

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลองทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ ตามจุดประสงค์ โดยเริ่มจากการทดลองวัดค่าความจุไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์ที่ออกแบบ เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างการคำนวณค่าความจุไฟฟ้าและผลที่สามารถวัดได้จากขั้นตอนการทดลอง และเพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องและการวิเคราะห์ผลของข้อมูลที่วัดได้ โดยเซ็นเซอร์ที่ได้ออกแบบและแก้ไขปรับปรุงสามารถทำงานถูกต้องตามทฤษฎี จึงสามารถใช้เป็นต้นแบบสำหรับออกแบบเซ็นเซอร์เพื่อการวัดแรงเฉือนในสองทิศทางบนระนาบ ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยสามารถสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะในเรื่องของการทดสอบวัดค่าความจุไฟฟ้าเพื่อใช้วัดแรงเฉือน โดยสามารถแบ่งตามรูปแบบโครงสร้างของเซ็นเซอร์ได้ 2 รูปแบบ ดังหัวข้อต่อไป

5.1.1 เซ็นเซอร์แบบใช้ PDMS หล่อเป็นไดอิเล็กตริก

สำหรับการศึกษาและทดลองวัดค่าความจุไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์ต้นแบบจำลองโดยใช้ PDMS หล่อเป็นไดอิเล็กตริก ในขั้นตอนการทดลองเบื้องต้น ผู้วิจัยใช้การเปลี่ยนตำแหน่งแผ่นอิเล็กโทรดเพื่อจำลองระยะเลื่อนของแผ่นอิเล็กโทรดแทนการให้แรงเฉือนโดยตรง เนื่องจากเนื้อวัสดุ PDMS ไม่สามารถยึดติดกับผิวทองแดงที่ใช้เป็นแผ่นอิเล็กโทรดได้แน่นมากพอสำหรับการทดสอบแรงเฉือน เมื่อวัดผลค่าความจุไฟฟ้าจากการทดสอบและนำมาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณมีผลที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นต้นแบบเซ็นเซอร์นี้จึงถูกนำมาปรับปรุงและพัฒนาตัวเซ็นเซอร์เพื่อใช้วัดแรงเฉือนโดยตรง

เซ็นเซอร์ต้นแบบ โดยใช้ PDMS หล่อเป็น ไดอิเล็กตริกซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาจากเซ็นเซอร์ต้นแบบจำลอง ได้ถูกออกแบบให้สามารถวัดค่าความจุไฟฟ้าจากแผ่นอิเล็กโทรดได้พร้อมกันทั้งหมด 5 กลุ่ม จำนวน 13 ตำแหน่ง ส่งผลให้มีข้อมูลปริมาณมากที่เกิดจากการวัดสัญญาณไฟฟ้า จึงใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อช่วยเก็บข้อมูลการวัดก่อนนำมาประมวลผล และทำการปรับปรุงเซ็นเซอร์โดยลดขั้วอิเล็กโทรดที่ไม่จำเป็นออกเพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นำใช้เก็บข้อมูล เมื่อนำข้อมูลค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้มาเปรียบกัน ในช่วงที่มีการให้แรงเฉือนและแรงกดทับขนาดช่วง 0 ถึง 1,000 กรัม ผลการเปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้าที่คำนวณได้แสดงให้เห็นว่า ค่าความจุไฟฟ้ามีความแปรปรวนอันเป็นผลมาจากการออกแบบเซ็นเซอร์ที่มีลักษณะเป็นตัวเก็บจุแบบเปิดไม่มีฉนวน จึงทำให้ได้รับการถ่ายประจุไฟฟ้าจากสภาพแวดล้อมเข้ามารบกวนได้ง่าย นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าจากภายในตัวเซ็นเซอร์มีค่าการเปลี่ยนแปลงตามแรงกระทำจากภายนอกน้อยกว่าสัญญาณรบกวน อันเป็นผลเนื่องมาจากค่าความยืดหยุ่น PDMS ทำให้แผ่น

อิเล็กทรอนิกส์เคลื่อนตำแหน่งได้สั้นมาก จึงส่งผลให้ไม่สามารถวัดค่าความจุไฟฟ้าได้ตามที่ออกแบบไว้ ดังนั้น ผู้วิจัยจำเป็นต้องทำการแก้ไขการออกแบบใหม่

5.1.2 เซ็นเซอร์แบบใช้โพลีเอสเตอร์เป็นไดอิเล็กตริก

การออกแบบเซ็นเซอร์อีกรูปแบบหนึ่งคือ โดยการใช้แผ่นไดอิเล็กตริกที่ทำมาจากโพลีเอสเตอร์ เนื่องจากคุณสมบัติทางไฟฟ้าและค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของโพลีเอสเตอร์มีค่าสูงกว่า PDMS และความยืดหยุ่นต่ำกว่า จึงส่งผลให้สามารถสร้างความแตกต่างค่าความจุไฟฟ้าได้มากขึ้น ร่วมกับการลดขนาดพื้นที่ผิวสัมผัสพื้นที่หน้าตัดโดยใช้ PDMS เป็นวัสดุติดยึดแผ่นเซ็นเซอร์ และทำการทดลองเบื้องต้นด้วยการทำต้นแบบเซ็นเซอร์ และทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าโดยการเลื่อนแผ่นไดอิเล็กตริก ผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณพบว่า มีผลการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบเดียวกัน

เซ็นเซอร์วัดแรงเฉือนแบบโพลีเอสเตอร์ถูกพัฒนาและปรับปรุง โดยการออกแบบการเคลื่อนตำแหน่งแผ่นไดอิเล็กตริกเป็นระยะทาง 1 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับค่าจากการทดลอง เซ็นเซอร์รูปแบบนี้จะมีค่าความจุไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกับค่าจากการคำนวณ และเมื่อประกอบเซ็นเซอร์เพื่อใช้วัดแรงเฉือนในสองทิศทางจะพบว่า เมื่อมีน้ำหนักกดทับบนตัวเซ็นเซอร์ในลักษณะที่ยังไม่เกิดแรงเฉือน ค่าจากการวัดความจุไฟฟ้าไม่ได้รับผลกระทบจากน้ำหนักกดทับ เมื่อทำการทดสอบโดยใช้น้ำหนักถ่วงเพื่อให้เกิดแรงเฉือนในช่วง 0 ถึง 1,000 กรัม ค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้กลับไม่ตรงกับการวัดผลโดยวิธีเลื่อนแผ่นไดอิเล็กตริก ทั้งนี้ อาจเกิดจากผลกระทบจากแรงกดทับทางอ้อม ที่ทำให้เกิดความผิดสูงขึ้น บริเวณแผ่น PCB ที่ได้นำมาใช้ทำแผ่นรองขั้วอิเล็กทรอนิกส์

ในขณะที่ทำการทดลองของเซ็นเซอร์แบบโพลีเอสเตอร์ สังเกตได้ว่ามีช่องว่างระหว่างขั้วแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ โดยเกิดเป็นลักษณะโครงสร้างแบบไดอิเล็กตริกพร้อมสองชนิด ระหว่างโพลีเอสเตอร์และอากาศ ทำให้สภาพอากาศแวดล้อมบริเวณที่ทำการทดลองมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้า หากอากาศมีความชื้นสูงจะส่งผลให้ค่าที่วัดได้เปลี่ยนแปลงตาม อย่างไรก็ตาม การใช้เซ็นเซอร์แบบโพลีเอสเตอร์ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูงกว่าวัสดุประเภท PDMS ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงความจุไฟฟ้ามีค่าสูงกว่า เมื่อมีการเคลื่อนที่ในระยะที่เท่ากัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบและการทดลองการผลิตเซ็นเซอร์วัดแรงเฉือน ผู้วิจัยได้พบกับปัญหาและอุปสรรคหลายๆ อย่าง และได้พบวิธีแก้ปัญหา หรือปรับปรุงงานวิจัยให้ดีขึ้น ดังนี้

- ตัวโครงสร้างเซ็นเซอร์เป็นลักษณะเปิด ส่งผลให้ได้รับการถ่ายประจุไฟฟ้าจากสภาพแวดล้อมโดยรอบเกิดขึ้นได้ง่าย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการปิดกั้นด้วยวัสดุที่มีความเป็นฉนวนประจุไฟฟ้า
- ผลกระทบจากแรงกดทับในเซ็นเซอร์วัดแรงเฉือนยังไม่สามารถแก้ปัญหาได้ เนื่องจากเกิดความฝืดที่ผิวสัมผัสในส่วนส่งผ่านแรงกดทับ ดังนั้น ควรใช้งานเซ็นเซอร์วัดแรงเฉือนควบคู่กับเซ็นเซอร์วัดแรงกด เพื่อทำการเปรียบเทียบและชดเชยผลการวัดค่าความจุไฟฟ้าที่คลาดเคลื่อนให้ถูกต้อง
- ขั้นตอนการหล่อ PDMS จะเกิดฟองอากาศจำนวนมาก และรูปแบบหล่อมักมีขนาดเล็ก ดังนั้น การขึ้นรูปควรใช้ความระวังเป็นพิเศษเพื่อไล่ฟองอากาศ เนื่องจากพาราฟินเป็นวัสดุอ่อนสามารถเสียรูปทรงได้ง่าย