

อิทธิพลของความกว้างช่องทางเดินและปัจจัยพื้นฐานของมนุษย์ต่ออัตราหน่วงในการเดินผ่าน



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF PASSAGEWAY WIDTH AND BASIC HUMAN FACTORS ON DECELERATION  
RATE OF WALKING THROUGH

Miss Siwalee Jetthumrong



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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของความกว้างช่องทางเดินและปัจจัยพื้นฐานของ
	มนุษย์ต่ออัตราหน่วงในการเดินผ่าน
โดย	นางสาวสิวลี เจตธำรง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร. ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัสวงศ์ โอสถศิลป์)  
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(อาจารย์ ดร. ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล)  
.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. อริศรา เจียมสงวนวงศ์)  
.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(นาวาอากาศเอก รองศาสตราจารย์ สุทธิ ศรีบูรพา)

สิวลี เจตธำรง : อิทธิพลของความกว้างช่องทางเดินและปัจจัยพื้นฐานของมนุษย์ต่ออัตรา  
 หน่วงในการเดินผ่าน (EFFECTS OF PASSAGEWAY WIDTH AND BASIC HUMAN  
 FACTORS ON DECELERATION RATE OF WALKING THROUGH) อ.ที่ปรึกษา  
 วิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร. ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล, 157 หน้า.

ความกว้างของทางสัญจร เป็นปัจจัยหลักอันหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบแผนผัง  
 อาคารสถานที่สาธารณะต่างๆ เนื่องจากส่งผลกระทบต่อเวลาที่ใช้ในการสัญจร วิธีที่นิยมใช้ประเมิน  
 ความกว้างของทางสัญจรในปัจจุบัน ได้แก่ การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ ที่กำหนดให้  
 ความเร็วการเดินของมนุษย์จำลองนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเข้าสู่บริเวณที่แคบลง งานวิจัยนี้จึง  
 ศึกษาอิทธิพลของความกว้างช่องทางเดินที่มีต่ออัตราเร็วการเดินของมนุษย์เป็นรายบุคคล โดยมี  
 ผู้เข้าร่วมการทดลองจำนวน 60 คน เดินผ่านช่องทางเดินที่มีความกว้างตั้งแต่ 40 ถึง 100 เซนติเมตร  
 บันทึกอัตราเร็วการเดินด้วยระบบบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยภาพ ผลการวิจัยพบว่า ผู้เข้าร่วมการ  
 ทดลองทั้งหมดมีพฤติกรรมเป็นไปตามทฤษฎีการแลกเปลี่ยนความเร็วและความแม่นยำ โดยผู้เข้าร่วม  
 การทดลองลดอัตราเร็วการเดินเมื่อช่องทางเดินแคบลง รูปแบบการลดอัตราเร็วมีความหลากหลายซึ่ง  
 สามารถแบ่งพฤติกรรมเหล่านี้ออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ลดอัตราเร็วตามความกว้างช่อง  
 ทางเดินตั้งแต่เริ่มต้นจนเดินผ่านช่องทางเดินไป, กลุ่มที่ 2 ลดอัตราเร็วตามความกว้างช่องทางเดินเมื่อ  
 เดินเข้าใกล้ช่องทางเดิน, กลุ่มที่ 3 ลดอัตราเร็วตามความกว้างช่องทางเดินตั้งแต่เริ่ม แต่ลดอัตราเร็ว  
 เท่ากันในทุกความกว้างช่องทางเดินเมื่อเข้าใกล้ช่องทางเดิน และกลุ่มที่ 4 ลดอัตราเร็วโดยไม่มี  
 ความสัมพันธ์กับความกว้างช่องทางเดิน ซึ่งสามารถใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณ  
 เพื่อพยากรณ์พฤติกรรมการใช้อัตราเร็วในการเดินของแต่ละกลุ่ม

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2558

# # 5670429021 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: WALKING SPEED / MOTION CAPTURE / VISUAL PERCEPTION / DOOR WIDTH / FITTS' LAW

SIWALEE JETTHUMRONG: EFFECTS OF PASSAGEWAY WIDTH AND BASIC HUMAN FACTORS ON DECELERATION RATE OF WALKING THROUGH. ADVISOR: PHAIROAT LADAVICHITKUL, Ph.D., 157 pp.

Passageway width is one of key factors to concern in layout design of public place because it affects directly to overall traffic time. Nowadays, common assessment method is computer simulation which specifies the constant walking speed of human model while approaching the narrow passageway. This research aims to study an effect of passageway width on individual walking speed. Sixty participants walked through the passageway that was set the width from 40 to 100 centimeters. Walking speed was recorded by an optical motion capture system. The results showed that all participants had their behavior following the speed and accuracy trade-off theory. Their walking speed reduced along with the decreasing width of passageway. The variation of walking speed behaviors can be classified into 4 groups; the first group had reduced speed along the narrower passageway at the initial point until passed through the passageway, the second group had reduced speed along the narrower passageway when got close to the passageway, the third group had reduced speed along the narrower passageway at the initial point but had reduced speed equally in all passageway widths when got close to the passageway and the fourth group had reduced speed but did not relate to passageway width. Multiple linear regression analysis was used to predict the walking speed behavior of each group.

Department: Industrial Engineering      Student's Signature .....

Field of Study: Industrial Engineering      Advisor's Signature .....

Academic Year: 2015

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์จากผู้เข้าร่วมการทดลองทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีตลอดการทดลอง และให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ อย่างเต็มใจ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ผู้ซึ่งให้โอกาสในการศึกษา และให้การสนับสนุน ตลอดจนให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา



## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	7
1.3. ขอบเขตของการวิจัย.....	7
1.4. กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	7
1.5. นิยามศัพท์ในงานวิจัย.....	8
1.6. วิธีดำเนินการวิจัย.....	8
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1. การรับรู้ทางสายตาของมนุษย์ (Visual perception).....	9
2.1.1. กระบวนการรับรู้ทางสายตา.....	9
2.1.2. การเคลื่อนไหวโดยอาศัยรับรู้ทางสายตา (Visually guided movement).....	11
2.2. การประมวลผลข้อมูล (Information processing).....	12
2.2.1. การเลือกสิ่งที่จะรับรู้ (Selectivity).....	12
2.2.2. ทฤษฎีสารสนเทศ (Information Theory).....	13
2.2.3. ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนความเร็วและความแม่นยำ.....	13
2.2.4. ผลของปริมาณข้อมูลต่อการทำงาน.....	15

2.3. การเคลื่อนไหวร่างกายของมนุษย์ .....	16
2.3.1. การวิเคราะห์การเดิน (Gait Analysis) .....	16
2.3.2. การควบคุมการเคลื่อนไหว (Motor control) .....	18
2.4. วิธีประเมินความกว้างของทางสัญจร.....	19
2.4.1. วิธีคำนวณเวลาในการอพยพออกจากอาคาร .....	19
2.4.2. การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์.....	22
2.5. การวัดสัดส่วนร่างกาย (Anthropometry).....	23
2.6. ชีพจรและอัตราการเต้นของหัวใจ .....	24
2.6.1. วิธีวัดอัตราการเต้นของหัวใจ .....	25
2.6.2. อัตราการเต้นของหัวใจปกติ .....	25
2.7. ระบบบันทึกการเคลื่อนไหว .....	26
2.7.1. ระบบบันทึกการเคลื่อนไหวเชิงกล (Mechanical system).....	27
2.7.2. ระบบบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic system).....	27
2.7.3. ระบบบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยภาพ (Optical system) .....	27
2.8. สมมติฐานของงานวิจัย.....	28
บทที่ 3     วิธีดำเนินการวิจัย .....	30
3.1. ผู้เข้าร่วมการทดลอง .....	30
3.2. สถานที่ที่ใช้ในการทดลอง .....	30
3.3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....	31
3.4. วิธีดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล .....	33
3.5. วิธีการตรวจสอบข้อมูล .....	41
3.6. วิธีการแปลงข้อมูล .....	42
3.7. ตัวแปรในการทดลอง.....	43



บทที่ 4	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง .....	45
4.1.	อัตราเร็วที่ได้จากระบบบันทึกการเคลื่อนไหว.....	46
4.2.	อัตราเร็วการเดินของกลุ่มตัวอย่างโดยรวม .....	47
4.3.	การเปลี่ยนแปลงอัตราเร็ว .....	48
4.4.	อิทธิพลของความกว้างช่องทางเดินต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็ว .....	50
4.4.1.	อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด ( $a_{2 \rightarrow 0}$ ).....	50
4.4.2.	อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน ( $a_{2 \rightarrow 0.5}$ ).....	53
4.4.3.	อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน ( $a_{0.5 \rightarrow 0}$ ).....	55
4.5.	การแบ่งกลุ่มตัวอย่างตามพฤติกรรมการเดิน .....	57
4.6.	อิทธิพลของความกว้างช่องทางเดินต่อการลดอัตราเร็วของแต่ละกลุ่มพฤติกรรม.....	65
4.7.	การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณ .....	70
4.7.1.	การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณของกลุ่มที่ 1 .....	71
4.7.2.	การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณของกลุ่มที่ 2 .....	80
4.7.3.	การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณของกลุ่มที่ 4 .....	87
4.8.	ข้อสังเกตเพิ่มเติม.....	95
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	98
5.1.	สรุปผลการวิจัย.....	98
5.2.	ประโยชน์ที่ได้รับ.....	104
5.3.	ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต .....	104
รายการอ้างอิง	.....	106
ภาคผนวก	.....	109
ภาคผนวก ก	หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมการวิจัย .....	110
ภาคผนวก ข	ผลการศึกษานำร่อง (Pilot study) .....	112

ญ

หน้า

ภาคผนวก ค	ผลการทดลอง.....	116
ภาคผนวก ง	สถิติเชิงพรรณนาของอัตราเร่งเฉลี่ย .....	129
ภาคผนวก จ	ผลการทดสอบสมมติฐาน .....	138
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....		157



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่ (k) .....	20
ตารางที่ 2.2 ระยะห่างระหว่างคนกับผนัง .....	21
ตารางที่ 2.3 อัตราการเต้นของหัวใจในขณะพัก (Resting heart rate) แบ่งตามเพศหญิงและเพศชาย (Wood, 2008b).....	26
ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบบันทึกการเคลื่อนไหวทั้ง 3 ประเภท .....	28
ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลที่ได้จากระบบบันทึกการเคลื่อนไหว.....	39
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมการทดลอง.....	45
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด แยกตามเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดิน .....	51
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบ Friedman test ของอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด เปรียบเทียบระหว่างความกว้างช่องทางเดิน.....	51
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของอัตราเร่งในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน แยกตามเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดิน .....	53
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบ One-way Repeated Measures ANOVA ของอัตราเร่งเฉลี่ย ในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน เปรียบเทียบระหว่างความกว้างช่องทางเดิน .....	54
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน แยกตามเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดิน .....	56
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบ Friedman test ของอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน เปรียบเทียบระหว่างความกว้างช่องทางเดิน.....	56
ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์กลุ่มพฤติกรรมกรรมการเดินผ่านช่องทางเดิน .....	58
ตารางที่ 4.9 ข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้าร่วมการทดลองแยกตามกลุ่ม .....	64
ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบการกระจายตัวแบบปกติของตัวแปรตามต่างๆ แยกตามกลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลอง โดยใช้สถิติทดสอบ Anderson-Darling.....	65

ตารางที่ 4.11	สรุปผลการทดสอบความแตกต่างของอัตราเร่งเฉลี่ย เปรียบเทียบระหว่างความกว้างช่องทางเดิน.....	66
ตารางที่ 4.12	แผนการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณ.....	70
ตารางที่ 4.13	เมตริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของกลุ่มที่ 1.....	75
ตารางที่ 4.14	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการถดถอยเชิงเส้นของกลุ่มที่ 1.....	76
ตารางที่ 4.15	สัมประสิทธิ์การถดถอยของกลุ่มที่ 1.....	77
ตารางที่ 4.16	เมตริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของกลุ่มที่ 2.....	82
ตารางที่ 4.17	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการถดถอยเชิงเส้นของกลุ่มที่ 2.....	83
ตารางที่ 4.18	สัมประสิทธิ์การถดถอยของกลุ่มที่ 2.....	84
ตารางที่ 4.19	เมตริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของกลุ่มที่ 4.....	91
ตารางที่ 4.20	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการถดถอยเชิงเส้นของกลุ่มที่ 4.....	92
ตารางที่ 4.21	สัมประสิทธิ์การถดถอยของกลุ่มที่ 4.....	93
ตารางที่ ข.1	สัดส่วนร่างกายโดยเฉลี่ยของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน.....	113
ตารางที่ ค.1	ข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมการทดลอง.....	117
ตารางที่ ค.2	ผลการทดลอง.....	119

## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 การสัญจรหนาแน่นในบริเวณที่มีร้านค้าแผงลอยตั้งอยู่บนทางเดินเท้า (มติชนออนไลน์, 2554).....	2
รูปที่ 1.2 การติดขัดบริเวณสะพานเชื่อมระหว่างสถานีรถไฟฟ้าสยาม และทางเดินลอยฟ้าราชประสงค์ .....	2
รูปที่ 1.3 เส้นเดือนทางม้าลายบนถนนดินสอ.....	6
รูปที่ 1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	7
รูปที่ 2.1 ตำแหน่งของสมองส่วน Visual cortex เมื่อมองจากด้านข้าง (Wordpress, 2013) .....	10
รูปที่ 2.2 การทดลองเกี่ยวกับประสาทสัมผัสของนก โดยให้นักบินผ่านอุโมงค์ที่มีผนังลายเส้นแนวนอน (ซ้าย) และลายเส้นแนวตั้ง (ขวา).....	12
รูปที่ 2.3 รูปแบบการทดลองของ Fitts (MacKenzie, 1992) .....	14
รูปที่ 2.4 วงจรการเดินของมนุษย์ (Koster, n.d.).....	16
รูปที่ 2.5 ความกว้างร่างกายส่วนต่างๆ .....	24
รูปที่ 3.1 เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกายแบบมาร์ติน .....	31
รูปที่ 3.2 กล้องอินฟราเรดที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว .....	31
รูปที่ 3.3 ลูกบอลลาวแสง .....	32
รูปที่ 3.4 กล้องวิดีโอ.....	32
รูปที่ 3.5 Pulse oximeter .....	33
รูปที่ 3.6 การวัดสัดส่วนร่างกายที่ใช้ในการทดลอง .....	33
รูปที่ 3.7 พื้นที่ทำการทดลอง ที่มีการติดตั้งระบบเรียบร้อยแล้ว.....	34
รูปที่ 3.8 ช่องทางเดินที่สร้างขึ้นสำหรับการทดลอง.....	35
รูปที่ 3.9 ช่องทางเดินจำลองในพื้นที่ทำการทดลอง .....	35
รูปที่ 3.10 กล้องวิดีโอที่ตั้งไว้ในพื้นที่ทำการทดลอง .....	36

รูปที่ 3.11 ลักษณะภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอที่ติดตั้งไว้ด้านข้าง.....	36
รูปที่ 3.12 ตำแหน่งของลูกบอลบนร่างกายของผู้เข้าร่วมการทดลอง .....	37
รูปที่ 3.13 การวัดความกว้างของช่องทางเดินแต่ละเงื่อนไข.....	37
รูปที่ 3.14 แผนผังพื้นที่ทำการทดลอง เมื่อมองจากมุมมองด้านบน (Top view).....	38
รูปที่ 3.15 ตัวอย่างภาพหน้าจอของระบบบันทึกการเคลื่อนไหว ขณะที่ผู้เข้าร่วมการทดลองกำลังเดินผ่าน.....	40
รูปที่ 3.16 ตัวอย่างพิกัดของลูกบอลสว่างแสงบนกรอบของช่องทางเดินที่แสดงในระบบบันทึกการเคลื่อนไหว (ก.) เป็นไปตามข้อกำหนดของการทดลอง (ข.) ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของการทดลอง .....	41
รูปที่ 3.17 ตัวอย่างภาพการเคลื่อนไหวเท้าของผู้เข้าร่วมการทดลองที่เป็นไปตามข้อกำหนดของการทดลอง.....	42
รูปที่ 3.18 แผนผังการคำนวณอัตราเร็วและอัตราเร่ง.....	43
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างอัตราเร็วการเดินทางของผู้เข้าร่วมการทดลองคนหนึ่ง ที่เงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินเท่ากับ 40 เซนติเมตร.....	46
รูปที่ 4.2 อัตราเร็วการเดินทางของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 60 คน.....	47
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างอัตราเร่ง ณ ขณะใดขณะหนึ่งของผู้เข้าร่วมการทดลอง ที่เงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินเท่ากับ 40 เซนติเมตร.....	49
รูปที่ 4.4 อิทธิพลหลักเนื่องจากความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด ....	52
รูปที่ 4.5 การแบ่งช่วงระยะทางที่พิจารณา .....	53
รูปที่ 4.6 อิทธิพลหลักเนื่องจากความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน .....	55
รูปที่ 4.7 อิทธิพลหลักเนื่องจากความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน .....	57
รูปที่ 4.8 กลุ่มพฤติกรรมที่แบ่งด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ออกเป็น 4 กลุ่ม.....	58
รูปที่ 4.9 ลักษณะพฤติกรรมและจำนวนผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละกลุ่ม.....	59
รูปที่ 4.10 อัตราเร่งเฉลี่ย (ซ้าย) และอัตราเร็วการเดินทาง (ขวา) ของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละกลุ่ม...	61

รูปที่ 4.11 อิทธิพลหลักเนื่องจากความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด แยกตามกลุ่มพฤติกรรม.....	67
รูปที่ 4.12 อิทธิพลหลักเนื่องจากความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน แยกตามกลุ่มพฤติกรรม.....	68
รูปที่ 4.13 อิทธิพลหลักเนื่องจากความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน แยกตามกลุ่มพฤติกรรม.....	69
รูปที่ 4.14 ขั้นตอนวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณ.....	71
รูปที่ 4.15 ค่า $\lambda$ ที่เหมาะสมสำหรับแปลงข้อมูลของกลุ่มที่ 1.....	72
รูปที่ 4.16 การกระจายตัวของอัตราห้วงเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน (ก.) ก่อนการแปลงข้อมูล (ข.) หลังการแปลงข้อมูล.....	73
รูปที่ 4.17 แผนภาพกระจายระหว่างอัตราห้วงเฉลี่ยกับตัวแปรอิสระของกลุ่มที่ 1.....	74
รูปที่ 4.18 แผนภาพปฏิสัมพันธ์ (Interactions plot) ของตัวแปรอิสระของกลุ่มที่ 1.....	77
รูปที่ 4.19 แผนภาพการกระจายตัวแบบปกติของส่วนเหลือของกลุ่มที่ 1.....	79
รูปที่ 4.20 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือมาตรฐานกับค่าพยากรณ์ ของกลุ่มที่ 1.....	79
รูปที่ 4.21 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือมาตรฐานกับเวลาของกลุ่มที่ 1.....	80
รูปที่ 4.22 การกระจายตัวของอัตราห้วงเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด.....	81
รูปที่ 4.23 แผนภาพกระจายระหว่างอัตราห้วงเฉลี่ยกับตัวแปรอิสระของกลุ่มที่ 2.....	81
รูปที่ 4.24 แผนภาพปฏิสัมพันธ์ (Interactions plot) ของตัวแปรอิสระของกลุ่มที่ 2.....	84
รูปที่ 4.25 แผนภาพการกระจายตัวแบบปกติของส่วนเหลือของกลุ่มที่ 2.....	85
รูปที่ 4.26 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือมาตรฐานกับค่าพยากรณ์ ของกลุ่มที่ 2.....	86
รูปที่ 4.27 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือมาตรฐานกับเวลาของกลุ่มที่ 2.....	87
รูปที่ 4.28 ค่า $\lambda$ ที่เหมาะสมสำหรับแปลงข้อมูลของกลุ่มที่ 4.....	88
รูปที่ 4.29 การกระจายตัวของอัตราห้วงเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน (ก.) ก่อนการแปลงข้อมูล (ข.) หลังการแปลงข้อมูล.....	89
รูปที่ 4.30 แผนภาพกระจายระหว่างอัตราห้วงเฉลี่ยกับตัวแปรอิสระของกลุ่มที่ 4.....	90

รูปที่ 4.31 แผนภาพปฏิสัมพันธ์ (Interactions plot) ของตัวแปรอิสระของกลุ่มที่ 4.....	92
รูปที่ 4.32 แผนภาพการกระจายตัวแบบปกติของส่วนเหลือของกลุ่มที่ 4 .....	94
รูปที่ 4.33 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือมาตรฐานกับค่าพยากรณ์ ของกลุ่มที่ 4 .....	94
รูปที่ 4.34 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือมาตรฐานกับเวลาของกลุ่มที่ 4.....	95
รูปที่ 4.35 กลุ่มพฤติกรรมที่แบ่งด้วยอัตราเร่งเฉลี่ย แยกตามเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดิน .....	96
รูปที่ ข.1 อัตราเร็วของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คนในแต่ละช่วงระยะทาง ที่เงื่อนไขความกว้าง ช่องทางเดินเท่ากับ 50 เซนติเมตร.....	114
รูปที่ ข.2 อัตราเร็วในช่วงที่ผ่านช่องทางเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน ที่ความกว้างช่อง ทางเดินเงื่อนไขต่างๆ.....	115





# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในการออกแบบแผนผังอาคารสถานที่ต่างๆ ความกว้างของทางสัญจรเป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงความเหมาะสม เนื่องจากส่งผลต่อการสัญจร ทั้งในแง่ของความสะดวกสบายของตัวผู้สัญจร รวมถึงความคล่องตัวของการสัญจรโดยรวม โดยเฉพาะบริเวณที่มีลักษณะเป็นคอคอด เช่น ประตูช่องทางเข้าออกระหว่างพื้นที่ หรือบริเวณที่ทางสัญจรถูกบีบให้มีความกว้างลดลง ความคล่องตัวในการสัญจร หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคืออัตราการสัญจรนั้น ส่งผลโดยตรงต่อเวลาในการสัญจร ซึ่งเวลานับเป็นสิ่งหนึ่งที่สำคัญในการดำเนินชีวิต หากความกว้างของทางสัญจรไม่เหมาะสมกับจำนวนผู้สัญจร หรือไม่สามารถรองรับจำนวนผู้สัญจรได้ ก็อาจทำให้การสัญจรเกิดความล่าช้า และส่งผลให้เกิดความเสียหายตั้งแต่ระดับเล็กน้อย เช่น ถึงที่หมายช้ากว่าเวลาที่ต้องการ ไปจนถึงระดับร้ายแรง เช่น อพยพหนีอุบัติเหตุไม่ทัน ทำให้ได้รับบาดเจ็บหรือถึงแก่ชีวิต เป็นต้น

ในเมืองใหญ่ที่เปรียบเสมือนศูนย์กลางด้านเศรษฐกิจและมีผู้อาศัยจำนวนมาก การสัญจรมีสภาวะเร่งรีบอยู่เกือบตลอดเวลา แต่มักเกิดปัญหาการสัญจรหนาแน่นในพื้นที่สาธารณะ ซึ่งนับเป็นปัญหาที่พบได้ในชีวิตประจำวัน ในอาคารสถานที่บางแห่งมักมีการเปลี่ยนแปลงวัตถุประสงค์ในการใช้งานอยู่บ่อยครั้ง เช่น การดัดแปลงสถานที่เพื่อใช้ในการค้าขาย แสดงสินค้า หรือจัดงานมหรสพชั่วคราว ทำให้มีการวางสิ่งของในบริเวณทางสัญจร จนพื้นที่ในการสัญจรลดลง เกิดบริเวณที่เป็นคอคอดบนทางสัญจรมากขึ้น ในขณะที่จำนวนผู้สัญจรเพิ่มขึ้นกว่าปกติ สาเหตุเหล่านี้ล้วนทำให้การสัญจรเกิดความล่าช้า



รูปที่ 1.1 การสัญจรหนาแน่นในบริเวณที่มีร้านค้าแผงลอยตั้งอยู่บนทางเดินเท้า (มติชนออนไลน์, 2554)

อีกกรณีหนึ่งคือ ในบริเวณที่เป็นคอขวด (Bottleneck) ของทางสัญจรอันเนื่องมาจากปัจจัยด้านสถานที่ หากจำนวนผู้สัญจรเพิ่มขึ้นจนมีจำนวนมากเกินไป ก็จะมีเกิดการเบียดเสียดกันในบริเวณนั้น ทำให้การสัญจรเกิดความล่าช้ามากยิ่งขึ้น



รูปที่ 1.2 การติดขัดบริเวณสะพานเชื่อมระหว่างสถานีรถไฟฟ้าสยาม และทางเดินลอยฟ้าราชประสงค์ (ภาพถ่ายโดยผู้เขียน, 27 ธ.ค. 2557)

ตัวอย่างรูปที่ 1.2 นั้นแสดงการสัญจรบริเวณสะพานลอยที่เชื่อมระหว่างสถานีรถไฟฟ้าสยาม และทางเดินลอยฟ้าราชประสงค์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีลักษณะเป็นคอขวด ในช่วงเวลาปกติที่

อาจมีจำนวนผู้สัญจรไม่มากนัก การสัญจรจึงไม่ได้รับผลกระทบ แต่สถานการณ์ดังรูปนั้นเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่สถานที่ต่างๆในบริเวณนั้นมีการจัดงานปีใหม่ ซึ่งเส้นทางนี้เป็นเส้นทางที่เชื่อมต่อกับสถานที่เหล่านั้นทั้งหมด รวมถึงเป็นเวลาในช่วงเย็น ทำให้จำนวนผู้สัญจรเพิ่มขึ้นอย่างมาก จึงเกิดการสัญจรติดขัดขึ้นในบริเวณนี้อย่างเห็นได้ชัด

ในพื้นที่สาธารณะบางแห่งอาจมีช่วงเวลาที่เป็นชั่วโมงเร่งด่วน ซึ่งเป็นช่วงที่มีจำนวนผู้สัญจรมากที่สุดในแต่ละวัน ยกตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจน เช่น สถานีรถไฟฟ้า มักมีชั่วโมงเร่งด่วนในช่วงเช้าและเย็น ได้แก่ 6.00 - 9.00 น. และ 16.30 - 19.30 น. (บริษัท รถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน), ไม่ปรากฏปีพิมพ์) หรืออาคารผู้โดยสารในท่าอากาศยาน ในบางช่วงจะมีจำนวนเที่ยวบินขาเข้าและขาออกรวมกันเป็นจำนวนมาก ทำให้มีผู้โดยสารสัญจรในอาคารมากเป็นพิเศษในช่วงนั้น จากสถิติของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ซึ่งเป็นท่าอากาศยานหลักของประเทศไทย พบว่าช่วงเวลาที่เกิดการสัญจรหนาแน่นในบริเวณอาคารมี 3 ช่วง ได้แก่ ช่วง 5.00 น.-7.00 น., 14.00 น.-17.00 น. และ 21.00 น.-24.00 น. โดยมีจำนวนผู้โดยสารกว่า 10,000 คนในช่วงเวลาดังกล่าว ("2 มือบริหารทอท.พัฒนาสุวรรณภูมิ-ดอนเมืองสู่ซิงเกิลแอร์พอร์ต,") และยังมีบางกรณีที่ผู้โดยสารต้องเปลี่ยนเที่ยวบิน (Transfer) หรือมีผู้โดยสารระหว่างที่เครื่องบินแวะรับส่งผู้โดยสาร (Transit) ทำให้จำนวนผู้สัญจรภายในอาคารมีจำนวนเพิ่มขึ้นกว่าปกติมาก แต่การสัญจรกลับมีข้อจำกัดด้านเวลา กล่าวคือ ผู้โดยสารแต่ละคนต้องการเดินไปถึงจุดหมายให้ทันเวลาขึ้นเครื่อง

นอกจากนี้ ยังพบปัญหาจากจำนวนผู้โดยสารที่เพิ่มสูงขึ้นตามการขยายตัวของเศรษฐกิจ โดยจากการสำรวจพบว่า ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิมีการขยายตัวของจำนวนผู้โดยสารในอัตราร้อยละ 7 ต่อปี โดยล่าสุดมีจำนวนผู้โดยสารรวม 51 ล้านคน ในปี 2556 (ไทยรัฐนิวส์, 29 กันยายน 2557) และมีแนวโน้มที่จะขยายตัวเพิ่มมากขึ้นอีกในอนาคต อันเนื่องมาจากการเปิดประเทศเพื่อเข้าสู่ประชาคมอาเซียน (ASEAN) ทำให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องมีแผนที่จะขยายขนาดของอาคารผู้โดยสาร แต่การขยายพื้นที่ย่อมมีขีดจำกัด ทั้งทางด้านทำเลที่ตั้ง และปัญหากับชุมชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียง การปรับปรุงหรือวางแผนทางสัญจรภายในอาคารจึงอาจเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถบรรเทาปัญหานี้ได้

นอกเหนือจากการสัญจรตามปกติแล้ว เมื่อมีสถานการณ์ฉุกเฉิน เช่น เกิดเหตุเพลิงไหม้ ความเหมาะสมของความกว้างทางสัญจรยังกลายเป็นประเด็นด้านความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินอีกด้วย พิจารณาจากเหตุเพลิงไหม้สถานบันเทิงซานติก้าผับ เมื่อวันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2552 มีผู้บาดเจ็บและเสียชีวิตจากเหตุการณ์นี้รวม 326 คน สาเหตุการเสียชีวิตส่วนใหญ่มาจากการสำลักควัน ถูกไฟคลอก และเหยียบกันตายภายในอาคาร โดยพบผู้เสียชีวิตจำนวนมากบริเวณหน้าประตูทางเข้า จาก

คำพิพากษาคดีระบุว่า ในคืนเกิดเหตุทางผู้ประกอบการได้จัดงานวันขึ้นปีใหม่ ทำให้มีผู้มาใช้บริการกว่า 1,000 คน แต่เมื่อประเมินช่องทางเข้าออกของอาคารด้วยการคำนวณตามหลักวิศวกรรม พบว่าช่องทางเข้าออกทั้งหมดสามารถรองรับจำนวนผู้อพยพอย่างปลอดภัยได้เพียง 408 คนเท่านั้น (ศาลอาญากรุงเทพใต้, 2554) เป็นเหตุให้เกิดโศกนาฏกรรมดังกล่าว ดังนั้น ความกว้างของทางสัญจรที่เหมาะสมกับสถานการณ์ที่เปลี่ยนไปจึงเป็นประเด็นสำคัญอย่างยิ่งที่ต้องคำนึงถึง เช่นเดียวกับกรณีการเกิดภัยธรรมชาติอย่างแผ่นดินไหวและคลื่นสึนามิ ในชายฝั่งทะเลทางภาคใต้ของประเทศไทย เมื่อปี 2547 หลังจากเกิดเหตุการณ์นี้ชายหาดในจังหวัดต่างๆที่มีโอกาสได้รับผลกระทบจากภัยพิบัติ ได้ตระหนักถึงความสำคัญของการซ่อมแผนอพยพหนีภัยพิบัติ โดยเตรียมแผนการประกาศเตือนภัยเตรียมเส้นทางอพยพและกำหนดสถานที่ปลอดภัยหลายแห่งเพื่อเป็นจุดมุ่งหมายในการอพยพ ซึ่งนอกจากแผนการประกาศเตือนภัยที่รวดเร็วและสถานที่อพยพที่เหมาะสมแล้ว ทางอพยพขึ้นจากชายหาดนับเป็นอีกปัจจัยสำคัญเนื่องจากต้องรองรับผู้สัญจรเป็นจำนวนมาก และเป็นจำนวนที่ไม่แน่นอนในแต่ละช่วงฤดูกาลท่องเที่ยว ทางอพยพจึงควรได้รับการประเมินอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้สามารถอพยพนักท่องเที่ยวทั้งหมดได้ทันเวลา เป็นการสร้างความมั่นใจให้กับนักท่องเที่ยวได้อีกทางหนึ่ง

สืบเนื่องมาจากปัญหาในกรณีต่างๆข้างต้น จะเห็นว่าปัญหานั้นเกิดจากความไม่เหมาะสมกันระหว่างความกว้างของทางสัญจร กับจำนวนผู้สัญจร โดยอาจมีสาเหตุมาจากความกว้างของทางสัญจรที่ลดลง หรือจำนวนผู้สัญจรที่เพิ่มขึ้น หรือเกิดจากทั้งสองปัจจัยพร้อมกัน แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการพิจารณาเวลาในการสัญจรเมื่อมีเงื่อนไขในการใช้งานอาคารสถานที่ที่เปลี่ยนแปลงไป รวมถึงเป็นการเตรียมความพร้อมหากเกิดเหตุฉุกเฉิน โดยในกฎกระทรวง กำหนดประเภทและระบบความปลอดภัยของอาคารที่ใช้เพื่อประกอบกิจการเป็นสถานบริการ พ.ศ. 2555 (กระทรวงมหาดไทย, 2555) ได้กำหนดขีดจำกัดของเวลาที่เป็นอัตรา Thornton ของอาคารเอาไว้ อาคารหรือสถานบริการต่างๆจึงต้องแสดงการคำนวณให้เห็นว่าสามารถอพยพผู้อาศัยทั้งหมดได้อย่างปลอดภัยภายในเวลานั้น ซึ่งหากสามารถประเมินและบ่งชี้ได้ว่าความกว้างของทางสัญจรกับจำนวนผู้สัญจรนั้นไม่เหมาะสมกัน ก็จะนำไปสู่การพิจารณาแก้ไขปัญหาในแนวทางต่างๆต่อไป ไม่ว่าจะเป็นการจำกัดจำนวนผู้สัญจร หรือเพิ่มทางสัญจรสำรอง เป็นต้น

จากการศึกษาวิธีที่ใช้ประเมินทางสัญจรในปัจจุบัน พบว่าส่วนใหญ่มักมีการประเมินทางสัญจรสำหรับรองรับสถานการณ์ฉุกเฉิน ได้แก่ เหตุเพลิงไหม้ เนื่องจากในสถานการณ์นี้ปัจจัยเรื่องเวลามีความสำคัญมาก ทั้งในแง่ของความปลอดภัยของผู้อาศัย และในแง่ของกฎหมายตามที่ได้กล่าวไปแล้ว วิธีหนึ่งที่ใช้กันโดยทั่วไป คือ การซ่อมหนีไฟ การซ่อมหนีไฟนั้นมีจุดประสงค์หลักเพื่อเตรียม

ความพร้อมของผู้อาศัยในอาคาร ให้สามารถอพยพออกจากอาคารเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นจริงได้ อย่างเป็นระเบียบเรียบร้อยและปลอดภัยมากที่สุด แต่ในขณะเดียวกันจะมีการจับเวลาจริงตั้งแต่สัญญาณเตือนเหตุเพลิงไหม้ดังขึ้น จนกระทั่งผู้อาศัยในอาคารอพยพออกจากอาคารได้ทั้งหมด ทำให้สามารถประเมินประสิทธิภาพของทางหนีไฟในอาคารได้ อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อจำกัด คือ ต้นทุนสูง เหมาะกับอาคารสถานที่ที่มีทรัพยากรบุคคลเพียงพอและง่ายต่อการจัดหาเวลาในการซ้อม เช่น โรงเรียน หรืออาคารสำนักงาน ในทางวิศวกรรมจึงนิยมใช้การประเมินด้วยวิธีคำนวณเวลาในการอพยพตามมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) มีต้นแบบมาจากมาตรฐานของ National Fire Protection Association (NFPA) ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นมาตรฐานที่เป็นสากลและเป็นที่ยอมรับ โดยปัจจัยที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการอพยพ ได้แก่ ความเร็วในการเคลื่อนที่ อัลกอริทึมที่ใช้ซึ่งกำหนดให้มนุษย์มีพฤติกรรมการเคลื่อนที่คล้ายของไหล (Fluid) คือ ความเร็วในการไหลขึ้นอยู่กับความหนืด (Viscosity) ของของไหล ในการคำนวณจึงกำหนดให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของผู้อพยพแต่ละคนเป็นฟังก์ชันของความหนาแน่นของกลุ่มคนที่เคลื่อนที่ไปด้วยกัน กล่าวคือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของผู้อพยพแปรผันตามความหนาแน่นของพื้นที่ นอกจากนี้ ยังมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพของทางเดิน โดยบริเวณที่เป็นบันได ความเร็วของผู้อพยพนั้นจะลดลงกว่าปกติ

นอกจากวิธีการคำนวณดังกล่าว ยังมีวิธีที่สามารถประเมินได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น ได้แก่ การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer simulation) ซึ่งนอกจากจะใช้จำลองในสถานการณ์ฉุกเฉินแล้ว ยังพบว่ามีการใช้ในสถานการณ์ปกติ เพื่อประเมินรูปแบบของทางสัญจรในพื้นที่สาธารณะต่างๆว่าส่งผลต่อเวลาในการสัญจรอย่างไร เช่น ท่าอากาศยาน สถานีรถโดยสาร เป็นต้น รวมถึงในอาคารสถานที่ที่ต้องบรรจุคนจำนวนมาก เช่น โรงภาพยนตร์ หรือโรงละคร พบว่าใช้การจำลองสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์ผลของการจัดรูปแบบที่นั่งหรือแผนผังทางเดินภายในอาคาร ต่อเวลาที่ผู้ชมใช้ในการเดินออกจากอาคาร (เจียรธาดา, 2556) โดยโปรแกรมการจำลองสถานการณ์นั้นจะพยายามจำลองพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของมนุษย์ให้ใกล้เคียงความเป็นจริง ไม่ว่าจะเป็นการหลบหลีกผนัง หรือการหลบหลีกบุคคลอื่น ส่วนความเร็วในการเคลื่อนที่ของแบบจำลองนั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเข้าสู่บริเวณที่มีความหนาแน่นสูงขึ้น

จากวิธีประเมินทางสัญจรต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าในแง่ของความเร็วในการเคลื่อนที่ของมนุษย์ นับว่ายังขาดความสมจริงอยู่บางประการ โดยเฉพาะความเร็วในการเคลื่อนที่เมื่อก้าวเข้าสู่บริเวณที่แคบลง เช่น ช่องแคบ ประตู หรือคอคอด ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่พบได้บ่อยในทางสัญจรสืบเนื่องจากมนุษย์มีระบบความคิดที่ซับซ้อน ได้แก่ พฤติกรรมการรับรู้ (Perception) ซึ่งมีผลต่อ

ความเร็วในการเคลื่อนที่ สังเกตได้ชัดเจนจากพฤติกรรมการขับรถ โดยปกติมนุษย์จะชะลอความเร็วในการขับรถลงเมื่อรู้สึกไม่ปลอดภัย เช่น มีรถคันอื่นสวนทางหรือตัดหน้าอย่างรวดเร็ว พบเห็นสิ่งกีดขวางบนถนน หรือเมื่อความกว้างของถนนลดลง เพื่อให้สามารถควบคุมรถได้ทันที ลดโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุ จึงเป็นที่มาของเส้นเตือนทางม้าลาย ที่มีการใช้ในบริเวณที่มีผู้เดินถนนพลุกพล่าน ทั้งในประเทศแถบยุโรปเช่น อังกฤษ และภูมิภาคเอเชีย เช่น สิงคโปร์ เป็นต้น สำหรับในประเทศไทยนั้น มีการใช้เส้นเตือนทางม้าลายบนถนนดินสอ ถนนรอบศาลาว่าการกรุงเทพมหานคร และถนนอโศกมนตรี ซึ่งเป็นถนนที่เกิดอุบัติเหตุรถชนคนข้ามถนนบ่อยครั้ง โดยก่อนถึงทางม้าลาย 15 เมตร เส้นถนนจะเปลี่ยนเป็นเส้นซิกแซก ซึ่งมีผลต่อสมองของผู้ขับขี่ ทำให้ผู้ขับขี่รู้สึกว่าการถนนแคบลง หรือรู้สึกว่ามี ความผิดปกติเกิดขึ้น จึงชะลอความเร็วในการขับรถลง (ไทยรัฐนิวส์, 11 มกราคม 2558)



รูปที่ 1.3 เส้นเตือนทางม้าลายบนถนนดินสอ

ด้วยเหตุนี้ หากเปลี่ยนจากการขับรถเป็นการเดิน การเคลื่อนที่ผ่านช่องทางเดินหรือบริเวณที่แคบลงจึงควรเป็นไปในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ สิ่งแวดล้อมที่มนุษย์เห็น ซึ่งได้แก่ ช่องทางเดิน จะส่งผลต่อพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของมนุษย์ อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของมนุษย์แต่ละคนจึงควรมีการเปลี่ยนแปลง คือ มีแนวโน้มที่จะลดอัตราเร็วเมื่อผ่านช่องทางเดินที่แคบลง โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้สามารถควบคุมร่างกายได้เร็วขึ้น ทำให้สามารถเคลื่อนที่ไปได้อย่างปลอดภัย หลีกเลี่ยงการบาดเจ็บ อาจกล่าวได้ว่า ความกว้างช่องทางเดินมีผลต่ออัตราเร็วการเดินผ่านของมนุษย์ นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยทางด้านร่างกายของมนุษย์ที่แตกต่างกัน เช่น เพศ อายุ สัดส่วนร่างกาย ที่อาจส่งผลต่อการรับรู้และการลดอัตราเร็วของมนุษย์เมื่อเดินผ่านช่องทางเดินนั้นอีกด้วย ดังนั้น หากสามารถพยากรณ์อัตราเร็วการเดินผ่านช่องทางเดินที่มาจากพฤติกรรมการรับรู้ของมนุษย์จริงๆ ก็จะสามารถคำนวณเวลาที่ใช้ในการสัญจรได้อย่างแม่นยำมากขึ้น รวมถึงจำลองพฤติกรรมของมนุษย์ได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในแง่ของการประเมินทางสัญจรในสถานที่ต่างๆต่อไป

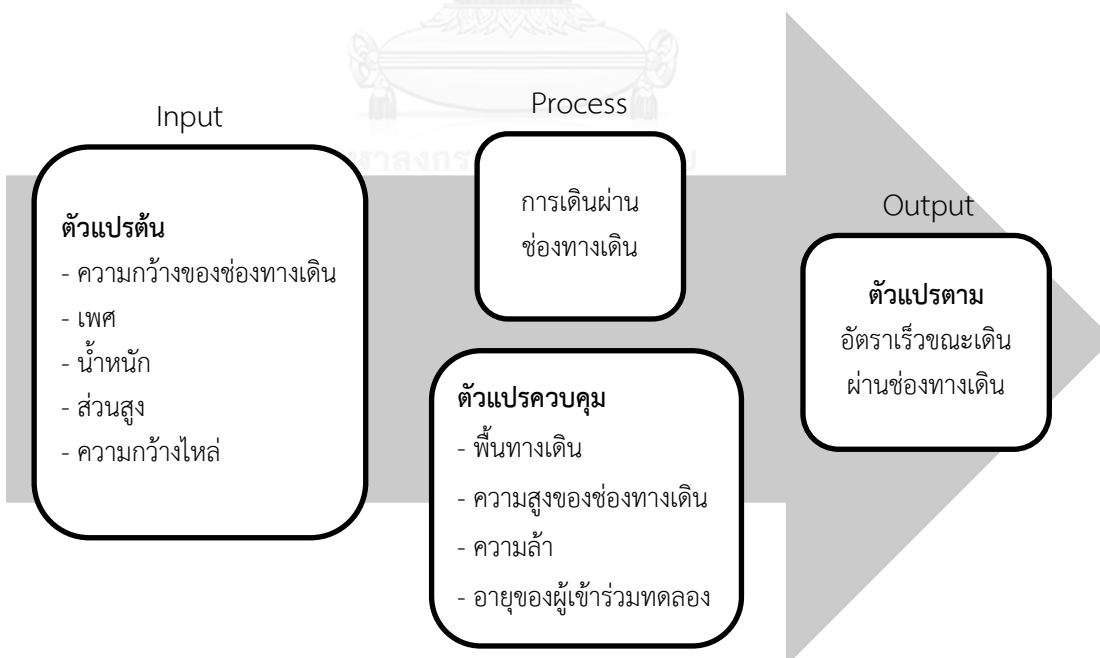
## 1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลเนื่องจากความกว้างช่องทางเดินที่มีต่ออัตราเร็วการเดินผ่านของมนุษย์
2. เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างช่องทางเดินและปัจจัยพื้นฐานของมนุษย์กับอัตราเร็วการเดินผ่าน

## 1.3. ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาการเดินผ่านช่องทางเดินของมนุษย์ในสถานการณ์ปกติ ไม่มีการตื่นตระหนก (Panic)
2. ศึกษาการเดินผ่านช่องทางเดินของมนุษย์เป็นรายบุคคลซึ่งเป็นอิสระต่อกัน (Individual)
3. ศึกษาการเดินผ่านช่องทางเดินบนทางราบเท่านั้น (มุมลาดเอียงไม่เกิน  $10^{\circ}$ )

## 1.4. กรอบแนวคิดในการวิจัย



รูปที่ 1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย

### 1.5. นิยามศัพท์ในงานวิจัย

ช่องทางเดิน หมายถึง ช่องเปิดที่สามารถเดินผ่านได้ หมายความว่ารวมทั้งช่องที่มีกรอบประตู และไม่มีกรอบประตู

อัตราเร่ง ( $a$ ) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วต่อหน่วยเวลา คำนวณได้จากอัตราเร็วปลาย ลบด้วยอัตราเร็วเริ่มต้น หารด้วยเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสิ้นสุด ถ้าอัตราเร่งมีค่ามากขึ้นนั้นแสดงว่า มีการเร่งมากขึ้น

อัตราหน่วง ( $d$ ) หมายถึง อัตราเร่งที่มีค่าติดลบ อันเนื่องมาจากอัตราเร็วปลายมีค่าต่ำกว่าอัตราเร็วเริ่มต้น กล่าวคือ มีการลดอัตราเร็วหรือการหน่วง ถ้าอัตราเร่งมีค่าติดลบมากขึ้นนั้นแสดงว่า มีการหน่วงมากขึ้น

### 1.6. วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับพฤติกรรมเคลื่อนที่ของมนุษย์ และระบบบันทึกการเคลื่อนที่
2. เก็บข้อมูลสัดส่วนร่างกายของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด
3. ออกแบบการทดลอง กำหนดปัจจัยและเงื่อนไขในการทดลอง
4. ทำการทดลองตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้
5. วิเคราะห์ผลการทดลอง
6. สรุปผลการทดลอง และจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็นหัวข้อหลักๆ 7 หัวข้อ ดังนี้

1. การรับรู้ทางสายตาของมนุษย์ ในส่วนนี้เป็นการอธิบายกระบวนการและพฤติกรรมกรการรับรู้ข้อมูลด้วยการมองเห็นของมนุษย์
2. การประมวลผลข้อมูล กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของข้อมูล ปริมาณข้อมูล และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณข้อมูลกับการทำงานของมนุษย์
3. การเคลื่อนไหวร่างกายของมนุษย์ กล่าวถึงพฤติกรรมในการเคลื่อนไหวร่างกาย (การเดิน) ของมนุษย์ และปัจจัยที่ทำให้การเดินของมนุษย์มีความแตกต่างกัน
4. วิธีประเมินความกว้างของทางสัญจร กล่าวถึงวิธีที่ใช้ประเมินทางสัญจรในปัจจุบัน
5. การวัดสัดส่วนร่างกาย กล่าวถึงวิธีการวัดสัดส่วนร่างกายในงานวิจัยนี้
6. ชีพจรและอัตราการเต้นของหัวใจ กล่าวถึงตัวชี้วัดความเหนื่อยล้าของผู้เข้าร่วมการทดลอง
7. ระบบบันทึกการเคลื่อนไหว กล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

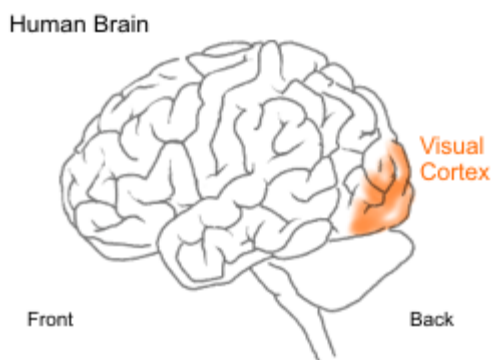
#### 2.1. การรับรู้ทางสายตาของมนุษย์ (Visual perception)

##### 2.1.1. กระบวนการรับรู้ทางสายตา

การรับรู้ทางสายตา หมายถึง ความสามารถในการแปลข้อมูลจากการมองเห็นสิ่งแวดล้อมรอบข้างในบริเวณที่มีแสงสว่างเพียงพอ อาศัยประสาทสัมผัสโดยเฉพาะตา ซึ่งเป็นประสาทสัมผัสสำคัญที่ใช้ในการรับรู้มากที่สุดคือ ประมาณ 70% ของประสาทสัมผัสทั้งหมด

กระบวนการรับรู้ทางสายตาเริ่มตั้งแต่การรับข้อมูลของสิ่งเร้า (Stimulus) ได้แก่ เหตุการณ์และสิ่งแวดล้อมรอบข้าง ม่านตา (Iris) และรูม่านตา (Pupil) จะทำหน้าที่คล้ายรูรับแสงในกล้องถ่ายภาพ คือ ควบคุมปริมาณแสงที่เข้าสู่ดวงตาให้เหมาะสม โดยม่านตาจะปรับขนาดรูม่านตาให้ขยายเมื่อปริมาณแสงจากสิ่งแวดล้อมมีน้อย และหดลงเมื่อปริมาณแสงจากสิ่งแวดล้อมมีมาก จากนั้นเลนส์ตาจะรวมแสงให้ตกกระทบบนเรตินา (Retina) ซึ่งอยู่ด้านหลังสุดของลูกตา เรตินาประกอบด้วยเซลล์รับแสงจำนวนมาก ทำหน้าที่รับสัญญาณแสงที่มาจาก

กระทบ สัญญาณแสงเหล่านี้จะถูกส่งเป็นกระแสประสาทผ่านเส้นประสาทตา (Optic nerve) ไปยังสมองส่วนการมองเห็น (Visual cortex) ซึ่งอยู่ในบริเวณสมองส่วนกลีบท้ายทอย (Occipital lobe) โดยสมองส่วนนี้ทำหน้าที่ประมวลสัญญาณแสงจากการมองเห็นด้วยตาให้เกิดเป็นภาพ (Anshel, 1999)



รูปที่ 2.1 ตำแหน่งของสมองส่วน Visual cortex เมื่อมองจากด้านข้าง (Wordpress, 2013)

สมองจะแปลความหมายของสิ่งที่เห็น โดยอาศัยความรู้เดิม ประสบการณ์ และความจำ มาช่วยในการพิจารณาว่าสิ่งเร้าที่เห็นนั้นคืออะไร ทำให้เกิดการรับรู้

ในการแยกแยะหรือแปลความหมายของสิ่งที่มองเห็นนั้น จำเป็นต้องอาศัยความสามารถในการรับรู้จากสิ่งที่มองเห็น (Visual perceptual skills) ซึ่งเป็นการทำงานของสมองส่วนกลีบขมับ (Temporal lobe) และกลีบข้าง (Parietal lobe) แยกออกได้เป็นด้านต่างๆ ดังนี้ (Bainbridge, 2015)

- Visual discrimination คือ การจำแนกวัตถุที่เหมือนกันและแตกต่างกัน
- Visual memory คือ การจดจำสิ่งที่มองเห็น มักเป็นความจำในระยะสั้น
- Form constancy คือ การจดจำรูปร่างของวัตถุ ไม่ว่าจะวัตถุจะอยู่ในสภาพแวดล้อมแบบใด ถูกหมุนไปในทิศทางอื่น มีขนาดเล็กกลางหรือใหญ่ขึ้น หรืออยู่ห่างออกไป
- Visual closure คือ การจดจำวัตถุแม้ว่าวัตถุจะอยู่ในสภาพที่ไม่สมบูรณ์หรือขาดหายไปบางส่วน สมองก็ยังสามารถเติมเต็มภาพและรับรู้ได้

- Figure ground คือ การแยกแยะวัตถุออกจากพื้นหลัง หรือแยกแยะสิ่งที่ต้องการออกจากสิ่งอื่นๆ
- Spatial relations คือ การรับรู้ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุกับตนเอง และวัตถุอื่นๆในสภาพแวดล้อม เป็นความสามารถที่สำคัญต่อการเคลื่อนไหวร่างกาย เนื่องจากทำให้รับรู้ตำแหน่ง บน ล่าง ซ้าย ขวา ระยะเอื้อม และระยะห่าง รวมถึงสามารถเชื่อมโยงตำแหน่งของวัตถุต่างๆได้

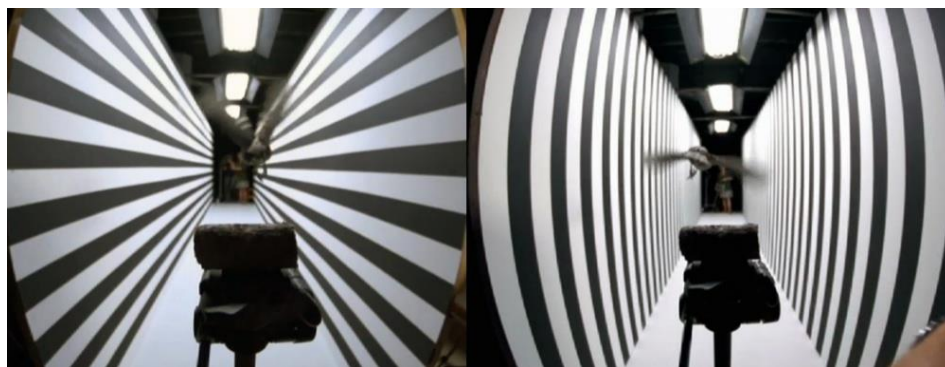
### 2.1.2. การเคลื่อนไหวโดยอาศัยรับรู้ทางสายตา (Visually guided movement)

เนื่องจากข้อมูลที่ได้รับจากสายตานั้นเป็นการบอกถึงลักษณะของสิ่งต่างๆที่อยู่รอบร่างกาย การเคลื่อนไหวร่างกายของมนุษย์จึงสัมพันธ์กับการรับรู้ทางสายตา ดังเช่นการทดลองของ Warren & Whang (1987) ได้ทำการแบ่งผู้เข้าร่วมการทดลองออกเป็นสองกลุ่มคือ กลุ่มที่มีขนาดใหญ่แคบ กับกลุ่มที่มีขนาดใหญ่กว้าง ให้ผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละกลุ่มเดินผ่านช่องขนาดต่างๆ ตั้งแต่ 35-90 เซนติเมตร จับภาพการเคลื่อนไหวของผู้เข้าร่วมการทดลองด้วยกล้องวิดีโอ ผลจากภาพวิดีโอที่บันทึกไว้แสดงให้เห็นว่า กลุ่มที่มีขนาดใหญ่กว้างมีการเบี่ยงไหล่เมื่อเดินผ่านช่องมากกว่ากลุ่มที่มีขนาดใหญ่แคบ โดยทั้งสองกลุ่มเริ่มมีการเบี่ยงไหล่เมื่อขนาดของช่องนั้นเป็น 1.3 เท่าของขนาดไหล่ของตนเอง และจากการทดลองพบว่า ความกว้างที่น้อยที่สุดที่ผู้เข้าร่วมการทดลองเริ่มเบี่ยงไหล่อยู่ที่ประมาณ 60 เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่า ทั้งสองกลุ่มมีการรับรู้ขนาดของช่องโดยเทียบกับขนาดร่างกายของตนเอง และเมื่อระยะห่างโดยอัตโนมัติเพื่อความปลอดภัยของร่างกาย โดยจะเห็นว่าเริ่มมีการเบี่ยงไหล่แม้ว่าช่องไม่ได้แคบกว่าขนาดร่างกาย นอกจากนี้ การรับรู้ขนาดร่างกายที่แตกต่างกันยังส่งผลให้การรับรู้ขนาดของสิ่งแวดล้อมแตกต่างกันอีกด้วย ดังจะเห็นได้จากการทดลองของ Stefanucci & Geuss (2009) ซึ่งให้ผู้เข้าร่วมการทดลองประมาณความกว้างของรูที่มองเห็น โดยแบ่งผู้เข้าร่วมการทดลองเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มแรกให้ถือแท่งพลาสติกยาว โดยถือปลายทั้งสองข้าง ส่วนกลุ่มที่สองให้กางแขนออกเป็นระยะเท่ากับแท่งพลาสติก กลุ่มที่สามให้สะพานเป้ที่มีแท่งพลาสติกยาวไว้ด้านหลัง และกลุ่มที่สี่นั้นไม่ต้องถือสิ่งของใดและปล่อยแขนตามปกติ ผลการทดลองพบว่า กลุ่มแรกและกลุ่มที่สองนั้นประมาณความกว้างของรูที่เห็นน้อยกว่ากลุ่มที่สามและกลุ่มที่สี่ แสดงให้เห็นว่าการรับรู้ขนาดของสิ่งแวดล้อมนั้นขึ้นอยู่กับขนาดร่างกาย

## 2.2. การประมวลผลข้อมูล (Information processing)

### 2.2.1. การเลือกสิ่งที่จะรับรู้ (Selectivity)

โดยธรรมชาติการรับรู้ของมนุษย์รวมถึงสัตว์อื่นๆ จะมีการเลือกสิ่งที่จะรับรู้ เนื่องจากสิ่งแวดล้อมมีมากจนสมองไม่สามารถรับรู้ได้ทั้งหมด จากการทดลองเกี่ยวกับประสาทสัมผัสของนก ผู้ทำการทดลองได้จับเวลาที่นกใช้บินผ่านอุโมงค์ที่มีความกว้างและความยาวเท่ากัน แต่มีลวดลายบนผนังแตกต่างกัน 2 แบบ ได้แก่ อุโมงค์ที่มีผนังลายเส้นแนวนอน และลายเส้นแนวตั้ง



รูปที่ 2.2 การทดลองเกี่ยวกับประสาทสัมผัสของนก โดยให้นกบินผ่านอุโมงค์ที่มีผนังลายเส้นแนวนอน (ซ้าย) และลายเส้นแนวตั้ง (ขวา)

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่านกใช้เวลาในการบินผ่านอุโมงค์ลายเส้นแนวนอนน้อยกว่าลายเส้นแนวตั้ง เนื่องจากลายเส้นแนวนอนมีความราบเรียบเหมือนสิ่งแวดล้อมที่โล่งกว้างยาวต่อเนื่องกันไปตลอดทาง ส่วนลายเส้นแนวตั้งนั้นรูปแบบของภาพที่นกมองเห็นมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เปรียบเสมือนมีวัตถุมากมาย นกจึงบินอย่างระมัดระวังมากขึ้น (Barrett, 2014) ที่เป็นเช่นนี้เพราะนกเป็นสัตว์ที่มีมุมการมองเห็นที่กว้างเกือบ 300 องศา ทำให้รับข้อมูลภาพได้เป็นจำนวนมากมหาศาล แต่ขนาดสมองของนกนั้นเล็กมากจนไม่สามารถประมวลผลข้อมูลทั้งหมดได้ จึงจำเป็นต้องมีการคัดกรองข้อมูลที่เข้าสู่สมอง

เมื่อมีวัตถุใดๆ ผ่านเข้ามาในระยะการมองเห็น สมองจะต้องรับรู้ข้อมูลเพิ่มเติม ยังมีวัตถุผ่านสายตามากขึ้น ปริมาณข้อมูลก็มากขึ้นตามไปด้วย ทำให้สมองแปลความหมายและตัดสินใจตอบสนองได้ช้าลง หากต้องการรักษาความเร็วในการตอบสนอง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าร่างกายจะไม่ได้รับอันตราย ก็ต้องอาศัยการลดปริมาณข้อมูล โดยลดความเร็วในการรับภาพด้วยการลดความเร็วของวัตถุที่ผ่านสายตา (Optic flow) เพื่อให้สมองสามารถแปล

ความหมายและสั่งการให้ควบคุมร่างกายได้อย่างทันท่วงที อย่างไรก็ตามหากได้รับการฝึกฝนจนชำนาญแล้ว การประมวลผลข้อมูลและการตอบสนองอาจเร็วกว่าปกติได้ ยกตัวอย่างเช่น นักวิ่ง หรือนักแข่งรถ เป็นต้น

### 2.2.2. ทฤษฎีสารสนเทศ (Information Theory)

ทฤษฎีสารสนเทศ เป็นทฤษฎีเกี่ยวกับการสื่อสารข้อมูล โดย Shannon (1948) ได้เสนอแนวคิดในการนำสมการทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการสื่อสาร แสดงให้เห็นว่าข้อมูลต่างๆ สามารถคำนวณเป็นปริมาณได้ มีหน่วยเป็นบิต (bits, binary digits) ดังสมการ

$$H_i = -\log P_i \quad (2.1)$$

เมื่อ  $H_i$  คือ ปริมาณข้อมูลของเหตุการณ์ที่  $i$  (bits)  
 $P_i$  คือ ความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ที่  $i$

จากสมการจะเห็นว่า ปริมาณข้อมูลของเหตุการณ์ใดๆ ขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์นั้น เนื่องจากความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ คือ การคาดการณ์ล่วงหน้า (Prior expectation) หากเหตุการณ์ใด ๆ มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้นได้มาก ปริมาณข้อมูลของเหตุการณ์นั้นจะมีค่าน้อย เนื่องจากเหตุการณ์เกิดขึ้นบ่อย ทำให้สามารถคาดการณ์ได้ ดังนั้นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างแน่นอน (ความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์เท่ากับหนึ่ง) เหตุการณ์นั้นไม่ต้องอาศัยข้อมูลใดๆ คือ ปริมาณข้อมูลเท่ากับศูนย์ และปริมาณข้อมูลจะมีค่าเป็นอนันต์ (Infinity) เมื่อเหตุการณ์นั้นไม่มีโอกาสเกิดขึ้นเลย

สำหรับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นต่อเนื่อง ปริมาณข้อมูลเฉลี่ยทั้งหมดหาได้โดยนำความน่าจะเป็นของแต่ละเหตุการณ์มาถ่วงน้ำหนักเข้ากับปริมาณข้อมูล ดังสมการ

$$H = -\sum_{i=1}^n P_i \log P_i \quad (2.2)$$

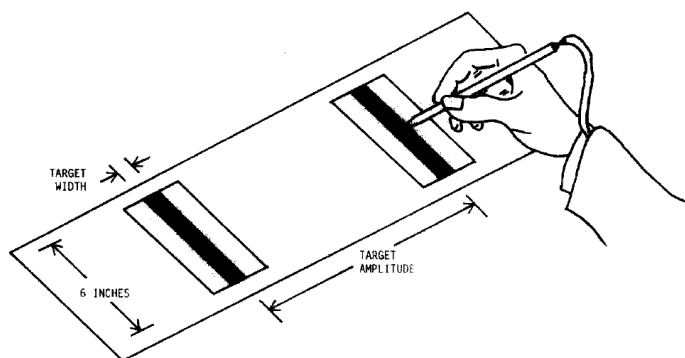
เมื่อ  $H$  คือ ปริมาณข้อมูลเฉลี่ยทั้งหมด (bits)

### 2.2.3. ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนความเร็วและความแม่นยำ

ทฤษฎีนี้อธิบายถึงประสิทธิภาพของมนุษย์ในการทำงานใดๆ ไม่ว่าจะเป็นงานที่ต้องใช้ความสามารถทางร่างกาย (Physical workload) หรืองานที่ต้องใช้ความสามารถของกระบวนการคิด (Cognitive workload) โดยในการทำงาน จะมีความสัมพันธ์ระหว่าง

ความเร็วที่ใช้ในการทำงาน (Speed) และความถูกต้องแม่นยำในการทำงาน (Accuracy) ในลักษณะที่แลกเปลี่ยน (Trade-off) กันเสมอ กล่าวคือ งานที่ต้องใช้ความเร็วก็จะสูญเสียความแม่นยำ และงานที่ต้องอาศัยความแม่นยำก็จะสูญเสียความเร็ว ทั้งนี้ความเร็วและความแม่นยำในการทำงานของมนุษย์ขึ้นอยู่กับดัชนีความยากของงาน (Index of Difficulty, ID)

Fitts ทำการทดลองโดยกำหนดงานในการจรดปากกาลงบนพื้นที่เป้าหมาย 2 แห่ง โดยให้ความกว้างของเป้าหมายและระยะห่างระหว่างเป้าหมายเป็นตัวแปรต้น และกำหนดให้เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่จรดปากกาจากเป้าหมายหนึ่งไปยังอีกเป้าหมายหนึ่งเป็นตัวแปรตาม ให้ผู้ทดสอบจรดปากกาลงบนเป้าหมายสลับซ้ายขวาโดยไม่ให้ปากกาออกนอกเป้าหมาย กล่าวคือ ความกว้างของเป้าหมายเป็นตัวกำหนดความแม่นยำในการทำงาน และมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการทำงาน



รูปที่ 2.3 รูปแบบการทดลองของ Fitts (MacKenzie, 1992)

จากการทดลองได้ความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงดังสมการ

$$MT = a + b \log_2 \left( \frac{2A}{w} \right) \quad (2.3)$$

เมื่อ	MT	คือ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (Movement time)
	A	คือ ระยะห่างระหว่างเป้าหมาย
	w	คือ ความกว้างของเป้าหมายในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่
	a, b	คือ สัมประสิทธิ์การถดถอย

จะเห็นว่า สิ่งที่ส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการทำงาน คือ ดัชนีความยากของงาน ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับระยะห่างระหว่างเป้าหมาย (Target amplitude) และความกว้างของเป้าหมาย (Target width) ดังสมการ

$$ID = \log_2 \left( \frac{2A}{w} \right) \quad (2.4)$$

#### 2.2.4. ผลของปริมาณข้อมูลต่อการทำงาน

ปริมาณข้อมูลมีผลต่อสมรรถนะในการทำงาน โดยปริมาณข้อมูลที่มากขึ้น ทำให้ความเร็วในการตอบสนอง (Speed of Response) และความแม่นยำในการตอบสนอง (Accuracy of Response) ลดลง เนื่องจากปริมาณข้อมูลยิ่งมากขึ้น จะยิ่งส่งผลให้สมองใช้เวลาในการประมวลผลนานขึ้น จึงตัดสินใจตอบสนองได้ช้าลง

Hick (1952) และ Hyman (1953) ได้ศึกษาผลของปริมาณข้อมูลที่มีต่อกระบวนการแปลความหมายข้อมูลของมนุษย์ โดยผนวกเอาแนวคิดเรื่องปริมาณข้อมูลของ Shannon และแนวคิดเรื่องประสิทธิภาพในการทำงานของ Fitts เข้าด้วยกัน ทำการทดลองในลักษณะ Choice-reaction คือ มีทางเลือกหลายทางเลือกสำหรับผู้ทดลองตัดสินใจเลือกเพียงทางเลือกเดียว ในการตัดสินใจเลือกแต่ละครั้งจึงมีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับส่วนกลับของจำนวนทางเลือก คำนวณเป็นปริมาณข้อมูลได้ดังสมการ

$$H = \log n \quad (2.5)$$

เมื่อ  $n$  คือ จำนวนทางเลือก หรือ Choice  
 $H$  คือ ปริมาณข้อมูล มีหน่วยเป็นบิต

จากการทดลองพบว่าเวลาที่ใช้ในการตอบสนอง และปริมาณข้อมูล มีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง ดังสมการ

$$RT = a + bH \quad (2.6)$$

เมื่อ  $RT$  คือ เวลาที่ใช้ในการตอบสนอง (Response Time)  
 $a, b$  คือ สัมประสิทธิ์การถดถอย

จากสมการจะเห็นว่า ปริมาณข้อมูลหรือจำนวนทางเลือกมีผลต่อเวลาที่มนุษย์ใช้ในการตอบสนอง โดยยิ่งปริมาณข้อมูลมากขึ้น เวลาที่ใช้ในการตอบสนองก็ยิ่งมากขึ้น เนื่องจากปริมาณข้อมูลที่มากขึ้นส่งผลให้สมองของมนุษย์ใช้เวลาในการประมวลผลนานขึ้น จึงตัดสินใจตอบสนองได้ช้าลง

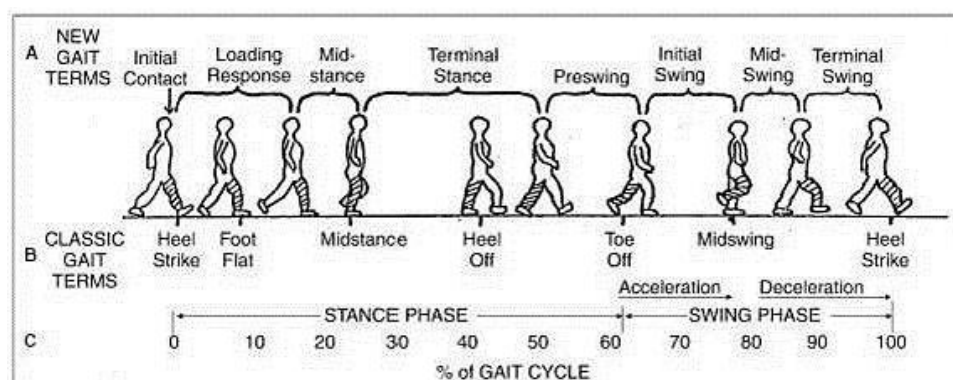
นอกเหนือจากปริมาณข้อมูลแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อการตอบสนองต่อสิ่งเร้าของมนุษย์ ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมของ Kosinski (2005) พบว่าปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อเวลาที่มนุษย์ใช้ในการตอบสนองต่อสิ่งเร้ามีอีกหลายปัจจัยด้วยกัน ทั้งอารมณ์ บุคลิก อายุ ความตื่นตัว ความเครียด ความล้า สิ่งรบกวน รวมถึงปริมาณยาและแอลกอฮอล์ที่มีผลต่อระบบประสาท

### 2.3. การเคลื่อนไหวร่างกายของมนุษย์

เมื่อสมองรับรู้ข้อมูลของสิ่งรอบข้างแล้วจะตอบสนองโดยสั่งการไปยังเส้นประสาท เพื่อควบคุมกล้ามเนื้อส่วนต่างๆของร่างกายให้มีการหดตัวหรือคลายตัวตามลำดับและระยะที่เหมาะสม เพื่อให้ร่างกายตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมอย่างถูกต้อง หรือเคลื่อนที่ไปได้อย่างปลอดภัย การเคลื่อนไหวร่างกายของมนุษย์ที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ได้แก่ การเดิน และการควบคุมร่างกาย เพื่อเคลื่อนที่ผ่านช่องทางเดิน

#### 2.3.1. การวิเคราะห์การเดิน (Gait Analysis)

การวิเคราะห์การเดิน เป็นการศึกษาการเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะการเคลื่อนไหวของมนุษย์ในชีวิตประจำวัน ได้แก่ การเดิน และการวิ่ง นิยามของการเดินและการวิ่งมีความคล้ายคลึงกันมาก คือ เป็นการเคลื่อนที่โดยใช้ขาทั้งสองข้างก้าวสลับกันไปมา เพียงแต่นิยามของการเดินนั้นถูกจำกัดไว้ว่า เท้าข้างใดข้างหนึ่งจะต้องสัมผัสกับพื้นตลอดเวลาที่มีการเคลื่อนไหว หากเท้าทั้งสองลอยขึ้นจากพื้นจะไม่นับว่าเป็นการเดิน การเดินของมนุษย์มีลักษณะเป็นวงจร เรียกว่า Gait cycle



รูปที่ 2.4 วงจรการเดินของมนุษย์ (Koster, n.d.)

จากรูปที่ 2.4 วงจรการเดินแต่ละครั้งประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้



1. Stance phase คือ ช่วงที่ขาข้างที่สนใจนั้นวางอยู่บนพื้น เท้าข้างนั้นจึงรับน้ำหนักร่างกาย กินเวลา 60% ของวงจรการเดิน
2. Swing phase คือ ช่วงที่ขาข้างที่สนใจนั้นลอยขึ้นจากพื้น เพื่อเหวี่ยงเท้าข้างนั้นไปข้างหน้า กินเวลา 40% ของวงจรการเดิน

ตัวแปรที่ศึกษาในการวิเคราะห์การเดินมีอยู่หลายตัวแปร ได้แก่ ระยะก้าว ทั้งระยะก้าวที่วัดจากเท้าข้างหนึ่งถึงเท้าอีกข้างหนึ่ง (Step length) และระยะก้าวที่วัดจากเท้าข้างหนึ่งถึงเท้าข้างเดียวกันในวงจรการเดินถัดไป (Stride length) เพื่อพิจารณาระยะก้าวของเท้าแต่ละข้างว่ามีความสมมาตรกันหรือไม่ รวมถึงจังหวะการเดิน (Cadence), ความเร็ว (Speed), มุมของแกนเท้า (Foot angle) และมุมของสะโพก (Hip angle) ส่วนปัจจัยที่ทำให้การเดินของมนุษย์มีความแตกต่างกัน มีทั้งปัจจัยภายนอก (Extrinsic) เช่น ลักษณะภูมิประเทศของทางเดิน รองเท้าและเสื้อผ้าที่สวมใส่ ปัจจัยภายใน (Intrinsic) ของผู้เดิน ทั้งปัจจัยทางด้านร่างกาย ยกตัวอย่างเช่น เพศ อายุ ส่วนสูง น้ำหนัก รูปร่าง สัดส่วนร่างกาย เป็นต้น ปัจจัยทางด้านจิตใจ ความรู้สึกนึกคิด บุคลิก และอารมณ์ รวมถึงโรคประจำตัว ความผิดปกติของร่างกาย และอาการบาดเจ็บต่างๆ ซึ่งส่งผลให้การเดินของมนุษย์มีความผิดปกติได้

ความเร็ว เป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่บ่งชี้ได้ว่ามนุษย์กำลังเดินหรือวิ่ง ซึ่งความเร็วในการเดินของมนุษย์นั้นมีความแตกต่างกันตามปัจจัยต่างๆ จึงไม่สามารถกำหนดความเร็วในการเดินหรือวิ่งที่แน่นอนได้ อย่างไรก็ตามได้มีผู้เชี่ยวชาญแบ่งลักษณะของการเดินไว้คร่าวๆตามช่วงของความเร็ว ดังนี้ (Bumgardner, 2014)

1. เดินปกติ เป็นการเดินโดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน ความเร็วในการเดินลักษณะนี้อยู่ที่ 3.2 – 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (0.89 – 1.39 เมตรต่อวินาที)
2. เดินเร็วปานกลาง เป็นการเดินด้วยความเร็วสูงขึ้นมาอีกระดับหนึ่ง มีระดับความเร็วประมาณ 6.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (1.81 เมตรต่อวินาที)
3. เดินเร็ว มักเป็นการเดินเพื่อการแข่งขัน ความเร็วในการเดินอยู่ในช่วง 8 - 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (2.22 – 2.78 เมตรต่อวินาที)

ผลการวิจัยพบว่า มนุษย์ที่มีอายุมากขึ้นเดินด้วยความเร็วที่น้อยลง และมีระยะก้าวที่สั้นกว่าเมื่อเทียบกับมนุษย์ที่มีอายุน้อยกว่า เมื่อพิจารณาระหว่างเพศชายและเพศหญิง พบว่า

ความเร็วเฉลี่ยในการเดินปกติของเพศชายนั้นสูงกว่าเพศหญิงในทุกช่วงอายุ ส่วนสูงมีผลต่อระยะก้าว จึงทำให้มีผลต่อความเร็วการเดินของทั้งเพศชายและเพศหญิง แต่น้ำหนักมีผลต่อความเร็วการเดินในเพศหญิงเท่านั้น (Samson et al., 2001)

### 2.3.2. การควบคุมการเคลื่อนไหว (Motor control)

การควบคุมการเคลื่อนไหว หมายถึง กระบวนการในการใช้ระบบประสาทและกล้ามเนื้อ (Neuromuscular system) ของมนุษย์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวร่างกาย ควบคุมโดยระบบประสาทส่วนกลาง (Central nervous system) อันประกอบด้วยสมองและไขสันหลัง และตอบสนองในรูปแบบของการเคลื่อนไหวร่างกายโดยระบบกล้ามเนื้อและกระดูก (Musculoskeletal system) (Wise & Shadmehr, 2002) เมื่อสมองได้รับรู้ข้อมูลของสิ่งแวดล้อมรอบข้างผ่านประสาทสัมผัสแล้ว จะส่งสัญญาณประสาทไปยังระบบประสาทสั่งการ (Motor system) เพื่อควบคุมกล้ามเนื้อให้หดตัวและคลายตัวเป็นระยะที่เหมาะสม

การควบคุมกล้ามเนื้อมีทั้งการควบคุมกล้ามเนื้อมัดใหญ่ (Gross motor) อย่างกล้ามเนื้อแขน กล้ามเนื้อขา หรือลำตัว มักเป็นกิจกรรมทั่วไปในชีวิตประจำวัน เช่น การเดิน การวิ่ง การคลาน การทรงตัว และการควบคุมกล้ามเนื้อมัดเล็ก (Fine motor) ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ต้องอาศัยความละเอียด เช่น การเขียนหนังสือ การเล่นเครื่องดนตรี เป็นต้น

ทักษะในการควบคุมการเคลื่อนไหว (Motor skill) ซึ่งสามารถวัดได้จากเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนไหวร่างกายนั้น มีการพัฒนาตามช่วงอายุที่มากขึ้น แต่มีแนวโน้มเสื่อมถอยลงเมื่อน้ำหนักร่างกายมากขึ้น รวมถึงความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และการฝึกฝน หากได้รับการฝึกฝนจนชำนาญ ก็จะทำให้ทักษะในการควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกายสูงขึ้นได้ นอกจากนี้แล้วยังพบว่าเพศมีผลต่อทักษะในการควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกาย โดยส่วนใหญ่พบว่าเพศชายมีสมรรถนะการควบคุมกล้ามเนื้อมัดใหญ่ที่ดีกว่า ส่วนเพศหญิงมีสมรรถนะในการควบคุมกล้ามเนื้อมัดเล็กได้ดีกว่า เมื่อพิจารณาในแง่ของการตอบสนองต่อสิ่งเร้า เพศชายมีการตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้เร็วกว่าเพศหญิง ทั้งในแง่ของเวลาที่ใช้ในการรับรู้สิ่งเร้า และเวลาที่ใช้ในการตอบสนองต่อสิ่งเร้า ซึ่งก็คือเวลาที่ใช้ในการควบคุมร่างกายเพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้านั่นเอง (Spierer, Petersen, Duffy, Corcoran, & Rawls-Martin, 2010) ประกอบกับพฤติกรรมในการยอมรับความเสี่ยง (Risk Taking) เพศชายมีการยอมรับความเสี่ยงได้มากกว่าเพศหญิง และกล้าที่จะเข้าไปเกี่ยวข้องกับกิจกรรมที่มีความเสี่ยงต่อ

สุขภาพและทรัพย์สินมากกว่าเหตุเพลิงไหม้ (Harris & Jenkins, 2006) การตอบสนองและควบคุมร่างกายของเพศชายจึงมีแนวโน้มที่เร็วกว่าเพศหญิง

## 2.4. วิธีประเมินความกว้างของทางสัญจร

### 2.4.1. วิธีคำนวณเวลาในการอพยพออกจากอาคาร

วิธีคำนวณเวลาในการอพยพออกจากอาคาร (Building evacuation calculation) ตามมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2551) ใช้ในการคำนวณเวลาที่ผู้อาศัยทั้งหมดอพยพออกจากอาคารเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้

กระบวนการหนีไฟพิจารณาตั้งแต่เริ่มเกิดเหตุเพลิงไหม้ จนกระทั่งผู้อพยพทั้งหมดออกจากอาคารไปยังที่ปลอดภัย แบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงกระบวนการก่อนอพยพ (Pre-evacuation process) คือ ช่วงที่ผู้อพยพรับรู้การเกิดเหตุเพลิงไหม้จากสัญญาณเตือนต่างๆ และตอบสนองต่อการรับรู้ นั่น ซึ่งการตอบสนองขึ้นอยู่กับกระบวนการตัดสินใจของตัวผู้อพยพ โดยผู้อพยพจะตระหนักถึงอันตรายของเหตุเพลิงไหม้ในระดับที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาดและความสูงของอาคาร ระยะห่างของผู้อพยพกับแหล่งกำเนิดเพลิง ระบบการป้องกันอัคคีภัยของอาคาร รวมถึงความคุ้นเคยต่อสถานที่ เวลาในช่วงนี้จึงต้องพิจารณาเป็นกรณีไป ไม่มีรูปแบบการคำนวณที่ชัดเจน จากนั้นเมื่อผู้อพยพตัดสินใจเริ่มอพยพแล้ว ก็จะเข้าสู่ช่วงการอพยพ (Evacuation process) ซึ่งสามารถคำนวณเวลาในช่วงนี้ได้ 2 วิธี

#### 1.) วิธี Nonlinear regression

วิธีนี้เหมาะสำหรับใช้คำนวณในเบื้องต้นเท่านั้น และไม่เหมาะกับอาคารที่มีความสูงเกิน 15 ชั้น โดยเวลาที่ใช้ในการอพยพนั้นเป็นฟังก์ชันกับจำนวนผู้อพยพและความกว้างของทางหนีไฟ ดังสมการ

$$T = 0.68 + 0.081 \left( \frac{P}{W} \right)^{0.73} \quad (2.7)$$

เมื่อ T คือ เวลาที่ใช้ในการอพยพ (นาที)

P คือ จำนวนคนที่ผ่านทางหนีไฟ (คน)

W คือ ความกว้างจริงของทางหนีไฟ (เมตร)

## 2.) วิธี Hydraulic analogy

วิธีนี้มีต้นแบบมาจากมาตรฐานของ NFPA ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งได้มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย รวมถึงประเทศในแถบยุโรป (The Confederation of Fire Protection Association Europe, 2009) วิธีคำนวณมาจากการประยุกต์ใช้หลักการของชลศาสตร์ (Hydraulic) โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของคนแต่ละคนขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของกลุ่มคนที่เคลื่อนที่ผ่านทางหนีไฟนั้น

กรณีความหนาแน่นของกลุ่มคน (D) มากกว่า 3.8 คนต่อตารางเมตร จะไม่มีการเคลื่อนที่เกิดขึ้น ( $v = 0$ ) จนกว่าความหนาแน่นของกลุ่มคนจะลดลง

กรณีความหนาแน่นของกลุ่มคน (D) น้อยกว่า 0.55 คนต่อตารางเมตร

$$v = 0.85k \quad (2.8)$$

กรณีความหนาแน่นของกลุ่มคน (D) อยู่ระหว่าง 0.55-3.8 คนต่อตารางเมตร

$$v = k - 0.266kD \quad (2.9)$$

เมื่อ  $v$  คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ (เมตรต่อวินาที)

$D$  คือ ความหนาแน่นของกลุ่มคนที่เคลื่อนที่ (คนต่อตารางเมตร)

$k$  คือ ค่าคงที่ (เมตรต่อวินาที) แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่ (k)

ลักษณะช่องทางหนีไฟ	k (เมตรต่อวินาที)
ทางราบ ทางลาดเอียง ทางระหว่างประตู	1.40
บันได : ลูกตั้ง/ลูกนอน (มิลลิเมตร)	
190/254	1.00
178/279	1.08
165/305	1.16
165/330	1.23

จากนั้นคำนวณค่าการไหลจำเพาะ (Specific flow) ซึ่งเปรียบได้กับพลักซ์การไหลของมวล (Mass flux) คือ จำนวนคนต่อเวลาต่อความกว้างสุทธิ

$$F_s = Dv \quad (2.10)$$

เมื่อ  $F_s$  คือ ค่าการไหลจำเพาะ (คนต่อวินาที-เมตร)

จากนั้นนำมาคำนวณอัตราการไหลของคน (Flow rate) ที่ทางหนีไฟแต่ละส่วนซึ่งมีความกว้างแตกต่างกัน โดยทางหนีไฟที่มีอัตราการไหลต่ำสุดจะมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการอพยพออกจากอาคาร

$$F_c = F_s w \quad (2.11)$$

เมื่อ  $F_c$  คือ อัตราการไหล (คนต่อวินาที)

$w$  คือ ความกว้างที่ใช้อพยพจริง (เมตร)

โดยค่าความกว้างที่ใช้อพยพจริง จะเท่ากับค่าความกว้างสุทธิของทางนั้น หักลบด้วยระยะห่างระหว่างคนกับผนังของทางทั้งสองด้าน สำหรับค่าระยะห่างแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ระยะห่างระหว่างคนกับผนัง

ลักษณะทางหนีไฟ	ค่าระยะห่าง (มิลลิเมตร)
ช่องทางระหว่างเก้าอี้ ในโรงภาพยนตร์ หรืออิมจินทร์	0
บันได ประตู	150
ผนังช่องทางเดิน และทางลาดเอียง	200
ช่องทางที่มีสิ่งกีดขวางตามทาง	100
ช่องทางที่มีราวจับ	89

เมื่อทราบอัตราการไหลของแต่ละทางหนีไฟแล้ว คำนวณเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการอพยพออกจากอาคารได้โดยนำจำนวนผู้อพยพทั้งหมดหารด้วยอัตราการไหลของทางที่มีค่าต่ำที่สุด

#### 2.4.2. การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้จำลองการอพยพนั้นมีด้วยกันหลายโปรแกรม ซึ่งแต่ละโปรแกรมมีรูปแบบการจำลอง วิธีการแสดงผล และข้อจำกัดที่แตกต่างกัน (Kuligowski, Peacock, & Hoskins, 2010) ได้สรุปวิธีที่โปรแกรมจำลองการอพยพต่างๆทั้งหมด 26 โปรแกรมใช้จำลองการเคลื่อนที่ของผู้อพยพและแบ่งออกเป็น 9 แบบ ดังนี้

- 1) Density correlation : ความเร็วของผู้อพยพขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของจำนวนคนในพื้นที่
- 2) User's choice : ความเร็วของผู้อพยพถูกกำหนดโดยผู้ใช้โปรแกรม
- 3) Inter-person distance : ความเร็วของผู้อพยพขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างตนเองกับบุคคลอื่น รวมถึงสิ่งกีดขวาง และผนังอาคาร โดยเมื่อผู้อพยพเข้าใกล้บุคคลอื่นมากขึ้น ความเร็วของผู้อพยพจะมีแนวโน้มลดลง
- 4) Potential : ผู้อพยพเคลื่อนที่จากจุดที่มีค่าศักย์มากไปน้อย โดยผู้ใช้โปรแกรมเป็นผู้กำหนดค่าศักย์ของแต่ละจุดในพื้นที่เอง
- 5) Emptiness of next grid cell : ผู้อพยพจะเคลื่อนที่ไปยังบริเวณที่ไม่มีผู้อื่นอยู่เท่านั้น
- 6) Conditional : ความเร็วของผู้อพยพขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของสภาพแวดล้อม เช่น โครงสร้างอาคาร หรือความรุนแรงของเพลิงไหม้
- 7) Acquiring knowledge : การเคลื่อนที่ของผู้อพยพอาศัยการเรียนรู้ที่ได้ตลอดเส้นทางการอพยพ
- 8) Unimpeded flow : ความเร็วของผู้อพยพเป็นความเร็วเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ความหนาแน่นต่ำ หรือไม่มีพื้นที่ติดขัดตลอดเส้นทางการอพยพ โดยหลังจากนั้นจะนำช่วงเวลาหน่วงในการอพยพ มาหักลบออกจากเวลาที่ได้จากการจำลองสถานการณ์อีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้ได้เวลาในการอพยพที่แท้จริง
- 9) Cellular automata : ผู้อพยพเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง โดยอาศัยหลักการของการทยอยลูกเต๋าถ่วงน้ำหนัก

แบบจำลองส่วนใหญ่จะให้ผู้อพยพเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ความหนาแน่นต่ำ หรือไม่มีพื้นที่ติดขัด (Unimpeded speed) ผู้อพยพจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วดังกล่าวจนกระทั่งเข้าสู่บริเวณที่มีความหนาแน่นสูงขึ้น ความเร็วของผู้อพยพจึงมีการเปลี่ยนแปลง โดยจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับรูปแบบต่างๆ ที่กล่าวไว้ข้างต้น

การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ยังมีเงื่อนไขบางประการที่แตกต่างกันระหว่างสถานการณ์ปกติ และสถานการณ์ฉุกเฉิน (Helbing, Farkas, Molnar, & Vicsek, 2002) ได้อธิบายความแตกต่างของพฤติกรรมมนุษย์ในสถานการณ์ปกติกับสถานการณ์ที่มีการอพยพ แบบจำลองในสถานการณ์ปกติซึ่งมักจะใช้เพื่อปรับปรุงการบริการในสถานที่สาธารณะต่างๆ รวมถึงสิ่งอำนวยความสะดวก เช่น ทางเดินเท้า มีหลักการของแบบจำลองคือจำลองพฤติกรรมของคนเป็นเสมือนของไหล แต่มีพฤติกรรมบางอย่างเสริมเข้าไป เช่น การหลบหลีกผนัง แต่ในสถานการณ์ที่มีการอพยพนั้น มนุษย์จะตกอยู่ในภาวะตื่นตระหนก และไม่คำนึงถึงสังคมชั่วขณะ จึงเกิดการผลัก ชน หรือดันขึ้นได้ ดังนั้นในสถานการณ์ฉุกเฉิน ความเร็วในการเคลื่อนที่จะสูงขึ้น ต้องใช้พื้นที่ในการเคลื่อนไหวมากขึ้น

## 2.5. การวัดสัดส่วนร่างกาย (Anthropometry)

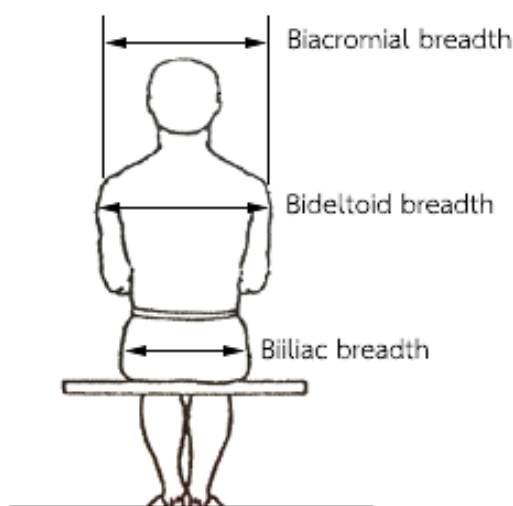
การวัดสัดส่วนร่างกาย เป็นการวัดลักษณะทางกายภาพของมนุษย์ (Physical measures) ได้แก่ ขนาด รูปร่าง และความสามารถในการทำงาน เช่น ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ เพื่อนำไปใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับงานต่างๆ รวมถึงเครื่องมือ อุปกรณ์ พาหนะที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน (National Institute for Occupational Safety and Health, 2015) ลักษณะเหล่านี้มีความแตกต่างกันระหว่างบุคคล รวมถึงปัจจัยอื่นๆ เช่น เพศ หรือช่วงอายุที่แตกต่างกัน ย่อมส่งผลให้สัดส่วนร่างกายมีความแตกต่างกันตามไปด้วย สัดส่วนร่างกายจึงเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับวิศวกรออกแบบ สำหรับใช้ในการออกแบบเครื่องมือเครื่องใช้และอุปกรณ์ พื้นที่ในการทำงาน แขนงอาคารสถานที่ ให้มีความเหมาะสมกับผู้ใช้งานมากที่สุด

สำหรับสัดส่วนร่างกายในมิติของความกว้าง มีวิธีวัดดังนี้ (Lohman, Roche, & Martorell, 1991)

- ความกว้างไหล่ (Shoulder breadth) ใช้ในการออกแบบที่นั่งแบบเก้าอี้เรียงติดกันเป็นแถวยาว รวมถึงออกแบบระยะห่างในด้านข้าง (Lateral clearance) ของช่องทางเดิน ในกรณีที่มีพื้นที่จำกัด ความกว้างไหล่โดยทั่วไปมี 2 แบบ ขึ้นอยู่กับจุดอ้างอิง คือ อ้างอิงปุ่มหัวไหล่ และอ้างอิงกล้ามเนื้อ ในการวัดใช้เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกายแบบด้ามตรง ผู้

วัดยืนอยู่ด้านหลังผู้ถูกวัด ผู้ถูกวัดยืนตรง ปล่อยแขนแนบลำตัว หากผู้ถูกวัดสูงกว่าผู้วัดมาก ให้ผู้ถูกวัดนั่งบนเก้าอี้ที่ไม่มีพนักพิงและที่วางแขน วัดความกว้างระหว่างด้านนอกสุดของกระดูกปุ่มหัวไหล่ (Acromial) ทั้งสองข้าง หรือวัดความกว้างระหว่างจุดที่นูนที่สุดของกล้ามเนื้อต้นแขน (Deltoid) ทั้งสองข้าง

- ความกว้างสะโพก (Hip breadth) หรือความกว้างระหว่างกระดูกปีกสะโพก (Biiliac breadth) หรือความกว้างระหว่างกระดูกเชิงกราน (Pelvic breadth) นิยมนำไปใช้ออกแบบขนาดของที่นั่ง เก้าอี้ หรือช่องทางเดินที่เป็นประตูแบบก้านหมุน (Turnstiles) ในการวัดใช้เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกายแบบด้ามตรง ผู้วัดยืนอยู่ด้านหลังผู้ถูกวัด ให้ผู้ถูกวัดกอดอก ยืนตรง เท้าทั้งสองห่างกันประมาณ 5 เซนติเมตร เพื่อป้องกันการแกว่งของร่างกาย จากนั้นผู้วัดวัดความกว้างระหว่างปุ่มกระดูกเชิงกรานด้านนอกสุดทั้งสองข้าง



รูปที่ 2.5 ความกว้างร่างกายส่วนต่างๆ

## 2.6. ชีพจรและอัตราการเต้นของหัวใจ

ชีพจร (Pulse) คือ แรงสั่นสะเทือนของกระแสเลือด อันเกิดจากการบีบตัวของหัวใจเพื่อสูบฉีดเลือดไปยังส่วนต่างๆของร่างกาย ทำให้หลอดเลือดมีการขยายตัวเป็นจังหวะ (Beat) หรือกล่าวได้ว่า ชีพจร คืออัตราการบีบตัวของหัวใจ



อัตราการเต้นของหัวใจขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ทั้งปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับร่างกาย เช่น เพศ อายุ โรคภัยไข้เจ็บ เป็นต้น ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับจิตใจ ความรู้สึกตื่นเต้น รวมถึงการออกกำลังกาย โดยอัตราการเต้นของหัวใจจะสูงขึ้น เมื่อมีการออกกำลังกายหรือภาระงานที่เพิ่มขึ้น

#### 2.6.1. วิธีวัดอัตราการเต้นของหัวใจ

Wood (2008a) ได้อธิบายถึงวิธีวัดชีพจรหรืออัตราการเต้นของหัวใจ ซึ่งสามารถทำได้ทั้งการวัดด้วยมือ หรืออุปกรณ์

##### 1.) วิธีวัดด้วยมือ (Manual method)

วิธีนี้อาศัยการสัมผัสกับเส้นเลือดแดงที่ใกล้ผิวหนัง ทำให้รู้สึกได้ถึงการเต้นของเส้นเลือด ซึ่งสามารถวัดอัตราการเต้นของหัวใจได้ 2 ตำแหน่ง ได้แก่ บริเวณข้อมือ (Radial pulse) และบริเวณคอ (Carotid pulse) โดยใช้นิ้วชี้และนิ้วกลางสัมผัสบริเวณที่ต้องการ เมื่อรู้สึกถึงการเต้นของเส้นเลือดแล้ว ให้นับจำนวนครั้งที่ชีพจรเต้นต่อเวลา 1 นาที

##### 2.) วิธีวัดด้วยอุปกรณ์ (Monitor method)

วิธีนี้สามารถวัดได้แม่นยำขึ้น โดยใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ช่วย เช่น หูฟัง อุปกรณ์วัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitor) หรือเครื่องวัดคลื่นหัวใจไฟฟ้า (Electrocardiogram)

#### 2.6.2. อัตราการเต้นของหัวใจปกติ

วัยรุ่นและผู้ใหญ่อายุมากกว่า 18 ปี มีอัตราการเต้นของหัวใจปกติอยู่ที่ 60-100 ครั้งต่อนาที (bpm) โดยอัตราการเต้นของหัวใจปกติในเพศชายอยู่ที่ 70 ครั้งต่อนาที และในเพศหญิงจะสูงกว่าเล็กน้อย อยู่ที่ 75 ครั้งต่อนาที

ตารางที่ 2.3 อัตราการเต้นของหัวใจในขณะพัก (Resting heart rate) แบ่งตามเพศหญิง และเพศชาย (Wood, 2008b)

เพศชาย						
ช่วงอายุ	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	65+
นักกีฬา	49-55	49-54	50-56	50-57	51-56	50-55
ดีมาก	56-61	55-61	57-62	58-63	57-61	56-61
ดี	62-65	62-65	63-66	64-67	62-67	62-65
สูงกว่าค่าเฉลี่ย	66-69	66-70	67-70	68-71	68-71	66-69
ค่าเฉลี่ย	70-73	71-74	71-75	72-76	72-75	70-73
ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย	74-81	75-81	76-82	77-83	76-81	74-79
แย่	82+	82+	83+	84+	82+	80+
เพศหญิง						
Age	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	65+
นักกีฬา	54-60	54-59	54-59	54-60	54-59	54-59
ดีมาก	61-65	60-64	60-64	61-65	60-64	60-64
ดี	66-69	65-68	65-69	66-69	65-68	65-68
สูงกว่าค่าเฉลี่ย	70-73	69-72	70-73	70-73	69-73	69-72
ค่าเฉลี่ย	74-78	73-76	74-78	74-77	74-77	73-76
ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย	79-84	77-82	79-84	78-83	78-83	77-84
แย่	85+	83+	85+	84+	84+	84+

## 2.7. ระบบบันทึกการเคลื่อนไหว

ระบบบันทึกการเคลื่อนไหว (Motion capture, MoCap) เป็นเครื่องมือที่ใช้บันทึกการเคลื่อนไหวของมนุษย์หรือวัตถุต่างๆ กล่าวคือ เปลี่ยนการเคลื่อนไหวจริงให้กลายเป็นการเคลื่อนไหวแบบดิจิทัล เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกนี้ไปใช้ประโยชน์ โดยทั่วไปมักใช้ในอุตสาหกรรมความบันเทิง ได้แก่ ภาพยนตร์ และเกม โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้การเคลื่อนไหวของตัวละครมีความสมจริงมากขึ้น นอกจากนี้ยังนำไปใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ เช่น วิเคราะห์ท่าทางและโครงสร้าง ความผิดปกติในการเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิต ในทางวิทยาศาสตร์การกีฬา เช่น วิเคราะห์ท่าทางของนักกีฬารวมถึงในทางนิติศาสตร์ และการทหารอีกด้วย

ประเภทของระบบบันทึกการเคลื่อนไหว แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลักๆ ดังนี้ (Furniss, n.d.)

### 2.7.1. ระบบบันทึกการเคลื่อนไหวเชิงกล (Mechanical system)

ระบบประเภทนี้ใช้บันทึกการเคลื่อนไหวได้เฉพาะมนุษย์เท่านั้น โดยผู้แสดงจะต้องสวมชุดพิเศษที่มีลักษณะตามโครงสร้างร่างกาย ที่ตำแหน่งของข้อต่อสำคัญต่างๆจะมีตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ ทำให้ทราบมุมการหมุนของข้อต่อในขณะที่ข้อต่อมีการเคลื่อนไหว แต่จะไม่ทราบตำแหน่งจริงของข้อต่อนั้น ระบบประเภทนี้มักมีข้อจำกัดในการเคลื่อนไหว เนื่องจากชุดที่ผู้แสดงต้องสวมใส่ ทำให้ท่าทางในการเคลื่อนไหวมีความซับซ้อนได้น้อย

### 2.7.2. ระบบบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic system)

อาศัยหลักการของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยจะมีแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ในบริเวณพื้นที่ จากนั้นเซ็นเซอร์ที่ติดตามข้อต่อจะวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และส่งข้อมูลไปยังวงจรวัดค่า เพื่อหาตำแหน่งและการหมุนของเซ็นเซอร์แต่ละตัวในสนามแม่เหล็ก ข้อเสียของระบบประเภทนี้คือถูกรบกวนได้ง่ายโดยโลหะ และพื้นที่ที่สามารถบันทึกได้นั้นถูกจำกัด

### 2.7.3. ระบบบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยภาพ (Optical system)

ระบบประเภทนี้บันทึกการเคลื่อนไหวของข้อต่อต่างๆได้โดยติดตามจุดบอกตำแหน่งหรือมาร์กเกอร์ (Marker) ที่ติดไว้ตามร่างกายของผู้แสดง โดยมาร์กเกอร์ยังแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ มาร์กเกอร์แบบลูกบอลวาวแสง (Reflective ball or Passive marker) จะปรากฏเป็นจุดแสงจากกล้องอินฟราเรด ทำให้เห็นตำแหน่งของมาร์กเกอร์ อีกประเภทหนึ่งคือมาร์กเกอร์แบบหลอดแอลอีดี (LED or Active marker) ซึ่งสามารถเปล่งแสงออกมาจากหลอดแอลอีดีได้เอง กล้องจะติดตามตำแหน่งของมาร์กเกอร์และคำนวณเป็นพิกัดออกมา ผู้แสดงสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ และเคลื่อนไหวในท่าทางที่ซับซ้อนได้ เนื่องจากโดยปกติแล้วมาร์กเกอร์จะมีน้ำหนักเบา และมีขนาดเล็ก

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของระบบทั้ง 3 ประเภท สามารถสรุปได้ดังตารางที่

## 2.4

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบบันทึกการเคลื่อนไหวทั้ง 3 ประเภท

	ระบบบันทึกการเคลื่อนไหวเชิงกล	ระบบบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า	ระบบบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยภาพ
การประมวลผลข้อมูล	ไม่ต้องมีการประมวลผล	ไม่ต้องมีการประมวลผล	ใช้เวลาประมวลผลนาน
การเปลี่ยนตำแหน่งและจำนวนของมาร์กเกอร์	ไม่สามารถเปลี่ยนได้	เปลี่ยนได้ยาก	เปลี่ยนได้ง่าย
การบดบังของมาร์กเกอร์	ไม่มี	ไม่มี	มี
ความถี่ในการบันทึก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
พื้นที่ในการบันทึก	มาก	น้อย	มาก
ค่าใช้จ่าย	ต่ำ	ปานกลาง	สูง

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ระบบบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยภาพ เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงและมีความยืดหยุ่นสูง โดยในการทดลองนั้นต้องการให้ผู้เข้าร่วมการทดลองสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ นอกจากนี้จำนวนและตำแหน่งของมาร์กเกอร์ยังสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมอีกด้วย

## 2.8. สมมติฐานของงานวิจัย

จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยจึงคาดหวังว่า อัตราเร็วในการเดินผ่านช่องทางเดินของมนุษย์จะมีแนวโน้มที่ลดลงจากอัตราเร็วก่อนผ่านช่องทางเดิน ตามทฤษฎีการแลกเปลี่ยนความเร็วและความแม่นยำ กล่าวคือ หากต้องการความแม่นยำในการเคลื่อนที่ คือ ไม่มีการเฉี่ยวชน อัตราเร็วในการเดินผ่านก็ควรจะมีแนวโน้มที่ลดลง โดยความกว้างช่องทางเดินที่เปลี่ยนไปจะมีผลต่ออัตราเร็วและความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง ในลักษณะเดียวกับกฎของ Fitts กล่าวคือ ความยากของงาน ได้แก่ ความกว้างช่องทางเดิน มีผลต่ออัตราเร็วในการเดินผ่าน จึงสันนิษฐานว่า มนุษย์จะยิ่งลดอัตราเร็วมากขึ้นเมื่อช่องทางเดินยิ่งแคบลง นอกจากนี้แล้ว ยังคาดว่า การลดอัตราเร็วของมนุษย์เมื่อเดินผ่านช่องทางเดินน่าจะมีความสัมพันธ์กับปัจจัยพื้นฐานด้านกายภาพของมนุษย์อีกด้วย ได้แก่ เพศและสัดส่วนร่างกาย สืบเนื่องจากการศึกษางานวิจัยต่างๆ พบว่าปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อกระบวนการเดินผ่านช่องทางเดิน ตั้งแต่การรับรู้ความกว้างช่องทางเดินที่แตกต่างกันระหว่างมนุษย์ที่มีขนาดร่างกายแตกต่างกัน โดยผู้ที่มีความกว้างไหล่มากกว่า จะรู้สึกถึงความกว้างช่องทางเดินแคบกว่าผู้ที่มี

ความกว้างไหล่เล็กน้อย หลังจากรับรู้แล้ว เมื่อร่างกายตอบสนองด้วยการเดิน ส่วนสูงก็เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความเร็วการเดิน โดยมนุษย์ที่มีส่วนสูงมากกว่านั้นมีแนวโน้มที่จะมีความยาวขามากกว่า จึงมีระยะก้าวที่ยาวกว่า ทำให้ก้าวข้ามผ่านช่องทางเดินได้เร็ว และยิ่งไปกว่านั้น การเดินผ่านช่องทางเดินยังเกี่ยวข้องกับความสามารถในการควบคุมร่างกาย โดยจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า เพศชายมีความสามารถในการควบคุมร่างกายได้ดีกว่า และมีพฤติกรรมการยอมรับความเสี่ยงหรืออันตรายได้มากกว่าเพศหญิง รวมถึงน้ำหนักร่างกายที่มากขึ้นนั้นส่งผลให้ความสามารถในการควบคุมร่างกายลดลง จึงสรุปเป็นสมมติฐานของแต่ละปัจจัยในงานวิจัยได้ดังนี้

- **สมมติฐานที่ 1** ความกว้างช่องทางเดินที่แคบลง ส่งผลให้มนุษย์ลดอัตราเร็วในการเดินผ่านช่องทางเดินมากขึ้น
- **สมมติฐานที่ 2** เพศหญิงมีแนวโน้มที่จะลดอัตราเร็วในการเดินผ่านช่องทางเดินมากกว่าเพศชาย
- **สมมติฐานที่ 3** ปัจจัยด้านน้ำหนักของมนุษย์ที่มากขึ้น ทำให้มนุษย์มีแนวโน้มที่จะลดอัตราเร็วในการเดินผ่านช่องทางเดินมากขึ้น
- **สมมติฐานที่ 4** ปัจจัยด้านส่วนสูงของมนุษย์ที่ลดลง ทำให้มนุษย์มีแนวโน้มที่จะลดอัตราเร็วในการเดินผ่านช่องทางเดินมากขึ้น
- **สมมติฐานที่ 5** ปัจจัยด้านความกว้างไหล่ของมนุษย์ที่มากขึ้น ทำให้มนุษย์มีแนวโน้มที่จะลดอัตราเร็วในการเดินผ่านช่องทางเดินมากขึ้น

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการลดอัตราเร็วในการเดินผ่านช่องทางเดินของมนุษย์กับปัจจัยต่างๆ โดยตัวแปรอิสระที่สนใจศึกษาวิจัย ได้แก่ ความกว้างช่องทางเดิน รวมถึงปัจจัยพื้นฐานของผู้เข้าร่วมการทดลอง ซึ่งคาดว่าจะส่งผลต่อการลดอัตราเร็วในการเดินผ่านช่องทางเดิน ประกอบด้วย เพศ น้ำหนัก ส่วนสูง และความกว้างไหล่ โดยศึกษาการเดินผ่านช่องทางเดินของมนุษย์เป็นรายบุคคล กล่าวคือ เดินผ่านช่องทางเดินทีละคนเท่านั้น เนื่องจากเป็นการศึกษาวิจัยในเบื้องต้น เพื่อนำไปสู่การศึกษาวิจัยในระดับกลุ่มคนที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นต่อไป

#### 3.1. ผู้เข้าร่วมการทดลอง

เกณฑ์ในการคัดเลือกผู้เข้าร่วมการทดลอง มีดังนี้

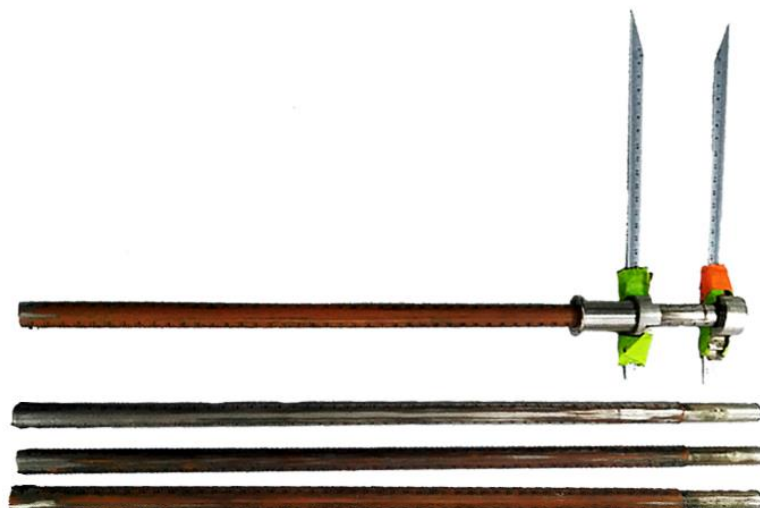
- เป็นอาสาสมัครเพศชายและหญิง อายุระหว่าง 20-29 ปี จำนวน 60 คน
- มีสภาพร่างกายปกติ ไม่มีประวัติการผ่าตัดหรือบาดเจ็บบริเวณสะโพกและหัวเข่า
- มีสมรรถนะร่างกายปกติ โดยไม่ใช่ นักกีฬา
- สายตาปกติ หากมีความผิดปกติทางสายตา สามารถใส่แว่นหรือคอนแทคเลนส์ขณะทำการทดลองได้
- ผู้เข้าร่วมการทดลองทุกคนได้อ่านทำความเข้าใจ “หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมการวิจัย” อย่างถี่ถ้วน และลงนามรับรองเป็นที่เรียบร้อย

#### 3.2. สถานที่ที่ใช้ในการทดลอง

สถานที่ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ห้องปฏิบัติการการยศาสตร์ ชั้น 8 อาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บริเวณพื้นที่ที่ใช้ในการทดลองมีการปูพรมกันลื่น ขนาดพื้นที่ 6.8 เมตร x 6.2 เมตร

### 3.3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกายแบบมาร์ติน (Martin-Type Anthropometer)



รูปที่ 3.1 เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกายแบบมาร์ติน

2. เครื่องชั่งน้ำหนักระบบดิจิตอล CAMRY รุ่น EB1003 ความละเอียด 0.1 กิโลกรัม
3. ระบบบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยภาพ OptiTrack™ (NaturalPoint, Inc.) ครอบคลุมพื้นที่บันทึกภาพ (Capture area) ขนาด 4.5 x 3.9 เมตร ประกอบด้วย
  - a. กล้องอินฟราเรด รุ่น Flex 13 ความละเอียด 1.3 ล้านพิกเซล จำนวน 12 ตัว



รูปที่ 3.2 กล้องอินฟราเรดที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว

- b. มาร์กเกอร์แบบลูกบอลวาวแสง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 มิลลิเมตร  
ฐานเป็นยางรูปกากบาท ขนาด 4.4 x 4.4 เซนติเมตร



รูปที่ 3.3 ลูกบอลวาวแสง

- c. คอมพิวเตอร์ และซอฟต์แวร์ Motive: Body (Version 1.7.5)

4. กล้องวิดีโอ Panasonic HC-V110 จำนวน 1 ตัว



รูปที่ 3.4 กล้องวิดีโอ

5. อุปกรณ์วัดระดับออกซิเจนในเลือดและอัตราการเต้นของหัวใจ (Pulse oximeter) แบบ  
หนีบนิ้ว รุ่น CMS50DL (CONTEC Medical System co., ltd.)

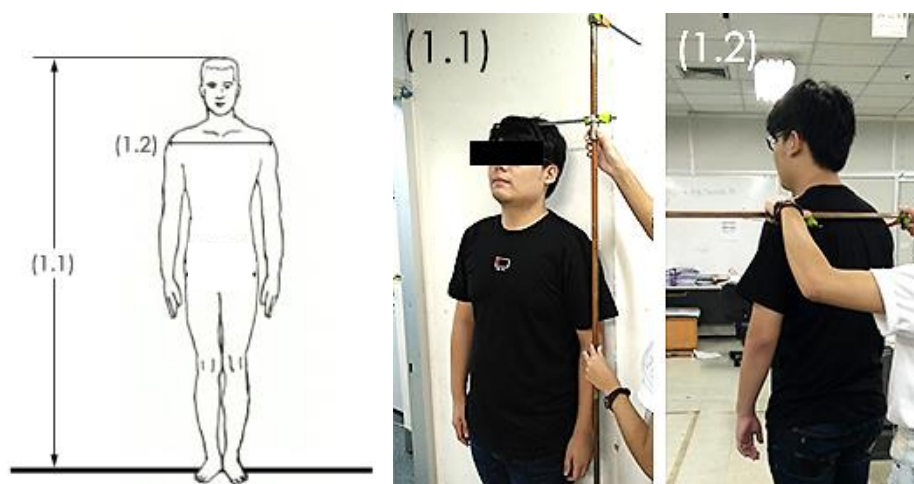




รูปที่ 3.5 Pulse oximeter

### 3.4. วิธีดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล

1. เก็บข้อมูลเพศ อายุ น้ำหนัก และสัดส่วนร่างกายของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด โดยวัดสัดส่วนร่างกายทั้งหมด 2 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 3 ครั้ง ด้วยเครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกายแบบมาร์ติน ดังนี้
  - 1.1. ส่วนสูง หรือความสูงขณะยืน : ให้ผู้เข้าร่วมการทดลองยืนตรง หน้าตรง ให้สายตาอยู่ในแนวระดับ ปล่อยแขนทั้งสองแนบลำตัว เท้าทั้งสองชิดกัน วัดความสูงจากพื้นถึงจุดสูงสุดของศีรษะ
  - 1.2. ความกว้างไหล่ (อ้างอิงกล้ามเนื้อ) : ผู้เข้าร่วมการทดลองยืนตรง ปล่อยแขนแนบลำตัว วัดความกว้างระหว่างจุดที่นูนที่สุดของกล้ามเนื้อต้นแขนทั้งสองข้าง



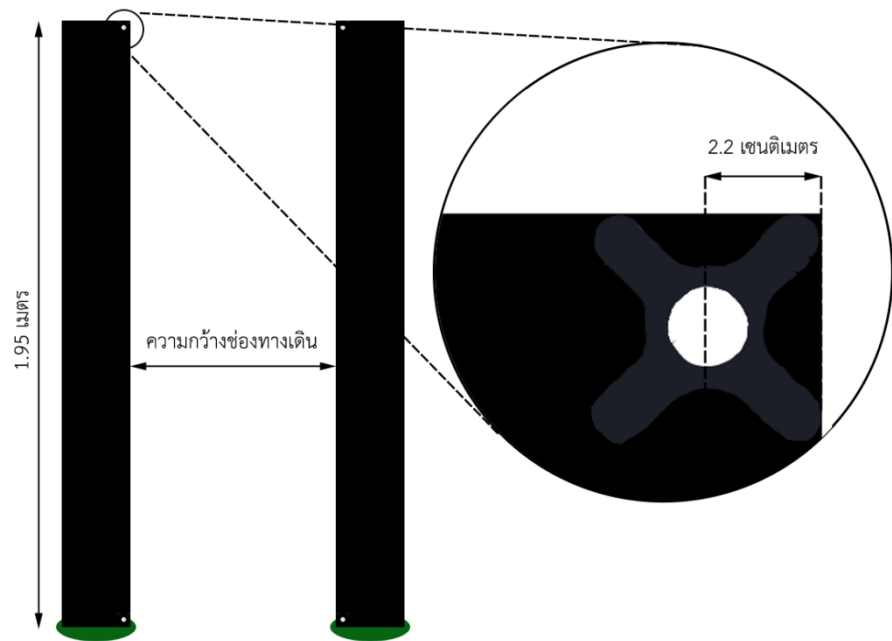
รูปที่ 3.6 การวัดสัดส่วนร่างกายที่ใช้ในการทดลอง

2. ติดตั้งอุปกรณ์และซอฟต์แวร์สำหรับระบบบันทึกการเคลื่อนไหว ตั้งค่าความถี่ในการเก็บข้อมูล หรือจำนวนเฟรม (Frame) ต่อเวลา เท่ากับ 50 เฟรมต่อวินาที (fps)
3. ทำการปรับเทียบความถูกต้อง (Calibrate) ของระบบบันทึกการเคลื่อนไหว โดยค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean error) ต้องไม่เกิน 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.7 พื้นที่ทำการทดลอง ที่มีการติดตั้งระบบเรียบร้อยแล้ว

4. จำลองช่องทางเดินด้วยเสาเหล็ก 2 ต้น ขนาดความสูง 1 เมตร 95 เซนติเมตร สร้างกรอบทึบปิดเสาเหล็กทั้งสองต้น ด้วยแผ่นพลาสติกลูกฟูกสีดำ ขนาดกว้าง 22 เซนติเมตร ติดลูกบอลวาวแสงที่ด้านล่างสุดและด้านบนสุดบริเวณขอบด้านในของกรอบทั้งสอง โดยให้ขอบของฐานลูกบอลพอดีกับขอบด้านในของกรอบ นั่นคือ จุดศูนย์กลางของลูกบอลจะอยู่ห่างจากขอบด้านในของกรอบเป็นระยะ 2.2 เซนติเมตร



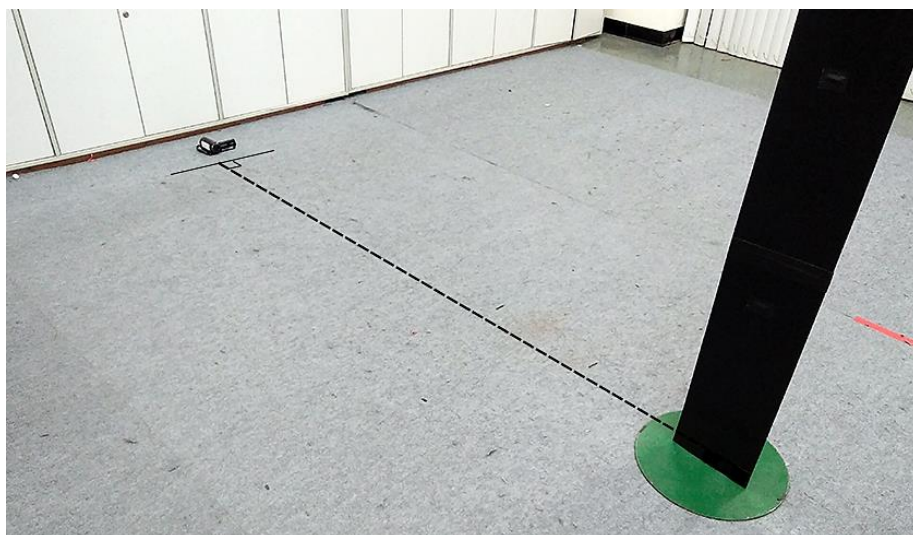
รูปที่ 3.8 ช่องทางเดินที่สร้างขึ้นสำหรับการทดลอง

- ตั้งช่องทางเดินจำลองในพื้นที่ทำการทดลอง โดยมีระยะทางในการเดินก่อนถึงช่องทางเดิน 2.5 เมตร (วัดจากขอบของพื้นที่บันทึกภาพ) และมีระยะทางหลังจากผ่านช่องทางเดิน 1.4 เมตร



รูปที่ 3.9 ช่องทางเดินจำลองในพื้นที่ทำการทดลอง

6. ตั้งกล้องวิดีโอบริเวณด้านข้างของพื้นที่ทำการทดลอง โดยตั้งกล้องตรงกับช่องทางเดิน และตั้งฉากกับทิศทางการเดิน เพื่อสังเกตการเคลื่อนไหวของขาและเท้าของผู้เข้าร่วมการทดลองขณะผ่านช่องทางเดิน โดยจะเห็นภาพตั้งแต่ก่อนถึงช่องทางเดินประมาณ 2 เมตร จนหลังจากผ่านช่องทางเดินไปอีกประมาณ 2 เมตร



รูปที่ 3.10 กล้องวิดีโอที่ตั้งไว้ในพื้นที่ทำการทดลอง

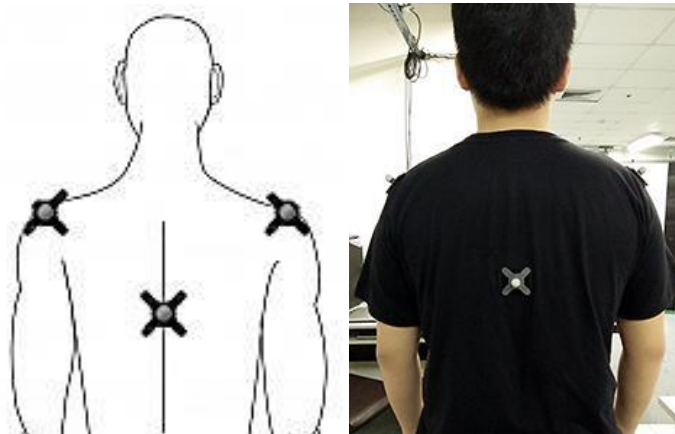


รูปที่ 3.11 ลักษณะภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอที่ติดตั้งไว้ด้านข้าง

7. ผู้เข้าร่วมการทดลองสวมเสื้อยืด หรือเสื้อผ้าที่ไม่หลวมจนเกินไป ติดลูกบอลวาแสงบนร่างกายของผู้เข้าร่วมการทดลองด้วยเวลโครเทป ทั้งหมด 3 ตำแหน่ง ได้แก่

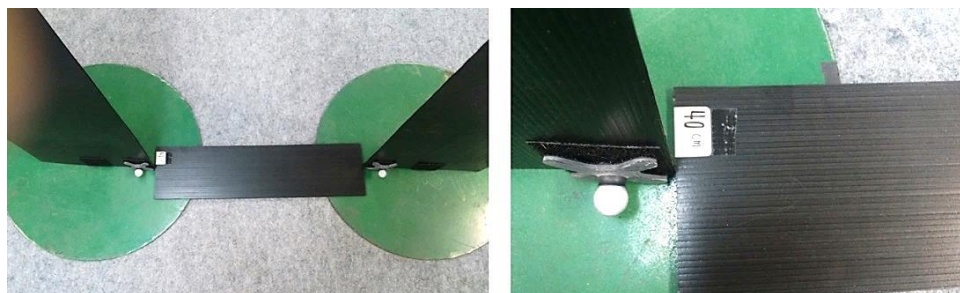


- 7.1. ตำแหน่งกระดูกปุ่มหัวไหล่ซ้าย (Left Acromion)
- 7.2. ตำแหน่งกระดูกปุ่มหัวไหล่ขวา (Right Acromion)
- 7.3. ตำแหน่งกลางหลัง ในแนวกระดูกสันหลังส่วนอก (Thoracic Vertebrae) บริเวณข้อต่อที่ 10 (T10)



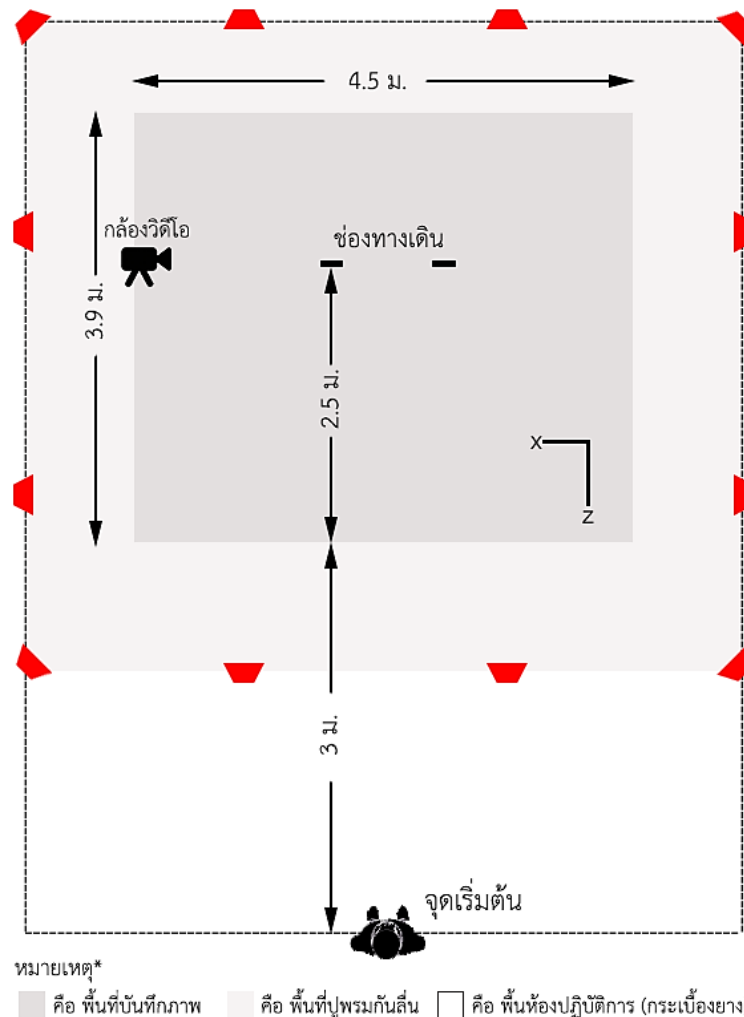
รูปที่ 3.12 ตำแหน่งของลูกบอลบนร่างกายของผู้เข้าร่วมการทดลอง

8. วัดอัตราการเต้นของหัวใจของผู้เข้าร่วมการทดลองก่อนเริ่มทำการทดลอง เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในสภาวะปกติ
9. วัดระยะห่างระหว่างกรอบทั้งสอง หรือความกว้างของช่องทางเดิน ด้วยอุปกรณ์วัดความกว้าง ดังรูปที่ 3.13 โดยจะยอมรับก็ต่อเมื่อตรวจสอบค่าความกว้างในระบบบันทึกการเคลื่อนไหวแล้วพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 มิลลิเมตรจากความกว้างที่ต้องการ กล่าวคือ ความกว้างที่วัดได้จากระบบอยู่ในช่วง (ความกว้างที่ต้องการ + 4.4) ± 0.5 เซนติเมตร



รูปที่ 3.13 การวัดความกว้างของช่องทางเดินแต่ละเงื่อนไข

10. ในตอนเริ่มต้น ให้ผู้เข้าร่วมการทดลองยืนที่จุดเริ่มต้น ซึ่งห่างจากพื้นที่บันทึกภาพเป็นระยะทาง 3 เมตร แผนผังพื้นที่ทำการทดลองทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 3.14 โดยพื้นที่สี่เหลี่ยมคือ พื้นที่ทำการทดลองที่ปูพรมกันลื่นไว้ ส่วนพื้นที่สี่เหลี่ยมเข้ม คือ พื้นที่บันทึกภาพ



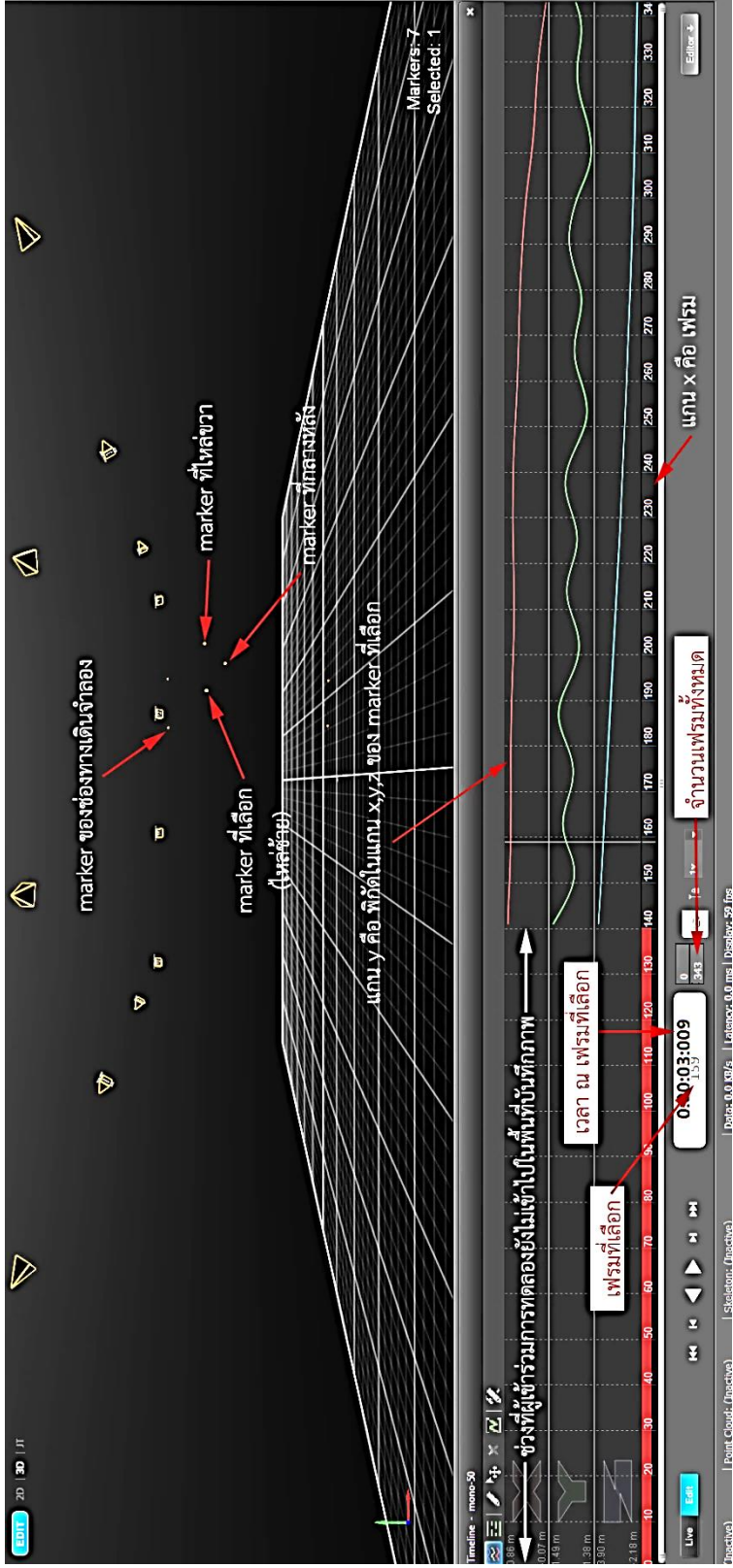
รูปที่ 3.14 แผนผังพื้นที่ทำการทดลอง เมื่อมองจากมุมมองด้านบน (Top view)

11. กำหนดภาระงานให้ผู้เข้าร่วมการทดลองเดินอย่างรวดเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ หรืออยู่ในสถานการณ์ที่เร่งรีบ แต่ไม่คำนึงถึงเหตุฉุกเฉิน เมื่อผู้เข้าร่วมการทดลองพร้อมแล้ว ให้ผู้เข้าร่วมการทดลองเดินเข้ามาในพื้นที่ทดลองโดยที่ไม่สวมรองเท้า และผ่านช่องทางเดินที่ละเอียงไขโดยใช้วิธีสุมเอียงไข สำหรับเอียงไขความกว้างช่องทางเดินที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่ 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 เซนติเมตร สำหรับการกำหนดเอียงไขในการทดลองได้อธิบายไว้ในภาคผนวก ข

12. ทำการบันทึกข้อมูลด้วยระบบบันทึกการเคลื่อนไหว ตั้งแต่ผู้เข้าร่วมการทดลองเริ่มเดินจนกระทั่งเดินผ่านช่องทางเดินไป
13. ตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการทดลองทันทีหลังเสร็จสิ้นการทดลองแต่ละเงื่อนไข เพื่อให้แน่ใจว่าการทดลองเป็นไปตามข้อกำหนด หากตรวจสอบข้อมูลแล้วพบว่ามีข้อผิดพลาดให้ทำการทดลองในเงื่อนไขนั้นใหม่
14. ให้ผู้เข้าร่วมการทดลองพักระหว่างการทำทดลองแต่ละเงื่อนไข โดยให้พักจนกระทั่งอัตราการเต้นของหัวใจกลับสู่ค่าปกติ หรืออยู่ในช่วงค่าปกติ  $\pm 5$  ครั้งต่อนาที แล้วจึงทำการทดลองในเงื่อนไขถัดไป
15. บันทึกข้อมูลจากระบบบันทึกการเคลื่อนไหวให้เป็นข้อมูลเชิงปริมาณ ข้อมูลที่ได้เป็นพิกัดสามมิติ โดยที่ความสูงอยู่ในแนวแกน Y ช่องทางเดินขนานกับแนวแกน X และทิศทางการเดินตามแนวแกน Z

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลที่ได้จากระบบบันทึกการเคลื่อนไหว

เฟรม ที่	เวลา (วินาที)	ตำแหน่งมาร์กเกอร์:กลางหลัง		
		พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z
1	0.00			
2	0.02			
3	0.04			



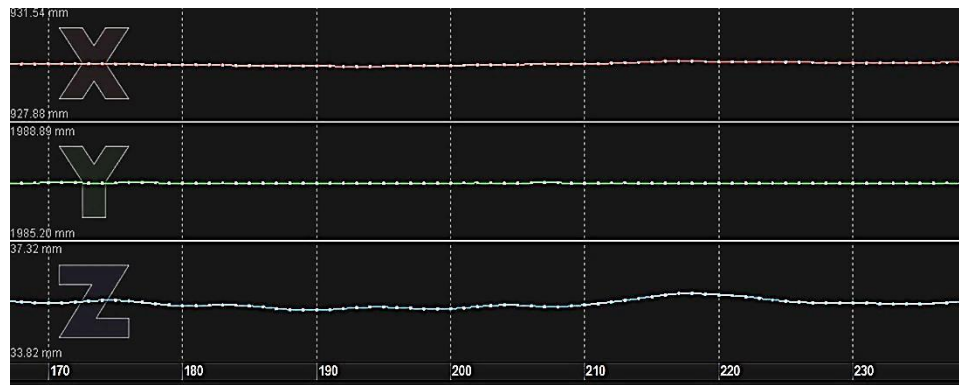
รูปที่ 3.15 ตัวอย่างภาพหน้าจอของระบบบันทึกการเคลื่อนไหว ขณะที่มีผู้เข้าร่วมการทดลองกำลังเดินผ่าน



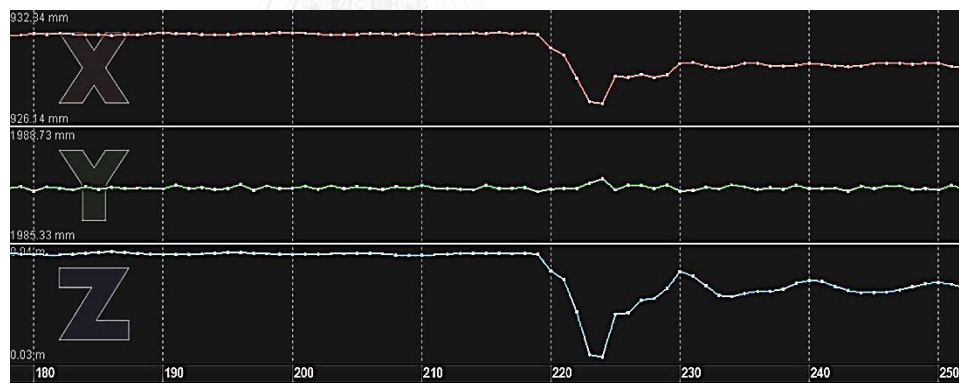
### 3.5. วิธีการตรวจสอบข้อมูล

การตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการทดลองมี 2 ขั้นตอนดังนี้

1. ตรวจสอบว่าส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกายผู้เข้าร่วมการทดลองไม่มีการเฉียดชิดกับกรอบช่องทางเดิน โดยพิจารณาพิกต์ของลูกบอลลาวแสงที่ติดไว้ที่กรอบทั้งสองจากระบบบันทึกการเคลื่อนไหว ต้องไม่มีลูกบอลใดขยับจากตำแหน่งเดิมเกิน 5 มิลลิเมตร



(ก.)



(ข.)

รูปที่ 3.16 ตัวอย่างพิกต์ของลูกบอลลาวแสงบนกรอบของช่องทางเดินที่แสดงในระบบบันทึกการเคลื่อนไหว (ก.) เป็นไปตามข้อกำหนดของการทดลอง (ข.) ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของการทดลอง

2. ตรวจสอบว่าผู้เข้าร่วมการทดลองไม่มีการวิ่ง โดยพิจารณาภาพการเคลื่อนไหวเท้าของผู้เข้าร่วมการทดลองจากกล้องวิดีโอที่ติดตั้งไว้บริเวณด้านข้างของพื้นที่ทำการทดลอง หลักการพิจารณา คือ ส่วนใดส่วนหนึ่งของเท้าผู้เข้าร่วมการทดลองต้องสัมผัสกับพื้นตลอดเวลาที่ทำภาระงาน กล่าวคือ ไม่มีภาพที่เท้าทั้งสองลอยขึ้นจากพื้นพร้อมกัน



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างภาพการเคลื่อนไหวเท้าของผู้เข้าร่วมการทดลองที่เป็นไปตามข้อกำหนดของการทดลอง

### 3.6. วิธีการแปลงข้อมูล

- นำข้อมูลขั้นต้นที่ได้จากระบบบันทึกการเคลื่อนไหว ได้แก่ พิกัดของลูกบอลวาแสงที่กลางหลังและเวลาในแต่ละเฟรม มาคำนวณเป็นอัตราเร็วการเดิน ณ ขณะใดขณะหนึ่ง (Instantaneous speed) ด้วยวิธีผลต่างอันตะ (Finite difference) ดังสมการ

$$v_n = \frac{z_{n+1} - z_{n-1}}{t_{n+1} - t_{n-1}} \quad (3.1)$$

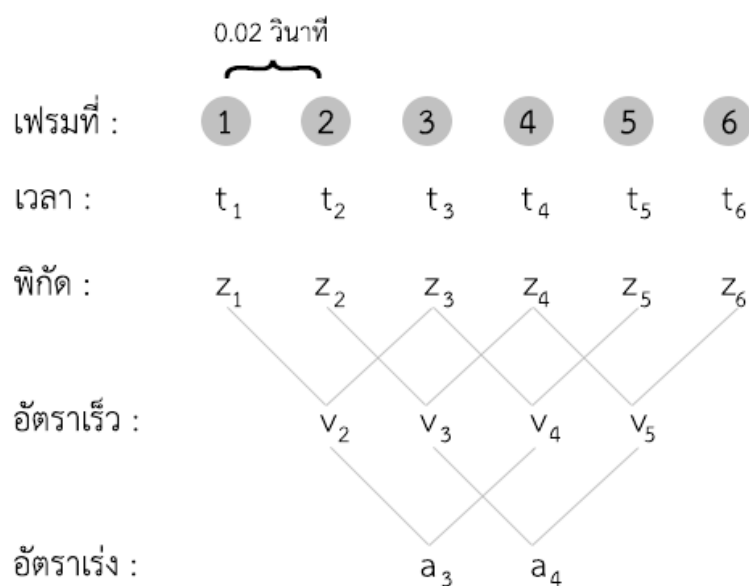
- เมื่อ  $v_n$  คือ อัตราเร็วการเดิน ณ เฟรมที่  $n$  (เมตรต่อวินาที)  
 $z_{n+1}$  คือ พิกัดในแนวแกน  $Z$  ของลูกบอลที่กลางหลัง ในเฟรมที่  $n+1$  (เมตร)  
 $z_{n-1}$  คือ พิกัดในแนวแกน  $Z$  ของลูกบอลที่กลางหลัง ในเฟรมที่  $n-1$  (เมตร)  
 $t_{n+1}$  คือ เวลาของเฟรมที่  $n+1$  (วินาที)  
 $t_{n-1}$  คือ เวลาของเฟรมที่  $n-1$  (วินาที)

- คำนวณอัตราเร่ง ณ ขณะใดขณะหนึ่ง (Instantaneous acceleration) ดังสมการ

$$a_n = \frac{v_{n+1} - v_{n-1}}{t_{n+1} - t_{n-1}} \quad (3.2)$$

- เมื่อ  $a_n$  คือ อัตราเร่ง ณ เฟรมที่  $n$  (เมตรต่อวินาที)  
 $v_{n+1}$  คือ อัตราเร็วการเดินทาง ณ เฟรมที่  $n+1$  (เมตรต่อวินาที)  
 $v_{n-1}$  คือ อัตราเร็วการเดินทาง ณ เฟรมที่  $n-1$  (เมตรต่อวินาที)  
 $t_{n+1}$  คือ เวลาของเฟรมที่  $n+1$  (วินาที)  
 $t_{n-1}$  คือ เวลาของเฟรมที่  $n-1$  (วินาที)

สรุปวิธีการคำนวณได้ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แผนผังการคำนวณอัตราเร็วและอัตราเร่ง

### 3.7. ตัวแปรในการทดลอง

#### ตัวแปรต้น

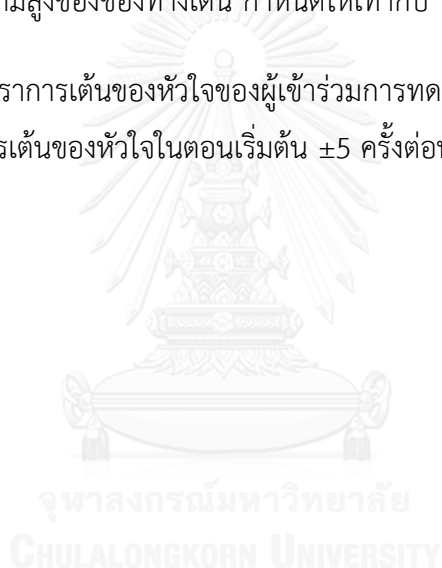
จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่างๆ การลดอัตราเร็วในการเดินทางผ่านช่องทางเดินนั้น คาดว่าน่าจะขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 กลุ่ม ได้แก่ ปัจจัยของช่องทางเดิน และปัจจัยพื้นฐานของมนุษย์ โดยปัจจัยของช่องทางเดินที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ความกว้างช่องทางเดิน ส่วนปัจจัยพื้นฐานของผู้เข้าร่วมการทดลองที่แตกต่างกันนั้น ได้แก่ เพศ และสัดส่วนร่างกาย ประกอบด้วย น้ำหนัก ส่วนสูง และความกว้างส่วนที่กว้างที่สุดของร่างกาย ได้แก่ ความกว้างไหล่

### ตัวแปรตาม

เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาการลดอัตราเร็วในการเดินผ่านช่องทางเดิน จึงพิจารณาตัวแปรตาม ได้แก่ อัตราเร็วขณะผ่านช่องทางเดิน ซึ่งหมายถึง อัตราเร็ว ณ ระยะทาง 0 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน

### ตัวแปรควบคุม

- ลักษณะพื้นทางเดิน กำหนดให้เป็นทางราบตลอดเส้นทางเดิน โดยมุมลาดเอียงของพื้นตลอดเส้นทางเดินนั้นไม่เกิน  $10^\circ$
- ความสูงของช่องทางเดิน กำหนดให้เท่ากับ 1.95 เซนติเมตร
- อัตราการเต้นของหัวใจของผู้เข้าร่วมการทดลอง กำหนดให้มีค่าอยู่ในช่วงอัตราการเต้นของหัวใจในตอนเริ่มต้น  $\pm 5$  ครั้งต่อนาที



## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการลดอัตราเร็วในการเดินผ่านช่องทางเดินของมนุษย์กับปัจจัยต่างๆ โดยตัวแปรอิสระที่สนใจศึกษาวิจัย ได้แก่ ความกว้างช่องทางเดิน ( $w$ ) ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่ 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 เซนติเมตร รวมถึงปัจจัยพื้นฐานของผู้เข้าร่วมการทดลอง ซึ่งคาดว่าจะส่งผลต่อการลดอัตราเร็วในการเดินผ่านช่องทางเดิน ประกอบด้วย เพศ น้ำหนัก ส่วนสูง และความกว้างไหล่ ขั้นตอนในการวิเคราะห์ผลการวิจัยแบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก ในส่วนแรกเป็นการวิเคราะห์พฤติกรรมการเดินผ่านช่องทางเดิน จากนั้นจึงพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการลดอัตราเร็วในการเดินผ่านช่องทางเดิน และจึงนำไปสู่การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ต่อไป การวิเคราะห์ทางสถิติทั้งหมดใช้ Minitab 17

ในการทดลองนี้ มีผู้เข้าร่วมการทดลองเป็นอาสาสมัครทั้งหมด 60 คน กำหนดช่วงอายุระหว่าง 20-29 ปี ข้อมูลเบื้องต้นและผลการวัดสัดส่วนร่างกายของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมการทดลอง

	เพศชาย	เพศหญิง	ทั้งหมด
จำนวน (คน)	33	27	60
อายุ (ปี)	21.6 (1.6)	22.5 (2.4)	22.0 (2.0)
น้ำหนัก (กก.)	65.1 (10.2)	54.7 (9.7)	*60.4 (11.2)
ส่วนสูง (ซม.)	172.37 (5.79)	159.19 (5.40)	*166.44 (8.65)
ความกว้างไหล่ (ซม.)	42.17 (2.39)	37.75 (2.75)	*40.18 (3.39)

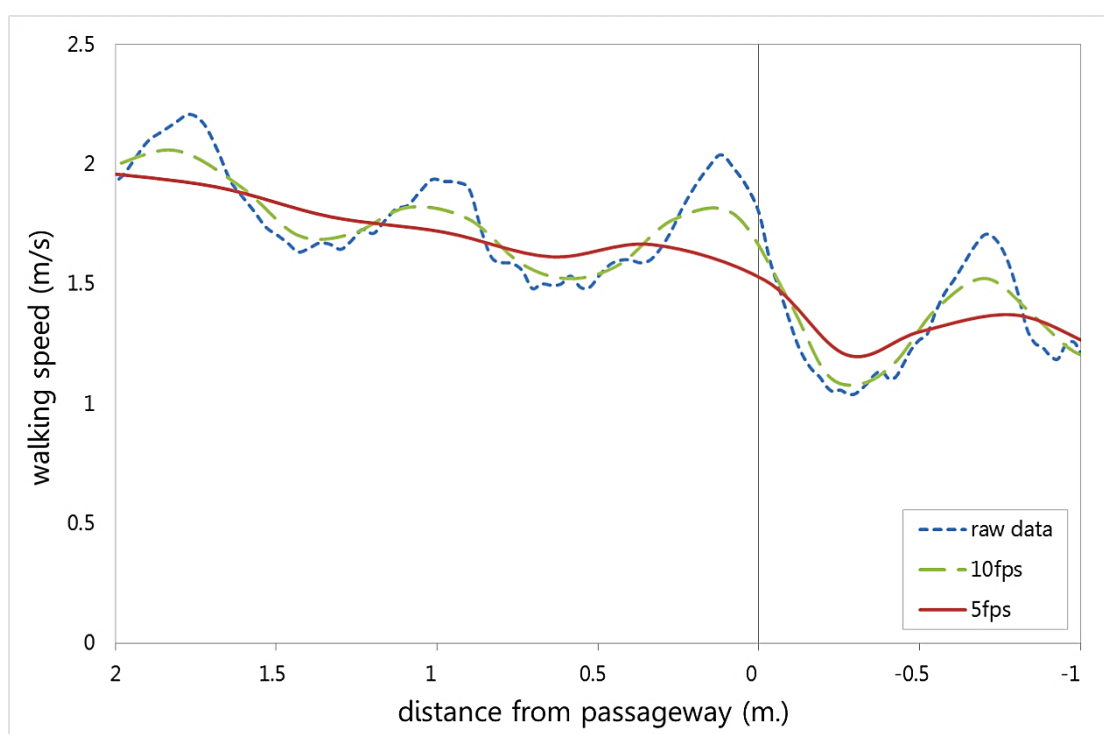
ค่าในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

\*ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างเพศชายและเพศหญิง

จากตารางที่ 4.1 พบว่าสัดส่วนร่างกายของเพศชายมากกว่าเพศหญิงอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ น้ำหนัก ส่วนสูง และความกว้างไหล่ ในส่วนของความกว้างไหล่ของผู้เข้าร่วมการทดลองนั้น พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 40 เซนติเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับความกว้างช่องทางเดินต่ำสุดที่ใช้ในการทดลองนี้

#### 4.1. อัตราเร็วที่ได้จากระบบบันทึกการเคลื่อนไหว

หลังจากคำนวณอัตราเร็วการเดิน ณ ขณะใดขณะหนึ่ง จากพิกัดของลูกบอลที่ติดไว้กลางหลังของผู้เข้าร่วมการทดลอง ตามวิธีคำนวณที่ได้กล่าวไปแล้ว พบว่าข้อมูลที่ได้จากระบบบันทึกการเคลื่อนไหว ซึ่งใช้ความถี่ในการเก็บข้อมูลเท่ากับ 50 เฟรมต่อวินาทีนั้นมีความละเอียดสูงเกินความจำเป็น ดังแสดงในรูปที่ 4.1



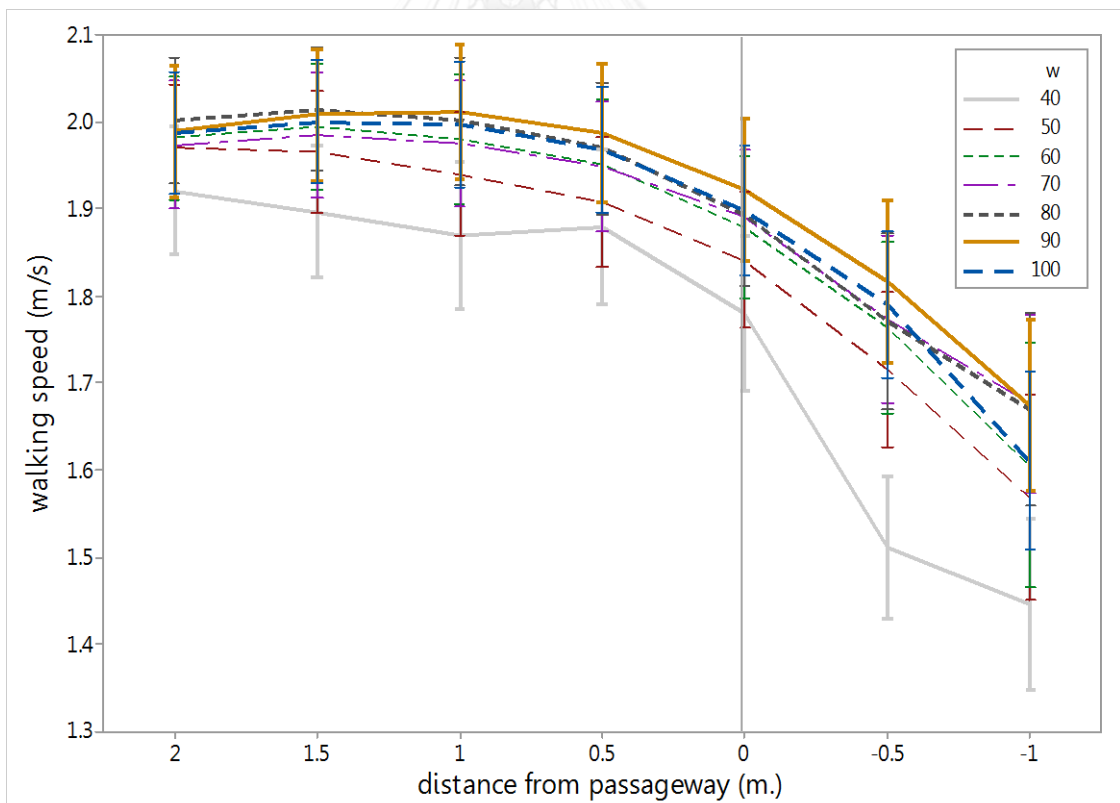
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างอัตราเร็วการเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองคนหนึ่ง ที่เงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินเท่ากับ 40 เซนติเมตร

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าแนวโน้มโดยรวมของอัตราเร็วจากข้อมูลทุกความถี่นั้นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ มีแนวโน้มลดลงเมื่อเข้าใกล้ช่องทางเดิน แต่อัตราเร็วที่คำนวณจากข้อมูลดิบ ที่ 50 เฟรมต่อวินาที (เส้นประสีน้ำเงิน) นั้นมีการแกว่งขึ้นลงอย่างมาก โดยมีลักษณะเป็นวัฏจักรคล้ายคลื่นรูปไซน์ (Sinusoidal wave) ที่มีความยาวคลื่นสม่ำเสมอ จากกราฟตัวอย่างนี้ความยาวคลื่นอยู่ที่ประมาณ 80 เซนติเมตร ซึ่งอาจเทียบได้กับวงจรการเดินของมนุษย์ กล่าวคือ คลื่นแต่ละรอบหมายถึงการเดินครบหนึ่งก้าว โดยมีระยะก้าวเท่ากับ 80 เซนติเมตร จะเห็นว่าอัตราเร็วที่ได้นั้นมีความละเอียดสูง แต่ไม่เหมาะสมกับการศึกษาอัตราเร็วการเดินของมนุษย์ในงานวิจัยนี้ เพราะทุกการเคลื่อนไหวของร่างกายนั้นมีอัตราเร็วไม่คงที่ โดยเปลี่ยนแปลงไปตามจังหวะการเดิน จึงลดความถี่ของข้อมูลให้เหลือ 10 เฟรมต่อวินาที และ 5 เฟรมต่อวินาที โดยการเฉลี่ยข้อมูลพิกัดทุกๆ 5 และ 10 เฟรม ตามลำดับ เมื่อ

ปรับความถี่ของข้อมูลแล้ว จะเห็นว่า อัตราเร็วที่ได้จากการปรับลดความถี่ของข้อมูลเหลือ 10 เฟรมต่อวินาที (เส้นประห่าง) ยังคงมีลักษณะที่เป็นคลื่นรูปไซน์อยู่ แต่มีความสูงหรือแอมพลิจูดที่ลดลง ส่วนอัตราเร็วที่ได้จากการปรับลดความถี่ของข้อมูลเหลือ 5 เฟรมต่อวินาที (เส้นทึบ) จะพบว่าอัตราเร็วมีแนวโน้มเป็นเส้นเรียบมากขึ้น ทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ จึงเลือกใช้ข้อมูลที่มีความถี่ 5 เฟรมต่อวินาที

#### 4.2. อัตราเร็วการเดินของกลุ่มตัวอย่างโดยรวม

เพื่อให้ผลการทดลองเป็นมาตรฐานเท่ากันในผู้เข้าร่วมการทดลองทุกคนและสามารถเปรียบเทียบได้ จึงคำนวณอัตราเร็วการเดิน ณ ระยะทางที่เป็นจุดอ้างอิง โดยใช้วิธีประมาณค่าในช่วง (Interpolation) ระยะทางที่เป็นจุดอ้างอิงได้แก่ ระยะทาง 2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน, ระยะทาง 1.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน, ระยะทาง 1 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน, ระยะทาง 0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน และระยะทาง 0 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน (ขณะผ่านช่องทางเดิน) อัตราเร็วการเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 60 คน ในแต่ละเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดิน ตั้งแต่ระยะทาง 2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน จนกระทั่งผ่านช่องทางเดินไปเป็นระยะทาง 1 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 อัตราเร็วการเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 60 คน

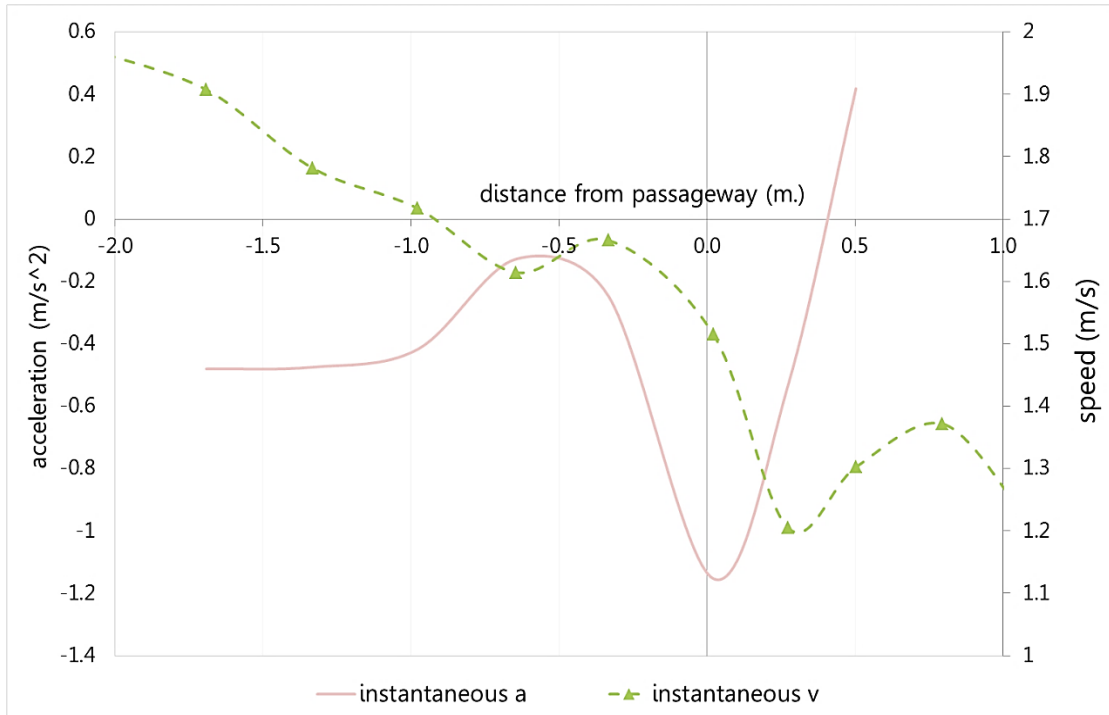
พิจารณารูปที่ 4.2 จะเห็นว่า อัตราเร็วการเดินทางของผู้เข้าร่วมการทดลองไม่คงที่ตลอดเส้นทางเดิน โดยในตอนเริ่มต้นนั้น อัตราเร็วของผู้เข้าร่วมการทดลองโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 1.97 เมตรต่อวินาที ซึ่งอยู่ในช่วงความเร็วระดับเดินเร็วปานกลางของคนปกติ จากนั้นจึงมีแนวโน้มในการลดอัตราเร็วมากขึ้นเมื่อเข้าใกล้ช่องทางเดิน โดยอัตราเร็วเฉลี่ยขณะผ่านช่องทางเดิน คือ อัตราเร็วที่ระยะทาง 0 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน ลดลงไปอยู่ที่ประมาณ 1.87 เมตรต่อวินาที ซึ่งแม้จะยังคงอยู่ในช่วงความเร็วระดับเดินเร็วปานกลาง แต่อัตราเร็วเฉลี่ยนั้นลดลงร้อยละ 5.1 แสดงให้เห็นว่า ช่องทางเดินมีผลต่อการตอบสนองของผู้เข้าร่วมการทดลอง โดยผู้เข้าร่วมการทดลองมีการลดอัตราเร็วลงเพื่อเดินผ่านช่องทางเดิน ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการแลกเปลี่ยนความเร็วและความแม่นยำ เมื่อพิจารณาในแง่ของระยะทางก่อนถึงช่องทางเดิน จะเห็นว่า อัตราเร็วการเดินทางมีการเปลี่ยนแปลงทั้งมากขึ้นและลดลง จนกระทั่งถึงจุดระยะทาง 0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน จากการสังเกตพบว่าเป็นจุดที่ความเร็วลดลงอย่างเห็นได้ชัดในทุกเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดิน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ระยะปลอดภัย หรือ Safe distance ของการเดินทางผ่านช่องทางเดินอยู่ที่ 0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน สำหรับอัตราเร็วเมื่อผ่านช่องทางเดินไปแล้วนั้น จะเห็นว่ายังมีแนวโน้มลดลงต่อไปอีก ซึ่งในกรณีนี้เกิดจากการที่พื้นที่ทำการทดลองมีค่อนข้างจำกัด และที่สุดเส้นทางเดินนั้นเป็นผนังที่ไม่สามารถเดินต่อไปได้ ผู้เข้าร่วมการทดลองส่วนใหญ่จึงเลือกที่จะชะลอเพื่อหยุดเดิน หรือเลี้ยวออกด้านข้าง จึงไม่สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองในส่วนที่ผ่านช่องทางเดินไปแล้วได้ และเมื่อพิจารณาตามเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดิน จะเห็นว่า อัตราเร็วการเดินทางยังแตกต่างกันระหว่างความกว้างช่องทางเดิน โดยในเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินแคบๆ ได้แก่ 40-50 เซนติเมตรนั้น อัตราเร็วการเดินทางมีค่าต่ำกว่าเงื่อนไขอื่นๆ อย่างชัดเจน รวมถึงมีการลดอัตราเร็วตั้งแต่วะระยะทางที่ไกลกว่าเงื่อนไขอื่นๆ คือ ตั้งแต่วะระยะทาง 2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน ในขณะที่เงื่อนไขความกว้างช่องทางเดิน 60-100 เซนติเมตรนั้น มีอัตราเร็วการเดินทางที่ไม่แตกต่างกันมากนัก

#### 4.3. การเปลี่ยนแปลงอัตราเร็ว

สำหรับจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของความกว้างช่องทางเดินนั้น การพิจารณาตัวแปรตามที่เป็นอัตราเร็วขณะผ่านช่องทางเดิน หรืออัตราเร็ว ณ ระยะทาง 0 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน อาจทำให้เกิดความไม่เสมอภาค เพราะจากผลการทดลองจะเห็นว่า อัตราเร็วเริ่มต้นไม่เท่ากันในแต่ละเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดิน ซึ่งเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ยากในการทดลอง เนื่องจากพื้นที่ทำการทดลองค่อนข้างจำกัด ทำให้ผู้เข้าร่วมการทดลองสามารถมองเห็นและรับรู้ได้ตั้งแต่ก่อนเดิน จึงอาจตัดสินใจที่จะเดินด้วยอัตราเร็วที่ต่ำตั้งแต่แรก ดังนั้นจึงพิจารณาตัวแปรตามที่เป็นการเปลี่ยนแปลง



อัตราเร็ว ได้แก่ อัตราเร่ง โดยคำนวณอัตราเร่ง ณ ขณะใดขณะหนึ่ง (ดังสมการที่ 3.2) ได้ผลดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างอัตราเร่ง ณ ขณะใดขณะหนึ่งของผู้เข้าร่วมการทดลอง ที่เงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินเท่ากับ 40 เซนติเมตร

พิจารณารูปที่ 4.3 จะเห็นว่า อัตราเร่งมีการแกว่งขึ้นลงไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากอัตราเร่ง ณ ขณะใดขณะหนึ่ง คือการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็ว ณ จุดๆนั้น อัตราเร่งที่แกว่งขึ้นลงนั้นแสดงถึงการที่อัตราเร่งมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งเป็นปกติของการเคลื่อนไหวยว้างกายของมนุษย์โดยธรรมชาติ และระบบบันทึกการเคลื่อนไหวยว้างกายสามารถจับสัญญาณเหล่านี้ได้ แต่ในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาเพียงลักษณะการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง หรืออาจกล่าวได้ว่า พิจารณามนุษย์เป็นเสมือนวัตถุเคลื่อนที่ การคำนวณในลักษณะเช่นนี้จึงละเอียดเกินความจำเป็น

ดังนั้น จึงพิจารณาตัวแปรตามที่เป็นารเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วในช่วงระยะทางหนึ่ง ซึ่งก็คืออัตราเร่งเฉลี่ย (เมตรต่อวินาที<sup>2</sup>) คำนวณได้ดังสมการ

$$a_{i \rightarrow t} = \frac{v_t - v_i}{t_t - t_i} \quad (4.1)$$

เมื่อ  $a_{i \rightarrow t}$  คือ อัตราเร่งเฉลี่ย (เมตรต่อวินาที<sup>2</sup>)  
 $v_t$  คือ อัตราเร็วการเดินทาง ณ จุดสิ้นสุด (เมตรต่อวินาที)

$v_i$	คือ อัตราเร็วการเดินทาง ณ จุดเริ่มต้น (เมตรต่อวินาที)
$t_t$	คือ เวลา ณ จุดสิ้นสุด (วินาที)
$t_i$	คือ เวลา ณ จุดเริ่มต้น (วินาที)

#### 4.4. อิทธิพลของความกว้างช่องทางเดินต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็ว

เงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินหรือปัจจัย (Factor) ในการทดลองนี้ มีทั้งสิ้น 7 ระดับ ได้แก่ 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 เซนติเมตร เนื่องจากรูปแบบของการทดลองเป็นแบบระหว่างหน่วยทดลอง (Within-subjects experiment) จึงเลือกวิธีทางสถิติที่ใช้วิเคราะห์ผล ได้แก่ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (One-way Repeated Measures ANOVA) และหากพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจึงจะทำการเปรียบเทียบรายคู่ (Pairwise Comparison) ด้วยวิธี Tukey's HSD test

##### 4.4.1. อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด ( $a_{2 \rightarrow 0}$ )

อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด หรือช่วงระยะทาง 0-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดินนั้น คำนวณได้จากผลต่างระหว่างอัตราเร็วต้นกับอัตราเร็วปลาย ซึ่งได้แก่ อัตราเร็วการเดินทางที่ระยะทาง 2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน และอัตราเร็วการเดินทางที่ระยะทาง 0 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน ตามลำดับ หาค่าด้วยเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากระยะทาง 2 เมตรไปจนถึงระยะทาง 0 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน วิเคราะห์ผลของปัจจัยที่เป็นเงื่อนไขในการทดลอง ได้แก่ ความกว้างช่องทางเดิน ซึ่งก่อนที่จะวิเคราะห์ได้นั้น จำเป็นต้องทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ ด้วยสถิติทดสอบ Anderson-Darling โดยมีสมมติฐานหลักคือ ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด แยกตามเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดิน

ความกว้าง ช่องทางเดิน	จำนวน ข้อมูล (N)	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)	ค่าสถิติทดสอบ Anderson- Darling	p-value
40	60	-0.1201	0.1717	0.311	.543
50	60	-0.1226	0.1439	0.407	.339
60	60	-0.0951	0.1511	0.950	.015*
70	60	-0.0795	0.1616	0.915	.019*
80	60	-0.1047	0.1528	0.431	.297
90	60	-0.0640	0.1467	0.867	.025*
100	60	-0.0856	0.1263	0.381	.391

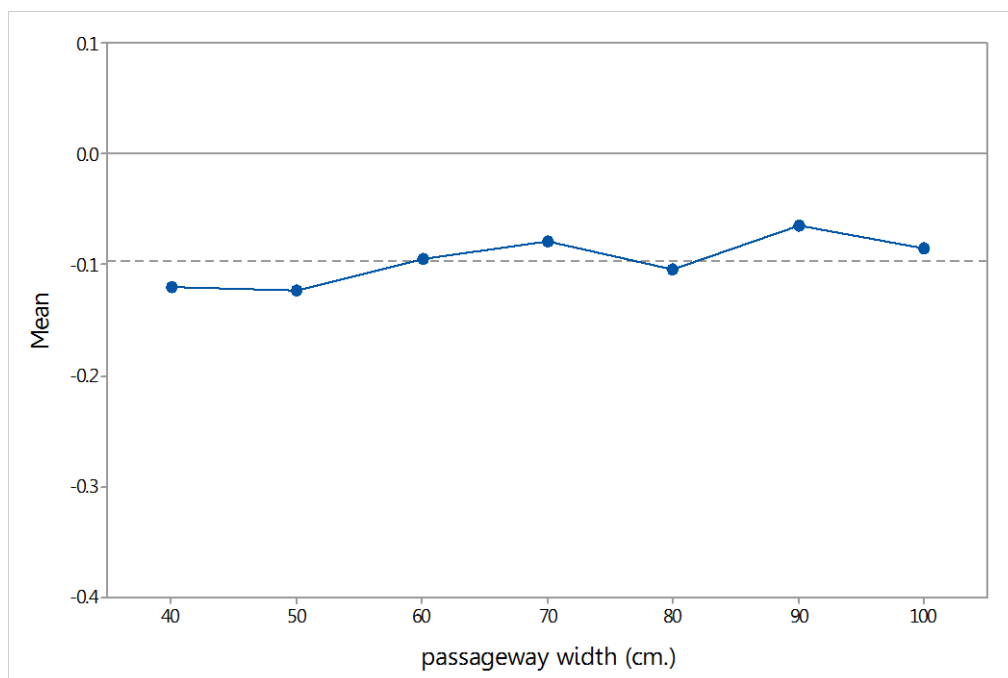
\*p-value < .05

จากตารางที่ 4.2 พบว่า ค่า p-value < .05 เป็นส่วนใหญ่ จึงไม่สามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ ดังนั้นจึงพิจารณาการใช้วิธีทดสอบแบบไม่อาศัย พารามิเตอร์ (Nonparametric test) แทน ด้วยวิธี Friedman test ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ทดสอบ ความแตกต่างของกลุ่มตัวอย่างตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป โดยมีสมมติฐานหลักคือ อัตราเร่งเฉลี่ย ในช่วงระยะทางทั้งหมดของแต่ละความกว้างช่องทางเดินไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบ Friedman test ของอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด เปรียบเทียบระหว่างความกว้างช่องทางเดิน

S	df	p-value
8.36	6	.213

จากตารางที่ 4.3 พบว่า ค่านัยสำคัญนั้นมากกว่า 0.05 (p-value > .05) จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ แสดงว่า อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมดของแต่ละ ความกว้างช่องทางเดินไม่แตกต่างกัน กล่าวคือ ความกว้างช่องทางเดินไม่มีผลต่ออัตราเร่ง เฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด



รูปที่ 4.4 อิทธิพลหลักเนื่องจากความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด

จากนั้น พิจารณาแนวโน้มของอิทธิพลเนื่องจากความกว้างช่องทางเดิน ด้วยกราฟค่าเฉลี่ยเนื่องจากอิทธิพลหลัก (Main effect plot) ของความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด ดังรูปที่ 4.4 จะสังเกตเห็นได้ว่า เมื่อความกว้างช่องทางเดินแคบลงนั้น อัตราเร่งเฉลี่ยก็มีแนวโน้มลดลงหรือติดลบมากขึ้นตามไปด้วย กล่าวคือ เมื่อความกว้างช่องทางเดินแคบลง ผู้เข้าร่วมการทดลองมีการหน่วงมากขึ้น แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เนื่องจากยังไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจน จึงลองแบ่งช่วงระยะทางที่พิจารณาออกเป็นสองช่วง ซึ่งจากการสังเกตนั้นพบว่า ที่จุดระยะทาง 0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดินเป็นจุดที่อัตราเร็วลดลงอย่างเห็นได้ชัด จึงใช้จุดระยะทางนี้เป็นจุดแบ่งช่วง ทำให้สามารถแบ่งช่วงระยะทางออกได้เป็นสองช่วง ได้แก่ ช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน และช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน คือ ช่วงระยะทาง 0.5-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน และช่วงระยะทาง 0-0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน ตามลำดับ แสดงได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การแบ่งช่วงระยะทางที่พิจารณา

#### 4.4.2. อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน ( $a_{2 \rightarrow 0.5}$ )

อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน หรือช่วงระยะทาง 0.5-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดินนั้น คำนวณได้จากผลต่างระหว่างอัตราเร็วต้นกับอัตราเร็วปลาย ซึ่งได้แก่ อัตราเร็วการเดินทางที่ระยะทาง 2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน และอัตราเร็วการเดินทางที่ระยะทาง 0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน ตามลำดับ หาค่าด้วยเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากระยะทาง 2 เมตรไปจนถึงระยะทาง 0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน วิเคราะห์ผลของปัจจัยที่เป็นเงื่อนไขในการทดลอง ได้แก่ ความกว้างช่องทางเดิน ซึ่งก่อนที่จะวิเคราะห์ได้นั้น จำเป็นต้องทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ ด้วยสถิติทดสอบ Anderson-Darling โดยมีสมมติฐานหลักคือ ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของอัตราเร่งในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน แยกตามเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดิน

ความกว้างช่องทางเดิน	จำนวนข้อมูล (N)	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	ค่าสถิติทดสอบ Anderson-Darling	p-value
40	60	-0.0427	0.2523	0.364	.427
50	60	-0.0788	0.1766	0.662	.080
60	60	-0.0369	0.1405	0.392	.369
70	60	-0.0334	0.1577	1.112	.006*
80	60	-0.0391	0.1437	0.209	.856
90	60	-0.0001	0.1285	0.438	.285
100	60	-0.0236	0.1231	0.193	.890

\*p-value < .05

จากตารางที่ 4.4 พบว่า ค่า p-value > .05 เกือบทุกเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดิน ยกเว้นในเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินเท่ากับ 70 เซนติเมตร จึงพอที่จะสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวใกล้เคียงแบบปกติ

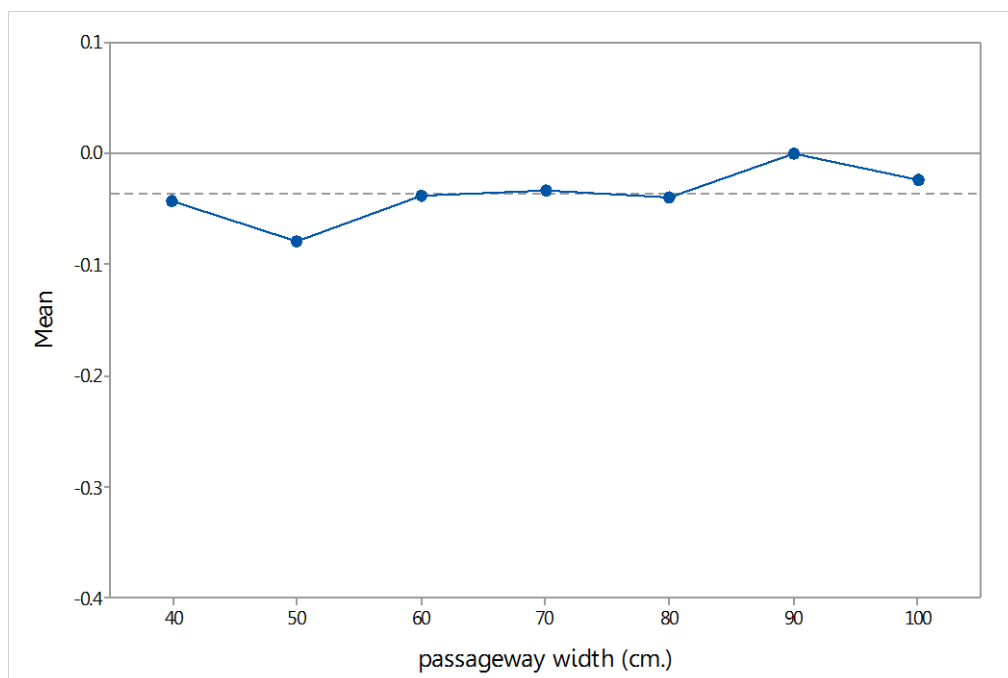
จากนั้นวิเคราะห์อิทธิพลของความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ โดยมีสมมติฐานหลัก คือ อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินไม่แตกต่างกันระหว่างความกว้างช่องทางเดิน

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบ One-way Repeated Measures ANOVA ของอัตราเร่งเฉลี่ย ในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน เปรียบเทียบระหว่างความกว้างช่องทางเดิน

Source	df	Adj SS	Adj MS	F-value	p-value
Within groups	59	4.9228	0.08344	4.62	.000*
Between groups	6	0.2001	0.03335	1.85	.089
Error	354	6.3903	0.01805		
Total	419	11.5131			

\*p-value < .05

จากตารางที่ 4.5 พบว่า ค่านัยสำคัญของความแปรปรวนระหว่างกลุ่มนั้นมากกว่า 0.05 (p-value > .05) จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ แสดงว่า อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินไม่แตกต่างกันระหว่างความกว้างช่องทางเดินแต่ละเงื่อนไข กล่าวคือ ความกว้างช่องทางเดินไม่มีผลต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน



รูปที่ 4.6 อิทธิพลหลักเนื่องจากความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน

จากกราฟค่าเฉลี่ยเนื่องจากอิทธิพลหลักของความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน ดังรูปที่ 4.6 จะสังเกตได้ว่า อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงนี้ค่อนข้างใกล้เคียงศูนย์ คือ มีการลดอัตราเร็วไม่มากนัก และอัตราเร่งเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความกว้างช่องทางเดิน

#### 4.4.3. อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน ( $a_{0.5} \rightarrow 0$ )

ช่วงระยะทาง 0-0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดินนั้นเป็นช่วงระยะทางที่ผู้เข้าร่วมการทดลองเข้าใกล้ช่องทางเดิน และมีการลดอัตราเร็วอย่างชัดเจน อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงนี้คำนวณได้จากผลต่างระหว่างอัตราเร็วต้นกับอัตราเร็วปลาย ซึ่งได้แก่ อัตราเร็วการเดินที่ระยะทาง 0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน และอัตราเร็วการเดินที่ระยะทาง 0 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน ตามลำดับ หากวัดด้วยเวลาที่ใช้ในการเดินจากระยะทาง 0.5 เมตรไปจนถึงระยะทาง 0 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน วิเคราะห์ผลของปัจจัยที่เป็นเงื่อนไขในการทดลอง ได้แก่ ความกว้างช่องทางเดิน ซึ่งก่อนที่จะวิเคราะห์ได้นั้น จำเป็นต้องทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ ด้วยสถิติทดสอบ Anderson-Darling โดยมีสมมติฐานหลักคือข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางทางเดิน แยกตามเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดิน

ความกว้างช่องทางเดิน	จำนวนข้อมูล (N)	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	ค่าสถิติทดสอบ Anderson-Darling	p-value
40	60	-0.3619	0.4197	0.562	.140
50	60	-0.2457	0.4302	2.478	<.005*
60	60	-0.2611	0.3295	2.729	<.005*
70	60	-0.2103	0.2941	1.124	.006*
80	60	-0.2913	0.2947	2.347	<.005*
90	60	-0.2483	0.2561	1.841	.005*
100	60	-0.2649	0.2144	1.087	.007*

\*p-value < .05

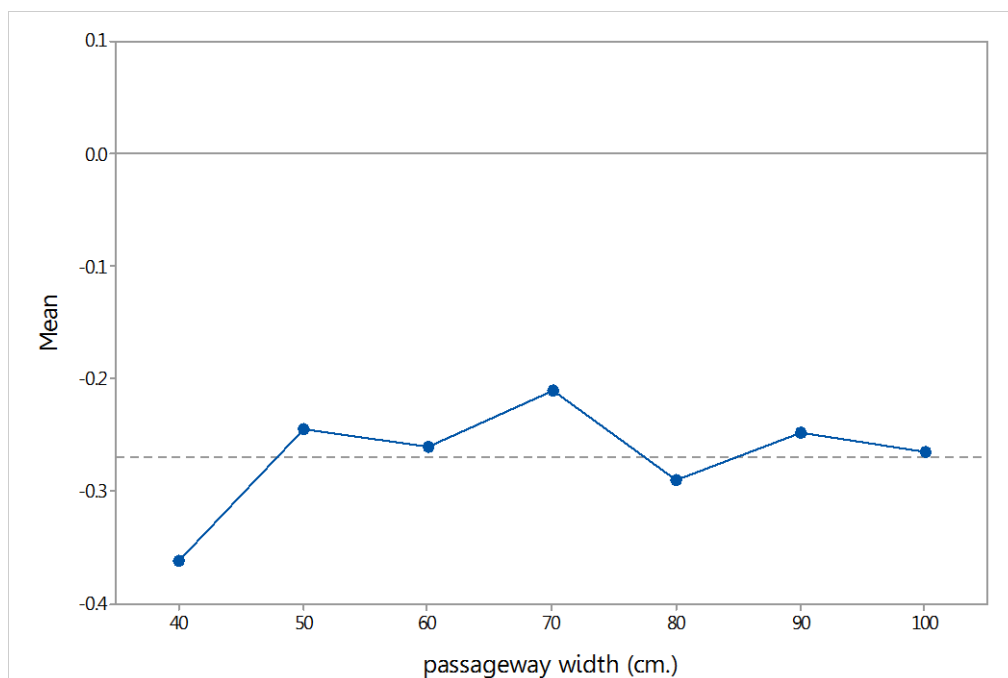
จากตารางที่ 4.6 พบว่า ค่า p-value < .05 เกือบทั้งหมด จึงไม่สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ ดังนั้นจึงพิจารณาการใช้วิธีทดสอบแบบไม่อาศัยพารามิเตอร์ (Nonparametric test) แทน ด้วยวิธี Friedman test ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ทดสอบความแตกต่างของกลุ่มตัวอย่างตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป โดยมีสมมติฐานหลักคือ อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดินของแต่ละความกว้างช่องทางเดินไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบ Friedman test ของอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดินเปรียบเทียบระหว่างความกว้างช่องทางเดิน

S	df	p-value
8.14	6	.228

จากตารางที่ 4.7 พบว่า ค่านัยสำคัญนั้นมากกว่า 0.05 (p-value > .05) จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ แสดงว่า อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดินของแต่ละความกว้างช่องทางเดินไม่แตกต่างกัน กล่าวคือ ความกว้างช่องทางเดินไม่มีผลต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน





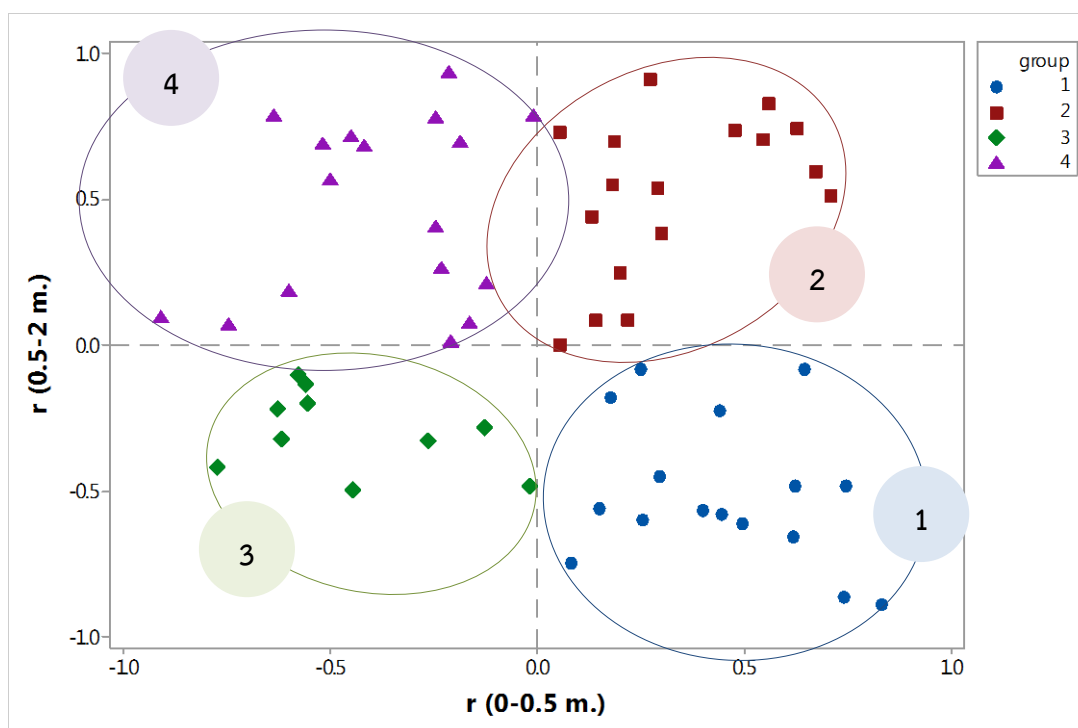
รูปที่ 4.7 อิทธิพลหลักเนื่องจากความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน

จากกราฟค่าเฉลี่ยเนื่องจากอิทธิพลหลักของความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน ดังรูปที่ 4.7 จะสังเกตได้ว่า อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงนี้มีค่าต่ำกว่าหรือติดลบมากกว่าช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่า ผู้เข้าร่วมการทดลองมีการลดอัตราเร็วหรือหน่วงในช่วงนี้มาก และเมื่อความกว้างช่องทางเดินแคบลงนั้น อัตราเร่งเฉลี่ยก็มีแนวโน้มลดลงหรือติดลบมากขึ้นตามไปด้วย กล่าวคือ เมื่อความกว้างช่องทางเดินแคบลง ผู้เข้าร่วมการทดลองเกิดการหน่วงมากขึ้น แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

#### 4.5. การแบ่งกลุ่มตัวอย่างตามพฤติกรรมการเดิน

หลังจากวิเคราะห์อิทธิพลเนื่องจากความกว้างช่องทางเดินที่มีต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในแต่ละช่วงระยะทางแล้ว พบว่าความกว้างช่องทางเดินที่เปลี่ยนไปไม่มีผลต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางใดเลย กล่าวคือ ผู้เข้าร่วมการทดลองไม่ได้มีพฤติกรรมที่เป็นไปตามกฎของ Fitts ตามที่ตั้งสมมติฐานไว้ แต่เมื่อพิจารณารูประหว่างอัตราเร็วการเดินกับระยะทางจากช่องทางเดินเป็นรายบุคคล สังเกตได้ว่า ผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนมีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วที่แตกต่างกันไป โดยผู้เข้าร่วมการทดลองบางคนลดอัตราเร็วมากขึ้นหรือหน่วงมากขึ้นเมื่อช่องทางเดินแคบลง สังเกตได้จากความชันที่ติดลบมากขึ้นเมื่อความกว้างช่องทางเดินแคบลง กล่าวคือ อัตราเร่งเฉลี่ยมีความสัมพันธ์กับความกว้างช่องทางเดิน ในขณะที่ผู้เข้าร่วมการทดลองบางคนมีการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วที่เกือบจะคงที่

แม้ว่าความกว้างช่องทางเดินแคบลง กล่าวคือ อัตราเร่งเฉลี่ยไม่มีความสัมพันธ์กับความกว้างช่องทางเดิน ดังนั้น ในขั้นตอนต่อไปจึงจะทำการแบ่งกลุ่มพฤติกรรมในการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วของผู้เข้าร่วมการทดลอง ในกรณีนี้ตัวแปรที่นำมาจัดกลุ่มคือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson product moment correlation,  $r$ ) ระหว่างความกว้างช่องทางเดินกับอัตราเร่งเฉลี่ย ในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน ( $r$  0.5-2 m.) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันระหว่างความกว้างช่องทางเดินกับอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน ( $r$  0-0.5 m.) หลักการแบ่งกลุ่มคือ ผู้เข้าร่วมการทดลองที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในจุดภาค (Quadrant) เดียวกัน จะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน

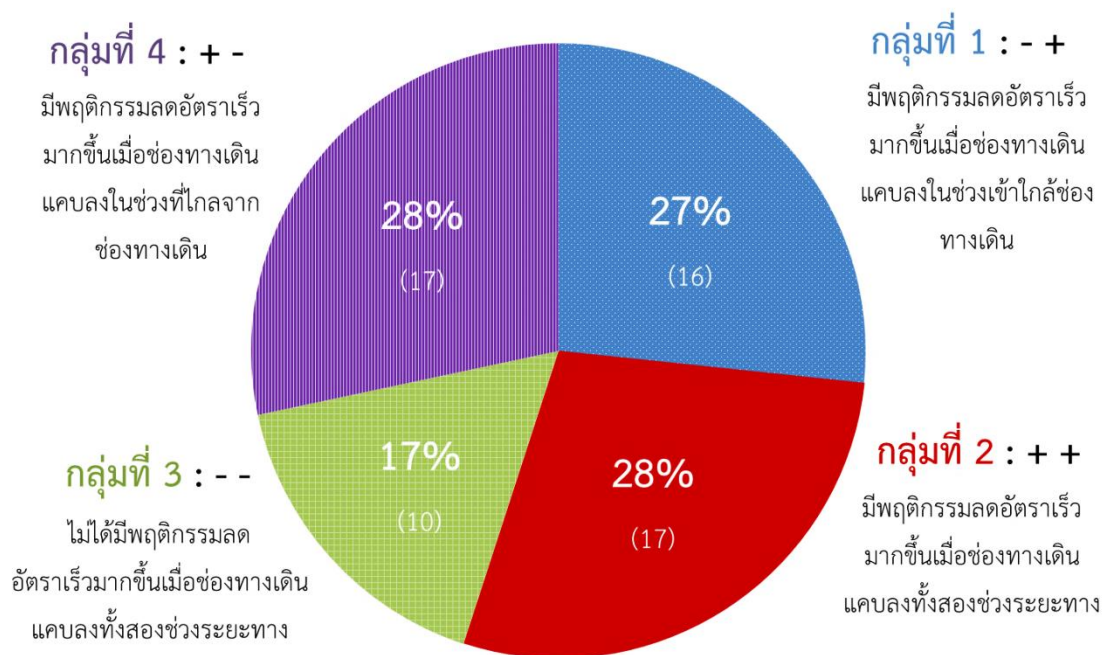


รูปที่ 4.8 กลุ่มพฤติกรรมที่แบ่งด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ออกเป็น 4 กลุ่ม

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์กลุ่มพฤติกรรมการเดินผ่านช่องทางเดิน

กลุ่มที่	เซนทรอยด์ (Centroid)		จำนวนผู้เข้าร่วมการทดลอง (คน)	จำนวนผู้เข้าร่วมการทดลอง (%)
	$r$ (0.5-2 m.)	$r$ (0-0.5 m.)		
1	-0.5071	0.4510	16	27
2	0.5153	0.3325	17	28
3	-0.3014	-0.4584	10	17
4	0.4623	-0.3775	17	28

พิจารณารูปที่ 4.8 ประกอบกับตารางที่ 4.8 พบว่า สามารถแบ่งผู้เข้าร่วมการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม สำหรับกลุ่มที่ 1 นั้น เป็นกลุ่มที่มีค่าสัมประสิทธิ์ค่าแรกเป็นลบ และค่าที่สองเป็นบวก โดยมีค่าเฉลี่ยที่เป็นจุดศูนย์กลางของกลุ่ม (Centroid) เท่ากับ  $-0.5071$  และ  $0.4510$  ตามลำดับ ส่วนกลุ่มที่ 2 นั้น เป็นกลุ่มที่มีค่าสัมประสิทธิ์มีค่าเป็นบวกทั้งสองค่า กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มที่มีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบทั้งสองค่า และกลุ่มที่ 4 เป็นกลุ่มที่มีค่าสัมประสิทธิ์ค่าแรกเป็นบวก และค่าที่สองเป็นลบ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นบวกนั้นบ่งชี้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างช่องทางเดินและ อัตราเร่งเฉลี่ยนั้น เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยเมื่อความกว้างช่องทางเดินแคบลง อัตราเร่งเฉลี่ยก็จะมีค่าต่ำลงหรือติดลบมากขึ้นตามไปด้วย กล่าวคือ มีการลดอัตราเร็วมากขึ้นหรือหน่วงมากขึ้นเมื่อช่องทางเดินแคบลงในทางตรงกันข้าม ค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นลบนั้นบ่งชี้ว่า ความกว้างช่องทางเดินและอัตราเร่งเฉลี่ยนั้น แปรผกผันกัน โดยเมื่อความกว้างช่องทางเดินแคบลง อัตราเร่งเฉลี่ยกลับมีค่าสูงขึ้นหรือติดลบน้อยลง กล่าวคือ มีการลดอัตราเร็วน้อยลงหรือหน่วงน้อยลงเมื่อช่องทางเดินแคบลงนั่นเอง



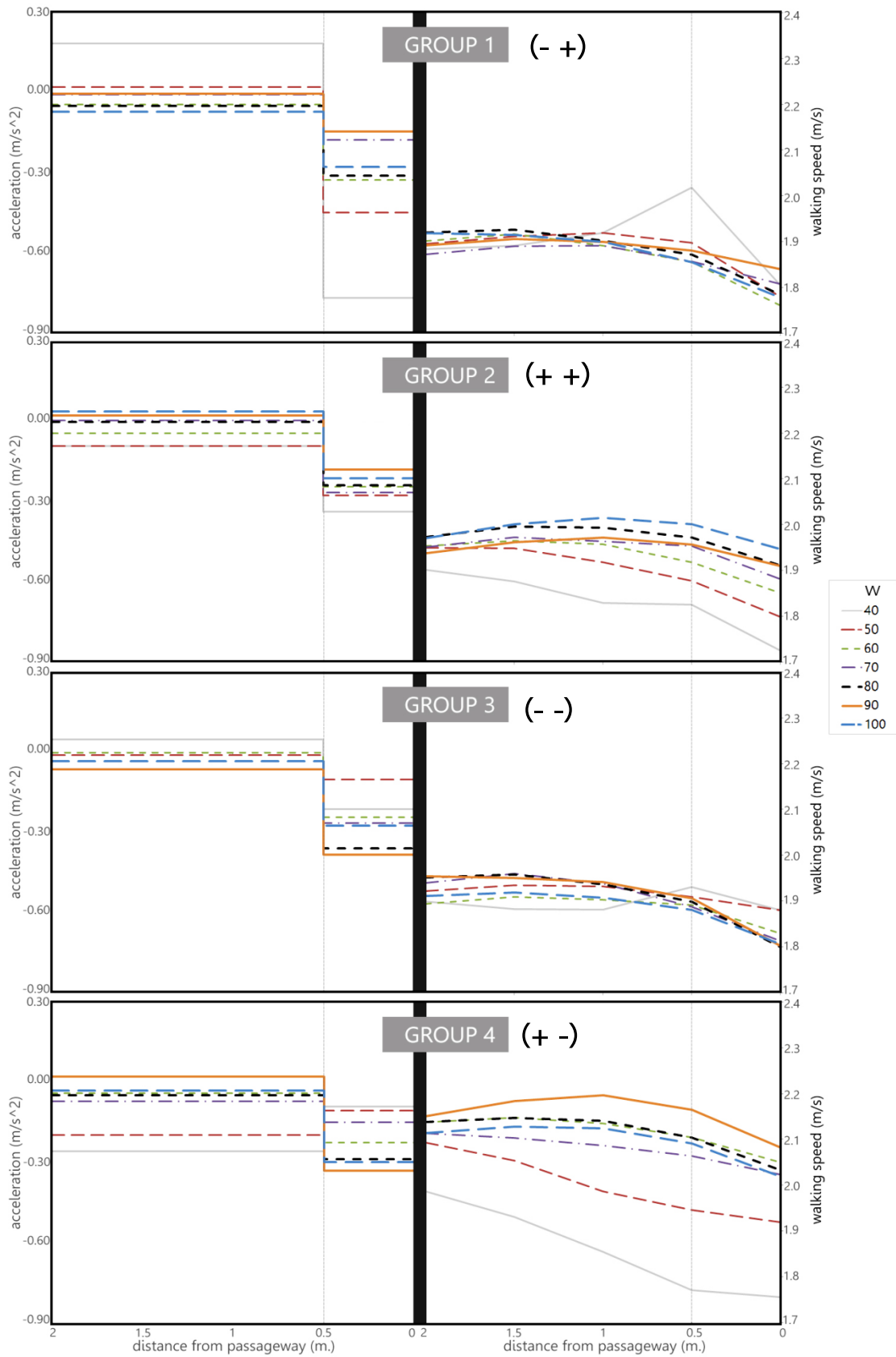
รูปที่ 4.9 ลักษณะพฤติกรรมและจำนวนผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละกลุ่ม

จากรูปที่ 4.9 ลักษณะพฤติกรรมของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละกลุ่มเป็นดังนี้

- 1) ผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 1 มีพฤติกรรมลดอัตราเร็วมากขึ้นหรือหน่วงมากขึ้นเมื่อช่องทางเดินแคบลงเฉพาะในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน ส่วนในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินนั้น ช่องทางเดินที่แคบลงส่งผลให้ลดอัตราเร็วน้อยลงหรือหน่วงน้อยลง

- 2) ผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 2 มีพฤติกรรมลดอัตราเร็วมากขึ้นหรือหน่วงมากขึ้นเมื่อช่องทางเดินแคบลงทั้งสองช่วงระยะทาง
- 3) ผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 3 ไม่ได้มีพฤติกรรมลดอัตราเร็วมากขึ้นหรือหน่วงมากขึ้นเมื่อช่องทางเดินแคบลงทั้งสองช่วงระยะทาง โดยมีแนวโน้มไปในทางตรงกันข้าม คือเมื่อช่องทางเดินแคบลง กลับลดอัตราเร็วหรือหน่วงน้อยลง
- 4) ผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 4 มีพฤติกรรมลดอัตราเร็วมากขึ้นหรือหน่วงมากขึ้นเมื่อช่องทางเดินแคบลงเฉพาะในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน ส่วนในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดินนั้น ช่องทางเดินที่แคบลงกลับส่งผลให้ลดอัตราเร็วหรือหน่วงน้อยลง





รูปที่ 4.10 อัตราเร่งเฉลี่ย (ซ้าย) และอัตราเร็วการเดิน (ขวา) ของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละกลุ่ม

หลังจากแบ่งกลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองแล้ว พฤติกรรมของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละกลุ่ม แสดงดังรูปที่ 4.10 ซึ่งจะเห็นว่า พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วของแต่ละกลุ่มแยกออกเป็นสอง ช่วงระยะทางและแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 1 ลดอัตราเร็วมากขึ้นหรือ หน่วงมากขึ้นเมื่อช่องทางเดินแคบลงในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน หรือช่วงระยะทาง 0-0.5 เมตรก่อนถึง ช่องทางเดิน โดยในช่วงนี้จะสังเกตได้ว่าอัตราเร่งเฉลี่ย (กราฟด้านซ้าย) มีค่าติดลบมากขึ้นเมื่อช่องทางเดินแคบลง สอดคล้องกับกราฟอัตราเร็วทางด้านขวา ซึ่งจะเห็นว่าความชันของกราฟติดลบมากขึ้น เมื่อช่องทางเดินแคบลง ส่วนในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน หรือช่วงระยะทาง 0.5-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน จะสังเกตได้ว่า ในเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินที่แคบ ได้แก่ 40 เซนติเมตรนั้น อัตราเร่งเฉลี่ยมีค่าเป็นบวก คือ มีการเร่ง จึงทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างช่องทางเดินกับอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงนี้เป็นลบ เมื่อพิจารณากราฟอัตราเร็วทางด้านขวามือ พบว่าในเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินเท่ากับ 40 เซนติเมตร อัตราเร็วมีการพุ่งสูงขึ้น ซึ่งในกรณีนี้อาจเกิดจากการที่ผู้เข้าร่วมการทดลองเกิดความลังเลในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน เมื่อเห็นช่องทางเดินที่แคบในระยะไกลแล้วอาจรู้สึกว่าจะผ่านไปได้ แต่เมื่อเข้าใกล้ช่องทางเดินแล้วเกิดการรับรู้ว่าคุณภาพร่างกายของตนเองนั้นไม่น่าจะผ่านไปได้ จึงตัดสินใจลดอัตราเร็วลงในช่วงที่เข้าใกล้ช่องทางเดิน

ส่วนผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 2 นั้นลดอัตราเร็วมากขึ้นหรือหน่วงมากขึ้นเมื่อช่องทางเดินแคบลงทั้งสองช่วงระยะทาง โดยอัตราเร่งเฉลี่ยมีค่าติดลบน้อยในเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินกว้างๆ และค่อยๆติดลบมากขึ้นเมื่อช่องทางเดินแคบลงทั้งในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินและเข้าใกล้ช่องทางเดิน สังเกตได้จากความชันของกราฟอัตราเร็วที่ค่อยๆชันขึ้นเมื่อช่องทางเดินแคบลง ซึ่งดูเป็นพฤติกรรมปกติของคนส่วนใหญ่ และมีแนวโน้มเป็นไปตามกฎของ Fitts

ในขณะที่ผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 3 มีพฤติกรรมที่ตรงข้ามกับกลุ่มที่ 2 โดยลดอัตราเร็ว น้อยลงหรือหน่วงน้อยลงเมื่อช่องทางเดินแคบลงทั้งสองช่วงระยะทาง สำหรับช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน จะเห็นว่าเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินที่แคบ ได้แก่ 40 เซนติเมตรนั้น อัตราเร่งเฉลี่ยมีค่าเป็นบวกเล็กน้อย คือ มีการเร่งเล็กน้อย จึงทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างช่องทางเดินกับอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงนี้เป็นลบ เมื่อพิจารณากราฟอัตราเร็วทางด้านขวามือ พบว่าในเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินเท่ากับ 40 เซนติเมตร อัตราเร็วมีการกระตุกขึ้นเล็กน้อย ซึ่งคล้ายกับพฤติกรรมในช่วงไกลจากช่องทางเดินของกลุ่มที่ 1 จึงอาจกล่าวได้ว่าผู้เข้าร่วมการทดลองเกิดความลังเลในช่วงนี้ และในช่วงที่เข้าใกล้ช่องทางเดิน สังเกตได้ว่าที่เงื่อนไขช่องทางเดินแคบๆ ได้แก่ 40 และ 50 เซนติเมตร อัตราเร่งเฉลี่ยมีค่าติดลบน้อย และติดลบมากขึ้นเมื่อช่องทางเดินกว้างขึ้น เมื่อพิจารณากราฟอัตราเร็ว จะเห็นว่าที่เงื่อนไขช่องทางเดินแคบๆ ได้แก่ 40 และ 50 เซนติเมตรนั้น ผู้เข้าร่วมการทดลองลด

อัตราเร็วน้อยกว่าที่เงื่อนไขช่องทางเดินกว้างๆ พฤติกรรมเช่นนี้ไม่ได้เป็นไปตามกฎของ Fitts โดยเมื่อความยากของงานมาก คือ ช่องทางเดินแคบ กลับมีการลดอัตราเร็วน้อยกว่าเงื่อนไขที่มีความยากของงานต่ำกว่า ในกรณีนี้อาจเป็นไปได้ว่า คนกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่ตอบสนองต่อภาระงานที่ยาก หรือช่องทางเดินที่แคบได้ดีกว่า โดยรู้สึกว่าการที่แคบนั้นทำให้เกิดแรงจูงใจในการเดินผ่านมากกว่าช่องทางเดินที่กว้าง กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เป็นกลุ่มคนที่มีลักษณะนิสัยชอบความท้าทาย ซึ่งเป็นพฤติกรรมส่วนน้อยที่พบในกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด

สำหรับผู้เข้าร่วมการทดลองในกลุ่มที่ 4 นั้นลดอัตราเร็วมากขึ้นหรือหน่วงมากขึ้นเมื่อช่องทางเดินแคบลงอย่างเห็นได้ชัดเฉพาะในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน โดยจะเห็นว่าในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินนั้น อัตราเร่งเฉลี่ยมีค่าติดลบมากขึ้นเมื่อช่องทางเดินแคบลง และเมื่อพิจารณากราฟอัตราเร็วจะเห็นว่าอัตราเร็วลดลงมากอย่างเห็นได้ชัดในเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินที่แคบ และอัตราเร็วลดลงน้อยเมื่อช่องทางเดินกว้างขึ้น แต่เมื่อเข้าใกล้ช่องทางเดิน พบว่าอัตราเร่งเฉลี่ยมีค่าติดลบน้อยในเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินแคบๆ และติดลบมากขึ้นเมื่อช่องทางเดินกว้างขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร่งเฉลี่ยกับความกว้างช่องทางเดินจึงเป็นไปในทางลบ กล่าวคือ มีการลดอัตราเร็ว น้อยลงหรือหน่วงน้อยลงเมื่อช่องทางเดินแคบลง ซึ่งในกรณีนี้อาจเป็นไปได้ว่าในเงื่อนไขช่องทางเดินแคบๆ ผู้เข้าร่วมการทดลองได้ลดอัตราเร็วในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินไปแล้ว ในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดินจึงมีการชะลออัตราเร็วค่อนข้างน้อยจนเกือบคงที่ อาจกล่าวได้ว่าผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มนี้มีพฤติกรรมชะลออัตราเร็วตั้งแต่เนิ่นๆ ในเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินที่แคบ ส่วนในเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินกว้างๆ นั้น ผู้เข้าร่วมการทดลองลดอัตราเร็วในครั้งแรก แล้วจึงค่อยชะลออัตราเร็วมากขึ้นเมื่อเข้าใกล้ช่องทางเดิน นอกจากนี้จะเห็นว่าอัตราเร่งเฉลี่ยของผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 4 โดยรวมแล้วติดลบมากกว่ากลุ่มอื่น คือมีการลดอัตราเร็วหรือหน่วงมากกว่ากลุ่มอื่น ซึ่งอธิบายได้จากกราฟอัตราเร็ว โดยจะเห็นว่าอัตราเร็วเริ่มต้นโดยเฉลี่ยของกลุ่มนี้ค่อนข้างสูงกว่ากลุ่มอื่น จึงทำให้มีการลดอัตราเร็วเพื่อเดินผ่านช่องทางเดินมากกว่ากลุ่มอื่นนั่นเอง

เมื่อพิจารณาสัดส่วนร่างกายของผู้เข้าร่วมการทดลองแยกตามกลุ่ม ด้วยการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสัดส่วนร่างกายต่างๆ ระหว่างกลุ่ม โดยมีสมมติฐานหลัก คือ ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนร่างกายต่างๆ ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม ได้ผลดังตารางที่ 4.9 ซึ่งพบว่า น้ำหนักเป็นปัจจัยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่ม (รายละเอียดการทดสอบแสดงไว้ในภาคผนวก จ) โดยผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่มีน้ำหนักโดยเฉลี่ยสูงที่สุด ตามด้วยกลุ่มที่ 2, 3 และ 4 ในขณะที่ปัจจัยอื่นๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่ม จึงอาจกล่าวได้ว่า น้ำหนักเป็นปัจจัยที่ทำให้พฤติกรรมในการเดินผ่านช่องทางเดินแตกต่างกันในการทดลองนี้

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้าร่วมการทดลองแยกตามกลุ่ม

	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3	กลุ่มที่ 4
น้ำหนัก (กิโลกรัม)*	64.76 (10.62)	62.88 (11.79)	58.83 (12.91)	54.76 (7.86)
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	168.13 (5.89)	168.78 (9.77)	166.85 (8.12)	162.27 (9.13)
ความกว้างไหล่ (เซนติเมตร)	40.70 (2.70)	40.93 (3.47)	39.44 (3.33)	39.39 (3.85)

ค่าในตารางมี 2 ค่า ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และค่าในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

\*ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่ม

หลังจากแบ่งกลุ่มพฤติกรรมของผู้เข้าร่วมการทดลองแล้ว จึงทำการทดสอบการกระจายตัวของอัตราเร่งเฉลี่ยในทั้งสามช่วงระยะทางอีกครั้ง เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลทางสถิติต่อไป ได้ผลดังตารางที่ 4.10 จะเห็นว่า หลังจากมีการแบ่งกลุ่มพฤติกรรมของผู้เข้าร่วมการทดลองแล้ว ตัวแปรตามต่างๆมีผลการทดสอบการกระจายตัวที่ดีขึ้น โดยเฉพาะอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน อย่างไรก็ตาม อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดินในผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 1 และ 2 ยังคงมีผลการทดสอบการกระจายตัวที่ไม่เป็นปกติเป็นส่วนใหญ่ จึงพิจารณาการใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ (Nonparametric statistics) ในการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของตัวแปรดังกล่าว



ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบการกระจายตัวแบบปกติของตัวแปรตามต่างๆ แยกตามกลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลอง โดยใช้สถิติทดสอบ Anderson-Darling

	ความกว้างช่องทางเดิน (ซม.)						
	40	50	60	70	80	90	100
<b>กลุ่มที่ 1 (N=16)</b>							
$a_{2 \rightarrow 0}$ ( $m/s^2$ )	.137	.686	.309	.439	.134	.917	.247
$a_{0.5 \rightarrow 0}$ ( $m/s^2$ )	.353	.005*	<.005*	.159	.085	.221	.024*
$a_{2 \rightarrow 0.5}$ ( $m/s^2$ )	.464	.006*	.451	.369	.572	.919	.773
<b>กลุ่มที่ 2 (N=17)</b>							
$a_{2 \rightarrow 0}$ ( $m/s^2$ )	.050	.288	.503	.837	.705	.820	.458
$a_{0.5 \rightarrow 0}$ ( $m/s^2$ )	.410	.023*	<.023*	<.005*	.013*	.299	.260
$a_{2 \rightarrow 0.5}$ ( $m/s^2$ )	.791	.705	.264	.823	.889	.990	.514
<b>กลุ่มที่ 3 (N=10)</b>							
$a_{2 \rightarrow 0}$ ( $m/s^2$ )	.364	.977	.190	.161	.251	.237	.416
$a_{0.5 \rightarrow 0}$ ( $m/s^2$ )	.541	.024*	.362	.152	.127	.415	.509
$a_{2 \rightarrow 0.5}$ ( $m/s^2$ )	.313	.379	.119	.226	.369	.422	.331
<b>กลุ่มที่ 4 (N=17)</b>							
$a_{2 \rightarrow 0}$ ( $m/s^2$ )	.600	.709	.008*	.300	.243	.308	.281
$a_{0.5 \rightarrow 0}$ ( $m/s^2$ )	.865	.239	.560	.554	.026*	<.005*	.502
$a_{2 \rightarrow 0.5}$ ( $m/s^2$ )	.241	.052	.118	.048*	.259	.407	.952

\*p-value < .05

#### 4.6. อิทธิพลของความกว้างช่องทางเดินต่อการลดอัตราเร็วของแต่ละกลุ่มพฤติกรรม

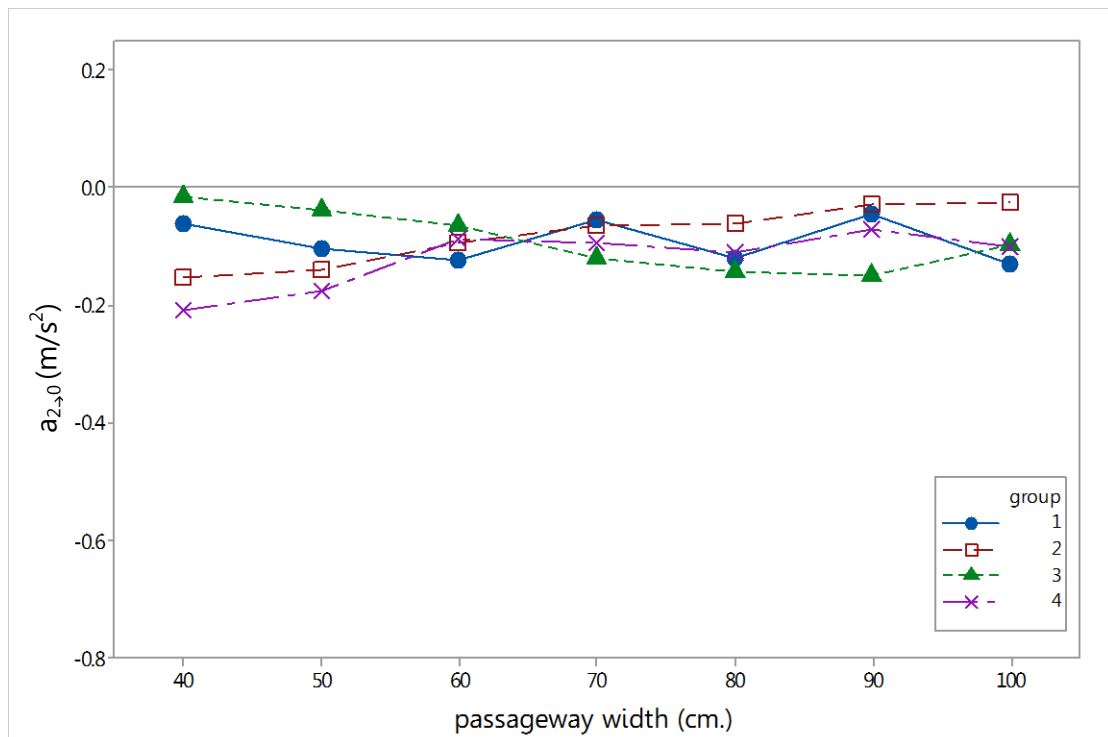
หลังจากแบ่งกลุ่มพฤติกรรมของผู้เข้าร่วมการทดลองด้วยความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างช่องทางเดินกับการลดอัตราเร็วแล้ว ในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการวิเคราะห์อิทธิพลเนื่องจากความกว้างช่องทางเดินที่มีต่อการลดอัตราเร็วของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละกลุ่ม โดยทดสอบความแตกต่างของอัตราเร่งเฉลี่ย เปรียบเทียบระหว่างเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินแยกตามกลุ่มพฤติกรรม ได้ผลโดยสรุปดังตารางที่ 4.11 (รายละเอียดของการทดสอบแต่ละครั้งแสดงไว้ในภาคผนวก จ)

ตารางที่ 4.11 สรุปผลการทดสอบความแตกต่างของอัตราเร่งเฉลี่ย เปรียบเทียบระหว่างความกว้างช่องทางเดิน

	กลุ่มที่			
	1	2	3	4
$a_{2 \rightarrow 0}$ (m/s <sup>2</sup> )	.201	.000*	.005*	.007*
$a_{0.5 \rightarrow 0}$ (m/s <sup>2</sup> )	.000*	.322	.005*	.008*
$a_{2 \rightarrow 0.5}$ (m/s <sup>2</sup> )	.000*	.000*	.120	.000*

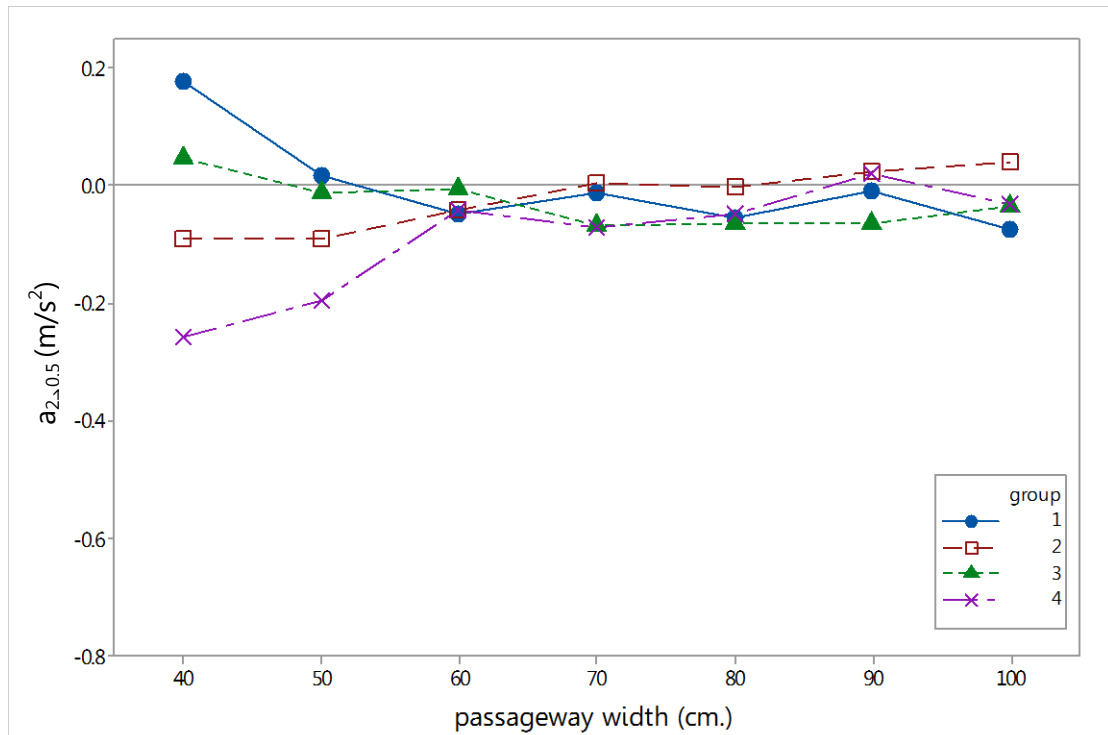
\*p-value < .05

จากตารางที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่า หลังจากแบ่งกลุ่มพฤติกรรมแล้ว ความกว้างช่องทางเดินมีผลต่อการลดอัตราเร็วของผู้เข้าร่วมการทดลองบางกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ โดยความกว้างช่องทางเดินมีผลต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด คือ ตั้งแต่ระยะทาง 2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน จนกระทั่งผ่านช่องทางเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 2, 3 และ 4 เมื่อพิจารณาแบ่งเป็นสองช่วง โดยมีจุดระยะทาง 0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดินเป็นจุดแบ่ง พบว่าในผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 1 และ 4 นั้น ความกว้างช่องทางเดินมีผลต่ออัตราเร่งเฉลี่ยทั้งในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินและเข้าใกล้ช่องทางเดิน คือ ช่วงระยะทาง 0.5-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน และช่วงระยะทาง 0-0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน ตามลำดับ ในขณะที่ผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 3 นั้น ความกว้างช่องทางเดินมีผลต่ออัตราเร่งเฉลี่ยเฉพาะในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน คือ ช่วงระยะทาง 0-0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน ส่วนในผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 2 ความกว้างช่องทางเดินมีผลต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน คือ ช่วงระยะทาง 0.5-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน



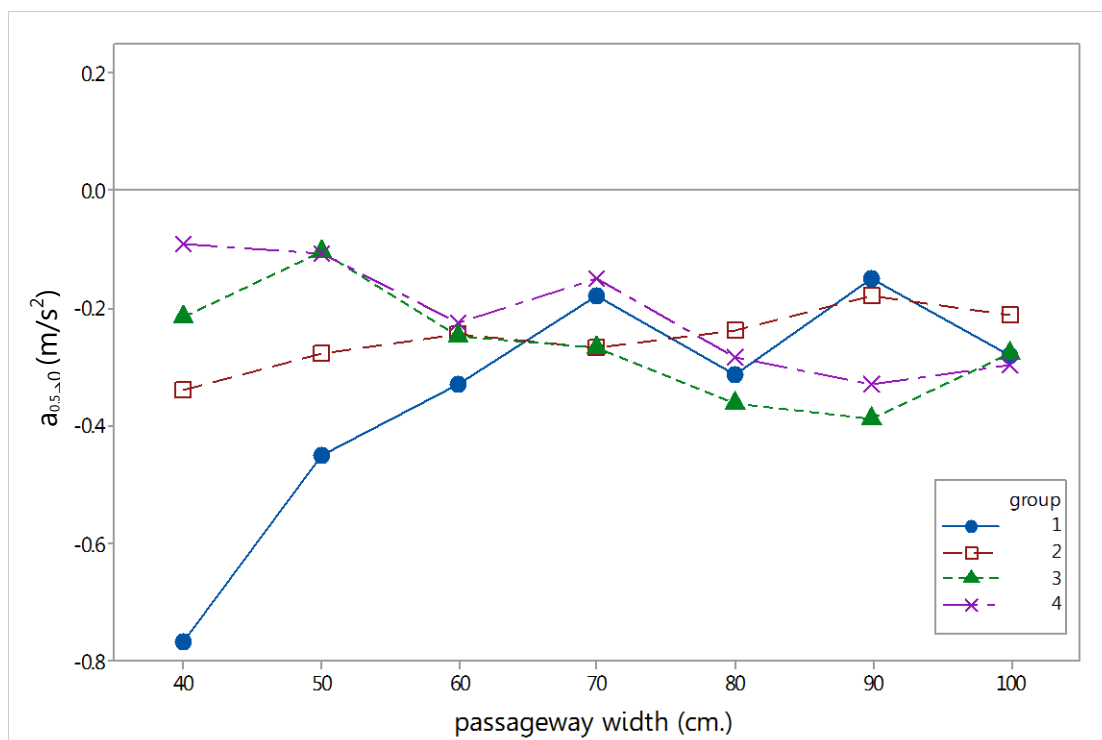
รูปที่ 4.11 อิทธิพลหลักเนื่องจากความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด แยกตามกลุ่มพฤติกรรม

จากนั้น พิจารณาแนวโน้มของอิทธิพลเนื่องจากความกว้างช่องทางเดิน ด้วยกราฟค่าเฉลี่ย เนื่องจากอิทธิพลหลักของความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด ดังรูปที่ 4.11 จะเห็นว่า ในผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 1 นั้น อัตราเร่งเฉลี่ยไม่แตกต่างกันในแต่ละความกว้างช่องทางเดิน ในขณะที่ผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 2 อัตราเร่งเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลงหรือติดลบมากขึ้นเมื่อความกว้างช่องทางเดินแคบลง โดยมีลักษณะเป็นเส้นตรงแต่ความชันน้อยที่ความกว้างช่องทางเดินตั้งแต่ 40-70 เซนติเมตร กล่าวคือ ผู้เข้าร่วมการทดลองมีการห้วงมากขึ้นเล็กน้อยเมื่อช่องทางเดินแคบลงตั้งแต่ 70 เซนติเมตรเป็นต้นไป ซึ่งเป็นไปตามกฎของ Fitts ส่วนผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 3 อัตราเร่งเฉลี่ยค่อนข้างใกล้เคียงกันในแต่ละความกว้างช่องทางเดิน โดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเพียงสองคู่ คือ 40-80 และ 40-90 เซนติเมตร และในผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 4 พบว่าอัตราเร่งเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลงหรือติดลบมากขึ้นเมื่อความกว้างช่องทางเดินแคบลง แต่มีลักษณะแนวโน้มที่ไม่ชัดเจนนัก เนื่องจากพบความแตกต่างเพียงคู่เดียว คือ ที่เงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินเท่ากับ 40 และ 90 เซนติเมตร (ผลการทดสอบรายคู่แสดงในภาคผนวก จ)



รูปที่ 4.12 อิทธิพลหลักเนื่องจากความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน แยกตามกลุ่มพฤติกรรม

จากนั้นเมื่อพิจารณาเป็นสองช่วงระยะทาง โดยรูปที่ 4.12 แสดงอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน จะเห็นว่า อัตราเร่งเฉลี่ยของทุกกลุ่มในช่วงนี้มีค่าใกล้เคียงศูนย์ในเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินตั้งแต่ 60 เซนติเมตรขึ้นไป เมื่อพิจารณาเป็นรายกลุ่ม พบว่า ในผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 1 อัตราเร่งเฉลี่ยมีความแตกต่างเฉพาะในเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินที่แคบ ได้แก่ 40 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่ (แสดงในภาคผนวก จ) ที่บ่งชี้ให้เห็นว่า อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินในเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินเท่ากับ 40 เซนติเมตรของผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 1 นั้น แตกต่างจากเงื่อนไขอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่เงื่อนไขอื่น ๆ ไม่มีความแตกต่างกันเลย สำหรับผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 2 นั้น จะเห็นว่าอัตราเร่งเฉลี่ยแตกต่างกันเล็กน้อยระหว่างความกว้างช่องทางเดิน แต่ไม่มีลักษณะแนวโน้มที่เป็นเส้นตรง ส่วนในผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 3 พบว่าอัตราเร่งเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงศูนย์ และไม่แตกต่างกันในแต่ละเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดิน กล่าวคือ ผู้เข้าร่วมการทดลองแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วในช่วงนี้เลย และในผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 4 จะเห็นว่าอัตราเร่งเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลง หรือติดลบมากขึ้นเมื่อความกว้างช่องทางเดินแคบลง โดยมีลักษณะเป็นเส้นตรงอย่างชัดเจนที่ความกว้างช่องทางเดินตั้งแต่ 40-60 เซนติเมตร กล่าวคือ ผู้เข้าร่วมการทดลองมีการหน่วงมากขึ้นเมื่อช่องทางเดินแคบลงตั้งแต่ 60 เซนติเมตรเป็นต้นไป ซึ่งเป็นไปตามกฎของ Fitts



รูปที่ 4.13 อิทธิพลหลักเนื่องจากความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน แยกตามกลุ่มพฤติกรรม

ต่อมาเมื่อพิจารณารูปที่ 4.13 ซึ่งแสดงอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน จะเห็นว่า อัตราเร่งเฉลี่ยโดยรวมแล้วมีค่าต่ำกว่าช่วงแรก คือ ตีลบมากกว่า เนื่องจากช่วงนี้เป็นช่วงระยะทางที่ เข้าใกล้ช่องทางเดิน และยังแตกต่างกันอย่างชัดเจนในแต่ละเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดิน แสดงให้เห็นว่า ความกว้างช่องทางเดินมีอิทธิพลมากต่อการชะลออัตราเร็วของผู้เข้าร่วมการทดลองในช่วงนี้ โดยพบว่าในผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 1 อัตราเร่งเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลงหรือตีลบมากขึ้นเมื่อความ กว้างช่องทางเดินแคบลง โดยมีลักษณะเป็นเส้นตรงอย่างชัดเจนที่ความกว้างช่องทางเดินตั้งแต่ 40-60 เซนติเมตร กล่าวคือ ผู้เข้าร่วมการทดลองมีการหน่วงมากขึ้นเมื่อช่องทางเดินแคบลงตั้งแต่ 60 เซนติเมตร เป็นต้นไป ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการแลกเปลี่ยนความเร็วและความแม่นยำ สำหรับผู้เข้าร่วม การทดลองกลุ่มที่ 2 อัตราเร่งเฉลี่ยไม่แตกต่างกันในแต่ละเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดิน ในขณะที่ ผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 3 นั้น ถึงแม้ผลการทดสอบจะบ่งชี้ว่าความกว้างช่องทางเดินมีผลต่ออัตรา เร่งเฉลี่ย แต่ไม่มีแนวโน้มที่เป็นเส้นตรง โดยมีค่าขึ้นลงไม่สม่ำเสมอ และพบความแตกต่างเพียงสองคู่ คือ 50-80 และ 50-90 เซนติเมตร ส่วนในผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 4 อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงนี้ ค่อนข้างใกล้เคียงกันในแต่ละความกว้างช่องทางเดิน โดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเพียงคู่ เดียวคือ 40-90 เซนติเมตร

#### 4.7. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณ

หลังจากวิเคราะห์พฤติกรรมการลดอัตราเร็วของผู้เข้าร่วมการทดลอง รวมถึงอิทธิพลของปัจจัยความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยแล้ว พบว่า พฤติกรรมการลดอัตราเร็วสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม โดยผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 1, 2 และ 4 เป็นกลุ่มที่มีพฤติกรรมเป็นไปตามกฎของ Fitts กล่าวคือ อัตราเร่งเฉลี่ยมีแนวโน้มที่เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นตรงกับความยาวของงาน ในที่นี้คือ ความกว้างช่องทางเดิน ( $w$ ) แต่นอกจากความกว้างช่องทางเดินแล้ว ยังคาดว่าปัจจัยพื้นฐานด้านร่างกายของผู้เข้าร่วมการทดลอง ได้แก่ เพศ (gender), น้ำหนัก (weight), ส่วนสูง (height) และความกว้างไหล่ (shoulder breadth,  $sb$ ) จะมีความสัมพันธ์กับอัตราเร่งเฉลี่ยของผู้เข้าร่วมการทดลองอีกด้วย ดังนั้นเพื่อให้สามารถอธิบายผลของทุกปัจจัยได้พร้อมๆ กัน และเพื่อประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้ จึงนำไปสู่การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัว

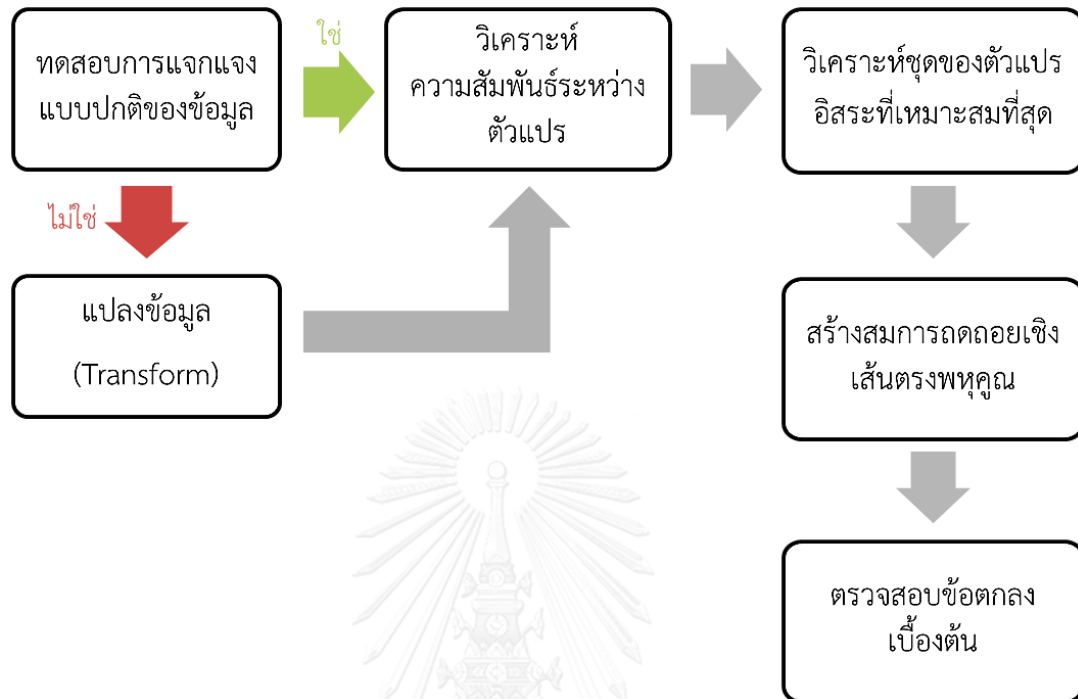
เนื่องจากตัวแปรตามในที่นี้ ได้แก่ อัตราเร่งเฉลี่ย เป็นค่าลบเกือบทั้งหมด ซึ่งหากต้องมีการแปลงข้อมูล (Data transformation) จะต้องใช้ตัวแปรตามที่เป็นค่าบวกเท่านั้น จึงพิจารณาตัวแปรตามที่เป็นอัตราหน่วงเฉลี่ย หรือ  $d_{i \rightarrow t}$  แทน โดยทำการวิเคราะห์การถดถอยทีละกลุ่ม ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แผนการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณ

กลุ่มพฤติกรรม	ตัวแปรตาม	ช่วงความกว้างช่องทางเดิน
กลุ่มที่ 1	อัตราหน่วงเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน ( $d_{0.5 \rightarrow 0}$ )	40-60 ซม.
กลุ่มที่ 2	อัตราหน่วงเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด ( $d_{2 \rightarrow 0}$ )	40-70 ซม.
กลุ่มที่ 4	อัตราหน่วงเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน ( $d_{2 \rightarrow 0.5}$ )	40-60 ซม.

ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณของกลุ่มพฤติกรรมแต่ละกลุ่มนั้น ในขั้นตอนแรกเป็นการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล ซึ่งหากข้อมูลไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ ก็จะต้องแปลงข้อมูลก่อน โดยหาค่าพารามิเตอร์ในการแปลงข้อมูล ( $\lambda$ ) ด้วยวิธีบ็อกซ์-ค็อกซ์ (Box-Cox transformation) หลังจากนั้นวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน เพื่อดูแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร จากนั้นจึงคัดเลือกตัวแปรอิสระ รวมถึงปฏิเสธความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระที่ส่งผลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ ด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบเป็นขั้นตอน (Stepwise regression) แล้วจึงนำไปสู่การสร้างสมการพยากรณ์

รวมถึงทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณ สรุปลงขั้นตอนได้ดังรูปที่ 4.14

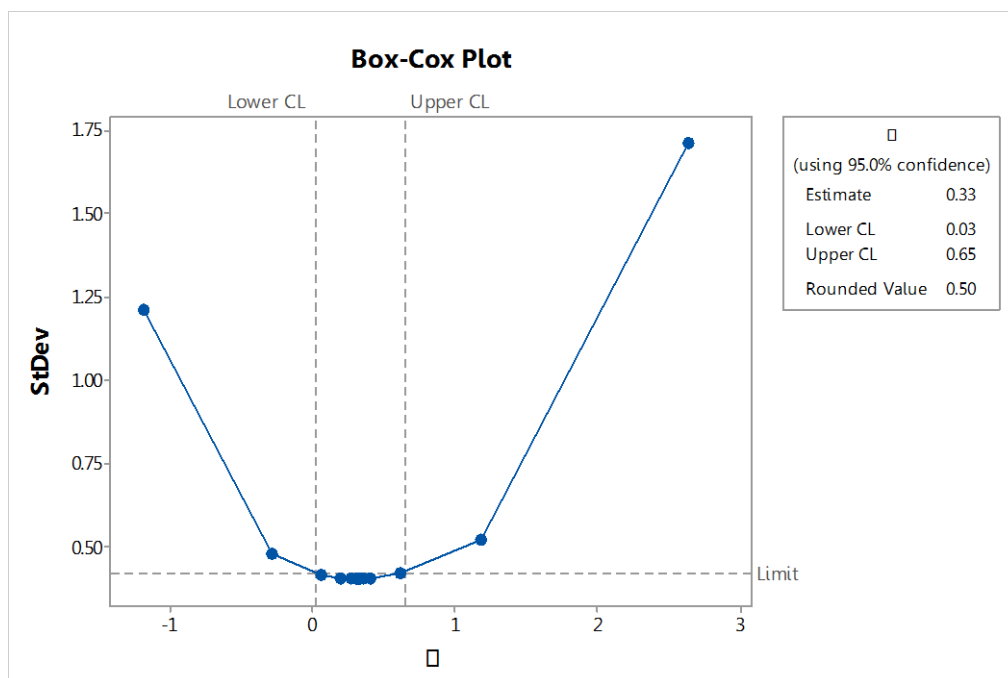


รูปที่ 4.14 ขั้นตอนวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณ

#### 4.7.1. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณของกลุ่มที่ 1

ผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่มีพฤติกรรมเป็นไปตามกฎของ Fitts ในช่วงที่เข้าใกล้ช่องทางเดิน คือ มีการลดอัตราเร็วมากขึ้นเมื่อความกว้างช่องทางเดินแคบลงในช่วงที่เข้าใกล้ช่องทางเดิน โดยจากการสังเกตกราฟอิทธิพลหลักและผลการเปรียบเทียบรายคู่พบว่าความกว้างช่องทางเดิน 60 เซนติเมตร เป็นความกว้างช่องทางเดินที่ทำให้ผู้เข้าร่วมการทดลองเริ่มลดอัตราเร็วมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณสำหรับกลุ่มพฤติกรรมกลุ่มที่ 1 ในช่วงความกว้างช่องทางเดินตั้งแต่ 40-60 เซนติเมตร

เนื่องจากตัวแปรตามไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ จึงต้องทำการแปลงข้อมูล โดยหาค่าพารามิเตอร์ในการแปลงข้อมูล ( $\lambda$ ) ด้วยวิธีบ็อกซ์-ค็อกซ์



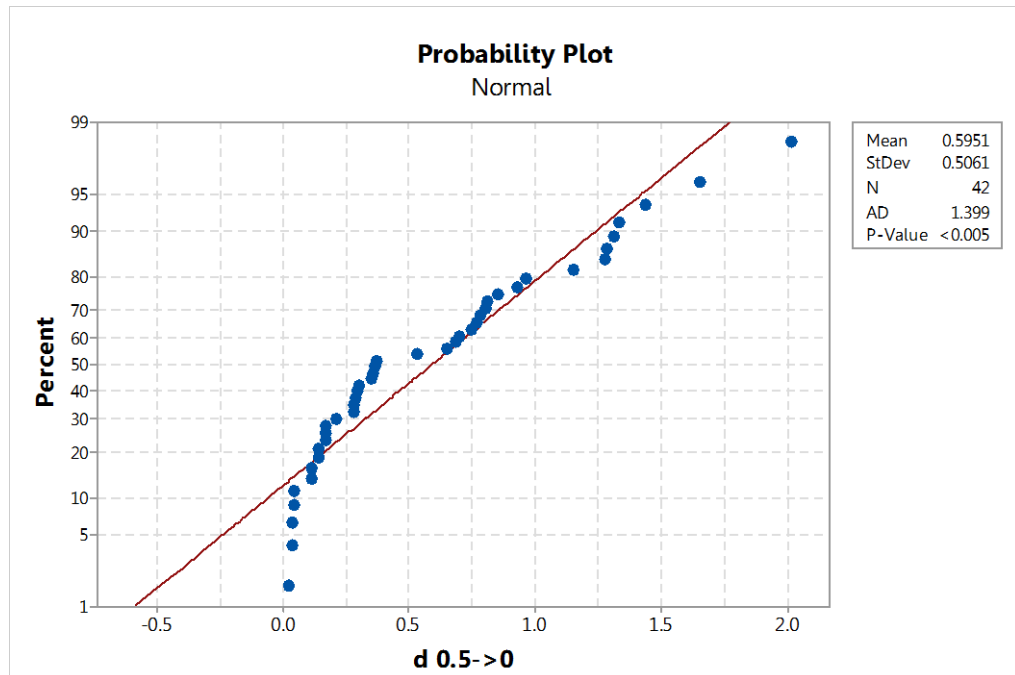
รูปที่ 4.15 ค่า  $\lambda$  ที่เหมาะสมสำหรับแปลงข้อมูลของกลุ่มที่ 1

จากรูปที่ 4.15 พบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับข้อมูลคือ 0.33 แต่ในที่นี้จะเลือกใช้ค่าที่ใกล้เคียง (Rounded value) เพื่อความง่ายในการแปลงข้อมูล คือ 0.50 ทำให้ตัวแปรตามที่แปลงแล้วมีค่าเป็นไปตามสมการที่ 4.2

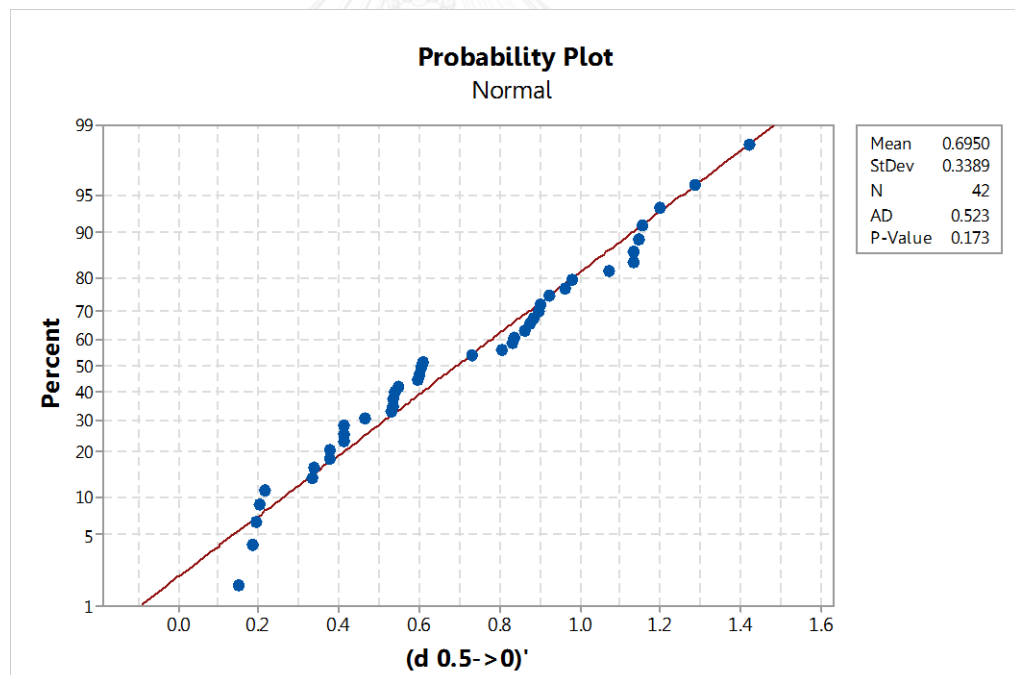
$$(d_{0.5 \rightarrow 0})' = \sqrt{d_{0.5 \rightarrow 0}} \quad (4.2)$$

หลังจากทำการแปลงข้อมูลแล้ว ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลอีกครั้ง ได้ผลดังรูปที่ 4.16 จะเห็นว่า การกระจายตัวของข้อมูลหลังการแปลงข้อมูลเป็นการกระจายตัวแบบปกติ จึงเหมาะสมที่จะนำไปวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นต่อไป





(ก.)

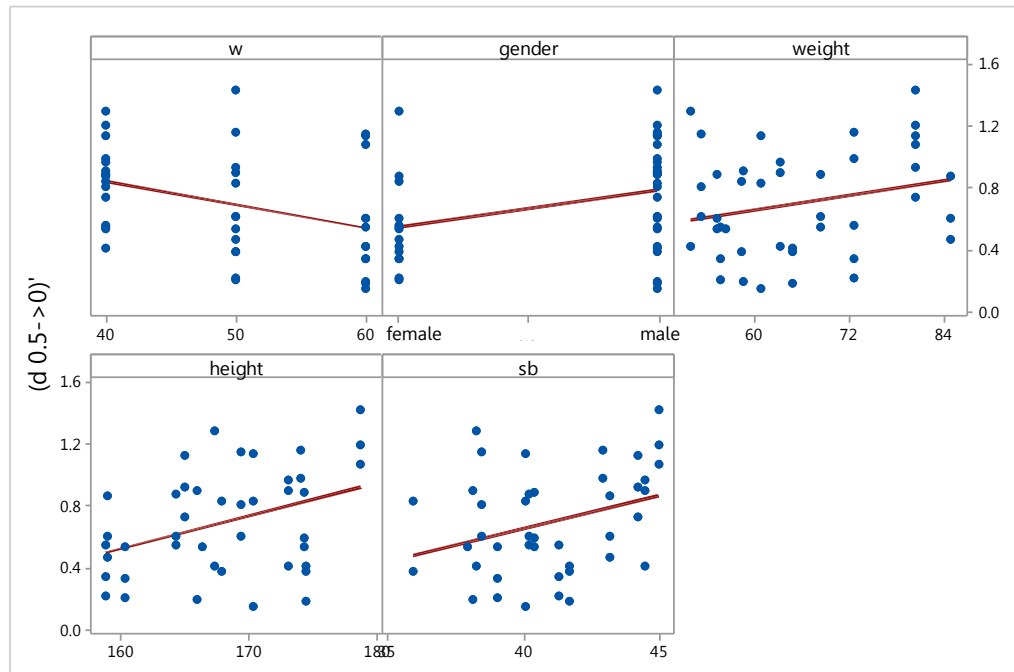


(ข.)

รูปที่ 4.16 การกระจายตัวของอัตราหน่วงเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน (ก.) ก่อนการแปลงข้อมูล (ข.) หลังการแปลงข้อมูล

จากนั้นทำการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น โดยตรวจสอบรูปแบบของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรตาม ได้แก่ อัตราหน่วงเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่อง

ทางเดิน และตัวแปรอิสระทั้ง 5 ตัว ได้แก่ ความกว้างช่องทางเดิน เพศ น้ำหนัก ส่วนสูง และความกว้างไหล่ของผู้เข้าร่วมการทดลอง ด้วยแผนภาพกระจาย (Scatterplot)



รูปที่ 4.17 แผนภาพกระจายระหว่างอัตราห้วงเฉลี่ยกับตัวแปรอิสระของกลุ่มที่ 1

จากรูปที่ 4.17 พบว่า ทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราห้วงเฉลี่ยและตัวแปรอิสระบางตัวสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยอัตราห้วงเฉลี่ยมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความกว้างช่องทางเดินแคบลง กล่าวคือ ความกว้างช่องทางเดินที่แคบลง ทำให้ลดอัตราเร็วมากขึ้น เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านเพศ พบว่าอัตราห้วงเฉลี่ยของเพศชายมีแนวโน้มสูงกว่าเพศหญิง สำหรับปัจจัยด้านสัดส่วนร่างกาย พบว่าน้ำหนักที่มากขึ้นมีแนวโน้มทำให้อัตราห้วงเฉลี่ยมากขึ้น เช่นเดียวกับความกว้างไหล่และส่วนสูง เพื่อให้เห็นผลในเชิงปริมาณ จึงวิเคราะห์ระดับของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน ได้ผลดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 เมตริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของกลุ่มที่ 1

	$(d_{0.5,0})'$	w	gender	weight	height
w	-0.369 (.016*)				
gender	0.331 (.032*)	0.061 (.701)			
weight	0.240 (.127)	0.027 (.867)	0.013 (.935)		
height	0.388 (.011*)	-0.019 (.906)	0.691 (.000*)	-0.137 (.386)	
sb	0.325 (.036*)	0.071 (.655)	0.346 (.025*)	0.770 (.000*)	0.265 (.090)

\*p-value &lt; .05

จากตารางที่ 4.13 พบว่าความกว้างช่องทางเดิน รวมถึงปัจจัยพื้นฐานของมนุษย์ ได้แก่ เพศ น้ำหนัก ส่วนสูงและความกว้างไหล่ ล้วนมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับอัตราห่วงเฉลี่ยในระดับปานกลาง และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ จะเห็นว่า ตัวแปรอิสระบางตัวยังมีความสัมพันธ์กันเองอย่างมีนัยสำคัญอีกด้วย โดยเฉพาะน้ำหนักกับความกว้างไหล่ และเพศกับส่วนสูง ที่มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง ( $|r| > 0.50$ ) เนื่องจากผู้ที่มีความกว้างไหล่มาก หรือมีรูปร่างใหญ่ มักจะมีน้ำหนักร่างกายมากขึ้นตามไปด้วย ส่วนเพศชายนั้นโดยทั่วไปจะมีส่วนสูงที่มากกว่าเพศหญิง

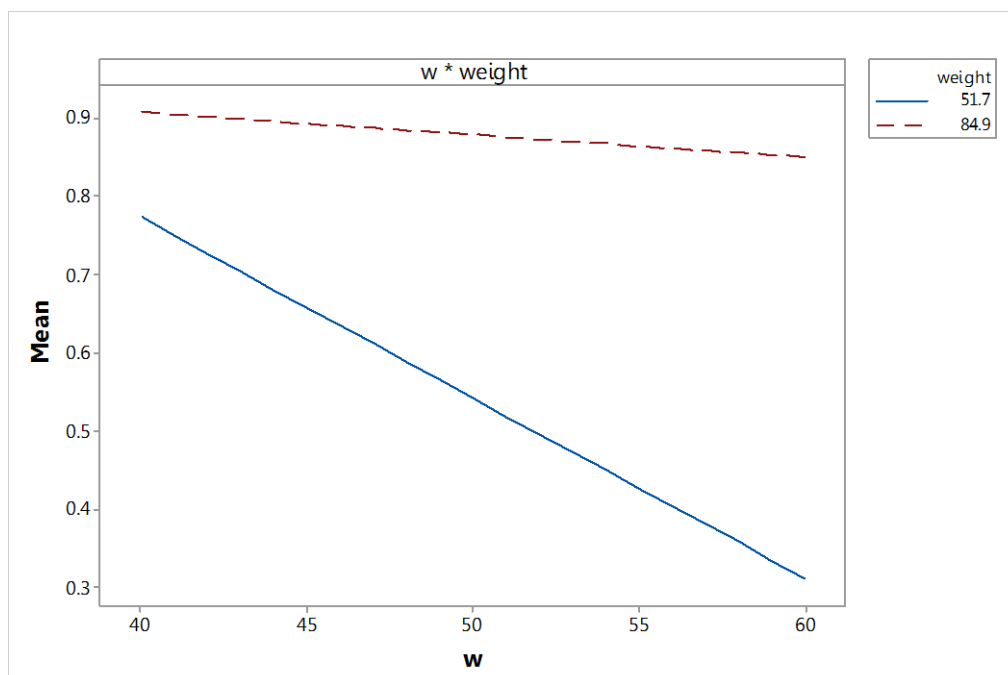
จากนั้น ทำการวิเคราะห์ตัวแปรอิสระ รวมถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Interactions) ที่ส่งผลต่ออัตราห่วงเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ ด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบเป็นขั้นตอน (Stepwise regression) ได้ผลที่เป็นตัวแบบที่ดีที่สุดดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการถดถอยเชิงเส้นของกลุ่มที่ 1

Source	df	Seq SS	Adj MS	F-value	p-value
Regression	4	1.8781	0.46954	6.14	.001
w	1	0.6408	0.21794	2.85	.100
weight	1	0.2929	0.05181	0.68	.416
height	1	0.8266	0.84721	11.08	.002
w*weight	1	0.1178	0.11779	1.54	.222
Error	37	2.8298	0.07648		
Total	41	4.7080			

$$R^2 = 0.3989, R^2_{adj} = 0.3339, SE = 0.276553$$

จากตารางที่ 4.14 พบว่า ตัวแปรอิสระที่ถูกคัดเลือกมานั้นประกอบด้วย ความกว้างช่องทางเดิน น้ำหนัก ส่วนสูง และปฏิสัมพันธ์ระหว่างความกว้างช่องทางเดินกับน้ำหนัก นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่า ความกว้างไหล่ไม่ถูกคัดเลือกเข้ามาในตัวแบบ ซึ่งขัดกับผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราห่วงเฉลี่ยกับความกว้างไหล่ดังตารางที่ 4.13 แต่จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระตามที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น จะเห็นว่าน้ำหนักและความกว้างไหล่มีความสัมพันธ์กันเองในระดับสูง จึงอาจทำให้เกิดสภาวะร่วม (Multicollinearity) ในตัวแบบ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากตัวแปรทั้งสองมีผลกับตัวแปรตามในทิศทางเดียวกันและมีระดับความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน การเลือกเพียงตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเข้ามาในตัวแบบจึงอาจเป็นทางเลือกที่ดีกว่า เช่นเดียวกับกับเพศและส่วนสูง ซึ่งมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง และมีความสัมพันธ์กับอัตราห่วงเฉลี่ยในทิศทางเดียวกัน แต่ตัวแปรส่วนสูงนั้นมีความสัมพันธ์กับอัตราห่วงเฉลี่ยในระดับที่สูงกว่า และไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระตัวอื่นอีก ตัวแปรส่วนสูงจึงถูกคัดเลือกเข้ามาในตัวแบบ



รูปที่ 4.18 แผนภาพปฏิสัมพันธ์ (Interactions plot) ของตัวแปรอิสระของกลุ่มที่ 1

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระนั้นสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 4.18 ได้แก่ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความกว้างช่องทางเดินกับน้ำหนัก จะเห็นว่า ถ้าน้ำหนักน้อย ความกว้างช่องทางเดินที่เปลี่ยนไปจะมีผลอย่างมากต่ออัตราห่วงเฉลี่ย โดยเมื่อความกว้างช่องทางเดินแคบลง อัตราห่วงเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้น คือ มีการลดอัตราเร็วมากขึ้น แต่ถ้าน้ำหนักร่างกายมาก ความกว้างช่องทางเดินจะมีผลน้อยต่ออัตราห่วงเฉลี่ย โดยจะเห็นว่าผู้ที่มีน้ำหนักมากนั้น อัตราห่วงเฉลี่ยจะมีค่ามากอยู่แล้ว

ตารางที่ 4.15 สัมประสิทธิ์การถดถอยของกลุ่มที่ 1

Term	b	SE <sub>b</sub>	95% CI		t-value
			Lower	Upper	
Constant	-1.27	2.01	-5.35	2.80	-0.63
w	-0.0544	0.0322	-0.1198	0.0109	-1.69
weight	-0.0203	0.0246	-0.0701	0.0296	-0.82
height	0.02387	0.00717	0.00934	0.03840	3.33
w*weight	0.000607	0.000489	-0.000384	0.001599	1.24

ดังนั้น ตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์อัตราห่วงเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดินของกลุ่มพฤติกรรมกลุ่มที่ 1 นั้น ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปร ได้แก่ ความ

กว้างช่องทางเดิน น้ำหนัก และส่วนสูงของผู้ที่เดินผ่าน โดยตัวแปรทั้งหมดสามารถอธิบายความผันแปรของอัตราห่วงเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดินได้ร้อยละ 39.89 และมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ เท่ากับ  $\pm 0.28$  สมการมีรูปแบบดังนี้

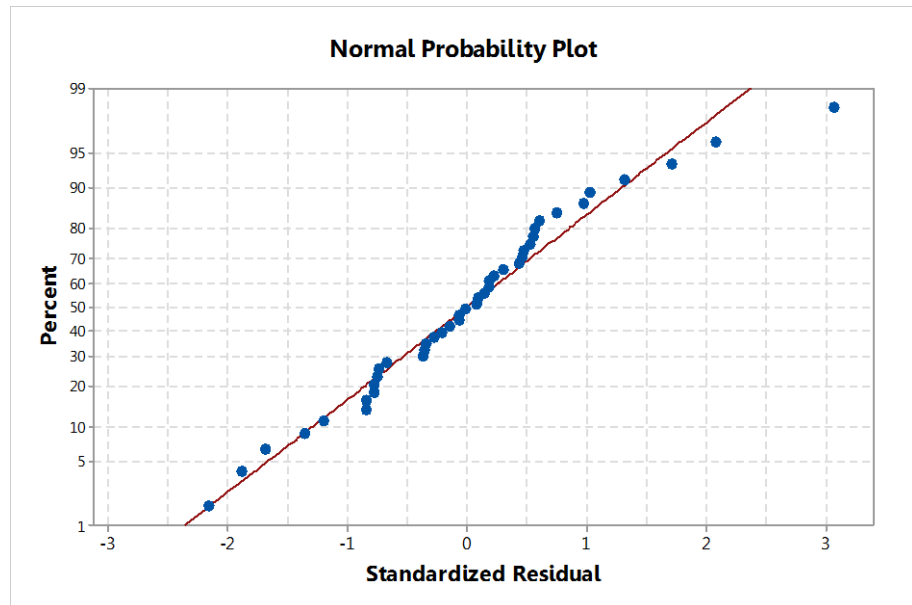
$$d_{0.5 \rightarrow 0} = (-1.27 - 0.0544 \cdot w - 0.0203 \cdot \text{weight} + 0.02387 \cdot \text{height} + 0.000607 \cdot w \cdot \text{weight})^2 \quad (4.3)$$

เมื่อ  $d_{0.5 \rightarrow 0}$  คือ อัตราห่วงเฉลี่ยในช่วงระยะทาง 0-0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน (เมตรต่อวินาที<sup>2</sup>)  
 $w$  คือ ความกว้างช่องทางเดิน (เซนติเมตร) ; มีค่าตั้งแต่ 40-60  
 $\text{weight}$  คือ น้ำหนักร่างกายของมนุษย์ (กิโลกรัม)  
 $\text{height}$  คือ ส่วนสูงของมนุษย์ (เซนติเมตร)

หลังจากวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณแล้ว ต้องทำการทดสอบส่วนเหลือมาตรฐาน (Standardized residual) ว่าเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple regression assumptions) หรือไม่ ดังนี้

#### 1) การแจกแจงแบบปกติ (Normality)

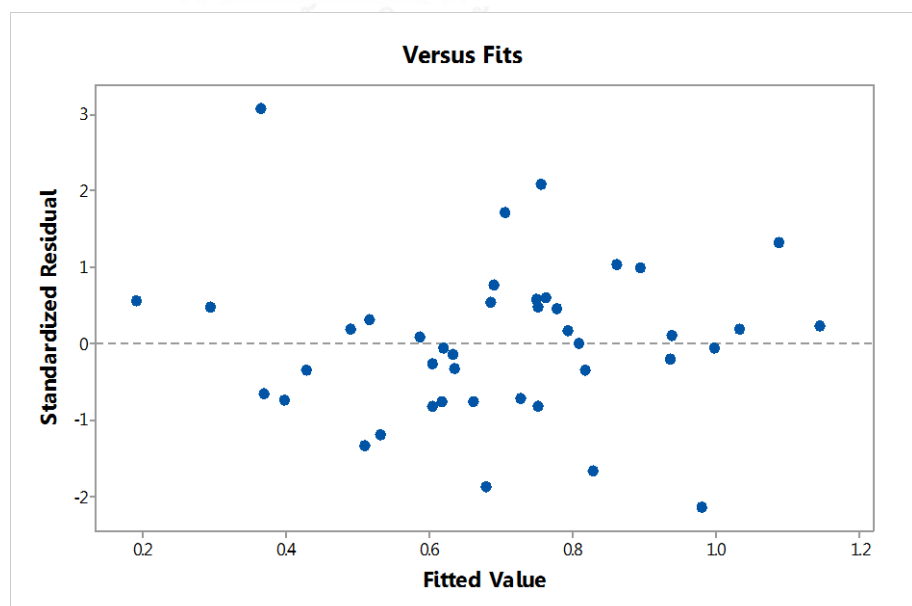
ทดสอบการแจกแจงแบบปกติ ด้วยแผนภาพการกระจายตัวแบบปกติ (Normal probability plot) ของส่วนเหลือมาตรฐาน ดังรูปที่ 4.19 พบว่าส่วนเหลือเรียงตัวตามแนวเส้นทแยงมุม จึงสรุปได้ว่า ส่วนเหลือมีการกระจายตัวแบบปกติ



รูปที่ 4.19 แผนภาพการกระจายตัวแบบปกติของส่วนเหลือของกลุ่มที่ 1

2) ความคงที่ของความแปรปรวน (Homoscedasticity)

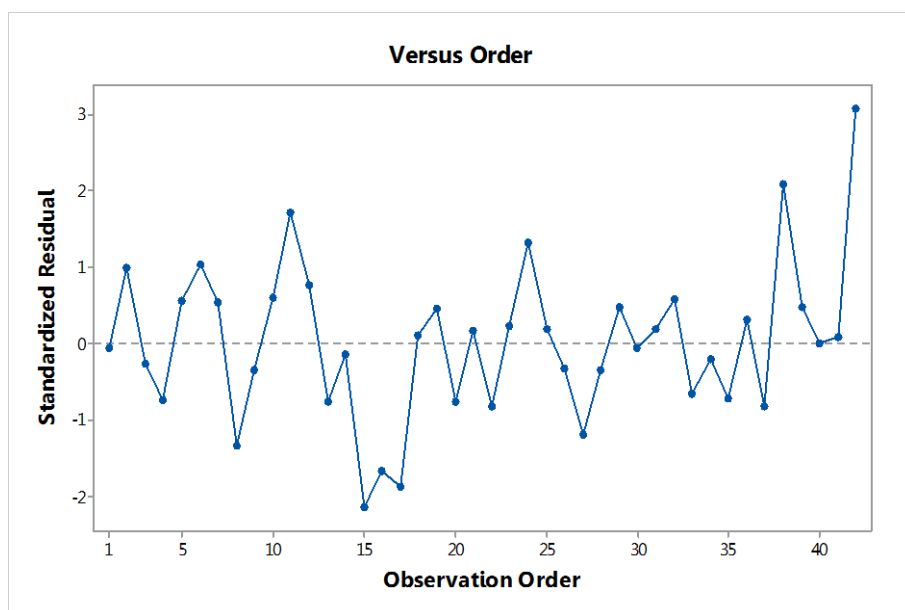
ทดสอบความคงที่ของความแปรปรวน ด้วยแผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือมาตรฐานกับค่าพยากรณ์ (Standardized residuals versus fits) ดังรูปที่ 4.20 พบว่าส่วนเหลือมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอและมีความสมมาตรรอบค่าศูนย์ จึงสรุปได้ว่าความแปรปรวนของข้อมูลมีความคงที่



รูปที่ 4.20 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือมาตรฐานกับค่าพยากรณ์  
ของกลุ่มที่ 1

### 3) ความเป็นอิสระของข้อมูล (Independence)

ทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล ด้วยแผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือมาตรฐานกับเวลา (Standardized residuals versus order) ดังรูปที่ 4.21 พบว่า ส่วนเหลือมีการกระจายสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์ และไม่มีแนวโน้มที่สูงขึ้นหรือลดลง หรือเป็นวัฏจักร จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ



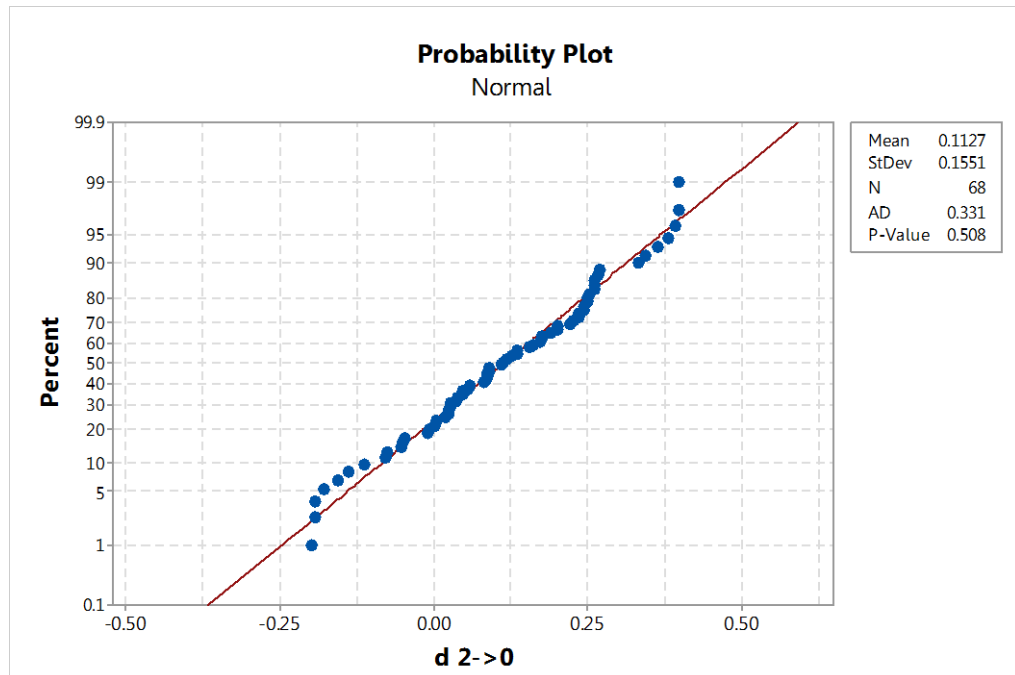
รูปที่ 4.21 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือมาตรฐานกับเวลาของกลุ่มที่ 1

#### 4.7.2. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณของกลุ่มที่ 2

ผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่มีพฤติกรรมเป็นไปตามกฎของ Fitts ในช่วงระยะทางทั้งหมด หรือช่วงระยะทาง 0-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน คือ มีการลดอัตราเร็วมากขึ้นเมื่อความกว้างช่องทางเดินแคบลงในช่วงระยะทางทั้งหมด โดยจากการสังเกตกราฟอิทธิพลหลักและผลการเปรียบเทียบรายคู่ พบว่าความกว้างช่องทางเดิน 70 เซนติเมตร เป็นความกว้างช่องทางเดินที่ทำให้ผู้เข้าร่วมการทดลองเริ่มลดอัตราเร็วมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณสำหรับกลุ่มพฤติกรรมกลุ่มที่ 2 ในช่วงความกว้างช่องทางเดินตั้งแต่ 40-70 เซนติเมตร

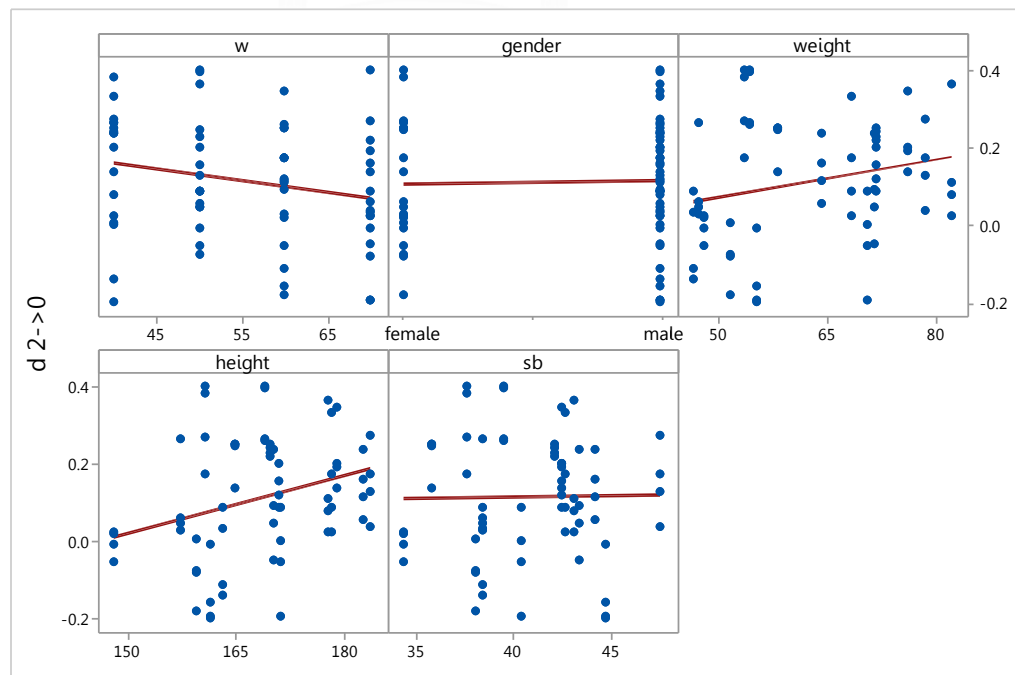
เมื่อทดสอบการกระจายตัวของตัวแปรตาม ได้แก่ อัตราหน่วงเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด พบว่ามีการกระจายตัวที่เป็นแบบปกติ ดังรูปที่ 4.22





รูปที่ 4.22 การกระจายตัวของอัตราห่วงเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด

จากนั้นทำการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น โดยตรวจสอบรูปแบบของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรตาม ได้แก่ อัตราห่วงเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด และตัวแปรอิสระทั้ง 5 ตัว ได้แก่ ความกว้างช่องทางเดิน เพศ น้ำหนัก ส่วนสูง และความกว้างไหล่ของผู้เข้าร่วมการทดลอง ด้วยแผนภาพกระจาย



รูปที่ 4.23 แผนภาพกระจายระหว่างอัตราห่วงเฉลี่ยกับตัวแปรอิสระของกลุ่มที่ 2

จากรูปที่ 4.23 พบว่า ทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราห่วงเฉลี่ยและตัวแปรอิสระของผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 2 แตกต่างจากผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 1 เล็กน้อย โดยอัตราห่วงเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลงเมื่อความกว้างช่องทางเดินมากขึ้น กล่าวคือ เมื่อความกว้างช่องทางเดินมากขึ้น การห่วงก็จะน้อยลง ส่วนปัจจัยด้านเพศนั้น พบว่าอัตราห่วงเฉลี่ยของเพศชายและเพศหญิงไม่ต่างกันมากนัก สำหรับปัจจัยด้านสัดส่วนร่างกาย พบว่าน้ำหนักมีแนวโน้มแปรผันตรงกับอัตราห่วงเฉลี่ย ส่วนสูงที่มากขึ้นมีแนวโน้มส่งผลให้อัตราห่วงเฉลี่ยมากขึ้น ในขณะที่ความกว้างไหล่นั้นแทบไม่มีความสัมพันธ์กับอัตราห่วงเฉลี่ย เพื่อให้เห็นผลในเชิงปริมาณ จึงวิเคราะห์ระดับของความสัมพัทธ์ระหว่างตัวแปร ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน ได้ผลดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 เมตริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของกลุ่มที่ 2

	$d_{2>0}$	w	gender	weight	height
w	-0.221 (.070)	-	-	-	-
gender	0.024 (.849)	0.000 (1.000)	-	-	-
weight	0.240 (.049*)	0.000 (1.000)	0.633 (.000*)	-	-
height	0.309 (.010*)	0.000 (1.000)	0.723 (.000*)	0.821 (.000*)	-
sb	0.012 (.921)	0.000 (1.000)	0.777 (.000*)	0.719 (.000*)	0.789 (.000*)

\*p-value < .05

จากตารางที่ 4.16 พบว่าน้ำหนักและส่วนสูงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับอัตราห่วงเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับความกว้างช่องทางเดินนั้น แม้ว่าผลการทดสอบความสัมพันธ์กับอัตราห่วงเฉลี่ยจะไม่มีนัยสำคัญ แต่ระดับของความสัมพันธ์นั้นอยู่ในระดับปานกลางและใกล้เคียงกับน้ำหนัก ในขณะที่เพศและความกว้างไหล่นั้นมีความสัมพันธ์น้อยกับอัตราห่วงเฉลี่ย และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ จะเห็นว่า ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันเองในระดับสูง โดยมีลักษณะความสัมพันธ์ที่ไขว้กันทุกตัวแปร

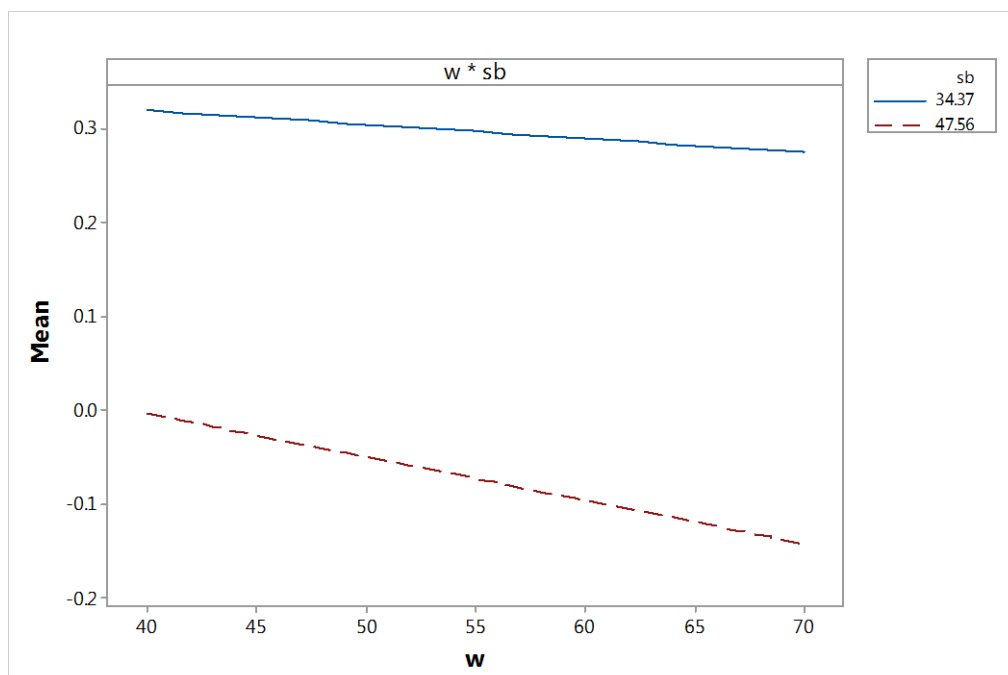
จากนั้น ทำการวิเคราะห์ตัวแปรอิสระ รวมถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระที่ส่งผลต่ออัตราห่วงเฉื่อยอย่างมีนัยสำคัญ ด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบเป็นขั้นตอน ได้ผลที่เป็นตัวแบบที่ดีที่สุดดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการถดถอยเชิงเส้นของกลุ่มที่ 2

Source	df	Seq SS	Adj MS	F-value	p-value
Regression	4	0.46654	0.116636	6.42	.000
w	1	0.07868	0.002497	0.14	.712
height	1	0.15387	0.382267	21.03	.000
sb	1	0.22864	0.006504	0.36	.552
w*sb	1	0.00536	0.005360	0.29	.589
Error	63	1.14510	0.018176		
Total	67	1.61165			

$$R^2 = 0.2895, R^2_{adj} = 0.2444, SE = 0.134819$$

จากตารางที่ 4.17 พบว่า ตัวแปรอิสระที่ถูกคัดเลือกเข้ามาในตัวแบบ ได้แก่ ความกว้างช่องทางเดิน ส่วนสูง ความกว้างไหล่ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างความกว้างช่องทางเดินกับความกว้างไหล่ จะสังเกตได้ว่าน้ำหนักไม่ถูกคัดเลือกเข้ามาในตัวแบบ แม้ว่าจะมีความสัมพันธ์กับอัตราห่วงเฉื่อยอย่างมีนัยสำคัญ แต่เนื่องจากน้ำหนักกับส่วนสูงมีความสัมพันธ์กันเองในระดับที่สูงมาก จึงควรเลือกเพียงตัวแปรเดียวเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการเกิดสภาวะเส้นตรงร่วมในส่วนของความกว้างไหล่ นั้น ถึงแม้ว่าผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์จะบ่งชี้ว่าความกว้างไหล่ส่งผลน้อยต่ออัตราห่วงเฉื่อย แต่จะเห็นได้ว่าความกว้างไหล่มีอิทธิพลปฏิสัมพันธ์ร่วมกับความกว้างช่องทางเดิน จึงถูกคัดเลือกเข้ามาในตัวแบบ



รูปที่ 4.24 แผนภาพปฏิสัมพันธ์ (Interactions plot) ของตัวแปรอิสระของกลุ่มที่ 2

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระนั้นสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 4.24 ได้แก่ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความกว้างช่องทางเดินกับความกว้างไหล่ จะเห็นว่า ผู้ที่มีความกว้างไหล่มาก เมื่อเดินผ่านช่องทางเดินที่แคบลง อัตราห้วงเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นมาก คือ มีการห้วงมากขึ้น ส่วนผู้ที่มีความกว้างใหล่น้อยกว่านั้น เมื่อเดินผ่านช่องทางเดินที่แคบลง อัตราห้วงเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่น้อยกว่า คือมีการห้วงขึ้นน้อยกว่านั่นเอง

ตารางที่ 4.18 สัมประสิทธิ์การถดถอยของกลุ่มที่ 2

Term	b	SE <sub>b</sub>	95% CI		t-value
			Lower	Upper	
Constant	-1.28	1.02	-3.32	0.77	-1.24
w	0.0066	0.0178	-0.0290	0.0423	0.37
height	0.01287	0.00281	0.00726	0.01847	4.59
sb	-0.0151	0.0252	-0.0653	0.0352	-0.60
w*sb	-0.000236	0.000434	-0.001104	0.000632	-0.54

ดังนั้น ตัวแบบที่เหมาะสมในการทำนายอัตราห้วงเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมดของกลุ่มพฤติกรรมกลุ่มที่ 2 นั้น ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปร ได้แก่ ความกว้างช่องทางเดิน ส่วนสูง และความกว้างไหล่ของผู้ที่เดินผ่าน โดยตัวแปรทั้งหมดสามารถอธิบายความ

ผันแปรของอัตราหน่วยเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมดได้ร้อยละ 28.95 และมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ เท่ากับ  $\pm 0.13$  สมการมีรูปแบบดังนี้

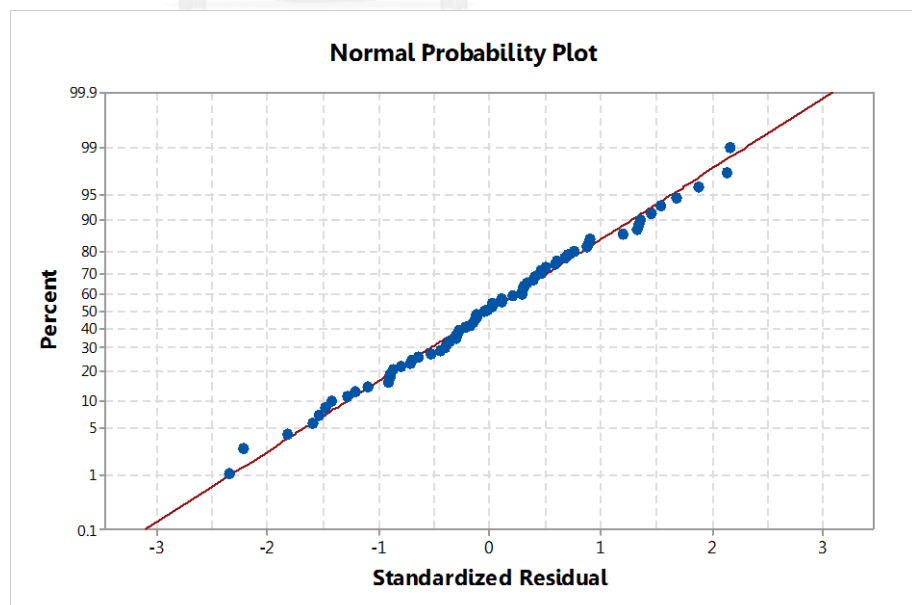
$$d_{2 \rightarrow 0} = -1.28 + 0.0066 \cdot w + 0.01287 \cdot \text{height} - 0.0151 \cdot \text{sb} - 0.000236 \cdot w \cdot \text{sb} \quad (4.4)$$

เมื่อ  $d_{2 \rightarrow 0}$  คือ อัตราหน่วยเฉลี่ยในช่วงระยะทาง 0-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน (เมตรต่อวินาที<sup>2</sup>)  
 $w$  คือ ความกว้างช่องทางเดิน (เซนติเมตร) ; มีค่าตั้งแต่ 40-70  
 $\text{height}$  คือ ส่วนสูงของมนุษย์ (เซนติเมตร)  
 $\text{sb}$  คือ ความกว้างไหล่ของมนุษย์ (เซนติเมตร)

หลังจากวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณแล้ว ต้องทำการทดสอบส่วนเหลือมาตรฐานว่าเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณหรือไม่ ดังนี้

#### 1) การแจกแจงแบบปกติ (Normality)

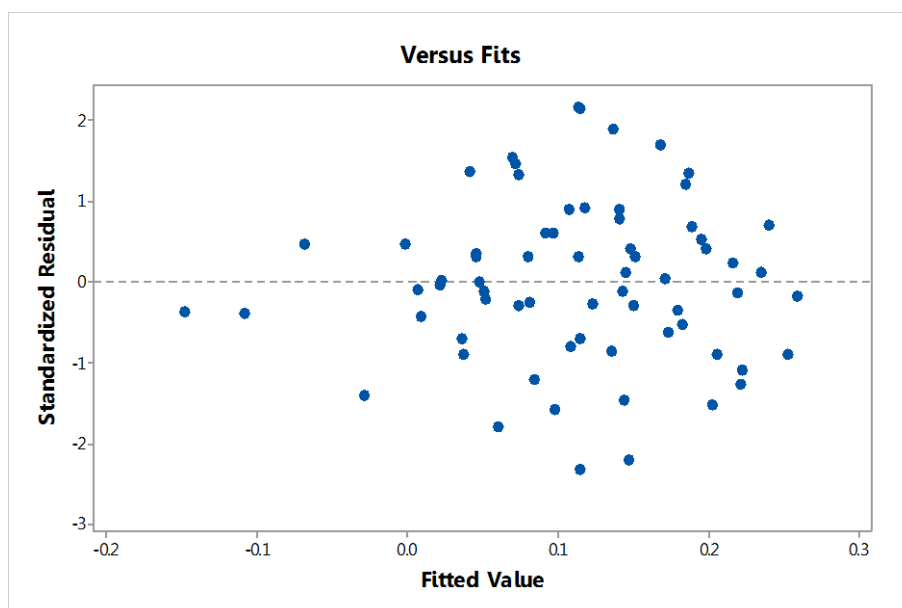
ทดสอบการแจกแจงแบบปกติ ด้วยแผนภาพการกระจายตัวแบบปกติของส่วนเหลือมาตรฐาน ดังรูปที่ 4.25 พบว่าส่วนเหลือเรียงตัวตามแนวเส้นทแยงมุม จึงสรุปได้ว่า ส่วนเหลือมีการกระจายตัวแบบปกติ



รูปที่ 4.25 แผนภาพการกระจายตัวแบบปกติของส่วนเหลือของกลุ่มที่ 2

## 2) ความคงที่ของความแปรปรวน (Homoscedasticity)

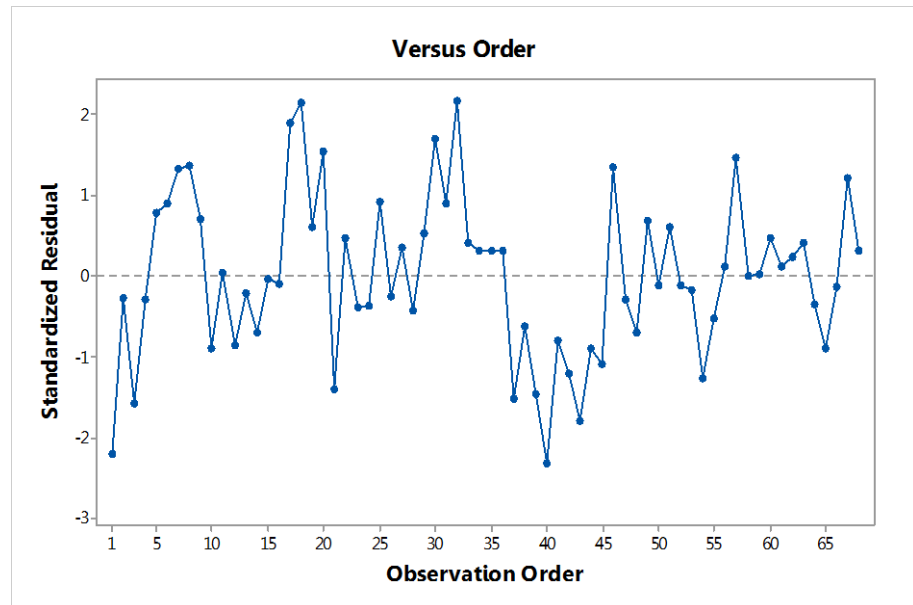
ทดสอบความคงที่ของความแปรปรวน ด้วยแผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือมาตรฐานกับค่าพยากรณ์ดังรูปที่ 4.26 พบว่าส่วนเหลือมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์ จึงสรุปได้ว่าความแปรปรวนของข้อมูลมีความคงที่



รูปที่ 4.26 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือมาตรฐานกับค่าพยากรณ์  
ของกลุ่มที่ 2

## 3) ความเป็นอิสระของข้อมูล (Independence)

ทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล ด้วยแผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือมาตรฐานกับเวลาดังรูปที่ 4.27 พบว่าส่วนเหลือไม่มีแนวโน้มที่สูงขึ้นหรือลดลง หรือเป็นวัฏจักร จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ

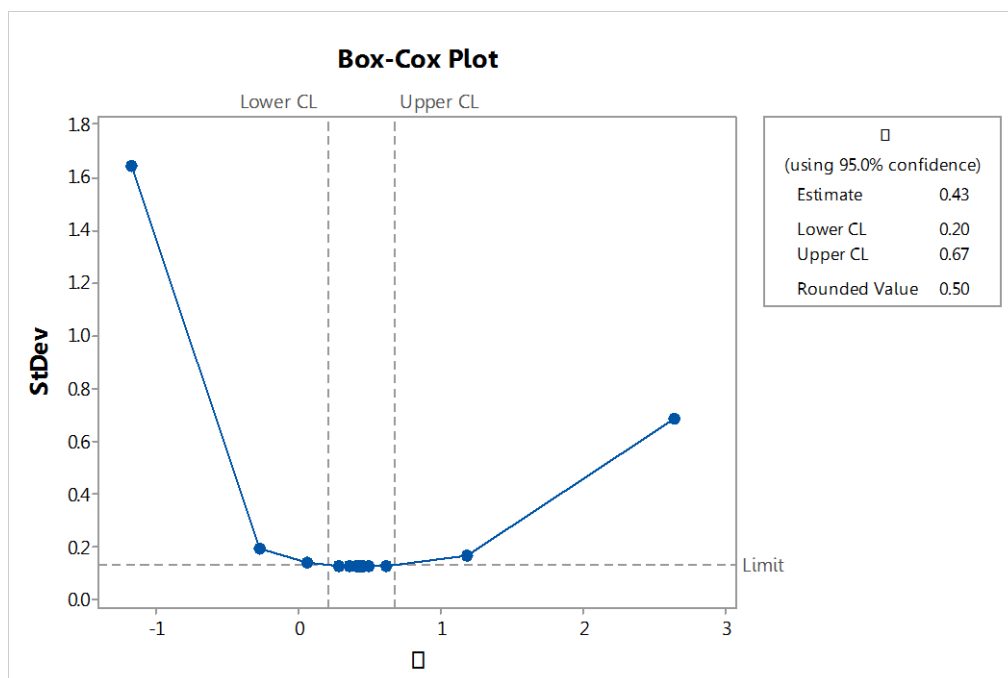


รูปที่ 4.27 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือมาตรฐานกับเวลาของกลุ่มที่ 2

#### 4.7.3. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณของกลุ่มที่ 4

ผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 4 เป็นกลุ่มที่มีพฤติกรรมเป็นไปตามกฎของ Fitts ในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน หรือช่วงระยะทาง 0.5-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน คือ มีการลดอัตราเร็วมากขึ้นเมื่อความกว้างช่องทางเดินแคบลง ในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน โดยจากการสังเกตกราฟฟิสิกส์หลักและผลการเปรียบเทียบรายคู่ พบว่าความกว้างช่องทางเดิน 60 เซนติเมตร เป็นความกว้างช่องทางเดินที่ทำให้ผู้เข้าร่วมการทดลองเริ่มลดอัตราเร็วมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณสำหรับกลุ่มพฤติกรรมกลุ่มที่ 4 ในช่วงความกว้างช่องทางเดินตั้งแต่ 40-60 เซนติเมตร

เนื่องจากตัวแปรตามไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ จึงต้องทำการแปลงข้อมูล โดยหาค่าพารามิเตอร์ในการแปลงข้อมูล ( $\lambda$ ) ด้วยวิธีบ็อกซ์-ค็อกซ์



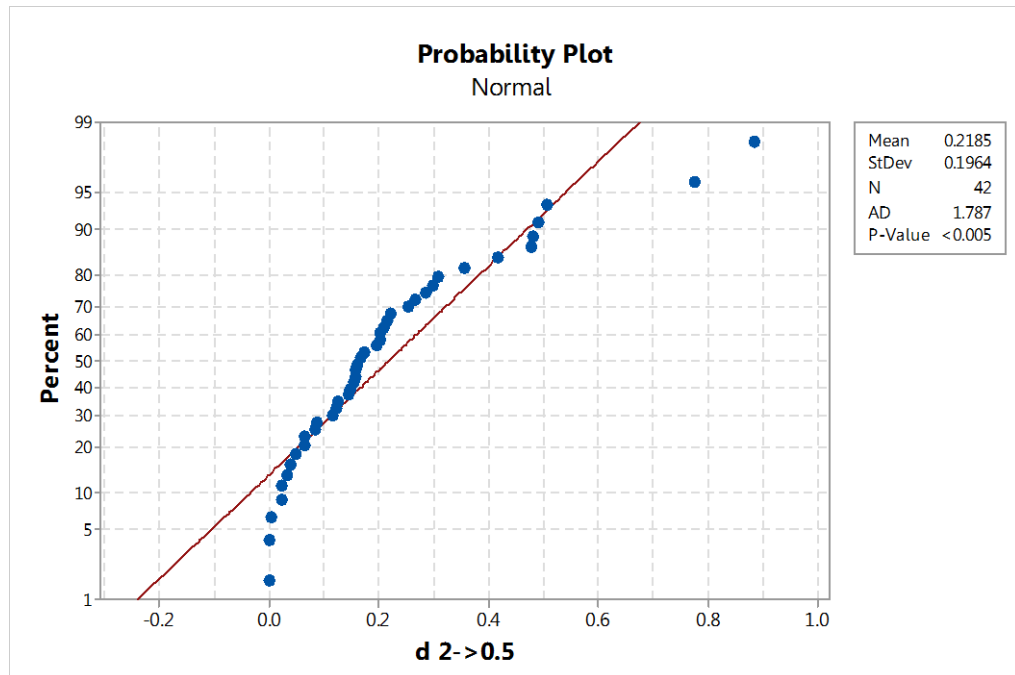
รูปที่ 4.28 ค่า  $\lambda$  ที่เหมาะสมสำหรับแปลงข้อมูลของกลุ่มที่ 4

จากรูปที่ 4.28 พบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับข้อมูลคือ 0.43 แต่ในที่นี้จะเลือกใช้ค่าที่ใกล้เคียงเพื่อความง่ายในการแปลงข้อมูล คือ 0.50 ทำให้ตัวแปรตามที่แปลงแล้วมีค่าเป็นไปตามสมการที่ 4.6

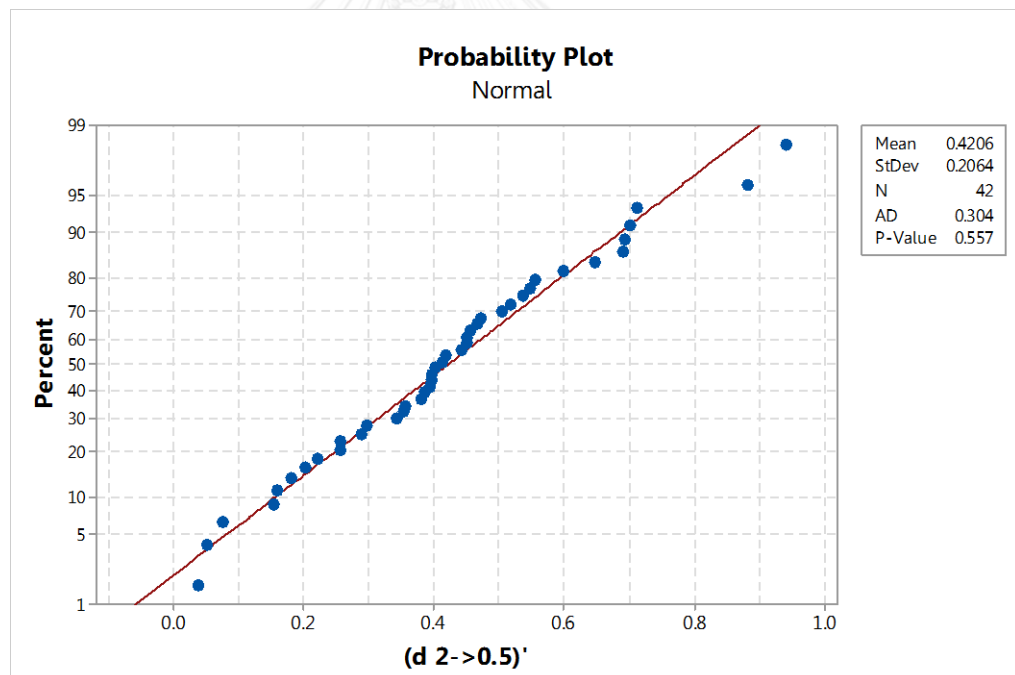
$$(d_2 \rightarrow 0.5)' = \sqrt{d_2 \rightarrow 0.5} \quad (4.5)$$

หลังจากทำการแปลงข้อมูลแล้ว ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลอีกครั้ง ได้ผลดังรูปที่ 4.29 จะเห็นว่า การกระจายตัวของข้อมูลหลังการแปลงข้อมูลเป็นการกระจายตัวแบบปกติ จึงเหมาะสมที่จะนำไปวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นต่อไป





(ก.)

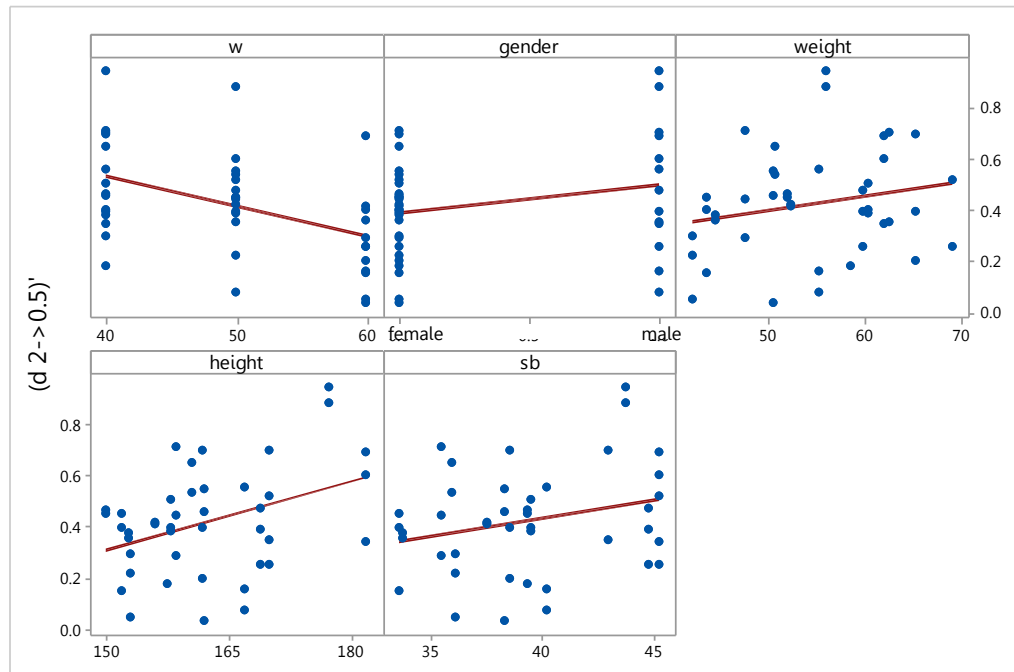


(ข.)

รูปที่ 4.29 การกระจายตัวของอัตราห่วงเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน (ก.) ก่อนการแปลงข้อมูล (ข.) หลังการแปลงข้อมูล

จากนั้นทำการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น โดยตรวจสอบรูปแบบของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรตาม ได้แก่ อัตราห่วงเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่อง

ทางเดิน และตัวแปรอิสระทั้ง 5 ตัว ได้แก่ ความกว้างช่องทางเดิน เพศ น้ำหนัก ส่วนสูง และความกว้างไหล่ของผู้เข้าร่วมการทดลอง ด้วยแผนภาพกระจาย



รูปที่ 4.30 แผนภาพกระจายระหว่างอัตราห้วงเฉลี่ยกับตัวแปรอิสระของกลุ่มที่ 4

จากรูปที่ 4.30 พบว่า ทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราห้วงเฉลี่ยและตัวแปรอิสระนั้นเหมือนกับผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 1 โดยอัตราห้วงเฉลี่ยมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความกว้างช่องทางเดินแคบลง กล่าวคือ ความกว้างช่องทางเดินที่แคบลง ทำให้การชะลออัตราเร็วมากขึ้น เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านเพศ พบว่าอัตราห้วงเฉลี่ยของเพศชายมีแนวโน้มสูงกว่าเพศหญิง สำหรับปัจจัยด้านสัดส่วนร่างกาย พบว่าน้ำหนักที่มากขึ้นมีแนวโน้มทำให้อัตราห้วงเฉลี่ยมากขึ้น เช่นเดียวกับความกว้างไหล่และส่วนสูง เพื่อให้เห็นผลในเชิงปริมาณ จึงวิเคราะห์ระดับของความสัมพัทธ์ระหว่างตัวแปร ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน ได้ผลดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 เมตริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของกลุ่มที่ 4

	$(d_{2 \rightarrow 0.5})'$	w	gender	weight	height
w	-0.460 (.002*)	-	-	-	-
gender	0.240 (.126)	-0.069 (.664)	-	-	-
weight	0.210 (.182)	0.021 (.897)	0.390 (.011*)	-	-
height	0.381 (.013*)	-0.007 (.964)	0.795 (.000*)	0.653 (.000*)	-
sb	0.260 (.097)	-0.005 (.973)	0.719 (.000*)	0.799 (.000*)	0.848 (.000*)

\*p-value &lt; .05

จากตารางที่ 4.19 พบว่าความกว้างช่องทางเดินและส่วนสูงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับอัตราห่วงเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่เพศ น้ำหนัก และความกว้างไหล่มีความสัมพันธ์ปานกลางกับอัตราห่วงเฉลี่ย และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ จะเห็นว่า ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันเองในระดับค่อนข้างสูง

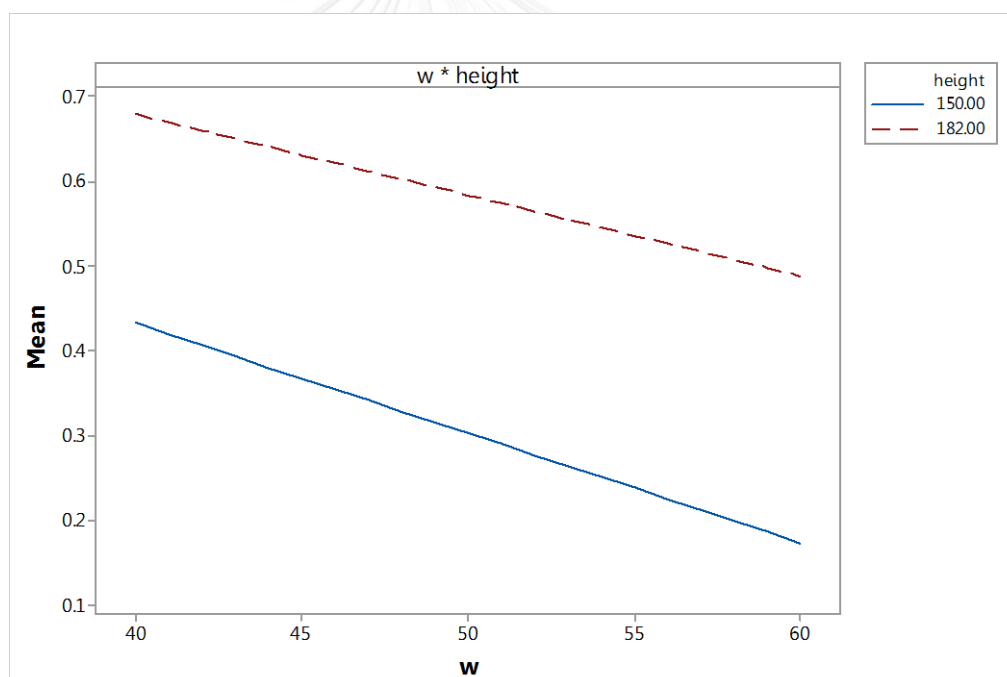
จากนั้น ทำการวิเคราะห์ตัวแปรอิสระ รวมถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระที่ส่งผลต่ออัตราห่วงเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ ด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบเป็นขั้นตอน ได้ผลที่เป็นตัวแบบที่ดีที่สุดดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการถดถอยเชิงเส้นของกลุ่มที่ 4

Source	df	Seq SS	Adj MS	F-value	p-value
Regression	3	0.62105	0.207017	6.99	.001
w	1	0.36993	0.006612	0.22	.639
height	1	0.24875	0.000970	0.03	.857
w*height	1	0.00238	0.002375	0.08	.779
Error	38	1.12524	0.029612		
Total	41	1.74629			

$$R^2 = 0.3556, R^2_{\text{adj}} = 0.3048, SE = 0.172080$$

จากตารางที่ 4.20 พบว่า ตัวแปรอิสระที่ถูกคัดเลือกเข้ามาในตัวแบบ ได้แก่ ความกว้างช่องทางเดิน ส่วนสูง และปฏิสัมพันธ์ระหว่างความกว้างช่องทางเดินกับส่วนสูง



รูปที่ 4.31 แผนภาพปฏิสัมพันธ์ (Interactions plot) ของตัวแปรอิสระของกลุ่มที่ 4

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระนั้นสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 4.31 ได้แก่ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความกว้างช่องทางเดินกับส่วนสูง โดยจะเห็นว่า ผู้ที่มีส่วนสูงมากกับผู้ที่มีส่วนสูงน้อยนั้น เมื่อเดินผ่านช่องทางเดินที่แคบลง อัตราห้วงเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเหมือนกัน คือมีการห้วงมากขึ้น แต่ผู้ที่มีส่วนสูงน้อยกว่าจะห้วงมากกว่า สังเกตได้จากเส้นกราฟที่มีความชันมากกว่าเล็กน้อย

ตารางที่ 4.21 สัมประสิทธิ์การถดถอยของกลุ่มที่ 4

Term	b	SE <sub>b</sub>	95% CI		t-value
			Lower	Upper	
Constant	0.44	3.05	-5.73	6.61	0.14
w	-0.0291	0.0616	-0.1537	0.0955	-0.47
height	0.0034	0.0188	-0.0346	0.0414	0.18
w*height	0.000107	0.000379	-0.000661	0.000876	0.28

ดังนั้น ตัวแบบที่เหมาะสมในการทำนายอัตราห่วงเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินนั้น ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ 2 ตัวแปร ได้แก่ ความกว้างช่องทางเดิน และส่วนสูงของผู้ที่เดินผ่าน โดยตัวแปรทั้งหมดสามารถอธิบายความผันแปรของอัตราห่วงเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินได้ร้อยละ 35.56 และมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ  $\pm 0.17$  สมการมีรูปแบบดังนี้

$$d_{2 \rightarrow 0.5} = (0.44 - 0.0291 \cdot w + 0.0034 \cdot \text{height} + 0.000107 \cdot w \cdot \text{height})^2 \quad (4.6)$$

เมื่อ  $d_{2 \rightarrow 0.5}$  คือ อัตราห่วงเฉลี่ยในช่วงระยะทาง 0.5-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน (เมตรต่อวินาที<sup>2</sup>)

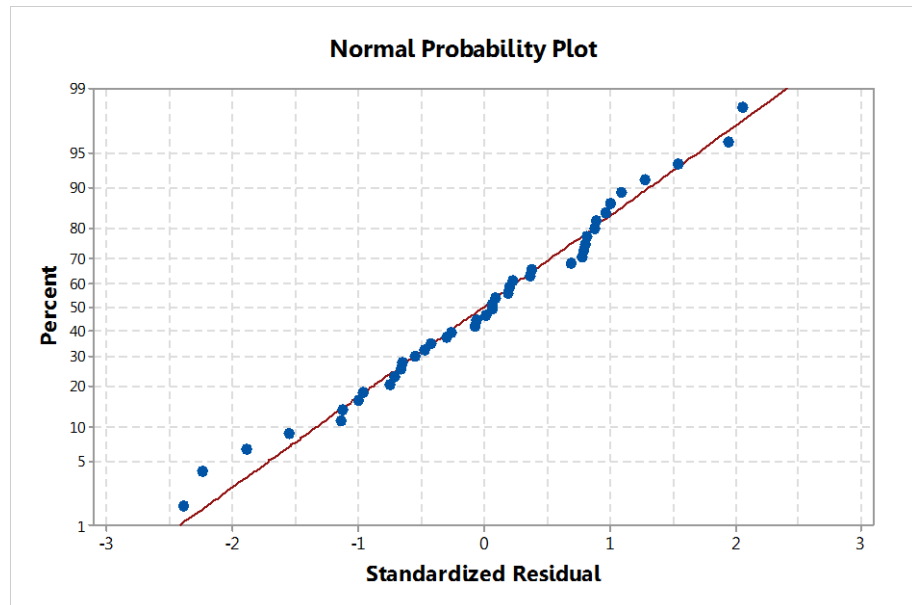
w คือ ความกว้างช่องทางเดิน (เซนติเมตร) ; มีค่าตั้งแต่ 40-60

height คือ ส่วนสูงของมนุษย์ (เซนติเมตร)

หลังจากวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณแล้ว ต้องทำการทดสอบส่วนเหลือมาตรฐานว่าเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณหรือไม่ ดังนี้

#### 1) การแจกแจงแบบปกติ (Normality)

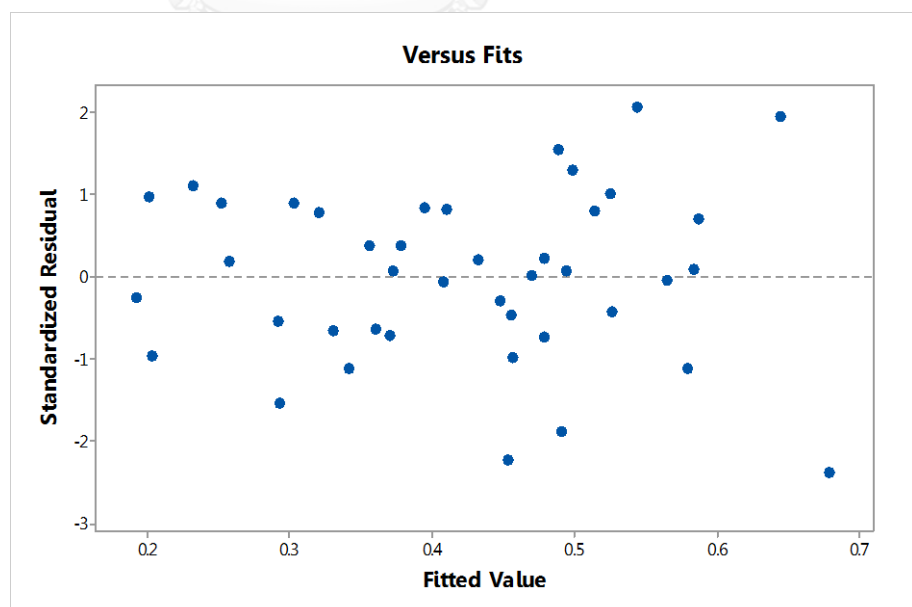
ทดสอบการแจกแจงแบบปกติ ด้วยแผนภาพการกระจายตัวแบบปกติของส่วนเหลือมาตรฐาน ดังรูปที่ 4.32 พบว่าส่วนเหลือเรียงตัวตามแนวเส้นทแยงมุม จึงสรุปได้ว่า ส่วนเหลือมีการกระจายตัวแบบปกติ



รูปที่ 4.32 แผนภาพการกระจายตัวแบบปกติของส่วนเหลือของกลุ่มที่ 4

## 2) ความคงที่ของความแปรปรวน (Homoscedasticity)

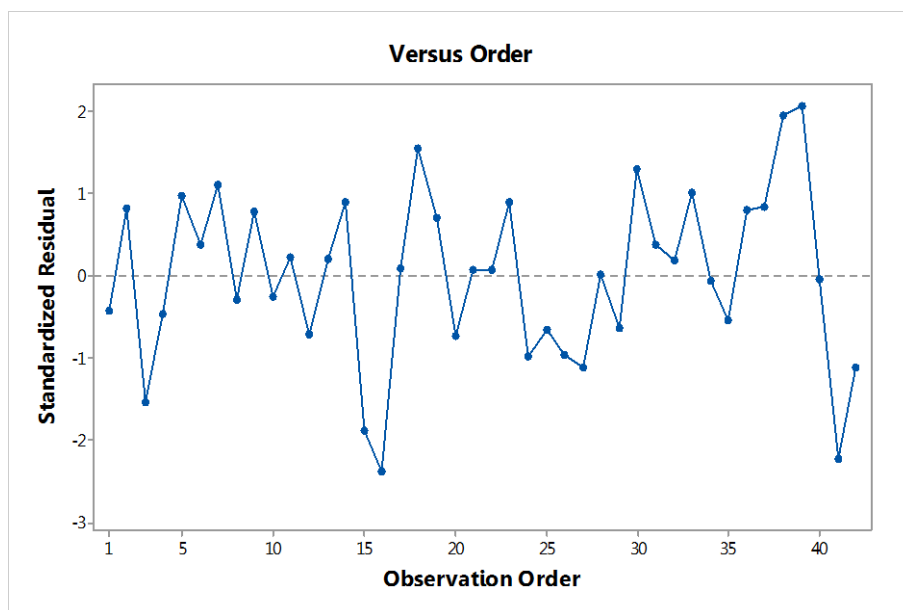
ทดสอบความคงที่ของความแปรปรวน ด้วยแผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือมาตรฐานกับค่าพยากรณ์ดังรูปที่ 4.33 พบว่าส่วนเหลือมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์ จึงสรุปได้ว่าความแปรปรวนของข้อมูลมีความคงที่



รูปที่ 4.33 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือมาตรฐานกับค่าพยากรณ์  
ของกลุ่มที่ 4

### 3) ความเป็นอิสระของข้อมูล (Independence)

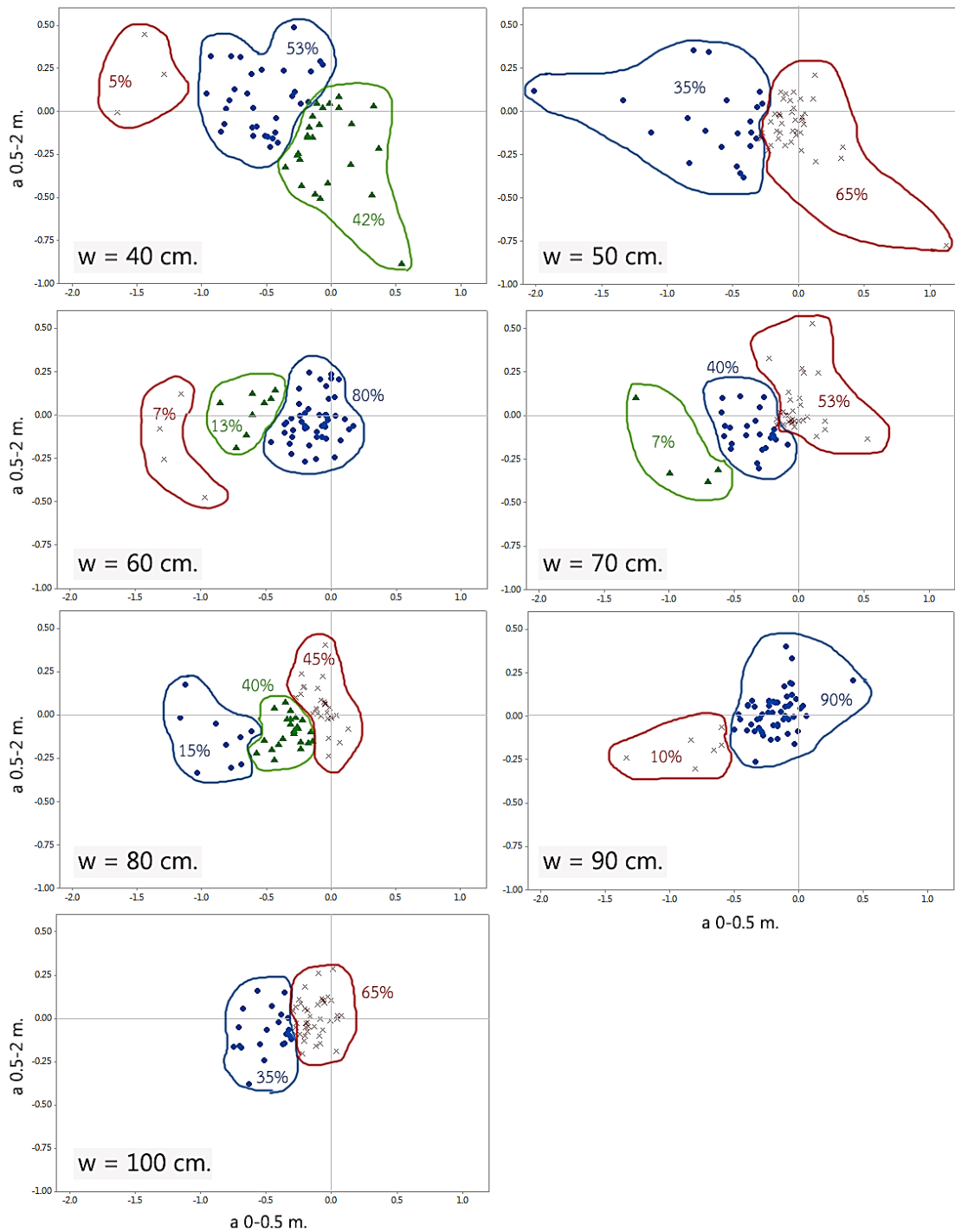
ทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล ด้วยแผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือมาตรฐานกับเวลาดังรูปที่ 4.34 พบว่าส่วนเหลือไม่มีแนวโน้มที่สูงขึ้นหรือลดลง หรือเป็นวัฏจักร จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ



รูปที่ 4.34 แผนภาพกระจายระหว่างส่วนเหลือมาตรฐานกับเวลาของกลุ่มที่ 4

#### 4.8. ข้อสังเกตเพิ่มเติม

นอกเหนือจากการแบ่งกลุ่มพฤติกรรมจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร่งเฉลี่ยกับความกว้างช่องทางเดินแล้ว ยังมีข้อสังเกตเพิ่มเติมที่ได้จากการทดลอง เกี่ยวกับการแบ่งกลุ่มพฤติกรรมจากอัตราเร่งเฉลี่ยโดยพิจารณาในแต่ละเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินว่าจะให้ผลเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร จึงลองแบ่งกลุ่มพฤติกรรมของผู้เข้าร่วมการทดลองที่ละเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดิน โดยตัวแปรที่นำมาแบ่งกลุ่ม ได้แก่ อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน หรือช่วงระยะทาง 0.5-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน และอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน หรือช่วงระยะทาง 0-0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน โดยจุดที่อยู่ใกล้กันจะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ได้ผลดังรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 กลุ่มพฤติกรรมที่แบ่งด้วยอัตราเร่งเฉลี่ย แยกตามเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดิน

พิจารณารูปที่ 4.35 ซึ่งแสดงอัตราเร่งเฉลี่ยของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 60 คน สังเกตได้ว่า ที่เงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินมากที่สุด คือ 100 เซนติเมตร พฤติกรรมของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนไม่แตกต่างกันมากนัก สังเกตได้จากการที่จุดแต่ละจุดนั้นเกาะกลุ่มกัน และแบ่งเป็นกลุ่มได้เพียง 2 กลุ่ม แต่เมื่อช่องทางเดินแคบลง พบว่าพฤติกรรมของผู้เข้าร่วมการทดลองมีการกระจายมาก



ขึ้น โดยมีการกระจายไปทางค่าลบ และแบ่งเป็นกลุ่มได้มากขึ้น แสดงให้เห็นว่า พฤติกรรมของมนุษย์ นั้นแตกต่างจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เมื่อมีข้อจำกัด (Constraints) มาก คำตอบของโปรแกรม คอมพิวเตอร์มักมีจำนวนน้อยลง แต่สำหรับการเดินทางผ่านช่องทางเดินของมนุษย์ จะเห็นว่าเป็นไป ในทางตรงกันข้าม กล่าวคือ เมื่อมีข้อจำกัดมากขึ้น นั่นคือ ช่องทางเดินแคบลง พฤติกรรมการลด อัตราเร็วของมนุษย์กลับมีความหลากหลายมากขึ้น ดังนั้นหากต้องการลดความแปรปรวนของ พฤติกรรมมนุษย์ลง เพื่อให้สามารถควบคุมได้ง่ายขึ้น การเพิ่มความกว้างช่องทางเดินอาจเป็น ทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ความสามารถในการรับรู้และตอบสนองของมนุษย์นั้นเป็นไปตามทฤษฎีการแลกเปลี่ยน ความเร็วและความแม่นยำ กล่าวคือ ภาระงานที่ต้องอาศัยความเร็วในการรับรู้และตอบสนอง ความแม่นยำในการทำภาระงานนั้นจะลดลง ในทำนองเดียวกัน หากภาระงานใดต้องการความแม่นยำสูง ความเร็วในการรับรู้และตอบสนองของภาระงานนั้นย่อมลดลง โดยลดลงเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นตรงกับความยากของภาระงาน ในลักษณะเดียวกับกฎของ Fitts สำหรับภาระงานในงานวิจัยนี้ได้แก่ การเดินผ่านช่องทางเดิน ซึ่งโดยธรรมชาติของมนุษย์นั้นถือว่าเป็นภาระงานที่ต้องการความแม่นยำ คือ ไม่มีการเลี้ยวชน เนื่องด้วยเหตุผลด้านความปลอดภัย ดังนั้นอัตราเร็วในการเดินผ่านก็ควรจะลดลง และลดลงมากขึ้นตามความกว้างช่องทางเดินที่แคบลงด้วย งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างช่องทางเดิน กับอัตราเร็วในการเดินผ่าน เพื่อประโยชน์ในการพัฒนาระบบสนับสนุนการออกแบบแผนผังอาคารสถานที่ต่างๆ ให้ใกล้เคียงความเป็นจริงของพฤติกรรมมนุษย์มากขึ้น

#### 5.1. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาอิทธิพลจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความกว้างช่องทางเดิน และปัจจัยพื้นฐานของมนุษย์ สามารถสรุปผลการวิจัยได้เป็นประเด็นดังนี้

ในการเดินผ่านช่องทางเดินของมนุษย์นั้น มนุษย์จะลดอัตราเร็วการเดินลงอัตโนมัติเพื่อให้เดินผ่านช่องทางเดินไปได้อย่างปลอดภัย ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการแลกเปลี่ยนความเร็วและความแม่นยำ โดยอัตราเร็วการเดินมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆเมื่อเข้าใกล้ช่องทางเดิน ซึ่งจากการทดลองพบว่า อัตราเร็วการเดินลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่ระยะทาง 0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน กล่าวคือ ระยะปลอดภัยของการเดินผ่านช่องทางเดิน อยู่ที่ระยะทาง 0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน ซึ่งอาจเปรียบได้กับระยะเบรก (Braking distance) ของรถยนต์ เมื่อพิจารณาผลของปัจจัยที่เป็นเงื่อนไขในการทดลอง ได้แก่ ความกว้างช่องทางเดิน ซึ่งมีทั้งสิ้น 7 เงื่อนไข ได้แก่ 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 เซนติเมตร ผู้เข้าร่วมการทดลองมีการลดอัตราเร็วหรือมีการหน่วงในทุกเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดิน สังเกตได้จากอัตราเร่งเฉลี่ยที่มีค่าติดลบ แต่เมื่อช่องทางเดินแคบลงตั้งแต่ 70 เซนติเมตรเป็นต้นไปนั้น พบว่าผู้เข้าร่วมการทดลองส่วนใหญ่ลดอัตราเร็วมากขึ้นหรือหน่วงมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าความกว้างประตูมาตรฐานทั่วไป ซึ่งมักจะมี ความกว้างต่ำสุด 70 เซนติเมตร รวมถึงความกว้างต่ำสุด

ของทางหนีไฟที่กำหนดไว้เท่ากับ 81 เซนติเมตร (National Fire Protection Association, 2009) นั้น นับว่าเป็นความกว้างที่เหมาะสม เนื่องจากมีการคำนึงถึงระยะเพื่อเอาไว้แล้ว

พฤติกรรมการลดอัตราเร็วสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม โดย 3 ใน 4 กลุ่มมีพฤติกรรมที่สามารถพยากรณ์ได้โดยใช้แนวคิดกฎของ Fitts คือ เมื่อความยากของงานมากขึ้น ในที่นี้คือ ช่องทางเดินแคบลง การลดอัตราเร็วในการเดินผ่านหรืออัตราหน่วงก็จะมากขึ้น โดยมีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง จากการทดลองพบว่า ผู้เข้าร่วมการทดลองจำนวน 83% ลดอัตราเร็วมากขึ้นหรือหน่วงมากขึ้นเมื่อเดินผ่านทางเดินที่แคบลง แต่ในจำนวนนี้ก็ยังมีความแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงระยะทางก่อนถึงช่องทางเดิน โดยผู้เข้าร่วมการทดลองจำนวน 28% ซึ่งมีจำนวนมากที่สุดในกลุ่มตัวอย่างนั้น ค่อยๆลดอัตราเร็วมากขึ้นหรือหน่วงมากขึ้นเมื่อช่องทางเดินแคบลงในช่วงระยะทางทั้งหมด คือ ช่วงระยะทาง 0-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน ในขณะที่ผู้เข้าร่วมการทดลองจำนวนเท่ากัน คือ อีก 28% ลดอัตราเร็วมากขึ้นหรือหน่วงมากขึ้นเมื่อช่องทางเดินแคบลงเฉพาะช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน คือ ช่วงระยะทาง 0.5-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน และเมื่อเลยจากจุดระยะทาง 0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดินไปแล้ว พบว่าลดอัตราเร็วน้อยกว่าหรือหน่วงน้อยกว่าช่วงแรก และมีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละความกว้างช่องทางเดิน ผู้เข้าร่วมการทดลองอีกจำนวนหนึ่ง คือ 27% ลดอัตราเร็วมากขึ้นหรือหน่วงมากขึ้นเมื่อช่องทางเดินแคบลงเฉพาะช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน คือ ช่วงระยะทาง 0-0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน ส่วนในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน พบว่าลดอัตราเร็วหรือหน่วงน้อย และมีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละความกว้างช่องทางเดิน และผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่เหลือ ซึ่งมีจำนวน 17% ของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด ไม่ได้มีพฤติกรรมที่เป็นไปตามกฎของ Fitts ในทั้งสองช่วงระยะทาง โดยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินนั้น อัตราหน่วงของผู้เข้าร่วมการทดลองมีค่าใกล้เคียงศูนย์ และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความกว้างช่องทางเดินทั้ง 7 เงื่อนไข กล่าวคือ ผู้เข้าร่วมการทดลองมีการลดอัตราเร็วหรือหน่วงจนเกือบคงที่ในช่วงแรก ส่วนในช่วงที่เข้าใกล้ช่องทางเดิน ผู้เข้าร่วมการทดลองลดอัตราเร็วมากกว่าหรือหน่วงมากกว่าช่วงแรก โดยอัตราหน่วงเฉลี่ยมีแนวโน้มน้อยลงเมื่อความกว้างช่องทางเดินแคบลง แต่แนวโน้มนั้นไม่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งสันนิษฐานว่ามีสาเหตุมาจากการตัดสินใจ (Decision making) ของผู้เข้าร่วมการทดลองที่ยังคงมีความไม่แน่นอนอยู่ ด้วยเหตุนี้ จึงไม่สามารถพยากรณ์อัตราหน่วงของกลุ่มนี้ได้ ดังนั้นในการอธิบายพฤติกรรมลดอัตราเร็วของผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มนี้ จึงอาจพิจารณาการใช้ค่าอัตราหน่วงเฉลี่ย โดยเฉลี่ยจากความกว้างช่องทางเดินทั้ง 7 เงื่อนไขแทน

นอกเหนือจากความกว้างช่องทางเดินแล้ว ยังมีสมมติฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการลดอัตราเร็วหรืออัตราหน่วงเฉลี่ย กับปัจจัยพื้นฐานด้านร่างกายของมนุษย์ ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาในงานวิจัย

นี้ ได้แก่ เพศ น้ำหนัก ส่วนสูง และความกว้างไหล่ ในแง่ของปัจจัยด้านเพศ (สมมติฐานที่ 2) นั้น ไม่สามารถสรุปได้ว่าเพศหญิงมีการลดอัตราเร็วในการเดินผ่านช่องทางเดินมากกว่าเพศชาย เนื่องจากอัตราห่วงเฉลี่ยของเพศชายและเพศหญิงนั้นไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน เห็นได้จากการที่ปัจจัยด้านเพศไม่ได้ถูกคัดเลือกเข้ามาในตัวแบบที่ใช้พยากรณ์อัตราห่วงเฉลี่ยเลย แสดงว่า เพศไม่ได้มีความสัมพันธ์กับอัตราห่วงเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ ถึงแม้ว่าจะมีงานวิจัยที่บ่งชี้ว่าเพศชายมีการตอบสนองต่อสิ่งเร้าและควบคุมร่างกายได้เร็วกว่าเพศหญิง รวมถึงมีพฤติกรรมการรับความเสี่ยงได้มากกว่าเพศหญิง แต่อาจเป็นไปได้ว่าสิ่งเร้าในการทดลองนี้ ซึ่งได้แก่ช่องทางเดิน ไม่ได้ปรากฏขึ้นแบบกะทันหัน และภาระงานไม่ได้มีความเสี่ยงมากจนถึงระดับที่จะทำให้พฤติกรรมระหว่างเพศชายและเพศหญิงแตกต่างกัน การลดอัตราเร็วของทั้งสองเพศจึงไม่แตกต่างกัน

สำหรับปัจจัยด้านน้ำหนักร่างกายของมนุษย์ ในสมมติฐานที่ 3 พบว่าน้ำหนักที่มากขึ้นมีแนวโน้มทำให้ลดอัตราเร็วมากขึ้นตามที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้ โดยน้ำหนักมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับอัตราห่วงเฉลี่ย คือ เมื่อน้ำหนักร่างกายมากขึ้น ส่งผลให้อัตราห่วงเฉลี่ยมากขึ้นในทุกกลุ่มพฤติกรรม นอกจากนี้ น้ำหนักร่างกายมีความเป็นไปได้ที่จะส่งผลต่อพฤติกรรมการลดอัตราเร็วเนื่องจากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มพฤติกรรม

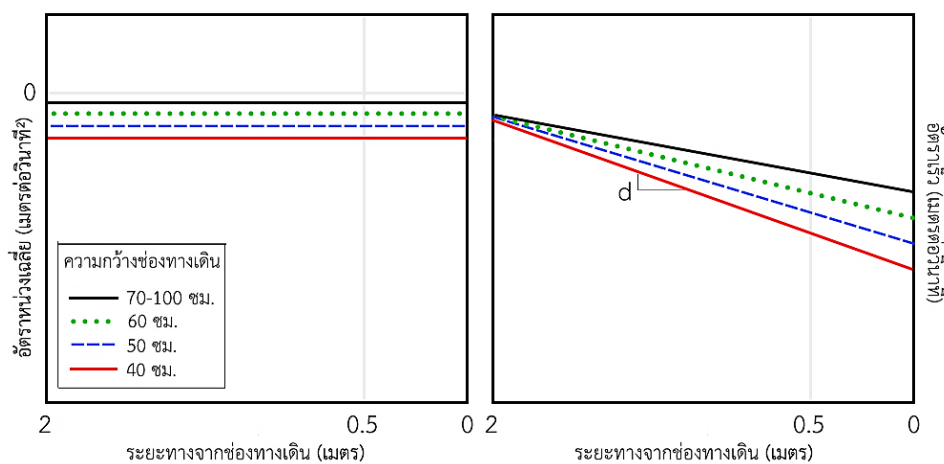
ส่วนสูงที่มากขึ้นมีแนวโน้มทำให้ลดอัตราเร็วมากขึ้น โดยส่วนสูงมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับอัตราห่วงเฉลี่ย คือ เมื่อส่วนสูงมากขึ้น ส่งผลให้อัตราห่วงเฉลี่ยมากขึ้นในทุกกลุ่มพฤติกรรม ซึ่งแตกต่างจากสมมติฐานที่ตั้งไว้ (สมมติฐานที่ 4) ที่ว่า ส่วนสูงที่ลดลงน่าจะมีแนวโน้มทำให้ลดอัตราเร็วมากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อาจอธิบายได้ว่า เมื่อกำหนดเป้าหมายให้ผู้เข้าร่วมการทดลองเดินให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ ผู้เข้าร่วมการทดลองที่มีส่วนสูงน้อยกว่าอาจมีระยะก้าวที่สั้นกว่า แต่มีความถี่ในการก้าวที่สูงคือ สลับเท้าได้เร็ว ซึ่งการสลับเท้าได้เร็วนั้นหมายถึงการเปลี่ยนจุดรองรับน้ำหนักร่างกายได้เร็ว ทำให้การเดินมีความเสถียร อัตราเร็วจึงลดลงน้อยกว่า

สำหรับปัจจัยด้านความกว้างไหล่ (สมมติฐานที่ 5) พบว่า ความกว้างไหล่ที่มากขึ้นมีแนวโน้มทำให้ลดอัตราเร็วมากขึ้น โดยความกว้างไหล่มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับอัตราห่วงเฉลี่ย คือ เมื่อความกว้างไหล่มากขึ้น ส่งผลให้อัตราห่วงเฉลี่ยมากขึ้น เนื่องจากผู้ที่มีความกว้างไหล่มากขึ้น จะรับรู้ช่องทางเดินแคบกว่าผู้ที่มีความกว้างไหล่ต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบที่ความกว้างช่องทางเดินเท่ากัน ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นประเด็นหนึ่งที่สำคัญ คือ นอกจากมนุษย์จะลดอัตราเร็วตามความกว้างช่องทางเดินแล้ว สัดส่วนร่างกายที่ต่างกันยังทำให้การลดอัตราเร็วมากหรือน้อยแตกต่างกันด้วย นำไปสู่การพิจารณาที่ละเอียดมากขึ้นในการออกแบบแผนผังทางเดิน สำหรับบางอาคารสถานที่ที่ค่อนข้าง

เฉพาะเจาะจง เช่น ในอาคารสถานที่ที่ผู้สัญจรส่วนใหญ่มีรูปร่างใหญ่ ผู้สัญจรมีการลดอัตราเร็วเมื่อเดินผ่านประตูหรือคอคอดมากขึ้น จึงอาจต้องออกแบบแผนผังทางสัญจรให้กว้างกว่าปกติ เป็นต้น

ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ โดยเมื่อมนุษย์จำลองจะต้องเดินผ่านช่องทางเดินหรือเข้าสู่บริเวณที่แคบลงนั้น มนุษย์จำลองจะต้องมีการหน่วงหรือลดอัตราเร็วการเดินลง อันเนื่องมาจากการรับรู้และสั่งการของสมอง คือ มีพฤติกรรมที่ใกล้เคียงมนุษย์จริงมากขึ้น โดยอัตราหน่วงนั้นเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นตรงกับความกว้างช่องทางเดินด้วย ยิ่งความกว้างช่องทางเดินแคบลง อัตราหน่วงในการเดินผ่านก็จะยิ่งมากขึ้น ส่งผลให้ใช้เวลาในการเดินผ่านมากขึ้น จึงนำไปสู่การพิจารณาถึงความเหมาะสมระหว่างความกว้างช่องทางเดินในสถานการณ์ต่างๆ เพื่อออกแบบแผนผังทางเดินต่อไป และนอกจากมนุษย์จำลองจะมีการลดอัตราเร็วแล้ว ผลจากงานวิจัยนี้ยังแสดงให้เห็นว่า พฤติกรรมการลดอัตราเร็วมีความแตกต่างภายในกลุ่มประชากร ซึ่งเป็นธรรมชาติของพฤติกรรมมนุษย์ที่มักมีความหลากหลายและคาดการณ์ได้ยาก ดังนั้นในการจำลองพฤติกรรมกรเดินผ่านช่องทางเดินของมนุษย์ มนุษย์จำลองแต่ละคนจะมีพฤติกรรมการลดอัตราเร็วที่แตกต่างกันไป โดยแบ่งออกได้เป็น 4 แบบหลักๆ หากมีมนุษย์จำลอง 100 คนในระบบ อาจสุ่มพฤติกรรมแต่ละแบบให้กับมนุษย์จำลอง โดยอาศัยค่าความน่าจะเป็น (p) ดังนี้

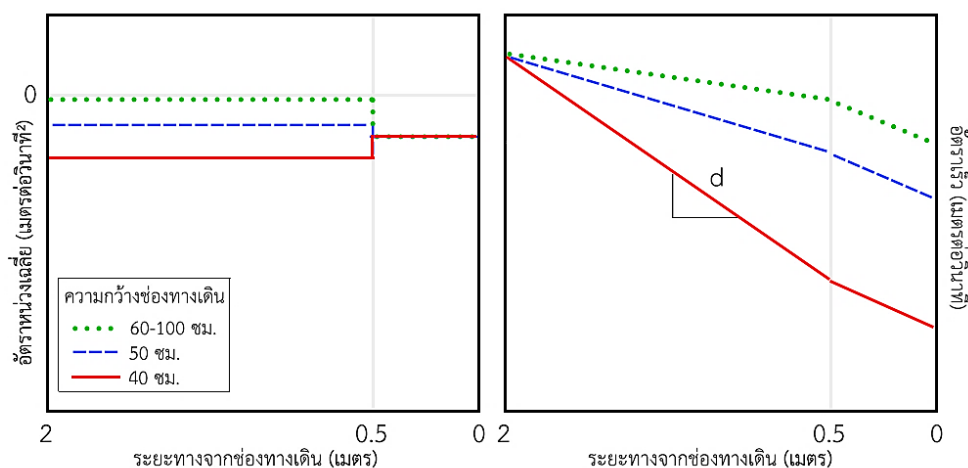
**แบบที่ 1 :**  $p = 0.28$  (28%) มนุษย์จำลองค่อยๆลดอัตราเร็วลงหรือหน่วงลงตั้งแต่ระยะทาง 2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน โดยอัตราหน่วง (d) เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นตรงกับความกว้างช่องทางเดิน ส่วนสูง และความกว้างไหล่



$$d_{2 \rightarrow 0} = -1.28 + 0.0066 \cdot w + 0.01287 \cdot \text{height} - 0.0151 \cdot \text{sb} - 0.000236 \cdot w \cdot \text{sb}$$

เมื่อ  $w$  คือ ความกว้างช่องทางเดิน (เซนติเมตร) ; มีค่าตั้งแต่ 40-70  
 $\text{height}$  คือ ส่วนสูงของมนุษย์ (เซนติเมตร)  
 $\text{sb}$  คือ ความกว้างไหล่ของมนุษย์ (เซนติเมตร)

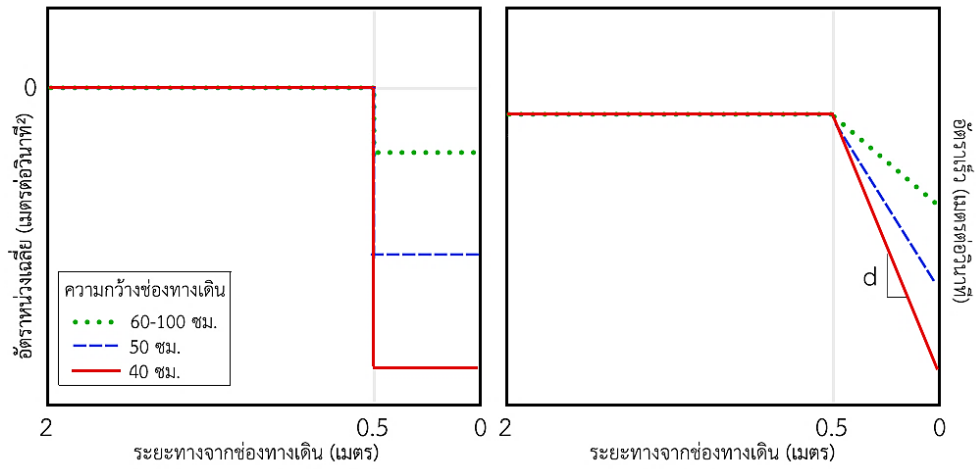
**แบบที่ 2** :  $p = 0.28$  (28%) ในช่วงระยะทาง 0.5-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน มนุษย์จำลองลดอัตราเร็วลงหรือหน่วงลง โดยอัตราหน่วง ( $d$ ) เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นตรงกับความกว้างช่องทางเดินและส่วนสูง จากนั้นในช่วงระยะทาง 0-0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน มนุษย์จำลองลดอัตราเร็วลงหรือหน่วงลงอีกเล็กน้อย โดยอัตราหน่วงมีค่าใกล้เคียงกันในทุกความกว้างช่องทางเดิน



$$d_{2 \rightarrow 0.5} = (0.44 - 0.0291 \cdot w + 0.0034 \cdot \text{height} + 0.000107 \cdot w \cdot \text{height})^2$$

เมื่อ  $w$  คือ ความกว้างช่องทางเดิน (เซนติเมตร) ; มีค่าตั้งแต่ 40-60  
 $\text{height}$  คือ ส่วนสูงของมนุษย์ (เซนติเมตร)

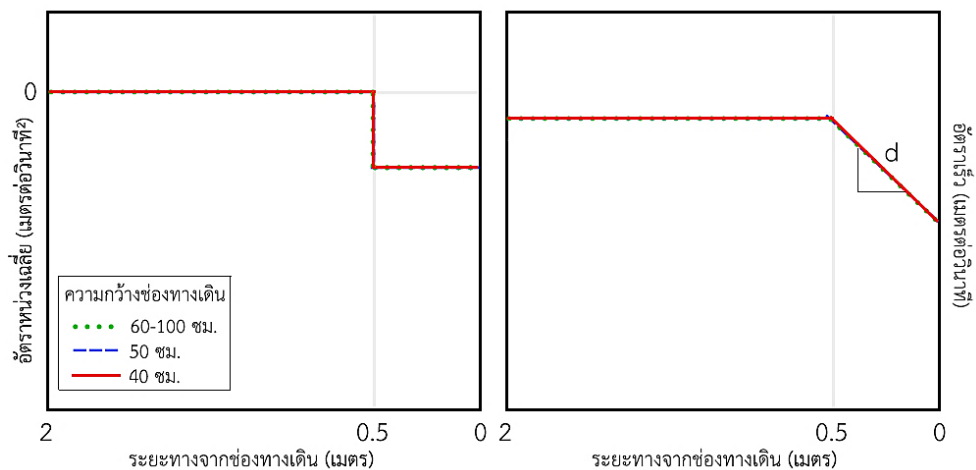
**แบบที่ 3** :  $p = 0.27$  (27%) ในช่วงระยะทาง 0.5-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน มนุษย์จำลองไม่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็ว โดยอัตราหน่วงมีค่าใกล้เคียงศูนย์ในทุกความกว้างช่องทางเดิน จากนั้นในช่วงระยะทาง 0-0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน มนุษย์จำลองลดอัตราเร็วลงหรือหน่วงลง โดยอัตราหน่วง ( $d$ ) เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นตรงกับความกว้างช่องทางเดิน น้ำหนัก และส่วนสูง



$$d_{0.5 \rightarrow 0} = (-1.27 - 0.0544 \cdot w - 0.0203 \cdot \text{weight} + 0.02387 \cdot \text{height} + 0.000607 \cdot w \cdot \text{weight})^2$$

เมื่อ  $w$  คือ ความกว้างช่องทางเดิน (เซนติเมตร) ; มีค่าตั้งแต่ 40-60  
 $\text{weight}$  คือ น้ำหนักร่างกายของมนุษย์ (กิโลกรัม)  
 $\text{height}$  คือ ส่วนสูงของมนุษย์ (เซนติเมตร)

**แบบที่ 4 :**  $p = 0.17$  (17%) ในช่วงระยะทาง 0.5-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน มนุษย์จำลอง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็ว โดยอัตราหน่วงมีค่าใกล้เคียงศูนย์ในทุกความกว้างช่องทางเดิน จากนั้น ในช่วงระยะทาง 0-0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน มนุษย์จำลองลดอัตราเร็วลงหรือหน่วงลง โดยอัตราหน่วงมีค่าเท่ากับ  $-0.265$  เมตรต่อวินาที<sup>2</sup> ในทุกความกว้างช่องทางเดิน



$$d_{0.5 \rightarrow 0} = -0.265$$

## 5.2. ประโยชน์ที่ได้รับ

เนื่องจากโปรแกรมจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ได้ถูกนำมาใช้ในหลายจุดประสงค์ ทั้งช่วยในการออกแบบแผนผังอาคารสถานที่สาธารณะในสถานการณ์ปกติ โดยอาศัยตัวชีวิตที่เป็นเวลาที่ใช้ในการสัญจรในพื้นที่นั้น รวมถึงช่วยประเมินความเหมาะสมของเส้นทางอพยพในสถานการณ์ฉุกเฉิน โดยคำนวณเวลาในการอพยพ ดังนั้น แบบจำลองมนุษย์ที่มีพฤติกรรมใกล้เคียงมนุษย์จริงๆ ย่อมจะให้ผลที่สมจริงและน่าเชื่อถือในการนำไปประยุกต์ใช้ แบบจำลองมนุษย์ที่เหมือนจริงจึงเป็นจุดมุ่งหมายหนึ่งที่นักพัฒนาโปรแกรมในปัจจุบันให้ความสนใจ ผลจากงานวิจัยนี้จึงมีส่วนช่วยในการพัฒนาแบบจำลองมนุษย์ให้มีพฤติกรรมในส่วนของการเดินทางผ่านทางเดิน ประตู หรือคอคอดต่างๆ ให้ใกล้เคียงมนุษย์จริงๆ มากขึ้น กล่าวคือ มนุษย์จำลองมีการลดความเร็วการเดินทางเมื่อเข้าไปใกล้ประตูหรือคอคอดต่างๆ นำไปสู่การคำนวณเวลาในการสัญจรที่แม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ อาจนำไปพัฒนาแบบจำลองในอุตสาหกรรมเพื่อความบันเทิง เช่น การเคลื่อนไหวของมนุษย์ในเกม เป็นต้น อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ศึกษาการเดินทางผ่านทางเดินของมนุษย์เป็นรายบุคคลเท่านั้น การนำไปประยุกต์ใช้ในโปรแกรมจำลองสถานการณ์ที่เป็นจำลองกลุ่มคน (Crowd simulation) จึงอาจให้ผลที่ยังไม่สมบูรณ์นัก รวมถึงพฤติกรรมของมนุษย์ในสถานการณ์ที่ต้องอพยพจริงๆ ย่อมมีความซับซ้อนมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงเป็นเพียงแนวทางเพื่อใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการเดินทางผ่านทางเดินของมนุษย์ในสถานการณ์ที่ซับซ้อนมากขึ้นต่อไป เช่น เพิ่มจำนวนคนที่เดินทางผ่านทางเดินพร้อมกัน แทนการเดินทางทีละคนดังในงานวิจัยนี้ เป็นต้น

## 5.3. ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

- 1) นอกเหนือจากปัจจัยพื้นฐานด้านร่างกายของมนุษย์แล้ว ปัจจัยทางด้านจิตใจ บุคลิกหรือนิสัยส่วนบุคคล อาจช่วยอธิบายพฤติกรรมการลดอัตราเร็วได้ดีขึ้น โดยเฉพาะบุคลิกที่เกี่ยวข้องกับความระมัดระวัง หากสามารถแปลงปัจจัยเหล่านั้นให้เป็นรูปธรรมได้ ก็อาจทำให้พยากรณ์อัตราหน่วงเฉลี่ยได้แม่นยำมากขึ้น
- 2) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจากการบรรทุกสิ่งของภายนอก (External load) ที่นอกเหนือจากน้ำหนักร่างกาย อาจส่งผลให้พฤติกรรมการเดินทางผ่านทางเดินเปลี่ยนแปลงไป
- 3) พฤติกรรมหลังจากเดินทางผ่านทางเดิน (ที่ไม่มีคานบนหรือกรอบประตู) ไปแล้ว เป็นอีกประเด็นหนึ่งที่น่าสนใจ เช่น อัตราเร็วจะเพิ่มขึ้นจนกลับสู่อัตราเร็วปกติหลังจากเดินทาง



ช่องทางเดินมาแล้วเป็นระยะเท่าใด นำไปสู่การออกแบบพื้นที่บริเวณใกล้ช่องทางเดินที่เหมาะสม

- 4) การเดินผ่านช่องทางเดินที่เป็นอุโมงค์หรือทางยาว มนุษย์อาจลัดอัตราเร็วแค่เพียงช่วงที่เข้าสู่ช่องทางเดินนั้นเท่านั้น เพราะเมื่อเดินในความกว้างช่องทางเดินเท่าเดิมสักระยะหนึ่ง มนุษย์จะเริ่มชินกับความกว้างนั้น จึงอาจเร่งอัตราเร็วขึ้นได้ ดังนั้นจุดระยะทางที่มนุษย์จะเริ่มเร่งอัตราเร็วขึ้นจนกลับสู่อัตราเร็วปกติ ก็เป็นอีกประเด็นหนึ่งที่น่าสนใจ
- 5) ช่วงอายุของผู้เข้าร่วมการทดลองอาจมีผลต่อการรับรู้ เช่น เด็กอาจมีการรับรู้อันตรายที่น้อยกว่าผู้ใหญ่ เนื่องจากมีประสบการณ์น้อยกว่า ส่งผลให้ลัดอัตราเร็วน้อยกว่าผู้ใหญ่
- 6) การเพิ่มจำนวนคนที่เดินผ่านช่องทางเดินพร้อมกัน อาจทำให้มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างความกว้างช่องทางเดินและความหนาแน่นของพื้นที่ คือยิ่งจำนวนคนที่เดินผ่านช่องทางเดินพร้อมกันมีมากขึ้น ความกว้างช่องทางเดินที่แคบลงน่าจะยิ่งส่งผลให้เกิดการหน่วงมากขึ้นไปอีก ซึ่งสถานการณ์เช่นนี้มักเกิดขึ้นได้บ่อยในชีวิตประจำวัน นำไปสู่การทำนายเวลาในการสัญจรที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น
- 7) ช่องทางเดินที่มีกรอบประตูหรือคานบน อาจทำให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเรื่องส่วนสูงของมนุษย์ต่อการลัดอัตราเร็วมากขึ้น เนื่องจากการเดินผ่านพื้นที่ที่มีการจำกัดส่วนสูง ผู้ที่มีส่วนสูงมากกว่าย่อมมีการรับรู้ว่าความสูงของช่องทางเดินนั้นต่ำกว่าผู้ที่มีส่วนสูงน้อย จึงอาจส่งผลให้ลัดอัตราเร็วมากกว่า

## รายการอ้างอิง

2. มือบริหารทอท.พัฒนาสุวรรณภูมิ-ดอนเมืองสู่ซิงเกิลแอร์พอร์ต. (3 สิงหาคม 2554). ฐานเศรษฐกิจ, หน้า 29.
- กระทรวงมหาดไทย. (2555). กฎกระทรวง กำหนดประเภทและระบบความปลอดภัยของอาคารที่ใช้เพื่อประกอบกิจการเป็นสถานบริการ พ.ศ. 2555. ฐานข้อมูลออนไลน์ สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์
- ไทยรัฐนิวส์. (11 มกราคม 2558). ไขข้อข้องใจ เส้นจราจรซิกแซก [ข่าว]. ไทยรัฐทีวี.
- ไทยรัฐนิวส์. (29 กันยายน 2557). 8ปี สนามบินสุวรรณภูมิถึงเวลาเร่งขยาย [ข่าว]. ไทยรัฐทีวี.
- เธียรธาดา หิรัญญาชาติธาดา. (2556). การศึกษารูปแบบการจัดที่นั่งกับการออกจากอาคารโรงพยาบาลขนาดกลางในสถานการณ์ปกติ โดยใช้วิธีการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บริษัท รถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน). (ไม่ปรากฏปีพิมพ์). เส้นทางรถไฟฟ้า. จาก <http://www.bangkokmetro.co.th/map.aspx>
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2551). มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย (พิมพ์ปรับปรุงครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: บริษัท โกลบอล กราฟฟิค จำกัด.
- ศาลอาญากรุงเทพใต้. (2554). คำพิพากษาศาลอาญากรุงเทพใต้ คดีหมายเลขแดงที่ 3483-3485/2554. จาก [http://th.wikisource.org/wiki/คำพิพากษาศาลอาญากรุงเทพใต้\\_ในคดีหมายเลขแดงที่\\_๓๔๘๓-๓๔๘๕/๒๕๕๔](http://th.wikisource.org/wiki/คำพิพากษาศาลอาญากรุงเทพใต้_ในคดีหมายเลขแดงที่_๓๔๘๓-๓๔๘๕/๒๕๕๔) วิทยาลัย
- Anshel, J. (1999). *Visual Ergonomics in the Workplace*. Great Britain: Atheneum Press Ltd.
- Bainbridge, J. (2015). *Visual Perceptual Processing and Occupational Performance in South African Adults with Traumatic Brain Injury - A Validity Study of the Test of Visual Perceptual Skill-3*. (Dissertation), University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa. Retrieved from <http://wiredspace.wits.ac.za/bitstream/handle/10539/18683>
- Barrett, M. (Writer). (2014). You are what you sense, *Inside the Animal Mind*. United Kingdom: BBC Two.
- Bumgardner, W. (2014). How do I know how fast I am walking. Retrieved April 30, 2015, from <http://walking.about.com/od/measure/f/howfastwalking.htm>

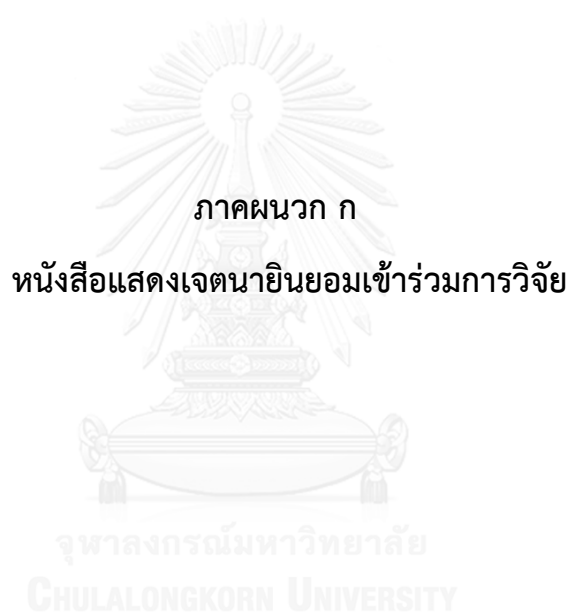
- Furniss, M. (n.d.). Motion Capture. Retrieved November 15, 2014 from <http://web.mit.edu/comm-forum/papers/furniss.html>
- Harris, C. R., & Jenkins, M. (2006). Gender Differences in Risk Assessment: Why do Women Take Fewer Risks than Men? *Judgment and Decision Making*, 1(1), 48-63.
- Helbing, D., Farkas, I. J., Molnar, P., & Vicsek, T. (2002). Simulation of Pedestrian Crowds in Normal and Evacuation Situations. In M. Schreckenberg & S. D. Sharma (Eds.), *Pedestrian and Evacuation Dynamics* (pp. 21-58). Berlin: Springer.
- Hick, W. E. (1952). On the rate of gain of information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4(1), 11-26. doi: 10.1080/17470215208416600
- Hyman, R. (1953). Stimulus Information as a Determinant of Reaction Time. *Journal of Experimental Psychology*, 45(3), 188-196.
- Kosinski, R. J. (2005). *A Literature Review on Reaction Time*. Clemson University.
- Koster, K. D. (n.d.). Gait. Retrieved January 15, 2015 from <http://www.physio-pedia.com/Gait>
- Kuligowski, E. D., Peacock, R. D., & Hoskins, B. L. (2010). *A Review of Building Evacuation Models* (2nd ed.).
- Lohman, T. G., Roche, A. F., & Martorell, R. (1991). *Anthropometric Standardization Reference Manual* (Abridged ed.). Illinois: Human Kinetics Publishers.
- MacKenzie, S. (1992). Fitts' Law as a Research and Design Tool in Human-Computer Interaction. *Human-Computer Interaction*, 7(1), 91-139. doi: 10.1207/s15327051hci0701\_3
- National Fire Protection Association. (2009). NFPA 101® Life Safety Code. Quincy, MA: Author.
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2015). Anthropometry. Retrieved 2015, April 30, from <http://www.cdc.gov/niosh/topics/anthropometry/>
- Samson, M. M., Crowe, A., Vreede, P. L. d., Dessens, J. A. G., Duursma, S. A., & Verhaar, H. J. J. (2001). Differences in Gait Parameters at a Preferred Walking Speed in

- Healthy Subjects due to Age, Height and Body Weight. *Aging-Clinical and Experimental Research*, 13, 16-21. doi: 10.1007/BF03351489
- Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, 27(3), 379-423. doi: 10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x
- Spierer, D. K., Petersen, R. A., Duffy, K., Corcoran, B. M., & Rawls-Martin, T. (2010). Gender Influence on Response Time to Sensory Stimuli. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(4), 957-963.
- Stefanucci, J. K., & Geuss, M. N. (2009). Big People, Little World: The Body Influences Size Perception. *Perception*, 38(12), 1782-1795.
- The Confederation of Fire Protection Association Europe. (2009). Fire Safety Engineering concerning Evacuation from Buildings. APSEI Portugal  
<http://www.apsei.org.pt>
- Warren, W. H., & Whang, S. (1987). Visual Guidance of Walking Through Apertures: Body-Scaled Information for Affordances. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13(3), 371-383.
- Wise, S. P., & Shadmehr, R. (2002). Motor Control *Encyclopedia of the Human Brain* (Vol. 3, pp. 137-157).
- Wood, R. (2008a). Heart Rate Measurement. Retrieved April 30, 2015, from <http://www.topendsports.com/testing/heart-rate-measure.htm>
- Wood, R. (2008b). Resting Heart Rate Chart. Retrieved April 30, 2015, from <http://www.topendsports.com/testing/heart-rate-resting-chart.htm>



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



## หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมการวิจัย (Consent Form)

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

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

ขอแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมงานวิจัยเรื่อง “อิทธิพลของความกว้างช่องทางเดินและปัจจัยพื้นฐานของมนุษย์ต่ออัตราหน่วงในการเดินผ่าน”

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

ลงชื่อ.....

( )

ผู้เข้าร่วมการวิจัย

ภาคผนวก ข  
ผลการศึกษานำร่อง (Pilot study)



## ผลการศึกษานำร่อง (Pilot study)

การศึกษานำร่องนี้ เป็นการทดลองกับผู้เข้าร่วมการทดลองในกลุ่มย่อย เพื่อตรวจสอบคุณภาพของอุปกรณ์ ความเหมาะสมของเงื่อนไขในการทดลอง ตลอดจนดูแนวโน้มของผลการทดลองเบื้องต้นก่อนทำการทดลองจริง โดยมีรายละเอียดของการทดลองดังนี้

### ผู้เข้าร่วมการทดลอง

ผู้เข้าร่วมการทดลอง เป็นอาสาสมัครจำนวน 10 คน เป็นเพศหญิง 5 คน เพศชาย 5 คน และอยู่ในช่วงอายุ 20-22 ปี สัดส่วนร่างกายโดยเฉลี่ยของผู้เข้าร่วมการทดลอง แสดงดังตาราง ข.1

ตารางที่ ข.1 สัดส่วนร่างกายโดยเฉลี่ยของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน

	เพศชาย			เพศหญิง		
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
ส่วนสูง (ซม.)	161.60	173.10	168.30	151.00	162.50	157.64
ความกว้างไหล่ (ซม.)	36.70	44.90	41.48	33.20	40.10	37.22
ความกว้างสะโพก (ซม.)	25.10	39.30	34.06	26.20	39.60	32.62

จากผลการเก็บข้อมูลสัดส่วนร่างกายของผู้เข้าร่วมการทดลอง เมื่อพิจารณาสัดส่วนร่างกายในมิติความกว้าง พบว่าความกว้างไหล่มีค่ามากกว่าความกว้างสะโพก และสัดส่วนร่างกายของผู้เข้าร่วมการทดลองเพศชายโดยเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าเพศหญิง

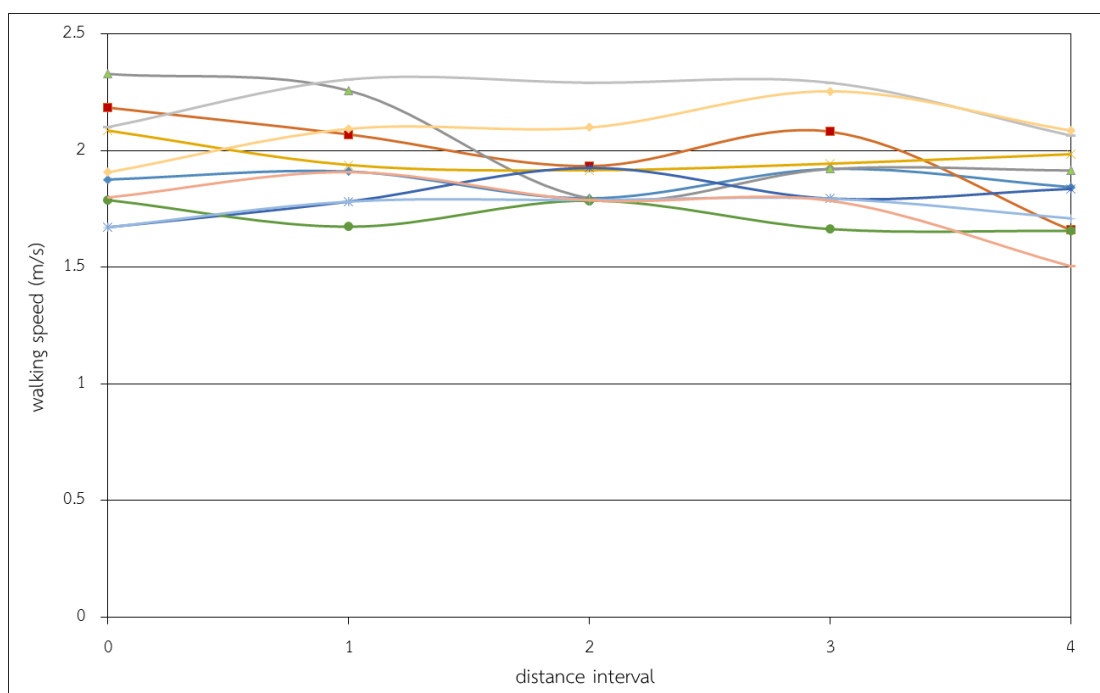
### ขั้นตอนในการศึกษานำร่อง

ในการศึกษานำร่อง ได้ดำเนินการเก็บข้อมูลตามขั้นตอนที่วางไว้ในหัวข้อที่ 3.4 แต่สำหรับเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินที่ใช้ในการทดลองนำร่องนี้ กำหนดให้แปรค่าตั้งแต่ 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140 และ 160 เซนติเมตร โดยความกว้างต่ำสุดที่ใช้ในการทดลอง คือ 40 เซนติเมตรนั้น กำหนดโดยอ้างอิงจากสัดส่วนร่างกายโดยเฉลี่ยของผู้เข้าร่วมการทดลอง

### อัตราเร็วในช่วงระยะทางต่างๆ

พิจารณาอัตราเร็วเฉลี่ยในแต่ละช่วงของผู้เข้าร่วมการทดลอง ตั้งแต่ช่วงก่อนถึงช่องทางเดิน จนกระทั่งเดินผ่านช่องทางเดิน โดยช่วงที่ 0 คือ ช่วงระยะทาง 2-2.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน, ช่วงที่ 1 คือ ช่วงระยะทาง 1.5-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน, ช่วงที่ 2 คือ ช่วงระยะทาง 1-1.5 เมตรก่อนถึง

ช่องทางเดิน, ช่วงที่ 3 คือ ช่วงระยะทาง 0.5-1 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน และช่วงที่ 4 คือ ช่วงระยะทาง 1 เมตรที่ข้ามช่องทางเดิน (0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน และ 0.5 เมตรหลังช่องทางเดิน) โดยพิจารณาที่เงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินเท่ากับ 50 เซนติเมตร ซึ่งเป็นค่าความกว้างต่ำสุดที่มากกว่าขนาดสัดส่วนร่างกายของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด

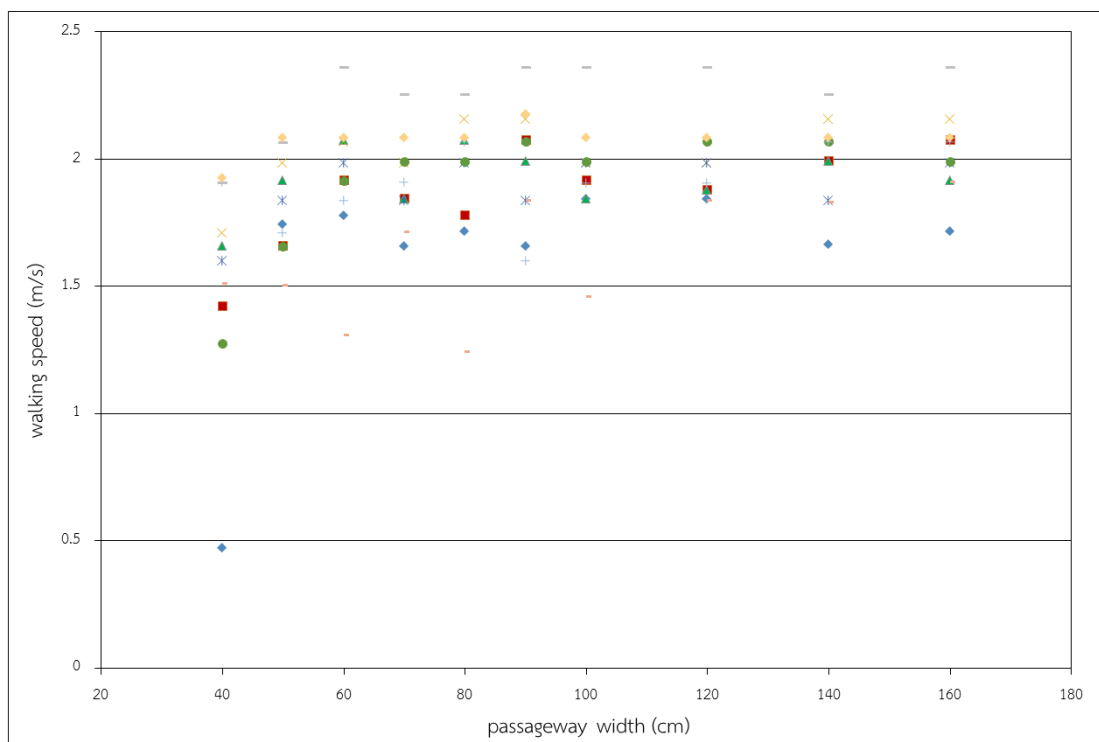


รูปที่ ข.1 อัตราเร็วของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คนในแต่ละช่วงระยะทาง ที่เงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินเท่ากับ 50 เซนติเมตร

จากกราฟจะเห็นว่า อัตราเร็วการเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองนั้นไม่คงที่ตลอดเส้นทางเดิน โดยอัตราเร็วในช่วงที่ 0 และ 1 มีค่าใกล้เคียงกัน จากนั้นในช่วงที่ 2 และ 3 อัตราเร็วเริ่มมีการแกว่ง เนื่องจากผู้เข้าร่วมการทดลองมองเห็นและรับรู้ว่าการกำลังเข้าใกล้บริเวณที่แคบลง จึงเริ่มมีการตัดสินใจว่าจะชะลออัตราเร็วหรือไม่ และในช่วงที่ผ่านช่องทางเดินพบว่า อัตราเร็วของผู้เข้าร่วมการทดลองส่วนใหญ่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับอัตราเร็วในช่วงแรก แต่ในผู้เข้าร่วมการทดลองบางคนนั้น อัตราเร็วไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก จึงอาจสรุปได้ว่า อัตราเร็วขณะผ่านช่องทางเดินจะมีการลดลงเล็กน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยของแต่ละบุคคล

อัตราเร็วขณะผ่านช่องทางเดินที่เงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินแตกต่างกัน

พิจารณาเฉพาะอัตราเร็วในช่วงที่ผ่านช่องทางเดิน (ช่วงที่ 4) เปรียบเทียบระหว่างความกว้างช่องทางเดินที่แตกต่างกัน



รูปที่ ข.2 อัตราเร็วในช่วงที่ผ่านช่องทางเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน ที่ความกว้างช่องทางเดินเงื่อนไขต่างๆ

จากกราฟจะเห็นว่า แนวโน้มอัตราเร็วในช่วงที่ผ่านช่องทางเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองนั้น เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง คือ อัตราเร็วในช่วงที่ผ่านช่องทางเดินในเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินที่มีค่ามากนั้นไม่เปลี่ยนแปลงมากนักจนเกือบเป็นเส้นตรง จนกระทั่งถึงเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินที่แคบลงจนถึงจุดๆหนึ่ง ซึ่งจากการทดลองนำร่องพบว่าอยู่ที่ประมาณ 80-100 เซนติเมตร อัตราเร็วในช่วงที่ผ่านช่องทางเดินจึงเริ่มลดลงโดยแปรผันตามความกว้างช่องทางเดิน กล่าวคือ ตั้งแต่เงื่อนไขความกว้างของช่องทางเดินที่ต่ำกว่า 100 เซนติเมตร อัตราเร็วในช่วงที่ผ่านช่องทางเดินมีแนวโน้มลดลงตามความกว้างของช่องทางเดิน ดังนั้น ในการทดลองจริงจะพิจารณาเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินตั้งแต่ 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 เซนติเมตรเท่านั้น เพื่อลดภาระงานของผู้เข้าร่วมการทดลอง และลดเวลาในการทดลอง

จากการศึกษานำร่องนี้ แสดงให้เห็นว่าช่องทางเดินที่แคบลงมีผลต่ออัตราเร็วการเดินทาง เนื่องจากผู้เข้าร่วมการทดลองมีการชะลออัตราเร็วเมื่อเดินผ่านช่องทางเดิน ถึงแม้ช่องทางเดินนั้นยังไม่แคบจนพอดีกับขนาดร่างกายของผู้เข้าร่วมการทดลองก็ตาม และความกว้างของช่องทางเดินกับอัตราเร็วการเดินทางของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน นำไปสู่การทดลองกับผู้เข้าร่วมการทดลองในกลุ่มที่มีจำนวนมากขึ้น และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ต่อไป



ตารางที่ ค.1 ข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมการทดลอง

คนที่	เพศ	อายุ (ปี)	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	ความกว้างไหล่ (ซม.)	อัตราการเต้นของหัวใจปกติ (ครั้งต่อนาที)
1	หญิง	21	55.6	160.41	39.05	65
2	หญิง	20	56.3	166.43	37.95	77
3	หญิง	21	50.4	162.20	38.31	79
4	หญิง	21	44.4	152.90	33.76	69
5	หญิง	24	84.9	159.00	43.15	89
6	หญิง	28	48.0	148.00	34.37	74
7	หญิง	28	60.3	158.00	39.51	68
8	หญิง	25	53.5	160.80	37.60	91
9	หญิง	21	42.1	153.13	36.11	80
10	หญิง	21	58.0	162.50	38.13	87
11	หญิง	24	53.3	160.00	37.96	90
12	หญิง	20	52.2	156.03	37.51	71
13	หญิง	25	43.6	152.00	33.61	81
14	หญิง	21	51.7	167.40	38.24	88
15	หญิง	22	69.0	170.00	45.20	63
16	หญิง	21	47.5	158.60	35.48	89
17	หญิง	25	58.3	167.90	35.91	65
18	หญิง	21	51.5	159.53	38.11	65
19	หญิง	25	65.2	162.00	38.56	66
20	หญิง	25	52.0	150.00	39.37	84
21	หญิง	21	47.4	156.93	37.65	76
22	หญิง	20	72.6	158.83	41.33	74
23	หญิง	21	50.6	160.50	35.94	78
24	หญิง	21	58.4	157.60	39.36	86
25	หญิง	21	47.1	157.43	38.48	65
26	หญิง	21	43.7	155.03	32.88	77
27	หญิง	24	58.2	165.00	35.82	84
28	ชาย	21	72.5	174.03	42.93	75
29	ชาย	20	55.0	174.43	40.40	64
30	ชาย	21	62.3	172.30	40.21	65
31	ชาย	22	46.4	163.23	38.46	77

คนที่	เพศ	อายุ (ปี)	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	ความกว้างไหล่ (ซม.)	อัตราการเต้นของหัวใจปกติ (ครั้งต่อนาที)
32	ชาย	21	86.1	173.60	43.53	61
33	ชาย	21	60.6	170.33	40.08	61
34	ชาย	21	76.0	179.10	42.48	68
35	ชาย	21	71.8	169.83	42.18	65
36	ชาย	20	68.3	178.47	42.69	71
37	ชาย	21	80.5	165.10	44.24	65
38	ชาย	21	62.4	170.00	42.92	62
39	ชาย	22	48.4	164.03	38.87	63
40	ชาย	21	55.2	161.60	44.79	72
41	ชาย	21	71.4	170.40	43.43	64
42	ชาย	21	62.0	174.60	41.33	63
43	ชาย	21	64.8	174.57	41.70	67
44	ชาย	21	54.3	169.00	39.54	72
45	ชาย	21	63.2	173.07	44.50	62
46	ชาย	21	59.8	169.00	44.76	64
47	ชาย	26	71.7	171.00	42.51	74
48	ชาย	22	70.5	171.27	40.43	73
49	ชาย	21	53.8	171.50	39.07	73
50	ชาย	28	82.2	178.00	43.17	60
51	ชาย	23	80.4	178.80	44.97	75
52	ชาย	22	78.6	183.80	47.56	68
53	ชาย	20	53.1	169.37	38.45	61
54	ชาย	21	64.2	182.77	44.17	75
55	ชาย	21	56.0	177.50	43.78	67
56	ชาย	21	61.9	182.00	45.24	63
57	ชาย	22	68.2	164.40	40.19	60
58	ชาย	23	58.4	166.00	38.11	61
59	ชาย	20	55.2	167.13	40.19	72
60	ชาย	22	73.3	178.00	44.75	70

## ตารางที่ ค.2 ผลการทดลอง

หมายเหตุ ค่าในตาราง คือ ความเร็ว ณ ขณะใดขณะหนึ่งในแนวแกน Z ซึ่งเป็นทิศทางการเดิน

ระยะห่างจากช่องทางเดิน (เมตร)	ความกว้างช่องทางเดิน (ซม.)						
	40	50	60	70	80	90	100
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1							
2.0	2.1238	2.2312	2.1575	2.2012	2.3652	2.0929	2.0860
1.5	2.2026	2.2774	2.1771	2.2270	2.3377	2.1231	2.0497
1.0	2.3307	2.2717	2.1483	2.2028	2.2627	2.1334	2.0852
0.5	2.4456	2.2461	2.0892	2.1756	2.2107	2.1231	2.0670
0	2.3885	2.2372	2.0625	2.1565	2.2068	2.1260	1.9997
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 2							
2.0	1.5780	1.6684	1.6025	1.6127	1.6437	1.6424	1.6886
1.5	1.6165	1.7597	1.6707	1.5731	1.7250	1.6251	1.7597
1.0	1.5901	1.7374	1.6185	1.6509	1.7040	1.6459	1.7616
0.5	1.6855	1.6622	1.5983	1.5879	1.6715	1.6431	1.7566
0	1.6012	1.6748	1.6095	1.5683	1.6375	1.6593	1.7243
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 3							
2.0	2.2676	2.4371	2.3094	2.5831	2.4775	2.4316	2.4152
1.5	2.1965	2.4148	2.3725	2.5845	2.4307	2.4765	2.4599
1.0	2.1890	2.3353	2.3964	2.5011	2.4138	2.4715	2.4552
0.5	2.1253	2.2471	2.3085	2.3580	2.3704	2.3472	2.3137
0	2.0140	2.0562	2.1744	2.2030	2.1941	2.1610	2.1443
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 4							
2.0	2.0039	2.2078	2.2501	2.2491	2.3009	2.1804	2.2197
1.5	2.0212	2.2693	2.2795	2.2075	2.3156	2.2195	2.2357
1.0	2.0348	2.2580	2.1994	2.1898	2.2524	2.1803	2.2740
0.5	1.8971	2.2261	2.1647	2.1157	2.1962	2.1404	2.2346
0	1.8469	2.1542	2.1405	1.9882	2.1426	2.1010	2.1461
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 5							
2.0	1.1972	1.2816	1.3392	1.3132	1.3239	1.2381	1.3135
1.5	1.1309	1.3039	1.3257	1.2913	1.3463	1.2308	1.3079
1.0	1.0889	1.3111	1.3227	1.2936	1.2927	1.1679	1.3146
0.5	1.3696	1.2123	1.2198	1.2203	1.2118	1.1754	1.2590
0	0.9824	1.1219	1.0651	1.1392	1.1459	1.0991	1.1851
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 6							
2.0	1.9787	2.0348	2.0708	1.8718	2.1052	2.0705	1.9869
1.5	2.0315	2.0690	2.1038	1.8757	2.1562	2.0938	2.0441
1.0	2.0421	2.0950	2.0896	1.8649	2.1576	2.1245	2.0786
0.5	2.0122	2.1100	2.0616	1.8918	2.1489	2.1580	2.0767
0	1.9534	2.0860	2.0546	1.8787	2.1388	2.1446	2.0686

ระยะห่างจากช่องทางเดิน (เมตร)	ความกว้างช่องทางเดิน (ซม.)						
	40	50	60	70	80	90	100
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 7							
2.0	2.1112	2.1155	2.0968	1.9416	2.0260	1.9027	2.0719
1.5	2.0808	2.0883	2.0893	1.8993	2.0365	1.8938	2.0705
1.0	2.0019	2.0469	2.0459	1.8873	2.0621	1.8812	2.0700
0.5	1.9230	2.0082	1.9820	1.8119	2.0789	1.8241	2.0244
0	1.8547	1.9354	1.8632	1.6642	1.9935	1.7434	1.9001
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 8							
2.0	1.9581	2.1182	2.0892	2.0952	2.0922	2.1777	2.0770
1.5	1.8403	2.0750	2.1068	2.1114	2.0681	2.1576	2.0459
1.0	1.7211	1.9756	2.1054	2.0935	2.0287	2.1600	2.0197
0.5	1.5905	2.0267	2.1362	2.1673	2.0547	2.1843	2.0302
0	1.5238	1.7079	1.9225	1.8322	1.8125	2.0730	1.9441
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 9							
2.0	2.5647	2.5434	2.4657	2.3583	2.3577	2.3627	2.4444
1.5	2.5525	2.4900	2.4668	2.4009	2.4047	2.4087	2.4761
1.0	2.5172	2.4837	2.4692	2.4710	2.4350	2.5027	2.5328
0.5	2.5130	2.5144	2.4641	2.5099	2.4052	2.5649	2.5405
0	2.3988	2.5086	2.4548	2.5386	2.3937	2.5535	2.4266
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 10							
2.0	1.7344	2.0391	2.1065	2.0509	2.1000	2.1460	2.1552
1.5	1.6814	1.9958	2.0790	2.0690	2.0931	2.1471	2.1537
1.0	1.6745	1.9411	2.0681	2.0533	2.1007	2.1428	2.1234
0.5	1.7748	1.9459	2.0536	2.0133	2.1055	2.1450	2.0928
0	1.7446	1.9496	2.0076	1.9829	2.0799	2.1198	2.0256
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 11							
2.0	1.8958	1.7924	1.8154	1.9680	2.1020	1.8954	2.1207
1.5	1.8368	1.7646	1.8021	1.9218	2.0095	1.8533	2.1242
1.0	1.8609	1.7124	1.7752	1.8868	1.9587	1.8917	2.1060
0.5	2.0689	1.6742	1.7669	1.8198	1.9041	1.8842	2.0354
0	1.9302	1.6690	1.7519	1.7476	1.7851	1.8015	1.9580
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 12							
2.0	1.9972	2.0312	2.0671	1.8589	2.0338	1.8762	1.5614
1.5	1.9314	2.0031	2.0000	1.8122	2.0194	1.8994	1.5163
1.0	1.9568	1.9881	1.9831	1.8024	1.9455	1.9435	1.5364
0.5	2.0598	1.9000	1.9406	1.7480	1.9168	1.9426	1.4993
0	2.0745	1.8847	1.8558	1.8922	1.8784	1.8810	1.4760



ระยะห่างจากช่องทางเดิน (เมตร)	ความกว้างช่องทางเดิน (ซม.)						
	40	50	60	70	80	90	100
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 13							
2.0	2.2599	2.2900	2.1113	2.2859	2.2589	2.2293	2.1979
1.5	2.2594	2.2566	2.1569	2.2793	2.2230	2.2647	2.2092
1.0	2.2029	2.2318	2.1430	2.2542	2.1752	2.2534	2.1699
0.5	2.1522	2.1542	2.0949	2.2464	2.1071	2.2433	2.0879
0	2.0464	2.0118	2.0220	2.1563	1.9664	2.1969	1.9137
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 14							
2.0	1.6857	1.8380	1.8603	1.8851	2.1796	2.0773	2.1160
1.5	1.6907	1.8493	1.8915	1.9315	2.1442	2.1060	2.0876
1.0	1.6914	1.8571	1.9025	1.9121	2.1204	2.1428	2.0956
0.5	1.6796	1.8968	1.8879	1.8859	2.1239	2.1256	2.1271
0	1.0197	1.8993	1.8422	1.8636	2.1537	2.1101	2.1363
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 15							
2.0	1.6655	1.9890	2.0214	1.9567	1.8789	2.1024	2.3376
1.5	1.6521	1.9249	2.0151	1.9600	1.8669	2.0598	2.3144
1.0	1.7302	1.8257	1.9543	1.9404	1.8867	2.0623	2.3064
0.5	1.6922	1.7748	1.9719	1.9304	1.9142	2.0428	2.2788
0	1.7865	1.8638	2.0138	1.9812	1.9105	1.9399	2.2239
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 16							
2.0	1.6595	1.7229	1.6846	1.8147	1.7037	1.8985	1.8982
1.5	1.5476	1.6726	1.6507	1.7655	1.7063	1.8781	1.9226
1.0	1.3305	1.6351	1.6126	1.7320	1.7154	1.8652	1.8821
0.5	1.1132	1.5438	1.6076	1.7033	1.6217	1.8282	1.7968
0	1.0774	1.4715	1.6499	1.6376	1.5299	1.7320	1.7355
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 17							
2.0	1.8536	1.9144	1.8980	1.8885	1.9353	1.8876	1.8536
1.5	1.7519	1.8721	1.8162	1.8730	1.9222	1.9369	1.8473
1.0	1.8713	1.8706	1.7111	1.8311	1.8812	1.9404	1.7732
0.5	2.1062	1.8947	1.6888	1.7517	1.8896	1.9552	1.6829
0	1.9424	1.8575	1.6969	1.7269	1.8047	1.8936	1.6150
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 18							
2.0	1.6579	1.7379	1.8228	1.7670	1.8177	1.6624	1.7861
1.5	1.7301	1.8261	1.8870	1.8253	1.8936	1.7424	1.8745
1.0	1.7397	1.8237	1.9354	1.8843	1.9788	1.8305	1.9520
0.5	1.7042	1.8326	2.0061	1.8748	1.9929	1.8331	2.0127
0	1.6525	1.8209	2.0069	1.8531	1.9757	1.9463	2.0142

ระยะห่างจากช่องทางเดิน (เมตร)	ความกว้างช่องทางเดิน (ซม.)						
	40	50	60	70	80	90	100
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 19							
2.0	2.0437	1.8304	2.0030	2.2057	1.9369	1.9491	2.0242
1.5	1.9399	1.8820	2.0258	2.1089	1.9727	2.0069	2.0372
1.0	1.8185	1.8191	2.0045	2.0388	1.9747	2.0196	2.0320
0.5	1.6564	1.7015	1.9729	1.9875	1.9121	1.9916	1.9864
0	1.6180	1.6153	1.9160	1.9078	1.8528	1.9328	1.9151
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 20							
2.0	1.8643	2.0141	2.1242	1.8153	2.2703	2.2609	1.8785
1.5	1.7953	1.9769	2.1577	1.8372	2.2172	2.2132	1.8783
1.0	1.7036	1.8712	2.1450	1.7894	2.2188	2.1233	1.8177
0.5	1.6778	1.8558	2.1296	1.8076	2.1772	2.0798	1.7965
0	1.7821	1.9429	2.0827	1.8255	2.0894	1.9974	1.7691
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 21							
2.0	2.2556	2.3466	2.2984	2.2617	2.2752	2.3554	2.1407
1.5	2.2631	2.4032	2.3518	2.3520	2.3048	2.3598	2.1756
1.0	2.3133	2.4213	2.3892	2.3842	2.2884	2.3000	2.2207
0.5	2.4106	2.3744	2.3757	2.3251	2.1898	2.1582	2.2444
0	2.3368	2.3149	2.2471	2.1950	2.0242	1.9634	2.1633
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 22							
2.0	1.6999	1.7655	1.7461	1.8290	1.8294	1.9077	1.7910
1.5	1.7200	1.7774	1.6865	1.8308	1.7996	1.9124	1.7128
1.0	1.7040	1.7482	1.6011	1.7670	1.7379	1.8739	1.6898
0.5	1.7777	1.6715	1.5115	1.7135	1.6889	1.7983	1.6262
0	1.6938	1.6576	1.4729	1.6606	1.6359	1.7353	1.6357
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 23							
2.0	2.2066	2.5330	2.7157	2.6756	2.6439	2.7142	2.6646
1.5	2.0806	2.4743	2.7647	2.6567	2.6476	2.7643	2.6813
1.0	1.9724	2.3974	2.8087	2.6608	2.6623	2.8010	2.6576
0.5	1.8963	2.3562	2.8252	2.6753	2.6640	2.8057	2.6753
0	1.8906	2.3836	2.8110	2.6559	2.6417	2.7855	2.6888
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 24							
2.0	1.6037	1.4684	1.7801	1.5841	1.5968	1.6175	1.7049
1.5	1.5291	1.6249	1.8536	1.7584	1.7546	1.7899	1.7810
1.0	1.5010	1.5630	1.8801	1.9077	1.8106	1.9424	1.8307
0.5	1.5725	1.5765	1.8520	2.0162	1.7989	1.9435	1.7646
0	1.5256	1.5327	1.7293	2.0420	1.7325	1.9171	1.6284

ระยะห่างจากช่องทางเดิน (เมตร)	ความกว้างช่องทางเดิน (ซม.)						
	40	50	60	70	80	90	100
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 25							
2.0	2.2162	2.2932	2.1322	2.3149	2.2506	2.2192	2.2270
1.5	2.1740	2.2822	2.1581	2.3046	2.3229	2.2087	2.2419
1.0	2.1337	2.2518	2.1446	2.3080	2.3197	2.1990	2.2261
0.5	2.1662	2.2449	2.1293	2.3016	2.3167	2.2244	2.2109
0	1.9740	2.2530	2.1082	2.2638	2.2564	2.1595	2.1648
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 26							
2.0	1.8372	1.8741	1.8617	1.8208	1.8999	1.9010	1.9651
1.5	1.8524	1.9313	1.9362	1.8519	1.9937	1.9573	1.9850
1.0	1.8786	1.9042	1.9638	1.8597	2.0144	1.9147	1.9194
0.5	1.8063	1.7864	1.9149	1.7240	1.8879	1.8523	1.8503
0	1.6868	1.5755	1.7769	1.5481	1.5523	1.6839	1.6949
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 27							
2.0	1.9974	2.2357	2.1520	2.1716	2.2258	2.1142	2.1513
1.5	1.9093	2.2573	2.1198	2.1879	2.2420	2.1308	2.1493
1.0	1.8741	2.2088	2.0744	2.1613	2.2158	2.1347	2.1257
0.5	1.8022	2.1004	1.9876	2.0939	2.1246	2.1111	2.0497
0	1.7298	2.0111	1.9098	2.0442	1.9998	2.1003	1.9588
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 28							
2.0	2.1061	2.0848	2.3130	2.0637	2.1215	1.7759	2.2594
1.5	2.1255	2.1489	2.3983	2.0878	2.1618	1.8250	2.2027
1.0	2.1228	2.1577	2.4226	2.1050	2.2128	1.8044	2.1838
0.5	2.1790	2.1309	2.4394	2.0948	2.2425	1.7952	2.1435
0	1.9596	1.8080	2.4520	2.0212	2.2035	1.7557	1.9768
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 29							
2.0	1.8617	1.9508	1.8471	1.7521	1.7776	1.9650	1.8775
1.5	1.8404	1.9334	1.8534	1.8235	1.7654	1.9845	1.9385
1.0	1.8580	1.8701	1.8481	1.8289	1.7620	1.9828	1.9212
0.5	1.9125	1.8554	1.8004	1.8249	1.7545	1.9074	1.8368
0	1.7108	1.7790	1.6977	1.8053	1.6563	1.7699	1.7811
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 30							
2.0	2.1159	2.0339	1.7521	2.0826	1.9737	2.0482	1.7772
1.5	2.1068	2.0134	1.7066	2.0617	1.9868	1.9963	1.6982
1.0	2.0271	1.9762	1.6957	1.9816	1.9077	1.9749	1.6631
0.5	2.0478	1.8880	1.7464	1.8763	1.8472	1.9017	1.6476
0	1.9044	1.8602	1.6761	1.7882	1.7996	1.7174	1.5293

ระยะห่างจากช่องทางเดิน (เมตร)	ความกว้างช่องทางเดิน (ซม.)						
	40	50	60	70	80	90	100
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 31							
2.0	1.8706	1.9245	1.8567	1.9478	1.8335	1.7558	1.8867
1.5	1.9094	1.8941	1.9394	2.0187	1.9002	1.8270	1.9487
1.0	1.9602	1.8980	2.0129	2.0436	1.9689	1.8653	1.9652
0.5	2.0491	1.8694	1.9815	2.0285	1.9632	1.9082	1.9577
0	2.0122	1.8342	1.9727	1.9142	1.9093	1.8931	1.9429
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 32							
2.0	1.4456	1.5796	1.7264	1.6903	1.5678	1.7313	1.6671
1.5	1.4519	1.5650	1.7035	1.6588	1.5856	1.7147	1.6556
1.0	1.4453	1.5472	1.6717	1.6521	1.5581	1.7200	1.6775
0.5	1.4925	1.5476	1.6637	1.6673	1.5490	1.6828	1.6459
0	1.4891	1.5545	1.6518	1.6771	1.5398	1.6221	1.5878
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 33							
2.0	2.8053	2.5147	2.6322	2.5527	2.5512	2.5201	2.3178
1.5	2.8755	2.6221	2.6236	2.6053	2.5972	2.5426	2.3412
1.0	2.9437	2.6886	2.6060	2.6262	2.6223	2.5416	2.3687
0.5	2.9157	2.7092	2.6147	2.6085	2.5728	2.5075	2.3467
0	2.6925	2.5825	2.6104	2.6092	2.4859	2.4427	2.3070
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 34							
2.0	1.7415	1.7523	1.7492	1.6467	2.2269	1.7309	2.0253
1.5	1.7426	1.7430	1.7772	1.6677	2.1936	1.7209	2.0882
1.0	1.6879	1.6932	1.7302	1.5983	2.1426	1.6878	2.1302
0.5	1.7563	1.6164	1.5812	1.5831	2.0271	1.5852	2.0644
0	1.4980	1.5136	1.3338	1.4098	1.8496	1.3853	1.8937
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 35							
2.0	1.8628	2.0273	2.0741	2.1104	1.9553	1.9183	1.9955
1.5	1.7239	1.9835	2.0212	2.0716	1.9105	1.9025	1.9599
1.0	1.6460	1.9087	1.9286	2.0071	1.8708	1.8895	1.9586
0.5	1.7008	1.8557	1.8700	1.9648	1.7992	1.8637	1.9381
0	1.5780	1.7929	1.8162	1.8913	1.7326	1.7797	1.8882
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 36							
2.0	2.2140	1.9025	2.1335	2.1118	1.9142	2.1072	2.2632
1.5	2.1070	1.8829	2.0418	2.1296	1.9410	2.1391	2.3024
1.0	1.9817	1.8835	2.0011	2.1307	1.9268	2.1618	2.3227
0.5	1.9759	1.8137	2.0024	2.1232	1.9186	2.1487	2.3177
0	1.8863	1.8098	1.9603	2.0896	1.8811	2.1563	2.2663

ระยะห่างจากช่องทางเดิน (เมตร)	ความกว้างช่องทางเดิน (ซม.)						
	40	50	60	70	80	90	100
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 37							
2.0	1.9011	1.8224	2.0234	1.9057	1.8246	1.8205	2.0185
1.5	1.8817	1.8291	2.0649	1.9377	1.7392	1.8621	1.9719
1.0	1.9831	1.8103	1.9935	1.8994	1.6651	1.9023	1.9044
0.5	2.0856	1.7913	1.8323	1.8160	1.5557	1.8656	1.7268
0	1.9541	1.5484	1.4513	1.7002	1.2831	1.8424	1.4735
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 38							
2.0	1.7857	1.9280	1.8217	1.8987	1.9285	1.8507	1.7905
1.5	1.7194	1.8623	1.8583	1.9099	1.9618	1.8822	1.8318
1.0	1.5577	1.8495	1.8778	1.9465	2.0023	1.9538	1.8585
0.5	1.3282	1.8274	1.9033	1.9151	1.9782	1.9144	1.8842
0	1.4467	1.6978	1.9105	1.8838	1.9659	1.8610	1.8628
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 39							
2.0	1.6740	1.6828	1.5465	1.6569	1.7196	1.6322	1.6580
1.5	1.6536	1.7925	1.5929	1.7043	1.6418	1.6918	1.6941
1.0	1.5754	1.8046	1.5607	1.6615	1.5713	1.6267	1.6529
0.5	1.6043	1.7448	1.6040	1.6696	1.5596	1.6146	1.6701
0	1.6519	1.7111	1.5264	1.4798	1.4240	1.4673	1.6199
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 40							
2.0	1.7063	1.6935	1.6557	1.6833	1.7344	1.5259	1.6986
1.5	1.8633	1.7876	1.7814	1.8396	1.9068	1.5811	1.8583
1.0	1.9089	1.8161	1.8247	1.9264	1.9969	1.6262	1.9150
0.5	1.9381	1.7892	1.8310	1.9483	2.0467	1.6313	1.9099
0	1.9167	1.7045	1.8309	1.8889	2.0351	1.6014	1.8827
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 41							
2.0	1.5976	1.7536	2.0378	1.9835	1.9793	1.9965	2.0943
1.5	1.4936	1.6828	2.0807	2.0279	2.0289	2.0232	2.1311
1.0	1.4261	1.7162	2.0438	2.0050	2.0027	2.0311	2.1111
0.5	1.4514	1.7434	1.9287	2.0282	1.9771	2.0535	2.0248
0	1.2751	1.7003	1.9480	2.0312	1.9866	2.0084	1.9713
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 42							
2.0	0.7165	1.6977	1.6604	1.6547	1.7513	1.6148	1.5850
1.5	1.4299	1.6777	1.7059	1.6805	1.7819	1.6023	1.6064
1.0	1.3295	1.7059	1.7482	1.6748	1.7696	1.6409	1.5679
0.5	0.6519	1.7634	1.7388	1.6249	1.7625	1.6884	1.5833
0	0.0418	1.7938	1.7332	1.6150	1.7532	1.6387	1.5951

ระยะห่างจากช่องทางเดิน (เมตร)	ความกว้างช่องทางเดิน (ซม.)						
	40	50	60	70	80	90	100
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 43							
2.0	1.6708	1.6559	1.7856	1.5735	1.5334	1.7093	1.7015
1.5	1.6376	1.5844	1.7862	1.6102	1.5391	1.7164	1.7197
1.0	1.5803	1.5860	1.7144	1.5610	1.5224	1.6741	1.6154
0.5	1.5831	1.5409	1.6673	1.4634	1.4243	1.5666	1.5565
0	1.5314	1.4947	1.6569	1.3940	1.3169	1.5560	1.5163
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 44							
2.0	2.0685	2.0520	2.0553	2.0876	1.9821	1.9253	1.8658
1.5	2.0409	2.0035	2.0502	2.0443	1.9329	1.9150	1.9048
1.0	2.0104	1.9097	2.0618	1.9442	1.8782	1.9166	1.9325
0.5	1.9633	1.7569	1.9692	1.8505	1.8227	1.8877	1.8994
0	1.8065	1.6320	1.7964	1.6765	1.6918	1.7869	1.8193
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 45							
2.0	1.8447	1.9734	1.8960	1.8476	1.9749	2.0154	1.8891
1.5	1.9083	2.0912	2.0172	1.9089	2.0957	2.0613	2.0119
1.0	1.9905	2.1714	2.0800	1.9685	2.1090	2.1007	2.0190
0.5	2.0883	2.2225	2.0770	2.0557	2.0901	2.1516	2.0263
0	1.8648	2.0375	2.0369	2.0614	2.0366	2.1361	1.9751
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 46							
2.0	1.5961	2.1267	2.3078	2.2023	2.1286	2.2068	2.1234
1.5	1.5995	2.0755	2.2761	2.1614	2.1586	2.2874	2.1584
1.0	1.4741	2.0076	2.3166	2.1436	2.1785	2.2866	2.1720
0.5	1.4437	1.9627	2.2649	2.1550	2.1431	2.2206	2.1960
0	1.3937	1.9670	2.2499	2.1472	2.0683	2.1662	2.1943
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 47							
2.0	2.2216	2.2194	2.0874	2.1848	2.1010	2.2235	2.1769
1.5	2.2155	2.1951	2.0971	2.1845	2.0883	2.2179	2.1856
1.0	2.1896	2.1514	2.0934	2.1645	2.0714	2.2074	2.1811
0.5	2.1388	2.1129	2.0559	2.1459	2.0449	2.1644	2.1742
0	2.0368	2.0750	1.9726	2.1055	1.9810	2.0960	2.1530
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 48							
2.0	2.0428	2.1945	2.2039	2.0121	2.1289	2.3240	2.2539
1.5	2.0975	2.2471	2.3151	2.1268	2.2058	2.3873	2.2907
1.0	2.0665	2.2406	2.3343	2.1873	2.2394	2.4092	2.3159
0.5	2.0561	2.2392	2.3019	2.1824	2.2341	2.3576	2.3226
0	2.0413	2.1161	2.2485	2.1905	2.2103	2.2820	2.3077

ระยะห่างจากช่องทางเดิน (เมตร)	ความกว้างช่องทางเดิน (ซม.)						
	40	50	60	70	80	90	100
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 49							
2.0	1.9599	1.7920	1.8356	1.8710	1.7862	1.7343	1.8763
1.5	1.9386	1.7855	1.8544	1.8784	1.8346	1.7367	1.8762
1.0	1.9279	1.8427	1.8271	1.8801	1.7907	1.7225	1.8740
0.5	1.8424	1.8468	1.7809	1.8310	1.7633	1.6198	1.7948
0	1.7918	1.8298	1.7247	1.7882	1.6723	1.5685	1.7019
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 50							
2.0	1.7130	1.7404	1.6949	1.6671	1.6579	1.7619	1.5483
1.5	1.7264	1.7434	1.6486	1.6704	1.6333	1.7899	1.5935
1.0	1.6194	1.6589	1.6515	1.6740	1.6278	1.7528	1.6437
0.5	1.6437	1.4571	1.6234	1.6402	1.6416	1.7433	1.6106
0	1.6177	1.2755	1.5601	1.6387	1.6410	1.7206	1.5232
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 51							
2.0	1.9000	1.8829	1.8300	1.7432	1.8506	1.8814	1.9682
1.5	2.0012	1.8515	1.9235	1.7890	1.8824	1.8747	1.9745
1.0	2.1041	1.9719	1.9387	1.8276	1.8144	1.7922	1.9725
0.5	2.2237	1.9771	1.9221	1.8286	1.7729	1.8115	1.9000
0	1.8840	1.4066	1.6052	1.7551	1.5890	1.8091	1.8057
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 52							
2.0	1.6654	1.6278	1.5984	1.7600	1.7366	1.6556	1.7341
1.5	1.5249	1.6361	1.4985	1.7019	1.7463	1.7557	1.7021
1.0	1.3849	1.5988	1.5265	1.6821	1.6830	1.7719	1.6352
0.5	1.3791	1.5227	1.4707	1.7354	1.6200	1.7385	1.6919
0	1.2873	1.4676	1.3656	1.7169	1.6136	1.7317	1.6504
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 53							
2.0	2.4469	2.3533	2.0903	2.4172	2.3462	2.2760	2.0794
1.5	2.3987	2.3434	2.0570	2.4170	2.2991	2.2889	2.0471
1.0	2.4459	2.3266	2.0245	2.4057	2.3058	2.3531	2.0399
0.5	2.5115	2.3161	2.0310	2.3781	2.3366	2.3156	2.0409
0	2.3835	2.2353	1.6972	2.2556	2.2762	2.2260	1.8663
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 54							
2.0	1.8175	1.8397	1.7840	1.7429	1.7890	1.7729	1.7300
1.5	1.7630	1.8091	1.7761	1.7477	1.7644	1.7570	1.6825
1.0	1.7091	1.7754	1.7171	1.7086	1.7708	1.7564	1.7481
0.5	1.6888	1.8302	1.6733	1.6475	1.7812	1.6748	1.7330
0	1.5426	1.7799	1.6523	1.5536	1.7585	1.5904	1.6348

ระยะห่างจากช่องทางเดิน (เมตร)	ความกว้างช่องทางเดิน (ซม.)						
	40	50	60	70	80	90	100
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 55							
2.0	2.1033	2.3404	2.4040	2.5014	2.6083	2.7634	2.6385
1.5	1.9886	2.0291	2.3990	2.4670	2.6413	2.7920	2.6608
1.0	1.7603	1.7036	2.4623	2.4118	2.6490	2.7980	2.6669
0.5	1.3616	1.7093	2.4912	2.4518	2.6576	2.7927	2.6715
0	1.5518	2.0047	2.4049	2.4920	2.6428	2.7733	2.6326
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 56							
2.0	2.1923	2.1393	2.2503	2.0526	2.1454	2.1273	2.2550
1.5	2.1746	2.0369	2.1898	2.0362	2.1167	2.0988	2.2621
1.0	2.1262	1.9645	2.0732	1.9526	2.0585	2.0449	2.2091
0.5	2.1109	1.8710	1.9132	1.7990	1.9041	1.9549	2.0908
0	1.9088	1.7470	1.6436	1.4982	1.6066	1.5853	1.9636
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 57							
2.0	1.9165	1.8651	1.8274	1.7673	1.8150	1.8011	1.8245
1.5	1.9219	1.8681	1.7878	1.7540	1.8016	1.7676	1.8330
1.0	2.0316	1.8454	1.7617	1.7878	1.7496	1.7094	1.8362
0.5	2.1584	1.7685	1.7514	1.7410	1.7565	1.7141	1.8079
0	1.9862	1.6636	1.6674	1.6434	1.6800	1.6876	1.6913
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 58							
2.0	1.5452	1.5143	1.5645	1.5904	1.6433	1.6487	1.9003
1.5	1.5487	1.4676	1.5742	1.5789	1.6569	1.6350	1.8317
1.0	1.3772	1.4837	1.5715	1.5878	1.6593	1.6335	1.7985
0.5	1.5582	1.4671	1.5624	1.5674	1.6359	1.6325	1.7837
0	1.2898	1.4762	1.5502	1.5526	1.6344	1.5943	1.7583
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 59							
2.0	1.8438	1.8612	1.9101	1.9387	2.0436	2.0959	1.7047
1.5	1.7523	1.8372	1.9422	1.9113	2.0188	2.1882	1.6788
1.0	1.6383	1.7946	1.9130	1.8375	1.9533	2.1977	1.6362
0.5	1.5709	1.8566	1.8905	1.8439	1.9244	2.1552	1.6940
0	1.6200	1.8430	1.9186	1.8799	1.9406	2.0701	1.6909
ผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 60							
2.0	2.3348	2.3821	2.3363	2.3417	2.3324	2.4793	2.1627
1.5	2.3304	2.4068	2.3546	2.4144	2.3495	2.4432	2.2137
1.0	2.3753	2.4596	2.3232	2.3518	2.3966	2.4791	2.2636
0.5	2.5066	2.5132	2.2680	2.3168	2.4071	2.5145	2.2377
0	2.4939	2.5374	2.1883	2.3046	2.3573	2.4351	2.1807





ภาคผนวก ง

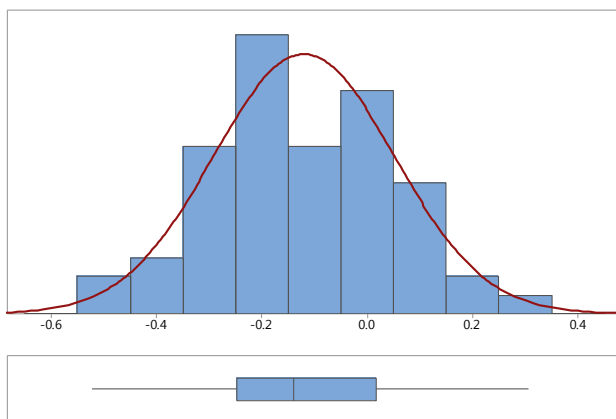
สถิติเชิงพรรณนาของอัตราเร่งเฉลี่ย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) ของอัตราเร่งเฉลี่ย

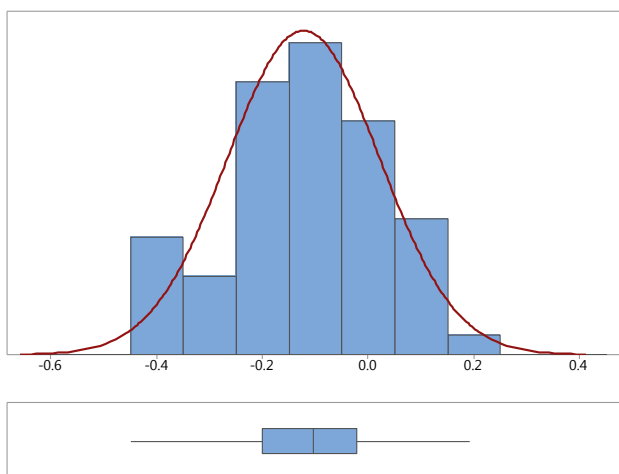
อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด หรือ ช่วงระยะทาง 0-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน

ความกว้างช่องทางเดิน = 40 เซนติเมตร



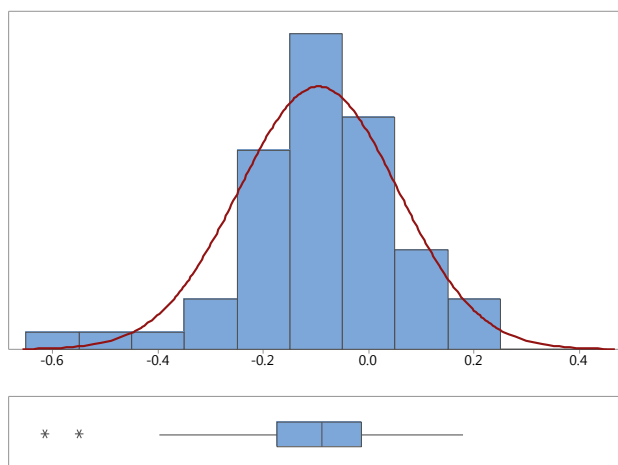
Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	0.31
P-Value	0.543
Mean	-0.12009
StDev	0.17171
Variance	0.02948
Skewness	0.070877
Kurtosis	-0.259840
N	60
Minimum	-0.52235
1st Quartile	-0.24720
Median	-0.13960
3rd Quartile	0.01629
Maximum	0.30658

ความกว้างช่องทางเดิน = 50 เซนติเมตร



Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	0.41
P-Value	0.339
Mean	-0.12262
StDev	0.14386
Variance	0.02070
Skewness	-0.403327
Kurtosis	-0.212683
N	60
Minimum	-0.44950
1st Quartile	-0.20132
Median	-0.10356
3rd Quartile	-0.02166
Maximum	0.19087

ความกว้างช่องทางเดิน = 60 เซนติเมตร



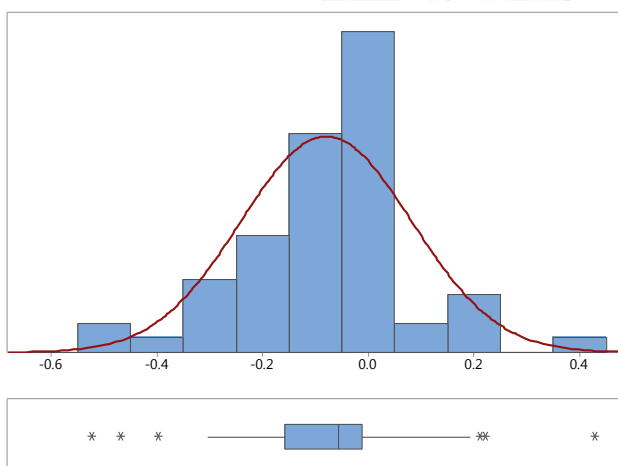
Anderson-Darling Normality Test

A-Squared 0.95  
P-Value 0.015

Mean -0.095127  
StDev 0.151122  
Variance 0.022838  
Skewness -0.96684  
Kurtosis 2.45950  
N 60

Minimum -0.615226  
1st Quartile -0.173135  
Median -0.088593  
3rd Quartile -0.014087  
Maximum 0.178983

ความกว้างช่องทางเดิน = 70 เซนติเมตร



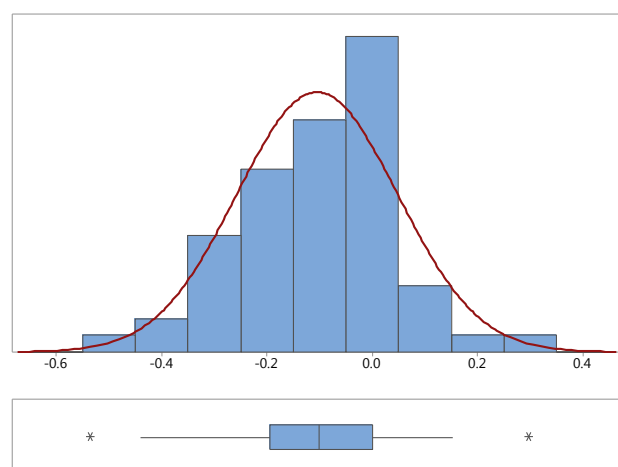
Anderson-Darling Normality Test

A-Squared 0.91  
P-Value 0.019

Mean -0.079499  
StDev 0.161608  
Variance 0.026117  
Skewness 0.02931  
Kurtosis 1.71967  
N 60

Minimum -0.523217  
1st Quartile -0.158195  
Median -0.057037  
3rd Quartile -0.011108  
Maximum 0.428538

ความกว้างช่องทางเดิน = 80 เซนติเมตร



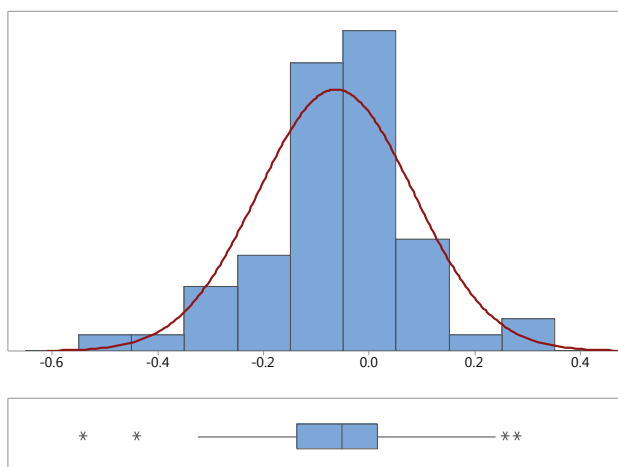
Anderson-Darling Normality Test

A-Squared 0.43  
P-Value 0.297

Mean -0.10469  
StDev 0.15278  
Variance 0.02334  
Skewness -0.358709  
Kurtosis 0.523089  
N 60

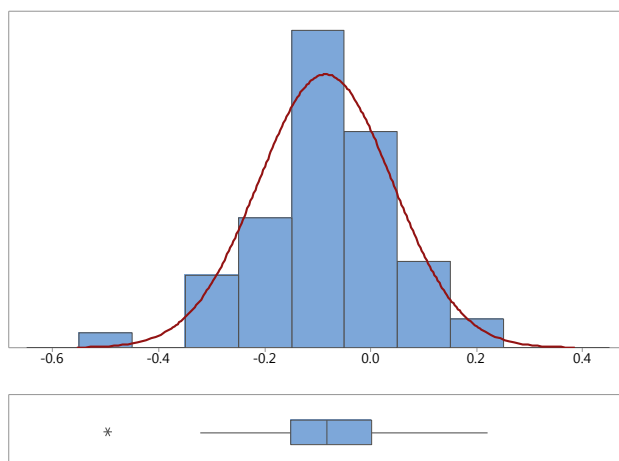
Minimum -0.53452  
1st Quartile -0.19404  
Median -0.10170  
3rd Quartile 0.00057  
Maximum 0.29567

ความกว้างช่องทางเดิน = 90 เซนติเมตร



Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	0.87
P-Value	0.025
Mean	-0.064017
StDev	0.146658
Variance	0.021509
Skewness	-0.53171
Kurtosis	1.87279
N	60
Minimum	-0.541055
1st Quartile	-0.138199
Median	-0.052273
3rd Quartile	0.013908
Maximum	0.278669

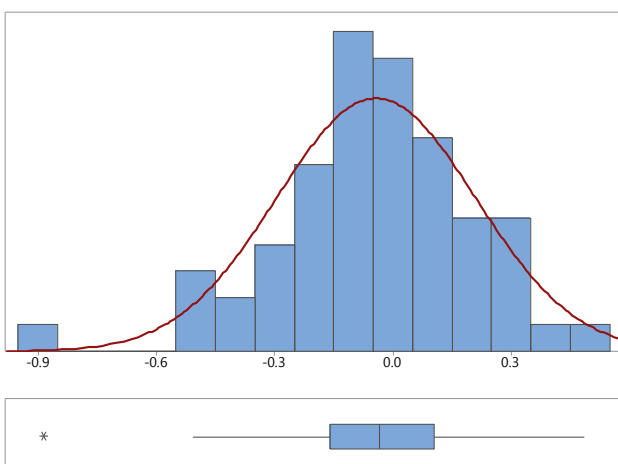
ความกว้างช่องทางเดิน = 100 เซนติเมตร



Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	0.38
P-Value	0.391
Mean	-0.085600
StDev	0.126343
Variance	0.015962
Skewness	-0.45185
Kurtosis	1.23029
N	60
Minimum	-0.497536
1st Quartile	-0.150501
Median	-0.082491
3rd Quartile	0.000674
Maximum	0.220961

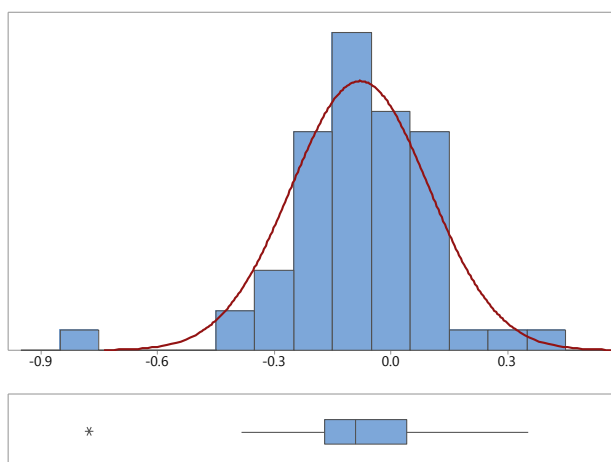
อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน หรือ ช่วงระยะทาง 0.5-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน

ความกว้างช่องทางเดิน = 40 เซนติเมตร



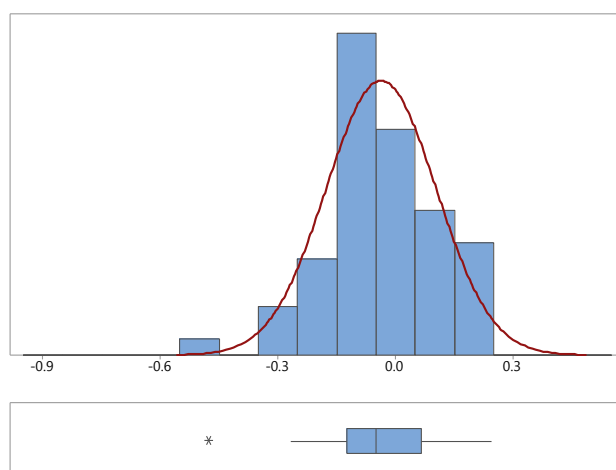
Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	0.36
P-Value	0.427
Mean	-0.042656
StDev	0.252319
Variance	0.063665
Skewness	-0.53369
Kurtosis	1.13598
N	60
Minimum	-0.884947
1st Quartile	-0.158930
Median	-0.035186
3rd Quartile	0.104403
Maximum	0.484444

ความกว้างช่องทางเดิน = 50 เซนติเมตร



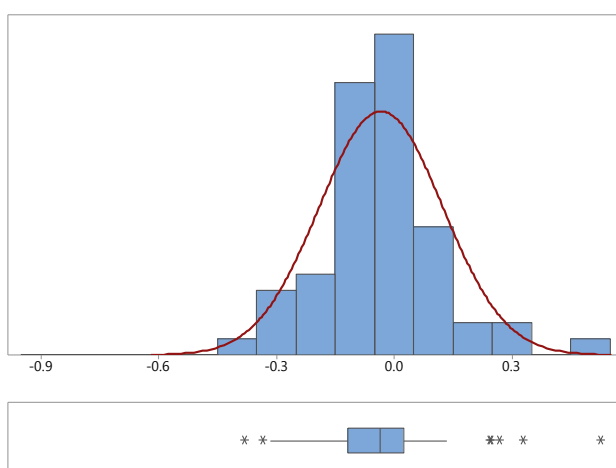
Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	0.66
P-Value	0.080
Mean	-0.078754
StDev	0.176621
Variance	0.031195
Skewness	-0.65315
Kurtosis	3.52744
N	60
Minimum	-0.776356
1st Quartile	-0.170151
Median	-0.091218
3rd Quartile	0.040243
Maximum	0.353685

ความกว้างช่องทางเดิน = 60 เซนติเมตร



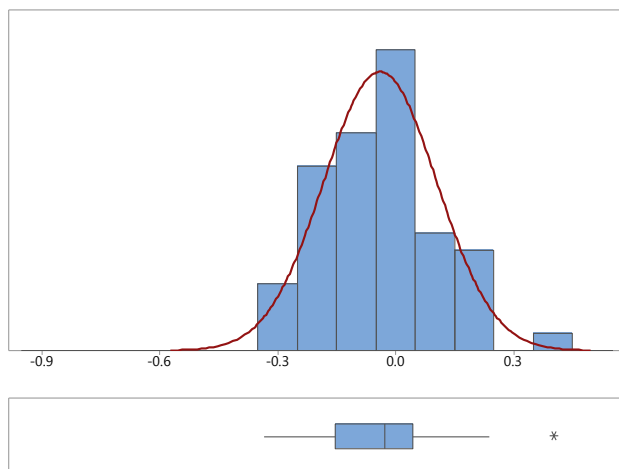
Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	0.39
P-Value	0.369
Mean	-0.036870
StDev	0.140488
Variance	0.019737
Skewness	-0.186983
Kurtosis	0.627535
N	60
Minimum	-0.476928
1st Quartile	-0.124634
Median	-0.050854
3rd Quartile	0.064424
Maximum	0.244080

ความกว้างช่องทางเดิน = 70 เซนติเมตร



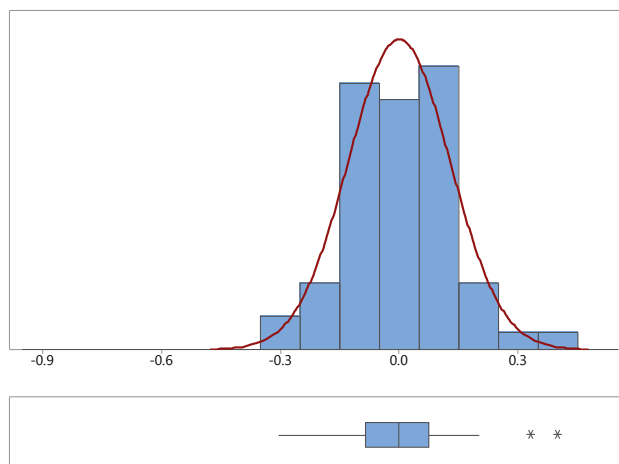
Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	1.11
P-Value	0.006
Mean	-0.033419
StDev	0.157661
Variance	0.024857
Skewness	0.73745
Kurtosis	2.26657
N	60
Minimum	-0.380049
1st Quartile	-0.117460
Median	-0.035828
3rd Quartile	0.023979
Maximum	0.524897

ความกว้างช่องทางเดิน = 80 เซนติเมตร



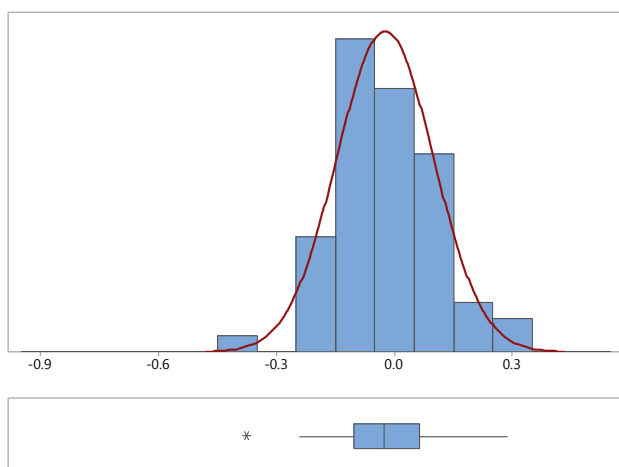
Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	0.21
P-Value	0.856
Mean	-0.039066
StDev	0.143673
Variance	0.020642
Skewness	0.383165
Kurtosis	0.512205
N	60
Minimum	-0.334828
1st Quartile	-0.153073
Median	-0.027358
3rd Quartile	0.042591
Maximum	0.403622

ความกว้างช่องทางเดิน = 90 เซนติเมตร



Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	0.44
P-Value	0.285
Mean	-0.000055
StDev	0.128472
Variance	0.016505
Skewness	0.37980
Kurtosis	1.29916
N	60
Minimum	-0.304583
1st Quartile	-0.084822
Median	-0.000371
3rd Quartile	0.074851
Maximum	0.400498

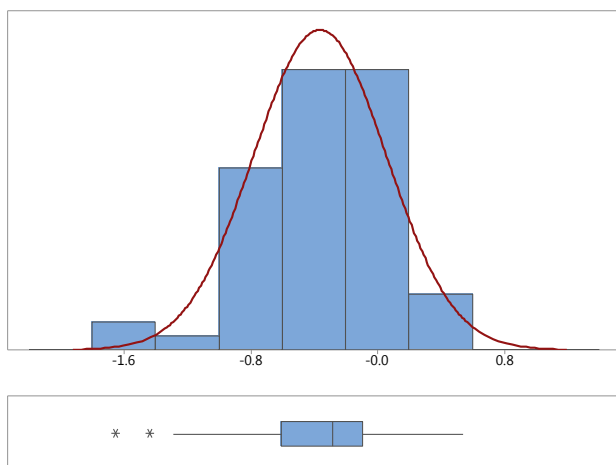
ความกว้างช่องทางเดิน = 100 เซนติเมตร



Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	0.19
P-Value	0.890
Mean	-0.023568
StDev	0.123069
Variance	0.015146
Skewness	0.068264
Kurtosis	0.506614
N	60
Minimum	-0.375353
1st Quartile	-0.101676
Median	-0.025057
3rd Quartile	0.064852
Maximum	0.288573

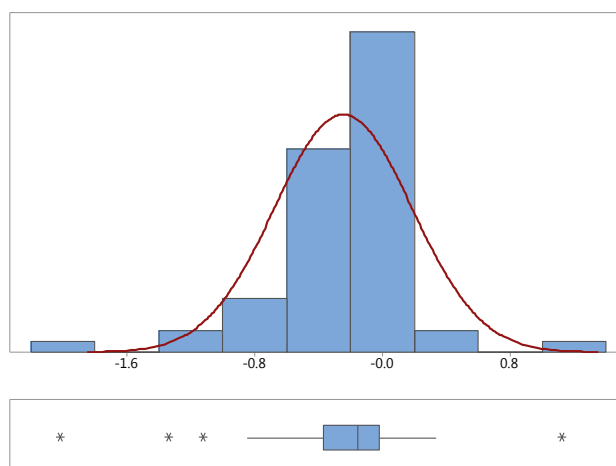
### อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน หรือ ช่วงระยะทาง 0-0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน

ความกว้างช่องทางเดิน = 40 เซนติเมตร



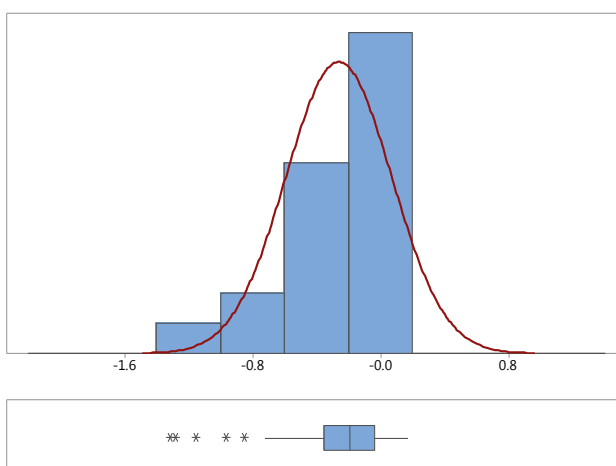
Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	0.56
P-Value	0.140
Mean	-0.36188
StDev	0.41968
Variance	0.17613
Skewness	-0.64722
Kurtosis	1.08269
N	60
Minimum	-1.65133
1st Quartile	-0.60710
Median	-0.28456
3rd Quartile	-0.09252
Maximum	0.54285

ความกว้างช่องทางเดิน = 50 เซนติเมตร



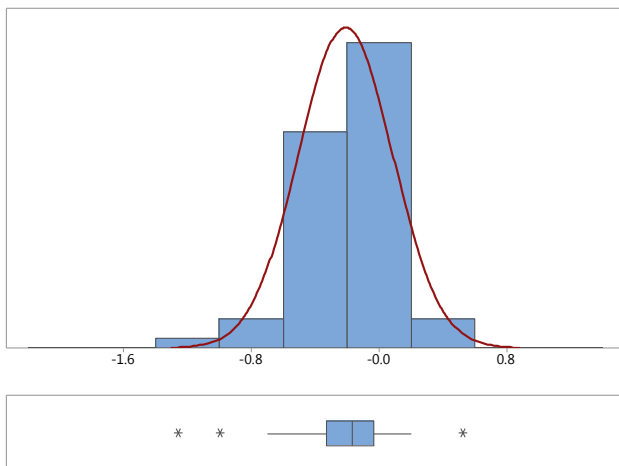
Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	2.48
P-Value	<0.005
Mean	-0.24567
StDev	0.43023
Variance	0.18510
Skewness	-1.12046
Kurtosis	5.65297
N	60
Minimum	-2.01472
1st Quartile	-0.36765
Median	-0.15470
3rd Quartile	-0.02052
Maximum	1.12186

ความกว้างช่องทางเดิน = 60 เซนติเมตร



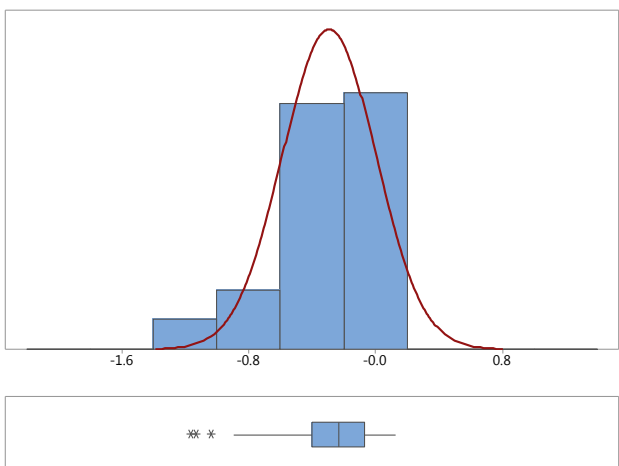
Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	2.73
P-Value	<0.005
Mean	-0.26112
StDev	0.32948
Variance	0.10856
Skewness	-1.59182
Kurtosis	2.53930
N	60
Minimum	-1.31459
1st Quartile	-0.35405
Median	-0.19328
3rd Quartile	-0.03532
Maximum	0.17057

ความกว้างช่องทางเดิน = 70 เซนติเมตร



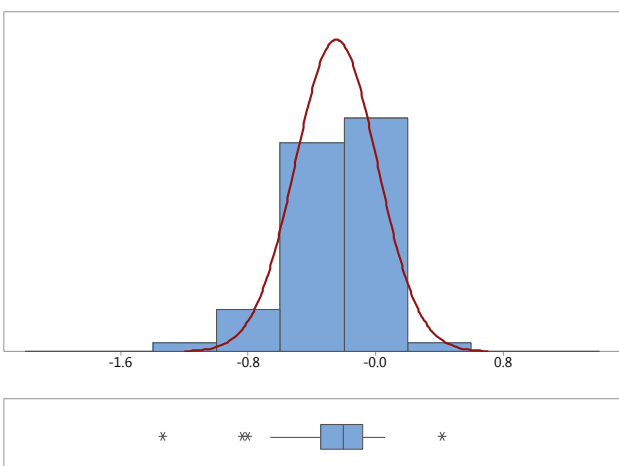
Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	1.12
P-Value	0.006
Mean	-0.21029
StDev	0.29413
Variance	0.08651
Skewness	-0.94663
Kurtosis	2.39610
N	60
Minimum	-1.25970
1st Quartile	-0.33122
Median	-0.16509
3rd Quartile	-0.03663
Maximum	0.52567

ความกว้างช่องทางเดิน = 80 เซนติเมตร



Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	2.35
P-Value	<0.005
Mean	-0.29131
StDev	0.29470
Variance	0.08685
Skewness	-1.32703
Kurtosis	1.43792
N	60
Minimum	-1.16564
1st Quartile	-0.40125
Median	-0.23354
3rd Quartile	-0.07091
Maximum	0.12915

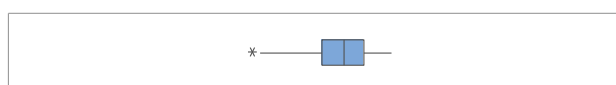
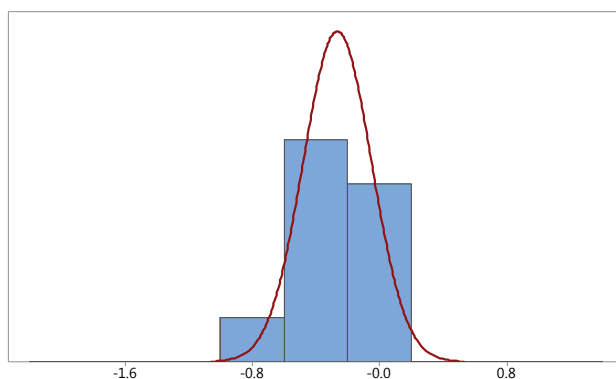
ความกว้างช่องทางเดิน = 90 เซนติเมตร



Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	1.84
P-Value	<0.005
Mean	-0.24835
StDev	0.25612
Variance	0.06560
Skewness	-1.48041
Kurtosis	5.29573
N	60
Minimum	-1.33855
1st Quartile	-0.34559
Median	-0.20456
3rd Quartile	-0.08593
Maximum	0.41651



ความกว้างช่องทางเดิน = 100 เซนติเมตร



#### Anderson-Darling Normality Test

A-Squared 1.09  
P-Value 0.007

Mean -0.26489  
StDev 0.21438  
Variance 0.04596  
Skewness -0.775054  
Kurtosis 0.082224  
N 60

Minimum -0.79578  
1st Quartile -0.36464  
Median -0.22192  
3rd Quartile -0.09961  
Maximum 0.07289





ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสัดส่วนร่างกาย

ตัวแปรตาม : น้ำหนัก

ปัจจัย : กลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลอง  $\in$  {กลุ่มที่ 1, กลุ่มที่ 2, กลุ่มที่ 3, กลุ่มที่ 4}

ทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน โดยมีสมมติฐานหลักคือ ความแปรปรวนของน้ำหนักของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของน้ำหนัก

Levene Statistics	p-value
1.28	.292

จากตารางข้างต้น พบว่า ค่า p-value  $>$  .05 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ แสดงว่าความแปรปรวนของน้ำหนักของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน จึงนำไปวิเคราะห์ต่อด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว โดยมีสมมติฐานหลักคือ น้ำหนักของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบ One-way ANOVA ของน้ำหนัก เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลอง

Source	df	SS	MS	F-value	p-value
between groups	3	972.4	324.1	2.83	.046*
error	56	6403.6	114.3		
Total	59	7376.0			

จากตารางข้างต้น พบว่า ค่า p-value  $<$  .05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า น้ำหนักของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างน้อย 2 กลุ่ม จึงทำการทดสอบต่อด้วยวิธีการเปรียบเทียบพหุคูณ โดยใช้วิธีทดสอบแบบ Tukey's HSD test

ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่ ด้วยวิธี Tukey's HSD test

Group	Mean	Difference of Means		
		2	3	4
1	64.76	-1.88 (.958)	-5.93 (.520)	-9.99 (.046*)
2	62.88	-	-4.05 (.778)	-8.11 (.133)
3	58.83	-	-	-4.07 (.776)
4	54.76	-	-	-

จากผลการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ พบว่า น้ำหนักร่างกายของผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาเป็นกลุ่มที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ โดยน้ำหนักร่างกายของผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 1 และ 4 นั้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตัวแปรตาม : ส่วนสูง

ปัจจัย : กลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลอง ∈ {กลุ่มที่ 1, กลุ่มที่ 2, กลุ่มที่ 3, กลุ่มที่ 4}

ทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน โดยมีสมมติฐานหลักคือ ความแปรปรวนของส่วนสูงของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของส่วนสูง

Levene Statistics	p-value
1.21	.316

จากตารางข้างต้น พบว่า ค่า p-value > .05 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ แสดงว่าความแปรปรวนของส่วนสูงของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน จึงนำไปวิเคราะห์ต่อด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว โดยมีสมมติฐานหลักคือ ส่วนสูงของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบ One-way ANOVA ของส่วนสูง เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลอง

Source	df	SS	MS	F-value	p-value
between groups	3	435.9	145.30	2.05	.118
error	56	3975.2	70.98		
Total	59	4411.1			

จากตารางข้างต้น พบว่า ค่า p-value > .05 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ แสดงว่า ส่วนสูงของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน

**ตัวแปรตาม : ความกว้างไหล่**

**ปัจจัย : กลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลอง ∈ {กลุ่มที่ 1, กลุ่มที่ 2, กลุ่มที่ 3, กลุ่มที่ 4}**

ทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน โดยมีสมมติฐานหลักคือ ความแปรปรวนของความกว้างไหล่ของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของความกว้างไหล่

Levene Statistics	p-value
0.55	.649

จากตารางข้างต้น พบว่า ค่า p-value > .05 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ แสดงว่า ความแปรปรวนของความกว้างไหล่ของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน จึงนำไปวิเคราะห์ต่อด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว โดยมีสมมติฐานหลักคือ ความกว้างไหล่ของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบ One-way ANOVA ของความกว้างไหล่ เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลอง

Source	df	SS	MS	F-value	p-value
between groups	3	30.01	10.00	0.88	.459
error	56	639.36	11.42		
Total	59	669.36			

จากตารางข้างต้น พบว่า ค่า p-value > .05 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ แสดงว่า ความกว้างไหล่ของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม เปรียบเทียบระหว่างความกว้างช่องทางเดิน

### ผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 1

ตัวแปรตาม : อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด

ปัจจัย : ความกว้างช่องทางเดิน € {40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 เซนติเมตร}

วิเคราะห์อิทธิพลของความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยช่วงระยะทางทั้งหมด หรือช่วงระยะทาง 0-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ โดยมีสมมติฐานหลักคือ อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมดของแต่ละความกว้างช่องทางเดินไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบ One-way Repeated Measures ANOVA ของอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด เปรียบเทียบระหว่างความกว้างช่องทางเดิน

Source	df	Adj SS	Adj MS	F-value	p-value
Within groups	15	0.7262	0.04841	3.34	.000*
Between groups	6	0.1271	0.02118	1.46	.201
Error	90	1.3057	0.01451		
Total	111	2.1589			

จากตารางข้างต้น พบว่า ค่านัยสำคัญของความแปรปรวนระหว่างกลุ่มนั้นมากกว่า 0.05 (p-value > .05) จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ แสดงว่า อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมดของผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 1 ไม่แตกต่างกันระหว่างความกว้างช่องทางเดิน

ตัวแปรตาม : อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน

ปัจจัย : ความกว้างช่องทางเดิน € {40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 เซนติเมตร}

วิเคราะห์อิทธิพลของความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน หรือช่วงระยะทาง 0.5-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ โดยมีสมมติฐานหลักคือ อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินของแต่ละความกว้างช่องทางเดินไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบ One-way Repeated Measures ANOVA ของอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน เปรียบเทียบระหว่างความกว้างช่องทางเดิน

Source	df	Adj SS	Adj MS	F-value	p-value
Within groups	15	0.9290	0.06193	5.91	.000*
Between groups	6	0.6874	0.11457	10.93	.000*
Error	90	0.9435	0.01048		
Total	111	2.5599			

จากตารางข้างต้น พบว่า ค่านัยสำคัญของความแปรปรวนระหว่างกลุ่มนั้นต่ำกว่า 0.05 (p-value < .05) จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า มีอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินอย่างน้อย 2 เงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินที่แตกต่างกัน จึงทำการทดสอบต่อด้วยวิธีการเปรียบเทียบพหุคูณ โดยใช้วิธีทดสอบแบบ Tukey's HSD test

ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่ ด้วยวิธี Tukey's HSD test

w	Mean	Difference of Means					
		50	60	70	80	90	100
40	0.178	-0.161 (.001*)	-0.226 (.000*)	-0.190 (.000*)	-0.232 (.000*)	-0.186 (.000*)	-0.253 (.000*)
50	0.017	-	-0.065 (.556)	-0.029 (.983)	-0.071 (.447)	-0.025 (.993)	-0.092 (.154)
60	-0.048	-	-	0.036 (.957)	-0.006 (1.000)	0.040 (.923)	-0.027 (.988)
70	-0.012	-	-	-	-0.042 (.911)	0.004 (1.000)	-0.063 (.593)
80	-0.054	-	-	-	-	0.046 (.860)	-0.021 (.997)
90	-0.008	-	-	-	-	-	-0.067 (.507)
100	-0.075	-	-	-	-	-	-

\*p-value < .05

จากผลการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ พบว่า อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินในเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินเท่ากับ 40 เซนติเมตรมีค่าเฉลี่ยสูงสุด และแตกต่างจากเงื่อนไขอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่เงื่อนไขอื่นๆไม่มีความแตกต่างกันเลย

**ตัวแปรตาม : อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน**

**ปัจจัย : ความกว้างช่องทางเดิน  $\in$  {40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 เซนติเมตร}**

เนื่องจากอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน หรือช่วงระยะทาง 0-0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 1 นั้น ไม่ได้มีการกระจายตัวแบบปกติ และกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก ( $N < 30$ ) จึงพิจารณาการใช้วิธีทดสอบแบบไม่อาศัยพารามิเตอร์ (Nonparametric test) ด้วยวิธี Friedman test ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ทดสอบความแตกต่างของค่ามัธยฐานของกลุ่มตัวอย่างตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป โดยมีสมมติฐานหลักคือ อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดินของแต่ละความกว้างช่องทางเดินไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบ Friedman test ของอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน เปรียบเทียบระหว่างความกว้างช่องทางเดิน

S	df	p-value
25.02	6	.000*

จากตารางข้างต้น พบว่า ค่า p-value  $< .05$  จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า มีอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน อย่างน้อย 2 เงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินที่แตกต่างกัน จึงวิเคราะห์ความแตกต่างเป็นรายคู่ ด้วยการเปรียบเทียบผลรวมของอันดับ (Sum of Ranks)

w	N	Est Median	Sum of Ranks
40	16	-0.654	27.0
50	16	-0.252	63.0
60	16	-0.232	66.0
70	16	-0.170	76.0
80	16	-0.229	69.0
90	16	-0.148	82.0
100	16	-0.250	65.0

Grand median = -0.276



จากผลการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ พบว่า อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน ในเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินเท่ากับ 40 เซนติเมตรมีค่ามัธยฐานและอันดับที่ต่ำที่สุด จากนั้น อัตราเร่งเฉลี่ยมีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อความกว้างช่องทางเดินมากขึ้น

### ผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 2

ตัวแปรตาม : อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด

ปัจจัย : ความกว้างช่องทางเดิน  $\in$  {40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 เซนติเมตร}

วิเคราะห์อิทธิพลของความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด หรือ ช่วงระยะทาง 0-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ โดยมีสมมติฐานหลักคือ อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมดของแต่ละความกว้างช่องทางเดินไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบ One-way Repeated Measures ANOVA ของอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทาง ทั้งหมด เปรียบเทียบระหว่างความกว้างช่องทางเดิน

Source	df	Adj SS	Adj MS	F-value	p-value
Within groups	16	1.8284	0.114277	16.24	.000*
Between groups	6	0.2600	0.043339	6.16	.000*
Error	96	0.6756	0.007037		
Total	118	2.7640			

จากตารางข้างต้น พบว่า ค่านัยสำคัญของความแปรปรวนระหว่างกลุ่มนั้นต่ำกว่า 0.05 ( $p$ -value < .05) จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า มีอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมดอย่างน้อย 2 เงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินที่แตกต่างกัน จึงทำการทดสอบต่อด้วยวิธีการเปรียบเทียบพหุคูณ โดยใช้วิธีทดสอบแบบ Tukey's HSD test

ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่ ด้วยวิธี Tukey's HSD test

w	Mean	Difference of Means					
		50	60	70	80	90	100
40	-0.152	0.012 (1.000)	0.058 (.420)	0.086 (.052)	0.091 (.034*)	0.124 (.001*)	0.127 (.001*)
50	-0.140	-	0.046 (.693)	0.074 (.145)	0.079 (.101)	0.112 (.003*)	0.115 (.002*)
60	-0.094	-	-	0.029 (.954)	0.033 (.911)	0.067 (.249)	0.070 (.203)
70	-0.065	-	-	-	0.004 (1.000)	0.038 (.842)	0.041 (.788)
80	-0.061	-	-	-	-	0.033 (.906)	0.036 (.865)
90	-0.028	-	-	-	-	-	0.003 (1.000)
100	-0.025	-	-	-	-	-	-

\*p-value < .05

จากผลการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ พบว่า อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมดในเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินเท่ากับ 40 เซนติเมตรมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด จากนั้นอัตราเร่งเฉลี่ยมีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อความกว้างช่องทางเดินมากขึ้น โดยเริ่มพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความกว้างช่องทางเดินเท่ากับ 80 เซนติเมตร แต่จะเห็นว่า อัตราเร่งเฉลี่ยในเงื่อนไข 70 และ 80 เซนติเมตรนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน จึงอาจกล่าวได้ว่า เริ่มพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่ความกว้างช่องทางเดินเท่ากับ 70 เซนติเมตร

**ตัวแปรตาม :** อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน

**ปัจจัย :** ความกว้างช่องทางเดิน  $\in$  {40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 เซนติเมตร}

วิเคราะห์อิทธิพลของความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินหรือช่วงระยะทาง 0.5-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ โดยมีสมมติฐานหลักคือ อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินของแต่ละความกว้างช่องทางเดินไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบ One-way Repeated Measures ANOVA ของอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน เปรียบเทียบระหว่างความกว้างช่องทางเดิน

Source	df	Adj SS	Adj MS	F-value	p-value
Within groups	16	1.7320	0.108251	12.54	.000*
Between groups	6	0.2862	0.047694	5.53	.000*
Error	96	0.8285	0.008630		
Total	118	2.8467			

จากตารางข้างต้น พบว่า ค่านัยสำคัญของความแปรปรวนระหว่างกลุ่มนั้นต่ำกว่า 0.05 (p-value < .05) จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า มีอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินอย่างน้อย 2 เงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินที่แตกต่างกัน จึงทำการทดสอบต่อด้วยวิธีการเปรียบเทียบพหุคูณ โดยใช้วิธีทดสอบแบบ Tukey's HSD test

ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่ ด้วยวิธี Tukey's HSD test

w	Mean	Difference of Means					
		50	60	70	80	90	100
40	-0.090	-0.001 (1.000)	0.048 (.745)	0.094 (.057)	0.089 (.086)	0.114 (.009*)	0.129 (.002*)
50	-0.091	-	0.049 (.723)	0.096 (.052)	0.090 (.078)	0.116 (.008*)	0.130 (.002*)
60	-0.042	-	-	0.047 (.767)	0.042 (.849)	0.067 (.367)	0.081 (.154)
70	0.005	-	-	-	-0.005 (1.000)	0.020 (.996)	0.035 (.930)
80	0.000	-	-	-	-	0.025 (.986)	0.040 (.874)
90	0.025	-	-	-	-	-	0.015 (.999)
100	0.039	-	-	-	-	-	-

\*p-value < .05

จากผลการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ พบว่า อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินในเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินเท่ากับ 40 และ 50 เซนติเมตรมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด และมีความเฉลี่ยใกล้เคียงกัน จากนั้นอัตราเร่งเฉลี่ยมีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อความกว้างช่องทางเดินมากขึ้น โดยเริ่มพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความกว้างช่องทางเดินเท่ากับ 90 เซนติเมตร

**ตัวแปรตาม :** อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน

**ปัจจัย :** ความกว้างช่องทางเดิน  $\in \{40, 50, 60, 70, 80, 90, 100$  เซนติเมตร}

เนื่องจากอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน หรือช่วงระยะทาง 0-0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 2 นั้น ไม่ได้มีการกระจายตัวแบบปกติ และกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก ( $N < 30$ ) จึงพิจารณาการใช้วิธีทดสอบแบบไม่อาศัยพารามิเตอร์ (Nonparametric test) ด้วยวิธี Friedman test ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ทดสอบความแตกต่างของค่ามัธยฐานของกลุ่มตัวอย่างตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป โดยมีสมมติฐานหลักคือ อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดินของแต่ละความกว้างช่องทางเดินไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบ Friedman test ของอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน เปรียบเทียบระหว่างความกว้างช่องทางเดิน

S	df	p-value
6.98	6	.322

จากตารางข้างต้น พบว่า ค่านัยสำคัญของความแปรปรวนระหว่างกลุ่มนั้นมากกว่า 0.05 ( $p\text{-value} > .05$ ) จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ แสดงว่า อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดินของแต่ละความกว้างช่องทางเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 2 ไม่แตกต่างกัน

### ผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 3

**ตัวแปรตาม :** อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด

**ปัจจัย :** ความกว้างช่องทางเดิน  $\in \{40, 50, 60, 70, 80, 90, 100$  เซนติเมตร}

วิเคราะห์อิทธิพลของความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด หรือช่วงระยะทาง 0-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ

โดยมีสมมติฐานหลักคือ อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมดของแต่ละความกว้างช่องทางเดินไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบ One-way Repeated Measures ANOVA ของอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด เปรียบเทียบระหว่างความกว้างช่องทางเดิน

Source	df	Adj SS	Adj MS	F-value	p-value
Within groups	9	0.4336	0.048182	6.13	.000*
Between groups	6	0.1647	0.027443	3.49	.005*
Error	54	0.4244	0.007859		
Total	69	1.0227			

จากตารางข้างต้น พบว่า ค่านัยสำคัญของความแปรปรวนระหว่างกลุ่มนั้นต่ำกว่า 0.05 ( $p\text{-value} < .05$ ) จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า มีอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมดอย่างน้อย 2 เงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินที่แตกต่างกัน จึงทำการทดสอบต่อด้วยวิธีการเปรียบเทียบพหุคูณ โดยใช้วิธีทดสอบแบบ Tukey's HSD test

ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่ ด้วยวิธี Tukey's HSD test

w	Mean	Difference of Means					
		50	60	70	80	90	100
40	-0.014	-0.022 (.998)	-0.051 (.856)	-0.105 (.130)	-0.130 (.029*)	-0.134 (.022*)	-0.083 (.370)
50	-0.036	-	-0.029 (.990)	-0.083 (.366)	-0.108 (.114)	-0.112 (.089)	-0.061 (.719)
60	-0.065	-	-	-0.054 (.814)	-0.079 (.436)	-0.083 (.370)	-0.032 (.983)
70	-0.120	-	-	-	-0.024 (.996)	-0.029 (.991)	0.022 (.998)
80	-0.144	-	-	-	-	-0.004 1.000	0.047 (.901)
90	-0.148	-	-	-	-	-	0.051 (.856)
100	-0.097	-	-	-	-	-	-

\* $p\text{-value} < .05$

จากผลการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ พบว่า อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมดของแต่ละเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินนั้นไม่แตกต่างกันมากนัก โดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเพียง 2 คู่ คือ 40-80 เซนติเมตร และ 40-90 เซนติเมตร

**ตัวแปรตาม : อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน**

**ปัจจัย : ความกว้างช่องทางเดิน  $\in$  {40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 เซนติเมตร}**

วิเคราะห์อิทธิพลของความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน หรือช่วงระยะทาง 0.5-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ โดยมีสมมติฐานหลักคือ อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินของแต่ละความกว้างช่องทางเดินไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบ One-way Repeated Measures ANOVA ของอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน เปรียบเทียบระหว่างความกว้างช่องทางเดิน

Source	df	Adj SS	Adj MS	F-value	p-value
Within groups	9	0.2982	0.03313	3.29	.003*
Between groups	6	0.1079	0.01798	1.78	.120
Error	54	0.5444	0.01008		
Total	69	0.9505			

จากตารางข้างต้น พบว่า ค่านัยสำคัญของความแปรปรวนระหว่างกลุ่มนั้นมากกว่า 0.05 (p-value > .05) จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ แสดงว่า อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินของแต่ละความกว้างช่องทางเดินของผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 3 ไม่แตกต่างกัน

**ตัวแปรตาม : อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน**

**ปัจจัย : ความกว้างช่องทางเดิน  $\in$  {40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 เซนติเมตร}**

วิเคราะห์อิทธิพลของความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน หรือช่วงระยะทาง 0-0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ โดยมีสมมติฐานหลักคือ อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดินของแต่ละความกว้างช่องทางเดินไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบ One-way Repeated Measures ANOVA ของอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน เปรียบเทียบระหว่างความกว้างช่องทางเดิน

Source	df	Adj SS	Adj MS	F-value	p-value
Within groups	9	2.5702	0.28558	11.28	.000*
Between groups	6	0.5349	0.08915	3.52	.005*
Error	54	1.3669	0.02531		
Total	69	4.4720			

จากตารางข้างต้น พบว่า ค่านัยสำคัญของความแปรปรวนระหว่างกลุ่มนั้นต่ำกว่า 0.05 (p-value < .05) จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า มีอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดินอย่างน้อย 2 เงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินที่แตกต่างกัน จึงทำการทดสอบต่อด้วยวิธีการเปรียบเทียบพหุคูณ โดยใช้วิธีทดสอบแบบ Tukey's HSD test

ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่ ด้วยวิธี Tukey's HSD test

w	Mean	Difference of Means					
		50	60	70	80	90	100
40	-0.215	0.112 (.698)	-0.031 (.999)	-0.054 (.988)	-0.147 (.390)	-0.172 (.212)	-0.062 (.974)
50	-0.103	-	-0.143 (.418)	-0.166 (.250)	-0.259 (.010*)	-0.284 (.004*)	-0.175 (.197)
60	-0.246	-	-	-0.022 (1.000)	-0.116 (.669)	-0.141 (.440)	-0.031 (.999)
70	-0.268	-	-	-	-0.093 (.845)	-0.118 (.642)	-0.009 (1.000)
80	-0.361	-	-	-	-	-0.025 (1.000)	0.084 (.897)
90	-0.387	-	-	-	-	-	0.110 (.721)
100	-0.277	-	-	-	-	-	-

\*p-value < .05

จากผลการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ พบว่า อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดินของแต่ละเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินนั้นไม่แตกต่างกันมากนัก โดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเพียง 2 คู่ คือ 50-80 เซนติเมตร และ 50-90 เซนติเมตร

.....

#### ผู้เข้าร่วมการทดลองกลุ่มที่ 4

ตัวแปรตาม : อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด

ปัจจัย : ความกว้างช่องทางเดิน  $\in$  {40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 เซนติเมตร}

วิเคราะห์อิทธิพลของความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด หรือช่วงระยะทาง 0-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ โดยมีสมมติฐานหลักคือ อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมดของแต่ละความกว้างช่องทางเดินไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบ One-way Repeated Measures ANOVA ของอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมด เปรียบเทียบระหว่างความกว้างช่องทางเดิน

Source	df	Adj SS	Adj MS	F-value	p-value
Within groups	16	1.9509	0.12193	8.75	.000*
Between groups	6	0.2628	0.04380	3.14	.007*
Error	96	1.3371	0.01393		
Total	118	3.5508			

จากตารางข้างต้น พบว่า ค่านัยสำคัญของความแปรปรวนระหว่างกลุ่มนั้นต่ำกว่า 0.05 ( $p$ -value < .05) จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า มีอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมดอย่างน้อย 2 เงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินที่แตกต่างกัน จึงทำการทดสอบต่อด้วยวิธีการเปรียบเทียบพหุคูณ โดยใช้วิธีทดสอบแบบ Tukey's HSD test



ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่ ด้วยวิธี Tukey's HSD test

w	Mean	Difference of Means					
		50	60	70	80	90	100
40	-0.208	0.033 (.983)	0.119 (.059)	0.115 (.080)	0.098 (.205)	0.138 (.016*)	0.108 (.115)
50	-0.175	-	0.086 (.342)	0.081 (.415)	0.065 (.686)	0.105 (.140)	0.075 (.511)
60	-0.088	-	-	-0.005 (1.000)	-0.022 (.998)	0.019 (.999)	-0.011 (1.000)
70	-0.093	-	-	-	-0.017 (1.000)	0.024 (.997)	-0.006 (1.000)
80	-0.110	-	-	-	-	0.040 (.953)	0.011 (1.000)
90	-0.070	-	-	-	-	-	-0.030 (.990)
100	-0.099	-	-	-	-	-	-

\*p-value < .05

จากผลการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ พบว่า อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงระยะทางทั้งหมดในเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินเท่ากับ 40 เซนติเมตรมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด และพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเพียงคู่เดียวคือ 40-90 เซนติเมตร

**ตัวแปรตาม :** อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน

**ปัจจัย :** ความกว้างช่องทางเดิน  $\in$  {40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 เซนติเมตร}

วิเคราะห์อิทธิพลของความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินหรือช่วงระยะทาง 0.5-2 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ โดยมีสมมติฐานหลักคือ อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินของแต่ละความกว้างช่องทางเดินไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบ One-way Repeated Measures ANOVA ของอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดิน เปรียบเทียบระหว่างความกว้างช่องทางเดิน

Source	df	Adj SS	Adj MS	F-value	p-value
Within groups	16	1.457	0.09106	3.99	.000*
Between groups	6	1.001	0.16689	7.31	.000*
Error	96	2.191	0.02282		
Total	118	4.649			

จากตารางข้างต้น พบว่า ค่านัยสำคัญของความแปรปรวนระหว่างกลุ่มนั้นต่ำกว่า 0.05 (p-value < .05) จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า มีอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินอย่างน้อย 2 เงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินที่แตกต่างกัน จึงทำการทดสอบต่อด้วยวิธีการเปรียบเทียบพหุคูณ โดยใช้วิธีทดสอบแบบ Tukey's HSD test

ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่ ด้วยวิธี Tukey's HSD test

w	Mean	Difference of Means					
		50	60	70	80	90	100
40	-0.256	0.060 (.906)	0.215 (.001*)	0.184 (.010*)	0.208 (.002*)	0.276 (.000*)	0.225 (.001*)
50	-0.196	-	0.155 (.053)	0.124 (.212)	0.148 (.077)	0.216 (.001*)	0.165 (.031*)
60	-0.041	-	-	-0.031 (.997)	-0.007 (1.000)	0.061 (.901)	0.010 (1.000)
70	-0.072	-	-	-	0.023 (.999)	0.092 (.570)	0.041 (.986)
80	-0.048	-	-	-	-	0.069 (.840)	0.018 (1.000)
90	0.020	-	-	-	-	-	-0.051 (.956)
100	-0.031	-	-	-	-	-	-

\*p-value < .05

จากผลการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ พบว่า อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงที่ไกลจากช่องทางเดินในเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินเท่ากับ 40 เซนติเมตรมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด จากนั้นอัตราเร่งเฉลี่ยมีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อความกว้างช่องทางเดินมากขึ้น โดยเริ่มพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความกว้างช่องทางเดินเท่ากับ 60 เซนติเมตร

**ตัวแปรตาม :** อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน

**ปัจจัย :** ความกว้างช่องทางเดิน  $\in$  {40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 เซนติเมตร}

วิเคราะห์อิทธิพลของความกว้างช่องทางเดินต่ออัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน หรือช่วงระยะทาง 0-0.5 เมตรก่อนถึงช่องทางเดิน ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ โดยมีสมมติฐานหลักคือ อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดินของแต่ละความกว้างช่องทางเดินไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบ One-way Repeated Measures ANOVA ของอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน เปรียบเทียบระหว่างความกว้างช่องทางเดิน

Source	df	Adj SS	Adj MS	F-value	p-value
Within groups	16	8.1545	0.50966	10.04	.000*
Between groups	6	0.9487	0.15811	3.12	.008*
Error	96	4.8718	0.05075		
Total	118	13.9750			

จากตารางข้างต้น พบว่า ค่านัยสำคัญของความแปรปรวนระหว่างกลุ่มนั้นต่ำกว่า 0.05 ( $p$ -value < .05) จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า มีอัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดินอย่างน้อย 2 เงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินที่แตกต่างกัน จึงทำการทดสอบต่อด้วยวิธีการเปรียบเทียบพหุคูณ โดยใช้วิธีทดสอบแบบ Tukey's HSD test

ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่ ด้วยวิธี Tukey's HSD test

w	Mean	Difference of Means					
		50	60	70	80	90	100
40	-0.090	-0.016 (1.000)	-0.133 (.600)	-0.060 (.987)	-0.195 (.164)	-0.238 (.042*)	-0.205 (.121)
50	-0.106	-	-0.118 (.731)	-0.044 (.998)	-0.179 (.248)	-0.222 (.072)	-0.190 (.188)
60	-0.224	-	-	0.074 (.962)	-0.061 (.985)	-0.104 (.826)	-0.072 (.967)
70	-0.150	-	-	-	-0.135 (.587)	-0.178 (.252)	-0.146 (.495)
80	-0.285	-	-	-	-	-0.043 (.998)	-0.011 (1.000)
90	-0.328	-	-	-	-	-	0.033 (1.000)
100	-0.295	-	-	-	-	-	-

\*p-value < .05

จากผลการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ พบว่า อัตราเร่งเฉลี่ยในช่วงเข้าใกล้ช่องทางเดิน  
ในเงื่อนไขความกว้างช่องทางเดินเท่ากับ 40 เซนติเมตรมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด และพบความแตกต่างอย่าง  
มีนัยสำคัญเพียงคู่เดียวคือ 40-90 เซนติเมตร

.....

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสิวลี เจตธำรง เกิดวันที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ.2533 ที่จังหวัดชลบุรี สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตจากภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2554 มีประสบการณ์ทำงาน 1 ปี ที่บริษัท เรดดีแพลน เน็ต จำกัด ในตำแหน่ง Online Media Specialist และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรม ศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2556

