

การศึกษาลักษณะของบันไดที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2560

**THE STUDY OF PROPER STAIRS FEATURES FOR
THE ELDERLY**



Rachaneekorn Polpattapee

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

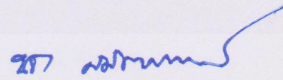
Suranaree University of Technology

Academic Year 2017

การศึกษาลักษณะของบันไดที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ

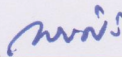
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



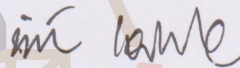
(อ.ดร.นรา สมัตตภาพงศ์)

ประธานกรรมการ



(รศ.ดร.พรศิริ จงกล)

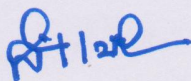
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(รศ.ดร.นิวิท เจริญใจ)

กรรมการ

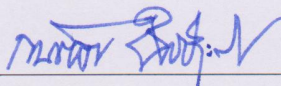

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(ศ.ดร.สันติ แม่นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

และพัฒนาความเป็นสากล



(รศ.ร.อ.ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

รชนีกร พลปัดพี : การศึกษาลักษณะบันไดที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ (THE STUDY OF PROPER STAIRS FEATURES FOR THE ELDERLY) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ จงกล, 153 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดและวิเคราะห์แรงแนวตั้งที่เท้ากระทำต่อพื้นขณะใช้บันไดที่มีขนาดลูกตั้งแตกต่างกัน และเพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้สูงอายุที่มีต่อขนาดลูกตั้งของบันไดที่แตกต่างกัน โดยมีการเก็บข้อมูลจำนวนผู้สูงอายุ 100 คนในจังหวัดนครราชสีมา แบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนดังนี้ 1. ข้อมูลพื้นฐานทั่วไปของผู้ถูกทดลอง ลักษณะสภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัย และ 2. ข้อมูลเชิงทดลองประกอบด้วยข้อมูลค่าแรงแนวตั้งที่เท้ากระทำต่อพื้น และเวลาขณะใช้บันไดที่มีระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 12 13 14 และ 15 เซนติเมตร สำหรับค่าแรงแนวตั้งหรือ GRF แบ่งออกเป็น 5 ระดับคือ Fz2 Fz3 Fz4 bn และ en นอกจากนี้แล้วมีการเก็บข้อมูลคะแนนความพึงพอใจที่ผู้ถูกทดลองมีต่อบันไดในแต่ละระดับความสูงของลูกตั้งบันได

ผลที่ได้จากการวิจัยพบว่า ผู้ถูกทดลองใช้เวลาเฉลี่ยในการเดินลงบันไดมากกว่าการเดินขึ้นบันได โดยผู้สูงอายุใช้เวลาเฉลี่ยในการเดินขึ้นบันไดที่ระดับความสูงเท่ากับ 13 เซนติเมตรน้อยที่สุด ซึ่งมีเวลาเท่ากับ 5.183 วินาที และใช้เวลาเฉลี่ยในการเดินลงบันไดที่ระดับความสูงเท่ากับ 12 เซนติเมตรน้อยที่สุด ซึ่งมีเวลาเท่ากับ 6.128 วินาที ผลการวิเคราะห์ค่าแรง GRF พบว่าค่าแรง Fz2 ขณะลงบันไดมีค่ามากกว่าค่าแรง Fz2 ขณะขึ้นบันได และค่าแรง Fz4 ขณะขึ้นบันไดมีค่ามากกว่าค่าแรง Fz4 ขณะลงบันได สำหรับคะแนนความพึงพอใจที่ผู้ถูกทดลองมีต่อระดับความสูงของลูกตั้งบันไดพบว่า ที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 13 เซนติเมตรมีค่าคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจมากที่สุดเท่ากับ 4.17 คะแนน

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา 2560

ลายมือชื่อนักศึกษา รชนีกร
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา พรศิริ

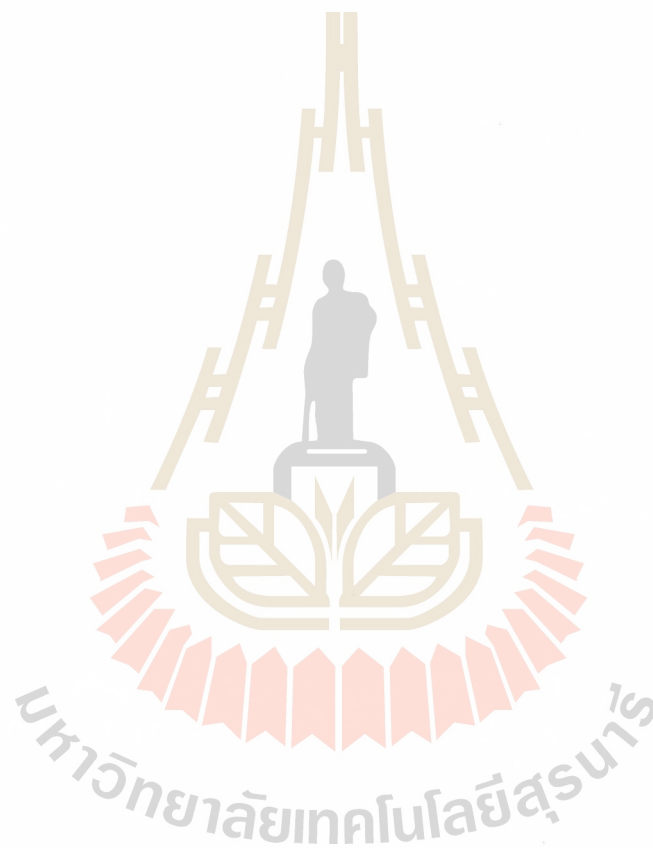
RACHANEEKORN POLPATTAPEE : THE STUDY OF PROPER STAIRS
FEATURES FOR THE ELDERLY. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF.
PORN SIRI JONGKOL, Ph.D., 153 PP.

GROUND REACTION FORCE/STAIRS/ELDERLY/SATISFACTION/FORCE
PLATE

This research has two purposes as follow : 1) to measure and analyze the Ground Reaction Force (GRF) while using stairs with different sizes, and 2) to study of the elderlies' satisfaction about different sizes of stairs. The data was collected from 100 elderly people living in Nakhon Ratchasima divided into two parts including 1) basic information of the interviewees' living environment, and 2) experimental data of Ground Reaction Force and the time while using stairs with different height of staircase including 12, 13, 14, and 15 centimeters. The Ground Reaction Force is separated into 5 degrees which are Fz2, Fz3, Fz4, bn, and en. Moreover, this research also studies about the satisfaction of the interviewees that they have for each height of staircase.

The study found that the interviewees used more average time in walking down than walking up the stairs. The elderlies took the least time in walking up the stairs having 13 centimeters height at 5.183 seconds. Anyway, they took the least time in walking down the stairs having 12 centimeters height at 6.128 seconds. The result of GFR found that Fz2 while walking down is more than Fz2 while walking up the stairs. And, Fz4 while walking up is more than Fz4 while walking down the stairs. On The

other hand, the stairs having 13 centimeters height got the highest score at 4.17 of satisfaction from elderlies.



School of Industrial Engineering

Academic Year 2017

Student's Signature Rachaneekorn

Advisor's Signature Pornchai Jonglath

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้ดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากท่านรองศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ จงกล รองคณบดี ฝ่ายวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งเป็นผู้ให้โอกาสทางการศึกษา ซึ่งแนะแนวทางทั้งทางวิชาการและการดำเนินชีวิต ตลอดจนช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ

ขอกราบขอบพระคุณ ท่านรองศาสตราจารย์ ดร.นิเวศ เจริญใจ ที่ได้ให้คำชี้แนะแนวทางในการดำเนินงานวิจัย และข้อคิดในด้านต่าง ๆ

ขอกราบขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ชัย จิตตะมัย ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภากร พิทยชวลิต ท่านอาจารย์ ดร.จنگล ศรีธร ท่านอาจารย์ ดร.นรา สมัตถภาพงศ์ และท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมที่เป็นผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และแนวทางข้อคิดต่าง ๆ ให้แก่ผู้วิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณจ่านงค์ ผายสระน้อย วิศวกรประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และคุณ โกวิทย์ แถมเกษม พนักงานประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่อำนวยความสะดวกทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ พร้อมทั้งให้ข้อคิดในการดำเนินงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณผู้สูงอายุ 100 คนในจังหวัดนครราชสีมา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เข้าร่วมวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณน้องนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม พี่น้องบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และน้องชายผู้วิจัย คุณจุฬภพ พลบัตย์ ที่สละเวลาและร่วมใจในการเก็บข้อมูลผู้ถูกทดลองอย่างดีมาโดยตลอด

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้รับทุนอุดหนุนโครงการวิจัยประเภททุนบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2560 และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ ครอบครัวที่ให้การสนับสนุนในการอุปการะเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน และเป็นกำลังใจสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

รชนิกร พลบัตย์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
2 การทบทวนวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเดิน	6
2.1.1 วงจรการเดินของมนุษย์(Gait Cycle, GC)	6
2.2 การวิเคราะห์การเดิน (Gait Analysis)	8
2.2.1 Motion Analysis	8
2.2.2 เครื่องมือสำหรับวัดแรงปฏิกิริยาต่อพื้น Force Plate	10
2.3 การศึกษาเกี่ยวกับสัดส่วนของร่างกายและสมบัติทางกายภาพของมนุษย์	12
2.3.1 ระนาบของร่างกาย (Body Planes)	12
2.3.2 ข้อมูลขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์	13
2.4 กฎกระทรวงกำหนดสิ่งอำนวยความสะดวกในอาคารสำหรับผู้พิการหรือทุพพลภาพ และคนชรา พ.ศ. 2548	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5	บันได (Stair)..... 16
2.5.1	องค์ประกอบของบันได..... 16
2.5.2	วัสดุที่ใช้สร้างบันได..... 17
2.6	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 17
3	วิธีดำเนินงานวิจัย..... 26
3.1	การสำรวจเชิงข้อมูลพื้นฐานทั่วไปของผู้ถูกทดลอง และการวัดสัดส่วนของผู้ถูกทดลอง..... 26
3.1.1	จำนวนผู้ถูกทดลองและวิธีการคัดเลือกผู้ถูกทดลอง..... 26
3.1.2	การสำรวจข้อมูลพื้นฐานทั่วไปของผู้ถูกทดลอง..... 27
3.1.3	การวัดสัดส่วนของผู้ถูกทดลอง..... 28
3.2	การวิจัยเชิงทดลอง..... 30
3.2.1	ข้อสมมติฐานการทดลอง..... 30
3.2.2	การออกแบบการทดลอง..... 30
3.2.3	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง..... 31
3.2.4	การเตรียมสถานที่ที่ใช้ในการทดลอง..... 35
3.2.5	ขั้นตอนการทดลอง..... 36
3.2.6	ขั้นตอนการใช้เครื่องบันทึกการเคลื่อนไหว..... 37
3.3	การวิเคราะห์ข้อมูลค่า Ground Reaction Force, GRF..... 39
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 43
4.1	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานทั่วไปของผู้ถูกทดลอง..... 43
4.1.1	ผลการศึกษาสภาพทั่วไปของผู้ถูกทดลอง..... 43
4.1.2	ผลการศึกษาสภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัยของผู้ถูกทดลอง..... 47
4.1.3	ผลการศึกษาวัดสัดส่วนร่างกายของผู้ถูกทดลอง..... 47
4.2	ผลการวิเคราะห์เชิงทดลอง..... 49
4.2.1	ผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาแนวตั้งของเท้าที่กระทำต่อพื้น ขณะเดินบันไดที่มีขนาดลูกตั้งแตกต่างกัน..... 49

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2	ผลการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ขณะเดินบันไดที่มีขนาดลูกตั้งแตกต่างกัน.....	98
4.2.3	ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจที่มีต่อขนาดลูกตั้งของบันได ที่แตกต่างกัน.....	104
4.3	อภิปรายผลการวิเคราะห์.....	106
4.3.1	อภิปรายผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาแนวตั้งของเท้าที่กระทำต่อพื้นขณะ เดินบันไดที่มีขนาดลูกตั้งแตกต่างกัน.....	106
4.3.2	อภิปรายผลการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ขณะเดินบันไดที่มี ขนาดลูกตั้งแตกต่างกัน.....	108
4.3.3	อภิปรายผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจที่มีต่อขนาดลูกตั้ง บันไดที่แตกต่างกัน.....	108
5	สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	109
5.1	สรุปผลการศึกษา.....	109
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	111
	รายการอ้างอิง.....	112
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. แบบสอบถามความพึงพอใจ.....	115
	ภาคผนวก ข. ผลค่าแรง GRF ของผู้ถูกทดลองจำนวน 10 คน.....	124
	ภาคผนวก ค. ข้อมูลเวลาของผู้ถูกทดลองขณะใช้บันได จำนวน 100 คน.....	130
	ภาคผนวก ง. ข้อมูลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาที่ใช้เดินบันได.....	138
	ภาคผนวก จ. รายชื่อบทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	145
	ประวัติผู้เขียน.....	153

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรค่า Ground Reaction Forces และความเร็ว/เวลา.....	22
3.1 การจำแนกผู้สูงอายุตามพื้นที่ ภายในจังหวัดนครราชสีมา.....	27
3.2 ข้อมูลสัดส่วนร่างกายของผู้ถูกทดลองในทำยีนจำนวน 32 รายการ.....	28
3.3 ตารางบันทึกผลการจับเวลาขาขึ้นและขาลงของบันได.....	37
4.1 จำนวนผู้ถูกทดลองจำแนกตามชนิดการออกกำลังกาย.....	45
4.2 จำนวนผู้ถูกทดลองที่หกล้มจำแนกตามบริเวณที่หกล้ม.....	46
4.3 จำนวนความถี่ของสาเหตุการหกล้มของผู้ถูกทดลอง.....	46
4.4 จำนวนช่วงความถี่ในการใช้บันได.....	47
4.5 ข้อมูลค่าเฉลี่ยวัดสัดส่วนร่างกายในทำยีน.....	47
4.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปร Fz2 ขณะขึ้นบันได.....	51
4.7 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในค่าแรงปฏิกิริยา Fz2 ขณะขึ้นบันไดที่ระดับความสูงแตกต่างกัน.....	52
4.8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปร Fz2 ขณะลงบันได.....	54
4.9 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในค่าแรงปฏิกิริยา Fz2 ขณะลงบันไดที่ระดับความสูงแตกต่างกัน.....	55
4.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปร Fz2.....	58
4.11 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในค่าแรงปฏิกิริยา Fz2.....	58
4.12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz3 ขณะขึ้นบันได.....	61
4.13 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในค่าแรงปฏิกิริยา Fz3 ขณะขึ้นบันได.....	61
4.14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz3 ขณะลงบันได.....	64
4.15 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในค่าแรงปฏิกิริยา Fz3 ขณะลงบันได.....	64

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz3.....	67
4.17 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในค่าแรงปฏิกิริยา Fz3.....	68
4.18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz4 ขณะขึ้นบันได.....	70
4.19 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในค่าแรงปฏิกิริยา Fz4 ขณะขึ้นบันได.....	70
4.20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz4 ขณะลงบันได.....	73
4.21 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในค่าแรงปฏิกิริยา Fz4 ขณะลงบันได.....	73
4.22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz4.....	76
4.23 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในค่าแรงปฏิกิริยา Fz4.....	77
4.24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปร bn ขณะขึ้นบันได.....	80
4.25 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในตัวแปร bn ขณะขึ้นบันได.....	80
4.26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปร bn ขณะลงบันได.....	83
4.27 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในตัวแปร bn ขณะลงบันได.....	83
4.28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปร bn.....	86
4.29 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในตัวแปร bn.....	87
4.30 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรของตัวแปร en ขณะขึ้นบันได.....	90
4.31 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในตัวแปร en ขณะขึ้นบันได.....	90
4.32 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรของตัวแปร en ขณะลงบันได.....	93
4.33 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในตัวแปร en ขณะขึ้นลงได.....	93
4.34 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปร en.....	96
4.35 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในตัวแปร en.....	97
4.36 ค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ขณะขึ้นและลงบันไดของผู้ถูกทดลอง โดยแบ่งตามช่วงอายุ.....	98
4.37 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาที่ใช้ขณะขึ้นบันได.....	99
4.38 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในเวลาขณะขึ้นบันได.....	100

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.39 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาที่ใช้ขณะลงบันได.....	101
4.40 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในเวลาขณะลงบันได.....	101
4.41 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาที่ใช้ขณะขึ้นและลงบันได.....	103
4.42 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในเวลาขณะขึ้นและลงบันได.....	104
4.43 คะแนนความพึงพอใจของผู้ถูกทดลองที่มีต่อระดับความสูงของลูกตั้งบันได ในแต่ละระดับ.....	105



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	แนวโน้มประชากรเด็ก ผู้สูงอายุ และดัชนีการสูงวัย ในช่วง พ.ศ.2558 –2573..... 1
1.2	แผนภูมิแสดงอัตราการเสียชีวิตจากการพลัดตกหกล้มในผู้ที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไปต่อ ประชากรแสนคน จำแนกตามเพศ พ.ศ.2549 – พ.ศ.2558..... 3
2.1	Gait Cycle วงจรการเดินของมนุษย์..... 7
2.2	แผนภาพการเชื่อมต่อกล้ามเนื้อและเครื่องควบคุม..... 8
2.3	ภาพสามมิติที่ได้จากการบันทึก Motion Analysis (มุมมองด้านหน้า)..... 9
2.4	ภาพสามมิติที่ได้จากการบันทึก Motion Analysis (มุมมองด้านข้าง)..... 9
2.5	เครื่องมือสำหรับวัดแรงปฏิกิริยาต่อพื้นหรือ Force Plate..... 10
2.6	ค่า Ground Reaction Forceของแกน Vertical Force (Fz), Horizontal Force (Fx), Lateral Force (Fy) ของการเดินแบบปกติ..... 10
2.7	ตัวแปรของค่าแรง Ground Reaction Force แกน Vertical Force (Fz)..... 11
2.8	ระนาบของร่างกายมนุษย์(Body Planes)..... 12
2.9	เครื่องมือวัดขนาดสัดส่วนของร่างกาย..... 13
2.10	เครื่องมือวัดสัดส่วนของร่างกายโดยการถ่ายภาพ..... 14
2.11	วิธีใช้เครื่องวัดสัดส่วนร่างกาย..... 15
3.1	เครื่องมือ Anthropometer..... 29
3.2	สายวัด..... 29
3.3	เครื่องชั่งน้ำหนัก 30
3.4	นาฬิกาจับเวลาดิจิทัล..... 31
3.5	เครื่องคอมพิวเตอร์ในชุดวิเคราะห์การเคลื่อนไหว..... 32
3.6	แผ่น Force Plate รุ่น Kistler 9286BA..... 32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.7	กล้องอินฟราเรดในชุดวิเคราะห์การเคลื่อนไหว.....	33
3.8	แบบจำลองของบันไดที่ใช้ในทดลอง.....	33
3.9	ขนาดส่วนต่าง ๆ ของบันได (มุมด้านข้าง).....	34
3.10	ขนาดส่วนต่าง ๆ ของบันได (มุมด้านบน).....	34
3.11	พื้นที่ที่ใช้ทดลองการเดินบันได.....	35
3.12	เส้นหรือจุดตั้งต้นของผู้ถูกทดลอง.....	36
3.13	หน้าต่างการใช้งานของโปรแกรม SMART Capture.....	37
3.14	หน้าต่างการใช้งานของโปรแกรม SMART Analyzer.....	38
3.15	อุปกรณ์ 3 Axis Wand.....	38
3.16	การใช้งานคำสั่ง Export to text file.....	39
3.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าแรง GRF กับเวลา (ขณะขึ้นบันได).....	39
3.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าแรง GRF กับเวลา (ขณะลงบันได).....	40
3.19	ตัวแปรของค่าแรง Ground Reaction Force !!กับ Vertical Force (Fz).....	40
4.1	จำนวนผู้ถูกทดลองแบ่งตามช่วงอายุ.....	43
4.2	แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร Fz2 ขณะขึ้นบันได.....	50
4.3	แผนภาพกระจายระหว่างส่วนข้างกับค่า Fz2 ขณะขึ้นบันได.....	51
4.4	แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร Fz2ขณะลงบันได.....	53
4.5	แผนภาพกระจายระหว่างส่วนข้างกับค่า Fz2 ขณะลงบันได.....	53
4.6	แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร Fz2.....	57
4.7	แผนภาพกระจายระหว่างส่วนข้างกับค่า Fz2.....	57
4.8	แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร Fz3 ขณะขึ้นบันได.....	60
4.9	แผนภาพกระจายระหว่างส่วนข้างกับค่า Fz3 ขณะขึ้นบันได.....	60

สารบัญรูป (ต่อ)

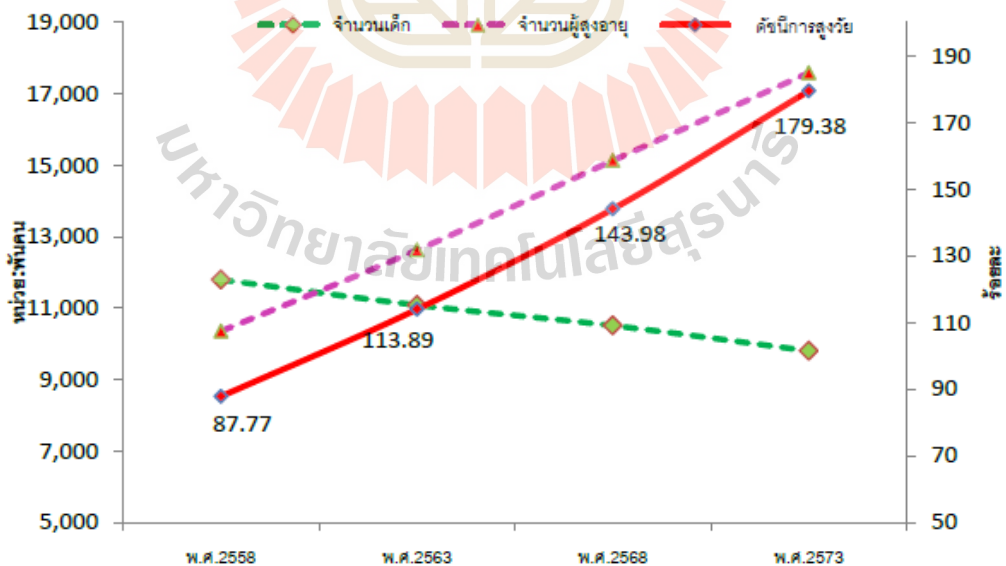
รูปที่	หน้า
4.10 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร Fz3 ขณะลงบันได.....	63
4.11 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนข้างกับค่า Fz3 ขณะลงบันได.....	63
4.12 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร Fz3.....	66
4.13 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนข้างกับค่า Fz3.....	66
4.14 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร Fz4 ขณะขึ้นบันได.....	69
4.15 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนข้างกับค่า Fz4 ขณะขึ้นบันได.....	69
4.16 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร Fz4 ขณะลงบันได.....	72
4.17 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนข้างกับค่า Fz4 ขณะลงบันได.....	72
4.18 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร Fz4.....	75
4.19 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนข้างกับค่า Fz4.....	76
4.20 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร bn ขณะขึ้นบันได.....	79
4.21 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนข้างกับค่า bn ขณะขึ้นบันได.....	79
4.22 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร bn ขณะลงบันได.....	82
4.23 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนข้างกับค่า bn ขณะลงบันได.....	82
4.24 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร bn.....	85
4.25 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนข้างกับค่า bn.....	86
4.26 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร en ขณะขึ้นบันได.....	89
4.27 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนข้างกับค่า en ขณะขึ้นบันได.....	89
4.28 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร en ขณะลงบันได.....	92
4.29 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนข้างกับค่า en ขณะลงบันได.....	92
4.30 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร en.....	95
4.31 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนข้างกับค่า en.....	96

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยมีจำนวนผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากข้อมูลของสำนักงานสถิติแห่งชาติในปีพ.ศ. 2557 พบว่า ประชากรผู้สูงอายุที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไปของประเทศไทยมีจำนวนมากกว่า 10 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 14.9 ของประชากร ส่งผลให้ประเทศไทยเข้าสู่ภาวะประชากรผู้สูงอายุ (Population Aging) ที่มีประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไปรวมทั้งเพศชายและเพศหญิงมากกว่าร้อยละ 10 ของประชากรทั้งประเทศ (แพทยหัตถ์หญิงพวงทอง ไกรพิบูลย์, 2557) ซึ่งมีจำนวนเพิ่มขึ้นทุกปี และจากข้อมูลการคาดการณ์ประชากรของประเทศไทยปีพ.ศ. 2558 – 2573 ในอีก 10 ปีข้างหน้าจะเริ่มเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุอย่างสมบูรณ์ (Completed Aged Society) (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2557) ดังแสดงในรูปที่ 1.1



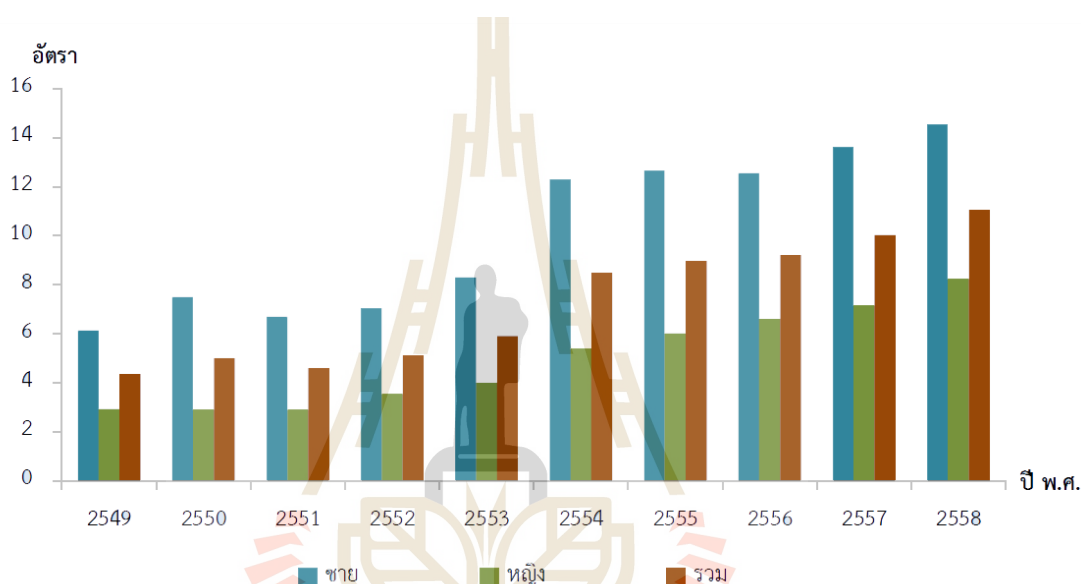
รูปที่ 1.1 แนวโน้มประชากรเด็ก ผู้สูงอายุ และดัชนีการสูงวัย ในช่วง พ.ศ. 2558 – 2573 (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2557)

องค์การสหประชาชาติ (United Nations:UN) ได้นิยามผู้สูงอายุ (Older Person) หมายถึง ประชากรทั้งเพศชายและหญิงที่มีอายุมากกว่า 60 ปีขึ้นไป และได้แบ่งระดับการเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ เป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1. ระดับการก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ (Aging Society) หมายถึง สังคมหรือประเทศ ที่มีประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไปมากกว่าร้อยละ 10 ของประชากรทั้งประเทศหรือมีประชากรอายุตั้งแต่ 65 ปีมากกว่าร้อยละ 7 ของประชากรทั้งประเทศ 2. ระดับสังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ (Aged Society) สังคมหรือประเทศที่มีประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไป มากกว่าร้อยละ 20 ของประชากรทั้งประเทศหรือมี ประชากรอายุตั้งแต่ 65 ปี มากกว่าร้อยละ 14 ของประชากรทั้งประเทศ แสดงว่าประเทศนั้นเข้าสู่ สังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ และ 3. ระดับสังคมผู้สูงอายุอย่างเต็มที่ (Super-Aged Society) หมายถึง สังคมหรือประเทศที่มีประชากรอายุ 65 ปีขึ้นไปมากกว่า ร้อยละ 20 ของประชากรทั้งประเทศ

เมื่อประชากรมีอายุยืนขึ้นเนื่องจากการแพทย์ที่ทันสมัย โครงสร้างทางสังคมของประเทศ จึงเปลี่ยนไป กลุ่มประชากรผู้สูงอายุบางส่วนอยู่ในภาวะพึ่งพิง เพราะต้องพึ่งพิงประชากรวัยทำงาน นอกจากนี้สังคมยังคาดหวังให้ประชากรผู้สูงอายุเป็นทรัพยากรที่สำคัญในการพัฒนาประเทศ ไม่ เป็นภาระต่อบุคคลหลาน และรัฐบาลมีความต้องการในการส่งเสริมให้ผู้สูงอายุสามารถช่วยเหลือ ตนเองได้ อีกทั้งยังสามารถอยู่ในสังคมอย่างปกติและมีคุณภาพ ภาครัฐจึงได้มีมาตรการต่าง ๆ ใน การอำนวยความสะดวกให้แก่ ผู้สูงอายุ ดังเช่น กระทรวงมหาดไทยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของ การอำนวยความสะดวกและการเข้าถึงอาคารสำหรับผู้สูงอายุจึงได้ประกาศใช้กฎกระทรวงกำหนด สิ่งอำนวยความสะดวกในอาคารสำหรับผู้พิการหรือทุพพลภาพ และคนชรา พ.ศ.2548 ตั้งแต่วันที่ 31 สิงหาคม 2548 เป็นต้นมา

กฎกระทรวงฉบับที่ 55 (พ.ศ.2543) ว่าด้วยเรื่องของการควบคุมภายในอาคาร ออกตาม ความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 มีการกล่าวถึงเนื้อหาในส่วนลักษณะบันไดของ อาคารที่พักอาศัยระบุว่าหากมีบันไดต้องมีความกว้างสุทธิไม่น้อยกว่า 80 เซนติเมตร ช่วงหนึ่งสูงไม่ เกิน 3 เมตร ลูกตั้งสูงไม่เกิน 20 เซนติเมตร ลูกนอนเมื่อหักส่วนที่ขึ้นบันไดเหลื่อมกันออกแล้วเหลือ ความกว้างไม่น้อยกว่า 22 เซนติเมตร และต้องมีพื้นหน้าบันไดความกว้างและยาวไม่น้อยกว่าความ กว้างของบันได แต่เนื่องจากลักษณะการใช้บันไดในแต่ละช่วงอายุแตกต่างกัน เพราะการใช้งาน ของร่างกายในวัยชรามีประสิทธิภาพลดลง จึงมีกฎกระทรวงกำหนดสิ่งอำนวยความสะดวกใน อาคารสำหรับผู้พิการหรือทุพพลภาพ และคนชรา พ.ศ.2548 ได้กำหนดให้มาตรฐานของบันไดมี ความกว้างไม่น้อยกว่า 150 เซนติเมตร ลูกตั้งสูงไม่เกิน 15 เซนติเมตร และลูกนอนกว้างไม่น้อยกว่า 28 เซนติเมตร

เมื่อคนมีอายุยืนยาวขึ้น ระบบการทำงานต่าง ๆ ของร่างกายในผู้สูงอายุมีประสิทธิภาพลดลงทั้งระบบกล้ามเนื้อที่อ่อนแรงลง กระดูกที่บางและเสื่อมได้ง่าย อีกทั้งระบบประสาทการสั่งงานของสมองเริ่มตอบสนองช้าลง ปัจจัยเหล่านี้ล้วนก่อให้เกิดอุบัติเหตุการหกล้มในผู้สูงอายุได้ง่าย ซึ่งในแต่ละปีมีผู้สูงอายุที่หกล้มจำนวนมากถึง 1 ใน 3 ของจำนวนผู้สูงอายุทั้งหมด และเป็นสาเหตุทำให้มีอัตราการความพิการ และอัตราเสียชีวิตค่อนข้างสูง (ศูนย์เวชศาสตร์อายุรวัฒน์ กรุงเทพมหานคร, 2558) ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แผนภูมิแสดงอัตราการเสียชีวิตจากการพลัดตกหกล้มในผู้ที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป ต่อประชากรแสนคน จำแนกตามเพศ พ.ศ.2549 – พ.ศ.2558 (สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข, 2559)

สภาพสังคมที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้ผู้สูงอายุส่วนหนึ่งต้องอยู่ในที่พักอาศัยเพียงลำพังขาดบุตรหลานดูแล ไม่เพียงแต่ผู้สูงอายุที่อยู่เพียงลำพังเท่านั้น แม้กระทั่งผู้สูงอายุที่อาศัยกับบุตรหลานควรมีสภาพแวดล้อมของที่พักอาศัยที่เหมาะสม เช่น ลักษณะของบันได ลักษณะราวจับในห้องน้ำ ลักษณะเก้าอี้ที่ใช้นั่ง เป็นต้น สภาพแวดล้อมของที่พักอาศัยมีความสำคัญไม่น้อยเนื่องจากเป็นปัจจัยหนึ่งของความสัมพันธ์ต่อการหกล้มในผู้สูงอายุได้ (คณะพยาบาลศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545) ดังนั้นการมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมแก่ผู้สูงอายุในที่พักอาศัยจึงสำคัญอย่างยิ่ง

การหกล้มนั้นอาจส่งผลทั้งทางร่างกายและจิตใจต่อผู้สูงอายุ นอกจากนี้ยังส่งผลต่อเศรษฐกิจและสังคม เช่น ค่ารักษาพยาบาลในโรงพยาบาล หรือการดูแลระยะยาวในกรณีที่เกิดการพิการอีกด้วย ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการหกล้มในผู้สูงอายุมี 2 ปัจจัยคือ ปัจจัยภายในบุคคล และปัจจัยภายนอกบุคคล ปัจจัยภายในบุคคลคือ ปัญหาสุขภาพของบุคคลนั้น ๆ ส่วนปัจจัยภายนอกบุคคลคือลักษณะสภาพแวดล้อมซึ่งประกอบไปด้วย การใช้บันได ลักษณะพื้นในบริเวณที่พังกอาศัย แสงสว่างภายในที่พังกอาศัย สิ่งกีดขวางทางเดิน เป็นต้น ซึ่งมีผู้สูงอายุถึง 1 ใน 3 ที่เกิดอุบัติเหตุจากการหกล้ม ส่วนใหญ่พบว่าหกล้มภายในบริเวณที่อยู่อาศัย โดยเฉพาะบริเวณบันไดหรือห้องน้ำ (บุปผา จันทรจรัส, 2557) ซึ่งหนึ่งในอุบัติเหตุที่พบบ่อยในผู้สูงอายุก็คือการตกบันไดนั่นเอง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาขนาดของสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้สูงอายุภายในประเทศไทยยังมีน้อยมาก ไตรรัตน์ จารุทัศน์ และคณะ (2548) ศึกษามาตรฐานขั้นต่ำสำหรับที่พังกอาศัยและสภาพแวดล้อมของผู้สูงอายุ โดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ที่อาศัยอยู่ในสถานสงเคราะห์ผู้สูงอายุและสมาชิกชมรมผู้สูงอายุตามภูมิภาคต่าง ๆ จำนวน 404 ตัวอย่าง วิธีการทดลองเป็นการให้ผู้สูงอายุทดลองใช้บันไดที่มีลูกตั้งบันไดขนาดต่าง ๆ ผลการศึกษาปรากฏว่าผู้สูงอายุส่วนใหญ่เลือกความสูงของลูกตั้งบันไดขนาด 13 เซนติเมตรถึงร้อยละ 51 ส่วนเสกสรร พันธุ์สวัสดิ์ (2555) ศึกษาความพึงพอใจของผู้สูงอายุที่มีต่อบันไดแล้วพบว่า ผู้สูงอายุพึงพอใจลูกตั้งที่มีขนาดความสูงเท่ากับ 13 เซนติเมตรเช่นกัน จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ายังไม่มีการวิจัยในประเทศไทยที่ศึกษาเกี่ยวกับแรงที่กระทำในแนวตั้งต่อเท้าที่ผู้สูงอายุใช้ในการเดินขึ้นและลงบันได จากเหตุผลดังกล่าวจึงควรมีการศึกษาขนาดของลูกตั้งที่ผู้สูงอายุพึงพอใจอันจะส่งผลให้ผู้สูงอายุใช้บันไดได้อย่างปลอดภัย และใช้ชีวิตประจำวันได้อย่างปกติ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อวัดและวิเคราะห์แรงแนวตั้งที่เท้ากระทำต่อพื้นขณะใช้บันไดที่มีขนาดลูกตั้งแตกต่างกัน

1.2.2 เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้สูงอายุที่มีต่อขนาดลูกตั้งของบันไดที่แตกต่างกัน

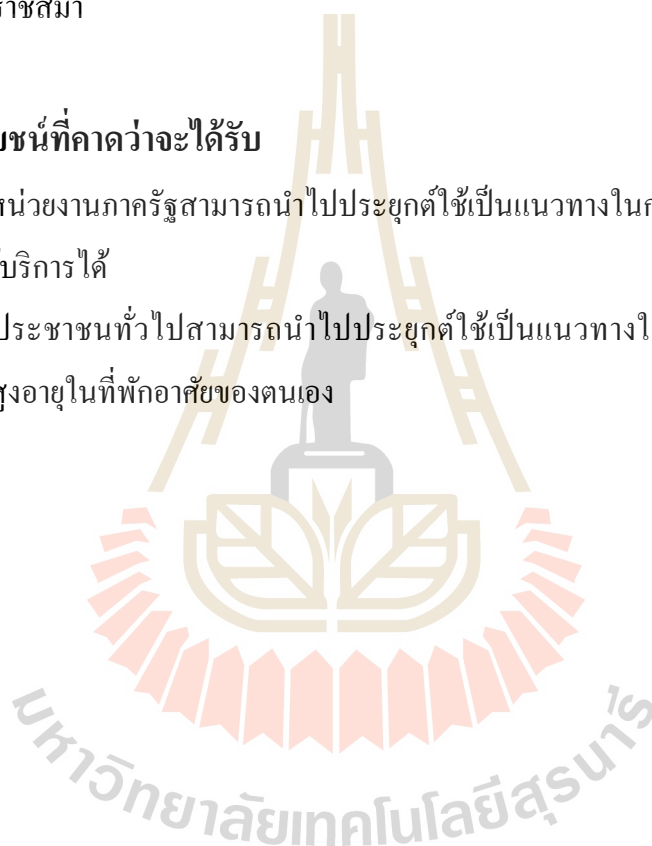
1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาความพึงพอใจของผู้สูงอายุที่มีต่อขนาดลูกตั้งของบันได 4 ขนาด ประกอบด้วยความสูงลูกตั้งได้แก่ 12 13 14 และ 15 เซนติเมตร ซึ่งมีขนาดลูกนอนของบันไดคือ 28 เซนติเมตร อีกทั้งแรงในแนวตั้งที่กระทำพื้นต่อเท้าของผู้สูงอายุขณะเดินขึ้น-ลงบันไดที่ขนาดลูกตั้งแตกต่างกัน และศึกษาความพึงพอใจของผู้สูงอายุที่มีต่อลูกตั้งของบันไดขนาดต่าง ๆ ผู้ถูกทดลองคือผู้สูงอายุที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไปเป็นผู้สูงอายุที่ไม่มีปัญหาสุขภาพซึ่งส่งผลต่อการเดินและอาศัยในจังหวัดนครราชสีมา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 หน่วยงานภาครัฐสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบบันไดให้กับผู้สูงอายุที่มาใช้บริการได้

1.4.2 ประชาชนทั่วไปสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบบันไดให้เหมาะสมกับผู้สูงอายุในที่พักอาศัยของตนเอง



บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

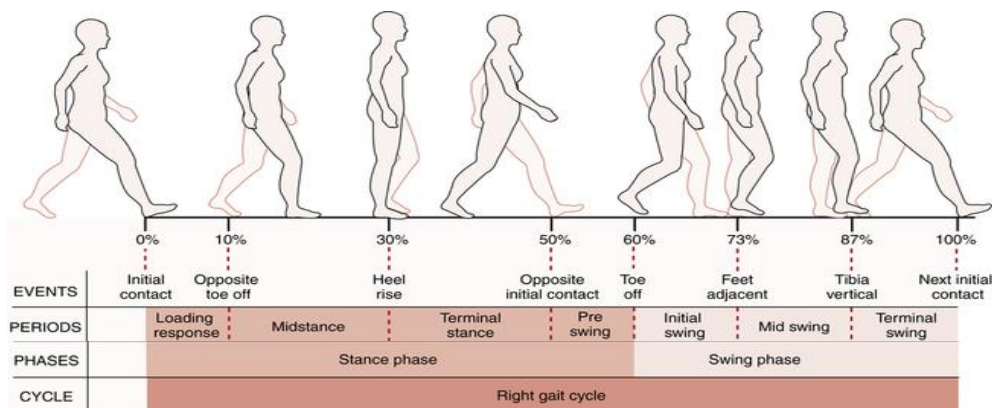
ปัจจุบันประเทศไทยมีประชากรผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีโครงสร้างประชากรที่เรียกว่า “ภาวะสังคมผู้สูงอายุ” (แพทย์หญิงพวงทอง ไกรพิบูลย์, 2557) ในสังคมผู้สูงอายุนั้นควรมีสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยให้ผู้สูงอายุสามารถดำเนินชีวิตได้ด้วยตนเองอย่างสะดวก งานวิจัยนี้จึงศึกษาลักษณะของบันไดที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ ซึ่งในบทนี้มีการทบทวนวรรณกรรม รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้ 2.1) ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเดิน 2.2) การวิเคราะห์การเดิน (Gait Analysis) 2.3) การศึกษาเกี่ยวกับสัดส่วนของร่างกาย และสมบัติทางกายภาพของมนุษย์ (Anthropometry) 2.4) กฎกระทรวงกำหนดสิ่งอำนวยความสะดวกในอาคารสำหรับผู้พิการหรือทุพพลภาพและคนชรา พ.ศ. 2548 2.5) บันได (Stair) และ 2.6) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเดิน

2.1.1 วงจรการเดินของมนุษย์ (Gait Cycle, GC)

การเดินของมนุษย์คือการเคลื่อนที่ของลำตัว โดยมีจุดศูนย์กลางเคลื่อนที่ไปข้างหน้า และการเคลื่อนไหวของขาสองข้างสลับกันระหว่างด้านซ้ายและด้านขวา การเดินของมนุษย์แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Passenger และ Locomotor Units โดย Passenger Unit ประกอบด้วยร่างกายส่วนบน ขณะที่ Locomotor Unit คือร่างกายส่วนล่างตั้งแต่เชิงกรานลงมา (Jang-Hee et al., 2002)

การเดินของมนุษย์เป็นการเคลื่อนไหวขาทั้งสองข้างจนเกิดเป็นวงจรการเดิน (Gait Cycle) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ช่วงของวงจรคือ 1. Stance Phase เป็นช่วงที่เท้าสัมผัสกับพื้น และ 2. Swing Phase เป็นช่วงที่เท้าลอยจากพื้น ซึ่งทั้ง 2 ช่วงนี้เกิดขึ้นซ้ำ ๆ กันในขณะที่ขาข้างซ้ายเป็น Stance Phase ขาข้างขวาต้องเป็น Swing Phase สลับกันเป็นจังหวะ เพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวที่ปกติ โดยในช่วง Stance Phase ครอบคลุมวงจรการเดินประมาณร้อยละ 60 ในขณะที่ช่วง Swing Phase มีประมาณร้อยละ 40 ของวงจรการเดินดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 Gait Cycle วงจรการเดินของมนุษย์ (Neumann, 2010)

Neumann (2010) ได้อธิบายเกี่ยวกับวงจรการเดินของมนุษย์ดังนี้

Stance Phase แบ่งย่อยออกเป็น 4 ช่วงประกอบด้วย

Loading Response คือ ระหว่างช่วงจังหวะที่ส้นเท้าของขาข้างที่สนใจสัมผัสพื้นจนถึงจังหวะที่ฝ่าเท้าสัมผัสพื้นเต็มพื้นที่ คิดเป็นร้อยละ 11 ของวงจรการเดิน

Mid Stance คือ ช่วงที่เท้าข้างที่สนใจรับน้ำหนักร่างกายทั้งหมด สิ้นสุดเมื่อส้นเท้าพ้นจากพื้น คิดเป็นร้อยละ 19 ของวงจรการเดิน หรือคิดเป็นร้อยละสะสมของวงจรการเดินเท่ากับ 30

Terminal Stance คือ ช่วงระหว่างจังหวะที่ส้นเท้าข้างที่สนใจเริ่มยกขึ้นจากพื้นจนถึงจังหวะที่เหลือแต่ปลายเท้าสัมผัสพื้น คิดเป็นร้อยละ 20 ของวงจรการเดิน หรือคิดเป็นร้อยละสะสมของวงจรการเดินเท่ากับ 50

Pre Swing คือ ช่วงจังหวะที่ปลายเท้าสัมผัสพื้นกำลังยกออกเพื่อเคลื่อนที่ไปข้างหน้า และเข้าสู่ช่วง Swing Phase คิดเป็นร้อยละ 10 ของวงจรการเดิน หรือคิดเป็นร้อยละสะสมของวงจรการเดินเท่ากับ 60

Swing Phase แบ่งย่อยออกเป็น 3 ช่วงประกอบด้วย

Initial Swing คือ ช่วงระหว่างจังหวะที่นิ้วเท้าของขาข้างที่สนใจเริ่มยกจากพื้นจนถึงจังหวะที่เท้าข้างนี้ยกลอยสูงสุด

Mid Swing คือ ช่วงระหว่างจังหวะที่เท้าของขาข้างที่สนใจยกลอยสูงสุดจนถึงจังหวะที่ส้นเท้าของข้างนี้เริ่มสัมผัสพื้น

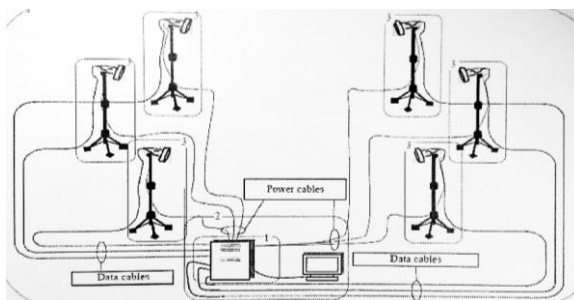
Terminal Swing เป็นช่วงสุดท้ายของ Swing Phase คือจังหวะเท้าจะเคลื่อนต่ำลงจนเกือบถึงพื้นแล้วเข้าสู่ช่วงของ Stance Phase ใหม่

2.2 การวิเคราะห์การเดิน (Gait Analysis)

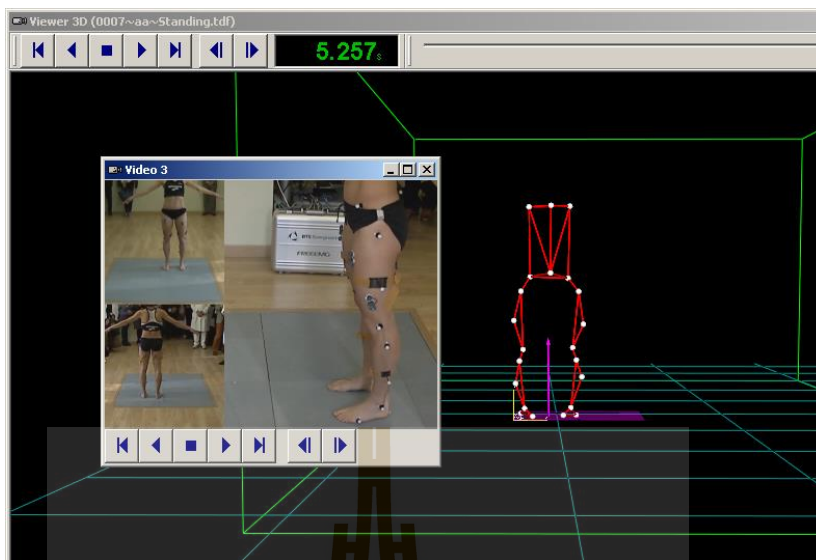
การวิเคราะห์การเดินเป็นการศึกษาระบบการเคลื่อนไหวของมนุษย์ โดยใช้สายตาและสมองของผู้สังเกตการณ์ ประกอบกับเครื่องมือใช้วัดและประเมินเชิงปริมาณของการเคลื่อนไหว การทรงตัวของร่างกาย กลไกกล้ามเนื้อที่มีการหดและยืดตัวของมนุษย์ขณะเคลื่อนไหว ส่วนใหญ่การวิเคราะห์การเดินของมนุษย์ถูกนำมาใช้ในทางการแพทย์เพื่อประเมินและรักษาของผู้ป่วยที่มีความผิดปกติทางการเดิน นอกจากนี้ยังถูกนำมาใช้ศึกษาการเคลื่อนที่ของนักกีฬาเพื่อหลีกเลี่ยงท่าทางที่อาจก่อให้เกิดการบาดเจ็บ ตลอดจนพัฒนาอุปกรณ์กีฬาเพื่อให้ความสอดคล้องกับการเคลื่อนไหวของนักกีฬา ปัจจุบันมีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การเดินได้ง่ายและแม่นยำขึ้น การเลือกเครื่องมือและอุปกรณ์ขึ้นอยู่กับข้อมูลและวิธีการที่สนใจศึกษา งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับเครื่องมือ Motion Analysis และเครื่องมือสำหรับวัดแรงปฏิกิริยาต่อพื้น Force Plate เครื่องมือทั้งสองชนิดนี้มีรายละเอียดการทำงานดังต่อไปนี้

2.2.1 Motion Analysis

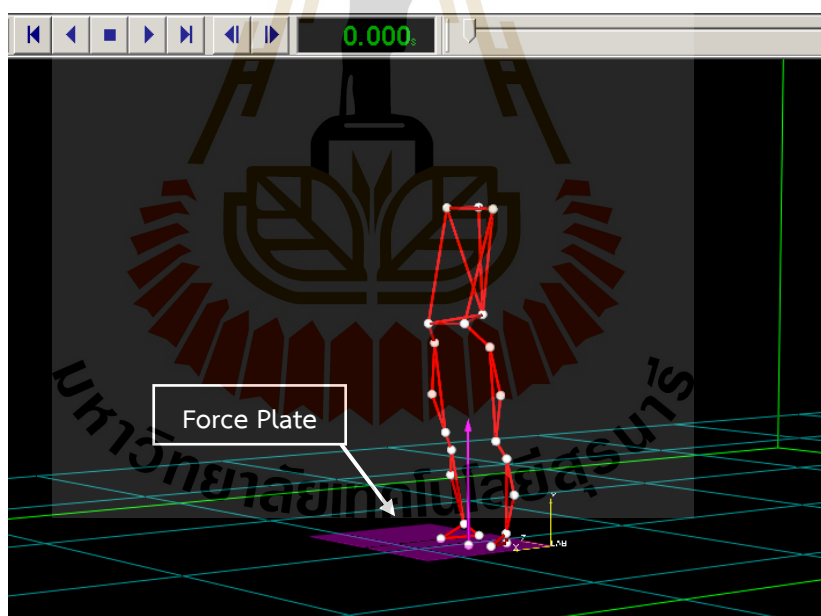
Motion Analysis เป็นเครื่องมือบันทึกการเคลื่อนย้าย และทิศทางของร่างกายจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง โดยกล้องที่มีการตั้งตามจุดภายในพื้นที่ที่ถูกกำหนดให้เป็นบริเวณการทดลอง (รูปที่ 2.2) และติด Marker ตามจุดต่าง ๆ ของร่างกายผู้ถูกทดลอง จากนั้นนำข้อมูลมาสร้างเป็นภาพสามมิติของรูปแบบการเคลื่อนที่หรือเคลื่อนไหว ดังแสดงในรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4 ผลการบันทึกการเคลื่อนไหวของร่างกายสามารถนำค่าความเร็ว และความเร่งของการเคลื่อนไหวร่างกายที่ได้มาวิเคราะห์การเคลื่อนไหว



รูปที่ 2.2 แผนภาพการเชื่อมต่อกล้องและเครื่องควบคุม (Kistler, 2008)



รูปที่ 2.3 ภาพสามมิติที่ได้จากการบันทึก Motion Analysis (มุมมองด้านหน้า)



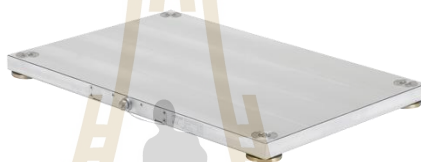
รูปที่ 2.4 ภาพสามมิติที่ได้จากการบันทึก Motion Analysis (มุมมองด้านข้าง)

นอกจาก Motion Analysis สามารถบันทึกการเคลื่อนไหวของร่างกายจากกล้องได้ แล้ว ยังสามารถประกอบเครื่องมืออื่นเข้ากับระบบกล้องที่ใช้บันทึกได้อีกด้วย เช่น เครื่องวัด

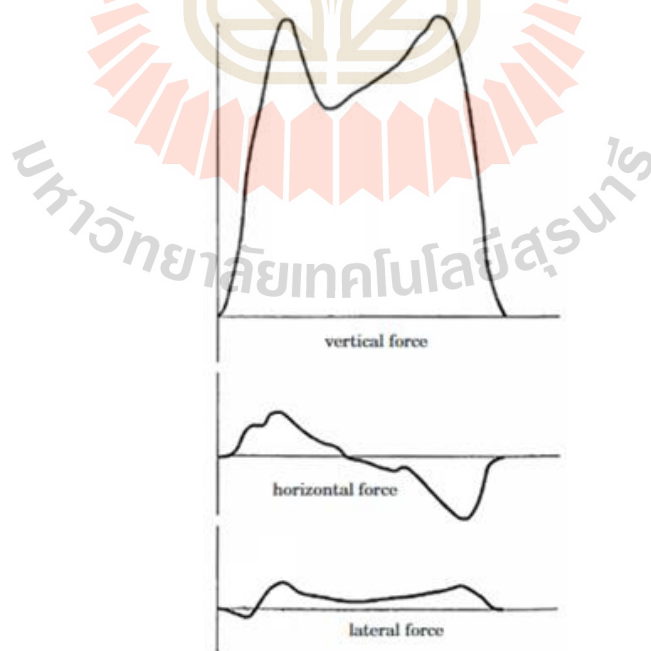
สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography, EMG) เครื่องมือสำหรับวัดแรงปฏิกิริยาต่อพื้น เป็นต้น

2.2.2 เครื่องมือสำหรับวัดแรงปฏิกิริยาต่อพื้น Force Plate

เครื่องมือสำหรับวัดแรงปฏิกิริยาต่อพื้น (รูปที่ 2.5) เป็นเครื่องมือที่สามารถวัดค่าแรงปฏิกิริยา (Ground Reaction Force, GRF) โดยภายในแผ่น Force Plate ประกอบด้วยตัว sensor ที่วัดค่าแรง ซึ่งค่าแรงที่วัดได้ประกอบไปด้วยแรงจากสามแกนคือ 1. Vertical Force (F_z) 2. Horizontal Force (F_x) และ 3. Lateral Force (F_y) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งแสดงค่า Ground Reaction Force ทั้งสามแกนของการเดินแบบปกติ



รูปที่ 2.5 เครื่องมือสำหรับวัดแรงปฏิกิริยาต่อพื้น หรือ Force Plate (Kistler, 2008)



รูปที่ 2.6 ค่า Ground Reaction Force ของแกน Vertical Force (F_z), Horizontal Force (F_x), Lateral Force (F_y) ของการเดินแบบปกติ (Ida, 2009)

ค่า Ground Reaction Force ของแกน Vertical Force (Fz) มีการกล่าวถึงในงานวิจัยของ Stüssi and Debrunner (1980) ได้อธิบายลักษณะการเกิดแรงในแต่ละช่วงของกราฟไว้ดังนี้

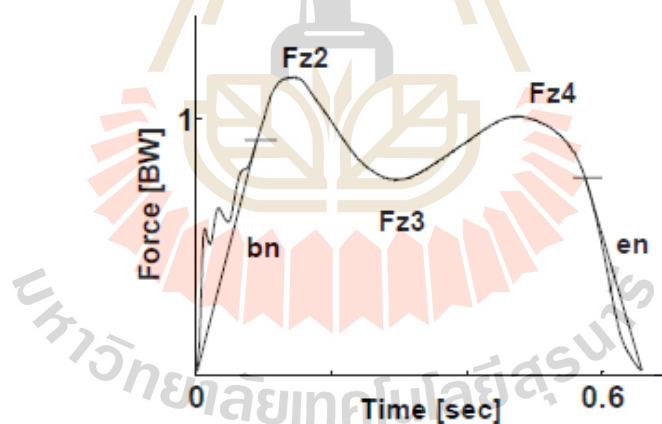
1) ค่า Loading Rate (ระยะ Heel Strike) หรือเรียกว่าค่า “bn” เป็นช่วงที่อยู่ในระยะเริ่มต้นของ Stance Phase โดยตำแหน่งของสันเท้าที่สนใจเริ่มสัมผัสพื้น

2) ค่า Fz2 คือ ค่าแรง GRF สูงสุดครั้งแรกของ Gait Cycle เป็นช่วงระยะเริ่มต้นของ Mid Stance โดยตำแหน่งของสันเท้าสัมผัสพื้นจนถึงระยะที่ปลายเท้ากำลังสัมผัสพื้น

3) ค่า Fz3 คือ ค่าแรง GRF ระหว่าง Fz2 กับ Fz4 ที่ต่ำที่สุด เป็นช่วงของ Mid Stance ที่เท้าข้างที่สนใจลงน้ำหนักร่างกายทั้งหมด โดยมีตำแหน่งของฝ่าเท้าสัมผัสพื้นทั้งหมด

4) ค่า Fz4 คือ ค่าแรง GRF สูงสุดครั้งที่สองของ Gait Cycle เป็นช่วงระยะเริ่มต้นของ Terminal Stance โดยมีตำแหน่งของสันเท้าเริ่มยกจากพื้น

5) ค่า Unloading Rate (ระยะ Take-off) หรือเรียกว่าค่า “en” เป็นช่วงของ Terminal Stance โดยมีตำแหน่งของสันเท้ายกลอยจากพื้น แต่ปลายเท้าสัมผัสยังกับพื้น ดังแสดงตามรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ตัวแปรของค่าแรง Ground Reaction Force แกน Vertical Force (Fz) (Stüssi and Debrunner, 1980)

จากรูปที่ 2.7 ค่า Ground Reaction Force แกน Vertical Force (Fz) ขนาดของแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละจุดนั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเท้าที่สัมผัสพื้น และขึ้นอยู่กับชนิดของรองเท้าที่ใส่ (Nigg and Morlock, 1987)

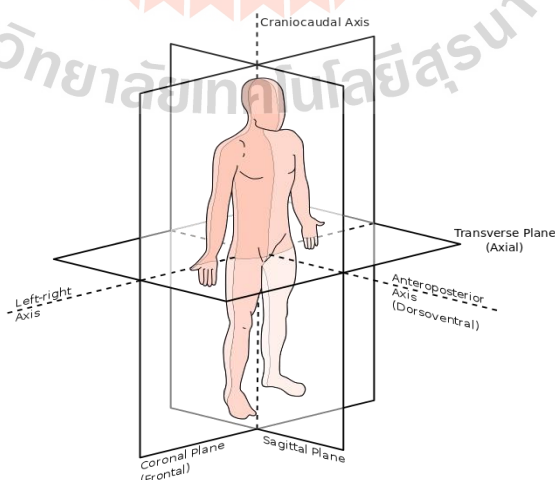
2.3 การศึกษาเกี่ยวกับสัดส่วนของร่างกาย และสมบัติทางกายภาพของมนุษย์

การวัดสัดส่วนร่างกาย (Anthropometry) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับสัดส่วนของร่างกาย และสมบัติทางกายภาพของมนุษย์ เช่น น้ำหนัก ขนาด ความสูง ความกว้างของร่างกาย และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้มีความสำคัญอย่างมากในการออกแบบอุปกรณ์ สิ่งของ หรือสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ

2.3.1 ระนาบของร่างกาย (Body Planes)

การวัดสัดส่วนร่างกายจำเป็นต้องทราบพื้นฐานเกี่ยวกับระนาบของร่างกาย ระนาบของร่างกายมนุษย์นั้นมีรูปทรงเป็น 3 มิติ กล่าวคือ ความกว้าง ความสูง และความหนาของร่างกาย เมื่ออยู่ในท่ามาตรฐาน สามารถแบ่งระนาบของร่างกายมนุษย์ออกเป็น 3 ระนาบ ดังต่อไปนี้ (รูปที่ 2.8)

- 1) ระนาบข้าง (Sagittal Plane) หรืออาจเรียกว่าระนาบสมมูล เป็นระนาบที่แบ่งร่างกายออกเป็นสองส่วนคือ ซีกซ้าย ซีกขวา
- 2) ระนาบหน้าหลัง (Coronal Plane) เป็นระนาบที่แบ่งร่างกายออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่อยู่ด้านหน้า และส่วนที่อยู่ด้านหลัง
- 3) ระนาบตัดขวาง (Transverse Plane) หรืออาจเรียกว่าระนาบระดับ เป็นระนาบที่แบ่งร่างกายเป็นสองส่วนคือ ร่างกายส่วนที่เป็นครึ่งล่าง และส่วนที่เป็นครึ่งบน



รูปที่ 2.8 ระนาบของร่างกายมนุษย์ (Body Planes) (Edoardo, 2011)

นอกจากการกำหนดระนาบต่าง ๆ ยังมีการกำหนดจุดอ้างอิงต่าง ๆ บนร่างกาย โดยใช้จุดอ้างอิงตามโครงสร้างของกระดูกเพื่อใช้ในการวัดค่าสัดส่วนของร่างกาย เมื่อกำหนดจุดอ้างอิงที่เป็นส่วนกระดูกที่สามารถสังเกตได้นั้น ส่งผลช่วยให้ผู้ที่ทำการวัดสะดวกต่อการวัดขึ้นอีกด้วย นอกจากการกำหนดระนาบ และจุดอ้างอิงทางกายวิภาคแล้ว ยังมีการกำหนดแกนอ้างอิงของแขนขาที่ขึ้นจากลำตัว แบ่งการอ้างอิงเป็นสองลักษณะคือ ส่วนปลายและส่วนต้น

2.3.2 ข้อมูลขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์

การวัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์แบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ 1. วิธีใช้เครื่องมือวัดโดยตรง ซึ่งใช้เครื่องมือวัดขนาดสัดส่วนของร่างกาย หรือที่เรียกว่า Anthropometer (รูปที่ 2.9) และ 2. วิธีการวัดสัดส่วนทางภาพถ่ายตามแนวคิดของ Morant (1945) (รูปที่ 2.10) ซึ่งต้องนำภาพถ่ายมาเทียบกับจุดอ้างอิง ปัจจุบันมีการใช้เครื่องตรวจวัดขนาดรูปร่างสามมิติ (3D Body Scanner) เทคโนโลยีนี้สามารถช่วยให้การวัดสัดส่วนและรูปร่างของผู้คนเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว และแม่นยำขึ้น



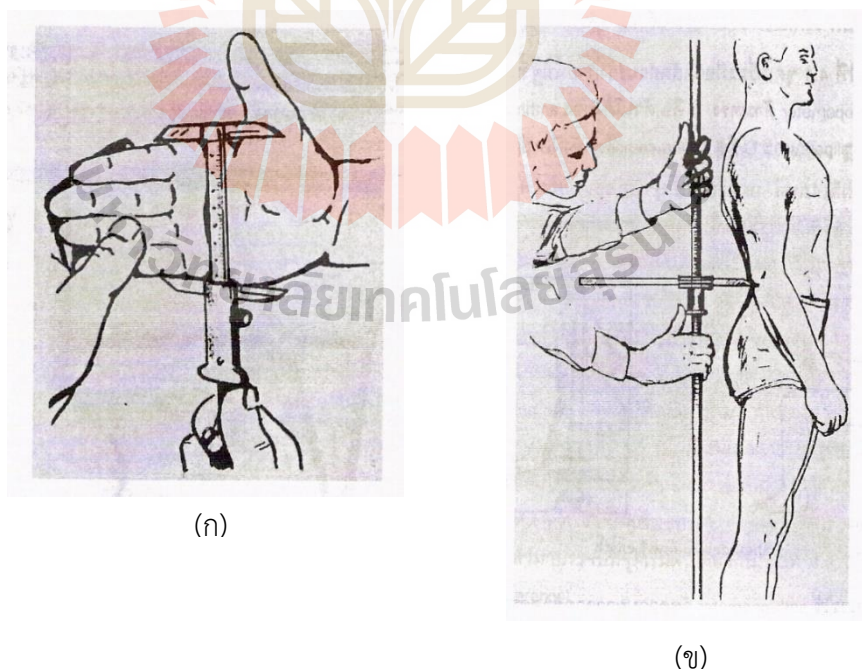
รูปที่ 2.9 เครื่องมือวัดขนาดสัดส่วนของร่างกาย



รูปที่ 2.10 เครื่องมือวัดสัดส่วนของร่างกายโดยการถ่ายภาพ (กิตติ อินทรานนท์, 2548)

1) วิธีการวัดโดยตรง

การวัดสัดส่วนร่างกายของมนุษย์โดยตรงใช้เครื่องวัดสัดส่วนร่างกาย (Anthropometer) ซึ่งผู้ทำการวัดต้องมีพื้นฐานความรู้ทางกายวิภาคเพื่อให้ได้ข้อมูลการวัดที่ถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น ข้อมูลที่ได้จากการวัดเป็นข้อมูลในรูปแบบ 2 มิติ และมีวิธีการใช้เครื่องมือดังแสดงในรูปที่ 2.11



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.11 วิธีใช้เครื่องวัดสัดส่วนร่างกาย (ก) วัดความกว้างของฝ่ามือ (ข) วัดความสูงของข้อศอกขณะยืน (กิตติ อินทรานนท์, 2548)

2) ประเภทของการวัดสัดส่วน ประกอบไปด้วย 2 ประเภทคือ

1) การวัดสัดส่วนร่างกายในสภาวะร่างกายหยุดนิ่งอยู่กับที่ (Static Dimensions) เป็นการวัดสัดส่วนร่างกายตามจุดต่าง ๆ ในขณะที่ไม่มีการเคลื่อนไหว และในขณะที่วัดอยู่ในท่ายืนหรือท่านั่งที่เป็นมาตรฐาน

2) การวัดสัดส่วนร่างกายในสภาวะท่าทางเคลื่อนไหว (Dynamic Dimensions) เป็นการวัดสัดส่วนร่างกายในขณะที่มีการเคลื่อนไหวตามธรรมชาติ หรือมีการทำงาน เช่น การเอื้อมมือหยิบชิ้นงาน การประกอบชิ้นงาน ซึ่งจุดที่วัดต้องกำหนดเป็นจุดที่อยู่ตามข้อต่อ

2.4 กฎกระทรวงกำหนดสิ่งอำนวยความสะดวกในอาคารสำหรับผู้พิการหรือทุพพลภาพ และคนชรา พ.ศ. 2548

กระทรวงมหาดไทยได้ให้คำนิยามในกฎกระทรวงฉบับนี้ว่า “สิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการหรือทุพพลภาพ และคนชรา” หมายความว่า ส่วนของอาคารที่สร้างขึ้นและอุปกรณ์อันเป็นส่วนประกอบของอาคารที่ติดตั้งอยู่ภายในและภายนอกอาคารเพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้อาคารสำหรับผู้พิการหรือทุพพลภาพ และคนชรา

เนื้อหาของกฎกระทรวงฯ ที่ระบุรายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะของบันไดแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

หมวด 3 ของกฎกระทรวงฯ ระบุเนื้อหาว่าอาคารประเภทและลักษณะดังต่อไปนี้ ต้องจัดให้มีสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการหรือทุพพลภาพ และคนชราตามที่กำหนดในกฎกระทรวงฯ นี้ ในบริเวณที่เปิดให้บริการแก่บุคคลทั่วไป

1. โรงพยาบาล สถานพยาบาล ศูนย์บริการสาธารณสุข สถานีอนามัย อาคารที่ทำการของราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การของรัฐที่จัดตั้งขึ้นตามกฎหมาย สถานศึกษา หอสมุดและพิพิธภัณฑ์สถานของรัฐ สถานีขนส่งมวลชน เช่น ท่าอากาศยาน สถานีรถไฟ สถานีรถ ท่าเทียบเรือที่มีพื้นที่ส่วนใดของอาคารที่เปิดให้บริการแก่บุคคลทั่วไปเกิน 300 ตารางเมตร

2. สำนักงาน โรงแรม หอประชุม สนามกีฬา ศูนย์การค้า ห้างสรรพสินค้า ประเภทต่าง ๆ ที่มีพื้นที่ส่วนใดของอาคารที่เปิดให้บริการแก่บุคคลทั่วไปเกิน 2,000 ตารางเมตร อย่างน้อยชั้นละ 1 แห่ง โดยต้องมีลักษณะ ดังต่อไปนี้

- 1) มีความกว้างสุทธิไม่น้อยกว่า 1,500 มิลลิเมตร
- 2) มีชันพักทุกระยะในแนวตั้งไม่เกิน 2,000 มิลลิเมตร

3) มีราวจับบันไดทั้งสองข้าง โดยให้ราวจับมีลักษณะตามที่กำหนดดังต่อไปนี้

- ราวจับด้านที่อยู่ติดผนังให้มีระยะห่างจากผนังไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร มีความสูงจากจุดยึดไม่น้อยกว่า 120 มิลลิเมตร และผนังบริเวณราวจับต้องเป็นผนังเรียบ
- ราวจับต้องยาวต่อเนื่อง และส่วนที่ยึดติดกับผนังจะต้องไม่กีดขวางหรือเป็นอุปสรรคต่อการใช้ของคนพิการทางการมองเห็น
- ปลายของราวจับให้ยื่นเลยจากจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของทางลาดไม่น้อยกว่า 300 มิลลิเมตร

4) ลูกตั้งสูงไม่เกิน 150 มิลลิเมตร ลูกนอนเมื่อหักส่วนที่ขึ้นบันไดเหลื่อมกันออกแล้วเหลือความกว้างไม่น้อยกว่า 280 มิลลิเมตร และมีขนาดสม่ำเสมอตลอดช่วงบันไดในกรณีที่ขึ้นบันไดเหลื่อมกันหรือมีลูกงอขึ้นบันไดให้มีระยะเหลื่อมกันได้ไม่เกิน 20 มิลลิเมตร

5) พื้นผิวของบันไดต้องใช้วัสดุที่ไม่ลื่น

6) ลูกตั้งบันไดห้ามเปิดเป็นช่องโถง

7) มีป้ายแสดงทิศทาง ตำแหน่ง หรือหมายเลขชั้นของอาคารที่คนพิการทางการมองเห็น และคนชราสามารถทราบความหมายได้ ตั้งอยู่บริเวณทางขึ้นและทางลงของบันไดที่เชื่อมระหว่างชั้นของอาคาร

2.5 บันได (Stair)

บันไดตามความหมายของพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน ได้ให้ความหมายของบันไดคือ สิ่งที่ทำเป็นขั้น ๆ สำหรับก้าวขึ้นลง หรือสิ่งที่อาศัยใช้ไต่เต้าขึ้นไปตำแหน่งที่สูงขึ้นไป บันไดเป็นชื่อเรียกของสิ่งก่อสร้างที่ออกแบบมาเชื่อมต่อระหว่างจุดยืนที่ระดับความสูงแตกต่างกัน บันไดโดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง ลักษณะของบันไดจำเป็นต้องมีส่วนที่พอเหมาะและเป็นไปตามกฎกระทรวงฯ ดังต่อไปนี้

2.5.1 องค์ประกอบของบันได

1) แม่บันได (Strings) คือส่วนที่เป็นคานรับน้ำหนักบันไดวางในแนวเอียง มุมของแม่บันไดขึ้นอยู่กับการกำหนดลูกตั้ง และลูกนอน โดยทั่วไปแม่บันไดใช้ 2 ตัว

2) ลูกนอน (Tread) คือส่วนที่เป็นพื้นยกพื้นเป็นระดับขึ้นไปจากพื้นชั้นล่างถึงพื้นชั้นบน จำนวนของลูกนอนรวมกันเข้าเป็นความยาวของบันได

3) ลูกตั้ง (Riser) คือส่วนที่เป็นความสูงของบันไดแต่ละขั้น จำนวนลูกตั้งทั้งหมดรวมกันเป็นความสูงของบันได ลูกตั้งบันไดสามารถมีหรือไม่มีก็ได้ กล่าวคือถ้ามีลูกตั้งบันได เรียกว่าบันไดทึบ ถ้าไม่มีลูกตั้งบันไดเรียกว่า บันไดลอย

4) จมูกบันได (Nosing) คือส่วนยื่นของลูกนอนจากขอบของลูกตั้ง

5) ราวบันได (Hand Rail) คือ ส่วนที่ใช้สำหรับเกาะพยุงตัวในการขึ้นบันได จำเป็นต้องมีในช่วงบันไดสูง ๆ อย่างน้อย 1 ช่วงใช้เสารับเป็นระยะ หรือจะตรึงติดผนังก็ได้แล้วแต่แบบความสูงของราวบันไดวัดตั้งแต่พื้นไม่เกิน 0.80 เมตร

6) เสาบันได (Post) คือส่วนที่ทำหน้าที่รับน้ำหนักของชานบันได ซึ่งแม่บันไดไปพาดอยู่ เสาบันไดนี้บางแบบก็ไม่จำเป็นต้องใช้

7) ลูกกรง (Baluster) คือ ที่จับยึดราวกันตกให้แข็งแรง ออกแบบได้หลากหลาย

8) ชานพักบันได (Landing) คือส่วนเชื่อมช่วงบันได แต่ละช่วงพักบันไดเป็นตัวเชื่อมพักบันไดกว้าง โดยต้องมีทุกระยะในแนวตั้งไม่เกิน 2 เมตร

2.5.2 วัสดุที่ใช้สร้างบันได

วัสดุที่ใช้ทำบันไดแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

1) บันไดไม้ วัสดุไม้ที่ใช้สร้างบันไดควรเป็นไม้เนื้อแข็ง เช่น ไม้แดง ไม้เต็ง เพราะมีความคงทน

2) บันไดปูน โครงสร้างเหล็กภายในบันไดปูน ต้องใช้เหล็กที่มีขนาดตรงตามที่วิศวกรผู้ออกแบบกำหนด การผูกเหล็กในจุดต่าง ๆ ต้องผูกอย่างแข็งแรงแน่นหนาก่อนที่จะเทปูนลงในแบบบันได

3) บันไดโลหะ การเชื่อมบันไดโลหะควรเชื่อมอย่างแข็งแรงโดยเชื่อมเป็นแนวเส้นตลอดแนวโลหะที่เชื่อม

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการหกล้มในผู้สูงอายุมี 2 ปัจจัยคือ ปัจจัยภายในบุคคล และปัจจัยภายนอกบุคคล ปัจจัยภายในบุคคลคือ ปัญหาสุขภาพของบุคคลนั้น ๆ ส่วนปัจจัยภายนอกบุคคลจะประกอบไปด้วย การใช้บันได ลักษณะพื้นในบริเวณที่พักอาศัย แสงสว่างภายในที่พักอาศัย สิ่งกีดขวางทางเดิน เป็นต้น คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร (2001) ได้ศึกษาโดยใช้

แบบสอบถามเรื่องการหกล้มของผู้สูงอายุและการตรวจสุขภาพควบคู่กัน ไป พบว่าปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อการหกล้มในผู้สูงอายุอันดับแรกคือ ลักษณะของบันไดที่ผู้สูงอายุใช้

White et al. (1999) ได้ศึกษารูปแบบค่าแรง GRF ของเด็กที่มีภาวะสมองปกติ 15 คน และเด็กที่มีภาวะสมองพิการ 11 คน โดยทำการฝัง Force Plates ในทางเดินที่ใช้ทำการทดลอง และมีการบันทึกภาพการเคลื่อนไหว กำหนดให้ความเร็วในการเดินของผู้ถูกทดลองเดินตามปกติพบว่าค่าแรง GRF แกน Vertical ของขาข้างซ้ายและขาขวาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

Christina and Cavanagh (2002) ศึกษาผลกระทบของอายุและความสว่างของแสงที่มีต่อค่า GRF โดยแบ่งกลุ่มผู้ถูกทดลองที่มีสุขภาพดี 2 กลุ่มคือ กลุ่มแรก 12 คน อายุเฉลี่ย 24 ปี และกลุ่มสองเป็นผู้สูงอายุ 12 คน มีอายุเฉลี่ย 73.3 ปี การทดลองนี้กำหนดขนาดของบันไดที่ใช้ทดลองคือ ลูกตั้งสูงเท่ากับ 18 เซนติเมตร และลูกนอนมีความลึกเท่ากับ 28 เซนติเมตร จำนวนขั้นของบันไดเท่ากับ 7 ขั้น ผู้ทดลองได้ทำการฝัง Force Plates ไว้ขั้นที่ 2 และ 4 นับจากบนสุดของบันได พร้อมทั้งทำการติด Photocells ที่ขั้นที่ 1 และขั้นที่ 7 เพื่อใช้จับความเร็วของการเดินบันได โดยควบคุมความเร็วของผู้ถูกทดลองให้อยู่ระหว่าง 0.04 – 0.65 เมตรต่อวินาที ผลการทดลองพบว่าค่า GRF ในแกน Vertical คือค่า Peak แรก (Fz2) มากกว่าค่า Peak สอง (Fz4) เฉลี่ยประมาณ 0.45 BW และ 0.56 BW บนบันไดขั้นที่ 2 และ 4 ตามลำดับ ส่วนความแตกต่างของค่าแรงระหว่างขั้นบันไดพบว่าค่า Fz2 บนบันไดขั้นที่ 4 มีค่าเท่ากับ 1.49 ± 0.20 BW มากกว่า Fz2 บนขั้นที่ 2 ที่มีค่าเท่ากับ 1.41 ± 0.24 BW (P-Value < 0.0001) อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่า Fz4 บนบันไดขั้นที่ 2 เท่ากับ 0.96 ± 0.11 BW มากกว่าค่า Fz4 บนบันไดขั้นที่ 4 ที่มีค่าเท่ากับ 0.93 ± 0.19 BW (P-Value < 0.0001) อย่างมีนัยสำคัญ สรุปผลการทดลองได้ว่าค่า GRF ของ Fz2 มีค่ามากกว่า Fz4 ในขณะลงบันได และในกลุ่มผู้สูงอายุมีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเดินเพื่อลดแรงเสียดทานแต่ Loading Rate สูงกว่ากลุ่มที่มีอายุเฉลี่ย 24 ปี โดยสามารถอธิบายได้ว่าผู้สูงอายุขาดการควบคุมช่วงล่างของร่างกาย

Riener et al. (2002) ศึกษาเกี่ยวกับ Gait Cycle และค่า GRF ในขณะขึ้นและลงบันไดที่ความชันแตกต่างกัน โดยกลุ่มผู้ถูกทดลองมีอายุระหว่าง 24 ถึง 34 ปี บันไดที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 5 ขั้น มี 3 ระดับความชันคือ 24 องศา 30 องศา และ 42 องศา พบว่าผลการศึกษาที่เกี่ยวกับ Gait Cycle ในขณะขึ้นบันไดมี Stance Phase เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในแต่ละความชันที่เพิ่มขึ้นตรงข้ามกับขาลงบันไดที่มี Stance Phase ลดลง Swing Phase เพิ่มขึ้น และ Cycle Gait ของขณะขึ้นบันไดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในความชันที่เพิ่มขึ้น ส่วนผลการศึกษาค่า GRF พบว่าค่า Loading Rate ในขาลงบันไดมีค่ามากกว่าขาขึ้นบันไดอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่า Push Up (Fz4) ในขณะขึ้นบันไดมากกว่าขณะลง

บันได สรุปผลการศึกษาได้ว่าค่าแรง GRF กับความชันของบันไดไม่มีนัยสำคัญต่อกันยกเว้นค่า GRF ของแกน Vertical ในขณะที่ความชันของบันไดที่ค่าแรงในตอนต้นของ Stance Phase (Fz2) มีนัยสำคัญต่อกัน นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่สอดคล้องกันของ Stacoff et al. (2005) ได้ศึกษาเปรียบเทียบแรงที่กระทำในแนวตั้ง GRF ของการไต่บันไดที่มีความชันต่าง ๆ กับผู้ถูกทดลอง 3 กลุ่มคือ ผู้มีอายุเฉลี่ย 33.7 ปี 63.6 ปี และ 76.5 ปีที่มีสุขภาพดี การทดลองนี้กำหนดให้บันไดมีความชันอยู่ 3 ระดับคือ 19.8 องศา 30.4 องศา และ 41.0 องศา และได้ฝัง Force Plates ที่บันไดขั้นที่ 3 และ 4 โดยให้ผู้ถูกทดลองเดินขึ้นลงบันได และเทียบค่าแรง GRF แกน Vertical ที่ได้พบว่าค่าแรง GRF ในการเดินขึ้นบันไดที่ระดับความชันเดียวกันของกลุ่มบุคคลอายุเฉลี่ยที่ 33.7 ปีนั้นมีค่ามากกว่าค่าแรงแนวตั้งของกลุ่มบุคคลที่มีอายุเฉลี่ย 63.6 ปีและ 76.5 ปี อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่าค่า Fz2 ในขาลงบันได สูงกว่าค่า Fz4 (ค่า peak สอง) ในขาขึ้นบันได และค่า Fz2 ขณะเดินลงบันไดมากกว่าขณะขึ้นบันไดอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งความชันของบันไดมีผลต่อค่า Fz2 ในขาลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่า Fz2 และค่าแรงในระยะเริ่มต้นของ Stance Phase (Loading Rate) ของขาลงบันไดมากกว่าขาขึ้นบันไดอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนระดับความชันของบันไดไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยตัวแปร Fz4 ทั้งหมด และค่า Fz4 ขณะขึ้นบันไดมีแนวโน้มมากขึ้นเล็กน้อยแต่ไม่มีนัยสำคัญต่อกัน มีเพียงค่า Fz4 ของขาซ้ายที่ความชัน 19.8 องศากับความชันที่ 41 องศาที่มีนัยสำคัญต่อกัน ส่วนความเร็วในการเดินขึ้นและลงบันไดเมื่อเปรียบเทียบความชันที่ 30.4 องศากับ 41 องศาพบว่าความเร็วลดลงและ Stance Time เพิ่มขึ้นแต่เมื่อเปรียบเทียบความชันที่ 16 องศากับ 30 องศาความเร็วลดลงเช่นกันแต่ Stance Time ไม่เพิ่มขึ้น กล่าวคือ Stance Time และ Swing Time ขึ้นอยู่กับความชันของบันได นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Reeves et al. (2008) ที่ศึกษาเกี่ยวกับค่าแรง GRF และ Motion Analysis โดยฝัง Force Plates ที่บันไดขาขึ้นและบันไดขั้นที่ 2 3 และ 4 จากนั้นให้ผู้ถูกทดลองเดินขึ้น-ลงบันไดที่มีสองเงื่อนไขคือ ใช้ราวจับบันได และไม่ใช้ราวจับบันไดพบว่า ค่าแรง GRF แกน Vertical ระหว่างใช้ราวจับบันไดกับไม่ใช้ราวจับบันไดแตกต่างกันเล็กน้อยกล่าวคือไม่มีนัยสำคัญต่อกัน

Fujiyama and Tyler (2004) ได้ศึกษาความเร็วในการเดินบันได โดยแบ่งผู้ถูกทดลองออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่ม 1 ผู้ถูกทดลองที่มีอายุระหว่าง 60 – 81 ปี จำนวน 18 คน และกลุ่ม 2 ผู้ถูกทดลองที่มีอายุระหว่าง 25 – 60 ปี จำนวน 15 คน สำหรับการทดลองนี้มีบันไดทั้งหมด 4 ชุด มีความชันคือ 38.8 องศา 35 องศา 30.5 องศา และ 24.6 องศา โดยใช้นาฬิกาจับเวลาเพื่อคำนวณหาความเร็วในการเดิน ผลการทดลองพบว่าขณะเดินขึ้นบันไดค่าเฉลี่ยความเร็วในกลุ่มผู้สูงอายุกับความชันไม่

มีนัยสำคัญต่อกัน และขณะเดินลงบันไดค่าเฉลี่ยความเร็วของกลุ่มผู้สูงอายุที่ความชันของบันไดที่ 35 องศา 30.5 องศา และ 24.6 องศา ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นความชันที่ 38.8 องศา นอกจากนี้ยังพบว่าความเร็วแกน Vertical และ Inclined มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับความชันของบันไดเป็นแนวโน้มเดียวกัน กล่าวคือเมื่อความชันน้อยความเร็วเพิ่มขึ้น ความชันมากความเร็วลดลง

Mooyeon et al. (2011) ได้ศึกษาเวลาในการเดินบันไดของผู้สูงอายุจำนวน 513 คนที่มีอายุเฉลี่ย 80.8 ± 5.1 ปี และไม่มีปัญหาในการเดินขึ้นลงบันได โดยบันไดที่ใช้ทดลองมีขนาดลูกตั้งสูงเท่ากับ 18 เซนติเมตร ลูกนอนลึก 26 เซนติเมตร และกว้าง 110 เซนติเมตร ผลการทดลองพบว่าเวลาเฉลี่ยในการขึ้นและลงบันไดของเพศชาย 204 คนเท่ากับ 2.56 ± 1.31 วินาที และ 2.47 ± 1.25 วินาที ตามลำดับ สำหรับเพศหญิง 309 คนเท่ากับ 2.78 ± 1.49 วินาที และ 2.83 ± 1.61 วินาทีตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเวลาในการใช้ขึ้นและลงบันไดของเพศชายเพิ่มขึ้นในกลุ่มอายุที่มากขึ้น เช่นเดียวกับกับเพศหญิงในขณะลงบันได แต่ไม่เป็นเช่นนั้นในขณะที่ขึ้นบันได

ไตรรัตน์ จารุทัศน์ และคณะ (2005) ได้ศึกษามาตรฐานขั้นต่ำสำหรับที่พักอาศัย และสภาพแวดล้อมของผู้สูงอายุ โดยใช้เครื่องมือในการเก็บข้อมูล 3 ลักษณะคือ แบบสัมภาษณ์ แบบทดสอบอุปกรณ์ และแบบสำรวจสัดส่วนสรีระของผู้สูงอายุ ผลการศึกษาพบว่าบันไดในอาคารควรมีความสูงของลูกตั้งบันไดไม่เกิน 13 เซนติเมตร และมีงานวิจัยของเสกสรร พันธุ์สวัสดิ์ (2012) ที่ศึกษาความพึงพอใจต่ออุปกรณ์อำนวยความสะดวกสำหรับผู้สูงอายุพบว่า ลักษณะของบันไดที่ผู้สูงอายุพึงพอใจที่สุดคือ ลูกตั้งของบันไดที่มีความสูงเท่ากับ 13 เซนติเมตรเช่นกัน

Talia et al. (2009) ได้ศึกษาความกลัวการหกล้มของผู้สูงอายุขณะใช้บันได โดยใช้แบบทดสอบการทรงตัวร่างกายด้วยการเดิน (The Dynamic Gait Index, DGI) ที่พบในกิจกรรมในชีวิตประจำวัน 8 อย่างคือ 1.เดินบนพื้น 2.เปลี่ยนความเร็วในขณะเดิน 3.เดินหันศีรษะซ้ายขวา 4.เดินก้มเงยศีรษะ 5.เดิน และหมุนตัวกลับหลัง 6.เดินข้ามวัตถุ 7.เดินอ้อมข้ามวัตถุ และ 8.เดินขึ้นลงบันได ในการทำแต่ละกิจกรรมจะให้คะแนนอยู่ในช่วง 0-3 คะแนน ผู้ถูกทดลองที่มีคะแนนรวมน้อยกว่า 19 คะแนนเป็นผู้ที่มีความเสี่ยงในการหกล้มสูง ส่วนผู้ถูกทดลองที่มีคะแนนรวมตั้งแต่ 22 ขึ้นไป มีความปลอดภัยสำหรับการเคลื่อนไหวในชีวิตประจำวัน นอกจากนี้ยังมีอีกหนึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองคือ แบบประเมินความมั่นใจในการทรงตัว (Activities-Specific Balance Confidence, ABC) ซึ่งประกอบด้วย 16 กิจกรรม ส่วนคำตอบเป็นการให้คะแนนความมั่นใจในการทรงตัวเพื่อปฏิบัติกิจกรรม มีคะแนนตั้งแต่ 0-100 % โดยที่ 0 % หมายถึง ไม่มั่นใจเลย และ 100 % หมายถึง มั่นใจมาก โดยมีเกณฑ์คือผู้สูงอายุที่ปกติจะต้องได้คะแนนมากกว่า 88% ขึ้นไป

ผลการวิจัยนี้พบว่าผู้สูงอายุเพศหญิงได้คะแนน DGI ต่ำกว่าผู้ชายอย่างมีนัยสำคัญในขณะที่ผู้ชายมีคะแนน DGI อยู่ในเกณฑ์ปกติ ในขณะที่คะแนนของแบบประเมินการก้มการหกล้ม ABC นั้นไม่สอดคล้องกับประวัติการหกล้มของผู้สูงอายุที่ถูกประเมิน

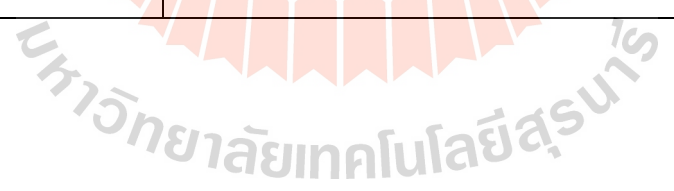
Antonio and Perry (2014) ได้ศึกษาความเสถียรของร่างกายขณะเดินลงบันไดในกลุ่มหนุ่มสาวและกลุ่มผู้สูงอายุที่มีความสูง และน้ำหนักใกล้เคียงกัน โดยใช้กล้องจับความเคลื่อนไหว ผู้ถูกทดลองถูกมาร์คเกอร์ติดที่เท้า แล้วเดินลงบันไดที่มี Force Plates วางอยู่ เมื่อวิเคราะห์ความมั่นคงในขณะที่เดินลงบันไดพบว่า ความมั่นคงในขณะที่เดินลงบันไดของกลุ่มผู้สูงอายุนั้นมีค่าน้อยกว่ากลุ่มหนุ่มสาวอย่างมีนัยสำคัญ

พุทธิพงษ์ พลคำสั๊ก และคณะ (2015) ได้ทำการศึกษาสำรวจการทำนายความเสี่ยงต่อการล้มในผู้สูงอายุไทยโดยใช้การทดสอบการลุกยืน 5 ครั้ง โดยให้ผู้สูงอายุนั่งบนเก้าอี้ไม่มีที่พนักแขนที่มีความสูงมาตรฐานและพิจารณาจากท่าทางการนั่งของผู้สูงอายุ กล่าวคือในท่าเริ่มต้นผู้สูงอายุนั่งหลังตรงวางส้นเท้าอยู่ด้านหลังข้อเข่าประมาณ 10 เซนติเมตร ข้อสะโพกอยู่ในลักษณะงอประมาณ 90 องศาแล้ววางแขนไว้ข้างลำตัว จากนั้นให้อาสาสมัครลุกยืนให้เร็วที่สุดและปลอดภัย 5 ครั้งต่อเนื่องกัน เริ่มจับเวลาเมื่อผู้ประเมินบอกเริ่ม และหยุดเวลาเมื่อผู้สูงอายุนั่งลงในครั้งที่ห้าหลังชิดพนักพิง ถ้าจับเวลาของผู้ถูกทดลองได้ตั้งแต่ 11 วินาทีขึ้นไปหมายความว่ามีความเสี่ยงต่อการล้มอีกหนึ่งเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือแบบสัมภาษณ์ประวัติการล้มของผู้สูงอายุที่ถูกทดสอบ เมื่อทำการทดลองครบทั้งสองเครื่องมือแล้วพบว่า ผู้สูงอายุที่มีประวัติการล้มจะมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่มีประวัติการล้ม

จากการรวบรวมวรรณกรรมข้างต้นนี้ภายในประเทศไทยมีเพียงงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับความพึงพอใจของผู้สูงอายุต่อบันได หากมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับแรงที่กระทำต่อเท้าที่ผู้สูงอายุใช้ในการเดินขึ้นและลงบันไดจะทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้นต่อการออกแบบบันไดที่ทำให้ผู้สูงอายุเกิดความปลอดภัย นอกจากนี้งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับค่า GRF และความเร็วกับเวลาในขณะที่เดินขึ้นและลงบันไดสามารถสรุปดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรค่า Ground Reaction Forces และความเร็ว/เวลา

ผู้แต่ง	การทดลอง	Ground Reaction Forces	ความเร็ว (m/s) / เวลา (sec)
White et al. (1998)	การเดินบนพื้นราบระหว่างเด็กภาวะสมองปกติและเด็กภาวะสมองพิการ 11 คน	ค่า GRF ในแนวตั้งของขาข้างซ้ายและขาข้างขวาของเด็กปกติไม่พบความแตกต่างกัน	-
Riener et al. (2002)	ความชันของบันไดที่ 24 องศา 30 องศา และ 42 องศา	<ul style="list-style-type: none"> - ขณะขึ้นบันได Stance Phase เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยมีความชันเพิ่มขึ้น - ขณะลงบันได Stance Phase ลดลง โดยมีความชันเพิ่มขึ้น - ค่า Loading Rate (bn) ขณะลงบันได > ขณะขึ้นบันได - Push Up (Fz4) ขณะขึ้นบันได > ขณะลงบันได - พบอิทธิพลของความชันต่อค่า GRF ในแกน Vertical เพียงค่า Fz2 ในขณะลงบันไดเท่านั้น 	-



ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรค่า Ground Reaction Forces และความเร็ว/เวลา (ต่อ)

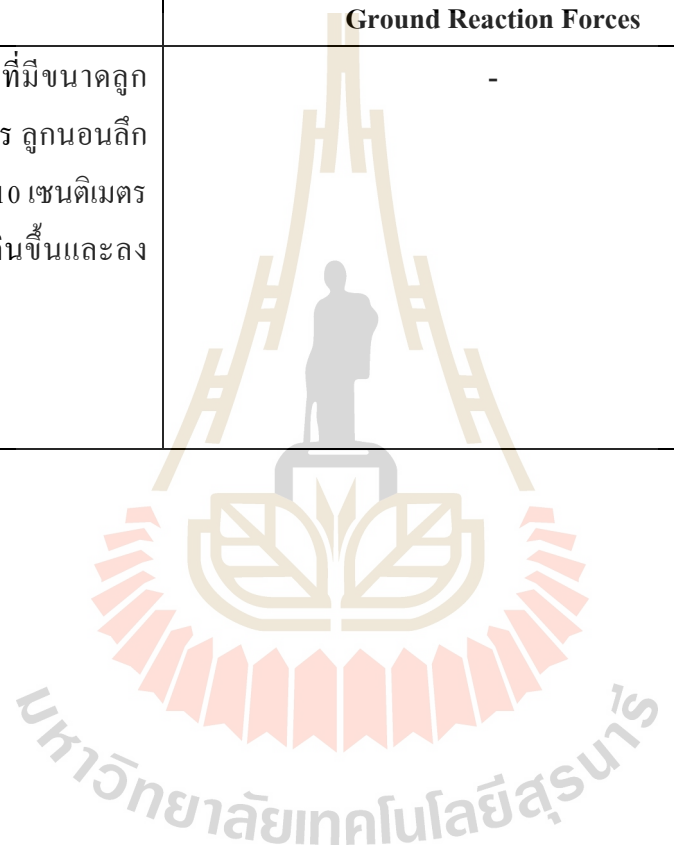
ผู้แต่ง	การทดลอง	Ground Reaction Forces	ความเร็ว (m/s) / เวลา (sec)
Christina and Cavanagh (2002)	ผลกระทบระหว่างกลุ่มอายุเฉลี่ย 24 ปี และกลุ่มอายุเฉลี่ย 73.3 ปี ขณะเดินลงบันไดที่ฝัง Force Plates ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 4	- $Fz2 > Fz4$ - $Fz2$ บันไดชั้นที่ 4 > $Fz2$ บันไดชั้นที่ 2 - $Fz4$ บันไดชั้นที่ 2 > $Fz4$ บันไดชั้นที่ 4	-
Fujiyama and Tyler (2004)	บันได 4 ชุดมีความชันคือ 38.8 องศา 35 องศา 30.5 องศา และ 24.6 องศา	-	- ขณะเดินขึ้นบันไดค่าเฉลี่ยความเร็วในกลุ่มผู้สูงอายุกับความชันไม่มีนัยสำคัญต่อกัน - ขณะเดินลงบันไดค่าเฉลี่ยความเร็วในกลุ่มผู้สูงอายุกับความชันมีนัยสำคัญเพียงบันไดที่ 38.8 องศา

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรค่า Ground Reaction Forces และความเร็ว/เวลา (ต่อ)

ผู้แต่ง	การทดลอง	Ground Reaction Forces	ความเร็ว (m/s) / เวลา (sec)
Stacoff et al. (2005)	บันไดความชันที่ 19.8 องศา 30.4 องศา และ 41.0 องศา	<ul style="list-style-type: none"> - ขณะขึ้นบันไดค่า $Fz4 > Fz2$ - ขณะลงบันไดค่า $Fz2 > Fz4$ - ค่า $Fz2$ และ bn ขณะลงบันไดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับขณะเดินขึ้นบันได - ค่า $Fz4$ ของขาซ้ายที่ระดับความชัน 19 องศาและ 41 องศา มีนัยสำคัญต่อกัน 	<ul style="list-style-type: none"> - เปรียบเทียบความชันที่ 30.4 องศากับ 41 องศา ความเร็วลดลง แต่ Stance Phase เพิ่มขึ้น - เปรียบเทียบความชันที่ 16 องศากับ 30 องศา ความเร็วลดลงแต่ Stance Phase ไม่เพิ่มขึ้น ขณะที่ Swing Phase เพิ่มขึ้น
Reeves et al. (2008)	ฝัง Force Platform จากนั้นให้ผู้ถูกทดลองเดินขึ้น-ลงบันได โดยมีสองเงื่อนไขคือใช้ราวบันได และไม่ใช้ราวบันได	ค่า GRF ในแนวตั้งระหว่างผู้ถูกทดลองใช้ราวจับกับไม่ใช้ราวจับบันไดนั้นมีความแตกต่างกันเล็กน้อย หรือไม่มีนัยสำคัญ	

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรค่า Ground Reaction Forces และความเร็ว/เวลา (ต่อ)

ผู้แต่ง	การทดลอง	Ground Reaction Forces	ความเร็ว (m/s) / เวลา (sec)
Mooyeon et al. (2011)	ให้ผู้ถูกทดลองเดินบนไคที่มีขนาดลูกตั้งสูงเท่ากับ 18 เซนติเมตร ลูกนอนลึก 26 เซนติเมตร และกว้าง 110 เซนติเมตร โดยจับเวลาที่ใช้ในการเดินขึ้นและลงบนไค	-	เวลาเฉลี่ยในการขึ้นและลง - เพศชายเท่ากับ 2.56 วินาที และ 2.47 วินาที ตามลำดับ - เพศหญิงเท่ากับ 2.78 วินาที และ 2.83 วินาที ตามลำดับ



บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานของการศึกษาลักษณะของบัณฑิตที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุแบ่งวิธีการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) การสำรวจเชิงข้อมูลพื้นฐานทั่วไปของผู้ถูกทดลอง และการวัดสัดส่วนของผู้ถูกทดลอง และ 2) การวิจัยเชิงทดลอง

3.1 การสำรวจเชิงข้อมูลพื้นฐานทั่วไปของผู้ถูกทดลอง และการวัดสัดส่วนของผู้ถูกทดลอง

3.1.1 จำนวนผู้ถูกทดลอง และวิธีการคัดเลือกผู้ถูกทดลอง

กลุ่มตัวอย่างงานวิจัยนี้คือ ผู้สูงอายุที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป ทั้งเพศชายและเพศหญิงในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา

การคำนวณหาขนาดกลุ่มตัวอย่างอาศัยหลักสถิติของ Yamane (1973) เพื่อกำหนดจำนวนตัวอย่าง คำนวณได้จากสูตร (3-1) ดังนี้

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad (3-1)$$

โดยที่ n คือ จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

N คือ จำนวนประชากรทั้งหมด

e คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

กำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้เท่ากับร้อยละ 10 และเมื่อนำข้อมูลจากสำนักงานสถิติแห่งชาติล่าสุดปี 2557 พบว่า จำนวนผู้สูงอายุที่อาศัยในจังหวัดนครราชสีมาเท่ากับ 423,934 คน จึงได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการเท่ากับ 100 คน

นอกจากนี้แล้วยังมีการสุ่มพื้นที่ที่อยู่อาศัยของผู้สูงอายุ เพื่อให้ได้ผู้สูงอายุที่มาจากพื้นที่ที่แตกต่างกันในเขต จังหวัดนครราชสีมา ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การจำแนกผู้สูงอายุตามพื้นที่ ภายในจังหวัดนครราชสีมา

พื้นที่/ชุมชน	จำนวนผู้สูงอายุ (คน)	ช่วงอายุ (ปี)	อายุเฉลี่ย (ปี)
1. ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง	9	60 - 70	64.5
2. ตำบลโคกกรวด อำเภอเมือง	16	60 - 70	67.7
3. ตำบลเมืองปัก อำเภอปักธงชัย	30	60 - 80	70.5
4. ตำบลตะกั่ว อำเภอปักธงชัย	21	60 - 85	72.1
5. ตำบลนกออก อำเภอปักธงชัย	24	60 - 85	69.3

วิธีการคัดเลือกตัวอย่างเป็นแบบเฉพาะเจาะจงโดยกำหนดคุณสมบัติดังนี้

1. สื่อสารภาษาไทยเข้าใจ
2. ยินยอมให้ข้อมูลในการวิจัย
3. ปฏิบัติกิจวัตรประจำวันพื้นฐานได้ด้วยตนเอง
4. ไม่มีปัญหาการเคลื่อนไหวในการเดิน

3.1.2 การสำรวจข้อมูลพื้นฐานทั่วไปของผู้ถูกทดลอง

การสำรวจข้อมูลพื้นฐานทั่วไปของผู้ถูกทดลองเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลทางลักษณะกายภาพ เช่น เพศ อายุ สถานภาพ กิจวัตร โรคประจำตัว ประวัติการหกล้ม และสภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัยทั่วไปของผู้ถูกทดลอง เช่น ลักษณะบ้าน จำนวนชั้นของที่อยู่อาศัย ความถี่ในการใช้บันได พักอาศัยบริเวณชั้นใด โดยใช้เครื่องมือในการสำรวจคือแบบสอบถาม จากนั้นนำผลข้อมูลที่รวบรวมได้มาวิเคราะห์ด้วยวิธีการสถิติเชิงพรรณนาหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ

3.1.3 การวัดสัดส่วนของผู้ถูกทดลอง

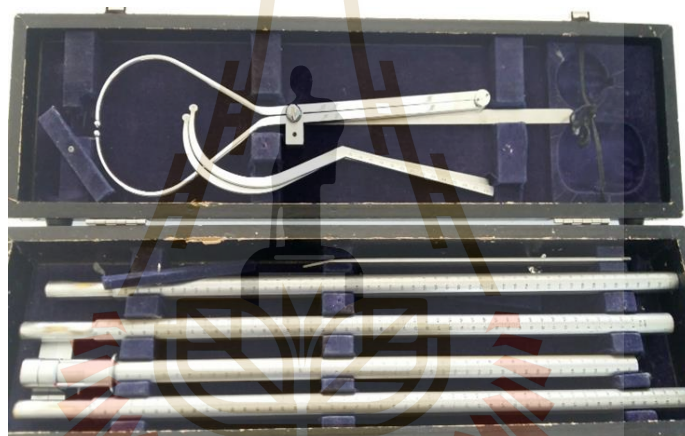
การวัดสัดส่วนของผู้ถูกทดลองเป็นการเก็บข้อมูลสัดส่วนร่างกายของผู้ถูกทดลองในท่ายืนจำนวน 32 รายการดังตารางที่ 3.2 แบ่งออกเป็นการวัดสัดส่วนด้วยสายวัดจำนวน 14 รายการ เช่น รอบศีรษะ รอบคอ รอบอก เป็นต้น และสัดส่วนที่วัดด้วยเครื่องวัดสัดส่วนร่างกายจำนวน 18 รายการ เช่น ความสูง ความสูงเอวหลัง ความกว้างอก เป็นต้น โดยใช้เครื่องวัดสัดส่วนร่างกาย สายวัด และเครื่องชั่งน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 3.1-3.3 จากนั้นนำผลมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการสถิติเชิงพรรณนาหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลสัดส่วนร่างกายของผู้ถูกทดลองในท่ายืนจำนวน 32 รายการ

ลำดับที่	รายการ	อุปกรณ์
1	รอบศีรษะ	สายวัด
2	รอบคอ	สายวัด
3	รอบอก	สายวัด
4	รอบใต้ออก	สายวัด
5	รอบเอว	สายวัด
6	รอบหน้าท้อง	สายวัด
7	รอบตะโพก	สายวัด
8	รอบต้นขา	สายวัด
9	รอบน่องส่วนที่ใหญ่ที่สุด	สายวัด
10	รอบวงในแขนใน	สายวัด
11	รอบคืบแขน	สายวัด
12	รอบข้อศอก	สายวัด
13	รอบแขนส่วนที่ใหญ่ที่สุด	สายวัด
14	รอบข้อมือ	สายวัด
15	ความกว้างอก	แอนโทรโพมิเตอร์
16	ความกว้างเอว	แอนโทรโพมิเตอร์
17	ความกว้างหน้าท้อง	แอนโทรโพมิเตอร์
18	ความกว้างตะโพก	แอนโทรโพมิเตอร์
19	ความกว้างต้นขา	แอนโทรโพมิเตอร์
20	ความหนาอก	แอนโทรโพมิเตอร์
21	ความหนาเอว	แอนโทรโพมิเตอร์
22	ความหนาหน้าท้อง	แอนโทรโพมิเตอร์
23	ความหนาตะโพก	แอนโทรโพมิเตอร์
24	ความหนาต้นขา	แอนโทรโพมิเตอร์

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลสัดส่วนร่างกายของผู้ถูกทดลองในทำยีนจำนวน 32 รายการ (ต่อ)

ลำดับที่	รายการ	อุปกรณ์
25	ความสูง	แอนโทรโพมิเตอร์
26	ความสูงตา	แอนโทรโพมิเตอร์
27	ความสูงปุ่มไหล่	แอนโทรโพมิเตอร์
28	ความสูงรักแร้หลัง	แอนโทรโพมิเตอร์
29	ความสูงเอวหลัง	แอนโทรโพมิเตอร์
30	ความสูงข้อศอก(ขณะงอ)	แอนโทรโพมิเตอร์
31	ความสูงใต้เข่า	แอนโทรโพมิเตอร์
32	ความสูงปุ่มเข่าด้านใน	แอนโทรโพมิเตอร์



รูปที่ 3.1 เครื่องมือ Anthropometer



รูปที่ 3.2 สายวัด



รูปที่ 3.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก

3.2 การวิจัยเชิงทดลอง

3.2.1 ข้อสมมติฐานการทดลอง

การศึกษานี้เป็นการทดสอบสมมติฐานดังนี้
สมมติฐานเกี่ยวกับผลกระทบของขนาดลูกตั้งที่มีต่อแรงที่กระทำต่อเท้าของ
ผู้สูงอายุ

สมมติฐานหลัก H_0 : ขนาดของลูกตั้งไม่มีผลกระทบต่อแรงที่กระทำต่อเท้า
ของผู้สูงอายุ

สมมติฐานทางเลือก H_1 : ขนาดของลูกตั้งมีผลกระทบต่อแรงที่กระทำต่อเท้าของ
ผู้สูงอายุ

3.2.2 การออกแบบการทดลอง

1) แผนการทดลอง

การศึกษานี้ได้ออกแบบการทดลองเป็นแบบแฟคตอเรียลเพื่อวิเคราะห์ว่าปัจจัยใด
มีผลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยใช้วิธีการสุ่มในการกำหนดลำดับของเงื่อนไขการ

ทดลอง (Experimental Condition) และทำซ้ำ 2 ครั้งในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง การทดลองนี้มีตัวแปรอิสระ 1 ตัวแปร และตัวแปรตาม 3 ตัวแปร ดังนี้

ตัวแปรอิสระ 1 ตัวแปรคือ ขนาดของลูกตั้งบันไดมี 4 ระดับดังนี้

- 1) ขนาดของลูกตั้ง 12 เซนติเมตร
- 2) ขนาดของลูกตั้ง 13 เซนติเมตร
- 3) ขนาดของลูกตั้ง 14 เซนติเมตร
- 4) ขนาดของลูกตั้ง 15 เซนติเมตร

ตัวแปรตาม 3 ตัวแปรคือ

1) ค่าแรงแนวตั้งที่เท้ากระทำต่อพื้นของผู้ถูกทดลองขณะเดินขึ้นและลงบันได โดยใช้เครื่องวัดแรงที่กระทำต่อเท้า Force Plate สามารถนำค่าแรงมาแปลงเป็นตัวแปรได้ทั้งหมด 5 ตัวแปร ดังนั้นตัวแปรของค่าแรงแนวตั้งจึงมี 5 ระดับคือ Fz2 Fz3 Fz4 Loading Rate (bn) และ Unloading Rate (en)

2) ความพึงพอใจของผู้สูงอายุที่มีต่อขนาดของลูกตั้งบันได ซึ่งให้ผู้สูงอายุให้คะแนนความพึงพอใจ 1-5 ในแต่ละขนาดของลูกตั้งบันได โดยใช้มาตรวัดทัศนคติของ Likert (Likert Scale, 1932)

3) ค่าเวลาที่ใช้ผู้สูงอายุใช้ในการเดินขึ้นและลงบันไดตั้งแต่ก้าวแรกจนสุดขั้นบันไดสุดท้าย

หมายเหตุ ตัวแปรค่าแรงแนวตั้งที่เท้ากระทำต่อพื้นใช้ผู้ถูกทดลองจำนวน 10 คน

3.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 1) นาฬิกาจับเวลาดิจิทัล ยี่ห้อ Casio รุ่น HS-70W ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 นาฬิกาจับเวลาดิจิทัล

2) ชุดเครื่องบันทึกการเคลื่อนไหว (Motion Capture System) รุ่น Smart-DX 5000 ประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 3.5) ใช้เชื่อมต่อแผ่น Force Plate รุ่น Kistler 9286BA (รูปที่ 3.6) และกล้องอินฟราเรด 2 ตัว (รูปที่ 3.7)



รูปที่ 3.5 เครื่องคอมพิวเตอร์ในชุดวิเคราะห์การเคลื่อนไหว



รูปที่ 3.6 แผ่น Force Plate รุ่น Kistler 9286BA (Kistler, 2008)

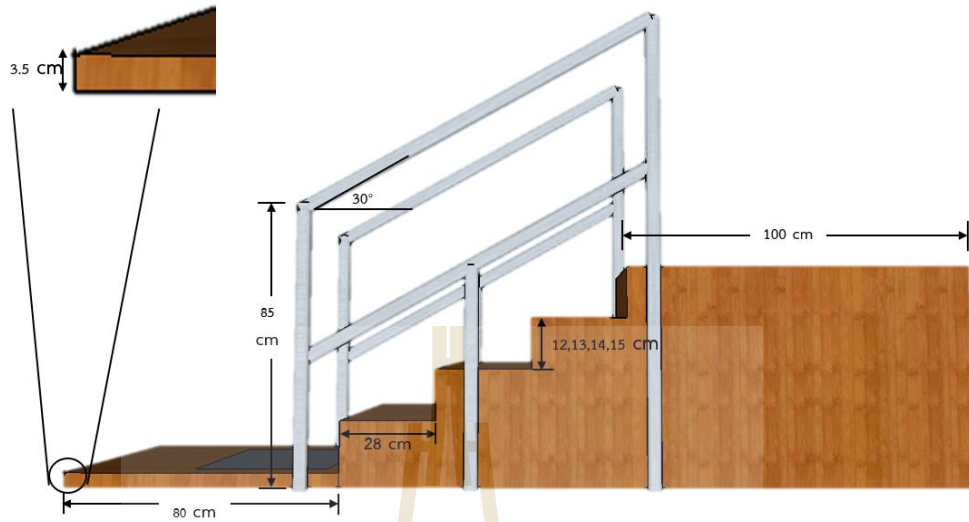


รูปที่ 3.7 กล้องอินฟราเรดในชุดวิเคราะห์การเคลื่อนไหว

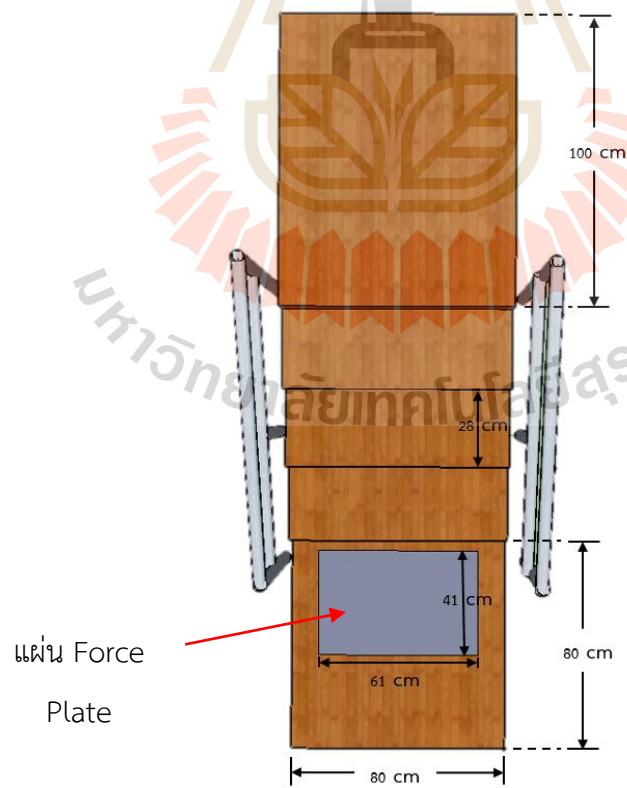
3) ชุดบันไดการทดลองจำนวน 4 ชุด ประกอบด้วยขนาดความสูงของลูกตั้งบันได 4 ขนาดคือ 12 13 14 และ 15 เซนติเมตร มีขนาดความกว้างของลูกนอนบันไดคือ 28 เซนติเมตร พื้นของวัสดุบันไดใช้วัสดุไม้ และมีราวจับใช้วัสดุสแตนเลสทั้งสองข้างทางของบันไดแสดงดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.8 แบบจำลองของบันไดที่ใช้ในทดลอง



รูปที่ 3.9 ขนาดส่วนต่างๆ ของบันได (มุมด้านข้าง)



รูปที่ 3.10 ขนาดส่วนต่างๆ ของบันได (มุมด้านบน)

จากรูปที่ 3.9 และ 3.10 ขนาดส่วนต่าง ๆ ของบันไดประกอบไปด้วย

- พื้นล่างสุดของบันไดมีความหนาเท่ากับ 3.5 เซนติเมตร ความลึกเท่ากับ 80 เซนติเมตร และความกว้างเท่ากับ 80 เซนติเมตร
- ราวบันไดมีความสูงจากพื้นเท่ากับ 85 เซนติเมตร และทำมุมองศากับแนวราบเท่ากับ 30 องศา
- ชานพักบันไดมีความลึกเท่ากับ 100 เซนติเมตร และความกว้างเท่ากับ 80 เซนติเมตร
- แผ่น Force Plate ติดที่พื้นของบันไดก่อนการก้าวขึ้นขั้นที่หนึ่ง ขนาดความกว้างเท่ากับ 41 เซนติเมตร และขนาดความยาวเท่ากับ 61 เซนติเมตร
- ขนาดความสูงของลูกตั้งบันไดประกอบด้วย 4 ขนาดคือ 12 13 14 และ 15 เซนติเมตร และมีขนาดความกว้างของลูกนอนเท่ากับ 28 เซนติเมตร

3.2.4 การเตรียมสถานที่ที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองครั้งนี้ใช้สถานที่การทดลองคือห้องการยศาสตร์ อาคารเครื่องมือ 10 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา โดยจัดเตรียมพื้นที่ที่ใช้สำหรับการทดลองมีบริเวณคือ ความยาวเท่ากับ 4 เมตร และความกว้างเท่ากับ 2 เมตรดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 พื้นที่ที่ใช้ทดลองการเดินบันได

3.2.5 ขั้นตอนการทดลอง

เมื่อคัดกรองผู้ถูกทดลองแล้ว เริ่มการทดลองโดยให้ผู้ถูกทดลองจับสลากอันดับของขนาดลูกตั้งบันไดที่ใช้ในการทดลอง จากนั้นผู้ทดลองอธิบายให้ผู้ถูกทดลองทราบถึงวิธีการเดินขึ้น-ลงบันได โดยใช้ความเร็วตามปกติของผู้ถูกทดลอง และให้ผู้ถูกทดลองเดินขึ้น-ลงแต่ละบันไดบันไดครั้งละสองซ้ำ โดยกำหนดเวลาพัก 2 นาทีในแต่ละซ้ำ

ขั้นตอนการทดลองมีดังต่อไปนี้

- 1) ผู้ถูกทดลองยืนในจุดเริ่มต้นที่เส้นหลังแผ่น Force Plate ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 เส้นหรือจุดตั้งต้นของผู้ถูกทดลอง

- 2) เมื่อผู้ทำการทดลองให้สัญญาณบอก “เริ่ม” แก่ผู้ถูกทดลอง ผู้ถูกทดลองจึงเริ่มเดินได้ด้วยความเร็วปกติของตนเอง และเหยียบแผ่น Force Plate ด้วยเท้าข้างใดข้างหนึ่ง
- 3) ผู้ทำการทดลองเริ่มจับเวลาขาขึ้นบันไดตั้งแต่ผู้ถูกทดลองเริ่มเดินก้าวแรกจนถึงขั้นสุดท้ายของบันได โดยเท้าทั้งสองข้างของผู้ถูกทดลองต้องก้าวเหยียบบนขั้นสุดท้ายทั้งสองข้าง
- 4) เริ่มจับเวลาขาลงตั้งแต่ผู้ถูกทดลองยกเท้าข้างใดข้างหนึ่งจากขั้นบนสุดของบันไดเพื่อก้าวลงจนถึงพื้นล่างสุดของบันได โดยเท้าทั้งสองข้างของผู้ถูกทดลองเหยียบพื้นครบทั้งสองข้างแล้วจึงหยุดจับเวลา
- 5) บันทึกค่าเวลาขาขึ้นบันไดและลงบันไดใส่ตารางบันทึกผลการทดลอง แสดงดังในตารางที่ 3.3
- 6) จากนั้นให้ผู้ถูกทดลองนั่งพัก 2 นาที จึงเริ่มทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 5 จนครบทั้ง 4 บันได

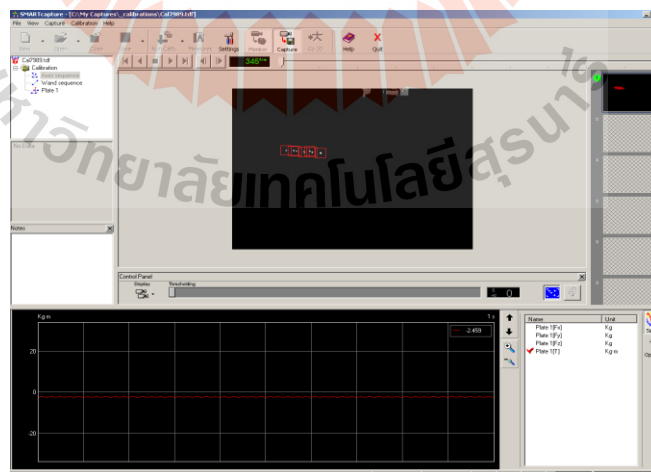
7) เมื่อผู้ถูกทดลองเดินเสร็จในแต่ละบันได ให้ผู้ถูกทดลองให้คะแนน 1-5 แต่ละขนาดของลูกตั้งบันได จากนั้นบันทึกผล

ตารางที่ 3.3 ตารางบันทึกผลการจับเวลาขาขึ้นและขาลงของบันได

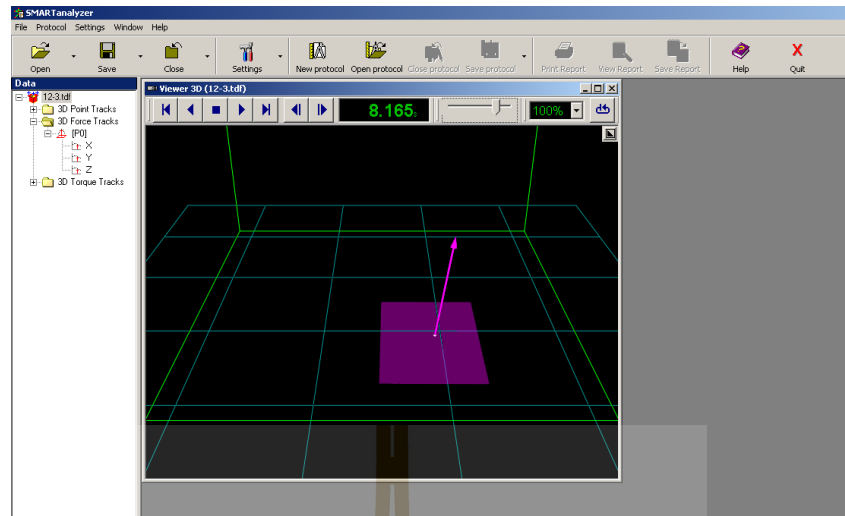
ขนาดลูกตั้ง (เซนติเมตร)	เวลาที่ใช้ในทดลองครั้งที่ (วินาที)						เวลาเฉลี่ย (วินาที)	
	1			2			ขึ้น	ลง
	ขึ้น	ลง	รวม	ขึ้น	ลง	รวม		
12								
13								
14								
15								

3.2.6 ขั้นตอนการใช้เครื่องบันทึกการเคลื่อนไหว

การทำงานของเครื่องบันทึกการเคลื่อนไหวประกอบด้วยโปรแกรม SMART Capture เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการบันทึกค่าแรงปฏิกิริยาจากแผ่น Force Plate ดังแสดงในรูปที่ 3.13 และโปรแกรม SMART Analyzer เป็นโปรแกรมที่ใช้ดึงข้อมูลค่าแรงปฏิกิริยาออกมาวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 3.14

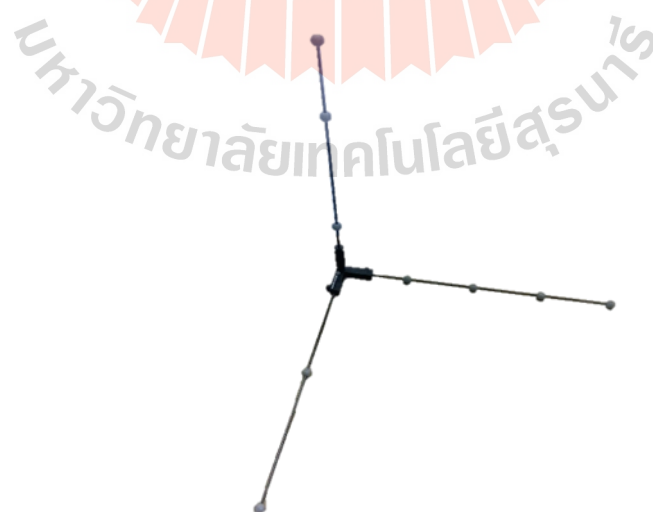


รูปที่ 3.13 หน้าต่างการใช้งานของโปรแกรม SMART Capture

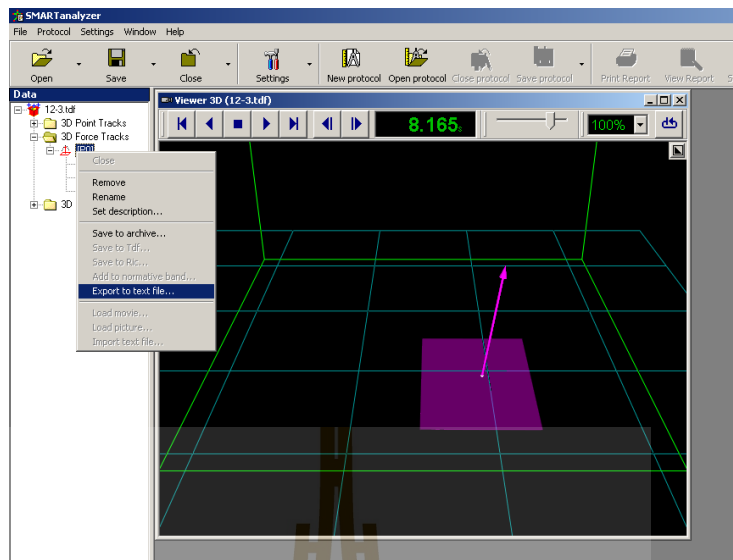


รูปที่ 3.14 หน้าต่างการใช้งานของโปรแกรม SMART Analyzer

สำหรับการเริ่มต้นใช้งานของโปรแกรม SMART Capture เริ่มด้วยชุดคำสั่ง Calibrate เพื่อกำหนดจุดตั้งต้น และบริเวณของพื้นที่ที่ใช้ในทดลองด้วย 3 Axis Wand และไม้ Wand ดังแสดงในรูปที่ 3.15 เมื่อรันชุดคำสั่ง Calibrate เสร็จสิ้น สามารถเริ่มการทดลองจริงโดยใช้คำสั่ง Capture เพื่บันทึกการเคลื่อนไหวและค่าแรงปฏิกิริยาจากแผ่น Force Plate ข้อมูลค่าแรงที่ได้จากการบันทึกมีหน่วยเป็นนิวตัน และสามารถนำออกมาโดยใช้โปรแกรม SMART Analyzer ด้วยการ Export to text file ดังแสดงในรูปที่ 3.16



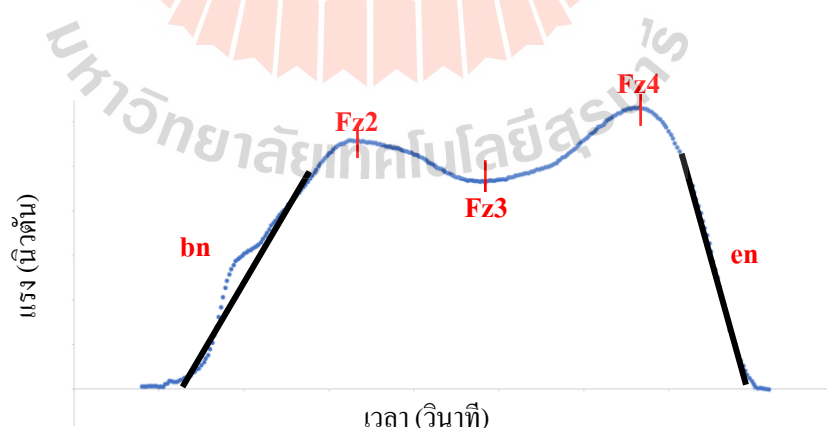
รูปที่ 3.15 อุปกรณ์ 3 Axis Wand



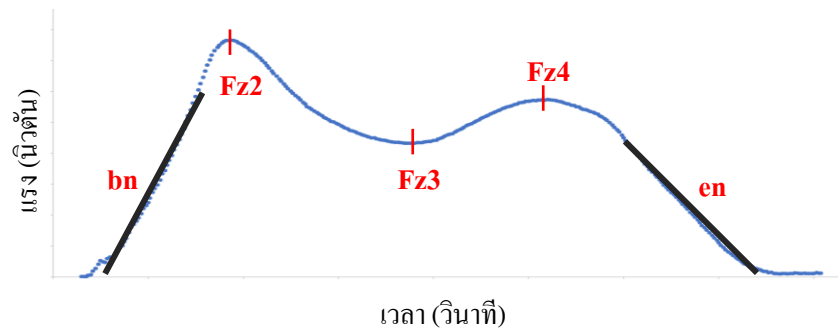
รูปที่ 3.16 การใช้งานคำสั่ง Export to text file

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลค่า Ground Reaction Force

ข้อมูลค่าแรง GRF ที่ได้จากการบันทึกของแผ่น Force Plate ประกอบด้วยค่าแรง GRF ของ 3 แกนคือ Horizontal Force (F_x) Lateral Force (F_y) และ Vertical Force (F_z) ซึ่งงานวิจัยนี้สนใจค่าแรงในแกน Vertical Force (F_z) เมื่อนำค่าแรงกับเวลามาพล็อตกราฟมีลักษณะแสดงเป็นรูปตัว M ดังแสดงในรูปที่ 3.17 และ 3.18 โดยมีหน่วยเป็นวินาทีต่อวินาที



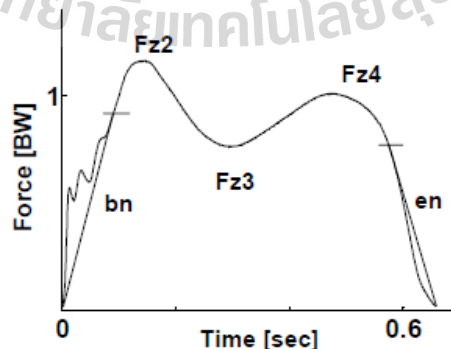
รูปที่ 3.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าแรง GRF กับเวลา (ขณะขึ้นบันได)



รูปที่ 3.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าแรง GRF กับเวลา (ขณะลงบันได)

จากรูปที่ 3.17 และรูปที่ 3.18 กราฟค่าแรง GRF สามารถแปลงเป็นตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้มี 5 ตัวแปร โดยยึดตามแนวคิดของ Stüssi and Debrunner (1980) ดังแสดงในรูปที่ 3.19 แสดงค่าตัวแปรที่นิยามได้จากกราฟ GRF ดังต่อไปนี้

- 1) ค่า Loading Rate (bn) เป็นระยะที่ส้นเท้าของขาข้างที่สนใจเริ่มสัมผัสพื้น
- 2) ค่า Fz2 คือค่าแรง GRF สูงสุดครั้งแรกของ Gait Cycle
- 3) ค่า Fz3 คือค่าแรง GRF ระหว่าง Fz2 กับ Fz4 ที่มีค่าต่ำที่สุด เป็นระยะที่เท้าของขาข้างที่สนใจสัมผัสพื้นทั้งหมด
- 4) ค่า Fz4 คือค่าแรง GRF สูงสุดครั้งที่สองของ Gait Cycle เป็นระยะที่ปลายเท้าของขาข้างที่สนใจดันลำตัวเพื่อเคลื่อนที่ไปข้างหน้า
- 5) ค่า Unloading Rate (en) เป็นระยะที่เหลือเพียงนิ้วเท้าของขาข้างที่สนใจสัมผัสพื้นและกำลังเข้าสู่ช่วง Swing Phase



รูปที่ 3.19 ตัวแปรของค่าแรง Ground Reaction Force แกน Vertical Force (Fz) (Stüssi and Debrunner, 1980)

โดยตัวแปรของค่า GRF ทั้ง 5 ตัวแปรนั้นมีหน่วยดังต่อไปนี้

- ค่า Loading Rate (bn) มีหน่วยเป็น นิวตันต่อวินาที
- ค่า Fz2 มีหน่วยเป็น นิวตัน
- ค่า Fz3 มีหน่วยเป็น นิวตัน
- ค่า Fz4 มีหน่วยเป็น นิวตัน
- ค่า Unloading Rate (en) มีหน่วยเป็น นิวตันต่อวินาที

เมื่อได้ตัวแปรค่าแรง GRF ทั้ง 5 ตัวแปรแล้ว จากนั้นนำค่าแรง GRF ทั้ง 5 ตัวแปรมา Normalized เป็น Body Weight (BW) เพื่อเปรียบเทียบค่าแรงเป็นน้ำหนักตัวของผู้ทดลองแต่ละคน โดยให้น้ำหนักตัวคิดเป็น 1 มีสูตร (3-2) ดังนี้

$$BW = (x_i \times 0.10197) \div \text{น้ำหนักของผู้ถูกทดลอง} \quad (3-2)$$

โดย x_i คือ ตัวแปรของค่า GRF ประกอบด้วย

i=1 คือค่า Loading Rate (bn)

i=2 คือค่า Fz2

i=3 คือค่า Fz3

i=4 คือค่า Fz4

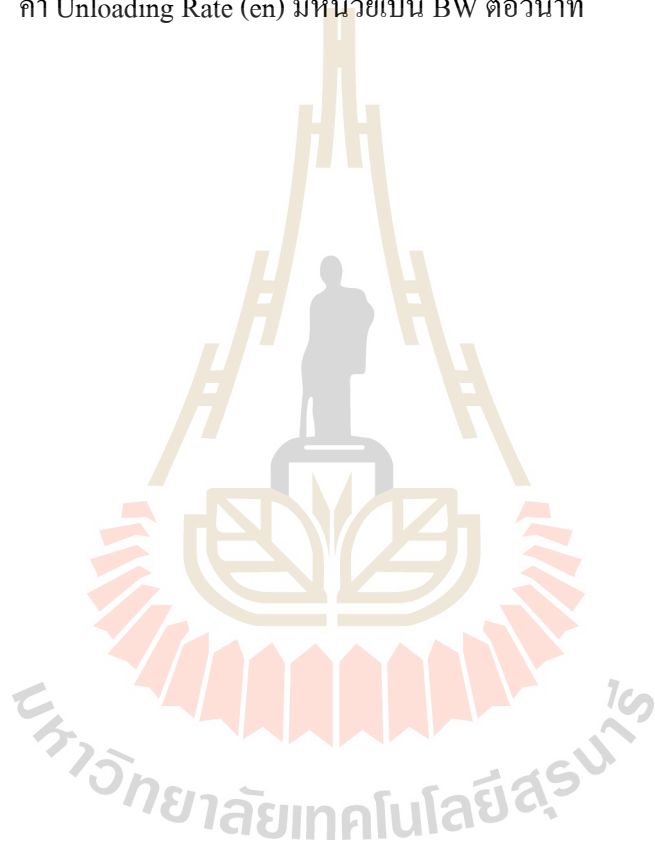
i=5 คือค่า Unloading Rate (en)

0.10197 คือ ค่าคงที่ ซึ่งใช้แปลงจากหน่วยนิวตันเป็นกิโลกรัม โดย 1 นิวตันเท่ากับ 0.10197 กิโลกรัม

น้ำหนักของผู้ถูกทดลอง คือค่าน้ำหนักของผู้ถูกทดลอง มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (Kg)

เมื่อ Normalized ตัวแปรค่าแรง GRF เป็น Body Weight (BW) แล้ว ตัวแปรทั้ง 5 ตัวแปร
จึงมีหน่วยดังต่อไปนี้

- ค่า Loading Rate (bn) มีหน่วยเป็น BW ต่อวินาที
- ค่า Fz2 มีหน่วยเป็น BW
- ค่า Fz3 มีหน่วยเป็น BW
- ค่า Fz4 มีหน่วยเป็น BW
- ค่า Unloading Rate (en) มีหน่วยเป็น BW ต่อวินาที



บทที่ 4

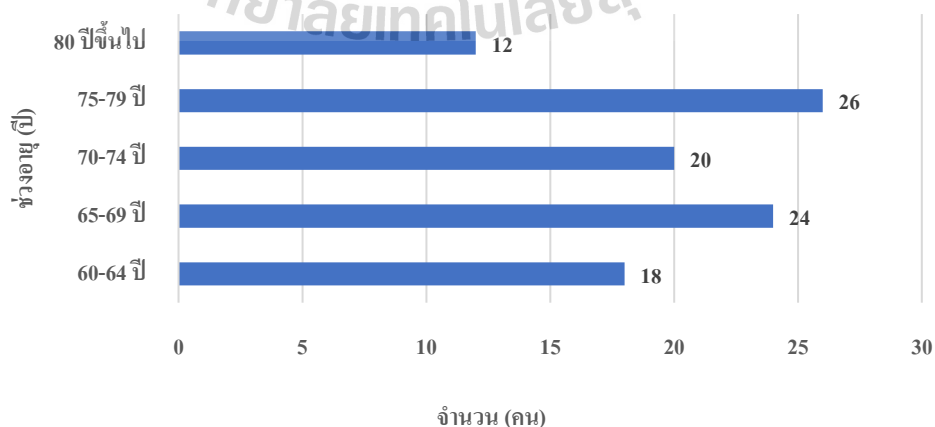
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

บทนี้ นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งแบ่งออกเป็น 1) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานทั่วไปของผู้ถูกทดลองเชิงสำรวจเกี่ยวกับ กิจวัตร โรคประจำตัว สภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัย ประวัติการหกล้ม ปัญหาการใช้บันได และขนาดวัดสัดส่วนร่างกาย และ 2) ผลการวิเคราะห์เชิงทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานทั่วไปของผู้ถูกทดลอง

4.1.1 ผลการศึกษาสภาพทั่วไปของผู้ถูกทดลอง

การศึกษานี้มีผู้ถูกทดลองทั้งหมด 100 คน แบ่งเป็นเพศชายจำนวน 42 คน (ร้อยละ 42) เพศหญิงจำนวน 58 คน (ร้อยละ 58) โดยผู้ถูกทดลองอยู่ในกลุ่มช่วงอายุ 60-64 ปี จำนวน 18 คน (ร้อยละ 18) ช่วงอายุ 65-69 ปี จำนวน 24 คน (ร้อยละ 24) ช่วงอายุ 70-74 ปี จำนวน 20 คน (ร้อยละ 20) ช่วงอายุ 75-79 ปี จำนวน 26 คน (ร้อยละ 26) และช่วงอายุตั้งแต่ 80 ปีขึ้นไป จำนวน 12 คน (ร้อยละ 12) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 สำหรับสถานภาพครอบครัวของผู้ถูกทดลองพบว่า สถานภาพโสดมีจำนวน 5 คน (ร้อยละ 5) สมรส 71 คน (ร้อยละ 71) และหม้ายหรือหย่าร้าง 24 คน (ร้อยละ 24)



รูปที่ 4.1 จำนวนผู้ถูกทดลองแบ่งตามช่วงอายุ

สำหรับระดับการศึกษาของผู้ถูกทดลองพบว่า ไม่ได้เรียน อ่านไม่ออก-เขียนไม่ได้ มีจำนวน 17 คน (ร้อยละ 17) จบระดับประถมศึกษา 77 คน (ร้อยละ 77) จบระดับมัธยมศึกษา 2 คน (ร้อยละ 2) จบระดับปริญญาตรี หรือสูงกว่า 2 คน (ร้อยละ 2) และอื่น ๆ 2 คน (ร้อยละ 2)

การประกอบอาชีพของผู้ถูกทดลองที่ได้จากการสอบถามพบว่า ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมถึง 42 คน (ร้อยละ 42) ประกอบอาชีพข้าราชการบำนาญ/พนักงานของรัฐ เกษียณมีจำนวน 2 คน (ร้อยละ 2) ประกอบอาชีพค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว 4 คน (ร้อยละ 4) ประกอบอาชีพรับจ้างทั่วไป 10 คน (ร้อยละ 10) และไม่ได้ประกอบอาชีพ 38 คน (ร้อยละ 38) และเมื่อวิเคราะห์สถานภาพการอยู่อาศัยของผู้ถูกทดลองพบว่า อยู่คนเดียวมีจำนวน 4 คน (ร้อยละ 4) อยู่กับคู่สมรส 50 คน (ร้อยละ 50) อยู่กับบุตรหลาน 51 คน (ร้อยละ 51) อยู่กับญาติ 1 คน (ร้อยละ 1)

เมื่อวิเคราะห์สุขภาพร่างกายของผู้ถูกทดลองพบว่า มีจำนวนถึง 63 คน (ร้อยละ 63) ที่มีโรคประจำตัว โดยมีโรคเบาหวาน 18 คน (ร้อยละ 18) โรคความดันโลหิตสูง 30 คน (ร้อยละ 30) โรคไขมันในเลือดสูง 12 คน (ร้อยละ 12) โรคหัวใจ 4 คน (ร้อยละ 4) โรคหลอดเลือดสมอง 2 คน (ร้อยละ 2) นอกจากนี้ผู้มีปัญหาเป็นโรคกระดูกและข้อจำนวน 43 คน (ร้อยละ 43) โดยแบ่งเป็นบริเวณตำแหน่งคอ 3 คน (ร้อยละ 3) ตำแหน่งข้อไหล่ 3 คน (ร้อยละ 3) ตำแหน่งนิ้วมือ 1 คน (ร้อยละ 1) ตำแหน่งข้อตะโพก 6 คน (ร้อยละ 6) ตำแหน่งบริเวณกระดูกสันหลัง 10 คน (ร้อยละ 10) ตำแหน่งข้อเข่า 35 คน (ร้อยละ 35) ตำแหน่งข้อเท้า 3 คน (ร้อยละ 3) และตำแหน่งฝ่าเท้า 1 คน (ร้อยละ 1) นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์การใช้ยาของผู้ถูกทดลองพบว่า มีการใช้ยา 68 คน (ร้อยละ 68) โดยเป็นยาตามแพทย์สั่ง 55 คน (ร้อยละ 55) ผู้ถูกทดลองซื้อกินเอง 11 คน (ร้อยละ 11) สำหรับปัญหาการมองเห็นของผู้ถูกทดลองพบว่า มีปัญหาการมองเห็น 49 คน (ร้อยละ 49) ประกอบด้วยอาการตามัว/มองไม่ชัด 28 คน (ร้อยละ 28) อาการตาเป็นต้อ 7 คน (ร้อยละ 7) อาการตาฟาง 19 คน (ร้อยละ 19) อาการสายตาศิลปคดี (สายตาสั้น สายตายาว และสายตาเอียง) 5 คน (ร้อยละ 5) และเมื่อสอบถามปัญหาทางการได้ยินพบว่า มีปัญหาทางการได้ยิน 23 คน (ร้อยละ 23) ประกอบด้วยอาการหูตึง 8 คน (ร้อยละ 8) และอาการหูไม่ได้ยินครั้งคราว 13 คน (ร้อยละ 13)

เมื่อสอบถามการออกกำลังกายของผู้ถูกทดลองย้อนหลังภายใน 6 เดือนที่ผ่านมาพบว่า ส่วนใหญ่มีการออกกำลังกายถึง 81 คน (ร้อยละ 81) โดยกิจกรรมที่ผู้ถูกทดลองออกกำลังกายบ่อยเป็นลำดับแรกคือ การเดิน รองลงมาคือออกกำลังกายทั่วไป เช่น กายบริหาร และทำงานบ้าน ส่วนการออกกำลังกาย 3 ลำดับท้ายคือ การปั่นจักรยาน การวิ่ง และ แอโรบิครองลงมาตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 นอกจากนี้เมื่อสอบถามพฤติกรรมการดื่มสุรา ยาอดพบว่า ผู้ถูกทดลอง

จำนวน 11 คน (ร้อยละ 11) ยังมีการดื่มบ้างเป็นครั้งคราว และเมื่อสอบถามพฤติกรรมการสูบบุหรี่มีจำนวน 16 คน (ร้อยละ 16) ที่ปัจจุบันยังมีการสูบบุหรี่ และเคยสูบบุหรี่แต่ปัจจุบันเลิกสูบแล้ว 7 คน (ร้อยละ 7)

ตารางที่ 4.1 จำนวนผู้ถูกทดลองจำแนกตามชนิดการออกกำลังกาย

การออกกำลังกาย	ความถี่
1. การเดิน	58
2. ออกกำลังกายทั่วไป	24
3. ปั่นจักรยาน	16
4. การวิ่ง	12
5. แอโรบิค	1

สำหรับกิจกรรม/การเคลื่อนไหวที่ผู้ถูกทดลองใช้ภายในที่พักอาศัยจากการสอบถามพบว่า ความถี่ในการใช้ห้องน้ำต่อวันของผู้ถูกทดลองส่วนมากใช้ 1-3 ครั้ง จำนวน 71 คน (ร้อยละ 71) รองลงมาคือ ความถี่ 4-6 ครั้ง จำนวน 23 คน (ร้อยละ 23) และมากกว่า 6 ครั้ง จำนวน 6 คน (ร้อยละ 6) ส่วนลักษณะส้วมส่วนใหญ่ที่ผู้ถูกทดลองใช้เป็นลักษณะส้วมนั่งของถึง 59 คน (ร้อยละ 54) รองลงมาคือ ใช้ส้วมชักโครก 41 คน (ร้อยละ 41) และผู้ถูกทดลองที่ใช้ทั้งส้วมแบบนั่งของและชักโครก 5 คน (ร้อยละ 5) ส่วนการเคลื่อนไหวภายในที่พักอาศัย หรือพื้นที่โดยรอบพบว่า มีผู้ถูกทดลองจำนวน 71 คน (ร้อยละ 71) ที่มีการเคลื่อนไหว ขึ้นบันไดมากถึง 64 คน (ร้อยละ 64) รองลงมาคือ พื้นต่างระดับ 24 คน (ร้อยละ 24) และผ่านทางลาดชัน 7 คน (ร้อยละ 7) ส่วนลักษณะการนั่งรับประทานอาหารของผู้ถูกทดลองพบว่า นั่งรับประทานอาหารที่โต๊ะ 54 คน (ร้อยละ 54) และนั่งรับประทานอาหารที่พื้น 46 คน (ร้อยละ 46) ส่วนลักษณะการนอนของผู้ถูกทดลองพบว่า ผู้ถูกทดลองนอนเตียงที่มีระดับความสูงพอดี 52 คน (ร้อยละ 52) นอนบนพื้นที่มีเบาะหรือเสื่อ 41 คน (ร้อยละ 41) และนอนเตียงในระดับความสูงที่ไม่พอดี 5 คน (ร้อยละ 5)

เมื่อสอบถามการกัวการหกล้มของผู้ถูกทดลองพบว่า มีผู้ไม่กัวการหกล้ม 39 คน (ร้อยละ 39) ผู้กัวการหกล้มในระดับปานกลาง 28 คน (ร้อยละ 28) รองลงมาคือ กัวในระดับมาก 27 คน (ร้อยละ 27) และกัวน้อย 6 คน (ร้อยละ 6) สำหรับประวัติการหกล้มในระยะ 6 เดือนที่ผ่านมาของผู้ถูกทดลองพบว่า มีจำนวน 18 คน (ร้อยละ 18) ที่เคยหกล้ม ความถี่ในการหกล้มพบว่า ผู้ถูก

ทดลองเคชหกล้มจำนวน 1 ครั้ง จำนวน 13 คน (ร้อยละ 13) รองลงมาคือ หกล้มจำนวน 2 ครั้ง จำนวน 2 คน (ร้อยละ 2) หกล้ม 3 ครั้ง จำนวน 2 คน (ร้อยละ 2) และหกล้มมากกว่า 3 ครั้ง จำนวน 1 คน (ร้อยละ 1) ตามลำดับ สถานที่หกล้มของผู้ถูกทดลองพบว่า บริเวณภายในบ้านมากที่สุดคือ 9 คน (ร้อยละ 9) รองลงมาคือ บริเวณรอบตัวบ้าน บริเวณในชุมชน และบริเวณที่นา ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 จำนวนผู้ถูกทดลองที่หกล้ม จำแนกตามบริเวณที่หกล้ม

บริเวณ	ความถี่
ภายในบริเวณบ้าน	9
บริเวณรอบตัวบ้าน	5
บริเวณชุมชน	3
บริเวณที่นา	1

สำหรับสาเหตุการหกล้มของผู้ถูกทดลองพบว่า ส่วนใหญ่เกิดจากการสะดุดล้ม รองลงมาที่มีความถี่เท่ากันคือ สาเหตุของพื้นลื่น น้ำขัง หน้ามีด วิงเวียนศีรษะ เป็นลม สูญเสียการทรงตัว และกล้ามเนื้อลำตัวและขาอ่อนแรง ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และจากการสอบถามกิจกรรมที่ผู้ถูกทดลองปฏิบัติในขณะที่ล้มพบว่า ล้มในขณะที่เดิน รองลงมาคือ ขณะยืน ส่วนผลกระทบจากการหกล้มที่เกิดขึ้นทางร่างกายคือ มีเพียงรอยฟกช้ำ และแผลถลอก รองลงมาคือ กล้ามเนื้อหรือเอ็นฉีก และข้อหลุด สำหรับการรักษาหลังจากการหกล้มส่วนใหญ่ผู้ถูกทดลองทำการรักษาด้วยตนเอง มีเพียง 3 คนของผู้ที่หกล้มเท่านั้นที่รับการรักษาในโรงพยาบาล แล้วกลับไปรักษาตัวต่อที่บ้าน

ตารางที่ 4.3 จำนวนความถี่ของสาเหตุการหกล้มของผู้ถูกทดลอง

สาเหตุการหกล้ม	ความถี่
สะดุดล้ม	6
พื้นลื่น มีน้ำขัง	2
หน้ามีด วิงเวียนศีรษะ เป็นลม	2
สูญเสียการทรงตัว	2
กล้ามเนื้อลำตัว และขาอ่อนแรง	2
ปัญหาด้านการมองเห็น	1

4.1.2 ผลการศึกษาสภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัยของผู้ถูกทดลอง

สำหรับลักษณะที่อยู่อาศัยของผู้ถูกทดลองจากการสอบถามพบว่า เป็นลักษณะบ้านเดี่ยวแบบปูน 55 คน (ร้อยละ 55) รองลงมาคือ บ้านลักษณะบ้านไม้ยกพื้น 29 คน (ร้อยละ 29) และอื่น ๆ 16 คน (ร้อยละ 16) เช่น ตึกแถว หรือทาวน์เฮาส์ เมื่อสอบถามการพักอาศัยหรือนอนชั้นใดของผู้ถูกทดลองพบว่า ส่วนใหญ่พักอาศัยชั้นล่างของบ้านถึง 63 คน (ร้อยละ 63) สำหรับปัญหาการใช้สอยพื้นที่ภายในบริเวณบ้านพบว่า ส่วนใหญ่ของผู้ถูกทดลองไม่มีปัญหา มีเพียง 2 คน (ร้อยละ 2) เท่านั้นที่มีปัญหาการใช้สอยพื้นที่ภายในบริเวณบ้าน และความถี่ในการใช้บันไดต่อวันของผู้ถูกทดลองพบว่า ส่วนใหญ่หลีกเลี่ยงการใช้บันไดถึง 44 คน (ร้อยละ 44) สำหรับช่วงความถี่ที่ใช้บันได 1-3 ครั้งมีจำนวน 47 คน (ร้อยละ 47) รองลงมาคือ ความถี่ในการใช้บันได 4-6 ครั้งมีจำนวน 8 คน (ร้อยละ 8) และมากกว่า 6 ครั้งมีจำนวน 1 คน (ร้อยละ 1) ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 จำนวนช่วงความถี่ในการใช้บันได

จำนวนช่วงการใช้บันได	ร้อยละ
ไม่ใช้	44
1-3 ครั้ง	47
4-6 ครั้ง	8
มากกว่า 6 ครั้ง	1

4.1.3 ผลการศึกษาวัดสัดส่วนร่างกายของผู้ถูกทดลอง

ข้อมูลวัดสัดส่วนของผู้ถูกทดลองจำนวน 100 คน โดยทำการวัดสัดส่วนในท่ายืนทั้งหมด 32 รายการ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลค่าเฉลี่ยวัดสัดส่วนร่างกายในท่ายืน

วัดสัดส่วนร่างกายในท่ายืน หน่วยเซนติเมตร (n=100)			
ลำดับ	รายการ	Mean	S.D.
1	รอบศีรษะ	53.4	5.6
2	รอบคอ	34.8	5.2

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลค่าเฉลี่ยวัดสัดส่วนร่างกายในท่ายืน (ต่อ)

วัดสัดส่วนร่างกายในท่ายืน หน่วยเซนติเมตร (n=100)			
ลำดับ	รายการ	Mean	S.D.
3	รอบอก	88.7	12.4
4	รอบใต้ออก	85.7	8.9
5	รอบเอว	82.9	12.7
6	รอบหน้าท้อง	87.8	12.0
7	รอบตะโพก	95.2	9.5
8	รอบต้นขา	43.9	8.6
9	รอบน่องส่วนที่ใหญ่ที่สุด	33.4	3.9
10	รอบวงในแขนใน	42.8	6.3
11	รอบต้นแขน	28.6	5.0
12	รอบข้อศอก	36.2	114.9
13	รอบแขนล่างส่วนที่ใหญ่ที่สุด	23.2	2.4
14	รอบข้อมือ	16.2	1.6
15	ความกว้างอก	26.4	2.7
16	ความกว้างเอว	26.6	3.2
17	ความกว้างหน้าท้อง	28.1	4.0
18	ความกว้างตะโพก	32.0	2.2
19	ความกว้างต้นขา	12.4	3.6
20	ความหนาอก	22.4	3.5
21	ความหนาเอว	21.5	3.7
22	ความหนากว้างหน้าท้อง	23.8	3.7
23	ความหนาตะโพก	22.9	3.9
24	ความหนาต้นขา	13.0	3.0
25	ความสูง	152.7	15.4

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลค่าเฉลี่ยวัดสัดส่วนร่างกายในท่ายืน (ต่อ)

วัดสัดส่วนร่างกายในท่ายืน หน่วยเซนติเมตร (n=100)			
ลำดับ	รายการ	Mean	S.D.
26	ความสูงตา	142.9	13.2
27	ความสูงปุ่มไหล่	126.3	9.6
28	ความสูงรักแร้หลัง	120.6	50.9
29	ความสูงเอวหลัง	97.3	8.1
30	ความสูงข้อศอก(ขณะงอ)	94.3	7.7
31	ความสูงใต้เป้า	76.6	12.3
32	ความสูงปุ่มเข่าด้านใน	44.0	4.9

4.2 ผลการวิเคราะห์เชิงทดลอง

4.2.1 ผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาแนวตั้งของเท้าที่กระทำต่อพื้นขณะเดินบันไดที่มีขนาดลูกตั้งแตกต่างกัน

จากข้อมูลค่าแรง GRF ทั้ง 5 ตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์ได้สามารถตั้งสมมติฐานของการทดลองได้ดังนี้

- ตัวแปร Fz2 ขณะเดินขึ้นบันได

สมมติฐานที่ 1 : H_0 : ขนาดลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz2 ในขณะขึ้นบันได

: H_1 : ขนาดลูกตั้งบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz2 ในขณะขึ้นบันได

$$H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$$

โดย T_i คือ อิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ i

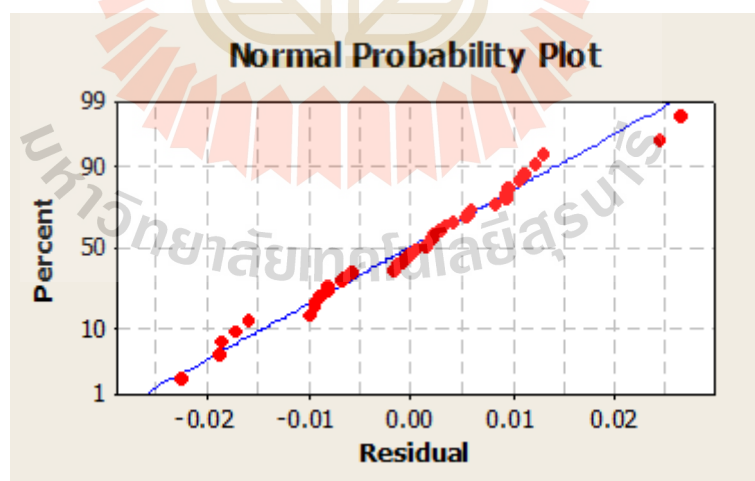
เมื่อ $i = 1$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 12 เซนติเมตร

$i = 2$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 13 เซนติเมตร

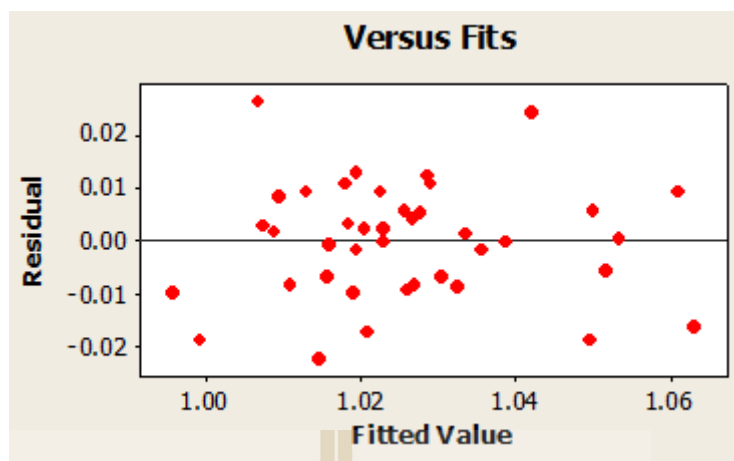
$i = 3$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 14 เซนติเมตร

$i = 4$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 15 เซนติเมตร

เมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายแบบปกติของส่วนค้ำ (Normal Probability Plot) พบว่าส่วนค้ำมีการแจกแจงตามปกติบนเส้นตรง โดยค่าส่วนใหญ่เรียงตัวกันบนแนวเส้นตรง (รูปที่ 4.2) แสดงว่าข้อมูลค่าแรงปฏิกิริยาของ Fz2 ขณะขึ้นบันไดมีแนวโน้มการกระจายแบบปกติ และเมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้ำกับค่า Fz2 ขณะขึ้นบันไดที่ได้จากการทดลองพบว่า ส่วนค้ำมีการกระจายทั้งบวกและลบรอบเส้นศูนย์ และไม่มีรูปแบบที่ผิดปกติ (รูปที่ 4.3) แสดงว่าข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่ สรุปได้ว่าตัวแบบมีความเหมาะสมที่สามารถนำไปวิเคราะห์ในลำดับถัดไป



รูปที่ 4.2 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร Fz2 ขณะขึ้นบันได



รูปที่ 4.3 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้างกับค่า Fz2 ขณะขึ้นบันได

จากการพิจารณาความเหมาะสมของตัวแบบแล้วจึงวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงดังตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์พบว่าระดับความสูงของลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อค่าแรงปฏิกิริยา Fz2 ขณะขึ้นบันไดโดยมีค่าระดับนัยสำคัญที่ 0.107 น้อยกว่า 0.05 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Riener et al. (2002) และ Stacoff et al. (2005) ที่พบว่าขณะขึ้นบันไดที่ความชันต่างกันไม่มีผลต่อค่าแรง Fz2 ขณะขึ้น

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปร Fz2 ขณะขึ้นบันได

แหล่งความแปรปรวน	ระดับขั้นความเสรี	ผลรวมกำลังสอง	ผลเฉลี่ยกำลังสอง	F-Value	P-Value
ขนาดลูกตั้งบันได	3	0.0011704	0.0003901	2.23	0.107
บล็อกผู้ถูกทดลอง	9	0.0087366	0.0009707	5.55	0
ความคลาดเคลื่อน	27	0.0047184	0.0001748		
รวม	39				

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์มาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธีของ Tukey โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่า ค่าแรงปฏิกิริยาของ Fz2 ไม่แตกต่างกันในแต่ละระดับความสูงของลูกตั้ง

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในค่าแรงปฏิกิริยา Fz2 ขณะขึ้นบันไดที่ระดับความสูงแตกต่างกัน

ระดับความสูงลูกตั้งบันได (cm)	ค่าเฉลี่ย (BW)	Grouping
14	1.032	A
15	1.030	A
13	1.022	A
12	1.019	A

- ตัวแปร Fz2 ขณะเดินลงบันได

สมมติฐานที่ 1 : H_0 : ขนาดลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz2 ในขณะลงบันได

: H_1 : ขนาดลูกตั้งบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz2 ในขณะลงบันได

$$H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$$

โดย τ_i คือ อิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ i

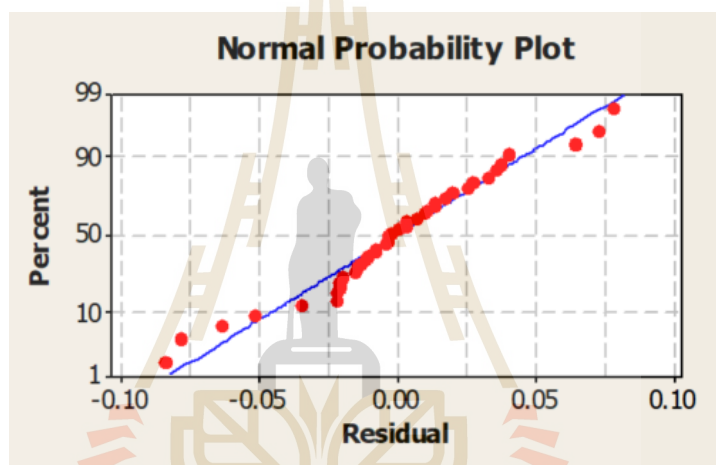
เมื่อ $i = 1$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 12 เซนติเมตร

$i = 2$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 13 เซนติเมตร

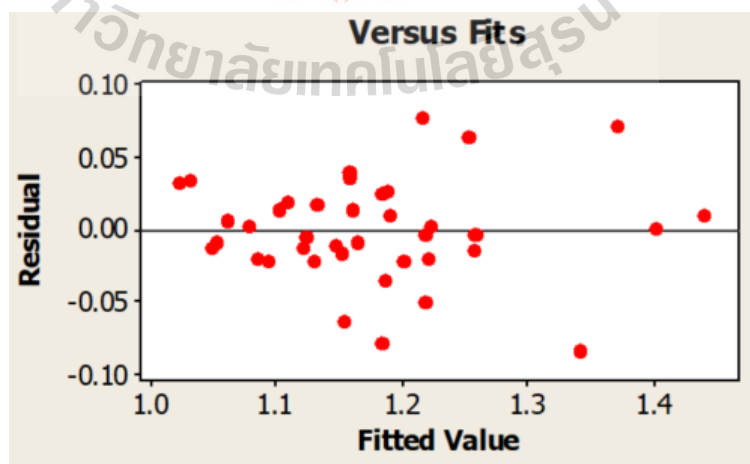
$i = 3$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 14 เซนติเมตร

$i = 4$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 15 เซนติเมตร

เมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายแบบปกติของส่วนค้ำ (Normal Probability Plot) พบว่าส่วนค้ำมีการแจกแจงตามปกติบนเส้นตรง โดยค่าส่วนใหญ่เรียงตัวกันบนแนวเส้นตรง (รูปที่ 4.4) แสดงว่าข้อมูลค่าแรงปฏิกิริยาของ Fz2 ขณะลงบันไดมีแนวโน้มการกระจายแบบปกติ และเมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้ำกับค่า Fz2 ขณะลงบันไดที่ได้จากการทดลองพบว่า ส่วนค้ำมีการกระจายทั้งบวกและลบรอบเส้นศูนย์ โดยค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาของ Fz2 ในขณะลงบันไดส่วนใหญ่อยู่ในช่วงประมาณ 1.1-1.2 และไม่มีรูปแบบที่ผิดปกติ (รูปที่ 4.5) แสดงว่าข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่ สรุปได้ว่าตัวแบบมีความเหมาะสมที่สามารถนำไปวิเคราะห์ในลำดับถัดไป



รูปที่ 4.4 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร Fz2 ขณะลงบันได



รูปที่ 4.5 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้ำกับค่า Fz2 ขณะลงบันได

จากการพิจารณาความเหมาะสมของตัวแบบแล้วจึงวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงดังตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์พบว่า ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดมีผลต่อค่าแรงปฏิกิริยา Fz2 ขณะลงบันไดอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.000

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปร Fz2 ขณะลงบันได

แหล่งความแปรปรวน	ระดับขั้นความเสรี	ผลรวมกำลังสอง	ผลเฉลี่ยกำลังสอง	F-Value	P-Value
ขนาดลูกตั้งบันได	3	0.054336	0.018112	10.2	0.000
บล็อกผู้ถูกทดลอง	9	0.3068	0.034089	19.19	0.000
ความคลาดเคลื่อน	27	0.047951	0.001776		
รวม	39				

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์มาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธีของ Tukey โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.9 พบว่า ค่าแรงปฏิกิริยาของ Fz2 ขณะลงบันไดที่ระดับความสูง 15 เซนติเมตร มีค่ามากที่สุดคือ 1.229 BW รองลงมาคือ 14 13 และ 12 เซนติเมตรตามลำดับ โดยค่าแรงปฏิกิริยาของ Fz2 ที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 14 และ 15 เซนติเมตรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 13 และ 14 เซนติเมตร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และที่ระดับความสูงเท่ากับ 12 13 เซนติเมตร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Riener et al. (2002) ที่พบว่าค่าแรงปฏิกิริยา Fz2 ขณะลงบันไดมีแนวโน้มมากขึ้นในระดับความชันที่สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระดับความสูงของลูกตั้งบันไดในงานวิจัยนี้เป็นระดับความชันได้ดังนี้

- ระดับความสูงของลูกตั้งบันได 12 เซนติเมตร เท่ากับ ความชัน 23.198 องศา
- ระดับความสูงของลูกตั้งบันได 13 เซนติเมตร เท่ากับ ความชัน 24.904 องศา
- ระดับความสูงของลูกตั้งบันได 14 เซนติเมตร เท่ากับ ความชัน 26.565 องศา
- ระดับความสูงของลูกตั้งบันได 15 เซนติเมตร เท่ากับ ความชัน 28.178 องศา

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในค่าแรงปฏิกิริยา Fz2 ขณะลงบันไดที่ระดับความสูงแตกต่างกัน

ระดับความสูงลูกตั้งบันได (cm)	ค่าเฉลี่ย (BW)	Grouping
15	1.229	A
14	1.190	A B
13	1.160	B C
12	1.130	C

- ตัวแปร Fz2 ทั้งขณะขึ้นและลงบันได

สมมติฐานที่ 1 : H_0 : ขนาดลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz2

: H_1 : ขนาดลูกตั้งบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz2

$$H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$$

โดย τ_i คือ อิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ i

เมื่อ $i = 1$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 12 เซนติเมตร

$i = 2$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 13 เซนติเมตร

$i = 3$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 14 เซนติเมตร

$i = 4$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 15 เซนติเมตร

สมมติฐานที่ 2 : H_0 : ขณะขึ้นและลงบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz2

: H_1 : ขณะขึ้นและลงบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz2

$$H_0 : \beta_j = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \beta_j \neq 0$$

โดย β_j คือ อิทธิพลของทริทเมนต์ที่ j

เมื่อ $j = 1$ คือ ขณะขึ้นบันได

$j = 2$ คือ ขณะลงบันได

สมมติฐานที่ 3 : H_0 : อันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูกตั้งบันไดกับขณะขึ้นและลงบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา $Fz2$

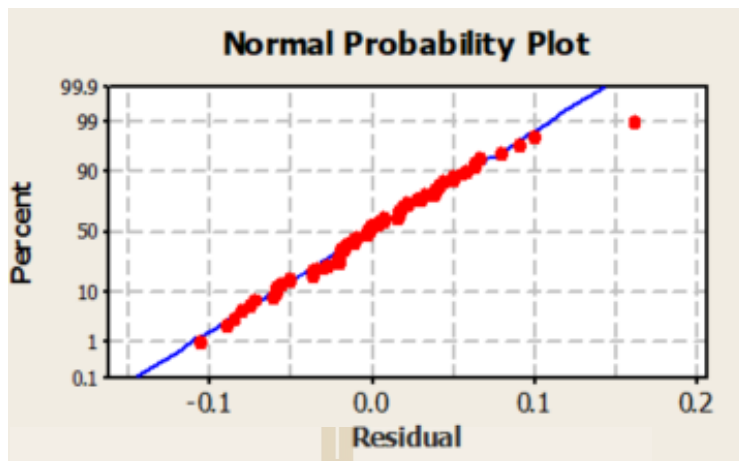
: H_1 : อันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูกตั้งบันไดกับขณะขึ้นและลงบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา $Fz2$

$$H_0 : \tau_i \beta_j = 0$$

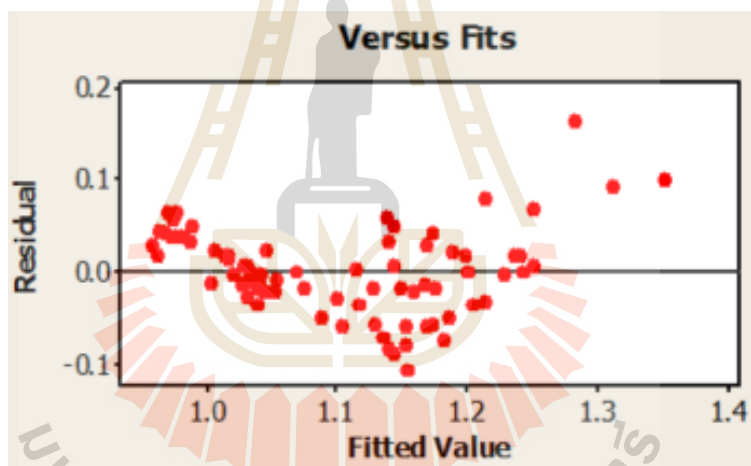
$$H_1 : \text{at least one } \tau_i \beta_j \neq 0$$

โดย $\tau_i \beta_j$ คือ อิทธิพลของอันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ i กับขณะขึ้นและลงบันไดที่ j

เมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายแบบปกติของส่วนค้ำ (Normal Probability Plot) พบว่าส่วนค้ำมีการแจกแจงตามปกติบนเส้นตรง โดยค่าส่วนใหญ่เรียงตัวกันบนแนวเส้นตรง (รูปที่ 4.6) มีค่าผิดปกติเพียงจุดเดียว (Outline) เมื่อทำการตัดจุดผิดปกติออก และวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าไม่มีผลกระทบต่อการใช้วิเคราะห์แต่อย่างใดจึงคงค่านี้ไว้ และเมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้ำกับค่า $Fz2$ ที่ได้จากการทดลองพบว่า ส่วนค้ำที่อยู่ระหว่างช่วง 1.0 – 1.1 กระจุกตัวกันและอยู่ต่ำกว่าเส้นศูนย์ เนื่องจากส่วนค้ำกลุ่มนี้เป็นค่าเฉลี่ยของ $Fz2$ ขณะขึ้นบันไดที่มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าค่าเฉลี่ยขณะลงบันไดมาก และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง ± 0.02 ถือน้อยมากเมื่อเทียบกับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย $Fz2$ ขณะลงบันไดที่มีค่าเท่ากับ ± 0.10 โดยค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาของ $Fz2$ ในขณะลงบันไดส่วนใหญ่อยู่ในช่วงประมาณ 1.1-1.2 แสดงดังรูปที่ 4.7 สรุปได้ว่าตัวแบบมีความเหมาะสมที่สามารถนำไปวิเคราะห์ในลำดับถัดไป



รูปที่ 4.6 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร Fz2



รูปที่ 4.7 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้ำกับค่า Fz2

จากการพิจารณาความเหมาะสมของตัวแบบแล้วจึงวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงดังตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์พบว่า ระดับความสูงของลูกตั้งบันได และขณะขึ้น/ลงบันไดมีผลต่อค่าแรงปฏิกิริยาของ Fz2 โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.009 และ 0.000 ตามลำดับ ส่วนอันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูกตั้งบันไดกับขณะขึ้นและลงบันไดไม่มีผลต่อค่าแรงปฏิกิริยา Fz2 โดยมีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.065

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปร Fz2

แหล่งความแปรปรวน	ระดับขั้นความเสรี	ผลรวมกำลังสอง	ผลเฉลี่ยกำลังสอง	F-Value	P-Value
ขนาดลูกตั้งบันได	3	0.034678	0.011559	4.22	0.009
ขณะขึ้น-ลงบันได	1	0.459204	0.459204	167.79	0.000
อันตรกิริยา	3	0.020828	0.006943	2.54	0.065
บล็อกผู้ถูกทดลอง	9	0.195785	0.021754	7.95	0.000
ความคลาดเคลื่อน	63	0.172421	0.002737		
รวม	79				

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์มาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธีของ Tukey โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.11 พบว่า ค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาของ Fz2 ขณะลงบันไดที่ระดับความสูง 15 เซนติเมตร มีค่ามากที่สุดคือ 1.229 BW และค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาของ Fz2 ในขณะขึ้นบันไดทั้ง 4 ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดมีค่าน้อยกว่าขณะลงบันไดทั้งหมด โดยค่าแรงปฏิกิริยาของ Fz2 ในขณะลงบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 13 14 15 เซนติเมตร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 12 13 14 เซนติเมตร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และค่าแรงปฏิกิริยาของ Fz2 ขณะขึ้นบันไดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันได สอดคล้องกับงานวิจัยของ Riener et al. (2002) และ Stacoff et al. (2005) ที่พบว่าค่าแรงปฏิกิริยา Fz2 ขณะลงบันไดมีค่ามากกว่าค่าแรงปฏิกิริยา Fz2 ขณะขึ้นบันไดทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันได

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในค่าแรงปฏิกิริยา Fz2

ระดับความสูงลูกตั้งบันได (cm)	ขึ้น/ลงบันได	ค่าเฉลี่ย (BW)	Grouping
15	ลง	1.229	A
14	ลง	1.190	A B
13	ลง	1.160	A B
12	ลง	1.130	B

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในค่าแรงปฏิกิริยา Fz2 (ต่อ)

ระดับความสูงลูกตั้งบันได (cm)	ขึ้น/ลงบันได	ค่าเฉลี่ย (BW)	Grouping
14	ขึ้น	1.032	C
15	ขึ้น	1.030	C
13	ขึ้น	1.022	C
12	ขึ้น	1.019	C

- ตัวแปร Fz3 ขณะเดินขึ้นบันได

สมมติฐานที่ 1 : H_0 : ขนาดลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz3
ในขณะขึ้นบันได

: H_1 : ขนาดลูกตั้งบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz3
ในขณะขึ้นบันได

$$H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$$

โดย τ_i คือ อิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ i

เมื่อ $i = 1$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 12 เซนติเมตร

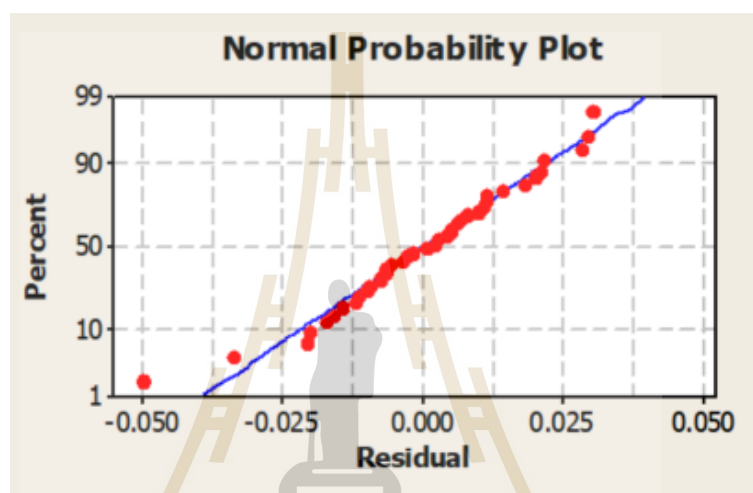
$i = 2$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 13 เซนติเมตร

$i = 3$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 14 เซนติเมตร

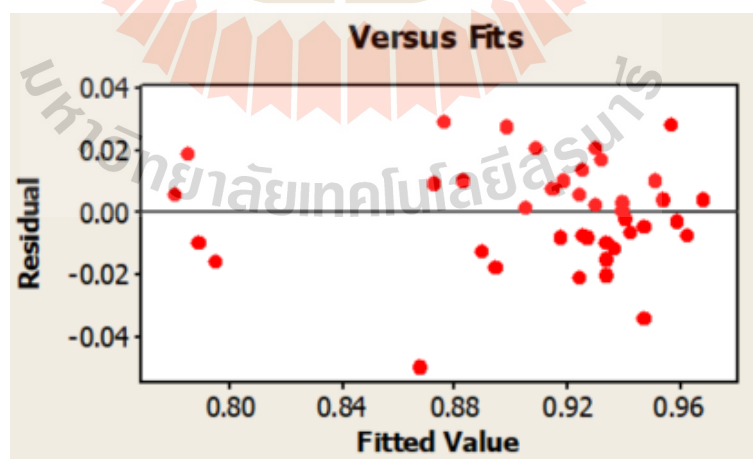
$i = 4$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 15 เซนติเมตร

เมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายแบบปกติของส่วนข้าง (Normal Probability Plot) พบว่าส่วนข้างมีการแจกแจงตามปกติบนเส้นตรง โดยค่าส่วนใหญ่เรียงตัวกันบนแนวเส้นตรง (รูปที่ 4.8) มีเพียงจุดผิดปกติบางจุด เมื่อทำการตัดจุดผิดปกติและวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า จุด

ผิดปกติไม่มีผลกระทบต่อการวิเคราะห์จึงคงค่าจุดผิดปกติเหล่านั้นไว้ และเมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายระหว่างส่วนโค้งกับค่า Fz3 ขณะขึ้นบันไดที่ได้จากการทดลองพบว่า ส่วนโค้งมีการกระจายทั้งบวกและลบรอบเส้นศูนย์ โดยค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาของ Fz3 ในขณะขึ้นบันไดส่วนใหญ่อยู่ในช่วงประมาณ 0.88-0.96 และไม่มีรูปแบบที่ผิดปกติ (รูปที่ 4.9) แสดงว่าข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่ สรุปได้ว่าตัวแบบมีความเหมาะสมที่สามารถนำไปวิเคราะห์ในลำดับถัดไป



รูปที่ 4.8 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร Fz3 ขณะขึ้นบันได



รูปที่ 4.9 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนโค้งกับค่า Fz3 ขณะขึ้นบันได

จากการพิจารณาความเหมาะสมของตัวแบบแล้วจึงวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงดังตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์พบว่า ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อค่าแรงปฏิกิริยาของ Fz3 โดยมีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.419 ซึ่งมากกว่า 0.050 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Stacoff et al. (2005) ที่พบว่า ขณะขึ้นบันไดค่าแรงปฏิกิริยา Fz3 ในแต่ละระดับความชันของบันไดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญนั่นเอง

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz3 ขณะขึ้นบันได

แหล่งความแปรปรวน	ระดับขั้นความเสรี	ผลรวมกำลังสอง	ผลเฉลี่ยกำลังสอง	F-Value	P-Value
ขนาดลูกตั้งบันได	3	0.0011937	0.0003979	0.970	0.419
บล็อกผู้ถูกทดลอง	9	0.0915807	0.0101756	24.930	0.000
ความคลาดเคลื่อน	27	0.0110219	0.0004082		
รวม	39				

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์มาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธีของ Tukey โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.13 พบว่า ค่าแรงปฏิกิริยา Fz3 ขณะขึ้นบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 12 เซนติเมตร มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.919 BW รองลงมาคือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 13 15 และ 14 เซนติเมตรตามลำดับ โดยค่าแรงปฏิกิริยา Fz3 ขณะขึ้นบันไดทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน กล่าวคือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในค่าแรงปฏิกิริยา Fz3 ขณะขึ้นบันได

ระดับความสูงลูกตั้งบันได (cm)	ค่าเฉลี่ย (BW)	Grouping
12	0.919	A
13	0.913	A
15	0.909	A
14	0.904	A

- ตัวแปร Fz3 ขณะเดินลงบันได

สมมติฐานที่ 1 : H_0 : ขนาดลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz3
ในขณะลงบันได

: H_1 : ขนาดลูกตั้งบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz3
ในขณะลงบันได

$$H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$$

โดย τ_i คือ อิทธิพลของทริทเมนต์ที่ i

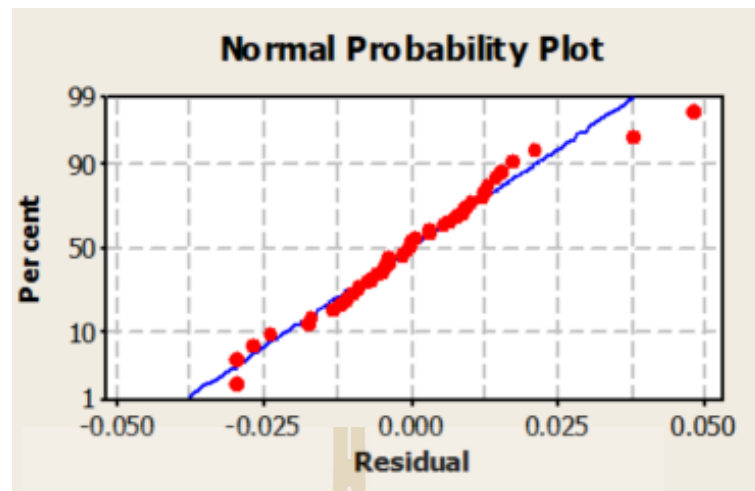
เมื่อ $i = 1$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 12 เซนติเมตร

$i = 2$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 13 เซนติเมตร

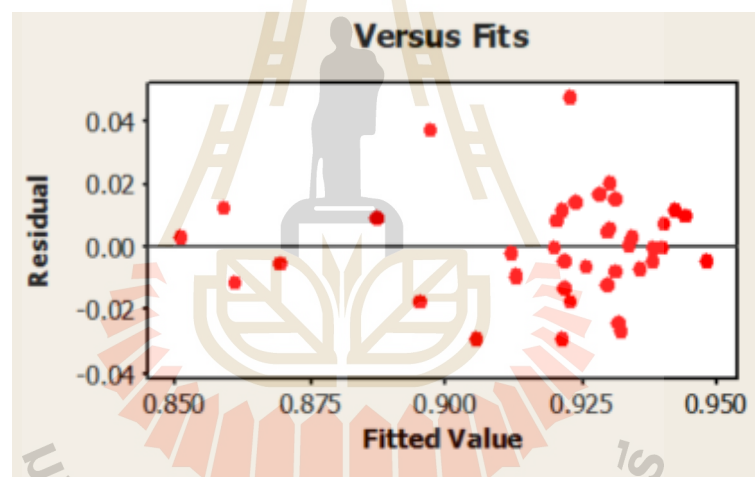
$i = 3$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 14 เซนติเมตร

$i = 4$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 15 เซนติเมตร

เมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายแบบปกติของส่วนค้ำ (Normal Probability Plot) พบว่าส่วนค้ำมีการแจกแจงตามปกติบนเส้นตรง โดยค่าส่วนใหญ่เรียงตัวกันบนแนวเส้นตรง (รูปที่ 4.10) มีเพียงจุดผิดปกติบางจุด เมื่อทำการตัดจุดผิดปกติและวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า จุดผิดปกติไม่มีผลกระทบต่อการวิเคราะห์จึงคงค่าจุดผิดปกติเหล่านั้นไว้ และเมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้ำกับค่า Fz3 ขณะลงบันไดที่ได้จากการทดลองพบว่า ส่วนค้ำมีการกระจายทั้งบวกและลบรอบเส้นศูนย์ โดยค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาของ Fz3 ในขณะลงบันไดส่วนใหญ่อยู่ในช่วงประมาณ 0.91-0.95 และไม่มีรูปแบบที่ผิดปกติ (รูปที่ 4.11) แสดงว่าข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่สรุปได้ว่าตัวแบบมีความเหมาะสมที่สามารถนำไปวิเคราะห์ในลำดับถัดไป



รูปที่ 4.10 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร Fz3 ขณะลงบันได



รูปที่ 4.11 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้างกับค่า Fz3 ขณะลงบันได

จากการพิจารณาความเหมาะสมของตัวแบบแล้วจึงวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงดังตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์พบว่า ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อค่าแรงปฏิกิริยาของ Fz3 ขณะลงบันได โดยมีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.240 ซึ่งมากกว่า 0.050

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz3 ขณะลงบันได

แหล่งความแปรปรวน	ระดับขั้นความเสรี	ผลรวมกำลังสอง	ผลเฉลี่ยกำลังสอง	F-Value	P-Value
ขนาดลูกตั้งบันได	3	0.0016958	0.0005653	1.490	0.240
บล็อกผู้ถูกทดลอง	9	0.0205524	0.0022836	6.010	0.000
ความคลาดเคลื่อน	27	0.0102511	0.0003797		
รวม	39				

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์มาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธีของ Tukey โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.15 พบว่า ค่าแรงปฏิกิริยา Fz3 ขณะลงบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 12 เซนติเมตร มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.928 BW รองลงมาคือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 13 14 และ 15 เซนติเมตรตามลำดับ โดยค่าแรงปฏิกิริยา Fz3 ขณะลงบันไดทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน กล่าวคือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในค่าแรงปฏิกิริยา Fz3 ขณะลงบันได

ระดับความสูงลูกตั้งบันได (cm)	ค่าเฉลี่ย (BW)	Grouping
12	0.928	A
13	0.919	A
14	0.917	A
15	0.909	A

- ตัวแปร Fz3 ทั้งขณะขึ้นและลงบันได

สมมติฐานที่ 1 : H_0 : ขนาดลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz3

: H_1 : ขนาดลูกตั้งบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz3

$H_0 : \tau_i = 0$

$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$

โดย τ_i คือ อิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ i

เมื่อ $i = 1$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 12 เซนติเมตร
 $i = 2$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 13 เซนติเมตร
 $i = 3$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 14 เซนติเมตร
 $i = 4$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 15 เซนติเมตร

สมมติฐานที่ 2 : H_0 : ขณะขึ้นและลงบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา $Fz3$

: H_1 : ขณะขึ้นและลงบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา $Fz3$

$$H_0 : \beta_j = 0$$

H_1 : at least one $\beta_j \neq 0$

โดย β_j คือ อิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ j

เมื่อ $j = 1$ คือ ขณะขึ้นบันได

$j = 2$ คือ ขณะลงบันได

สมมติฐานที่ 3 : H_0 : อันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูกตั้งบันไดกับขณะขึ้นและลงบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา $Fz3$

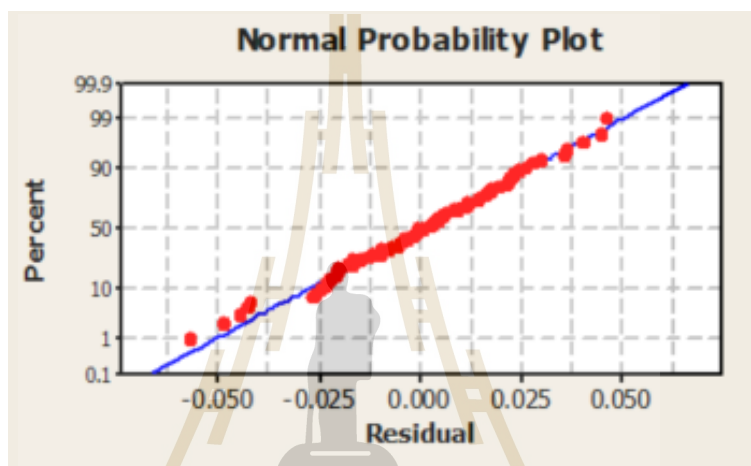
: H_1 : อันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูกตั้งบันไดกับขณะขึ้นและลงบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา $Fz3$

$$H_0 : \tau_i \beta_j = 0$$

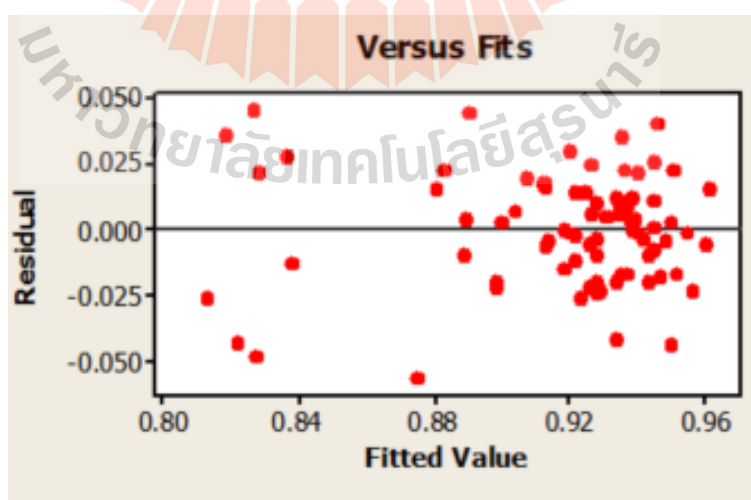
H_1 : at least one $\tau_i \beta_j \neq 0$

โดย $\tau_i \beta_j$ คือ อิทธิพลของอันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ i กับขณะขึ้นและลงบันไดที่ j

เมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายแบบปกติของส่วนค้ำ (Normal Probability Plot) พบว่าส่วนค้ำมีการแจกแจงตามปกติบนเส้นตรง โดยค่าส่วนใหญ่เรียงตัวกันบนแนวเส้นตรง (รูปที่ 4.12) และเมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้ำกับค่า $Fz3$ ที่ได้จากการทดลองพบว่า ส่วนค้ำมีการกระจายบวกลบระหว่างเส้นศูนย์อย่างสม่ำเสมอ และไม่มีรูปแบบการกระจายที่ผิดปกติ แสดงดังรูปที่ 4.13 สรุปได้ว่าตัวแบบมีความเหมาะสมที่สามารถนำไปวิเคราะห์ในลำดับถัดไป



รูปที่ 4.12 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร $Fz3$



รูปที่ 4.13 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้ำกับค่า $Fz3$

จากการพิจารณาความเหมาะสมของตัวแบบแล้วจึงวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงดังตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์พบว่า ระดับความสูงของลูกตั้งบันได และขณะขึ้น/ลงบันได รวมทั้งอันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูกตั้งบันไดกับขณะขึ้นและลงบันได ไม่มีผลต่อค่าแรงปฏิกิริยา Fz3 โดยมีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.246 0.167 และ 0.853 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz3

แหล่งความแปรปรวน	ระดับขั้นความเสรี	ผลรวมกำลังสอง	ผลเฉลี่ยกำลังสอง	F-Value	P-Value
ขนาดลูกตั้งบันได	3	0.002439	0.000813	1.42	0.246
ขณะขึ้น-ลงบันได	1	0.001122	0.001122	1.96	0.167
อันตรกิริยา	3	0.0004505	0.0001502	0.26	0.853
บล็อกผู้ถูกทดลอง	9	0.0972576	0.0108064	18.83	0.000
ความคลาดเคลื่อน	63	0.0361484	0.0005738		
รวม	79				

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์มาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธีของ Tukey โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.17 พบว่า ค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาของ Fz3 ขณะลงบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันได 12 เซนติเมตร มีค่ามากที่สุดคือ 0.928 BW รองลงมาคือ ค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาของ Fz3 ขณะลงที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 13 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยแรงเท่ากับ 0.919 ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าแรงปฏิกิริยา Fz3 ขณะขึ้นบันไดที่ระดับความสูง 12 เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาของ Fz3 ในขณะขึ้นบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันได 14 เซนติเมตรมีค่าน้อยที่สุดซึ่งเท่ากับ 0.904 BW

ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในค่าแรงปฏิกิริยา Fz3

ระดับความสูงลูกตั้งบันได (cm)	ขึ้น/ลงบันได	ค่าเฉลี่ย (BW)	Grouping
12	ลง	0.928	A
13	ลง	0.919	A
12	ขึ้น	0.919	A
14	ลง	0.917	A
13	ขึ้น	0.912	A
15	ลง	0.909	A
15	ขึ้น	0.909	A
14	ขึ้น	0.904	A

- ตัวแปร Fz4 ขณะเดินขึ้นบันได

สมมติฐานที่ 1 : H_0 : ขนาดลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz4
ในขณะขึ้นบันได

: H_1 : ขนาดลูกตั้งบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz4
ในขณะขึ้นบันได

$$H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$$

โดย τ_i คือ อิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ i

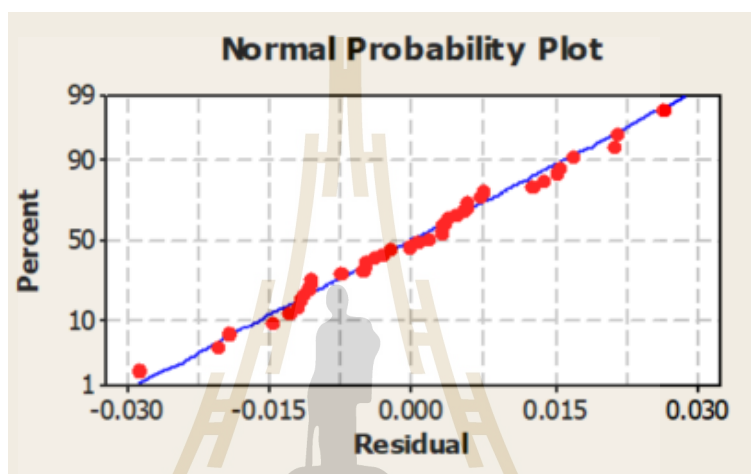
เมื่อ $i = 1$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 12 เซนติเมตร

$i = 2$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 13 เซนติเมตร

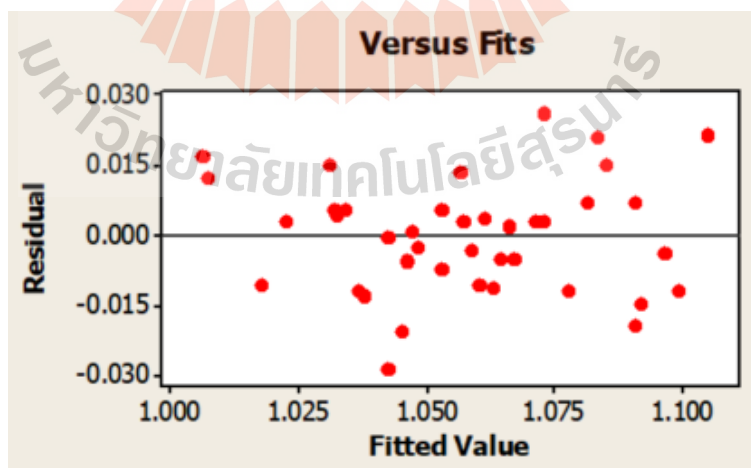
$i = 3$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 14 เซนติเมตร

$i = 4$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 15 เซนติเมตร

เมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายแบบปกติของส่วนค้ำ (Normal Probability Plot) พบว่าส่วนค้ำมีการแจกแจงตามปกติบนเส้นตรง โดยค่าส่วนใหญ่เรียงตัวกันบนแนวเส้นตรง (รูปที่ 4.14) และเมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้ำกับค่า $Fz4$ ขณะขึ้นบันไดที่ได้จากการทดลองพบว่า ส่วนค้ำมีการกระจายทั้งบวกและลบรอบเส้นศูนย์อย่างสม่ำเสมอ และไม่มีรูปแบบที่ผิดปกติ (รูปที่ 4.15) แสดงว่าข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่ สรุปได้ว่าตัวแบบมีความเหมาะสมที่สามารถนำไปวิเคราะห์ในลำดับถัดไป



รูปที่ 4.14 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร $Fz4$ ขณะขึ้นบันได



รูปที่ 4.15 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้ำกับค่า $Fz4$ ขณะขึ้นบันได

จากการพิจารณาความเหมาะสมของตัวแบบแล้วจึงวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงดังตารางที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์พบว่า ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดมีผลต่อค่าแรงปฏิกิริยาของ Fz4 โดยมีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.000 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Stacoff et al. (2005)

ตารางที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz4 ขณะขึ้นบันได

แหล่งความแปรปรวน	ระดับขั้นความเสรี	ผลรวมกำลังสอง	ผลเฉลี่ยกำลังสอง	F-Value	P-Value
ขนาดลูกตั้งบันได	3	0.0084206	0.0028069	12.650	0.000
บล็อกผู้ถูกทดลอง	9	0.0163321	0.0018147	8.180	0.000
ความคลาดเคลื่อน	27	0.0059921	0.0002219		
รวม	39				

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์มาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธีของ Tukey โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.19 พบว่า ค่าแรงปฏิกิริยา Fz4 ขณะขึ้นบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 15 เซนติเมตร มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 1.073 BW รองลงมาคือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 14 13 และ 12 เซนติเมตรตามลำดับ โดยค่าแรงปฏิกิริยา Fz4 ขณะขึ้นบันไดทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน กล่าวคือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นค่าแรงปฏิกิริยาของ Fz4 ที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันได 12 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในค่าแรงปฏิกิริยา Fz4 ขณะขึ้นบันได

ระดับความสูงลูกตั้งบันได (cm)	ค่าเฉลี่ย (BW)	Grouping
15	1.073	A
14	1.065	A
13	1.059	A
12	1.034	B

- ตัวแปร Fz4 ขณะเดินลงบันได

สมมติฐานที่ 1 : H_0 : ขนาดลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz4
ในขณะลงบันได

: H_1 : ขนาดลูกตั้งบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz4
ในขณะลงบันได

$$H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$$

โดย τ_i คือ อิทธิพลของทริทเมนต์ที่ i

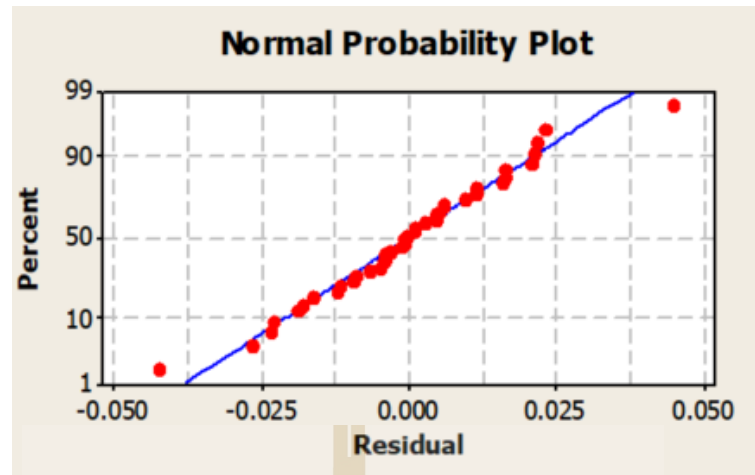
เมื่อ $i = 1$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 12 เซนติเมตร

$i = 2$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 13 เซนติเมตร

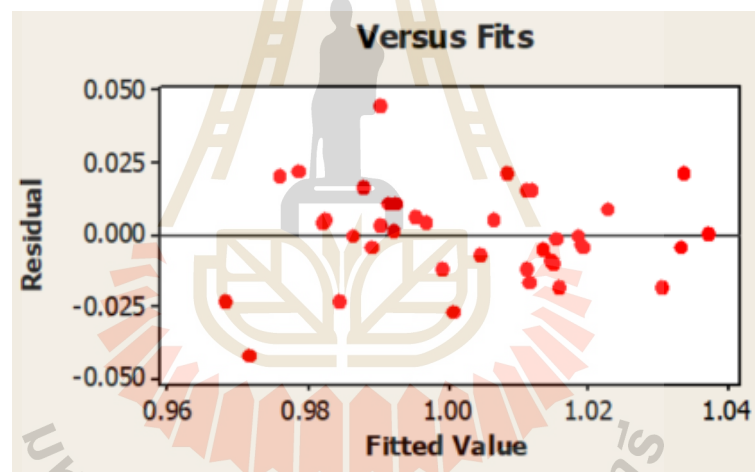
$i = 3$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 14 เซนติเมตร

$i = 4$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 15 เซนติเมตร

เมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายแบบปกติของส่วนโค้ง (Normal Probability Plot) พบว่าส่วนโค้งมีการแจกแจงตามปกติบนเส้นตรง โดยค่าส่วนใหญ่เรียงตัวกันบนแนวเส้นตรง (รูปที่ 4.16) มีเพียงจุดผิดปกติบางจุด เมื่อทำการตัดจุดผิดปกติและวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า จุดผิดปกติไม่มีผลกระทบต่อกรวิเคราะห์จึงคงค่าจุดผิดปกติเหล่านั้นไว้ และเมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายระหว่างส่วนโค้งกับค่า Fz4 ขณะลงบันไดที่ได้จากการทดลองพบว่า ส่วนโค้งมีการกระจายทั้งบวกและลบรอบเส้นศูนย์อย่างสม่ำเสมอ และไม่มีรูปแบบที่ผิดปกติ (รูปที่ 4.17) แสดงว่าข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่ สรุปได้ว่าตัวแบบมีความเหมาะสมที่สามารถนำไปวิเคราะห์ในลำดับถัดไป



รูปที่ 4.16 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร Fz4 ขณะลงบันได



รูปที่ 4.17 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้างกับค่า Fz4 ขณะลงบันได

จากการพิจารณาความเหมาะสมของตัวแบบแล้วจึงวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงดังตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์พบว่า ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อค่าแรงปฏิกิริยาของ Fz4 ขณะลงบันได โดยมีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.082 ซึ่งมากกว่า 0.050 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Riener et al. (2002)

ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz4 ขณะลงบันได

แหล่งความแปรปรวน	ระดับขั้นความเสรี	ผลรวมกำลังสอง	ผลเฉลี่ยกำลังสอง	F-Value	P-Value
ขนาดลูกตั้งบันได	3	0.0028229	0.000941	2.490	0.082
บล็อกผู้ถูกทดลอง	9	0.0097224	0.0010803	2.860	0.017
ความคลาดเคลื่อน	27	0.0102101	0.0003782		
รวม	39				

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์มาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธีของ Tukey โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.21 พบว่า ค่าแรงปฏิกิริยา Fz4 ขณะลงบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 15 เซนติเมตร มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 1.102 BW รองลงมาคือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 14 13 และ 12 เซนติเมตรตามลำดับ โดยค่าแรงปฏิกิริยา Fz4 ขณะลงบันไดทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน กล่าวคือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในค่าแรงปฏิกิริยา Fz4 ขณะลงบันได

ระดับความสูงลูกตั้งบันได (cm)	ค่าเฉลี่ย (BW)	Grouping
15	1.102	A
14	1.002	A
13	0.997	A
12	0.993	A

- ตัวแปร Fz4 ทั้งขณะขึ้นและลงบันได

สมมติฐานที่ 1 : H_0 : ขนาดลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz4

: H_1 : ขนาดลูกตั้งบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz4

$$H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$$

โดย τ_i คือ อิทธิพลของทริทเมนต์ที่ i

เมื่อ $i = 1$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 12 เซนติเมตร

$i = 2$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 13 เซนติเมตร

$i = 3$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 14 เซนติเมตร

$i = 4$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 15 เซนติเมตร

สมมติฐานที่ 2 : H_0 : ขณะขึ้นและลงบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz4

: H_1 : ขณะขึ้นและลงบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz4

$$H_0 : \beta_j = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \beta_j \neq 0$$

โดย β_j คือ อิทธิพลของทริทเมนต์ที่ j

เมื่อ $j = 1$ คือ ขณะขึ้นบันได

$j = 2$ คือ ขณะลงบันได

สมมติฐานที่ 3 : H_0 : อันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูกตั้งบันไดกับขณะขึ้นและลงบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz4

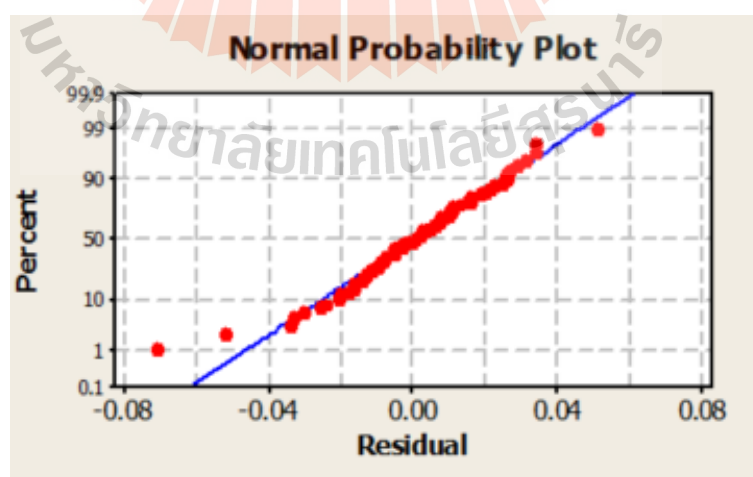
: H_1 : อันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูกตั้งบันไดกับขณะ
ขึ้นและลงบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz4

$$H_0 : \tau_i \beta_j = 0$$

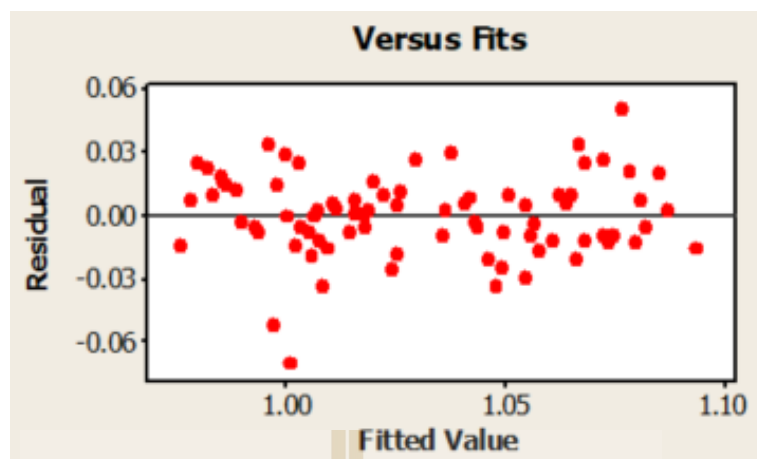
$$H_1 : \text{at least one } \tau_i \beta_j \neq 0$$

โดย $\tau_i \beta_j$ คือ อิทธิพลของอันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูก
ตั้งบันไดที่ i กับขณะขึ้นและลงบันไดที่ j

เมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายแบบปกติของส่วนค้ำ (Normal Probability Plot) พบว่าส่วนค้ำมีการแจกแจงตามปกติบนเส้นตรง โดยค่าส่วนใหญ่เรียงตัวกันบนแนวเส้นตรง (รูปที่ 4.18) มีเพียงจุดผิดปกติบางจุด เมื่อทำการตัดจุดผิดปกติและวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า จุดผิดปกติไม่มีผลกระทบต่อกรวิเคราะห์จึงคงค่าจุดผิดปกติเหล่านั้นไว้ และเมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้ำกับค่า Fz4 ที่ได้จากการทดลองพบว่า ส่วนค้ำมีการกระจายบวกลบระหว่างเส้นศูนย์อย่างสม่ำเสมอ และไม่มีรูปแบบการกระจายที่ผิดปกติ แสดงดังรูปที่ 4.19 สรุปได้ว่าตัวแบบมีความเหมาะสมที่สามารถนำไปวิเคราะห์ในลำดับถัดไป



รูปที่ 4.18 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร Fz4



รูปที่ 4.19 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้างกับค่า Fz4

จากการพิจารณาความเหมาะสมของตัวแบบแล้วจึงวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงดังตารางที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์พบว่า ระดับความสูงของลูกตั้งบันได และขณะขึ้น/ลงบันไดมีผลต่อค่าแรงปฏิกิริยาของ Fz4 โดยมีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.001 และ 0.000 ตามลำดับ ส่วนอันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูกตั้งบันไดกับขณะขึ้นและลงบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz4 โดยมีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.345

ตารางที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา Fz4

แหล่งความแปรปรวน	ระดับขั้นความเสรี	ผลรวมกำลังสอง	ผลเฉลี่ยกำลังสอง	F-Value	P-Value
ขนาดลูกตั้งบันได	3	0.009615	0.003205	6.65	0.001
ขณะขึ้น-ลงบันได	1	0.0614362	0.0614362	127.44	0.000
อันตรกิริยา	3	0.0016285	0.0005428	1.13	0.345
บล็อกผู้ทดลอง	9	0.0118866	0.0013207	2.74	0.009
ความคลาดเคลื่อน	63	0.0303701	0.0004821		
รวม	79				

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์มาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธีของ Tukey โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.23 พบว่า ค่าแรงปฏิกิริยา Fz4 ขณะขึ้นบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 15 เซนติเมตร มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 1.073 BW รองลงมาคือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 14 13 และ 12 เซนติเมตรตามลำดับ โดยค่าแรงปฏิกิริยา Fz4 ขณะลงบันไดทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันและมีค่าน้อยกว่า Fz4 ขณะขึ้นบันไดทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันได ซึ่งค่าแรงปฏิกิริยา Fz4 ขณะขึ้นบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 13 14 15 เซนติเมตร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 12 13 14 เซนติเมตรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับค่าแรงปฏิกิริยาของ Fz4 ขณะลงบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 12 13 14 และ 15 เซนติเมตร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังมีค่าแรงปฏิกิริยา Fz4 ขณะขึ้นที่ระดับความสูงลูกตั้ง 12 เซนติเมตรกับขณะลงที่ระดับความสูงลูกตั้ง 15 เซนติเมตรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอีกด้วย

ตารางที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในค่าแรงปฏิกิริยา Fz4

ระดับความสูงลูกตั้งบันได (cm)	ขึ้น/ลงบันได	ค่าเฉลี่ย (BW)	Grouping
15	ขึ้น	1.073	A
14	ขึ้น	1.065	A B
13	ขึ้น	1.059	A B
12	ขึ้น	1.034	B C
15	ลง	1.016	C D
14	ลง	1.002	D
13	ลง	0.997	D
12	ลง	0.993	D

- ตัวแปร b_n ขณะเดินขึ้นบันได

สมมติฐานที่ 1 : H_0 : ขนาดลูกตึ้งบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา b_n ในขณะขึ้นบันได

: H_1 : ขนาดลูกตึ้งบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา b_n ในขณะขึ้นบันได

$$H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$$

โดย τ_i คือ อิทธิพลของทริทเมนต์ที่ i

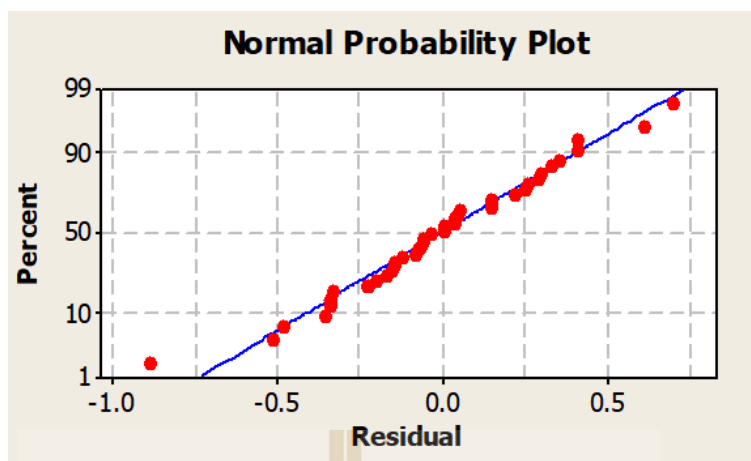
เมื่อ $i = 1$ คือ ระดับความสูงของลูกตึ้งบันไดที่ 12 เซนติเมตร

$i = 2$ คือ ระดับความสูงของลูกตึ้งบันไดที่ 13 เซนติเมตร

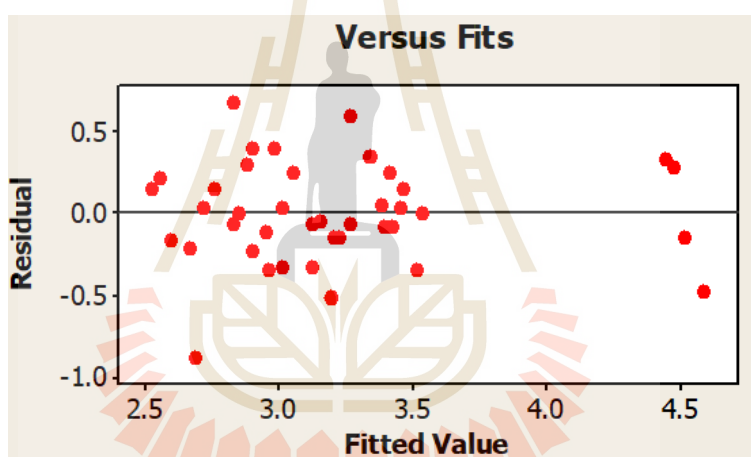
$i = 3$ คือ ระดับความสูงของลูกตึ้งบันไดที่ 14 เซนติเมตร

$i = 4$ คือ ระดับความสูงของลูกตึ้งบันไดที่ 15 เซนติเมตร

เมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายแบบปกติของส่วนค้ำ (Normal Probability Plot) พบว่าส่วนค้ำมีการแจกแจงตามปกติบนเส้นตรง โดยค่าส่วนใหญ่เรียงตัวกันบนแนวเส้นตรง (รูปที่ 4.20) และเมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้ำกับค่า b_n ขณะขึ้นบันไดที่ได้จากการทดลองพบว่า ส่วนค้ำมีการกระจายทั้งบวกและลบรอบเส้นศูนย์อย่างสม่ำเสมอ โดยค่าเฉลี่ย b_n ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงประมาณ 2.5-3.5 และไม่มีรูปแบบที่ผิดปกติ (รูปที่ 4.21) แสดงว่าข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่ สรุปได้ว่าตัวแบบมีความเหมาะสมที่สามารถนำไปวิเคราะห์ในลำดับถัดไป



รูปที่ 4.20 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร b_n ขณะขึ้นบันได



รูปที่ 4.21 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้างกับค่า b_n ขณะขึ้นบันได

จากการพิจารณาความเหมาะสมของตัวแบบแล้วจึงวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงดังตารางที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์พบว่า ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อตัวแปร b_n โดยมีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.857

ตารางที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปร bn ขณะขึ้นบันได

แหล่งความแปรปรวน	ระดับขั้นความเสรี	ผลรวมกำลังสอง	ผลเฉลี่ยกำลังสอง	F-Value	P-Value
ขนาดลูกตั้งบันได	3	0.1085	0.0362	0.250	0.857
บล็อกผู้ถูกทดลอง	9	10.4242	1.1582	8.150	0.000
ความคลาดเคลื่อน	27	3.8368	0.1421		
รวม	39				

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์มาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธีของ Tukey โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.25 พบว่า ค่าเฉลี่ยตัวแปร bn ที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 13 เซนติเมตร มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 3.285 BW/s รองลงมาคือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 12 14 และ 15 เซนติเมตร โดยมีค่าเฉลี่ย bn เท่ากับ 3.217 3.175 และ 3.146 BW/s ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ย bn ในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน กล่าวคือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในตัวแปร bn ขณะขึ้นบันได

ระดับความสูงลูกตั้งบันได (cm)	ค่าเฉลี่ย (BW/s)	Grouping
13	3.285	A
12	3.217	A
14	3.175	A
15	3.146	A

- ตัวแปร b_n ขณะเดินลงบันได

สมมติฐานที่ 1 : H_0 : ขนาดลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา b_n ในขณะลงบันได

: H_1 : ขนาดลูกตั้งบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา b_n ในขณะลงบันได

$$H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$$

โดย τ_i คือ อิทธิพลของทริทเมนต์ที่ i

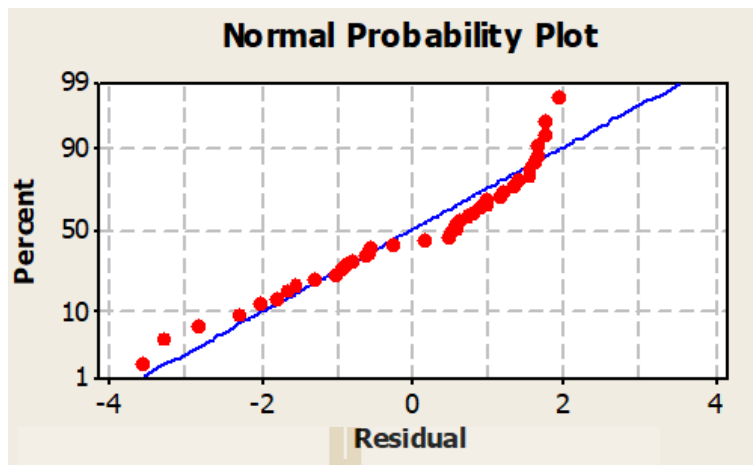
เมื่อ $i = 1$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 12 เซนติเมตร

$i = 2$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 13 เซนติเมตร

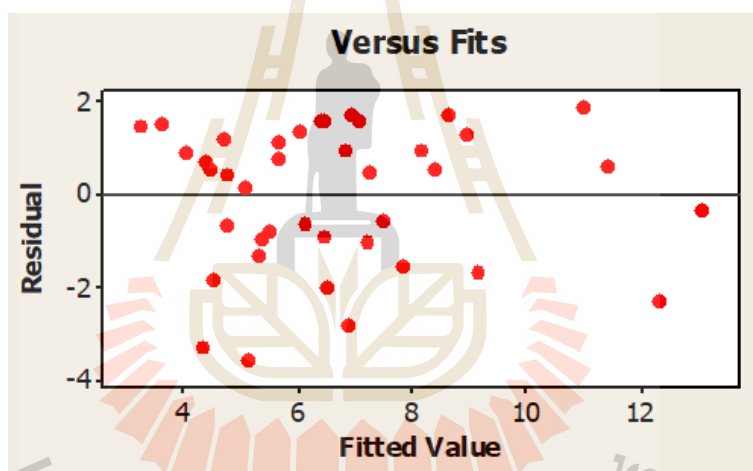
$i = 3$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 14 เซนติเมตร

$i = 4$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 15 เซนติเมตร

เมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายแบบปกติของส่วนโค้ง (Normal Probability Plot) พบว่าส่วนโค้งมีการแจกแจงตามปกติบนเส้นตรง โดยค่าส่วนใหญ่เรียงตัวกันบนแนวเส้นตรง (รูปที่ 4.22) และเมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายระหว่างส่วนโค้งกับค่า b_n ขณะลงบันไดที่ได้จากการทดลองพบว่า ส่วนโค้งมีการกระจายทั้งบวกและลบรอบเส้นศูนย์อย่างสม่ำเสมอ และไม่มีรูปแบบที่ผิดปกติ (รูปที่ 4.23) แสดงว่าข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่ สรุปได้ว่าตัวแบบมีความเหมาะสมที่สามารถนำไปวิเคราะห์ในลำดับถัดไป



รูปที่ 4.22 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร b_n ขณะลงบันได



รูปที่ 4.23 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้างกับค่า b_n ขณะลงบันได

จากการพิจารณาความเหมาะสมของตัวแบบแล้วจึงวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงดังตารางที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์พบว่า ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อตัวแปร b_n ขณะลงบันได โดยมีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.067

ตารางที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปร bn ขณะลงบันได

แหล่งความแปรปรวน	ระดับขั้นความเสรี	ผลรวมกำลังสอง	ผลเฉลี่ยกำลังสอง	F-Value	P-Value
ขนาดลูกตั้งบันได	3	26.913	8.971	2.680	0.067
บล็อกผู้ถูกทดลอง	9	183.934	20.437	6.100	0.000
ความคลาดเคลื่อน	27	90.399	3.348		
รวม	39				

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์มาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธีของ Tukey โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.27 พบว่า ค่าเฉลี่ยตัวแปร bn ที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 15 เซนติเมตร มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 7.813 BW/s รองลงมาคือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 13 14 และ 12 เซนติเมตร โดยมีค่าเฉลี่ย bn เท่ากับ 7.019 6.115 และ 5.692 BW/s ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ย bn ในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน กล่าวคือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในตัวแปร bn ขณะลงบันได

ระดับความสูงลูกตั้งบันได (cm)	ค่าเฉลี่ย (BW/s)	Grouping
15	7.813	A
13	7.019	A
14	6.115	A
12	5.692	A

- ตัวแปร b_n ทั้งขณะขึ้นและลงบันได

สมมติฐานที่ 1 : H_0 : ขนาดลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา b_n

: H_1 : ขนาดลูกตั้งบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา b_n

$$H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$$

โดย τ_i คือ อิทธิพลของทริทเมนต์ที่ i

เมื่อ $i = 1$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 12 เซนติเมตร

$i = 2$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 13 เซนติเมตร

$i = 3$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 14 เซนติเมตร

$i = 4$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 15 เซนติเมตร

สมมติฐานที่ 2 : H_0 : ขณะขึ้นและลงบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา b_n

: H_1 : ขณะขึ้นและลงบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา b_n

$$H_0 : \beta_j = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \beta_j \neq 0$$

โดย β_j คือ อิทธิพลของทริทเมนต์ที่ j

เมื่อ $j = 1$ คือ ขณะขึ้นบันได

$j = 2$ คือ ขณะลงบันได

สมมติฐานที่ 3 : H_0 : อันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูกตั้งบันไดกับขณะขึ้นและลงบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา b_n

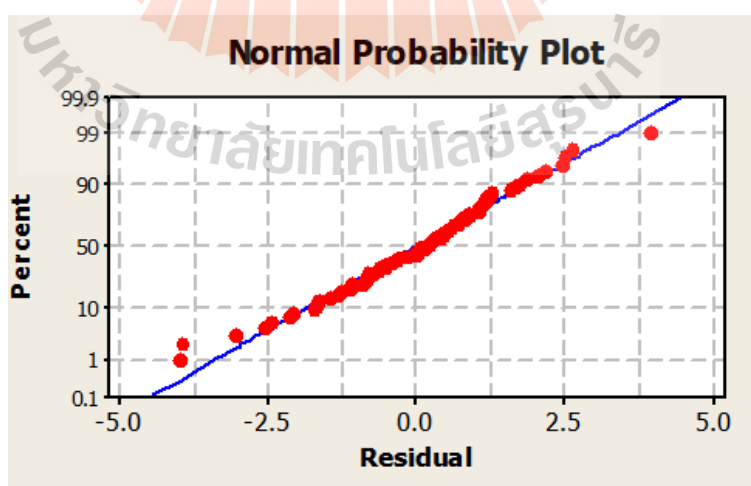
: H_1 : อันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูกตั้งบันไดกับขณะ
ขึ้นและลงบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา b_n

$$H_0 : \tau_i \beta_j = 0$$

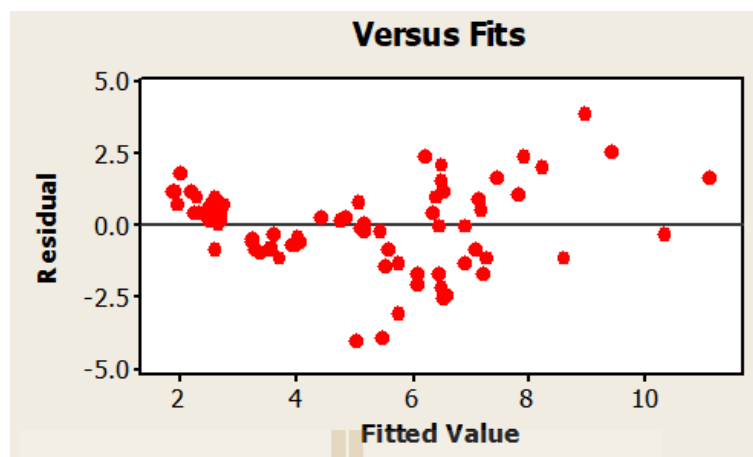
$$H_1 : \text{at least one } \tau_i \beta_j \neq 0$$

โดย $\tau_i \beta_j$ คือ อิทธิพลของอันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูก
ตั้งบันไดที่ i กับขณะขึ้นและลงบันไดที่ j

เมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายแบบปกติของส่วนค้ำ (Normal Probability Plot) พบว่าส่วนค้ำมีการแจกแจงตามปกติบนเส้นตรง โดยค่าส่วนใหญ่เรียงตัวกันบนแนวเส้นตรง (รูปที่ 4.24) และเมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้ำกับค่า b_n ที่ได้จากการทดลองพบว่า ส่วนค้ำที่มีการกระจุกตัวที่ค่าเฉลี่ยประมาณ 2-3.5 BW/s เนื่องจากค่าเฉลี่ยในช่วงนี้เป็นค่าเฉลี่ย b_n ของขณะขึ้นบันได และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ ± 0.5 เมื่อเทียบกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ b_n ขณะลงบันไดที่มีค่าเท่ากับ ± 2 จึงส่งผลให้ส่วนค้ำมีการกระจุกตัวนั่นเอง แสดงดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.24 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร b_n



รูปที่ 4.25 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้างกับค่า bn

จากการพิจารณาความเหมาะสมของตัวแบบแล้วจึงวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงดังตารางที่ 4.28 ผลการวิเคราะห์พบว่า ขณะขึ้น/ลงบันไดมีผลต่อค่า bn ซึ่งมีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.000 ส่วนระดับความสูงของลูกตั้งบันได รวมทั้งอันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูกตั้งบันไดกับขณะขึ้นและลงบันไดไม่มีผลต่อตัวแปร bn โดยมีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.179 และ 0.161 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปร bn

แหล่งความแปรปรวน	ระดับขั้นความเสรี	ผลรวมกำลังสอง	ผลเฉลี่ยกำลังสอง	F-Value	P-Value
ขนาดลูกตั้งบันได	3	13.167	4.389	1.68	0.179
ขณะขึ้น-ลงบันได	1	238.586	238.586	91.58	0.000
อันตรกิริยา	3	13.854	4.618	1.77	0.161
บล็อกผู้ถูกทดลอง	9	124.461	13.829	5.31	0.000
ความคลาดเคลื่อน	63	164.133	2.605		
รวม	79				

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์มาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธีของ Tukey โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.29 พบว่า ค่า bn ขณะลงบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 15 เซนติเมตร มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 7.813 BW/s รองลงมาคือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 13 14 และ 12 เซนติเมตรตามลำดับ โดยค่า bn ขณะลงบันไดทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังมีค่ามากกว่า bn ขณะขึ้นบันไดทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันได สำหรับค่า bn ขณะขึ้นบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 13 เซนติเมตร มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 3.285 BW/s รองลงมาคือระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 12 14 และ 15 เซนติเมตรตามลำดับ และค่า bn ขณะขึ้นบันไดในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ย bn ขณะลงบันไดในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ย bn ขณะขึ้นบันได และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอีกด้วย

ตารางที่ 4.29 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในตัวแปร bn

ระดับความสูงลูกตั้งบันได (cm)	ขึ้น/ลงบันได	ค่าเฉลี่ย (BW/s)	Grouping
15	ลง	7.813	A
13	ลง	7.019	A
14	ลง	6.115	A
12	ลง	5.692	A
13	ขึ้น	3.285	B
12	ขึ้น	3.217	B
14	ขึ้น	3.175	B
15	ขึ้น	3.146	B

- ตัวแปร en ขณะเดินขึ้นบันได

สมมติฐานที่ 1 : H_0 : ขนาดลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา en ในขณะขึ้นบันได

: H_1 : ขนาดลูกตั้งบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา en ในขณะขึ้นบันได

$$H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$$

โดย τ_i คือ อิทธิพลของทริทเมนต์ที่ i

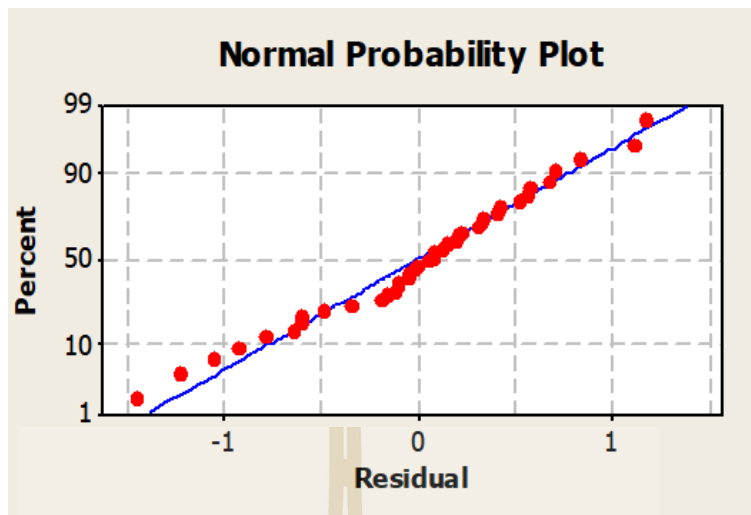
เมื่อ $i = 1$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 12 เซนติเมตร

$i = 2$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 13 เซนติเมตร

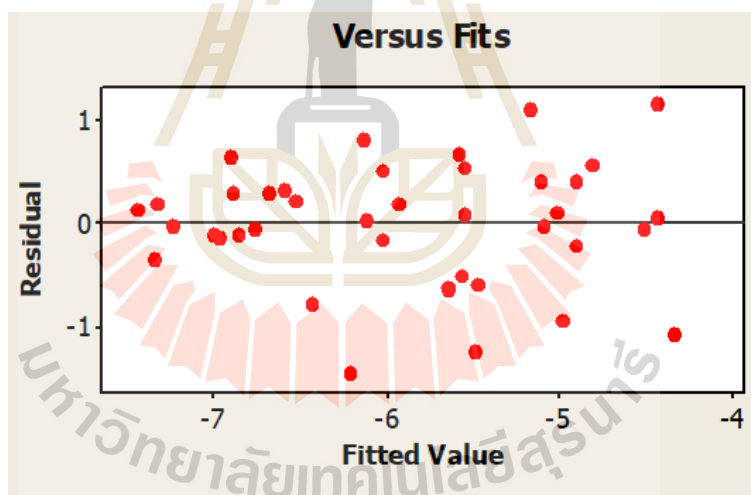
$i = 3$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 14 เซนติเมตร

$i = 4$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 15 เซนติเมตร

เมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายแบบปกติของส่วนโค้ง (Normal Probability Plot) พบว่าส่วนโค้งมีการแจกแจงตามปกติบนเส้นตรง โดยค่าส่วนใหญ่เรียงตัวกันบนแนวเส้นตรง (รูปที่ 4.26) และเมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายระหว่างส่วนโค้งกับค่า en ขณะขึ้นบันไดที่ได้จากการทดลองพบว่า ส่วนโค้งมีการกระจายทั้งบวกและลบรอบเส้นศูนย์อย่างสม่ำเสมอ และไม่มีรูปแบบที่ผิดปกติ (รูปที่ 4.27) แสดงว่าข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่ สรุปได้ว่าตัวแบบมีความเหมาะสมที่สามารถนำไปวิเคราะห์ในลำดับถัดไป



รูปที่ 4.26 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร en ขณะขึ้นบันได



รูปที่ 4.27 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้างกับค่า en ขณะขึ้นบันได

จากการพิจารณาความเหมาะสมของตัวแบบแล้วจึงวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงดังตารางที่ 4.30 ผลการวิเคราะห์พบว่า ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อตัวแปร en โดยมีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.924

ตารางที่ 4.30 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปร en ขณะขึ้นบันได

แหล่งความแปรปรวน	ระดับขั้นความเสรี	ผลรวมกำลังสอง	ผลเฉลี่ยกำลังสอง	F-Value	P-Value
ขนาดลูกตั้งบันได	3	0.2403	0.0801	0.160	0.924
บล็อกผู้ถูกทดลอง	9	30.4614	3.3846	6.620	0.000
ความคลาดเคลื่อน	27	13.8047	0.5113		
รวม	39				

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์มาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธีของ Tukey โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.31 พบว่า ค่าเฉลี่ยตัวแปร en ที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 12 เซนติเมตร มีค่ามากที่สุดเท่ากับ -5.183 BW/s รองลงมาคือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 13 14 และ 15 เซนติเมตร โดยมีค่าเฉลี่ย en เท่ากับ -5.274 -5.312 และ -5.399 BW/s ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ย en ในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน กล่าวคือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.31 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในตัวแปร en ขณะขึ้นบันได

ระดับความสูงลูกตั้งบันได (cm)	ค่าเฉลี่ย (BW/s)	Grouping
12	-5.183	A
13	-5.274	A
14	-5.312	A
15	-5.399	A

- ตัวแปร e_n ขณะเดินลงบันได

สมมติฐานที่ 1 : H_0 : ขนาดลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา e_n ในขณะลงบันได

: H_1 : ขนาดลูกตั้งบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา e_n ในขณะลงบันได

$$H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$$

โดย τ_i คือ อิทธิพลของทริทเมนต์ที่ i

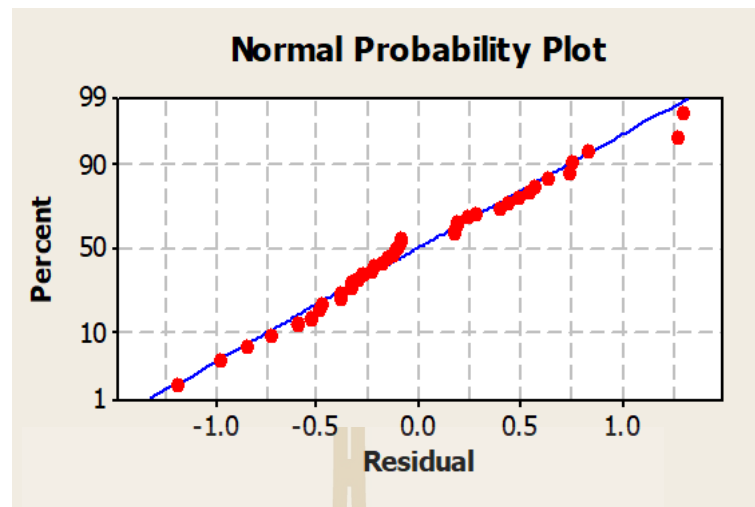
เมื่อ $i = 1$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 12 เซนติเมตร

$i = 2$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 13 เซนติเมตร

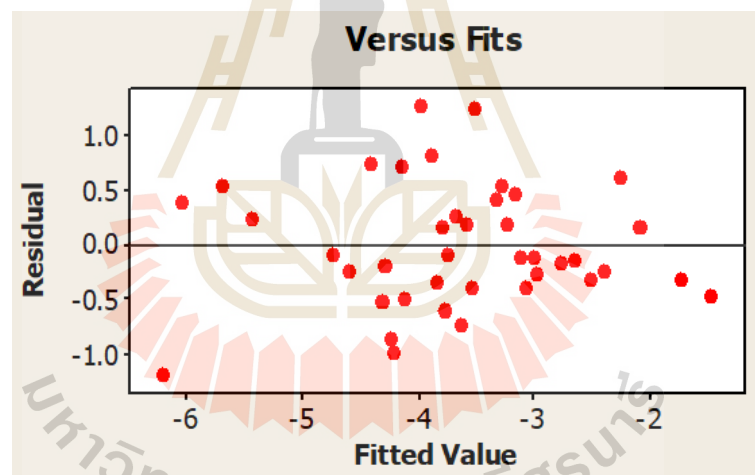
$i = 3$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 14 เซนติเมตร

$i = 4$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 15 เซนติเมตร

เมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายแบบปกติของส่วนโค้ง (Normal Probability Plot) พบว่าส่วนโค้งมีการแจกแจงตามปกติบนเส้นตรง โดยค่าส่วนใหญ่เรียงตัวกันบนแนวเส้นตรง (รูปที่ 4.28) และเมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายระหว่างส่วนโค้งกับค่า e_n ขณะลงบันไดที่ได้จากการทดลองพบว่า ส่วนโค้งมีการกระจายรอบเส้นศูนย์อย่างสม่ำเสมอ และไม่มีรูปแบบที่ผิดปกติ (รูปที่ 4.29) แสดงว่าข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่ สรุปได้ว่าตัวแบบมีความเหมาะสมที่สามารถนำไปวิเคราะห์ในลำดับถัดไป



รูปที่ 4.28 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร en ขณะลงบันได



รูปที่ 4.29 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้างกับค่า en ขณะลงบันได

จากการพิจารณาความเหมาะสมของตัวแบบแล้วจึงวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงดังตารางที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์พบว่า ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อตัวแปร bn ขณะลงบันได โดยมีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.498

ตารางที่ 4.32 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปร en ขณะลงบันได

แหล่งความแปรปรวน	ระดับชั้นความเสรี	ผลรวมกำลังสอง	ผลเฉลี่ยกำลังสอง	F-Value	P-Value
ขนาดลูกตั้งบันได	3	1.143	0.381	0.810	0.498
บล็อกผู้ถูกทดลอง	9	40.7126	4.5236	9.660	0.000
ความคลาดเคลื่อน	27	12.6431	0.4683		
รวม	39				

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์มาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธีของ Tukey โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.33 พบว่า ค่าเฉลี่ยตัวแปร en ที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 14 เซนติเมตร มีค่ามากที่สุดเท่ากับ -3.550 BW/s รองลงมาคือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 15 12 และ 13 เซนติเมตร โดยมีค่าเฉลี่ย en เท่ากับ -3.805 -3.859 และ -4.020 BW/s ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ย en ในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน กล่าวคือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.33 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในตัวแปร en ขณะลงบันได

ระดับความสูงลูกตั้งบันได (cm)	ค่าเฉลี่ย (BW/s)	Grouping
14	-3.550	A
15	-3.805	A
12	-3.859	A
13	-4.020	A

- ตัวแปร en ทั้งขณะขึ้นและลงบันได

สมมติฐานที่ 1 : H_0 : ขนาดลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิบัติการ en

: H_1 : ขนาดลูกตั้งบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิบัติการ en

$$H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$$

โดย τ_i คือ อิทธิพลของทริทเมนต์ที่ i

เมื่อ $i = 1$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 12 เซนติเมตร

$i = 2$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 13 เซนติเมตร

$i = 3$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 14 เซนติเมตร

$i = 4$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 15 เซนติเมตร

สมมติฐานที่ 2 : H_0 : ขณะขึ้นและลงบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิบัติการ en

: H_1 : ขณะขึ้นและลงบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิบัติการ en

$$H_0 : \beta_j = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \beta_j \neq 0$$

โดย β_j คือ อิทธิพลของทริทเมนต์ที่ j

เมื่อ $j = 1$ คือ ขณะขึ้นบันได

$j = 2$ คือ ขณะลงบันได

สมมติฐานที่ 3 : H_0 : อันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูกตั้งบันไดกับขณะขึ้นและลงบันไดไม่มีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิบัติการ en

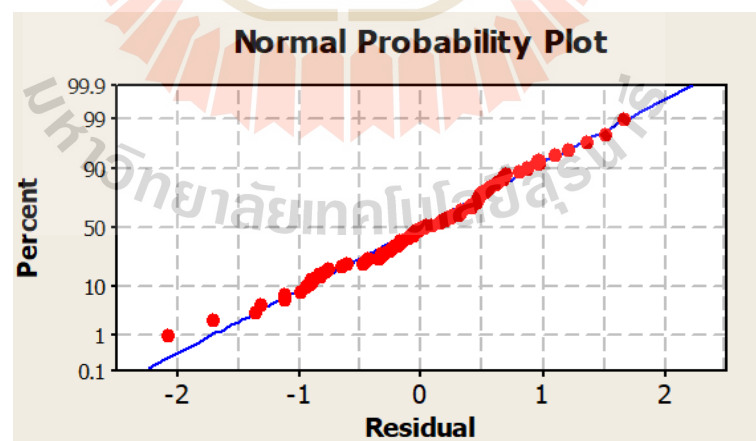
: H_1 : อันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูกตั้งบันไดกับขณะ
ขึ้นและลงบันไดมีผลต่อตัวแปรค่าแรงปฏิกิริยา e_n

$$H_0 : \tau_i \beta_j = 0$$

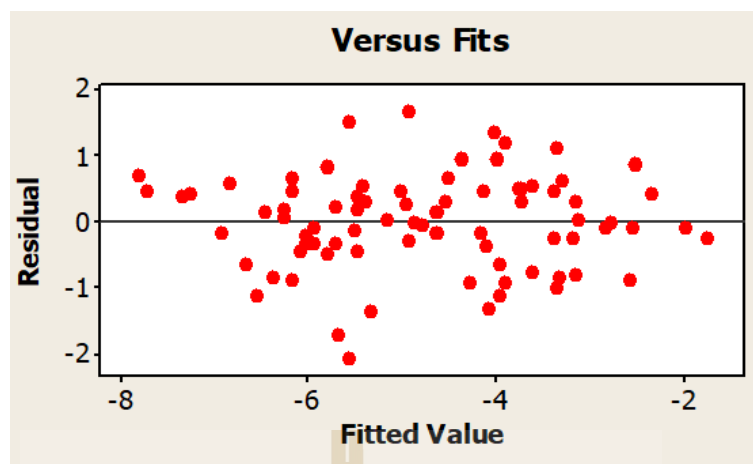
$$H_1 : \text{at least one } \tau_i \beta_j \neq 0$$

โดย $\tau_i \beta_j$ คือ อิทธิพลของอันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ i กับขณะขึ้นและลงบันไดที่ j

เมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายแบบปกติของส่วนค้ำ (Normal Probability Plot) พบว่าส่วนค้ำมีการแจกแจงตามปกติบนเส้นตรง โดยค่าส่วนใหญ่เรียงตัวกันบนแนวเส้นตรง (รูปที่ 4.30) และเมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้ำกับค่า e_n ที่ได้จากการทดลองพบว่า ส่วนค้ำที่มีการกระจายตัวบวกลบรอบเส้นศูนย์อย่างสม่ำเสมอ และไม่มีรูปแบบการกระจายที่ผิดปกติ แสดงดังรูปที่ 4.31 สรุปได้ว่าตัวแบบมีความเหมาะสมจึงสามารถนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติในลำดับถัดไป



รูปที่ 4.30 แผนภาพกระจายแบบปกติของตัวแปร e_n



รูปที่ 4.31 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนค้างกับค่า en

จากการพิจารณาความเหมาะสมของตัวแบบแล้วจึงวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงดังตารางที่ 4.34 ผลการวิเคราะห์พบว่า ขณะขึ้น/ลงบันไดมีผลต่อค่า bn ซึ่งมีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.000 ส่วนระดับความสูงของลูกตั่งบันได รวมทั้งอันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูกตั่งบันไดกับขณะขึ้นและลงบันไดไม่มีผลต่อตัวแปร bn โดยมีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.843 และ 0.735 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.34 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปร en

แหล่งความแปรปรวน	ระดับขั้นความเสรี	ผลรวมกำลังสอง	ผลเฉลี่ยกำลังสอง	F-Value	P-Value
ขนาดลูกตั่งบันได	3	0.5429	0.181	0.28	0.843
ขณะขึ้น-ลงบันได	1	44.0181	44.0181	67.02	0.000
อันตรกิริยา	3	0.8404	0.2801	0.43	0.735
บล็อกผู้ถูกทดลอง	9	56.2441	6.2493	9.51	0.000
ความคลาดเคลื่อน	63	41.3778	0.6568		
รวม	79				

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์มาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธีของ Tukey โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.35 พบว่า ค่า en ขณะลงบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 14 เซนติเมตร มีค่ามากที่สุดเท่ากับ -3.550 BW/s รองลงมาคือระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 15 12 และ 13 เซนติเมตรตามลำดับ โดยค่า en ขณะลงบันไดทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังมีค่ามากกว่า en ขณะขึ้นบันไดทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันได สำหรับค่า en ขณะขึ้นบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 12 เซนติเมตร มีค่ามากที่สุดเท่ากับ -5.183 BW/s รองลงมาคือระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 13 14 และ 15 เซนติเมตรตามลำดับ และค่า en ขณะขึ้นบันไดในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ย en ขณะลงบันไดในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ย bn ขณะขึ้นบันได และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอีกด้วย

ตารางที่ 4.35 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในตัวแปร en

ระดับความสูงลูกตั้งบันได (cm)	ขึ้น/ลงบันได	ค่าเฉลี่ย (BW/s)	Grouping
14	ลง	-3.550	A
15	ลง	-3.805	A
12	ลง	-3.859	A
13	ลง	-4.020	A
12	ขึ้น	-5.183	B
13	ขึ้น	-5.274	B
14	ขึ้น	-5.312	B
15	ขึ้น	-5.399	B

4.2.2 ผลการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ขณะเดินบันไดที่มีขนาดของลูกตั้งบันไดแตกต่างกัน

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้จากการจับเวลาของผู้ถูกทดลองที่ใช้เวลาในการเดินขึ้นและลงบันได มาแสดงเป็นข้อมูลค่าเฉลี่ยของเวลา โดยมีจำนวนผู้ถูกทดลอง 100 คน สามารถแสดงดังตารางที่ 4.36 ซึ่งค่าเวลาเฉลี่ยขณะขึ้นบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 15 เซนติเมตร ใช้เวลามากที่สุดเท่ากับ 5.422 วินาที รองลงมาคือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 12 14 และ 13 เซนติเมตรตามลำดับ และค่าเวลาเฉลี่ยขณะลงบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 14 เซนติเมตร ใช้เวลามากที่สุดเท่ากับ 6.361 วินาที รองลงมาคือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 15 13 และ 12 เซนติเมตรตามลำดับ

ตารางที่ 4.36 ค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ขณะขึ้นและลงบันไดของผู้ถูกทดลอง โดยแบ่งตามช่วงอายุ

ขนาดลูกตั้งบันได (cm)		เวลาที่เดินบันได (s)							
		12		13		14		15	
		ขึ้น	ลง	ขึ้น	ลง	ขึ้น	ลง	ขึ้น	ลง
ช่วงอายุ (ปี)	60-64	4.939	5.407	4.716	5.521	4.886	5.462	5.093	5.287
	65-69	5.357	6.079	5.251	6.153	5.126	5.762	5.546	6.447
	70-74	5.613	6.053	5.331	6.215	5.551	6.472	5.542	6.128
	75-79	5.685	6.603	5.078	6.370	5.624	7.388	5.455	6.624
	80 ขึ้นไป	5.359	6.400	5.728	6.479	6.079	6.500	5.399	5.847
ค่าเวลาเฉลี่ยรวม (n=100)		5.418	6.128	5.183	6.147	5.412	<u>6.361</u>	<u>5.422</u>	6.149

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการเดินขึ้นและลงบันไดในแต่ละระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่แตกต่างกัน สามารถตั้งสมมติฐานได้ดังนี้

- เวลาที่ใช้ขณะเดินขึ้นบันได

สมมติฐานที่ 1 : H_0 : ขนาดของลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อเวลาที่ใช้ขณะขึ้นบันได

: H_1 : ขนาดของลูกตั้งบันไดมีผลต่อเวลาที่ใช้ขณะขึ้นบันได

$$H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$$

โดย τ_i คือ อิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ i

เมื่อ $i = 1$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 12 เซนติเมตร

$i = 2$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 13 เซนติเมตร

$i = 3$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 14 เซนติเมตร

$i = 4$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 15 เซนติเมตร

จากการพิจารณาความเหมาะสมของตัวแบบแล้วพบว่า ตัวแบบมีความเหมาะสมจึงวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) โดยกำหนดให้ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 แสดงดังตารางที่ 4.37 ผลการวิเคราะห์พบว่า ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยเวลาขณะขึ้นบันไดอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.153

ตารางที่ 4.37 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาที่ใช้ขณะขึ้นบันได

แหล่งความแปรปรวน	ระดับขั้นความเสรี	ผลรวมกำลังสอง	ผลเฉลี่ยกำลังสอง	F-Value	P-Value
ขนาดลูกตั้งบันได	3	4.1307	1.3769	1.770	0.153
บล็อกผู้ถูกทดลอง	99	432.396	4.3676	5.600	0.000
ความคลาดเคลื่อน	297	231.3018	0.7788		
รวม	399				

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์มาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธีของ Tukey โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.38 พบว่า ที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 15 เซนติเมตร ใช้เวลาในการเดินขึ้นบันไดมากที่สุดเท่ากับ 5.422 วินาที รองลงมาคือ ระดับ

ความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 12 14 และ 13 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเวลาเท่ากับ 5.418 5.412 และ 5.183 วินาทีตามลำดับ นอกจากนี้ทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน กล่าวคือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.38 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในเวลาขณะขึ้นบันได

ระดับความสูงลูกตั้งบันได (cm)	ค่าเฉลี่ย (sec)	Grouping
15	5.422	A
12	5.418	A
14	5.412	A
13	5.183	A

- เวลาที่ใช้ขณะเดินลงบันได

สมมติฐานที่ 1 : H_0 : ขนาดของลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อเวลาที่ใช้ขณะลงบันได

: H_1 : ขนาดของลูกตั้งบันไดมีผลต่อเวลาที่ใช้ขณะลงบันได

$$H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$$

โดย τ_i คือ อิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ i

เมื่อ $i = 1$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 12 เซนติเมตร

$i = 2$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 13 เซนติเมตร

$i = 3$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 14 เซนติเมตร

$i = 4$ คือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 15 เซนติเมตร

จากการพิจารณาความเหมาะสมของตัวแบบแล้วพบว่า ตัวแบบมีความเหมาะสมจึงวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) โดยกำหนดให้ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 แสดงดังตารางที่ 4.39 ผลการวิเคราะห์พบว่า ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยเวลาขณะลงบันไดอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.464

ตารางที่ 4.39 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาที่ใช้ขณะลงบันได

แหล่งความแปรปรวน	ระดับขั้นความเสรี	ผลรวมกำลังสอง	ผลเฉลี่ยกำลังสอง	F-Value	P-Value
ขนาดลูกตั้งบันได	3	3.662	1.221	860.000	0.464
บล็อกผู้ถูกทดลอง	99	855.145	8.638	6.060	0.000
ความคลาดเคลื่อน	297	423.559	1.426		
รวม	399				

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์มาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธีของ Tukey โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.40 พบว่า ที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 14 เซนติเมตร ใช้เวลาในการเดินลงบันไดมากที่สุดเท่ากับ 6.361 วินาที รองลงมาคือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 15 13 และ 12 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเวลาเท่ากับ 6.149 6.147 และ 6.128 วินาทีตามลำดับ นอกจากนี้ทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน กล่าวคือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.40 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในเวลาขณะลงบันได

ระดับความสูงลูกตั้งบันได (cm)	ค่าเฉลี่ย (sec)	Grouping
14	6.361	A
15	6.149	A
13	6.147	A
12	6.128	A

- เวลาที่ใช้ขณะขึ้นและลงบันได

สมมติฐานที่ 1 : H_0 : ขนาดของลูกตั่งบันไดไม่มีผลต่อเวลาที่ใช้เดินบันได

: H_1 : ขนาดของลูกตั่งบันไดมีผลต่อเวลาที่ใช้เดินบันได

$$H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$$

โดย τ_i คือ อิทธิพลของทริทเมนต์ที่ i

เมื่อ $i = 1$ คือ ระดับความสูงของลูกตั่งบันไดที่ 12 เซนติเมตร

$i = 2$ คือ ระดับความสูงของลูกตั่งบันไดที่ 13 เซนติเมตร

$i = 3$ คือ ระดับความสูงของลูกตั่งบันไดที่ 14 เซนติเมตร

$i = 4$ คือ ระดับความสูงของลูกตั่งบันไดที่ 15 เซนติเมตร

สมมติฐานที่ 2 : H_0 : ขณะขึ้นและลงบันไดไม่มีผลต่อเวลาในการใช้บันได

: H_1 : ขณะขึ้นและลงบันไดมีผลต่อเวลาในการใช้บันได

$$H_0 : \beta_j = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \beta_j \neq 0$$

โดย β_j คือ อิทธิพลของทริทเมนต์ที่ j

เมื่อ $j = 1$ คือ ขณะขึ้นบันได

$j = 2$ คือ ขณะลงบันได

สมมติฐานที่ 3 : H_0 : อันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูกตั่งบันไดกับขณะขึ้นและลงบันไดไม่มีผลต่อเวลาในการใช้บันได

: H_1 : อันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูกตั้งบันไดกับขณะขึ้นและลงบันไดมีผลต่อเวลาในการใช้บันได

$$H_0 : \tau_i \beta_j = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \tau_i \beta_j \neq 0$$

โดย $\tau_i \beta_j$ คือ อิทธิพลของอันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ i กับขณะขึ้นและลงบันไดที่ j

จากการพิจารณาความเหมาะสมของตัวแบบแล้วพบว่า ตัวแบบมีความเหมาะสมจึงวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) โดยกำหนดให้ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 แสดงดังตารางที่ 4.41 ผลการวิเคราะห์พบว่า ระดับความสูงของลูกตั้งบันได รวมทั้งอันตรกิริยาระหว่างระดับความสูงของลูกตั้งบันไดกับขณะขึ้นและลงบันไดไม่มีผลต่อเวลาในการใช้บันไดอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.275 และ 0.518 ตามลำดับ สำหรับปัจจัยของขณะขึ้นและลงบันไดมีผลต่อเวลาในการใช้บันไดอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.000

ตารางที่ 4.41 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาที่ใช้ขณะขึ้นและลงบันได

แหล่งความแปรปรวน	ระดับขั้นความเสรี	ผลรวมกำลังสอง	ผลเฉลี่ยกำลังสอง	F-Value	P-Value
ขนาดลูกตั้งบันได	3	4.917	1.639	1.3	0.275
ขณะขึ้น-ลงบันได	1	140.247	140.247	110.89	0.000
อันตรกิริยา	3	2.876	0.959	0.76	0.518
บล็อกผู้ถูกทดลอง	99	1065.97	10.767	8.51	0.000
ความคลาดเคลื่อน	693	876.433	1.265		
รวม	799				

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์มาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธีของ Tukey โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.42 พบว่า ที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 14 เซนติเมตร ใช้เวลาในการเดินลงบันไดมากที่สุดเท่ากับ 6.361 วินาที รองลงมาคือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 15 13 และ 12 เซนติเมตร ซึ่งเวลาที่ใช้นั้นจะลงบันไดในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และค่าเฉลี่ยเวลาขณะลงบันไดมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยเวลาขณะขึ้นบันไดอย่างมีนัยสำคัญในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันได

ตารางที่ 4.42 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในเวลาขณะขึ้นและลงบันได

ระดับความสูงลูกตั้งบันได (cm)	ขึ้น/ลงบันได	ค่าเฉลี่ย (sec)	Grouping
14	ลง	6.361	A
15	ลง	6.149	A
13	ลง	6.147	A
12	ลง	6.128	A
15	ขึ้น	5.422	B
12	ขึ้น	5.418	B
14	ขึ้น	5.412	B
13	ขึ้น	5.183	B

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจที่มีต่อขนาดลูกตั้งของบันไดที่แตกต่างกัน

ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจที่ผู้ถูกทดลองมีต่อระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่มีขนาดแตกต่างกัน โดยให้ผู้ถูกทดลองให้คะแนน 1-5 ในแต่ละระดับความสูงของลูกตั้งบันได แสดงดังตารางที่ 4.43

ตารางที่ 4.43 คะแนนความพึงพอใจของผู้ถูกทดลองที่มีต่อระดับความสูงของลูกตั้งบันไดในแต่ละระดับ

คะแนนความพึงพอใจ						
ระดับความสูงของลูกตั้งบันได (cm)	1 (น้อยที่สุด)	2 (น้อย)	3 (ปานกลาง)	4 (มาก)	5 (มากที่สุด)	ค่าเฉลี่ย
12	5	7	24	34	30	3.77
13	1	1	14	48	36	4.17
14	0	4	18	45	33	4.07
15	3	8	15	30	44	4.04

จากตารางที่ 4.43 คะแนนความพึงพอใจต่อระดับความสูงของลูกตั้งบันไดในแต่ละระดับมีดังนี้

ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 12 เซนติเมตร มีผู้พึงพอใจน้อยที่สุดจำนวน 5 คน พึงพอใจน้อยจำนวน 7 คน พึงพอใจปานกลางจำนวน 24 คน พึงพอใจมากจำนวน 34 คน และพึงพอใจมากที่สุด 30 คน โดยมีค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจเท่ากับ 3.77

ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 13 เซนติเมตร มีผู้พึงพอใจน้อยที่สุดจำนวน 1 คน พึงพอใจน้อยจำนวน 1 คน พึงพอใจปานกลางจำนวน 14 คน พึงพอใจมากจำนวน 48 คน และพึงพอใจมากที่สุด 36 คน โดยมีค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจเท่ากับ 4.17

ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 14 เซนติเมตร ไม่มีผู้ให้คะแนนน้อยที่สุด ส่วนคะแนนความพึงพอใจน้อยมีผู้ให้คะแนนจำนวน 4 คน พึงพอใจปานกลางจำนวน 18 คน พึงพอใจมากจำนวน 45 คน และพึงพอใจมากที่สุด 33 คน โดยมีค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจเท่ากับ 4.07

ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 15 เซนติเมตร มีผู้พึงพอใจน้อยที่สุดจำนวน 3 คน พึงพอใจน้อยจำนวน 8 คน พึงพอใจปานกลางจำนวน 15 คน พึงพอใจมากจำนวน 30 คน และพึงพอใจมากที่สุด 44 คน โดยมีค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจเท่ากับ 4.04

ค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจของผู้ถูกทดลองที่มีต่อระดับความสูงของลูกตั้งบันไดมากที่สุดเท่ากับ 4.17 ซึ่งเป็นระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 13 เซนติเมตร รองลงมาคือค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจของระดับความสูงลูกตั้งบันไดที่ 14 15 และ 12 เซนติเมตรตามลำดับ

4.3 อภิปรายผลการวิเคราะห์

4.3.1 อภิปรายผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาแนวตั้งของเท้าที่กระทำต่อพื้นขณะเดินบนไคที่มีขนาดลูกตั้งแตกต่างกัน

- ตัวแปรค่า Fz2

ตัวแปรค่า Fz2 ขณะลงบันไดทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดมีค่ามากกว่าค่า Fz2 ขณะขึ้นบันไดทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Riener et al. (2002) และ Stacoff et al. (2005) เนื่องจากค่า Fz2 ของการเดินลงบันไดได้รับแรงจากแรงโน้มถ่วงร่วมด้วย (Mcfadyen and Winter, 1988) นอกจากนี้ค่า Fz2 ขณะขึ้นบันไดทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับค่า Fz2 ขณะลงบันไดมีเพียงค่า Fz2 ที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 15 เซนติเมตรกับ 12 เซนติเมตรที่มีนัยสำคัญต่อกัน

- ตัวแปรค่า Fz3

ค่าตัวแปร Fz3 มีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละระดับความสูงของลูกตั้งบันได และเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนไม่พบว่าระดับความสูงของลูกตั้งบันไดมีผลต่อค่า Fz3 ในทุกระดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Stacoff et al. (2005) ค่า Fz3 นั้นเป็นค่าแรงที่เกิดจากตำแหน่งของเท้าข้างที่สนใจทั้งหมดสัมผัสกับพื้น โดยมีกล้ามเนื้อเนื้อส่วนของ Gastrocnemius และ Soleus ทำงาน (Mcfadyen and Winter, 1988)

- ตัวแปรค่า Fz4

ตัวแปรค่า Fz4 ขณะลงบันไดในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อกัน ส่วนตัวแปรค่า Fz4 ขณะขึ้นบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 12 กับ 15 เซนติเมตรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบค่า Fz4 ขณะขึ้นบันไดทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดมีค่ามากกว่าขณะลงบันไดทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันได และค่า Fz4 ขณะขึ้นบันไดทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับค่า Fz4 ขณะลงบันได ยกเว้นที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 12 เซนติเมตรในขณะขึ้นกับ 15 เซนติเมตรในขณะลงที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ สอดคล้องกับ Riener et al. (2002) เนื่องจากค่า Fz4 เป็นช่วงของ Foot Takeoff Phase ต้องมีแรงส่งเพื่อเคลื่อนลำตัวไปข้างหน้าในการขึ้นบันไดจึงมีค่า Fz4 สูงกว่าขณะลงบันไดนั่นเอง

- ตัวแปร Loading Rate (bn)

ตัวแปรค่า bn ขณะขึ้นบันไดในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดไม่มีความแตกต่างกันภายในในกลุ่ม เช่นเดียวกับค่า bn ขณะลงบันไดในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดไม่มีความแตกต่างภายในกลุ่มเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบค่า bn ขณะขึ้นบันไดในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดมีค่าน้อยกว่าค่า bn ขณะลงบันไดในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Stacoff et al. (2005) เนื่องจากค่า bn เป็นค่า Slope เกี่ยวข้องกับค่า Fz1 ที่ขณะลงบันไดมีค่าสูงกว่าขณะขึ้นบันได ดังนั้นค่า bn จึงมีแนวโน้มสูงขึ้นตาม Fz1 ด้วย ค่า bn ขณะลงบันไดจึงมีค่ามากกว่าขณะขึ้นบันไดนั่นเอง

- ตัวแปร Unloading (en)

ตัวแปรค่า en มีค่าติดลบเนื่องจากคำนวณค่า Slope ที่มีเส้นตรงไปในทิศทางแกนลบ เมื่อนำมาวิเคราะห์จึงควรคำนึงตัวเลขของความชันที่บ่งบอกถึงความชันมากน้อยเพียงใดของค่า en โดยไม่สนใจเครื่องหมายติดลบนั่นเอง สรุปได้ว่าค่า en ขณะขึ้นบันไดในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดไม่มีความแตกต่างกันภายในกลุ่ม เช่นเดียวกับค่า en ขณะลงบันไดในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดไม่มีความแตกต่างกันภายในกลุ่มเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบค่า en ขณะขึ้นบันไดในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดมีค่าความชันมากกว่าค่า en ขณะลงบันไดในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า en เกี่ยวข้องกับค่า Fz3 ที่ขณะขึ้นบันไดมีค่าสูงกว่าขณะลงบันได ดังนั้นค่า en จึงมีแนวโน้มสูงขึ้นตาม Fz3 ด้วย ดังนั้นค่า en ขณะขึ้นบันไดจึงมีค่ามากกว่าขณะลงบันไดนั่นเอง

สรุปได้ว่าค่า Fz2 ขณะขึ้นมีค่าต่ำกว่า Fz2 ขณะลงอย่างมีนัยสำคัญ และค่า Fz4 ขณะขึ้นบันไดสูงกว่าค่า Fz4 ขณะลงบันไดอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า Fz4 ของการขึ้นบันไดนั้นเป็นแรงส่งตัวให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า สอดคล้องกับงานวิจัยของ Riener et al. (2002) และ Stacoff et al. (2005) อย่างไรก็ตามความแตกต่างของค่าแรงแนวตั้งที่เท้ากระทำต่อพื้นหรือค่า GRFs ที่พบนั้นเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Rantanen et al. 1998) และความเร็วในการเคลื่อนไหวอีกด้วย (Christina and Cavanagh, 2002)

4.3.2 อภิปรายผลการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ขณะเดินบันไดที่มีขนาดลูกตั้งแตกต่างกัน

ค่าเวลาเฉลี่ยที่ใช้ขณะลงบันไดในทุกระดับความสูงของลูกตั้งมีค่ามากกว่าเวลาที่ใช้ขึ้นบันไดทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mooyeon et al. (2011) ที่พบว่าผู้สูงอายุใช้เวลาในการเดินลงบันไดมากกว่าเดินขึ้นบันได เนื่องจากผู้สูงอายุมีความระมัดระวังมากในการเดินลงบันได เพราะขาดการควบคุมในตอนเอาส้นเท้าลงที่บันไดขั้นถัดไป (Christina and Cavanagh, 2002) ซึ่งเวลาที่ใช้ขณะลงบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันได 14 เซนติเมตรมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 6.361 วินาที และที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันได 12 เซนติเมตรมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 6.128 วินาที ส่วนเวลาที่ใช้ขณะขึ้นบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันได 15 เซนติเมตรมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 5.422 วินาที และที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันได 13 เซนติเมตรมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 5.183 วินาที

4.3.3 อภิปรายผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจที่มีต่อขนาดลูกตั้งของบันไดที่แตกต่างกัน

ค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจที่ผู้ถูกทดลองมีต่อระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 13 เซนติเมตร มีคะแนนเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 4.17 คะแนน รองลงมาคือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 14 เซนติเมตร มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.07 คะแนน และคะแนนความพึงพอใจที่ผู้ถูกทดลองมีต่อระดับความสูงลูกตั้งบันไดที่ 12 เซนติเมตรมีค่าเฉลี่ยคะแนนน้อยที่สุด กล่าวได้ว่าผู้ถูกทดลองพึงพอใจการใช้บันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งเท่ากับ 13 เซนติเมตรสอดคล้องกับ ไตรรัตน์ จารุทัศน์ และคณะ (2005) และเสกสรร พันธุ์สวัสดิ์ (2012)

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ 1. เพื่อวัดและวิเคราะห์แรงแนวตั้งที่เท้ากระทำต่อพื้นขณะใช้บันไดที่มีขนาดลูกตั้งแตกต่างกัน และ 2. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้สูงอายุที่มีต่อขนาดลูกตั้งของบันไดที่แตกต่างกัน โดยมีการเก็บข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้ 1. ข้อมูลพื้นฐานทั่วไปของผู้ถูกทดลอง ลักษณะสภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัย และ 2. ข้อมูลเชิงทดลองประกอบด้วยข้อมูลค่าแรงแนวตั้งที่เท้ากระทำต่อพื้น และเวลาขณะใช้บันไดที่มีระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 12 13 14 และ 15 เซนติเมตร สำหรับค่าแรงแนวตั้งหรือ GRF แบ่งออกเป็น 5 ระดับคือ Fz2 Fz3 Fz4 bn และ en นอกจากนี้แล้วมีการเก็บข้อมูลคะแนนความพึงพอใจที่ผู้ถูกทดลองมีต่อบันไดในแต่ละระดับความสูงของลูกตั้งบันได

การวิจัยนี้ได้ทำการสุ่มผู้สูงอายุภายในจังหวัดนครราชสีมา เพื่อให้ผู้สูงอายุทดลองเดินขึ้น-ลงบันไดที่มีระดับความสูงของลูกตั้งบันไดแตกต่างกัน โดยมีจำนวนผู้ถูกทดลอง 100 คน ก่อนการทดลองในแต่ละผู้ถูกทดลองนั้นทำการสุ่มลำดับของระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ใช้ทดลองเดิน ซึ่งทำการฝังแผ่น Force Plate ไว้ที่ขั้นแรกก่อนการขึ้นบันไดเพื่อวัดค่าแรง GRF ที่ใช้ในการขึ้นและลงบันได ขณะผู้ถูกทดลองเริ่มการเดินบันไดในก้าวแรกทำการจับเวลา โดยใช้นาฬิกาจับเวลาเพื่อจับเวลาขณะขึ้นและลงบันได เมื่อผู้ถูกทดลองเดินบันไดในแต่ละระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเสร็จจากนั้นให้ผู้ถูกทดลองให้คะแนนความพึงพอใจ 1 – 5 คะแนนในแต่ละระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเพื่อวัดค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจในแต่ละระดับ โดยมีผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลวิจัยสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. การวิจัยนี้มีผู้ถูกทดลองจำนวน 100 คน โดยมีอายุอยู่ในช่วง 75-79 ปีมากที่สุด ร้อยละ 26 รองลงมาคือ ช่วงอายุ 65-69 ปี ร้อยละ 24 แบ่งเป็นเพศชายจำนวน 42 คน เพศหญิง 58 คน มีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 56.06 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 152.7 เซนติเมตร ผู้ถูกทดลองส่วนใหญ่ยังประกอบอาชีพ

เกษตรกรอยู่ถึงร้อยละ 42 และรองลงมาคือไม่ประกอบอาชีพแล้ว ร้อยละ 38 สำหรับปัญหาสุขภาพของผู้ถูกทดลองพบว่า มีโรคประจำตัวถึงร้อยละ 63 ส่วนใหญ่เป็นโรคความดันโลหิตสูง รองลงมาคือโรคเบาหวาน นอกจากนี้ยังมีผู้มีปัญหาเป็นโรคกระดูกและข้อถึงร้อยละ 43 โดยตำแหน่งที่เป็นคือส่วนของข้อเข่ามากที่สุด สำหรับประวัติการหกล้มของผู้ถูกทดลองภายใน 6 เดือนที่ผ่านมาพบว่า มีผู้ถูกทดลองเคยหกล้ม ร้อยละ 18 บริเวณที่หกล้มอันดับแรกคือ ภายในบริเวณบ้าน รองลงมาคือ บริเวณรอบบ้าน ส่วนสาเหตุการหกล้มอันดับแรกคือ สะดุดล้ม รองลงมาคือ พื้นลื่น มีน้ำขัง ลักษณะสภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัยส่วนใหญ่ของผู้ถูกทดลองเป็นบ้านเดี่ยวแบบปูนมากที่สุด รองลงมาคือ บ้านลักษณะบ้านไม้ยกพื้นสูง แต่ผู้ถูกทดลองส่วนใหญ่พักอาศัยชั้นล่างของบ้านถึงร้อยละ 63 และความถี่ในการใช้บันไดต่อวันของผู้ถูกทดลอง มีการใช้บันได 1-3 ครั้งต่อวันร้อยละ 47 รองลงมาคือ ใช้บันได 4-6 ครั้งต่อวัน ร้อยละ 8

2. ตัวแปรค่าแรง Fz2 ขณะลงบันไดมีค่ามากกว่าค่าแรง Fz2 ขณะขึ้นบันได โดยค่าแรง Fz2 ขณะลงบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 14 เซนติเมตร มีค่าแรงเท่ากับ 6.361 BW ซึ่งมีค่ามากที่สุด และค่าแรง Fz2 ขณะขึ้นบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 15 เซนติเมตร มีค่าแรงเท่ากับ 5.422 BW ซึ่งมีค่ามากที่สุด โดยในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อค่าแรง Fz2 ขณะขึ้นบันได แต่ในขณะที่ลงบันไดนั้นระดับความสูงของลูกตั้งบันไดมีผลต่อค่าแรง Fz2 นอกจากนี้ขณะขึ้นและขณะลงบันไดมีผลต่อค่าแรง Fz2 อย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้แล้วค่าแรงที่ได้จากการทดลองพบว่าค่าแรงที่ใช้ส่งตัวขึ้นบันไดในขั้นถัดไปยิ่งขนาดลูกตั้งของบันไดสูง ค่าแรงยิ่งมีค่ามากขึ้น และขณะที่ลงบันไดค่าแรง Fz2 มีค่ามากขึ้นในขนาดลูกตั้งของบันไดที่สูงขึ้นเช่นเดียวกัน จึงเป็นแนวทางในการนำไปออกแบบระดับความสูงของลูกตั้งบันไดสำหรับผู้สูงอายุเพื่อลดแรงในการขึ้นและลงบันไดให้ผู้สูงอายุมีความสะดวกในการเดินบันไดมากยิ่งขึ้น

3. ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อค่าแรง Fz3 รวมทั้งขณะขึ้นและขณะลงบันไดไม่มีผลต่อค่าแรง Fz3 เช่นเดียวกัน

4. ตัวแปรค่า Fz4 ขณะขึ้นบันไดมีค่ามากกว่าค่าแรง Fz4 ขณะลงบันได โดยค่าแรง Fz4 ขณะขึ้นและขณะลงบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดเท่ากับ 15 เซนติเมตร มีค่าแรงเท่ากับ 1.073 และ 1.016 BW ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแรงมากกว่าทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันได นอกจากนี้ระดับความสูงของลูกตั้งบันได รวมทั้งขณะขึ้นและขณะลงบันไดมีผลต่อค่าแรง Fz4

5. ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดไม่มีผลต่อตัวแปร b_n และ e_n แต่ขณะขึ้นและขณะลงบันไดมีผลต่อตัวแปร b_n และ e_n สำหรับตัวแปร b_n ขณะลงบันไดในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดมีค่าสูงกว่า b_n ในขณะที่ขึ้นบันไดทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันได ตรงกันข้ามกับตัวแปร e_n ที่มีค่า e_n ขณะขึ้นบันไดในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดมากกว่า e_n ขณะลงบันไดทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันได

6. ค่าเวลาเฉลี่ยที่ใช้ขณะลงบันไดในทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดมีค่ามากกว่าเวลาที่ใช้ขึ้นบันไดทุกระดับความสูงของลูกตั้งบันไดอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเวลาที่ใช้ขณะลงบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันได 14 เซนติเมตรมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 6.361 วินาที และที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันได 12 เซนติเมตรมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 6.128 วินาที ส่วนเวลาที่ใช้ขณะขึ้นบันไดที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันได 15 เซนติเมตรมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 5.422 วินาที และที่ระดับความสูงของลูกตั้งบันได 13 เซนติเมตรมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 5.183 วินาที

7. ผู้ถูกทดลองพึงพอใจกับบันไดที่มีระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 13 เซนติเมตรมากที่สุดซึ่งมีค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจเท่ากับ 4.17 คะแนน ส่วนความพึงพอใจต่อระดับความสูงของลูกตั้งบันไดรองลงมาคือ ระดับความสูงของลูกตั้งบันไดที่ 14 15 และ 12 เซนติเมตรตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 งานวิจัยนี้ศึกษาค่า GRF ของบันไดในแต่ละระดับความสูงของลูกตั้งบันได งานวิจัยต่อไปควรมีการศึกษาควบคู่กับการวัดภาระงานของกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้อง

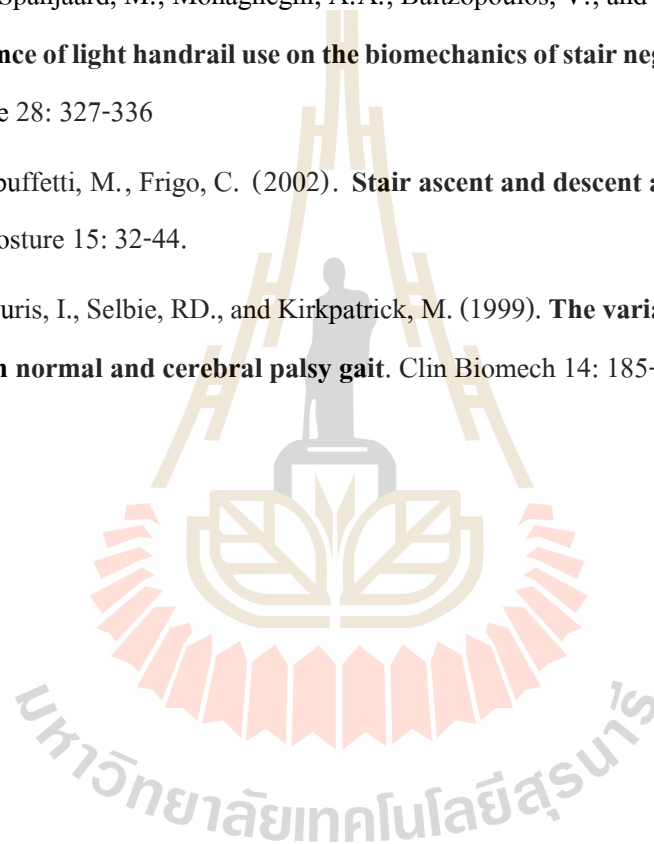
5.2.2 งานวิจัยต่อไปควรมีการศึกษา Motion Analysis ควบคู่กับค่า GRF เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนไหวในแต่ละระดับความสูงของลูกตั้งบันได

รายการอ้างอิง

- กฎกระทรวงกำหนดสิ่งอำนวยความสะดวกในอาคาร สำหรับผู้พิการหรือทุพพลภาพและคนชรา พ.ศ.2544
- กิตติ อินทรานนท์. (2548). **การยศาสตร์ (Ergonomics)**. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. (2554). [ออนไลน์]. 1 เมษายน 2559. ได้จาก <http://www.med.nu.ac.th/fom/th>.
- ไตรรัตน์ จารุทัศน์, จิราพร เกศพิชญพัฒนา, ศรีธยา หล่อมฉินพรัตน์, กิตติอร ชาลปติ. (2558). **โครงการศึกษามาตรฐานขั้นต่ำสำหรับที่พักอาศัย และสภาพแวดล้อมของผู้สูงอายุ**. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, มูลนิธิสาธารณสุขแห่งชาติ, และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ.
- บุปผา จันทรจรัส. (2557). **การป้องกันการหกล้มในผู้สูงอายุ**. [ออนไลน์]. 9 มีนาคม 2559. ได้จาก <http://www.med.cmu.ac.th/hospital/northo/2012/16-km-orthopedics.html>.
- พวงทอง ไกรพิบูลย์. (2557). **ผู้สูงอายุ (Older Person)**. [ออนไลน์]. 15 พฤษภาคม 2559. ได้จาก <http://haamor.com/th>.
- พุทธิพงษ์ พลคำอ๊ก, ไหมทิพย์ สิทธิตัน, อรุณรัตน์ ศรีทวงษ์, กานดาภรณ์ เจริญเรือง, จุฬารัตน์ รวมจิต, สุนิสา มงคลดี, ขวัญฤทัย อินคำ, จิตาพร เผ่าศรีไชย และ ชิดารัตน์ สายเขียว. (2558). **ความน่าเชื่อถือระหว่างผู้วัดและความเที่ยงตรงของการทดสอบการลุกยืน 3 ครั้ง แล้วเดินในวัยรุ่นสุขภาพดี**. สาขาวิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา.
- ศูนย์เวชศาสตร์อายุรวัฒน์กรุงเทพ. (2558). **รณรงค์ลดอุบัติเหตุในผู้สูงอายุ**. [ออนไลน์]. 15 พฤษภาคม 2559. ได้จาก <http://www.banmuang.co.th/news/bangkok/15414>.
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2557). **การคาดประมาณประชากรของประเทศไทย พ.ศ. 2553-2583**. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์เดือนตุลา.
- สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข. (2559). **สถิติสาธารณสุข พ.ศ. 2558**. กรุงเทพมหานคร.

- เสกสรร พันธุ์สวัสดิ์. (2555). การทดสอบและศึกษาความพึงพอใจต่ออุปกรณ์อำนวยความสะดวกสำหรับผู้สูงอายุ. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์.
- Antonio, P.J., and Perry, S.D. (2014). **Quantifying stair gait stability in young and older adults with modifications to insole hardness.** *Gait Posture.* 40(3): 429-434.
- Christina, KA., and Cavanagh, PR. (2002). **Ground reaction forces and friction demands during stair descent: effects of age and illumination.** *Gait Posture* 15:153-158.
- Edoarado. (2011). **Anatomical Planes and Axis.** (online) Available : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anatomical_Planes-en.svg. (June 1, 2016).
- Fujiyama, T., and Tyler, N. (2004). **Pedestrian speeds on stairs: an initial step for a simulation model.** Presented at: UTSG 2004. Newcastle. UK.
- Jang-Hee Yoo, Mark S. Nixon and Chris. J. Harris. (2002). **Extracting Human Gait Signatures by Body Segment Properties.** Department of Electronics and Computer Science University of Southampton. Southampton
- Stacoff, A., Diezi, C., Luder, G., Stüssi, E., Kramers-de Quevain, IA. (2005). **Ground reaction forces on stairs: effects of stair inclination and age.** *Gait Posture* 21: 24-38.
- Stüssi, E., and Debrunner, HU. (1980). **Parameter-analyse des menschlichen ganges.** *Biomed Tech (Berl)* 25: 222-4.
- McFadyen, B.J., and Winter, D.A. (1988). **An integrated biomechanical analysis of normal stair ascent and descent.** *J Biomechanics* 21(9): 733-744.
- Mooyeon Oh- Park, Cuiling Wang, and Joe Verghese. (2011). **Stair Negotiation Time in Community Dwelling Older Adults: Normative Values and Association with Functional Decline.** *Arch Phys Med Rehabil* 92(12): 2006-2011.
- Nigg, BM., and Morlock, M. (1987). **The influence of lateral heel flare of running shoes on pronation and impact forces.** *Med Sci Sports Exe.* 19(3): 294-302.
- Nigg, B.M., and Skleryk, B.N. (1988). **Gait characteristics of the elderly.** *Clin Biomech* 3: 79-87.

- Talia Herman, Noit Inbar-Borovsky, Marina Brozgol, Nir Giladi, and Jeffrey M. Hausdorff. (2009). **The Dynamic Gait Index in Healthy Older Adults: The Role of Stair Climbing, Fear of Falling and Gender.** *Gait Posture* 29(2): 237–241.
- Rantanen, T., Masaki, K., Foley, D., Izmirlian, G., White, L., and Guralnik, J.M. (1998). **Grip strength changes over 27 years in Japanese-American men.** *J Appl Physiol* 85: 2047-2053.
- Reeves, N.D., Spanjaard, M., Mohagheghi, A.A., Baltzopoulos, V., and Maganaris, C.N. (2008). **Influence of light handrail use on the biomechanics of stair negotiation in old age.** *Gait Posture* 28: 327-336
- Riener, R., Rabuffetti, M., Frigo, C. (2002). **Stair ascent and descent at different inclinations.** *Gait Posture* 15: 32-44.
- White, R., Agouris, I., Selbie, RD., and Kirkpatrick, M. (1999). **The variability of force platform data in normal and cerebral palsy gait.** *Clin Biomech* 14: 185-192.





ภาคผนวก ก

แบบสอบถามความพึงพอใจ

ID



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โครงการวิจัย “การศึกษาลักษณะของบันไดที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ”

แบบสอบถามความพึงพอใจ / ไม่พึงพอใจต่อระดับความสูงของลูกตั้งบันได 4 ระดับ

คำชี้แจง แบบประเมินฉบับนี้ใช้สำหรับคัดกรองความสามารถทางกายของผู้สูงอายุแบบองค์รวมโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2 การเก็บข้อมูลโดยการทดลอง

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อชี้แจง กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ในข้อที่ตรงกับความเป็นจริงและในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด

1. เพศ 1) ชาย 2) หญิง
2. อายุ 1) 60 - 64 ปี 2) 65 - 69 ปี 3) 70 - 74 ปี 4) 75 - 79 ปี 5) 80 ปีขึ้นไป
3. ดัชนีมวลกาย (ดัชนีมวลกาย=น้ำหนัก (กก.)/ส่วนสูง ม²) น้ำหนักกก. ส่วนสูง.....ซม.
ดัชนีมวลกาย =
4. สถานภาพสมรส 1) โสด 2) สมรส 3) หม้าย/หย่าร้าง
5. สถานภาพการอยู่อาศัย (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)
 1) อยู่คนเดียว 2) อยู่กับคู่สมรส 3) อยู่กับบุตรหลาน 4) อยู่กับญาติ 5) อื่นๆ ระบุ

6. ระดับการศึกษา 1) ไม่ได้เรียน อ่านไม่ออก-เขียนไม่ได้ 2) ระดับประถมศึกษา 3) ระดับมัธยมศึกษา 4) ระดับปริญญา หรือสูงกว่า 5) อื่นๆ ระบุ.....

7. อาชีพ 1) ข้าราชการบำนาญ/พนักงานของรัฐเกษียณ 2) ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว
3) พนักงานเอกชน/ลูกจ้างเอกชน 4) รับจ้างทั่วไป
5) เกษตรกร 6) ไม่ได้ประกอบอาชีพ
7) อื่นๆ ระบุ.....

8. กิจกรรมและการเคลื่อนไหวภายในบ้าน (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

8.1 การรับประทาน 1) นั่งกินกับพื้น 2) นั่งกินที่โต๊ะอาหาร 3) อื่นๆระบุ.....

8.2 การขยับถ่าย 1) ใช้ส้วมนั่งยอง 2) ใช้ส้วมชักโครก 3) ยืนขยับถ่าย
4) อื่นๆระบุ.....

8.3 การเคลื่อนไหวภายในบ้านและพื้นที่โดยรอบ 1) ผ่านทางลาดชันมาก 2) พื้นต่างระดับ
3) ขึ้นบันได 4) อื่นๆระบุ.....

8.4 การนอน 1) นอนบนพื้น (มีเสื่อ, เบาะ) 2) นอนเตียงเตี้ยไป 3) นอนเตียงพอดี
4) นอนเตียงสูงไป 5) อื่นๆระบุ.....

9. โรคประจำตัว

1) ไม่มี 2) มี ให้ระบุทุกโรคของตนเอง (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

2.1) โรคเบาหวาน 2.2) โรคความดันโลหิตสูง 2.3) โรคไขมันในเลือดสูง 2.4) โรคหัวใจ 2.5) โรคไต 2.6) โรคโลหิตจาง
2.7) โรคมะเร็ง 2.8) โรคหลอดเลือดสมอง 2.9) โรคพาร์กินสัน 2.10) โรคกระดูกและข้อ 2.11) อื่น ๆ ระบุ.....

10. โรคกระดูกและข้อ

- 1) ไม่มี 2) มี ให้ระบุตำแหน่งที่เป็น (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)
- 2.1) คอ 2.2) ข้อไหล่ 2.3) ข้อศอก 2.4) ข้อมือ
- 2.5) นิ้วมือ 2.6) หลัง 2.7) ข้อตะโพก 2.8) ข้อเข่า
- 2.9) ข้อเท้า 2.10) ฝ่าเท้า 2.11) อื่นๆระบุ.....

11. การใช้ยา 1) ไม่ได้ใช้ยา 2) ใช้ยา ระบุชื่อยา.....

2.1) เป็นยาตามแพทย์สั่ง

2.2) ซื้อยากินเอง

12. การได้ยินเสียง ปัญหาต่างๆเกี่ยวกับการได้ยิน

- 1) ไม่มี 2) มี ระบุปัญหาที่เป็น (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)
- 2.1) หูตึง
- 2.2) ประสาทหูเสื่อม
- 2.3) หูไม่ได้ยินเป็นครั้งคราว
- 2.4) อื่นๆ ระบุ.....

13. การมองเห็น ปัญหาต่างๆเกี่ยวกับการมองเห็น

- 1) ไม่มี 2) มี ระบุปัญหาที่เป็น
- 2.1) ตามัว/มองเห็นไม่ชัด 2.2) ตาเป็นต้อ 2.3) ตาฟาง
- 2.4) ตาบอด 2.5) สายตาสั้น/สายตายาว/สายตาเอียง
- 2.6) อื่นๆ ระบุ.....

14. การเปลี่ยนท่าต่างๆ ปัญหาต่างๆเกี่ยวกับการเปลี่ยนท่าทาง

- 1) ไม่มี 2) มี ระบุปัญหาที่เป็น

2.1) ลูกออกจากเตียงไม่ได้หรือทำได้ยาก

2.2) ลูกจากที่นั่งและเก้าอี้ไม่ได้หรือทำได้ยาก

2.3) อื่นๆ ระบุ.....

15. ปัจจุบันท่านต้องรับประทานยาประจำอยู่หรือไม่ (ประจำ คือ รับประทานต่อเนื่อง ติดต่อกันเป็นประจำ ทุกวันหรือ เป็นระยะเวลานาน)

1) ไม่มี 2) มี โปรดระบุ.....

16. ปัจจุบันท่านดื่มสุรายาตอง หรือไม่

1.) ดื่มบ้างเป็นครั้งคราว (น้อยกว่า 1 ครั้ง/อาทิตย์)

2.) ดื่มเป็นประจำ (ทุกวันหรือใน 1 อาทิตย์จะดื่มอย่างน้อย 1 ครั้ง)

3.) ไม่ดื่ม

17. สูบบุหรี่ หรือไม่

1.) ไม่เคย

2.) เคยสูบแต่เลิกแล้ว

3.) ปัจจุบันยังสูบบุหรี่อยู่

18. การออกกำลังกาย ใน 6 เดือนที่ผ่านมา 1) ไม่ออกกำลังกาย 2) ออกกำลังกาย จำนวน..... ครั้ง/สัปดาห์

19. ชนิดของการออกกำลังกายเป็นประจำ

1) การเดิน 2) การวิ่ง 3) บันจอร์ยาน 4) แอโรบิค 5) การยกน้ำหนัก 6) โยคะ

7) วายน้ำ 8) ไทชิ/ซิง 9) ออกกำลังกายทั่วไป 10) เล่นกีฬา 11) อื่นๆระบุ.....

20. ความถี่ของการใช้อุปกรณ์ช่วยเดิน

1) ไม่ใช้ 2) ใช้ตลอดเวลา 3) ใช้เป็นครั้งคราว

21. ชนิดของอุปกรณ์ช่วยเดินที่ใช้

- 1) ไม่ใช้ 2) ไม่แท้ 3) สีขาช่วยเดิน 4) รถเข็น 5) อื่นๆระบุ.....

22. การกั้วการล้้ม

- 1) ไม่กั้ว 2) กั้วน้อย 3) กั้วปานกลาง 4) กั้วมาก

23. ประวัติการล้้มในระยะ 6 เดือนที่ผ่านมา

- 23.1) ไม่เคยล้้ม 23.2) เคยล้้ม จำนวนครั้งที่ล้้มครั้ง (หากเคยล้้มทำข้อย่อยต่อ)

ช่วง วัน/เดือน/ปี ที่ล้้ม ในตารางสามารถเลือกได้มากกว่า 1 ข้อ

23.2.1 สถานที่ล้้ม	<input type="checkbox"/> 1. ภายในบ้าน <input type="checkbox"/> 2. รอบตัวบ้าน <input type="checkbox"/> 3. ในชุมชน <input type="checkbox"/> 4. อื่นๆ ระบุ.....
23.2.2 สาเหตุการล้้ม	<input type="checkbox"/> 1. กล้ามเนื้อลำตัวและขาอ่อนแรง <input type="checkbox"/> 2. สูญเสียการทรงตัว <input type="checkbox"/> 3. ความบกพร่องของการรับความรู้สึก <input type="checkbox"/> 4. กล้ามเนื้ออ่อนแรงจากการใช้งานมากเกินไป <input type="checkbox"/> 5. ปัญหาด้านการมองเห็น <input type="checkbox"/> 6. หน้ามืด วิงเวียนศีรษะ เป็นลม <input type="checkbox"/> 7. ผลข้างเคียงจากการใช้ยา <input type="checkbox"/> 8. ดื่มแอลกอฮอล์ <input type="checkbox"/> 9. เคลื่อนไหวเร็วเกินไป <input type="checkbox"/> 10. ไม่ได้ใส่ใจกับความเคลื่อนไหวขณะนั้น <input type="checkbox"/> 11. สวมรองเท้าไม่เหมาะสม (เช่น ส้นสูง หลวม) <input type="checkbox"/> 12. ใส่ผ้าถุง กระโปรงหรือกางเกงยาวเกินไป <input type="checkbox"/> 13. แสงสว่างไม่เพียงพอ <input type="checkbox"/> 14. สิ่งแวดล้อมไม่เหมาะสม/ เป็นอันตราย <input type="checkbox"/> 15. สะดุดล้้ม <input type="checkbox"/> 16. พื้นลื่น มีน้ำขัง <input type="checkbox"/> 17. อื่นๆ ระบุ.....

23.2.3 การล้มในขณะที่ทำ กิจกรรมข้อใด	<input type="checkbox"/> 1. ล้มขณะเปลี่ยนท่าทาง <input type="checkbox"/> 4. ล้มขณะวิ่ง <input type="checkbox"/> 2. ล้มขณะยืน <input type="checkbox"/> 5. อื่นๆ ระบุ..... <input type="checkbox"/> 3. ล้มขณะเดิน
23.2.4 ผลสืบเนื่องทางกาย	<input type="checkbox"/> 1. ไม่มี <input type="checkbox"/> 2. ฟกช้ำ แผลถลอก <input type="checkbox"/> 3. กล้ามเนื้อหรือเอ็นฉีกขาด <input type="checkbox"/> 4. ข้อหลุด <input type="checkbox"/> 5. กระดูกหัก <input type="checkbox"/> 6. สลบ <input type="checkbox"/> 7. อื่นๆ ระบุ.....
23.2.5 ผลสืบเนื่องต่อ ความสามารถในการทำกิจกรรม ประจำวัน	<input type="checkbox"/> 1. ไม่มี <input type="checkbox"/> 2. ต้องใช้เวลาอนพักบนเตียงนานขึ้น <input type="checkbox"/> 3. มีส่วนร่วมกับกิจกรรมในชุมชนน้อยลง <input type="checkbox"/> 4. ดูแลและช่วยเหลือตนเองได้ลดลง <input type="checkbox"/> 5. ทำงานได้น้อยลง <input type="checkbox"/> 6. มีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่นลดลง <input type="checkbox"/> 7. มีความสามารถในการทำรายได้ลดลง <input type="checkbox"/> 8. เสียเวลาในการต้องรับการรักษาทางการแพทย์ <input type="checkbox"/> 9. อื่นๆ ระบุ.....
23.2.6 การรักษาที่ได้รับ	<input type="checkbox"/> 1. ไม่มี <input type="checkbox"/> 2. รักษาด้วยตนเอง <input type="checkbox"/> 3. รับการรักษาในโรงพยาบาล โดย <div style="margin-left: 40px;"><input type="checkbox"/>1) พบแพทย์พยาบาลแล้วกลับไปรักษาตัวที่บ้าน</div> <div style="margin-left: 40px;">โดย</div> <div style="margin-left: 40px;">ไม่ต้องนอนรักษาในโรงพยาบาล</div> <div style="margin-left: 40px;"><input type="checkbox"/>2) ต้องนอนรักษาในโรงพยาบาลระบุจำนวนวัน</div> <div style="margin-left: 40px;">.....วัน</div>

24. ระยะจากท้ายทอยถึงผนังในขณะยืนตรง.....ซม. (ความรุนแรงของภาวะกระดูกสันหลังค่อมระดับอก)

แปลผล น้อย (5 ซม.) ปานกลาง (5.1 – 8 ซม.) มาก (> 8 ซม.)

ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัย

25. ลักษณะที่อยู่ปัจจุบันของท่านเป็นอย่างไร

- 1) บ้านไม้ยกพื้น 2) บ้านเดี่ยว 3) บ้านแฝด 4) ทาวน์เฮ้าส์
 5) ตึกแถว 6) อื่นๆ (ระบุ).....

26. ปัจจุบันท่านพักหรือนอนอยู่ชั้นไหน

- 1) ชั้นบน 2) ชั้นล่าง 3) พักคอนโดหรืออพาร์ทเมนต์
 4) ชั้นที่.....

27. ท่านมีปัญหาที่อยู่อาศัยในเรื่อง พื้นที่ใช้สอยหรือไม่ (ห้องน้ำ, ห้องนอน, บันได ฯลฯ)

- 1) ไม่มีปัญหา 2) มีปัญหา (ระบุ).....

28. ปัจจุบันความถี่ในการใช้บันไดของท่านต่อวันประมาณเท่าใด

- 1) ไม่ใช้ 2) 1 – 3 ครั้ง 3) 4 – 6 ครั้ง 4) มากกว่า 6 ครั้ง

ส่วนที่ 2 การเก็บข้อมูลโดยการทดลอง

1. ตารางบันทึกเวลาการทดลองการใช้น้ำได้ขึ้นและลง

ขนาดลูกตุ้ม (เซนติเมตร)	เวลาที่ใช้น้ำทดลองครั้งที่ (วินาที)						ค่าเวลาเฉลี่ย (วินาที)
	1			2			
	ขึ้น	ลง	รวม	ขึ้น	ลง	รวม	
12							
13							
14							
15							

2. ระดับคะแนนความพึงพอใจของผู้สูงอายุต่อความสูงของลูกตุ้มบันไดขนาดต่าง ๆ

ขนาดลูกตุ้ม (เซนติเมตร)	ระดับความพึงพอใจ					หมายเหตุ
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด	
	5	4	3	2	1	
12						
13						
14						
15						

ปัญหา.....

ข้อเสนอแนะ.....

ภาคผนวก ข

ผลค่าแรง GRF ของผู้ถูกทดลองจำนวน 10 คน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.1 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยแรง GRF ของตัวแปร Fz2 Fz3 Fz4 bn และ en

ผู้ถูกทดลอง ลำดับที่	ขนาดลูกตุ้ม บันได (cm)	ขณะขึ้น/ ลงบันได	Fz2 (N)	Fz2 (BW)	Fz3 (N)	Fz3 (BW)	Fz4 (N)	Fz4 (BW)	bn (N/s)	bn (BW/s)	en (N/s)	en (BW/s)	น้ำหนัก (kg)
1	12	ขึ้น	623.883	1.010	583.230	0.944	626.247	1.014	1987.470	3.217	-2843.450	-4.602	63.000
2	12	ขึ้น	525.057	1.056	387.089	0.779	530.950	1.068	2172.963	4.370	-3168.317	-6.372	50.700
3	12	ขึ้น	662.838	1.009	639.526	0.973	661.509	1.007	1859.648	2.830	-3177.103	-4.835	67.000
4	12	ขึ้น	672.242	1.039	584.458	0.903	679.377	1.050	1572.726	2.430	-3336.958	-5.156	66.000
5	12	ขึ้น	669.618	1.018	618.837	0.940	682.373	1.037	1914.225	2.909	-2194.868	-3.335	67.100
6	12	ขึ้น	556.727	1.032	488.738	0.906	551.807	1.023	1949.606	3.615	-2882.561	-5.344	55.000
7	12	ขึ้น	704.848	0.986	660.698	0.924	728.962	1.020	2370.282	3.315	-4157.182	-5.815	72.900
8	12	ขึ้น	493.213	0.992	490.375	0.986	526.370	1.059	1734.297	3.488	-3385.916	-6.810	50.700
9	12	ขึ้น	637.008	1.015	560.327	0.893	643.670	1.026	2079.011	3.312	-3372.467	-5.373	64.000
10	12	ขึ้น	635.330	1.032	580.731	0.943	640.042	1.039	1654.451	2.686	-2581.346	-4.191	62.800
1	13	ขึ้น	619.373	1.003	564.329	0.913	656.471	1.063	2287.119	3.702	-3191.055	-5.165	63.000
2	13	ขึ้น	524.014	1.054	386.847	0.778	532.722	1.071	2041.413	4.106	-3105.165	-6.245	50.700
3	13	ขึ้น	663.101	1.009	627.913	0.956	684.568	1.042	2011.009	3.061	-3476.668	-5.291	67.000
4	13	ขึ้น	690.291	1.067	588.956	0.910	712.265	1.100	1592.741	2.461	-3463.801	-5.352	66.000
5	13	ขึ้น	672.648	1.022	604.625	0.919	697.867	1.061	2319.175	3.524	-2361.761	-3.589	67.100
6	13	ขึ้น	552.844	1.025	499.544	0.926	564.358	1.046	1908.375	3.538	-3345.779	-6.203	55.000
7	13	ขึ้น	700.727	0.980	657.592	0.920	741.654	1.037	1993.546	2.789	-2848.645	-3.985	72.900

ตารางที่ ข.1 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยแรง GRF ของตัวแปร Fz2 Fz3 Fz4 bn และ en (ต่อ)

ผู้ถูกทดลอง ลำดับที่	ขนาดลูกตุ้ม บันได (cm)	ขณะขึ้น/ ลงบันได	Fz2 (N)	Fz2 (BW)	Fz3 (N)	Fz3 (BW)	Fz4 (N)	Fz4 (BW)	bn (N/s)	bn (BW/s)	en (N/s)	en (BW/s)	น้ำหนัก (kg)
8	13	ขึ้น	511.591	1.029	478.100	0.962	529.823	1.066	1580.142	3.178	-3180.806	-6.397	50.700
9	13	ขึ้น	638.733	1.018	568.709	0.906	657.665	1.048	1639.599	2.612	-3445.540	-5.490	64.000
10	13	ขึ้น	625.995	1.016	578.025	0.939	649.965	1.055	2387.985	3.877	-3091.464	-5.020	62.800
1	14	ขึ้น	631.668	1.022	580.184	0.939	679.331	1.100	1903.798	3.081	-3196.093	-5.173	63.000
2	14	ขึ้น	520.623	1.047	390.511	0.785	543.243	1.093	2371.676	4.770	-3246.365	-6.529	50.700
3	14	ขึ้น	683.998	1.041	629.836	0.959	686.999	1.046	1762.466	2.682	-3785.663	-5.762	67.000
4	14	ขึ้น	676.915	1.046	602.014	0.930	710.839	1.098	1796.785	2.776	-3107.490	-4.801	66.000
5	14	ขึ้น	672.711	1.022	603.960	0.918	692.120	1.052	1814.782	2.758	-3355.664	-5.100	67.100
6	14	ขึ้น	552.073	1.024	473.190	0.877	552.679	1.025	1808.321	3.353	-3736.336	-6.927	55.000
7	14	ขึ้น	722.318	1.010	664.625	0.930	732.418	1.024	1916.297	2.680	-3289.160	-4.601	72.900
8	14	ขึ้น	513.628	1.033	465.469	0.936	549.221	1.105	1820.987	3.662	-3119.045	-6.273	50.700
9	14	ขึ้น	652.596	1.040	513.056	0.817	656.129	1.045	1797.884	2.865	-3141.169	-5.005	64.000
10	14	ขึ้น	636.807	1.034	585.034	0.950	652.454	1.059	1921.792	3.120	-1815.080	-2.947	62.800
1	15	ขึ้น	631.121	1.022	576.058	0.932	672.742	1.089	1887.732	3.055	-3700.945	-5.990	63.000
2	15	ขึ้น	532.357	1.071	399.952	0.804	560.201	1.127	2377.273	4.781	-3314.461	-6.666	50.700
3	15	ขึ้น	677.392	1.031	628.149	0.956	703.164	1.070	2087.895	3.178	-3082.312	-4.691	67.000
4	15	ขึ้น	667.347	1.031	596.547	0.922	704.005	1.088	1732.749	2.677	-2436.917	-3.765	66.000

ตารางที่ ข.1 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยแรง GRF ของตัวแปร Fz2 Fz3 Fz4 bn และ en (ต่อ)

ผู้ถูกทดลอง ลำดับที่	ขนาดลูกตั้ง บันได (cm)	ขณะขึ้น/ ลงบันได	Fz2 (N)	Fz2 (BW)	Fz3 (N)	Fz3 (BW)	Fz4 (N)	Fz4 (BW)	bn (N/s)	bn (BW/s)	en (N/s)	en (BW/s)	น้ำหนัก (kg)
5	15	ขึ้น	660.208	1.003	625.604	0.951	707.098	1.075	1186.427	1.803	-2668.257	-4.055	67.100
6	15	ขึ้น	552.157	1.024	472.948	0.877	552.442	1.024	1788.047	3.315	-3239.534	-6.006	55.000
7	15	ขึ้น	738.649	1.033	664.952	0.930	743.921	1.041	2425.967	3.393	-3145.583	-4.400	72.900
8	15	ขึ้น	512.717	1.031	453.923	0.913	535.466	1.077	1706.582	3.432	-3378.422	-6.795	50.700
9	15	ขึ้น	639.435	1.019	553.493	0.882	668.402	1.065	1732.590	2.761	-4627.037	-7.372	64.000
10	15	ขึ้น	637.347	1.035	569.859	0.925	662.572	1.076	1890.000	3.069	-2619.381	-4.253	62.800
1	12	ลง	739.541	1.197	583.175	0.944	614.979	0.995	630.653	1.021	-2852.103	-4.616	63.000
2	12	ลง	625.476	1.258	429.669	0.864	469.642	0.945	6425.935	12.924	-2805.356	-5.642	50.700
3	12	ลง	693.661	1.056	627.100	0.954	658.842	1.003	3871.851	5.893	-3340.015	-5.083	67.000
4	12	ลง	705.890	1.091	613.568	0.948	638.859	0.987	2908.751	4.494	-2207.551	-3.411	66.000
5	12	ลง	771.745	1.173	614.415	0.934	658.795	1.001	3434.347	5.219	-1256.555	-1.910	67.100
6	12	ลง	644.601	1.195	505.239	0.937	518.388	0.961	4667.758	8.654	-2595.245	-4.812	55.000
7	12	ลง	762.798	1.067	676.557	0.946	704.089	0.985	3511.373	4.912	-2219.106	-3.104	72.900
8	12	ลง	554.881	1.116	474.438	0.954	499.863	1.005	2514.356	5.057	-1693.575	-3.406	50.700
9	12	ลง	649.979	1.036	549.641	0.876	645.997	1.029	2527.056	4.026	-2014.106	-3.209	64.000
10	12	ลง	682.997	1.109	568.684	0.923	632.509	1.027	2908.517	4.723	-2092.432	-3.398	62.800
1	13	ลง	711.739	1.152	580.230	0.939	626.517	1.014	4208.426	6.812	-2766.905	-4.478	63.000

ตารางที่ ข.1 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยแรง GRF ของตัวแปร Fz2 Fz3 Fz4 bn และ en (ต่อ)

ผู้ถูกทดลอง ลำดับที่	ขนาดลูกตั้ง บันได (cm)	ขณะขึ้น/ ลงบันได	Fz2 (N)	Fz2 (BW)	Fz3 (N)	Fz3 (BW)	Fz4 (N)	Fz4 (BW)	bn (N/s)	bn (BW/s)	en (N/s)	en (BW/s)	น้ำหนัก (kg)
2	13	ลง	718.312	1.445	422.404	0.850	462.140	0.929	4968.270	9.992	-3679.423	-7.400	50.700
3	13	ลง	686.689	1.045	613.960	0.934	657.647	1.001	4888.517	7.440	-2394.220	-3.644	67.000
4	13	ลง	715.900	1.106	587.457	0.908	637.735	0.985	4059.998	6.273	-3135.101	-4.844	66.000
5	13	ลง	788.986	1.199	604.032	0.918	649.139	0.986	5307.105	8.065	-1061.240	-1.613	67.100
6	13	ลง	655.502	1.215	490.174	0.909	541.694	1.004	4831.563	8.958	-2610.074	-4.839	55.000
7	13	ลง	763.764	1.068	646.986	0.905	717.564	1.004	3127.414	4.375	-1902.815	-2.662	72.900
8	13	ลง	571.686	1.150	461.767	0.929	506.127	1.018	3201.654	6.439	-1913.035	-3.848	50.700
9	13	ลง	678.124	1.080	586.547	0.935	645.086	1.028	5731.772	9.132	-1697.482	-2.705	64.000
10	13	ลง	700.241	1.137	597.855	0.971	619.506	1.006	1662.487	2.699	-2568.970	-4.171	62.800
1	14	ลง	750.662	1.215	579.288	0.938	627.326	1.015	3231.623	5.231	-1579.406	-2.556	63.000
2	14	ลง	697.773	1.403	433.491	0.872	495.342	0.996	5983.106	12.033	-2730.200	-5.491	50.700
3	14	ลง	698.389	1.063	594.729	0.905	648.355	0.987	1004.094	1.528	-3060.192	-4.657	67.000
4	14	ลง	836.876	1.293	615.473	0.951	642.651	0.993	5611.462	8.670	-2738.402	-4.231	66.000
5	14	ลง	789.644	1.200	621.919	0.945	648.554	0.986	3095.113	4.704	-1485.352	-2.257	67.100
6	14	ลง	629.558	1.167	501.044	0.929	535.598	0.993	3729.666	6.915	-1600.894	-2.968	55.000
7	14	ลง	765.675	1.071	666.839	0.933	715.753	1.001	3589.620	5.021	-2086.381	-2.918	72.900
8	14	ลง	574.272	1.155	465.853	0.937	513.130	1.032	2042.885	4.109	-1766.678	-3.553	50.700
9	14	ลง	708.109	1.128	551.106	0.878	625.788	0.997	4883.350	7.781	-1950.092	-3.107	64.000

ตารางที่ ข.1 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยแรง GRF ของตัวแปร Fz2 Fz3 Fz4 bn และ en (ต่อ)

ผู้ถูกทดลอง ลำดับที่	ขนาดลูกตั้ง บันได (cm)	ขณะขึ้น/ ลงบันได	Fz2 (N)	Fz2 (BW)	Fz3 (N)	Fz3 (BW)	Fz4 (N)	Fz4 (BW)	bn (N/s)	bn (BW/s)	en (N/s)	en (BW/s)	น้ำหนัก (kg)
10	14	ลง	743.968	1.208	548.956	0.891	625.565	1.016	3178.874	5.162	-2315.320	-3.759	62.800
1	15	ลง	774.423	1.253	577.651	0.935	651.936	1.055	4987.869	8.073	-2885.945	-4.671	63.000
2	15	ลง	722.002	1.452	424.584	0.854	514.480	1.035	6375.746	12.823	-2707.437	-5.445	50.700
3	15	ลง	734.675	1.118	616.408	0.938	662.736	1.009	5108.752	7.775	-2195.270	-3.341	67.000
4	15	ลง	853.316	1.318	593.968	0.918	645.636	0.998	6716.713	10.377	-2541.284	-3.926	66.000
5	15	ลง	826.494	1.256	605.169	0.920	640.900	0.974	4068.502	6.183	-1549.371	-2.355	67.100
6	15	ลง	670.486	1.243	490.987	0.910	545.880	1.012	4042.289	7.494	-2966.595	-5.500	55.000
7	15	ลง	793.088	1.109	646.168	0.904	714.224	0.999	3965.438	5.547	-2193.393	-3.068	72.900
8	15	ลง	586.702	1.180	457.308	0.920	516.073	1.038	2762.371	5.556	-1665.181	-3.349	50.700
9	15	ลง	712.940	1.136	562.293	0.896	635.293	1.012	6450.582	10.278	-2011.757	-3.205	64.000
10	15	ลง	754.438	1.225	556.182	0.903	633.625	1.029	2477.961	4.024	-1962.942	-3.187	62.800

ภาคผนวก ค

ข้อมูลเวลาของผู้ถูกทดลองขณะใช้บันได จำนวน 100 คน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตาราง ก.1 แสดงข้อมูลค่าเวลาเฉลี่ยที่ผู้ถูกทดลองใช้เดินบันไดขึ้น-ลง

ลำดับผู้ ถูก ทดลอง	ขนาด สูงตั้ง บันได (cm)	เวลา (sec)		ลำดับผู้ ถูก ทดลอง	ขนาด สูงตั้ง บันได (cm)	เวลา (sec)	
		ขณะขึ้นบันได	ขณะลงบันได			ขณะขึ้นบันได	ขณะลงบันได
1	12	5.50	5.27	10	14	4.53	5.88
1	13	3.67	9.00	10	15	5.50	4.53
1	14	4.27	7.28	11	12	4.38	7.20
1	15	4.63	6.42	11	13	5.99	9.83
2	12	7.38	5.07	11	14	4.43	3.07
2	13	3.54	6.34	11	15	4.36	4.11
2	14	3.91	4.65	12	12	4.51	6.54
2	15	4.81	3.66	12	13	4.29	4.00
3	12	5.93	6.75	12	14	4.65	6.63
3	13	4.94	4.64	12	15	4.79	5.29
3	14	5.32	3.38	13	12	3.93	5.82
3	15	5.40	4.27	13	13	4.67	5.91
4	12	5.35	4.87	13	14	4.86	6.67
4	13	3.83	4.72	13	15	5.63	5.30
4	14	4.24	2.73	14	12	4.18	5.24
4	15	4.80	4.78	14	13	4.68	4.34
5	12	4.82	3.98	14	14	4.96	5.27
5	13	5.10	6.66	14	15	6.28	5.23
5	14	4.78	9.54	15	12	3.53	4.11
5	15	5.17	5.33	15	13	3.87	6.37
6	12	6.00	5.24	15	14	3.72	4.33
6	13	4.69	7.63	15	15	6.85	6.20
6	14	4.29	5.69	16	12	4.57	8.38
6	15	4.44	5.58	16	13	5.86	5.55
7	12	4.68	10.30	16	14	5.63	5.71
7	13	5.79	9.18	16	15	6.68	8.99
7	14	4.49	5.36	17	12	4.35	5.46
7	15	4.83	10.94	17	13	4.89	6.46
8	12	4.78	6.41	17	14	4.48	9.64
8	13	5.77	3.19	17	15	7.34	9.88

ตาราง ก.1 แสดงข้อมูลค่าเวลาเฉลี่ยที่ผู้ถูกทดลองใช้เดินบันไดขึ้น-ลง (ต่อ)

ลำดับผู้ ถูก ทดลอง	ขนาดลูก ตั้งบันได (cm)	เวลา (sec)		ลำดับผู้ ถูก ทดลอง	ขนาดลูก ตั้งบันได (cm)	เวลา (sec)	
		ขณะขึ้นบันได	ขณะลงบันได			ขณะขึ้นบันได	ขณะลงบันได
8	14	5.16	7.53	18	12	5.12	5.51
8	15	5.40	6.08	18	13	5.67	8.45
9	12	6.00	5.64	18	14	5.55	8.52
9	13	5.70	1.25	18	15	5.48	3.52
9	14	5.88	5.36	19	12	7.18	5.96
9	15	5.15	5.67	19	13	7.13	5.61
10	12	5.72	4.86	19	14	7.54	5.05
10	13	4.78	4.81	19	15	8.47	5.30
20	12	5.07	5.95	29	12	5.10	6.27
20	13	5.25	6.64	29	13	7.24	3.19
20	14	5.57	4.75	29	14	4.69	8.78
20	15	4.82	5.40	29	15	5.06	6.32
21	12	4.57	6.59	30	12	3.14	4.80
21	13	4.72	7.76	30	13	3.09	7.61
21	14	5.44	6.66	30	14	3.56	6.71
21	15	6.16	9.41	30	15	2.89	7.34
22	12	5.57	3.62	31	12	6.92	0.63
22	13	7.10	5.51	31	13	5.83	5.48
22	14	8.54	5.65	31	14	6.37	5.31
22	15	6.15	4.78	31	15	6.33	7.28
23	12	5.66	4.38	32	12	4.37	6.07
23	13	4.44	4.63	32	13	3.72	8.33
23	14	6.61	4.56	32	14	4.98	3.84
23	15	4.49	5.96	32	15	4.72	7.86
24	12	5.67	6.54	33	12	4.12	5.73
24	13	4.61	4.56	33	13	3.97	4.89
24	14	5.20	3.66	33	14	4.23	4.70
24	15	5.09	4.81	33	15	4.31	4.77
25	12	7.92	5.55	34	12	4.31	3.96
25	13	8.31	4.95	34	13	4.12	5.88

ตาราง ก.1 แสดงข้อมูลค่าเวลาเฉลี่ยที่ผู้ถูกทดลองใช้เดินบันไดขึ้น-ลง (ต่อ)

ลำดับผู้ ถูก ทดลอง	ขนาด ลูกตั้ง บันได (cm)	เวลา (sec)		ลำดับผู้ ถูก ทดลอง	ขนาดลูก ตั้งบันได (cm)	เวลา (sec)	
		ขณะขึ้นบันได	ขณะลงบันได			ขณะขึ้นบันได	ขณะลงบันได
25	14	6.69	3.41	34	14	5.45	5.89
25	15	6.12	5.76	34	15	4.89	4.33
26	12	6.87	4.41	35	12	4.19	3.33
26	13	6.16	6.99	35	13	4.64	4.26
26	14	5.13	8.86	35	14	4.93	5.13
26	15	6.20	5.70	35	15	6.19	6.54
27	12	4.90	8.67	36	12	4.80	6.88
27	13	4.59	9.79	36	13	4.76	7.82
27	14	4.43	7.42	36	14	5.12	7.00
27	15	4.52	8.15	36	15	4.72	5.71
28	12	6.22	10.58	37	12	3.40	10.33
28	13	5.70	6.74	37	13	3.62	5.01
28	14	4.74	4.87	37	14	7.45	6.93
28	15	4.63	5.97	37	15	3.49	8.99
38	12	4.26	6.47	47	12	5.30	6.79
38	13	3.96	5.87	47	13	4.58	6.60
38	14	4.72	8.03	47	14	5.92	5.53
38	15	5.19	9.83	47	15	4.91	6.11
39	12	4.90	4.86	48	12	4.73	8.95
39	13	5.66	6.28	48	13	4.84	8.44
39	14	5.14	7.33	48	14	6.36	9.92
39	15	4.62	2.93	48	15	5.81	5.22
40	12	3.21	7.05	49	12	5.91	6.94
40	13	7.22	6.26	49	13	6.42	5.34
40	14	8.22	4.59	49	14	6.42	8.53
40	15	5.00	6.40	49	15	7.61	7.04
41	12	5.36	3.58	50	12	6.07	6.55
41	13	5.17	6.66	50	13	4.24	8.62
41	14	4.28	4.50	50	14	3.64	5.87

ตาราง ก.1 แสดงข้อมูลค่าเวลาเฉลี่ยที่ผู้ถูกทดลองใช้เดินบันไดขึ้น-ลง (ต่อ)

ลำดับผู้ ถูก ทดลอง	ขนาด สูงตั้ง บันได (cm)	เวลา (sec)		ลำดับผู้ ถูก ทดลอง	ขนาด สูงตั้ง บันได (cm)	เวลา (sec)	
		ขณะขึ้นบันได	ขณะลงบันได			ขณะขึ้นบันได	ขณะลงบันได
41	15	4.13	5.54	50	15	5.03	6.00
42	12	9.21	5.84	51	12	8.17	6.69
42	13	9.02	5.04	51	13	6.09	5.19
42	14	8.63	5.77	51	14	7.86	5.60
42	15	9.04	9.61	51	15	6.68	4.44
43	12	8.05	7.82	52	12	5.92	5.90
43	13	5.64	6.04	52	13	5.14	5.51
43	14	8.28	4.39	52	14	5.18	6.97
43	15	9.20	3.65	52	15	5.22	3.98
44	12	5.56	4.36	53	12	6.33	5.84
44	13	5.15	3.71	53	13	4.64	6.98
44	14	5.10	5.57	53	14	5.00	4.42
44	15	5.76	6.50	53	15	5.08	4.85
45	12	5.54	8.63	54	12	4.99	5.56
45	13	4.95	7.55	54	13	3.76	6.12
45	14	4.62	5.53	54	14	3.84	3.79
45	15	4.39	7.04	54	15	4.33	7.81
46	12	4.24	11.02	55	12	7.16	6.17
46	13	4.69	7.43	55	13	6.21	7.67
46	14	3.99	5.94	55	14	6.45	6.17
46	15	5.40	6.79	55	15	7.58	5.06
56	12	5.52	3.84	65	12	7.80	5.49
56	13	5.51	11.02	65	13	5.11	6.35
56	14	5.75	9.12	65	14	5.61	9.66
56	15	4.85	5.84	65	15	4.49	6.62
57	12	6.47	4.65	66	12	5.58	8.29
57	13	4.91	1.70	66	13	5.14	6.24
57	14	4.59	6.73	66	14	5.77	6.98
57	15	4.49	5.75	66	15	5.93	5.49
58	12	5.80	4.15	67	12	5.52	8.41
58	13	5.36	4.26	67	13	4.33	4.13

ตาราง ก.1 แสดงข้อมูลค่าเวลาเฉลี่ยที่ผู้ถูกทดลองใช้เดินบันไดขึ้น-ลง (ต่อ)

ลำดับผู้ ถูก ทดลอง	ขนาด สูงตั้ง บันได (cm)	เวลา (sec)		ลำดับผู้ ถูก ทดลอง	ขนาด สูงตั้ง บันได (cm)	เวลา (sec)	
		ขณะขึ้นบันได	ขณะลงบันได			ขณะขึ้นบันได	ขณะลงบันได
58	14	5.44	4.55	67	14	5.61	5.01
58	15	5.91	3.86	67	15	5.02	9.11
59	12	5.52	6.27	68	12	4.34	4.58
59	13	6.89	4.73	68	13	4.35	4.94
59	14	5.16	7.13	68	14	5.81	5.89
59	15	5.24	6.44	68	15	4.84	5.49
60	12	7.57	5.02	69	12	5.20	3.64
60	13	7.44	4.62	69	13	5.87	6.09
60	14	7.54	7.44	69	14	6.43	5.92
60	15	6.62	6.35	69	15	5.41	6.77
61	12	5.74	6.20	70	12	5.33	6.29
61	13	5.17	8.25	70	13	5.02	6.01
61	14	6.65	9.32	70	14	5.05	3.70
61	15	8.53	5.35	70	15	5.22	6.92
62	12	6.55	5.55	71	12	5.43	7.35
62	13	7.19	6.74	71	13	4.66	4.44
62	14	6.64	6.35	71	14	4.54	5.24
62	15	7.70	8.56	71	15	4.99	8.24
63	12	6.19	7.01	72	12	5.88	7.79
63	13	9.52	5.46	72	13	4.70	5.97
63	14	5.81	6.01	72	14	4.34	4.05
63	15	8.94	6.14	72	15	5.36	3.62
64	12	6.55	8.94	73	12	4.56	4.29
64	13	5.97	6.50	73	13	4.25	4.85
64	14	6.64	5.65	73	14	4.08	5.37
64	15	6.42	6.58	73	15	4.00	3.48
74	12	5.94	7.10	83	12	4.32	5.82
74	13	6.03	5.86	83	13	3.90	5.50
74	14	5.64	4.84	83	14	4.44	5.28
74	15	6.29	4.97	83	15	4.23	8.94

ตาราง ก.1 แสดงข้อมูลค่าเวลาเฉลี่ยที่ผู้ถูกทดลองใช้เดินบันไดขึ้น-ลง (ต่อ)

ลำดับผู้ ถูก ทดลอง	ขนาด ถูกตั้ง บันได (cm)	เวลา (sec)		ลำดับผู้ ถูก ทดลอง	ขนาด ถูกตั้ง บันได (cm)	เวลา (sec)	
		ขณะขึ้นบันได	ขณะลงบันได			ขณะขึ้นบันได	ขณะลงบันได
75	12	8.30	9.39	84	12	8.61	7.92
75	13	8.45	6.49	84	13	9.35	6.99
75	14	2.95	4.86	84	14	9.31	7.35
75	15	5.29	6.01	84	15	8.89	6.43
76	12	4.32	6.07	85	12	3.57	5.66
76	13	5.20	6.54	85	13	3.46	8.47
76	14	4.62	6.17	85	14	7.32	10.43
76	15	4.78	6.18	85	15	5.32	5.86
77	12	3.86	8.43	86	12	3.89	7.73
77	13	4.79	8.53	86	13	3.84	6.01
77	14	3.94	14.22	86	14	3.85	6.62
77	15	4.11	5.81	86	15	3.96	5.48
78	12	3.76	6.87	87	12	4.17	4.43
78	13	4.94	7.74	87	13	4.82	4.41
78	14	4.32	11.19	87	14	4.35	4.09
78	15	4.51	5.96	87	15	4.15	6.00
79	12	4.83	5.23	88	12	5.69	7.92
79	13	5.61	5.80	88	13	4.63	5.27
79	14	4.78	5.33	88	14	5.06	6.16
79	15	4.76	5.69	88	15	5.76	6.46
80	12	3.81	9.41	89	12	3.39	5.44
80	13	4.98	5.06	89	13	3.27	5.36
80	14	4.00	5.88	89	14	3.63	9.81
80	15	3.99	5.40	89	15	3.43	6.11
81	12	4.62	5.61	90	12	5.90	5.53
81	13	5.33	5.61	90	13	5.20	5.85
81	14	5.30	7.63	90	14	6.77	5.77
81	15	4.97	5.14	90	15	5.60	8.42
82	12	3.60	5.70	91	12	3.89	8.85
82	13	3.58	9.54	91	13	3.97	6.11

ตาราง ก.1 แสดงข้อมูลค่าเวลาเฉลี่ยที่ผู้ถูกทดลองใช้เดินบันไดขึ้น-ลง (ต่อ)

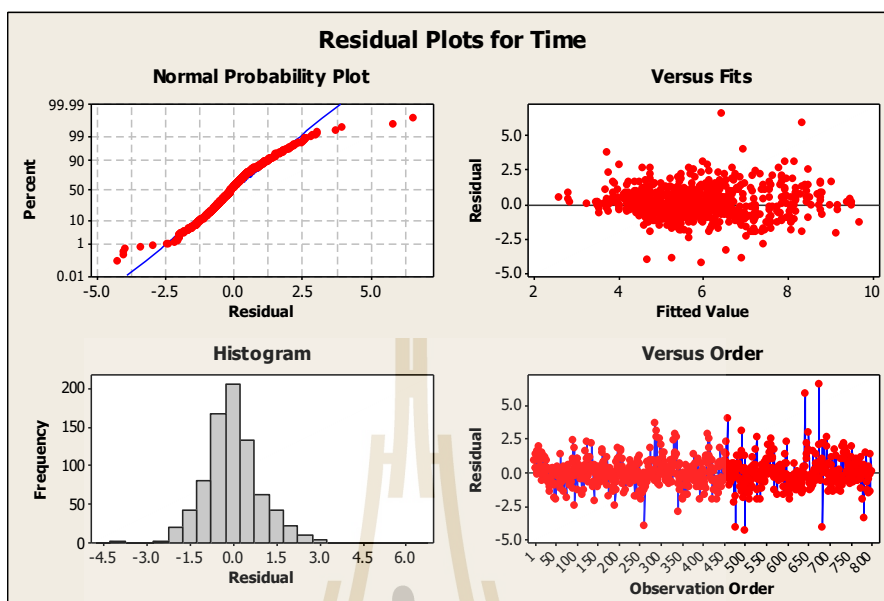
ลำดับผู้ ถูก ทดลอง	ขนาด สูงตั้ง บันได (cm)	เวลา (sec)		ลำดับผู้ ถูก ทดลอง	ขนาด สูงตั้ง บันได (cm)	เวลา (sec)	
		ขณะขึ้นบันได	ขณะลงบันได			ขณะขึ้นบันได	ขณะลงบันได
82	14	4.12	13.03	91	14	4.14	9.55
82	15	3.89	4.47	91	15	3.76	9.79
92	12	5.02	8.09	99	12	5.18	6.81
92	13	4.40	6.05	99	13	4.08	5.40
92	14	5.10	6.69	99	14	4.43	4.04
92	15	4.84	5.80	99	15	5.57	8.02
93	12	5.30	9.07	100	12	5.07	8.04
93	13	4.40	6.04	100	13	6.06	3.98
93	14	9.08	5.96	100	14	5.26	5.12
93	15	5.60	6.99	100	15	5.24	7.30
94	12	6.17	5.15				
94	13	4.68	6.40				
94	14	6.03	7.46				
94	15	6.41	6.02				
95	12	5.63	6.74				
95	13	4.08	4.57				
95	14	7.23	6.00				
95	15	5.40	5.29				
96	12	9.63	7.60				
96	13	4.62	4.34				
96	14	6.92	5.13				
96	15	5.25	8.72				
97	12	5.68	5.06				
97	13	5.30	5.29				
97	14	5.99	5.64				
97	15	5.81	5.63				
98	12	6.59	4.38				
98	13	3.87	3.16				
98	14	5.71	5.33				
98	15	4.73	7.94				

ภาคผนวก ง

ข้อมูลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาที่ใช้เดินบันได

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาขณะขึ้นและลงบันได



General Linear Model: Time versus Stair, UpDown, ID

Factor	Type	Levels	Values
Stair	fixed	4	12, 13, 14, 15
UpDown	fixed	2	ขึ้น, ลง
ID	fixed	100	1-100

Analysis of Variance for Time, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Stair	3	4.917	4.917	1.639	1.30	0.275
UpDown	1	140.247	140.247	140.247	110.89	0.000
Stair*UpDown	3	2.876	2.876	0.959	0.76	0.518
ID	99	1065.970	1065.970	10.767	8.51	0.000
Error	693	876.433	876.433	1.265		
Total	799	2090.442				

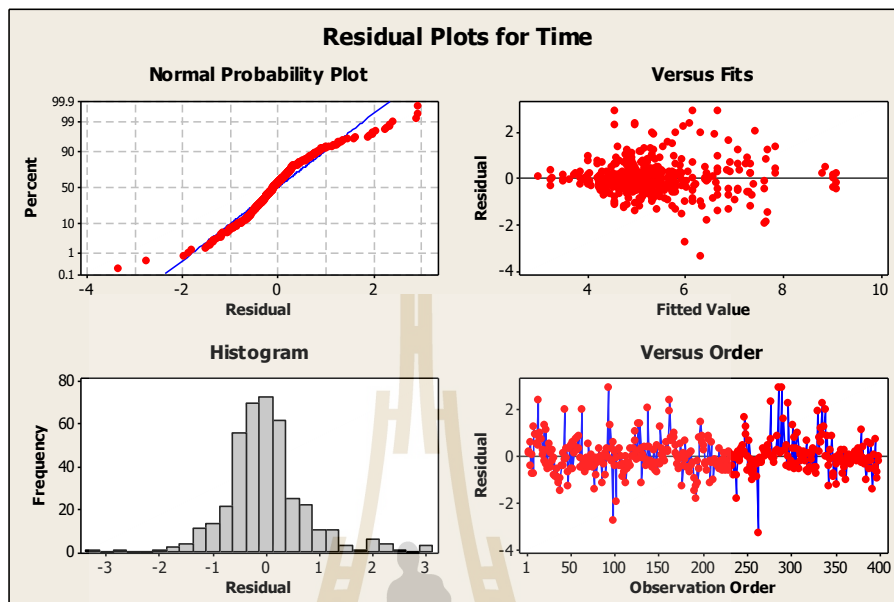
S = 1.12459 R-Sq = 58.07% R-Sq(adj) = 51.66%

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

Stair	UpDown	N	Mean	Grouping
14	ลง	100	6.361	A
15	ลง	100	6.149	A
13	ลง	100	6.147	A
12	ลง	100	6.128	A
15	ขึ้น	100	5.422	B
12	ขึ้น	100	5.418	B
14	ขึ้น	100	5.412	B
13	ขึ้น	100	5.183	B



ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาขณะขึ้นบันได



General Linear Model: Time versus Stair, ID

Factor	Type	Levels	Values
Stair	fixed	4	12, 13, 14, 15
ID	fixed	100	1-100

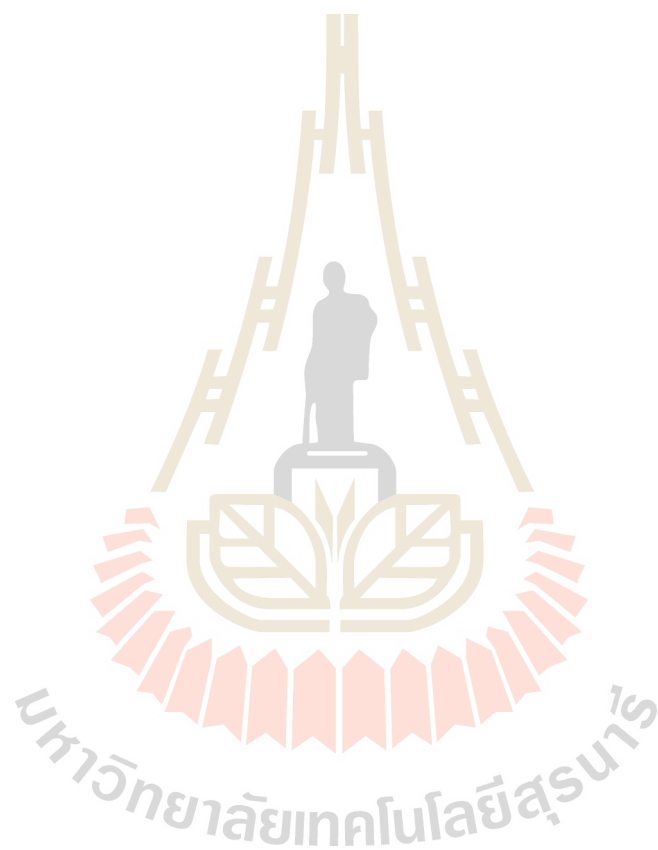
Analysis of Variance for Time, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Stair	3	4.1307	4.1307	1.3769	1.77	0.153
ID	99	432.3960	432.3960	4.3676	5.61	0.000
Error	297	231.3018	231.3018	0.7788		
Total	399	667.8285				

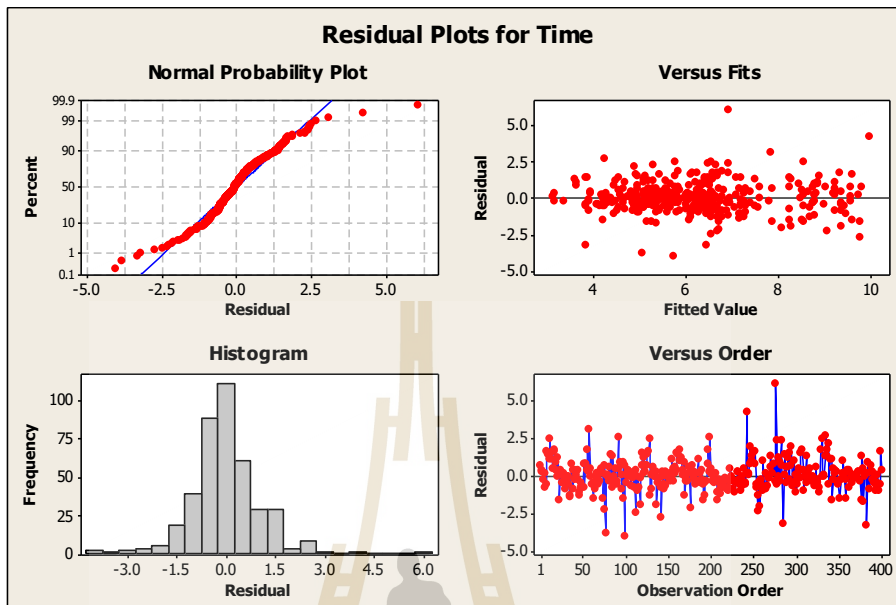
S = 0.882493 R-Sq = 65.37% R-Sq(adj) = 53.47%

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

Stair	N	Mean	Grouping
15	100	5.422	A
12	100	5.418	A
14	100	5.412	A
13	100	5.183	A



ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาขณะลงบันได



General Linear Model: Time versus Stair, ID

Factor	Type	Levels	Values
Stair	fixed	4	12, 13, 14, 15
ID	fixed	100	1-100

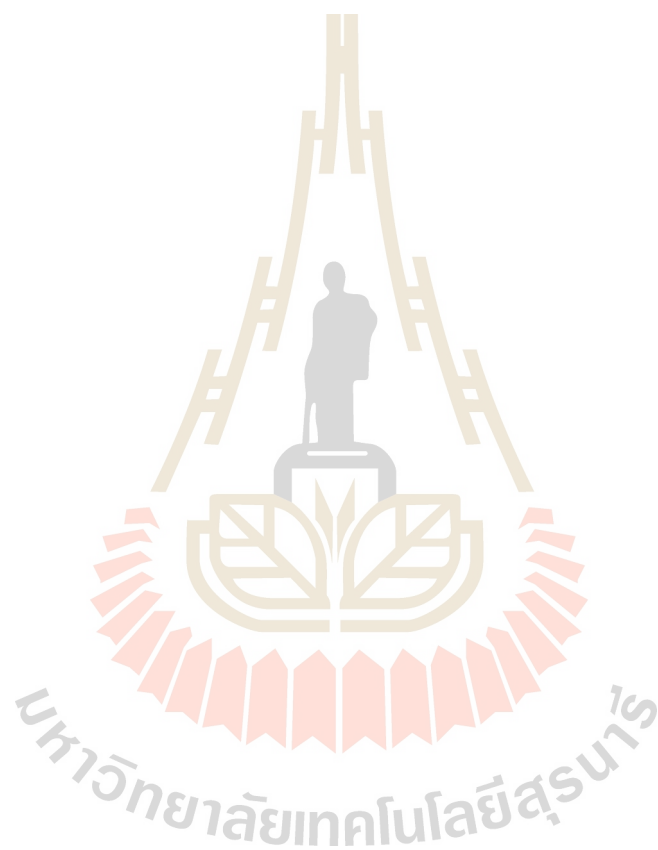
Analysis of Variance for Time, using Adjusted SS for Tests

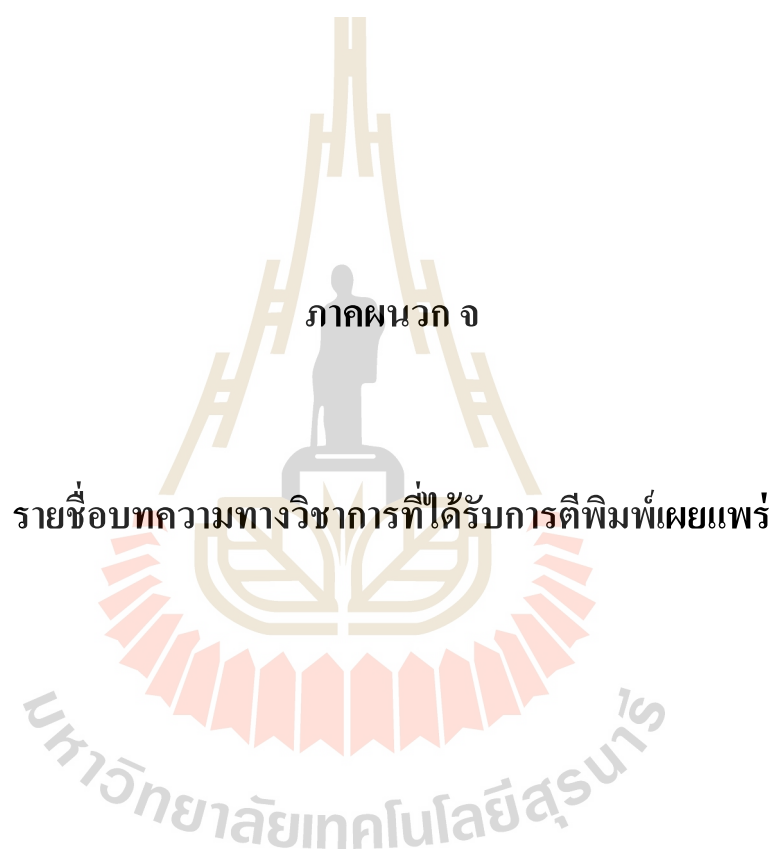
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Stair	3	3.662	3.662	1.221	0.86	0.464
ID	99	855.145	855.145	8.638	6.06	0.000
Error	297	423.559	423.559	1.426		
Total	399	1282.367				

S = 1.19421 R-Sq = 66.97% R-Sq(adj) = 55.63%

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

Stair	N	Mean	Grouping
14	100	6.361	A
15	100	6.149	A
13	100	6.147	A
12	100	6.128	A





ภาคผนวก จ

รายชื่อบทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

รายชื่อบทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

Polpattapee, R., Kurnia, R.D. and Jongkol, P. **Redesign of Workstation Layout of a T-Shirt Printing.** Proceedings of the 11th South East Asian Technical University Consortium Symposium, March 13-14, 2017, Vietnam.



REDESIGN OF WORKSTATION LAYOUT OF A T-SHIRT SCREEN PRINTING PROCESS

Rachaneekorn Polpattapee, Ratih Dianingtyas Kurnia, Pornsiri Jongkol
 Suranaree University of Technology, 111, University Avenue, Suranaree Subdistrict, Muang,
 Nakhon Ratchasima, Thailand 30000
 Email :namtan_2535@hotmail.com

ABSTRACT

This research project studies the process of screen printing process in a small T-shirt business. The whole process of business is conducted in a small two - storey building with 3.5 m. width and 10 m. length. Because of limited space, the present layout is made according to the size of machines and equipment. Therefore, the T-shirt screen printing process is complicated. The objectives of this study are to reduce transportation loss and to increase work efficiency in such a process. Present workstation layout and flow process of screen printing process with a qualified worker are studied using a flow diagram and a flow process chart. Then, data are analyzed to identify the work process which causes loss. After that, workstation layout is revised. The result shows that five workstations are reorganized and reduced to three workstations since some different tasks can be operated in the same place. The transportation for each work cycle is decreased from 51 m. to 35 m. or decreased by 31.37%. This results in work cycle time decrease and production rate increase. After improvement, the flow process chart shows the reduction of transportation from 7 transportations to 6 transportations for each work cycle. It is concluded that the revised workstation layout yields higher productivity than the present one.

Keywords: workstation layout, screen printing process, transportation loss, work efficiency

1. INTRODUCTION

Design of workstation affects worker motion during work and working time. Good workstation design can increase worker comfort and efficiency. Furthermore, it can reduce transportation waste which occurs in manufacturing process. A case study of this project is a small T-shirt business in Thailand. Currently, there are

three types of screen printing: block screen type, heat transfer type, and direct to garment type (DTG). The screen printing process in the case study is the block screen type. Previously, the business owner pays less attention to the workstation and work process design than the marketing. This causes the problem of work flow complication and late delivery. The objectives of this study are to reduce transportation loss and to increase work efficiency in such a process.

2. METHOD

The method of this study is shown as follows.

- 2.1 Study the workstation and flow process of screen printing. Draw the layout of the workstations in the working area using Visio.
- 2.2 Analyze the work method using flow process chart (Figure 1.). Using a flow process chart that is

Flow Process Chart						
Chart type	Operator	Material	Machines	Inventory	Power	Storage
Method	Process	Prepared		Operator		
Use				Transportation		
Activity				Operation		
Location				Delay		
Operator Name (No.)				Storage		
Equipment				Start time (min)		
Address				Operate by /		
				Set		
Event Description	Symbol	Time	Others	Comments		
	○					
	□					
	◇					
	△					
	▽					
	○					
	□					
	◇					
	△					
	▽					
	○					
	□					
	◇					
	△					
	▽					
	○					
	□					
	◇					
	△					
	▽					

Figure 1. Flow process chart used in this study

symbolic of the five classification work shown in Figure 2. The first step is to decide on the boundaries of process, this is screen printing process. The Secondly step is to study screen printing process. The third step is to arrange the activities in proper sequence. The final is that the sequence is correct, draw arrows to show the flow of the process. The results from this step can be used to identify waste during manufacturing.

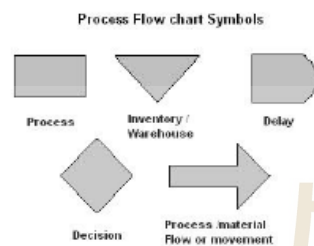


Figure 2. Flow chart symbols by ASME..

2.3 Improve the workstation by minimizing the transportation waste. Working space required is also considered in designing the new workstation and layout.

2.4 Measuring transportation distance per cycle. Then, compare the transportation distance per cycle between the original layout and the improved layout.

3. ANALYSIS

3.1 Figure 3 shows the original layout of the screen printing process. There are five workstations: 1) T-shirt stock, 2) screening table, 3) block and screening color preparation, 4) equipment cleaning, and 5) finished T-shirt. It can be seen that the distance between workstation 2 and 5 is the greatest, and that between workstation 1 and 2 is the second greatest.

In Figure 3, the original process of screen printing starts from moving T-shirts from stock (number 1) to screening table (number 2). Moving to the block and screening color preparation table (number 3) to get block and screening color and then move back to the screening table. After the screen printing is finished, the block is cleaned at the cleaning station (number 4) and kept at table (number 3). The dry t-shirt is stored at the finished product stock (number 5) before being ironed and packed. The work process chart of the worker is shown in Figure 4.

3.2 Processes shown in Figure 4 can be classified as

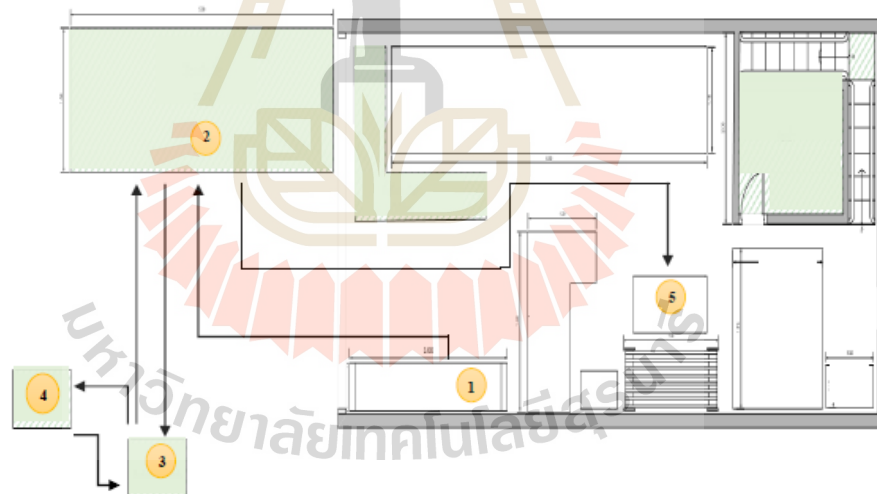


Figure 3. The original layout of the screen printing process.

one stock process, three processes where value added to product, and seven transportations. The non-value added to product is due to long distance transportation. Such a long distance causes a problem of production waste and decreases quality of work since fatigue develops, especially when purchasing order is high volume. The transportation distance is 51 m for each t-shirt screening cycle. Transportation waste occurs at seven positions.

3.3 The first and second layout is improved in order to decrease transportation distance as shown in Figure 5,

7. The number of workstation is also reduced to four: 1) T-shirt preparation, 2) block preparation and color cleaning bowl, 3) hot ironing, and 4) screening table.

3.4 The flow process chart of the improved workstation is shown in Figure 6, 8. The activities can be classified as one stock process, three processes where value added to product, and six transportations

To reduce the transportation distance, the screen table and the hot ironing table are moved to the second floor of the building. The area of the second floor is 16 m².

Flow Process Chart

Chart type: Operator	Material	Machine	Summary	Present	Proposed	Savings
Method: Present	Proposed		Operation	3		
Date:			Transportation	7		
Activity: Shirt Screen Printing Process			Inspection	-		
Location:			Delay	-		
Operator Name / No.			Storage	1		
Department:			Total time (min)	-		
Analyst: Rachasekorn Polpattagae			Distance (m)	51 m		
Event Description	Symbol		Time	Distance	Recommend	
T-shirt Stock	○					
Moving t-shirts to screening table	→			2 m		
T-shirt preparation table	●			10 m		
Moving to get block and color	→			3.5 m		
Moving back to the screening table	→			3.5 m		
Screen printing	○			10 m		
Moving to block cleaned	→			2 m		
Kept at table	○			2.5 m		
Moving back to screening table	→			3.5 m		
Kept T-shirt	○			10 m		
Moving to hot ironing	→			4 m		

Figure 4. The flow process chart of the original process.

The new print screening process starts from moving t-shirts from stock to screening table (number 1) as shown in Figure 5. Moving to the block and screening color preparation table (number 2) to get block and screening color and then move back to the screening table (number 4). After the screen printing is finished, the block is cleaned (number 2) and kept at screen table (number 3), waiting for the hot ironing. With the improved layout, the transportation distance is decreased to 35 m for each t-shirt screening cycle. Also, the transportation waste occurs at five position. The flow process chart is shown in Figure 6. The different of two layouts is transportation. First, there is the distance equal

to 35 m, the second is equal to 57.34 m. The first is an approach to improve workstation layout the approach that is most appropriate because to reduce the transportation distance more than workstation layout 2.

4 .CONCLUSIONS

It can be concluded that the transportation waste is decreased by improving workstation layout. The first workstation layout on transportation distance is reduced from 51 m to 35 m. The number of transportation is decreased from seven to six. The transportation is reduced from 51 to 35 m for each cycle or 31.37% decrease. and

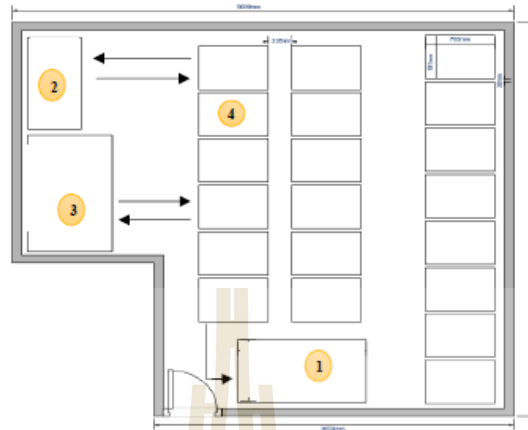


Figure 5. The first improved layout.

Flow Process Chart

Chart type: Operator	Material	Machine	Summary	Present	Proposed	Savings
Method: Present	Proposed		Operation	3	3	-
Date:			Transportation	7	6	1
Activity: Shirt Screen Printing Process			Inspection	-	-	-
Location:			Delay	-	-	-
Operator Name / No.			Storage	1	1	-
Department:			Total time (min)	-	-	-
Analyst: Rachaneekorn Polpattapee			Distance (m)	51 m	35 m	16 m
Event Description	Symbol	Time	Distance	Recommend		
T-shirt Stock	○ → □ → ▢ → ▽ → ▼					
Moving t-shirts to screening table	○ → □ → ▢ → ▽ → ▼		5 m			
T-shirt preparation table	● → □ → ▢ → ▽ → ▼		5.5 m			
Moving to get block and color	○ → □ → ▢ → ▽ → ▼		1 m			
Moving back to the screening table	○ → □ → ▢ → ▽ → ▼		1 m			
Screen printing	● → □ → ▢ → ▽ → ▼		8.5 m			
Moving to block cleaned	○ → □ → ▢ → ▽ → ▼		1 m			
Moving back to screening table	○ → □ → ▢ → ▽ → ▼		1 m			
Kept T-shirt	● → □ → ▢ → ▽ → ▼		5.5 m			
Moving to product stock	○ → □ → ▢ → ▽ → ▼		0.5 m			

Figure 6. The flow process chart of the improved workstation.



Figure 7. The second improved layout.

Flow Process Chart

Chart type: Operator	Material	Machine	Summary	Present	Proposed	Savings
Method: Present	Proposed		Operation	3	3	-
Date:			Transportation	7	6	1
Activity: Shirt Screen Printing Process			Inspection	-	-	-
Location:			Delay	-	-	-
Operator Name / No.			Storage	1	1	-
Department:			Total time (min)	-	-	-
Analyst: Rachaneekorn Polpatapee			Distance (m)	51 m	57.34 m	-
Event Description	Symbol		Time	Distance	Recommend	
T-shirt Stock	○	□				
Moving t-shirts to screening table	○	→		5 m		
T-shirt preparation table	●	□		15.28 m		
Moving to get block and color	○	→		1 m		
Moving back to the screening table	○	→		3 m		
Screen printing	●	□		15.28 m		
Moving to block cleaned	○	→		1 m		
Moving back to screening table	○	→		1 m		
Kept T-shirt	●	□		15.28 m		
Moving to product stock	○	→		0.5 m		

Figure 8. The flow process chart of the second improved workstation.

REFERENCES

American Society of Mechanical Engineers (1947)
ASME standard; operation and flow process charts. New
York, 1947.

Nancy R. Tague's The Quality Toolbox, Second
Edition, ASQ Quality Press, 2004, pages 255–257.

Freivalds A., and Nieble B., Niebel's Methods,
Standards, and Work Design, McGraw-Hill, International
Edition, Twelfth Edition, 2009.

PHOTOS AND INFORMATION

	<p>Rachaneekorn Polpattapee received the B.E. (2015) Degrees in Industrial Engineering from Suranaree University of Technology. She is currently continuing her study on Master Degree at Suranaree University of Technology.</p>
	<p>Ratih Dianingtyas Kurnia received her Bachelor of Engineering majoring in Industrial Engineering from Islamic University of Indonesia. She is currently continuing her study on Doctoral Degree at Suranaree University of Technology, Thailand.</p>
	<p>Pornsiri Jongkol received the B.E. (1989), M.E. (1991), and D.E. (2000) Degrees Industrial Engineering from Dalhousie University. She is a Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Suranaree University of Technology.</p>

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นางสาวรชนีกร พลปัดพี เกิดวันเสาร์ที่ 13 มิถุนายน พ.ศ.2535 เริ่มศึกษาชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนอนุบาลชัยภูมิ ตำบลในเมือง อำเภอเมืองชัยภูมิ จังหวัดชัยภูมิ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนสตรีชัยภูมิ ตำบลในเมือง อำเภอเมืองชัยภูมิ จังหวัดชัยภูมิ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม) ในปีการศึกษา 2558 ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตำบลสุรนารี อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา

