



สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าและพื้นดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกัน

**The Friction Coefficient of Shoe Sole under Different Surface Conditions**

พิชญา พิศสุวรรณ

Pichaya Pitsuwan

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและระบบ  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

**Prince of Songkla University**

**2553**

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



ชื่อวิทยานิพนธ์	สัมประสิทธิ์ความเสียหายของพื้นรองเท้าและพื้นเดิน ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกัน
ผู้เขียน	นางสาวพิชญา พิศสุวรรณ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ
ปีการศึกษา	2552

### บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องสัมประสิทธิ์ความเสียหายของพื้นรองเท้าและพื้นเดิน ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกัน มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมในการเดินที่ส่งผลต่อการลดการลื่นล้มเมื่อใช้พื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติโดยทำการออกแบบและสร้างเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายให้สามารถปรับค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้คือ มุมเท้า แรงในแนวตั้ง และความเร็วในการลื่นไถล ในการวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เครื่องกักฝุ่นเวอร์แซลร่วมกับอุปกรณ์วัดแรงกักที่ส่งข้อมูลไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการประมวลผล จัดเก็บ และแสดงผล ได้ทำการทดลองผลิตพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติ และนำไปดำเนินการทดลองทั้งสิ้น 1,080 สภาวะโดยตัวแปรอิสระในการทดลองมี 3 ปัจจัย คือ 1) ชนิดของพื้นรองเท้า (6 ชนิด คือ ยางธรรมชาติสูตรแข็ง ยางธรรมชาติสูตรอ่อน ยางธรรมชาติจากห้องตลาด NBR ลาย A NBR ลาย B และ NBR ลาย C) 2) ชนิดของพื้นทางเดิน (3 ชนิด คือ พื้นปูนขัดหยาบ หินขัดหยาบ และกระเบื้อง) 3) สภาวะของพื้นทางเดิน (4 สภาวะ คือ พื้นแห้ง พื้นเปียกน้ำ พื้นเปื้อนน้ำมัน และพื้นเปื้อนน้ำสบู่) และตัวแปรตาม คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย ข้อมูลจากการทดลองถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยเทคนิค ANOVA พบว่าปัจจัยทั้ง 3 คือ ชนิดของพื้นรองเท้า ชนิดของพื้นทางเดิน และสภาวะของพื้นทางเดินมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายอย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของพื้นรองเท้ายางธรรมชาติสูตรแข็งบนพื้นหินขัด ในสภาวะพื้นแห้งจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายที่สูงที่สุดเท่ากับ 4.11 และพื้นรองเท้ายางธรรมชาติสูตรอ่อนบนพื้นกระเบื้อง ในสภาวะพื้นเปื้อนน้ำสบู่จะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.08 ซึ่งผลจากการศึกษารั้งนี้เป็นอย่างยิ่งมีความรู้ที่สำคัญเพื่อการต่อยอดงานวิจัยในด้านยางธรรมชาติและวิศวกรรมความปลอดภัยต่อไป

<b>Thesis Title</b>	The Friction Coefficient of Shoe Sole under Different Surface Conditions
<b>Author</b>	Miss Pichaya Pitsuwan
<b>Major Program</b>	Industrial Engineering
<b>Academic Year</b>	2009

### **ABSTRACT**

This research investigated on the friction coefficient of shoe sole made from natural rubber under different surfaces conditions. The friction coefficient measuring system was designed and made for working on several parameters such as foot angle, vertical force, and slip speed. The universal milling system and force sensors were adapted to be measurement equipment. The objective of this research was to analysis the appropriated condition for walking when having shoe sole made from natural rubber. This study worked on different shoe sole pattern and different floor condition. The 1,080 combinations of experiment were performed on 3 independent variables: 1) shoe-sole type (natural-soft, natural-hard, natural-other, NBR-A, NBR-B and NBR-C, 2) floor (concrete, stone and tile) and 3) pathway-surface condition (dry, wet, oil and soap). The friction coefficient was the dependent variable. ANOVA was used to analyze all data. It was found that walking on the floor, shoe-sole and type of pathway-surface were the essential factors that affect to the friction coefficient at 0.01 significant levels. It was found that the hard formula shoe sole on dry stone floor got highest friction coefficient (4.11). On the other hand, the soft formula shoe sole on the soap tile floor gave lowest friction than the other pattern (0.08). The results obtained from this study could be applied for further research on natural rubber field or safety engineering.

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณ สังข์พงศ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิริยะ ทองเรือง กรรมการที่ปรึกษาร่วมที่กรุณาให้คำแนะนำ ช่วยแก้ปัญหา ในการทำวิทยานิพนธ์และติดตามความก้าวหน้าอยู่เสมอ ตลอดจนกรุณาตรวจทานแก้ไข วิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนศ รัตนวิไล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กลางเดือน โภชนา กรรมการสอบ และรองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธชัย บันเทิงจิตร กรรมการ ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาเป็นอาจารย์กรรมการสอบ พร้อมทั้งให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ทุก ๆ ท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนการดำเนินการวิจัยสำเร็จลุล่วงไป ด้วยดี และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความสะดวกในการ ดำเนินการวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้.

ขอกราบขอบพระคุณสมาชิกในครอบครัวพิศสุวรรณ ที่คอยช่วยเหลือ และเป็น กำลังใจมาโดยตลอด ตลอดจนทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวมา ณ ที่นี้ ที่มีส่วนช่วยเป็นกำลังใจในการทำ วิจัยและให้คำปรึกษาให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

พิชญา พิศสุวรรณ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพประกอบ	(11)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 การตรวจเอกสาร	2
1.3 วัตถุประสงค์	7
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	7
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 ทฤษฎีและหลักการ	9
2.1.1 ขงธรรมชาติ	9
2.1.2 สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	13
2.1.3 เครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	14
2.1.4 สภาวะพื้นผิวทางเดิน	18
2.1.5 พื้นรองเท้า	19
2.1.6 การเดิน	19
2.1.7 การออกแบบการทดลอง	23
3. วิธีการวิจัย	28
3.1 อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย	28
3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย	33
3.2.1 ขั้นตอนการวิจัย	33
	(6)

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 การออกแบบการทดลอง	34
3.2.3 การศึกษาลายพื้นรองเท้า	35
3.2.4 การผลิตเบ้าลายพื้นรองเท้า	38
3.2.5 การผลิตยางสำหรับทำพื้นรองเท้า	39
3.2.6 ขั้นตอนการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	45
4. ผลและการวิเคราะห์ผลการวิจัย	47
4.1 การพัฒนาเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้า	47
4.2 การศึกษาค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	52
4.3 การทดสอบหาความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้า	53
4.4 การวิเคราะห์ขั้นต้น เพื่อกำหนดค่าตัวแปรในการทดลองที่เหมาะสม	56
4.4.1 การวิเคราะห์หาลายพื้นรองเท้าลายพื้นฐานที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงสุด	56
4.4.2 การวิเคราะห์หาลายพื้นรองเท้าที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงสุด	62
4.5 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าและพื้นดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง	66
4.5.1 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติ สูตรอ่อน	67
4.5.2 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติ สูตรแข็ง	68
4.5.3 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติ (ห้องตลาด)	70
4.5.4 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย A	71
4.5.5 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย B	72
4.5.6 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย C	73
4.5.7 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	74

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5.8 สรุปผลการวิเคราะห์	80
4.6 การประเมินต้นทุนในการผลิตยางพื้นรองเท้า	82
4.7 การอภิปรายผลการทดลอง	84
5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	86
5.1 บทสรุป	86
5.2 ข้อเสนอแนะ	87
5.2.1 สำหรับผู้นำผลงานวิจัยไปใช้	87
5.2.2 สำหรับผู้ที่จะทำวิจัยต่อไป	87
บรรณานุกรม	88
ภาคผนวก	92
ก คำสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในแต่ละพื้นรองเท้า	93
ข แผนการออกแบบการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	99
ประวัติผู้เขียน	140



## รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การผลิต การส่งออก การใช้ยางธรรมชาติและสต็อกยางของประเทศไทย ปี 2545-2549	12
3.1 สูตรพื้นรองเท้าชนิดโปร่งแสง	39
3.2 สูตรพื้นรองเท้าชนิดสีค่าคุณภาพดี	40
3.3 สูตรพื้นรองเท้าชนิดสีค่าคุณภาพต่ำ	40
3.4 สูตรพื้นรองเท้า	41
3.5 สูตรพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติ	43
3.6 รายละเอียดของค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	45
4.1 ค่าของการทดสอบความคลาดเคลื่อนของระบบด้วยน้ำหนักขนาด 500 นิวตัน	55
4.2 ค่าสถิติของการทดสอบ	55
4.3 ผลการทดลองลายพื้นรองเท้าบนพื้นกระเบื้องแห้ง	56
4.4 ผลการทดลองลายพื้นรองเท้าบนพื้นกระเบื้องเปียกน้ำ	57
4.5 ตาราง ANOVA ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับพื้นรองเท้าลายพื้นฐานจากยางธรรมชาติบนกระเบื้องแห้งและเปียกน้ำ	60
4.6 ผลการทดลองพื้นรองเท้าลายผสมบนพื้นกระเบื้องแห้ง	63
4.7 ตาราง ANOVA ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับพื้น	65
4.8 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติสูตรอ่อน ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง	68
4.9 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติสูตรแข็ง ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง	69
4.10 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติ (ท้องตลาด) ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง	70
4.11 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย A ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง	71
4.12 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย B ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง	72

## รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.13 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย C ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง	73
4.14 ตาราง ANOVA ในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	77
4.15 ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้า ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง	80
4.16 การเลือกใช้พื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติให้เหมาะสมกับสภาวะของพื้นทางเดินต่าง ๆ	82
4.17 ต้นทุนทางตรงในการผลิตยางพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติสูตรอ่อนและสูตรแข็ง	82
ผก.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติสูตรอ่อน ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง	93
ผก.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติสูตรแข็ง ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง	94
ผก.3 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติ (ห้องตลาด) ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง	95
ผก.4 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย A ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง	96
ผก.5 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย B ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง	97
ผก.6 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย C ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง	98
ผข.1 แผนการออกแบบการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	99

## รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
1.1 เครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานแบบควบคุมด้วยระบบลม	5
1.2 เครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานแบบ Programmable Slip Resistance Tester	6
2.1 การเชื่อมโยงโมเลกุล	10
2.2 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางแห้ง	11
2.3 แผนภาพสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	13
2.4 เครื่องวัดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานแบบเจมส์แมชชีน	15
2.5 รูปแบบลายรองเท้าพื้นฐาน	19
2.6 จังหวะและคาบของการก้าวเดินปกติ	20
2.7 จังหวะของการก้าวเดินปกติ	20
2.8 คาบเวลาและจังหวะของการก้าวเดินปกติ	21
2.9 ความยาวก้าวความกว้างของการก้าวและมุมเท้า	21
2.10 มุมเท้า (Foot Angles ( $\gamma$ ))	22
2.11 มุมส้นเท้า ( $\theta$ )	22
2.12 มุมเอียงเท้า ( $\beta$ )	23
2.13 ตัวแบบของการทดลองแบบ 2 และ 3 ปัจจัย	26
3.1 เครื่องบดแบบสองลูกกลิ้ง	28
3.2 เครื่องบดผสมระบบปิด	29
3.3 เครื่องอัดขยงให้คงรูป	30
3.4 เครื่องกัดลาย CNC Engraving plotter	30
3.5 เครื่องกัดยูนิเวอร์แซล	31
3.6 อุปกรณ์วัดแรงกด	32
3.7 เครื่องขยายสัญญาณ	32
3.8 เครื่องแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล	33
3.9 ชนิดของพื้นรองเท้า	35
3.10 ชนิดของพื้นทางเดิน	35
3.11 ลายพื้นรองเท้าลาย A	36

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
3.12 ลายพื้นรองเท้าลาย B	36
3.13 ลายพื้นรองเท้าลาย C	37
3.14 รูปแบบลายรองเท้าพื้นฐาน	37
3.15 การกัคลายพื้นรองเท้า	38
3.16 ลายพื้นรองเท้าที่กัคเสร็จ	39
3.17 เบ้าสำหรับอัดยางพื้นรองเท้า	39
3.18 ขั้นตอนการบดยาง	42
3.19 ยางที่ผสมสารเคมี	43
3.20 ยางที่ผสมสารเคมีต่าง ๆ เสร็จแล้ว	44
3.21 ยางที่ผ่านการขึ้นรูป	44
4.1 แผนผังเครื่องวัดสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพื้นรองเท้าที่พัฒนาประยุกต์	47
4.2 องค์ประกอบของเครื่องวัดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้า	48
4.3 แทนเครื่องของเครื่องกักยูนิเวอร์แซล	49
4.4 อุปกรณ์วัดแรงกัค	50
4.5 เท้าจำลอง	50
4.6 แผ่นวางพื้นทางเดิน	51
4.7 เครื่องวัดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าที่ใช้จริง	51
4.8 กราฟการสำรวจวัสดุที่ใช้ทำพื้น โรงงานและสภาพของพื้นทางเดินจาก 100 โรงงาน	53
4.9 ปรับค่า โปรแกรมเก็บรวบรวมข้อมูล (DEWESoft)	54
4.10 ลายพื้นรองเท้า	56
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับพื้นรองเท้าลายพื้นฐานจาก ยางธรรมชาติบนกระเบื้องแห้ง	57
4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับพื้นรองเท้าลายพื้นฐานจาก ยางธรรมชาติบนกระเบื้องเปียกน้ำ	58
4.13 Residual Plots for coefficient	59
4.14 ผลกระทบหลัก (Main Effects) ระหว่างพื้นรองเท้าลายพื้นฐานและสถานะของพื้นทางเดิน	61

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4.15 ผลกระทบ (Interaction) ระหว่างพื้นรองเท้าลายพื้นฐานและสภาวะของพื้นทางเดิน	62
4.16 ลายผสมพื้นรองเท้า	63
4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับพื้นรองเท้าลายผสมบนกระเบื้องแข็ง	63
4.18 Residual Plots for coefficient	64
4.19 ผลกระทบหลัก (Main Effects) ของพื้นรองเท้าลายผสม	66
4.20 ผลการทดลองตัวอย่างของโปรแกรม DEWESoft บนสภาวะยางธรรมชาติสูตรแข็ง พื้นปูนขัด และเบื่อน้ำมัน	67
4.21 กราฟค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าและพื้นเดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างของพื้นรองเท้าสูตรอ่อน	68
4.22 กราฟค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าและพื้นเดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างของพื้นรองเท้าสูตรแข็ง	69
4.23 กราฟค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้า ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติ (ท้องตลาด)	70
4.24 กราฟค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้า ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย A	71
4.25 กราฟค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้า ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย B	73
4.26 กราฟค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้า ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย C	74
4.27 Residual Plots for coefficient	76
4.28 ผลกระทบหลัก (Main Effects) กับปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	78
4.29 ผลกระทบ (Interaction) ระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	80

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มา

จากข้อมูลของ The US National Safety Council พบว่ามีผู้เสียชีวิตจากการเกิดอุบัติเหตุทั้งหมดประมาณ 101,500 รายต่อปี ซึ่งเป็นสาเหตุจากการลื่นล้มประมาณ 16,000 รายต่อปี (US National Safety Council, 2004) และจากข้อมูลของสำนักงานประกันสังคมของประเทศไทย ซึ่งมีผู้ประกันตนในปี พ.ศ. 2550 ทั้งหมด 9,182,170 ราย พบว่ามีผู้ประสบอันตรายเนื่องจากสาเหตุการลื่นล้มจำนวน 6,423 ราย และผู้ประกันตนในปี พ.ศ. 2551 ทั้งหมด 9,278,813 ราย พบว่ามีผู้ประสบอันตรายเนื่องจากสาเหตุการลื่นล้มจำนวน 6,591 ราย (กองวิจัยและพัฒนาสำนักงานประกันสังคม, 2552)

ด้วยปัญหาการลื่นล้มจากข้อมูลของสำนักงานประกันสังคม และ US National Safety Council และจากงานวิจัยของนิธิพงศ์ วิไลพันธุ์ พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อความปลอดภัยในการเดินในสถานที่ทำงาน ได้แก่ ชนิดของพื้นทางเดิน และชนิดของพื้นรองเท้า รวมไปถึงสภาพของพื้นทางเดิน (นิธิพงศ์ วิไลพันธุ์ และยุทธชัย บรรเทึงจิตร, 2550) นอกจากนี้ยังพบว่าพื้นรองเท้าที่ใช้ในการทำงาน (รองเท้าไนริล) ส่วนใหญ่ทำมาจากยางสังเคราะห์ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551) ซึ่งปริมาณการนำเข้าในแต่ละปีมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในปี 2549 มีจำนวนนำเข้าสูงถึง 332,488 ตัน

ทั้งนี้ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติมากที่สุดในโลกโดยมีศักยภาพการผลิตยางปีละประมาณ 3 ล้านตัน ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในอุตสาหกรรมผลิตยางพารา ยานพาหนะเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้ยางมากที่สุด รองลงมาเป็นอุตสาหกรรมผลิตถุงมือ ยางรัดของ และรองเท้า อย่างไรก็ตามสัดส่วนปริมาณการใช้ยางธรรมชาติต่อปริมาณการผลิตยางของประเทศไทยยังคงมีสัดส่วนเพียงร้อยละ 10-11 เท่านั้น (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2553)

ยางพาราเป็นวัตถุดิบในการผลิตยางธรรมชาติที่สำคัญในอุตสาหกรรมและยังเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย รัฐบาลและหน่วยงานต่าง ๆ จึงให้ความสนใจในการเพิ่มมูลค่าของยางพารา มีความพยายามในการพัฒนาอุตสาหกรรมยางพารา ซึ่งความเป็นจริงในการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตสินค้าหรือให้บริการทั่วไปเพื่อความพึงพอใจของลูกค้า สำหรับกรณีของ

อุตสาหกรรมยางพาราซึ่งเป็นอุตสาหกรรมสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อประชากรของประเทศไทยไม่น้อยกว่า 6 ล้านคนนั้น พบว่าการพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่ยางพาราเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง จากข้อมูลเกี่ยวกับเทคโนโลยีที่ผ่านมามีการซื้อเทคโนโลยีหรือการลอกเลียนแบบเพราะเป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวกกว่าการค้นคว้าวิจัย และถ้าหากเป็นเช่นนั้นการผลิตสินค้ายางก็จะใช้ยางสังเคราะห์เป็นวัตถุดิบหลัก นอกจากนั้นยังเป็นการลดความสำคัญของยางพาราลงไปด้วย (วารสารวิชาการไชยกุล, 2551)

จากการศึกษาเบื้องต้น ยางพาราสามารถพัฒนาให้มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะเป็นพื้นรองเท้าที่มีคุณภาพได้ ซึ่งคุณสมบัติหลักของพื้นรองเท้าก็คือความปลอดภัยในการเดิน โดยตามงานวิจัยของ Perkins พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าที่ปลอดภัยต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.28 (Perkins, 1978)

ในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติ ภายใต้อุณหภูมิที่ต่างกัน เมื่อใช้พื้นยางธรรมชาติเป็นพื้นรองเท้าซึ่งเป็นข้อมูลเบื้องต้นในด้านความปลอดภัย และสามารถเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปศึกษาวิจัยในการพัฒนาพื้นรองเท้ายางธรรมชาติให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

## 1.2 การตรวจเอกสาร

พรรษา อุดลยธรรม และคณะ (2550) ทำการวิจัยการใช้สารเคมีที่เหมาะสมในการผลิตยาง จากการศึกษพบว่าโอกาสในการปนเปื้อนสารอันตรายในน้ำยางสดจากในสวนจะเกิดขึ้นจากการใช้สารเคมีรักษาโรคที่เกิดกับหน้ากรีด ซึ่งการระบาดของโรคบนหน้ากรีดพบน้อย การใช้สารลดน้ำยางที่ปลอดภัยแนะนำให้ใช้ แอมโมเนีย 0.4% ร่วมกับ สารลดน้ำยาง SS<sub>0</sub> และ ZnO ที่ระดับ 0.025% + 0.025% การเติมซิลิกาเพื่อลดปริมาณ โปรตีนในน้ำยางสด ทำให้ประสิทธิภาพสารลดน้ำยางลดลง หากเติมในน้ำยางข้นทำให้ความคงตัวน้ำยางต่ำกว่าขีดจำกัดมาตรฐาน ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีไนโตรซามีนต้องเลือกใช้สารเคมีผสมยางที่ไม่อยู่ในกลุ่มที่สลายตัวเป็นทุติยภูมิ อามีน และเกิดเป็นไนโตรซามีน ผลิตภัณฑ์ยางสัมผัสอาหารจัดเป็นวัสดุสัมผัสอาหารซึ่งต้องผลิตจากส่วนประกอบที่อนุญาตให้ใช้สัมผัสกับอาหารได้

นุชนาฏ ฌ ระนอง และคณะ (2550) ทำการศึกษาเทคโนโลยีการผลิตยางผสมจากยางธรรมชาติ ให้เหมาะสมกับการใช้งานให้กว้างขวางขึ้น โดยการนำยางธรรมชาติ มาผสมกับยางสังเคราะห์ที่มีสมบัติเด่นต่าง ๆ กันงานวิจัยนี้ศึกษาการใช้ยางธรรมชาติมาผสมกับยางสังเคราะห์ และพอลิเมอร์อื่น 4 ชนิด คือ NBR EPDM พอลิพรอพิลีน (PP) และพอลิเอทิลีน (PE) ใช้วิธีการ

บุคคลโดยใช้แรงกล ยางธรรมชาติมีสมบัติทนต่อแรงดึงสูง ส่วนยาง NBR มีสมบัติทนน้ำมัน จึงนำยางทั้งสองชนิดมาผสมกัน เมื่อพิจารณาสมบัติทางกายภาพพื้นฐานที่เกี่ยวกับความทนแรงดึงพบว่า ยางธรรมชาติมีอิทธิพลมากกว่า ดังนั้นในทางกลับกัน หากต้องการใช้ผลิตภัณฑ์จากยางสังเคราะห์ที่ต้องการความทนต่อแรงดึงสูงขึ้น ก็สามารถใช้ยางธรรมชาติลงไปผสมได้ การผสมยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์แต่ละชนิด จะมีวิธีการที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมี ความหนืดของยางและปริมาณที่ใช้ในยางผสม การผสมในสัดส่วนต่าง ๆ จะทำให้ยางผสมมีสมบัติหลากหลายสามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับการใช้งานตามที่ต้องการได้

มณีนรัตน์ ปัจฉิมะศิริ และคณะ (2550) ทำการศึกษาขนาดเท้าของคางคกไทยในอุตสาหกรรม ได้ทำการวัด เปรียบเทียบ และแบ่งประเภท ศึกษาจากคางคกไทยในอุตสาหกรรม จำนวน 1,007 คน โดยใช้สายวัด เครื่องมือวัดขนาด เวอร์เนียงคาลิเปอร์แบบดิจิตอล และเวอร์เนียงไฮเกจ ข้อมูลที่วัดได้แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 และ 95 เปรียบเทียบขนาดของเท้าชายและหญิง จำนวน 32 สัดส่วน สรุปได้ว่า ขนาดเท้าของชายโตกว่าหญิงทุกสัดส่วน และสามารถแบ่งประเภทเท้าได้ 4 ประเภท คือ เท้าสั้นป้อม เท้าเรียวยาว เท้าเล็ก และเท้าใหญ่

นิธิพงษ์ วิไลพันธุ์ และคณะ (2550) การศึกษาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกัน โดยเก็บข้อมูลผ่านแบบสำรวจจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้พื้นรองเท้าที่นิยมใช้มากที่สุด 3 ประเภท คือ พื้นยางอ่อน พื้นยางแข็ง และพื้นพีวีซี และได้พื้นทางเดินที่นิยมมากที่สุด 3 ประเภท คือ พื้นปูนขัด พื้นหินขัด และพื้นกระเบื้อง สำหรับสภาวะของพื้นทางเดินที่เป็นอยู่ในโรงงานมากที่สุด 3 ประเภท คือ สภาวะแห้ง สภาวะเปียกน้ำ และสภาวะเปื้อนน้ำมัน จากข้อมูลได้นำมาจำลองใช้กับเครื่องทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน โดยใช้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC) ซึ่งระบบควบคุมจะทำการส่งค่าสัญญาณไฟฟ้าให้ทำการปรับค่ามุมต่าง ๆ แล้วกดแรงลงบนแผ่นรับแรง และแปลงค่าแรงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ขยายสัญญาณที่ชุด Amplifier แล้วแยกสัญญาณ โดยส่งไปยังคอมพิวเตอร์ชุดโปรแกรม PLC ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ ที่กำหนดคือ มุมสั้นเท้า  $7^{\circ}$  มุมเท้า  $15^{\circ}$  แรงในแนวตั้ง  $500 \pm 25$  N และความเร็วในการเคลื่อนไถล 30 เซนติเมตรต่อวินาที ในแต่ละการทดลองของปัจจัยพื้นรองเท้าแต่ละชนิดจะมีการทำซ้ำชนิดละ 5 ครั้ง ซึ่งผลการทดลองสรุปได้ว่า (1) พื้นทางเดินปูนขัด ถ้าสภาวะแห้ง รองเท้าพื้นยางแข็งให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงสุด 0.734 แต่ถ้าสภาวะเปียกน้ำ รองเท้าพื้นยางอ่อนให้ค่าสูงสุด 0.437 สภาวะเปื้อนน้ำมัน รองเท้าพื้นพีวีซีให้ค่าสูงสุด 0.083 (2) พื้นทางเดินหินขัด ถ้าสภาวะแห้ง รองเท้าพื้นยางแข็งให้ค่าสูงสุด 0.755 แต่ถ้าสภาวะเปียกน้ำ รองเท้าพื้นพีวีซีให้ค่าสูงสุด 0.473 สภาวะเปื้อนน้ำมัน รองเท้าพื้นพีวีซีให้ค่าสูงสุด 0.095 (3) พื้นทางเดินกระเบื้อง ถ้าสภาวะแห้ง



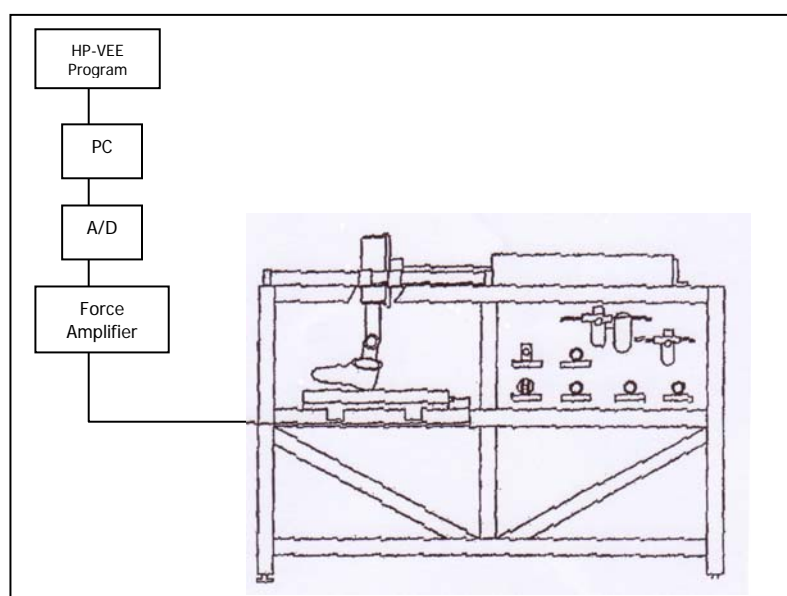
รองเท้าพื้นยางอ่อนให้ค่าสูงสุด 0.354 แต่ถ้าสภาวะเปียกน้ำ รองเท้าพื้นยางอ่อนให้ค่าสูงสุด 0.468 สภาวะเปื้อนน้ำมัน รองเท้าพื้นพีวีซีให้ค่าสูงสุด 0.076

สุเมธ ธารจินดาวงศ์ และคณะ (2546) ทำเรื่องการออกแบบและสร้างเครื่องวัดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้า โดยใช้ระบบนิวเมติกและควบคุมด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC) ซึ่งพัฒนามาจาก เซียรศักดิ์ (เซียรศักดิ์ ชูชีพ และยุทธชัย บรรเทึงจิตร, 2543) และใช้แผ่นรับแรงเป็นตัวรับสัญญาณของแรงที่เกิดขึ้น และส่งค่าที่ได้ไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน หลังจากสร้างเครื่องเสร็จได้ทำการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน โดยใช้พื้นทางเดิน 3 ชนิด คือ พื้นปูนขัด พื้นไวนิล และพื้นสแตนเลส พื้นรองเท้า 2 ชนิด คือ พื้นรองเท้าพีวีซี และพื้นรองเท้าตามมาตรฐาน มอก. 523-2528 ในสภาพพื้นแห้ง เปียกน้ำสบู่ และเปื้อนน้ำมัน (SAE 40) ตัวแปรที่ใช้ตั้งเครื่องมีดังนี้ มุมส้นเท้า 15 องศา แรงในแนวตั้ง 80 นิวตัน และความเร็วในการเลื่อนไถล 20 เซนติเมตรต่อวินาที ซึ่งมีการทดลอง 18 การทดลอง และทำซ้ำ 5 ครั้ง ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้จากการทดลองนี้ นำไปเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองด้วยเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานแบบโปรแกรมเมเบิลสลิปรีซิสแตน เทสเตอร์ (PSRT) โดยใช้สถิติ t ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงสรุปได้ว่าเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่สร้างขึ้นนี้ให้ค่าที่เชื่อถือได้

นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร และคณะ (2543) ทำการศึกษาตัวแปรในการเดินปกติของมนุษย์ เพื่อที่จะหาตัวแปรที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้กับเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเมื่อทำการสวมรองเท้านิรภัยมาตรฐาน มอก. 523-2528 ที่การเดินด้วยความเร็วปกติในทางเดินที่แห้งสะอาด และศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและมุมของการสัมผัสของเท้ากับพื้น คือมุมส้นเท้า มุมเท้ากับระนาบของการเดิน และมุมข้างเท้า ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

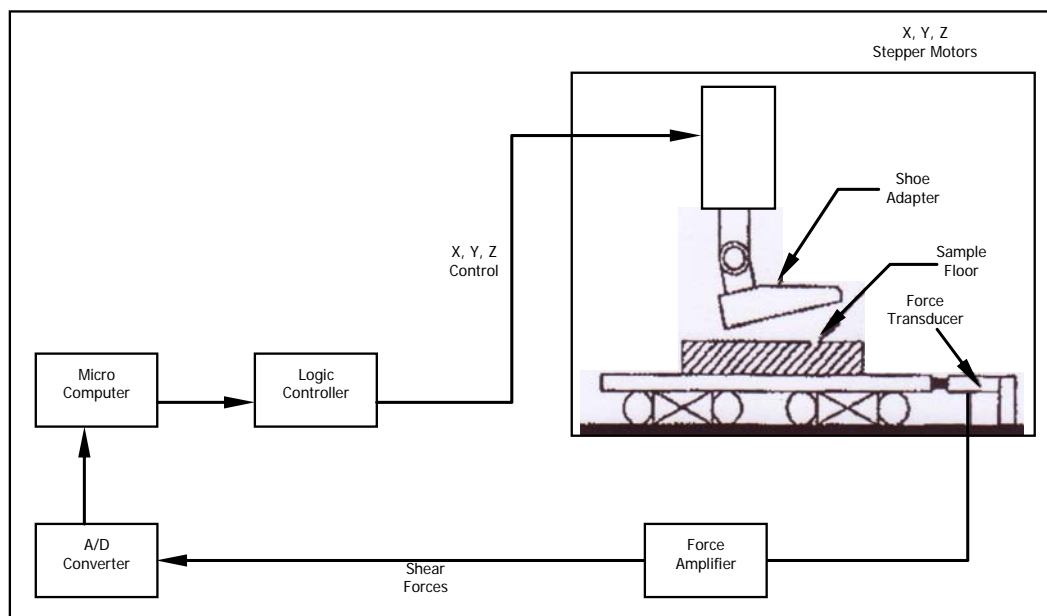
เซียรศักดิ์ ชูชีพ และคณะ (2543) ทำการพัฒนาและประยุกต์ใช้เครื่องวัดสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน สำหรับพื้นทางเดินและพื้นรองเท้า เป็นการทำงาน โดยใช้ระบบนิวเมติกในการควบคุม ลักษณะการทำงานเป็นการควบคุมด้วยระบบนิวเมติก และมีการประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ HP-VEE โดยที่ค่าที่ได้จากแรงกดและแรงเสียดทานที่กระทำบนแผ่นรับแรงจะทำการส่งสัญญาณอากาศออก เข้ามายังตัวขยายสัญญาณและแปลงสัญญาณจากอากาศ ไปเป็นสัญญาณดิจิตอล และนำค่าที่ได้ขึ้นไปคำนวณและแสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์ ดังในภาพที่ 1.1 โดยใช้รองเท้านิรภัย 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีพื้นพีวีซี และพื้นยาง สำหรับพื้นทางเดินมี 3 ชนิด คือ พื้นสแตนเลส พื้นหินอ่อน และพื้นซีเมนต์ สภาพพื้นทางเดินมี 4 สภาพ คือ แห้ง เปียกน้ำ เปียกน้ำ

สบู่ และชโลมน้ำมันเครื่อง ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนชี้ให้เห็นว่าปัจจัยทั้งหมด ได้แก่ ค่าที่ตั้งของเครื่องทดสอบ รองเท้าพื้น และ สภาพพื้นทางเดิน มีผลกระทบต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) จากผลการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่าในกรณีที่สภาพพื้นแห้งทั้ง รองเท้าพื้นพีวีซี และพื้นยางให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูง โดยที่รองเท้าพื้นยางให้ค่าสูงกว่าสำหรับทุกๆ พื้นทางเดิน แต่ถ้าสภาพพื้นเปียกน้ำ รองเท้าพีวีซีให้ค่าต่ำ โดยที่รองเท้าพื้นยางยังคงให้ค่าที่สูง แต่เมื่อสภาพพื้นเปียกน้ำสบู่ทั้งรองเท้าพื้นพีวีซีและพื้นยางให้ค่าที่ต่ำ ในกรณีสภาพพื้นชโลมน้ำมันไม่มีพื้นรองเท้าใดที่ให้ค่าที่ปลอดภัยสำหรับการเดินได้ ในกรณีที่สภาพพื้นเปียกน้ำสบู่ชโลมน้ำมันพื้นซีเมนต์จะให้ค่าสูงกว่าพื้นอื่น ๆ อีก 2 ชนิดที่ทดลอง



ภาพที่ 1.1 เครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานแบบควบคุมด้วยระบบลม (เชิยรศักดิ์ ชูชีพ และ ยุทธชัย บันเทิงจิตร, 2543)

เครื่อง Programmable Slip Resistance Tester เป็นโครงการพัฒนาเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานทางพลวัตของรองเท้ากับพื้นทางเดิน โครงการทำการทดสอบโดยใช้การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับการลื่นไถล ซึ่งเครื่องสามารถทำงานได้โดยใช้การควบคุมด้วยระบบการควบคุมแบบ Logic Controller และตัวขับเคลื่อนที่ก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวตั้งและแนวนอนใช้ Stepping Motor เป็นตัวควบคุม เมื่อมีการกดและการเคลื่อนที่ของเท้าจำลองบนแผ่นรับแรง จะเกิดแรงเพิ่มขึ้นและค่าที่เกิดขึ้นจะถูกส่งไปยังคอมพิวเตอร์และทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานออกมา แสดงดังภาพที่ 1.2 (Redfern and Bidanda, 1994)



ภาพที่ 1.2 เครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานแบบ Programmable Slip Resistance Tester

(Redfern and Bidanda, 1994)

เครื่อง Hydraulic-power System เป็นโครงการที่พัฒนาโดยนักวิจัยในฟินแลนด์ปี 1989 ซึ่งลักษณะการเคลื่อนที่ของเท้าจำลองจะถูกทำการควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ และสั่งการไปยัง วาล์วควบคุม แล้วปล่อยแรงดันน้ำมันไปยังกระบอกไฮดรอลิก ทำให้เกิดการกดและเกิดแรงขึ้น คือ แรงเสียดทาน ( $F_u$ ) แรงกด ( $F_n$ ) และอัตราส่วนของแรงเสียดทาน/แรงกด ซึ่งอัตราส่วนของแรงนี้เป็น การวัดที่เกิดขึ้นจากแรงทั้งสองแรงที่กระทำบนแผ่นรับแรง (Gronvist et al., 1989)

University of New South Wales ได้เริ่มโครงการช่วงต้นทศวรรษ 1980 โดยการ นำเอาไหลดเซลของ Kisler มาใช้ในการวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ซึ่งทำให้สามารถวัดค่าได้ โดยตรงเมื่อมีแรงมากระทำกับไหลดเซลและได้มีการนำไปใช้ในการทดสอบมีการรายงานผลโดย Hoang and Stevenson (1981) ต่อมาได้มีการพัฒนาเครื่องวัดในทางกลโดยการเพิ่มการ Rigid ของ แกนในแนวแกนตั้งเพื่อเป็นการควบคุมความเร็วในการเดิน และได้นำระบบไฮดรอลิกมาใช้สำหรับการเคลื่อนที่ โดยลักษณะการเคลื่อนที่เป็นแบบ Pendulum โดยเป็นการจำลองเมื่อส้นเท้าเกิดการลื่น ในขณะที่กระบอกในแนวตั้งเป็นการจำลองน้ำหนักของร่างกายที่กดลงพื้นแรงในการผลักสามารถ ควบคุมได้โดยการใช้วาล์วควบคุมการไหล และเมื่อมีแรงกระทำลงยังไหลดเซล แล้วส่งค่า สัญญาณไฟฟ้าที่ Dynamometer และ Angular โดยอาศัยค่าความต้านทานไฟฟ้าไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการคำนวณค่าแรงและหาค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน (Stevenson et al. 1989)

จากผลการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย ได้มีการทำการศึกษาอย่างกว้างขวางขึ้น เนื่องจากสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุการลื่นล้ม การเจ็บป่วย และต้องสูญเสียทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการรักษา และเนื่องจากยังไม่มียานวิจัยใดที่เผยแพร่เรื่องของค่าสัมประสิทธิ์ของพื้นรองเท้าจากธรรมชาติเมื่อใช้งานในสภาพพื้นทางเดิน พื้นรองเท้าและลายพื้นรองเท้าที่แตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลนี้จะส่งผลต่อการผลิตรองเท้าที่ปลอดภัยในอนาคต

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาสัมประสิทธิ์ความเสียหายของพื้นรองเท้าและพื้นเดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง โดยตั้งสมมติฐานงานวิจัยว่าพื้นยางรองเท้าจากยางธรรมชาติ มีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะทำพื้นรองเท้าได้ดี แต่ยางธรรมชาติจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายที่แตกต่างกันในสภาวะพื้นผิวและปัจจัยองค์ประกอบหลักที่แตกต่างกัน

### 1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์สภาวะและลักษณะที่เหมาะสมของพื้นที่ส่งผลต่อการลดการลื่นล้มจากการเดินเมื่อใช้พื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติ

### 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ทำการศึกษาเฉพาะคุณสมบัติในด้านความปลอดภัยของพื้นรองเท้าในแง่ของสัมประสิทธิ์ความเสียหายเท่านั้น โดยกำหนดตัวแปรในการทดลอง คือ

- ชนิดของพื้นรองเท้า 6 ชนิด คือ 1) ยางธรรมชาติสูตรแข็ง (40.4 shore A), 2) ยางธรรมชาติสูตรอ่อน (32.3 shore A), 3) ยางธรรมชาติ (ห้องตลาด), 4) NBR ลาย A, 5) NBR ลาย B และ 6) NBR ลาย C
- ชนิดของพื้นทางเดิน 3 ชนิด คือ 1) ปูนขัด, 2) หินขัด และ 3) กระเบื้อง
- สภาวะพื้นทางเดิน 4 สภาวะ คือ 1) แห้ง, 2) เปียกน้ำ, 3) เปื้อนน้ำมัน และ 4) เปื้อนน้ำสบู่

โดยในแต่ละการทดลอง มีการทำซ้ำสภาวะละ 15 ครั้ง

#### นิยามศัพท์เฉพาะ

พื้นรองเท้า คือ ส่วนล่างของรองเท้าที่สัมผัสกับพื้นทางเดิน

พื้นทางเดิน คือ พื้นผิวที่ใช้สัญจรด้วยการเดินที่พื้นรองเท้าส่วนล่างสัมผัสลง

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าและพื้นเดิน ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกัน
2. ได้เครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าโดยพัฒนาปรับปรุงจากอุปกรณ์วัดแรงกีดของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
3. ได้ข้อมูลทางด้านความปลอดภัยในการทำงาน เมื่อต้องการพัฒนายางธรรมชาติสำหรับทำพื้นรองเท้า

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเรื่องสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าและพื้นดินภายใต้สถานะพื้นผิวที่แตกต่างกัน จะทำการศึกษาในเรื่องของวัสดุที่จะนำมาผลิตพื้นรองเท้า เพื่อนำมาวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ภายใต้สถานะพื้นผิวต่าง ๆ กัน ดังนั้นในการวิจัยนี้ได้มีการศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

#### 2.1 ทฤษฎีและหลักการ

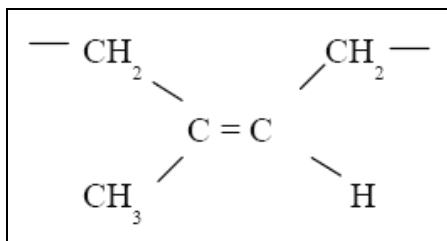
ในการศึกษาเรื่องสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าและพื้นดินภายใต้สถานะพื้นผิวที่แตกต่างกัน จะทำการศึกษาในเรื่องของยางธรรมชาติที่จะใช้ในการผลิตพื้นรองเท้า ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน เครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน สถานะพื้นผิวทางเดิน และพื้นรองเท้า รวมไปถึงปัจจัยด้านความปลอดภัย ได้แก่ การเดิน สภาพพื้นผิวต่อการเดิน และการลื่นไถลขณะเดิน ดังจะกล่าวต่อไป

##### 2.1.1 ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบในกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยหน่วยย่อยชนิดเดียว มีสมบัติที่สำคัญคือ ความยืดหยุ่น โครงสร้างทางเคมีของหน่วยย่อยของยางธรรมชาติประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม ( $C_5H_8$ ) มีชื่อทางเคมีว่า ไอโซพรีน (isoprene) หน่วยย่อยดังกล่าวเมื่อเกิดการเชื่อมโยงเป็น โมเลกุลจะเรียงตัวกันในแบบ cis- 1, 4 Configuration ดังแสดงในภาพที่ 2.1 ยางธรรมชาติจึงมีชื่อทางเคมีว่า polyisoprene มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ประมาณหนึ่งล้านขึ้นไป ซึ่งพืชที่ให้น้ำยางที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงการค้าคือ ยางธรรมชาติที่ได้จากพืชสกุล Hevea หรือที่เรียกว่า ยางพารา และยางวายุเล่ (Guayule) (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2553)

น้ำยางสดจากต้นยางพารามีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีม โดยมีอนุภาคยางแขวนลอย อยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ อนุภาคยางมีรูปร่างกลมหรือรูปลูกแพร์ มีขนาด 0.05-5

ไมครอน ความหนาแน่น 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6.5-7.0 โดยทั่วไปปริมาณเนื้อยางในน้ำยางธรรมชาติอาจแปรปรวนตั้งแต่ 25 - 45%



ภาพที่ 2.1 แสดงการเชื่อมโยงโมเลกุล (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2553)

### 2.1.1.1 กระบวนการผลิตยาง

การผลิตผลิตภัณฑ์ยางในระดับอุตสาหกรรมมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ การออกแบบสูตร และเทคนิคการผลิต ในการออกแบบสูตรต้องพิจารณาถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นๆ เป็นสำคัญส่วนเทคนิคการผลิตขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการเลือกใช้เครื่องจักรในการขึ้นรูปซึ่งต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิตด้วย (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2553)

อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง แบ่งตามลักษณะวัตถุดิบที่ใช้เป็น 2 กลุ่ม คือ อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางแห้ง และ อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางน้ำยางข้น

การออกแบบสูตรผลิตภัณฑ์ ต้องพิจารณาจากสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเพื่อใช้ในการเลือกวัตถุดิบยางและส่วนผสมที่เป็นสารเคมีอื่น ซึ่งตามหลักวิชาการชนิดและคุณภาพของวัตถุดิบยางและสารเคมีดังกล่าว รวมทั้งการปรับปริมาณให้เหมาะสม ยางและสารเคมีที่ใช้ แบ่งได้เป็น 5 กลุ่ม ดังนี้

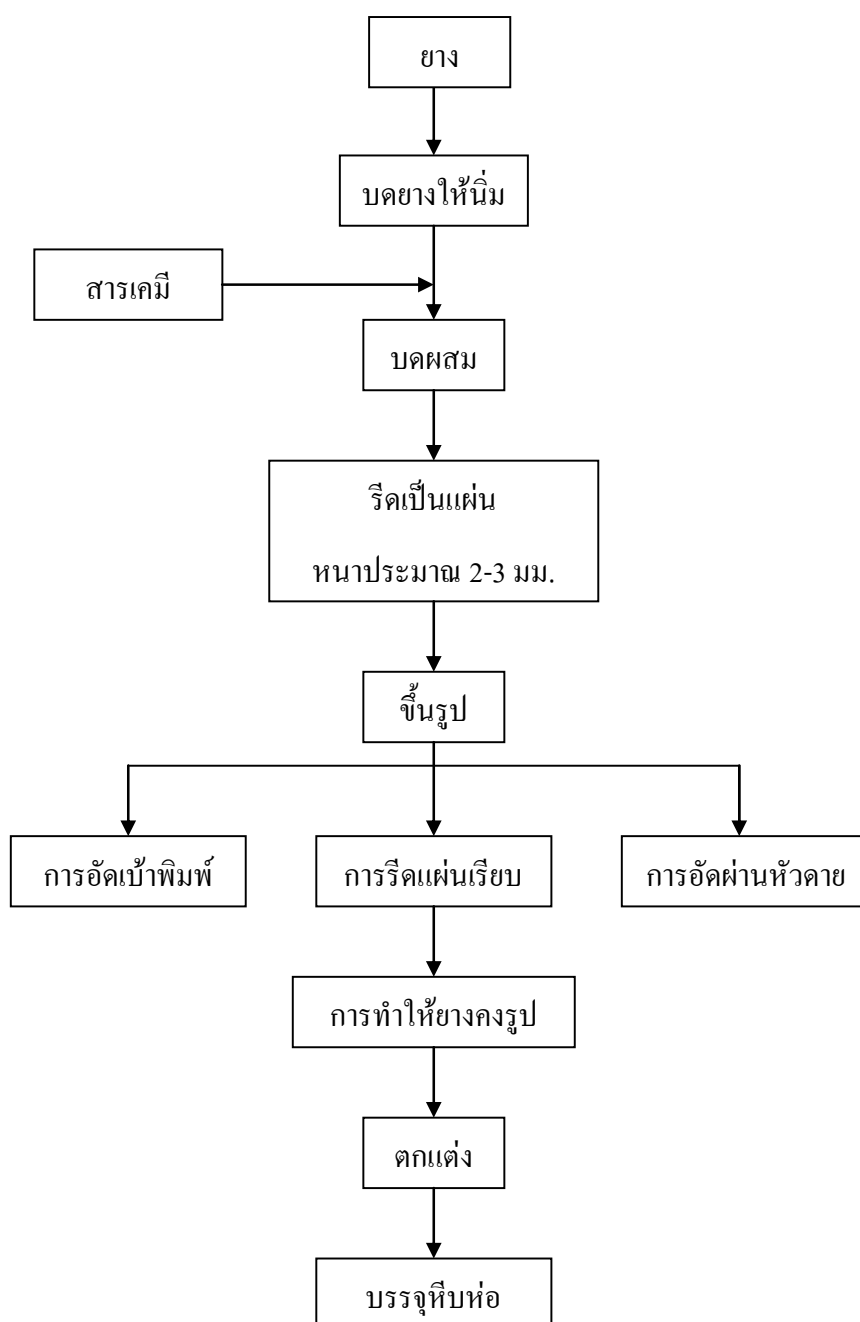
1. ยาง เช่น ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์ และ ยางผสม
2. ระบบสารทำให้ยางคงรูป เช่น กำมะถัน โลหะออกไซด์ สารกระตุ้น
3. ระบบสารป้องกันการเสื่อมสภาพ เช่น สารเคมีกลุ่มเอมีน และ ฟีนอล
4. สารตัวเติม เช่น เชม่าดำ แป้งขาวอื่น ๆ
5. สารอื่น ๆ เช่น สารช่วยกระบวนการผลิต สี สารที่ทำให้เกิดฟอง

การเลือกใช้ยางสามารถเลือกใช้จากยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์ หรือยางผสมระหว่างยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ เพื่อให้ได้สมบัติทางกายภาพที่ต้องการ

จากการศึกษาพบว่ายางดิบมีคุณสมบัติที่ยังไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์ได้ จำเป็นต้องมีการผสมยางดิบกับสารเคมีต่าง ๆ เพื่อปรับคุณสมบัติของยางให้ได้ตามความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เช่น สมบัติความยืดหยุ่น ป้องกันยางเสื่อม

อันเนื่องจาก  $O_2$  และ  $O_3$  เสริมความแข็งแรง ลดความหนืดของยางดิบ การเชื่อมติดผ้า โลหะ กระเบื้อง สี ลวดต้นทุน ฟองพูน ลดอันตรายจากการติดไฟ ฉนวนกันไฟฟ้า ตัวนำไฟฟ้ากัน ไฟฟ้าสถิต และป้องกันแบคทีเรีย เป็นต้น (แผนกวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์, 2551)

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาในส่วนของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางแห้ง โดยมีลำดับขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางแห้ง (แผนกวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์, 2551)



### 2.1.1.2 การผลิต การส่งออก และการใช้ยางในประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติมากที่สุดในโลก ศักยภาพการผลิตยางของไทยระหว่างปี พ.ศ. 2545-2549 มีปริมาณการผลิตยางเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 2,615,104 ตัน เมื่อปี 2545 เป็น 3,136,993 ตัน เมื่อปี 2549 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 19.96 (ตารางที่ 2.1) (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2553)

ตารางที่ 2.1 การผลิต การส่งออก การใช้ยางธรรมชาติและสต็อกยางของประเทศไทย ปี 2545-2549 (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2553)

ปี	การผลิต	การส่งออก	ใช้ในประเทศ	สต็อก
2545	2,615,104	2,354,416	278,355	196,680
2546	2,876,005	2,573,450	298,699	202,240
2547	2,984,293	2,637,096	318,649	232,560
2548	2,937,158	2,632,398	334,649	204,256
2549	3,136,993	2,771,673	320,885	249,895

นอกจากผลิตยางธรรมชาติได้มากเป็นอันดับหนึ่งของโลกแล้ว ประเทศไทยยังเป็นประเทศที่ส่งออกยางธรรมชาติมากที่สุดในโลกด้วย ปริมาณการส่งออกยางของไทยเพิ่มขึ้นเกือบทุกปี ในปี 2549 ปริมาณการส่งออกยางของไทยมีทั้งสิ้น 2,771,673 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2545 ที่มีปริมาณส่งออก 2,354,416 ตัน หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 17.72 ไทยมีส่วนส่งออกรายประมาณร้อยละ 40 ของการส่งออกยางทั้งหมดของโลก ส่วนใหญ่ส่งออกไปยังตลาดหลัก ได้แก่ จีน ญี่ปุ่น มาเลเซีย สหรัฐอเมริกา และเกาหลีใต้ สำหรับชนิดของยางที่ส่งออกนั้น ประมาณร้อยละ 72 ส่งออกยางแท่ง และยางแผ่นรมควัน ร้อยละ 20 ส่งออกน้ำยางข้น และที่เหลือร้อยละ 8 ส่งออกยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางเครพ ยางสกิม ยางแผ่นดิบและยางชนิดอื่น ๆ และปริมาณยางที่ส่งออกราวครึ่งหนึ่งส่งออกผ่านจังหวัดสงขลา (ท่าเรือสงขลา ด่านป่าดงเบซาร์ และด่านสะเดา)

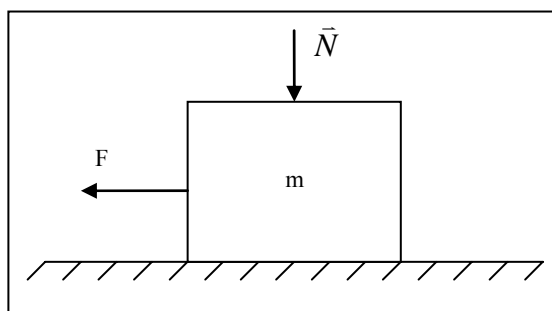
การใช้ยางธรรมชาติในประเทศไทยปี 2549 มีจำนวน 320,885 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2545 ซึ่งมีปริมาณการใช้ 278,355 ตัน ร้อยละ 15.28 เมื่อพิจารณาถึงชนิดของยางที่ใช้ในประเทศระหว่างปี 2545-2548 พบว่าชนิดของยางธรรมชาติที่ใช้ในประเทศส่วนใหญ่เป็นยางแท่ง รองลงมาเป็นน้ำยางข้นยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางชนิดอื่น ๆ และยางเครพตามลำดับ ส่วนในปี 2549 ชนิดของยางธรรมชาติที่ใช้ในประเทศส่วนใหญ่เป็นน้ำยางข้นโดยอุตสาหกรรมผลิตยางยานพาหนะ เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้ยางมากที่สุดในประเทศ รองลงมาเป็นอุตสาหกรรมผลิตถุงมือ

ยาง ยางรัดของและรองเท้า อย่างไรก็ตามสัดส่วนปริมาณการใช้ยางธรรมชาติต่อปริมาณการผลิตยางของประเทศยังคงมีสัดส่วนเพียงร้อยละ 10-11 เท่านั้น

### 2.1.2 สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต (Static Coefficient of Friction) คือ ค่าคงที่ที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวสัมผัสของวัตถุ 2 ชนิดที่มีทิศที่ขนานกันและเมื่อมีการสัมผัสที่ผิวจะเกิดการต้านทานการลื่นไถลของวัตถุชนิดนั้น ดังภาพที่ 2.3 (เมื่อมีการเริ่มการเคลื่อนที่เพื่อรองรับการลื่นไถล) ซึ่งอ้างอิงถึงแรงของแรงต้านทานมีกฎที่ใช้ในการพิจารณา 3 กฎด้วยกันดังนี้ (สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน, 2551)

1. ความเสียดทาน มีคุณสมบัติเกิดจากน้ำหนัก หรือแรงในแนวตั้งฉากที่กระทำกับพื้นสัมผัสและมีคุณสมบัติในส่วนของ การเกิดสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ( $\mu$ )
2. ความเสียดทาน ไม่ขึ้นอยู่กับหรือเป็นอิสระจากพื้นผิวสัมผัส
3. ความเสียดทาน ไม่ขึ้นกับความเร็วในการลื่นไถล



ภาพที่ 2.3 แผนภาพสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

สมการความเสียดทาน แสดงดังสมการที่ 1-1

$$F = \mu \bar{N} \quad (1-1)$$

โดยที่

$F$  คือ แรงเสียดทาน (นิวตัน)

$\mu$  คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

$\bar{N}$  คือ แรงตั้งฉากของพื้นในแนวตั้งฉาก (นิวตัน)

#### 2.1.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่เหมาะสมและปลอดภัย

ในงานวิจัยเรื่องคุณภาพของความปลอดภัยและความอันตรายจากสภาพของพื้นทางเดินและพื้นรองเท้าจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต ซึ่งได้ค่าดังนี้ คือ ถ้ามากกว่า 0.5 จะทำให้การเดินมีความปลอดภัยและ ถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.5 เป็นต้นไป

การเดินจะอยู่ในสภาพที่อันตรายมาก

ซึ่ง Perkins ได้ทำการศึกษาและแสดงให้เห็นถึงจุดแรงในขณะที่ส้นเท้าสัมผัสกับพื้นทางเดินว่าจะมีค่าเท่ากับ 0.28 สำหรับการก้าวเดินปกติ (Perkins, 1978) ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ที่ต้องการเพื่อความปลอดภัยจากการลื่นไถลได้มีการแนะนำค่าไว้ที่ 0.28 เป็นอย่างต่ำที่สุด ซึ่งพบว่าขีดจำกัดของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต มีค่ามากกว่าขีดจำกัดของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานพลวัต (Dynamic Coefficient of Friction)

จากการศึกษาของ Strandberg และ Lanshammar นั้นได้ทำการพัฒนา ซึ่งผลที่ได้คือค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานดังนี้ (1) ค่าที่มากกว่า 0.30 พบว่ามีความต้านทานการลื่นมาก (2) ค่าเท่ากับ 0.2-0.29 พบว่ามีความต้านทานการลื่น (3) ค่าที่เท่ากับ 0.15-0.19 พบว่ามีความต้านทานการลื่นไม่แน่นอน (4) ค่าที่เท่ากับ 0.05-0.14 พบว่ามีการลื่นและ (5) ค่าที่น้อยกว่า 0.05 พบว่ามีความลื่นมาก ซึ่งจากผลของงานวิจัยนี้ได้ใช้เป็นแนวทางเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานสถิตและจากการวิจัยนี้ผลที่ได้นั้นเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป (Gronqvist, 1995)

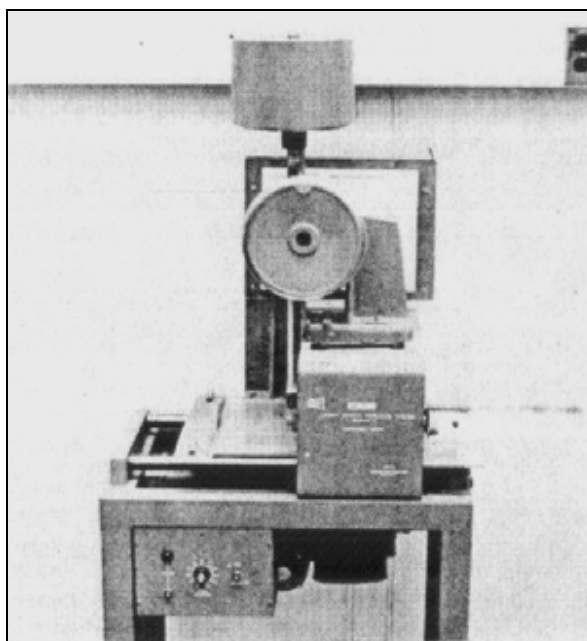
### 2.1.3 เครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

เครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้มีการสร้างและพัฒนากว่า 30 เครื่องเพื่อใช้ในการประเมินค่าการลื่นไถลซึ่งจากการศึกษาถึงรูปแบบของเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน โดย Strandberg พบว่ามีวิธีการวัดที่แตกต่างกันทั้งวิธีการวัดและการทำงานของเครื่อง (Strandberg, 1983) สำหรับรายงานการพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นรองเท้ากับพื้นทางเดินนั้นได้มีการพัฒนาจากกลุ่มต่าง ๆ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ดังนี้

เครื่องทดสอบของ James เป็นเครื่องในยุคแรก ๆ ใช้ชื่อว่า “เจมส์แมชชีน (James Machine)” แสดงในภาพที่ 2.4 ซึ่งวิธีการทำงานของเครื่องนั้นจะทำงานโดยการให้แรงกระทำในแนวตั้งกับพื้นรองเท้า แรงที่กระทำจะผ่านจากจุดหมุนที่เชื่อมต่อกันของแขนเครื่องผ่านไปยังแกนยึดและทำให้เกิดการเคลื่อนที่ออกจากแนวแกนปกติ เพื่อที่จะทำให้พื้นรองเท้าเกิดการเคลื่อนที่ลื่นไถล และเมื่อเกิดการลื่นไถลขึ้นก็จะทำการวัดค่ามุมของแขนแรงในขณะที่พื้นรองเท้าเคลื่อนที่ ซึ่งค่ามุมที่วัดได้นั้นก็นำไปใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน โดยที่ขนาดพื้นรองเท้าที่ใช้ในการทดลองนั้นมีขนาด 3 x 3 นิ้ว

เครื่องทดสอบความต้านทานการลื่นแบบลูกตุ้มนาฬิกา (Portable Slipperiness Tester of The Pendulum Impact Type) ออกแบบมาจากการจำลองการเดินปกติและการลื่นที่เกิดขึ้นเมื่อปลายของส้นเท้าสัมผัสกับพื้นทางเดินโดยที่ลักษณะการทำงานของเครื่องเป็นแบบลูกตุ้มนาฬิกา

ขนาดของพื้นรองเท้าทดสอบมีขนาด 1.5 x 1.5 นิ้ว และใช้ค่าตัวแปรที่ทราบค่า คือ น้ำหนักของลูกตุ้มมาใช้ในการคำนวณหาค่าประมาณของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน โดยอาศัยหลักการทางด้านพลังงานคูลซ์ (Sigler et. al., 1948)



ภาพที่ 2.4 เครื่องวัดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานแบบเจมส์แมชชีน (นิธิพงศ์ วิไลพันธุ์ และยุทธชัย บันเทิงจิตร, 2550)

นอกจากเครื่องวัดทั้ง 2 ชนิด ดังกล่าวข้างต้นที่เป็นยุคเริ่มแรกแล้ว ยังมีการพัฒนาเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานอื่น ๆ อีก เช่น ในช่วงก่อน ค.ศ.1975 มีการสร้างแบบ Frederick Machine, Instron, Hydraulic Traction Tester (Bunternngchit, 1990)

ต่อมาได้มีการพัฒนาเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต ซึ่งเป็นการศึกษาในช่วงแรก เช่น

เครื่อง Big Foot มีหลักการทำงานโดยการลากเลื่อน มีน้ำหนัก 4.6 กิโลกรัม วางอยู่บนวัสดุที่ใช้แทนพื้นเท้าตัวอย่างที่มีขนาด 12 x 9.5 เซนติเมตร และทำการดึงเครื่องทดสอบดังกล่าว จะทำให้เกิดแรงกระทำที่เกจวัดแรงดึงอ่านค่าที่ได้จากการดึงเมื่อวัตถุทดสอบเกิดการลื่นไถล โดยใช้ค่าสูงสุดที่เกิดขึ้น (Andres and Chaffin, 1985)

เครื่อง Slipometer เป็นการพัฒนาเครื่องวัดสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน โดยใช้หลักการของการลาก-เลื่อน เช่นเดียวกับเครื่อง Big Foot แต่มีการพัฒนาโดยใช้ตัวจับสัญญาณ 3 จุดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.3 เซนติเมตร วางไว้ด้านล่างของเกจวัดแรงหลังจากนั้นทำการดึงลวดสลิงโดย

ใช้มอเตอร์หมุนซึ่งสามารถควบคุมความเร็วในการดึงได้ ทำการอ่านค่าจากเกจวัดแรงดึงที่แสดงที่ เกจ ซึ่งเป็นตัวบอกค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต (Andres and Chaffin, 1985)

สำหรับการพัฒนาเครื่องวัดสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานทางพลวัต ได้มีการพัฒนา เช่น

เครื่อง British Portable Skid Tester มีรูปแบบเป็นแบบลูกตุ้ม วัสดุที่ใช้ทำชิ้น รongที่ทดสอบมีขนาด 2.5 x 7.6 เซนติเมตร ซึ่งติดอยู่กับเท้ากล และจะเป็นจุดที่สัมผัสกับพื้นโดยมี ความยาวในการทดสอบ 12.7 เซนติเมตร (Andres and Chaffin, 1985)

เครื่อง Tortus ถูกพัฒนาขึ้นโดยสมาคมวิจัยเซรามิกแห่งอังกฤษ ใช้วัดสัมประสิทธิ์ แรงเสียดทานทางพลวัตของพลังงานที่อยู่ภายในเมื่อเกิดการสัมผัสและมีการเคลื่อนที่ โดย กำหนดให้ล้อที่มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 17 มิลลิเมตรต่อวินาที และมีตัวสไลด์เดอร์ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตรติดอยู่ด้านล่างของหัววัด ดังนั้นเมื่อมีแรงเสียดทานเกิดขึ้นบนตัวสไลด์ เเดอร์ สปริงที่ประกอบอยู่ในหัววัดจะเกิดการเปลี่ยนแปลง ค่าที่ได้จะอยู่ในรูปของค่าความต่างศักย์ ซึ่งมีสัดส่วนเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและจะทำการส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยัง VU Meter เพื่อทำการแสดงค่าออกมาหรือส่งสัญญาณไปยังสตริป-ชาร์ต (Strip - Chart) เพื่อทำการ บันทึกผล (Andres and Chaffin, 1985)

University of New South Wales ได้เริ่มโครงการช่วงต้นทศวรรษ 1980 ได้แนวคิด จากการพัฒนาเครื่องทดสอบความต้านทานการลื่นแบบลูกตุ้มนาฬิกา โดยการนำเอาโพลดเซลของ Kisler มาใช้ในการวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ซึ่งทำให้สามารถวัดค่าได้โดยตรงเมื่อมีแรงมา กระทำกับโพลดเซลและได้มีการนำไปใช้ในการทดสอบ มีการรายงานผลโดย Hoang and Stevenson (Hoang and Stevenson 1981) ต่อมามีการพัฒนาเครื่องวัดในทางกลโดยการเพิ่มการ Rigid ของแกนในแนวแกนตั้งเพื่อเป็นการควบคุมความเร็วในการลื่น และได้้นำระบบไฮดรอลิกมา ใช้สำหรับการเคลื่อนที่ โดยลักษณะการเคลื่อนที่เป็นแบบ Pendulum โดยเป็นการจำลองเมื่อสิ้นเท้า เกิดการลื่นในขณะที่กระบอกในแนวตั้งเป็นการจำลองน้ำหนักของร่างกายที่กดลงพื้นแรงในการ ผลักสามารถควบคุมได้โดยการใช้วาล์วควบคุมการไหล และเมื่อมีแรงกระทำลงยังโพลดเซล แล้ว ส่งค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ Dynamometer และ Angular โดยอาศัยค่าความต้านทานไฟฟ้าไปยัง คอมพิวเตอร์ เพื่อทำการคำนวณค่าแรงและหาค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน (Stevenson et al., 1989)

เครื่อง Hydraulic-power System มีหลักการทำงานโดยการเคลื่อนที่ของเท้าจำลอง จะถูกทำการควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ และส่งการไปยังวาล์วควบคุม แล้วปล่อยแรงดันน้ำมันไปยัง กระบอกไฮดรอลิก ทำให้เกิดการกดและเกิดแรงขึ้น คือ แรงเสียดทาน ( $F_{\mu}$ ) แรงกด ( $F_N$ ) และ

อัตราส่วนของแรงเสียดทาน/แรงกด ซึ่งอัตราส่วนของแรงนี้เป็นการวัดที่เกิดขึ้นจากแรงทั้งสองแรงที่กระทำบนแผ่นรับแรง (Gronvist et al., 1989) ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้ในหัวข้องานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครื่อง Programmable Slip Resistance Tester เป็นโครงการที่ทำการทดสอบโดยใช้การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับการลื่นไถลซึ่งเครื่องสามารถทำงานได้โดยใช้การควบคุมด้วยระบบการควบคุมแบบ Logic Controller และตัวขับที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวตั้งและแนวนอน ใช้ Stepping Motor เป็นตัวควบคุม เมื่อมีการกดและการเคลื่อนที่ของเท้าจำลองบนแผ่นรับแรง จะเกิดแรงเสียดทานขึ้นและค่าที่เกิดขึ้นจะถูกส่งไปยังคอมพิวเตอร์และทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานออกมา (Redfern and Bidanda, 1994) ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้ในหัวข้องานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานแบบควบคุมด้วยระบบลม เป็นเครื่องที่ทำการพัฒนาโดยนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องด้วยระบบลม (กำพล วงศ์วิศว์ และเอกชัย เหล่าโกสิน, 2536) ต่อมาได้มีการพัฒนาต่อ โดยเชียรศักดิ์ นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมในปี พ.ศ. 2543 ลักษณะการทำงานเป็นการควบคุมด้วยระบบนิวเมติก และมีการประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ HP-VEE โดยที่ค่าที่ได้จากแรงกดและแรงเสียดทานที่กระทำบนแผ่นรับแรงจะทำการส่งสัญญาณอานาลอก เข้ามายังตัวขยายสัญญาณและแปลงสัญญาณจากอานาลอก ไปเป็นสัญญาณดิจิทัล และนำค่าที่ได้นั้นไปคำนวณและแสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์ (เชียรศักดิ์ ชูชีพ และยุทธชัย บันเทิงจิตร, 2543)

มีการพัฒนาต่อโดยสุเมธ ธารจินดาวงศ์ ทำวิทยานิพนธ์เรื่องการออกแบบและสร้างเครื่องวัดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าโดยใช้ระบบนิวเมติกและควบคุมด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC) (สุเมธ ธารจินดาวงศ์ และยุทธชัย บันเทิงจิตร, 2546) และนิธิพงศ์ วิไลพันธุ์ ทำวิทยานิพนธ์เรื่องการศึกษาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง โดยใช้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC) ซึ่งระบบควบคุมจะทำการส่งค่าสัญญาณไฟฟ้าให้ทำการปรับค่ามุมต่าง ๆ แล้วกดแรงลงบนแผ่นรับแรง และแปลงค่าแรงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ขยายสัญญาณที่ชุด Amplifier แล้วแยกสัญญาณ โดยส่งไปยังคอมพิวเตอร์ชุดโปรแกรม PLC (นิธิพงศ์ วิไลพันธุ์ และยุทธชัย บันเทิงจิตร, 2550) ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้ในหัวข้อตรวจสอบเอกสารในบทที่ 1

## 2.1.4 สถานะพื้นผิวทางเดิน

จากการศึกษางานวิจัยและการสำรวจ พบว่าพื้นทางเดินที่พบในชีวิตของมนุษย์มีหลากหลายแบบ และมีหลายสถานะ (นิธิพงศ์ วิไลพันธุ์ และยุทธชัย บันเทิงจิตร, 2550) ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

### 2.1.4.1 พื้นทางเดิน

#### 1. ในโรงงาน แบ่งเป็น

- ปูน แบบขัดเรียบ และหยาบ
- หิน แบบขัดเรียบ และหยาบ
- กระเบื้อง
- เหล็ก
- ไม้

#### 2. ที่สาธารณะ แบ่งเป็น

- ปูน แบบขัดเรียบ และหยาบ
- หิน แบบขัดเรียบ และหยาบ

#### 3. ในบ้าน แบ่งเป็น

- ไม้
- ปูน แบบขัดเรียบ และหยาบ
- หิน แบบขัดเรียบ และหยาบ
- กระเบื้อง

โดยที่ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาชนิดของพื้นทางเดิน 3 ชนิด คือ ปูนขัด หินขัด และกระเบื้อง

### 2.1.4.2 สถานะพื้นทางเดิน แบ่งเป็น 4 สถานะ คือ

- 1.แห้ง
- 2.เปียกน้ำ
- 3.เปื้อนน้ำมัน
- 4.เปื้อนน้ำสบู่ หรือสารเคมี

โดยที่งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสถานะพื้นเดินทั้ง 4 สถานะ คือ แห้ง เปียกน้ำ เปื้อนน้ำมัน และเปื้อนน้ำสบู่

### 2.1.5 พื้นรองเท้า

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติ โดยศึกษาที่ปัจจัยของความแข็งของพื้นรองเท้าเป็นหลัก ซึ่งแบ่งออกเป็นความแข็ง 2 ระดับ คือ

1. ระดับอ่อน มีความแข็งเท่ากับ 32.3 shore A
2. ระดับแข็ง มีความแข็งเท่ากับ 40.4 shore A

โดยที่มีลายพื้นรองเท้า ที่ได้มาจากการสำรวจในท้องตลาด ทั้งจาก Internet และจากผลิตภัณฑ์ตัวอย่างของรองเท้าหลายยี่ห้อ เช่น Nike, Cat, Scholl, Adidas, Converse และ Bata สามารถสรุปได้ว่ารูปแบบลายรองเท้าพื้นฐานสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภท ดังแสดงในภาพที่ 2.5 ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเรียกลักษณะของลายพื้นรองเท้าต่าง ๆ เป็นดังนี้

1. ลายจุด
2. ลายตรง
3. ลายคลื่น



ภาพที่ 2.5 รูปแบบลายรองเท้าพื้นฐาน (รองเท้าเซฟตี้ Safety Shoes, 2551; Safety Shoe Soles, 2551)

### 2.1.6 การเดิน

#### 2.1.6.1 ลักษณะการเดิน

ลักษณะการเดินของมนุษย์มีความสัมพันธ์กับส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเพื่อให้เกิดความสมดุล โดยต้องอาศัยทั้งขา แขน ระบบประสาท สมองการสั่งการ และระบบควบคุมส่วนอื่นๆ ของร่างกาย (Rose, 1994) กิจกรรมการเดินมีดังนี้

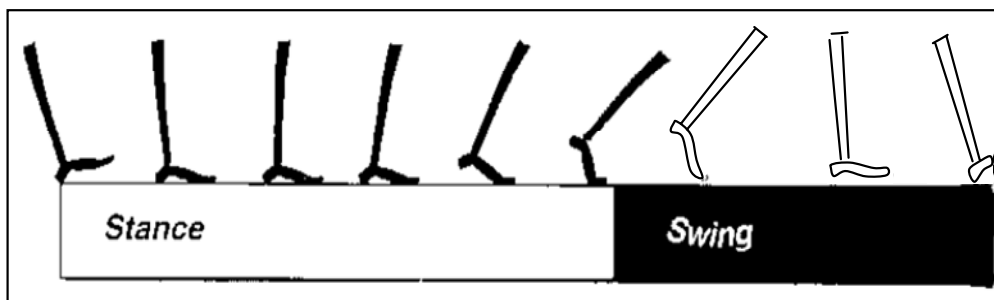
(1) จังหวะการเดิน การเดินปกติเป็นการเคลื่อนไหวสลับเปลี่ยนของเท้าทั้งสองข้าง โดยจะพาเอาร่างกายส่วนบนเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยซึ่งการเดินแบ่งออกเป็น 2 จังหวะคือ

1. จังหวะการเหยียบ (Stance or Supporting Phase) คือจังหวะที่ส้นเท้าเริ่ม

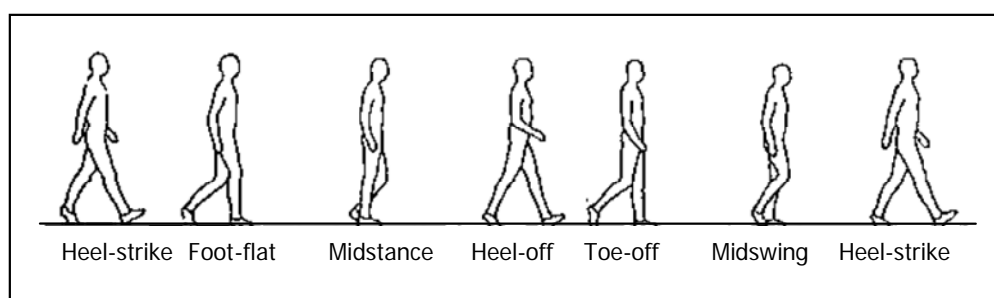


สัมผัสลงบนพื้นทางเดินจนกระทั่งหัวแม่เท้าพ้นจากพื้นทางเดิน ดังภาพที่ 2.6 และภาพที่ 2.7

2. จังหวะแกว่ง (Swing Phase) คือจังหวะที่เท้าอีกข้างเริ่มพ้นจากพื้นทางเดินและแกว่งไปข้างหน้าจังหวะนี้สิ้นสุดเมื่อส้นเท้าสัมผัสพื้นทางเดินอีกครั้งหนึ่ง ดังภาพที่ 2.6 และภาพที่ 2.7

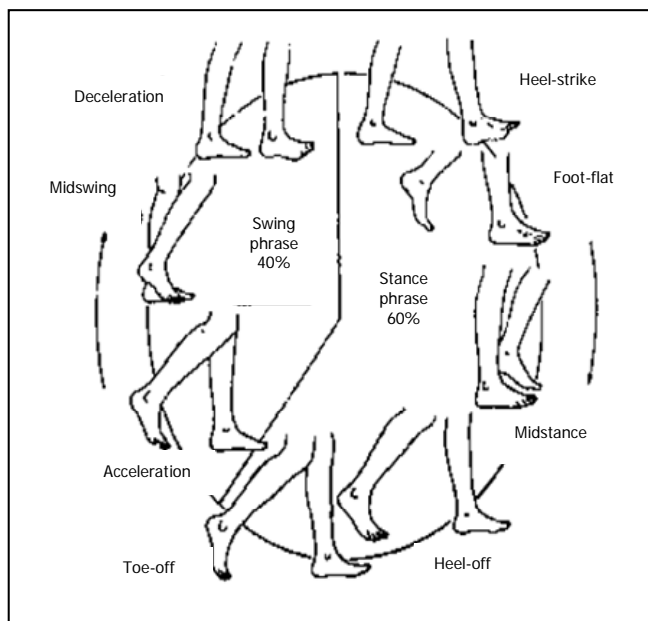


ภาพที่ 2.6 จังหวะและคาบของการก้าวเดินปกติ (Perry, 1992)



ภาพที่ 2.7 จังหวะของการก้าวเดินปกติ (Perry, 1992)

(2) คาบเวลาการเดิน คือระยะเวลาทั้งหมดที่เท้าข้างหนึ่งใช้ทั้งสองจังหวะข้างต้น เราเรียกว่า หนึ่งรอบการเดินปกติ คาบเวลาของสองจังหวะนี้ใช้เวลาไม่เท่ากัน คือ เวลาที่เท้าเหยียบ (Stance Period) จะใช้เวลานานกว่าระยะเวลาที่เท้าแกว่ง (Swing Period) ดังแสดงในภาพที่ 2.8 คือ เมื่อยิ่งเดินเร็วขึ้นเท่าใดผลต่างของระยะเวลาทั้งสองคาบนี้จะยิ่งน้อยลง ในการเดินปกติเวลาที่เท้าเหยียบพื้นจะมากกว่าเวลาที่เท้าสวิงสำหรับความแตกต่างของการเดินกับการวิ่งคือคาบเวลาที่เท้าเหยียบพื้นจะเท่ากับหรือน้อยกว่าคาบเวลาที่เท้าสวิง



ภาพที่ 2.8 คาบเวลาและจังหวะของการก้าวเดินปกติ (Perry, 1992)

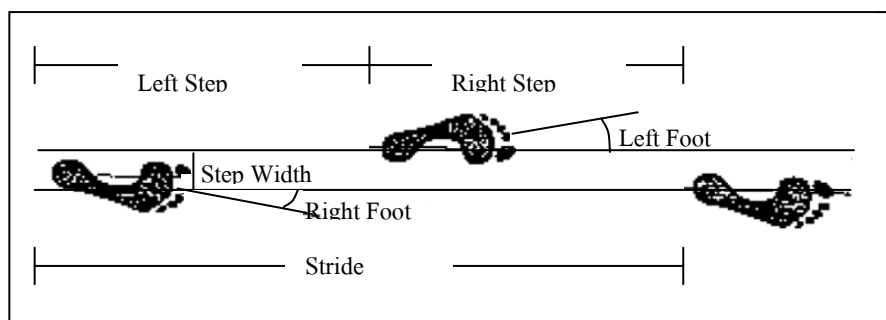
(3) ความยาวก้าวเดิน (Stride and Step Length) การวัดความยาวก้าวในการเดินปกติของคนใน 1 รอบประกอบด้วย

1. ระยะวงรอบก้าว (Stride Length) วัดจากสันเท้าข้างเดียวกัน
2. ระยะหนึ่งช่วงก้าว (Step Length) วัดจากสันเท้าข้างหนึ่งถึงอีกข้างหนึ่ง

ในก้าวเดินดังนั้นในการเดินปกติ 1 รอบ ประกอบด้วย 1 Stride Length หรือ 2 Step Length ดังภาพที่ 2.9

(4) ความกว้างระหว่างก้าว (Step Width) วัดความยาวจากจุดกึ่งกลางของเท้าข้างหนึ่งไปอีกข้างหนึ่ง คนปกติจะมีความกว้างระหว่างก้าวประมาณ 50 - 100 มม. ดังภาพที่ 2.9

(5) มุมเท้า (Foot Angle) วัดจากมุมของเท้าซ้ายหรือขวาที่ทำกับทิศทางการเดินดังภาพที่ 2.9

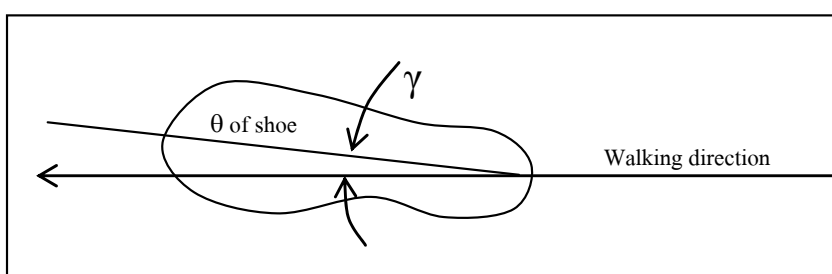


ภาพที่ 2.9 ความยาวก้าวความกว้างของการก้าวและมุมเท้า (Perry, 1992)

### 2.1.6.2 มุมเท้าในการเดิน

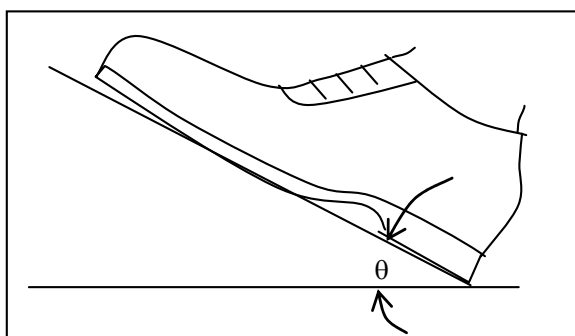
มุมที่ใช้ในการเดิน Bunterngchit (1990) ได้ทำการศึกษาถึงมุมที่เกิดขึ้นขณะทำการเดิน ซึ่งมี 3 มุม ดังนี้

(1) มุมเท้า (Foot Angles ( $\gamma$ )) เป็นมุมที่เกิดจากระยะของเส้นศูนย์กลางของพื้นทางเดินกับเส้นศูนย์กลางของรองเท้าซึ่งแสดงในภาพที่ 2.10 โดยในการศึกษานั้นทำโดยการใช้กระดาษอลูมิเนียมวัดลักษณะการเดินและทำการวัดจากขอบของรอยเท้าที่เกิดขึ้นมายังจุดศูนย์กลางของเส้นศูนย์กลางของรองเท้า



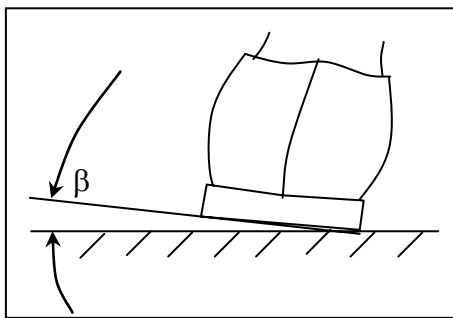
ภาพที่ 2.10 มุมเท้า (Foot Angles ( $\gamma$ )) (Bunterngchit, 1990)

(2) มุมส้นเท้า ( $\theta$ ) คือมุมที่เกิดขึ้นจากส้นเท้าของรองเท้าทำมุมกับพื้นทางเดิน ดังแสดงในภาพที่ 2.11 ซึ่งจากการศึกษา โดยใช้การถ่ายภาพจากการเดินและใช้ตำแหน่งที่สมมติขึ้น



ภาพที่ 2.11 มุมส้นเท้า ( $\theta$ ) (Bunterngchit, 1990)

(3) มุมเอียงเท้า ( $\beta$ ) คือมุมเอียงของส้นเท้าที่เกิดขึ้นกับพื้นทางเดินดังแสดงในภาพที่ 2.12 โดยทำการวัดระยะความสูงของส้นเท้าที่อยู่สูงจากการสัมผัสพื้นทางเดินและความกว้างของส้นเท้าของพื้นรองเท้าและนำมาคำนวณหามุมที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 2.12 มุมเอียงเท้า ( $\beta$ ) (Bunternngchit, 1990)

### 2.1.6.3 สภาพพื้นผิวต่อการเดิน

ได้มีการทำการวิจัยที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของสภาพพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าพื้นผิวที่มีความหยาบมีผลกระทบต่อแรงเสียดทานแต่ไม่ใช่กับสภาพพื้นผิวที่ไม่ได้ทำความสะอาด ซึ่งพื้นผิวที่มีความหยาบมากจะทำให้มีแรงเสียดทานมาก และเมื่อความเร็วที่เพิ่มขึ้นจะทำให้แรงเสียดทานพลวัตลดลง ในขณะที่ความปนเปื้อนของพื้นผิวก็มีผลต่อแรงเสียดทานเช่นกัน (Chang, 2001)

ซึ่งจากงานวิจัยของ Manning (2001) มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chang และพบว่าพื้นผิวที่ไม่ได้ทำความสะอาดจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน มากกว่าพื้นที่ทำการจัดมัน

### 2.1.6.4 การลื่นไถลขณะเดิน

จากปัญหาพื้นฐานของการลื่นไถล นักวิจัยยังไม่สามารถให้คำนิยามที่ครอบคลุมได้ทั้งหมด ซึ่งยังคงมีแนวความคิดที่หลากหลายออกไป สำหรับ Miller ได้ให้ความหมายของการลื่นไถวว่าการลื่นไถลคือจุดวิกฤตของระบบร่างกาย

ซึ่งในบางกรณีเมื่อเกิดการลื่นไถลแต่ยังคงสามารถทรงตัวได้ โดยยังไม่เสียสมดุลของร่างกายหรือทำให้เกิดอันตราย (นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร และยุทธชัย บรรเทิงจิตร, 2543) และจากการวิจัยพบว่าระยะทางของการลื่นไถลที่เกิดขึ้นและมีผลทำให้เกิดการเสียสมดุลของร่างกาย และเป็นอันตรายได้นั้นมีระยะการลื่นไถลอยู่ในช่วงที่มากกว่า 10-15 เซนติเมตรในแนวยาว (Perkins, 1978)

### 2.1.7 การออกแบบการทดลอง (Experiment of Design)

ในทางปฏิบัติทางอุตสาหกรรม การทดลองที่ได้รับการออกแบบมาจะมามีการทำงานอย่างเป็นระบบในการสืบค้นในตัวแปรในกระบวนการ (Process variable) หรือตัวแปรของผลิตภัณฑ์ (Product variable) หลังจากทำการกำหนดเงื่อนไขของกระบวนการ หรือองค์ประกอบ

ของผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จึงจะสามารถทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มความสามารถในการผลิต ความน่าเชื่อถือ คุณภาพ และ ประสิทธิภาพ (บริษัท โชลูชั่น เซ็นเตอร์ จำกัด, 2553)

เนื่องด้วยทรัพยากรมีจำนวนจำกัด ดังนั้นการทดลองแต่ละครั้งจะต้องให้สาระข้อมูลที่สำคัญที่สุด ซึ่งการทดลองที่มีการวางแผนที่ดีจะทำให้ได้สาระข้อมูลที่สำคัญและมีคุณภาพมากกว่าการทดลองที่เกิดขึ้นจากงานที่ไม่ได้รับการวางแผนมาก่อน และโดยเฉพาะการทดลองตามแผนที่วางไว้จะสามารถวิเคราะห์เกี่ยวกับอิทธิพลของปัจจัยที่ต้องการศึกษาได้ดีกว่าด้วยตัวอย่างเช่น ถ้าคุณมีสมมติฐานว่าอิทธิพลของ Interaction ระหว่างปัจจัยสองตัวมีนัยสำคัญคุณควรที่จะทำการออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ของอิทธิพล interaction ด้วย และควรทำการทดลองแบบ factorial มากกว่าการทดลองแบบ OFAT (one factor at a time) อิทธิพล interaction จะเกิดขึ้นเมื่อปัจจัยตัวหนึ่งมีผลต่อปัจจัยอีตัวหนึ่งที่ระดับต่าง ๆ กันไป

การทดลองที่ได้รับการออกแบบมาโดยมากจะมี 4 ขั้นตอนคือ การวางแผน การคัดเลือก (Screening หรือ process characterization) การหาค่าที่ดีที่สุด (optimization) และการทวนสอบ (verification) ตัวอย่างเช่น การออกแบบการทดลองจะประกอบด้วย การสร้าง (creating) การวิเคราะห์ (analyzing) และการพล็อตผลการทดลอง

### 1. การวางแผน (Planning)

การวางแผนที่ดีจะช่วยทำให้เกิดปัญหาระหว่างการทำการทดลองน้อยลง ตัวอย่างเช่น บุคลากร อุปกรณ์ที่ทำการทดลอง เงินทุน และเรื่องกรรมวิธีการผลิตซึ่งอาจส่งผลให้ไม่สามารถทำการทดลองได้ครบสมบูรณ์ ถ้าโครงการที่ทำการทดลองนี้มีความสำคัญอันดับรองลงมากว่าอีกโครงการหนึ่ง ซึ่งทำให้ต้องมีการแบ่งใช้ทรัพยากรบางส่วนไป การแบ่งการทดลองเป็นส่วนๆ ทำให้ผลการทดลองที่ได้มานั้น ยังสามารถนำไปใช้ได้ และเมื่อทรัพยากรที่ถูกแบ่งใช้ไปนั้นกลับคืนมาก็สามารถทำการทดลองได้เหมือนเดิมและดำเนินต่อจากตอนที่หยุดไว้ก่อนหน้านี้

### 2. การคัดเลือก (Screening)

ในงานพัฒนากระบวนการและงานการผลิตส่วนมาก มีตัวแปรจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะมีส่วนในการปรับปรุงการคัดเลือกเป็นการลดจำนวนตัวแปรเหล่านี้ให้มีจำนวนน้อยลง โดยคัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญอย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การลดจำนวนตัวแปรนี้ทำให้คุณสามารถจะพิจารณาเฉพาะที่ตัวแปรที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเท่านั้นได้ หรือพิจารณาตามหลักการ ความสำคัญจำนวนน้อย “Vital Few” การคัดเลือกอาจจะสามารถทำได้ถึงการหาค่าที่เหมาะสม (optimal) ของตัวแปรนั้น ๆ รวมทั้งบอกด้วยว่าค่าตอบสนอง (response) มีสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้ง

### 3. การหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization)

หลังจากที่มีการคัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญจำนวนน้อย (Vital-Few) คุณคงต้องการที่จะทำการหาค่าที่ดีที่สุดของปัจจัยเหล่านี้ ซึ่งค่าปัจจัยที่ดีที่สุดจะเป็นค่าอะไรขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการทดลองด้วย ตัวอย่างเช่น วัตถุประสงค์ คือการหาค่า yield ของกระบวนการที่มีค่ามากที่สุดและมีค่าความแปรปรวนของกระบวนการน้อยที่สุด

### 4. การทวนสอบ (Verification)

การทวนสอบเป็นการทำการทดลองซ้ำเพื่อดูว่าค่าที่วิเคราะห์มาเป็นค่าที่ดีที่สุดนั้นยังคงให้ผลลัพธ์ที่แท้จริง ๆ หรือไม่ตัวอย่างเช่น คุณทำการทดลองที่มีเงื่อนไขตามค่าที่หามาจากการหาค่าที่ดีที่สุด เพื่อหาขนาดของช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยค่าตอบสนอง

### การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Designs)

การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลจะสามารถทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อกระบวนการและเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันได้ เมื่อมีการทำการทดลอง ควรทำการเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยไปพร้อม ๆ กันมากกว่าทำการเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยตัวใดตัวหนึ่ง เพราะจะทำให้ได้งานที่มีประสิทธิภาพมากกว่าทั้งในเรื่องการประหยัดเวลาและต้นทุน และยังสามารถวิเคราะห์เรื่องอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัยได้ โดยอิทธิพลร่วม (Interaction) คือผลของการที่ปัจจัยร่วมกันที่มีอยู่ในหลาย ๆ กระบวนการ ถ้าไม่ได้ทำการทดลองแบบแฟคทอเรียลอาจจะไม่เห็นผลของอิทธิพลร่วม (Interaction) ได้ชัดเจนนัก

### การออกแบบเพื่อการคัดเลือก (Screening Design)

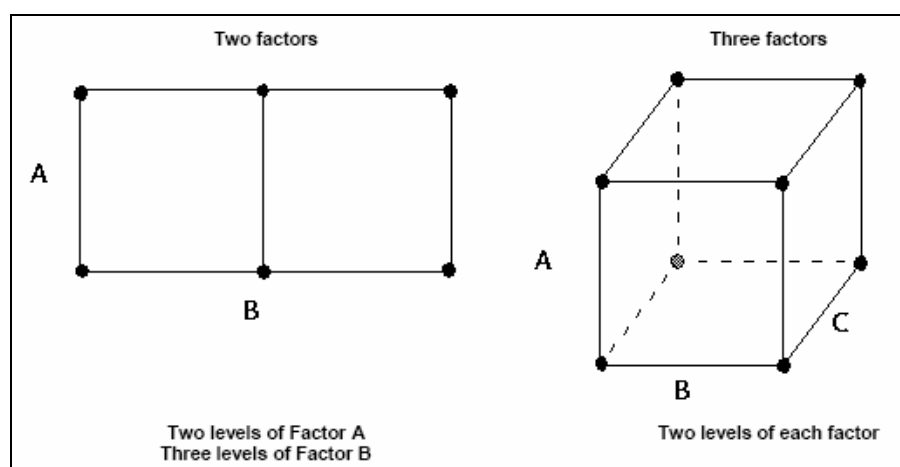
ในงานพัฒนากระบวนการและงานการผลิตส่วนมาก มีตัวแปรจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะมีส่วนในการปรับปรุงการคัดเลือกเป็นการลดจำนวนตัวแปรเหล่านี้ให้มีจำนวนน้อยลง โดยคัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญอย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การลดจำนวนตัวแปรนี้ทำให้คุณสามารถจะพิจารณาเฉพาะที่ตัวแปรที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเท่านั้นได้ หรือพิจารณาตามหลักการ ความสำคัญจำนวนน้อย “Vital Few” การคัดเลือกอาจจะสามารถทำได้ถึงการหาค่าที่เหมาะสม (optimal) ของตัวแปรนั้น ๆ รวมทั้งทำการทดลองเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด (optimization) เพื่อบอกว่าค่าตอบสนอง (response) มีสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้ง

### การออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial

ในการทดลองแบบ Full Factorial ค่าตอบสนอง (response) จะถูกวัดค่าที่ทุก ๆ เงื่อนไขของทุกค่าระดับปัจจัยที่มีในการทดลอง โดยเงื่อนไขการทดลอง (combination of factor levels) เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้ทำการทดลองเพื่อวัดค่าตอบสนอง โดยที่เงื่อนไขการทดลองแต่ละ

อันจะเรียกว่า รัน (run) และมีการทำการทดลองเพื่อวัดค่าตอบสนอง และชุดข้อมูลทั้งหมดในทุกรัน จะเรียกว่า แบบการทดลอง (design)

ในภาพที่ 2.13 เป็นรูปแสดงตัวแบบของการทดลองแบบ 2 และ 3 ปัจจัย โดยจุดจะเป็นแสดงถึงเงื่อนไขการทดลอง (combination) แต่ละอันของการทดลอง ตัวอย่างเช่น ในตัวแบบ 2 ปัจจัย (two-factor design) จุดที่มุมล่างด้านซ้าย และรันของการทดลองที่มีค่าระดับปัจจัย A เป็นค่าต่ำ (low) และ ค่าระดับปัจจัย B เป็นค่าต่ำ เช่นกัน



ภาพที่ 2.13 ตัวแบบของการทดลองแบบ 2 และ 3 ปัจจัย

#### การออกแบบการทดลองแบบ Two-level full factorial

ในตัวแบบของ Two-level full factorial ในทุก ๆ การทดลองทุก ๆ ปัจจัยจะมีค่าระดับเพียงแค่ 2 ระดับเท่านั้น การทดลองแต่ละรันจะมีทุก ๆ ค่าระดับของทุก ๆ ปัจจัย ถึงแม้ว่าตัวแบบ Two-level full factorial จะไม่สามารถทำการทดลองที่ค่าปัจจัยย่าน (range) กว้าง ๆ มากได้ แต่ก็สามารถให้สาระข้อมูลที่มีประโยชน์ได้โดยที่จำนวนรันไม่มากนักต่อหนึ่งปัจจัย และเพราะว่า Two-level full factorial สามารถที่จะแสดงค่าแนวโน้มได้ จึงสามารถนำมาใช้เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการสร้างการทดลองต่อไป ตัวอย่างเช่น เมื่อคุณต้องการที่จะทำการทดลองในย่านที่กว้างขึ้นซึ่งคุณมีสมมติฐานเบื้องต้นว่าจะมีค่าที่ดีที่สุดอยู่ คุณอาจใช้ตัวแบบแฟคทอเรียล (factorial) เพิ่มเติมจากจุดนี้โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ central composite

#### การออกแบบการทดลองแบบ General full factorial

ในตัวแบบของ General full factorial การทดลองแต่ละครั้งในแต่ละปัจจัยจะมีค่าระดับหลาย ๆ ค่า ตัวอย่างเช่น ปัจจัย A มี 2 ระดับ ปัจจัย B มี 3 ระดับ และ ปัจจัย C มี 5 ระดับ การทดลองในทุกรันจะทำครบทุกค่าระดับของทุกปัจจัย ตัวแบบ General full factorial อาจจะนำไปใช้

ในการทดลองขนาดเล็กเพื่อทำการคัดเลือกปัจจัย (Screening) หรือ เพื่อทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization)

#### การออกแบบการทดลองแบบ Fractional Factorial

ในการทดลองแบบ Full factorial ค่าตอบสนองจะถูกวัดค่าในทุก ๆ เงื่อนไขการทดลองซึ่งจะเป็นทุก ๆ ค่าระดับของทุกปัจจัย ซึ่งอาจจะต้องมีการทำการทดลองจำนวนมากครั้ง ตัวอย่างเช่น การทดลองของ two-level full factorial ของ 6 ปัจจัย อย่างน้อยต้องมีการทดลองจำนวน 64 รัน หรือ กรณีที่มี 9 ปัจจัย จะมีการทดลองอย่างน้อย 512 รัน เพื่อเป็นการประหยัดเวลา และต้นทุนคุณอาจทำการออกแบบการทดลองให้มีการทำการทดลองเฉพาะบางเงื่อนไข ตัวแบบ Factorial ที่มีการทดลองไม่ครบทุกเงื่อนไขนี้เรียกว่า Fractional factorial designs โปรแกรม Minitab สามารถสร้างตัวแบบ fractional factorial ได้จนถึงจำนวนปัจจัย 15 ตัวต่อหนึ่งการทดลอง

Fraction factorial มีความสำคัญอย่างมากในการทดลองเพื่อการคัดเลือกปัจจัย (screening) เพราะว่ามีผลการลดจำนวนรันลงจนเหลือขนาดการทดลองที่สามารถทำได้จริง รันที่ถูกเลือกมาทำการทดลองเป็นรันที่อยู่ในชุดการทดลองของตัวแบบ full factorial ซึ่งในกรณีที่ไม่ได้ทำการทดลองครบทุกเงื่อนไขของทุกปัจจัยจะทำให้เกิดผลอย่างหนึ่งที่เรียกว่าคอนฟาวด์ (confounded) ซึ่ง คอนฟาวด์นี้หมายถึง อิทธิพลของปัจจัยที่ไม่สามารถทำการประเมินค่าแยกออกมาได้เดี่ยว ๆ และอาจเรียกว่าเป็น Aliased โดย Minitab จะแสดงตารางของ alias ที่อยู่ในรูปแบบของการคอนฟาวด์ เพราะว่าเรื่องของคอนฟาวด์ ทำให้อิทธิพล (effects) บางตัวไม่สามารถหาค่าได้ทำให้การเลือกการทำ fractional factorial ต้องเลือกส่วนที่จะมาทำให้ถูกต้องเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ใช้งานได้ การเลือกส่วนการทดลองที่ดีที่สุด (Best fraction) บางครั้งอาจจะต้องใช้ความรู้เฉพาะเกี่ยวกับกระบวนการและผลิตภัณฑ์เพื่อมาตัดสินใจด้วย

#### การออกแบบการทดลองแบบ Plackett-Burman

การทดลองแบบ Plackett-Burman เป็นการทดลองที่มีค่า resolution เท่ากับ 3 (III) ซึ่งถือเป็นการทดลองแบบ fractional factorial ที่มี resolutions III ซึ่งมีรูปแบบของ alias ระหว่างปัจจัยหลัก (main effect) กับ interaction ของ 2 ปัจจัย (two-way interactions)

Minitab สามารถสร้างการทดลองได้สูงสุดถึงจำนวน 47 ปัจจัย โดยแต่ละตัวแบบที่ถูกสร้างขึ้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนรัน ตั้งแต่จำนวน 12 ถึง 48 รัน (เพิ่มขึ้นทีละ 4 รัน) และจำนวนปัจจัยจะต้องมีค่าน้อยกว่าจำนวนรันเสมอ (บริษัท โชลูชั่น เซ็นเตอร์ จำกัด, 2553)



## บทที่ 3

### วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาถึงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าและพื้นดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกัน โดยมีวิธีการวิจัยดังต่อไปนี้

#### 3.1 อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือที่จำเป็นในการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าและพื้นดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกัน ประกอบด้วย

##### 1. เครื่องบดผสมยางกับสารเคมี

- เครื่องบดแบบสองลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill) ดังภาพที่ 3.1
- เครื่องบดผสมระบบปิด (Inter Mixer) ดังภาพที่ 3.2

การบดผสมยางกับสารเคมีในเครื่องบดผสมระบบปิดของศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ยางพารา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยทั่วไปแล้วจะบดยางผสมกับสารอื่น ๆ ยกเว้นพวก Sulphur และสารเร่งปฏิกิริยาขงคงรูป การบดยางกับสารเคมีต่าง ๆ ในเครื่องบดผสมระบบปิด จะเน้นถึง ลำดับการเติมสารลงไปบด และอุณหภูมิขณะบด



ภาพที่ 3.1 เครื่องบดแบบสองลูกกลิ้ง



ภาพที่ 3.2 เครื่องบดผสมระบบปิด

## 2. เครื่องขึ้นรูป

อุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปอาจใช้แม่พิมพ์แบบอัดธรรมดา หรือแบบฉีด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการลงทุน เพราะแม่พิมพ์แบบฉีดจะมีราคาแพงกว่าชนิดอัดมาก แต่มีข้อดีด้านความรวดเร็วในการผลิต ตลอดจนการผลิตพื้นผิวหลายต่าง ๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องขึ้นรูปแม่พิมพ์แบบอัด

- แม่พิมพ์แบบอัด (Compression Mould)

แม่พิมพ์แบบอัดนี้ใช้กันอย่างกว้างขวางในการผลิตผลิตภัณฑ์ทั่วไป ประกอบด้วย 2 ส่วน ซึ่งยึดกันด้วยสลัก แล้วใส่ยางที่ผสมสารเคมีแล้วลงในช่องของแม่พิมพ์ โดยให้ขนาดยางเล็กกว่าขนาดของช่องแม่พิมพ์เล็กน้อยเพื่อจะได้แผ่กระจายเต็มช่องแม่พิมพ์ เมื่อปิดแม่พิมพ์และใช้เครื่องอัดช่วยในการอัดแม่พิมพ์ ส่วนของยางที่เกินความจุของช่องแม่พิมพ์จะล้นออกมาตามข้างของแม่พิมพ์ ซึ่งไหลไปตามร่องและเรียกยางที่ล้นจากแม่พิมพ์นี้ว่า Mould Flash

## 3. เครื่องอัดยางให้คงรูป

เมื่อขึ้นรูปยางโดยแม่พิมพ์แบบอัดธรรมดาแล้ว ต่อไปก็จะเป็นการอัดให้ยางคงรูป ดังภาพที่ 3.3 เครื่องอัดยางให้คงรูปของศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ยางพารา คณะ

วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยปกติจะใช้ระบบไฮดรอลิกในการให้ความร้อนแผ่นอัดด้วยไฟฟ้า หรือไอน้ำ



ภาพที่ 3.3 เครื่องอัดยางให้คงรูป

#### 4. เครื่องกัดลาย CNC Engraving plotter

การกัดลายพื้นรองเท้าใช้เครื่องกัดลาย CNC ME-500 Engraving plotter ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ดังแสดงในภาพที่ 3.4 ซึ่งเครื่องกัดลาย มีความสามารถในการกัดลาย 2 มิติ โดยกัดที่ความลึกคงที่ ประกอบด้วยใบมีดกัดที่วิ่งไป-มาตามคำสั่งของลวดลายที่ป้อนเข้าไป และลวดลายที่ใช้ในการกัดลายออกแบบได้ด้วยตัวโปรแกรมของเครื่องกัดลาย



ภาพที่ 3.4 เครื่องกัดลาย CNC Engraving plotter

### 5. เครื่องักคยูนิเวอร์แซล

เครื่องักคยูนิเวอร์แซลของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ นำมาประยุกต์ใช้ในส่วนของการเคลื่อนที่ขณะทำการทดลอง เพราะสามารถปรับตั้งค่าความเร็วในแนวแกนตั้งและแนวแกนนอนได้หลายค่าตั้งแต่ 1.6 เซนติเมตรต่อวินาที จนถึง 80 เซนติเมตรต่อวินาที และส่วนของขาเทียมนำไปติดยึดกับแท่นยึดหัวกัด (Column) ของเครื่องักคยูนิเวอร์แซลที่สามารถปรับค่ามุมมองต่าง ๆ ได้ และปรับค่าน้ำหนักได้ตามต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 เครื่องักคยูนิเวอร์แซล

### 6. อุปกรณ์วัดแรงกัด

หลักการงานของอุปกรณ์วัดแรงกัด 3 ทิศทาง (Three-Component Dynamometers) ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในภาพที่ 3.6 คือ จะมีผลึก Quartz 2 คู่ ใช้วัดแรงในแนวแกน x และ y (แรงที่วัดได้อยู่ในช่วง -20 ถึง 20 kN) และมีผลึก Quartz อีก 1 คู่ ใช้วัดแรงกดในแนวแกน z (แรงที่วัดได้อยู่ในช่วง



-10 ถึง 40 kN) ซึ่งแต่ละคู่มีแท่น เฉพาะวางซ้อนกันโดยที่มีขั้วไฟฟ้าต่ออยู่ระหว่างคู่ผลึก Quartz เมื่อมีแรงกระทำลงบนแท่นจะมีการวัดกระแสไฟฟ้าที่ผ่านผลึก แล้วขยายสัญญาณให้ใหญ่ขึ้นด้วยเครื่องขยายสัญญาณ (Amplifier) (แสดงในภาพที่ 3.7) แล้วทำการส่งสัญญาณอานาลอก เข้ามายังตัวขยายสัญญาณและแปลงสัญญาณจากอานาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิตอล ดังแสดงในภาพที่ 3.8 และนำค่าที่ได้นั้นไปคำนวณและแสดงผลทาง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Kistler, 2009)



ภาพที่ 3.6 อุปกรณ์วัดแรงกด



ภาพที่ 3.7 เครื่องขยายสัญญาณ



ภาพที่ 3.8 เครื่องแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล

### 3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยเพื่อศึกษาถึงสัมประสิทธิ์ความเสียหายของพื้นรองเท้าและพื้นเดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกันมีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

#### 3.2.1 ขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนในการวิจัยเรื่องสัมประสิทธิ์ความเสียหายของพื้นรองเท้าและพื้นเดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกันประกอบด้วย

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นของงานวิจัย
2. ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3. ปรับปรุงและพัฒนาเครื่องวัดสัมประสิทธิ์ความเสียหายของพื้นรองเท้า
4. สอบเทียบเครื่องวัดสัมประสิทธิ์ความเสียหายของพื้นรองเท้า
5. ทดลองเบื้องต้น เพื่อกำหนดค่าตัวแปรในการทดลองที่เหมาะสม
6. ผลิตเบ้าลายพื้นรองเท้า
7. ผลิตยางสำหรับทำพื้นรองเท้า
8. ทดลอง โดยสุ่มสภาวะการทดลองต่าง ๆ และทำซ้ำสภาวะละ 15 ครั้ง
9. วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เทคนิค ANOVA
10. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงหรือพัฒนาต่อไป

### 3.2.2 การออกแบบการทดลอง

ในการวิจัยนี้ ได้กำหนดตัวแปรในการทดลอง คือ

- ชนิดของพื้นรองเท้า 6 ชนิด ( $H_1, H_2, H_3, H_4, H_5, H_6$ )
- ชนิดของพื้นทางเดิน 3 ชนิด ( $F_1, F_2, F_3$ )
- สภาวะพื้นทางเดิน 4 สภาวะ ( $S_1, S_2, S_3, S_4$ )

ทำซ้ำสภาวะละ 15 ครั้ง

โดยที่

$H_1$	แทน	พื้นรองเท้า ยางธรรมชาติสูตรแข็ง
$H_2$	แทน	พื้นรองเท้า ยางธรรมชาติสูตรอ่อน
$H_3$	แทน	พื้นรองเท้า ยางธรรมชาติ (ท้องตลาด)
$H_4$	แทน	พื้นรองเท้า NBR ลาย A
$H_5$	แทน	พื้นรองเท้า NBR ลาย B
$H_6$	แทน	พื้นรองเท้า NBR ลาย C
$F_1$	แทน	พื้นปูนขัด
$F_2$	แทน	พื้นหินขัด
$F_3$	แทน	พื้นกระเบื้อง
$S_1$	แทน	สภาวะแห้ง
$S_2$	แทน	สภาวะเปียกน้ำ
$S_3$	แทน	สภาวะเปื้อนน้ำมัน
$S_4$	แทน	สภาวะเปื้อนน้ำสบู่

#### สภาวะที่ทำการทดลอง

จากการศึกษาเบื้องต้นของงานวิจัยการศึกษาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าและพื้นเดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง พบว่าพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติ ลายพื้นรองเท้า ชนิดของพื้นทางเดิน และสภาวะของพื้นทางเดินที่แตกต่างกันเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน โดยที่ปัจจัยของชนิดของพื้นรองเท้า 6 ชนิด จากยางธรรมชาติ 2 สูตร คือ สูตรแข็ง และสูตรอ่อน เทียบกับพื้นรองเท้าจากท้องตลาด 4 ชนิด คือ สูตรยางธรรมชาติ (ท้องตลาด) สูตร NBR 3 ลาย คือ ลาย A ลาย B และลาย C (แสดงในภาพที่ 3.9) ชนิดของพื้นทางเดินมีอยู่ 3 ชนิด คือ พื้นปูนขัดหยาบ พื้นหินขัดหยาบ และพื้นกระเบื้อง (แสดงในภาพที่ 3.10) และปัจจัยสภาวะของพื้นทางเดิน คือ พื้นแห้ง พื้นเปียกน้ำ พื้นเปื้อนน้ำมัน (SAE 40) และพื้นเปื้อนน้ำสบู่ โดยได้ทำการกำหนดปัจจัยในการทดลอง คือ

- ชนิดของพื้นรองเท้า 6 ชนิด
- ชนิดของพื้นทางเดิน 3 ชนิด
- สถานะพื้นทางเดิน 4 สถานะ

สถานะการทดลองที่ต้องดำเนินการมีจำนวนรวมทั้งสิ้น =  $6 \times 3 \times 4 = 72$  สถานะ และกำหนดให้ทำซ้ำสถานะละ 15 ครั้ง ดังนั้นมีการทดลองทั้งหมด =  $15 \times 72 = 1,080$  การทดลอง และได้ทำการกำหนดลำดับการทดลอง และให้ผลการทดลองดังแสดงในตารางภาคผนวก ก



ภาพที่ 3.9 ชนิดของพื้นรองเท้า



ภาพที่ 3.10 ชนิดของพื้นทางเดิน

### 3.2.3 การศึกษาลายพื้นรองเท้า

จากการทำการสำรวจลายพื้นรองเท้าในร้านค้ายี่ห้อต่าง ๆ ทั้งจากในร้านค้าทั่วไป และทางอินเทอร์เน็ต โดยเน้นรองเท้าในร้านที่มีคนซื้อใช้งานจำนวนมากในแต่ละร้าน ด้วยเหตุผลที่เลือกศึกษาด้วยรองเท้าในร้าน เพราะเป็นตัวอย่างหนึ่งของรองเท้าที่ผลิตมาเพื่อเน้นประโยชน์ใช้สอยใน



ด้านของความปลอดภัย ดังนั้นในงานวิจัยจึงใช้รองเท้าไนรภัยเป็นต้นแบบในการเปรียบเทียบต่าง ๆ โดยผลของการสำรวจสรุปลายพื้นรองเท้าได้ ดังนี้

#### 1. ลายพื้นรองเท้าลาย A

ลายพื้นรองเท้าลาย A ดังแสดงในภาพที่ 3.11 ทำจากยางสังเคราะห์ NBR (Nitride Butadiene Rubber) คุณสมบัติกันน้ำมัน กันลื่น กันสารเคมี และทนความร้อนได้ 170 องศาเซลเซียส ในกรณีเดินผ่านความร้อนไม่เกิน 10 วินาที รองเท้าเป็นแบบหนังอัดลายหุ้มส้น และได้รับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 523-2528 (ที อาร์ พี อิมพีทซ์, 2552)



ภาพที่ 3.11 ลายพื้นรองเท้าลาย A

#### 2. ลายพื้นรองเท้าลาย B

ลายพื้นรองเท้าลาย B ดังแสดงในภาพที่ 3.12 ทำจากยางสังเคราะห์ NBR (Nitride Butadiene Rubber) คุณสมบัติกันน้ำมัน กันลื่น กันสารเคมี และทนความร้อนได้ 170 องศาเซลเซียส ในกรณีเดินผ่านความร้อนไม่เกิน 10 วินาที รองเท้าเป็นแบบหนังอัดลายหุ้มส้น และได้รับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 523-2528 (ที อาร์ พี อิมพีทซ์, 2552)



ภาพที่ 3.12 ลายพื้นรองเท้าลาย B

### 3. ลายพื้นรองเท้าลาย C

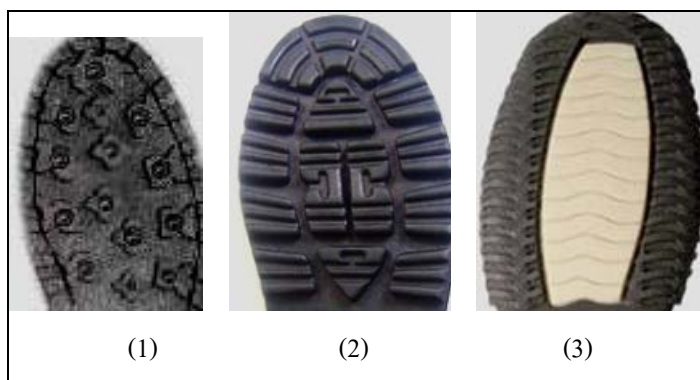
ลายพื้นรองเท้าลาย C ดังแสดงในภาพที่ 3.13 ทำจากยางสังเคราะห์ NBR (Nitride Butadiene Rubber) คุณสมบัติกันน้ำมัน กันลื่น กันสารเคมี และทนความร้อนได้ 170 องศาเซลเซียส ในกรณีเดินผ่านความร้อนไม่เกิน 10 วินาที รองเท้าเป็นแบบหนังอัดลายหุ้มส้น และได้รับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 523-2528 (ที อาร์ พี อิมพีทซ์, 2552)



ภาพที่ 3.13 ลายพื้นรองเท้าลาย C

สามารถสรุปได้ว่ารูปแบบลายพื้นรองเท้าพื้นฐานสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภท ดังแสดงในภาพที่ 3.14 ประกอบด้วย

1. ลายจุด
2. ลายตรง
3. ลายคลื่น



ภาพที่ 3.14 รูปแบบลายรองเท้าพื้นฐาน (รองเท้าเซฟตี้ Safety Shoes, 2551; Safety Shoe Soles, 2551)

### 3.2.4 การผลิตเบ้าลายพื้นรองเท้า

เมื่อเลือกลายผสมของพื้นรองเท้าที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงสุดได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นขั้นตอนการกัดลายพื้นรองเท้า เพื่อจะนำไปประกอบเป็นเบ้าสำหรับการอัดยางพื้นรองเท้า ซึ่งประกอบไปด้วย

1. ออกแบบลายผสมของพื้นรองเท้าลงในโปรแกรม CASmate-Pro ของ SCANVEC
2. จากนั้นสั่งให้โปรแกรมเริ่มการกัดลายลงบนแผ่นอะลูมิเนียม ด้วยเครื่องกัดลาย CNC Engraving plotter ดังแสดงในภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 การกัดลายพื้นรองเท้า

3. เมื่อการกัดลายพื้นรองเท้าเสร็จสิ้น จะได้ลายพื้นรองเท้าบนแผ่นอะลูมิเนียม สำหรับการนำไปประกอบเบ้า ดังแสดงในภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.16 ลายพื้นร่องเท้าที่กัดเสร็จ

4. นำแผ่นอลูมิเนียมที่กัดลายพื้นร่องเท้าเสร็จเรียบร้อยแล้ว ไปประกอบเหล็กทำ  
เบ้าสำหรับนำไปอัดยางพื้นร่องเท้า ดังแสดงในภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.17 เบ้าสำหรับอัดยางพื้นร่องเท้า

### 3.2.5 การผลิตยางสำหรับทำพื้นร่องเท้า

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมในการเดินเมื่อใช้พื้น  
ร่องเท้าจากยางธรรมชาติ ดังนั้นจึงมีการสร้างผลิตภัณฑ์ยางพื้นร่องเท้าที่ผลิตมาจากยางธรรมชาติ  
(ยางแห้ง) ซึ่งกระบวนการผลิตยางพื้นร่องเท้า ประกอบด้วย

#### 3.2.5.1 การออกสูตรยาง

ในการออกสูตรยางนั้นจะต้องคำนึงถึงคุณภาพของพื้นร่องเท้าที่ต้องการ ความ  
เหมาะสมกับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จะใช้ในกระบวนการ ราคาและการจัดซื้อวัตถุดิบ เป็นต้น และ

สิ่งสำคัญที่จำเป็นในการออกสูตรยางคือจะต้องมีความเข้าใจในหน้าที่การทำงานของสารเคมีแต่ละตัวที่จะใช้อย่างถูกต้อง ซึ่งจะยกตัวอย่างสูตรยางพื้นรองเท้าที่มีคุณภาพต่าง ๆ กัน

1. สูตรพื้นรองเท้าชนิดโปรงแสง (วารกรณ์ ขจรไชยกูล, 2549) ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สูตรพื้นรองเท้าชนิดโปรงแสง

สารเคมี	น้ำหนักแห้ง (phr)
ยางธรรมชาติ	100
ZnO	1
Silica	40
Stearic Acid	1
Vulcafor F	1.5
Vulcafor ZDC	0.5
Triethanolamine	2
Sulphur	2.5
Benzoic Acid	1.25
Nonox WSL	1

phr = part per hundred of rubber (ส่วนในร้อยส่วนของน้ำหนักยางแห้ง)

2. สูตรพื้นรองเท้าชนิดสีดำคุณภาพดี (วารกรณ์ ขจรไชยกูล, 2549) ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สูตรพื้นรองเท้าชนิดสีดำคุณภาพดี

สารเคมี	น้ำหนักแห้ง (phr)
ยางแผ่นรมควัน	100
ZnO	5
GPF Black	90
Stearic Acid	3
Sulphur	3.5
Vulcafor MBTS	1.5
Nonox HFN	1

### 3. สูตรสีรองเท้าชนิดสีดำคุณภาพต่ำ (วารกรณ์ ขจรไชยกุล, 2549) ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สูตรสีรองเท้าชนิดสีดำคุณภาพต่ำ

สารเคมี	น้ำหนักแห้ง (phr)
ยางธรรมชาติ (คุณภาพต่ำ)	30
ยางรีแคลม	140
ZnO	5
GPF Black	15
China Clay	50
Mineral Rubber	5
Stearic Acid	2
Sulphur	2
Vulcafor F	1.2
Nonox BL	1

### 4. สูตรสีรองเท้า (อาทิตย์ สวัสดิรักษา และคณะ, 2551) ในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สูตรสีรองเท้า

สารเคมี	น้ำหนักแห้ง (phr)
ยางแผ่นรมควัน	100
Stearic Acid	3
ZnO	5
Wingstay L	0.5
Vulcafor MBT	0.5
Sulphur	1.5
Struktol	5-7

จากการค้นคว้าหาสูตรในการผลิตสีรองเท้าโดยใช้ยางธรรมชาติ ซึ่งได้ข้อมูล  
 ขึ้นต้นมา 4 สูตรด้วยกัน ในที่นี้เลือกใช้สูตรที่ 4 (ตารางที่ 3.4) เนื่องจากเป็นสูตรที่มีคุณสมบัติที่มี



ความยืดหยุ่นและความแข็งที่เหมาะสมสำหรับทำพื้นรองเท้า ซึ่งเมื่อได้ทำการผลิตตามสูตรนี้แล้วจะทำให้ได้อย่างที่มีความยืดหยุ่นดีเหมาะที่จะใช้ทำวิจัยเรื่องการศึกษาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง

### 3.2.5.2 กรรมวิธีการผลิตยางพื้นรองเท้า

กระบวนการต่อไปจะเป็นกรรมวิธีการผลิตยางพื้นรองเท้า ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1. บดผสมยางกับสารเคมีตามที่ได้ออกสูตรยางไว้ ซึ่งประกอบด้วย การบดยางให้ نرم ดังภาพที่ 3.18 แล้วจึงเติมสารเคมีต่าง ๆ ลงไปบดผสมตามลำดับความเหมาะสมในเครื่องบดผสมระบบปิดตามตารางที่ 3.5 ซึ่ง Silica 20 phr ใช้ในยางสูตรอ่อน และ Silica 40 ใช้ในยางสูตรแข็ง โดยยกเว้นซิลเฟอร์ ดังแสดงในภาพที่ 3.19 ซึ่งควบคุมอุณหภูมิขณะบดผสมสารเคมีให้ได้ประมาณ 75-80 องศาเซลเซียส นำยางออกมาผสมซิลเฟอร์บนเครื่องบดแบบสองลูกกลิ้ง



ภาพที่ 3.18 ขั้นตอนการบดยาง



ภาพที่ 3.19 ยางที่ผสมสารเคมี

ตารางที่ 3.5 สูตรพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติ

สารเคมี	น้ำหนักแห้ง (phr)
ยางแผ่นรมควัน	100
Stearic Acid	3
ZnO	5
Wingstay L	0.5
Vulcafor MBT	0.5
Struktol	5
Silica	20 และ 40
Sulphur	1.5

2. เมื่อได้ยางที่ผสมสารเคมีต่าง ๆ เสร็จแล้ว ให้ป้อนยางที่ได้ทิ้งไว้อย่างน้อย 16 ชั่วโมง ก่อนนำไปขึ้นรูป ดังภาพที่ 3.20





ภาพที่ 3.20 ยางที่ผสมสารเคมีต่าง ๆ เสร็จแล้ว

3. นำยางที่ได้บ่มไว้ไปขึ้นรูปโดยใช้เข้าพิมพ์แบบอัด โดยใช้อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ที่ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 2,500 psi และอัดขึ้นรูปเป็นเวลา 15 นาที จะได้ยางพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติที่สุกหรือคงรูป (Vulcanizate) ดังภาพที่ 3.21



ภาพที่ 3.21 ยางที่ผ่านการขึ้นรูป

เมื่อได้ยางพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติที่ขึ้นรูปเรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะเป็นการศึกษาเพื่อทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าและพื้นดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกัน

### 3.2.6 ขั้นตอนการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

ในขั้นตอนการทดลองสำหรับการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าและพื้นเดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกัน มีการแบ่งขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. เตรียมพื้นทางเดิน และพื้นรองเท้าที่จะใช้ในการทดลองตามที่ระบุในแผนการออกแบบการทดลอง ดังตารางภาคผนวก ข โดยทำความสะอาดพื้นทางเดินและพื้นรองเท้า ด้วยสารละลายเอทานอล (Ethanol solution  $50 \pm 5$  % ethanol in water) จากนั้นทำการติดตั้งชนิดของพื้นทางเดิน และพื้นรองเท้า โดยถ้าทดสอบในสภาวะเปียกน้ำ เปื้อนน้ำมัน หรือเปื้อนน้ำสบู่ จะต้องราดน้ำ ทาน้ำมัน หรือน้ำสบู่บนพื้นจำลองให้มีความหนาอย่างน้อย 1 มิลลิเมตร ก่อนการทดสอบแต่ละครั้ง

2. เปิดโปรแกรมเก็บรวบรวมข้อมูล (DEWESoft)

3. ปรับค่าตัวแปร โดยปรับตั้งค่าองศาหมุนส้นเท้าสำหรับการทดสอบการลื่นไถลไปข้างหน้า (Forward heel slip) ไว้ที่  $7 \pm 0.5$  องศา ตามที่ระบุในตารางที่ 3.6

4. เดินเครื่องด้วยระบบควบคุมของเครื่องกัด โดยกดแรงในแนวตั้งให้เคลื่อนที่ลงให้ได้น้ำหนักตามที่ตั้งค่าไว้คือ  $500 \pm 25$  นิวตัน

5. เมื่อได้ค่าแรงตามที่ตั้งค่าไว้แล้วเดินเครื่องด้วยระบบควบคุมของเครื่องกัด โดยกำหนดให้เคลื่อนที่ออกไปด้วยความเร็วลื่นไถลเท่ากับ 30 เซนติเมตรต่อวินาที จนกระทั่งได้ระยะการลื่นไถลเท่ากับ 30 เซนติเมตร

6. บันทึกผลการทดลองที่ได้จากคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลต่อไป

7. ทำความสะอาดพื้นทางเดินและพื้นรองเท้าอีกครั้ง ด้วยสารละลายเอทานอล (Ethanol solution  $50 \pm 5$  % ethanol in water)

8. ทำการทดลองซ้ำขั้นตอนที่ 1. จนถึง 7. ซึ่งจะทำการทดลองทั้งหมด 1,080 ครั้ง โดยทำการเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ ตามแผนการออกแบบการทดลอง ดังตารางภาคผนวก ก

ซึ่งในแต่ละรอบของการทดลองจะต้องทำการปรับตั้งค่าตามรายละเอียดของค่าตัวแปรที่ใช้โดยกำหนดการทดลองตามมาตรฐานของ ISO 13287:2006 และตามปัจจัยของการทดลองของงานวิจัยดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 รายละเอียดของค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปร	จำนวน	ค่าที่กำหนด
1. มุมเท้า	1	$7 \pm 0.5$ องศา *
2. แรงกดแนวตั้ง	1	$500 \pm 25$ นิวตัน *
3. ความเร็ว	1	0.30 เมตรต่อวินาที *
4. ระยะในการเดิน	1	30 เซนติเมตร *
5. ชนิดของพื้นรองเท้า	6	1) ยางธรรมชาติสูตรแข็ง, 2) ยางธรรมชาติสูตรอ่อน, 3) ยางธรรมชาติ (ท้องตลาด), 4) NBR ลาย A, 5) NBR ลาย B และ 6) NBR ลาย C
6. ลายพื้นรองเท้า	1	ลายผสม
7. ชนิดของพื้นทางเดิน	3	1) ปูนขัด, 2) หินขัด และ 3) กระเบื้อง
8. สภาวะของพื้นทางเดิน	4	1) แห้ง, 2) เปียกน้ำ, 3) เปื้อนน้ำมัน และ 4) เปื้อนน้ำสบู่

\* หมายเหตุ กำหนดค่าการทดลองตามมาตรฐานของ ISO 13287:2006 (ISO 13287:2006, 2006)

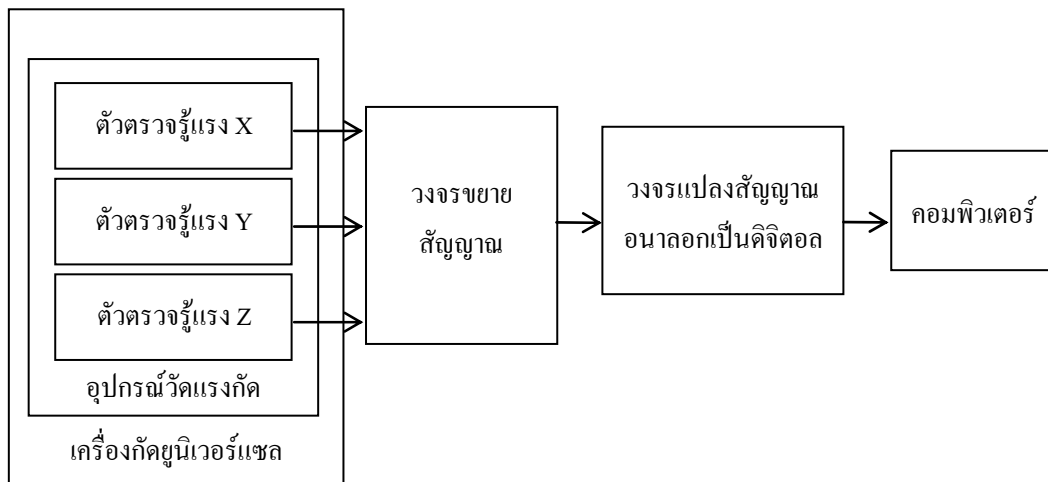
## บทที่ 4

### ผลและการวิเคราะห์ผลการวิจัย

การวิจัยเพื่อศึกษาถึงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของพื้นรองเท้าและพื้นดิน ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกัน ในบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึงวิธีการวิจัย โดยต่อไปจะเป็นผลการทดลองในงานวิจัยนี้ ซึ่งในการทดลองนี้ได้แบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วนด้วยกัน คือการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ได้ประยุกต์จากเครื่องกักยูนิเวอร์แซล ร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ ดังได้กล่าวมาแล้ว และการนำวัตถุคิบบพื้นรองเท้าที่ได้จัดทำขึ้นมา ไปทำการทดลองหาคุณสมบัติทางด้านแรงเสียดทานจากเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานดังกล่าว

#### 4.1 การพัฒนาเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของพื้นรองเท้า

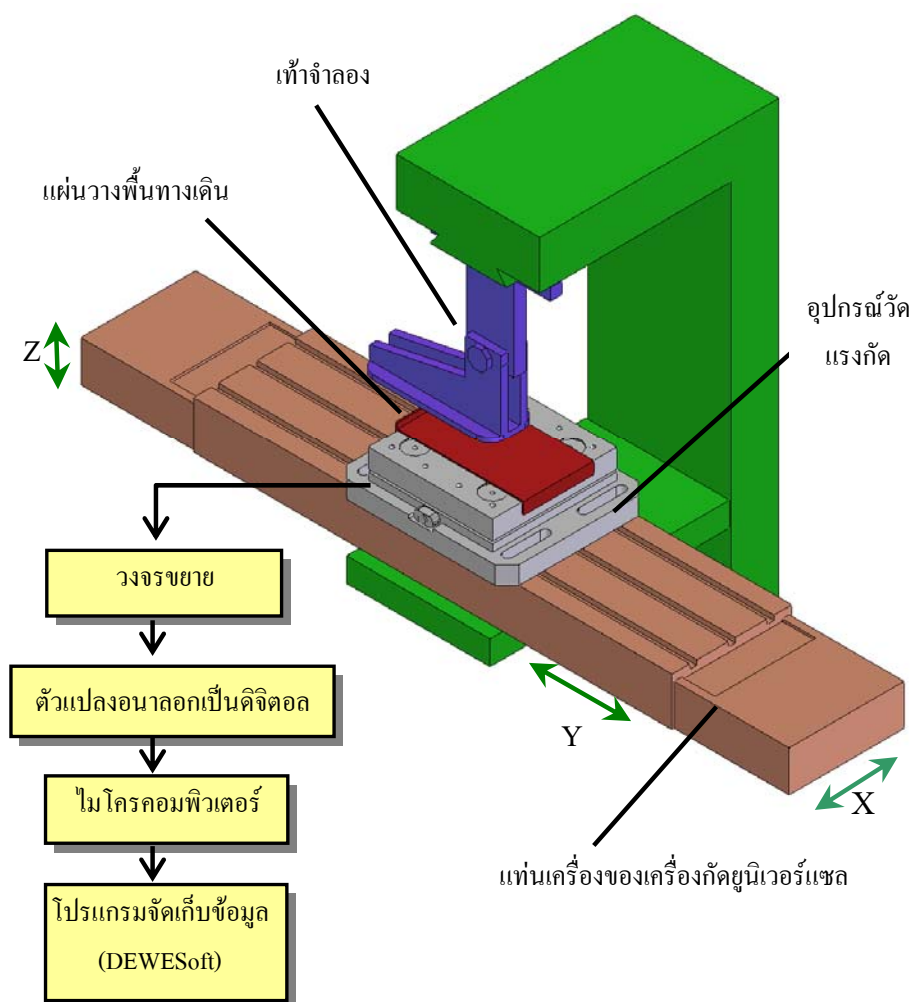
เครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของพื้นรองเท้าที่ได้มีการจัดสร้างขึ้นมา สำหรับงานวิจัยนี้ มีโครงสร้างเป็น ไปดังแผนผังวงจรดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แผนผังเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพื้นรองเท้าที่พัฒนาประยุกต์

การออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของพื้นรองเท้า เพื่อนำไปวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของพื้นรองเท้าในสภาวะที่เหมาะสมต่อการเดิน ดังภาพที่

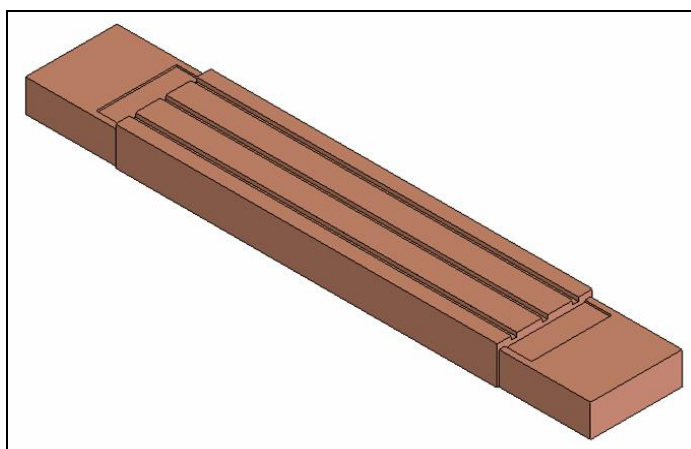
4.1 มีหลักการคือ ทำการติดตั้งเครื่องวัดแรงกดลงบนแท่นเครื่องของเครื่องกักตุนนิเวอ์แซลที่สามารถปรับค่าความเร็วได้ตามต้องการ และนำส่วนของเท้าจำลองไปติดยึดกับแท่นยึดหัวกัก (column) ของเครื่องกักตุนนิเวอ์แซล ซึ่งสามารถปรับค่าน้ำหนักที่กดลงบนพื้น และความเร็วในการเลื่อนได้ตามต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 4.2 โดยเมื่อมีแรงกระทำลงบน อุปกรณ์วัดแรงกด จะทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้าที่มีค่าแปรตามแรงกดออกมาจากตัวตรวจรู้ (sensor) ซึ่งเป็นสัญญาณแบบอนาลอก สัญญาณดังกล่าวถูกขยายให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ด้วยวงจขยายสัญญาณ (amplifier) แล้วทำการส่งมายังวงจรแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D) และส่งสัญญาณดังกล่าวเข้าสู่คอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้นั้นไปคำนวณหรือแสดงผลในที่สุด



ภาพที่ 4.2 องค์ประกอบของเครื่องวัดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้า

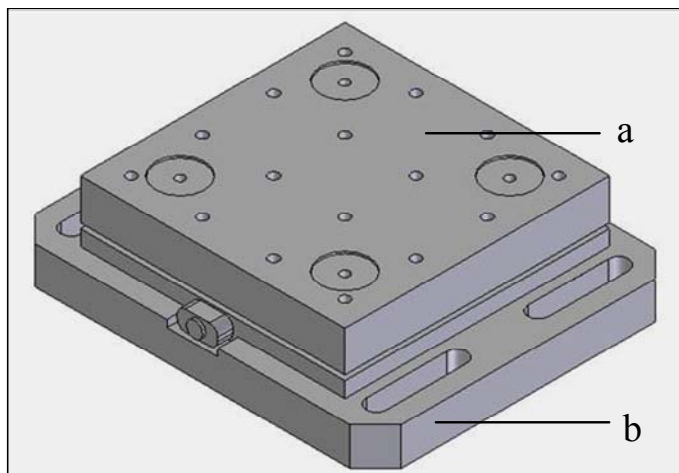
เครื่องวัดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้า ที่ได้ออกแบบและจัดสร้าง ขึ้นมานี้ สามารถแบ่งองค์ประกอบทางกลได้ดังนี้คือ

1. แท่นเครื่องของเครื่องกักยูนิเวอร์แซล มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมวางใน แนวราบ มีความยาว 148 เซนติเมตร ความกว้าง 25 เซนติเมตร และความสูง 8.5 เซนติเมตร ดัง แสดงในภาพที่ 4.3 สามารถปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ในแนว ขึ้น ลง ซ้าย และขวาได้หลาย ระดับค่า ในที่นี้ได้ตั้งแต่ 1.6 เซนติเมตรต่อวินาที จนถึง 80 เซนติเมตรต่อวินาที



ภาพที่ 4.3 แท่นเครื่องของเครื่องกักยูนิเวอร์แซล

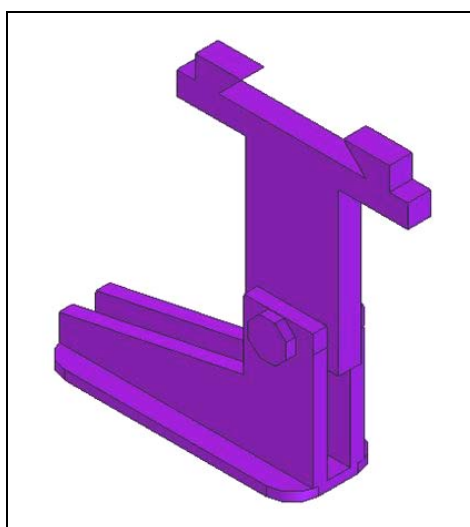
2. อุปกรณ์วัดแรงกัก มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม มีความยาว 26 เซนติเมตร ความ กว้าง 26 เซนติเมตร และความสูง 6 เซนติเมตร บนฐานที่ยึดเป็นชิ้นเดียวกันมีความยาว 36 เซนติเมตร ความกว้าง 30 เซนติเมตร และความสูง 3.7 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4.4 ภายใน อุปกรณ์วัดแรงกักจะติดตั้งตัวตรวจรู้วัดแรง อยู่ 3 ชุดด้วยกัน ทำให้สามารถวัดแรงในแนวแกน x y และ z ได้ในเวลาเดียวกัน โดยในที่นี้ต้องการวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ซึ่งเป็นการวัดแรง ที่กระทำต่อวัสดุทดสอบในขณะที่เคลื่อนที่ ดังนั้นจึงใช้อุปกรณ์วัดแรงกักมาประกอบลงบนแท่น เครื่องของเครื่องกักยูนิเวอร์แซล เพื่อช่วยให้การทดลองสามารถทำการปรับความเร็วในการ เคลื่อนที่จากเครื่องกักยูนิเวอร์แซล และสามารถอ่านค่าน้ำหนักกดและแรงต้านจากอุปกรณ์วัดแรง กักได้ในเวลาทำการทดลองจริง



(a) อุปกรณ์วัดแรงกัก (b) ฐาน

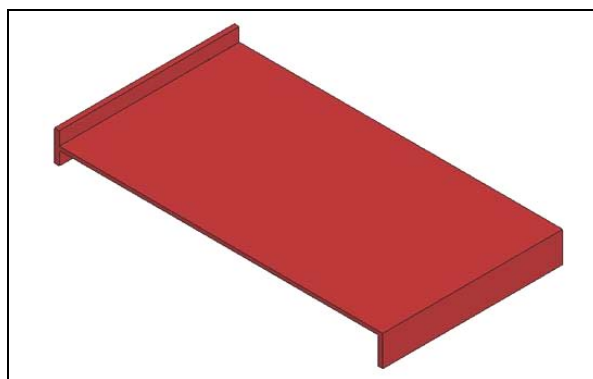
ภาพที่ 4.4 อุปกรณ์วัดแรงกัก

3. แท้จำลอง มีลักษณะเป็นทรงรูปเท้า ทำด้วยเหล็กแผ่นหนา มาเชื่อมประกอบกัน ให้มีโครงร่างคล้ายรูปเท้าของมนุษย์ ดังแสดงในภาพที่ 4.5 ส่วนบนของแท้จำลองได้ทำเป็นร่องยึด เพื่อให้ประกอบเข้ากับแท่นยึดหัวกัก (Column) ของเครื่องกักยูนิเวอร์แซลได้ และสามารถปรับกลไกประกอบในระบบให้สามารถปรับตั้งค่าน้ำหนักกดได้ตามต้องการ เพื่อให้น้ำหนักของแท้จำลองที่ตกลงบนพื้นทดสอบถูกต้องตามมาตรฐานของการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ที่ได้ออกแบบการทดลองเอาไว้



ภาพที่ 4.5 แท้จำลอง

4. แผ่นวางพื้นทางเดิน มีลักษณะเป็นแผ่นแบน ทำด้วยเหล็กแผ่นบางมาเชื่อม ประกอบกันมีโครงร่างดังแสดงในภาพที่ 4.6 ซึ่งส่วนของแผ่นวางพื้นทางเดินได้ทำเป็นสัน เพื่อให้ประกอบเข้ากับเครื่องวัดแรงกัก และสามารถวางพื้นทางเดินชนิดต่าง ๆ ไม่ให้เลื่อนไถลขณะ ทดลองได้



ภาพที่ 4.6 แผ่นวางพื้นทางเดิน

จากการติดตั้งและปรับปรุงพัฒนาเครื่องจักรและอุปกรณ์ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ดังข้อมูลข้างต้น จะได้เครื่องวัดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าที่ใช้จริง ดังแสดงในภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 เครื่องวัดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าที่ใช้จริง (ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)

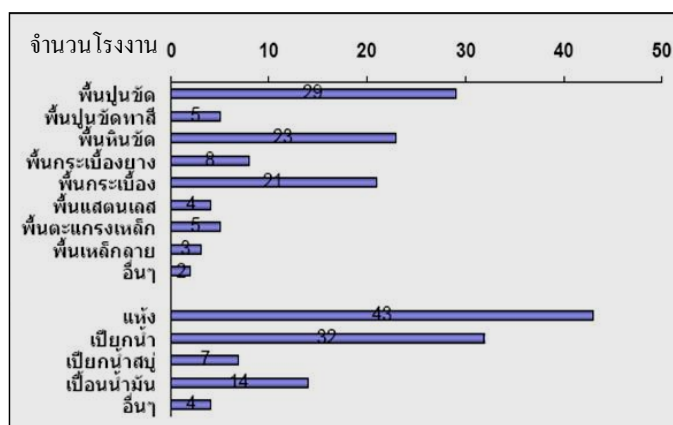


#### 4.2 การศึกษาค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

งานวิจัยเรื่องการศึกษาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นทางเดินและพื้นรองเท้า ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกัน (นิธิพงศ์ วิไลพันธุ์ และยุทธชัย บรรเทิงจิตร, 2549) ระบุว่าตัวแปรที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน คือ มุมเท้า ความเร็วในการลื่นไถล ระยะในการลื่น แรงในแนวตั้ง และแรงในแนวระนาบ รวมทั้งวัสดุที่ใช้ทำพื้นรองเท้า ชนิดพื้นทางเดิน และสภาวะของพื้นทางเดิน และได้เพิ่มตัวแปรหลายของพื้นรองเท้าเข้าไปด้วย ซึ่งจากข้อมูลที่กล่าวมานี้ ตัวแปรที่มีคุณสมบัติขั้นต้นที่นำมาใช้ในการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่จะส่งผลต่อการลื่นไถล มีดังต่อไปนี้

1. มุมสันเท้า ( $\theta$ ) จากมาตรฐาน ISO 13287:2006 กำหนดค่าองศาสามมุมสันเท้า สำหรับการทดสอบการลื่นไถลไปข้างหน้า (Forward heel slip) ไว้ที่  $7 \pm 0.5$  องศา
2. การลื่นไถล จากมาตรฐาน ISO 13287:2006 กำหนดไว้ที่ 30 เซนติเมตรต่อวินาที
3. ระยะในการลื่นไถล ศึกษาจากมาตรฐาน ISO 13287:2006 กำหนดไว้ที่ 30 เซนติเมตร
4. แรงในแนวตั้ง ศึกษาจากมาตรฐาน ISO 13287:2006 กำหนดให้ใช้แรงสำหรับการทดสอบกับรองเท้าเบอร์ 6 (English size 6 or Paris points size 40) ที่  $500 \pm 25$  นิวตัน
5. แรงในแนวระนาบ วัดจากการทดสอบที่แรงแนวตั้ง ที่  $500 \pm 25$  นิวตัน เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 30 เซนติเมตรต่อวินาที
6. วัสดุที่ใช้ทำพื้นรองเท้า เป็นพื้นรองเท้าที่ผลิตจากยางธรรมชาติ
7. ลายของพื้นรองเท้า ศึกษาจากลายที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูง
8. ชนิดพื้นทางเดิน (นิธิพงศ์ วิไลพันธุ์ และยุทธชัย บรรเทิงจิตร, 2549) ได้ทำการสำรวจถึงวัสดุที่ใช้ทำพื้น โรงงานและสภาพของพื้นทางเดินในโรงงาน โดยเน้นที่โรงงานอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากเป็นโรงงานอุตสาหกรรมที่มีภาวะเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุของการลื่นล้มสูง (กองวิจัยและพัฒนาสำนักงานประกันสังคม, 2552) พบว่าพื้นทางเดินที่พบมากที่สุด 3 ชนิด คือ พื้นปูนขัด พื้นหินขัด และพื้นกระเบื้อง ดังแสดงในภาพที่ 4.8 และนำค่าตัวแปรนี้ไปใช้งานวิจัยต่อไป
9. สภาวะพื้นทางเดิน (นิธิพงศ์ วิไลพันธุ์ และยุทธชัย บรรเทิงจิตร, 2549) ผลของการสำรวจที่โรงงานอุตสาหกรรมอาหาร พบว่าสภาวะพื้นทางเดินที่พบมากที่สุด 4 สภาวะ คือ

สภาวะแห้ง สภาวะเปียกน้ำ สภาวะเปื้อนน้ำมัน และสภาวะเปียกน้ำสนุ่ ดังแสดงในภาพที่ 4.8 และนำค่าตัวแปรนี้ไปใช้ในงานวิจัยต่อไป

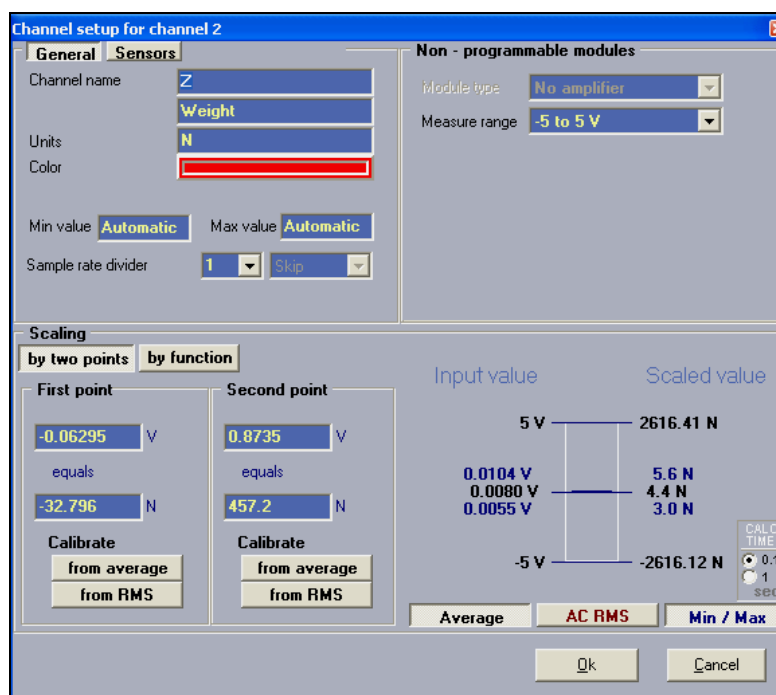


ภาพที่ 4.8 กราฟการสำรวจวัสดุที่ใช้ทำพื้น โรงงานและสภาพของพื้นทางเดินจาก 100 โรงงาน (นิศ พงศ์ วิไลพันธุ์ และยุทธชัย บรรเทึงจิตร, 2549)

#### 4.3 การทดสอบหาความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้า

การทดสอบหาความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้า จะทำการทดสอบความถูกต้องของเครื่องมือวัด โดยใช้ที่น้ำหนักที่ใช้ในการหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้า ที่เป็นไปตามมาตรฐาน ISO 13287:2006 ซึ่งกำหนดให้จะต้องทำการทดสอบที่มวล 50 กิโลกรัม ดังนั้นในการวิจัยนี้จะทำการออกแบบวิธีการทดสอบหาความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้า โดยการทดสอบความคลาดเคลื่อนของทั้งระบบ กล่าวคือจะทำการกำหนดอินพุตที่เป็นก้อนน้ำหนักโลหะที่มีค่าตามมาตรฐาน ISO ดังกล่าว คือ 500 นิวตัน (50 กิโลกรัม) เข้ากับเครื่องวัดแรงกด แล้วอ่านค่าที่ได้จากโปรแกรมเก็บรวบรวมข้อมูล (DEWESoft) บนคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าที่ได้จากโปรแกรมจะเป็นค่าที่ตรงกับค่าที่ใช้งานจริง

หลักการทำงานโดยทำการปรับวงจรรายสัญญาณไปที่ตำแหน่งที่ใช้วัดจริง และปรับค่าโปรแกรมเก็บรวบรวมข้อมูลไปที่ -5 ถึง 5 โวลต์ โดยการ Calibrate จากค่าเฉลี่ยที่จุด First Point ให้ค่า 0.008373 โวลต์ เท่ากับ 0 นิวตัน และจุด Second Point ให้ค่า 0.2202 โวลต์ เท่ากับ 500 นิวตัน ดังแสดงในภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 ปรับค่าโปรแกรมเก็บรวบรวมข้อมูล (DEWESoft)

จากนั้นจะทำการทดลองโดยทำการวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยการวัดผลลัพธ์สุดท้ายจากอินพุตในขั้นต้นจะทำให้ได้ข้อมูลความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าทั้งระบบ ซึ่งเป็นผลดีที่ไม่ต้องคำนึงถึงความคลาดเคลื่อนของชุดวัดแรงกัก ความคลาดเคลื่อนของวงจรถ่าย และความคลาดเคลื่อนของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล เนื่องจากรวมอยู่ในผลลัพธ์สุดท้าย

#### การทดสอบความคลาดเคลื่อนของระบบ

การทดสอบความคลาดเคลื่อนของระบบด้วยน้ำหนักขนาด 500 นิวตัน มาวางบนอุปกรณ์วัดแรงกัก และดูค่าที่ได้ในโปรแกรม DEWESoft โดยทำการเก็บข้อมูลจำนวน 40 ครั้ง ดังตารางที่ 4.1 มาทำการวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่น โดยวิธีทางสถิติตัวแปรสุ่มแบบปกติมาตรฐาน

ตารางที่ 4.1 ค่าของการทดสอบความคลาดเคลื่อนของระบบด้วยน้ำหนักขนาด 500 นิวตัน

ค่าที่วัดทั้งหมด 40 ค่า									
497	500	494	502	499	500	501	499	499	500
506	501	497	506	506	500	500	498	501	497
501	502	498	500	501	500	502	499	497	500
501	499	501	498	504	500	501	497	500	499

การทดสอบสมมติฐานเพื่อการยอมรับค่าการใช้งานของเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าว่าสามารถใช้งานได้หรือไม่ โดยที่ค่าการยอมรับอยู่ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ค่าที่ได้จากการทดสอบคือ	$\bar{X} = 500.075$
	SD = 2.49
	N = 40
สมมติฐานการทดสอบคือ	$H_0 : \mu_0 = 500$
	$H_1 : \mu_0 \neq 500$

ค่าสถิติของการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าสถิติของการทดสอบ

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	99% CI	Z	P
500N	40	500.075	2.495	0.394	(499.061, 501.089)	0.190	0.849

จากค่าสถิติของการทดสอบ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ค่าความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์  $Z_{0.99} = 2.326$  ดังนั้นจากแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่า  $Z < Z_{0.99}$  จึงยอมรับสมมติฐานหลัก ซึ่งสรุปว่า การใช้งานของเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้า สามารถเชื่อถือได้ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

#### 4.4 การวิเคราะห์ขั้นต้น เพื่อกำหนดค่าตัวแปรในการทดลองที่เหมาะสม

ในส่วนของการทดลองขั้นต้นเพื่อกำหนดค่าตัวแปรในการทดลองที่เหมาะสม จะศึกษาจากลายของพื้นรองเท้าว่าลายแต่ละลายที่มีความแตกต่างกัน จะให้ผลลัพธ์ของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ต่างกันอย่างไรในการทดลอง

##### 4.4.1 การวิเคราะห์หาลายพื้นรองเท้าลายพื้นฐานที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงสุด

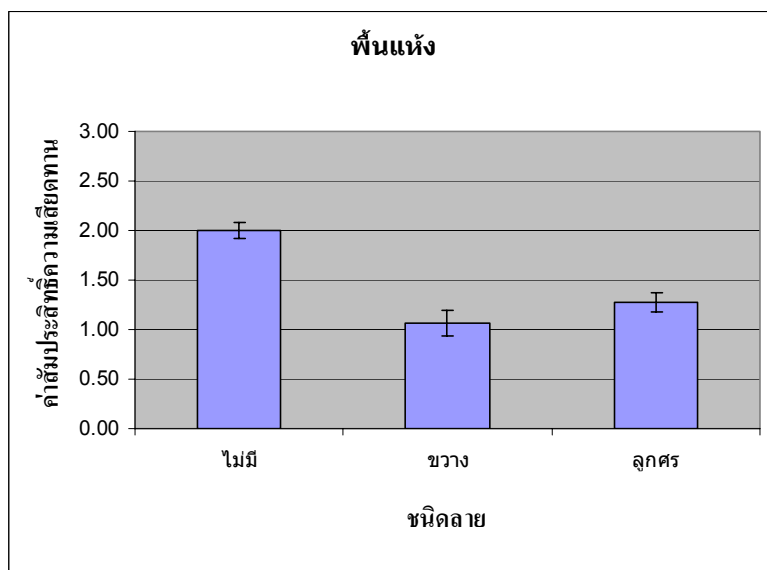
การทดลองขั้นต้นของผลลัพธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับชนิดของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติบนพื้นกระเบื้องแห้ง จากลายพื้นฐาน 3 ลายคือ ไม่มีลาย ลายขวาง และ ลายหัวลูกศร (ดังภาพที่ 4.10) เมื่อทำการทดลอง 10 ครั้ง (ดังตารางที่ 4.3) ซึ่งจะนำมาสู่การได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของลายพื้นฐานของพื้นรองเท้า เป็นไปดังภาพที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับลายพื้นฐานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติบนพื้นกระเบื้องแห้ง



ภาพที่ 4.10 ลายพื้นรองเท้า

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองลายพื้นรองเท้าบนพื้นกระเบื้องแห้ง

ลาย	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน										ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
ไม่มี	1.97	1.75	1.98	1.87	1.99	2.00	1.88	1.99	1.98	1.98	1.94	0.08
ขวาง	1.05	1.03	1.04	1.09	1.06	1.06	1.08	1.48	1.03	1.06	1.10	0.14
ลูกศร	1.42	1.23	1.49	1.36	1.17	1.27	1.36	1.27	1.26	1.29	1.31	0.10



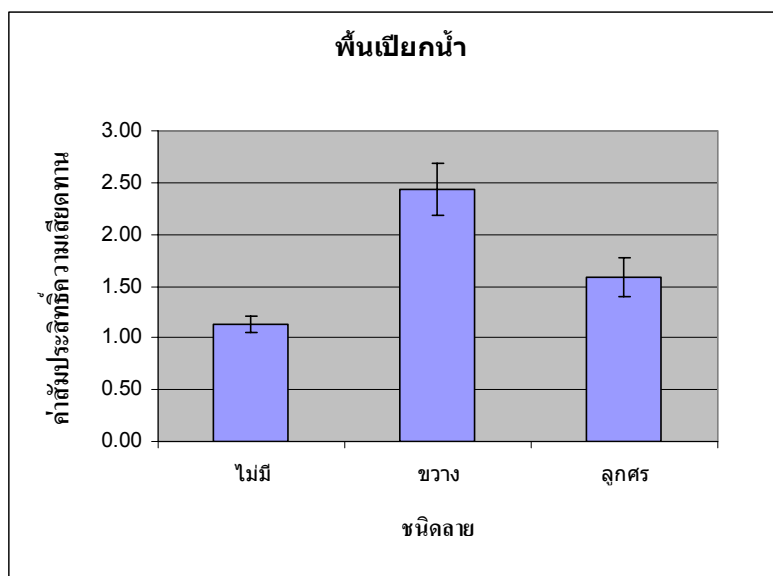
ภาพที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์กับพื้นที่รองทำลายพื้นฐาน  
จากยางธรรมชาติบนกระเบื้องแห้ง

พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ลายพื้นฐานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติบนพื้นกระเบื้องแห้ง ในพื้นรองเท้าที่ไม่มีลายให้ค่าเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 1.94

การทดลองขั้นตอนของผลลัพธ์ระหว่างแรงเสียดทานกับลายพื้นฐานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติบนพื้นกระเบื้องเปียกน้ำ เมื่อทำการวัด 10 ครั้ง (ดังตารางที่ 4.4) ซึ่งจะนำมาสู่การได้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์เป็นไปดังภาพที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์กับลายพื้นฐานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติบนพื้นกระเบื้องเปียกน้ำ

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองลายพื้นรองเท้าบนพื้นกระเบื้องเปียกน้ำ

ลาย	ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์										ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
ไม่มี	1.17	1.22	1.17	1.24	1.11	1.04	1.16	1.05	1.05	1.07	1.13	0.08
ขวาง	2.32	1.82	2.58	2.69	2.54	2.37	2.55	2.39	2.45	2.66	2.44	0.25
ลูกศร	1.70	1.89	1.60	1.51	1.90	1.42	1.46	1.46	1.41	1.48	1.58	0.19



ภาพที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายกับพื้นรองเท้าลายพื้นฐาน จากยางธรรมชาติบนกระเบื้องเปียกน้ำ

จากการทดสอบพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายลายพื้นฐานของพื้นรองเท้า จากยางธรรมชาติบนพื้นกระเบื้องเปียกน้ำ ในพื้นรองเท้าลายขวางให้ค่าเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 2.44

#### 4.4.1.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายกับพื้นรองเท้าลายพื้นฐานจากยางธรรมชาติบนกระเบื้องแห้งและเปียกน้ำ

จากผลการทดลองค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายกับพื้นรองเท้าลายพื้นฐานจากยางธรรมชาติบนกระเบื้องแห้งและเปียกน้ำ ซึ่งมี 2 ปัจจัย คือ พื้นรองเท้าลายพื้นฐานจากยางธรรมชาติ 3 ระดับ (ไม่มี ขวาง และลูกศร) สภาพของพื้นทางเดิน 2 ระดับ (พื้นแห้ง และเปียกน้ำ) นำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายกับพื้นรองเท้าลายพื้นฐานจากยางธรรมชาติบนกระเบื้องแห้งและเปียกน้ำ โดยมีสมมุติฐานในการทดลองดังนี้

##### 1. สมมุติฐานในการทดลอง

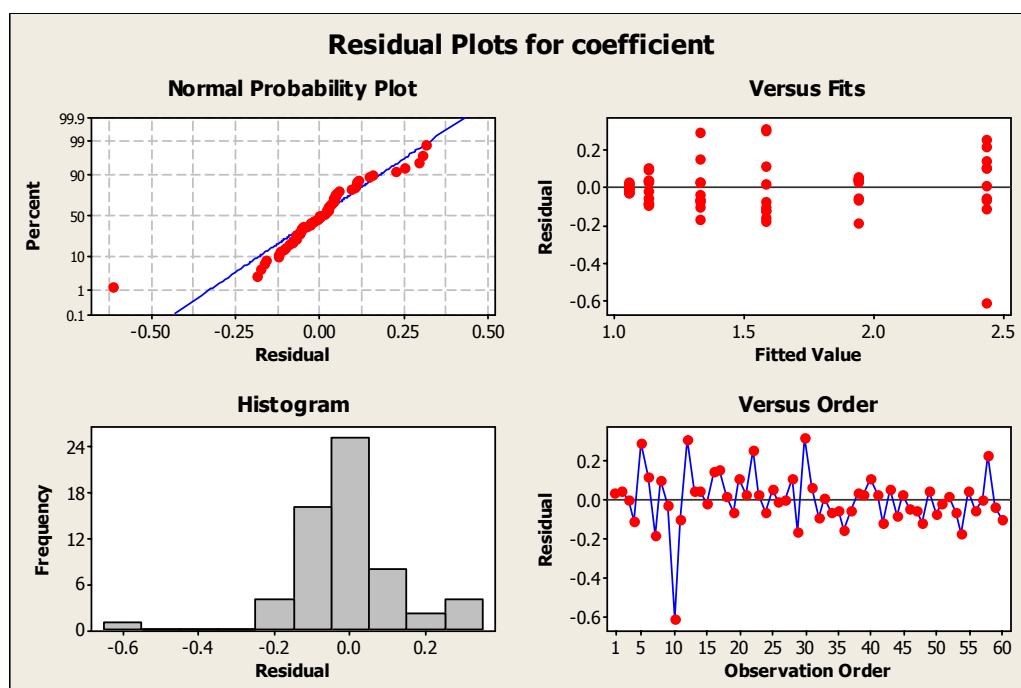
ในสมมุติฐานการทดลองจะทำการพิจารณาที่ผลกระทบหลัก (Main Effects) และผลกระทบ (Interaction) ที่ 2 ปัจจัย ดังต่อไปนี้

##### พิจารณา Main Effect

- ทดสอบสมมุติฐานของอิทธิพลของชนิดของพื้นรองเท้า (Factor A)

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 0 \quad \text{สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของชนิดของพื้นรองเท้าไม่แตกต่างกัน}$$

- $H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$  สำหรับบางระดับ อิทธิพลของชนิดของพื้นรองเท้าแตกต่างกัน  
- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของสภาพของพื้นทางเดิน (Factor B)
- $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$  สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของสภาพของพื้นทางเดินไม่แตกต่างกัน
- $H_1 : \text{at least one } \beta_j \neq 0$  สำหรับบางระดับ อิทธิพลของสภาพของพื้นทางเดินแตกต่างกัน
- พิจารณา 2 Factor Interaction Effect  
- ทดสอบว่ามี Interaction ระหว่าง (Factor A) และ (Factor B) หรือไม่
- $H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$  for all  $i, j$  ทุกระดับ  $i, j$  ไม่มีอิทธิพลของ Interaction
- $H_1 : \text{at least one } (\tau\beta)_{ij} \neq 0$  มีบาง  $i, j$  มีอิทธิพลของ Interaction



ภาพที่ 4.13 Residual Plots for coefficient

จากภาพที่ 4.13 เมื่อพิจารณาที่ Normal Probability plot และ Histogram จะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะเป็นเส้นตรง 1 เส้น และเป็นรูปทรงระฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลมาจากการทดลองที่มีการตั้งค่าค่อนข้างดี เมื่อพิจารณาที่ versus fits พบว่ามีการกระจายตัวออกห่างจากจุดศูนย์กลางสม่ำเสมอ แสดงว่าข้อมูลมีลักษณะแบบสุ่ม และเมื่อพิจารณาที่ versus order พบว่ามีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์ แต่มี 1 จุดที่พบความผิดปกติ ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถ



ควบคุมได้ ดังนั้นข้อมูลในการทดลองนี้สามารถนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไปได้ โดยได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ตาราง ANOVA ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับพื้นรองเท้าลายพื้นฐานจากยางธรรมชาติบนกระเบื้องแห้งและเปียกน้ำ

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
pattern (A)	2	1.44	1.44	0.72	11.56	0.000
condition (B)	1	1.41	1.41	1.41	22.70	0.000
pattern*condition	2	12.02	12.02	6.01	96.69	0.000
Error	54	3.36	3.36	0.06		
Total	59	18.22				

R-Sq = 95.41%

จากตารางที่ 4.5 ในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ  $R^2 = 95.41\%$  ว่าความผันแปรที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มาจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยที่สนใจ (Treatment): Factor A และ Factor B 95.41 ส่วน และเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) 4.59 ส่วน แสดงว่าแบบการทดลองอยู่ในเกณฑ์ดี ซึ่งการทดสอบสมมติฐานของการทดลองได้ผลดังนี้

## 2. ทดสอบสมมติฐานของการทดลอง

ในการทดสอบสมมติฐานในการทดลองจะทำการพิจารณาที่ผลกระทบหลัก (Main Effects) และผลกระทบ (Interaction) ที่ 2 ปัจจัย ดังต่อไปนี้

พิจารณา Main Effect

- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของชนิดของพื้นรองเท้า (Factor A)

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 0$  สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของชนิดของพื้นรองเท้าไม่แตกต่างกัน

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

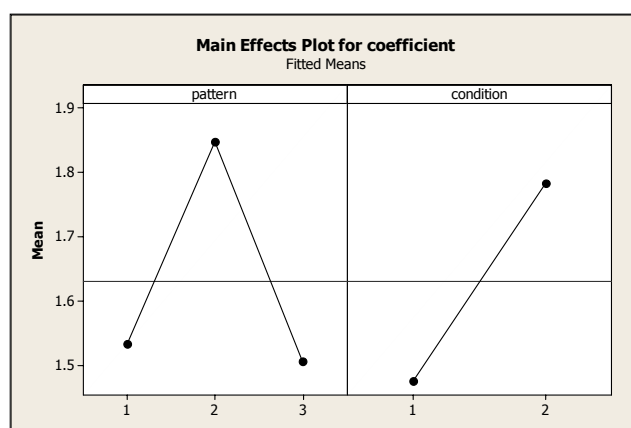
จากข้อมูลในตาราง ANOVA Reject  $H_0$  เนื่องจากค่า P - Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่า Alpha ( $\alpha = 0.05$ ) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่าปัจจัยของชนิดของพื้นรองเท้ามีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ระดับ  $\alpha = 0.05$

- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของสภาพของพื้นทางเดิน (Factor B)

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$  สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของสภาพของพื้นทางเดินไม่แตกต่างกัน

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

จากข้อมูลในตาราง ANOVA Reject  $H_0$  เนื่องจากค่า P - Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่า Alpha ( $\alpha = 0.05$ ) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่าปัจจัยของชนิดของพื้นทางเดินมีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ระดับ  $\alpha = 0.05$



ภาพที่ 4.14 ผลกระทบหลัก (Main Effects) ระหว่างพื้นรองเท้าหลายพื้นฐานและสภาวะของพื้นทางเดิน

จากภาพที่ 4.14 ผลกระทบหลัก (Main Effects) ระหว่างพื้นรองเท้าหลายพื้นฐานและสภาวะของพื้นทางเดิน ให้เห็นว่าปัจจัยพื้นรองเท้าหลายพื้นฐานและสภาวะของพื้นทางเดินมีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน โดยปัจจัยมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานแตกต่างกัน เมื่อระดับการทดลองเพิ่มขึ้น ดังนั้นผลกระทบหลัก (Main Effects) ของปัจจัยพื้นรองเท้าหลายพื้นฐานและสภาวะของพื้นทางเดินส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และจะพิจารณา 2 Factor Interaction Effect ดังต่อไปนี้

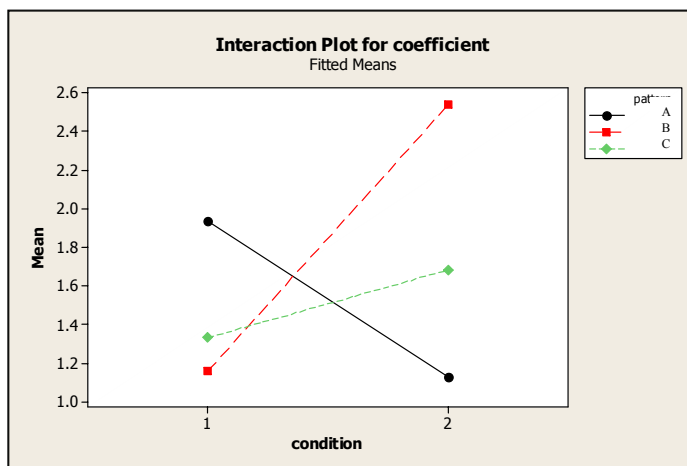
พิจารณา 2 Factor Interaction Effect

- ทดสอบว่ามี Interaction ระหว่าง (Factor A) และ (Factor B) หรือไม่

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$  for all  $i, j$  ทุกระดับ  $i, j$  ไม่มีอิทธิพลของ Interaction

$H_1 : \text{at least one } (\tau\beta)_{ij} \neq 0$  มีบาง  $i, j$  มีอิทธิพลของ Interaction

จากข้อมูลในตาราง ANOVA Reject  $H_0$  เนื่องจากค่า P – Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่า Alpha ( $\alpha = 0.05$ ) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่ามีอิทธิพลของ Interaction ระหว่างปัจจัย A และ B มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ระดับ  $\alpha = 0.05$



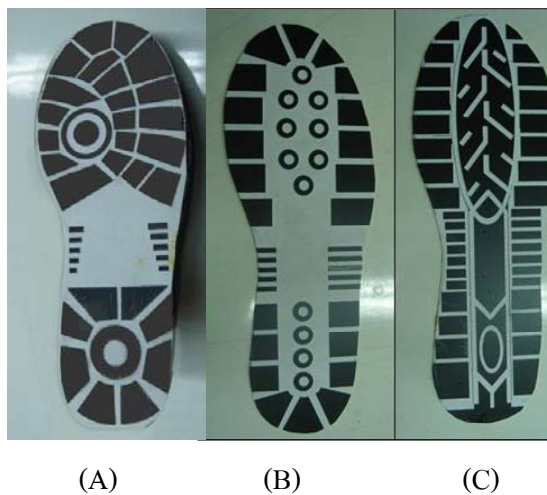
ภาพที่ 4.15 ผลกระทบ (Interaction) ระหว่างพื้นรองเท้าหลายพื้นฐานและสถานะของพื้นทางเดิน

จากภาพที่ 4.15 ผลกระทบ (Interaction) ระหว่างพื้นรองเท้าหลายพื้นฐานและสถานะของพื้นทางเดิน พบว่ากราฟมีความชันเพิ่มขึ้นและลดลงแตกต่างกัน ดังนั้นปัจจัยของพื้นรองเท้าหลายพื้นฐานและสถานะของพื้นทางเดินส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

ลายรองเท้าแบบเดียวกันจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ต่างกันในพื้นที่ต่างกัน ดังนั้นลายของพื้นรองเท้าจึงควรมีลายพื้นฐานหลายลายรวมกัน เพื่อให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่สูงเหมาะกับการใช้งานเพื่อความปลอดภัยในหลากหลายสถานะการใช้งาน

#### 4.4.2 การวิเคราะห์หลายพื้นรองเท้าที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงสุด

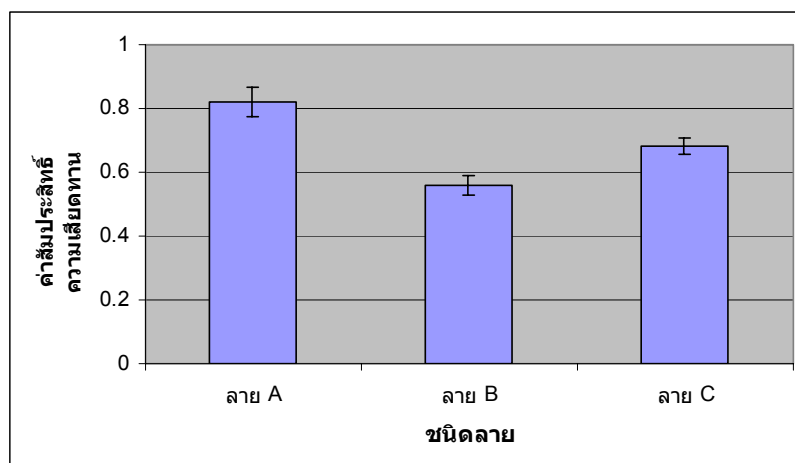
การทดลองขั้นต้นเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับลายผสมของพื้นรองเท้า (ดังภาพที่ 4.16) บนพื้นกระเบื้องแห้ง ทำการทดลองโดยการกัดลายลงบนพื้นพลาสติก เพื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานโดยตัดปัจจัยของยางธรรมชาติออก เมื่อทำการวัดซ้ำ 10 ครั้ง (ดังตารางที่ 4.6) ซึ่งจะนำมาสู่การได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเป็นไปดังภาพที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับลายผสมของพื้นรองเท้าบนพื้นกระเบื้องเปียกน้ำ



ภาพที่ 4.16 ลายผสมพื้นรองเท้า

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองพื้นรองเท้าลายผสมบนพื้นกระเบื้องแห้ง

ลาย	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน										ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A	0.85	0.82	0.74	0.77	0.82	0.88	0.88	0.80	0.80	0.84	0.82	0.04
B	0.59	0.53	0.55	0.57	0.55	0.59	0.54	0.54	0.53	0.62	0.56	0.03
C	0.66	0.72	0.65	0.69	0.67	0.67	0.67	0.67	0.72	0.70	0.68	0.02



ภาพที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับพื้นรองเท้าลายผสมบนกระเบื้องแห้ง

พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายหลายพื้นฐานของพื้นรองเท้าหลายผสมบน กระเบื้องแห้ง ในพื้นรองเท้าลาย A ให้ค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 0.82

#### 4.4.2.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายกับลายผสมของพื้นรองเท้าบนพื้นกระเบื้องแห้ง

จากผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียหายกับลายผสมของพื้นรองเท้าบนพื้นกระเบื้องแห้ง ซึ่งมี 1 ปัจจัย คือ พื้นรองเท้าลายผสมจากยางธรรมชาติ 3 ระดับ (ลาย A ลาย B และลาย C) นำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียหายกับลายผสมของพื้นรองเท้าบนพื้นกระเบื้องแห้ง

##### 1. สมมุติฐานในการทดลอง

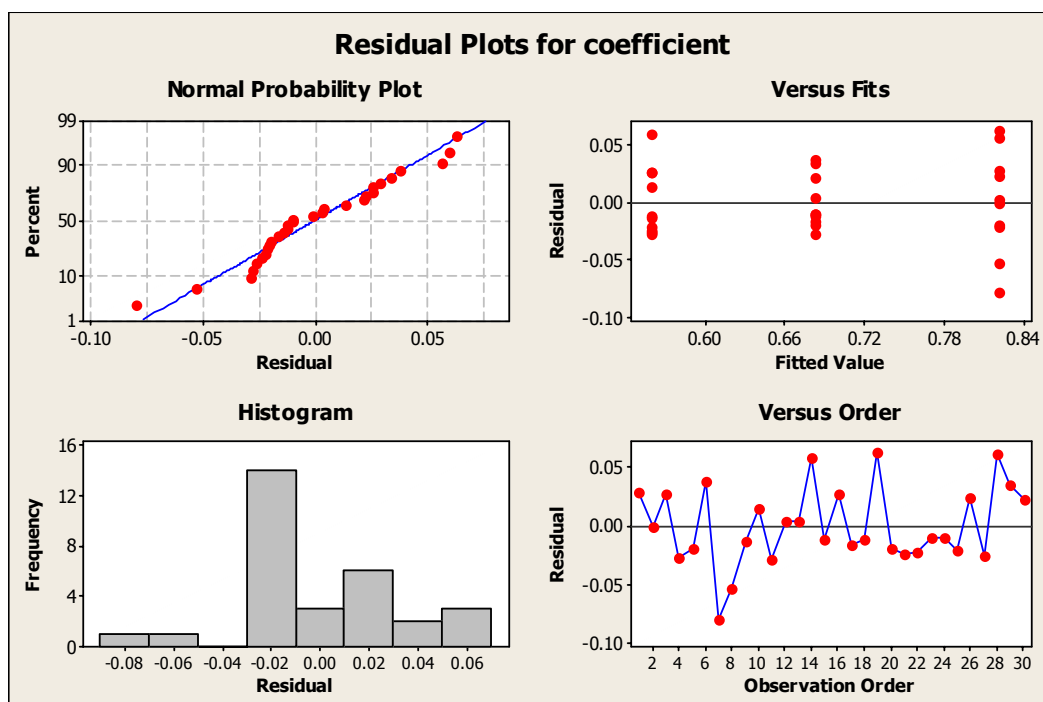
ในสมมุติฐานการทดลองจะทำการพิจารณาที่ผลกระทบหลัก (Main Effects) ที่ 1 ปัจจัย ดังต่อไปนี้

พิจารณา Main Effect

- ทดสอบสมมุติฐานของอิทธิพลของชนิดของพื้นรองเท้า (Factor A)

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 0$  สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของชนิดของพื้นรองเท้าไม่แตกต่างกัน

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



ภาพที่ 4.18 Residual Plots for coefficient

จากภาพที่ 4.18 เมื่อพิจารณาที่ Normal Probability plot และ Histogram จะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะเป็นเส้นตรง 1 เส้น และเป็นรูปทรงระฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลมาจากการทดลองที่มีการตั้งค่าก่อนข้างดี เมื่อพิจารณาที่ versus fits พบว่ามีการกระจายตัวออกจากจุดศูนย์กลางสม่ำเสมอ แสดงว่าข้อมูลมีลักษณะแบบสุ่ม และเมื่อพิจารณาที่ versus order พบว่ามีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์ แต่มีบางจุดที่พบความผิดปกติ ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นข้อมูลในการทดลองนี้สามารถนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไปได้ โดยได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ตาราง ANOVA ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับพื้นรองเท้าลายผสม

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
pattern mix (A)	2	0.34	0.34	0.17	147.14	0.000
Error	27	0.03	0.03	0.001		
Total	29	0.37				

R-Sq = 91.60%

จากตารางที่ 4.7 ในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ  $R^2 = 91.60\%$  ว่าความผันแปรที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มาจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยที่สนใจ (Treatment): Factor A 91.60 ส่วน และเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) 8.4 ส่วน แสดงว่าแบบการทดลองอยู่ในเกณฑ์ดี ซึ่งการทดสอบสมมติฐานของการทดลองได้ผลดังนี้

## 2. ทดสอบสมมติฐานของการทดลอง

ในการทดสอบสมมติฐานในการทดลองจะทำการพิจารณาที่ผลกระทบหลัก (Main Effects) ที่ 1 ปัจจัย ดังต่อไปนี้

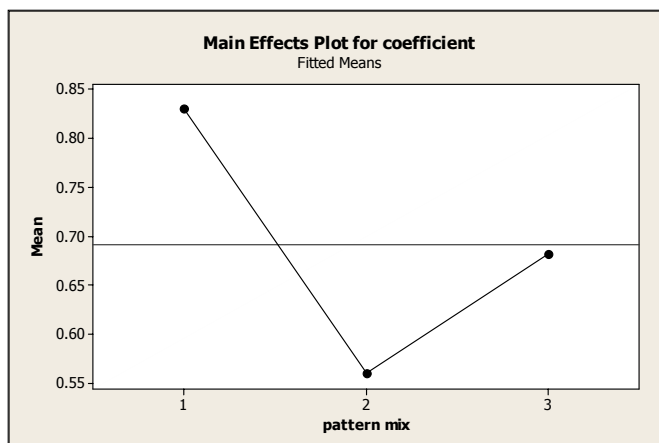
พิจารณา Main Effect

- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของชนิดของพื้นรองเท้า (Factor A)

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 0$  สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของชนิดของพื้นรองเท้าไม่แตกต่างกัน

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

จากข้อมูลในตาราง ANOVA Reject  $H_0$  เนื่องจากค่า P – Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่า Alpha ( $\alpha = 0.05$ ) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่าปัจจัยของชนิดของพื้นรองเท้ามีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ระดับ  $\alpha = 0.05$



ภาพที่ 4.19 ผลกระทบหลัก (Main Effects) ของพื้นรองเท้าลายผสม

จากกราฟภาพที่ 4.19 ผลกระทบหลัก (Main Effects) ของพื้นรองเท้าลายผสม ให้เห็นว่าปัจจัยพื้นรองเท้าลายผสมมีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน โดยปัจจัยมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานแตกต่างกันเมื่อระดับการทดลองเพิ่มขึ้น ดังนั้นผลกระทบหลัก (Main Effects) ของปัจจัยพื้นรองเท้าลายผสมส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

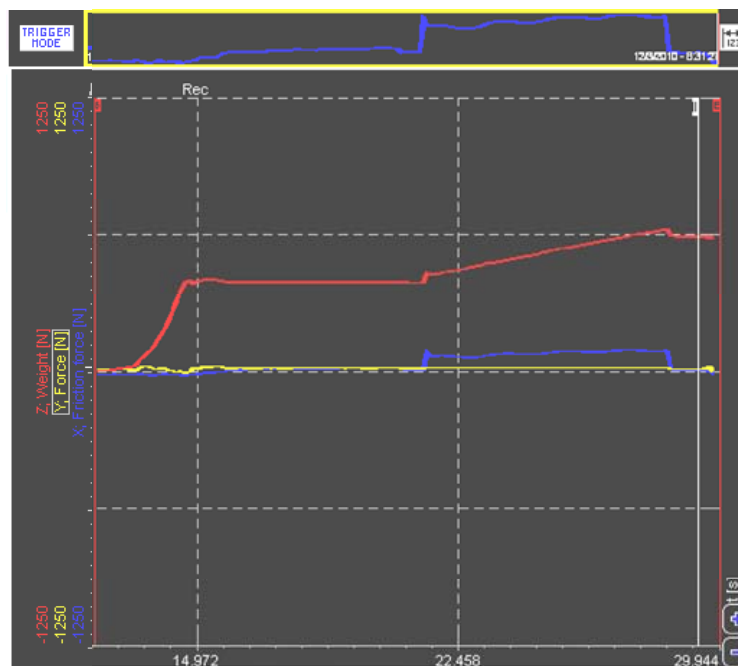
นั่นคือการศึกษาของพื้นรองเท้าลายผสมต่าง ๆ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานลายผสมของพื้นรองเท้าบนพื้นกระเบื้องแข็ง ในพื้นรองเท้าลาย A ให้ค่าสูงที่สุด เท่ากับ 0.83 จึงนำลายผสมของพื้นรองเท้าลายนี้มาใช้ในการวิจัยสำหรับการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าและพื้นเดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างต่อไป

#### 4.5 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าและพื้นเดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่

##### แตกต่าง

ในงานวิจัยนี้ เมื่อได้ยางพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติที่ขึ้นรูปแล้ว ต่อไปจะเป็นการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าและพื้นเดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง โดยทำการทดลองตามขั้นตอนการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ในบทที่ 3 และได้ผลการ

ทดลองดังตัวอย่างในภาพที่ 4.20 ผลการทดลองตัวอย่างของโปรแกรม DEWESoft บนสถานะยางธรรมชาติสูตรแข็ง พื้นปูนขัด และสภาพเพื่อน้ำมัน แล้วเก็บบันทึกผลการทดลอง ซึ่งนำมาสู่การได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าและพื้นเดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง



ภาพที่ 4.20 ผลการทดลองตัวอย่างของ โปรแกรม DEWESoft บนสถานะยางธรรมชาติสูตรแข็ง พื้นปูนขัด และเพื่อน้ำมัน

#### 4.5.1 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติสูตรอ่อน

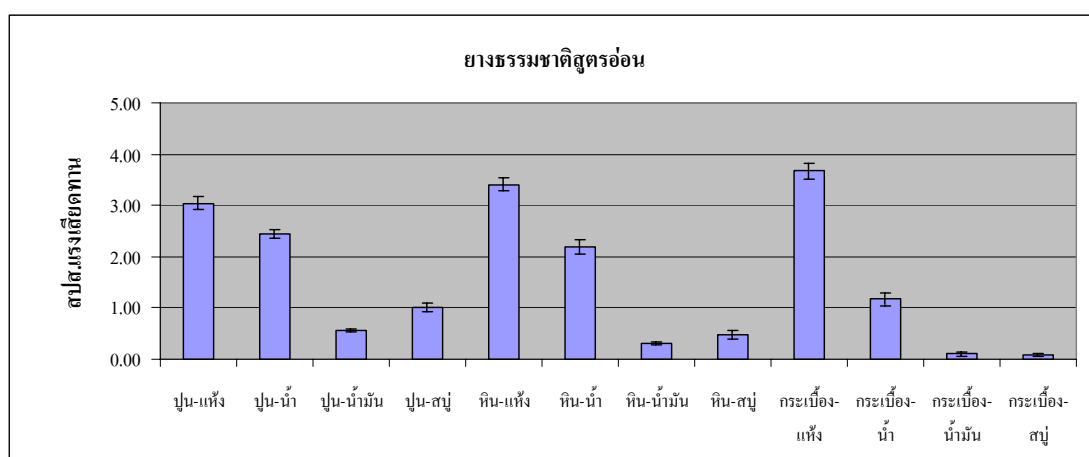
การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติสูตรอ่อน ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง เมื่อทำการวัดซ้ำ 15 ครั้ง (ดังตารางที่ 4.8) ซึ่งจะนำมาสู่การได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเป็นไปดังภาพที่ 4.21 กราฟค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยของพื้นรองเท้าและพื้นเดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติสูตรอ่อน

จากการทดสอบของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติสูตรอ่อนในสภาวะต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.8 พบว่าในสภาวะพื้นกระเบื้อง สภาพพื้นแห้งจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 3.67 และในสภาวะพื้นกระเบื้อง สภาพพื้นเปียกน้ำสบู่จะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.08



ตารางที่ 4.8 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติสูตรอ่อน ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง

	พื้นรองเท้าสูตรอ่อน											
	พื้นปูนขัด				พื้นหินขัด				พื้นกระเบื้อง			
	พื้น	เปียก	เปียก	เปียก	พื้น	เปียก	เปียก	เปียก	พื้น	เปียก	เปียก	เปียก
	แห้ง	น้ำ	น้ำมัน	น้ำสบู่	แห้ง	น้ำ	น้ำมัน	น้ำสบู่	แห้ง	น้ำ	น้ำมัน	น้ำสบู่
เฉลี่ย	3.04	2.44	0.56	1.01	3.41	2.19	0.31	0.48	3.67	1.17	0.10	0.08
SD	0.13	0.08	0.03	0.09	0.13	0.13	0.03	0.07	0.16	0.13	0.05	0.03



ภาพที่ 4.21 กราฟค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าและพื้นดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างของพื้นรองเท้าสูตรอ่อน

จากการทดสอบของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติสูตรอ่อนในสภาวะต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.8 พบว่าในสภาวะพื้นกระเบื้อง สภาพพื้นแห้งจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 3.67 และในสภาวะพื้นกระเบื้อง สภาพพื้นเปียกน้ำสบู่จะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.08

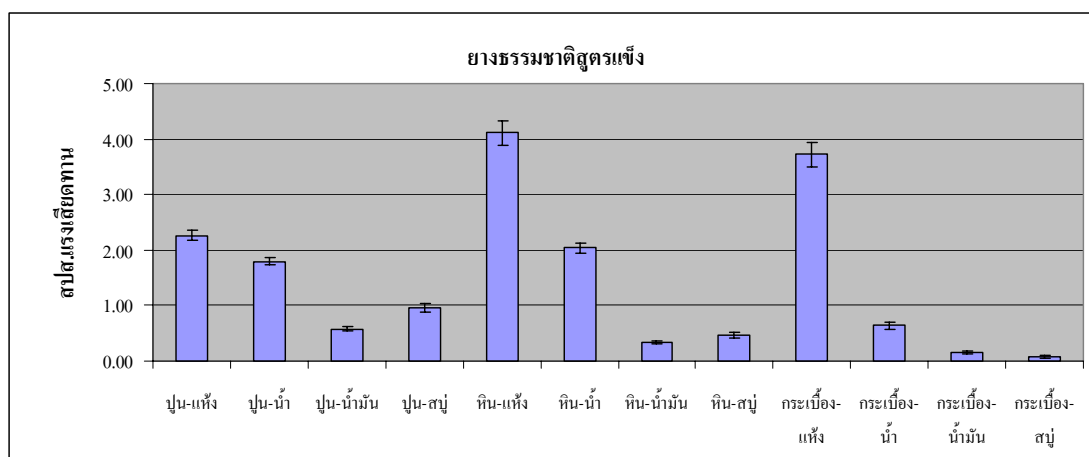
#### 4.5.2 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติสูตรแข็ง

การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติสูตรแข็ง ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง เมื่อทำการวัดซ้ำ 15 ครั้ง (ดังตารางที่ 4.9) ซึ่งจะนำมาสู่การได้ค่า

สัมประสิทธิ์ความเสียดทานเป็นไปดังภาพที่ 4.22 กราฟค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยของพื้นรองเท้าและพื้นเดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างของพื้นรองเท้าสูตรแข็ง

ตารางที่ 4.9 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติสูตรแข็ง ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง

	พื้นรองเท้าสูตรแข็ง											
	พื้นปูนขัด				พื้นหินขัด				พื้นกระเบื้อง			
	พื้น	เปียก	เปื้อน	เปื้อน	พื้น	เปียก	เปื้อน	เปื้อน	พื้น	เปียก	เปื้อน	เปื้อน
	แห้ง	น้ำ	น้ำมัน	น้ำสบู่	แห้ง	น้ำ	น้ำมัน	น้ำสบู่	แห้ง	น้ำ	น้ำมัน	น้ำสบู่
เฉลี่ย	2.26	1.80	0.58	0.96	4.11	2.04	0.34	0.46	3.73	0.64	0.15	0.09
SD	0.09	0.06	0.03	0.07	0.22	0.09	0.03	0.06	0.22	0.05	0.03	0.03



ภาพที่ 4.22 กราฟค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าและพื้นเดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างของพื้นรองเท้าสูตรแข็ง

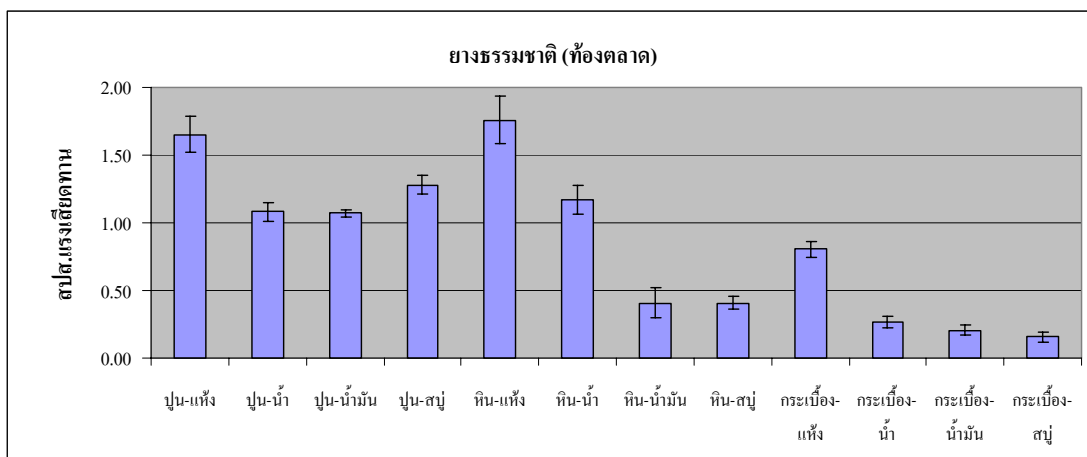
จากการทดสอบของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติสูตรแข็งในสภาวะต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.9 พบว่าในสภาวะพื้นหินขัด สภาพพื้นแห้งจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 4.11 และในสภาวะพื้นกระเบื้อง สภาพพื้นเปื้อนสบู่จะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.09

#### 4.5.3 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความเสียหายของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติ (ห้องตลาด)

การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติ (ห้องตลาด) ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง เมื่อทำการวัดซ้ำ 15 ครั้ง (ดังตารางที่ 4.10) ซึ่งจะนำมาสู่การได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเป็นไปดังภาพที่ 4.23 กราฟค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเฉลี่ยของพื้นรองเท้า ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างของพื้นรองเท้าสูตรยางธรรมชาติ (ห้องตลาด)

ตารางที่ 4.10 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติ (ห้องตลาด) ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง

ครั้ง ที่	พื้นรองเท้าสูตรยางธรรมชาติ (ห้องตลาด)											
	พื้นปูนขัด				พื้นหินขัด				พื้นกระเบื้อง			
	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เปียก น้ำมัน	เปียก น้ำสบู่	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เปียก น้ำมัน	เปียก น้ำสบู่	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เปียก น้ำมัน	เปียก น้ำสบู่
เฉลี่ย	1.65	1.08	1.07	1.28	1.76	1.17	0.41	0.41	0.81	0.27	0.20	0.15
SD	0.13	0.07	0.03	0.07	0.18	0.11	0.11	0.05	0.06	0.04	0.04	0.03



ภาพที่ 4.23 กราฟค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของพื้นรองเท้า ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติ (ห้องตลาด)

จากการทดสอบของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติ (ห้องตลาด) ในสภาวะต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.10 พบว่าในสภาวะพื้นหินขัด สภาพพื้นแห้งจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย

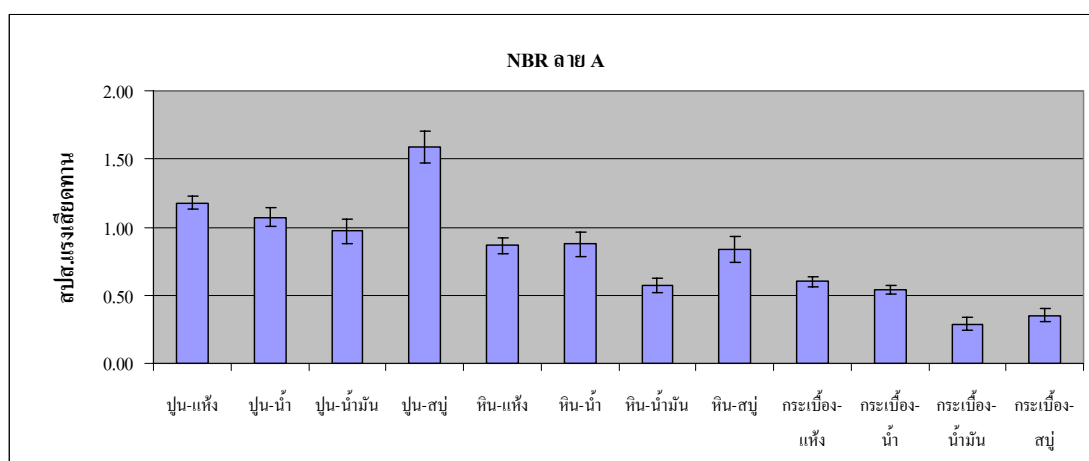
ทานเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 1.76 และในสภาวะพื้นกระเบื้อง สภาพพื้นเบื่อน้ำสบู่จะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.15

#### 4.5.4 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย A

การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย A ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกัน เมื่อทำการวัดซ้ำ 15 ครั้ง (ดังตารางที่ 4.11) ซึ่งจะนำมาสู่การได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเป็นไปดังภาพที่ 4.24 กราฟค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยของพื้นรองเท้าและพื้นเดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกันของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย A

ตารางที่ 4.11 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย A ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกัน

ครั้งที่	พื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย A											
	พื้นปูนขัด				พื้นหินขัด				พื้นกระเบื้อง			
	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เบื่อน น้ำมัน	เบื่อน น้ำสบู่	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เบื่อน น้ำมัน	เบื่อน น้ำสบู่	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เบื่อน น้ำมัน	เบื่อน น้ำสบู่
เฉลี่ย	1.18	1.07	0.97	1.59	0.86	0.88	0.57	0.84	0.60	0.54	0.29	0.35
SD	0.05	0.07	0.09	0.12	0.06	0.09	0.05	0.09	0.04	0.03	0.05	0.05



ภาพที่ 4.24 กราฟค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้า ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกันของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย A

จากการทดสอบของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย A ในสภาวะต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.11 พบว่าในสภาวะพื้นปูนขัด สภาพพื้นเปียกน้ำสบู่จะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 1.59 และในสภาวะพื้นกระเบื้อง สภาพพื้นเปียกน้ำสบู่จะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.09

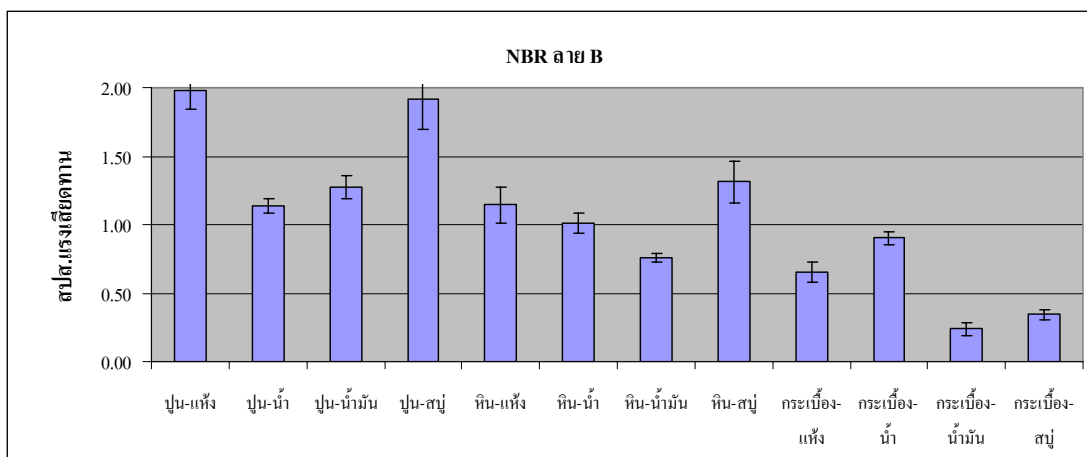
#### 4.5.5 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย B

การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย B ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง เมื่อทำการวัดซ้ำ 15 ครั้ง (ดังตารางที่ 4.12) ซึ่งจะนำมาสู่การได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเป็นไปดังภาพที่ 4.25 กราฟค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยของพื้นรองเท้าและพื้นเดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย B

ตารางที่ 4.12 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย B ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง

ครั้งที่	พื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย B											
	พื้นปูนขัด				พื้นหินขัด				พื้นกระเบื้อง			
	พื้นแห้ง	เปียกน้ำ	เปียกน้ำมัน	เปียกน้ำสบู่	พื้นแห้ง	เปียกน้ำ	เปียกน้ำมัน	เปียกน้ำสบู่	พื้นแห้ง	เปียกน้ำ	เปียกน้ำมัน	เปียกน้ำสบู่
เฉลี่ย	1.98	1.14	1.27	1.91	1.14	1.01	0.76	1.31	0.66	0.90	0.24	0.34
SD	0.14	0.06	0.08	0.22	0.13	0.07	0.04	0.15	0.07	0.05	0.05	0.04

จากการทดสอบของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย B ในสภาวะต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.12 พบว่าในสภาวะพื้นปูนขัด สภาพพื้นแห้งจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 1.98 และในสภาวะพื้นกระเบื้อง สภาพพื้นเปียกน้ำมันจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.24



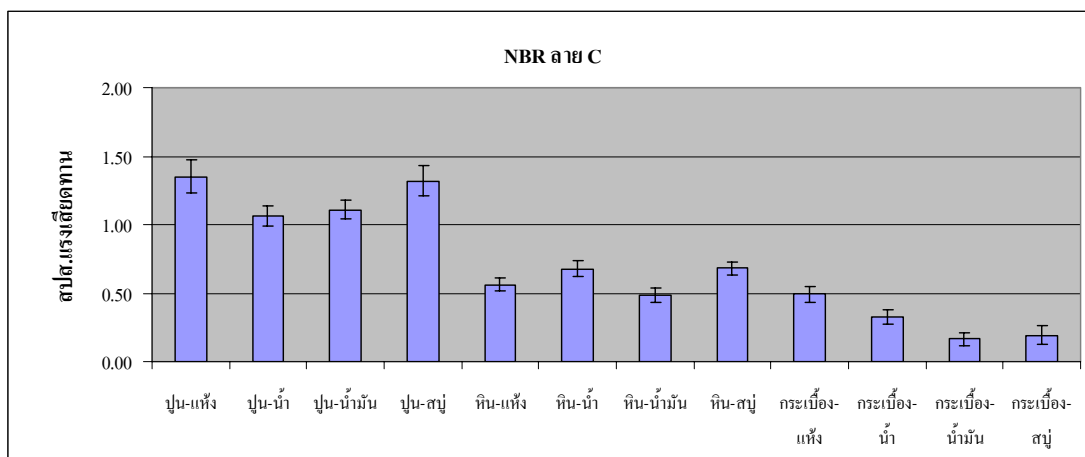
ภาพที่ 4.25 กราฟค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของพื้นรองเท้า ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกันของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย B

#### 4.5.6 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความเสียหายของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย C

การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย C ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกัน เมื่อทำการวัดซ้ำ 15 ครั้ง (ดังตารางที่ 4.13) ซึ่งจะนำมาสู่การได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเป็นไปดังภาพที่ 4.26 กราฟค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเฉลี่ยของพื้นรองเท้า ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกันของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย C

ตารางที่ 4.13 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย C ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกัน

ครั้งที่	พื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย C											
	พื้นปูนขัด				พื้นหินขัด				พื้นกระเบื้อง			
	พื้นแห้ง	เปียกน้ำ	เปื้อนน้ำมัน	เปื้อนสบู่	พื้นแห้ง	เปียกน้ำ	เปื้อนน้ำมัน	เปื้อนสบู่	พื้นแห้ง	เปียกน้ำ	เปื้อนน้ำมัน	เปื้อนสบู่
เฉลี่ย	1.35	1.06	1.11	1.32	0.56	0.68	0.48	0.68	0.49	0.33	0.16	0.19
SD	0.12	0.07	0.07	0.11	0.05	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.07



ภาพที่ 4.26 กราฟค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้า ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย C

จากการทดสอบของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย C ในสภาวะต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.13 พบว่าในสภาวะพื้นปูน สภาพพื้นแห้งจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 1.35 และในสภาวะพื้นกระเบื้อง สภาพพื้นเปื้อนน้ำมันจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.16

#### 4.5.7 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

จากผลการทดลองที่ได้ทั้งหมดในทุกสภาวะการทดลอง ซึ่งมี 3 ปัจจัย คือ ชนิดของพื้นรองเท้า 6 ระดับ (ได้แก่ 1) ยางธรรมชาติสูตรแข็ง, 2) ยางธรรมชาติสูตรอ่อน, 3) ยางธรรมชาติ (ห้องตลาด), 4) NBR ลาย A, 5) NBR ลาย B และ 6) NBR ลาย C) ชนิดของพื้นทางเดิน 3 ระดับ (ได้แก่ 1) ปูนขัด, 2) หินขัด และ 3) กระเบื้อง) สภาพของพื้นทางเดิน 4 ระดับ (ได้แก่ 1) แห้ง, 2) เปียกน้ำ, 3) เปื้อนน้ำมัน และ 4) เปื้อนน้ำสบู่) ข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

##### 1. สมมุติฐานในการทดลอง

ในสมมุติฐานการทดลองจะทำการพิจารณาที่ผลกระทบทหลัก (Main Effects) และผลกระทบท (Interaction) ที่ 3 ปัจจัย ดังต่อไปนี้

พิจารณา Main Effect

- ทดสอบสมมุติฐานของอิทธิพลของชนิดของพื้นรองเท้า (Factor A)

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = \tau_6 = 0$  สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของชนิดของพื้นรองเท้าไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$  สำหรับบางระดับ อิทธิพลของชนิดของพื้นรองเท้าแตกต่างกัน  
- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของชนิดของพื้นทางเดิน (Factor B)

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$  สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของชนิดของพื้นทางเดินไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \text{at least one } \beta_j \neq 0$  สำหรับบางระดับ อิทธิพลของชนิดของพื้นทางเดินแตกต่างกัน  
- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของสภาพของพื้นทางเดิน (Factor C)

$H_0 : \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \gamma_4 = 0$  สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของสภาพของพื้นทางเดินไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \text{at least one } \gamma_k \neq 0$  สำหรับบางระดับ อิทธิพลของสภาพของพื้นทางเดินแตกต่างกัน  
พิจารณา 2 Factor Interaction Effect

- ทดสอบว่ามี Interaction ระหว่าง (Factor A) และ (Factor B) หรือไม่

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0 \text{ for all } i, j$  ทุกระดับ  $i, j$  ไม่มีอิทธิพลของ Interaction

$H_1 : \text{at least one } (\tau\beta)_{ij} \neq 0$  มีบาง  $i, j$  มีอิทธิพลของ Interaction

- ทดสอบว่ามี Interaction ระหว่าง (Factor A) และ (Factor C) หรือไม่

$H_0 : (\tau\gamma)_{ik} = 0 \text{ for all } i, k$  ทุกระดับ  $i, k$  ไม่มีอิทธิพลของ Interaction

$H_1 : \text{at least one } (\tau\gamma)_{ik} \neq 0$  มีบาง  $i, k$  มีอิทธิพลของ Interaction

- ทดสอบว่ามี Interaction ระหว่าง (Factor B) และ (Factor C) หรือไม่

$H_0 : (\beta\gamma)_{jk} = 0 \text{ for all } j, k$  ทุกระดับ  $j, k$  ไม่มีอิทธิพลของ Interaction

$H_1 : \text{at least one } (\beta\gamma)_{jk} \neq 0$  มีบาง  $j, k$  มีอิทธิพลของ Interaction

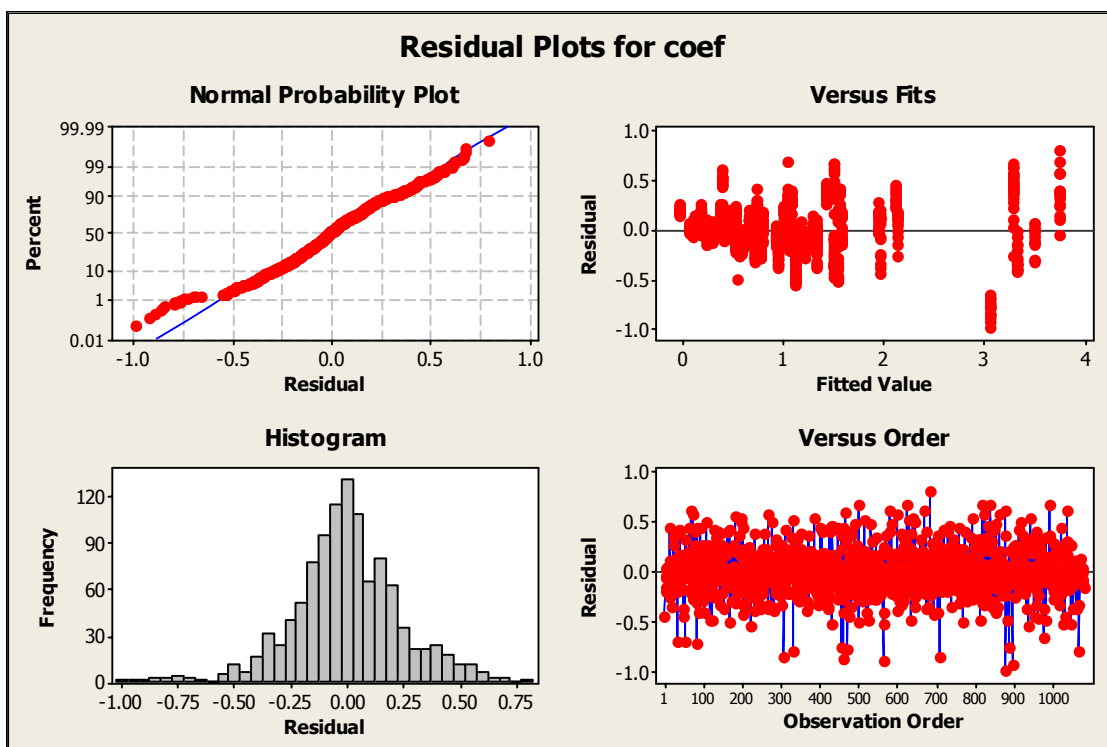
พิจารณา 3 Factor Interaction Effect

- ทดสอบว่ามี Interaction ระหว่าง (Factor A), (Factor B) และ (Factor C) หรือไม่

$H_0 : (\tau\beta\gamma)_{ijk} = 0 \text{ for all } i, j, k$  ทุกระดับ  $i, j, k$  ไม่มีอิทธิพลของ Interaction

$H_1 : \text{at least one } (\tau\beta\gamma)_{ijk} \neq 0$  มีบาง  $i, j, k$  มีอิทธิพลของ Interaction





ภาพที่ 4.27 Residual Plots for coefficient

จากภาพที่ 4.27 เมื่อพิจารณาที่ Normal Probability plot และ Histogram จะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะเป็นเส้นตรง 1 เส้น และเป็นรูปทรงระฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลมาจากการทดลองที่มีการตั้งค่าก่อนข้างดี เมื่อพิจารณาที่ versus fits พบว่ามีการกระจายตัวออกห่างจากจุดศูนย์กลางสม่ำเสมอ แสดงว่าข้อมูลมีลักษณะแบบสุ่ม และเมื่อพิจารณาที่ versus order พบว่ามีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์ แต่มีบางจุดที่พบความผิดปกติ ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นข้อมูลในการทดลองนี้สามารถนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไปได้ โดยได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.14

ในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย จากตารางที่ 4.14 ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ  $R^2 = 99.04\%$  ว่าความผันแปรที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มาจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยที่สนใจ (Treatment): Factor A, Factor B และ Factor C 99.04 ส่วน และเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) 0.96 ส่วน แสดงว่าแบบการทดลองอยู่ในเกณฑ์ดี ซึ่งการทดสอบสมมติฐานของการทดลองได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.14 ตาราง ANOVA ในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
formula (A)	5	107.752	107.752	21.550	2574.490	0.000
type (B)	2	97.744	97.744	48.872	5838.380	0.000
condition (C)	3	270.484	270.484	90.161	10770.950	0.000
formula*type	10	22.216	22.216	2.222	265.400	0.000
formula*condition	15	291.074	291.074	19.405	2318.180	0.000
type*condition	6	24.636	24.636	4.106	490.510	0.000
formula*type*condition	30	53.004	53.004	1.767	211.070	0.000
Error	1008	8.438	8.438	0.008		
Total	1079	875.348				

R-Sq = 99.04%

## 2. ทดสอบสมมติฐานของการทดลอง

ในการทดสอบสมมติฐานในการทดลองจะทำการพิจารณาที่ผลกระทบทหลัก (Main Effects) และผลกระทบท (Interaction) ที่ 3 ปัจจัย ดังต่อไปนี้

พิจารณา Main Effect

- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของชนิดของพื้นรองเท้า (Factor A)

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = \tau_6 = 0$  สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของชนิดของพื้นรองเท้าไม่แตกต่างกัน

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

จากข้อมูลในตาราง ANOVA Reject  $H_0$  เนื่องจากค่า P - Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่า Alpha ( $\alpha = 0.05$ ) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่าปัจจัยของชนิดของพื้นรองเท้ามีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ระดับ  $\alpha = 0.05$

- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของชนิดของพื้นทางเดิน (Factor B)

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$  สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของชนิดของพื้นทางเดินไม่แตกต่างกัน

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

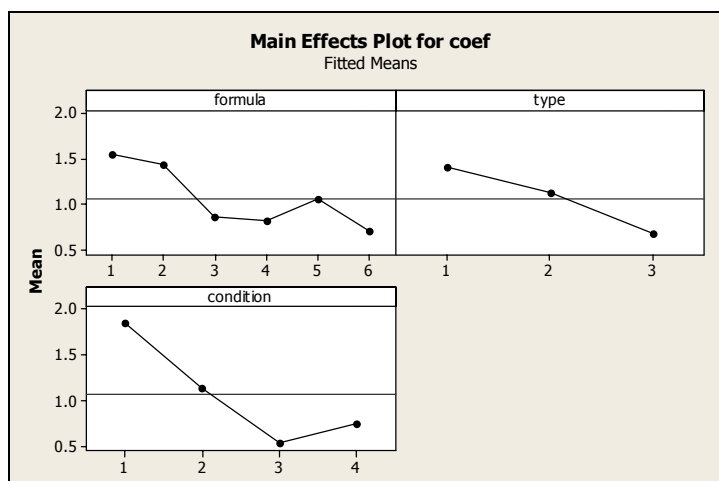
จากข้อมูลในตาราง ANOVA Reject  $H_0$  เนื่องจากค่า P – Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่า Alpha ( $\alpha = 0.05$ ) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่าปัจจัยของชนิดของพื้นทางเดินมีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ระดับ  $\alpha = 0.05$

- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของสภาพของพื้นทางเดิน (Factor C)

$H_0 : \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \gamma_4 = 0$  สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของสภาพของพื้นทางเดินไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \text{at least one } \gamma_k \neq 0$  สำหรับบางระดับ อิทธิพลของสภาพของพื้นทางเดินแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตาราง ANOVA Reject  $H_0$  เนื่องจากค่า P – Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่า Alpha ( $\alpha = 0.05$ ) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่าปัจจัยของสภาพของพื้นทางเดิน มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ระดับ  $\alpha = 0.05$



ภาพที่ 4.28 ผลกระทบหลัก (Main Effects) กับปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

จากกราฟภาพที่ 4.28 ผลกระทบหลัก (Main Effects) กับปัจจัยทั้งหมดที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ให้เห็นว่าปัจจัยชนิดของพื้นรองเท้า ชนิดของพื้นทางเดิน และสภาพของพื้นทางเดินมีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน โดยทุกปัจจัยมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานแตกต่างกัน เมื่อระดับการทดลองเพิ่มขึ้น ดังนั้นผลกระทบหลัก (Main Effects) ของปัจจัยชนิดของพื้นรองเท้า ชนิดของพื้นทางเดิน และสภาพของพื้นทางเดินส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และจะพิจารณา 2 Factor Interaction Effect ดังต่อไปนี้

พิจารณา 2 Factor Interaction Effect

- ทดสอบว่ามี Interaction ระหว่าง (Factor A) และ (Factor B) หรือไม่

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$  for all  $i, j$  ทุกระดับ  $i, j$  ไม่มีอิทธิพลของ Interaction

$H_1 : \text{at least one } (\tau\beta)_{ij} \neq 0$  มีบาง  $i, j$  มีอิทธิพลของ Interaction

จากข้อมูลในตาราง ANOVA Reject  $H_0$  เนื่องจากค่า P – Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่า Alpha ( $\alpha = 0.05$ ) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่ามีอิทธิพลของ Interaction ระหว่างปัจจัย A และ B มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ระดับ  $\alpha = 0.05$

- ทดสอบว่ามี Interaction ระหว่าง (Factor A) และ (Factor C) หรือไม่

$H_0 : (\tau\gamma)_{ik} = 0$  for all  $i, k$  ทุกระดับ  $i, k$  ไม่มีอิทธิพลของ Interaction

$H_1 : \text{at least one } (\tau\gamma)_{ik} \neq 0$  มีบาง  $i, k$  มีอิทธิพลของ Interaction

จากข้อมูลในตาราง ANOVA Reject  $H_0$  เนื่องจากค่า P – Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่า Alpha ( $\alpha = 0.05$ ) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่ามีอิทธิพลของ Interaction ระหว่างปัจจัย A และ C มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ระดับ  $\alpha = 0.05$

- ทดสอบว่ามี Interaction ระหว่าง (Factor B) และ (Factor C) หรือไม่

$H_0 : (\beta\gamma)_{jk} = 0$  for all  $j, k$  ทุกระดับ  $j, k$  ไม่มีอิทธิพลของ Interaction

$H_1 : \text{at least one } (\beta\gamma)_{jk} \neq 0$  มีบาง  $j, k$  มีอิทธิพลของ Interaction

จากข้อมูลในตาราง ANOVA Reject  $H_0$  เนื่องจากค่า P – Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่า Alpha ( $\alpha = 0.05$ ) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่ามีอิทธิพลของ Interaction ระหว่างปัจจัย B และ C มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (ความยาวของถ่วงออก) ที่ระดับ  $\alpha = 0.05$

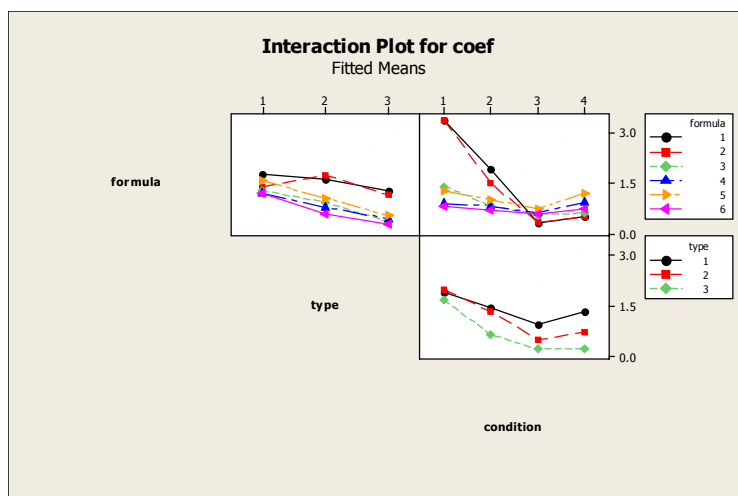
พิจารณา 3 Factor Interaction Effect

- ทดสอบว่ามี Interaction ระหว่าง (Factor A), (Factor B) และ (Factor C) หรือไม่

$H_0 : (\tau\beta\gamma)_{ijk} = 0$  for all  $i, j, k$  ทุกระดับ  $i, j, k$  ไม่มีอิทธิพลของ Interaction

$H_1 : \text{at least one } (\tau\beta\gamma)_{ijk} \neq 0$  มีบาง  $i, j, k$  มีอิทธิพลของ Interaction

จากข้อมูลในตาราง ANOVA Reject  $H_0$  เนื่องจากค่า P – Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่า Alpha ( $\alpha = 0.05$ ) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่ามีอิทธิพลของ Interaction ระหว่างปัจจัย A, B และ C มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ระดับ  $\alpha = 0.05$



ภาพที่ 4.29 ผลกระทบ (Interaction) ระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

จากภาพที่ 4.29 ผลกระทบ (Interaction) ระหว่างปัจจัยทั้งหมดที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน พบว่ากราฟมีความชันเพิ่มขึ้นและลดลงแตกต่างกัน ดังนั้นปัจจัยในการทดลองทุกปัจจัยส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

#### 4.5.8 สรุปผลการวิเคราะห์

จากการผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานทั้งหมด สามารถนำมาสรุปเป็นตารางเพื่อแสดงค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติ ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้า ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกัน

พื้นรองเท้า	พื้นทางเดิน	พื้นแห้ง	สภาพของพื้นทางเดิน		
			เปียกน้ำ	เปียกน้ำมัน	เปียกน้ำสบู่
ยางธรรมชาติสูตรอ่อน	ปูนขัด	3.04	2.44	0.56	1.01
	หินขัด	3.41	2.19	0.31	0.48
	กระเบื้อง	3.67	1.17	0.10	0.08
ยางธรรมชาติสูตรแข็ง	ปูนขัด	2.26	1.80	0.58	0.96
	หินขัด	4.11	2.04	0.34	0.46
	กระเบื้อง	3.73	0.64	0.15	0.09

ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้า ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกัน (ต่อ)

พื้นรองเท้า	พื้นทางเดิน	พื้นแห้ง	สภาพของพื้นทางเดิน		
			เปียกน้ำ	เปื้อนน้ำมัน	เปื้อนน้ำสบู่
ยางธรรมชาติ (ห้องตลาด)	ปูนขัด	1.65	1.08	1.07	1.28
	หินขัด	1.76	1.17	0.41	0.41
	กระเบื้อง	0.81	0.27	0.20	0.15
NBR ลาย A	ปูนขัด	1.18	1.07	0.97	1.59
	หินขัด	0.86	0.88	0.57	0.84
	กระเบื้อง	0.60	0.54	0.29	0.35
NBR ลาย B	ปูนขัด	1.98	1.14	1.27	1.91
	หินขัด	1.14	1.01	0.76	1.31
	กระเบื้อง	0.66	0.90	0.24	0.34
NBR ลาย C	ปูนขัด	1.35	1.06	1.11	1.32
	หินขัด	0.56	0.68	0.48	0.68
	กระเบื้อง	0.49	0.33	0.16	0.19

จากตารางที่ 4.15 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าสูตรแข็งในสภาวะพื้นหินขัด สภาพพื้นแห้งจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่สูงที่สุดเท่ากับ 4.11 และพื้นรองเท้าสูตรอ่อนในสภาวะพื้นกระเบื้อง สภาพพื้นเปื้อนน้ำสบู่จะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.08

จากการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ เพื่อการเลือกใช้พื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติให้เหมาะสมกับสภาวะของพื้นทางเดินต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 การเลือกใช้พื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติให้เหมาะสมกับสภาวะของพื้นทางเดินต่าง ๆ

สภาพพื้นทางเดิน พื้นทางเดิน	พื้นแห้ง	เปียกน้ำ	เปื้อนน้ำมัน	เปื้อนน้ำสบู่
ปูนขัด	ยางธรรมชาติ สูตรอ่อน (3.04)	ยางธรรมชาติ สูตรอ่อน (2.44)	NBR ลาย B (1.27)	NBR ลาย B (1.91)
หินขัด	ยางธรรมชาติ สูตรแข็ง (4.11)	ยางธรรมชาติ สูตรอ่อน (2.19)	NBR ลาย B (0.76)	NBR ลาย B (1.31)
กระเบื้อง	ยางธรรมชาติ สูตรแข็ง (3.73)	ยางธรรมชาติ สูตรอ่อน (1.17)	NBR ลาย A (0.29)	NBR ลาย A (0.35)

ซึ่งผลลัพธ์ท้ายสุดที่ได้ออกมาสามารถใช้เป็นข้อเสนอแนะทางหนึ่งสำหรับการเลือกใช้พื้นรองเท้าให้เหมาะสมต่อสภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกันในโรงงานอุตสาหกรรม

#### 4.6 การประเมินต้นทุนในการผลิตยางพื้นรองเท้า

จากการประเมินต้นทุนในการผลิตยางพื้นรองเท้า คำนวณโดยคิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ราคา 1.17 บาท/หน่วย (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2553) และค่าแรงงานตามอัตราค่าจ้างแรงงานขั้นต่ำใหม่ ปี 2553 (อัตราค่าจ้างแรงงานขั้นต่ำใหม่ 1 มกราคม 2553, 2553) ซึ่งค่าใช้จ่ายในราคาของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติที่ผลิตได้ แสดงดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ต้นทุนทางตรงในการผลิตยางพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติสูตรอ่อนและสูตรแข็ง

รายการ	มูลค่า (บาท/ หน่วย)	ยางธรรมชาติสูตรอ่อน		ยางธรรมชาติสูตรแข็ง	
		ปริมาณ (หน่วย)	มูลค่ารวม (บาท)	ปริมาณ (หน่วย)	มูลค่ารวม (บาท)
ยางแผ่นรมควัน	80	0.200	16.000	0.200	16.000
Stearic Acid	42	0.006	0.250	0.006	0.250

ตารางที่ 4.17 ต้นทุนทางตรงในการผลิตยางพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติสูตรอ่อนและสูตรแข็ง (ต่อ)

รายการ	มูลค่า (บาท/ หน่วย)	ยางธรรมชาติสูตรอ่อน		ยางธรรมชาติสูตรแข็ง	
		ปริมาณ (หน่วย)	มูลค่ารวม (บาท)	ปริมาณ (หน่วย)	มูลค่ารวม (บาท)
ZnO	70	0.010	0.700	0.010	0.700
Wingstay L	300	0.001	0.300	0.001	0.300
Vulcafor MBT	135	0.001	0.135	0.001	0.135
Struktol	100	0.010	1.000	0.010	1.000
Silica	28	0.040	1.120	0.080	2.240
Sulphur	18	0.003	0.054	0.003	0.054
ค่าไฟฟ้า *	1.17	8.15	9.5355	8.15	9.5355
ค่าแรงงาน **	161	0.042	6.762	0.042	6.762
มูลค่ารวม			35.86		36.98

หมายเหตุ วัสดุหน่วยเป็นกิโลกรัม ยกเว้น \* หน่วยเป็น ยูนิท (kW-hr) และ\*\* หน่วยเป็นต่อวัน

การคำนวณค่าไฟฟ้าคิดจากการใช้พลังงานสองส่วนคือ การผสมยางโดยเครื่องบดผสม ขนาดกำลัง 5.6 กิโลวัตต์ เป็นเวลา 15 นาที ใช้พลังงานทั้งสิ้น  $5.6\text{kW} \times 15/60\text{hr} = 1.4$  ยูนิท (kW-hr) และการอบแห้งใช้เครื่องอบที่มีกำลัง 12.5 กิโลวัตต์ เป็นเวลา 30 นาที ใช้พลังงานทั้งสิ้น  $12.5\text{kW} \times 30/60\text{hr} = 6.75$  ยูนิท (kW-hr) รวมใช้พลังงานทั้งสิ้น 8.15 ยูนิท (kW-hr)

จากตารางที่ 4.17 ยางพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติสูตรอ่อนราคาต้นทุนทางตรงประมาณ 35.86 บาทต่อหนึ่งคู่ และยางพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติสูตรแข็งราคาต้นทุนประมาณ 36.98 บาทต่อหนึ่งคู่ อย่างไรก็ตามในการผลิตเป็นปริมาณมากๆแบบโรงงานต้นทุนถูกกว่านี้มาก เนื่องจากต้นทุนวัตถุดิบที่ซื้อเป็นล็อตใหญ่ และระบบไฟฟ้าที่ใช้เฉพาะทาง รวมทั้งการทำการผลิตทำได้ทีละหลาย ๆ ชิ้น โดยที่ยางพื้นรองเท้าในท้องตลาดราคาประมาณ 60 บาทต่อหนึ่งคู่



#### 4.7 การอภิปรายผลการทดลอง

ในงานวิจัยเรื่องสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าและพื้นเดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกันและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้าจะแยกขั้นตอนการทำวิจัยออกเป็นสองส่วนด้วยกันคือ การออกแบบสร้างอุปกรณ์วัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและการนำชุดอุปกรณ์ดังกล่าวไปทำการทดสอบตัวอย่างที่ทำการศึกษา

งานวิจัยของนิธิพงศ์ วิไลพันธุ์ (นิธิพงศ์ วิไลพันธุ์ และยุทธชัย บรรเทงจิตร, 2550) ใช้การสร้างเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน โดยต้องมีการออกแบบระบบกลไก การติดตั้งตัวตรวจรู้แรง และการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อทำการอ่านข้อมูล ซึ่งทำให้มีต้นทุนสูง และต้องออกแบบระบบกลไกที่มีความซับซ้อน แต่ก็จะมีข้อดีที่ทำให้มีความสะดวกในการใช้งานเนื่องจากเป็นระบบที่ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะทาง สำหรับงานวิจัยนี้ ได้มีการนำอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วในห้องปฏิบัติการอื่นเช่น อุปกรณ์วัดแรงกด เครื่องกักยูนิเวอร์แซล เป็นต้น นำมาประยุกต์ดัดแปลงเป็นเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ซึ่งเครื่องมือดังกล่าวถูกผลิตมาอย่างมีมาตรฐานและทำงานเที่ยงตรง ข้อดีคือช่วยลดภาระในการออกแบบกลไกโดยส่วนใหญ่ ทำให้ง่ายต่อการสร้าง และไม่ต้องลงทุนเพิ่มสูง ในขณะที่ผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดจะมีความถูกต้องมาก แต่อย่างไรก็ตามการใช้งานจะมีความยุ่งยากอยู่บ้างเนื่องจากไม่ใช่เครื่องมือที่ออกแบบมาเฉพาะทาง

ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้ศึกษามาจะให้ความสำคัญที่การนำเสนอการออกแบบอุปกรณ์วัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเป็นเรื่องหลัก และได้ทำการทดสอบเครื่องมือดังกล่าวกับพื้นรองเท้าที่มีขายในท้องตลาดในรูปแบบและสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ในขณะที่งานวิจัยนี้ เครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานถูกจัดสร้างขึ้นมาเพื่อเป็นเครื่องมือวัดที่ช่วยในการวิจัย โดยงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาเพื่อหาความเหมาะสมของการใช้ยางธรรมชาติในการผลิตพื้นรองเท้าในรูปแบบที่แตกต่างกันบนสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ร่วมกับการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานกับพื้นรองเท้าที่มีขายในท้องตลาด

เมื่อเปรียบเทียบการทดลองบางส่วนกับการทดลองก่อนหน้านี้ของนิธิพงศ์ วิไลพันธุ์ กับการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพื้นรองเท้าที่มีขายในท้องตลาด พบว่ามีผลการทดลองที่สอดคล้องกัน ตัวอย่างเช่น พื้นรองเท้าที่มีขายในท้องตลาดทำการทดลองบนพื้นยางแข็ง ในสภาวะพื้นกระเบื้อง สภาพพื้นทางเดินเปียกน้ำ วัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานได้ 0.27 เมื่อเทียบกับของ นิธิพงศ์ วิไลพันธุ์ วัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานได้ 0.24 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน

ในการวิจัยนี้มีจุดเน้นอยู่ที่การออกแบบและสร้างพื้นรองเท้ารวมทั้งการกัดลายพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติขึ้นมาเอง เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน ผลการวิจัยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพื้นรองเท้าที่ทำจากยางธรรมชาติมีค่าสูงกว่าพื้นรองเท้าที่มีขายในท้องตลาดบนสภาวะพื้นผิวเปียกน้ำและพื้นผิวแห้ง ส่วนบนสภาวะพื้นสบู่และพื้นผิวน้ำมัน ยังมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำกว่าพื้นรองเท้าที่มีขายในท้องตลาด และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ต้องการเพื่อความปลอดภัยจากการลื่นไถลได้มีการแนะนำค่าไว้ที่ 0.28 เป็นอย่างต่ำที่สุด ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาต่อไป

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทสรุป

จากการศึกษาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าและพื้นดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกัน โดยทำการออกแบบและสร้างเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ให้สามารถปรับค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้คือ มุมเท้า แรงในแนวตั้ง และความเร็วในการเดินไกล ในการวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เครื่องกักยูนิเวอร์แซลร่วมกับอุปกรณ์วัดแรงกัก โดยแรงที่กระทำลงบนอุปกรณ์วัดแรงกักจะส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยังชุดอุปกรณ์ปรับแต่งสัญญาณ แล้วแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลก่อนส่งเข้าสู่ไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งไมโครคอมพิวเตอร์จะนำค่าแรงกักที่อ่านได้มาทำการประมวลผล จัดเก็บ และแสดงผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองผลิตพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติ และนำไปดำเนินการทดลองทั้งสิ้น 1,080 สภาวะการทดลองจากปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ชนิดของพื้นรองเท้า 6 ชนิด คือ 1) ยางธรรมชาติสูตรแข็ง, 2) ยางธรรมชาติสูตรอ่อน, 3) ยางธรรมชาติ (ห้องตลาด), 4) NBR ลาย A, 5) NBR ลาย B และ 6) NBR ลาย C ทำการทดลองบนพื้นทางเดิน 3 ชนิด คือ 1) ปูนขัด, 2) หินขัด และ 3) กระจับ โดยมีการจัดสภาวะของพื้นทางเดิน 4 รูปแบบ คือ 1) แห้ง, 2) เปียกน้ำ, 3) เปื้อนน้ำมัน และ 4) เปื้อนน้ำสบู่ และตัวแปรตาม คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

ข้อมูลจากการทดลองจะถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยเทคนิค ANOVA พบว่าในการเดินบนพื้นทางเดินนั้น ชนิดของพื้นรองเท้า และสภาวะของพื้นทางเดินมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าสูตรแข็งในสภาวะพื้นหินขัด สภาพพื้นแห้งจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่สูงที่สุดเท่ากับ 4.11 และพื้นรองเท้าสูตรอ่อนในสภาวะพื้นกระจับ สภาพพื้นเปียกน้ำสบู่จะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.08 ซึ่งผลลัพธ์ท้ายสุดที่ได้ออกมาสามารถใช้เป็นข้อเสนอแนะทางหนึ่งสำหรับการเลือกใช้พื้นรองเท้าให้เหมาะสมต่อสภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกันในโรงงานอุตสาหกรรม

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

### 5.2.1 สำหรับผู้นำผลงานวิจัยไปใช้

1. ควรเลือกใช้พื้นรองเท้าให้เหมาะสมในแต่ละสภาวะพื้นผิวของสถานที่ต่าง ๆ โดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสภาวะพื้นผิวที่มีความหลากหลาย

### 5.2.2 สำหรับผู้ที่จะทำวิจัยต่อไป

1. ควรมีการเปรียบเทียบผลการทดลองกับเครื่องวัดอื่นที่ตั้งค่าอยู่ในสภาวะเดียวกัน และตัวแปรเหมือนกันเพื่อเป็นการเปรียบเทียบค่ามาตรฐานที่น่าเชื่อถือ
2. ควรมีการพัฒนาสูตรยางพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติ ที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงในทุก ๆ สภาวะการทดลอง
3. ในการพัฒนาสูตรยางพื้นรองเท้า อาจทำการพัฒนาโดยใช้วัสดุต่างชนิดเป็นส่วนประกอบกันบนพื้นรองเท้า 1 ข้าง

## บรรณานุกรม

- กองวิจัยและพัฒนาสำนักงานประกันสังคม. 2552. สถิติงานประกันสังคม 2550 (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://www.sso.go.th/cms/spaw2/uploads/files/stat261151> (4 มีนาคม 2552)
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2553. อัตราค่าไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://www.eppo.go.th/power/pw-Rate-PEA.html> (7 เมษายน 2553)
- กำแพง วงศ์วิเศษ และเอกชัย เหล่าโกสิน. 2536. การประกอบและทดลองใช้เครื่องทดสอบแรงเสียดทานระหว่างพื้นรองเท้าและพื้นทางเดิน. ปรินญาณิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ที อาร์ พี อิมเพ็กซ์. 2552. รองเท้านิรภัย (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://www.trpimpex.com> (11 มิถุนายน 2552)
- เชียรศักดิ์ ชูชีพ และยุทธชัย บรรเทิงจิตร. 2543. การพัฒนาและประยุกต์ใช้เครื่องวัดสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน สำหรับพื้นทางเดินและพื้นรองเท้า. ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร และยุทธชัย บรรเทิงจิตร. 2543. การศึกษาตัวแปรที่ใช้สำหรับเครื่องวัดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้า. ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- นิธิพงษ์ วิไลพันธุ์ และยุทธชัย บันเทิงจิตร. 2550. การศึกษาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกัน. ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- นุชนาฏ ณ ระนอง พรรษา อุดลยธรรม ณพรัตน์ วิชิตชลชัย และวรรณจันทร์ ไกรวิส. 2550. เทคโนโลยีการผลิตยางผสมจากยางธรรมชาติ. รายงานผลการวิจัยเรื่องเต็ม ประจำปี 2550.
- บริษัท โซลูชั่น เซ็นเตอร์ จำกัด. 2553. คู่มือการใช้ Minitab หัวข้อ “Design of Experiments” (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://www.solutioncenterminitab.com/product/pdf/exampledoebook.pdf> (1 มีนาคม 2553)
- แผนกวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์. 2551. กระบวนการผลิต (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://www2.technicchan.ac.th> (4 มีนาคม 2552)
- พรรษา อุดลยธรรม กฤษณา คงศิลป์ จูรี จันทนา ณพรัตน์ วิชิตชลชัย และสุนณา แจ่มเหมือน. 2550. การวิเคราะห์อนุมูลสำคัญในยางธรรมชาติ. รายงานผลการวิจัยเรื่องเต็ม ในการประชุมวิชาการยางพาราแห่งชาติ 5-6 มิถุนายน 2552 ณ เมืองทองธานี.

- มณีรัตน์ ปัจฉิมะศิริ และยุทธชัย บันเทิงจิตร. 2550. การศึกษาขนาดเท้าของคนงานไทยในอุตสาหกรรม. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2551. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมรองเท้าหนังนิรภัย (ออนไลน์). สืบค้นจาก :[http://library.tisi.go.th/data/lib\\_resources/pdf/catalog-online51/0-1\\_Numerical\\_30-Oct-08.pdf](http://library.tisi.go.th/data/lib_resources/pdf/catalog-online51/0-1_Numerical_30-Oct-08.pdf) (24 กุมภาพันธ์ 2552)
- รองเท้าเซฟตี้ Safety Shoes (ออนไลน์). 2551. สืบค้นจาก : <http://www.wiboonproduct.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=93868&Ntype=5> (2 เมษายน 2552)
- วารสารณ์ ขจรไชยกูล. 2549. ยางธรรมชาติ การผลิต และการใช้งาน. หน้า 28-94. สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัด ซีโน ดีไซน์. กรุงเทพฯ.
- วารสารณ์ ขจรไชยกูล. 2551. ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย เป็นวัตถุดิบ "ยางธรรมชาติ" ที่สำคัญในอุตสาหกรรม (ออนไลน์). สืบค้นจาก :<http://www.tambonnonsoomboon.com/index.php?mo=3&art=231491> (24 กุมภาพันธ์ 2552)
- สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. 2553. ข้อมูลวิชาการยางพารา (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://www.rubberthai.com/> (3 กุมภาพันธ์ 2553)
- สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (ออนไลน์). 2551. สืบค้นจาก :[http://www.electron.rmutphysics.com/physicsglossary/index.php?option=com\\_content&task=view&id=1039&Itemid=86](http://www.electron.rmutphysics.com/physicsglossary/index.php?option=com_content&task=view&id=1039&Itemid=86) (7 มีนาคม 2552)
- สุเมธ ธารจินดาวงศ์ และยุทธชัย บันเทิงจิตร. 2546. การออกแบบและสร้างเครื่องวัดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้า. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2551. ข่าวการผลิต การตลาด ผลผลิตการเกษตร: ยางพารา (ออนไลน์). สืบค้นจาก :<http://www.ryt9.com/s/oe/528067/> (7 มีนาคม 2552)
- อัตราค่าจ้างแรงงานขั้นต่ำใหม่ 1 มกราคม 2553 (ออนไลน์). 2553. สืบค้นจาก : <http://www.trclabourunion.com/d299.html> (7 เมษายน 2553)
- อาทิตย์ สวัสดิรักษา เจริญยุทธ เดชวายุกุล สุนทร วงษ์ศิริ บุญสิน ตั้งตระกูลวนิช และวิริยะ ทองเรือง. 2551. การพัฒนาวัสดุและการออกแบบอุปกรณ์หนุนเท้าเพื่อลดความดันในสันเท้า. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23. ณ จังหวัดเชียงใหม่. 4-7 พฤศจิกายน 2552. หน้า 138-144.

- Andres, R.O., and Chaffin, D.B.. 1985. Ergonomic analysis of slip-resistance measurement devices. *Ergonomics*. P. 1065-1079.
- Bunterngchit, Y. 1990. Measurement of Dynamic Friction Available Between Shoes and Floor, Appropriate to Friction Demands in Walking. Ph.D. Thesis, Faculty of Engineering. The University of New South Wales.
- Chang, W.R.. 2001. The effect of surface roughness and contaminant on the dynamic friction of porcelain tile. *Applied Ergonomics* 32. P. 173-184.
- Gronqvist, R., Roine, J., Jarvinen, E., and Korhonen, E.. 1989. An apparatus and a method for determining the slip resistance of shoes and floors by simulation of human foot motions. *Ergonomics* 32. P. 979- 995.
- Gronqvist, R.. 1995. Mechanisms of friction and assessment of slip resistance of new and used footwear soles on contaminated floors. *Ergonomics* 38. P. 224-241.
- ISO 13287:2006(E). 2006. ISO. ISO 13287 Personal protective equipment footwear-Test method for slip resistance. Geneva.
- Kistler. 2009. DynoWare Windows® Software for data acquisition and evaluation (ออนไลน์). สืบค้นจาก :<http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/rozvoj/Kistler-CNC-DynoWare-Data-Processing-En.pdf> (6 มีนาคม 2552)
- Manning, D.P., Jones. 2001. The effect of roughness, floor polish, water, oil and ice on underfoot friction : current safety footwear solings are less slip resistant than microcellular polyurethane. *Applied Ergonomics*. 32. P. 185-193.
- Perkins, P.J.. 1978. Measurement of slip between the shoe and ground during walking, walkway surfaces. Measurement of slip resistance ASTM STP 649, Edited by Carl Anderson and John Senne, American society of testing and materials. P. 71-87.
- Perry, Jacquelin. 1992. Gait Analysis Normal and Pathological Function. Thorofare: Slack Incorporate.
- Redfern, M.S., and Bidanda, B.. 1994. Slip Resistance of the Shoe-Floor Interface under Biomechanically-Relevant Conditions. *Ergonomics* 37. P. 511-524.
- Rose, Jessica. 1994. Human Walking Maryland. Williams & Wilkins: London.
- Safety Shoe Soles (ออนไลน์). 2551. สืบค้นจาก :<http://www.arvindfootwear.net/safety-shoe-soles.html> (สืบค้นเมื่อ 2 เมษายน 2552).

- Sigler, P.A., Geib, M.N., and Boone, T.H.. 1948. Measurement of the slipperiness of walkway surfaces. Journal of research of the U.S. national bureau of standards 4: P. 399-381.
- Stevenson, M.G., Hoang, K., Bunternngchit, Y., and Lloyd, D.. 1989. Measurement of slip resistance of shoes on floor surfaces. Journal of occupational healthand safety (Australia and New Zealand) 5. P. 115-120.
- Strandberg, L. 1983. Ergonomics applied to slipping accidents. Ergonomics of Workstation Design Butter-worth. London. P. 201-228
- US National Safety Council (ออนไลน์). 2004. สืบค้นจาก :[http://www.nsc.org/library/report\\_injury\\_usa.htm](http://www.nsc.org/library/report_injury_usa.htm) (6 ธันวาคม 2551)



ภาคผนวก

### ภาคผนวก ก ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายในแต่ละพื้นรองเท้า

ตารางที่ ผก.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติสูตรอ่อน ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง

ครั้ง ที่	พื้นรองเท้าสูตรอ่อน											
	พื้นปูนขัด				พื้นหินขัด				พื้นกระเบื้อง			
	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เปื้อน น้ำมัน	เปื้อน น้ำสบู่	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เปื้อน น้ำมัน	เปื้อน น้ำสบู่	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เปื้อน น้ำมัน	เปื้อน น้ำสบู่
1	3.31	2.51	0.57	1.25	3.21	1.86	0.33	0.64	3.40	1.40	0.15	0.12
2	3.18	2.33	0.53	1.17	3.20	1.99	0.33	0.64	3.52	1.39	0.09	0.10
3	3.17	2.48	0.54	1.00	3.39	2.17	0.32	0.45	3.33	1.39	0.19	0.10
4	3.25	2.56	0.59	1.04	3.37	2.06	0.30	0.45	3.57	1.22	0.14	0.10
5	3.12	2.48	0.55	1.04	3.37	2.12	0.35	0.47	3.67	1.27	0.18	0.08
6	2.93	2.44	0.60	1.02	3.43	2.19	0.32	0.45	3.65	1.18	0.09	0.09
7	2.98	2.53	0.60	1.02	3.36	2.25	0.31	0.49	3.67	1.14	0.11	0.11
8	3.05	2.56	0.57	1.00	3.46	2.30	0.34	0.51	3.71	1.06	0.05	0.04
9	3.03	2.38	0.60	0.97	3.57	2.30	0.27	0.41	3.79	1.04	0.03	0.04
10	2.97	2.36	0.56	0.95	3.52	2.25	0.31	0.42	3.87	1.17	0.06	0.07
11	2.90	2.33	0.56	0.96	3.57	2.30	0.34	0.43	3.87	1.05	0.08	0.05
12	2.99	2.44	0.56	0.95	3.50	2.31	0.33	0.46	3.81	1.05	0.06	0.06
13	2.96	2.42	0.55	0.92	3.18	2.23	0.23	0.39	3.73	1.10	0.10	0.06
14	2.92	2.41	0.51	0.90	3.49	2.30	0.30	0.46	3.74	1.06	0.10	0.07
15	2.91	2.40	0.56	0.95	3.54	2.25	0.35	0.52	3.76	1.02	0.09	0.06
เฉลี่ย	3.04	2.44	0.56	1.01	3.41	2.19	0.31	0.48	3.67	1.17	0.10	0.08
SD	0.13	0.08	0.03	0.09	0.13	0.13	0.03	0.07	0.16	0.13	0.05	0.03

ตารางที่ ผก.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติสูตรแข็ง ภายใต้สถานะพื้นผิวที่แตกต่างกัน

ครั้ง ที่	พื้นรองเท้าสูตรแข็ง											
	พื้นปูนขัด				พื้นหินขัด				พื้นกระเบื้อง			
	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เปียก น้ำมัน	เปียก น้ำสบู่	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เปียก น้ำมัน	เปียก น้ำสบู่	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เปียก น้ำมัน	เปียก น้ำสบู่
1	2.37	1.68	0.62	1.14	3.70	1.91	0.32	0.60	3.02	0.59	0.18	0.13
2	2.21	1.72	0.60	1.02	3.85	1.92	0.32	0.50	3.74	0.58	0.14	0.10
3	2.40	1.78	0.57	0.99	3.88	1.97	0.34	0.48	3.77	0.56	0.21	0.10
4	2.31	1.75	0.61	1.04	3.99	1.93	0.29	0.52	3.91	0.57	0.13	0.10
5	2.29	1.77	0.55	0.99	4.00	1.94	0.33	0.51	3.61	0.60	0.16	0.11
6	2.30	1.77	0.61	1.00	4.31	2.12	0.38	0.49	3.67	0.58	0.15	0.07
7	2.26	1.83	0.57	0.90	4.42	2.09	0.34	0.47	3.83	0.65	0.16	0.07
8	2.27	1.83	0.55	0.97	4.54	1.98	0.30	0.46	3.72	0.62	0.11	0.07
9	2.34	1.86	0.56	0.91	4.31	2.02	0.36	0.44	3.83	0.69	0.19	0.08
10	2.36	1.90	0.56	0.87	4.14	2.07	0.37	0.42	3.68	0.71	0.16	0.08
11	2.21	1.84	0.55	0.95	4.12	2.11	0.35	0.41	3.71	0.67	0.17	0.10
12	2.07	1.83	0.54	0.87	4.07	2.12	0.31	0.42	3.95	0.63	0.12	0.13
13	2.14	1.87	0.62	0.95	4.10	2.22	0.37	0.42	3.84	0.71	0.11	0.07
14	2.20	1.79	0.63	0.93	4.11	2.11	0.32	0.40	3.91	0.66	0.12	0.06
15	2.17	1.73	0.57	0.91	4.14	2.08	0.36	0.39	3.71	0.71	0.14	0.04
เฉลี่ย	2.26	1.80	0.58	0.96	4.11	2.04	0.34	0.46	3.73	0.64	0.15	0.09
SD	0.09	0.06	0.03	0.07	0.22	0.09	0.03	0.06	0.22	0.05	0.03	0.03

ตารางที่ ผก.3 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติ (ห้องตลาด) ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกัน

ครั้ง ที่	พื้นรองเท้าสูตรยางธรรมชาติ (ห้องตลาด)											
	พื้นปูนขัด				พื้นหินขัด				พื้นกระเบื้อง			
	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เปื้อน น้ำมัน	เปื้อน น้ำสบู่	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เปื้อน น้ำมัน	เปื้อน น้ำสบู่	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เปื้อน น้ำมัน	เปื้อน น้ำสบู่
1	1.75	1.10	1.04	1.25	1.41	1.03	0.04	0.49	0.70	0.35	0.25	0.16
2	1.46	1.03	1.06	1.29	1.46	1.14	0.35	0.41	0.75	0.29	0.20	0.12
3	1.89	1.20	1.07	1.28	1.63	1.03	0.44	0.45	0.78	0.33	0.20	0.21
4	1.84	1.13	1.09	1.26	1.66	1.00	0.40	0.47	0.80	0.27	0.17	0.13
5	1.70	0.98	1.07	1.25	1.68	1.17	0.46	0.37	0.77	0.26	0.17	0.16
6	1.62	1.07	1.12	1.22	1.77	1.13	0.40	0.45	0.90	0.24	0.16	0.16
7	1.70	1.02	1.10	1.13	1.81	1.11	0.42	0.43	0.84	0.27	0.27	0.13
8	1.68	1.11	1.08	1.43	1.97	1.27	0.46	0.34	0.79	0.21	0.26	0.22
9	1.75	1.10	1.08	1.35	1.90	1.27	0.42	0.35	0.91	0.24	0.24	0.10
10	1.63	0.92	1.11	1.35	1.95	1.25	0.48	0.40	0.83	0.28	0.23	0.17
11	1.68	1.08	1.06	1.35	1.96	1.08	0.47	0.41	0.84	0.28	0.15	0.12
12	1.48	1.13	1.03	1.29	1.93	1.21	0.50	0.42	0.86	0.26	0.18	0.13
13	1.49	1.13	1.03	1.33	1.78	1.33	0.45	0.35	0.76	0.20	0.20	0.20
14	1.48	1.14	1.07	1.26	1.65	1.29	0.38	0.36	0.78	0.27	0.18	0.14
15	1.66	1.09	1.08	1.18	1.77	1.26	0.43	0.43	0.80	0.24	0.21	0.17
เฉลี่ย	1.65	1.08	1.07	1.28	1.76	1.17	0.41	0.41	0.81	0.27	0.20	0.15
SD	0.13	0.07	0.03	0.07	0.18	0.11	0.11	0.05	0.06	0.04	0.04	0.03

ตารางที่ ผก.4 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย A ภายใต้สภาวะ  
พื้นผิวที่แตกต่างกัน

ครั้งที่	พื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย A											
	พื้นปูนขัด				พื้นหินขัด				พื้นกระเบื้อง			
	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เปื้อน น้ำมัน	เปื้อน น้ำสบู่	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เปื้อน น้ำมัน	เปื้อน น้ำสบู่	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เปื้อน น้ำมัน	เปื้อน น้ำสบู่
1	1.22	1.26	1.06	1.42	0.87	0.71	0.48	0.76	0.58	0.54	0.36	0.37
2	1.24	1.15	1.02	1.48	0.76	0.71	0.54	0.79	0.55	0.55	0.22	0.36
3	1.18	1.02	0.92	1.44	0.81	0.72	0.56	0.84	0.57	0.54	0.22	0.48
4	1.12	1.06	0.86	1.48	0.84	0.93	0.54	0.67	0.55	0.49	0.29	0.34
5	1.22	1.06	0.90	1.50	0.88	0.93	0.65	0.76	0.61	0.57	0.25	0.43
6	1.21	1.13	0.90	1.47	0.92	0.91	0.54	0.68	0.66	0.50	0.27	0.31
7	1.15	1.07	1.04	1.53	0.95	0.97	0.50	0.87	0.66	0.62	0.30	0.36
8	1.17	1.12	1.11	1.55	0.96	0.89	0.60	0.83	0.59	0.56	0.26	0.38
9	1.16	1.03	0.89	1.71	0.81	0.91	0.54	0.95	0.59	0.50	0.30	0.34
10	1.16	1.03	1.04	1.75	0.83	0.97	0.62	0.82	0.56	0.55	0.22	0.35
11	1.23	1.08	1.09	1.59	0.78	0.90	0.58	0.88	0.66	0.52	0.30	0.30
12	1.19	1.06	1.02	1.75	0.90	0.89	0.67	0.89	0.59	0.53	0.34	0.33
13	1.20	1.01	0.85	1.71	0.85	0.92	0.62	0.87	0.60	0.51	0.31	0.32
14	1.18	1.02	0.88	1.71	0.90	0.95	0.58	0.94	0.63	0.56	0.38	0.33
15	1.05	1.00	1.01	1.70	0.86	0.85	0.52	0.98	0.58	0.52	0.31	0.29
เฉลี่ย	1.18	1.07	0.97	1.59	0.86	0.88	0.57	0.84	0.60	0.54	0.29	0.35
SD	0.05	0.07	0.09	0.12	0.06	0.09	0.05	0.09	0.04	0.03	0.05	0.05

ตารางที่ ผก.5 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย B ภายใต้สภาวะ  
พื้นผิวที่แตกต่างกัน

ครั้งที่	พื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย B											
	พื้นปูนขัด				พื้นหินขัด				พื้นกระเบื้อง			
	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เปื้อน น้ำมัน	เปื้อน น้ำสบู่	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เปื้อน น้ำมัน	เปื้อน น้ำสบู่	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เปื้อน น้ำมัน	เปื้อน น้ำสบู่
1	1.94	1.22	1.26	1.52	1.15	1.16	0.79	0.92	0.59	0.93	0.29	0.40
2	1.97	1.04	1.11	1.59	1.01	0.95	0.75	1.06	0.84	0.84	0.24	0.30
3	1.82	1.16	1.22	1.72	1.10	1.07	0.76	1.17	0.72	0.88	0.27	0.40
4	1.96	1.13	1.30	1.63	0.98	1.04	0.75	1.25	0.67	0.89	0.34	0.35
5	1.92	1.10	1.22	2.03	0.96	1.06	0.74	1.40	0.57	0.91	0.21	0.40
6	1.91	1.16	1.20	1.71	0.95	1.00	0.76	1.35	0.69	0.92	0.21	0.36
7	1.89	1.12	1.18	1.87	1.12	1.13	0.85	1.38	0.63	0.84	0.23	0.35
8	2.00	1.15	1.24	1.90	1.09	0.90	0.76	1.36	0.65	0.90	0.16	0.34
9	2.11	1.15	1.27	2.08	1.16	0.96	0.79	1.35	0.60	0.93	0.18	0.29
10	1.94	1.17	1.34	2.07	1.22	1.01	0.75	1.47	0.56	1.00	0.28	0.33
11	2.07	1.01	1.27	2.09	1.18	0.93	0.76	1.40	0.59	0.93	0.28	0.30
12	2.17	1.12	1.37	2.17	1.24	0.98	0.69	1.36	0.65	0.98	0.22	0.35
13	2.12	1.14	1.39	2.10	1.32	1.02	0.74	1.45	0.69	0.89	0.21	0.32
14	2.16	1.22	1.35	2.13	1.22	1.04	0.75	1.42	0.75	0.83	0.22	0.33
15	1.67	1.12	1.39	2.09	1.43	0.96	0.73	1.35	0.64	0.84	0.27	0.32
เฉลี่ย	1.98	1.14	1.27	1.91	1.14	1.01	0.76	1.31	0.66	0.90	0.24	0.34
SD	0.14	0.06	0.08	0.22	0.13	0.07	0.04	0.15	0.07	0.05	0.05	0.04

ตารางที่ ผก.6 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย C ภายใต้สภาวะ  
พื้นผิวที่แตกต่างกัน

ครั้งที่	พื้นรองเท้าจากยาง NBR ลาย C											
	พื้นปูนขัด				พื้นหินขัด				พื้นกระเบื้อง			
	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เปื้อน น้ำมัน	เปื้อน น้ำสบู่	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เปื้อน น้ำมัน	เปื้อน น้ำสบู่	พื้น แห้ง	เปียก น้ำ	เปื้อน น้ำมัน	เปื้อน น้ำสบู่
1	1.71	1.15	1.02	1.15	0.54	0.66	0.43	0.59	0.50	0.25	0.17	0.38
2	1.35	1.01	1.05	1.14	0.49	0.78	0.45	0.61	0.47	0.43	0.25	0.16
3	1.38	0.99	1.04	1.25	0.63	0.74	0.59	0.63	0.58	0.36	0.15	0.18
4	1.34	1.20	1.10	1.11	0.61	0.73	0.44	0.67	0.53	0.33	0.21	0.14
5	1.30	1.09	1.17	1.32	0.56	0.74	0.46	0.70	0.42	0.34	0.14	0.22
6	1.40	1.04	0.96	1.26	0.55	0.71	0.53	0.70	0.54	0.32	0.21	0.13
7	1.26	0.93	1.16	1.40	0.51	0.65	0.44	0.76	0.49	0.40	0.12	0.18
8	1.24	1.02	1.17	1.30	0.60	0.67	0.41	0.73	0.60	0.36	0.11	0.16
9	1.44	1.07	1.13	1.42	0.48	0.64	0.44	0.69	0.49	0.30	0.08	0.18
10	1.38	0.97	1.19	1.40	0.53	0.65	0.47	0.60	0.51	0.34	0.09	0.17
11	1.23	1.12	1.05	1.36	0.51	0.64	0.54	0.67	0.43	0.37	0.21	0.12
12	1.25	1.08	1.14	1.39	0.61	0.56	0.50	0.70	0.53	0.29	0.14	0.21
13	1.33	1.07	1.19	1.44	0.60	0.62	0.52	0.70	0.43	0.31	0.18	0.29
14	1.28	1.14	1.14	1.41	0.61	0.69	0.52	0.75	0.42	0.26	0.21	0.18
15	1.38	1.02	1.15	1.40	0.56	0.71	0.51	0.71	0.45	0.27	0.19	0.20
เฉลี่ย	1.35	1.06	1.11	1.32	0.56	0.68	0.48	0.68	0.49	0.33	0.16	0.19
SD	0.12	0.07	0.07	0.11	0.05	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.07

### ภาคผนวก ข แผนการออกแบบการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

ตารางที่ ผข.1 แผนการออกแบบการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

การทดลองที่	ลำดับการทดลอง	พื้นรองเท้า	ปัจจัยชนิดพื้นทางเดิน	สภาวะพื้นทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
1	52	5	1	4	1.52
2	113	4	2	1	0.76
3	861	6	3	1	0.53
4	996	5	3	4	0.33
5	174	3	2	2	1.03
6	1080	6	3	4	0.2
7	676	3	1	4	1.35
8	95	2	3	3	0.14
9	1008	6	3	4	0.18
10	871	1	2	3	0.23
11	630	5	2	2	0.96
12	536	3	2	4	0.34
13	49	5	1	1	1.94
14	372	1	3	4	0.09
15	623	4	3	3	0.3
16	628	5	1	4	2.08
17	930	6	2	2	0.62
18	914	5	1	2	1.14
19	1056	4	3	4	0.29
20	512	1	2	4	0.51
21	368	1	2	4	0.45
22	160	2	1	4	0.99
23	995	5	3	3	0.22
24	187	4	2	3	0.56



การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่รองเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
25	1019	1	3	3	0.09
26	992	5	2	4	1.42
27	117	4	3	1	0.55
28	916	5	1	4	2.1
29	444	1	3	4	0.11
30	285	6	3	1	0.53
31	719	6	3	3	0.09
32	29	3	2	1	1.41
33	661	2	1	1	2.36
34	220	1	1	4	1.04
35	568	6	1	4	1.3
36	621	4	3	1	0.59
37	749	3	2	1	1.96
38	519	2	1	3	0.55
39	909	4	3	1	0.6
40	1002	6	2	2	0.69
41	1029	2	3	1	3.71
42	883	2	2	3	0.37
43	54	5	2	2	1.16
44	591	2	1	3	0.56
45	942	1	2	2	2.3
46	384	2	3	4	0.07
47	223	1	2	3	0.3
48	370	1	3	2	1.18
49	319	3	2	3	0.46
50	766	4	3	2	0.52
51	958	2	3	2	0.66

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
52	407	4	3	3	0.27
53	559	5	2	3	0.76
54	253	4	1	1	1.12
55	13	2	1	1	2.37
56	133	6	1	1	1.35
57	612	3	3	4	0.1
58	1015	1	2	3	0.35
59	71	6	3	3	0.17
60	664	2	1	4	0.87
61	574	6	3	2	0.36
62	808	2	1	4	0.87
63	1066	5	3	2	0.84
64	601	3	1	1	1.75
65	56	5	2	4	0.92
66	466	3	3	2	0.27
67	459	3	1	3	1.1
68	289	1	1	1	3.12
69	237	2	3	1	3.91
70	672	2	3	4	0.08
71	556	5	1	4	1.9
72	503	6	3	3	0.12
73	377	2	2	1	4.31
74	986	5	1	2	1.22
75	262	4	3	2	0.49
76	1	1	1	1	3.31
77	16	2	1	4	1.14
78	14	2	1	2	1.68

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สถานะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
79	904	4	1	4	1.71
80	784	6	1	4	1.36
81	74	1	1	2	2.33
82	494	6	1	2	0.93
83	945	1	3	1	3.74
84	589	2	1	1	2.34
85	249	3	3	1	0.8
86	947	1	3	3	0.1
87	33	3	3	1	0.7
88	145	1	1	1	3.17
89	624	4	3	4	0.34
90	929	6	2	1	0.6
91	1060	5	1	4	2.09
92	218	1	1	2	2.56
93	979	4	2	3	0.58
94	833	4	2	1	0.9
95	1011	1	1	3	0.56
96	439	1	2	3	0.31
97	152	1	2	4	0.45
98	836	4	2	4	0.89
99	812	2	2	4	0.42
100	46	4	3	2	0.54
101	376	2	1	4	1
102	287	6	3	3	0.21
103	208	6	1	4	1.25
104	426	6	2	2	0.71
105	670	2	3	2	0.71

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
106	420	5	3	4	0.36
107	69	6	3	1	0.5
108	553	5	1	1	2
109	973	4	1	1	1.18
110	819	3	1	3	1.03
111	550	4	3	2	0.56
112	768	4	3	4	0.3
113	3	1	1	3	0.57
114	894	3	2	2	1.33
115	748	3	1	4	1.35
116	514	1	3	2	1.06
117	78	1	2	2	1.99
118	126	5	2	2	0.95
119	144	6	3	4	0.16
120	234	2	2	2	1.93
121	895	3	2	3	0.45
122	31	3	2	3	0.04
123	547	4	2	3	0.6
124	735	2	1	3	0.55
125	304	2	1	4	0.99
126	484	5	1	4	1.87
127	496	6	1	4	1.4
128	932	6	2	4	0.7
129	337	5	1	1	1.92
130	412	5	1	4	1.71
131	1073	6	2	1	0.56
132	214	6	3	2	0.36

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่รองเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
133	419	5	3	3	0.21
134	875	1	3	3	0.1
135	1069	6	1	1	1.38
136	796	1	1	4	0.95
137	788	6	2	4	0.67
138	364	1	1	4	1.02
139	823	3	2	3	0.5
140	446	2	1	2	1.83
141	381	2	3	1	3.67
142	84	1	3	4	0.1
143	156	1	3	4	0.1
144	410	5	1	2	1.16
145	456	2	3	4	0.07
146	560	5	2	4	1.36
147	320	3	2	4	0.37
148	908	4	2	4	0.87
149	252	3	3	4	0.13
150	51	5	1	3	1.26
151	853	6	1	1	1.25
152	279	6	1	3	1.1
153	105	3	3	1	0.75
154	892	3	1	4	1.33
155	917	5	2	1	1.32
156	260	4	2	4	0.67
157	203	5	3	3	0.27
158	582	1	2	2	2.3
159	154	1	3	2	1.39

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นรองเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
160	48	4	3	4	0.37
161	20	2	2	4	0.6
162	677	3	2	1	1.95
163	66	6	2	2	0.66
164	502	6	3	2	0.4
165	244	3	1	4	1.26
166	534	3	2	2	1.27
167	637	6	1	1	1.44
168	495	6	1	3	1.16
169	480	4	3	4	0.36
170	310	2	3	2	0.6
171	653	1	2	1	3.52
172	520	2	1	4	0.97
173	849	5	3	1	0.65
174	754	3	3	2	0.28
175	864	6	3	4	0.21
176	329	4	2	1	0.88
177	283	6	2	3	0.44
178	460	3	1	4	1.13
179	349	6	1	1	1.3
180	175	3	2	3	0.44
181	668	2	2	4	0.42
182	885	2	3	1	3.84
183	648	6	3	4	0.18
184	233	2	2	1	3.99
185	489	5	3	1	0.63
186	695	4	3	3	0.22

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้นที่ ทางเดิน	สภาวะพื้นที่ ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
187	1013	1	2	1	3.54
188	485	5	2	1	1.12
189	90	2	2	2	1.92
190	694	4	3	2	0.55
191	1031	2	3	3	0.14
192	141	6	3	1	0.47
193	219	1	1	3	0.59
194	953	2	2	1	4.11
195	759	4	1	3	1.09
196	690	4	2	2	0.97
197	963	3	1	3	1.07
198	922	5	3	2	0.89
199	453	2	3	1	3.83
200	931	6	2	3	0.52
201	317	3	2	1	1.68
202	217	1	1	1	3.25
203	721	1	1	1	2.9
204	697	5	1	1	1.94
205	268	5	1	4	1.63
206	969	3	3	1	0.78
207	251	3	3	3	0.17
208	842	5	1	2	1.12
209	493	6	1	1	1.26
210	618	4	2	2	0.91
211	19	2	2	3	0.32
212	773	5	2	1	1.18
213	1006	6	3	2	0.26

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้นที่ ทางเดิน	สถานะพื้นที่ ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
214	254	4	1	2	1.06
215	828	3	3	4	0.13
216	180	3	3	4	0.21
217	422	6	1	2	1.04
218	1044	3	3	4	0.17
219	497	6	2	1	0.51
220	181	4	1	1	1.18
221	188	4	2	4	0.84
222	408	4	3	4	0.31
223	178	3	3	2	0.33
224	856	6	1	4	1.39
225	166	2	3	2	0.56
226	716	6	2	4	0.6
227	443	1	3	3	0.11
228	12	1	3	4	0.12
229	405	4	3	1	0.66
230	988	5	1	4	2.13
231	261	4	3	1	0.55
232	47	4	3	3	0.36
233	280	6	1	4	1.11
234	704	5	2	4	1.47
235	210	6	2	2	0.74
236	579	1	1	3	0.6
237	795	1	1	3	0.56
238	807	2	1	3	0.54
239	475	4	2	3	0.5
240	465	3	3	1	0.84



การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่รองเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
241	8	1	2	4	0.64
242	164	2	2	4	0.48
243	63	6	1	3	1.02
244	1065	5	3	1	0.64
245	240	2	3	4	0.1
246	967	3	2	3	0.38
247	9	1	3	1	3.4
248	135	6	1	3	1.05
249	658	1	3	2	1.17
250	80	1	2	4	0.64
251	325	4	1	1	1.22
252	1046	4	1	2	1
253	691	4	2	3	0.62
254	903	4	1	3	0.85
255	783	6	1	3	1.05
256	860	6	2	4	0.7
257	397	4	1	1	1.21
258	481	5	1	1	1.89
259	1032	2	3	4	0.04
260	509	1	2	1	3.46
261	757	4	1	1	1.23
262	726	1	2	2	2.3
263	162	2	2	2	1.97
264	128	5	2	4	1.06
265	619	4	2	3	0.54
266	472	4	1	4	1.53
267	266	5	1	2	1.13

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่รองเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
268	593	2	2	1	4.31
269	125	5	2	1	1.01
270	398	4	1	2	1.13
271	531	3	1	3	1.08
272	840	4	3	4	0.33
273	683	3	3	3	0.23
274	530	3	1	2	1.11
275	897	3	3	1	0.76
276	891	3	1	3	1.03
277	760	4	1	4	1.59
278	562	5	3	2	0.9
279	804	1	3	4	0.06
280	948	1	3	4	0.07
281	515	1	3	3	0.05
282	361	1	1	1	2.93
283	910	4	3	2	0.51
284	529	3	1	1	1.68
285	647	6	3	3	0.08
286	92	2	2	4	0.5
287	344	5	2	4	1.4
288	846	5	2	2	0.98
289	632	5	2	4	1.35
290	1079	6	3	3	0.19
291	655	1	2	3	0.31
292	997	6	1	1	1.28
293	816	2	3	4	0.13
294	978	4	2	2	0.95

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นรองเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
295	888	2	3	4	0.07
296	11	1	3	3	0.15
297	401	4	2	1	0.92
298	713	6	2	1	0.53
299	335	4	3	3	0.25
300	467	3	3	3	0.27
301	707	5	3	3	0.28
302	554	5	1	2	1.15
303	402	4	2	2	0.91
304	478	4	3	2	0.62
305	845	5	2	1	1.24
306	1027	2	2	3	0.36
307	104	3	2	4	0.41
308	1048	4	1	4	1.7
309	733	2	1	1	2.21
310	318	3	2	2	1.17
311	525	2	3	1	3.72
312	375	2	1	3	0.61
313	256	4	1	4	1.48
314	569	6	2	1	0.6
315	477	4	3	1	0.66
316	491	5	3	3	0.23
317	527	2	3	3	0.11
318	28	3	1	4	1.25
319	774	5	2	2	0.93
320	307	2	2	3	0.33
321	447	2	1	3	0.57

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
322	250	3	3	2	0.27
323	755	3	3	3	0.15
324	471	4	1	3	1.04
325	390	3	2	2	1.13
326	169	3	1	1	1.89
327	881	2	2	1	4.1
328	81	1	3	1	3.52
329	599	2	3	3	0.19
330	346	5	3	2	0.91
331	644	6	2	4	0.69
332	517	2	1	1	2.27
333	371	1	3	3	0.09
334	765	4	3	1	0.66
335	75	1	1	3	0.53
336	901	4	1	1	1.2
337	314	3	1	2	0.98
338	108	3	3	4	0.12
339	276	5	3	4	0.35
340	309	2	3	1	3.61
341	1054	4	3	2	0.52
342	505	1	1	1	3.05
343	974	4	1	2	1.02
344	228	1	3	4	0.1
345	450	2	2	2	2.09
346	872	1	2	4	0.39
347	455	2	3	3	0.16
348	557	5	2	1	1.09

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่รองเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
349	561	5	3	1	0.65
350	457	3	1	1	1.7
351	855	6	1	3	1.14
352	388	3	1	4	1.22
353	441	1	3	1	3.67
354	500	6	2	4	0.76
355	1075	6	2	3	0.51
356	991	5	2	3	0.75
357	731	1	3	3	0.08
358	787	6	2	3	0.54
359	975	4	1	3	0.88
360	789	6	3	1	0.43
361	98	3	1	2	1.03
362	703	5	2	3	0.75
363	673	3	1	1	1.63
364	295	1	2	3	0.35
365	127	5	2	3	0.75
366	923	5	3	3	0.21
367	7	1	2	3	0.33
368	338	5	1	2	1.1
369	641	6	2	1	0.48
370	563	5	3	3	0.16
371	392	3	2	4	0.45
372	950	2	1	2	1.79
373	539	3	3	3	0.26
374	194	5	1	2	1.16
375	212	6	2	4	0.63

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
376	859	6	2	3	0.5
377	334	4	3	2	0.57
378	100	3	1	4	1.29
379	696	4	3	4	0.35
380	245	3	2	1	1.66
381	119	4	3	3	0.22
382	476	4	2	4	0.87
383	468	3	3	4	0.13
384	399	4	1	3	0.9
385	216	6	3	4	0.18
386	627	5	1	3	1.27
387	597	2	3	1	3.83
388	954	2	2	2	2.11
389	926	6	1	2	1.07
390	45	4	3	1	0.58
391	817	3	1	1	1.48
392	638	6	1	2	1.07
393	258	4	2	2	0.93
394	123	5	1	3	1.11
395	351	6	1	3	1.17
396	21	2	3	1	3.02
397	38	4	1	2	1.26
398	321	3	3	1	0.77
399	328	4	1	4	1.5
400	700	5	1	4	2.07
401	905	4	2	1	0.85
402	878	2	1	2	1.87

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้นที่ ทางเดิน	สภาวะพื้นที่ ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
403	727	1	2	3	0.34
404	1000	6	1	4	1.41
405	678	3	2	2	1.25
406	518	2	1	2	1.83
407	1028	2	2	4	0.39
408	592	2	1	4	0.91
409	790	6	3	2	0.37
410	458	3	1	2	1.02
411	286	6	3	2	0.33
412	573	6	3	1	0.6
413	186	4	2	2	0.72
414	834	4	2	2	0.89
415	300	1	3	4	0.08
416	1041	3	3	1	0.8
417	1077	6	3	1	0.45
418	264	4	3	4	0.34
419	425	6	2	1	0.55
420	271	5	2	3	0.75
421	911	4	3	3	0.31
422	345	5	3	1	0.57
423	777	5	3	1	0.59
424	533	3	2	1	1.97
425	176	3	2	4	0.45
426	235	2	2	3	0.29
427	660	1	3	4	0.07
428	130	5	3	2	0.84
429	613	4	1	1	1.16

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
430	743	2	3	3	0.17
431	94	2	3	2	0.58
432	506	1	1	2	2.56
433	1017	1	3	1	3.76
434	306	2	2	2	1.94
435	1047	4	1	3	1.01
436	486	5	2	2	1.13
437	611	3	3	3	0.24
438	200	5	2	4	1.17
439	692	4	2	4	0.82
440	1014	1	2	2	2.25
441	758	4	1	2	1.08
442	738	2	2	2	2.11
443	566	6	1	2	1.02
444	97	3	1	1	1.46
445	943	1	2	3	0.3
446	179	3	3	3	0.2
447	596	2	2	4	0.44
448	994	5	3	2	0.83
449	584	1	2	4	0.41
450	1050	4	2	2	0.85
451	955	2	2	3	0.32
452	275	5	3	3	0.34
453	680	3	2	4	0.4
454	1004	6	2	4	0.75
455	686	4	1	2	1.03
456	158	2	1	2	1.78



การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
457	229	2	1	1	2.31
458	786	6	2	2	0.64
459	1070	6	1	2	1.02
460	949	2	1	1	2.2
461	785	6	2	1	0.51
462	873	1	3	1	3.73
463	937	1	1	1	2.92
464	404	4	2	4	0.68
465	925	6	1	1	1.33
466	896	3	2	4	0.35
467	767	4	3	3	0.3
468	850	5	3	2	0.98
469	1074	6	2	2	0.71
470	1020	1	3	4	0.06
471	192	4	3	4	0.48
472	143	6	3	3	0.25
473	301	2	1	1	2.29
474	907	4	2	3	0.62
475	649	1	1	1	2.97
476	330	4	2	2	0.93
477	122	5	1	2	1.04
478	756	3	3	4	0.12
479	576	6	3	4	0.16
480	492	5	3	4	0.35
481	409	5	1	1	1.91
482	821	3	2	1	1.93
483	64	6	1	4	1.15

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
484	204	5	3	4	0.4
485	724	1	1	4	0.96
486	722	1	1	2	2.33
487	231	2	1	3	0.61
488	830	4	1	2	1.06
489	292	1	1	4	1.04
490	851	5	3	3	0.22
491	121	5	1	1	1.97
492	764	4	2	4	0.88
493	452	2	2	4	0.47
494	225	1	3	1	3.57
495	35	3	3	3	0.25
496	858	6	2	2	0.56
497	211	6	2	3	0.59
498	487	5	2	3	0.85
499	884	2	2	4	0.42
500	586	1	3	2	1.04
501	839	4	3	3	0.34
502	813	2	3	1	3.95
503	395	3	3	3	0.16
504	294	1	2	2	2.12
505	243	3	1	3	1.09
506	752	3	2	4	0.41
507	565	6	1	1	1.24
508	555	5	1	3	1.24
509	681	3	3	1	0.83
510	868	1	1	4	0.92

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
511	558	5	2	2	0.9
512	221	1	2	1	3.37
513	659	1	3	3	0.06
514	753	3	3	1	0.84
515	982	4	3	2	0.56
516	616	4	1	4	1.71
517	418	5	3	2	0.92
518	936	6	3	4	0.29
519	149	1	2	1	3.39
520	876	1	3	4	0.06
521	182	4	1	2	1.02
522	1009	1	1	1	2.91
523	24	2	3	4	0.13
524	814	2	3	2	0.63
525	688	4	1	4	1.75
526	510	1	2	2	2.3
527	273	5	3	1	0.67
528	824	3	2	4	0.42
529	296	1	2	4	0.47
530	206	6	1	2	0.99
531	732	1	3	4	0.05
532	610	3	3	2	0.24
533	165	2	3	1	3.77
534	718	6	3	2	0.34
535	636	5	3	4	0.29
536	685	4	1	1	1.16
537	86	2	1	2	1.72

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้นที่ ทางเดิน	สภาวะพื้นที่ ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
538	107	3	3	3	0.2
539	137	6	2	1	0.49
540	976	4	1	4	1.71
541	150	1	2	2	2.17
542	257	4	2	1	0.84
543	1059	5	1	3	1.39
544	302	2	1	2	1.77
545	959	2	3	3	0.12
546	224	1	2	4	0.45
547	6	1	2	2	1.86
548	291	1	1	3	0.55
549	902	4	1	2	1.01
550	365	1	2	1	3.43
551	651	1	1	3	0.56
552	983	4	3	3	0.38
553	603	3	1	3	1.08
554	998	6	1	2	1.14
555	76	1	1	4	1.17
556	332	4	2	4	0.76
557	197	5	2	1	1.1
558	1076	6	2	4	0.71
559	147	1	1	3	0.54
560	747	3	1	3	1.06
561	609	3	3	1	0.91
562	639	6	1	3	1.13
563	1021	2	1	1	2.17
564	461	3	2	1	1.81

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่รองเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
565	522	2	2	2	1.98
566	1018	1	3	2	1.02
567	1030	2	3	2	0.71
568	146	1	1	2	2.48
569	474	4	2	2	0.97
570	614	4	1	2	1.03
571	927	6	1	3	1.19
572	41	4	2	1	0.87
573	781	6	1	1	1.23
574	728	1	2	4	0.43
575	1052	4	2	4	0.98
576	898	3	3	2	0.2
577	448	2	1	4	0.9
578	1025	2	2	1	4.14
579	1057	5	1	1	1.67
580	1039	3	2	3	0.43
581	242	3	1	2	1.13
582	706	5	3	2	1
583	18	2	2	2	1.91
584	202	5	3	2	0.88
585	775	5	2	3	0.76
586	183	4	1	3	0.92
587	132	5	3	4	0.3
588	1061	5	2	1	1.43
589	339	5	1	3	1.22
590	961	3	1	1	1.48
591	607	3	2	3	0.42

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
592	155	1	3	3	0.19
593	114	4	2	2	0.71
594	195	5	1	3	1.22
595	436	1	1	4	1.02
596	980	4	2	4	0.94
597	960	2	3	4	0.06
598	829	4	1	1	1.19
599	705	5	3	1	0.56
600	769	5	1	1	2.07
601	82	1	3	2	1.39
602	1049	4	2	1	0.86
603	799	1	2	3	0.33
604	552	4	3	4	0.38
605	577	1	1	1	3.03
606	196	5	1	4	1.72
607	255	4	1	3	0.86
608	36	3	3	4	0.16
609	428	6	2	4	0.7
610	177	3	3	1	0.78
611	548	4	2	4	0.83
612	297	1	3	1	3.67
613	640	6	1	4	1.42
614	740	2	2	4	0.41
615	709	6	1	1	1.38
616	142	6	3	2	0.43
617	414	5	2	2	1
618	327	4	1	3	0.9

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้นที่ ทางเดิน	สถานะพื้นที่ ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
619	771	5	1	3	1.27
620	852	5	3	4	0.35
621	163	2	2	3	0.34
622	776	5	2	4	1.4
623	737	2	2	1	4.12
624	629	5	2	1	1.16
625	622	4	3	2	0.5
626	985	5	1	1	2.16
627	572	6	2	4	0.73
628	1026	2	2	2	2.08
629	801	1	3	1	3.81
630	1042	3	3	2	0.24
631	96	2	3	4	0.1
632	109	4	1	1	1.24
633	604	3	1	4	1.35
634	37	4	1	1	1.22
635	669	2	3	1	3.68
636	770	5	1	2	1.01
637	272	5	2	4	1.25
638	1051	4	2	3	0.52
639	746	3	1	2	1.08
640	712	6	1	4	1.4
641	58	5	3	2	0.93
642	538	3	3	2	0.21
643	633	5	3	1	0.6
644	585	1	3	1	3.79
645	751	3	2	3	0.47

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
646	524	2	2	4	0.46
647	970	3	3	2	0.27
648	620	4	2	4	0.95
649	971	3	3	3	0.18
650	761	4	2	1	0.78
651	575	6	3	3	0.11
652	17	2	2	1	3.7
653	359	6	3	3	0.14
654	313	3	1	1	1.7
655	941	1	2	1	3.49
656	396	3	3	4	0.16
657	772	5	1	4	2.09
658	366	1	2	2	2.19
659	1035	3	1	3	1.08
660	355	6	2	3	0.46
661	1022	2	1	2	1.73
662	427	6	2	3	0.53
663	403	4	2	3	0.54
664	389	3	2	1	1.77
665	567	6	1	3	1.17
666	663	2	1	3	0.56
667	299	1	3	3	0.18
668	353	6	2	1	0.56
669	957	2	3	1	3.91
670	191	4	3	3	0.22
671	308	2	2	4	0.51
672	59	5	3	3	0.29



การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่รองเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
673	2	1	1	2	2.51
674	800	1	2	4	0.46
675	124	5	1	4	1.59
676	543	4	1	3	1.11
677	342	5	2	2	1.06
678	343	5	2	3	0.74
679	136	6	1	4	1.14
680	462	3	2	2	1.11
681	516	1	3	4	0.04
682	1033	3	1	1	1.66
683	594	2	2	2	2.02
684	26	3	1	2	1.1
685	521	2	2	1	4.54
686	91	2	2	3	0.32
687	393	3	3	1	0.9
688	1024	2	1	4	0.91
689	40	4	1	4	1.42
690	88	2	1	4	1.02
691	714	6	2	2	0.65
692	598	2	3	2	0.69
693	880	2	1	4	0.95
694	239	2	3	3	0.13
695	498	6	2	2	0.65
696	278	6	1	2	1.2
697	989	5	2	1	1.22
698	848	5	2	4	1.36
699	430	6	3	2	0.32

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่รองเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
700	356	6	2	4	0.7
701	682	3	3	2	0.28
702	421	6	1	1	1.4
703	464	3	2	4	0.43
704	1043	3	3	3	0.21
705	886	2	3	2	0.71
706	168	2	3	4	0.1
707	912	4	3	4	0.32
708	270	5	2	2	1.04
709	305	2	2	1	4
710	85	2	1	1	2.21
711	679	3	2	3	0.48
712	10	1	3	2	1.4
713	826	3	3	2	0.26
714	1040	3	2	4	0.43
715	1068	5	3	4	0.32
716	587	1	3	3	0.03
717	151	1	2	3	0.32
718	215	6	3	3	0.15
719	702	5	2	2	1.01
720	171	3	1	3	1.07
721	741	2	3	1	3.71
722	386	3	1	2	1.07
723	190	4	3	2	0.54
724	646	6	3	2	0.3
725	27	3	1	3	1.04
726	499	6	2	3	0.44

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
727	595	2	2	3	0.36
728	847	5	2	3	0.69
729	222	1	2	2	2.06
730	675	3	1	3	1.11
731	434	1	1	2	2.53
732	650	1	1	2	2.36
733	116	4	2	4	0.79
734	265	5	1	1	1.96
735	838	4	3	2	0.53
736	87	2	1	3	0.6
737	470	4	1	2	1.07
738	57	5	3	1	0.59
739	173	3	2	1	1.63
740	544	4	1	4	1.55
741	138	6	2	2	0.78
742	551	4	3	3	0.26
743	362	1	1	2	2.44
744	387	3	1	3	1.12
745	964	3	1	4	1.26
746	431	6	3	3	0.21
747	199	5	2	3	0.76
748	293	1	2	1	3.37
749	571	6	2	3	0.41
750	383	2	3	3	0.15
751	53	5	2	1	1.15
752	322	3	3	2	0.26
753	1001	6	2	1	0.61

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้นที่ ทางเดิน	สถานะพื้นที่ ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
754	532	3	1	4	1.43
755	312	2	3	4	0.11
756	645	6	3	1	0.49
757	590	2	1	2	1.86
758	893	3	2	1	1.78
759	987	5	1	3	1.35
760	159	2	1	3	0.57
761	956	2	2	4	0.4
762	693	4	3	1	0.56
763	161	2	2	1	3.88
764	259	4	2	3	0.54
765	608	3	2	4	0.35
766	887	2	3	3	0.11
767	900	3	3	4	0.2
768	689	4	2	1	0.83
769	802	1	3	2	1.05
770	1062	5	2	2	0.96
771	919	5	2	3	0.74
772	583	1	2	3	0.27
773	1003	6	2	3	0.52
774	806	2	1	2	1.83
775	247	3	2	3	0.4
776	263	4	3	3	0.29
777	1034	3	1	2	1.09
778	715	6	2	3	0.47
779	323	3	3	3	0.17
780	5	1	2	1	3.21

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
781	825	3	3	1	0.86
782	820	3	1	4	1.29
783	437	1	2	1	3.36
784	39	4	1	3	1.06
785	423	6	1	3	0.96
786	744	2	3	4	0.1
787	588	1	3	4	0.04
788	605	3	2	1	1.9
789	617	4	2	1	0.81
790	921	5	3	1	0.69
791	671	2	3	3	0.16
792	778	5	3	2	0.93
793	411	5	1	3	1.2
794	298	1	3	2	1.27
795	483	5	1	3	1.18
796	654	1	2	2	2.25
797	951	2	1	3	0.63
798	331	4	2	3	0.65
799	367	1	2	3	0.32
800	642	6	2	2	0.64
801	797	1	2	1	3.5
802	246	3	2	2	1
803	935	6	3	3	0.18
804	348	5	3	4	0.4
805	23	2	3	3	0.18
806	451	2	2	3	0.34
807	924	5	3	4	0.32

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่รองเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
808	780	5	3	4	0.3
809	193	5	1	1	1.82
810	794	1	1	2	2.44
811	835	4	2	3	0.67
812	857	6	2	1	0.61
813	965	3	2	1	1.65
814	526	2	3	2	0.62
815	44	4	2	4	0.76
816	580	1	1	4	0.97
817	102	3	2	2	1.14
818	537	3	3	1	0.79
819	61	6	1	1	1.71
820	684	3	3	4	0.17
821	101	3	2	1	1.46
822	867	1	1	3	0.55
823	333	4	3	1	0.61
824	226	1	3	2	1.22
825	968	3	2	4	0.36
826	657	1	3	1	3.87
827	205	6	1	1	1.38
828	882	2	2	2	2.22
829	417	5	3	1	0.69
830	172	3	1	4	1.28
831	93	2	3	1	3.74
832	99	3	1	3	1.06
833	315	3	1	3	1.07
834	184	4	1	4	1.44

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นรองเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
835	564	5	3	4	0.34
836	115	4	2	3	0.54
837	1037	3	2	1	1.77
838	981	4	3	1	0.63
839	602	3	1	2	1.1
840	449	2	2	1	4.42
841	277	6	1	1	1.34
842	674	3	1	2	0.92
843	791	6	3	3	0.21
844	984	4	3	4	0.33
845	626	5	1	2	1.15
846	77	1	2	1	3.2
847	89	2	2	1	3.85
848	134	6	1	2	1.01
849	1058	5	1	2	1.12
850	513	1	3	1	3.71
851	541	4	1	1	1.17
852	546	4	2	2	0.89
853	662	2	1	2	1.9
854	1036	3	1	4	1.18
855	442	1	3	2	1.14
856	103	3	2	3	0.35
857	934	6	3	2	0.31
858	440	1	2	4	0.49
859	570	6	2	2	0.67
860	433	1	1	1	2.98
861	729	1	3	1	3.87

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่รองเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
862	1055	4	3	3	0.31
863	354	6	2	2	0.74
864	606	3	2	2	1.27
865	1078	6	3	2	0.27
866	837	4	3	1	0.59
867	803	1	3	3	0.06
868	763	4	2	3	0.58
869	65	6	2	1	0.54
870	111	4	1	3	1.02
871	939	1	1	3	0.51
872	863	6	3	3	0.14
873	68	6	2	4	0.59
874	739	2	2	3	0.35
875	710	6	1	2	0.97
876	920	5	2	4	1.45
877	352	6	1	4	1.32
878	424	6	1	4	1.26
879	625	5	1	1	2.11
880	805	2	1	1	2.07
881	213	6	3	1	0.58
882	730	1	3	2	1.05
883	782	6	1	2	1.12
884	83	1	3	3	0.09
885	944	1	2	4	0.46
886	43	4	2	3	0.48
887	928	6	1	4	1.44
888	906	4	2	2	0.92



การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
889	373	2	1	1	2.3
890	324	3	3	4	0.16
891	542	4	1	2	1.12
892	915	5	1	3	1.39
893	336	4	3	4	0.43
894	549	4	3	1	0.59
895	818	3	1	2	1.13
896	877	2	1	1	2.14
897	879	2	1	3	0.62
898	350	6	1	2	1.09
899	990	5	2	2	1.04
900	79	1	2	3	0.33
901	578	1	1	2	2.38
902	378	2	2	2	2.12
903	811	2	2	3	0.31
904	687	4	1	3	1.04
905	745	3	1	1	1.68
906	406	4	3	2	0.5
907	30	3	2	2	1.03
908	798	1	2	2	2.31
909	67	6	2	3	0.43
910	469	4	1	1	1.15
911	528	2	3	4	0.07
912	734	2	1	2	1.84
913	62	6	1	2	1.15
914	379	2	2	3	0.38
915	357	6	3	1	0.42

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้นที่ ทางเดิน	สถานะพื้นที่ ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
916	360	6	3	4	0.22
917	248	3	2	4	0.47
918	438	1	2	2	2.25
919	274	5	3	2	0.89
920	999	6	1	3	1.14
921	540	3	3	4	0.22
922	815	2	3	3	0.12
923	290	1	1	2	2.48
924	810	2	2	2	2.12
925	870	1	2	2	2.23
926	952	2	1	4	0.93
927	189	4	3	1	0.57
928	1067	5	3	3	0.27
929	380	2	2	4	0.49
930	993	5	3	1	0.75
931	106	3	3	2	0.29
932	482	5	1	2	1.12
933	972	3	3	4	0.14
934	844	5	1	4	2.17
935	232	2	1	4	1.04
936	238	2	3	2	0.57
937	762	4	2	2	0.9
938	1038	3	2	2	1.26
939	720	6	3	4	0.17
940	827	3	3	3	0.18
941	209	6	2	1	0.63
942	634	5	3	2	0.93

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่รองเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
943	966	3	2	2	1.29
944	809	2	2	1	4.07
945	962	3	1	2	1.14
946	267	5	1	3	1.3
947	535	3	2	3	0.46
948	1010	1	1	2	2.4
949	511	1	2	3	0.34
950	1023	2	1	3	0.57
951	874	1	3	2	1.1
952	118	4	3	2	0.55
953	416	5	2	4	1.35
954	60	5	3	4	0.4
955	615	4	1	3	0.89
956	1012	1	1	4	0.95
957	708	5	3	4	0.33
958	665	2	2	1	4.14
959	698	5	1	2	1.17
960	725	1	2	1	3.57
961	230	2	1	2	1.75
962	454	2	3	2	0.65
963	42	4	2	2	0.71
964	717	6	3	1	0.51
965	241	3	1	1	1.84
966	131	5	3	3	0.24
967	736	2	1	4	0.95
968	34	3	3	2	0.35
969	15	2	1	3	0.62

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่รองเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
970	701	5	2	1	1.22
971	432	6	3	4	0.13
972	1007	6	3	3	0.21
973	153	1	3	1	3.33
974	750	3	2	2	1.08
975	157	2	1	1	2.4
976	167	2	3	3	0.21
977	129	5	3	1	0.84
978	413	5	2	1	0.95
979	358	6	3	2	0.34
980	70	6	3	2	0.25
981	946	1	3	2	1.06
982	508	1	1	4	1
983	374	2	1	2	1.77
984	822	3	2	2	1.21
985	207	6	1	3	1.04
986	110	4	1	2	1.15
987	385	3	1	1	1.62
988	831	4	1	3	1.02
989	284	6	2	4	0.67
990	723	1	1	3	0.56
991	841	5	1	1	2.17
992	581	1	2	1	3.57
993	656	1	2	4	0.42
994	369	1	3	1	3.65
995	918	5	2	2	1.02
996	1053	4	3	1	0.58

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้นที่ ทางเดิน	สถานะพื้นที่ ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
997	504	6	3	4	0.18
998	899	3	3	3	0.2
999	185	4	2	1	0.81
1000	55	5	2	3	0.79
1001	1072	6	1	4	1.4
1002	667	2	2	3	0.37
1003	938	1	1	2	2.41
1004	50	5	1	2	1.22
1005	1005	6	3	1	0.42
1006	282	6	2	2	0.73
1007	25	3	1	1	1.75
1008	843	5	1	3	1.37
1009	303	2	1	3	0.55
1010	889	3	1	1	1.49
1011	523	2	2	3	0.3
1012	435	1	1	3	0.6
1013	635	5	3	3	0.18
1014	170	3	1	2	1.2
1015	1016	1	2	4	0.52
1016	793	1	1	1	2.99
1017	933	6	3	1	0.43
1018	148	1	1	4	1
1019	940	1	1	4	0.9
1020	490	5	3	2	0.84
1021	501	6	3	1	0.49
1022	201	5	3	1	0.72
1023	120	4	3	4	0.36

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
1024	463	3	2	3	0.42
1025	311	2	3	3	0.16
1026	22	2	3	2	0.59
1027	72	6	3	4	0.38
1028	1045	4	1	1	1.05
1029	140	6	2	4	0.61
1030	73	1	1	1	3.18
1031	742	2	3	2	0.67
1032	488	5	2	4	1.38
1033	4	1	1	4	1.25
1034	139	6	2	3	0.45
1035	832	4	1	4	1.75
1036	913	5	1	1	2.12
1037	866	1	1	2	2.42
1038	631	5	2	3	0.79
1039	699	5	1	3	1.34
1040	545	4	2	1	0.96
1041	400	4	1	4	1.47
1042	792	6	3	4	0.12
1043	236	2	2	4	0.52
1044	1071	6	1	3	1.15
1045	1064	5	2	4	1.35
1046	382	2	3	2	0.58
1047	415	5	2	3	0.76
1048	347	5	3	3	0.21
1049	32	3	2	4	0.49
1050	326	4	1	2	1.06

การ ทดลองที่	ลำดับการ ทดลอง	พื้นที่ ร่องเท้า	ปัจจัย ชนิดพื้น ทางเดิน	สภาวะพื้น ทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน
1051	288	6	3	4	0.14
1052	391	3	2	3	0.4
1053	479	4	3	3	0.3
1054	865	1	1	1	2.96
1055	652	1	1	4	0.95
1056	977	4	2	1	0.9
1057	862	6	3	2	0.29
1058	1063	5	2	3	0.73
1059	507	1	1	3	0.57
1060	890	3	1	2	1.13
1061	269	5	2	1	0.98
1062	394	3	3	2	0.24
1063	429	6	3	1	0.54
1064	341	5	2	1	0.96
1065	869	1	2	1	3.18
1066	340	5	1	4	2.03
1067	643	6	2	3	0.44
1068	316	3	1	4	1.25
1069	445	2	1	1	2.26
1070	600	2	3	4	0.08
1071	711	6	1	3	1.19
1072	363	1	1	3	0.6
1073	666	2	2	2	2.07
1074	227	1	3	3	0.14
1075	779	5	3	3	0.28
1076	473	4	2	1	0.95
1077	112	4	1	4	1.48

การทดลองที่	ลำดับการทดลอง	พื้นรองเท้า	ปัจจัยชนิดพื้นทางเดิน	สภาวะพื้นทางเดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
1078	198	5	2	2	1.07
1079	854	6	1	2	1.08
1080	281	6	2	1	0.61

## หมายเหตุ

ปัจจัย	ระดับ	แทนด้วย
ชนิดของพื้นรองเท้า	ยางธรรมชาติสูตรแข็ง (40.4 shore A)	1
	ยางธรรมชาติสูตรอ่อน (32.3 shore A)	2
	ยางธรรมชาติ (ห้องตลาด)	3
	NBR ลาย A	4
	NBR ลาย B	5
	NBR ลาย C	6
ชนิดของพื้นทางเดิน	ปูนขัด	1
	หินขัด	2
	กระเบื้อง	3
สภาวะพื้นทางเดิน	แห้ง	1
	เปียกน้ำ	2
	เปื้อนน้ำมัน	3
	เปื้อนน้ำสบู่	4



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวพิชญา พิศสุวรรณ

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5110120030

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2550

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนศึกษย์กั่นกฤติ ระดับปริญญาโท ปีการศึกษา 2551 คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์