



บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองจะแบ่งได้ออกเป็นสองประเภทคือการทดลองเพื่อหาสถานะการทำซ้ำ (Repeatability) ของระบบ และการทดลองเพื่อทดสอบค่าความผิดพลาดของพารามิเตอร์การเดินที่วัดได้เทียบกับระบบอื่นๆ

5.1 การทดลองหาสถานะการทำซ้ำของระบบ

การทดลองหาสถานะการทำซ้ำของระบบเป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากระบบด้วยตนเอง เพื่อแสดงถึงความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของระบบโดยค่าทางสถิติสองประเภทในการประเมินผล ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation, CV) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ความสอดคล้อง (Concordance Correlation Coefficient, CCC) [31] โดยสำหรับค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนจะนำมาประเมินค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเวลาและระยะทาง และสำหรับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ความสอดคล้องประเมินค่ามุมของข้อเท้า

5.1.1 ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเวลาและระยะทาง

ในการทดลองได้ติดตั้งวีริโมตในผู้ทดลองปกติ (Normal Subject) บริเวณขาส่วนข้างทั้งสองข้างเพื่อคำนวณค่าพารามิเตอร์การเดินที่เกี่ยวข้องกับเวลาและระยะทางต่างๆ ได้แก่ จำนวนก้าวต่อนาที (Cadence) ระยะเวลาช่วงก้าว (Stride Time) ช่วงที่เท้าสัมผัสพื้น (Stance Phase) ช่วงเหวี่ยงขา (Swing Phase) ระยะเวลาก้าว (Step Time) ระยะเวลาที่ขาสัมผัสพื้นขาเดียว (Single Support Time) ระยะเวลาที่ขาสัมผัสพื้นสองข้าง (Double Support Time) ระยะช่วงก้าว (Stride Length) ระยะก้าว (Step Length) และความเร็วในการเดิน (Speed) ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองจะแสดงอยู่ในรูปค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน

▪ ผู้ทดลองที่ 1

ให้ผู้ทดลองที่ 1 เดินบนลู่วิ่งไฟฟ้าที่ความเร็วสามระดับ และเดินบนพื้นแข็งระยะทาง 7 เมตรด้วยความเร็วปกติ เก็บค่าซ้ำในทุกความเร็วและเลือกรอบการเดินเพื่อเป็นตัวแทนข้อมูลมาวิเคราะห์ผล

ตารางที่ 5.1 แสดงจำนวนการทดลองและรอบการเดินของผู้ทดลองที่ 1

	ลู่วิ่งไฟฟ้าที่ 3 กิโลเมตร ต่อชั่วโมง	ลู่วิ่งไฟฟ้าที่ 4 กิโลเมตร ต่อชั่วโมง	ลู่วิ่งไฟฟ้าที่ 5 กิโลเมตรต่อ ชั่วโมง	พื้นที่วิ่งระยะ 7 เมตร
ทดสอบ (ครั้ง)	3	3	3	3
รอบการเดิน (รอบ)	30	30	30	10

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของผู้ทดลองที่ 1

ผู้ทดลองที่ 1	3 กิโลเมตรต่อ ชั่วโมง		4 กิโลเมตรต่อ ชั่วโมง		5 กิโลเมตรต่อ ชั่วโมง		พื้นที่วิ่งระยะ 7 เมตร	
	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา
Stride Time	3.07	3.61	2.37	3.39	2.74	2.63	5.72	2.38
Stance Phase	3.75	2.54	3.74	4.24	3.01	2.93	6.23	3.14
Swing Phase	5.42	3.58	4.96	5.59	3.78	3.79	7.93	3.66
Step Time	5.80	5.56	5.77	4.93	4.39	5.10	10.38	8.37
Single Support Time	6.01	7.20	5.94	6.28	5.05	4.91	1.52	13.16
Double Support Time	16.41	16.77	25.77	27.76	21.71	20.27	7.07	40.77
Stride Length	8.50	9.64	11.83	9.50	7.34	10.57	9.13	10.51
Step Length	5.93	6.62	8.04	7.46	6.53	6.81	8.11	11.52
Speed	10.03	7.68	11.25	8.23	7.50	10.51	8.10	11.37

■ ผู้ทดลองที่ 2

ให้ผู้ทดลองที่ 2 เดินบนลู่วิ่งไฟฟ้าที่ความเร็วสามระดับ เก็บค่าซ้ำในทุกความเร็วและเลือกรอบการเดินเพื่อเป็นตัวแทนข้อมูลมาวิเคราะห์ผล

ตารางที่ 5.3 แสดงจำนวนการทดลองและรอบการเดินของผู้ทดลองที่ 2

ลู่วิ่งไฟฟ้า	3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
ทดสอบ (ครั้ง)	3	3	3
รอบการเดิน	26	25	24

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของผู้ทดลองที่ 2

ผู้ทดลองที่ 2	3 กิโลเมตรต่อ ชั่วโมง		4 กิโลเมตรต่อ ชั่วโมง		5 กิโลเมตรต่อ ชั่วโมง	
	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา
Stride Time	2.50	3.11	2.51	2.59	2.61	2.64
Stance Phase	1.78	3.46	5.35	5.69	2.85	4.91
Swing Phase	3.02	5.60	7.33	7.55	3.89	6.44
Step Time	3.82	2.89	4.18	3.10	5.55	4.99
Single Support Time	5.64	3.96	6.38	7.12	7.35	4.82
Double Support Time	10.82	11.77	34.14	31.37	28.10	24.85
Stride Length	7.58	9.21	8.14	11.25	11.92	12.81
Step Length	9.52	5.89	6.89	6.02	7.87	6.05
Speed	7.83	9.61	8.20	11.36	11.15	12.09

■ ผู้ทดลองที่ 3

ให้ผู้ทดลองที่ 3 เดินบนลู่วิ่งไฟฟ้าที่ความเร็วสามระดับ และเดินบนพื้นแข็งระยะทาง 7 เมตรด้วยความเร็วปกติ เก็บค่าซ้ำในทุกความเร็วและเลือกรอบการเดินเพื่อเป็นตัวแทนข้อมูลมาวิเคราะห์ผล

ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของผู้ทดลองที่ 3

ผู้ทดลองที่ 3	3 กิโลเมตรต่อ ชั่วโมง		4 กิโลเมตรต่อ ชั่วโมง		5 กิโลเมตรต่อ ชั่วโมง		พื้นแข็งระยะ 7 เมตร	
	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย	ขาขวา
Stride Time	5.06	3.19	3.98	3.92	5.66	4.66	6.31	7.45
Stance Phase	4.54	4.67	5.73	5.33	5.82	5.82	9.69	3.38
Swing Phase	6.31	7.09	8.19	7.36	7.45	8.19	12.81	4.37
Step Time	11.93	12.40	13.16	12.11	12.94	15.79	8.93	10.87
Single Support Time	7.05	7.28	8.47	7.18	9.48	7.49	9.16	10.21
Double Support Time	25.54	23.46	32.16	25.07	49.46	34.45	63.39	43.01
Stride Length	12.49	9.45	10.15	12.55	10.99	9.83	13.38	10.68
Step Length	11.01	9.28	10.12	9.16	8.80	7.26	9.09	9.79
Speed	10.25	8.33	8.94	10.69	10.71	7.87	13.68	9.10

ตารางที่ 5.6 แสดงจำนวนการทดลองและรอบการเดินของผู้ทดลองที่ 3

	ลู่วิ่งไฟฟ้าที่ 3 กิโลเมตร ต่อชั่วโมง	ลู่วิ่งไฟฟ้าที่ 4 กิโลเมตร ต่อชั่วโมง	ลู่วิ่งไฟฟ้าที่ 5 กิโลเมตร ต่อชั่วโมง	พื้นแข็งระยะ 7 เมตร
ทดสอบ (ครั้ง)	3	3	3	4
รอบการเดิน (รอบ)	24	24	24	12

5.1.2 มุมของข้อเท้า

ในการทดลองได้ติดตั้งวีรี โมดในผู้ทดลองปกติ (Normal Subject) บริเวณขาส่วนแข้งและส่วนต้นขา ทั้งสองข้างรวม 4 ตำแหน่ง เพื่อคำนวณมุมของข้อเท้าขณะเดิน โดยมุมของข้อเท้าจะถูกแบ่งออกตามรอบการเดินและนำมาย่อหรือขยายข้อมูลให้มีขนาดที่เท่ากันทุกรอบการเดิน โดยค่าที่ได้จากการทดลองจะแสดงอยู่ในรูปค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ความสอดคล้อง

ตารางที่ 5.7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ความสอดคล้องของมุมข้อเท้า

	จำนวน ทดสอบ	จำนวนรอบ การเดิน		ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ความ สอดคล้อง		
				มุมแข้ง	มุมต้นขา	มุมข้อเท้า
ลู่วิ่งไฟฟ้าที่ความเร็ว 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	3	14	ขาซ้าย	0.9609	0.9667	0.9176
			ขาขวา	0.9220	0.9311	0.9147
ลู่วิ่งไฟฟ้าที่ความเร็ว 2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	2	17	ขาซ้าย	0.9842	0.9809	0.9692
			ขาขวา	0.9817	0.9855	0.9726
ลู่วิ่งไฟฟ้าที่ความเร็ว 3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	2	20	ขาซ้าย	0.9808	0.9834	0.9523
			ขาขวา	0.9782	0.9845	0.9619
ลู่วิ่งไฟฟ้าที่ความเร็ว 4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	2	14	ขาซ้าย	0.9902	0.9640	0.9707
			ขาขวา	0.9862	0.9822	0.9746
พื้นแข็งระยะ 7 เมตร	2	6	ขาซ้าย	0.9703	0.9709	0.9390
			ขาขวา	0.9730	0.9379	0.9446

5.2 ทดสอบค่าความผิดพลาดของระบบเมื่อเทียบกับระบบอื่น

ตารางที่ 5.8 เปรียบเทียบค่าจากระบบ VICON และวีรี โมต ครั้งที่ 1

ทดลองครั้งที่ 1 จำนวน 3 รอบ การเดิน	ระบบ VICON		ระบบวีรี โมต				ค่าความผิดพลาด	
	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย		ขาขวา		ขาซ้าย	ขาขวา
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD		
Cadence	117.7	113.2	107.39		110.03		8.721	2.809
Stride Time	1.02	1.06	1.12	0.13	1.09	0.08	9.804	2.83
Step Time	0.54	0.52	0.55	0.1	0.57	0.16	1.852	9.615
Single Support	-	0.44	0.43	0.04	0.46	0.09	-	4.545
Double Support	-	0.18	0.19	0.12	0.2	0.13	-	11.11
Stride Length	1.4	1.42	1.39	0.47	1.2	0.3	0.714	15.49
Step Length	0.72	0.7	0.65	0.05	0.65	0.12	9.722	7.143
Speed	1.37	1.34	1.23	0.35	1.1	0.24	10.22	17.91

ตารางที่ 5.9 เปรียบเทียบค่าจากระบบ VICON และวีรี โมต ครั้งที่ 2

ทดลองครั้งที่ 2 จำนวน 4 รอบ การเดิน	ระบบ VICON		ระบบวีรี โมต				ค่าความผิดพลาด	
	ขาซ้าย	ขาขวา	ขาซ้าย		ขาขวา		ขาซ้าย	ขาขวา
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD		
Cadence	115.4	117.7	112.38		115.25		2.6	2.04
Stride Time	1.04	1.02	1.07	0.04	1.04	0.06	2.885	1.961
Step Time	0.52	0.52	0.52	0.07	0.55	0.09	0	5.769
Single Support	0.44	-	0.44	0.04	0.48	0.06	0	-
Double Support	0.18	-	0.18	0.06	0.12	0.04	0	-
Stride Length	1.44	1.45	1.36	0.14	1.38	0.26	5.556	4.828
Step Length	0.72	0.72	0.71	0.08	0.68	0.03	1.389	5.556
Speed	1.38	1.43	1.28	0.11	1.32	0.22	7.246	7.692

5.2.1 เปรียบเทียบกับระบบ VICON

ทดสอบโดยการติดตั้งวีริ โมคไปตรงส่วนกึ่งกลางของขาส่วนแข็งทั้งสองข้างของผู้ทดลองปกติ และติดตั้งอุปกรณ์สำหรับวัดค่าจากระบบ VICON จากนั้นเดินบนทางตรงระยะประมาณ 5 เมตรผ่านแผ่นวัดแรง (Force plate) ทั้งหมด 2 ครั้งข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์จำนวน 3 และ 4 รอบการเดินตามลำดับ

5.2.2 เปรียบเทียบกับการเดินบนกระดาษด้วยเท้าที่จุ่มสี

เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากระบบ VICON นั้นยังมีจำนวนน้อย ผู้วิจัยจึงทดลองซ้ำเพื่อคำนวณหาระยะช่วงก้าวและระยะก้าวโดยใช้วิธีการนำกระดาษแข็งปูบนพื้นราบเป็นทางยาวประมาณ 7 เมตรจากนั้นทาสีไว้ที่บริเวณเท้าของผู้ทดลองและให้ผู้ทดลองเดินบนกระดาษเพื่อให้เกิดรอยเท้าบนกระดาษแข็ง จากนั้นใช้ไม้บรรทัดวัดระยะก้าวที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับผลที่คำนวณได้จากวีริ โมคที่ติดตั้งอยู่บนขาส่วนแข็งทั้งสองข้างของผู้ทดลอง ซึ่งในการทดลองมีผู้ทดลองจำนวน 4 คนได้ผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.10 เปรียบเทียบค่าจากการเดินบนกระดาษด้วยเท้าจุ่มสีและวีริ โมคของผู้ทดลองที่ 1

ผู้ทดลองที่ 1	ค่าจากการวัดกระดาษแข็ง				ค่าจากวีริ โมค			
	ขาซ้าย		ขาขวา		ขาซ้าย		ขาขวา	
จำนวน 9 รอบ การเดิน	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
Stride Length	1.287	0.037	1.291	0.0402	1.25	0.16	1.23	0.28
Step Length	0.6422	0.0162	0.63875	0.0304	0.62	0.1	0.58	0.09

ตารางที่ 5.11 เปรียบเทียบค่าจากการเดินบนกระดาษด้วยเท้าจุ่มสีและวีริ โมคของผู้ทดลองที่ 2

ผู้ทดลองที่ 2	ค่าจากการวัดกระดาษแข็ง				ค่าจากวีริ โมค			
	ขาซ้าย		ขาขวา		ขาซ้าย		ขาขวา	
จำนวน 6 รอบ การเดิน	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
Stride Length	1.270	0.0388	1.257	0.035	1.19	0.14	1.28	0.07
Step Length	0.6433	0.037	0.615	0.0203	0.62	0.04	0.62	0.04

ตารางที่ 5.12 เปรียบเทียบค่าจากการเดินบนกระดาษด้วยเท้าจุ่มสีและวีรี โมตของผู้ทดลองที่ 3

ผู้ทดลองที่ 3	ค่าจากการวัดกระดาษแข็ง				ค่าจากวีรี โมต			
	ขาซ้าย		ขาขวา		ขาซ้าย		ขาขวา	
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
Stride Length	1.364	0.04	1.379	0.031	1.363	0.12	1.348	0.146
Step Length	0.703	0.027	0.661	0.02	0.678	0.042	0.697	0.054

ตารางที่ 5.13 เปรียบเทียบค่าจากการเดินบนกระดาษด้วยเท้าจุ่มสีและวีรี โมตของผู้ทดลองที่ 4

ผู้ทดลองที่ 4	ค่าจากการวัดกระดาษแข็ง				ค่าจากวีรี โมต			
	ขาซ้าย		ขาขวา		ขาซ้าย		ขาขวา	
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
Stride Length	1.467	0.056	1.469	0.066	1.41	0.092	1.423	0.183
Step Length	0.745	0.027	0.714	0.048	0.708	0.056	0.745	0.066

ตารางที่ 5.14 ค่าความผิดพลาดของวีรี โมตเทียบกับการเดินบนกระดาษด้วยเท้าจุ่มสี

ค่าความผิดพลาด เปรียบเทียบ ค่าที่วัดจากกระดาษกับวีรี โมต (ร้อยละ)	ขาซ้าย		ขาขวา	
	Stride Length	Step Length	Stride Length	Step Length
ผู้ทดลองที่ 1	2.892	3.46	4.733	9.198
ผู้ทดลองที่ 2	6.593	3.63	1.722	0.813
ผู้ทดลองที่ 3	0.044	3.581	2.237	5.383
ผู้ทดลองที่ 4	3.871	3.103	4.917	4.369