lower	5.8685	0.0517	20.6451	4.4434	0.0012	5.6960	7.3549	0.0355	18.9644
Style Upper	6.0647	0.0508	27.0830	4.7364	0.0024	11.6573	8.6909	0.0455	20.2770

ตารางที่ 4.9 ผลการเก็บข้อมูลของตัวชี้วัดทั้ง 3 ประเภทของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 รายในขณะวิ่ง

Condition / Result	4 th Participant			5 th Participant			6 th Participant		
	EE (Kcal/min)	Slop (°/Sec)	Sway Area (cm ²)	EE (Kcal/min)	Slop (°/Sec)	Sway Area (cm ²)	EE (Kcal/min)	Slop (°/Sec)	Sway Area (cm ²)
Japanese Lower	6.8761	0.0265	20.1967	8.2646	0.0352	21.1030	7.9678	0.0125	12.1809
Style Upper	7.2311	0.0454	19.9689	8.8048	0.0480	28.5216	8.9268	0.0414	30.2982
General Lower	7.1448	0.0511	20.7973	8.5728	0.0239	27.4278	8.5166	0.0157	29.7114
Fabric Upper	7.8261	0.0540	27.0887	9.3793	0.0616	30.7523	9.2614	0.0224	45.0078
Ergonomics Lower	6.8624	0.0226	20.9844	7.9892	0.0199	20.9204	8.4215	0.0126	12.7317
Style Upper	7.7027	0.0455	20.8333	8.7818	0.0705	30.8823	8.9314	0.0168	16.6411

ตารางที่ 4.9 ผลการเก็บข้อมูลของตัวชี้วัดทั้ง 3 ประเภทของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 รายในขณะวิ่ง

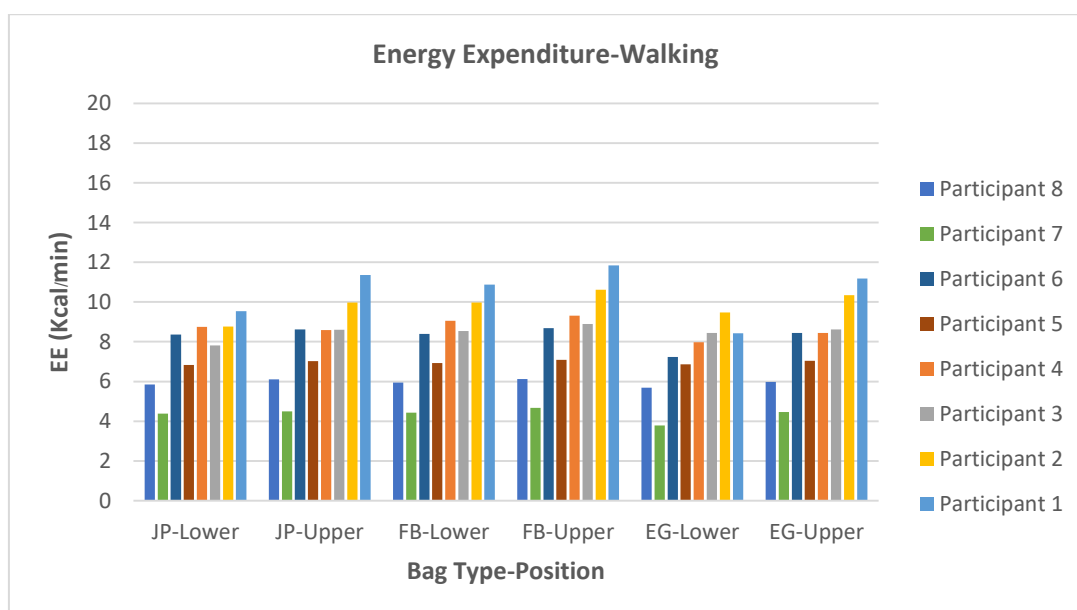
Condition / Result	7 th Participant			8 th Participant		
	EE (Kcal/min)	Slop (°/Sec)	Sway Area (cm ²)	EE (Kcal/min)	Slop (°/Sec)	Sway Area (cm ²)
Japanese Style	Lower	9.9509	0.0337	19.4371	12.9307	13.7530
	Upper	10.5600	0.0349	30.4127	14.7120	30.6177
General Fabric	Lower	10.1072	0.1344	15.2196	13.6528	14.8176
	Upper	11.1219	0.0415	22.7096	15.0717	28.1915
Ergonomics Style	Lower	9.1836	0.0390	10.2237	11.5343	11.9080
	Upper	10.2327	0.0745	34.0823	14.5421	32.4155

4.4 วิเคราะห์ตัวชี้วัดอัตราการใช้พลังงาน

4.4.1 การวิเคราะห์ตัวชี้วัดอัตราการใช้พลังงานขณะเดิน

4.4.1.1 การทดสอบการแจกแจงปกติ ความแปรปรวน และความเป็นอิสระของข้อมูล

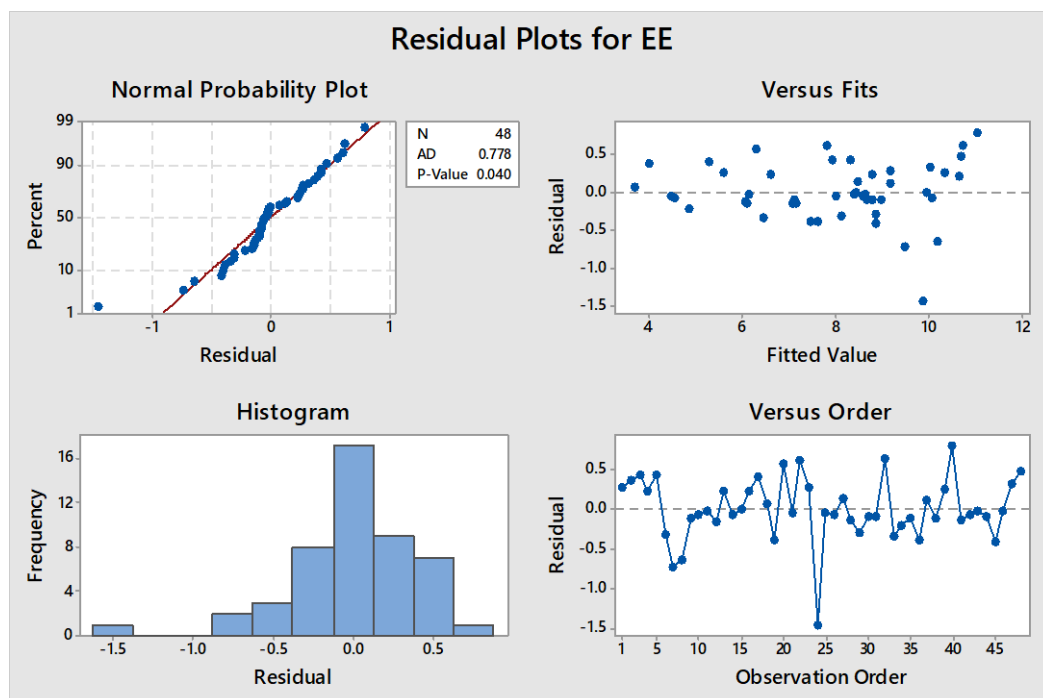
ข้อมูลอัตราการใช้พลังงานขณะเดินที่เก็บได้จากผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 คน ของทุกเงื่อนไขการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ข้อมูลอัตราการใช้พลังงานขณะเดินของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

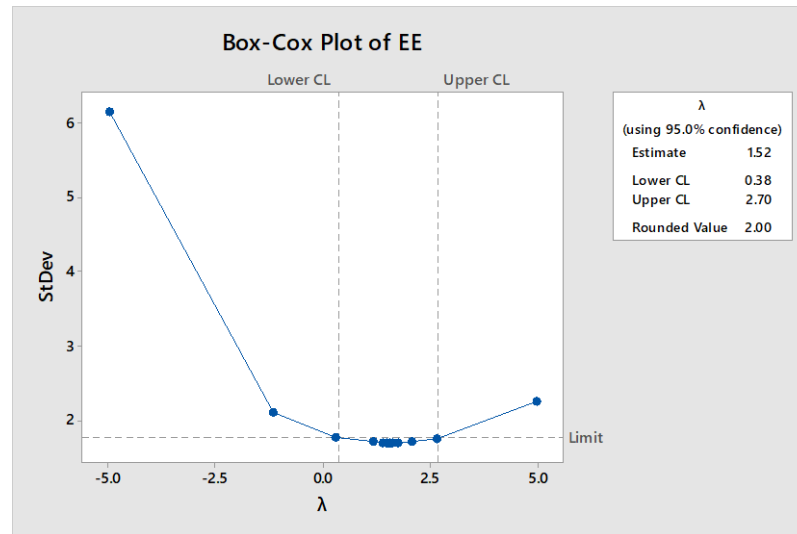
จากภาพที่ 4.7 พิจารณาข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนจะเห็นว่า ข้อมูลอัตราการใช้พลังงานขณะเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองนั้นมีลักษณะเป็นกลุ่ม ดังนั้นจึงไม่ตัดข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองออก

ผลการทดลองดังกล่าวถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบลักษณะการแจกแจงอย่างเป็นอิสระกันและเป็นแบบปกติ ด้วยความแปรปรวนเท่ากันของข้อมูลแต่ละทรีตเมนต์หรือระดับปัจจัยโดยวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Minitab 2017 ในฟังก์ชัน Residual Plot



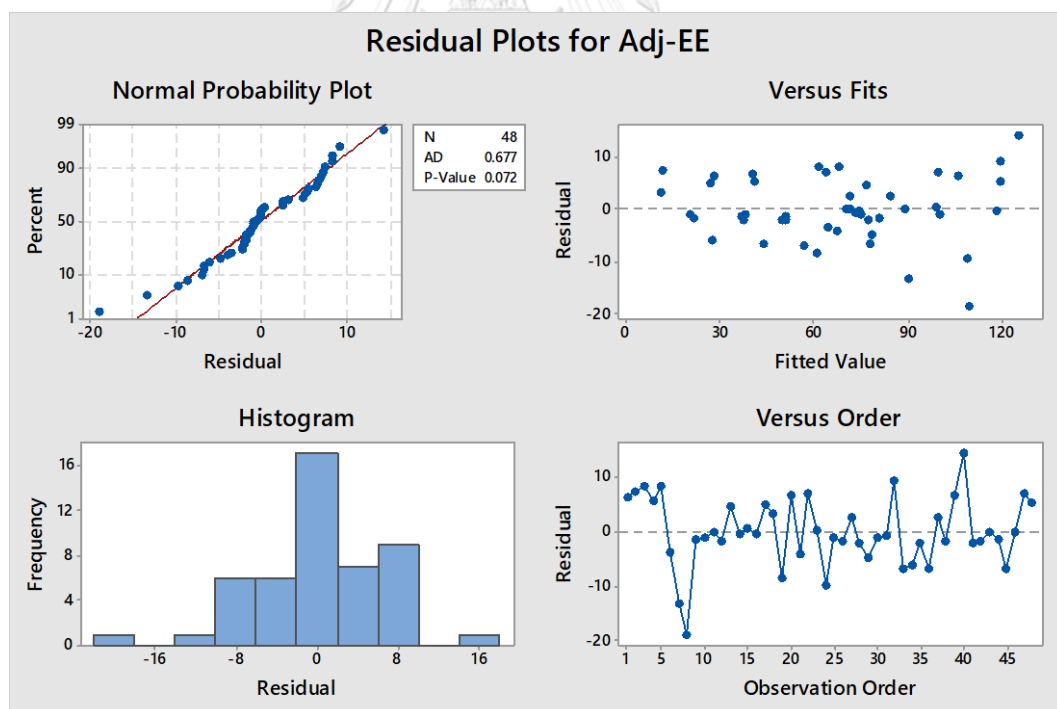
รูปที่ 4.8 Residual Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดอัตราการใช้พลังงานขณะเดินทุกเงื่อนไขการทดลอง ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 8 คน

จากการพิจารณากราฟ ในรูปที่ 4.8 พบว่า การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Assumption) จากกราฟ Normal Probability Plot ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) มีค่า P-value ของการทดสอบการแจกแจงแบบปกติเท่ากับ 0.040 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นปกติ จึงต้องแปลงข้อมูลให้มีการแจกแจงเป็นปกติก่อนนำมาวิเคราะห์ โดยใช้วิธี Box-Cox Transformation ซึ่งแปลงข้อมูลผ่านโปรแกรม Minitab 2017 ทั้งนี้ λ ที่เหมาะสมกับข้อมูลชุดนี้คือ 2.00 ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 Box-Cox Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดอัตราการใช้พลังงานขณะเดิน

เมื่อแปลงข้อมูลแล้วจึงทำ Residual Plot อีกครั้งเพื่อวิเคราะห์ค่าคงเหลือและตรวจสอบตัวแบบดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 Residual Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดอัตราการใช้พลังงานขณะเดินทุกเงื่อนไขการทดลอง ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 8 คน (ที่ได้ปรับปรุงข้อมูลแล้ว)

จากการพิจารณารูปในรูปที่ 4.10 หลังจากการเปลี่ยนแปลงข้อมูล สามารถสรุปผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองได้ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Assumption) จากกราฟ Normal Probability Plot แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) ที่จัดเรียงตัวอยู่ตามแนวเส้นตรงและมีค่า P-value ของการทดสอบการแจกแจงแบบปกติเท่ากับ 0.072 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ
2. การทดสอบสมมติฐานของค่าความแปรปรวนคงที่ (Variance Stability) จากกราฟ Residual Versus Fitted Value แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างรอบแนวแกนศูนย์และข้อมูลไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้มหรือรูปแบบที่คล้ายกรวยปากเปิด จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีค่าความแปรปรวนคงที่
3. จากกราฟ Histogram แสดงให้เห็นถึงลักษณะการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่มีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ
4. การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของข้อมูล (Independence of Residual) จากกราฟ Residual Versus Observation Order แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่ไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้มหรือรูปร่างที่แน่นอน จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลชุดนี้เพื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติต่อไป

4.4.1.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติระหว่างปัจจัยและอัตราการใช้พลังงานขณะเดิน

จากข้อมูลในข้อ 4.4.1.1 นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิธี RCBD Two Factors ANOVA เพื่อศึกษาผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวชี้วัด ได้แก่ ลักษณะของกระเป่าสะพายหลัง และวิธีการจัดเรียงสิ่งของตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.11

Factor Information					
Factor	Type	Levels	Values		
Subject-W	Fixed	8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8		
Bag	Fixed	3	EG, FB, JP		
Posiiton	Fixed	2	Above, Below		
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Subject-W	7	40400.1	5771.44	68.70	0.000
Bag	2	804.5	402.23	4.79	0.015
Posiiton	1	1331.0	1330.96	15.84	0.000
Bag*Posiiton	2	95.0	47.51	0.57	0.573
Error	35	2940.4	84.01		
Total	47	45570.9			

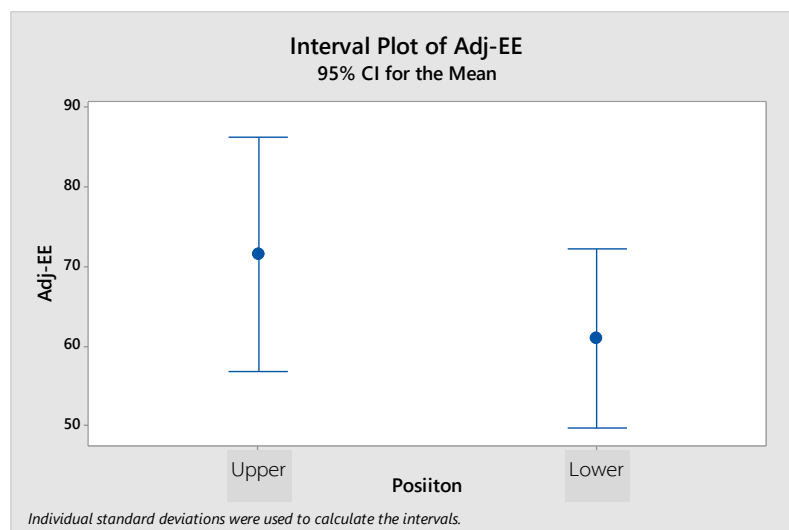
รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าอัตราการใช้พลังงานขณะเดิน

จากการวิเคราะห์ RCBD Two Factors ANOVA เพื่อพิจารณาปัจจัยหลักและอันตรกิริยา 2 ทาง ที่มีอิทธิพลต่ออัตราการใช้พลังงานขณะเดินของผู้เข้าร่วมการทดลอง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยดูจากค่า P-Value ที่ต่ำกว่า 0.05 พบว่า

- ลักษณะของกระเป๋าสะพายหลังที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยอัตราการใช้พลังงานขณะเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองแตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่า $p\text{-value} = 0.015$

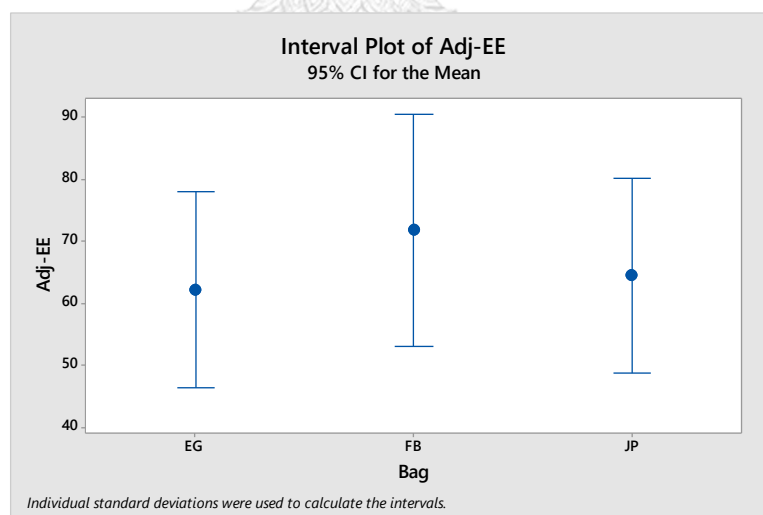
- วิธีการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยอัตราการใช้พลังงานขณะเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองแตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่า $p\text{-value} < 0.005$

- อันตรกิริยา 2 ทางที่เกิดจากลักษณะของกระเป๋าสะพายหลังและการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันไม่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยอัตราการใช้พลังงานขณะเดินของผู้เข้าร่วมการทดลอง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่า $p\text{-value} = 0.573$



รูปที่ 4.12 Interval Plot ของข้อมูลอัตราการใช้พลังงานขณะเดินของทุกเงื่อนไขการทดลอง ที่แสดงผลจากปัจจัยด้านการจัดเรียงสิ่งของ

จากแผนภาพช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ย (Interval Plot) รูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันมีอิทธิพลทำให้อัตราการใช้พลังงานขณะเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองเปลี่ยนไป โดยการจัดเรียงกระเป๋าโดยให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ด้านล่างทำให้มีอัตราการใช้พลังงานขณะเดินที่ต่ำกว่าการจัดเรียงกระเป๋าโดยให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ด้านบน

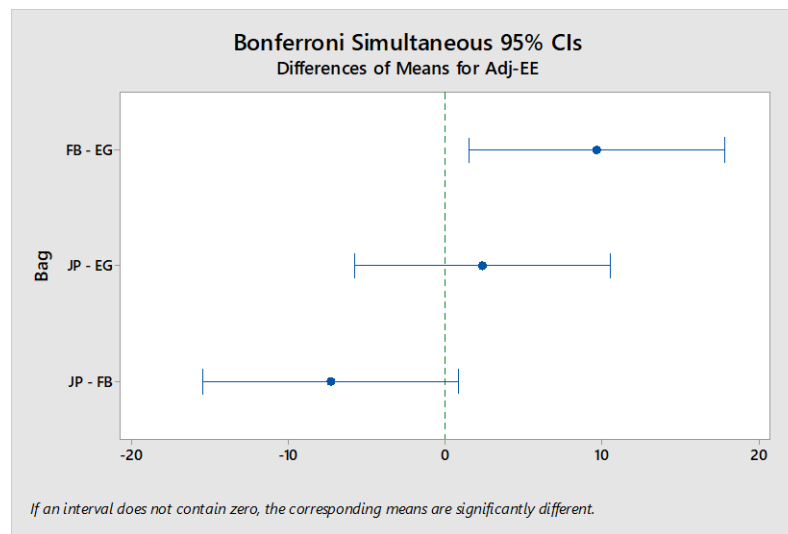


รูปที่ 4.13 Interval Plot ของข้อมูลอัตราการใช้พลังงานขณะเดินของทุกเงื่อนไขการทดลอง ที่แสดงผลจากปัจจัยลักษณะกระเป๋า

จากแผนภาพช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยรูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าลักษณะกระเป๋าที่แตกต่างกันมีอิทธิพลทำให้อัตราการใช้พลังงานขณะเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองเปลี่ยนไป โดยประเภทของกระเป๋าผ้าเมื่อใช้แล้วทำให้เกิดอัตราการใช้พลังงานขณะเดินที่

มากกว่ากระเป๋าญี่ปุ่นที่อัตราการใช้พลังงานขณะเดินอยู่ในระดับรองลงมา ในขณะที่กระเป๋าเออร์โกโนมิกส์เมื่อใช้แล้วทำให้อัตราการใช้พลังงานขณะเดินอยู่ในระดับที่ต่ำกว่ากระเป๋าทั้ง 2 รูปแบบข้างต้น

ดังนั้นจึงวิเคราะห์เพิ่มเติมโดยทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ (Post hoc test) โดยใช้วิธีของ Bonferroni Test เพื่อศึกษาพฤติกรรมในแต่ละระดับปัจจัยโดยสังเกตจากการซ้อนทับกันของคู่ความเชื่อมั่นและการจัดกลุ่มดังรูปที่ 4.14



Bonferroni Simultaneous Tests for Differences of Means

Difference of Bag Levels	Difference of Means	SE of Difference	Simultaneous 95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
FB - EG	6.39	2.17	(0.93, 11.85)	2.94	0.017
JP - EG	1.90	2.17	(-3.57, 7.36)	0.87	1.000
JP - FB	-4.49	2.17	(-9.96, 0.97)	-2.07	0.138

Individual confidence level = 98.33%

Bonferroni Pairwise Comparisons: Response = Adj-EE, Term = Bag

Grouping Information Using the Bonferroni Method and 95% Confidence

Bag	N	Mean	Grouping
FB	16	71.8519	A
JP	16	64.5683	A B
EG	16	62.2410	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Bonferroni Simultaneous 95% CIs

รูปที่ 4.14 Bonferroni Test ของปัจจัยลักษณะของกระเป๋า

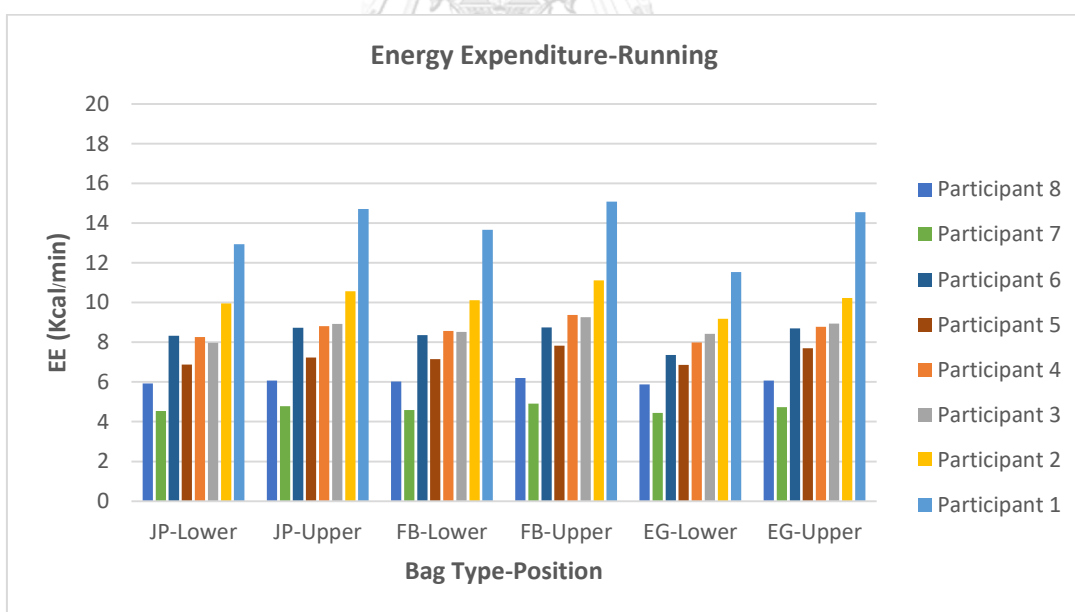
จากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณตามวิธีของ Bonferroni Test ดังรูปที่ 4.14 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบลักษณะของกระเป๋า rayco โดยใช้ค่าเฉลี่ยอัตราการใช้พลังงานขณะเดิน ให้ผลดังนี้

- กระเป๋าญี่ปุ่นและกระเป๋าเออร์โกโนมิกส์ ให้ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะเดินที่ไม่แตกต่างกัน
- กระเป๋าญี่ปุ่นกับกระเป๋าผ้า ให้ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะเดินที่ไม่แตกต่างกัน
- กระเป๋าผ้ากับกระเป๋าเออร์โกโนมิกส์ ให้ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะเดินที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยมีค่า $p\text{-value} = 0.017$

4.4.2 การวิเคราะห์ตัวชี้วัดอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่ง

4.4.2.1 การทดสอบการแจกแจงปกติ ความแปรปรวน และความเป็นอิสระของข้อมูล

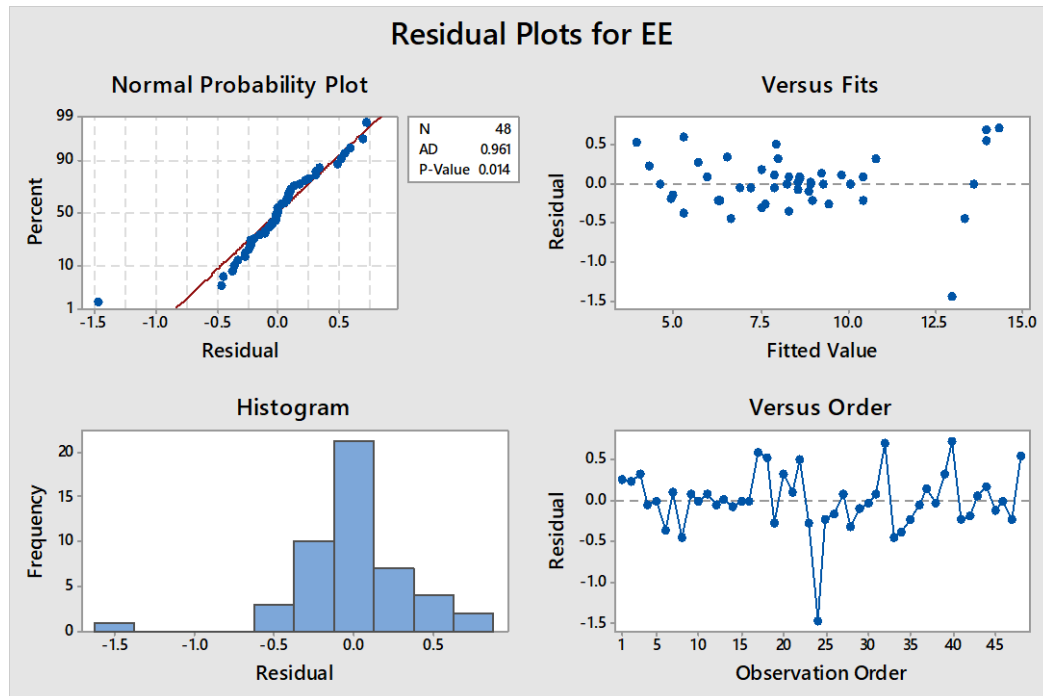
ข้อมูลอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่งที่เก็บได้จากผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 คน ของทุกเงื่อนไขการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ข้อมูลอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่งของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

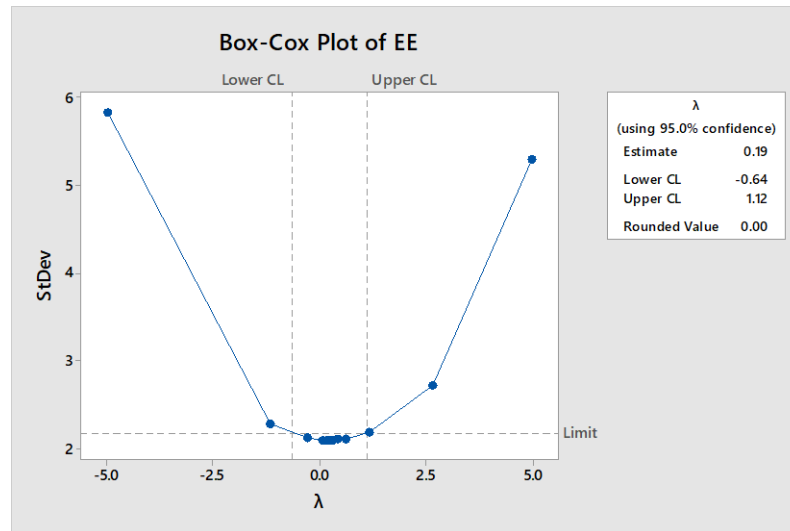
จากรูปที่ 4.15 พิจารณาข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนจะเห็นว่าข้อมูลอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่งของผู้เข้าร่วมการทดลองนั้นมีลักษณะเป็นกลุ่ม ดังนั้นจึงไม่ตัดข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองออก

ผลการทดลองดังกล่าวถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบลักษณะการแจกแจงอย่างเป็นอิสระกันและเป็นแบบปกติ ด้วยความแปรปรวนเท่ากันของข้อมูลแต่ละทรีตเมนต์หรือระดับปัจจัยโดยวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Minitab 2017 ในฟังก์ชัน Residual Plot



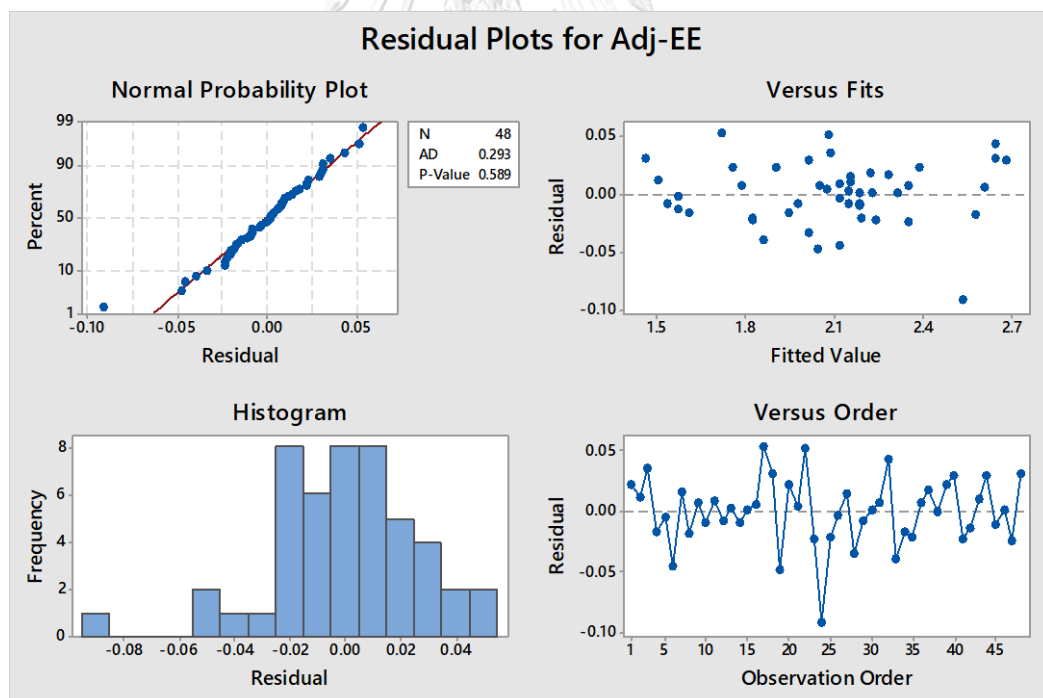
รูปที่ 4.16 Residual Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่งทุกเงื่อนไขการทดลอง ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 8 คน

จากการพิจารณากราฟ ในรูปที่ 4.16 พบว่า การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Assumption) จากกราฟ Normal Probability Plot ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างมีค่า P-value ของการทดสอบการแจกแจงแบบปกติเท่ากับ 0.014 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นปกติ จึงต้องแปลงข้อมูลให้มีการแจกแจงเป็นปกติก่อนนำมาวิเคราะห์ โดยใช้วิธี Box-Cox Transformation ซึ่งแปลงข้อมูลผ่านโปรแกรม Minitab 2017 ทั้งนี้ λ ที่เหมาะสมกับข้อมูลชุดนี้คือ 0.00 ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 Box-Cox Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่ง

เมื่อแปลงข้อมูลแล้วจึงทำ Residual Plot อีกครั้งเพื่อวิเคราะห์ค่าคงเหลือและตรวจสอบตัวแบบดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 Residual Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่งทุกเงื่อนไขการทดลอง ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 8 คน (ที่ได้ปรับปรุงข้อมูลแล้ว)

จากการพิจารณากราฟในรูปที่ 4.18 หลังจากการเปลี่ยนแปลงข้อมูล สามารถสรุปผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองได้ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Assumption) จากกราฟ Normal Probability Plot แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) ที่จัดเรียงตัวอยู่ตามแนวเส้นตรงและมีค่า P-value ของการทดสอบการแจกแจงแบบปกติเท่ากับ 0.589 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ
2. การทดสอบสมมติฐานของค่าความแปรปรวนคงที่ (Variance Stability) จากกราฟ Residual Versus Fitted Value แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างรอบแนวแกนศูนย์และข้อมูลไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้มหรือรูปแบบที่คล้ายกรวยปากเปิด จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีค่าความแปรปรวนคงที่
3. จากกราฟ Histogram แสดงให้เห็นถึงลักษณะการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่มีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ
4. การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของข้อมูล (Independence of Residual) จากกราฟ Residual Versus Observation Order แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่ไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้มหรือรูปร่างที่แน่นอน จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลชุดนี้เพื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติต่อไป

4.4.2.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติระหว่างปัจจัยและอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่ง

จากข้อมูลในข้อ 4.4.2.1 นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิธี RCBD Two Factors ANOVA เพื่อศึกษาผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวชี้วัด ได้แก่ ลักษณะของกระเปาะสะพายหลัง และ วิธีการจัดเรียงสิ่งของตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.19

Factor Information						
Factor	Type	Levels	Values			
Subject-R	Fixed	8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8			
Bag	Fixed	3	EG, FB, JP			
Position	Fixed	2	Above, Below			
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Subject-R	7	4.44288	0.634697	643.44	0.000	
Bag	2	0.02414	0.012069	12.24	0.000	
Position	1	0.08434	0.084344	85.51	0.000	
Bag*Position	2	0.00393	0.001965	1.99	0.152	
Error	35	0.03452	0.000986			
Total	47	4.58982				

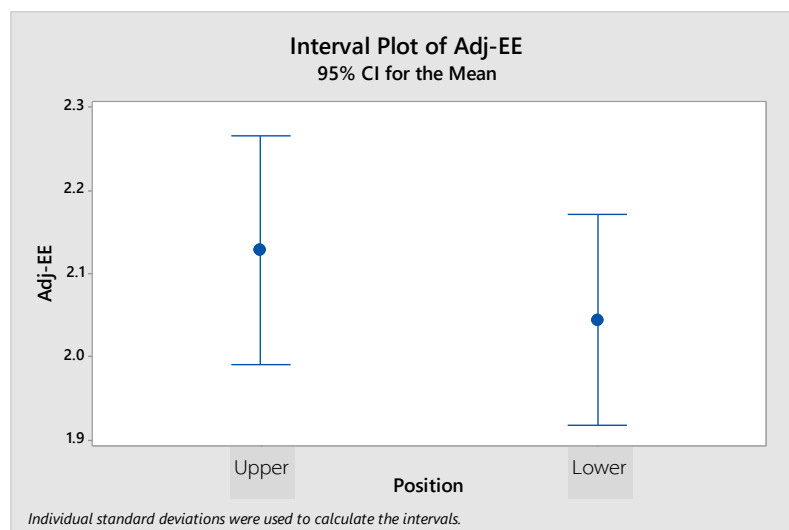
รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่ง

จากการวิเคราะห์ RCBD Two Factors ANOVA เพื่อพิจารณาปัจจัยหลักและอันตรกิริยา 2 ทาง ที่มีอิทธิพลต่ออัตราการใช้พลังงานขณะวิ่งของผู้เข้าร่วมการทดลอง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยดูจากค่า P-Value ที่ต่ำกว่า 0.05 พบว่า

- ลักษณะของกระเป๋าสะพายหลังที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่งของผู้เข้าร่วมการทดลองแตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่า $p\text{-value} < 0.005$

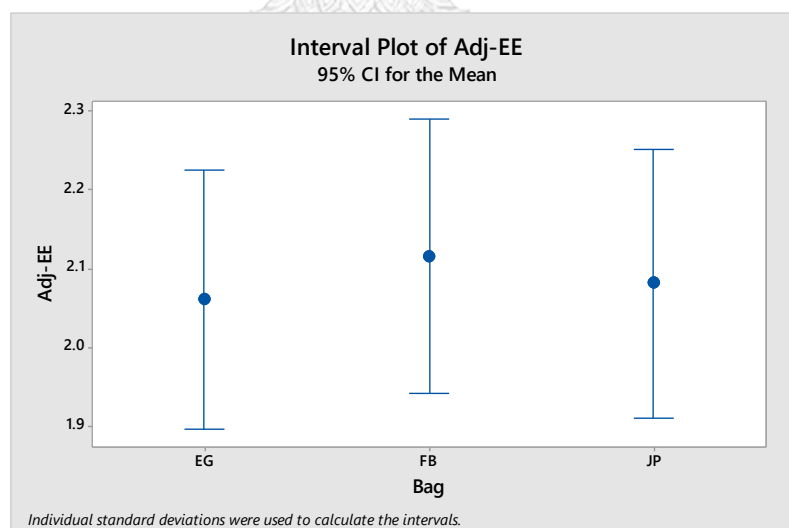
- วิธีการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่งของผู้เข้าร่วมการทดลองแตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่า $p\text{-value} < 0.005$

- อันตรกิริยา 2 ทางที่เกิดจากลักษณะของกระเป๋าสะพายหลังและการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันไม่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่งของผู้เข้าร่วมการทดลอง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่า $p\text{-value} = 0.152$



รูปที่ 4.20 Interval Plot ของข้อมูลอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่งของทุกเงื่อนไขการทดลอง ที่แสดงผลจากปัจจัยด้านการจัดเรียงสิ่งของ

จากแผนภาพช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยรูปที่ 4.20 แสดงให้เห็นว่าการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันมีอิทธิพลให้อัตราการใช้พลังงานขณะวิ่งของผู้เข้าร่วมการทดลองเปลี่ยนไป โดยการจัดเรียงกระเป๋าโดยให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ด้านล่างทำให้อัตราการใช้พลังงานขณะวิ่งที่ต่ำกว่าการจัดเรียงกระเป๋าโดยให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ด้านบน

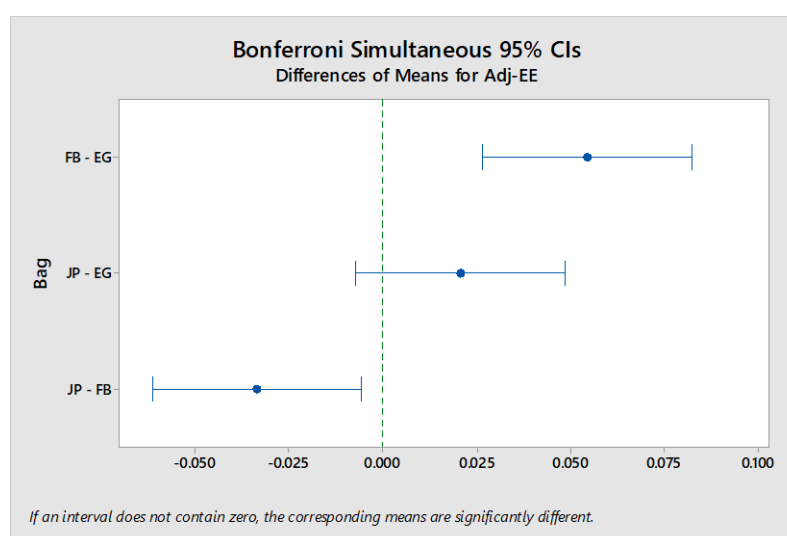


รูปที่ 4.21 Interval Plot ของข้อมูลอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่งของทุกเงื่อนไขการทดลองที่แสดงผลจากปัจจัยลักษณะกระเป๋า

จากแผนภาพช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยรูปที่ 4.21 แสดงให้เห็นว่าลักษณะกระเป๋าที่แตกต่างกันมีอิทธิพลให้อัตราการใช้พลังงานขณะวิ่งของผู้เข้าร่วมการทดลอง

เปลี่ยนไป โดยประเภทของกระเป๋าผ้าเมื่อใช้แล้วทำให้เกิดอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่งที่มากกว่ากระเป๋าญี่ปุ่นที่อัตราการใช้พลังงานขณะวิ่งอยู่ในระดับรองลงมา ในขณะที่กระเป๋าเออร์โกโนมิกส์เมื่อใช้แล้วทำให้อัตราการการใช้พลังงานขณะวิ่งอยู่ในระดับที่ต่ำกว่ากระเป๋าทั้ง 2 รูปแบบข้างต้น

ดังนั้นจึงวิเคราะห์เพิ่มเติมโดยทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณโดยใช้วิธีของ Bonferroni Test เพื่อศึกษาพฤติกรรมในแต่ละระดับปัจจัยโดยสังเกตจากการซ้อนทับกันของคู่ความเชื่อมั่นและการจัดกลุ่มดังรูปที่ 4.22



Bonferroni Simultaneous Tests for Differences of Means

Difference of Bag Levels	Difference of Means	SE of Difference	Simultaneous 95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
FB - EG	0.0544	0.0111	(0.0265, 0.0823)	4.90	0.000
JP - EG	0.0207	0.0111	(-0.0072, 0.0486)	1.87	0.211
JP - FB	-0.0337	0.0111	(-0.0616, -0.0058)	-3.03	0.014

Individual confidence level = 98.33%

Bonferroni Pairwise Comparisons: Response = Adj-EE, Term = Bag

Grouping Information Using the Bonferroni Method and 95% Confidence

Bag	N	Mean	Grouping
FB	16	2.11570	A
JP	16	2.08200	B
EG	16	2.06129	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Bonferroni Simultaneous 95% CIs

รูปที่ 4.22 Bonferroni Test ของปัจจัยลักษณะของกระเป๋า

จากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณตามวิธีของ Bonferroni Test ดังรูปที่ 4.22 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบลักษณะของกระเป๋าโดยใช้เวลาเฉลี่ยอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่ง ให้ผลดังนี้

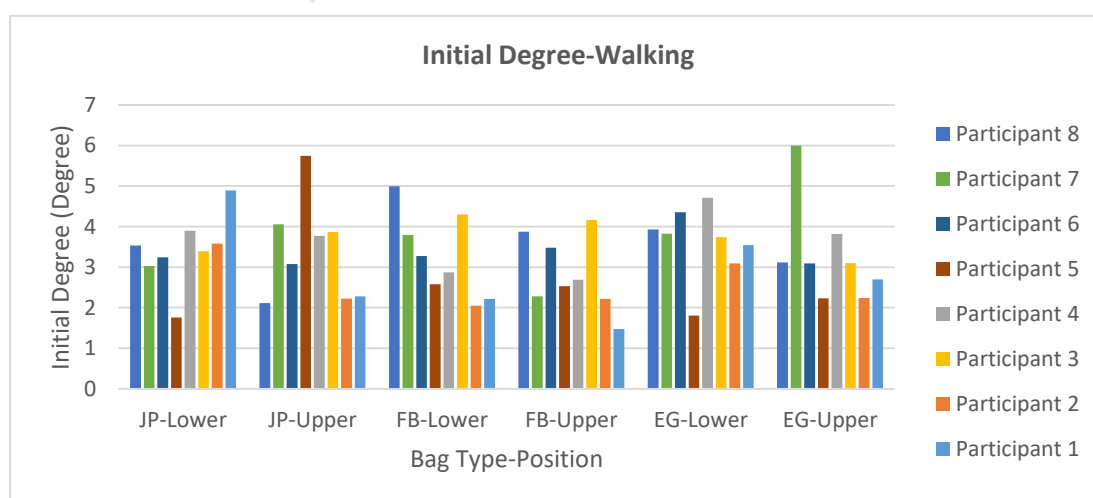
- กระเป๋าญี่ปุ่นและกระเป๋าเออร์โกโนมิกส์ ให้ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะวิ่งที่ไม่แตกต่างกัน
- กระเป๋าญี่ปุ่นกับกระเป๋าผ้า ให้ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะวิ่งที่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยมีค่า $p\text{-value} = 0.014$
- กระเป๋าผ้ากับกระเป๋าเออร์โกโนมิกส์ ให้ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะวิ่งที่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยมีค่า $p\text{-value} < 0.005$

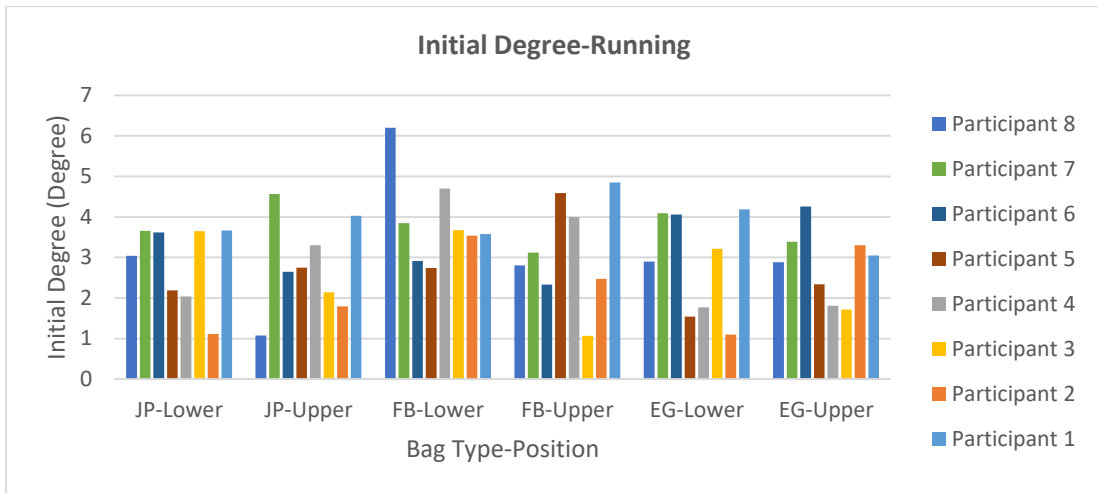
4.5 การวิเคราะห์ตัวชี้วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้า

4.5.1 การวิเคราะห์ค่าเริ่มต้นของการโน้มตัวไปด้านหน้า

4.5.1.1 การทดสอบการแจกแจงปกติ ความแปรปรวน และความเป็นอิสระของข้อมูลองศาเริ่มต้นการเอียงตัวไปด้านหน้าขณะเดินและวิ่ง

เนื่องจากค่าเริ่มต้นของการเอียงตัวไปด้านหน้าส่งผลต่อการพิจารณาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัว ดังนั้นจึงต้องพิจารณาว่าค่าเริ่มต้นดังกล่าวมีความแตกต่างกันหรือไม่ ข้อมูลค่าเริ่มต้นของการเอียงตัวไปด้านหน้าที่เก็บได้จากผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 คน ของทุกเงื่อนไขการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.23

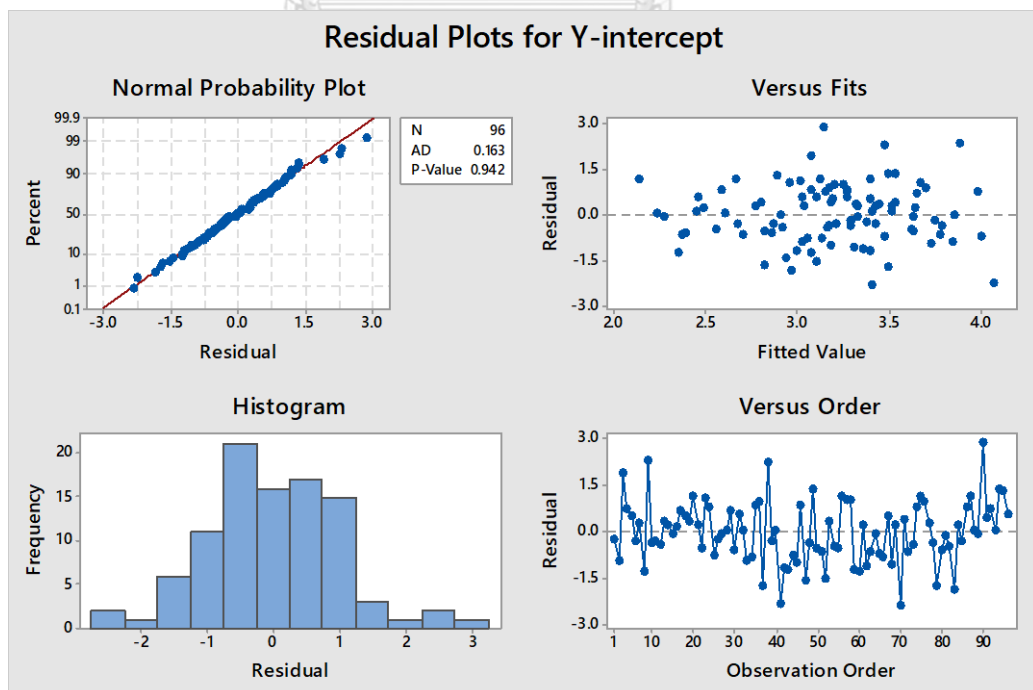




รูปที่ 4.23 ข้อมูลค่าเริ่มต้นของการเอียงตัวไปด้านหน้าของทุงเงื่อนไขการทดลอง

จากรูปที่ 4.23 พิจารณาข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนจะเห็นว่าข้อมูลค่าเริ่มต้นของการเอียงตัวไปด้านหน้าของผู้เข้าร่วมการทดลองนั้นมีลักษณะเป็นกลุ่ม ดังนั้นจึงไม่ตัดข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองออก

ผลการทดลองดังกล่าวถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบลักษณะการแจกแจงอย่างเป็นอิสระกันและเป็นแบบปกติ ด้วยความแปรปรวนเท่ากันของข้อมูลแต่ละทรีตเมนต์หรือระดับปัจจัยโดยวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Minitab 2017 ในฟังก์ชัน Residual Plot



รูปที่ 4.24 Residual Plot ของมูลค่าเริ่มต้นของการเอียงตัวไปด้านหน้าของทุงเงื่อนไขการทดลอง

จากการพิจารณากราฟในรูปที่ 4.24 สามารถสรุปผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองได้ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Assumption) จากกราฟ Normal Probability Plot แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่จัดเรียงตัวอยู่ตามแนวเส้นตรงและมีค่า P-value ของการทดสอบการแจกแจงแบบปกติเท่ากับ 0.942 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ
2. การทดสอบสมมติฐานของค่าความแปรปรวนคงที่ (Variance Stability) จากกราฟ Residual Versus Fitted Value แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างรอบแนวแกนศูนย์และข้อมูลไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้มหรือรูปแบบที่คล้ายกรวยปากเปิด จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีค่าความแปรปรวนคงที่
3. จากกราฟ Histogram แสดงให้เห็นถึงลักษณะการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่มีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ
4. การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของข้อมูล (Independence of Residual) จากกราฟ Residual Versus Observation Order แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่ไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้มหรือรูปร่างที่แน่นอน จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลชุดนี้เพื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติต่อไป

4.5.1.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติระหว่างปัจจัยและค่าเริ่มต้นของศาการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะเดิน

จากข้อมูลในข้อ 4.5.1.1 นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิธี DOE - General Full Factorial เพื่อศึกษาผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวชี้วัด ได้แก่ ลักษณะของกระเป่าสะพายหลัง วิธีการจัดเรียงสิ่งของ และกิจกรรมการเดินและวิ่ง ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.25

General Linear Model: Y-intercept versus Subject, Activity, Bag, Position

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Subject	Fixed	8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
Activity	Fixed	2	Run, Walk
Bag	Fixed	3	EG, FB, JP
Position	Fixed	2	Above, Below

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Subject	7	15.224	2.17491	1.96	0.070
Activity	1	1.085	1.08505	0.98	0.325
Bag	2	0.578	0.28921	0.26	0.771
Position	1	0.391	0.39146	0.35	0.554
Bag*Position	2	0.178	0.08914	0.08	0.923
Error	82	90.926	1.10885		
Total	95	108.384			

รูปที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าเริ่มต้นของสการโน้มน้าวไปด้านหน้า

จากการวิเคราะห์ DOE - General Full Factorial เพื่อพิจารณาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเริ่มต้นของสการโน้มน้าวไปด้านหน้าที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยดูจากค่า P-Value ที่ต่ำกว่า 0.05 พบว่า

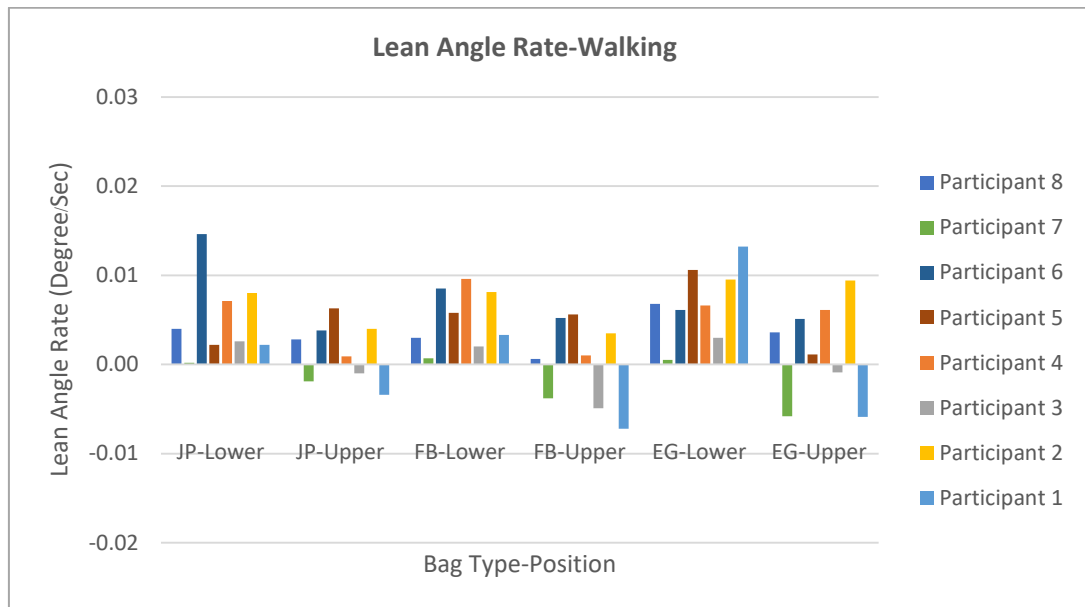
- กิจกรรมที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยค่าเริ่มต้นของสการโน้มน้าวไปด้านหน้าไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยมีค่า p-value = 0.070
- ลักษณะของกระเป๋าสะพายหลังที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยค่าเริ่มต้นของสการโน้มน้าวไปด้านหน้าไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยมีค่า p-value = 0.771
- วิธีการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยค่าเริ่มต้นของสการโน้มน้าวไปด้านหน้าไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยมีค่า p-value = 0.554
- อันตรกิริยา 2 ทางที่เกิดจากลักษณะของกระเป๋าสะพายหลังและการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันไม่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยค่าเริ่มต้นของสการโน้มน้าวไปด้านหน้าที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยมีค่า p-value = 0.923

เมื่อพบว่าทุกปัจจัยไม่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของค่าเริ่มต้นของสการโน้มน้าวไปด้านหน้า ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มน้าวไปด้านหน้าสำหรับเปรียบเทียบกันได้ จึงทำการวิเคราะห์ตัวชี้วัดดังกล่าวในลำดับต่อไป

4.5.2 การวิเคราะห์ตัวชี้วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มน้าวไปด้านหน้าขณะเดิน

4.5.2.1 การทดสอบการแจกแจงปกติ ความแปรปรวน และความเป็นอิสระของข้อมูล

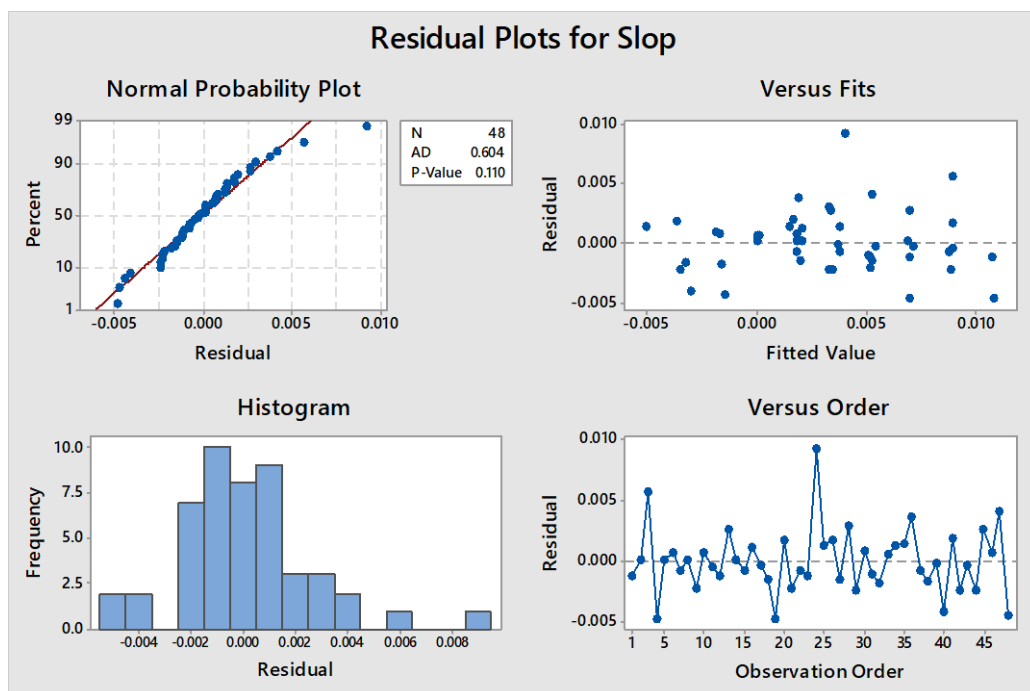
ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะเดินที่เก็บได้จากผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 คน ของทุกเงื่อนไขการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะเดินแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

จากรูปที่ 4.26 พิจารณาข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนจะเห็นว่าข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองนั้นมีลักษณะเป็นกลุ่ม ดังนั้นจึงไม่ตัดข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองออก

ผลการทดลองดังกล่าวถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบลักษณะการแจกแจงอย่างเป็นอิสระกันและเป็นแบบปกติ ด้วยความแปรปรวนเท่ากันของข้อมูลแต่ละทรีตเมนต์หรือระดับปัจจัยโดยวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Minitab 2017 ในฟังก์ชัน Residual Plot



รูปที่ 4.27 Residual Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะเดิน
ทุกเงื่อนไขการทดลอง ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 8 คน

จากการพิจารณารูปในรูปที่ 4.27 สามารถสรุปผลการตรวจสอบความถูกต้องของ
แบบจำลองได้ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Assumption) จากกราฟ Normal Probability Plot แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) ที่จัดเรียงตัวอยู่ตามแนวเส้นตรงและมีค่า P-value ของการทดสอบการแจกแจงแบบปกติเท่ากับ 0.110 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ
2. การทดสอบสมมติฐานของค่าความแปรปรวนคงที่ (Variance Stability) จากกราฟ Residual Versus Fitted Value แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างรอบแนวแกนศูนย์และข้อมูลไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้มหรือรูปแบบที่คล้ายกรวยปากเปิด จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีค่าความแปรปรวนคงที่
3. จากกราฟ Histogram แสดงให้เห็นถึงลักษณะการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่มีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ
4. การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของข้อมูล (Independence of Residual) จากกราฟ Residual Versus Observation Order แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่ไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้มหรือรูปร่างที่แน่นอน จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลชุดนี้เพื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติต่อไป

4.5.2.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติระหว่างปัจจัยและอัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะเดิน

จากข้อมูลในข้อ 4.5.2.1 นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิธี RCBD Two Factors ANOVA เพื่อศึกษาผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวชี้วัด ได้แก่ ลักษณะของกระเป่าสะพายหลัง และ วิธีการจัดเรียงสิ่งของตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.28

Factor Information					
Factor	Type	Levels	Values		
Subject-W	Fixed	8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8		
Bag	Fixed	3	EG, FB, JP		
Posiiton	Fixed	2	Above, Below		
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Subject-W	7	0.000484	0.000069	7.62	0.000
Bag	2	0.000025	0.000012	1.37	0.268
Posiiton	1	0.000271	0.000271	29.84	0.000
Bag*Posiiton	2	0.000007	0.000004	0.39	0.677
Error	35	0.000318	0.000009		
Total	47	0.001104			

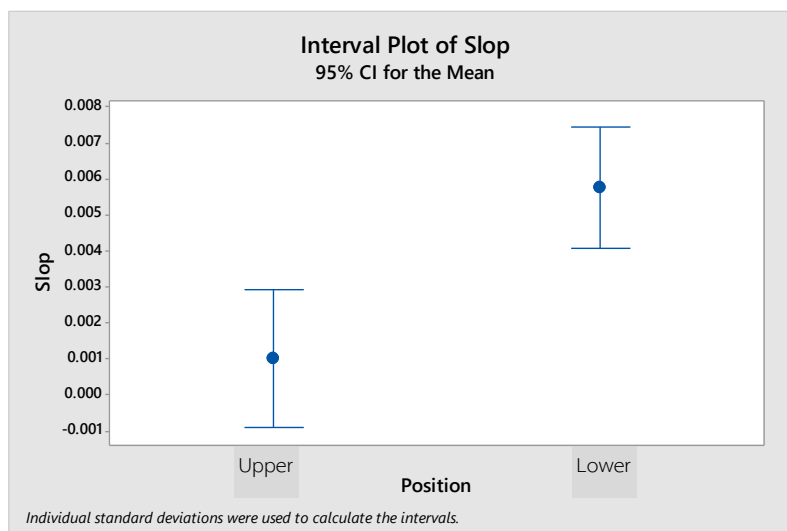
รูปที่ 4.28 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะเดิน

จากการวิเคราะห์ RCBD Two Factors ANOVA เพื่อพิจารณาปัจจัยหลักและอันตรกิริยา 2 ทาง ที่มีอิทธิพลค่าเฉลี่ยอัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะเดินที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยดูจากค่า P-Value ที่ต่ำกว่า 0.05 พบว่า

- ลักษณะของกระเป่าสะพายหลังที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยอัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะเดินไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยมีค่า p-value = 0.268

- วิธีการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยอัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะเดินแตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยมีค่า p-value < 0.005

- อันตรกิริยา 2 ทางที่เกิดจากลักษณะของกระเปาะสพายหลังและการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันไม่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะเดิน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์โดยมีค่า $p\text{-value} = 0.677$



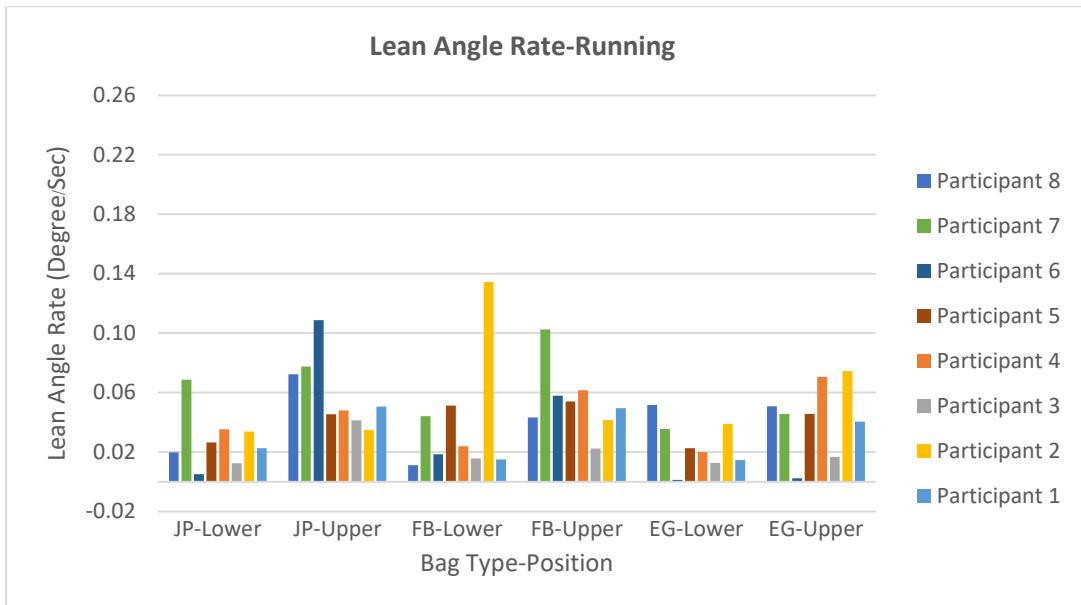
รูปที่ 4.29 Interval Plot ของข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะเดินของทุกเงื่อนไขการทดลอง ที่แสดงผลจากปัจจัยด้านการจัดเรียงสิ่งของ

จากแผนภาพช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยรูปที่ 4.29 แสดงให้เห็นว่าการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันมีอิทธิพลทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองเปลี่ยนไป โดยการจัดเรียงกระเปาะโดยให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ด้านบนทำให้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะเดินที่ต่ำกว่าการจัดเรียงกระเปาะโดยให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ด้านล่าง

4.5.3 การวิเคราะห์หัตถ์ชี้วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะวิ่ง

4.5.3.1 การทดสอบการแจกแจงปกติ ความแปรปรวน และความเป็นอิสระของข้อมูล

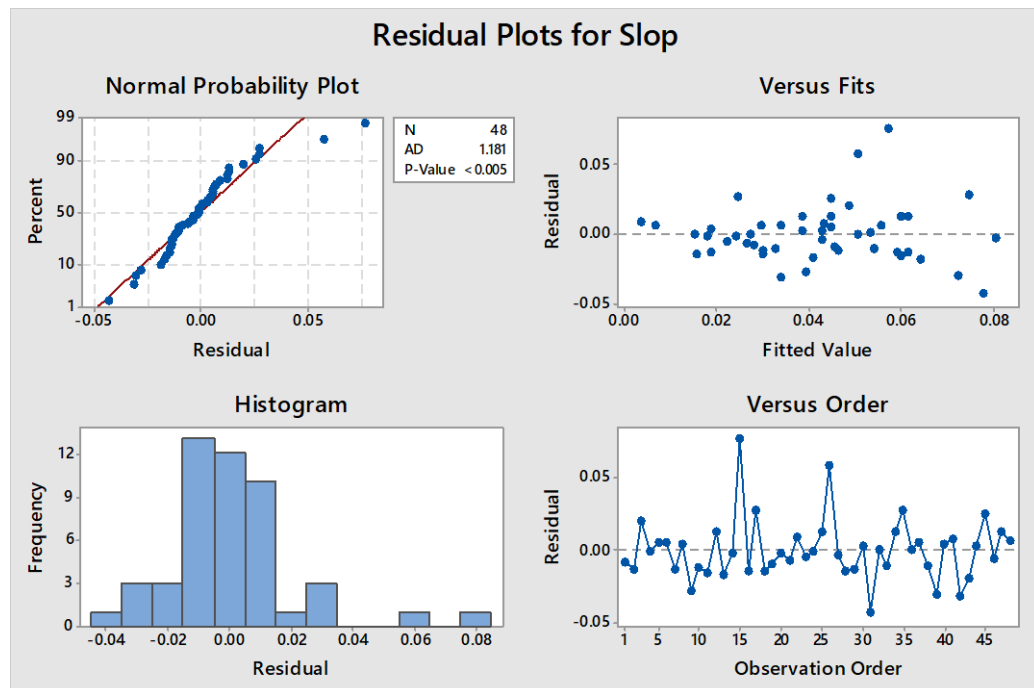
ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะวิ่งที่เก็บได้จากผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 คน ของทุกเงื่อนไขการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะวิ่งของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

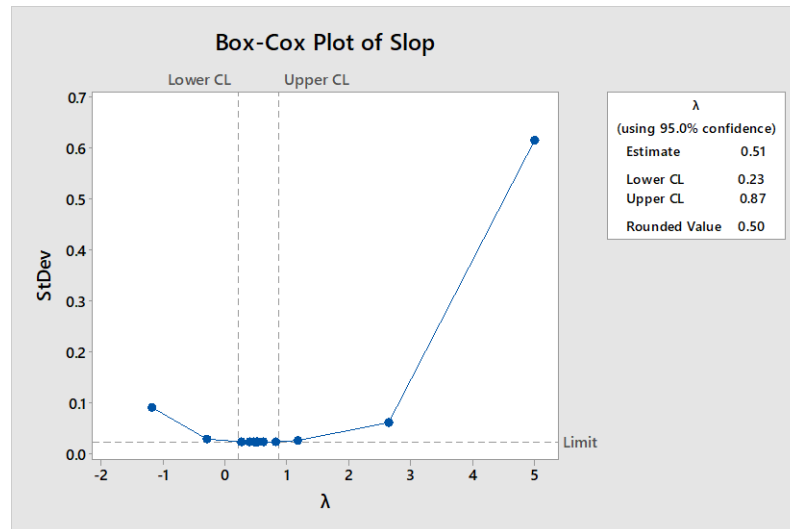
จากภาพที่ 4.30 พิจารณาข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนจะเห็นว่า ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะวิ่งของผู้เข้าร่วมการทดลองบางคนนั้นมีลักษณะแตกต่างออกไปจากผู้เข้าร่วมการทดลองส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามข้อมูลที่แตกต่างออกไปนั้นยังมีลักษณะเป็นกลุ่ม ดังนั้นจึงไม่ตัดข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองออก

ผลการทดลองดังกล่าวถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบลักษณะการแจกแจงอย่างเป็นอิสระกันและเป็นแบบปกติ ด้วยความแปรปรวนเท่ากันของข้อมูลแต่ละทรีตเมนต์หรือระดับปัจจัยโดยวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Minitab 2017 ในฟังก์ชัน Residual Plot



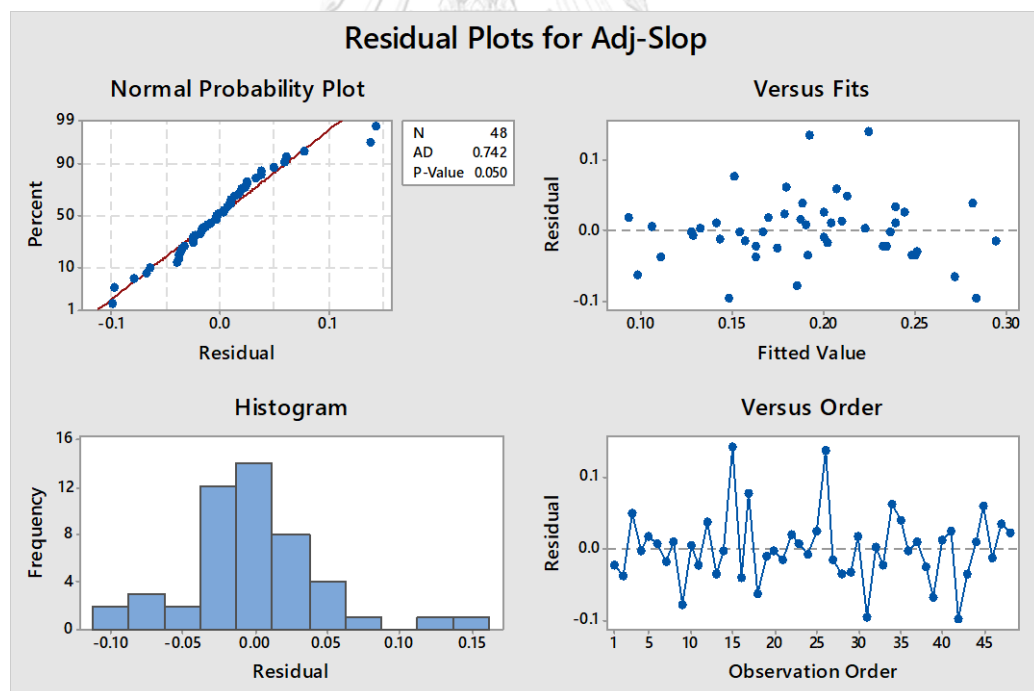
รูปที่ 4.31 Residual Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะวิ่งทุกเงื่อนไขการทดลอง ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 8 คน

จากการพิจารณากราฟ ในรูปที่ 4.31 พบว่า การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Assumption) จากกราฟ Normal Probability Plot ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างมีค่า P-value ของการทดสอบการแจกแจงแบบปกติน้อยกว่า 0.005 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นปกติ จึงต้องแปลงข้อมูลให้มีการแจกแจงเป็นปกติก่อนนำมาวิเคราะห์ โดยใช้วิธี Box-Cox Transformation ซึ่งแปลงข้อมูลผ่านโปรแกรม Minitab 2017 ทั้งนี้ λ ที่เหมาะสมกับข้อมูลชุดนี้คือ 0.50 ดังแสดงในรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 Box-Cox Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะวิ่ง

เมื่อแปลงข้อมูลแล้วจึงทำ Residual Plot อีกครั้งเพื่อวิเคราะห์ค่าคงเหลือและตรวจสอบตัวแบบดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.33 Residual Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะวิ่งทุก

เงื่อนไขการทดลอง ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 8 คน (ที่ได้ปรับปรุงข้อมูลแล้ว)

จากการพิจารณารูปในรูปที่ 4.33 หลังจากการแปลงข้อมูล สามารถสรุปผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองได้ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Assumption) จากกราฟ Normal Probability Plot แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) ที่จัดเรียงตัวอยู่ตามแนวเส้นตรงและมีค่า P-value ของการทดสอบการแจกแจงแบบปกติเท่ากับ 0.05 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ
 2. การทดสอบสมมติฐานของค่าความแปรปรวนคงที่ (Variance Stability) จากกราฟ Residual Versus Fitted Value แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างรอบแนวแกนศูนย์และข้อมูลไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้มหรือรูปแบบที่คล้ายกรวยปากเปิด จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีค่าความแปรปรวนคงที่
 3. จากกราฟ Histogram แสดงให้เห็นถึงลักษณะการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่มีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ
 4. การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของข้อมูล (Independence of Residual) จากกราฟ Residual Versus Observation Order แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่ไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้มหรือรูปร่างที่แน่นอน จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน
- ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลชุดนี้เพื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติต่อไป

4.5.3.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติระหว่างปัจจัยและอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะวิ่ง

จากข้อมูลในข้อ 4.5.3.1 นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิธี RCBD Two Factors ANOVA เพื่อศึกษาผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวชี้วัด ได้แก่ ลักษณะของกระเปาะสะพายหลัง และ วิธีการจัดเรียงสิ่งของตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.34

Factor Information					
Factor	Type	Levels	Values		
Subject-R	Fixed	8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8		
Bag	Fixed	3	EG, FB, JP		
Position	Fixed	2	Above, Below		
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Subject-R	7	0.062536	0.008934	2.90	0.017
Bag	2	0.010230	0.005115	1.66	0.204
Position	1	0.042579	0.042579	13.84	0.001
Bag*Position	2	0.002948	0.001474	0.48	0.623
Error	35	0.107643	0.003076		
Total	47	0.225935			

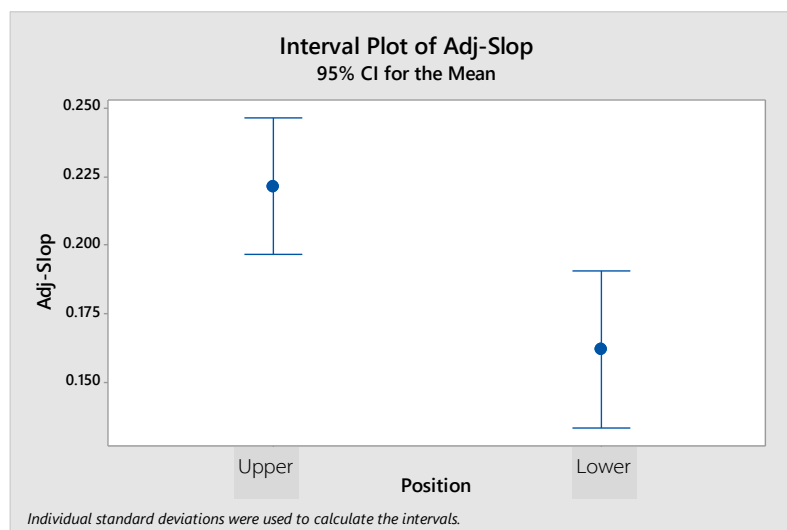
รูปที่ 4.34 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะวิ่ง

จากการวิเคราะห์ RCBD Two Factors ANOVA เพื่อพิจารณาปัจจัยหลักและอันตรกิริยา 2 ทาง ที่มีอิทธิพลค่าเฉลี่ยอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะวิ่งที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยดูจากค่า P-Value ที่ต่ำกว่า 0.05 พบว่า

- ลักษณะของกระเป๋าสะพายหลังที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะเดินไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยมีค่า p-value = 0.204

- วิธีการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะวิ่งแตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยมีค่า p-value = 0.001

- อันตรกิริยา 2 ทางที่เกิดจากลักษณะของกระเป๋าสะพายหลังและการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันไม่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะวิ่งที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยมีค่า p-value = 0.623



รูปที่ 4.35 Interval Plot ของข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะวิ่งของทุกเงื่อนไขการทดลอง ที่แสดงผลจากปัจจัยด้านการจัดเรียงสิ่งของ

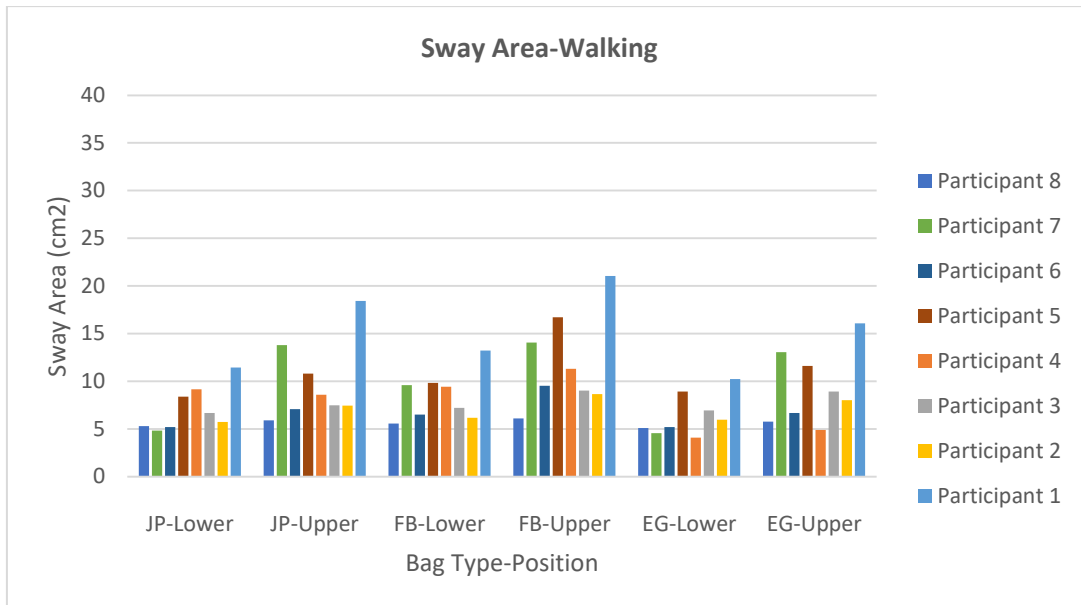
จากแผนภาพช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยรูปที่ 4.35 แสดงให้เห็นว่าการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันมีอิทธิพลให้อัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะวิ่งของผู้เข้าร่วมการทดลองเปลี่ยนไป โดยการจัดเรียงกระเป๋าโดยให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ด้านล่างทำให้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะวิ่งที่ต่ำกว่าการจัดเรียงกระเป๋าโดยให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ด้านบน

4.6 การวิเคราะห์ตัวชี้วัดพื้นที่การแกว่งของกระเป๋า

4.6.1 การวิเคราะห์ตัวชี้วัดพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะเดิน

4.6.1.1 การทดสอบการแจกแจงปกติ ความแปรปรวน และความเป็นอิสระของข้อมูล

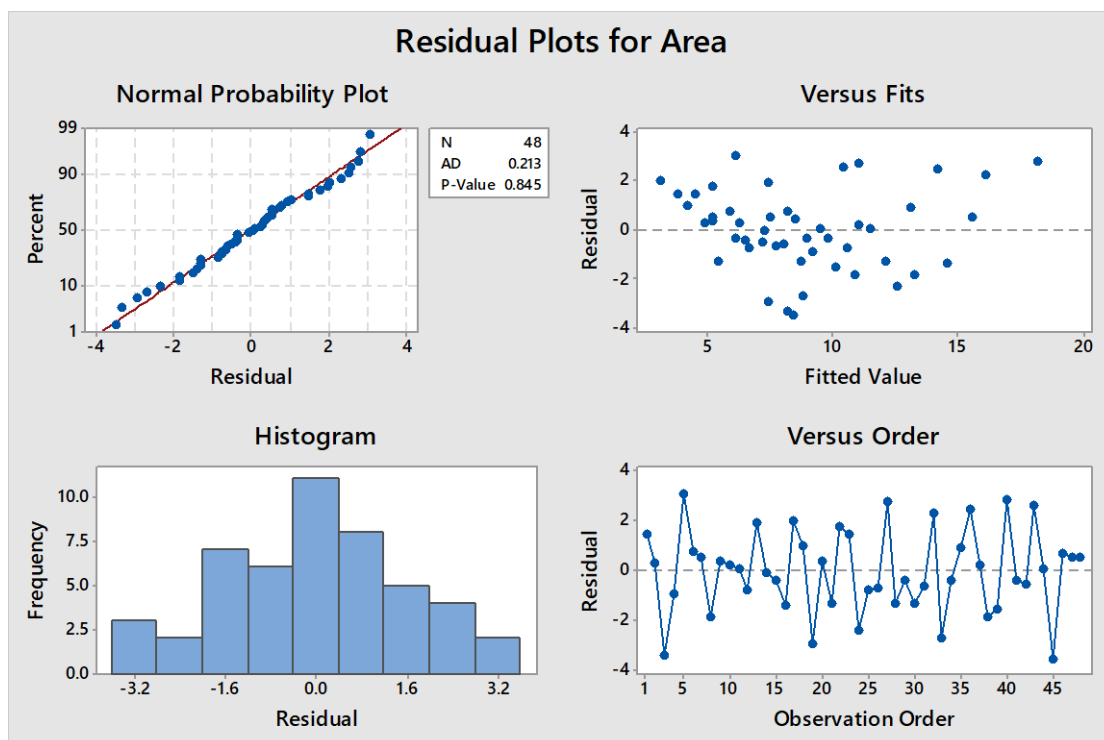
ข้อมูลพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะเดินที่เก็บได้จากผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 คนของทุกเงื่อนไขการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.36 ข้อมูลพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะเดินของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

จากภาพที่ 4.36 พิจารณาข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนจะเห็นว่า ข้อมูลพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองนั้นมีลักษณะเป็นกลุ่ม ดังนั้นจึงไม่ตัดข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองออก

ผลการทดลองดังกล่าวถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบลักษณะการแจกแจงอย่างเป็นอิสระกันและเป็นแบบปกติ ด้วยความแปรปรวนเท่ากันของข้อมูลแต่ละทรีตเมนต์หรือระดับปัจจัยโดยวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Minitab 2017 ในฟังก์ชัน Residual Plot



รูปที่ 4.37 Residual Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดพื้นที่การแก่งของกระเปาะขณะเดินทุกเงื่อนไขการทดลอง ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 8 คน


จากการพิจารณารูปในรูปที่ 4.37 สามารถสรุปผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองได้ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Assumption) จากกราฟ Normal Probability Plot แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) ที่จัดเรียงตัวอยู่ตามแนวเส้นตรงและมีค่า P-value ของการทดสอบการแจกแจงแบบปกติเท่ากับ 0.845 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ
2. การทดสอบสมมติฐานของค่าความแปรปรวนคงที่ (Variance Stability) จากกราฟ Residual Versus Fitted Value แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างรอบแนวแกนศูนย์และข้อมูลไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้มหรือรูปแบบที่คล้ายกรวยปากเปิด จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีค่าความแปรปรวนคงที่
3. จากกราฟ Histogram แสดงให้เห็นถึงลักษณะการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่มีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ
4. การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของข้อมูล (Independence of Residual) จากกราฟ Residual Versus Observation Order แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของ

ส่วนตกค้างที่ไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้มหรือรูปร่างที่แน่นอน จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน
ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลชุดนี้เพื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติต่อไป

4.6.1.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติระหว่างปัจจัยและพื้นที่การแกว่งของกระเป่าขณะเดิน

จากข้อมูลในข้อ 4.6.1.1 นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิธี RCBD Two Factors ANOVA เพื่อศึกษาผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวชี้วัด ได้แก่ ลักษณะของกระเป่าสะพายหลัง และ วิธีการจัดเรียงสิ่งของตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.35



Factor	Type	Levels	Values
Subject-W	Fixed	8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
Bag	Fixed	3	EG, FB, JP
Position	Fixed	2	Above, Below

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Subject-W	7	392.864	56.123	15.50	0.000
Bag	2	48.187	24.094	6.65	0.004
Position	1	119.524	119.524	33.00	0.000
Bag*Position	2	1.304	0.652	0.18	0.836
Error	35	126.770	3.622		
Total	47	688.650			

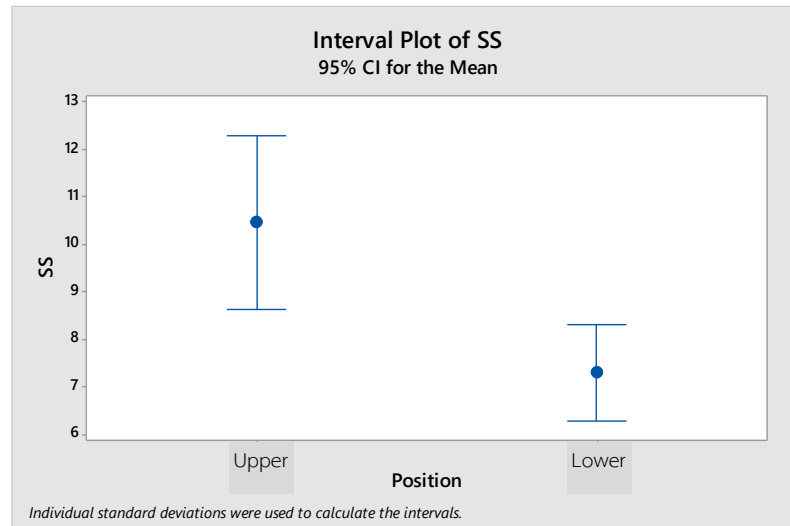
รูปที่ 4.38 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อพื้นที่การแกว่งของกระเป่าขณะเดิน

จากการวิเคราะห์ RCBD Two Factors ANOVA เพื่อพิจารณาปัจจัยหลักและอันตรกิริยา 2 ทาง ที่มีอิทธิพลค่าเฉลี่ยพื้นที่การแกว่งของกระเป่าขณะเดินที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยดูจากค่า P-Value ที่ต่ำกว่า 0.05 พบว่า

- ลักษณะของกระเป่าสะพายหลังที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยพื้นที่การแกว่งของกระเป่าขณะเดินแตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยมีค่า p-value = 0.004

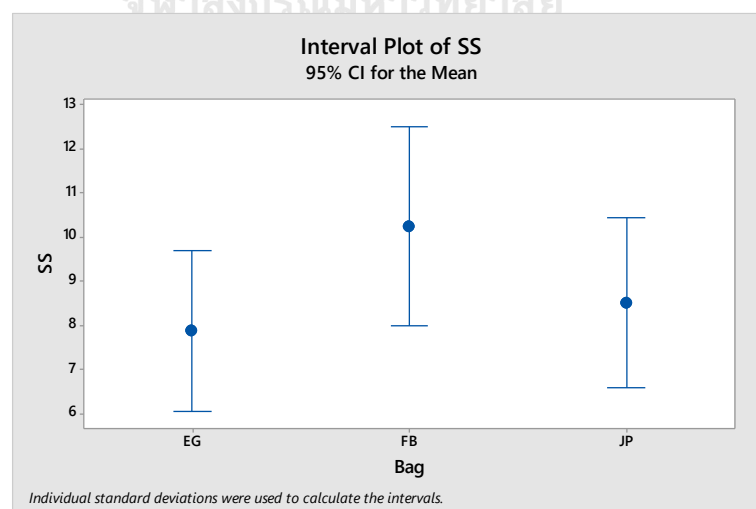
- วิธีการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยพื้นที่การแกว่งของกระเป่าขณะเดินแตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยมีค่า p-value < 0.005

- อันตรกิริยา 2 ทางที่เกิดจากลักษณะของกระเป๋าสะพายหลังและการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันไม่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะเดินที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์โดยมีค่า $p\text{-value} = 0.836$



รูปที่ 4.39 Interval Plot ของข้อมูลพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะเดินของทุกเงื่อนไขการทดลอง ที่แสดงผลจากปัจจัยด้านการจัดเรียงสิ่งของ

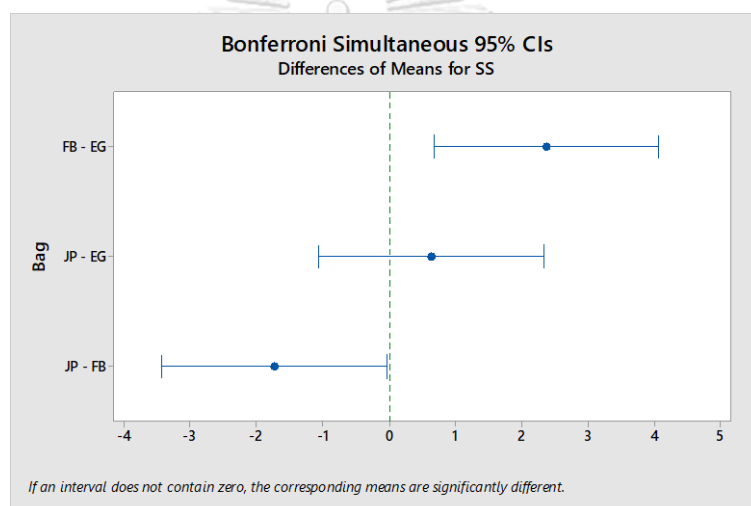
จากแผนภาพช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยรูปที่ 4.39 แสดงให้เห็นว่าการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันมีอิทธิพลทำให้พื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองเปลี่ยนไป โดยการจัดเรียงกระเป๋าโดยให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ด้านล่างทำให้มีพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะเดินต่ำกว่าการจัดเรียงกระเป๋าโดยให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ด้านบน



รูปที่ 4.40 Interval Plot ของข้อมูลพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะเดินของทุกเงื่อนไขการทดลอง ที่แสดงผลจากปัจจัยลักษณะกระเป๋า

จากแผนภาพช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยรูปที่ 4.40 แสดงให้เห็นว่าลักษณะกระเป๋าที่แตกต่างกันมีอิทธิพลทำให้พื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองเปลี่ยนไป โดยประเภทของกระเป๋าผ้าเมื่อใช้แล้วทำให้พื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะเดินที่มากกว่ากระเป๋าญี่ปุ่นที่พื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะเดินอยู่ในระดับรองลงมา ในขณะที่กระเป๋าเออร์โกโนมิกส์เมื่อใช้แล้วทำให้พื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะเดินอยู่ในระดับที่ต่ำกว่ากระเป๋าทั้ง 2 รูปแบบข้างต้น

ดังนั้นจึงวิเคราะห์เพิ่มเติมโดยทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ โดยใช้วิธีของ Bonferroni Test เพื่อศึกษาพฤติกรรมในแต่ละระดับปัจจัยโดยสังเกตจากการซ้อนทับกันของคู่ความเชื่อมั่นและการจัดกลุ่มดังรูปที่ 4.41



Bonferroni Simultaneous Tests for Differences of Means

Difference of Bag Levels	Difference of Means	SE of Difference	Simultaneous 95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
FB - EG	2.372	0.673	(0.680, 4.064)	3.53	0.004
JP - EG	0.640	0.673	(-1.052, 2.332)	0.95	1.000
JP - FB	-1.732	0.673	(-3.424, -0.040)	-2.57	0.043

Individual confidence level = 98.33%

Bonferroni Pairwise Comparisons: Response = SS, Term = Bag

Grouping Information Using the Bonferroni Method and 95% Confidence

Bag	N	Mean	Grouping
FB	16	10.2445	A
JP	16	8.5124	B
EG	16	7.8726	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Bonferroni Simultaneous 95% CIs

รูปที่ 4.41 Bonferroni Test ของปัจจัยลักษณะของกระเป๋า

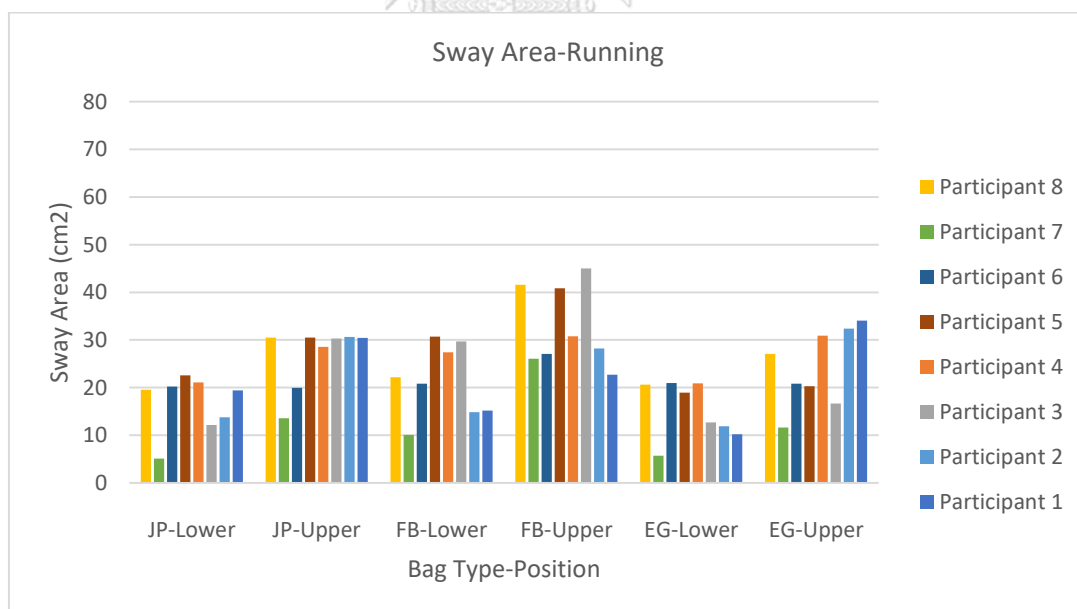
จากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณตามวิธีของ Bonferroni Test ดังรูปที่ 4.41 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบลักษณะของกระเป๋าโดยใช้เวลาเฉลี่ยพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะเดิน ให้ผลดังนี้

- กระเป๋าญี่ปุ่นและกระเป๋าเออร์โกโนมิกส์ ให้ค่าเฉลี่ยพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะเดินที่ไม่แตกต่างกัน
- กระเป๋าญี่ปุ่นกับกระเป๋าผ้า ให้ค่าเฉลี่ยพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะเดินที่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยมีค่า $p\text{-value} = 0.043$
- กระเป๋าผ้ากับกระเป๋าเออร์โกโนมิกส์ ให้ค่าเฉลี่ยพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะเดินที่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยมีค่า $p\text{-value} = 0.004$

4.6.2 การวิเคราะห์ตัวชี้วัดพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะวิ่ง

4.6.2.1 การทดสอบการแจกแจงปกติ ความแปรปรวน และความเป็นอิสระของข้อมูล

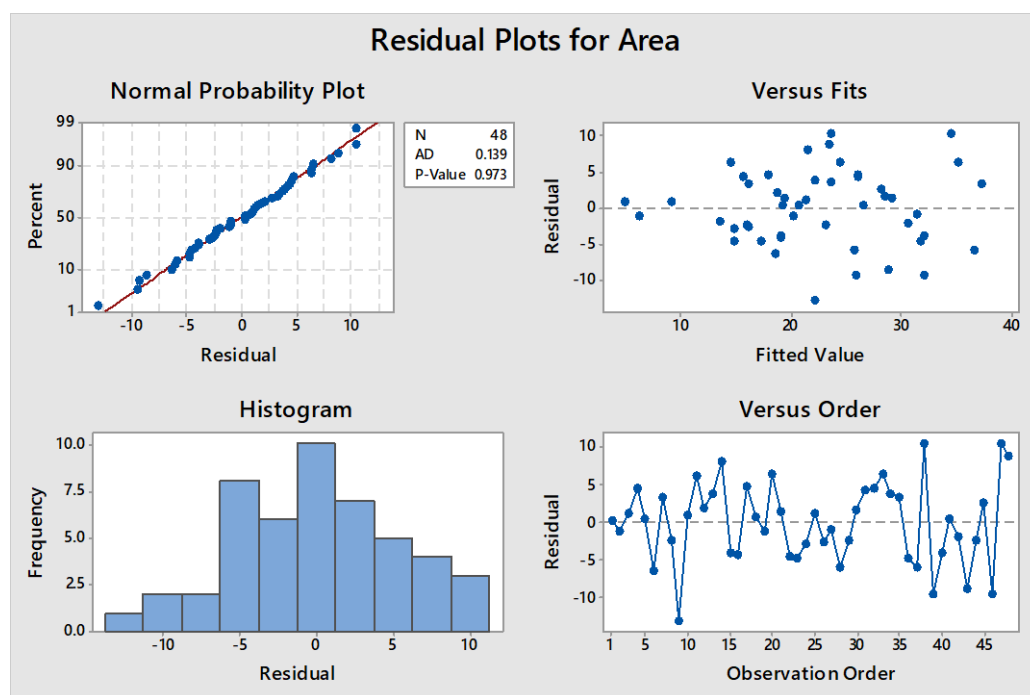
ข้อมูลพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะวิ่งที่เก็บได้จากผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 คน ของทุกเงื่อนไขการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.42



รูปที่ 4.42 ข้อมูลพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะวิ่งของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

จากภาพที่ 4.42 พิจารณาข้อมูลพื้นที่การแกว่งของกระเปาะขณะวิ่งของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนจะเห็นว่า ข้อมูลพื้นที่การแกว่งของกระเปาะขณะวิ่งของผู้เข้าร่วมการทดลองนั้นมีลักษณะเป็นกลุ่ม ดังนั้นจึงไม่ตัดข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองออก

ผลการทดลองดังกล่าวถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบลักษณะการแจกแจงอย่างเป็นอิสระกันและเป็นแบบปกติ ด้วยความแปรปรวนเท่ากันของข้อมูลแต่ละทริตเมนต์หรือระดับปัจจัยโดยวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Minitab 2017 ในฟังก์ชัน Residual Plot



รูปที่ 4.43 Residual Plot ของข้อมูลตัวชี้วัดพื้นที่การแกว่งของกระเปาะขณะวิ่งทุกเงื่อนไขการทดลองของผู้เข้าร่วมการทดลอง 8 คน

จากการพิจารณารูปภาพในรูปที่ 4.43 สามารถสรุปผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองได้ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Assumption) จากกราฟ Normal Probability Plot แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) ที่จัดเรียงตัวอยู่ตามแนวเส้นตรงและมีค่า P-value ของการทดสอบการแจกแจงแบบปกติเท่ากับ 0.973 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ
2. การทดสอบสมมติฐานของค่าความแปรปรวนคงที่ (Variance Stability) จากกราฟ Residual Versus Fitted Value แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างรอบ

แนวแกนศูนย์และข้อมูลไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้มหรือรูปแบบที่คล้ายกรวยปากเปิด จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีค่าความแปรปรวนคงที่

3. จากกราฟ Histogram แสดงให้เห็นถึงลักษณะการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่มีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ
 4. การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของข้อมูล (Independence of Residual) จากกราฟ Residual Versus Observation Order แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่ไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้มหรือรูปร่างที่แน่นอน จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน
- ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลชุดนี้เพื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติต่อไป

4.6.2.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติระหว่างปัจจัยและพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะวิ่ง

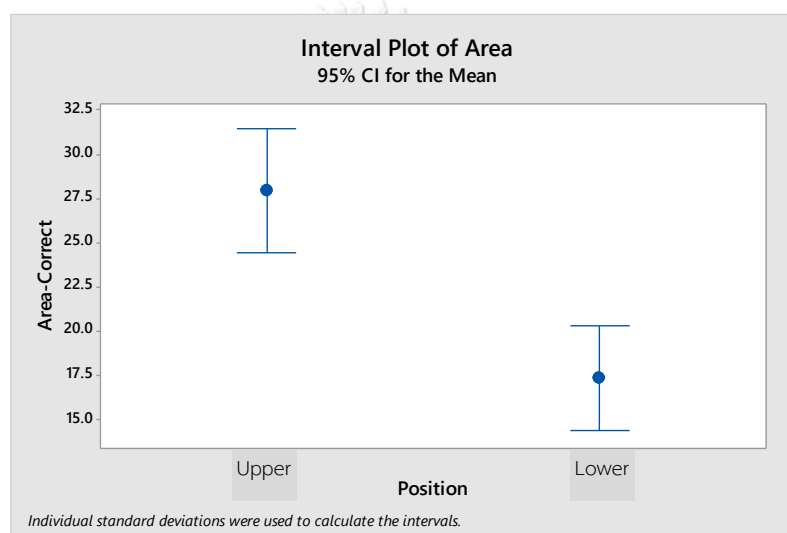
จากข้อมูลในข้อ 4.6.2.1 นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิธี RCBD Two Factors ANOVA เพื่อศึกษาผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวชี้วัด ได้แก่ ลักษณะของกระเป๋าสะพายหลัง และ วิธีการจัดเรียงสิ่งของตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.44

Factor Information					
Factor	Type	Levels	Values		
Subject-R	Fixed	8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8		
Bag	Fixed	3	EG, FB, JP		
Position	Fixed	2	Above, Below		
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Subject-R	7	967.29	138.18	3.66	0.005
Bag	2	344.68	172.34	4.56	0.017
Position	1	1349.14	1349.14	35.71	0.000
Bag*Position	2	39.06	19.53	0.52	0.601
Error	35	1322.21	37.78		
Total	47	4022.38			

รูปที่ 4.44 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะวิ่ง

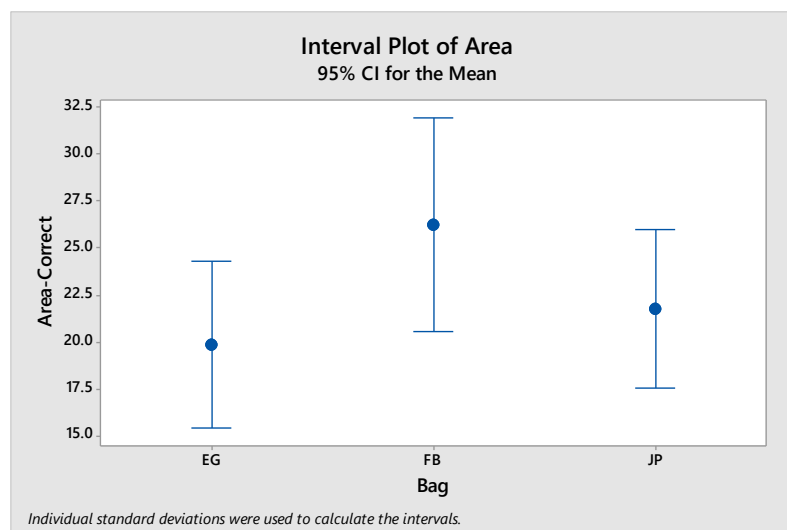
จากการวิเคราะห์ RCBD Two Factors ANOVA เพื่อพิจารณาปัจจัยหลักและอันตรกิริยา 2 ทาง ที่มีอิทธิพลค่าเฉลี่ยพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะเดินที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยดูจากค่า P-Value ที่ต่ำกว่า 0.05 พบว่า

- ลักษณะของกระเป่าสะพายหลังที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยพื้นที่การแกว่งของกระเป่าขณะวิ่งแตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์โดยมีค่า $p\text{-value} = 0.017$
- วิธีการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันให้ค่าเฉลี่ยพื้นที่การแกว่งของกระเป่าขณะวิ่งแตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์โดยมีค่า $p\text{-value} < 0.005$
- อันตรกิริยา 2 ทางที่เกิดจากลักษณะของกระเป่าสะพายหลังและการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันไม่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยพื้นที่การแกว่งของกระเป่าขณะวิ่งที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์โดยมีค่า $p\text{-value} = 0.601$



รูปที่ 4.45 Interval Plot ของข้อมูลพื้นที่การแกว่งของกระเป่าขณะวิ่งของทุกเงื่อนไขการทดลองที่แสดงผลจากปัจจัยด้านการจัดเรียงสิ่งของ

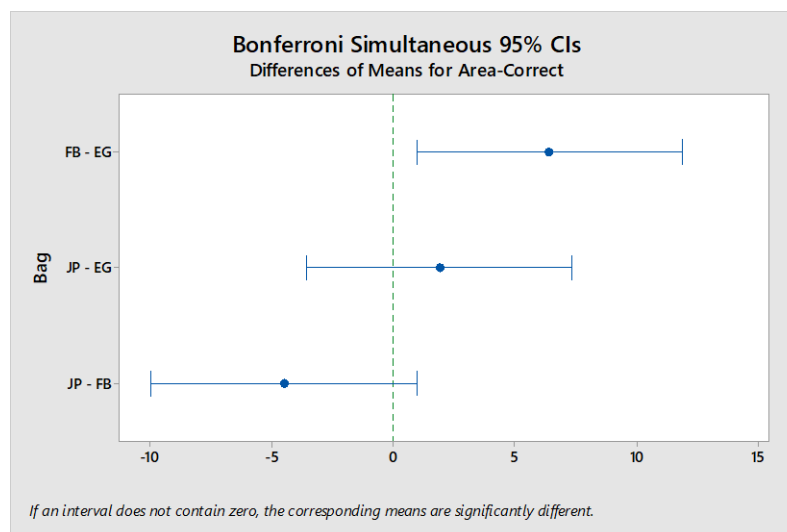
จากแผนภาพช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยรูปที่ 4.45 แสดงให้เห็นว่าการจัดเรียงสิ่งของที่แตกต่างกันมีอิทธิพลทำให้พื้นที่การแกว่งของกระเป่าขณะวิ่งของผู้เข้าร่วมการทดลองเปลี่ยนไป โดยการจัดเรียงกระเป๋าโดยให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ด้านล่างทำให้มีพื้นที่การแกว่งของกระเป่าขณะวิ่งต่ำกว่าการจัดเรียงกระเป๋าโดยให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ด้านบน



รูปที่ 4.46 Interval Plot ของข้อมูลพื้นที่การแกว่งของกระเป่าขณะวิ่งของทุกเงื่อนไขการทดลองที่แสดงผลจากปัจจัยลักษณะกระเป่า

จากแผนภาพช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยรูปที่ 4.46 แสดงให้เห็นว่าลักษณะกระเป่าที่แตกต่างกันมีอิทธิพลทำให้พื้นที่การแกว่งของกระเป่าขณะวิ่งของผู้เข้าร่วมการทดลองเปลี่ยนไป โดยประเภทของกระเป่าผ้าเมื่อใช้แล้วทำให้พื้นที่การแกว่งของกระเป่าขณะวิ่งที่มากกว่ากระเป่าญี่ปุ่นที่พื้นที่การแกว่งของกระเป่าขณะวิ่งอยู่ในระดับรองลงมา ในขณะที่กระเป่าเออร์โกโนมิกส์เมื่อใช้แล้วทำให้พื้นที่การแกว่งของกระเป่าขณะวิ่งอยู่ในระดับที่ต่ำกว่ากระเป่าทั้ง 2 รูปแบบข้างต้น

ดังนั้นจึงวิเคราะห์เพิ่มเติมโดยทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ โดยใช้วิธีของ Bonferroni Test เพื่อศึกษาพฤติกรรมในแต่ละระดับปัจจัยโดยสังเกตจากการซ้อนทับกันของคู่ความเชื่อมั่นและการจัดกลุ่มดังรูปที่ 4.47



Bonferroni Simultaneous Tests for Differences of Means

Difference of Bag Levels	Difference of Means	SE of Difference	Simultaneous 95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
FB - EG	6.39	2.17	(0.93, 11.85)	2.94	0.017
JP - EG	1.90	2.17	(-3.57, 7.36)	0.87	1.000
JP - FB	-4.49	2.17	(-9.96, 0.97)	-2.07	0.138

Individual confidence level = 98.33%

Bonferroni Pairwise Comparisons: Response = Area-Correct, Term = Bag

Grouping Information Using the Bonferroni Method and 95% Confidence

Bag	N	Mean	Grouping
FB	16	26.2616	A
JP	16	21.7668	A B
EG	16	19.8716	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Bonferroni Simultaneous 95% CIs

รูปที่ 4.47 Bonferroni Test ของปัจจัยลักษณะของกระเป่า

จากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณตามวิธีของ Bonferroni Test ดังรูปที่ 4.47 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบลักษณะของกระเป่ารายคู่โดยใช้ค่าเฉลี่ยพื้นที่การแกว่งของกระเป่าขณะเดิน ให้ผลดังนี้

- กระเป่าญี่ปุ่นและกระเป่าเออร์โกโนมิกส์ ให้ค่าเฉลี่ยพื้นที่การแกว่งของกระเป่าขณะวิ่งที่ไม่แตกต่างกัน
- กระเป่าญี่ปุ่นกับกระเป่าผ้า ให้ค่าเฉลี่ยพื้นที่การแกว่งของกระเป่าขณะวิ่งที่ไม่แตกต่างกัน

- กระเป๋าค่ากับกระเป๋าเออร์โกโนมิกส์ ให้ค่าเฉลี่ยพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าขณะวิ่งที่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์โดยมีค่า $p\text{-value} = 0.017$

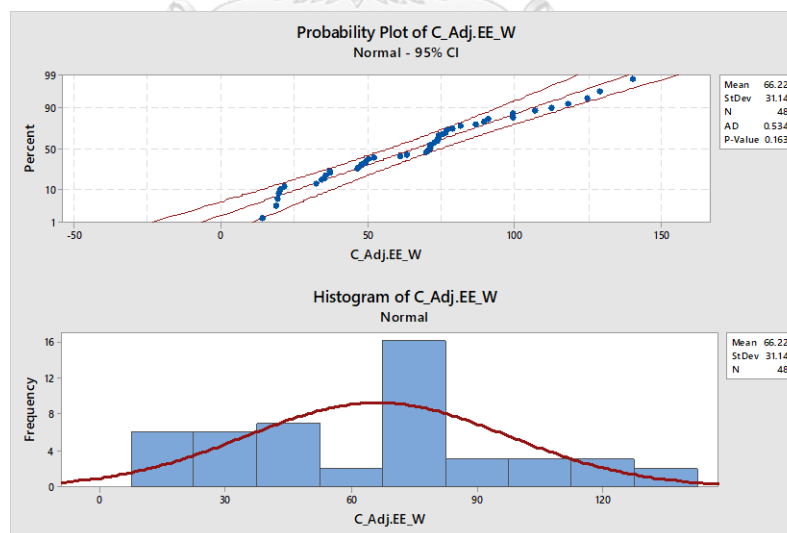
4.7 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณของตัวชี้วัด

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงท่าทางของร่างกาย และการควบคุมการทรงตัวเพื่อให้จุดศูนย์กลางมวลไม่เลยฐานรับน้ำหนักของร่างกายนั้นส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานเนื่องจากการใช้กล้ามเนื้อเพื่อการควบคุมกิจกรรมดังกล่าว ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณของตัวชี้วัดเพิ่มเติม

4.7.1 การทดสอบการแจกแจงปกติของอัตราการใช้พลังงาน

4.7.1.1 การแจกแจงปกติของอัตราการใช้พลังงานขณะเดิน

จากข้อมูลอัตราการใช้พลังงานของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 รายในทุกเงื่อนไขการทดลองขณะเดินซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปรตาม ถูกนำมาตรวจสอบการแจกแจงปกติโดย Probability Plot และ Histogram โดยโปรแกรม Minitab 2017 (ข้อมูลดังกล่าวได้มีการทดสอบแล้วตามข้อ 4.4.1 ซึ่งพบว่าข้อมูลนั้นไม่เป็นการแจกแจงแบบปกติจึงได้ทำการแปลงด้วย Box-Cox Transformation) ดังรูปที่ 4.48



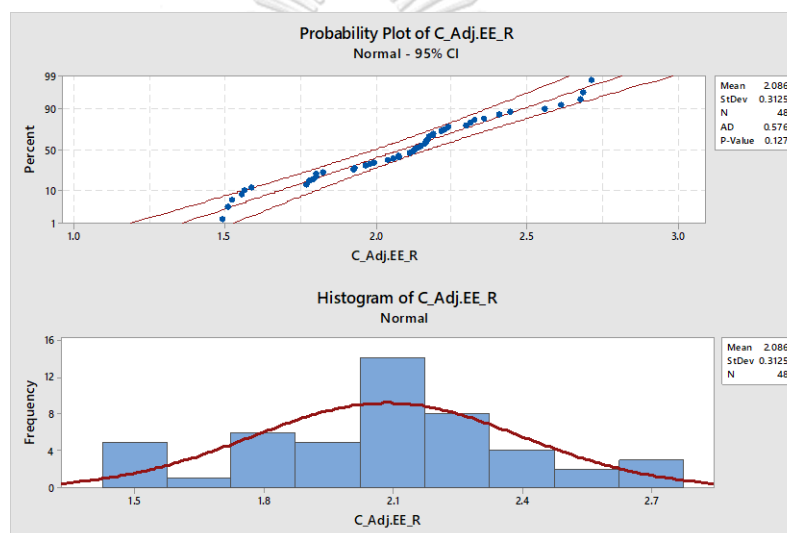
รูปที่ 4.48 Probability Plot และ Histogram ข้อมูลอัตราการใช้พลังงานขณะเดิน

จากการพิจารณากราฟ ในรูปที่ 4.48 แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของข้อมูลอัตราการใช้พลังงานขณะเดิน ที่จัดเรียงตัวอยู่ตามแนวเส้นตรงและมีค่า P-value ของการทดสอบ

การแจกแจงแบบปกติเท่ากับ 0.163 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ ดังนั้น จึงนำข้อมูลชุดนี้ไปวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นต่อไป

4.7.1.2 การทดสอบการแจกแจงปกติของอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่ง

จากข้อมูลอัตราการใช้พลังงานของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 รายในทุกเงื่อนไขการทดลองขณะวิ่งซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปรตาม ถูกนำมาตรวจสอบการแจกแจงปกติโดย Probability Plot และ Histogram โดยโปรแกรม Minitab 2017 ข้อมูลดังกล่าวได้มีการทดสอบแล้วตามข้อ 4.4.1 ซึ่งพบว่าข้อมูลนั้นไม่เป็นการแจกแจงแบบปกติจึงได้ทำการแปลงด้วย Box-Cox Transformation) ดังรูปที่ 4.49

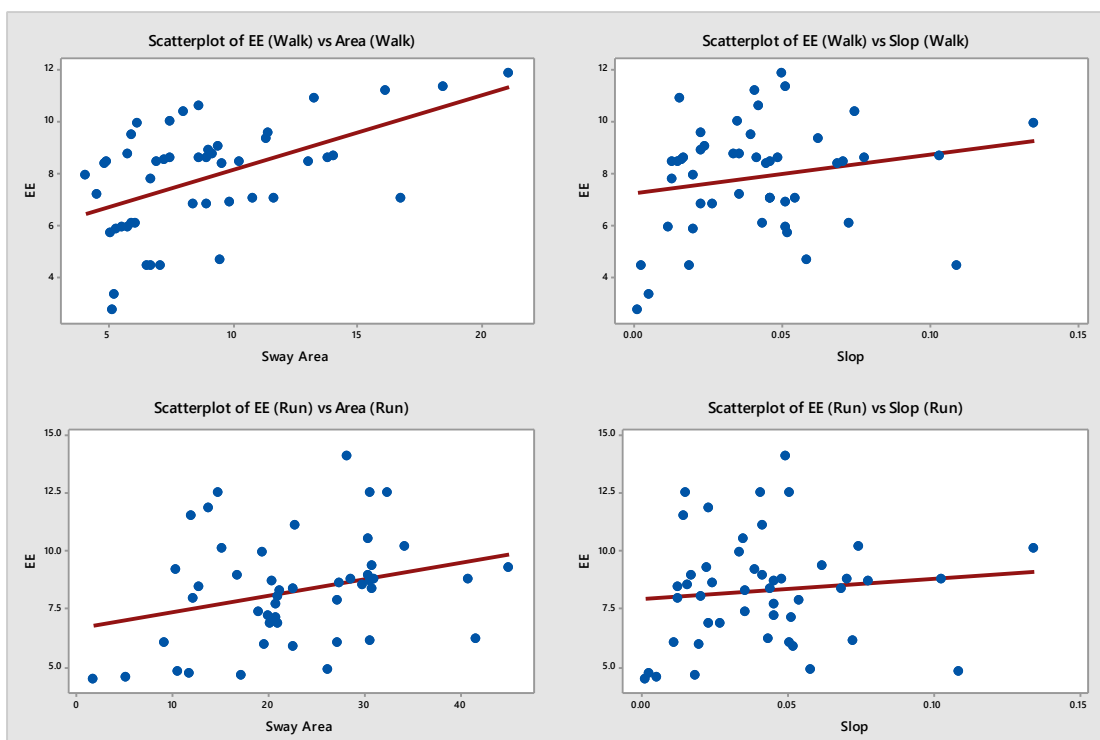


รูปที่ 4.49 Probability Plot และ Histogram ข้อมูลอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่ง

จากการพิจารณารูป ในรูปที่ 4.49 แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของข้อมูลอัตราการใช้พลังงานขณะวิ่ง ที่จัดเรียงตัวอยู่ตามแนวเส้นตรงและมีค่า P-value ของการทดสอบการแจกแจงแบบปกติเท่ากับ 0.127 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ ดังนั้น จึงนำข้อมูลชุดนี้ไปวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นต่อไป

4.7.2 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น

จากข้อมูลในข้อ 4.7.1.1 และ 4.7.1.2 นำมาวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น โดยตรวจสอบรูปแบบของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรตาม ได้แก่ อัตราการใช้พลังงาน และตัวแปรอิสระทั้ง 2 ตัว ได้แก่ อัตราการเปลี่ยนแปลงของศาโน้มตัวไปข้างหน้า และพื้นที่การแกว่งของกระเป่า ด้วยแผนภาพกระจาย (Scatterplot)



รูปที่ 4.50 Scatterplot ระหว่างอัตราการใช้พลังงานและตัวแปรอิสระ

จากรูปที่ 4.50 พบว่า ทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้พลังงานและตัวแปรอิสระสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยอัตราการใช้พลังงานมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปข้างหน้า และพื้นที่การแกว่งของกระดูกเอวมีมากขึ้น กล่าวคือ เมื่อร่างกายจำเป็นต้องรักษาสมดุลให้จุดศูนย์กลางอยู่ในฐานรับน้ำหนัก ไม่ว่าจะเป็นการเอียงตัวหรือการแกว่งของสิ่งของที่แนบชิดกับลำตัวนั้น จะส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานที่มากขึ้นตามไปด้วย เพื่อให้เห็นผลในเชิงปริมาณ จึงวิเคราะห์ระดับของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน ได้ผลดัง ตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ระดับของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน

		EE		Lean Angle Rate	
		r	P-Value	r	P-Value
เดิน	Lean Angle Rate	-0.001	0.997		
	Sway Area	0.563	0.000*	-0.327	0.023*
วิ่ง	Lean Angle Rate	0.120	0.415		
	Sway Area	0.331	0.021*	0.397	0.005*

จากตารางที่ 4.10 พบว่าพื้นที่การแกว่งของกระเป๋ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับ อัตราการใช้พลังงานเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อมีพื้นที่การแกว่งของกระเป๋ามากขึ้นจะทำให้อัตราการใช้พลังงานก็จะมากขึ้นตามไปด้วยทั้งกิจกรรมเดินและวิ่ง

สำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรอิสระด้วยกันเองใน กิจกรรมการเดินพบว่ามีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงในทิศทางที่ต่างกัน กล่าวคือเมื่อพื้นที่การแกว่งของกระเป๋ามากขึ้นจะมีอัตราการใช้พลังงานเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปข้างหน้าต่ำลง แต่สำหรับกิจกรรมการวิ่งพบว่ามีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือเมื่อมีพื้นที่การแกว่งของกระเป๋ามากขึ้นจะมีอัตราการใช้พลังงานเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปข้างหน้าสูงขึ้นตามไปด้วย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 สรุปผลการทดลองเชิงสถิติ

จากการศึกษาและทดลองเรื่องของผลกระทบของลักษณะกระเป่าสะพายหลังและวิธีการจัดเรียงสิ่งของ โดยกำหนดตัวชี้วัดคืออัตราการใช้พลังงาน อัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้า และพื้นที่การแกว่งของกระเป่า ผลการวิเคราะห์ถูกแบ่งออกเป็นผลของกิจกรรมการเดิน และผลของกิจกรรมการวิ่ง ดังนี้

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวชี้วัด

กิจกรรม	ปัจจัย	P-Value (RCBD Two factor ANOVA)		
		EE	LR	SA
เดิน	ลักษณะของกระเป่า	0.015	0.268	0.004
	วิธีการจัดเรียงสิ่งของ	0.000	0.000	0.000
วิ่ง	ลักษณะของกระเป่า	0.000	0.204	0.010
	วิธีการจัดเรียงสิ่งของ	0.000	0.001	0.000

หมายเหตุ :

อธิบายความหมายของตัวอักษรย่อ

- EE หมายถึง Energy expenditure หรืออัตราการใช้พลังงานโดยประเมินจากอัตราการเต้นของหัวใจ
- LR หมายถึง Lean Angle Rate หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้าเมื่อเทียบกับการยืนโดยไม่มีภาระงานตามระนาบ Sagittal
- SA หมายถึง Sway Area หรือพื้นที่การแกว่งของกระเป่าในแนวแกน x และแกน y โดยประเมินจากของตำแหน่งการแกว่งของกระเป่าเทียบกับจุดศูนย์กลางลำตัวในระนาบ Frontal

จากการวิเคราะห์ทางสถิติเพิ่มเติมโดยการพล็อตกราฟ Interval Plot และการเปรียบเทียบเชิงพหุ เพื่อระบุว่ากระเป่าแต่ละประเภท และการจัดเรียงสิ่งของรูปแบบใดส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัด ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์เพื่อศึกษาระดับปัจจัย

กิจกรรม	ตัวชี้วัด	ลักษณะกระเป๋า			การจัดเรียงสิ่งของ	
		JP	FB	EG	ล่าง	บน
เดิน	EE	●●	●●●	●	✓	
	LR					✓
	SA	●●	●●●	●	✓	
วิ่ง	EE	●●	●●●	●	✓	
	LR				✓	
	SA	●●	●●●	●	✓	

หมายเหตุ :

อธิบายความหมายของตัวอักษรย่อ

- JP หมายถึง Japanese Bag Style หรือกระเป๋าที่มีลักษณะคงรูปโดยมีโครงที่แข็งทั้งกระเป๋าหรือกระเป๋านักเรียนญี่ปุ่น
- FB หมายถึง Fabric Bag Style หรือกระเป๋าที่มีลักษณะไม่คงรูปโดยใช้วัสดุเป็นผ้าเพียงอย่างเดียว
- EG หมายถึง Ergonomic Bag Style หรือกระเป๋าที่มีลักษณะกึ่งคงรูปโดยมีโครงที่บริเวณหลัง และมีสายรัดอกและสะโพก
- EE หมายถึง Energy expenditure หรืออัตราการใช้พลังงานโดยประเมินจากอัตราการเต้นของหัวใจ
- LR หมายถึง Lean Angle Rate หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้าเมื่อเทียบกับการยืนโดยไม่มีภาระงานตามระนาบ Sagittal
- SA หมายถึง Sway Area หรือพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าในแนวแกน x และแกน y โดยประเมินจากของตำแหน่งการแกว่งของกระเป๋าเทียบกับจุดศูนย์กลางลำตัวในระนาบ Frontal

อธิบายความหมายของสัญลักษณ์

สัญลักษณ์ ● แสดงถึง ระดับค่าเฉลี่ยของตัวชี้วัดเพื่อการเปรียบเทียบ

ตัวอย่างเช่น กิจกรรมการเดินพบว่าลักษณะกระเป๋าสะพายหลังประเภทมีกึ่งคงรูปโดยมีโครงที่บริเวณหลัง และมีสายรัดอกและสะโพกให้ค่าเฉลี่ยอัตราการใช้พลังงานที่ต่ำกว่าการใช้กระเป๋าประเภทคงรูปโดยมีโครงสร้างที่แข็ง และกระเป๋าประเภทที่มีลักษณะไม่คงรูปโดยใช้วัสดุเป็นผ้าให้ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกระเป๋าทั้ง 2 ประเภท

สัญลักษณ์ ✓ แสดงถึง ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดค่าเฉลี่ยของตัวชี้วัดต่ำกว่า

ตัวอย่างเช่น กิจกรรมการเดินพบว่าการจัดเรียงสิ่งของไว้ด้านล่างให้ค่าเฉลี่ยอัตราการใช้พลังงานที่ต่ำกว่าการจัดเรียงสิ่งของไว้ด้านบน

5.1.1 สรุปผลการทดลองสำหรับกิจกรรมการเดิน

จากผลการศึกษาและทดลองพบว่าปัจจัยลักษณะของกระเป๋าส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัด 2 ประเภท คืออัตราการใช้พลังงาน และพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าส่ง โดยพบว่ากระเป๋าส่งเออร์โกโนมิกส์ให้ค่าอัตราการใช้พลังงานที่ต่ำที่สุด ในขณะที่กระเป๋าส่งญี่ปุ่นให้ค่าอัตราการใช้พลังงานในระดับปานกลาง และกระเป๋าส่งผ้าให้ค่าอัตราการใช้พลังงานที่สูงที่สุด ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกันกับสำหรับตัวชี้วัด พื้นที่การแกว่งของกระเป๋าส่ง สำหรับตัวชี้วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้าพบว่าลักษณะกระเป๋าส่งไม่ได้ส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัดดังกล่าว

สำหรับปัจจัยการจัดเรียงสิ่งของ จากผลการทดลองพบว่าการจัดเรียงสิ่งของส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัดทั้ง 3 ประเภทโดยการจัดเรียงสิ่งของไว้ด้านล่างจะทำให้ค่าอัตราการใช้พลังงานและพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าส่งต่ำกว่า ในขณะที่ตัวชี้วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้าพบว่า การจัดเรียงสิ่งของไว้ด้านบนให้อัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้าที่ต่ำกว่า ซึ่งอาจจะเกิดจากการเกร็งของกล้ามเนื้อและความระวังของมนุษย์ ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกับการยกของไว้บนศีรษะ โดยมนุษย์จะพยายามเดินโดยที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงขององศาการเอียงตัวที่น้อยกว่า

5.1.2 สรุปผลการทดลองสำหรับกิจกรรมการวิ่ง

จากผลการศึกษาและทดลองพบว่าปัจจัยลักษณะของกระเป๋าส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัด 2 ประเภท คืออัตราการใช้พลังงาน และพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าส่ง โดยพบว่ากระเป๋าส่งเออร์โกโนมิกส์ให้ค่าอัตราการใช้พลังงานที่ต่ำที่สุด ในขณะที่กระเป๋าส่งญี่ปุ่นให้ค่าอัตราการใช้พลังงานในระดับปานกลาง และกระเป๋าส่งผ้าให้ค่าอัตราการใช้พลังงานที่สูงที่สุด ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกันกับสำหรับตัวชี้วัด พื้นที่การแกว่งของกระเป๋าส่ง สำหรับตัวชี้วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้าพบว่าลักษณะกระเป๋าส่งไม่ได้ส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัดดังกล่าว

สำหรับปัจจัยการจัดเรียงสิ่งของ จากผลการทดลองพบว่าการจัดเรียงสิ่งของส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัดทั้ง 3 ประเภทโดยการจัดเรียงสิ่งของไว้ด้านล่างจะทำให้ค่าอัตราการใช้พลังงาน พื้นที่การแกว่งของกระเป๋าส่ง และอัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้าต่ำกว่า ซึ่งอธิบายได้ว่าการวิ่งนั้นแตกต่างจากการเดิน โดยการวิ่งนั้นจะมีลักษณะเหมือนการกระโดดโดยลำตัวนั้นจะต้องมีการโน้มเอียงไปด้านหน้าเล็กน้อย การจัดเรียงสิ่งของไว้ด้านบนจะทำให้เกิดการควบคุมสมดุลที่ยากมากขึ้น อีกทั้งการวิ่งนั้นส่งผลให้เกิดการแกว่งที่มากกว่า เนื่องจากเกิดการบิดของลำตัวท่อนล่างและท่อนบนมากกว่า จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงยังพบว่าการจัดเรียงสิ่งของไว้ด้านบนทำพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าส่งมีในทิศทางเดียวกับอัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปข้างหน้าอีกด้วย

5.1.3 สรุปผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวชี้วัด

นอกจากการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัดดังกล่าวแล้ว งานวิจัยฉบับนี้ได้เพิ่มเติมการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวชี้วัด ซึ่งพบว่าอัตราการใช้พลังงานมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับพื้นที่การแกว่งของกระเปาะโดยเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และพื้นที่การแกว่งของกระเปาะยังมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับอัตราการโน้มตัวไปข้างหน้า แต่ความสัมพันธ์เป็นไปในทิศทางที่ตรงกันข้ามระหว่างกิจกรรมการเดินและการวิ่ง โดยกิจกรรมการเดินจะมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม แต่กิจกรรมการวิ่งมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากการวิ่งนั้นทำให้เกิดการบิดของลำตัว ท่อนล่างและท่อนบนมากกว่าจึงส่งผลให้มีพื้นที่การแกว่งของกระเปาะที่มากกว่า แต่อย่างไรก็ตามไม่พบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างอัตราการใช้พลังงานและอัตราการโน้มตัวไปข้างหน้า

นอกเหนือจากนั้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของกระเปาะและการใช้งานที่ผ่านมาส่วนใหญ่มีเพียงการวิเคราะห์ในเชิงสภาวะสถิต และการตอบสนองทางด้านความรู้สึก ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยฉบับนี้ได้มีการใช้ตัวชี้วัดโดยการใช้พลังงานร่วมกับอัตราการเปลี่ยนแปลงขององศาการโน้มตัวไปด้านหน้า และพื้นที่การแกว่งของกระเปาะ ซึ่งเป็นการกำหนดตัวชี้วัดให้สอดคล้องกับพฤติกรรมมนุษย์ที่มีการเคลื่อนที่และใช้พลังงานอยู่ตลอดเวลามากขึ้น ดังนั้นผลการวิเคราะห์จึงใกล้เคียงกับสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน นอกจากนี้ยังเป็นการใช้ตัวชี้วัดใหม่ เช่น ตัวชี้วัดของพื้นที่การแกว่งของกระเปาะที่เป็นการประยุกต์ใช้ทฤษฎีขนาดพื้นที่สนับสนุนการทรงตัวของ Gagey et al., เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบการแกว่งของกระเปาะได้ อีกทั้งงานวิจัยนี้พบว่าการจัดเรียงสิ่งของให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ด้านบนตามคำแนะนำของผู้ผลิตกระเปาะนั้นจะทำให้จุดศูนย์กลางมวลห่างไกลจากจุดหมุนหรือบริเวณสะโพกมาก ซึ่งจะทำให้กล้ามเนื้อทำงานหนักมากขึ้นเพื่อตั้งรับกระดูกสันหลังให้อยู่ในแนวเดียวกัน และการแกว่งทั้งในขณะยืนหรือวิ่งล้วนส่งผลทำให้กล้ามเนื้อทำงานหนัก การคำนวณในเชิงสภาวะสถิตตามหลักชีวกลศาสตร์จึงยังไม่สามารถให้ความกระจ่างในเรื่องดังกล่าวได้

งานวิจัยฉบับนี้จึงสามารถสร้างคำแนะนำการเลือกใช้กระเปาะและการจัดเรียงสิ่งของให้เกิดความเหมาะสมตามแต่ลักษณะการใช้งาน ส่งผลให้เกิดความเข้าใจและช่วยพัฒนาคุณภาพชีวิตของเด็กนักเรียนให้ดีขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้แสดงให้เห็นว่ากระเปาะที่มีลักษณะแนบชิดกับลำตัว เช่น กระเปาะที่มีสายรัดอกและสะโพกและมีแผ่นรองหลัง ส่งผลดีมากกว่าทั้งกรณีเดินและวิ่ง เนื่องจากเมื่อใช้งานกระเปาะใน

ลักษณะนี้จะไม่เกิดการแกว่งมากทำให้ร่างกายไม่ต้องใช้พลังงานจากกล้ามเนื้อในควบคุมจุดศูนย์กลางมวลเพื่อทำหน้าที่ในการทรงตัวให้เกิดความสมดุลมากนัก

สำหรับการจัดเรียงสิ่งของพบว่าการจัดเรียงสิ่งของให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ด้านบนในขณะที่เดินทำให้เกิดอัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้าที่น้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตามการจัดเรียงสิ่งของไว้ด้านบนนั้นไม่ได้ส่งผลดีต่ออัตราการใช้พลังงานและพื้นที่การแกว่งของกระเป่า ทั้งนี้การวิ่งโดยการวางสิ่งของไว้ด้านล่างนั้นจะส่งผลดีมากกว่าในทุกตัวชีวิต

โดยปกติกิจกรรมประจำวันของมนุษย์ไม่ได้มีเพียงแค่การเดิน แต่เป็นการเดินและวิ่งสลับกัน จึงมีความเห็นว่าการจัดเรียงสิ่งของไว้ด้านล่างนั้นส่งผลดีมากกว่า

5.3 งานวิจัยในอนาคต

1. นอกเหนือจากกระเป่าที่ทำการวิจัยทั้ง 3 รูปแบบแล้ว ปัจจุบันยังพบว่ามีการใช้กระเป่าประเภทอื่นที่นิยมใช้ เช่นกระเป่าที่มีล้อลาก หรือกระเป่าสะพายข้าง ซึ่งประเภทของกระเป่าเหล่านี้ควรนำมาวิเคราะห์เพิ่มเติม

2. การจัดเรียงสิ่งของในชีวิตประจำวันอาจไม่ได้มีเพียงแค่การจัดเรียงในรูปแบบที่จุดศูนย์กลางมวลอยู่ด้านบนและด้านล่าง ซึ่งการปรับเปลี่ยนจุดศูนย์กลางมวลที่เปลี่ยนแปลงไปอาจจะส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานและตำแหน่งการเคลื่อนที่เช่นกัน

3. รูปแบบการสะพายหลังที่แตกต่างกัน เช่น การสะพายโดยใช้ไหล่เพียงข้างเดียวอาจจะส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานและตำแหน่งการเคลื่อนที่เช่นกัน

4. งานวิจัยฉบับนี้ใช้เวลาสำหรับการทดลองแต่ละเงื่อนไขไม่ยาวนานมาก ทั้งนี้หากเพิ่มเวลาในการทดลองในแต่ละเงื่อนไข อาจจะส่งผลให้ผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างออกไป

5. งานวิจัยนี้กำหนดน้ำหนักในการทดลองเพียง 10% ของผู้เข้าร่วมการทดลอง ซึ่งหากเพิ่มน้ำหนักในการทดลองในแต่ละเงื่อนไข อาจจะส่งผลให้ผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างออกไป

6. จากการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรระหว่างพื้นที่การแกว่งของกระเป่าและอัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้าพบว่ามีความสัมพันธ์กัน แต่มีความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันในกรณีเดินและวิ่ง ทั้งนี้อาจจะศึกษาเพิ่มเติมถึงสาเหตุการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมมนุษย์ที่ทำให้เกิดความแตกต่างดังกล่าว

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล. (2560). เอกสารประกอบการเรียนการศึกษาชีวกลศาสตร์: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กิตติ อินทรานนท์. (2559). การยศาสตร์ (3 ed.). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชยกร พาลสิงห์, & ดวงไกร ทวีสุข. (2555). แหล่งพลังงานและการออกกำลังกาย. วารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2555(31), 316-321.
- ชูศักดิ์ เวชแพศย์. (2540). สรีรวิทยา 2 (4 ed.). กรุงเทพมหานคร: เรือนแก้วการพิมพ์.
- ประชาชาติธุรกิจ. (2556). คำแนะนำของแพทย์ว่าด้วยเด็กกับเบ้ Retrieved from http://www.prachachat.net/news_detail.php?newsid=1378354095
- ผู้จัดการออนไลน์. (2554). อันตรายในกระเป๋านักเรียนใบหนักของลูก Retrieved from <http://www.manager.co.th/Family/ViewNews.aspx?NewsID=9540000066233>
- พวงทอง ไกรพิบูลย์. (2553). ซ้ำพรหรืออัตรากาเริ่มต้นของหัวใจ. Retrieved from <http://haamor.com/th>
- วริษา ศิลาวงศ์. (2559). การลดภาระงานเข็นโดยการเทรคออกพระหว่างแรงกดอัดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนล่างและการใช้พลังงาน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต), ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- วัชระ รัตนสีหา และคนอื่นๆ. (2551). สัดส่วนนักเรียนที่ใช้กระเป๋านักเรียนน้ำหนักเกินมาตรฐานเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักตัว ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-4 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ศึกษาศาสตร์) ระดับประถม. ศรีนครินทร์เวชสาร, 24.
- วารสารฉลาดซื้อ. (2550). ปัญหาหนักหนักระเป๋านักเรียน. Retrieved from http://www.consumerthai.org/cms/index.php?option=com_content&task=view&id=27&Itemid=57
- วิภาพร ตันต์สุระ, & อรพินท์ การุณทรัพย์เจริญ. (2553). ผลของน้ำหนักกระเป๋าสะพายหลังต่อการเปลี่ยนแปลงท่าทางและสมรรถภาพปอดในเด็กนักเรียนเพศหญิง. วารสารกายภาพบำบัด, 32, 13-20.
- วีรเกียรติ พันธุ์มะโอภาส. (2558). การเปรียบเทียบความสามารถของการทรงตัวระหว่างในสภาวะปกติและในสภาวะอดนอนโดยใช้วิธีอัลบานซ์บอร์ด. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต),

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
กรุงเทพมหานคร.

ศิริรัตน์ ดีสูงเนิน, & นवलลอ ธวินชัย. (2555). การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสพายกระเป่าและ
อาการเปิดที่เกิดขึ้นในขณะสพายกระเป่าในนักเรียนมัธยมศึกษา โรงเรียนดารวิทยาลัย
เชียงใหม่ Retrieved from

https://www.researchgate.net/profile/Nuanlaor_Thawinchai/publication/27781995

สมนึก กุลสถิตพร. (2549). กายภาพบำบัดในผู้สูงอายุ (2 ed.). กรุงเทพมหานคร: ออฟเซ็ทเพรส.

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. (2551). เรื่องหนักหนกในกระเป่าน้อยน้อยของหนู.

Retrieved from <http://www.thaihealth.or.th/node/4441>

สิวลี เจตธำรง. (2558). อิทธิพลของความกว้างช่องทางเดินและปัจจัยพื้นฐานของมนุษย์ต่ออัตรา

หน่วงในการเดินผ่าน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

สุคนธ์ แสงสุข. (2533). การศึกษาระดับจุดศูนย์ถ่วงของร่างกายนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

ในกรุงเทพมหานคร. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), ภาควิชาพลศึกษา คณะครุศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

สุธาริน สุวรรณโ. (2554). การประเมินภาระงานการแบกกระเป่าของเด็กนักเรียนชั้นประถมศึกษา

ตามแนวทางชีวกศาสตร์. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

หนังสือพิมพ์แนวหน้า. (2550). เรื่องหนักหนกในกระเป่านักเรียนเด็กแบกหนังสือเกินตัวเสี่ยงหลังหัก

Retrieved from <https://www.gotoknow.org/posts/97848>

องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (Writer). (2556). สารคดีกำเนิดมนุษย์

ตอนวิวัฒนาการของกระดูก. : รายการโทรทัศน์ออกอากาศทางองค์การกระจายเสียงและ
แพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย.

อานัต หัตถา. (2534). การประดิษฐ์เครื่องวัดความสูงของจุดศูนย์ถ่วงของร่างกาย. (วิทยานิพนธ์

ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), ภาควิชาพลศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
กรุงเทพมหานคร.

ภาษาอังกฤษ

- Bauer, Denise H., & Freivalds A. (2008). Backpack load limit recommendation for middle school students based on physiological and psychophysical measurements. Retrieved from <http://content.iospress.com>
- Brage S., Westgate K., Franks PW., Stegle O., Wright A., & al, E. U. e. (2015). Estimation of Free-Living Energy Expenditure by Heart Rate and Movement Sensing: A Doubly-Labelled Water Study. *Journal of PLoS ONE*, 1-19.
- Coco D. (1997). Motion capture advances. *Computer Graphics World*, 37-42.
- Glover B. (2007). Heart Rate and Training Retrieved from <http://www.patrunning.info>
- Khan B., & Goyal A. (2015). CGSHIFTER: A Method to shift center of gravity to reduce school bag stress on children body. *International Journal of Research – GRANTHAALAYAH*, 3, 47-56.
- Kistner F., Fiebert I., Roach K., & Moore J. (2013). Postural Compensations and Subjective Complaints Due to Backpack Loads and Wear Time in Schoolchildren. *Pediatrics of the American Physical Therapy Association*, 15-24.
- Mallakzadeh M., Mehrdad J., Sirwan A., & M., H. (2015). Analyzing the potential benefits of using a backpack with non-flexible straps. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 11-20.
- Matzer M. (1997). Animation's new toon advances mean motion capture is about to make a splash. *Los Angeles Times*.
- Oigawa H., Ishikawa Y., Takata M., & Joe K. (2015). Visualization of Sensory Weight for Shouldering Randoseru. *International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications*, 207-303.
- Rai A., & Agarwai S. (2014). Assessing the Effect of Postural Discomfort on School Going Children Due to Heavy Backpacks. *J Ergonomics*, 54, 1-3.
- Spurr G., Prentice A., Murgatroyd P., Goldberg G., Reina J., & Christman N. (1988). Energy expenditure from minute-by-minute heart-rate recording: comparison

with indirect calorimetry. *The American journal of clinical nutrition*, 48, 552-559.

The university of Texas. Plug-in-Gaint Marker Placement. Retrieved from <http://www.uta.edu>





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมการวิจัย

หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมการวิจัย

(Consent Form)

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

ข้าพเจ้า..... อายุ.....ปี
 อาศัยอยู่บ้านเลขที่..... ถนน..... แขวง/ตำบล.....
 เขต/อำเภอ..... จังหวัด..... รหัสไปรษณีย์.....
 โทรศัพท์.....

ขอแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมงานวิจัยเรื่อง “ผลกระทบลักษณะกระเปาะสะพายหลังและการจัดเรียง
 สิ่งของต่ออัตราการเต้นของหัวใจและท่าทางของร่างกายที่นอนบน”

1. ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย และมีความเข้าใจดีแล้ว
2. ข้าพเจ้าได้ทราบถึงสิทธิ์ที่ข้าพเจ้าจะได้รับข้อมูลเพิ่มเติมทั้งทางด้านประโยชน์และโทษจากการเข้าร่วมการวิจัย
3. ข้าพเจ้ามีสิทธิ์ที่จะถอนตัวหรืองดเข้าร่วมการวิจัยนี้ได้ทุกเมื่อ โดยจะไม่มีผลกระทบต่อคะแนนในรายวิชาใดๆรวมถึงการบริการและสวัสดิการที่ข้าพเจ้าจะได้รับต่อไปในอนาคต
4. ข้าพเจ้ายินยอมให้ผู้วิจัยใช้ข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าที่ได้รับจากการวิจัย แต่จะไม่เผยแพร่ต่อสาธารณะเป็นรายบุคคล โดยจะนำเสนอเป็นข้อมูลโดยรวมจากการวิจัยเท่านั้น
5. ข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นแล้ว และมีความเข้าใจดีทุกประการ และได้ลงนามในหนังสือแสดงเจตนายินยอมนี้ด้วยความเต็มใจ

ลงชื่อ.....

()

ผู้เข้าร่วมการวิจัย

ภาคผนวก ข

เอกสารการประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมประจำปี พ.ศ 2560



การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2560
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
12-15 กรกฎาคม 2560 เชียงใหม่

การศึกษาเบื้องต้นของผลกระทบลักษณะกระเป๋าสะพายหลังและการจัดเรียงสิ่งของต่อ

อัตราการเต้นของหัวใจและท่าทางของร่างกายตอนบน

A Preliminary study of the effects of backpacks' characteristic and object arrangement on heart rate and posture of upper body

อรุณี แจ่มปฐม^{1*} และ ไพโรจน์ ลดาวิชิตกุล²

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: onrujee.j@hotmail.com*

Onrujee Jampathom^{1*} and Phairoat Ladavichitkul²

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

E-mail: onrujee.j@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยของกระเป๋าสะพายหลัง ได้แก่ ลักษณะของกระเป๋าและวิธีการจัดเรียงสิ่งของ ที่ส่งผลกระทบต่อร่างกายและท่าทาง ได้แก่ ความเหนื่อยล้าโดยอาศัยค่าอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate), การโน้มตัวจากองศาของลำตัวในระนาบ Sagittal และการแกว่งของกระเป๋าเทียบกับลำตัวในระนาบ Frontal โดยมีผู้เข้าร่วมการทดลองจำนวน 2 คน สะพายกระเป๋า 3 รูปแบบ ได้แก่ กระเป๋าสะพายหลังแบบทั่วไปที่ใช้วัสดุเป็นผ้า, กระเป๋าแบบที่มีสายรัดอกและเอวและมีแผ่นรองหลัง, กระเป๋าสะพายหลังแบบมีโครงสร้างที่แข็งหรือกระเป๋านักเรียนญี่ปุ่น ที่บรรจุน้ำหนักร้อยละ 10 ของน้ำหนักผู้เข้าร่วมทดลอง และจัดเรียงสิ่งของให้จุดศูนย์ถ่วงของกระเป๋าอยู่ตำแหน่งที่แตกต่างกัน 2 ระดับ คือ ด้านบน และด้านล่าง ศึกษากิจกรรม 2 รูปแบบ คือ เดินด้วยความเร็วปกติ และวิ่งช้า ๆ บนสายพานปรับความเร็ว (Treadmill) ในห้องปฏิบัติการ อัตราการเต้นของหัวใจของผู้เข้าร่วมการทดลองได้ถูกบันทึกตลอดเวลา พร้อมกับข้อมูลพิกัดการเคลื่อนที่ 3 มิติ ของร่างกายตอนบนด้วยระบบบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยภาพ OptiTrack™ ที่อัตรา 30 ภาพต่อวินาที จากการศึกษาพบว่ากระเป๋าสะพายกระเป๋าแบบที่มีสายรัดอกและเอวและมีแผ่นรองหลังส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นของหัวใจ และสัมประสิทธิ์ความแปรผันของจุดศูนย์ถ่วงของกระเป๋าเทียบกับลำตัวต่ำที่สุดในขณะเดินและวิ่ง สำหรับการจัดเรียงสิ่งของนั้นพบว่าการจัดเรียงสิ่งของโดยให้จุดศูนย์ถ่วงของกระเป๋าอยู่ตำแหน่งด้านล่างของกระเป๋าส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นของหัวใจและสัมประสิทธิ์ความแปรผันของจุดศูนย์ถ่วงของกระเป๋าเทียบกับลำตัวต่ำที่สุดในขณะเดินและวิ่ง แต่ในขณะเดียวกันจัดเรียงสิ่งของโดยให้จุดศูนย์ถ่วงอยู่ตำแหน่งด้านบนจะทำให้มือเกิดการโน้มตัวไปด้านหน้าที่มากกว่า

คำหลัก กระเป๋าสะพายหลัง, อัตราการเต้นของหัวใจ, ท่าทางของร่างกายตอนบน

Abstract

This research was studied on backpacks' characteristic and object arrangement effecting on heart rate, posture of upper body in the Sagittal plane and the backpacks swing in the Frontal plane. This experiment used 2 participants to carry 3 kinds of backpack; a regular backpack made of fabric, a backpack with strap, waist and rigid steel or plastic structure attached to the back, and a backpack with solid structure (Japanese style) contain with the object weighted at 10 percent of participant's weight.



การประชุมวิชาการรายงานวิทยานิพนธ์และวารสาร ประจำปี พ.ศ. 2560
ภาควิชาศึกษาศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
12-15 กรกฎาคม 2560 เชียงใหม่

The object arrangement to keep the center of gravity of the backpack in 2 different positions which are on the upper and the lower part of the backpack. The participants walked and ran on treadmill in the laboratory and their heart rate and movement were recorded by OptiTrack™ motion capture system at 30 frames per second. The result, in both cases whether participants were asked to run or walk, shows that when carrying a backpack with sternum straps, hip belt and frame sheet, heart rate changing and swing of backpack were lower than others. In term of object arrangement factor, the result indicated that when keeping the center of gravity of the backpack on the lower part, heart rate changing and swing of backpack were lower than keeping the center of gravity of the backpack on the upper part.

Keywords: Backpack, Heart rate, Upper body posture

1. บทนำ

ปัญหาสุขภาพจากการสะพายกระเป๋าที่หนักเกินไปเป็นสิ่งที่ทำให้หลายคนเกิดความกังวล โดยเฉพาะกับเด็กนักเรียนที่สะพายกระเป๋าหนักเกินไปจนทำให้ผู้ปกครองเกิดความกังวลใจ ผู้ปกครองบางคนพยายามหากระเป๋าสะพายหลังที่เหมาะสมให้กับบุตรหลานของตน อีกทั้งในปัจจุบันโรงเรียนหลายแห่งในประเทศไทยได้ให้อิสระในการเลือกใช้กระเป๋านักเรียน จึงพบรูปแบบของกระเป๋าสะพายหลังที่หลากหลายสำหรับรูปแบบของกระเป๋าสะพายหลังที่พบเห็นได้ทั่วไปมีอยู่ 3 ประเภทหลัก ได้แก่ กระเป๋าสะพายหลังแบบทั่วไปที่ใช้วัสดุเป็นผ้า, กระเป๋าแบบที่มีสายรัดอกและเอวและมีแผ่นรองหลัง, กระเป๋าสะพายหลังแบบมีโครงสร้างที่แข็งหรือกระเป๋านักเรียนญี่ปุ่น ซึ่งลักษณะของกระเป๋าเหล่านี้จะส่งผลต่อท่าทางขณะใช้งาน

นอกจากนี้การจัดเรียงสิ่งของในกระเป๋ายังเป็นอีกปัจจัยที่ผู้ปกครองให้ความสนใจ โดยคำแนะนำส่วนใหญ่ที่พบคือ การจัดเรียงสิ่งของนั้นควรจัดเรียงสิ่งของที่มีน้ำหนักมากที่สุดไว้ด้านหลังของกระเป๋าให้ชิดหลังของผู้ใช้งานมากที่สุด [1] ซึ่งเป็นตามหลักการเชิงชีวกลศาสตร์ที่ระบุว่าการทำงานที่ยากยิ่ง แยก หาม นั้นควรให้น้ำหนักมวลรวมของวัตถุใกล้กับน้ำหนักมวลรวมของผู้ยก แยก หาม มากที่สุดเนื่องจากจะทำให้เกิดโมเมนต์ที่ต่ำกว่า สำหรับตำแหน่งการจัดเรียงสิ่งของตำแหน่งบนและล่างยังไม่มีข้อมูลชัดเจนมากนัก แต่หากพิจารณาในเชิงชีวกลศาสตร์จะพบว่าการจัดเรียงสิ่งของโดยให้จุดศูนย์กลางของสิ่งของอยู่ในตำแหน่งบน จะส่งผลให้แรงส่งผ่านหรือใกล้เคียงบริเวณสะโพกเนื่องจากในขณะเดินหรือ

วิ่ง มนุษย์จะมีการเอียงลำตัวไปด้านหน้าเล็กน้อยเพื่อรักษาสมดุลร่างกาย แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ผลกระทบที่กล่าวถึงทั้งหมดนั้นได้มาจากการอนุมานในสภาวะสถิตซึ่งไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมของมนุษย์ในชีวิตประจำวันที่มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา

สำหรับกิจกรรมการสะพายกระเป๋าขณะเดินและวิ่งนั้นจะต้องใช้พลังงานจากกล้ามเนื้อในการทรงตัวเพื่อรักษาสมดุลร่างกาย และช่วยให้เกิดการเคลื่อนที่ได้โดยไม่เกิดการล้ม ซึ่งพลังงานที่กล้ามเนื้อใช้นั้นได้มาจากออกซิเจนที่ลำเลียงผ่านเลือด ดังนั้นการใช้พลังงานจึงมีความแปรผันกับอัตราการเต้นของหัวใจ ดังนั้นผู้วิจัยจึงคาดว่าความถี่ของกระเป๋าที่เป็นอุปสรรคต่อการควบคุมการทรงตัวนั้นจะส่งผลกระทบต่ออัตราการเต้นของหัวใจเช่นเดียวกัน

จากปัญหาและความสงสัยเหล่านี้จึงเป็นที่มาในการวิจัยฉบับนี้ซึ่งมุ่งเน้นการศึกษาลักษณะกระเป๋าสะพายหลังของนักเรียนที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเต้นของหัวใจและท่าทางของร่างกายก่อนบน ในสภาวะพลวัตทั้งขณะเดินและวิ่ง เพื่อให้ความกระจ่างและเป็นคำแนะนำในการเลือกใช้ตลอดจนวิธีการใช้งานกระเป๋าสะพายหลังให้มีความปลอดภัย

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษากระเป๋าสะพายหลังในลักษณะต่างๆ โดยมีปัจจัยที่แตกต่างกัน ได้แก่ ลักษณะของกระเป๋าและวิธีการจัดเรียงสิ่งของ ที่ผลกระทบต่อ อัตราการเต้นของหัวใจและท่าทางของร่างกายก่อนบน



การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2560
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
12-15 กรกฎาคม 2560 เชียงใหม่

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 อัตราการเต้นของหัวใจและการใช้พลังงาน

พลังงานที่กล้ามเนื้อจะใช้จำเป็นต้องใช้ออกซิเจนจากเลือด ดังนั้นการใช้พลังงานจึงมีความแปรผันกับอัตราการเต้นของหัวใจ เนื่องจากหัวใจทำหน้าที่ในการสูบฉีดเลือดให้ไหลเวียนไปทั่วร่างกายเพื่อให้มีการแลกเปลี่ยนออกซิเจนที่เซลล์เนื้อเยื่อและที่ถุงลมในปอด [2]

การใช้พลังงานสามารถคำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจซึ่งจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากภาระงานที่เพิ่มขึ้นปัจจัยภายนอกต่างๆ เช่น น้ำหนักของสัมภาระที่แบกหาม กิจกรรมเปลี่ยนไป เช่น เดินหรือวิ่ง ลักษณะกระเปาะและการจัดเรียงน้ำหนัก สิ่งเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อการควบคุมร่างกายและการใช้พลังงาน จากงานวิจัยของ Keytel และคณะได้เสนอสมการทำนายการใช้พลังงานจากปัจจัยของอายุ เพศ น้ำหนัก และอัตราการเต้นของหัวใจ ดังนี้ [3]

$$\begin{aligned} \text{Energy expenditure (EE)} = & \\ \text{gender} \times (-55.0969 + 0.6309 \times \text{heart rate} + & \\ 0.1988 \times \text{weight} + 0.2017 \times \text{age}) + (1 - & \\ \text{gender}) \times (-20.4022 + 0.4472 \times \text{HR} - & \\ 0.1263 \times \text{weight} + 0.074 \times \text{age}) & \quad (1) \end{aligned}$$

โดย gender คือเพศซึ่งแทนค่าเพศชาย = 1 และเพศหญิง = 0 , heart rate คือ อัตราการเต้นของหัวใจ (bpm), weight คือ น้ำหนัก (กิโลกรัม), age คือ อายุ (ปี)

3.2 การเคลื่อนไหวและการทรงตัวของร่างกายมนุษย์ในขณะเดินและวิ่ง

โดยปกติขณะเดินและวิ่งทุกครั้งที่เราแต่ละลงที่พื้นลำตัวจะมีการโน้มเอนไปข้างหน้าซึ่งจะทำให้มีความรู้สึกว่าจะล้มลง แต่อย่างไรก็ตามร่างกายจะสร้างสมดุลเพื่อไม่ให้เกิดการล้ม โดยเริ่มจากส่วนลำตัวของมนุษย์จะส่งแรงเหวี่ยงให้ลำตัวเอนไปในทิศทางด้านซ้ายและขวา ในขณะที่ไหล่และแขนจะเหวี่ยงตัวไปในทิศทางตรงกันข้ามเพื่อให้นมนุษย์สามารถวิ่งเป็นเส้นตรงต่อไปได้ และเอวที่มีลักษณะแคบและยาวของมนุษย์จะช่วยให้ปิดตัวขณะวิ่งซึ่งจะช่วยให้รับแรงจากขาเพื่อไม่ให้เสียการทรงตัว [4] ดังแสดงรูปที่ 1



รูปที่ 1 : ลักษณะการเคลื่อนไหวและการทรงตัวของมนุษย์

ลำตัวของมนุษย์จะส่งแรงเหวี่ยงให้ลำตัวเอนไปในทิศทางด้านซ้ายและขวา ในขณะที่ไหล่และแขนจะเหวี่ยงตัวไปในทิศทางตรงกันข้าม

4. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

4.1 ผู้เข้าร่วมทดสอบ

อาสาสมัครอายุระหว่าง 25-30 ปี จำนวน 2 คน ไม่จำกัดเพศ มีสภาพร่างกายปกติ ไม่มีประวัติการเป็นโรคเกี่ยวกับหัวใจและการผ่าตัดหรือบาดเจ็บบริเวณหลัง

4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

4.2.1 ระบบบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยภาพ

OptiTrack™ ประกอบด้วยกล้องอินฟราเรด รุ่น Flex 13 จำนวน 12 ตัว, มาร์กเกอร์แบบลูกบอลขาวแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 มิลลิเมตร และคอมพิวเตอร์พร้อมซอฟต์แวร์ Motive: Body (Version 1.7.5)

4.2.2 กล้องถ่ายภาพและวีดีโอ Sony A5100

4.2.3 ระบบบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจ

ประกอบด้วยเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ Runtastic รุ่น Combo Plus Bluetooth Smart และแอปพลิเคชันบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจ Sport Gear Tracker

4.2.4 เครื่องออกกำลังกายแบบสายพานปรับ

ความเร็ว

4.2.5 กระเปาะสะพายหลัง 3 รูปแบบ ได้แก่กระเปาะ

สะพายหลังแบบทั่วไปที่ใช้วัสดุเป็นผ้า, กระเปาะแบบที่มีสายรัดอกและเอวและมีแผ่นรองหลัง, กระเปาะสะพายหลังแบบมีโครงสร้างที่แข็งหรือกระเปาะนักเรียนญี่ปุ่นดังแสดงในรูปที่ 2 ตามลำดับ



การประชุมวิชาการรายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2560
 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 12-15 กรกฎาคม 2560 เชียงใหม่



รูปที่ 2 : ลักษณะของกระเป๋าสะพายหลัง 3 รูปแบบ

4.2.6 อุปกรณ์อื่น เช่น สายวัดระยะ, เหล็กถ่วงน้ำหนักบาร์เบลล์ และโหมขนาดต่างๆ

4.3 วิธีการดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล

4.3.1 เงื่อนไขการเก็บข้อมูล

วิเคราะห์ของคุณลักษณะของกระเป๋าสะพายหลังและวิธีการจัดเรียงสิ่งของ โดยใช้กระเป๋าที่มีรูปแบบแตกต่างกัน 3 รูปแบบ บรรจุน้ำหนักที่ร้อยละ 10 ของน้ำหนักตัว โดยจัดเรียงสิ่งของในกระเป๋าให้มีจุดศูนย์ถ่วงอยู่ส่วนบนและส่วนล่างของกระเป๋า ดังแสดงรูปที่ 3



รูปที่ 3 : ลักษณะการจัดเรียงสิ่งของที่ใช้ในการทดลอง

หลังจากนั้นทำการบันทึกตำแหน่งการเคลื่อนที่ทั้งเดินและวิ่ง โดยกำหนดให้ผู้เข้าร่วมการทดลองเดินเป็นระยะทาง 500 เมตร และวิ่งเป็นระยะทาง 200 เมตร และทำการบันทึกข้อมูลด้วยระบบบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยภาพเพื่อศึกษาดำเนินการของกระเป๋าและลำตัวที่เปลี่ยนแปลงไปทั้งกิจกรรมเดินและวิ่ง ตำแหน่งของการเก็บข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 : ลักษณะการติดมาร์กเกอร์เพื่อบันทึกข้อมูล

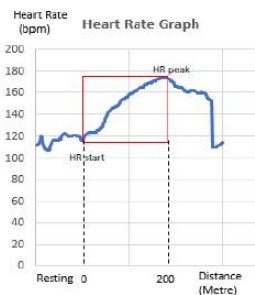
และทำการวัดอัตราการเต้นของหัวใจเพื่อเป็นตัวชี้วัดความเหนื่อยจากภาระงานต่างๆ ตามหลักสรีรวิทยาในการทำงาน ทั้งนี้จะให้ผู้เข้าร่วมการทดลองพักขณะทำการเก็บข้อมูลในแต่ละเงื่อนไขเป็นเวลา 5 นาที หรือจนกว่าผู้เข้าร่วมทดลองจะมีอัตราการเต้นของหัวใจอยู่ในค่าปกติขณะพัก (Heart Rate Resting) จึงเริ่มการเก็บข้อมูลในเงื่อนไขต่อไป

4.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) วิเคราะห์ข้อมูลความเหนื่อยล้าจากอัตรา การเต้นของหัวใจ (Heart Rate) โดยใช้อัตราการเพิ่มขึ้นของการเต้นของหัวใจเปรียบเทียบกับลักษณะของงานในแต่ละเงื่อนไขดังแสดงในรูปที่ 6



การประชุมวิชาการย้ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2560
 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 12-15 กรกฎาคม 2560 เชียงใหม่



รูปที่ 6 : กราฟอัตราการเต้นของหัวใจ

คำนวณอัตราการเพิ่มขึ้นของการเต้นของหัวใจจากสมการ

$$HR_{changing} = (HR_{peak} - HR_{start}) / \Delta t \quad (2)$$

โดย $HR_{changing}$ คืออัตราการเพิ่มขึ้นของการเต้นของหัวใจ

HR_{start} คืออัตราการเต้นของหัวใจในขณะที่เริ่มต้นทำงาน

HR_{peak} คืออัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดของการทำงานหรือก่อนเข้าช่วงสภาวะคงที่ (ในกรณีเดิน)

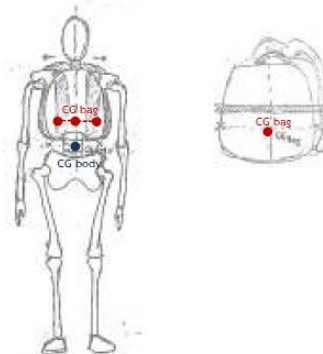
Δt คือระยะเวลา ณ จุด HR_{start} จนถึง HR_{peak}

2) วิเคราะห์ข้อมูลท่าทางของร่างกายก่อนบนจากค่าฐานนิยมขององศาการโน้มตัวไปด้านหน้า (θ) เมื่อเทียบกับการยืนโดยไม่มีภาระงาน ตามระนาบ Sagittal ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 : ลักษณะองศาการโน้มตัวไปด้านหน้า (θ)

3) วิเคราะห์ข้อมูลการแกว่งของกระเป๋าเทียบกับลำตัวในระนาบ Frontal โดยใช้ร้อยละสัมประสิทธิ์ความแปรผัน ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 : ลักษณะการแกว่งของกระเป๋าเทียบกับลำตัว

5. ผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการดำเนินการวิจัยโดยแยกกิจกรรมเดินและวิ่งเล็กน้อย แสดงได้ดังตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลการทดลองการสะพายกระเป๋าที่บรรจุน้ำหนักร้อยละ 10 ของน้ำหนักผู้เข้าร่วมทดลองขณะเดิน ที่ปัจจัยต่างๆ

T	ปัจจัย	CG	ผลการทดลอง					
			$HR_{changing}$		θ		COV	
			1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
A	ล่าง		0.29	0.32	15-16	15-16	35%	39%
	บน		0.38	0.41	13-14	11-12	63%	68%
B	ล่าง		0.15	0.22	15-16	15-16	28%	22%
	บน		0.17	0.19	13-14	11-12	52%	47%
C	ล่าง		0.20	0.24	17-18	17-18	31%	34%
	บน		0.35	0.33	15-16	15-16	54%	61%

ตารางที่ 2 ผลการทดลองการสะพายกระเป๋าที่บรรจุน้ำหนักร้อยละ 10 ของน้ำหนักผู้เข้าร่วมทดลองขณะวิ่งเล็กน้อย ที่ปัจจัยต่างๆ

T	ปัจจัย	CG	ผลการทดลอง					
			$HR_{changing}$		θ		COV_{CG}	
			1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
A	ล่าง		0.60	0.67	15-16	15-16	84%	92%
	บน		0.68	0.69	11-12	11-12	97%	89%
B	ล่าง		0.35	0.38	15-16	15-16	74%	68%
	บน		0.37	0.39	13-14	13-14	81%	88%
C	ล่าง		0.42	0.47	17-18	17-18	86%	79%
	บน		0.45	0.49	15-16	15-16	93%	82%



โดย A คือ กระเปาะสพภายหลังแบบทั่วไปวัสดุเป็นผ้า
B คือ กระเปาะแบบที่มีสายรัดดอกและเอวและมีแผ่นรองหลัง

C คือ กระเปาะสพภายหลังแบบมีโครงสร้างที่แข็งหรือกระเปาะนักเรียนญี่ปุ่น

HR_{changing} คือ อัตราการเพิ่มขึ้นของการเต้นของหัวใจ

θ คือ ฐานนิยมขององศาการโน้มตัวไปด้านหน้าเมื่อเทียบกับการยืนโดยไม่มีภาระงาน

COV_{CG} คือ Coefficient of Variation หรือ ร้อยละสัมประสิทธิ์ความแปรผันของจุดศูนย์กลางของกระเปาะเทียบกับจุดศูนย์กลางของลำตัว

6. สรุป

จากผลการทดลองพบว่ากระเปาะแบบที่มีสายรัดดอกและเอวและมีแผ่นรองหลัง เมื่อใช้งานทั้งในขณะเดินและวิ่งพบว่าค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของการเต้นของหัวใจ และร้อยละสัมประสิทธิ์ความแปรผันของจุดศูนย์กลางของกระเปาะมีค่าต่ำที่สุด ในขณะที่กระเปาะสพภายหลังแบบมีโครงสร้างที่แข็งหรือกระเปาะนักเรียนญี่ปุ่น และกระเปาะสพภายหลังแบบทั่วไปที่ใช้วัสดุเป็นผ้ามีค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของการเต้นของหัวใจ และร้อยละสัมประสิทธิ์ความแปรผันของจุดศูนย์กลางของกระเปาะสูงกว่าตามลำดับ

สำหรับการจัดเรียงสิ่งของมีผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจและร้อยละสัมประสิทธิ์ความแปรผันของจุดศูนย์กลางของกระเปาะเช่นเดียวกัน จากการทดลองพบว่าการจัดเรียงสิ่งของไว้ด้านล่างของกระเปาะส่งผลให้อัตราการเพิ่มขึ้นของการเต้นของหัวใจ และร้อยละสัมประสิทธิ์ความแปรผันของจุดศูนย์กลางของกระเปาะต่ำกว่าทั้งในขณะเดินและวิ่ง แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการจัดเรียงสิ่งของโดยให้จุดศูนย์กลางอยู่ด้านบนนั้นจะทำให้เกิดการเอียงตัวที่น้อยกว่าจริงแต่ไม่ได้ทำให้เกิดการใช้พลังงานและการแกว่งของกระเปาะให้ลดลง

ทั้งนี้จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าเมื่อใช้กระเปาะแบบที่มีสายรัดดอกและเอวและมีแผ่นรองหลัง และจัดเรียงสิ่งของให้มีจุดศูนย์กลางอยู่ระดับล่างของกระเปาะแล้วจะทำให้ร่างกายใช้พลังงานน้อยกว่า เนื่องจากใช้กล้ามเนื้อเพื่อรักษาสมดุลการทรงตัวและการเคลื่อนที่น้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับ

การประชุมวิชาการรายงานนิพนธ์กรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2560
ภาควิชาชีพกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
12-15 กรกฎาคม 2560 เชียงใหม่

ผลของการเปรียบเทียบค่าร้อยละสัมประสิทธิ์ความแปรผันของจุดศูนย์กลางของกระเปาะที่เป็นตัวชี้วัดความยากง่ายในการควบคุมการรักษาสมดุลการทรงตัวเคลื่อนที่อีกอย่างหนึ่ง

7. การวิจัยในอนาคต

ดำเนินการศึกษาความแปรปรวนของข้อมูลการแกว่งของลำตัวเมื่อสพกระเปาะขณะเดินและวิ่งเล็กน้อยในระนาบ Frontal ทั้งแนวซ้าย-ขวา และบน-ล่าง และเพิ่มจำนวนผู้เข้าร่วมทดลองเป็น 8 คน

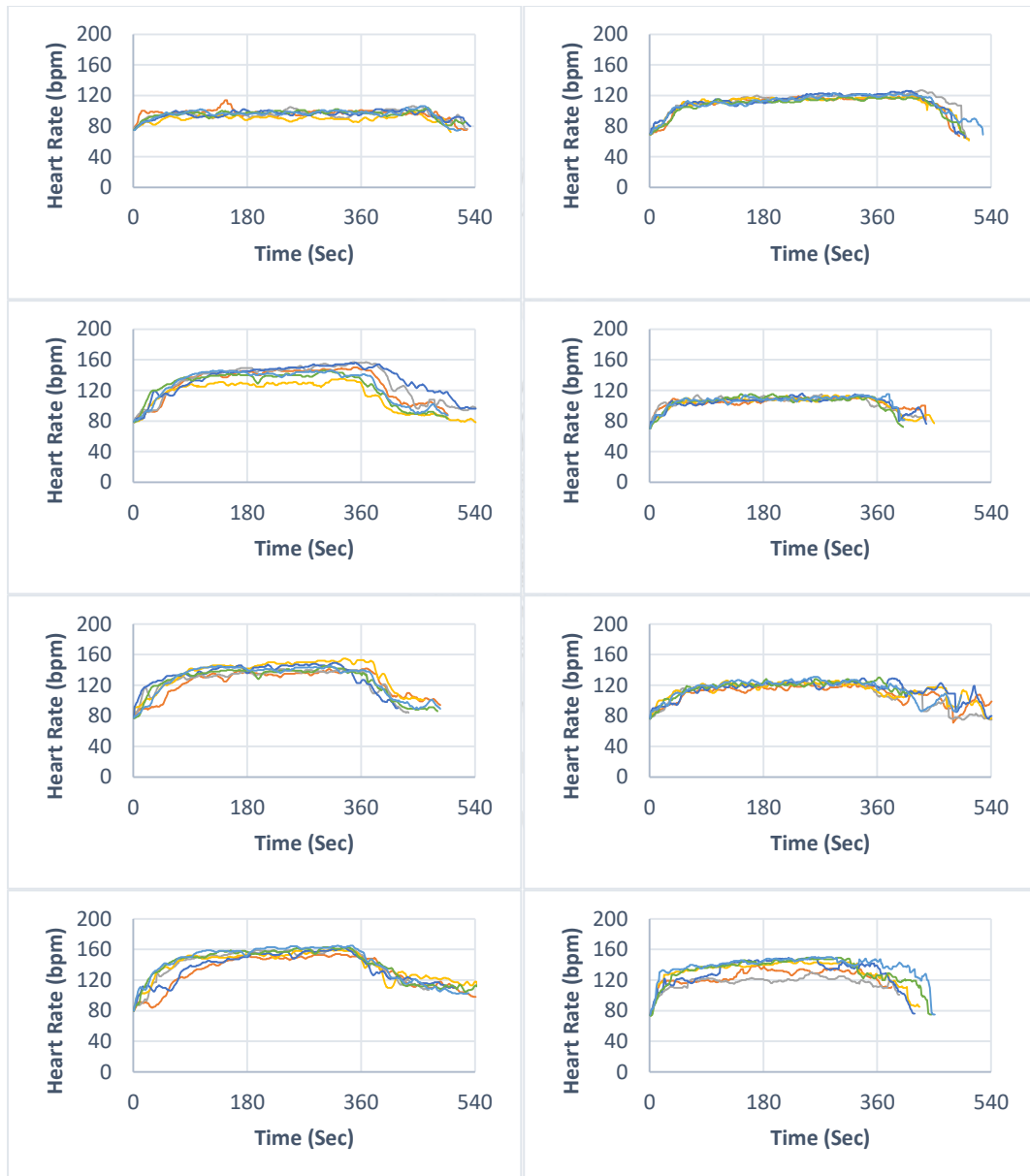
เอกสารอ้างอิง

- [1] ไพบูลย์ ช่วงทอง, เป็สพภายหลังสำหรับเด็กเล็ก: การฝึกและวิธีการสพที่ถูกต้อง, ข้อมูลจาก <http://www.chaladsue.com> (วันที่สืบค้นข้อมูล 5 มกราคม 2560)
- [2] กิตติ อินทรานนท์, การยศาสตร์, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548
- [3] Keytel, L. R., Goedecke, J. H., Noakes, T. D., Hiiloskorpi, H., Laukkanen, R., van der Merwe, L., & Lambert, E. V., Prediction of energy expenditure from heart rate monitoring during submaximal exercise, Journal of Sports Sciences, 2005
- [4] สารคดีท่องเที่ยวโลกกว้าง ตอนกำเนิดมนุษย์, องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย, 2555

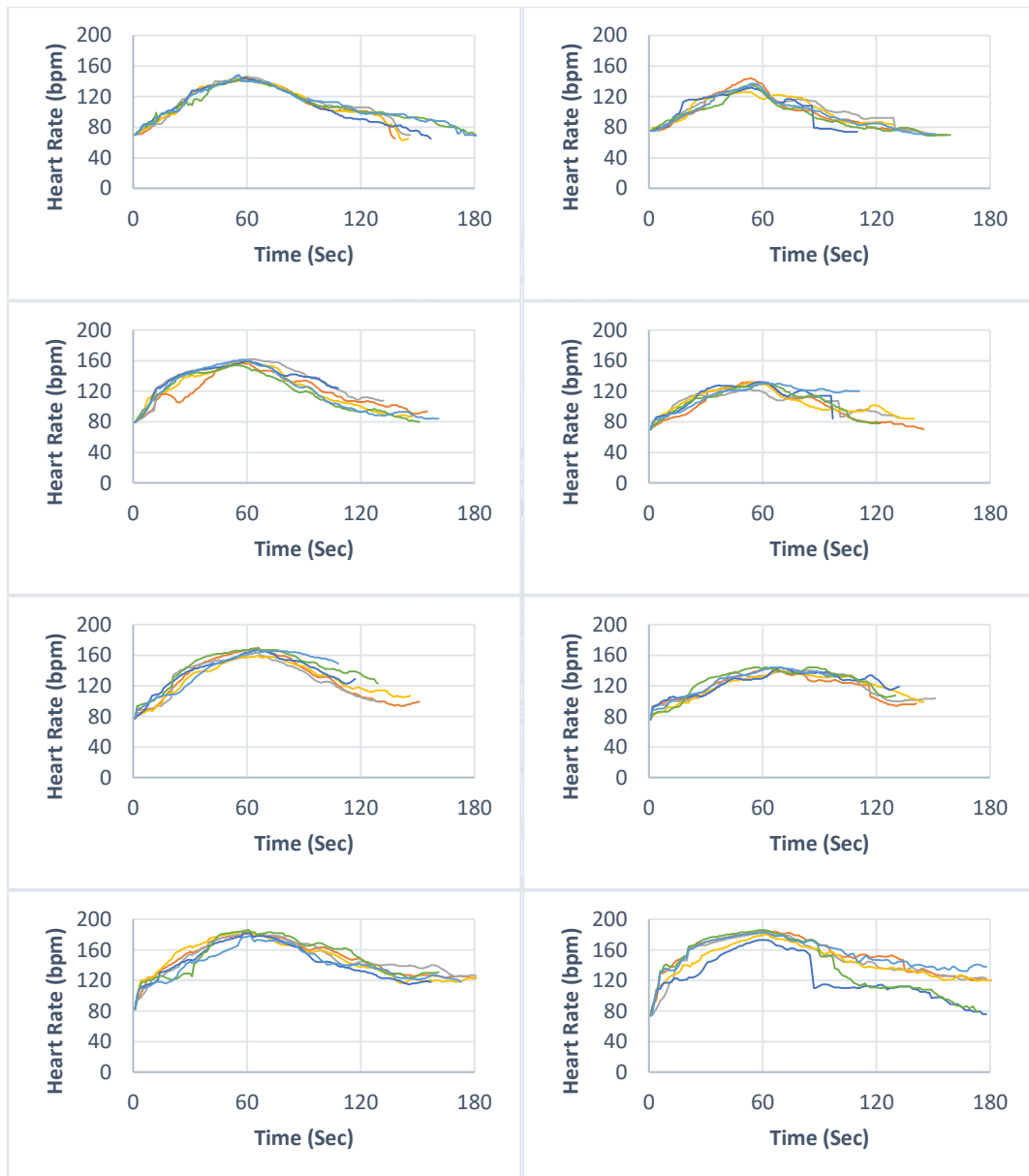
ภาคผนวก ค

ตัวอย่าง ข้อมูลจากผลการทดลอง

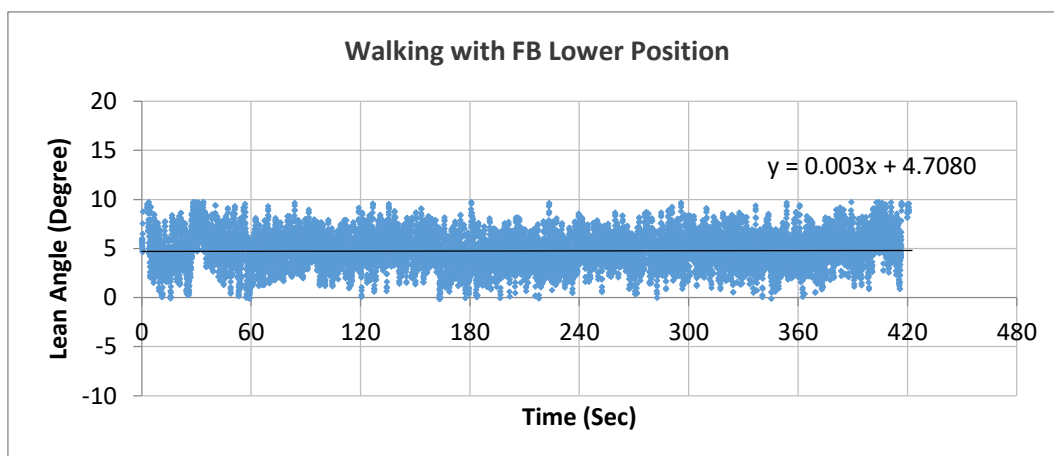
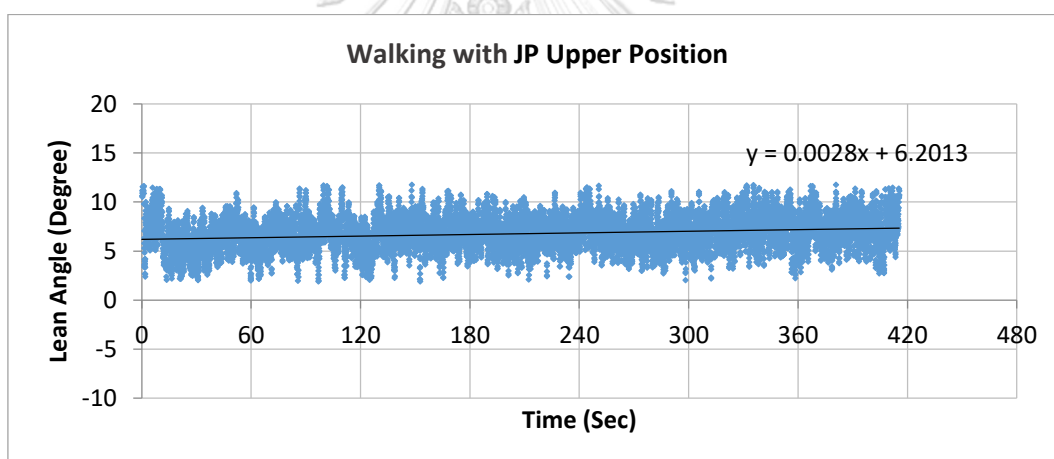
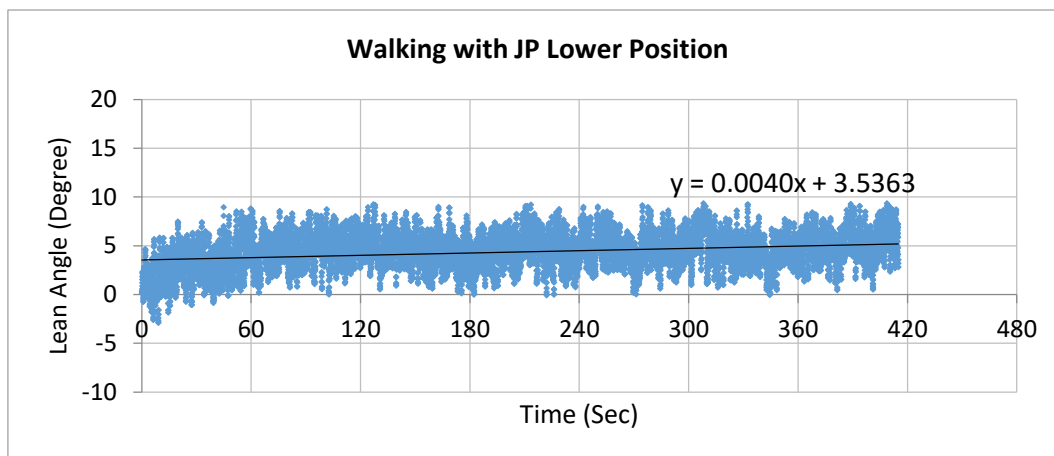
1. กราฟอัตราการเต้นของหัวใจขณะเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 คนในทุกเงื่อนไขการทดลอง

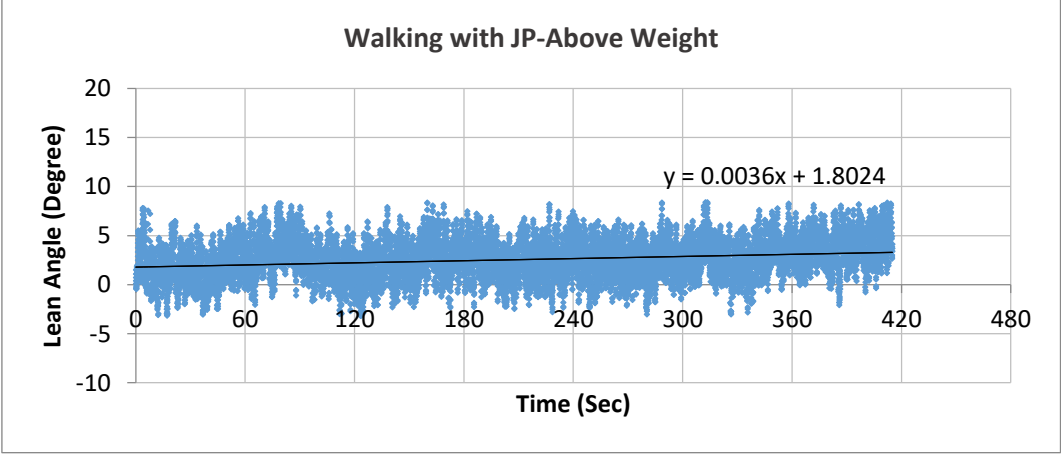
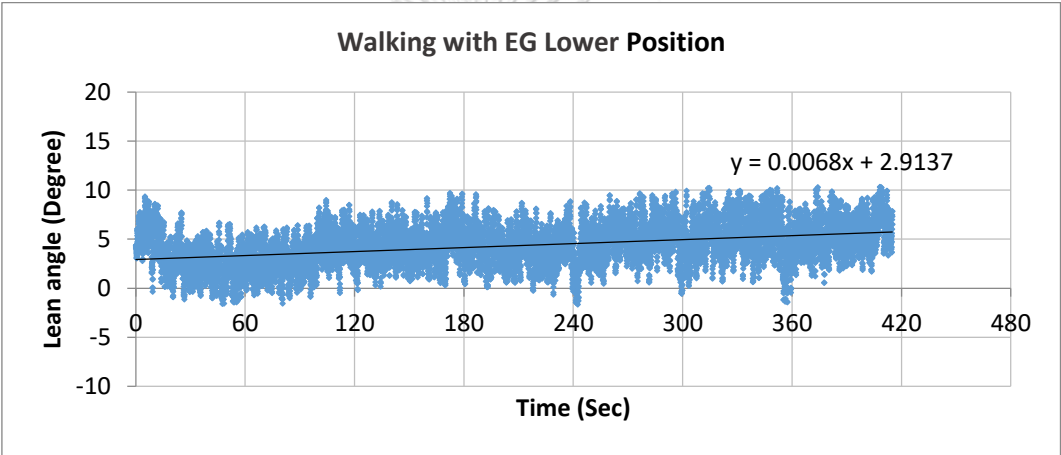
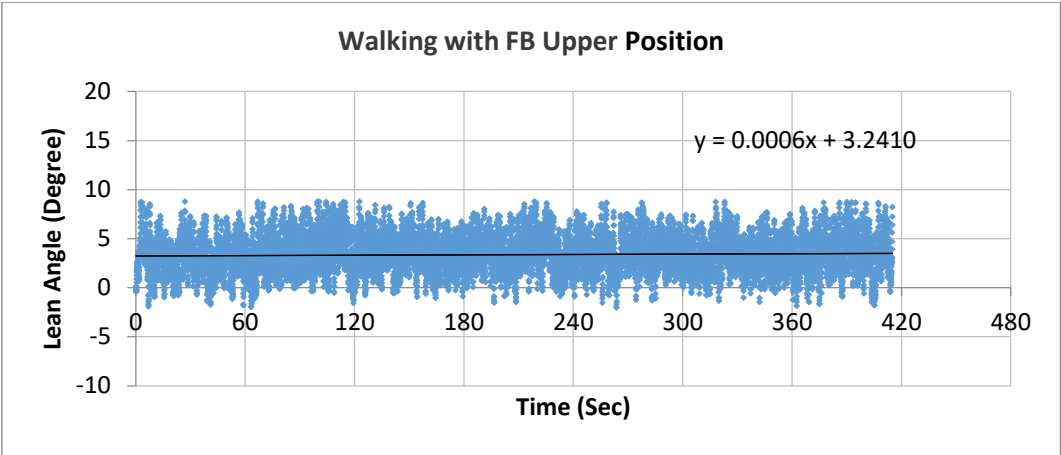


2. กราฟอัตราการเต้นของหัวใจขณะวิ่งของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 8 คนในทุกเงื่อนไขการทดลอง

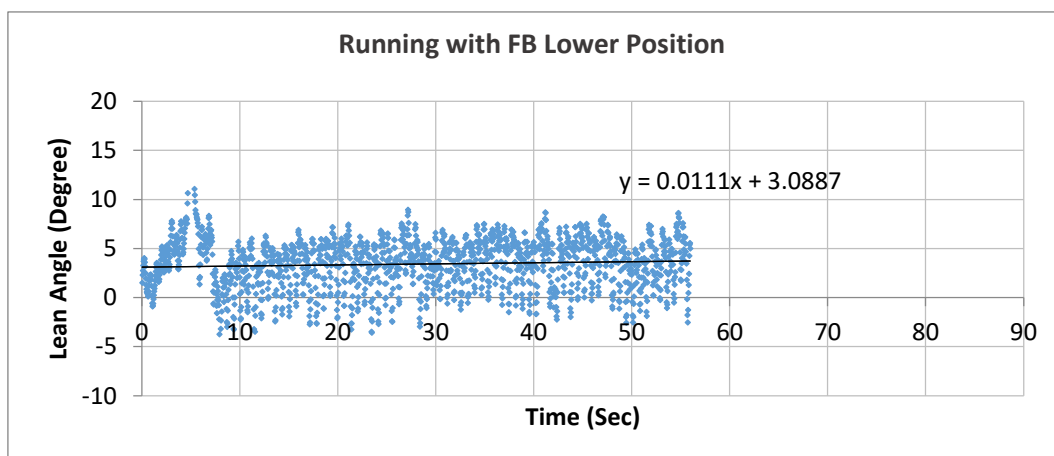
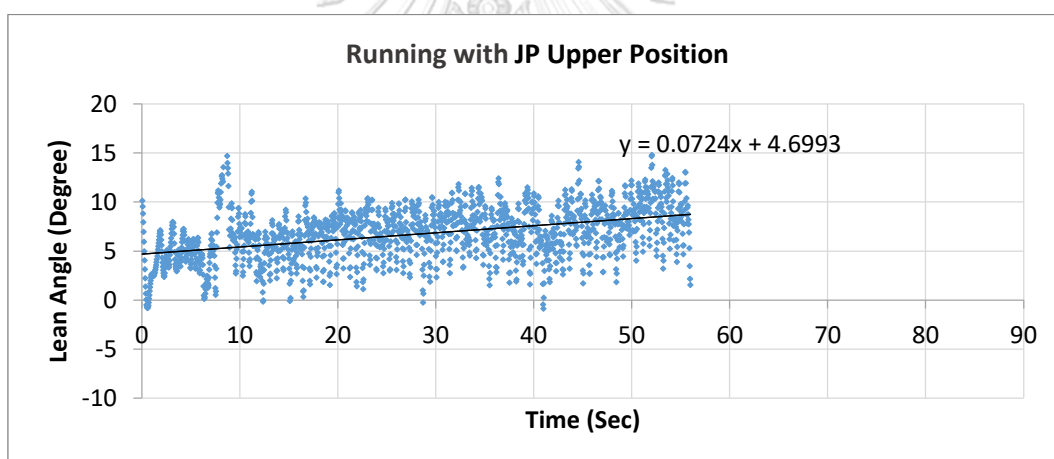


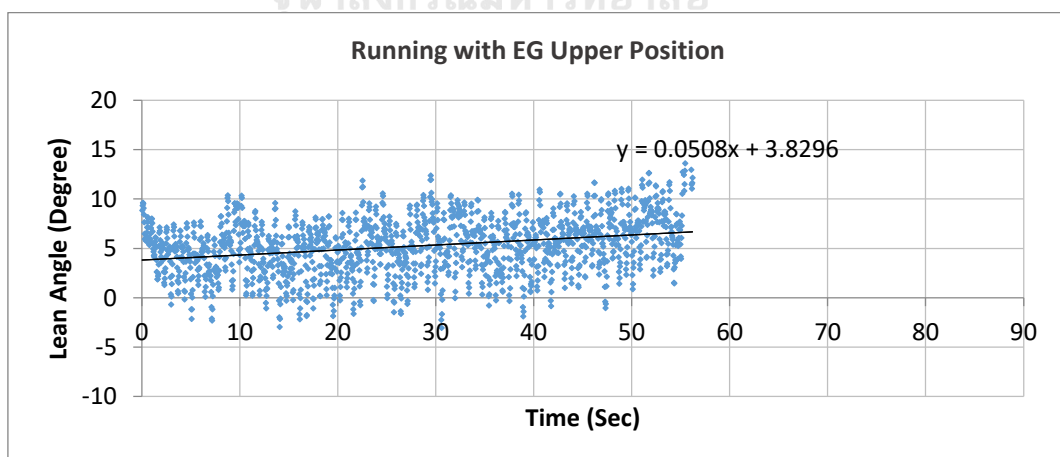
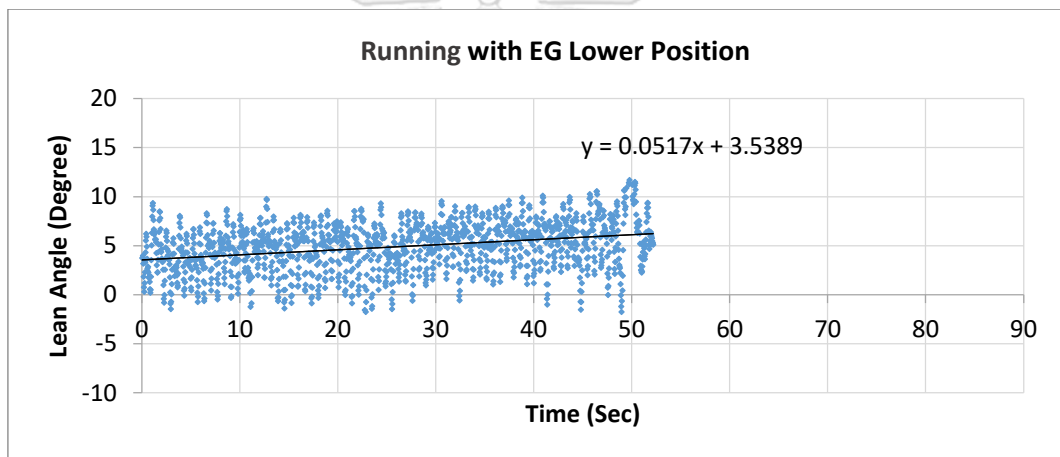
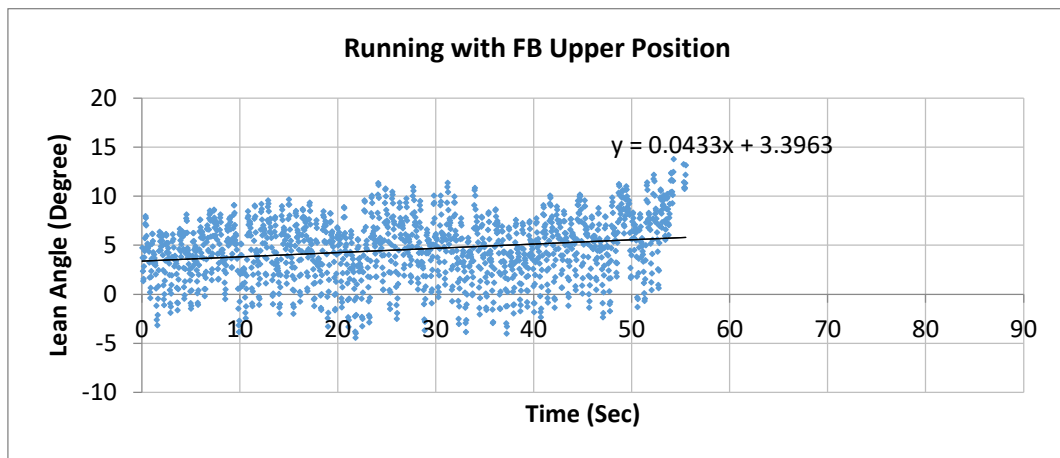
3. กราฟอัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ในทุกเงื่อนไขการทดลอง



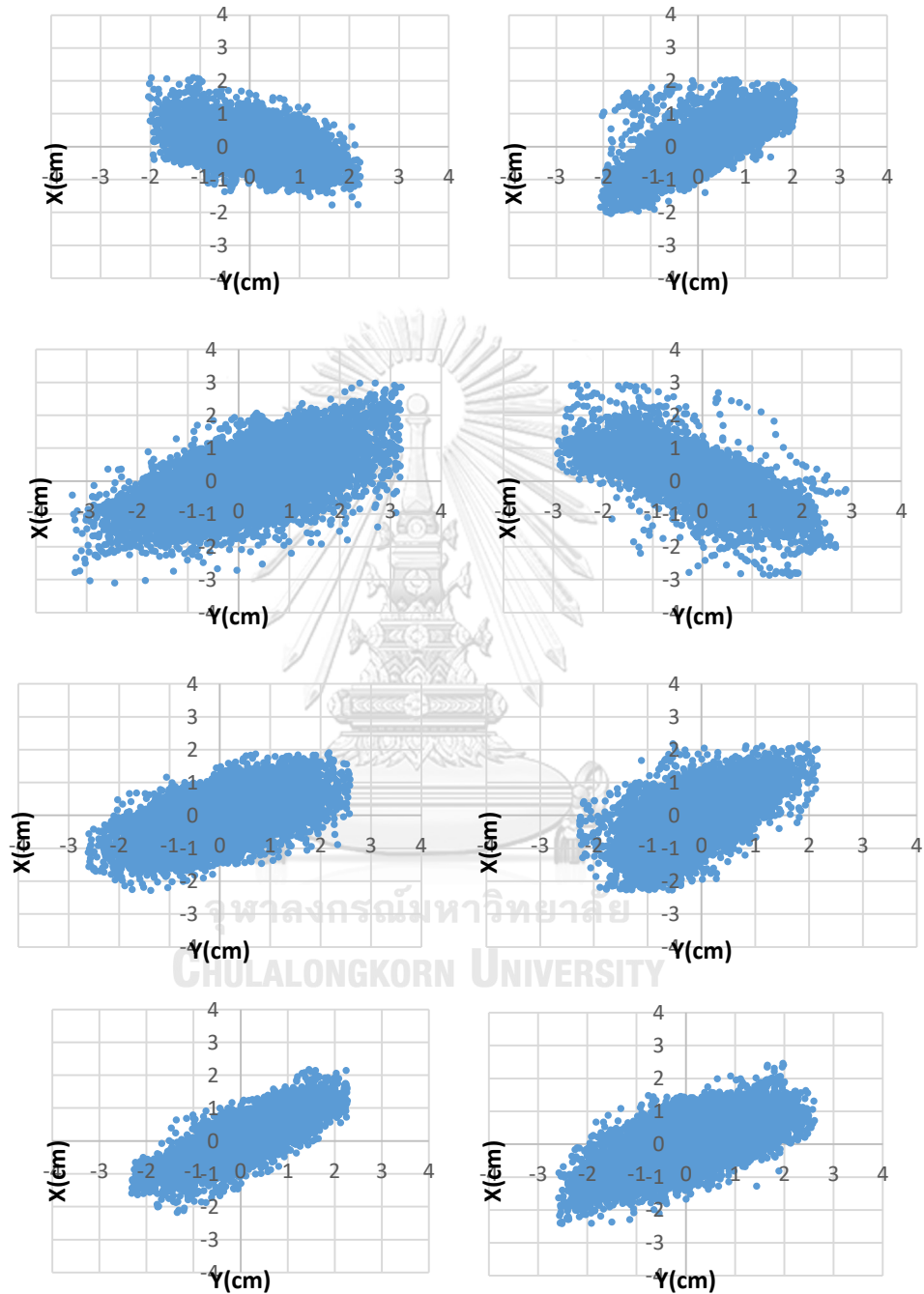


4. กราฟอัตราการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มตัวไปด้านหน้าขณะวิ่งของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 ในทุกเงื่อนไขการทดลอง



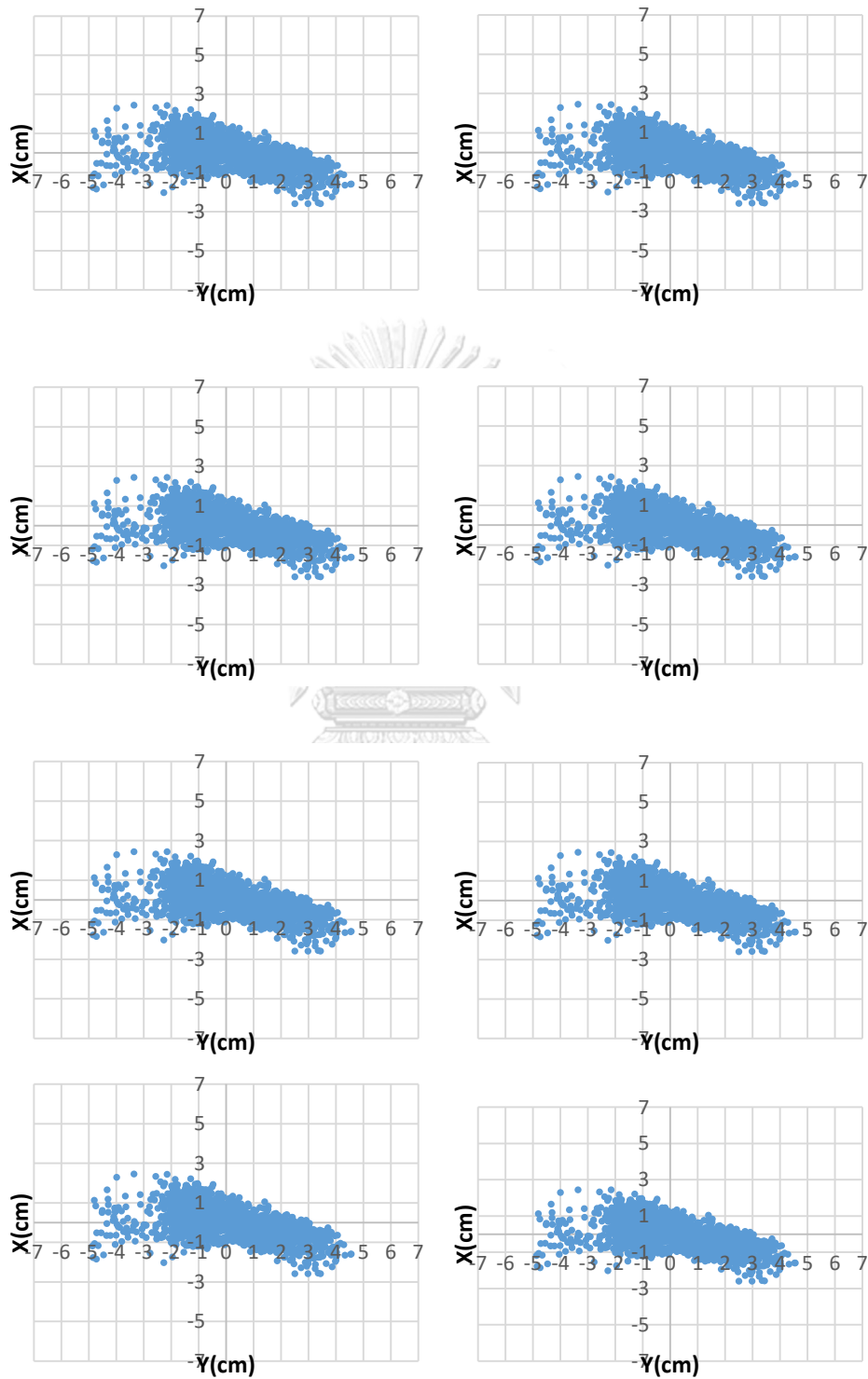


5. กราฟพื้นที่การแกว่งของกระเป๋าระยะเดินของผู้เข้าร่วมการทดลอง 8 คน



หมายเหตุ : แสดงพื้นที่การแกว่งของกระเป๋ามีลักษณะคงรูปโดยมีโครงสร้างแข็งทั้งกระเป๋และใส่น้ำหนักโดยกำหนดให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ด้านล่าง

6. กราฟพื้นที่การแกว่งของกระเปาะขณะวิ่งของผู้เข้าร่วมการทดลอง 8 คน



หมายเหตุ : แสดงพื้นที่การแกว่งของกระเปาะที่มีลักษณะคงรูปโดยมีโครงสร้างแข็งทั้งกระเปาะและใส่น้ำหนักโดยกำหนดให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ด้านล่าง

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอรุณี แจ่มปฐม เกิดวันที่ 14 ธันวาคม พ.ศ.2532 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2554 มีประสบการณ์ทำงาน 2 ปี ที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยตำแหน่ง วิศวกร และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2558

