การพัฒนาแผ่นรองเท้าวัดแรงกดในการวัดรูปแบบการเดินแบบไร้สาย

A Development of a Wireless Gait Sensorized Insoles by FSR Ground Reaction Force

นพรัตน์ ธรรมวงษา[1,*], ณัฐเศรษฐ มนิมนากร[2] และ สุดารัตน์ หนองหารพิทักษ์[3]
[1]สาขาอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะและยานยนต์ไฟฟ้า คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
[2]ภาควิชาเวชศาสตร์ฟื้นฟู คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
[3]สาขาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
Nopparat Thammawongsa[1,*], Nuttaset Manimmanakorn[2] and Sudarat Nongharnpitak[3]
[1]Department of Smart Electronics and Electric Vehicles, Faculty of Technology, Udonthani Rajabhat University
[2] Department of Rehabilitation Medicine, Faculty of Medicine, Khon Kaen University
[3]Department of Information Technology, Faculty of Management Science, Udonthani Rajabhat University

(Received: May 31, 2022; Revised: June 10, 2022; Accepted: September 11, 2022)

*ผู้ประสานงาน : นพรัตน์ ธรรมวงษา อีเมล : nopparat.th@udru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอการพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับติดตามการประเมินแรงกดตามเวลาจริงและศึกษาปฏิสัมพันธ์ของแรงปฏิกิริยาพื้นดินในชีวิตจริง ปัญหาส่วนใหญ่ของเท้าคือการกระจายแรงไปที่ปลายเท้าและข้อเท้า ซึ่งได้มาจากการเฝ้าสังเกตการเดินและแรงกดของเท้า การวินิจฉัยเท้าที่รวบรวมจากการเคลื่อนไหวส่วนล่าง การออกแบบพื้นรองเท้า การเคลื่อนไหวของเท้า และการป้องกันในระยะยาว ดังนั้นการตรวจจับโดยใช้ FSR จำนวน 10 รูปแบบจึงถูกนำเสนอโดยการใช้งานร่วมกับ NodeMCU ESP8266 สำหรับการส่งข้อมูลแบบไร้สายสำหรับการตรวจสอบแบบตามเวลาจริงและรวบรวมข้อมูลด้วยการเขียนโปรแกรมแม็ตแล็พสำหรับการนำเสนอในรูปแบบกราฟ 2 มิติ ผลการทดลองพบว่าระบบที่เสนอใช้ในการวินิจฉัยโรคพังผืดฝ่าเท้าอักเสบ, โรคเบาหวาน, วิ่งเท้าล้ม และ การปวดฝ่าเท้าเพื่อการฟื้นฟูที่ถูกต้องและป้องกันปัญหาที่ฝ่าเท้า

คำสำคัญ: .เท้าผิดรูป, แผ่นรองพื้นรองเท้า, เอฟอาร์เซนเซอร์, การวัดแรงกดของเท้า

ABSTRACT

This research proposed to develop the device that real time monitoring the gait pressure forces assessment and study the interaction of Ground reaction force in real life. The most problem of foot is distributed the force to forefoot and ankle that data acquisition is obtained by gait monitoring and foot pressure. Foot diagnosis which collected from lower movement, insole design, gait movement, and long term protection. Therefore, 10 FSR sensing pattern were proposed with NodeMCU ESP8266 for wireless data transmission for real time monitoring and collected data to 2D plotting with MATLAB programming. As a results, the proposed system used to diagnosis for Plantar fasciitis, Diabetes, Foot Pronation and Metatarsalgia for accurate rehabilitees and foot Orthoses.

Keywords: Foot Pronation, Insole, FSR sensor, Foot Orthoses

1. บทนำ

สาเหตุหลักอย่างหนึ่งของปัญหาสุขภาพเท้าที่พบมากที่สุด ในทางการรักษาด้านศัลยกรรมมีอยู่ 4 ชนิดพื้นฐาน ได้แก่ โรครองช้ำ (Plantar fasciitis) โรคเบาหวาน (Diabetes) โรคเท้าแบนหรือเท้าผิดรูป (Foot Pronation) และโรคปวดเท้าส่วนหน้า (Metatarsalgia) ซึ่งการรักษาหลัก จะเน้นไปที่การกายภาพบำบัดและการใช้อุปกรณ์ช่วย จนกระทั่งถึงการผ่าตัดรักษา หากมีอาการรุนแรงและไม่สามารถรักษาด้วยวิธีการอื่นได้ ในการตรวจวินิจฉัยเพื่อการรักษานั้นมีหลายกระบวนการทั้งการตรวจลักษณะเท้า การดูแรงกดที่ฝ่าเท้า และการดูลักษณะการลงแรงกดจากการเดิน ที่เป็นกระบวนการที่ทำให้เห็นวิธีการเดินและแรงที่กดในส่วนต่างๆของเท้าไปพร้อมกัน ทำให้สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างถูกวิธีคือการหาความผิดปกติของการกระจายแรงกดในฝ่าเท้า ดังนั้นการตรวจวัดแรงกดในฝ่าเท้าจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อการการรักษาความผิดปกติของเท้าแต่อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดแรงกดในฝ่าเท้านั้นมีราคาสูง ทั้งยังมีความยุ่งยากในการใช้งานต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการควบคุมดูแลเครื่องมือ ดังนั้นจึงยังไม่เป็นที่แพร่หลายในการใช้รักษาปัญหาสุขภาพเท้าในทางคลินิก แผ่นรองพื้นรองเท้าเฉพาะบุคคล ช่วยการเปลี่ยนแปลงการกระจายแรงกดเท้าที่ตำแหน่งต่างๆของฝ่าเท้าได้ จึงทำให้สามารถป้องกันหรือลดอาการปวดตามจุดต่างๆที่เกิดแรงกดเท้ามากเกินปกติในฝ่าเท้า และส่งผลให้ป้องกันหรือลดอาการปวดเข่าและปวดหลังได้ ในทางการแพทย์จึงต้องการแผ่นรองพื้นรองเท้าเฉพาะบุคคลให้รูปแบบการกระจายน้ำหนักนั้นใกล้เคียงคนเท้าปกติมากที่สุด เพื่อทำให้กล้ามเนื้อ หัวเข่าและ

ข้อต่ออื่นๆในร่างกายทำงานหรือรับน้ำหนักได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บซึ่งส่งผลให้ผู้ใช้มีความรู้สึกสบายเกิดขึ้นในขณะสวมใส่

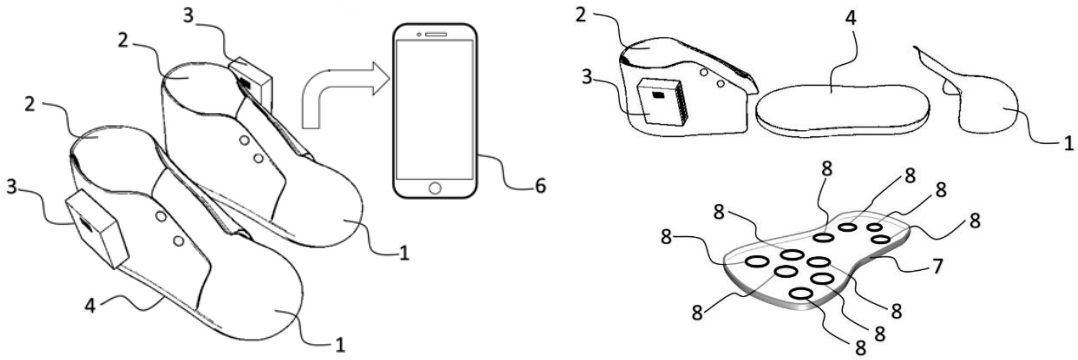
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวัดลักษณะท่าทางการเดิน (Gait Assessment) เป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในการวินิจฉัย การวิเคราะห์ การติดตามรูปแบบ พลังงานที่ใช้ และกลไกการเคลื่อนที่ของส่วนล่าง โดยเฉพาะความผิดปกติในการเดิน [1–3] อุปกรณ์เครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์การเดินของผู้พิการด้วยการติดตามองศา ผ่านอุปกรณ์กระตุ้นทางไฟฟ้า (functional electrical stimulation) [4–6] กระบวนการทางคลีนิคที่สัมพันธ์และปรับเปลี่ยนตามค่าพารามิเตอร์ลักษณะท่าทางการเดิน โดยจะให้ข้อมูลแก่นักกายภาพให้สามารถปรับโปรแกรมตามรูปแบบการเดินที่เปลี่ยนไปได้ [7] การวัดแรงที่เกิดจากเท้าเป็นกระบวนการที่นิยมอย่างแพร่หลาย ด้วยการใช้เซนเซอร์วัดแรงแบบตัวต้านทาน (Force sensing resistive: FSR) [8] การตรวจสอบลักษณะของเท้าด้วยหลักการสแกน [9] และโพโดสโคป [10] และการติดตามลักษณะการเดินแบบต่อเนื่องแบบไร้สาย [11] ที่เป็นกระบวนการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือ เนื่องจากมีการเห็นรูปแบบการเดิน การเอียง การทรงตัวและแรงที่เกิดจากการทรงตัว รูปแบบของทรงของเท้าที่เปลี่ยนไปจากการเดิน ซึ่งโดยส่วนมากกระบวนการดังกล่าวใช้การเดินบนสายพานและเชื่อมต่อสาย เพื่อการทดสอบทำให้ไม่เจอสถานการณ์แบบเรียลไทม์และไม่สามารถสร้างสถานการณ์จำลองแบบต่างๆให้แก่ผู้ป่วยให้ทดลองได้

อุปกรณ์พยุงเท้า (Foot Orthoses) ถูกนำมาใช้รักษาผู้ป่วยที่มีปัญหาการเดินอย่างแพร่หลาย โดยกลไกจากการลดแรงตึงของเอ็นรั้งฝ่าเท้าที่จุดเกาะและช่วยกระจายแรงกดฝ่าเท้า อุปกรณ์พยุงเท้าที่ใช้สำหรับรักษาภาวะปวดส้นเท้ามีหลายชนิดที่นิยมใช้ ได้แก่แผ่นรองเท้าเต็มแผ่นชนิดทำเฉพาะรายและ แผ่นรองเฉพาะส่วนของเท้า ได้แก่ อุปกรณ์พยุงอุ้งเท้าด้านใน (medial arch support) และอุปกรณ์รองส้นเท้า (heel cushion, heel pad) ซึ่งมีข้อดีคือเหมะกับรูปทรงของเท้าและการเดิน และสามารถนำไปใช้กับรองเท้าคู่อื่นได้ง่าย ในการศึกษาปัจจุบันพบว่ามีการผลิตแผ่นรองพื้นรองเท้าที่สามารถวัดแรงต้านจากพื้น (Ground Reaction Force) ด้วยการใช้เซนเซอร์ FSR สำหรับวิเคราะห์ผู้ป่วยเท้าผิดรูป [12] หลากหลายชนิด และสามารถนำข้อมูลลักษณะการเดินไปผลิตเป็นแผ่นอุปกรณ์พยุง รองรับแรงแบบต่างๆอย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตามรูปแบบการส่งข้อมูลเพื่อการตรวจวินิจฉัย จะขึ้นอยู่กับรูปแบบของเซนเซอร์ ระบบควบคุมที่รองรับและจำนวนของเซนเซอร์ที่ใช้งาน จากประเด็นปัญหาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาและพัฒนาระบบการตรวจวัดรูปแบบการเดินจากแรงกดใต้ฝ่าเท้าด้วย FSR ที่เชื่อมต่อผ่านชุดส่งสัญญาณไร้สายสำหรับใช้ในทางการแพทย์เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการเดิน ในการฟื้นฟูผู้ป่วยที่มีปัญหาด้านการเดิน

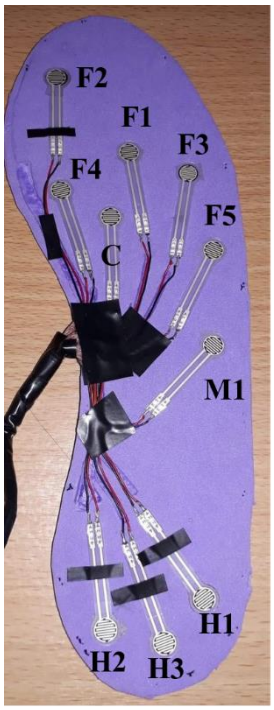
3. วิธีดำเนินการวิจัย

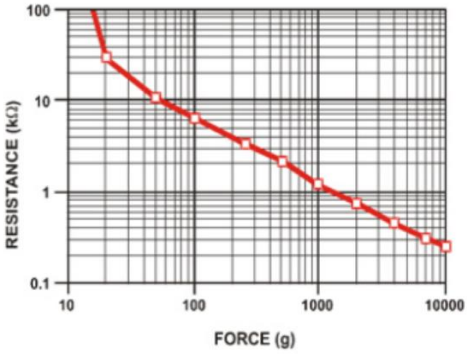
ระบบวัดรูปแบบการเดินจากแรงกดใต้ฝ่าเท้า ประกอบด้วย หัวรองเท้า ตัวรองเท้า กล่องควบคุมพื้นรองเท้า อุปกรณ์รับสัญญาณ แผ่นรองฝ่าเท้า ร่องทรงกลม สายไฟ แหล่งจ่ายไฟ ตัวต้านทานกราวด์ส่วนส่งแรงดันขาออก และเซนเซอร์วัดแรงกด โดยหัวรองเท้าและตัวรองเท้าเชื่อมติดกับพื้นรองเท้าบริเวณด้านนอกของตัวรองเท้ามีกล่องควบคุมติดตั้งอยู่ บริเวณด้านบนของพื้นรองเท้ามีแผ่นรองฝ่าเท้าที่มีร่องทรงกลมจำนวนหนึ่ง เพื่อติดตั้งเซนเซอร์วัดแรงกด ซึ่งเซนเซอร์วัดแรงกดแต่ละจุดเชื่อมต่อกันด้วยสายไฟเมื่อมีแรงกดจากฝ่าเท้า มายังเซนเซอร์วัดแรงกดข้อมูลระดับแรงดันที่วัดได้ถูกส่งไปยังส่วนส่งแรงดันขาออกที่ต่อกับสายไฟไปยังกล่องควบคุม เพื่อประมวลผลข้อมูลและส่งสัญญาณด้วยเครือข่ายไร้สายไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณเพื่อแสดงผลปริมาณแรงกดแบบเรียลไทม์ ในการวัดรูปแบบการเดินจากแรงกดใต้ฝ่าเท้าสำหรับใช้ในทางการแพทย์เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการเดิน เพื่อตรวจวินิจฉัยฟื้นฟูผู้ป่วยที่มีปัญหาด้านการทรงตัว ทำให้สามารถแก้ไขอาการให้ถูกต้องตามลักษณะของผู้ป่วยแต่ละชนิดได้

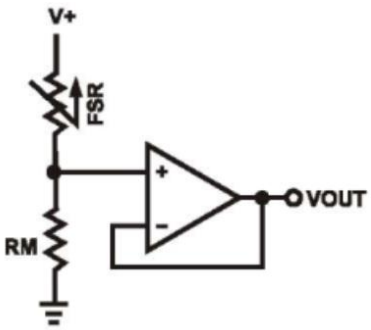


รูปที่ 1 ระบบวัดแรงกดที่ฝ่าเท้าแบบไร้สาย

เซนเซอร์วัดแรงกดแบบตัวต้านทาน (force-sensitive resistor) เป็นอุปกรณ์หลักที่นำมาใช้ในการพัฒนาระบบตรวจวัดการเดิน ซึ่งแรงดันที่ได้ที่เอาท์พุตของเซนเซอร์จะเกิดจากแรงที่กระทำต่อพื้นที่หน้าสัมผัส โดยมีหลักการคล้ายกับเปียร์โซอิเล็กทริก (Piezoelectric) โดยเซนเซอร์วัดแรงกดนี้ผลิตจากวัสดุที่ยืดหยุ่นประกอบไปด้วย 4 ชั้น คือ ชั้นฉนวนไฟฟ้าพลาสติก ชั้นพื้นที่หน้าสัมผัสที่มีเส้นตัวนำรูปทรงบิดโค้งเชื่อมต่อกับหางที่สามารถต่อกับไฟฟ้า ชั้นช่องว่างพลาสติก และชั้นฐานเคลือบฟิล์มโพลีเมอร์ตัวนำหนาเพื่อรับแรงกด ในงานวิจัยนี้ใช้ FSR-400 ขนาด 7.62 mm จำนวน 10 ชุดวางในตำแหน่งดังรูปที่ 1







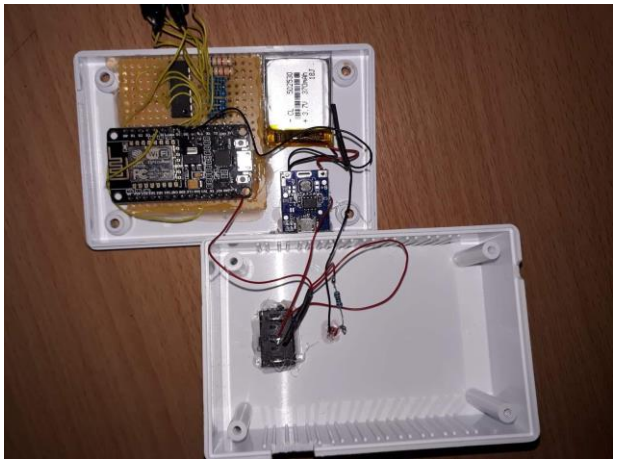
รูปที่ 2 ตำแหน่ง FSR เพื่อการวัดแรงกด

รูปที่ 3 การปรับค่าความต้านทาน FSR และวงจร

เซนเซอร์วัดแรงกดในงานวิจัยนี้มีจำนวน 10 ชิ้น ต่อแผ่นรองเท้าหนึ่งข้าง ซึ่งวางตามตำแหน่งของการกดของเท้ามาตรฐาน โดยทุกเซนเซอร์จะมีการต่อร่วมและคำนวณหาแรงกดมาตรฐานจากค่าความต้านทาน RM 10 กิโลโอห์ม ดังสมการที่ 1

$$V_{OUT} = \frac{R_M V +}{(R_M + R_{FSR})} \quad \text{.....(1)}$$

ซึ่งทุกตัวจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP 8266 เพื่อการเชื่อมไร้สายต่อไปยังโทรศัพท์มือถือ โดยจะเก็บค่าข้อมูลด้วยโปรแกรมแอปปลิเคชันประยุกต์ในรอบการเดิน มีการจ่ายพลังงานให้กับ FSR ที่ 5V โดยในกล่องวงจรมีการเชื่อมต่อสวิตช์และไฟเพื่อการแจ้งสถานะของการทำงาน โดยใน 1 รอบการทำงานสามารถใช้ได้นาน 1 ชั่วโมง



รูปที่ 4 การต่อร่วมชุดควบคุม Node MCU เพื่อส่งสัญญาณไร้สายไปยังสมาร์ทโฟน

การทดสอบการทำงานและการเก็บข้อมูลของงานวิจัยนี้ ได้ทำการทดสอบสามกลุ่มผู้ทดสอบ คือกลุ่มที่มีรูปทรงเท้าและการเดินปกติ กลุ่มผู้ป่วยที่มีปัญหาเท้าแบน และกลุ่มผู้ป่วยที่มีปัญหาเท้าโก่ง รวม 30 คน เพื่อทำการปรับและตั้งค่าของความเบี่ยงเบนและความผิดพลาดของ FSR ให้มีค่า <= 10% และทำการตั้งค่า Duty cycle เป็นอัตราส่วนของโหลด น้ำหนักตัวของผู้ป่วยที่กดลงยังเซนเซอร์ใน อัตราการแซมปลิงที่ 200 Samples/sec และช่วงเวลาทุกๆ 0.5 วินาทีให้ทำการส่งข้อมูลเพื่อแสดงผลไปยังหน้าจอโปรแกรมประยุกต์ในโทรศัพท์มือถือ รวมถึงนำข้อมูลที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปทำเป็นข้อมูล เพื่อทำการพล็อตกราฟด้วยโปรแกรม MATLAB พลังงานที่จ่ายให้แก่ชุดควบคุม เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 5 V 2.1 A จากงานวิจัยของ Chia [13] และคณะ ที่ศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบของแรงกดใต้ส้นเท้าระหว่างกลุ่มที่ไม่ใช้อุปกรณ์พยุงเท้าและกลุ่มที่ใช้อุปกรณ์พยุงเท้าชนิดต่าง ๆ ในผู้ป่วยเอ็นรั้งฝ่าเท้าอักเสบเรื้อรัง พบว่าในกลุ่มที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์พยุงเท้ามีแรงกดฝ่าเท้าสูงสุด 10.358+4.15 นิวตันต่อตร.ซม. จึงถูกนำมาใช้เป็นค่าการปรับค่ามาตรฐานให้แก่เซนเซอร์วัดแรงกดและทำการนอมอลไลซ์ค่าทุกตัวเซนเซอร์ให้มีความใกล้เคียงกันทั้ง 10 ตัว ดังแสดงผลในตารางที่ 1 และทำการประกอบชุดเซนเซอร์วัดแรงกดกับชุดควบคุม และต่อระบบแอปปลิเคชันประยุกต์เพื่อแสดงผลแบบเรียบไทม์ในการเดินบนพื้นกระเบื้องแข็งของผู้ทดสอบ โดยชุดอุปกรณ์ที่ประกอบแล้วเสร็จแสดงดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 การประกอบแผ่นวัดแรงกดที่เท้าร่วมกับการใช้งานจริง

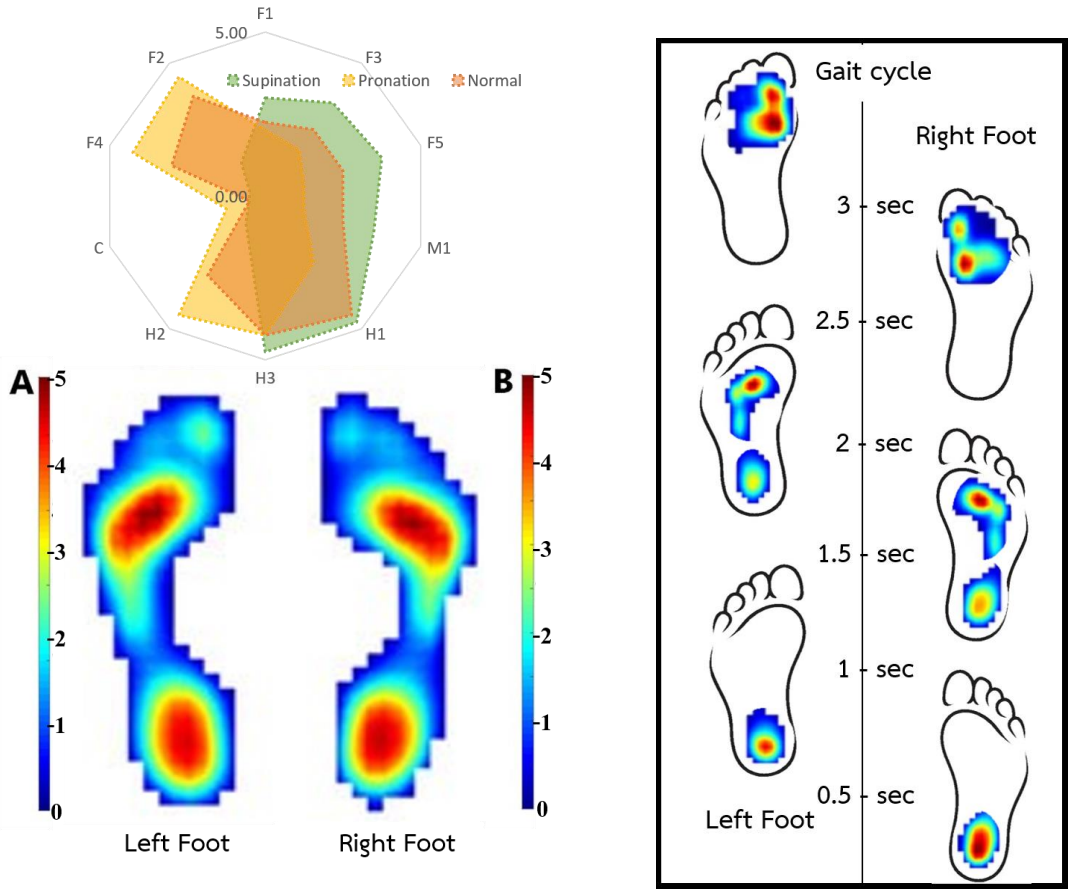
ตารางที่ 1 ข้อมูลแรงดันที่นอมอลไลซ์จากเซนเซอร์วัดแรงกดระหว่างเท้ากับพื้น (นิวตันต่อตร.ซม.)

Normalized Plantar Foot Pressure (N/cm^2)			
Sensor Point	Normal (N/cm^2)	Pronation (N/cm^2)	Supination (N/cm^2)
Toe1 (F2)	2.3	2.0	3.0
Forefoot1 (F1)	3.8	4.5	1.3
Forefoot3 (F3)	2.6	1.8	3.5
Forefoot4 (F4)	3.0	4.3	0.5
Forefoot5 (F5)	2.5	1.3	3.8
Middle1 (M1)	2.5	1.3	3.5
Heel1 (H1)	4.5	2.6	4.8
Heel2 (H2)	3.0	4.5	1.0
Heel3 (H3)	4.3	4.3	4.8
Center (C)	0.5	1.3	0.5

4. ผลการวิจัยและอธิปรายผล

จากการทดสอบของอาสาสมัครทั้ง 30 คน พบว่าสามารถนำผลที่ได้มานอมอลไลซ์ให้ได้ผลการวัดแรงกดเท้าของผู้ป่วยในแต่ละกลุ่มดังรูปที่ 6(ก) แผนภูมิวงกลม สามารถแยกรูปแบบของเท้าได้ชัดเจนและสามารถนำไปประเมินผลเบื้องต้นสำหรับผู้ป่วยที่มีปัญหาการเดิน และในการนำข้อมูลที่ได้

จากชุดไมโครคอนโทรลเลอร์มาทำการพล็อตกราฟด้วยโปรแกรม MATLAB ในรูปที่ 6(ข) พบว่าชุดเซนเซอร์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทำการพล็อตแบบ 2 มิติ ให้เห็นลักษณะการยืนของผู้ป่วย ซึ่งสามารถวิเคราะห์วินิจฉัยอาการเพื่อทำการแก้ไขและทำแผ่นรองพื้นจากภาพที่เกิดขึ้นได้ ในการวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่ลักษณะการเดินของผู้ป่วย โดยให้ผู้ป่วยสวมใส่อุปกรณ์และทำการเดินเป็นจังหวะให้ตรงกับการส่งข้อมูลของชุดควบคุม ดังรูปที่ 6 (ค) พบว่าเครื่องมือที่ได้พัฒนาสามารถจับการกดของแรงที่เกิดขึ้นจากการเดินทำให้เห็นลักษณะรูปแบบการเดินได้



รูปที่ 6 การใช้กราฟกระจายแรงด้วย FDTD เพื่อแสดงผลการกดขณะทำการเดิน

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อการพัฒนาระบบในการติดตามการลักษณะการเดิน และแรงที่เกิดขึ้นจากการกดของเท้ากับพื้นเพื่อนำไปศึกษาวิเคราะห์รูปแบบของผลกระทบที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน โดยที่ปัญหาที่พบมากที่สุดของเท้าคือการวิเคราะห์แรงที่กระทำและกระจายต่อเท้าและการหมุนของข้อเท้าเพื่อกระจายแรง ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลการเคลื่อนที่ส่วนล่าง การออกแบบพื้น

รองรับแรง ลักษณะการเดิน และการเดินในสถานการณ์ชีวิตประจำวัน ที่ต้องใช้เครื่องมือที่สามารถส่งแบบไร้สายได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงคิดพัฒนาระบบตรวจจับการเดินด้วยเซนเซอร์วัดแรงกด จำนวน 10 ชุด และส่งข้อมูลผ่าน ชุดควบคุม NodeMCU ESP8266 ที่ส่งสัญญาณแบบไร้สายมายังโปรแกรมประยุกต์ในโทรศัพท์มือถือ และยังสามารถจัดเก็บข้อมูลมาทำการพล็อตกราฟสองมิติด้วยโปรแกรม MATLAB จากการวิจัยพบว่าระบบที่พัฒนาสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในการตรวจวินิจฉัยโรคทางเท้าของกลุ่มเบาหวาน เท้าแบน เท้าโก่ง ได้อย่างถูกต้องและสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการทำกายภาพบำบัดและจัดทำเครื่องมือเพื่อแก้ปัญหาให้ผู้ป่วยได้อย่างถูกต้อง

เอกสารอ้างอิง

[1] Sarkar, S.; Singh, B. K.; Mandal, N. and Behera, S. S. (2018). A Fsr Based Data Acquisition System to Study the Interaction of Different Footwear with Different Foot-Regions. **2nd International Conference on Electronics, Materials Engineering & Nano-Technology (IEMENTech2018),** pp. 1-7:IEEE.

[2] Chen, M. and Huang, B. (2008). Intelligent shoes for abnormal gait detection. **In Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation, Pasadena**, pp. 2019–2024. CA, USA.

[3] Theologis, T. and Stebbins, J. (2010). The use of gait analysis in the treatment of pediatric foot and ankle disorders. **Foot and Ankle Clinics Journal**. vol 15, pp 365–382.

[4] Braz, G.P.; Russold, M. and Davis, G.M. (2009). Functional Electrical Stimulation Control of Standing and Stepping After Spinal Cord Injury: A Review of Technical Characteristics. **Neuromodul. Technol. Neural Interface**, vol 12, 180–190.

[5] N. Delhi, “Orthotic (Pressure Sensing Insole) Using FSR Sensor for People Suffering From Foot Pronation,” vol. 3, pp. 1609–1616, 2017.

[6] Rana, N. K. (2009). Application of Force Sensing Resistor (FSR) in design of pressure scanning system for plantar pressure measurement. **Int. Conf. Comput. Electr. Eng**. ICCEE 2009, vol. 2, pp. 678–685.

[7] Davids, J.R.; Rowan, F. and Davis, R.B. (2007). Indications for Orthoses to Improve Gait in Children with Cerebral Palsy. **J. Am. Acad. Orthop. Surg.** Vol 15, pp 178–188.

[8] Bacarin, A.; Sacco, I.C.N. and Henning, E.M. (2009). Plantar pressure distribution patterns during gait in diabetic neuropathy patients with a history of foot ulcers. **Clinics**, vol 64,pp 113–120.

[9] Luo, Z.; Berglund, L. and An, K. (1998). Validation of F-Scan pressure sensor system: A technical note. **Development,** vol 35,pp 186–191.

[10] Açak, M. (2020). The effects of individually designed insoles on pes planus treatment. **Sci Rep**,vol 10,pp 19715.

[11] Sazonov, E.S.; Fulk, G.; Hill, J.; Schutz, Y. and Browning, R. (2011). Monitoring of posture allocations and activities by a shoe-based wearable sensor. **IEEE Trans. Biomed. Eng.** vol 58,pp 983–990.

[12] Farahpour, N., Jafarnezhad, A., Damavandi, M., Bakhtiari, A., and Allard, P. (2016). Gait ground reaction force characteristics of low back pain patients with pronated foot and able-bodied individuals with and without foot pronation. **Journal of biomechanics,** 49(9),pp 1705–1710.

[13] Chia, K. K., Suresh, S., Kuah, A., Ong, J. L., Phua, J. M., & Seah, A. L. (2009). Comparative trial of the foot pressure patterns between corrective orthotics,formthotics, bone spur pads and flat insoles in patients with chronic plantar fasciitis. Annals of the Academy of Medicine, Singapore, 38(10), 869–875.