



ระบบแจ้งเตือนแรงกดและความชื้นสำหรับพื้นรองเท้าพิมพ์ 3 มิติ
เพื่อผู้ป่วยเบาหวานที่มีภาวะอักเสบของเส้นประสาทส่วนปลาย

A pressure and humidity warning system for 3D printed insoles in diabetic neuropathy

นางสาวกานต์ชนก ขวัญแก้ว

Kanchanok Khwankaew

โครงการสหกิจศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Cooperative Education Project of Electrical Engineering

Faculty of Engineering Prince of Songkla University

2564

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
1.5 งานวิจัยและโครงการที่เกี่ยวข้อง	2
1.6 กรอบแนวคิดของโครงการ	4
1.7 ขั้นตอนและระยะเวลาดำเนินงาน	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	6
2.1 โรคเบาหวาน (Diabetes Mellitus).....	6
2.2 เซนเซอร์วัดแรงกด	10
2.3 เซนเซอร์วัดความชื้น	12
2.4 บลูทูธ	13
2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์	14
2.6 แอปพลิเคชัน	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	17
3.1 การออกแบบระบบการทำงาน	17
3.2 การเปรียบเทียบและการสอบเทียบเซนเซอร์ความชื้น.....	22

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ข้อมูลจากสมาพันธ์เบาหวานนานาชาติ (IDF: International Diabetes Federation) ในปี พ.ศ. 2560 มีการประเมินว่ามีผู้ป่วยเบาหวาน รวม 425 ล้านรายทั่วโลก แบ่งเป็นกลุ่มผู้สูงอายุ 65 ปีขึ้นไป จำนวน 98 ล้านราย และช่วงอายุ 20-64 ปี จำนวน 327 ล้านราย มีการคาดการณ์ว่าในปีพ.ศ. 2588 จะมีผู้ป่วยเบาหวานจำนวน 629 ล้านรายทั่วโลก โดยแบ่งเป็นผู้สูงอายุ 65 ปีขึ้นไป จำนวน 191 ล้านราย หรือมีอัตราการเพิ่มอยู่ที่ร้อยละ 94.8 และในช่วงอายุ 20-64 ปี จำนวน 438 ล้านราย หรือมีอัตราการเพิ่มอยู่ที่ร้อยละ 33.9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราการเพิ่มของผู้ป่วยเบาหวานในกลุ่มผู้สูงอายุจะสูงกว่าช่วงวัยทำงาน[1] สถิติการพบผู้ป่วยด้วยโรคนี้ยังมีจำนวนมากขึ้นเรื่อย ๆ และโรคเบาหวานมีโอกาเสี่ยงต่อการเกิดโรคแทรกซ้อนลุกลามใหญ่โตจนต้องสูญเสียอวัยวะที่สำคัญของร่างกาย

โรคเบาหวานเป็นหนึ่งในโรคที่ต้องได้รับการดูแลรักษาสุขภาพ เนื่องจากโรคเบาหวานเป็นโรคเรื้อรังที่ต้องได้รับการรักษาอย่างต่อเนื่อง หนึ่งในภาวะแทรกซ้อนที่สำคัญที่มีความเป็นไปได้สูงที่จะเกิดขึ้นกับผู้ป่วยโรคเบาหวาน คือ การอักเสบของเส้นประสาทส่วนปลายหรือภาวะเส้นประสาทส่วนปลายเสื่อม (Peripheral Neuropathy) ที่เกิดจากการมีผลกดทับที่เท้าผู้ป่วยเบาหวาน ประมาณร้อยละ 15 ของผู้ป่วยโรคเบาหวานที่มีแผลพุพองที่เท้าและมีมากกว่าร้อยละ 85 ของผู้ป่วยเบาหวานที่ต้องตัดเท้าจากการเป็นแผลเปื่อย แผลที่เท้าส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการขาดเลือดและมีแรงกดทับที่แผล[2]

แรงกดเฉพาะจุดของพื้นรองเท้าเพิ่มความเสี่ยงของภาวะอักเสบของเส้นประสาทส่วนปลาย รวมถึงสภาพแวดล้อมที่ร้อนชื้นก็เป็นปัจจัยในการพัฒนาไวรัสและจุลินทรีย์สูง[3] ทำให้แผลหายช้าและเพิ่มการอักเสบของแผล ดังนั้นวิธีการดูแลรักษาสุขภาพเท้าให้เกิดผลกดทับน้อยที่สุดสามารถทำได้โดยการกระจายแรงกดของฝ่าเท้าเพื่อให้เท้าไม่มีแรงกดเฉพาะจุดจนเกิดการอักเสบ รวมถึงเฝ้าระวังความชื้นที่มากเกินไปเพื่อลดการอักเสบของเท้า[4]

สำหรับโครงการวิจัยนี้มีจุดมุ่งเน้นในการออกแบบพัฒนาแผ่นรองฝ่าเท้าอัจฉริยะ (Smart insole) สำหรับผู้ป่วยเบาหวานที่มีภาวะอักเสบของเส้นประสาทส่วนปลาย เพื่อจัดทำแผ่นรองฝ่าเท้าที่ประกอบด้วย การวัดแรงกดเท้า (Plantar pressure) ซึ่งช่วยให้ผู้ป่วยทราบการออกแรงกดเท้าของตนเองเมื่อมีแรงกดที่สูงเกินไป ในขณะที่ยืนหรือทำกิจกรรมต่าง ๆ เนื่องจากผู้ป่วยเบาหวานจะไม่สามารถรับรู้ได้ถึงแรงกดที่เท้าได้ และการวัดความชื้น (Humidity) ช่วยให้ผู้ป่วยทราบค่าความชื้นของเท้าที่มีผลต่อการอักเสบเพิ่มของแผลที่เท้าผ่านการ

รับข้อมูลจากเซนเซอร์ โดยข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์จะถูกประมวลผลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino จากนั้นข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลจะถูกส่งผ่านระบบสื่อสารแบบไร้สาย Bluetooth ไปยังแอปพลิเคชันบนมือถือแสดงข้อมูลในเหตุการณ์แบบเรียลไทม์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อออกแบบและสร้างแผ่นรองเท้าอัจฉริยะ (Smart insole) สำหรับผู้ป่วยเบาหวานที่มีการอักเสบของเส้นประสาทส่วนปลายบริเวณเท้า
2. เพื่อออกแบบและสร้างระบบการรับและส่งข้อมูลแบบไร้สาย (Bluetooth)
3. เพื่อออกแบบและสร้างระบบการแจ้งเตือนแรงกดและความชื้นของเท้า แสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ข้อมูลการออกแบบระบบการแจ้งเตือนแรงกดและความชื้นของเท้าสำหรับนำไปใช้กับแผ่นรองเท้าสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน
2. ได้เรียนรู้และสามารถออกแบบและสร้างระบบการรับและส่งข้อมูลแบบไร้สาย
3. เมื่อแผ่นรองเท้าสำหรับผู้ป่วยเบาหวานสำเร็จคาดว่าจะช่วยให้ผู้ป่วยโรคเบาหวานมีสุขภาพเท้าที่ดี

1.4 ขอบเขตของโครงการ

1. ออกแบบและสร้างระบบการรับและส่งข้อมูลแบบไร้สายโดยใช้วงจรควบคุม Arduino
2. แอปพลิเคชันแสดงค่าแรงกดและความชื้นของเท้า

1.5 งานวิจัยและโครงการที่เกี่ยวข้อง

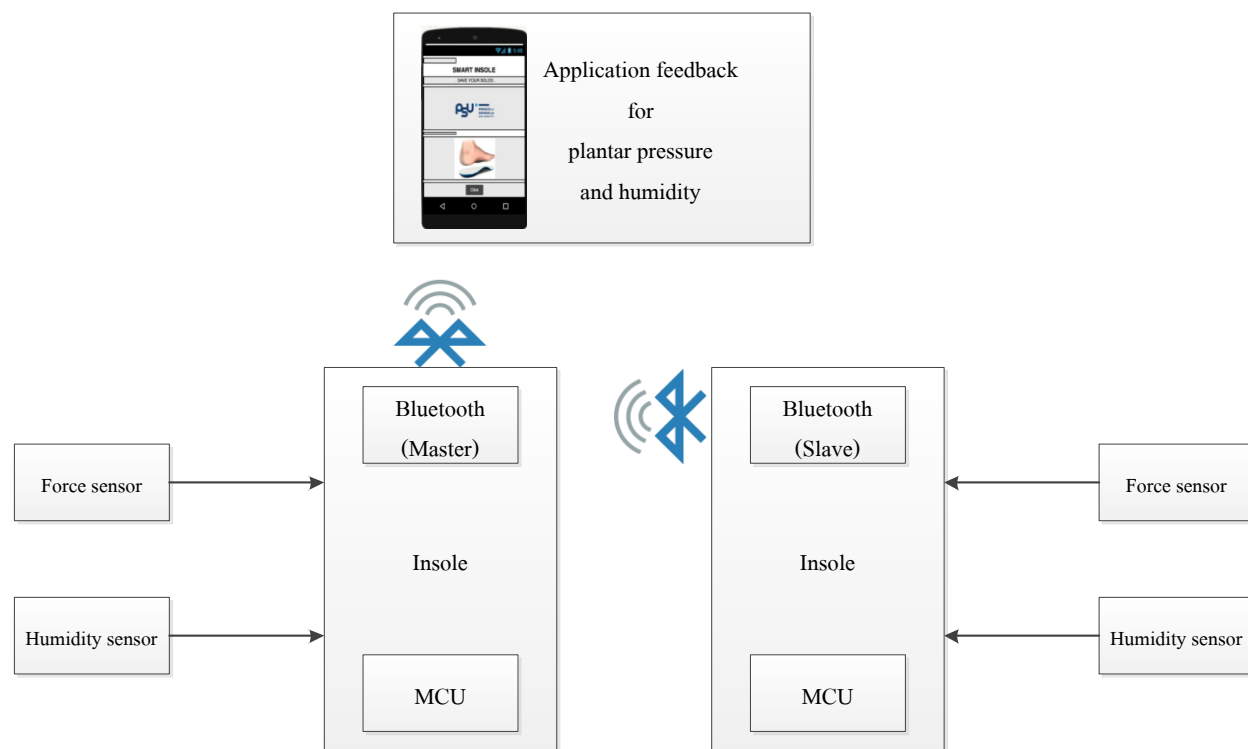
ในปี ค.ศ.2018 Mohamed Anouar Bencheikh และทีมงาน ได้จัดทำแผ่นรองเท้าอัจฉริยะราคาประหยัดสำหรับการป้องกันเท้าผู้ป่วยโรคเบาหวาน โดยศึกษาแผ่นรองเท้าที่มีความยืดหยุ่นและใช้ต้นทุนต่ำ เลือกใช้สมาร์ทโฟนสำหรับการประมวลผลข้อมูลและแสดงภาพเท้าทั้งสองข้าง เพื่อทราบถึงความเสี่ยงของการเกิดแผลที่เท้าในระหว่างการทำกิจกรรมประจำวัน มีโหมดแจ้งเตือนในกรณีที่มีแรงกดที่สูงจนเกิดอันตรายแก่แผลหรือระบบประสาทที่เท้า ระบบของแผ่นรองเท้าอัจฉริยะประกอบด้วยเซนเซอร์ที่ทำให้ทราบการกระจายของแรงกดบนพื้นรองเท้า อีกทั้งมีเซนเซอร์ความชื้นที่ติดตั้งไว้ในรองเท้าตำแหน่งที่มีแรงเสียดทานระหว่างผิวหนังและรองเท้าสูง ส่งข้อมูลการสื่อสารแบบไร้สายผ่านบลูทูธเข้าแอปพลิเคชันในมือถือ ข้อมูลของเซนเซอร์ทั้งหมดที่ได้มาจะแสดงผลแบบเรียลไทม์บนแอปพลิเคชันในมือถือ จากการศึกษาและทดลอง พบว่าสามารถใช้อุปกรณ์ที่ราคาย่อมเยาในการพัฒนาแผ่นรองเท้าได้ หากแต่ต้องใช้เวลาในการศึกษาและปฏิบัติ ส่วนเซนเซอร์ความชื้นควรถูกวางไว้ตำแหน่งที่มีแรงเสียดทานระหว่างผิวหนังและรองเท้าสูง เนื่องจากอุณหภูมิสูงและความชื้นสูงจะ

ทำให้ทำสูญเสียความรู้สึกและเกิดแผลพุพองมากขึ้น การเสียดสีอาจทำให้เกิดผิวหนังเสียหายและเกิดการบาดเจ็บเพิ่มขึ้น มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผลเปื่อย[4]

ในปี ค.ศ.2015 Baitong Wang และทีมงาน จัดทำพื้นรองเท้าอัจฉริยะที่เรียกว่า FreeWalker สำหรับการวิเคราะห์การเดินผู้ป่วย การออกแบบพื้นรองเท้าประกอบด้วยเซ็นเซอร์ความดัน 8 ตัว และเซ็นเซอร์สำหรับการติดตามการเคลื่อนไหว 2 ตัว ช่วยวัดการกระจายแรงกดใต้ฝ่าเท้าและลำดับการเคลื่อนไหวแบบเรียลไทม์ ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลอัตราการล้มตัวอย่าง นำมาประมวลผลก่อนส่งข้อมูลแบบระบบไร้สายเพื่อแจ้งเตือนข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่านคอมพิวเตอร์และจัดเก็บข้อมูลเข้าหน่วยความจำชนิดแผ่น (SD card) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากผู้ใช้พื้นรองเท้าไปวิเคราะห์ทางการแพทย์[5]

ในปี ค.ศ.2016 Feng Lin และทีมงาน ศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์แผ่นรองเท้า จากของเดิมเพื่อแก้ไขปัญหอุปกรณ์สวมใส่ที่ยังใช้ระบบสายยึดติดบนอวัยวะของผู้ใช้งานที่แขน เอว หรือต้นขา ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานเกิดความรำคาญและไม่สบายและทำให้เกิดปัญหาขณะใช้งาน พื้นรองเท้าอัจฉริยะที่ทำการพัฒนาขึ้นประกอบด้วยแผ่นรองเท้าทั้งหมด 3 ชั้น ชั้นที่ 1 ทำจากโฟลิมเมอร์ที่มีคุณสมบัติกันน้ำเพื่อป้องกันน้ำซึมไปยังชั้นที่ 2 ซึ่งเป็นบริเวณวงจรและเซ็นเซอร์แรงกด ส่วนชั้นที่ 3 ชั้นป้องกันความชื้นที่ทำจากผ้าที่มีคุณสมบัติต้านทานการเสียดสี และสามารถป้องกันความชื้นสำหรับเหงื่อหรือน้ำในปริมาณเล็กน้อยที่ก่อให้เกิดความชื้น จากการพัฒนาพื้นรองเท้าทำให้สามารถตัดปัญหาการใช้ระบบสายยึดติดบนอวัยวะของผู้ใช้งาน โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) ในการประมวลผลก่อนส่งข้อมูลผ่านสัญญาณไร้สายบลูทูธพลังงานต่ำไปยังแอปพลิเคชันทั้งบนมือถือและคอมพิวเตอร์แสดงภาพนำเสนอข้อมูลแบบเรียลไทม์แก่ผู้ใช้งาน ข้อมูลที่ได้จะเก็บไว้ในหน่วยความจำชนิดแผ่น (SD card) ที่มีความปลอดภัย ข้อมูลนำไปใช้เพื่อศึกษาแรงกดและพฤติกรรมการเดิน ซึ่งข้อมูลชุดนี้สามารถสรุปการทรงตัวในการเดินและความเสี่ยงในการหกล้มที่อาจเกิดขึ้นในชีวิตจริงได้[6]

1.6 กรอบแนวคิดของโครงการ



ภาพที่ 1-1 แผนภาพแนวความคิดงานวิจัย

การออกแบบแผ่นรองเท้าอัจฉริยะและระบบการแจ้งเตือนแรงกดเท้าและความชื้นในรองเท้ามีแนวคิด คือ มีแผ่นรองเท้าอัจฉริยะทั้งหมด 2 ชิ้นสำหรับเท้าซ้ายและเท้าขวา โดยแผ่นรองเท้าทั้งสองข้างมีไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) ที่ทำการรับค่าของเซนเซอร์วัดแรงกดเท้า (Force sensor) ข้างละ 2 เซนเซอร์และรับค่าเซนเซอร์วัดความชื้น (Humidity sensor) ข้างละ 1 เซนเซอร์ นำมาประมวลผลจากการรับค่าของเซนเซอร์ทั้ง 2 ชนิด จากนั้นข้อมูลทั้งสองอย่างจะใ้ับบลูทูธฝั่งสลาฟ (Slave) ส่งไปยังบลูทูธฝั่งมาสเตอร์ (Master) เพื่อส่งข้อมูลทั้งเท้าฝั่งซ้ายและขวาพร้อมกันไปยังแอปพลิเคชันแสดงค่าแรงกดเท้าและความชื้นของเท้าทั้งสองข้าง โดยได้แสดงแนวคิดนี้ดังภาพที่ 1-1

1.7 ขั้นตอนและระยะเวลาดำเนินงาน

กิจกรรมและรายละเอียดโครงการ	เดือน								
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับงานวิจัยที่ เกี่ยวข้องกับแผ่นรองฝ่าเท้าอัจฉริยะสำหรับผู้ป่วย เบาหวานและสืบค้นข้อมูลเซนเซอร์วัดแรงกดเท้า ชนิดต่าง ๆ และการออกแบบวงจร									
2. ศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับ โครงงาน									
3. ทดลองใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino									
4. ศึกษาและทดลองการทำงานของบลูทูธ									
5. ค้นคว้าและศึกษาการสร้างแอปพลิเคชัน									
6. ศึกษาการทำงานของเซนเซอร์วัดความชื้น									
7. ทดลองใช้งานของเซนเซอร์วัดความชื้น									
8. เขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ในส่วนของการส่งค่าไปยังแอปพลิเคชัน									
9. ศึกษาและทำพื้นรองเท้า									
10. ออกแบบและติดตั้งเครื่องมือ									
11. ทดสอบการใช้งานและวิเคราะห์ผลการ ทดสอบ									
12. สรุปผล อภิปรายและข้อเสนอแนะ									

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

เนื่องจากโรคเบาหวานทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนก่อให้เกิดการอักเสบของเส้นประสาททั่วร่างกาย หนึ่งในภาวะที่สำคัญคือเท้า แผลที่เท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวานส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการได้รับบาดเจ็บเนื่องจากการขาดความรู้สึกเจ็บเมื่อมีแรงกดเท้าสูง อีกทั้งผู้ป่วยโรคเบาหวานหากมีแผลจะหายช้ากว่าคนปกติ[7] ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและสร้างระบบแจ้งเตือนเกี่ยวกับแรงกดเท้าและความชื้นที่เท้าสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานที่มีอาการเสื่อมของเส้นประสาทส่วนปลายที่เท้า ได้แก่ โรคเบาหวาน เช่น เซอร์วิคัลแรงกด เซอร์วิคัลความชื้น บลูทูธ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และแอปพลิเคชัน

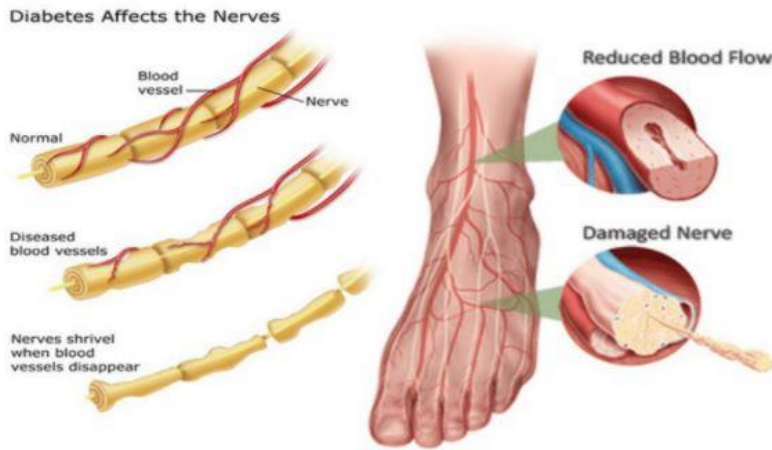
2.1 โรคเบาหวาน (Diabetes Mellitus)

โรคเบาหวาน เป็นภาวะที่ร่างกายมีน้ำตาลในเลือดสูงกว่าปกติ เนื่องจากร่างกายขาดฮอร์โมนอินซูลิน (Insulin) หรือคือต่อฮอร์โมนอินซูลิน ส่งผลให้การดูดซึมน้ำตาลในเลือดไปใช้เป็นพลังงานของเซลล์ในร่างกายมีความผิดปกติหรือทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ จนเกิดน้ำตาลสะสมในเลือดมากขึ้น หากปล่อยไว้ร่างกายอยู่ในสภาวะนี้เป็นเวลานานจะทำให้มีภาวะต่าง ๆ เสื่อมลง เกิดโรคและอาการแทรกซ้อนขึ้น[8]

2.1.1 อาการแทรกซ้อนที่เกี่ยวข้องกับระบบประสาท

ผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานเรื้อรัง จากภาวะที่น้ำตาลในเลือดสูงเป็นเวลานาน มีอาการผิดปกติที่พบได้บ่อย คือ อาการเส้นประสาทเสื่อมจากโรคเบาหวาน (Diabetic neuropathy) ซึ่งพบได้มากในผู้ป่วยเบาหวานที่ป่วยเป็นโรคเบาหวานชนิดเรื้อรัง เนื่องจากเซลล์ของเส้นประสาท (Nerve cell) และเซลล์ชวานน์ (Schwann cell) บริเวณเส้นประสาทส่วนปลาย ไม่มีกลไกการป้องกันตัวเองจากภาวะน้ำตาลในเลือดสูง จึงทำให้เซลล์เหล่านี้เกิดความเสียหาย[9] โดยเฉพาะเส้นประสาทบริเวณเท้า เพราะเท้าเป็นอวัยวะสำคัญและมีโอกาสเกิดการบาดเจ็บได้ง่ายที่สุด จากการใช้เท้าเดินรับแรงกระแทกจากพื้น รวมทั้งรับน้ำหนักทั้งหมดของร่างกาย หากเส้นปลายประสาทเกิดการอักเสบหรือเส้นปลายประสาทเสื่อม ทำให้การรับรู้ความรู้สึกที่เท้าสูญเสียไปผู้ป่วยเบาหวานจะไม่สามารถรับรู้ถึงความรู้สึกที่เท้าได้ ซึ่งหากผู้ป่วยเกิดแผลหรือกดเท้าแรงเกินไปก่อให้เกิดความเสียหายของเส้นประสาทเพิ่มขึ้น รวมถึงการไหลเวียนของเส้นเลือดทำงานแย่ลงไม่มีประสิทธิภาพ หากเกิดแผลแล้วดูแลแผลไม่ดีอาจทำให้เกิดการลุกลามอักเสบและติดเชื้อได้ อีกทั้งแผลของผู้ป่วยเบาหวานหายช้ากว่าคนปกติอีกด้วย [7]

Diabetic Neuropathy



ภาพที่ 2-1 เส้นประสาทเสียหาย[10]

2.1.2 สาเหตุแผลเบาหวานหายยาก

สาเหตุแผลเบาหวานหายยากสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท

1. ปลายประสาทเสื่อม สาเหตุของปลายประสาทเสื่อมมี 3 ชนิด ได้แก่ ประสาทเสื่อมชนิดที่ 1 คือ ประสาทรับความรู้สึกของผู้ป่วยเสื่อม ซึ่งเป็นสาเหตุหลักทำให้ผู้ป่วยเบาหวานสูญเสียการรับความรู้สึกเจ็บปวด หรือความรู้สึกของอุณหภูมิร้อนเย็น ทำให้ผู้ป่วยมักจะใช้แรงกดเท้าที่มากเกินไป ไม่กระจายแรงกดเท้า และเกิดแผลที่เท้าได้ง่ายขึ้น เนื่องจากขาดการรับรู้ความรู้สึก ประสาทเสื่อมชนิดที่ 2 คือ ประสาทควบคุมกล้ามเนื้อเสื่อม ทำให้กล้ามเนื้อเล็กๆ ที่เท้าลีบลง กล้ามเนื้อที่เท้าไม่อยู่ในสภาพสมดุล เกิดเท้าผิดรูป (Charcot Foot) ทำให้จุ่มรับน้ำหนักเท้าเมื่อเท้าสัมผัสพื้นในการเดินผิดปกติไป แรงกดที่เท้าผิดตำแหน่งทำให้เกิดการไม่กระจายแรงกดเท้า เพิ่มโอกาสการเกิดแผลและการอักเสบของแผลที่เท้า ประสาทเสื่อมชนิดที่ 3 คือ ประสาทอัตโนมัติเสื่อม ทำให้ระบบประสาทควบคุมเกี่ยวกับต่อมไขมันและต่อมเหงื่อทำงานผิดปกติ การหดและขยายตัวของหลอดเลือดเสียไป ผิวหนังแห้ง เพิ่มการอักเสบของแผลเชื้อโรคอาจเข้าไปตามรอยแผลแล้วเกิดเป็นแผลลุกลามมากขึ้น

2. ความผิดปกติของหลอดเลือด

ความผิดปกติของหลอดเลือดเกิดจากภาวะหลอดเลือดแดงใหญ่หรือหลอดเลือดฝอยตีบแข็งจนเกิดการอุดตัน ทำให้เนื้อเยื่อขาดเลือดไปเลี้ยงจนเกิดแผลที่เท้าขึ้นเองได้ ทั้งนี้เนื่องจากหลอดเลือดตีบไม่มีเลือดไปหล่อเลี้ยงเพียงพอ ทำให้ไม่มีการสมานแผล การรักษาแผลให้หายจึงเป็นไปได้ยาก

3. การติดเชื้อแทรกซ้อน

แผลที่เท้าของผู้ป่วยเบาหวานมักจะมีการติดเชื้อร่วมด้วย เกิดเส้นเลือดฝอยอุดตันทำให้เนื้อเยื่อที่ขาดเลือด เกิดการอักเสบ ยิ่งหากมีภาวะแทรกซ้อนทางประสาทและหลอดเลือดด้วยแล้ว โอกาสที่จะรักษาให้หายยากมากขึ้น[11]

2.1.3 แผลเบาหวานที่เท้า (Diabetic Foot Pain and Ulcers)

ผู้ป่วยโรคเบาหวานมีเส้นเลือดตีบและมีอาการเสื่อมของระบบประสาท ทำให้เกิดอาการชา รับความรู้สึกได้น้อยลงหรืออาจรับความรู้สึกไม่ได้เลย ทำให้เกิดแผลที่เท้าได้บ่อย แผลมักเกิดในตำแหน่งปลายเท้าหรือตำแหน่งที่รับน้ำหนักเยอะ ดังภาพที่ 2-2 เมื่อเป็นแผลที่เท้าในช่วงแรกมักไม่รู้สึก แต่จะรู้สึกเมื่อแผลอักเสบรุนแรง ทำให้รักษาหายช้า อีกทั้งการที่ระบบประสาทผิดปกติ ทำให้กล้ามเนื้อทำงานผิดปกติ ส่งผลให้เท้าผิดรูปเนื้อบริเวณปุ่มกระดูกบางแห่งต้องรับน้ำหนักเพิ่มขึ้น ไม่มีการกระจายจุดรับแรงกดจนเกิดเป็นแผลได้เช่นกัน[12]

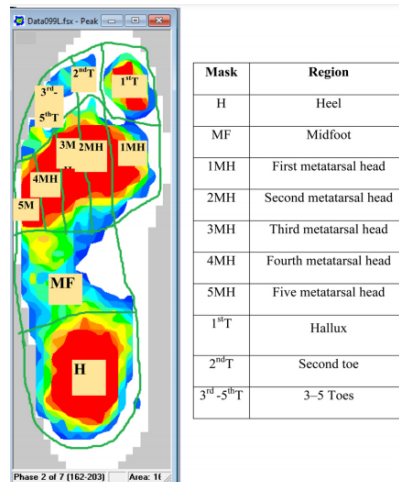


ภาพที่ 2-2 รูปแบบแผลเบาหวานที่เท้า[13]

2.1.4 แรงกดของเท้า

เท้าเป็นอวัยวะส่วนรับน้ำหนักร่างกาย ขณะก้าวเดิน ออกแรงกระโดดหรือวิ่ง จะมีแรงกระทำต่อเท้าอาจสูงมากถึงข้างละประมาณ 275% ของน้ำหนักตัว หากเท้ามีอาการผิดปกติทำให้ส่วนของการกระจายน้ำหนักผิดปกติตำแหน่งซ้ำๆ ก่อให้เกิดการบาดเจ็บสะสมจนเท้าเป็นแผล หรือเท้าผิดรูป[14]

จากการศึกษาของ Albert K. Chong และทีมงาน ได้จัดทำการวัดแรงกดเท้า โดยใช้อาสาสมัครสวมรองเท้าที่มีเซนเซอร์วัดแรงกดที่พื้นรองเท้า (TekScan) จนได้ผลสรุปการทดลองดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 แรงกดของเท้า

จากรูปภาพที่ 2-3 ตำแหน่งสัมผัสแรงกดบนฝ่าเท้ามีทั้งหมด 10 ส่วน คือ ส้น (H) ส่วนกลางเท้า (MF) หัวกระดูกฝ่าเท้าที่หนึ่ง (1MH) หัวกระดูกฝ่าเท้าที่สอง (2MH) หัวกระดูกฝ่าเท้าที่สาม (3MH) หัวกระดูกฝ่าเท้าที่สี่ (4MH) หัวกระดูกฝ่าเท้าที่ห้า (5MH) นิ้วหัวแม่เท้า (1stT) นิ้วเท้าที่สอง (2ndT) และนิ้วเท้าที่สามถึงห้า (3rd-5thT) โทนสีแดงหมายถึงแรงกดที่มาก ส่วนโทนสีน้ำเงินคือแรงกดที่น้อย จะเห็นได้ว่าส่วนของส้น (H) และหัวกระดูกฝ่าเท้า (1-5MH) เป็นตำแหน่งที่มีแรงกดมาก[15]

2.1.5 การป้องกันและดูแลรักษาผู้ป่วยเบาหวานที่มีภาวะแทรกซ้อนที่เท้า

ผู้ป่วยโรคเบาหวานควรได้รับการตรวจประเมินเท้าโดยละเอียดอย่างน้อยปีละครั้ง เพื่อตรวจอาการและประเมินลักษณะภายนอกของเท้า รวมถึงประเมินปลายประสาทการรับรู้สensationในการป้องกันตนเอง โดยปกติผู้ป่วยสามารถดูแลเท้าได้ด้วยตนเองและต้องควบคุมระดับน้ำตาลให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม แต่หากผู้ป่วยมีผลการประเมินการรับรู้สensationในการป้องกันตนเองที่เท้าผิดปกติหรือซีฟเวอร์เท้าเบาลง ควรใช้อุปกรณ์เสริมรองเท้าที่เหมาะสมและนัดตรวจเท้าเพิ่มทุก 6 เดือน และผู้ป่วยเบาหวานที่มีประวัติมีแผลที่เท้าหรือถูกตัดขาเท้าหรือนิ้วเท้า หรือพบเท้าผิดปกติ ควรตรวจเท้าพิเศษและนัดตรวจเท้าเพิ่มทุก 3 เดือน ร่วมกับส่งพบทีมแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ ในกรณีที่พบการหนาตัวของผิวหนัง (Callus) ซึ่งมีโอกาสเกิดแผลได้ง่าย ควรจัดการหนาตัวของผิวหนังโดยทีมแพทย์ที่ผ่านการอบรม เพื่อป้องกันการเกิดแผลได้ถูกวิธี นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ป่วยที่มีประวัติเป็นแผลมาก่อน มีโอกาสที่จะเกิดแผลซ้ำสูง เนื่องจากแผลหายยากและผู้ป่วยไม่สามารถรับรู้สensationเจ็บแผลที่เท้าได้ ส่วนผู้ป่วยที่มีภาวะแทรกซ้อนที่เท้า ควรได้รับการดูแลอย่างต่อเนื่องโดยทีมดูแลป้องกันภาวะแทรกซ้อนที่เท้าและทีมสหสาขาวิชาชีพ ปัญหาของผู้ป่วยโรคเบาหวานที่พบได้บ่อย คือ เกิดแผลกดทับจากเส้นประสาทเสื่อม เนื่องจากมีแรงกดทับบริเวณแผล ซึ่งผู้ป่วยไม่สามารถรับรู้สensationบริเวณนั้นได้และมีการสะสมของเนื้อตาย สามารถรักษาได้โดยการกำจัดเนื้อตายและการลดแรงกดที่แผลโดยวิธีต่างๆ[16]

สำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานที่ไม่สามารถรับรู้ความรู้สึก ไม่รับรู้ความเจ็บปวดที่แผลหรือรับรู้ความรู้สึกได้น้อย ทำให้ต้องสังเกตและดูแลเท้าด้วยการใช้สายตาคาดคะเน การเลือกใช้พื้นรองเท้าเท้าที่เหมาะสมจะช่วยป้องกันและแก้ไขปัญหาลำบากของเท้าได้[14] หน้าที่ยของพื้นรองเท้าเท้าคือ กระจายแรงกดที่ผิดปกติที่กระทำต่อฝ่าเท้า รวมถึงแจ้งเตือนแสดงค่าแรงกดและความชื้นของเท้าบนแอปพลิเคชัน

จากการสืบค้นงานวิจัยและโครงการที่เกี่ยวข้อง Mohamed Anouar Bencheikh และทีมงาน ได้ร่วมจัดทำพื้นรองเท้าอัจฉริยะราคาประหยัดสำหรับการป้องกันเท้าผู้ป่วยโรคเบาหวาน ดังภาพที่ 2-4 โดยใช้อุปกรณ์ที่ราคาย่อมเยาในการพัฒนาพื้นรองเท้าเท้าเพื่อกระจายแรงกดที่ผิดปกติของฝ่าเท้า รวมถึงมีโหมดแจ้งเตือนในกรณีที่มีแรงกดที่สูงจนเกิดอันตรายแก่แผลหรือระบบประสาทที่เท้าบนสมาร์ตโฟน[4]



ภาพที่ 2-4 พื้นรองเท้าอัจฉริยะ

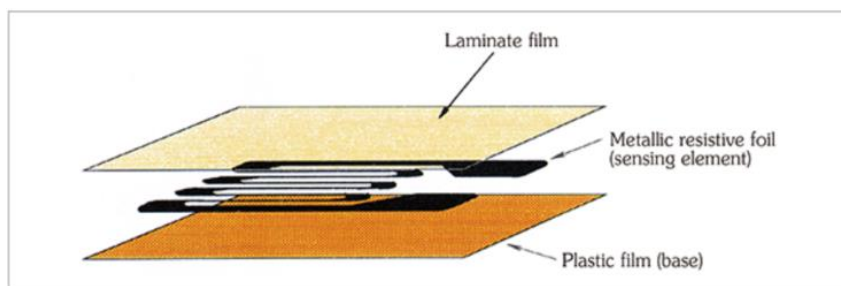
2.2 เซนเซอร์วัดแรงกด

เซนเซอร์วัดแรงกด (Force Sensor) เป็นทรานสดิวเซอร์ (transducer) ทำหน้าที่รับพลังงานจากรูปแบบหนึ่งแปลงให้อยู่ในอีกรูปแบบหนึ่ง โดยจะแปลงแรงทางกลของอินพุต เช่น โหลด น้ำหนัก ความตึง แรงอัด หรือแรงดัน เป็นตัวแปรทางกายภาพอื่น ในกรณีนี้แปลงสัญญาณเอาต์พุตให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า เมื่อแรงกดเพิ่มขึ้นบนเซนเซอร์วัดแรงกด สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จะเปลี่ยนตามปริมาณแรงกดเป็นสัดส่วนแปรผันตาม[17]

นอกจากนี้การเลือกเซนเซอร์ให้ตรงกับการใช้งาน จะทำให้เกิดการใช้งานที่มีประสิทธิภาพและลดปัญหาการบำรุงรักษา โดยเซนเซอร์ตรวจจับแรงกดที่สอดคล้องกับการใช้งานสำหรับ Smart insole สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

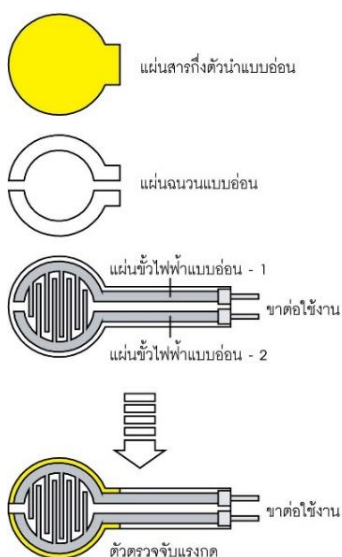
2.2.1 สเตรนเกจ (strain gauge) คือ เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดความเครียด (strain) หลักการของสเตรนเกจ คือ เมื่อสเตรนเกจถูกแรงกระทำ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เช่น ยืด หด บิดหรืองอ ทำให้ความต้านทานของวัตถุนั้นเปลี่ยนไปตามแรงที่กระทำ การนำไปใช้จะใช้การต่อวงจรวีทสโตนบริดจ์ (Wheatstone bridge) เพื่อหาความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าเมื่อความต้านทานเปลี่ยนแปลงไป[18] สเตรนเกจมีอยู่หลายประเภท แต่แบบที่ใช้งานอย่างแพร่หลายมีโครงสร้างเป็นแถบของขดลวดตัวต้านทานทางไฟฟ้าที่ทำจากโลหะแผ่นบาง มีความ

หนาประมาณ 3 ถึง 6 ไมโครเมตร ซึ่งยึดติดอยู่บนฐานที่เป็นแผ่นฟิล์มพลาสติกมีความหนาประมาณ 15 ถึง 16 ไมโครเมตร แล้วถูกเคลือบด้วยแผ่นฟิล์มบาง ๆ ด้านบน ดังภาพที่ 2-5[19]



ภาพที่ 2-5 โครงสร้างของสเตรนเกจ

2.2.2 เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) คือ เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดแรงกดต่าง ๆ เช่น แรงกด ความเร่ง การสั่น แรงเครียด หรือแรงกระทำอื่น ๆ ที่กระทำต่อวัตถุ เปลี่ยนพลังงานกลต่าง ๆ เหล่านี้ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า[20]



ภาพที่ 2-6 ลักษณะ โครงสร้างของตัวตรวจจับแรงกด FSR[21]

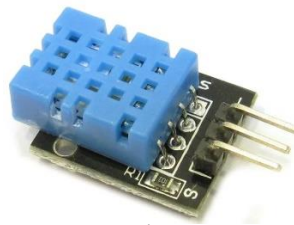
เพียโซอิเล็กทริกเป็นตัวตรวจจับแรงกดแบบค่าความต้านทาน (Force Sensing Resistor) ที่ใช้ฟิล์มโพลีเมอร์แบบหนา (Polymer Thick Film) เมื่อมีแรงกดมากระทำบนแผ่นตรวจจับ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวตรวจจับจะลดลง ตัวตรวจจับแรงกดมีโครงสร้างแสดงในภาพที่ 2-6 ประกอบด้วยแผ่นสารกึ่งตัวนำแบบอ่อนเป็นตัวกำหนดค่าความต้านทานไฟฟ้ามีแผ่นฉนวนแบบอ่อนคั่นกลางประกบเข้ากับแผ่นขั้วไฟฟ้าแบบอ่อน โดยทำให้เกิดค่าความต้านทานไฟฟ้าขึ้นระหว่างขาต่อใช้งาน เมื่อมีแรงกดลงบนแผ่นขั้วนำไฟฟ้า แผ่นขั้วนำไฟฟ้ายุบตัวตามแรงกดเกิดการสัมผัสระหว่างสารกึ่งตัวนำกับขั้วไฟฟ้า ส่งผลให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าเกิดการ

เปลี่ยนแปลง เมื่อแผ่นขั้วนำไฟฟ้าขยับตัวตามแรงกดมากขึ้น ค่าความต้านทานไฟฟ้าจะลดลงมากขึ้นตามแรงกด [21]

2.3 เซนเซอร์วัดความชื้น

เซนเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิ (Humidity & Temperature Sensor) ทำหน้าที่สำหรับวัดค่าความชื้นและค่าอุณหภูมิของอากาศเพื่อแสดงผลเป็นข้อมูลนำไปใช้งาน เซนเซอร์วัดความชื้นทำงานโดยตรวจจับความเปลี่ยนแปลงที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าหรืออุณหภูมิในอากาศ โดยตรวจจับความเปลี่ยนแปลงในบรรยากาศเพียงเล็กน้อยเพื่อคำนวณความชื้นในอากาศ สัญญาณจะออกมาในรูปของสัญญาณดิจิทัล ซึ่งเซนเซอร์มีหลากหลายรุ่น ดังนั้นจึงต้องศึกษาคุณสมบัติของเซนเซอร์แต่ละตัวเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน[22] โดยเซนเซอร์วัดความชื้นที่สอดคล้องกับการใช้งานสำหรับแผ่นรองฝ่าเท้าอัจฉริยะสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

2.3.1 เซนเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิ รุ่น DHT11 (DHT11 Temperature and Humidity Sensor Module) คือ โมดูลที่สามารถวัดอุณหภูมิและความชื้นได้ มีการตอบสนองที่รวดเร็ว และความแม่นยำในการวัดค่าสูง สามารถใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ทั่วไปได้ ในโมดูลประกอบไปด้วย ส่วนวัดความชื้นแบบ Resistive type และ ส่วนวัดอุณหภูมิแบบ NTC (Negative Temperature Coefficient)[22]

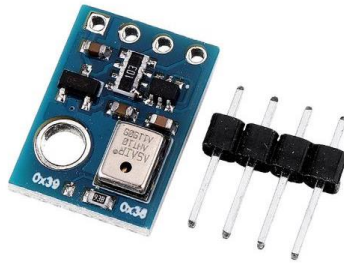


ภาพที่ 2-7 เซนเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิ รุ่น DHT11[23]

ใช้วัดความชื้นในย่าน 20 - 90%RH โดยมีค่าความแม่นยำ $\pm 5\%$ RH ความละเอียดในการวัด 1% และมีย่านวัดอุณหภูมิ 0 - 50 °C โดยมีค่าความแม่นยำ ± 2 °C ความละเอียดในการวัด 1 °C แสดงผลสัญญาณดิจิทัลเอาต์พุตแบบ 8 บิต ใช้กระแสไฟฟ้า 0.5 - 2.5 mA ใช้งานกับระดับแรงดันไฟฟ้า 3 - 5.5 V โดยอ่านค่าสัญญาณ (Sample Rate) ทุก 1 วินาที โปรโตคอลในการสื่อสารกับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบ Single-wire Two-way Serial interface คือ การสื่อสารอนุกรมสองทางโดยใช้สายเส้นเดียว[24]

2.3.2 เซนเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิ AHT10 (AHT10 high-precision digital temperature and humidity sensor I2C) คือ เซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น เหมาะสำหรับการบัดกรีแบบรีโฟลว์ ตรวจจับความชื้นแบบ MEMS (micro-electromechanical systems) semiconductor capacitive เซนเซอร์จะส่งสัญญาณดิจิทัลในรูปแบบ

I2C (Inter-Integrated Circuit) รูปแบบการสื่อสารข้อมูลที่สร้างขึ้นมาเพื่อสื่อสารข้อมูลความเร็วต่ำ สามารถรับและส่งข้อมูลได้หลายอุปกรณ์ในบัสเดียวกัน[25]

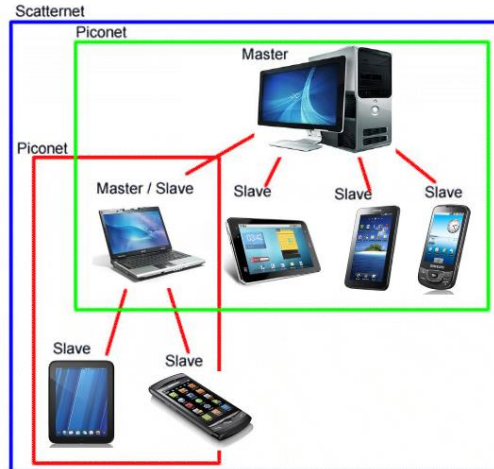


ภาพที่ 2-8 เซนเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิ รุ่น AHT10[26]

AHT10 เป็นเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้นที่ได้รับการปรับปรุงเพื่อให้มีเสถียรภาพมากขึ้นในสภาพแวดล้อมที่แปรปรวน ขนาดโมดูล 16x11 mm ใช้แรงดันไฟฟ้าทำงานที่ 1.8 - 6.0 V มีค่าความแม่นยำของความชื้น $\pm 2\%RH$ ความละเอียดในการวัดความชื้น 0.024% ย่านวัดอุณหภูมิ -40 ถึง 85 °C ค่าความแม่นยำของอุณหภูมิ ± 0.3 °C ความละเอียดในการวัดอุณหภูมิ 0.01 °C สัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากโมดูลเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้นเป็นดิจิตอล[25]

2.4 บลูทูธ

บลูทูธ (Bluetooth) คือ ระบบการสื่อสารของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบสองทาง ด้วยคลื่นวิทยุระยะสั้น ซึ่งใช้ความถี่อยู่ที่ประมาณ 2.4 – 2.483 GHz (Short-Range Radio Links) โดยปราศจากสายเคเบิลหรือสายสัญญาณเชื่อมต่อ การสื่อสารไร้สายบลูทูธ สามารถเชื่อมต่อได้ไกล ส่งข้อมูลจากแหล่งที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง การส่งผ่านคลื่นวิทยุทำให้การส่งข้อมูลของอุปกรณ์ทั้งสองสะดวกขึ้น ระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลที่ใช้เชื่อมต่อโดยตรงระหว่างอุปกรณ์ที่อยู่ใกล้กันชนิดนี้ในแต่ละเครือข่าย จะมีอุปกรณ์ตัวหนึ่ง เรียกว่า มาสเตอร์ (Master) หรือตัวแม่ข่าย ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานและประสานงานการเชื่อมต่อการสื่อสารให้กับอุปกรณ์ตัวอื่น ๆ ในเครือข่ายเดียวกัน ส่วนอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อตัวอื่น ๆ เรียกว่า สเลฟ (Slave) หรือตัวลูกข่าย โดยบลูทูธส่วนใหญ่สามารถทำหน้าที่ได้ทั้งมาสเตอร์และสเลฟตามความเหมาะสม หากอุปกรณ์ตัวนั้นเป็นได้ทั้งมาสเตอร์และสเลฟในเวลาเดียวกัน เรียกว่า Scatternet บลูทูธแต่ละตัวจะมีแอดเดรส (Address) ซึ่งเป็นรหัสประจำตัวที่ไม่ซ้ำกับอุปกรณ์ตัวอื่นใช้ในการจำแนกอุปกรณ์แต่ละตัวและใช้ในการระบุความถี่ที่ใช้สำหรับอุปกรณ์ตัวนั้น ๆ ด้วย[27] โดยปกติแล้วบลูทูธสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ได้ 7 ตัว[28]



ภาพที่ 2-9 การทำงานของระบบบลูทูธ[28]

2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก มีความสามารถในการทำงานคล้ายกับระบบคอมพิวเตอร์ เหมือนระบบคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่มาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย สามารถเขียนโปรแกรมสั่งการควบคุมอินพุต (Input) และเอาต์พุต (Output) เพื่อสั่งงานให้ไปควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ [29]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดที่ใช้ในการทำโครงงานวิจัยนี้ ได้แก่ Arduino nano โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด Arduino เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดแบบสำเร็จรูป สามารถนำไปพัฒนาต่อเพื่อใช้งานด้านต่าง ๆ ได้ โดย Arduino มีลักษณะการเขียนโปรแกรมเป็นภาษาซีในการใช้งานทำให้ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้ควบคุมการสั่งการ Arduino nano มีขนาดเล็กเพียง 1.8 x 4.8 เซนติเมตร[30] ซึ่งถือว่ามีความเล็กมาก เมื่อเทียบกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อื่น ทำให้เหมาะกับการใช้ทำโครงงานวิจัยนี้

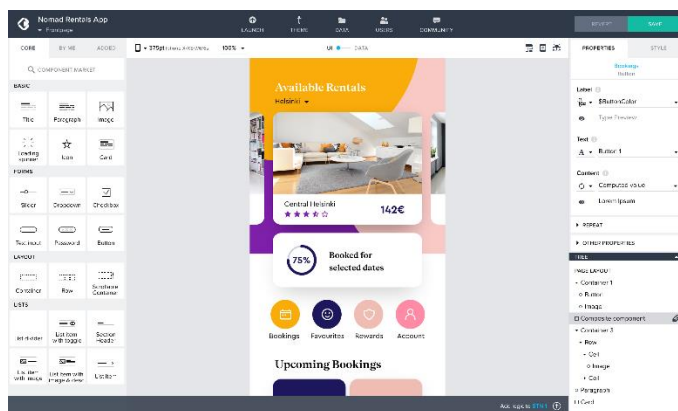


ภาพที่ 2-10 Arduino nano[30]

2.6 แอปพลิเคชัน

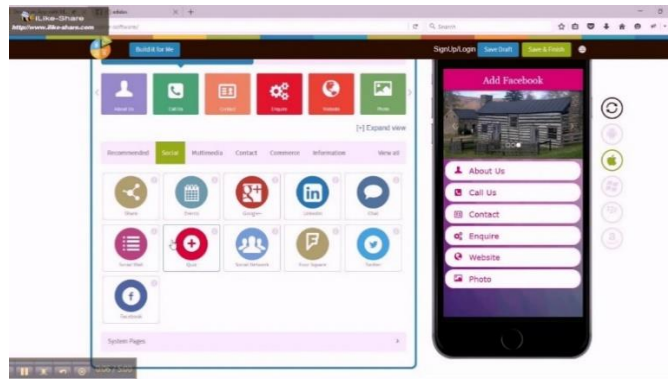
แอปพลิเคชัน (Application) คือ โปรแกรมที่อำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ในแต่ละระบบปฏิบัติการ จะมีผู้พัฒนาแอปพลิเคชันขึ้นมาเพื่อให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานที่สามารถใช้งานได้สะดวกและเรียบง่าย แอปพลิเคชันออกแบบมาสำหรับอุปกรณ์เคลื่อนที่ ซึ่งจะมีให้ดาวน์โหลดทั้งฟรีและจ่ายเงิน[31] แอปพลิเคชันเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมซอฟต์แวร์ที่ใช้ทำหน้าที่เฉพาะทาง โดยแอปพลิเคชันต้องทำงานอยู่บนระบบปฏิบัติการที่รองรับเท่านั้น[32] สามารถสร้างแอปพลิเคชันขึ้นมาใช้งานได้ โดยการใช้เว็บไซต์ที่ให้บริการสร้างแอปพลิเคชันมีให้เลือกหลายเว็บไซต์ ดังนี้

2.6.1 Appgyver คือ เครื่องมือที่ช่วยสร้างแอปพลิเคชันได้ง่าย ๆ สามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการ Android และ iOS โดยเข้าใช้งานที่ Appgyver ลงทะเบียนเข้าใช้งานได้ฟรี เพียงแค่วางบล็อกและต่อเส้นแต่ละบล็อกเชื่อมการทำงานด้วยกันเพื่อกำหนดคุณสมบัติของส่วนประกอบ (Component) ต่าง ๆ โดยบล็อกแต่ละชิ้นเปรียบเสมือนคำสั่งที่กำหนดการตั้งค่าไว้ ซึ่งผู้พัฒนา Appgyver มี Appgyver Video และ Appgyver Doc ฉบับภาษาอังกฤษอธิบายบล็อกการทำงานแต่ละบล็อกเอาไว้[33]



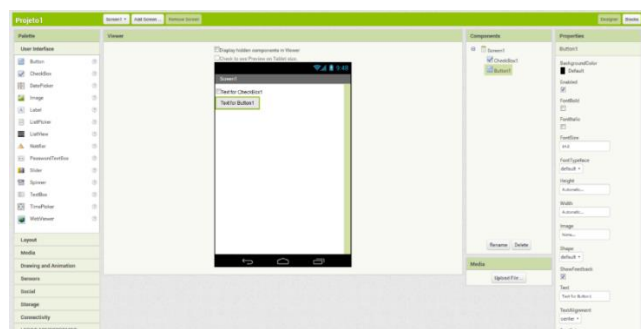
ภาพที่ 2-11 ตัวอย่างการใช้งาน Appgyver [34]

2.6.2 Appy Pie คือ ตัวสร้างแอปพลิเคชันที่เป็นกรรมสิทธิ์ของตัวเอง เป็นหนึ่งในซอฟต์แวร์ตัวสร้างแอปพลิเคชันเป็นที่รู้จักในเรื่องลักษณะที่ใช้งานง่าย Appy Pie สามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการ Android iOS และ Progressive web application (PWA) สามารถลงทะเบียนกับ Appy Pie สร้างและออกแบบเลือกธีมเพลตตามลักษณะที่ต้องการใช้งานบนแอปพลิเคชัน โดยมีหลากหลายธีมเพลต (Template) ให้เลือกใช้ สามารถแก้ไขเค้าโครง ธีมเพลตและปรับแต่งแทบแต่ละคุณสมบัติได้ตามต้องการ[35]



ภาพที่ 2-12 ตัวอย่างการใช้งาน Appy Pie[36]

2.6.3 MIT App Inventor คือ เครื่องมือที่ใช้สร้างแอปพลิเคชันที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์(Android) โดย MIT App Inventor ใช้หลักการพัฒนาซอฟต์แวร์เชิงคอมโพเนนต์ (Component-based Software Development) ทำให้ผู้ใช้สามารถสร้างและออกแบบแอปพลิเคชันได้ง่าย ใช้งานได้จริงในหลากหลายด้าน โดยไม่ต้องเขียนรหัสคำสั่ง (Source code) โดย App Inventor ถูกสร้างขึ้นด้วยความร่วมมือของ บริษัท Google และ สถาบัน MIT (Massachusetts Institute of Technology) ต่อมาบริษัท Google ได้ถอนตัวจากโครงการก่อนส่งมอบให้ MIT เป็นผู้พัฒนา App Inventor ต่อ และได้เปลี่ยนชื่อเป็น MIT App Inventor



ภาพที่ 2-13 ตัวอย่างการใช้งาน MIT App Inventor[37]

ขั้นตอนการสร้างและออกแบบแอปพลิเคชัน

1. สร้างโปรเจกต์ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน โดยจัดเตรียมโฟลเดอร์และไฟล์ต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อจัดเก็บรหัสคำสั่ง
2. ออกแบบและพัฒนาหน้าจอส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User interface) โดยใช้ภาษาเอกซ์เอ็มแอล (Extensible Markup Language: XML)
3. เขียนรหัสคำสั่งการทำงานของแอปพลิเคชันตามที่ต้องการ โดยใช้รหัสคำสั่งภาษาจาวา (Java)
4. ทดสอบแอปพลิเคชันที่พัฒนาในอุปกรณ์ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์[38]

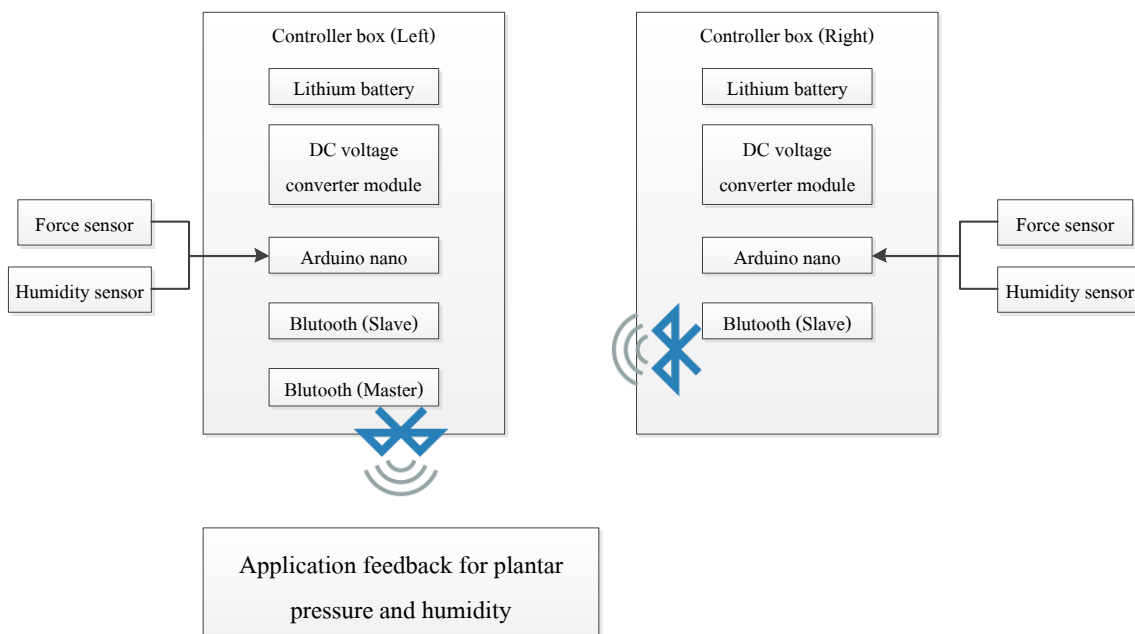
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้แสดงถึงรายละเอียดและการออกแบบการทำงานของโครงงาน ซึ่งโครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างแผ่นรองเท้าอัจฉริยะ (Smart insole) สำหรับผู้ป่วยเบาหวานที่มีการอักเสบของเส้นประสาทส่วนปลายบริเวณเท้า โดยออกแบบและสร้างระบบการรับและส่งข้อมูลแบบไร้สาย (Bluetooth) เพื่อแจ้งเตือนแรงกดและความชื้นของเท้าแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน รายละเอียดของโครงงานมีดังนี้

3.1 การออกแบบระบบการทำงาน

แผ่นรองเท้าอัจฉริยะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนของเซนเซอร์ในรองเท้า ส่วนของกล่องควบคุมการทำงาน และส่วนของแอปพลิเคชัน หลักสำคัญของการออกแบบคือการติดตั้งระบบการทำงานให้ส่งผลกระทบต่อการใช้งานใส่รองเท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวานน้อยที่สุด เพื่อความสะดวกสบายในการสวมใส่ จึงได้มีการออกแบบระบบไร้สายและติดตั้งอุปกรณ์ให้เล็ก อีกทั้งต้องติดตั้งอุปกรณ์ในตำแหน่งที่เหมาะสม ซึ่งการออกแบบระบบการทำงานของโครงงานมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 3-1 ภาพรวมของระบบ

การออกแบบแผ่นรองเท้าอัจฉริยะและระบบการแจ้งเตือนแรงกดเท้าและความชื้นในรองเท้า คือ มีแผ่นรองเท้าอัจฉริยะทั้งหมด 2 ชั้นสำหรับเท้าซ้ายและเท้าขวา บริเวณแผ่นรองเท้าแต่ละข้างมีเซนเซอร์วัดแรงกดเท้า (Force sensor) ข้างละ 2 เซนเซอร์และเซนเซอร์วัดความชื้น (Humidity sensor) ข้างละ 1 เซนเซอร์ เซนเซอร์เหล่านี้ต่อสายเข้ากับกล่องควบคุมการทำงาน (Controller box) เซนเซอร์จะถูกรับค่าผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด Arduino nano ที่จ่ายกำลังไฟฟ้าผ่านลิเทียมแบตเตอรี่ (Lithium battery) ที่โดนลดแรงไฟฟ้าให้ต่ำลงจากโมดูลแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ข้อมูลของเซนเซอร์ทั้ง 2 ชนิด จะใช้สัญญาณในการรับและส่งข้อมูลทั้งหมดไปยังแอปพลิเคชันแสดงค่าแรงกดเท้าและความชื้นของเท้าทั้งสองข้าง โดยได้แสดงระบบนี้ดังภาพที่ 3-1

3.1.1 การออกแบบวางตำแหน่งของเซนเซอร์วัดแรงกดและเซนเซอร์วัดความชื้น

รองเท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวาน มีตัวแผ่นรองเท้าแบ่งเป็น 3 ชั้นและขึ้นรูปจากวัสดุดังนี้ ชั้นบนส่วนสัมผัสฝ่าเท้า คือ แผ่นหนังเทียม ชั้นกลาง คือ Ethylene vinyl acetate (EVA) และชั้นล่าง คือ Thermoplastic polyurethane (TPU filament) ที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ(3D Printer) และมีรองเท้าหลากหลายรูปแบบตามรูปเท้าและความต้องการของผู้ป่วย ซึ่งมีตัวอย่างรองเท้าผู้ป่วยโรคเบาหวาน ดังนี้



ภาพที่ 3-2 (ก) ตัวอย่างรองเท้าผู้ป่วยโรคเบาหวาน



ภาพที่ 3-2 (ข) ตัวอย่างรองเท้าผู้ป่วยโรคเบาหวาน

จากภาพที่ 3-2 (ก) และ ภาพที่ 3-2 (ข) [39] จะเห็นได้ว่ารองเท้าของผู้ป่วยเบาหวานมีความหลากหลาย โดยภาพที่ 3-2 (ก) จะเป็นรองเท้าที่มีความมิดชิด ไม่ระบายอากาศ ทำให้มีโอกาสเกิดแผลซ้ำซ้อนได้ง่าย ในขณะที่ภาพที่ 3-2 (ข) เป็นรองเท้าเปิดช่องเท้าเยอะ แต่ยังคงเป็นรองเท้าหุ้มข้อ อีกทั้งผู้ป่วยโรคเบาหวานบางรายมีความจำเป็นต้องใส่ถุงเท้าเพื่อป้องกันการเสียดสีของแผลกับรองเท้า ทำให้เกิดความชื้น ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้แผลที่เท้าหายช้าและอักเสบเพิ่มมากขึ้น

เนื่องจากรองเท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวานมีรูปแบบที่หลากหลายและมีแผ่นรองฝ่าเท้า 3 ชั้นที่รองรับแรงกดของเท้า ทำให้สามารถออกแบบตำแหน่งการวางเซนเซอร์ได้ดังนี้

3.1.1.1 ตำแหน่งวางเซนเซอร์วัดแรงกด



ภาพที่ 3-3 เซนเซอร์วัดแรงกด

เซนเซอร์วัดแรงกดชนิด FlexiForce A301 ดังภาพที่ 3-3 ลักษณะเป็นแผ่นแบนบางและขนาดเล็ก สามารถติดตั้งระหว่างแผ่นรองฝ่าเท้าได้ โดยเท้าแต่ละข้างจะใช้จำนวน 2 ตัว ติดตั้งตำแหน่งบริเวณระหว่างแผ่นรองฝ่าเท้าชั้นบนสุดและชั้นกลางใต้เท้าส่วนหน้า (Forefoot) และส้นเท้า (Heel) เนื่องจากเป็นบริเวณที่ได้รับแรงกดมากที่สุด

3.1.1.2 ตำแหน่งวางเซนเซอร์วัดความชื้น



ภาพที่ 3-4 ตำแหน่งวางเซนเซอร์วัดความชื้น

เนื่องจากเซนเซอร์วัดความชื้นไม่สามารถรับแรงกดได้มากเท่าเซนเซอร์วัดแรงกด จึงต้องเลี้ยงบริเวณที่มีการรับแรง ดังภาพที่ 3-4 ได้แก่ 1. บริเวณใต้เท้าส่วนกลางเท้า (Midfoot) 2. บริเวณใต้เท้าส่วนข้อต่อนิ้วเท้า 3. ด้านข้างของเท้าบริเวณส่วนกลางเท้าด้านใน 4. ด้านข้างของเท้าบริเวณส่วนกลางเท้าด้านนอก ซึ่งการวางตำแหน่งนี้จะต้องคำนึงถึงความสะดวกสบายของผู้สวมใส่รองเท้าด้วย

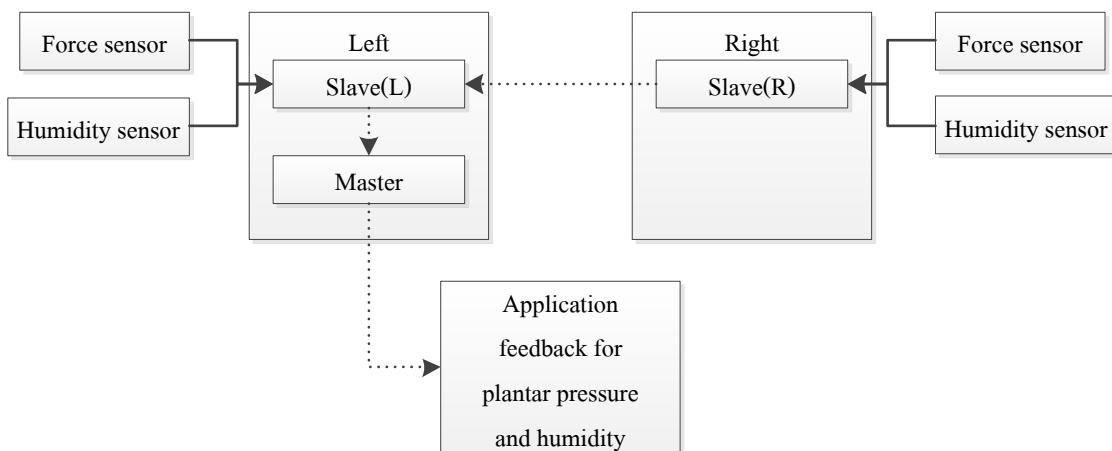
3.1.2 การออกแบบระบบและการวางตำแหน่งของกล่องควบคุมการทำงาน

กล่องควบคุมการทำงานจะทำหน้าที่เก็บอุปกรณ์ต่างๆนอกเหนือเซนเซอร์ โดยกล่องควบคุมจะมีอุปกรณ์เกี่ยวกับการให้พลังงานไฟฟ้า ประมวลผลข้อมูล รับและส่งข้อมูล ได้แก่

- ลิเทียมแบตเตอรี่ (Lithium battery) ใช้จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับวงจร
- โมดูลแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ใช้ลดแรงไฟฟ้าให้ต่ำลง
- ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino nano) ใช้ประมวลผลข้อมูล
- บลูทูธ (Bluetooth) ใช้ในการรับและส่งข้อมูลแบบไร้สาย

ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบระบบและการวางตำแหน่งของกล่องควบคุมดังนี้

3.1.2.1 ออกแบบระบบการรับและส่งข้อมูลแบบไร้สาย



ภาพที่ 3-5 การทำงานระบบการรับและส่งข้อมูล

(ลูกศรเส้นทึบ คือ ส่งแบบมีสาย, ลูกศรเส้นประ คือ ส่งแบบไร้สาย)

การทำงานของระบบการรับและส่งข้อมูลแบบไร้สายทำงานด้วยการใช้โมดูลบลูทูธ HC-05 จากภาพที่ 3-5 จะเห็นถึงการทำงานของระบบบลูทูธทั้งหมด 3 ตัว จัดรูปแบบการทำงานด้วยการตั้งค่าโหมดการทำงานของ

บลูทูธแต่ละตัวให้ทำงานรับและส่งค่าทุก ๆ 1 วินาที ซึ่งได้ตั้งค่าโหมดการทำงานทั้ง 3 ตัวของเท้าทั้งสองฝั่งไว้
ดังนี้ เท้าฝั่งขวามีบลูทูธ 1 ตัว ตั้งค่าให้ทำงานโหมดสลาฟ ทำหน้าที่รับค่าเซนเซอร์วัดแรงกดและเซนเซอร์วัด
ความชื้นจากเท้าฝั่งขวาส่งไปยังสลาฟฝั่งซ้าย ส่วนเท้าฝั่งซ้ายมีบลูทูธ 2 ตัว บลูทูธตัวแรกตั้งค่าให้ทำงานโหมด
สลาฟ ทำหน้าที่รับค่าเซนเซอร์วัดแรงกดและเซนเซอร์วัดความชื้นจากเท้าฝั่งซ้ายและรับข้อมูลจากบลูทูธฝั่งขวา
ส่งข้อมูลไปยังมาสเตอร์ บลูทูธตัวที่สองตั้งค่าให้ทำงานโหมดมาสเตอร์ ทำหน้าที่รับข้อมูลจากบลูทูธเท้าฝั่งซ้าย
ส่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชันเพื่อแสดงค่าข้อมูลทั้งหมด

3.1.2.2 การวางตำแหน่งของกล่องควบคุม

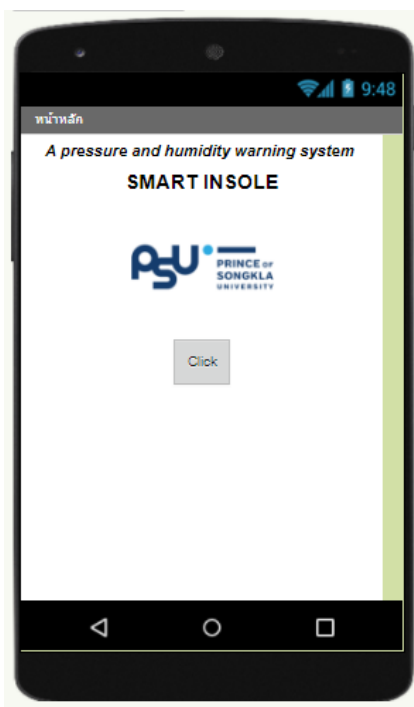


ภาพที่ 3-6 ตำแหน่งการวางของกล่องควบคุม[40]

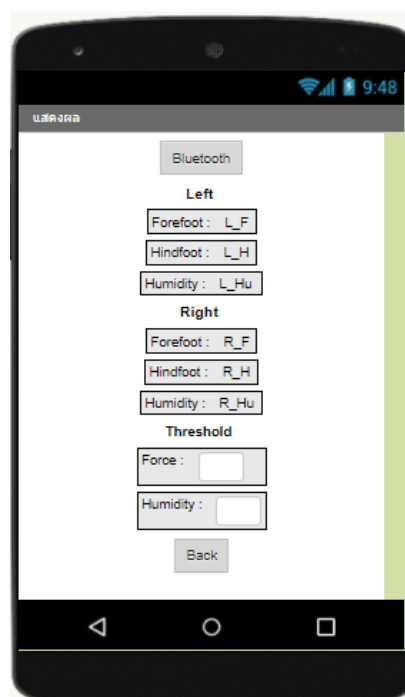
เท้าและขาเป็นส่วนสำคัญในการดำเนินชีวิตและใช้ทำกิจกรรมในชีวิตประจำวันเยอะ ทำให้เท้ามีท่าทาง
และการเคลื่อนไหวหลายตำแหน่งต่อเนื่องไปถึงขา ดังนั้นการวางตำแหน่งของกล่องควบคุม จึงต้องวางตำแหน่ง
ที่มีการเคลื่อนไหวน้อยที่สุด ไม่ให้ส่งผลกระทบต่อการเคลื่อนไหวของผู้สวมใส่มากนัก เพื่อให้ความ
สะดวกสบายแก่ผู้สวมใส่ ซึ่งบริเวณของขาและเท้าที่เหมาะสมกับการวางตำแหน่งของกล่องควบคุม ดังภาพที่
3-6 ได้แก่ 1. บริเวณเหนือตาตุ่มด้านใน 2. บริเวณเหนือตาตุ่มด้านนอก 3. บริเวณบนเท้าระหว่างเท้าส่วนหน้า
(Forefoot) และเท้าส่วนกลางเท้า (Midfoot)

3.1.3 การออกแบบแอปพลิเคชัน

แอปพลิเคชันที่ใช้คือ MIT APP Inventor ซึ่งในการพัฒนาแอปพลิเคชัน ได้ออกแบบให้แสดงผลผ่าน
หน้าจอแบบเรียลไทม์ สามารถกำหนดค่าวิกฤต (Threshold) ของค่าแรงกดและความชื้นเองได้ ผ่านหน้า
จอแสดงผล ด้วยข้อมูลที่ส่งผ่านการเชื่อมบลูทูธที่จะส่งค่าไปทุก ๆ 1 วินาที เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถสังเกตค่าที่
ส่งมาได้ง่ายและข้อมูลไม่ผิดเพี้ยนจากเดิม โดยแสดงผลผ่านหน้าจอ ดังรูป



ภาพที่ 3-7 (ก) การแสดงผลหน้าหลัก



ภาพที่ 3-7 (ข) การแสดงผลหน้าแสดงค่า

จากภาพที่ 3-7 (ก) เป็นหน้าจอหลักที่จะนำไปสู่หน้าแสดงผล โดยเมื่อกดปุ่ม click ก็จะเข้าสู่หน้าแสดงค่า ดังภาพที่ 3-7 (ข) โดยหน้าแสดงค่าจะมีการเชื่อมต่อระบบบลูทูธ การแสดงผลค่าแรงกดและค่าความชื้นของเท้าทั้งสองข้าง และการกำหนดค่าวิกฤต (Threshold) ของค่าแรงกดและความชื้น เมื่อกดปุ่ม Bluetooth ก็จะแสดงหน้าค้นหาบลูทูธใกล้เคียง เมื่อกดเชื่อมต่อบลูทูธแล้ว จะแสดงสถานะเชื่อมต่อ (Connected) และมีการรับค่าจากบลูทูธแสดงผลผ่านหน้าจอแบบเรียลไทม์ สามารถกำหนดค่าวิกฤต (Threshold) ของค่าแรงกดและความชื้นได้ด้วยการพิมพ์ค่าเป็นตัวเลขที่ด้านล่างคำว่า Threshold เมื่อค่าของเซนเซอร์ที่รับมามีค่าเกินกว่าค่าวิกฤตที่กำหนด จะแสดงผลค่าเป็นสีแดง เพื่อแจ้งเตือนแรงกดและความชื้นที่มากเกินไปกว่าค่าวิกฤต

3.2 การเปรียบเทียบและการสอบเทียบเซนเซอร์ความชื้น

ทำการเปรียบเทียบและการสอบเทียบเซนเซอร์ความชื้นเพื่อดูการทำงานของเซนเซอร์ มีการเปรียบเทียบคุณสมบัติของการทำงานเซนเซอร์และผลการใช้งานจริงตามสภาวะต่าง ๆ เนื่องจากไม่มีเครื่องมือสอบเทียบความชื้น จึงได้ทำการเปรียบเทียบด้วยเครื่องวัดความชื้นและอุณหภูมิขนาดเล็ก Digital hygrometer ดังภาพที่ 3-8 ซึ่ง Digital hygrometer มีคุณสมบัติในการวัดความชื้นดังนี้ ย่านวัดความชื้น 10 - 99% RH ความละเอียดในการวัด 1% RH ความแม่นยำในการวัด $\pm 5\%$ RH



ภาพที่ 3-8 เครื่องวัดความชื้นและอุณหภูมิขนาดเล็ก Digital hygrometer

เซนเซอร์วัดความชื้นที่สอดคล้องกับการใช้งานสำหรับแผ่นรองฝ้าเพดานจริงจะมี 2 ชนิด คือ เซนเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิรุ่น DHT11 และ เซนเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิ AHT10

3.2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติเซนเซอร์ความชื้น[24,25]

คุณสมบัติ	เซนเซอร์ DHT11	เซนเซอร์ AHT10
1. ย่านที่ใช้ในการวัดความชื้น	20 – 90%RH	0 – 100%RH
2. ค่าความแม่นยำ	$\pm 5\%RH$	$\pm 2\%RH$
3. ความละเอียดในการวัด	1%	0.024%
4. การใช้กระแสไฟฟ้า	0.5 - 2.5 mA	0.023 mA
5. ระดับแรงดันไฟฟ้า	3 - 5.5 V	1.8 - 6.0 V
6. ขนาดโมดูล	3.2 x 1.4 cm	1.6 x 1.1 cm

3.2.2 การสอบเทียบเซนเซอร์ความชื้น

เนื่องจากใช้เครื่องวัดความชื้นและอุณหภูมิขนาดเล็ก Digital hygrometer ในการช่วยตรวจสอบความเที่ยงตรงของเซนเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิรุ่น DHT11 และ เซนเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิ AHT10 จึงต้องจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ ในการตรวจวัดความชื้นในอากาศ โดยได้กำหนดสถานการณ์ต่าง ๆ ดังนี้

1. ความชื้นในห้องปิด
2. ความชื้นในห้องเปิด (มีลมพัดผ่าน)
3. ความชื้นในห้องน้ำ
4. ความชื้นในตู้เย็น
5. ความชื้นในอากาศสถานที่โล่งแจ้ง โดยแต่ละสถานการณ์จะรับค่าจากเซนเซอร์ทุก ๆ 1 วินาที เป็นเวลา 30 - 90 นาที ตามความแปรปรวนของความชื้น ณ สถานการณ์นั้น ๆ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hfocus เจาะลึกระบบสุขภาพ, “สมาพันธ์เบาหวานนานาชาติ ประเมินทั่วโลกมีผู้ป่วยเบาหวาน 425 ล้านราย”, 2019. <https://www.hfocus.org/content/2019/11/18054>
- [2] G. E. Reiber, B. A. Lipsky, and G. W. Gibbons, “The burden of diabetic foot ulcers. Am J Surg”, 1998.
- [3] A. Benbakhti, S. Boukhenous, C.Zizoua and M. Attari, “ An instrumented shoe for ambulatory prevention of diabetic foot ulceration ” . In Proceedings of 4th International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare, MobiHealth 2014/IEEE, Athenes, Grèce, November 3-5, 2014.
- [4] M. A. BENCHEIKH and S. BOUKHENOUS, "A low Cost Smart Insole for Diabetic Foot Prevention," 2018 International Conference on Applied Smart Systems (ICASS), 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICASS.2018.8651973.
- [5] B. Wang, K. S. Rajput, W. Tam, A. K. H. Tung and Z. Yang, "FreeWalker: a smart insole for longitudinal gait analysis," 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2015, pp. 3723-3726, doi: 10.1109/EMBC.2015.7319202.
- [6] F. Lin, A. Wang, Y. Zhuang, M. R. Tomita and W. Xu, "Smart Insole: A Wearable Sensor Device for Unobtrusive Gait Monitoring in Daily Life," in IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 12, no. 6, pp. 2281-2291, Dec. 2016, doi: 10.1109/TII.2016.2585643.
- [7] โรงพยาบาลรามคำแหง, “โรคเส้นประสาทที่เกิดจากเบาหวาน Diabetic neuropathy”, 2017. https://www.ram-hosp.co.th/news_detail/294
- [8] พบแพทย์, “โรคเบาหวาน”, 2016. <https://www.pobpad.com/โรคเบาหวาน>
- [9] ทักษพล เมืองทรัพย์, “Diabetic neuropathy”, 2018. <http://www.thanescience.com/Articles-Diabetic.php>
- [10] AA Pharmacy, “Diabetic Neuropathy”, 2019. <https://www.aapharmacy.com.my/diabetic-neuropathy/>
- [11] ศส.พญ.สุภาพร โอภาสานนท์, “แผลเบาหวาน (Diabetic Foot) และการดูแลเท้า”, 2011. <https://www.si.mahidol.ac.th/sidoctor/e-pl/articledetail.asp?id=915>

- [12] Bangkok Hospital, “แผลเบาหวาน ดูแลให้ดีก่อนเกิดภาวะแทรกซ้อน”, 2021.
<https://www.bangkokhospital.com/content/diabetes-mellitus>
- [13] Foot Clinic Co., Ltd., “เท้า กับ โรคเบาหวาน สำคัญกับสุขภาพและชีวิต”, 2021. <https://talon.co.th/โรคเกี่ยวกับเท้า/เท้ากับโรคเบาหวาน-รวมก/>
- [14] Artitayacenter, “แผ่นรองฝ่าเท้า”, 2013. <https://artitayacenter.blogspot.com/2013/09/blog-post.html>
- [15] Chong, A. and Al-Magsoosi, S. (2019) Development of an Index for Drop-Foot Severity of DPN Patients. Journal of Biosciences and Medicines, 7, 61-64. doi: 10.4236/jbm.2019.75009.
- [16] สถาบันวิจัยและประเมินเทคโนโลยีทางการแพทย์ กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, “แนวทางเวชปฏิบัติการป้องกันและดูแลรักษาผู้ป่วยเบาหวานที่มีภาวะแทรกซ้อนที่เท้า”, 2013.
<http://www.imrta.dms.moph.go.th/imrta/images/cpg2013-1.pdf>
- [17] KMU Technology Co.,Ltd, “เซ็นเซอร์, ทรานสดิวเซอร์ และ ทรานสมิตเตอร์”, 2019.
<http://www.kmutech.com/2019/04/30/เซ็นเซอร์-ทรานสดิวเซอร์/>
- [18] KMU Technology Co.,Ltd, “Strain Gauge”, 2019. <http://www.kmutech.com/2019/04/26/strain-gauge/>
- [19] Kyowa Electronic Instruments Co., Ltd., “สเตรนเกจ คืออะไร”, 2021. https://www.kyowa-ei.co.th/tha/technical/strain_gages/strain_gage.html
- [20] ชมพูนุท วีรภิตติ, “Converse Energy for Future เพียโซอิเล็กทริก” 2012.
http://www.tcdc.or.th/articles/technologyinnovation/22396/?fbclid=IwAR0mO_ojq3vKcZwLYxmVAcqtAqBktr9EHxBf3T2VOKzWxVFQI8K1XQ_5bI#Converse-Energy-for-Future
- [21] Kritsada Jaiyen, “ตรวจจับแรงกดอย่างง่ายกับ Force sensor”, 2014. <http://doc.inex.co.th/force-sensor-with-unicon/>
- [22] สุริยา ศรีวิเศษ, “Arduino กับเซ็นเซอร์ วัดความชื้นและอุณหภูมิ”, 2018.
<https://sites.google.com/site/mikhorkhxnthorllexr1/home>
- [23] arcaegecengiz, “Using DHT11”, 2018. <https://create.arduino.cc/projecthub/arcaegecengiz/using-dht11-b0f365>

- [24] iot.codemobiles, “DHT11 Digital Temperature and Humidity Sensor DHT11 แบบ PCB พร้อมสายไฟ”, 2021. <http://www.iot.codemobiles.com/product/195/dht11-digital-temperature-and-humidity-sensor-dht11-แบบ-pcb-พร้อมสายไฟ>
- [25] Analogread, “AHT10 Temperature and humidity sensor module เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น”, 2021. <https://www.analogread.com/>
- [26] Modulemore, “โมดูลวัดความชื้นและอุณหภูมิ AHT10 high-precision digital temperature and humidity sensor I2C”, 2020. <https://www.modulemore.com/product/639/โมดูลวัดความชื้นและอุณหภูมิ-aht10-high-precision-digital-temperature-and-humidity-sensor-i2c>
- [27] ศิริกมล กิมบางยาง, “หลักการพื้นฐานของบลูทูธ”, 2012. <https://sirikamol51.wordpress.com/bluetooth/หลักการพื้นฐานของบลูทูธ/>
- [28] กฤษฎกร แซ่หลี่, “เทคโนโลยี Bluetooth”, 2017. <https://sites.google.com/site/kodchakorns01it/thekhnologyi-bluetooth>
- [29] พันพงษ์ ภู่วัฒน, “ความรู้เกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น”, http://www.sbt.ac.th/new/sites/default/files/TNP_Unit_1.pdf
- [30] Robot Inc, “เริ่มต้น ใช้งาน ARDUINO NANO V3.0”, 2015. <http://www.robotinc.asia/Arduino/ArduinoNANO.html>
- [31] บริษัท แมงโก้ คอนซัลแตนท์ จำกัด, “Application แอปพลิเคชัน คืออะไร”, 2020. <https://www.mangoconsultant.com/th/news-knowledge/knowledge>
- [32] Talil, “ซอฟต์แวร์ (Software) แอปพลิเคชัน (Application) และ โปรแกรม (Program) ต่างกันอย่างไร?”, 2020. <https://tips.thaiware.com/1322.html#what-is-program>
- [33] Mayon, “Appgyver สร้างแอปพลิเคชันง่ายๆ ไม่ต้องเขียนโปรแกรม”, 2020. <https://intrend.trueid.net/education>
- [34] Frederic Lardinois, “AppGyver launches Composer Pro, its new no-code editor”, 2020. <https://techcrunch.com/2020/04/06/appgyver-launches-composer-pro-its-new-no-code-editor/>

- [35] JAYRAJ SHETTY, “Appy Pie App Builder: แพลตฟอร์มการสร้างแอปที่ใช้งานง่ายไม่มีรหัส”, 2020.
<https://th.martech.zone/appy-pie-ไม่มีตัวสร้างแอปรหัส/>
- [36] Kyle Wiggers, “Appy Pie simplifies app development with AI and WYSIWYG tools”, 2018.
<https://venturebeat.com/2018/08/21/appy-pie-simplifies-app-development-with-ai-and-wysiwyg-tools/>
- [37] Unknown, “App Inventor for Android”, 2021. https://en.wikipedia.org/wiki/App_Inventor_for_Android
- [38] ภูมิรินทร์ ดวงหาลัง, “MIT App Inventor กับการพัฒนาเพื่อการประยุกต์ใช้จริง”, 2017.
http://apheit.bu.ac.th/journal/science-vol6-1/8_8_formatted%20V6-1.pdf
- [39] จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, “รองเท้าสุขภาพ เพื่อผู้สูงอายุและผู้ป่วยเบาหวาน”, 2018.
<https://www.chula.ac.th/news/14882/>
- [40] Denys Kurbatov, “Side-view photo of little boy barefoot deformed legs”,
<https://www.shutterstock.com/th/image-photo/sideview-photo-little-boy-barefoot-deformed-1079921243>