



กทปส

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการขอรับการส่งเสริมและสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนา
กิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

โครงการพัฒนาระบบแปลงภาพจากจอโทรทัศน์
เป็นภาพแบบสัมผัสสำหรับผู้พิการทางสายตา

นาย มนุกิจ พาณิชกุล
สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

ได้รับทุนอุดหนุนจาก
กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ
(สำนักงาน กสทช.)

คำนำ

สื่อโทรทัศน์ประกอบด้วยภาพและเสียงที่ได้รับการส่งผ่านมาจากสถานีโทรทัศน์ ผู้รับชมรายการต่าง ๆ จะได้รับบรรณรตสมบุรณ์แบบ หากได้รับข้อมูลทั้งภาพและเสียงทั้งสองส่วนพร้อมกัน อย่างไรก็ตามหากเป็นผู้รับชมรายการที่มีปัญหาในการมองเห็น ผู้รับชมเหล่านี้จะได้รับบรรณรตของรายการจากเสียงเท่านั้นแต่ไม่สามารถรับรู้ถึงภาพได้ จากข้อมูลจำนวนผู้พิการทางสายตาในประเทศไทยที่ได้ลงทะเบียนไว้จำนวน 181,821 คน (ข้อมูลวันที่ 2 พฤศจิกายน 2558) [1] และจากจำนวนผู้พิการทางสายตาทั่วโลกประมาณ 36 ล้านคน มีการคาดการณ์ว่าจำนวนผู้พิการทางสายตาทั่วโลกจะเพิ่มเป็น 115 ล้านคน ในอีก 50 ปีข้างหน้า จะเห็นได้ว่าจำนวนผู้พิการทางสายตามีอยู่เป็นจำนวนมาก

เพื่อเป็นการพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้พิการทางสายตา ให้สามารถได้รับบรรณรตในการรับชมรายการโทรทัศน์ กลุ่มนักวิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบแปลงภาพจากจอโทรทัศน์เป็นภาพแบบสัมผัสสำหรับผู้พิการทางสายตาขึ้น โดยผู้พิการทางสายตาจะใช้นิ้วและฝ่ามือในการลูบคลำบนอุปกรณ์สร้างภาพแบบสัมผัสเพื่อรับรู้ถึงรูปภาพที่แสดงอยู่บนหน้าจอโทรทัศน์ ซึ่งระบบที่จะพัฒนาขึ้นจะรับสัญญาณภาพจากจอโทรทัศน์ผ่านแว่นตาที่ติดตั้งกล้อง แล้วทำการแปลงภาพเป็นภาพแบบสัมผัส เพื่อให้ผู้พิการทางสายตาจะได้รับรู้ถึงภาพผ่านประสาทสัมผัส โดยระบบที่จะพัฒนาขึ้นจะมีขนาด 11 นิ้ว ซึ่งเป็นขนาดพอดีกับการวางมือทั้งสอง มีความละเอียด 15x10 (150) หน่วย โดยแต่ละหน่วยจะอยู่ห่างกัน 1.5 ซม. ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมของการวางนิ้วบนแป้นจอภาพแบบสัมผัส มีระยะการขึ้นลงของตัวสร้างการสัมผัส 1 ซม. ตัวสร้างการสัมผัสสามารถหยุดที่ระยะใดก็ได้ แรงในการแสดงผลแต่ละหน่วยขนาด 500 mN โดยมีอัตราการเปลี่ยนภาพที่อัตรา 1 ภาพในทุก 5 วินาที ซึ่งเป็นอัตราที่ผู้พิการทางสายตาสามารถเก็บข้อมูลของจอแบบสัมผัสได้อย่างครบถ้วน ความสามารถในการหยุดตัวสร้างการสัมผัสที่ระยะใดก็ได้สำหรับจอขนาดเล็กและความละเอียดการแสดงผลสูงเป็นสิ่งที่ท้าทายการวิจัยออกแบบและพัฒนาเป็นอย่างยิ่ง

โครงการนี้นอกจากจะมีผู้รับประโยชน์โดยตรงคือผู้พิการทางสายตาแล้ว ผู้สร้างผลงานรายการทางโทรทัศน์สามารถเพิ่มฐานผู้ชมให้ครอบคลุมถึงผู้พิการทางสายตา สามารถเพิ่มการสนับสนุนจากผู้สนับสนุนรายการ (สปอนเซอร์) ภาครัฐสามารถสื่อสารไปถึงภาคประชาชนได้อย่างทั่วถึง มีประสิทธิภาพ และเป็นธรรมมากยิ่งขึ้น

สารบัญ

ส่วนที่ 1	สาระสำคัญของโครงการ	4
ส่วนที่ 2	ความก้าวหน้าในการดำเนินโครงการ	7
ส่วนที่ 3	รายงานความก้าวหน้าทางการเงิน	94

แบบรายงานความก้าวหน้า

โครงการขอรับการส่งเสริมและสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

ชื่อโครงการ (ไทย) :	โครงการพัฒนาระบบแปลงภาพจากจอโทรทัศน์เป็นภาพแบบสัมผัสสำหรับผู้พิการทางสายตา		
ชื่อโครงการ (อังกฤษ) :	Development of a TV-Image Conversion to Haptics-Display System for Vision Disability Person		
สัญญาเลขที่ :	A64-1-(2)-018		
หน่วยงาน :	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย		
ชื่อ - นามสกุล (หัวหน้าโครงการ) :	นาย มนุกิจ พานิชกุล		
เบอร์ติดต่อ :		E-Mail :	
ระยะเวลาดำเนินการ (เริ่มต้น - สิ้นสุด) :	1	ปี	เดือน
งบประมาณรวม :	จำนวน 3,371,730.50		บาท

ส่วนที่ 1 สารสำคัญของโครงการ (Project Hilight)

1.1 วัตถุประสงค์

- 1 เพื่อพัฒนาระบบแปลงภาพจากจอโทรทัศน์เป็นภาพแบบสัมผัสสำหรับผู้พิการทางสายตา
- 2 เพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้พิการทางสายตาให้ได้รับบรรณรของรายการโทรทัศน์ผ่านภาพแบบสัมผัส
- 3 เพื่อเพิ่มฐานผู้ชมรายการโทรทัศน์ให้ครอบคลุมถึงผู้พิการทางสายตา
- 4 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสารทางโทรทัศน์จากภาครัฐให้มีความทั่วถึง มีประสิทธิภาพ และเป็นธรรม

1.2 เป้าหมาย

ต้นแบบระบบแปลงภาพจากจอโทรทัศน์เป็นภาพแบบสัมผัสสำหรับผู้พิการทางสายตา

1.3 ผลผลิตสำคัญ

ลำดับ	ชื่อผลผลิต	หน่วยวัด	ตัวชี้วัด (เชิงคุณภาพ/เชิงคุณภาพ)
1	ต้นแบบระบบแปลงภาพจากจอโทรทัศน์เป็นภาพแบบสัมผัสสำหรับผู้พิการทางสายตา	1 เครื่อง	ขนาด 11 นิ้ว มีความละเอียด 15x10 (150) หน่วย โดยแต่ละหน่วยจะอยู่ห่างกัน 1.5 ซม. มีระยะการขึ้นลงของตัวสร้างการสัมผัส 1 ซม. สามารถหยุดที่ระยะใดก็ได้ แรงในการแสดงผลแต่ละหน่วยขนาด 500 mN มีอัตราการเปลี่ยนภาพที่อัตรา 1 ภาพในทุก 5 วินาที

1.4 แผนปฏิบัติการโครงการ

ลำดับ	กิจกรรมที่สำคัญ	ระยะเวลาการดำเนินงาน								น้ำหนัก (%)
		ประจำปี 2565				ประจำปี 2566				
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	
1	ค้นคว้าหาข้อมูลเพิ่มเติมของงานวิจัยและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับระบบแสดงภาพแบบสัมผัส		✓							12.5
2	ออกแบบทางกลระบบแสดงภาพแบบสัมผัส			✓	✓					12.5
3	ออกแบบทางไฟฟ้าระบบแสดงภาพแบบสัมผัส			✓	✓					12.5
4	ออกแบบการควบคุมระบบแสดงภาพแบบสัมผัส			✓	✓					12.5
5	โปรแกรมการรับและการจัดการสัญญาณภาพจากจอโทรทัศน์			✓	✓					12.5
6	รวมระบบการรับสัญญาณภาพจากจอโทรทัศน์ผ่านกล้องและระบบแสดงภาพแบบสัมผัส			✓	✓					12.5

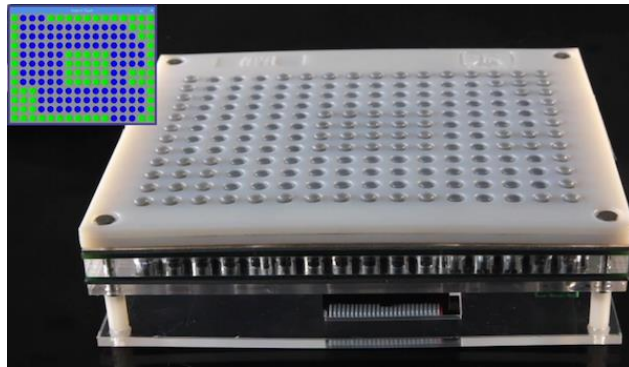
7	ทดสอบแก้ไขและประเมินผล					✓				12.5
8	สรุปการวิจัยและรายงานผล					✓				12.5
รวม										100 %

ส่วนที่ 2 ความก้าวหน้าในการดำเนินโครงการ

2.1 สรุปผลการดำเนินงาน

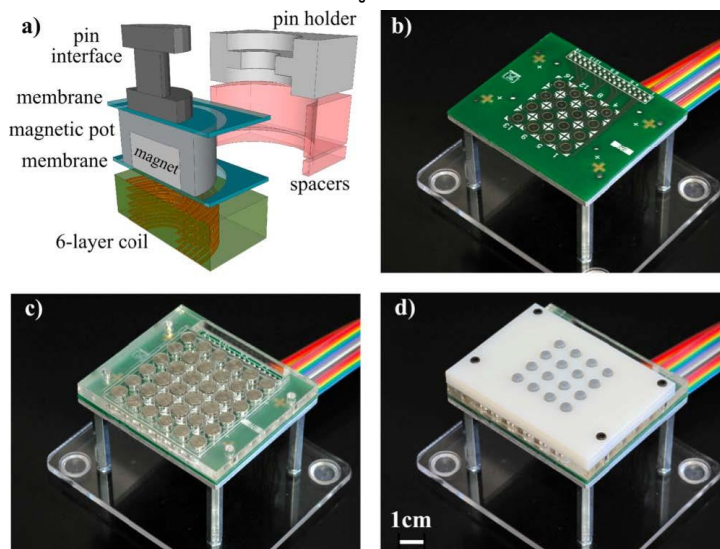
ทีมนักวิจัยได้ทำการค้นคว้าหาข้อมูลของงานวิจัยและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง กับระบบแสดงภาพแบบสัมผัส เพื่อที่จะได้ทำการเลือกและออกแบบระบบที่เหมาะสมที่สุดก่อนที่จะกำหนดเป็น specification แบบละเอียด จากการค้นคว้าหาข้อมูลพบว่ามิงานวิจัยและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องดังนี้

นักวิจัยจากสถาบัน EPFL ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ [2] ได้พัฒนาจอแบบสัมผัส (Haptic Display) มีชื่อว่า BlindPAD ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยใช้หลักการควบคุมของแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมีจำนวน 12×16 (192) หน่วย (taxels) โดยแต่ละหน่วยอยู่ห่างกัน 8 มม และระยะการขึ้นลงมีระยะ 0.8 มม โดยที่มีอัตราการแสดงผล 10 มิลลิวินาทีในการแสดงผลต่อหนึ่งหน่วย หรือเวลาในการแสดงผลทั้งหมด 1.92 วินาที แรงในการแสดงผลแต่ละหน่วยขนาด 200 mN โดยใช้แม่เหล็กขนาดเล็กติดตั้งไว้ที่แผ่นวงจรด้านล่างเพื่อทำปฏิกิริยากับสนามแม่เหล็กจากขดลวดไฟฟ้า



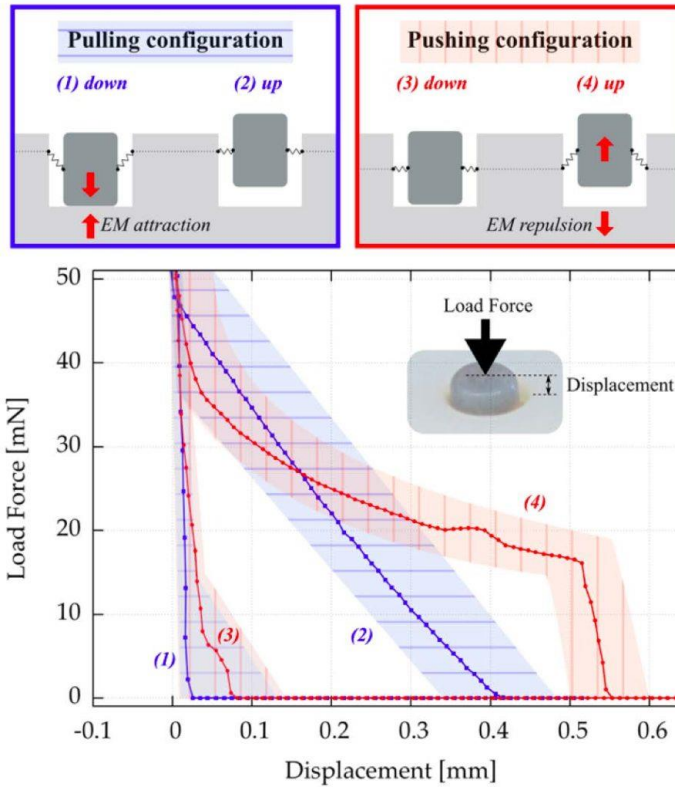
รูปที่ 1 จอแบบสัมผัส BlidPAD พัฒนาโดยนักวิจัยจาก EPFL [2]

รูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างภายในของ BlidPAD แสดงให้เห็นถึงขดลวดอยู่ด้านล่างสุด แม่เหล็กถาวรขนาดเล็กถูกติดตั้งใน magnetic pot ซึ่งยึดติดอยู่กับแท่งดิน pin ผ่าน pin holder



รูปที่ 2 โครงสร้างภายในของจอแบบสัมผัส BlindPAD [3]

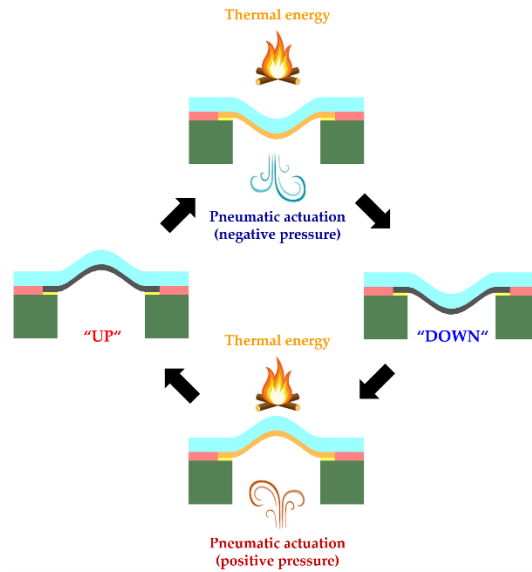
รูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงสองวิธีการในการแสดงผล รูปทางซ้ายแสดงการใช้แรงดูดในการไม่แสดงผล ในขณะที่รูปทางขวาใช้การผลักในการแสดงผล



รูปที่ 3 การแสดงผลโดยใช้การดูดและการผลักของแม่เหล็กไฟฟ้าของ BlindPAD [3]

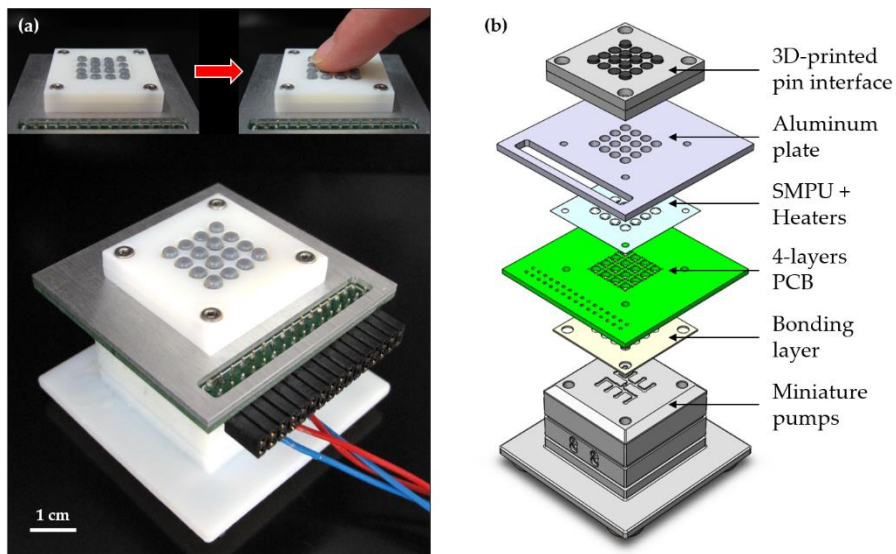
จอบแบบสัมผัส BlindPAD ถูกใช้แสดงผลต่างๆ เช่นสามารถแสดงภาพและอักขรรวมถึงอักขรเบรลล์ได้อีกด้วย ข้อจำกัดของ BlindPAD คือตัวแสดงผลจะหยุดที่สองตำแหน่งเท่านั้นคือบนสุดหรือล่างสุด นอกจากนี้แล้วจอบแบบสัมผัสนี้เป็นเพียงต้นแบบจอบแบบสัมผัสเท่านั้น ไม่ได้มีการจำหน่ายในท้องตลาด

นอกจากการใช้หลักการของแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วนักวิจัยจากสถาบัน EPFL ยังได้พัฒนาจอบแบบสัมผัสโดยใช้ โพลีเมอร์รักษารูปร่าง Shape Memory Polymer (SMP) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ Shape Memory Poly-Urethanes [4] ซึ่งมีคุณสมบัติในการจดจำรักษารูปร่างเริ่มต้นได้ และสามารถปรับรูปร่างแบบชั่วคราวโดยการเพิ่มอุณหภูมิและความเค้น SMP หลังจากนั้นจะกลับมารูปร่างเดิมเริ่มต้นได้ด้วยตัวเอง ระหว่างการเพิ่มอุณหภูมินั้นจะสามารถเปลี่ยนค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่นให้ลดลงมากกว่า 100 เท่าเมื่อเทียบกับอุณหภูมิปกติได้ดังแสดงในรูปที่ 4 ในการปรับรูปร่างโดยการเพิ่มอุณหภูมิและปรับแรงดันลม



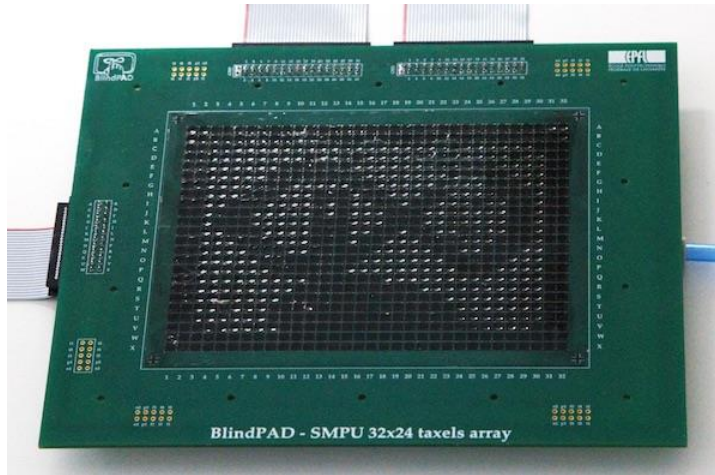
รูปที่ 4 การปรับรูปทรงโดยการเพิ่มอุณหภูมิและปรับแรงดันลม [4]

จอบแบบสัมผัสโดยใช้หลักการ SMP มีจำนวน 4×4 (16) หน่วย (taxels) โดยแต่ละหน่วยอยู่ห่างกัน 4 มม และระยะการขึ้นลงมีระยะ 0.5 มม โดยมีอัตราการแสดงผลทั้งหมด 5 วินาที แรงในการแสดงผลแต่ละหน่วยขนาด 400 mN



รูปที่ 5 จอบแบบสัมผัสโดยใช้ SMP แบบ 4×4 [4]

จอบแบบสัมผัสโดยใช้ SMP ที่สถาบัน EPFL รุ่นล่าสุดมีจำนวนหน่วยถึง 24×32 (768) หน่วย ดังแสดงในรูปที่ 6



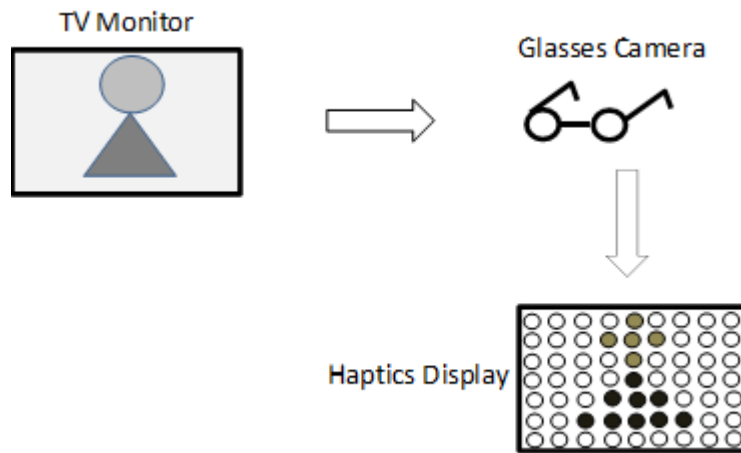
รูปที่ 6 จอแบบสัมผัสโดยการใช้ SMP แบบ 24x32 [4]

ข้อจำกัดของจอแบบสัมผัสโดยการใช้ SMP ทั้งสองแบบนี้คือตัวแสดงภาพจะหยุดที่สองตำแหน่งเท่านั้นคือบนสุดหรือล่างสุด นอกจากนี้แล้วยังเป็นเพียงต้นแบบจอแบบสัมผัสเท่านั้น ไม่ได้มีการจำหน่ายในท้องตลาด

จากการค้นคว้าหาข้อมูลของผลงานและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องพบว่า ระบบแสดงภาพแบบสัมผัสที่มีการพัฒนามาก่อนหน้านั้น ตัวสร้างการสัมผัสจะหยุดได้แค่ตำแหน่งสูงสุดและตำแหน่งต่ำสุดเท่านั้นไม่มีระบบใดเลยที่สามารถจะบังคับตำแหน่งให้หยุดที่ตำแหน่งอื่น ๆ ใด ๆ ได้ การหยุดแค่สองตำแหน่งทำให้การสร้างหน่วยการเคลื่อนที่ไม่ซับซ้อนสามารถที่จะสร้างให้มีขนาดเล็กได้ นอกจากนี้แล้วยังไม่มีงานวิจัยหรือผลิตภัณฑ์ใด ๆ เลยที่รับสัญญาณเข้าเป็นภาพจากโทรทัศน์เพื่อนำมาแสดงผลเป็นภาพแบบสัมผัส ดังนั้นระบบแสดงภาพแบบสัมผัสที่จะพัฒนาขึ้นจึงมีความแปลกใหม่ไม่เหมือนงานใด ๆ ก่อนหน้า จากการศึกษาค้นคว้าหาขนาดของระบบแสดงภาพแบบสัมผัสที่เหมาะสมพบว่าระบบแสดงภาพแบบสัมผัสที่มีขนาด 11 นิ้ว เป็นขนาดที่ใช้งานได้ง่ายพกพาสะดวก ขนาด 11 นิ้วเป็นขนาดของอุปกรณ์ IPAD ที่เป็นอุปกรณ์ Tablet ที่ได้รับความนิยมสูงสุดขณะนี้ ขนาดความละเอียด 15x10 (150) หน่วย โดยแต่ละหน่วยจะอยู่ห่างกัน 1.5 ซม เป็นขนาดที่เหมาะสมไม่เล็กจนเกินไปจนไม่สามารถสร้างได้ และไม่ใหญ่จนเกินไปจนทำให้ภาพแบบสัมผัสขาดความละเอียดและความเสมือนจริง ระยะการขึ้นลงของตัวสร้างการสัมผัส 1 ซม เป็นระยะที่เหมาะสมถึงแม้ว่าช่วงการเคลื่อนที่จะค่อนข้างเยอะแต่ก็ทำให้สามารถสร้างภาพแบบสัมผัสที่หลากหลายระดับได้ แรงในการแสดงผลแต่ละหน่วยขนาด 500 mN เป็นแรงที่มากพอที่จะรักษาตำแหน่งต่าง ๆ ได้ หากต้องการแรงในการรักษาตำแหน่งมากกว่านี้จะต้องใช้ขดลวดที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถสร้างให้แต่ละหน่วยอยู่ห่างกัน 1.5 ซม ได้ อัตราการเปลี่ยนภาพที่อัตรา 1 ภาพในทุก 5 วินาที เป็นระยะเวลาที่ผู้พิการทางสายตาสามารถที่จะลูบคลำ ระบบแสดงผลแบบสัมผัสได้ครบทุกหน่วยและรับรู้ได้ถึงรูปแบบสัมผัส

หลักการทำงานของระบบแปลงภาพจากจอโทรทัศน์เป็นภาพแบบสัมผัสสำหรับผู้พิการทางสายตาที่จะพัฒนาขึ้นนั้น จะเริ่มจากการที่ผู้พิการทางสายตารับชมรายการทางโทรทัศน์โดยทำการสวมแว่นตาที่ติดตั้งกล้อง เพื่อ

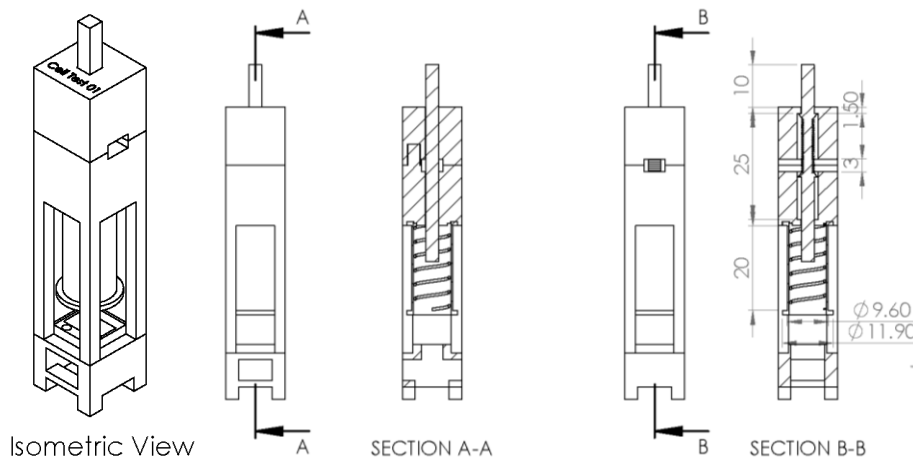
ทำการรับสัญญาณภาพที่ปรากฏบนหน้าจอตริททัศน์ ตัวประมวลผลของระบบจะทำการจัดการสัญญาณภาพที่รับมา เพื่อหาตำแหน่งของหน้าจอตริททัศน์ในภาพ แล้วทำการแปลงจากภาพสีเป็นภาพแบบเกรย์สเกลขาวดำ การหาเส้นขอบของวัตถุในภาพจะทำให้สามารถรู้ขอบเขตของวัตถุต่าง ๆ ก่อนที่จะทำการปรับขนาดของค่าความเข้ม (quantization and thresholding) ของแต่ละวัตถุ ภาพที่ได้รับการจัดการสัญญาณแล้วจะถูกส่งไปที่จอแบบสัมผัส เพื่อทำการสร้างภาพแบบสัมผัส โดยที่ความสูงของหน่วยต่าง ๆ ในส่วนแสดงภาพในจอแบบสัมผัสจะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มที่ส่งมา ผู้พิการทางสายตาจะใช้นิ้วและฝ่ามือในการลูบคลำบนอุปกรณ์สร้างภาพแบบสัมผัสเพื่อรับรู้ถึงรูปภาพที่แสดงอยู่บนหน้าจอตริททัศน์ รูปที่ 7 แสดงถึงการใช้งานของระบบแปลงภาพจากจอตริททัศน์เป็นภาพแบบสัมผัสสำหรับผู้พิการทางสายตา



รูปที่ 7 การใช้งานของระบบแปลงภาพจากจอตริททัศน์เป็นภาพแบบสัมผัสที่จะพัฒนาขึ้น

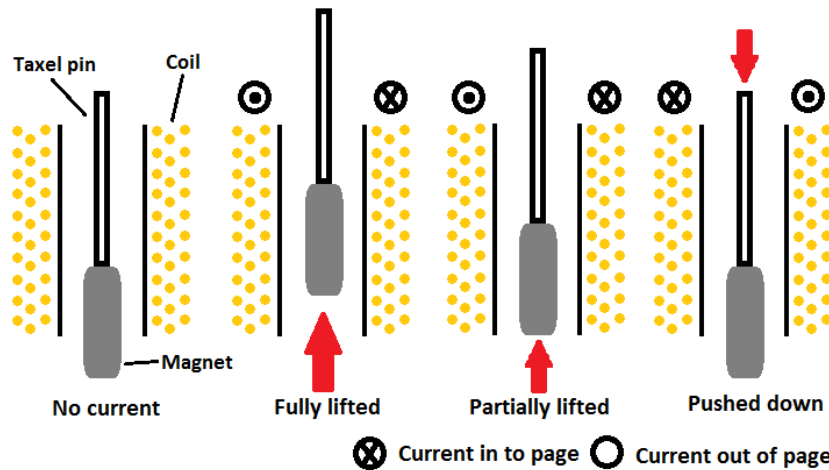
2.1.1 การออกแบบทางกลระบบแสดงภาพแบบสัมผัส

การออกแบบแต่ละหน่วยของเซลล์เคลื่อนที่ของระบบแสดงภาพแบบสัมผัสเป็นดังที่ถูกระบุแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แต่ละหน่วยของเซลล์เคลื่อนที่ของระบบแปลงภาพจากจอตริททัศน์เป็นภาพแบบสัมผัส

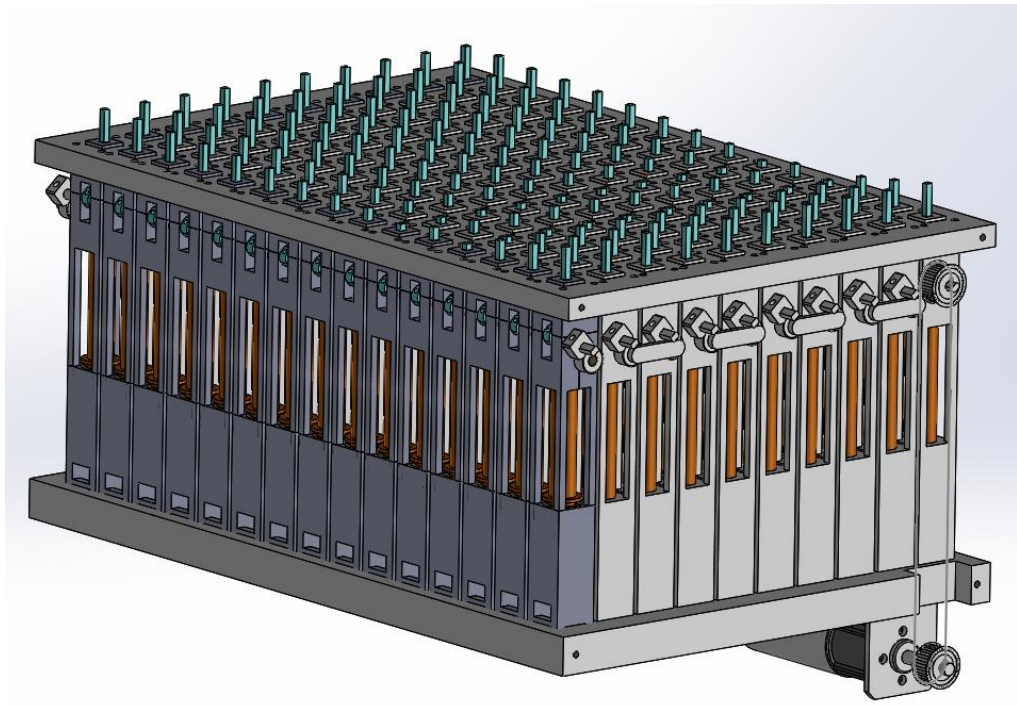
แม่เหล็ก Neodymium ถูกติดตั้งไว้ในแท่งเซลล์การเคลื่อนที่โดยมีขั้วเหนืออยู่ด้านล่างขั้วใต้อยู่ข้างบน หากขดลวดแม่เหล็กถูกขับด้วยกระแสไฟฟ้าในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาหากมองจากด้านบน สนามแม่เหล็กภายในขดลวดโซลินอยด์จะมีทิศทางจากด้านล่างขึ้นด้านบน ทำให้เกิดการผลักแม่เหล็ก Neodymium ทำให้แท่งเซลล์ทำการเคลื่อนที่ขึ้น แต่หากทำการกลับทิศของกระแสไฟฟ้า สนามแม่เหล็กจากขดลวดจะอยู่ในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้แท่งเซลล์ทำการเคลื่อนที่ลงดังแสดงในรูปที่ 9



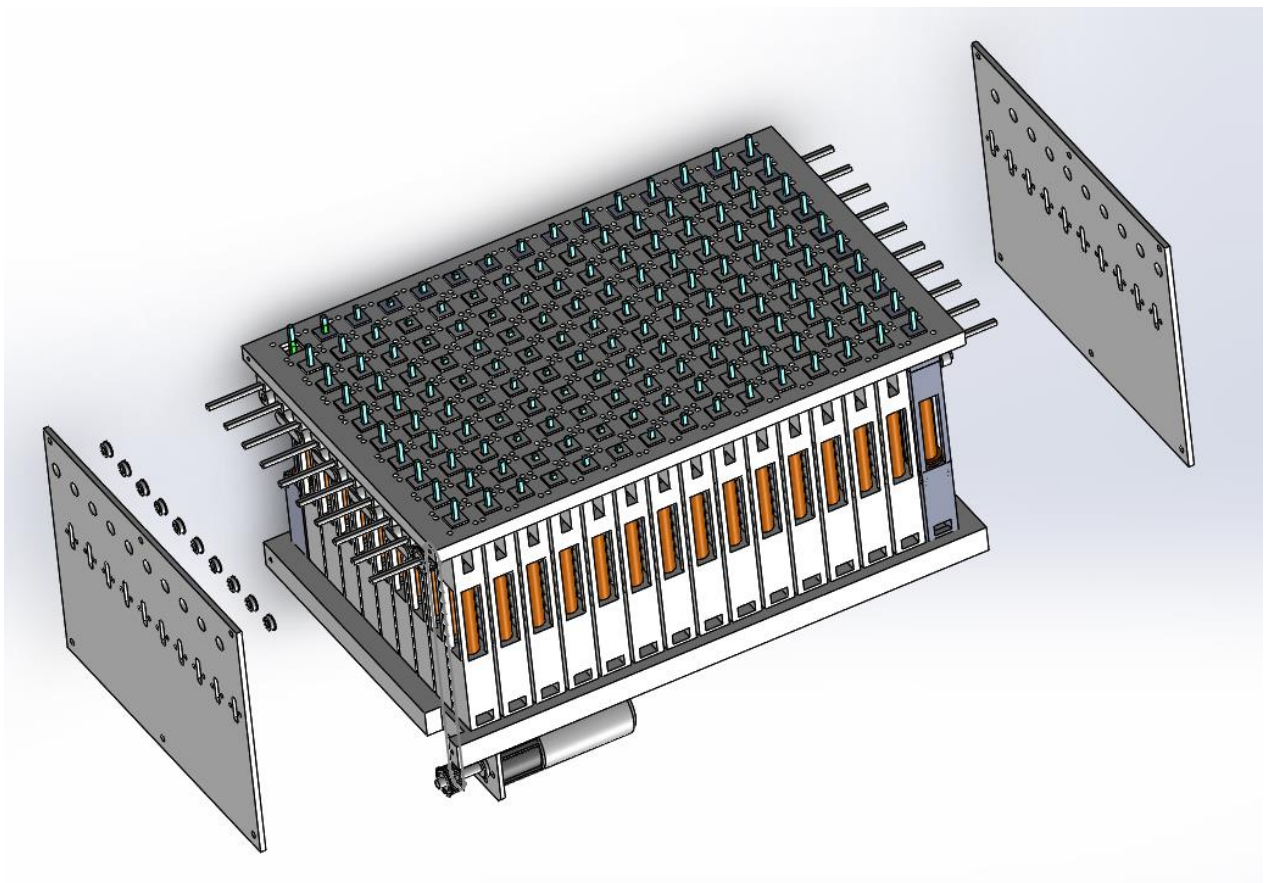
รูปที่ 9 หลักการการเคลื่อนที่ของเซลล์เคลื่อนที่ของระบบแปลงภาพจากจอโทรทัศน์เป็นภาพแบบสัมผัส

นักวิจัยได้ทำการทดลองหาจำนวนรอบในการพันขดลวดและพบว่าขนาดจำนวนรอบที่เหมาะสมคือขนาด 700 รอบ หากจำนวนรอบน้อยกว่านี้แรงจากแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีขนาดไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ หากจำนวนรอบมากกว่านี้ขนาดของเซลล์เคลื่อนที่จะมีขนาดอ้วนจนเกินไปและไม่สามารถประกอบเข้าไปในระบบที่ถูกออกแบบให้มีระยะห่างระหว่างเซลล์ 1.5 ซม. ได้

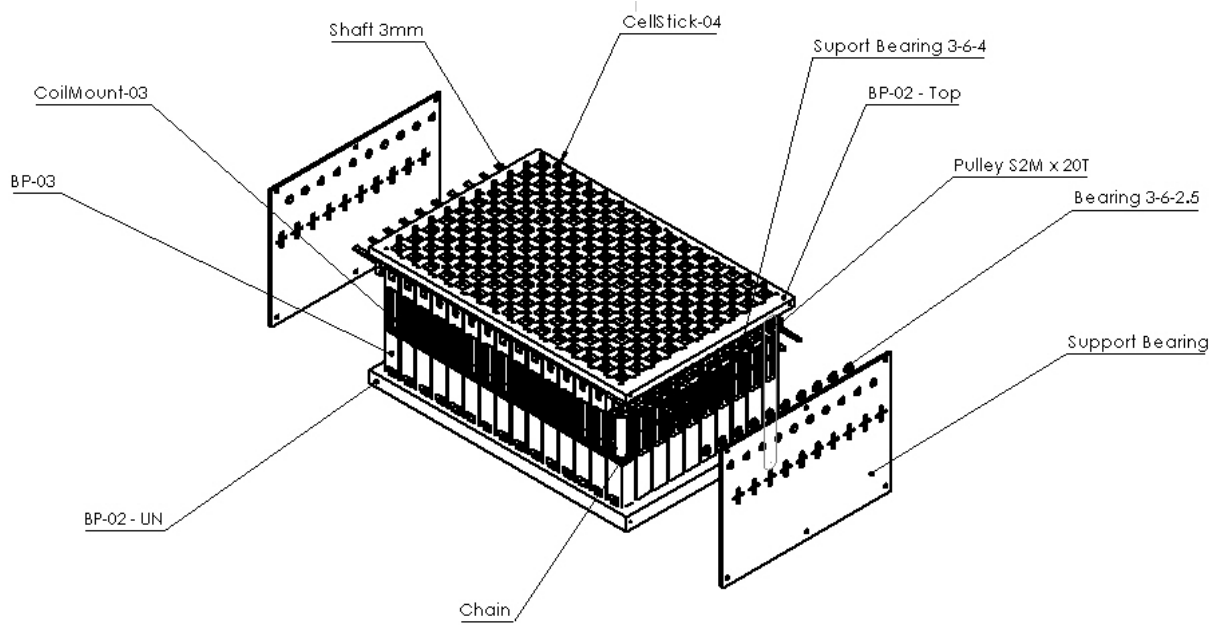
ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของระบบแสดงภาพแบบสัมผัสได้ถูกออกแบบและถูกนำมาประกอบเข้าด้วยกันเพื่อประกอบเป็นแต่ละหน่วยของเซลล์ และเป็นระบบแสดงภาพแบบสัมผัสจำนวน 150 เซลล์ แบบวาดของชิ้นส่วนต่าง ๆ ทางกลและแบบวาดการประกอบต่าง ๆ ถูกแสดงในรูปที่ 10 – รูปที่ 30



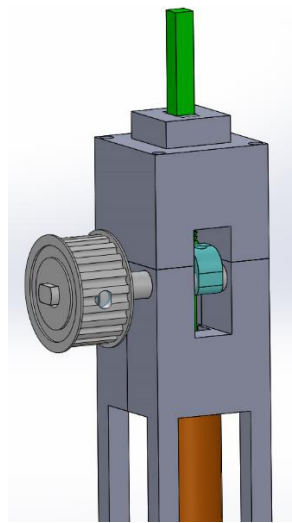
รูปที่ 10 แบบวาดระบบแสดงภาพแบบสัมผัส



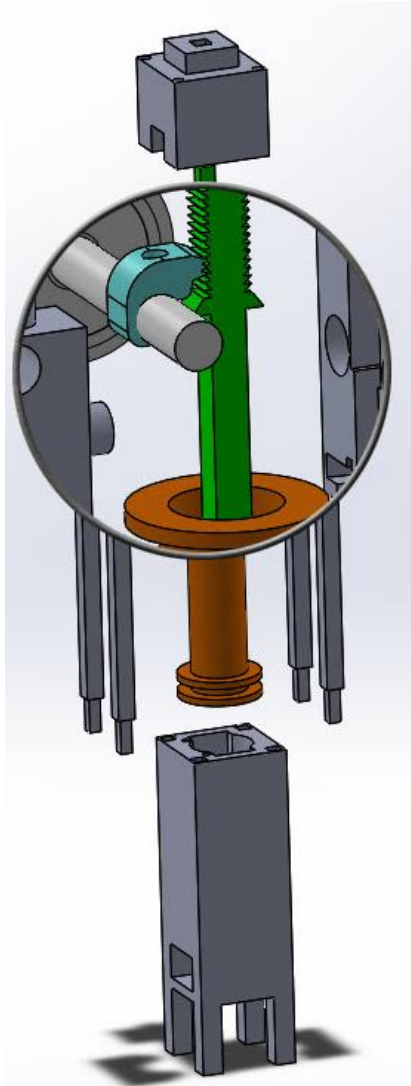
รูปที่ 11 แบบวาดการประกอบระบบแสดงภาพแบบสัมผัส



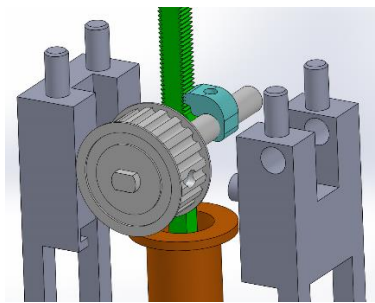
รูปที่ 12 รายชื่อชิ้นส่วนต่าง ๆ



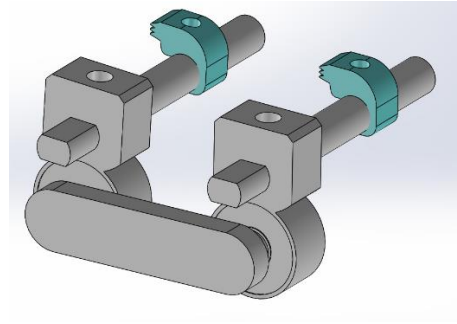
รูปที่ 13 แบบวาดแต่ละเซลล์การเคลื่อนที่



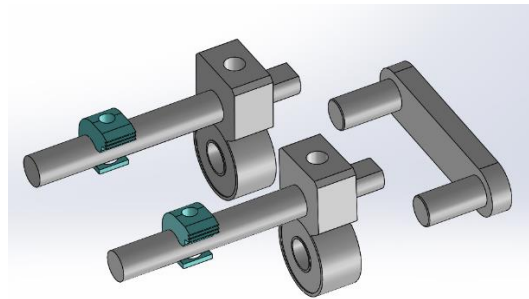
รูปที่ 14 แบบวาดการประกอบของแต่ละเซลล์การเคลื่อนที่



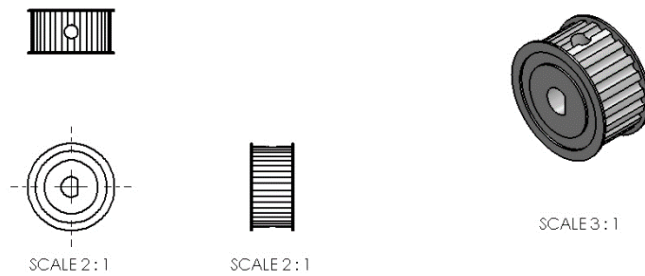
รูปที่ 15 แบบวาดการประกอบของแต่ละเซลล์การเคลื่อนที่



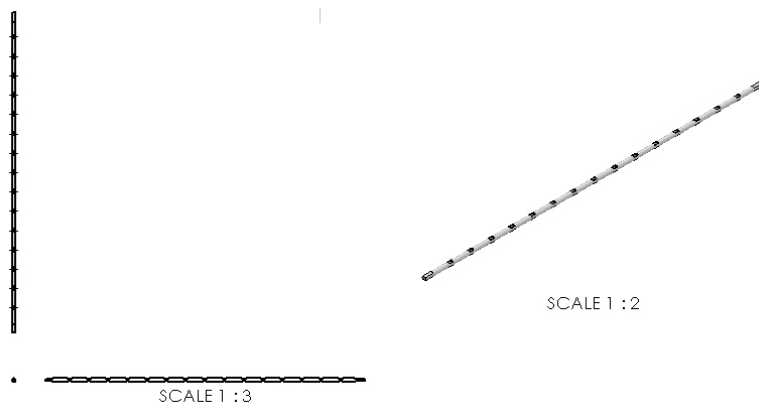
รูปที่ 16 แบบวาด BP-08



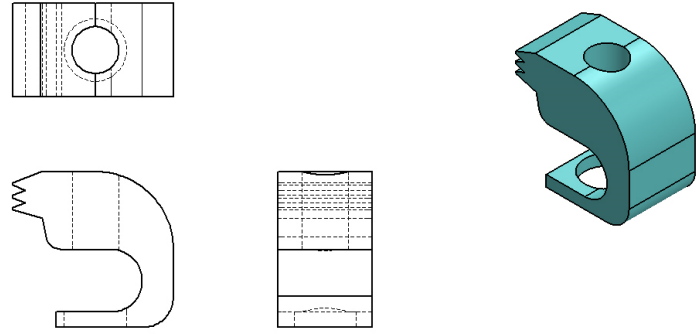
รูปที่ 17 แบบวาดการประกอบ BP-08



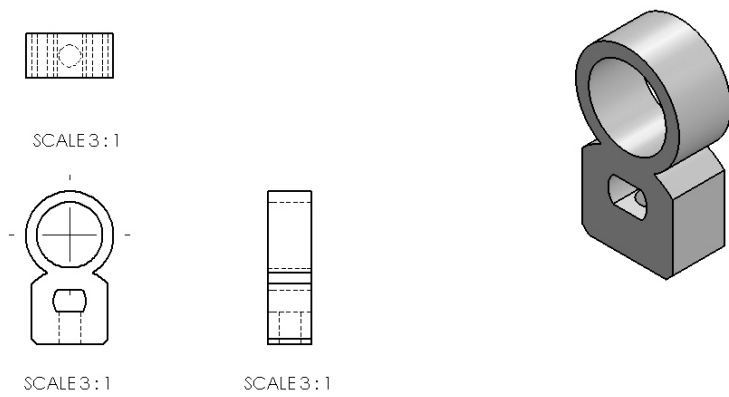
รูปที่ 18 แบบวาด Pulley



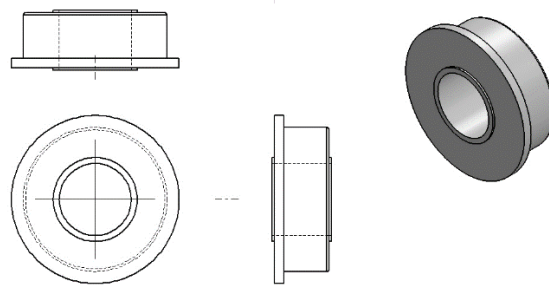
รูปที่ 19 แบบวาด 3-mm Shaft



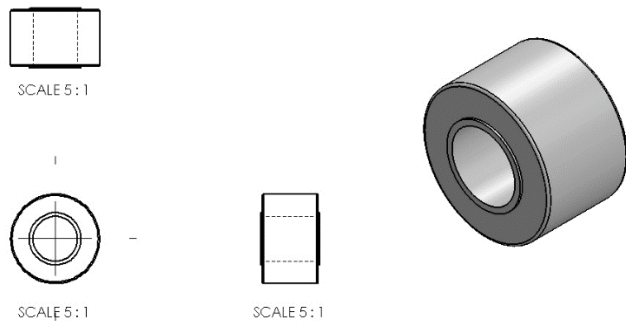
รูปที่ 20 แบบวาด Stopper



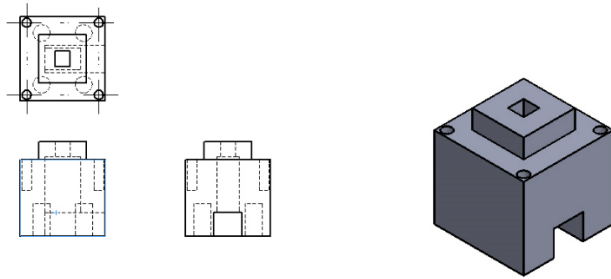
รูปที่ 21 แบบวาด Bearing Support



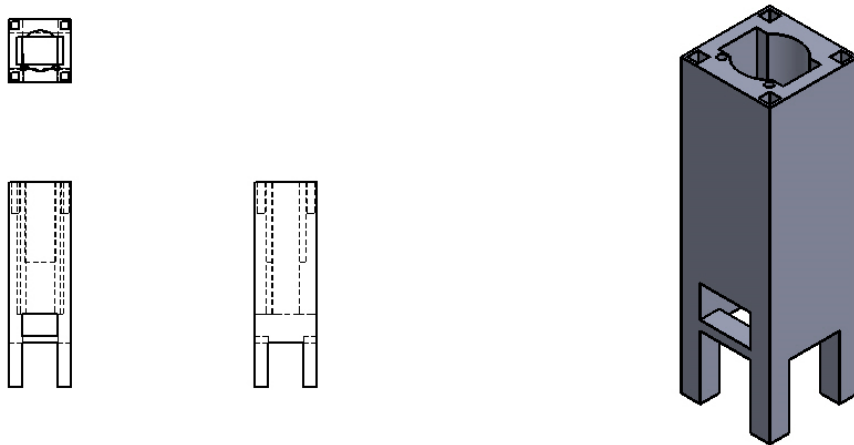
รูปที่ 22 แบบวาด Bearing 3-6-2.5



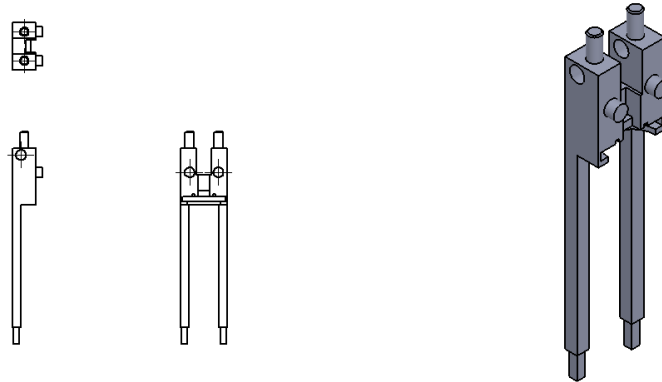
รูปที่ 23 แบบวาด Bearing 3-6-4



รูปที่ 24 แบบวาด Cell Cap



รูปที่ 25 แบบวาด Cell Bottom (BP-03)



รูปที่ 26 แบบวาด Cell Top (BP-04)



SCALE 2 : 1

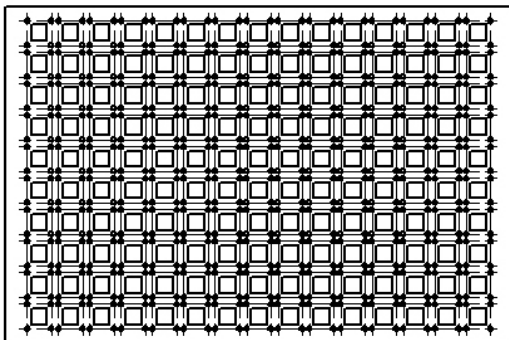
รูปที่ 27 แบบวาด Cell Stick



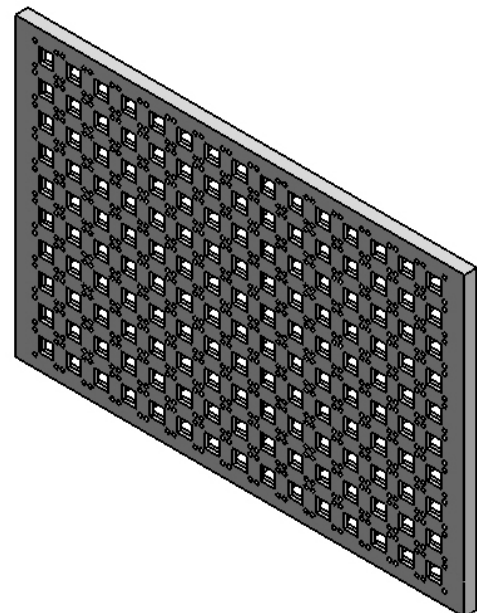
SCALE 1 : 1



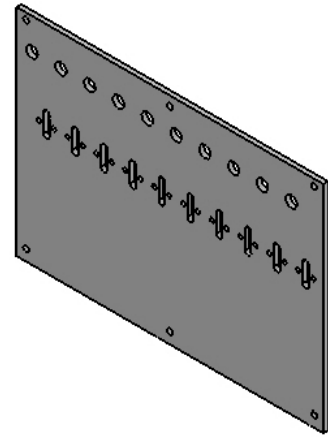
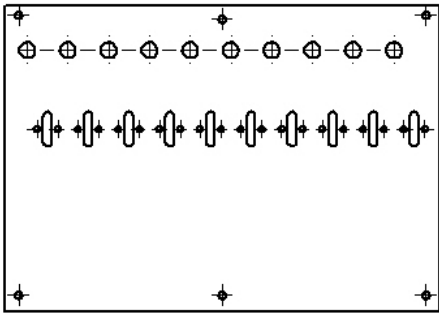
รูปที่ 28 แบบวาด Coil Mount



SCALE 1 : 2.5

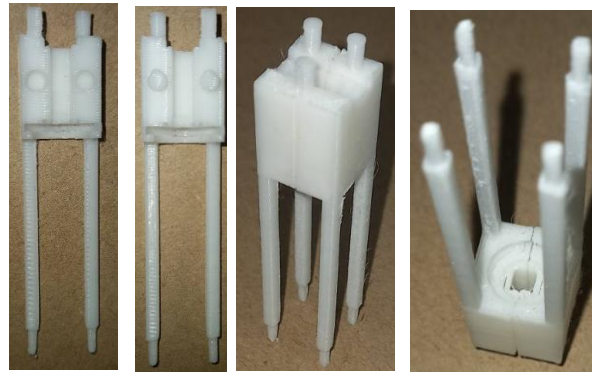


รูปที่ 29 แบบวาด BP-02



รูปที่ 30 แบบวาด Support Bearing

ภาพถ่ายของชิ้นงานที่ได้ขึ้นรูปถูกแสดงในรูปที่ 31 - รูปที่ 39



รูปที่ 31 ภาพถ่าย Cell Top (Male and Female)



รูปที่ 32 ภาพถ่าย Cell Bottom



รูปที่ 33 ภาพถ่าย Cell Cap



รูปที่ 34 ภาพถ่าย Cell Stick



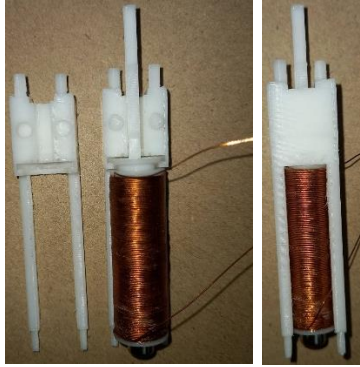
รูปที่ 35 ภาพถ่าย Coil Mount



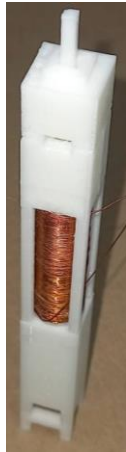
รูปที่ 36 ภาพถ่าย Coil Mount ที่ถูกพันด้วยขดลวด



รูปที่ 37 ภาพถ่าย Coil Mount ที่ถูกพันด้วยขดลวดและประกอบเข้าไปใน Cell Top

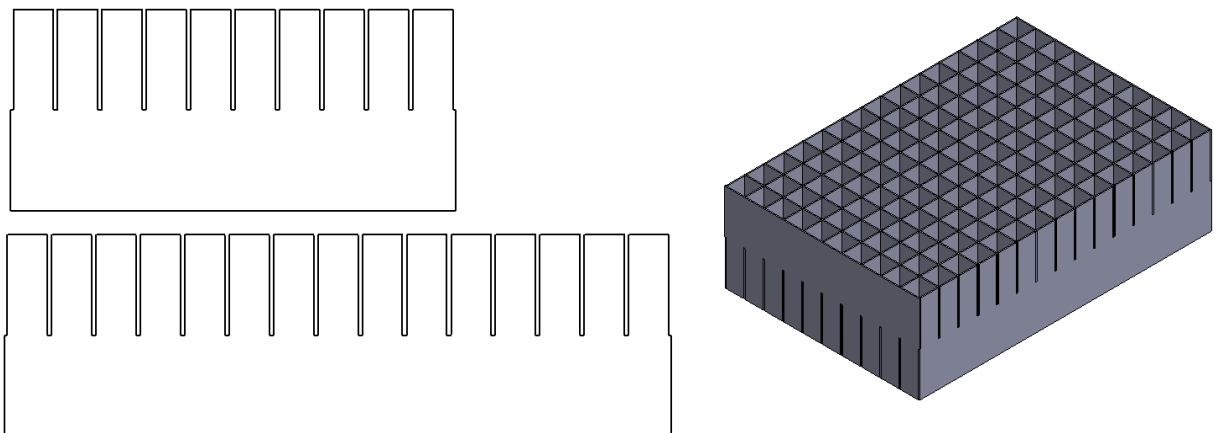


รูปที่ 38 ภาพถ่าย Cell Stick ภายในชุด Coil Mount

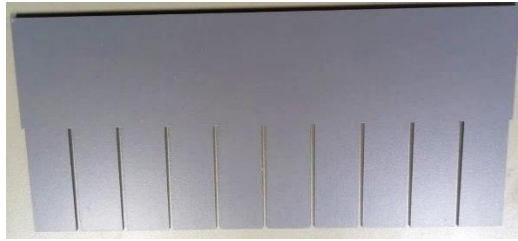
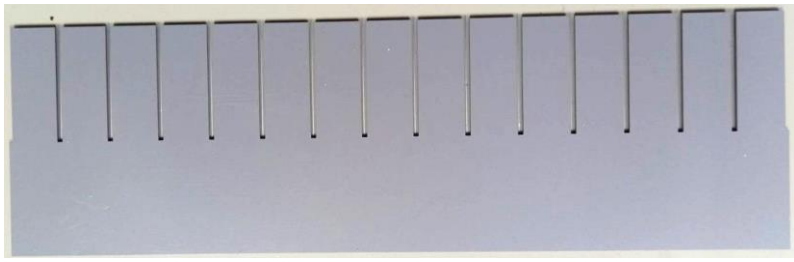


รูปที่ 39 ภาพถ่าย Cell Stick ภายในชุด Coil Mount และปิดด้วย Cell Top

หลังจากที่นักวิจัยได้ทำการพัฒนาชิ้นส่วนต่าง ๆ ตามแบบวาดและได้ทำการทดสอบการทำงานเบื้องต้นพบว่า สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากเซลล์แต่ละเซลล์มีผลต่อเซลล์ที่อยู่รอบด้าน ทำให้ไม่สามารถควบคุมระยะทางการเคลื่อนที่ของแต่ละเซลล์ตามที่ต้องการได้ นักวิจัยจึงได้ทำการป้องกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างเซลล์โดยการครอบแต่ละเซลล์โดยแผ่นโลหะดังแสดงโดยแบบวาดในรูปที่ 40 และภาพถ่ายของจริงของแผ่นโลหะซึ่งทำจากเหล็ก ss400 หนา 1 มม ดังแสดงในรูปที่ 41

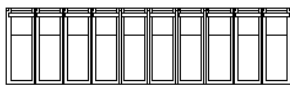
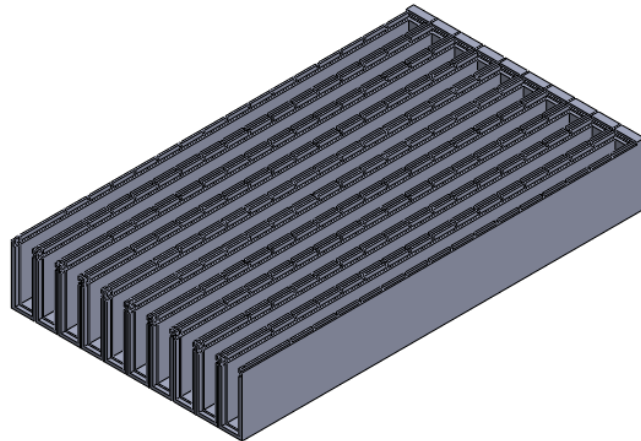
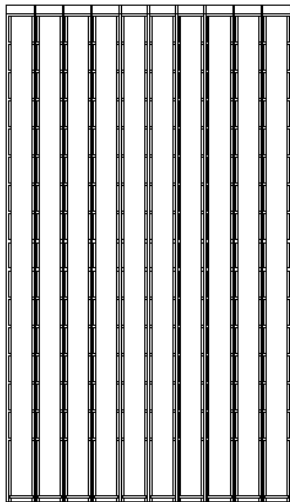


รูปที่ 40 แบบวาดแผ่นโลหะครอบป้องกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างเซลล์

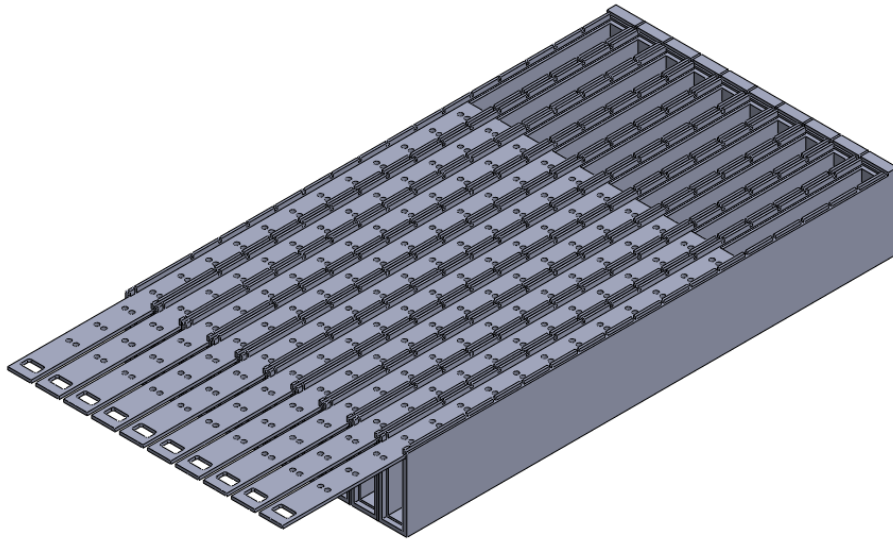


รูปที่ 41 ภาพถ่ายแผ่นโลหะครอบป้องกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างเซลล์

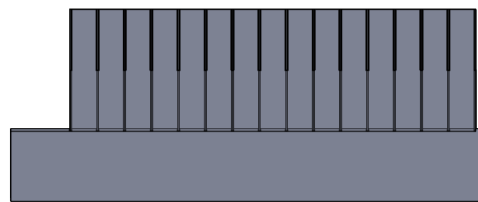
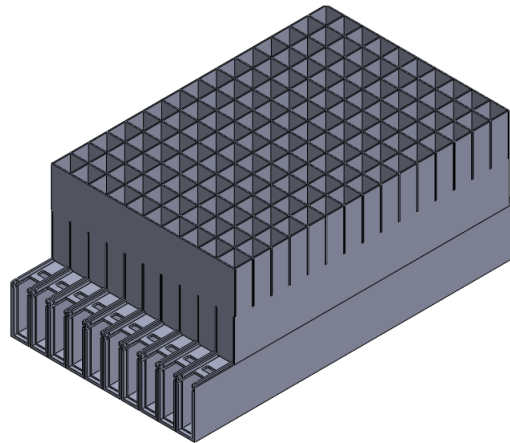
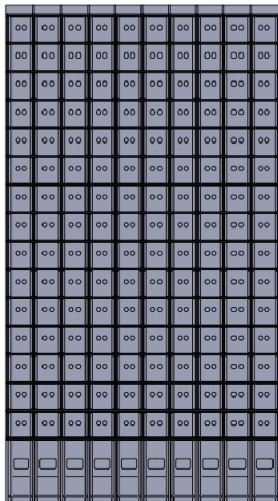
รูปที่ 42 แสดงให้เห็นถึงแบบวาดแป้นยึดแผ่นโลหะครอบป้องกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างเซลล์ รูปที่ 43 แสดงให้เห็นถึงแบบวาดช่องสอดแผงวงจรไฟฟ้าสำหรับเซ็นเซอร์อินฟราเรดวัดระยะทาง ในขณะที่รูปที่ 44 แสดงให้เห็นถึงแบบวาดหลังจากประกอบแป้นยึดแผ่นโลหะครอบป้องกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและแผงวงจรไฟฟ้าสำหรับเซ็นเซอร์อินฟราเรดวัดระยะทางเข้าด้วยกัน



รูปที่ 42 แบบวาดแป้นยึดแผ่นโลหะครอบป้องกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างเซลล์

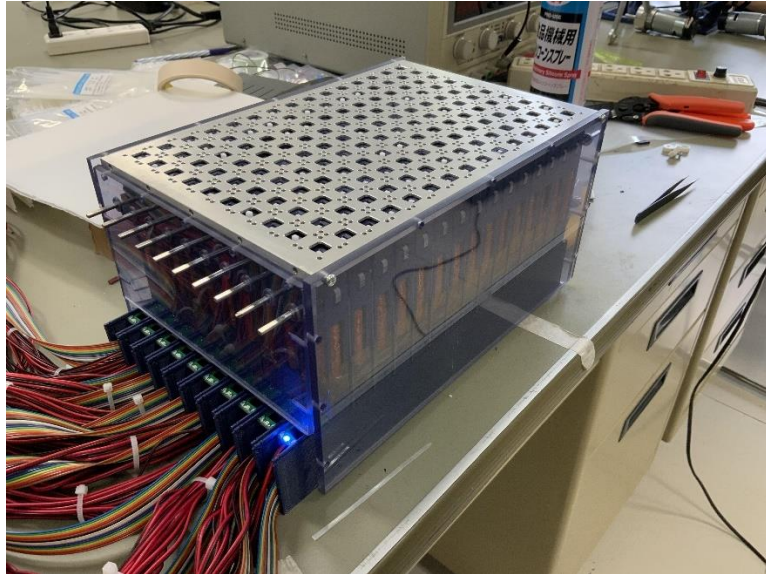


รูปที่ 43 แบบวาดช่องสอดแผงวงจรไฟฟ้าสำหรับเซ็นเซอร์อินฟราเรดวัดระยะทาง

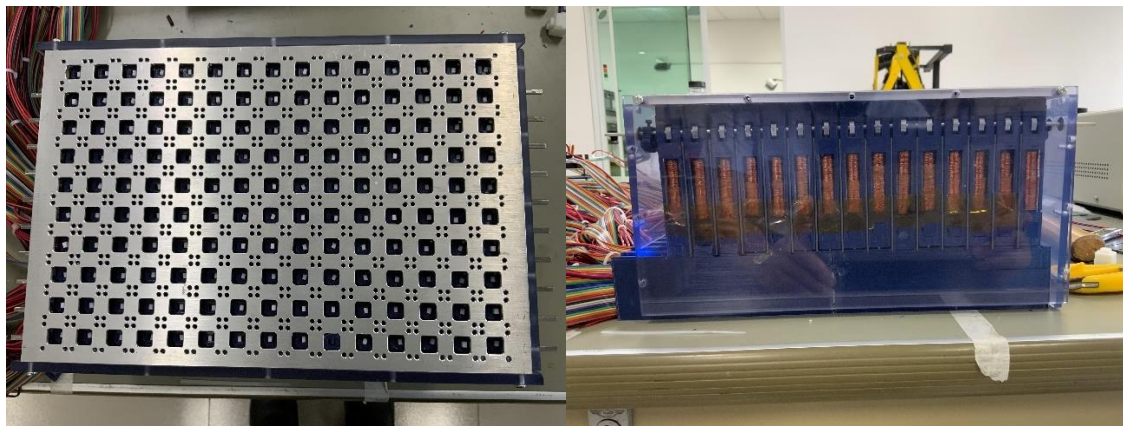


รูปที่ 44 แบบวาดหลังจากประกอบเป็นยึดแผ่นโลหะครอบป้องกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และแผงวงจรไฟฟ้าสำหรับเซ็นเซอร์อินฟราเรดวัดระยะทางเข้าด้วยกัน

นักวิจัยได้ทำการขึ้นรูปชิ้นส่วนต่าง ๆ ของระบบแสดงภาพแบบสัมผัสได้สมบูรณ์ทั้ง 150 เซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 45 - 46



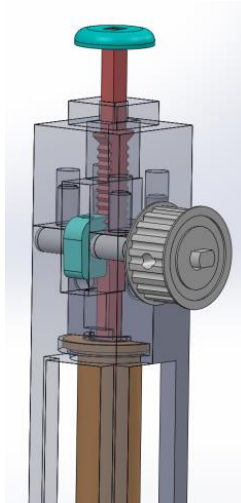
รูปที่ 45 รูปภาพมุมมองเฉียงของระบบแสดงภาพแบบสัมผัส



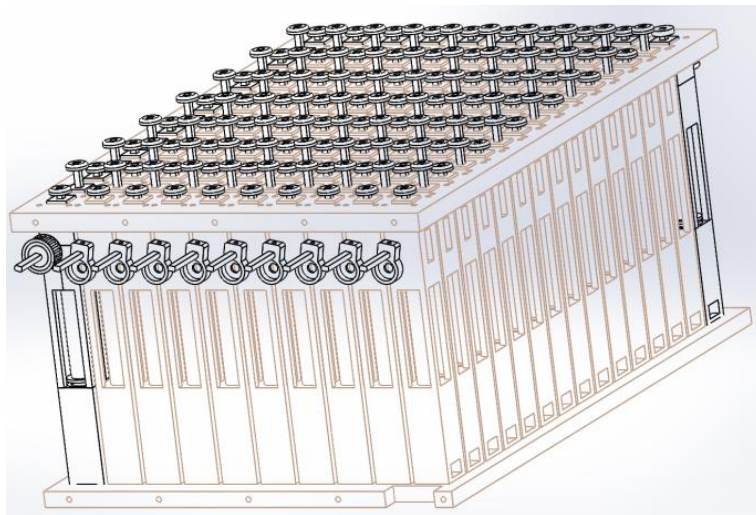
รูปที่ 46 รูปภาพมุมมองบนและมุมมองข้างของระบบแสดงภาพแบบสัมผัส

ขนาดของเซลล์มีขนาด 1.5 ซม × 1.5 ซม ซึ่งมีค่อนข้างใหญ่เนื่องจากถูกจำกัดโดยขนาดของอุปกรณ์ที่ประกอบเป็นเซลล์เช่นขนาดของขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า ที่จะสามารถสร้างการเคลื่อนที่และแรงต้านขนาดที่ต้องการ หากทำให้มีขนาดเล็กลง แรงที่เกิดขึ้นจะไม่สามารถสร้างการเคลื่อนที่และแรงต้านขนาดที่ต้องการได้ หากต้องการให้เซลล์เคลื่อนที่หยุดแค่สองตำแหน่งจะสามารถใช้การหยุดโดย Stopper จะสามารถออกแบบให้มีขนาดเล็กกว่านี้ได้มากแต่เซลล์ก็ไม่สามารถหยุด ณ ตำแหน่งใด ๆ ได้ตั้งระบบแสดงอักษรเบรลล์ที่มีขายในท้องตลาดอยู่แล้ว โครงการนี้เป็นโครงการพัฒนาระบบแสดงภาพแบบสัมผัสที่ความสูงต่าง ๆ ตามความเข้มของสัญญาณภาพเป็นระบบที่ไม่เคยมีมาก่อนและต้องใช้ออกแบบทางกลที่แตกต่างออกไปจากระบบที่มีอยู่แล้ว

ขนาดของเช็ทที่ใช้ในการล็อกการเคลื่อนที่มีขนาดเล็ก แต่เนื่องจากติดตั้งอยู่บนแกนเพลาลโลหะแบบแข็งเกร็งจึงทำให้สามารถล็อกเซลล์ให้หยุดการเคลื่อนที่ได้และเพียงพอต่อแรงต้านที่ต้องการขนาด 500 mN ได้ แบบวาดของระบบล็อกแกนเพลาลจำนวนหนึ่งเซลล์ถูกแสดงในรูปที่ 47 แบบวาดของระบบล็อกแกนเพลาลของทั้ง 150 เซลล์ถูกแสดงในรูปที่ 48 ขณะที่ภาพถ่ายของระบบล็อกแกนเพลาลถูกแสดงในรูปที่ 49



รูปที่ 47 แบบวาดของระบบล็อกแกนเพลลาจำนวนหนึ่งเซลล์

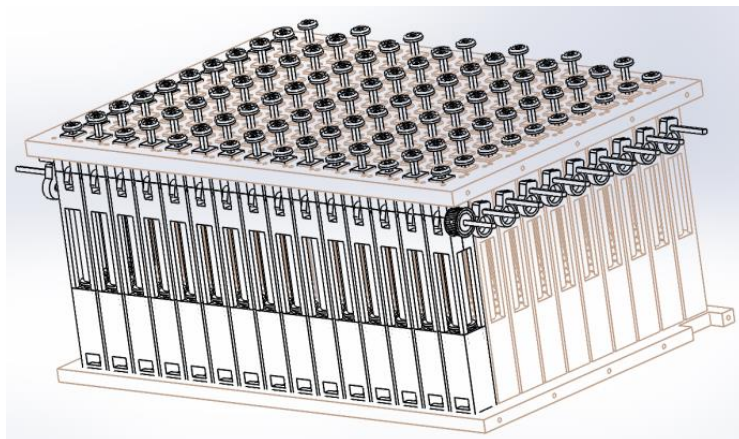


รูปที่ 48 แบบวาดของระบบล็อกแกนเพลลาของทั้ง 150 เซลล์

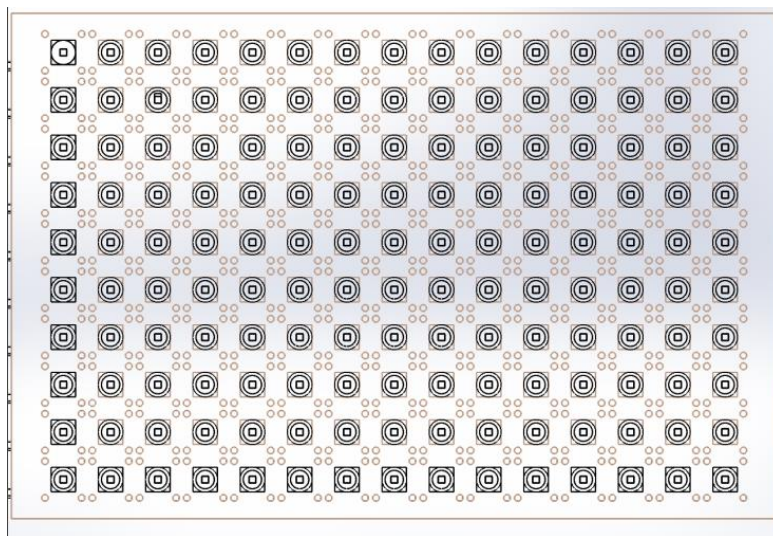


รูปที่ 49 ภาพถ่ายของระบบล็อกแกนเพลลา

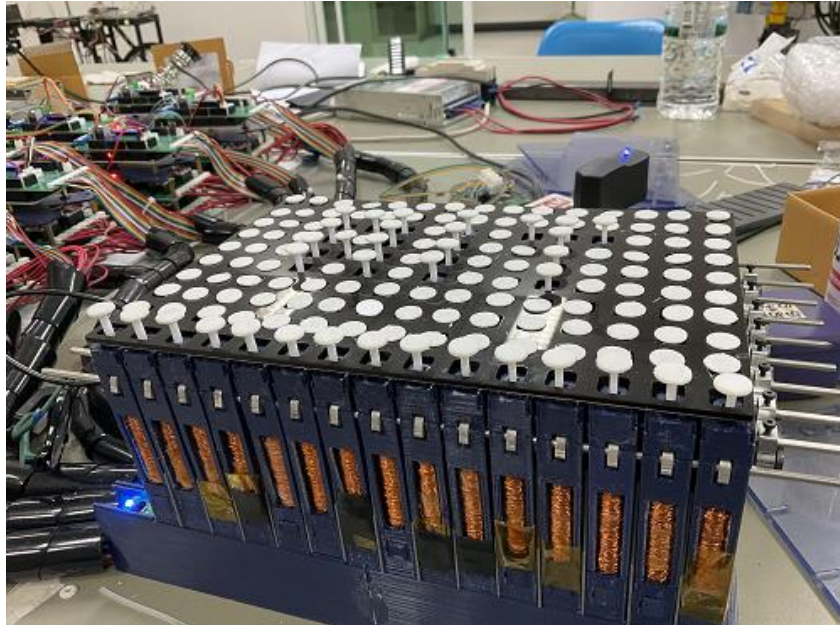
แผ่นครอบรองกดรูปวงกลมถูกนำมาครอบบริเวณด้านบน ของแต่ละเซลล์เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัสกับนิ้ว และมือของผู้สัมผัส แบบวาดของแผ่นครอบรองกดรูปวงกลมถูกแสดงในรูปที่ 50 แบบวาดของแผ่นครอบรองกดรูปวงกลมจากมุมมองบนถูกแสดงในรูปที่ 51 ขณะที่ภาพถ่ายของแผ่นครอบรองกดรูปวงกลมขณะแสดงภาพตัวอักษร AIT ถูกแสดงในรูปที่ 52



รูปที่ 50 แบบวาดของแผ่นครอบรองกดรูปวงกลม



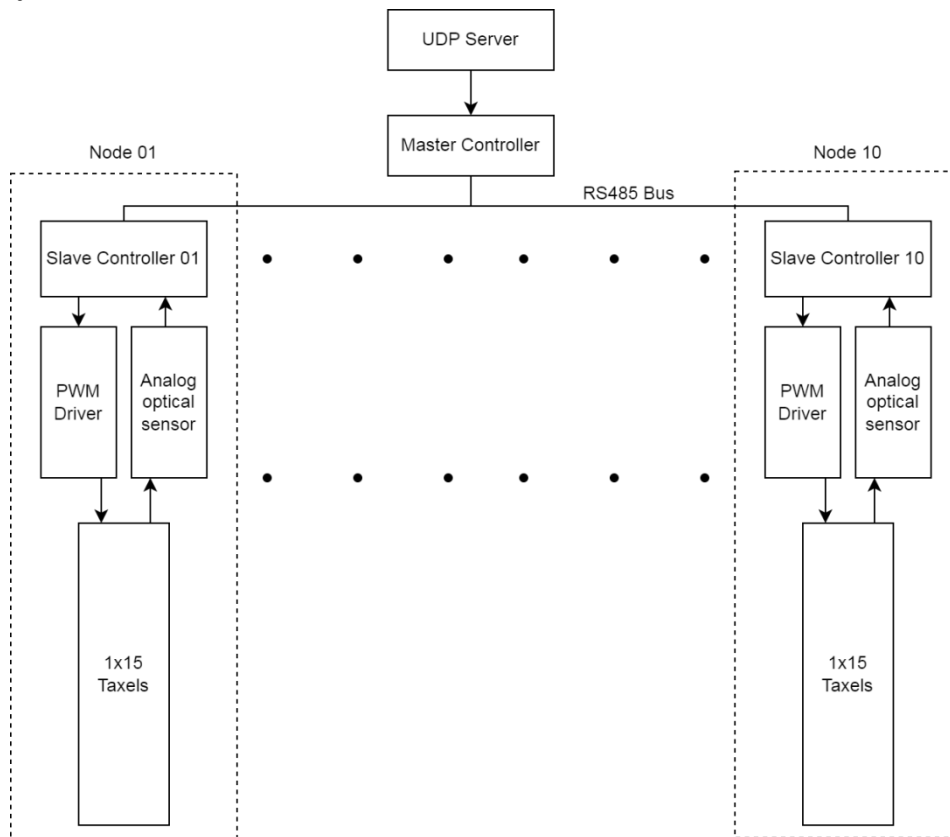
รูปที่ 51 แบบวาดของแผ่นครอบรองกดรูปวงกลมจากมุมมองบน



รูปที่ 52 ภาพถ่ายของแผ่นคลอกรองกตรูปวงกลมขณะแสดงภาพตัวอักษร AIT

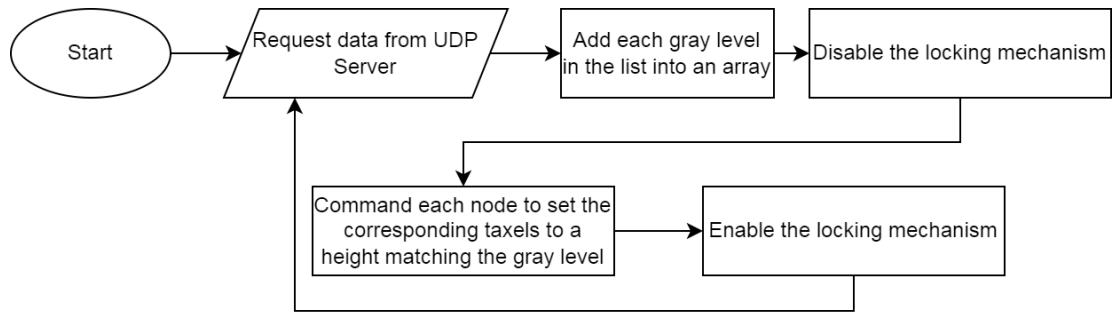
2.1.2 การออกแบบทางไฟฟ้าระบบแสดงภาพแบบสัมผัส

สถาปัตยกรรมการเชื่อมต่อทางไฟฟ้า ของอุปกรณ์ต่างของระบบแปลงภาพจากจอโทรทัศน์เป็นภาพแบบสัมผัสแสดงในรูปที่ 53



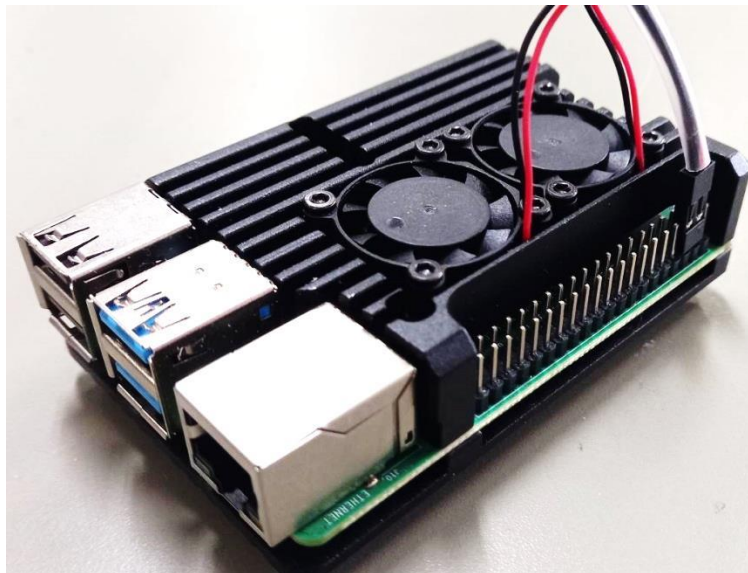
รูปที่ 53 สถาปัตยกรรมการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าของระบบแปลงภาพจากจอโทรทัศน์เป็นภาพแบบสัมผัส

โดยตัวควบคุมหลักการแสดงผลภาพแบบสัมผัส (Master Controller) จะทำหน้าที่เป็น UDP Client ในการขอและรับข้อมูลความเข้มเฉลี่ยของภาพภายในของแต่ละเซลล์จำนวน 150 เซลล์ ที่ได้รับการจัดการภาพมาก่อนหน้าจาก UDP Server ผ่านโปรโตคอลการสื่อสารแบบ UDP/IP สาเหตุที่ไม่ใช้การสื่อสารแบบ TCP/IP เนื่องจากจะสนใจเฉพาะค่าความเข้มเฉลี่ยล่าสุด ไม่จำเป็นต้องสนใจข้อมูลของความเข้มเฉลี่ยของภาพภายในของแต่ละเซลล์ที่ส่งมาก่อนหน้า การออกแบบการสื่อสารเช่นนี้จะช่วยลดการตีเลยของการสื่อสารได้ หลังจากนั้นตัวควบคุมหลักจะทำการส่งข้อมูลความเข้มเฉลี่ยของภาพภายในของแต่ละเซลล์จำนวน 15 เซลล์ไปให้ ตัวควบคุมรอง (Slave Controller) จำนวน 10 ตัวควบคุม ผ่านระบบบัส RS485 โดยที่ตัวควบคุมรองแต่ละตัวจะทำการควบคุมตำแหน่งของเซลล์จำนวน 15 เซลล์ Raspberry Pi 4 ถูกใช้เป็นตัวควบคุมหลักของระบบ Arduino Mega 2560 ซึ่งมี ADC จำนวน 16 ช่อง UART จำนวน 1 ช่อง และ I²C จำนวน 1 ช่อง ถูกใช้เป็นตัวควบคุมรอง รูปที่ 54 แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการทำงานของตัวควบคุมหลัก

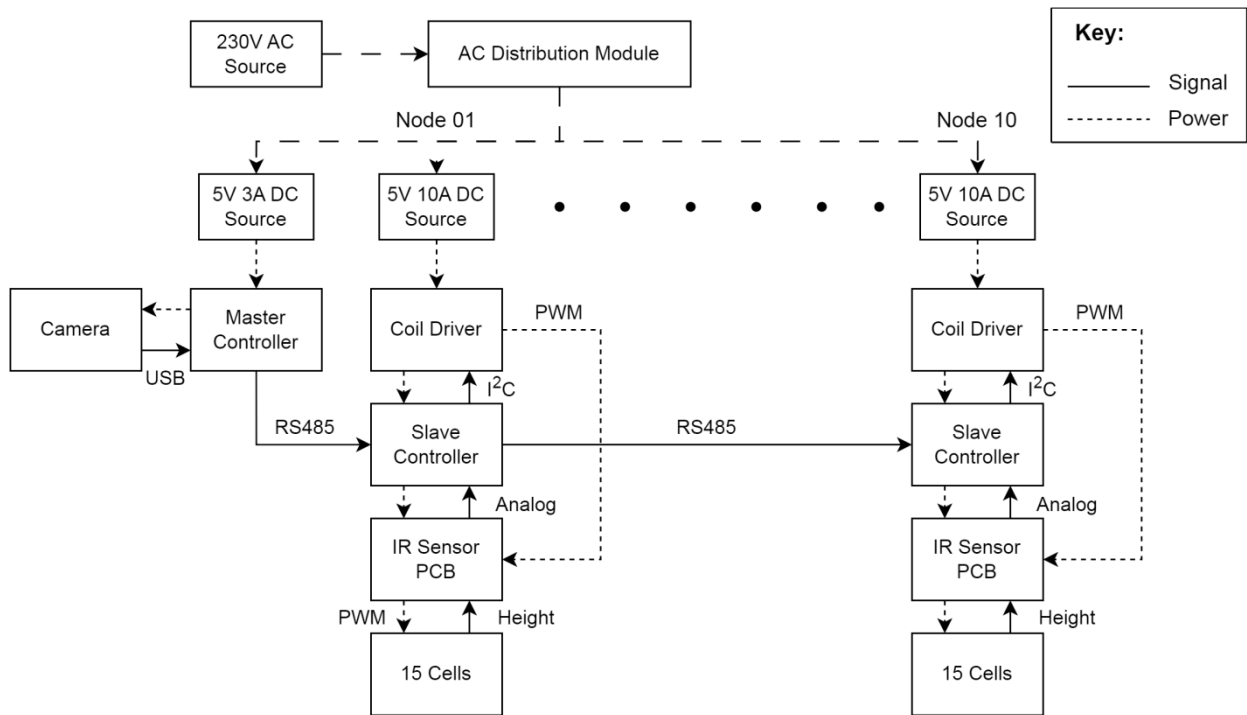


รูปที่ 54 ขั้นตอนการทำงานของตัวควบคุมหลัก

รูปที่ 55 แสดงภาพของ Raspberry Pi 4 ซึ่งถูกใช้เป็นตัวควบคุมหลัก ในขณะที่ไดอะแกรมในรูปที่ 56 แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมต่อของพลังงานไฟฟ้าหลัก สัญญาณเซ็นเซอร์และสัญญาณวงจรถับขดลวดแม่เหล็ก

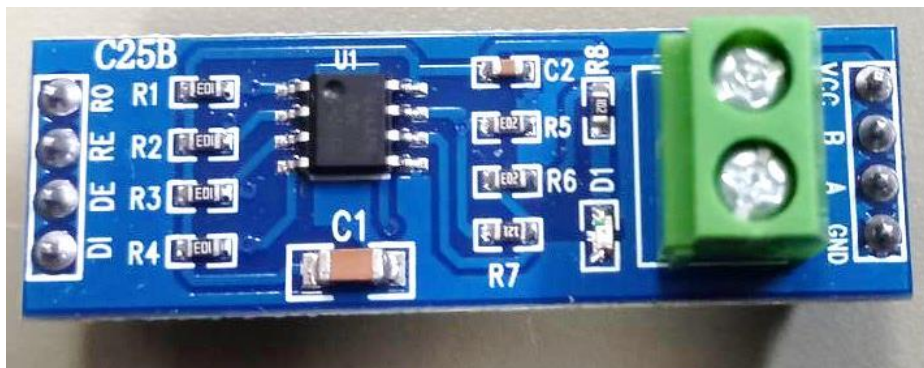


รูปที่ 55 Raspberry Pi 4 ซึ่งถูกใช้เป็นตัวควบคุมหลัก



รูปที่ 56 ไดอะแกรมการเชื่อมต่อของพลังงานไฟฟ้าหลัก สัญญาณเซ็นเซอร์และสัญญาณวงจรขับเคลื่อนแม่เหล็ก

ตัวควบคุมรอกทั้งหมดจะเชื่อมต่อกับระบบบัส RS485 นักวิจัยได้ใช้ MAX485 RS485 Transiever Module ดังแสดงในรูปที่ 57 สำหรับตัวควบคุมรอกทั้งหมด



รูปที่ 57 รูปภาพของ MAX485 RS485 Transiever Module

โพรโตคอลการสื่อสารผ่าน RS485 ประกอบไปด้วย ไบท์เริ่มต้นและไบท์ข้อมูล ในขณะที่ไบท์ข้อมูลจะเป็น คำสั่งของระยะทางของแต่ละเซลล์จำนวน 15 เซลล์และไบท์สุดท้าย/ไบท์เริ่มต้น โดยมีทั้งหมด 10 ชุดสำหรับตัว ควบคุมรอกทั้ง 10 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 58

Full Packet

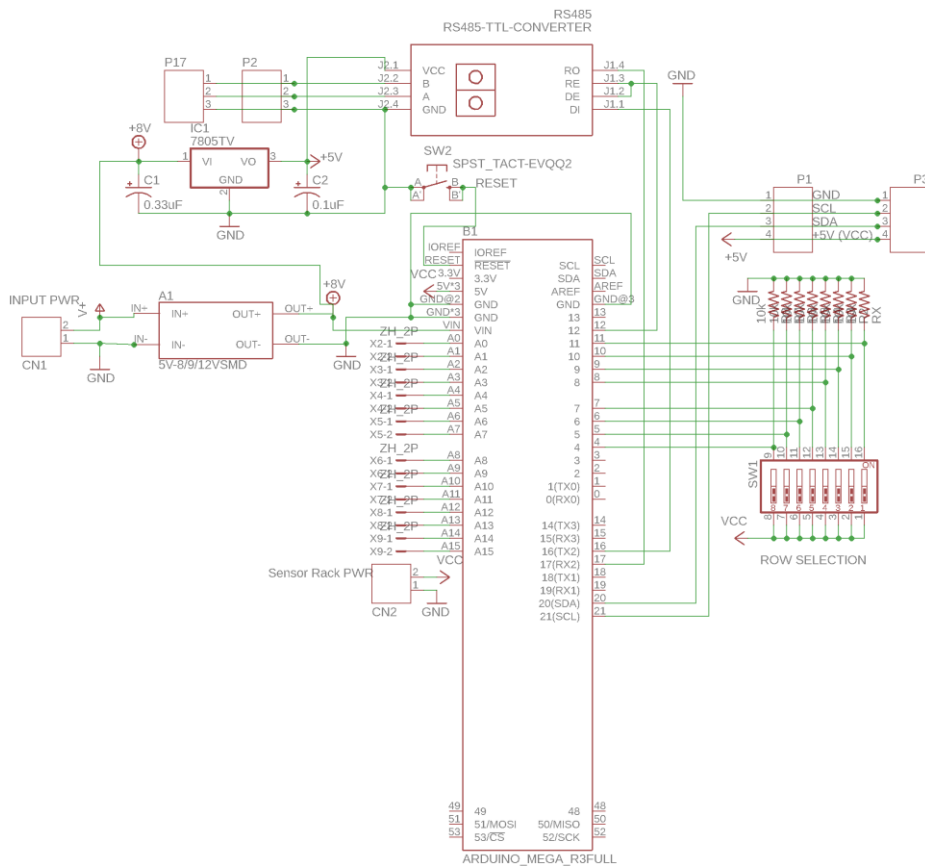
Byte 0	Bytes 1-161
Start Byte (0x00)	Message Packet

Message Packet

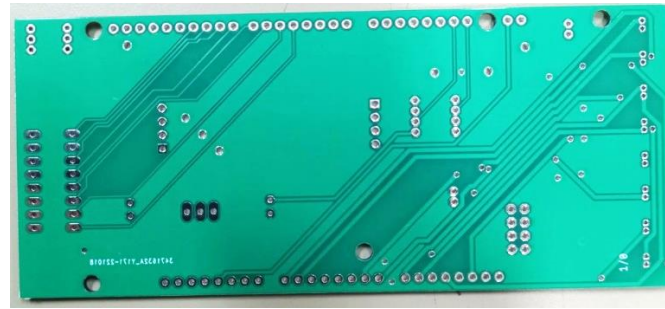
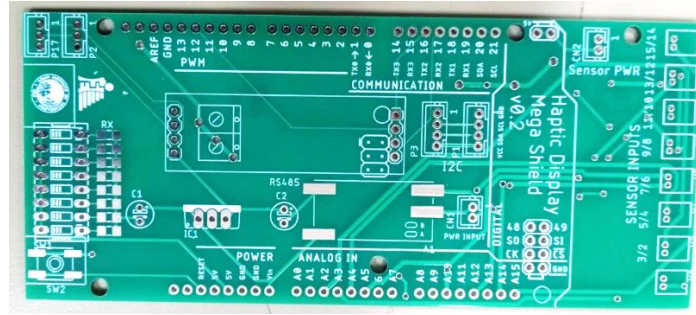
Bytes 0-14	Byte 15	
Setpoints (0x01 – 0xFF)	Stop/Start (0x00/0x01)	10 sets

รูปที่ 58 โพรโตคอลการสื่อสารผ่าน RS485

แผ่นวงจรไฟฟ้าสำหรับตัวควบคุมรอง ถูกใช้ในการป้อนไฟเลี้ยงไปให้ตัวควบคุมรองอย่างปลอดภัย นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็น RS485 Hub มีการเชื่อมต่อตัวควบคุมรองกับแผ่นวงจรไฟฟ้าของเซ็นเซอร์อินฟราเรด และแผ่นวงจรไฟฟ้าของวงจรถับ รูปที่ 59 แสดงให้เห็นถึงแผ่นวงจรไฟฟ้าสำหรับตัวควบคุมรอง รูปที่ 60 แสดงภาพถ่ายด้านบนและด้านล่างของแผ่นวงจรไฟฟ้าสำหรับตัวควบคุมรอง ในขณะที่รูปที่ 61 แสดงภาพถ่ายแผ่นวงจรไฟฟ้าสำหรับตัวควบคุมรองที่ได้ประกอบอุปกรณ์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 59 แผ่นวงจรไฟฟ้าสำหรับตัวควบคุมรอง

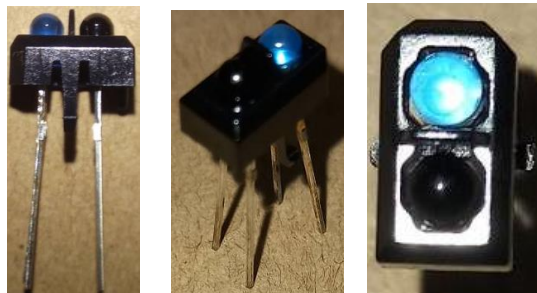


รูปที่ 60 ภาพถ่ายด้านบนและด้านล่างของแผ่นวงจรไฟฟ้าสำหรับตัวควบคุมรอง



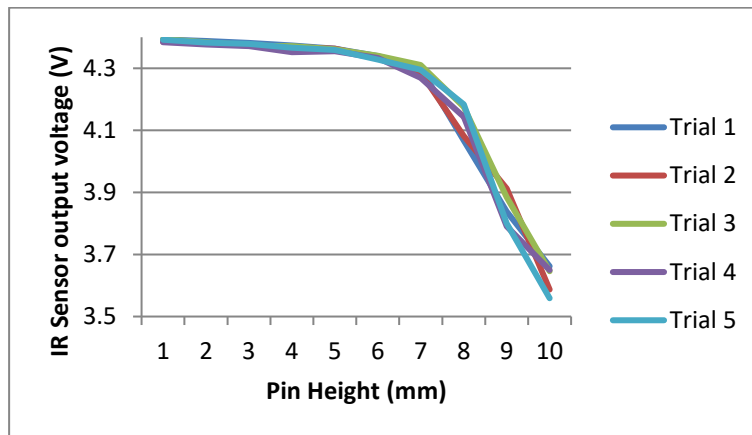
รูปที่ 61 ภาพถ่ายแผ่นวงจรไฟฟ้าสำหรับตัวควบคุมรองที่ได้ประกอบอุปกรณ์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว

เซนเซอร์วัดระยะแบบอินฟราเรดดังแสดงในรูปที่ 62 ถูกใช้ในการวัดระยะความสูงของแต่ละเซลล์ เพื่อใช้ในการควบคุมตำแหน่งจะถูกอ่านค่าผ่านช่อง ADC กราฟที่แสดงในรูปที่ 63 แสดงถึงผลที่ได้จากการทดลองจำนวน 5 ครั้ง จากการทดลองพบว่าสัญญาณแรงดันที่อ่านได้ มีความสม่ำเสมอ (Consistent) ต่อการทดลองซ้ำ (Repeatability) ในทุก ๆ การทดลอง ซึ่งเป็นผลดีในการนำมาใช้



รูปที่ 62 เซนเซอร์วัดระยะแบบอินฟราเรด

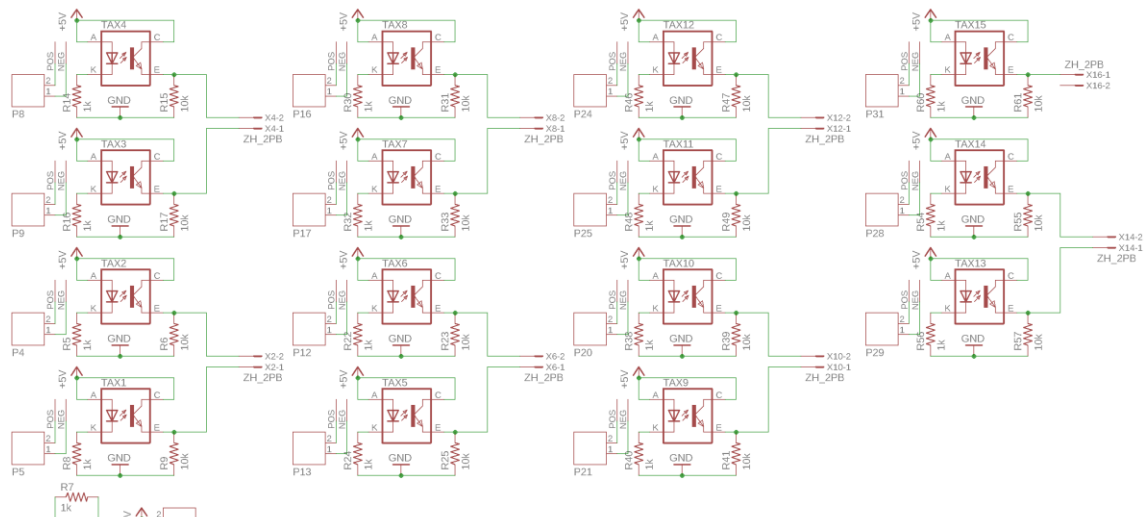
เซ็นเซอร์วัดระยะแบบอินฟราเรดอ่านค่าระยะทางเป็นสัญญาณอนาล็อก ดังนั้น หากทำการปรับค่า (Calibrate) และฟิลเตอร์สัญญาณรบกวนแล้ว ความแม่นยำของระยะทางจะขึ้นอยู่กับวงจรแปลงสัญญาณ ADC ที่ทำการแปลงจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล เนื่องจากใช้วงจรแปลงสัญญาณแบบ 8 บิต ทำให้มีความละเอียดจำนวน 256 ระดับ โดยทำการวัดที่ระยะทาง 10 มม ดังนั้นจึงสามารถวัดได้ละเอียดถึง 0.04 มม ซึ่งละเอียดกว่าค่าที่ต้องการที่ระดับ 1 มม โดยทั่วไปมนุษย์ไม่สามารถแบ่งแยกความแตกต่างของระดับที่แตกต่างกันน้อยกว่า 1 มม ได้ โดยการสัมผัสแค่นั้น



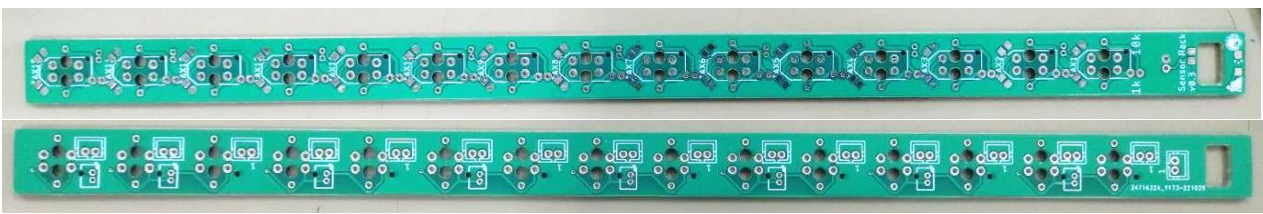
รูปที่ 63 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่วัดและความดันที่ได้จากเซ็นเซอร์วัดระยะแบบอินฟราเรด

เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่วัดและความดันที่ได้จากเซ็นเซอร์มีความไว (Sensitivity) แบ่งออกเป็น 2 ช่วง โดยที่ความไวในช่วงระยะใกล้ (ระยะน้อยกว่า 7 มม จากตัวเซ็นเซอร์) มีความไวต่ำ ขณะที่ความไวในช่วงระยะไกล (ระยะมากกว่า 7 มม จากตัวเซ็นเซอร์) มีความไวสูง ดังนั้นในการติดตั้งเซ็นเซอร์นักวิจัยจึงได้ออกแบบให้ตัวเซ็นเซอร์ถูกติดตั้งที่ระยะห่างเริ่มต้น 7 มม เพื่อที่ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่วัดและความดันที่ได้จากเซ็นเซอร์มีความไวอยู่ในช่วงความไวสูงตลอดเวลา

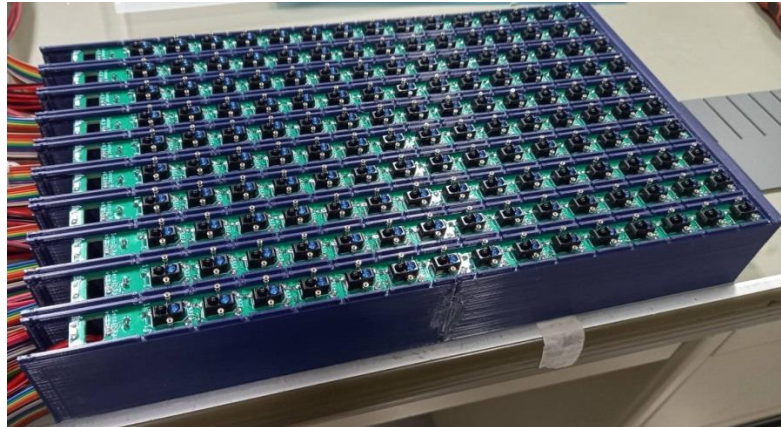
นักวิจัยได้ออกแบบวงจรไฟฟ้าสำหรับเซ็นเซอร์อินฟราเรดจำนวน 15 ตัวสำหรับตัวควบคุมรองดังแสดงในรูปที่ 64 รูปที่ 65 แสดงถึงรูปภาพด้านบนและด้านล่างของแผ่นวงจรไฟฟ้าสำหรับเซ็นเซอร์อินฟราเรด รูปที่ 66 แสดงถึงรูปภาพวงจรไฟฟ้าสำหรับเซ็นเซอร์อินฟราเรดที่ได้ประกอบเข้ากับแผ่นรอง ในขณะที่รูปที่ 67 แสดงถึงรูปภาพจากกล้องอินฟราเรดของวงจรไฟฟ้าสำหรับเซ็นเซอร์อินฟราเรดที่ได้รับการต่อไฟฟ้าเรียบร้อยแล้ว



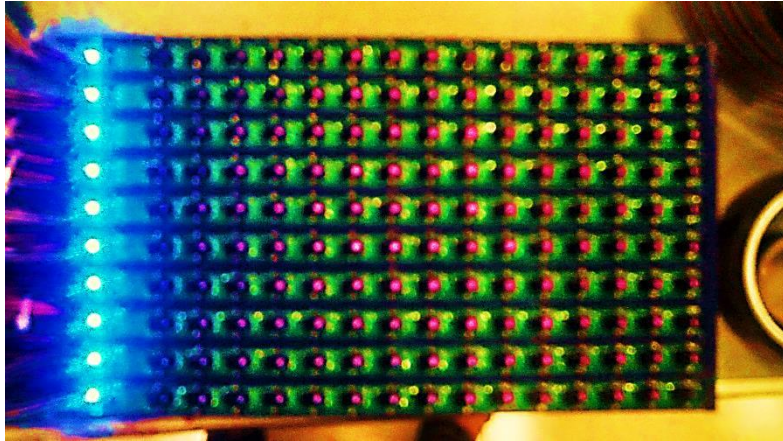
รูปที่ 64 วงจรไฟฟ้าสำหรับเซ็นเซอร์อินฟราเรดจำนวน 15 ตัวสำหรับตัวควบคุมรอง



รูปที่ 65 รูปภาพด้านบนและด้านล่างของแผ่นวงจรไฟฟ้าสำหรับเซ็นเซอร์อินฟราเรด

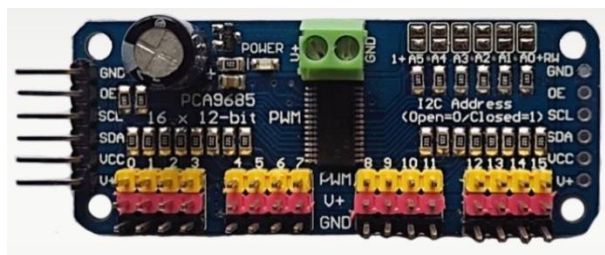


รูปที่ 66 รูปภาพวงจรไฟฟ้าสำหรับเซ็นเซอร์อินฟราเรดที่ได้ประกอบเข้ากับแท่นรอง



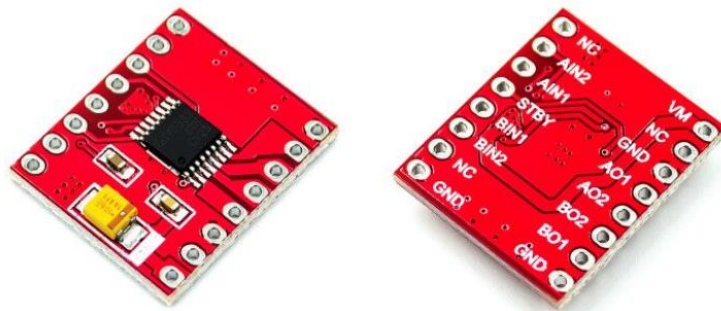
รูปที่ 67 รูปภาพจากกล้องอินฟราเรดของวงจรไฟฟ้าสำหรับเซ็นเซอร์อินฟราเรดที่ได้รับการต่อไฟฟ้าเรียบร้อยแล้ว

คำสั่งจากการควบคุมซึ่งเป็นค่ากระแสที่ใช้ในการขับเคลื่อนหลอดแม่เหล็กจะถูกส่งผ่าน I²C ไปที่โมดูล I²C External PWM เพื่อส่งไปที่วงจรถับกระแสของแต่ละหลอดแม่เหล็กจำนวน 15 วงจรขับ โมดูล I²C External PWM ที่ใช้ชิป PCA9685 มี PWM จำนวน 16 ช่อง รับค่ากระแสที่คำนวณจากตัวควบคุมรอนผ่าน I²C ก่อนแปลงเป็นสัญญาณ PWM เพื่อขับวงจรถับของหลอดแม่เหล็กของแต่ละเซลล์เคลื่อนที่จำนวน 15 ขวด รูปที่ 68 แสดงโมดูล I²C External PWM

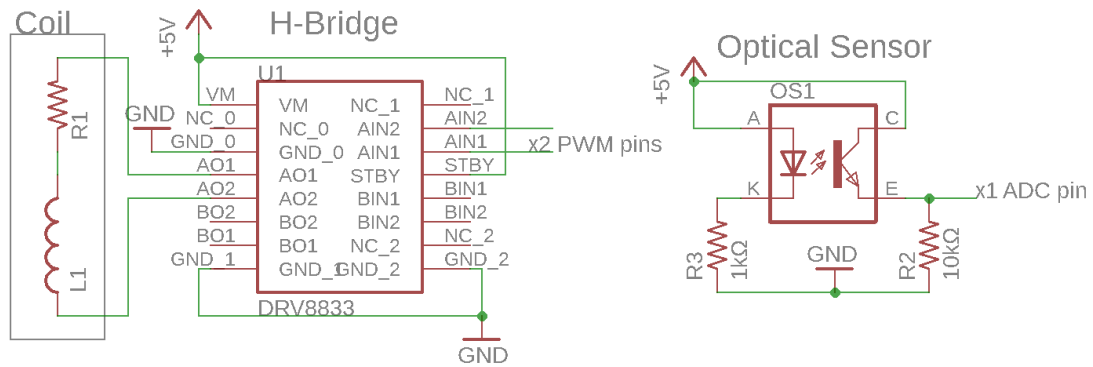


รูปที่ 68 โมดูล I²C External PWM

วงจรถับ DRV8833 รับสัญญาณ PWM แล้วแปลงเป็นกระแสไฟฟ้า สามารถขับกระแสได้ทั้ง 2 ทิศทาง หากได้รับสัญญาณ PWM ที่ 100% duty cycle และไฟเลี้ยง 5 V จะสามารถขับกระแสได้ 0.5 A ในอัตราปกติ วงจร H-bridge ของวงจรถับนี้สามารถทนกระแสได้สูงสุด 1.5 A รูปที่ 69 แสดงถึงวงจรถับ DRV8833 ในขณะที่ รูปที่ 70 แสดงถึงวงจรไฟฟ้าของวงจรถับ DRV8833 และวงจรไฟฟ้าของเซ็นเซอร์วัดระยะแบบอินฟราเรด



รูปที่ 69 วงจรถับ DRV8833

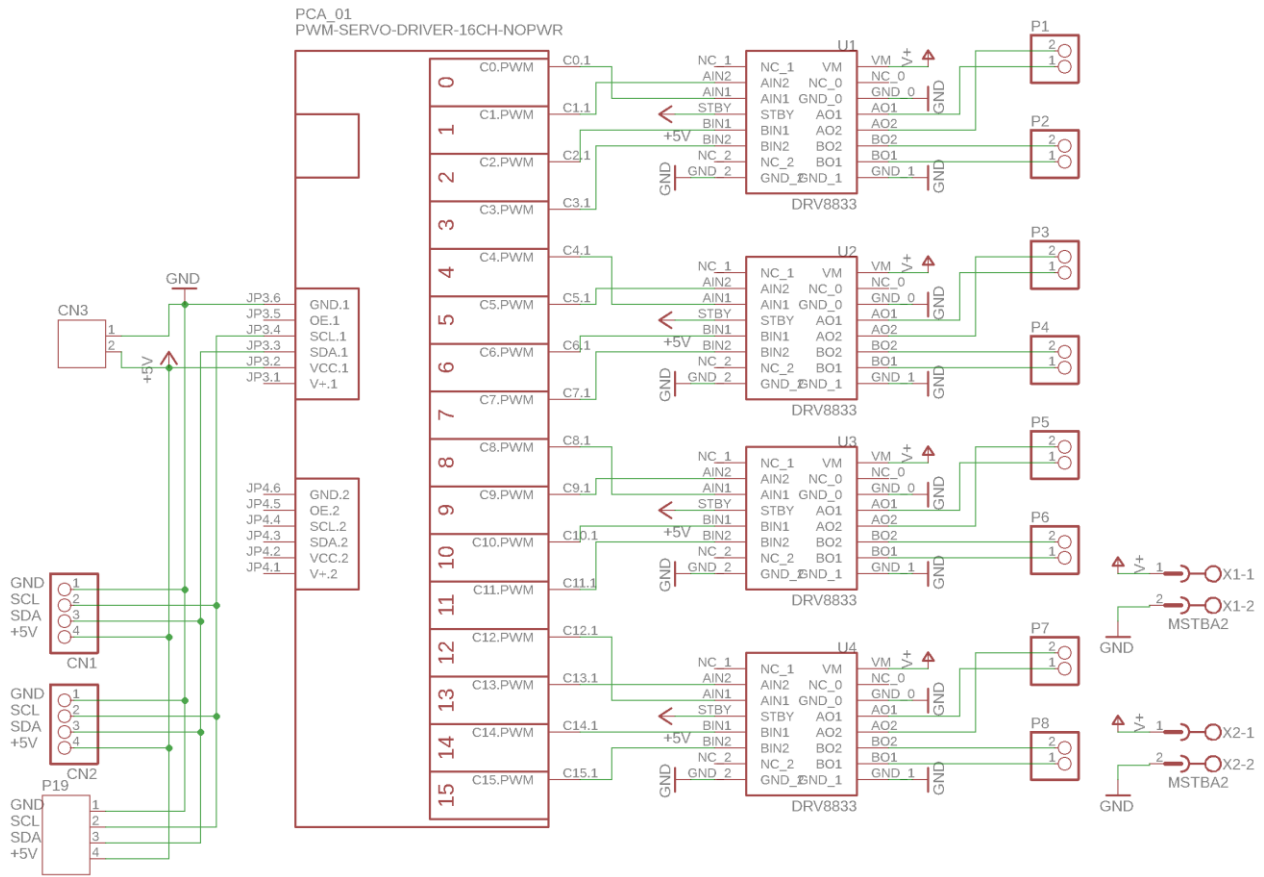


รูปที่ 70 วงจรไฟฟ้าของวงจรถับ DRV8833 และวงจรวัดไฟฟ้าของเซ็นเซอร์วัดระยะแบบอินฟราเรด

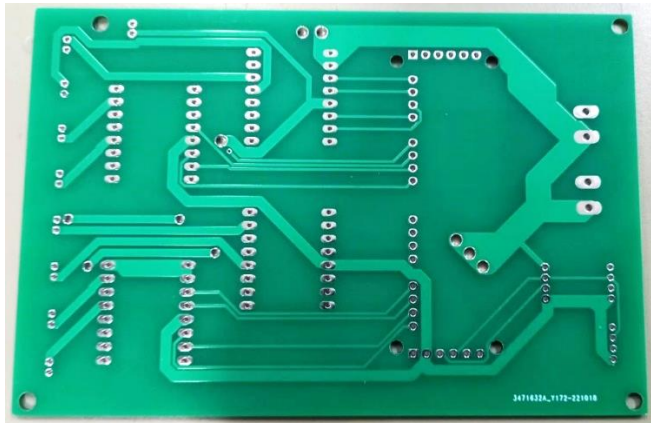
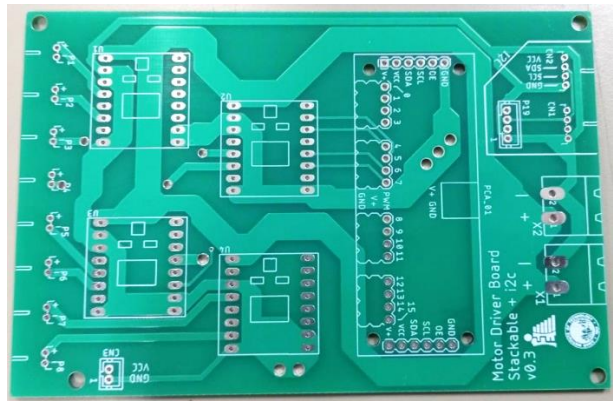
แรงดันของวงจรถับขึ้นอยู่กับสัดส่วนเวลา (Duty Cycle) ของสัญญาณ PWM ซึ่งถูกควบคุมโดยสัญญาณดิจิทัลขนาด 8 บิตและสัญญาณทิศทาง เนื่องจากแรงดันจะมีขนาด 5 V ที่ 100% Duty Cycle ดังนั้นจึงมีความละเอียดขนาด 0.02 V อย่างไรก็ตามแรงดันที่จะก่อให้เกิดการเคลื่อนที่เพื่อชนะแรงเสียดทานสถิตย์และน้ำหนักของแท่งเซลล์เคลื่อนที่ทั้งขึ้นและลงของแต่ละเซลล์จะมีขนาดที่แตกต่างกัน และจำเป็นต้องถูกทำการค้นหาและชดเชย (Compensate) ในการออกแบบตัวควบคุม

การออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้อยู่ภายในพื้นที่จำกัดนั้นสามารถทำได้โดยการออกแบบให้แผ่นวงจรรวม (PCB) ของเซ็นเซอร์วัดระยะของเซลล์ต่าง ๆ และขั้วต่อแผ่นวงจรรวมของขดลวดแม่เหล็กและขั้วต่อของสายสัญญาณอื่น ๆ จะอยู่ด้วยกันเป็นแผ่นรวมขนาดใหญ่บริเวณด้านล่างของเซลล์เคลื่อนที่ทุกเซลล์ ในส่วนของวงจรถับวงจรวัดสัญญาณและวงจรวัดตัวประมวลผลจะอยู่ในกล่องที่แยกออกไป และเชื่อมต่อกับระบบแสดงภาพแบบสัมผัสผ่านสายไฟฟ้ายสัญญาณเท่านั้น เพื่อที่จะได้ทำให้หน้าจอร์บบแสดงภาพแบบสัมผัสมีขนาดเล็กเบาและเคลื่อนย้ายได้สะดวก

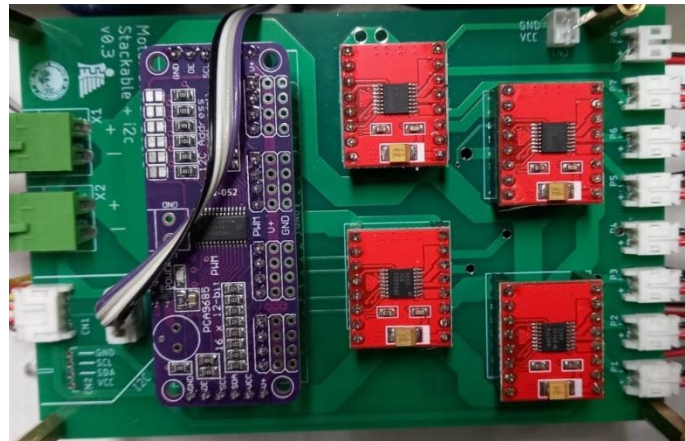
แผ่นวงจรวัดไฟฟ้าขดลวดแม่เหล็กหนึ่งแผ่นสามารถขดลวดได้ 8 ตัว ดังนั้นตัวควบคุมรองแต่ละตัวต้องการแผ่นวงจรวัดไฟฟ้าขดลวดแม่เหล็กจำนวนสองแผ่น รูปที่ 71 แสดงถึงวงจรวัดไฟฟ้าขดลวดแม่เหล็กหนึ่งแผ่น รูปที่ 72 แสดงถึงรูปภาพด้านบนและด้านล่างของแผ่นวงจรวัดไฟฟ้าขดลวดแม่เหล็ก ในขณะที่รูปที่ 73 แสดงถึงรูปภาพของแผ่นวงจรวัดไฟฟ้าขดลวดแม่เหล็กที่ได้ติดตั้งอุปกรณ์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 71 วงจรไฟฟ้าขับขดลวดแม่เหล็กหนึ่งแผ่น

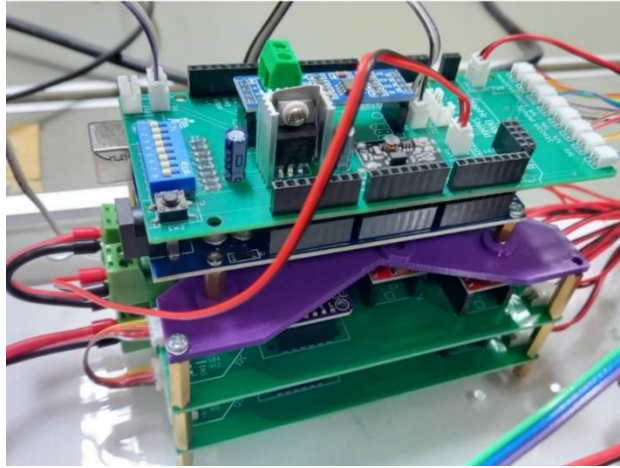


รูปที่ 72 รูปภาพด้านบนและด้านล่างของแผ่นวงจรไฟฟ้าขับเคลื่อนแม่เหล็ก

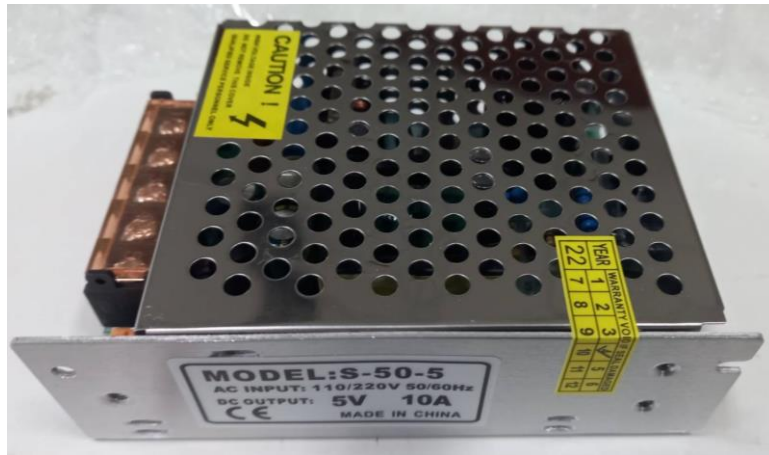


รูปที่ 73 รูปภาพของแผ่นวงจรไฟฟ้าขับเคลื่อนแม่เหล็กที่ได้ติดตั้งอุปกรณ์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว

โมดูลตัวควบคุมจะประกอบไปด้วยบอร์ดตัวควบคุม แผ่นวงจรไฟฟ้าตัวควบคุม แผ่นวงจรไฟฟ้าขับเคลื่อนแม่เหล็กจำนวน 2 แผ่น โดยโมดูลตัวควบคุมจะเชื่อมต่อกับแผ่นวงจรไฟฟ้าเซ็นเซอร์อินฟราเรดและได้รับพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ 10 แอมแปร์ รูปที่ 74 แสดงถึงรูปภาพโมดูลตัวควบคุม ในขณะที่รูปที่ 75 แสดงถึงรูปภาพแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ 10 แอมแปร์



รูปที่ 74 รูปภาพโมดูลตัวควบคุมรอง



รูปที่ 75 รูปภาพแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ 10 แอมแปร์

2.1.3 การออกแบบการควบคุมระบบแสดงภาพแบบสัมผัส

การควบคุมตำแหน่งของเซลล์เคลื่อนที่ให้เคลื่อนที่ตามค่าความเข้มเฉลี่ยของภาพใช้การควบคุม PID ที่มีการชดเชยน้ำหนักและแรงเสียดทานแบบคูลอมบ์เป็นดังสมการ

$$f(e) = \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right) e + K_1 mg + K_2 f \times \text{sign}(e)$$

โดยที่ f : สัญญาณควบคุม

e : ความผิดพลาดของตำแหน่ง

mg : แรงจากน้ำหนักของแท่งเซลล์การเคลื่อนที่

f : แรงเสียดทานแบบคูลอมบ์

K_p : Proportional Gain

K_i : Integral Gain

K_d : Derivative Gain

K_1 : Gravity Force Compensation Gain

K_2 : Coulomb Friction Compensation Gain

$\text{sign}()$: ฟังก์ชันเครื่องหมาย

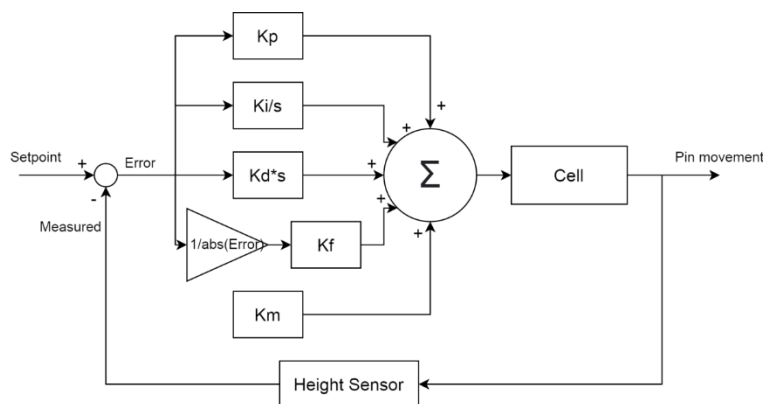
ในการควบคุมจริงนั้นค่าพารามิเตอร์และค่าเกนบางตัวสามารถรวมกันได้ หลังจากรวมค่าพารามิเตอร์และเกนต่าง ๆ แล้ว การควบคุม PID ที่มีการชดเชยน้ำหนักและแรงเสียดทานแบบคูลอมบ์สามารถแปลงรูปได้ดังสมการ

$$f(e) = \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right) e + K_m + K_f \frac{e}{\text{abs}(e)}$$

โดยที่ K_m : Gravity Force Compensation Term

$K_f \frac{e}{\text{abs}(e)}$: Coulomb Friction Compensation Term

บล็อกไดอะแกรมของการควบคุม PID ที่มีการชดเชยน้ำหนักและแรงเสียดทานแบบคูลอมบ์ ถูกแสดงในรูปที่ 76



รูปที่ 76 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุม PID ที่มีการชดเชยน้ำหนักและแรงเสียดทานแบบคูลอมบ์

เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและแรงดันที่วัดจากเซ็นเซอร์วัดระยะทาง ไม่เป็นเส้นตรงการใช้ตัวควบคุมแบบ PID แบบปกติจะไม่สามารถจัดการกับระบบที่เป็นแบบไม่เป็นเส้นตรงได้ ดังนั้นนักวิจัยจึงจำเป็นต้องใช้ค่าเกณฑ์ที่แตกต่างกันสำหรับตำแหน่งที่ต้องการให้หยุดที่แตกต่างกัน ดังนั้นตัวควบคุม PID ที่มีการชดเชยน้ำหนักและแรงเสียดทานแบบคูลอมบ์ที่ใช้จะต้องเป็นแบบ Gain Scheduling ซึ่งจะทำให้การปรับค่าเกณฑ์แบบอัตโนมัติสำหรับตำแหน่งที่ต้องการให้เซลล์เคลื่อนที่หยุดที่แตกต่างกัน

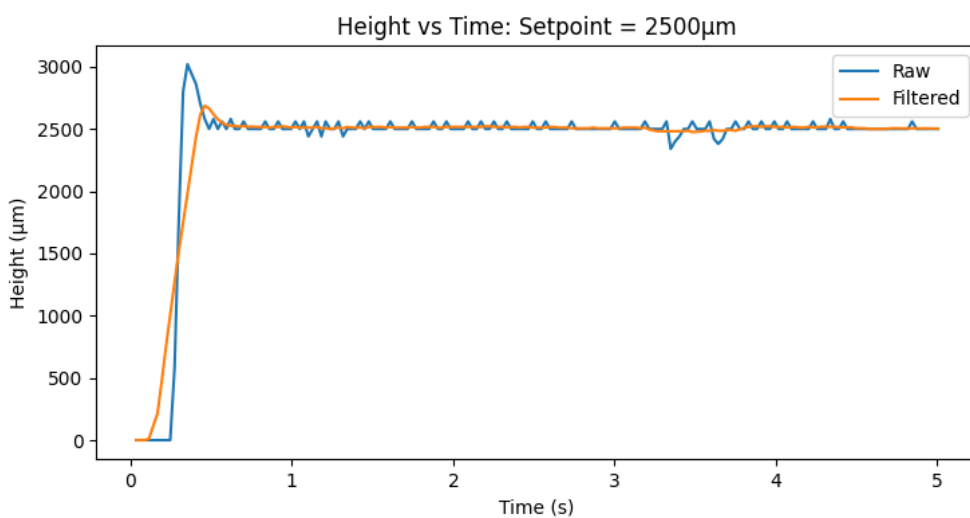
ค่าเกณฑ์ที่ใช้ในแต่ละเซลล์ได้จากการทดลองของเซลล์นั้น ๆ โดยทำการทดลองหาขนาดของแรงดันที่ทำให้เซลล์เริ่มการเคลื่อนที่ขึ้น (f_{up}) และเคลื่อนที่ลง (f_{down}) ซึ่งจะใช้แรงดันที่แตกต่างกัน K_f ได้จาก $(f_{up} + f_{down})/2$ ขณะที่ K_m ได้จาก $(f_{up} - f_{down})/2$ หลังจากนั้นจึงเปิดโหมดการควบคุมระยะทาง PID โดยทำการปรับเพิ่มค่า K_p จาก 0 จนได้ค่าเกณฑ์ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แล้วสั่นรอบจุดที่ต้องการจะให้เซลล์หยุด หลังจากนั้นจึงทำการปรับเพิ่มค่า K_d จาก 0 จนได้ค่าเกณฑ์ที่ลดการสั่นรอบจุดที่ต้องการจะให้เซลล์หยุดให้เหมาะสม อย่างไรก็ตามค่าเกณฑ์ที่เซลล์หยุดจะยังมีข้อผิดพลาดอยู่บ้าง ท้ายสุดจึงทำการปรับเพิ่มค่า K_i จาก 0 จนได้ค่าเกณฑ์ที่ทำให้เซลล์หยุดที่ตำแหน่งที่ต้องการได้

ผลการทดลองการควบคุม

นักวิจัยได้ดำเนินการทดลองควบคุมตำแหน่งของเซลล์เคลื่อนที่ให้ไปหยุดที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังมีรายละเอียดดังนี้

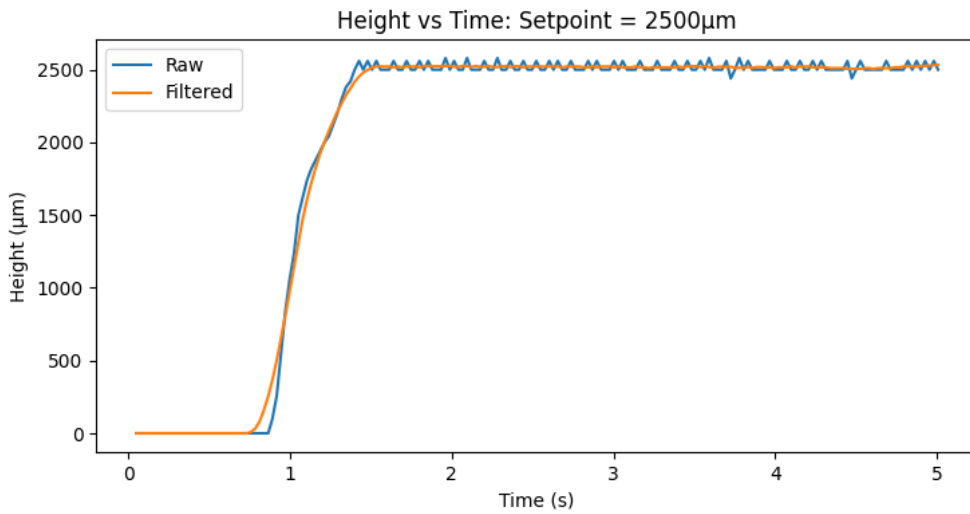
การทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง 2.5 mm

กรณีกำหนดให้ค่าเกณฑ์เหมาะสม $K_p = 0.02$, $K_i = 0.8$, $K_d = 0.0001$, $K_m = 80000$, $K_f = 80$ ผลการทดลองที่ได้เป็นไปดังที่แสดงในรูปที่ 77



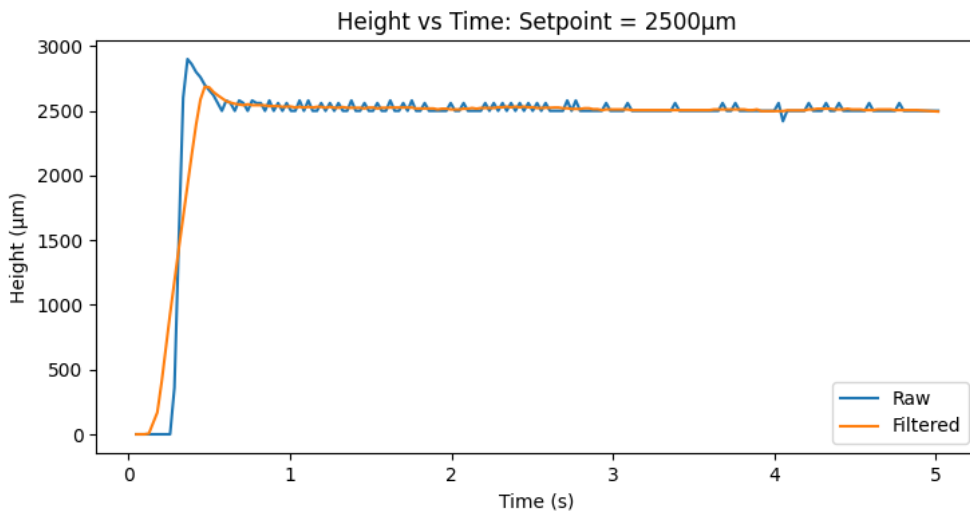
รูปที่ 77 ผลการทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง 2.5 mm กรณีกำหนดให้ค่าเกณฑ์ที่เหมาะสม

กรณีกำหนดให้ K_i มีค่าน้อยลง $K_p = 0.02$, $K_i = 0.2$, $K_d = 0.0001$, $K_m = 80000$, $K_f = 80$ ผลการทดลองที่ได้เป็นไปดังที่แสดงในรูปที่ 78



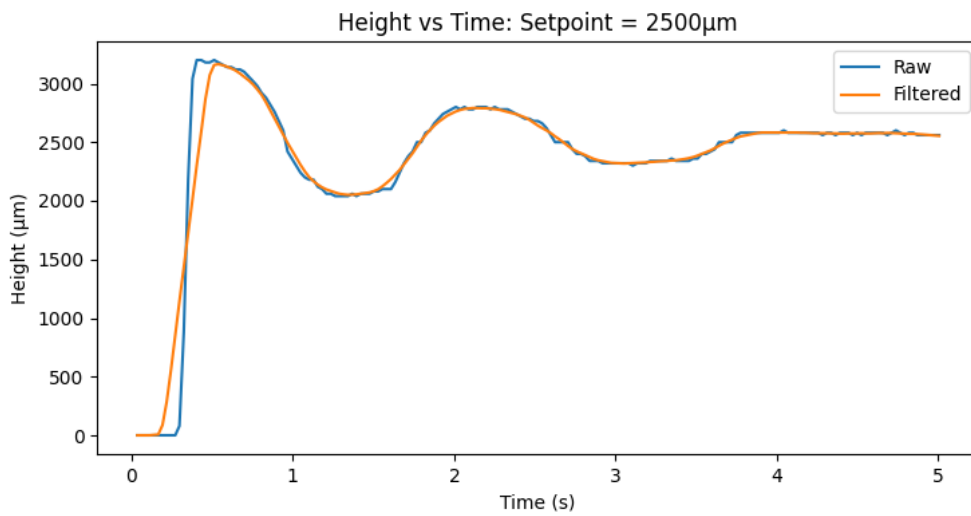
รูปที่ 78 ผลการทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง 2.5 mm กรณีกำหนดให้ K_i มีค่าน้อยลง

กรณีกำหนดให้ K_d มีค่าน้อยลง $K_p = 0.02$, $K_i = 0.8$, $K_d = 0.0$, $K_m = 80000$, $K_f = 80$ ผลการทดลองที่ได้เป็นไปดังที่แสดงในรูปที่ 79



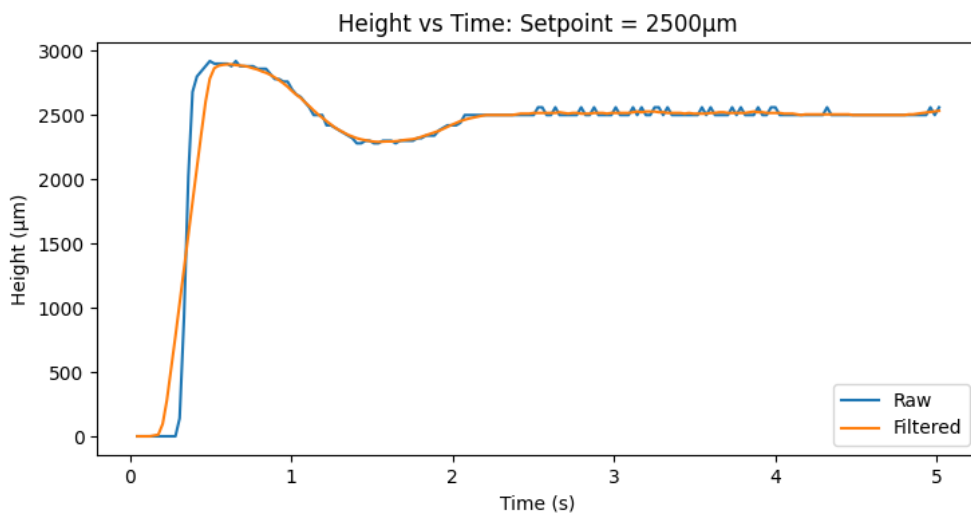
รูปที่ 79 ผลการทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง 2.5 mm กรณีกำหนดให้ K_d มีค่าน้อยลง

กรณีกำหนดให้ K_f มีค่าน้อยลง $K_p = 0.02$, $K_i = 0.8$, $K_d = 0.0001$, $K_m = 80000$, $K_f = 0$ ผลการทดลองที่ได้เป็นไปดังที่แสดงในรูปที่ 80



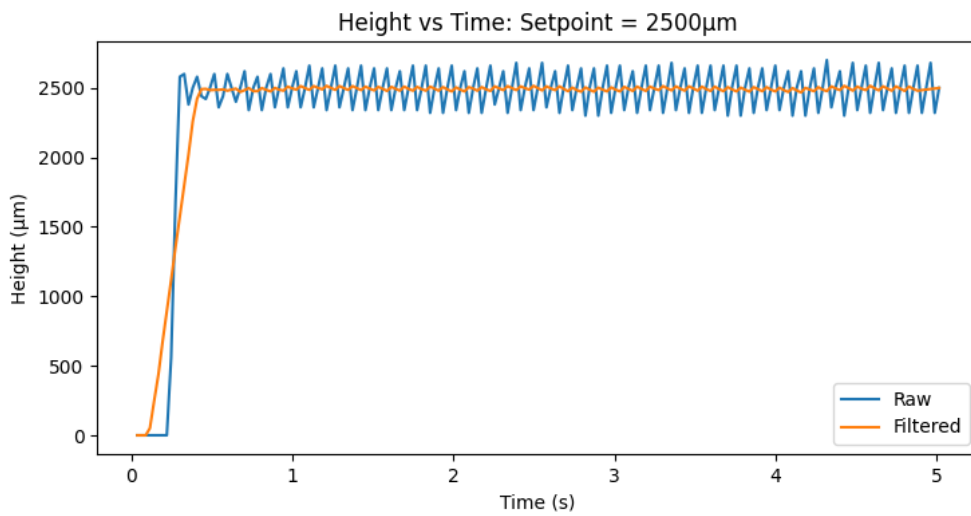
รูปที่ 80 ผลการทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง 2.5 mm กรณีกำหนดให้ K_f มีค่าน้อยลง

กรณีกำหนดให้ K_d และ K_f มีค่าน้อยลง $K_p = 0.02$, $K_i = 0.8$, $K_d = 0.0$, $K_m = 80000$, $K_f = 0$ ผลการทดลองที่ได้เป็นไปดังที่แสดงในรูปที่ 81



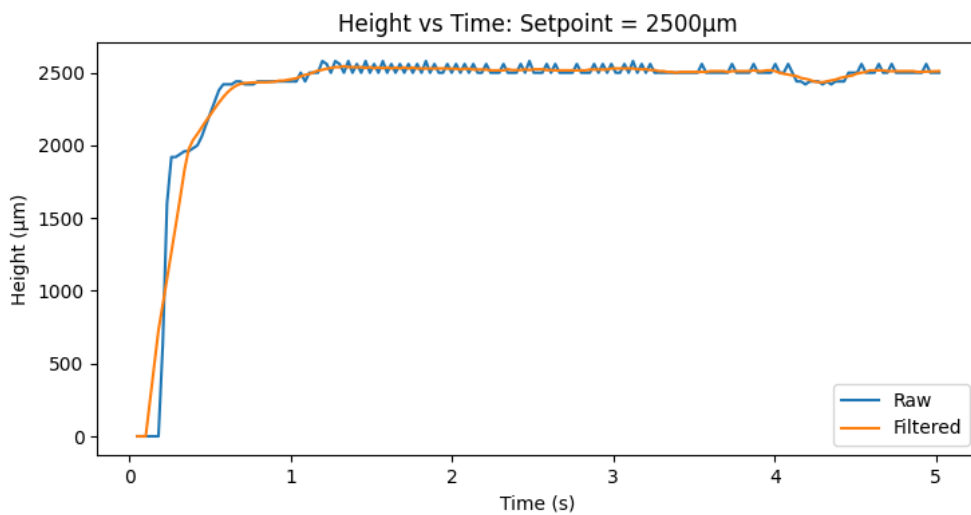
รูปที่ 81 ผลการทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง 2.5 mm กรณีกำหนดให้ K_d และ K_f มีค่าน้อยลง

กรณีกำหนดให้ K_f มีค่ามากขึ้น $K_p = 0.02$, $K_i = 0.8$, $K_d = 0.0001$, $K_m = 80000$, $K_f = 160$ ผลการทดลองที่ได้เป็นไปดังที่แสดงในรูปที่ 82



รูปที่ 82 ผลการทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง 2.5 mm กรณีกำหนดให้ K_f มีค่ามากขึ้น

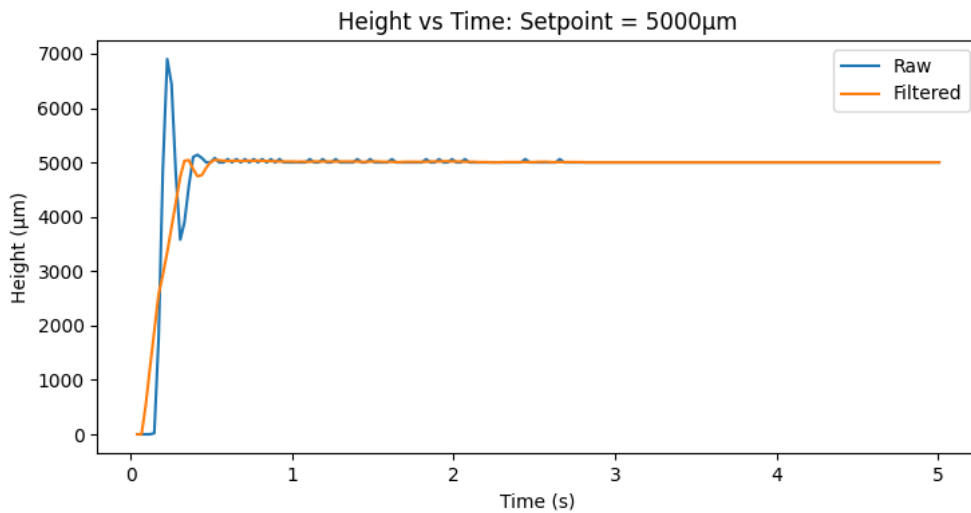
กรณีกำหนดให้ K_p มีค่ามาก $K_p = 0.09$, $K_i = 0.8$, $K_d = 0.0001$, $K_m = 80000$, $K_f = 80$ ผลการทดลองที่ได้เป็นไปดังที่แสดงในรูปที่ 83



รูปที่ 83 ผลการทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง 2.5 mm กรณีกำหนดให้ K_p มีค่ามากขึ้น

การทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง 5.0 mm

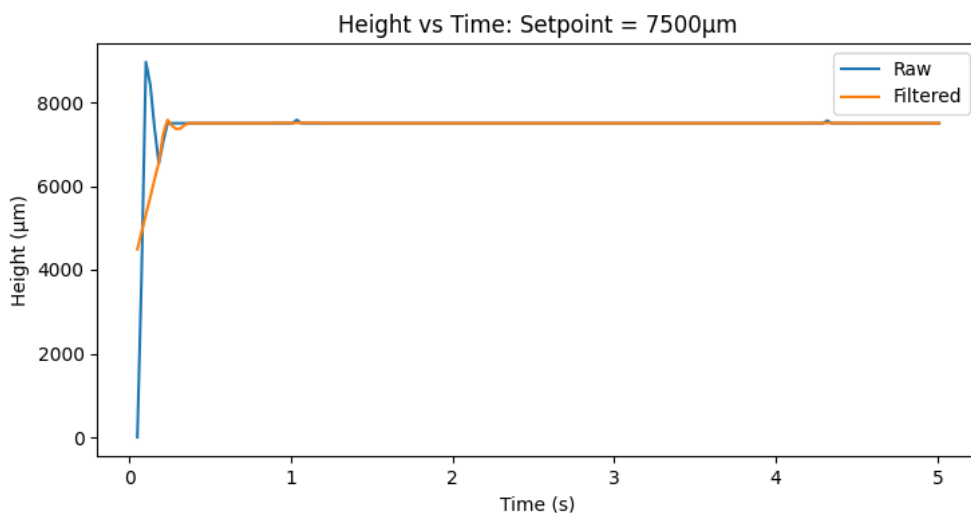
กรณีกำหนดให้ค่าเกณฑ์เหมาะสม $K_p = 0.02$, $K_i = 0.8$, $K_d = 0.0009$, $K_m = 80000$, $K_f = 120$ ผลการทดลองที่ได้เป็นไปดังที่แสดงในรูปที่ 84



รูปที่ 84 ผลการทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง 5.0 mm กรณีกำหนดให้ค่าเกณฑ์ที่เหมาะสม

การทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง 7.5 mm

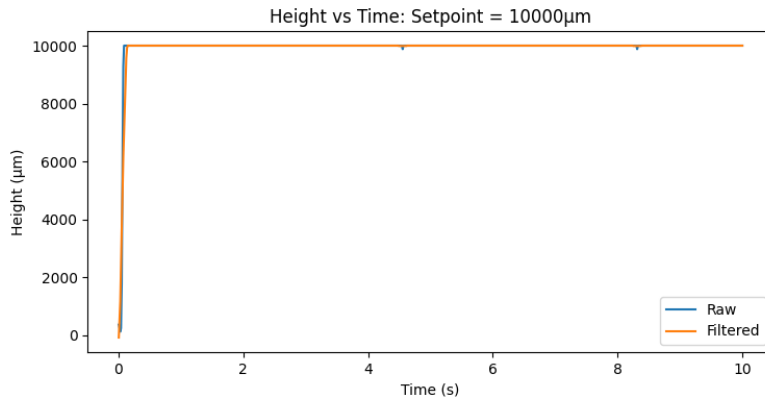
กรณีกำหนดให้ค่าเกณฑ์เหมาะสม $K_p = 0.02$, $K_i = 2.8$, $K_d = 0.002$, $K_m = 80000$, $K_f = 240$ ผลการทดลองที่ได้เป็นไปดังที่แสดงในรูปที่ 85



รูปที่ 85 ผลการทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง 7.5 mm กรณีกำหนดให้ค่าเกณฑ์ที่เหมาะสม

การทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง 10.0 mm

กรณีกำหนดให้ค่าเกณฑ์เหมาะสม $K_p = 0.12$, $K_i = 0.25$, $K_d = 0.01$, $K_m = 140000$, $K_f = 20$ ผลการทดลองที่ได้เป็นไปดังที่แสดงในรูปที่ 86



รูปที่ 86 ผลการทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง 10.0 mm กรณีกำหนดให้ค่าเกณฑ์ที่เหมาะสม

การทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง 0.0 – 1.0 – 2.0 – 3.0 – 4.0 – 5.0 – 6.0 – 7.0 – 8.0 – 9.0 – 10.0 มม โดยหยุดตำแหน่งละ 3 วินาที

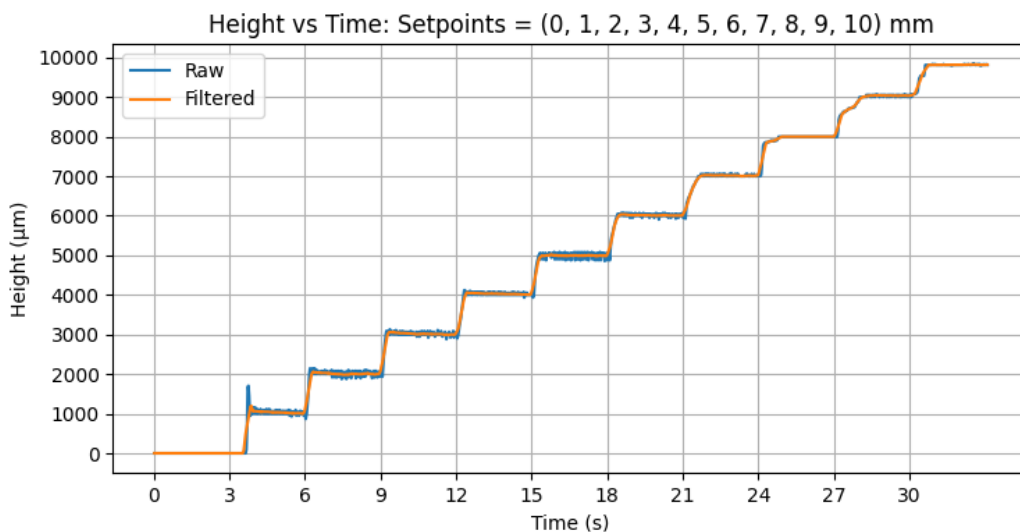
ค่าเกณฑ์ในการควบคุมขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ต้องการจะเคลื่อนที่ไปหยุดโดยมีการปรับค่าเกณฑ์อัตโนมัติดังนี้

กรณีที่ ตำแหน่งที่หยุด ≤ 40.0 มม : $K_p = 0.02$, $K_i = 0.8$, $K_d = 0.0002$, $K_m = 80000$, $K_f = 80$

กรณีที่ $4000 <$ ตำแหน่งที่หยุด ≤ 7000 : $K_p = 0.02$, $K_i = 0.8$, $K_d = 0.0009$, $K_m = 80000$, $K_f = 120$

กรณีที่ ตำแหน่งที่หยุด > 7000 : $K_p = 0.02$, $K_i = 2.8$, $K_d = 0.002$, $K_m = 80000$, $K_f = 240$

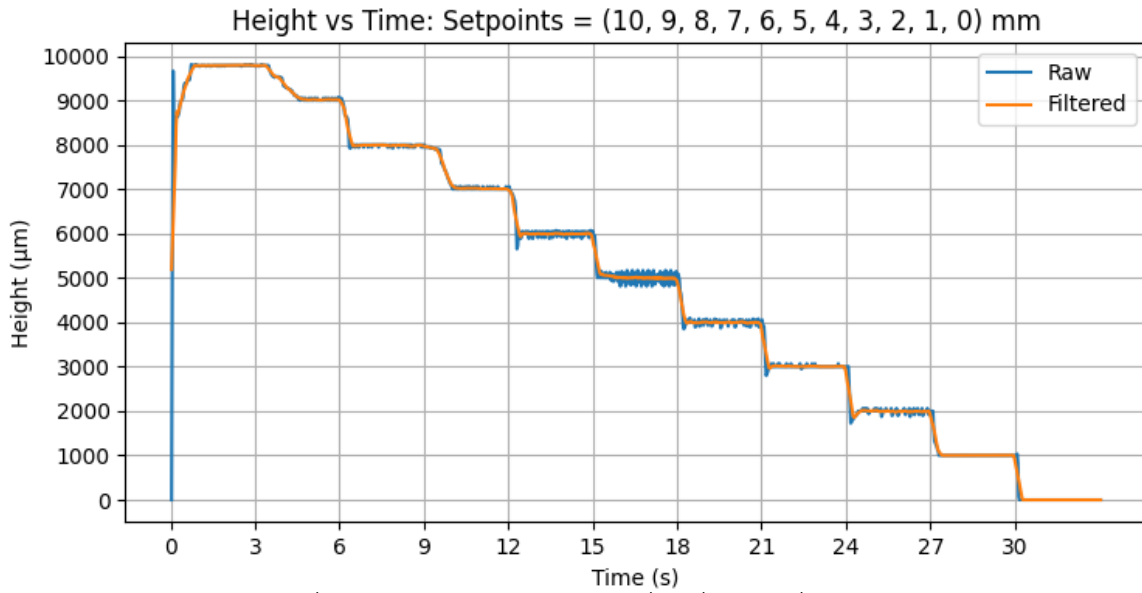
ผลการทดลองที่ได้เป็นไปดังที่แสดงในรูปที่ 87



รูปที่ 87 ผลการทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง

0.0 – 1.0 – 2.0 – 3.0 – 4.0 – 5.0 – 6.0 – 7.0 – 8.0 – 9.0 – 10.0 มม โดยหยุดตำแหน่งละ 3 วินาที

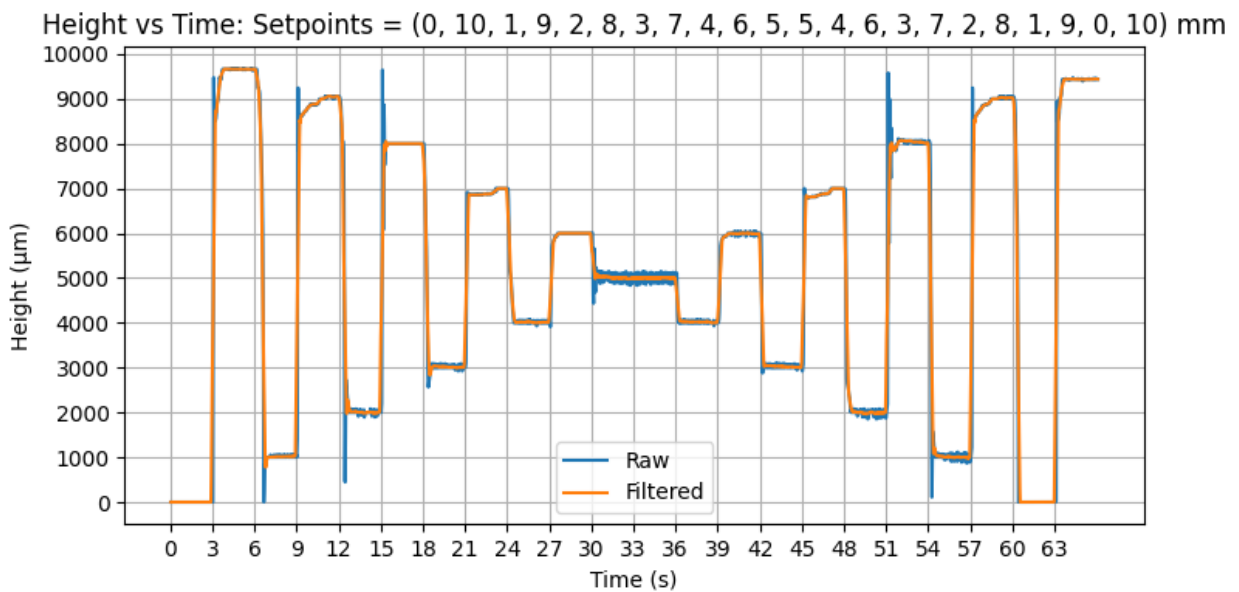
การทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง 10.0 – 9.0 – 8.0 – 7.0 – 6.0 – 5.0 – 4.0 – 3.0 – 2.0 – 1.0 – 0.0 มม โดยหยุดตำแหน่งละ 3 วินาที
 ผลการทดลองที่ได้เป็นไปดังที่แสดงในรูปที่ 88



รูปที่ 88 ผลการทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง

10.0 – 9.0 – 8.0 – 7.0 – 6.0 – 5.0 – 4.0 – 3.0 – 2.0 – 1.0 – 0.0 มม โดยหยุดตำแหน่งละ 3 วินาที

การทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง 0.0 - 10.0 - 1.0 - 9.0 - 2.0 - 8.0 - 3.0 - 7.0 - 4.0 - 6.0 - 5.0 - 5.0 - 6.0 - 4.0 - 7.0 - 3.0 - 8.0 - 2.0 - 9.0 - 1.0 - 10.0 มม โดยหยุดตำแหน่งละ 3 วินาที
 ผลการทดลองที่ได้เป็นไปดังที่แสดงในรูปที่ 89

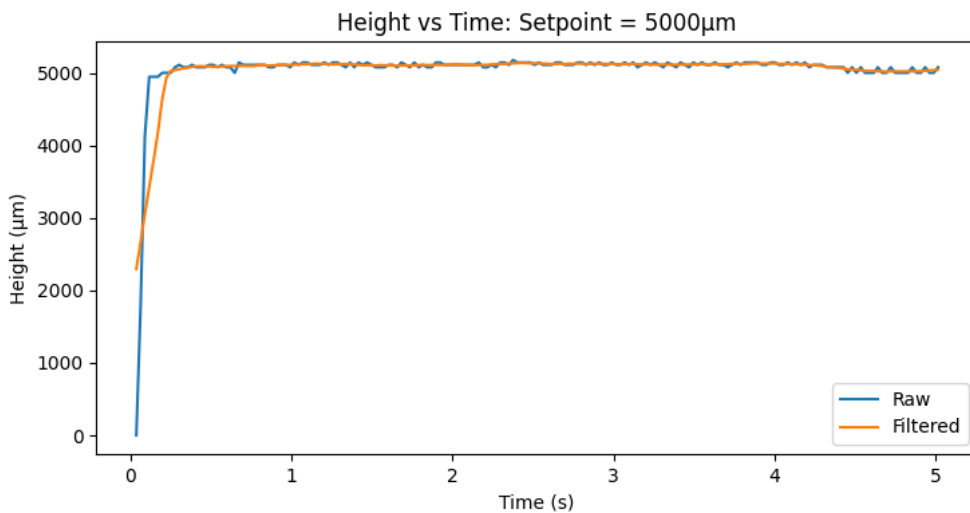


รูปที่ 89 ผลการทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง 0.0 - 10.0 - 1.0 - 9.0 - 2.0 - 8.0 - 3.0 - 7.0 - 4.0 - 6.0 - 5.0 - 5.0 - 6.0 - 4.0 - 7.0 - 3.0 - 8.0 - 2.0 - 9.0 - 1.0 - 10.0 มม โดยหยุดตำแหน่งละ 3 วินาที

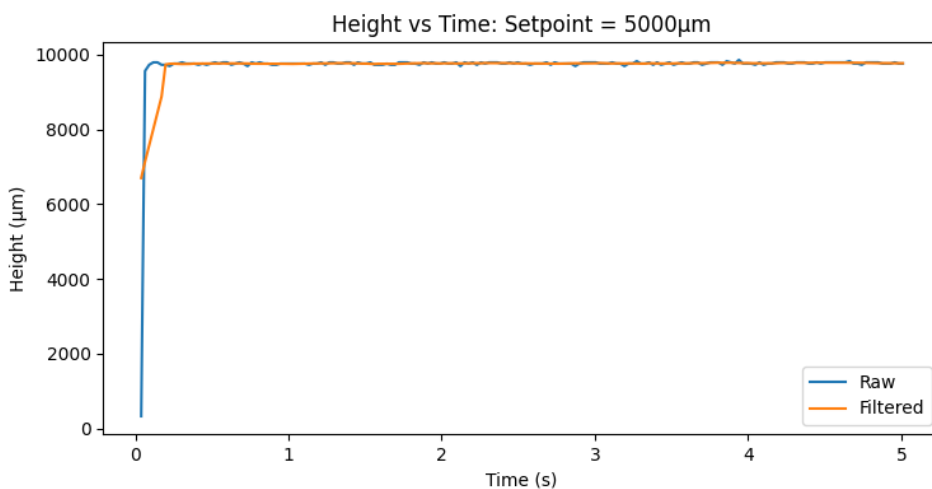
จากผลการทดลองพบว่าเซลล์เคลื่อนที่สามารถเคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่งที่ต้องการได้ โดยมีระยะเวลาตอบสนอง (Response Time) สั้นกว่า 5 วินาที โดยมีความผิดพลาดของตำแหน่งน้อยกว่า 1 มม ตามข้อกำหนด ในทุกการทดลอง

การทดลองการควบคุมตำแหน่งกรณีถอดแผ่นโลหะป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวน

หากทำการถอดแผ่นโลหะป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเซลล์รอบข้าง จะทำให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเซลล์รอบข้างทำการผลักรบกวนเซลล์เคลื่อนที่หยุดอยู่ที่ตำแหน่งสูงสุดตลอดเวลาและไม่สามารถควบคุมให้เซลล์มาหยุดที่ตำแหน่งอื่นได้เลยรูปที่ 90 แสดงผลการทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง 5.0 mm กรณีมีแผ่นโลหะป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวน ในขณะที่รูปที่ 91 แสดงผลการทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง 5.0 mm กรณีไม่มีแผ่นโลหะป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวน



รูปที่ 90 ผลการทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง 5.0 mm
กรณีมีแผ่นโลหะป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวน



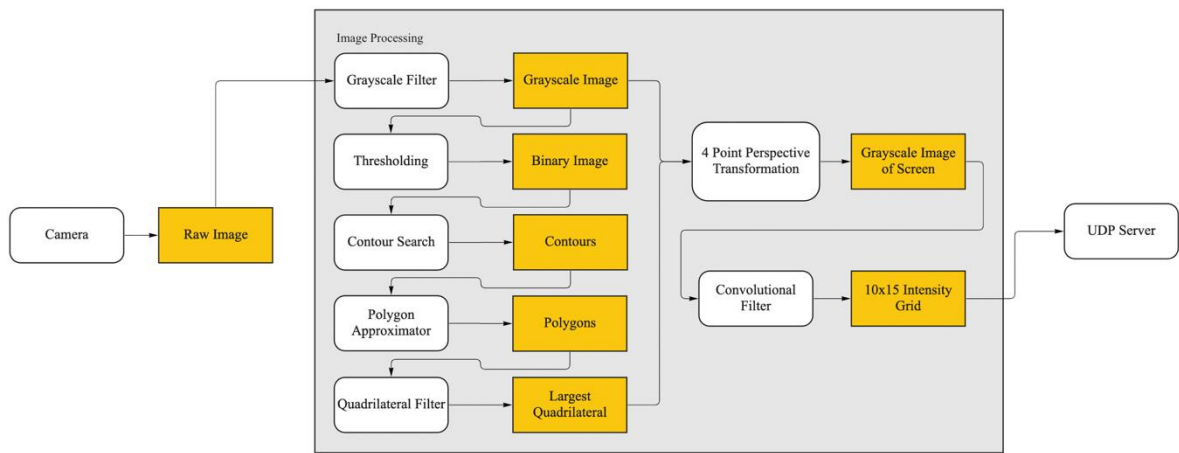
รูปที่ 91 ผลการทดลองให้เซลล์เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่ง 5.0 mm
กรณีไม่มีแผ่นโลหะป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวน

ในการทดลองการเคลื่อนที่ของทั้ง 150 เซลล์พบว่าถึงแม้จะได้ทำการปรับค่าเกณฑ์ในการควบคุมของแต่ละเซลล์อย่างเหมาะสมแล้ว ในบางครั้งเซลล์บางเซลล์ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งที่ต้องการได้ ซึ่งเซลล์ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งที่ต้องการได้จะเป็นลักษณะสุ่มไม่ทุกครั้งไป ซึ่งการปรับค่าเกณฑ์ก็ยังไม่สามารถแก้ปัญหาได้ นักวิจัยได้ทำการตรวจสอบหาสาเหตุของปัญหาและพบว่าเกิดจากการที่เซลล์การเคลื่อนที่ในบางครั้งไม่ได้เคลื่อนที่ขึ้นลงแบบตรง ๆ แต่มีการเอียงเกิดขึ้น Cell Stick จะไปขัดกับ Cell Cap เนื่องจากชิ้นส่วนทั้งสองขึ้นรูปจากเครื่องพิมพ์สามมิติ ทำให้เกิดเป็นชั้นของแต่ละชั้นในการขึ้นรูป นอกจากนี้แล้วการที่ไม่สามารถติดตั้งแบร็งได้เนื่องจากข้อจำกัดด้านขนาดที่เล็กทำให้ในบางครั้งเซลล์บางเซลล์ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งที่ต้องการได้

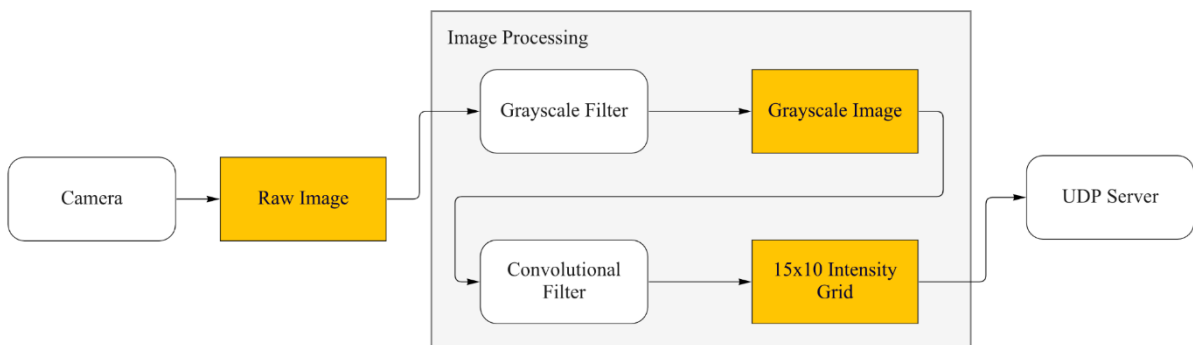
2.1.4 การออกแบบการรับและการจัดการสัญญาณภาพจากจอโทรทัศน์

ระบบรับและการจัดการสัญญาณภาพมีหน้าที่ในการสร้างค่าความเข้มเฉลี่ยของภาพจำนวน 150 (15x10) หน่วย เพื่อส่งต่อไปให้ระบบแสดงภาพแบบสัมผัส ระบบรับและการจัดการสัญญาณภาพประกอบไปด้วย กล้องรับภาพ ระบบจัดการสัญญาณภาพ และ ระบบส่งค่าความเข้มผ่านโปรโตคอล UDP/IP โดยทำหน้าที่เป็น UDP Server

ระบบรับและการจัดการสัญญาณภาพถูกพัฒนาสำหรับการใช้งานสองแบบคือ 1.ระบบรับและการจัดการสัญญาณภาพแบบสามารถตรวจจับภาพใดๆ ที่อยู่ภายในหน้าจอสีเหลี่ยมผืนผ้าที่อยู่ด้านหน้ากล้องก่อนที่จะแปลงภาพที่อยู่ภายในหน้าจอสีเหลี่ยมผืนผ้าเป็นค่าความเข้มจำนวน 150 หน่วย ดังแสดงในรูปที่ 92 และ 2.ระบบรับและการจัดการสัญญาณภาพแบบสามารถตรวจจับภาพใด ๆ ด้านหน้ากล้องก่อนที่จะแปลงภาพทั้งหมดเป็นค่าความเข้มเฉลี่ยของภาพจำนวน 150 หน่วย ดังแสดงในรูปที่ 93 การจะเลือกใช้แบบใดขึ้นกับความต้องการของผู้ใช้งาน



รูปที่ 92 ระบบรับและการจัดการสัญญาณภาพแบบสามารถตรวจจับภาพใดๆ ที่อยู่ภายในหน้าจอสีเหลี่ยมผืนผ้าที่อยู่ด้านหน้ากล้อง



รูปที่ 93 ระบบรับและการจัดการสัญญาณภาพแบบสามารถตรวจจับภาพใดๆ ด้านหน้ากล้อง

กล้องรับภาพ

กล้องรับภาพที่ใช้ในการเก็บภาพเป็นกล้อง USB ขนาดเล็กที่สามารถจับยึดเข้ากับแว่นตา โดยสามารถรับภาพที่มี resolution 1920x1080 ที่ความถี่ 30 ภาพต่อวินาที รูปที่ 94 แสดงให้เห็นถึงกล้องรับภาพที่ยึดกับขาแว่นตา



รูปที่ 94 กล้องรับภาพที่ยึดกับขาแว่นตา

ระบบจัดการสัญญาณภาพ

ระบบจัดการสัญญาณภาพสามารถถูกเลือกใช้ได้สองแบบตามความต้องการของผู้ใช้งานคือ 1. แบบสามารถตรวจจับภาพใดๆ ที่อยู่ภายในหน้าจอสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่อยู่ด้านหน้ากล้อง และ 2. แบบตรวจจับภาพใด ๆ ด้านหน้ากล้อง

1. ระบบจัดการสัญญาณภาพแบบตรวจจับภาพใด ๆ ที่อยู่ภายในหน้าจอสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่อยู่ด้านหน้ากล้อง

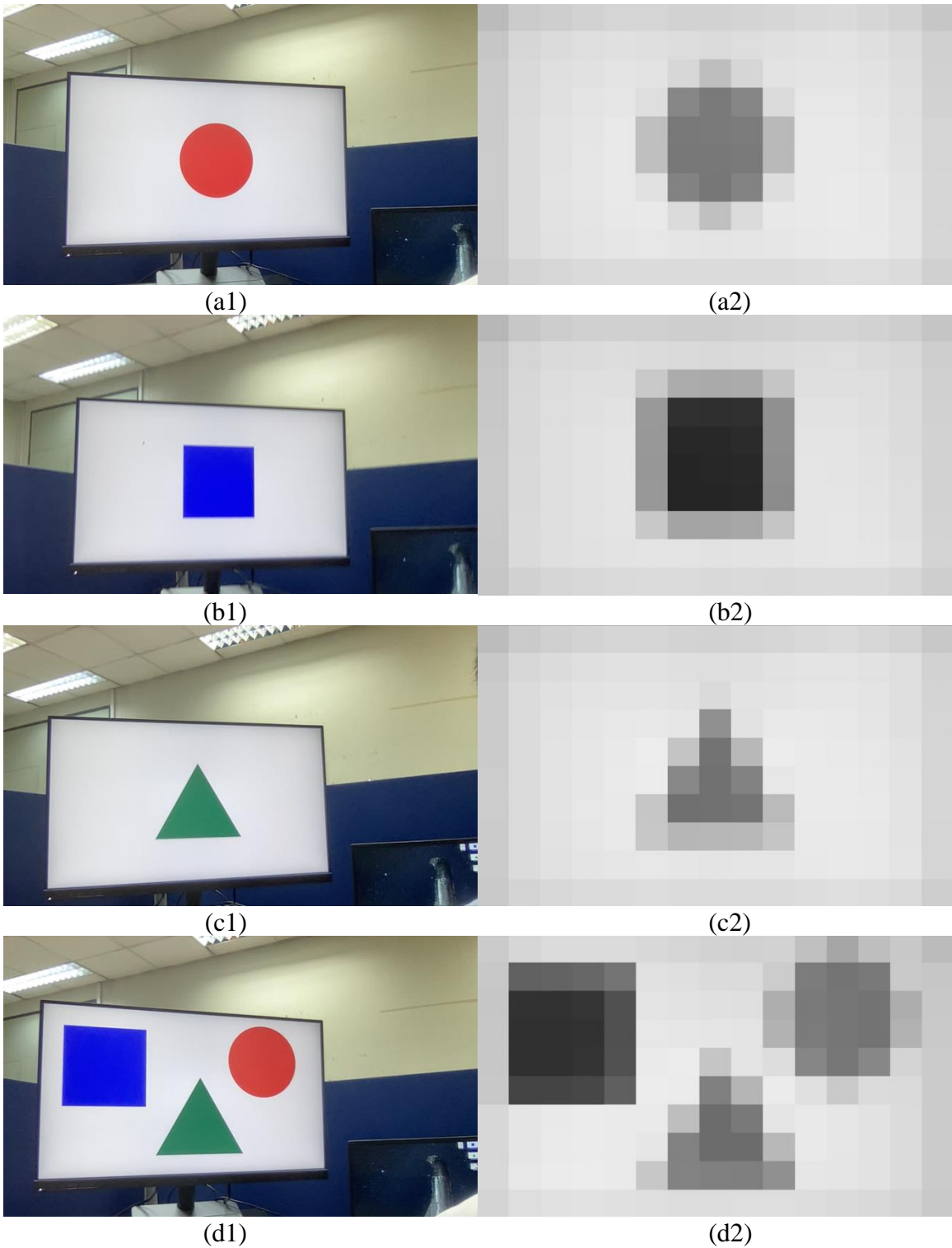
ภาพที่รับได้จะถูกแปลงจากภาพสี (RGB) เป็นภาพเกรย์สเกล (Gray Scale) หลังจากนั้นภาพเกรย์สเกลจะถูกแปลงเป็นภาพไบนารี (Binary) โดยการใช้ Threshold ที่มีพารามิเตอร์

Threshold value: 150
Max value: 255

คอนทัวร์ในภาพไบนารีจะถูกค้นหาโดยการใช้ฟังก์ชัน FindContours ของ OpenCV คอนทัวร์รูปหลายเหลี่ยมถูกค้นหาโดยการใช้ฟังก์ชัน approxPolyDP ซึ่งจะแสดงจำนวนเหลี่ยมของแต่ละคอนทัวร์รูปหลายเหลี่ยม ตำแหน่งของหน้าจอตริททัศน์จะถูกหาจากคอนทัวร์รูปสี่เหลี่ยม ตำแหน่งมุมทั้งสี่ของหน้าจอตริททัศน์จะถูกใช้ในการวาร์ปแปลงภาพ (Warp Transformation) ให้มีขนาดเต็มจอมุมตรง หลังจากนั้นภาพเต็มจอมุมตรงจะถูกคอนโวลูทกับฟิลเตอร์ที่มีค่าพารามิเตอร์ต่อไปนี้

```
Kernel Size = [1920/15, 1080/10]
Kernel Weights = 1/(15x10)
Kernel Bias = 0
Kernel Stride = Kernel Size
Padding = 0
```

รูปที่ 95 แสดงให้เห็นรูปภาพที่ได้จากกล้องแสดงทางด้านซ้ายและค่าความเข้มเฉลี่ยของภาพของภาพที่ได้จากระบบจัดการภาพแบบตรวจจับภาพใด ๆ ที่อยู่ภายในหน้าจอสีเหลี่ยมผืนผ้าที่อยู่ด้านหน้ากล้องแสดงทางด้านขวา



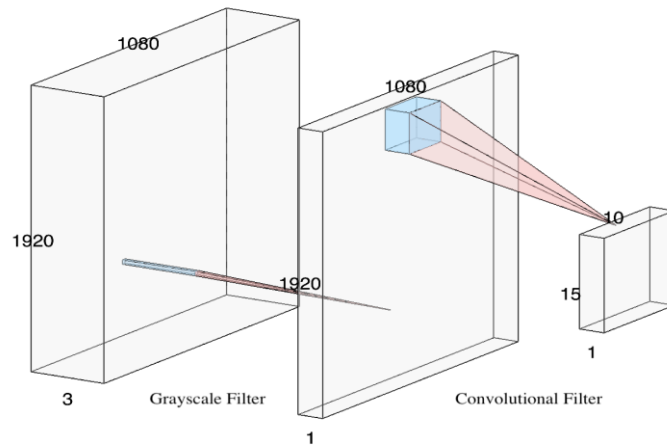
รูปที่ 95 รูปภาพที่ได้จากกล้องแสดงทางด้านซ้ายและค่าความเข้มเฉลี่ยของภาพของภาพที่ได้จากระบบจัดการภาพแบบตรวจจับภาพใด ๆ ที่อยู่ภายในหน้าจอสีเหลี่ยมผืนผ้าที่อยู่ด้านหน้ากล้องแสดงทางด้านขวา

2. ระบบจัดการสัญญาณภาพแบบตรวจจับภาพใด ๆ ด้านหน้ากล้อง

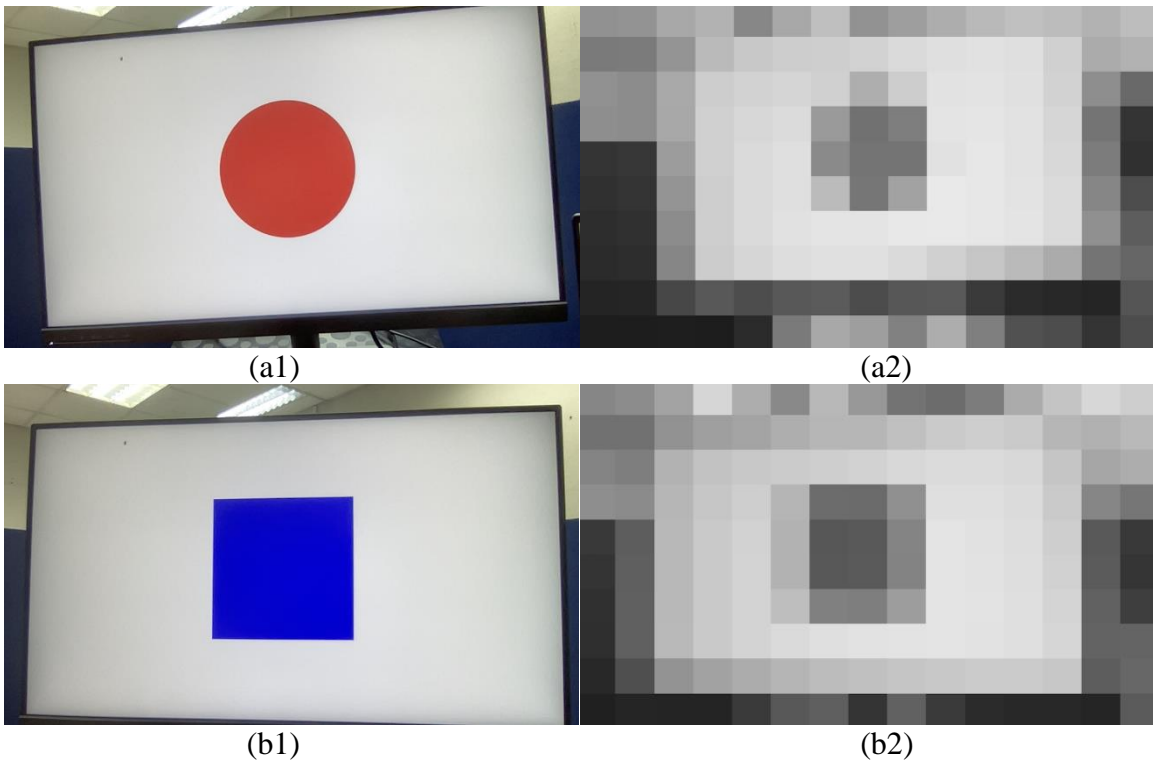
ภาพที่รับได้จะถูกแปลงจากภาพสี (RGB) เป็นภาพเกรย์สเกล (Gray Scale) หลังจากนั้นภาพเกรย์สเกลจะถูกคอนโวลูทกับฟิลเตอร์ที่มีค่าพารามิเตอร์ต่อไปนี้

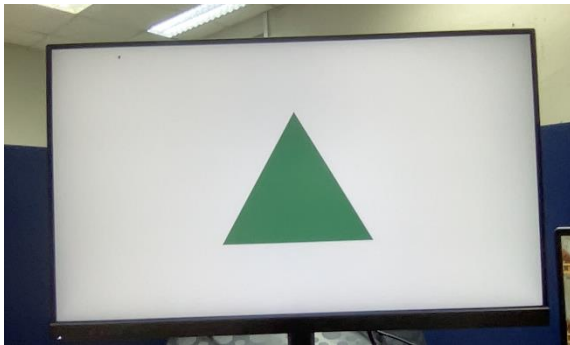
Kernel Size = [1920/15, 1080/10]
Kernel Weights = 1/(15x10)
Kernel Bias = 0
Kernel Stride = Kernel Size
Padding = 0

รูปที่ 96 แสดงให้เห็นถึงการจัดการสัญญาณภาพแบบตรวจจับภาพใด ๆ ด้านหน้ากล้อง รูปที่ 97 แสดงให้เห็นรูปภาพที่ได้จากกล้องแสดงทางด้านซ้ายและค่าความเข้มเฉลี่ยของภาพของภาพที่ได้จากระบบจัดการภาพแบบตรวจจับภาพใด ๆ ด้านหน้ากล้องแสดงทางด้านขวา



รูปที่ 96 การจัดการสัญญาณภาพแบบตรวจจับภาพใด ๆ ด้านหน้ากล้อง

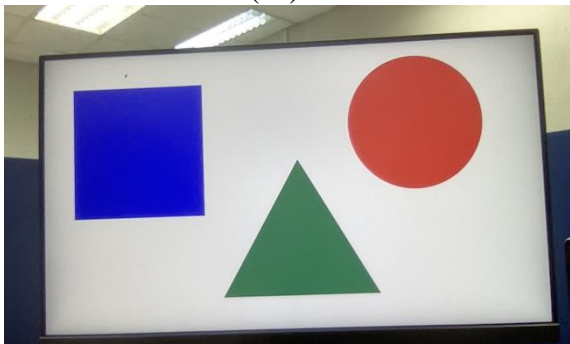




(c1)



(c2)



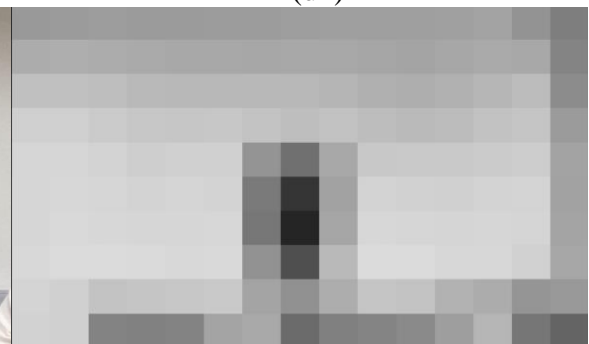
(d1)



(d2)



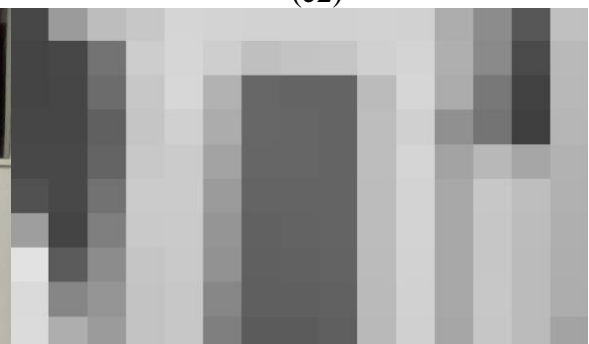
(e1)



(e2)



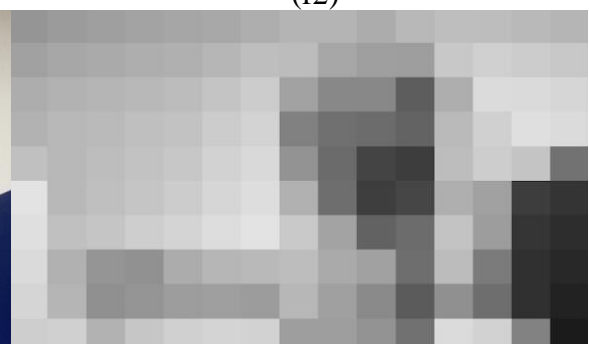
(f1)



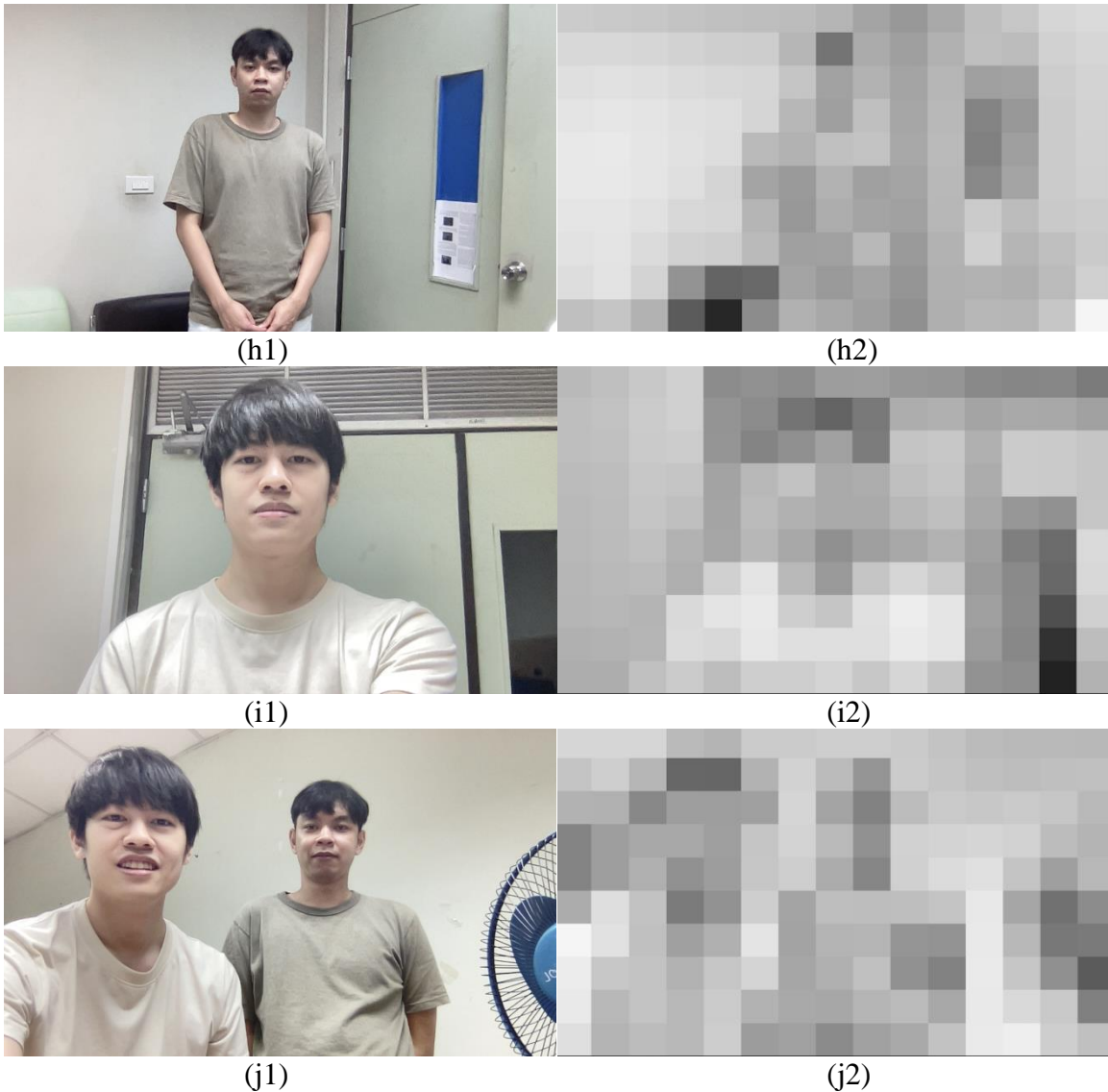
(f2)



(g1)



(g2)



รูปที่ 97 รูปภาพที่ได้จากกล้องแสดงทางด้านซ้ายและค่าความเข้มเฉลี่ยของภาพของภาพ
ที่ได้จากระบบจัดการภาพแบบตรวจจับภาพใด ๆ ด้านหน้ากล้องแสดงทางด้านขวา

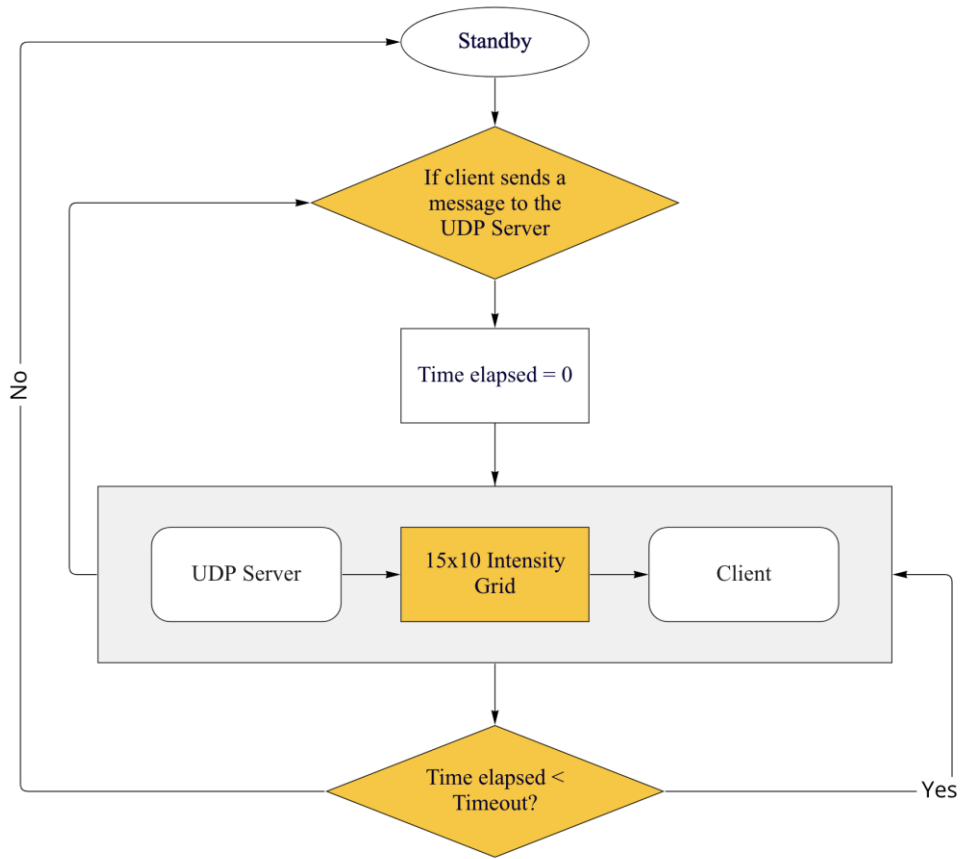
ระบบส่งค่าความเข้มผ่านโปรโตคอล UDP/IP

ระบบส่งค่าความเข้มผ่านโปรโตคอล UDP/IP จะทำหน้าที่เป็น UDP Server เพื่อตอบสนองต่อการร้องขอ
ค่าความเข้มเฉลี่ยของภาพจำนวน 150 (15x10) หน่วย ในการเริ่มต้นการสื่อสาร UDP Client จะส่งข้อความว่าง
เปล่าเพื่อแจ้งให้ UDP Server รับรู้ว่าต้องการค่าความเข้มเฉลี่ยของภาพจำนวน 150 หน่วย โดยข้อความใน
โปรโตคอล UDP จะมีข้อมูลของ IP Address และ Port Number ของ UDP Client หลังจากนั้น UDP Server จะ
ส่งสตรีมของข้อมูลซึ่งเป็นค่าความเข้มเฉลี่ยของภาพจำนวน 150 หน่วยด้วยความถี่ที่กำหนดได้ ข้อมูลของความ
เข้มจะมีจำนวน 10x15 ข้อมูลตามฟอร์แมต JASON encoded in UTF-8 ดังมีตัวอย่างแสดงในรูปที่ 98


```
[
[0.000296039943350479, 0.00025118724443018436, 0.00015506874478887767,
0.0001608358434168622, 0.00011662132601486519, 0.00011405825352994725,
8.650503878016025e-05, 0.00012110674288123846, 0.0001358449226245284,
0.0001275146205443889, 0.00015891349175944924, 0.0001762148895068094,
0.00019479791808407754, 0.00024221654166467488, 0.0002953989605884999],
[0.0002710504923015833, 0.00017685569764580578, 0.00018838996766135097,
0.0001435344311175868, 9.803895227378234e-05, 0.00010636896331561729,
8.778658229857683e-05, 0.00011790286225732416, 0.00010893205035245046,
0.00010508741979720071, 0.0001275146205443889, 0.00017172936350107193,
0.00019672024063766003, 0.0002191480598412454, 0.00023132299247663468],
[0.00024477962870150805, 0.00023452704772353172, 0.00017301093612331897,
0.0001294370013056323, 9.419431444257498e-05, 0.0001146990034612827,
9.483507164986804e-05, 0.00012495144619606435, 0.0001070097423507832,
0.00010700976417865604, 0.000133922541863285, 0.00014417523925658315,
0.00016275825328193605, 0.00020697287982329726, 0.00023901254462543875],
[0.0002486241573933512, 0.00019543866801541299, 0.0001364858035231009,
0.00012110673560528085, 0.00010765050683403388, 0.00011213591642444953,
9.355352813145146e-05, 9.034966933541e-05, 0.00010508741979720071,
0.00012110672105336562, 0.00012495143164414912, 0.00013840811152476817,
0.00015763189003337175, 0.0001883899385575205, 0.00021402168204076588],
[0.0002140216383850202, 0.00019928344408981502, 0.00016275826783385128,
0.00013648574531544, 0.00012238827184773982, 0.00010060201748274267,
9.419429989065975e-05, 8.714581053936854e-05, 9.227198461303487e-05,
0.00012366984446998686, 0.00013712653890252113, 0.000149301573401317,
0.00015635034651495516, 0.0002249150857096538, 0.00023132309434004128],
[0.0002012058102991432, 0.00015442786389030516, 0.00016852539556566626,
0.00013200019020587206, 0.00010636897059157491, 9.227198461303487e-05,
9.80389304459095e-05, 9.611661516828462e-05, 9.227198461303487e-05,
0.00010060201748274267, 0.00011405823170207441, 0.00011533978977240622,
0.00014289368118625134, 0.00018390438344795257, 0.0002069729525828734],
[0.0002095361560350284, 0.00016596225032117218, 0.00016724377928767353,
0.00013776731793768704, 0.00010700973507482558, 0.00010252433276036754,
7.561191887361929e-05, 7.176728831836954e-05, 9.483507164986804e-05,
0.00010700976417865604, 0.00013071861758362502, 0.00013392257096711546,
0.00020505055726971477, 0.00019543869711924344, 0.00021658481273334473],
[0.00026143938885070384, 0.0001730109070194885, 0.00015314634947571903,
0.00014481607649940997, 0.00010252433276036754, 0.0001102136229746975,
7.176728831836954e-05, 9.227198461303487e-05, 0.00011277669545961544,
0.00010700973507482558, 0.00013712649524677545, 0.00015058318967930973,
0.0001550687156850472, 0.00020569136540871114, 0.00026400224305689335],
[0.0002524687151890248, 0.0002037689700955525, 0.0001704477472230792,
0.00013712649524677545, 0.0001114951737690717, 9.675739420345053e-05,
9.996126755140722e-05, 9.675738692749292e-05, 9.611661516828462e-05,
0.00010508744890103117, 0.00014481604739557952, 0.00013968968414701521,
0.00016339901776518673, 0.0002454203786328435, 0.0002934768854174763],
[0.0002768171834759414, 0.0002441388787701726, 0.00018198198813479394,
0.00015122396871447563, 0.00013264099834486842, 0.00012751459144055843,
0.00011533977522049099, 0.00011277671001153067, 0.0001172621050500311,
0.00012815541413147002, 0.0001486607943661511, 0.00016275825328193605,
0.00016147665155585855, 0.00020697290892712772, 0.00027938035782426596]]
]
```

รูปที่ 98 ตัวอย่างข้อมูลความเข้มตามฟอร์แมต JASON encoded in UTF-8

UDP Client จำเป็นต้องส่งข้อความว่างเปล่าไปที่ UDP Server เพื่อแจ้งให้รู้ว่า UDP Client ยังสนใจที่จะรับข้อมูลอยู่เป็นระยะ ๆ เพื่อที่ UDP Server จะได้ส่งข้อมูลของความเข้มต่อเนื่องต่อไป โพล์ซาร์ทการติดต่อสื่อสารระหว่าง UDP Client และ UDP Server เป็นไปตามที่แสดงในรูปที่ 99



รูปที่ 99 โพล์ซาร์ทการติดต่อสื่อสารระหว่าง UDP Client และ UDP Server

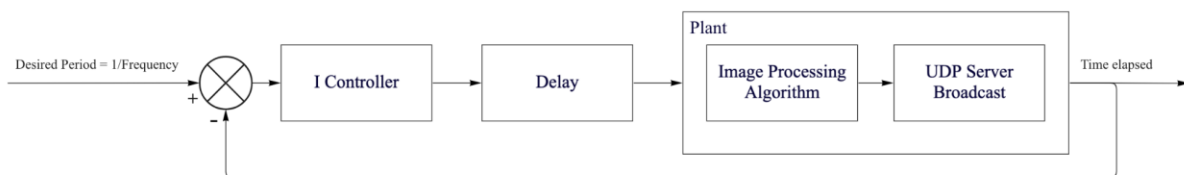
การควบคุมความถี่ในการส่งข้อมูล

การควบคุมความถี่ในการส่งข้อมูลของ UDP Server ใช้การควบคุมระยะเวลาดีเลย์ (d) แบบอินทิกรัล ตามขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดค่าระยะเวลาดีเลย์เริ่มต้นเป็น $d_0 = \frac{1}{F}$
2. ในแต่ละรอบทำขั้นตอนต่อไปนี้

- คำนวณหาความผิดพลาดของระยะเวลาดีเลย์จากสมการ $e_i = ((t_i - t_{i-1}) - \frac{1}{F})$ โดยที่ $i = 1, \dots$
- ปรับระยะเวลาดีเลย์จากสมการ $d_i = d_{i-1} - e_i k_I$ โดยที่ $k_I > 0$ เป็นค่าเกนแบบอินทิกรัล

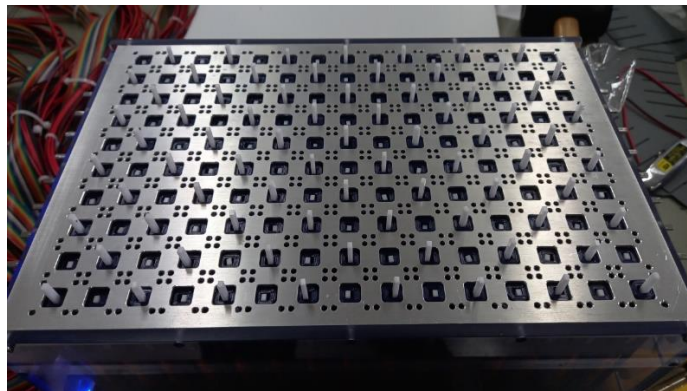
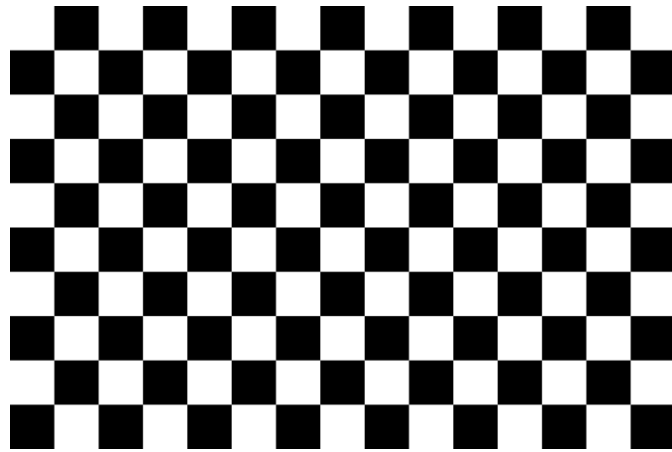
รูปที่ 100 แสดงถึงบล็อกไดอะแกรมในการควบคุมความถี่ในการส่งข้อมูล



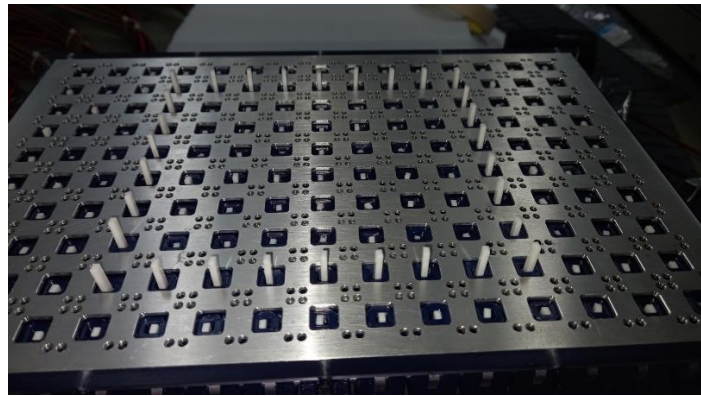
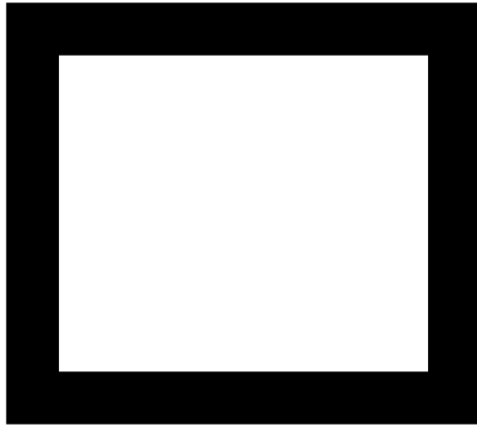
รูปที่ 100 บล็อกไดอะแกรมในการควบคุมความถี่ในการส่งข้อมูล

2.1.5 การรวมระบบการรับสัญญาณภาพจากจอโทรทัศน์ผ่านกล่องและระบบแสดงภาพแบบสัมผัสและผลการทดสอบอุปกรณ์

นักวิจัยได้ทำการทดลองขึ้นรูปขึ้นรูปขึ้นส่วนต่าง ๆ ของระบบแสดงภาพแบบสัมผัสโดยการสั่งให้เซลล์เคลื่อนที่ทั้งหมด จำนวน 150 เซลล์สร้างรูปแบบต่าง ๆ ของภาพแบบสัมผัส ดังแสดงในรูปที่ 101 – 131 ซึ่งแสดงถึงสัญญาณภาพอินพุท และ ภาพแบบสัมผัสที่ได้จากระบบ โดยสัญญาณอินพุทประกอบไปด้วยรูปตารางหมากรุก รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส รูปตัวอักษรคำว่า AIT รูปตัวอักษรคำว่า 150 cell รูปวงกลมกลวง รูปวงกลมทึบ รูปหลากหลายแบบพร้อมกัน รูปเกลียวเหลี่ยม รูปตัว Space Invader รูปร่ม รูปสี่เหลี่ยมที่ความเข้มลดหลั่นกันไป โดยที่ความเข้มสูงสุดอยู่ด้านใน รูปสี่เหลี่ยมที่ความเข้มลดหลั่นกันไปโดยที่ความเข้มสูงสุดอยู่ด้านนอก รูปเกลียวเหลี่ยมที่ความเข้มลดหลั่นกันไปโดยที่ความเข้มสูงสุดอยู่ด้านใน รูปเกลียวเหลี่ยมที่ความเข้มลดหลั่นกันไปโดยที่ความเข้มสูงสุดอยู่ด้านนอก รูปแบบสุ่มที่ความเข้มต่าง ๆ รูปสี่เหลี่ยมขนาดเล็กหลายรูปที่ความเข้มแตกต่างกัน รูปหุบเขาที่ความเข้มแตกต่างกันโดยที่ความเข้มสูงสุดอยู่ด้านนอกสุด รูปสันเขาที่ความเข้มแตกต่างกันโดยที่ความเข้มสูงสุดอยู่ด้านในสุด รูปหุบเขาแนวเส้นทแยงมุมที่ความเข้มแตกต่างกันโดยที่ความเข้มสูงสุดอยู่ด้านนอกสุด รูปเส้นแนวตั้งที่ความเข้มแตกต่างกันโดยที่ความเข้มสูงสุดอยู่ด้านซ้าย รูปเส้นแนวนอนที่ความเข้มแตกต่างกันโดยที่ความเข้มสูงสุดอยู่ด้านบน รูปหัวลูกศรที่ความเข้มแตกต่างกันโดยที่ความเข้มสูงสุดอยู่ด้านขวา รูปหัวคนโดยสัญญาณภาพที่รับมาเป็นภาพสี และรูปหัวใจโดยสัญญาณภาพที่รับมาเป็นภาพสี

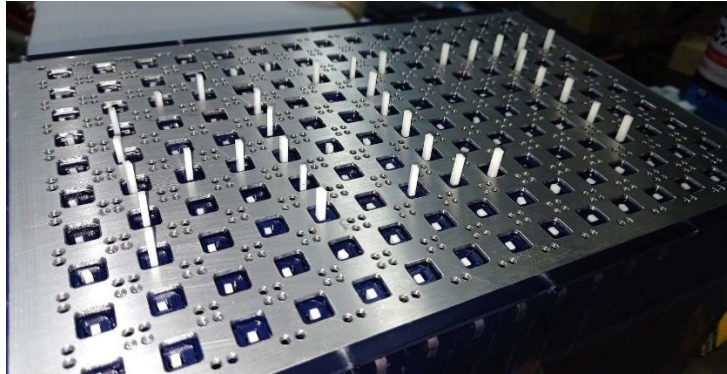


รูปที่ 101 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสัมพันธ์รูปตารางหมากรุก



รูปที่ 102 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสัมผัสรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส

AIT

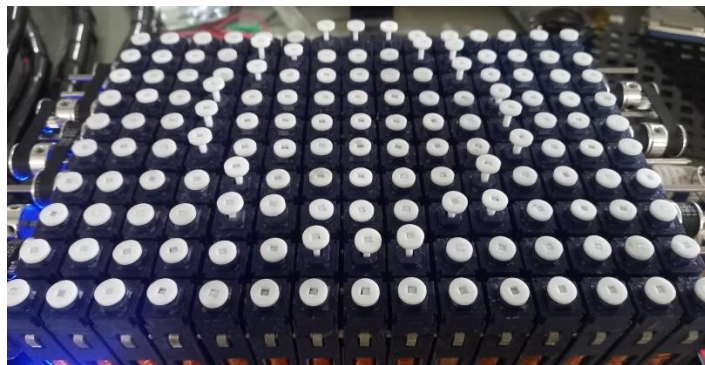
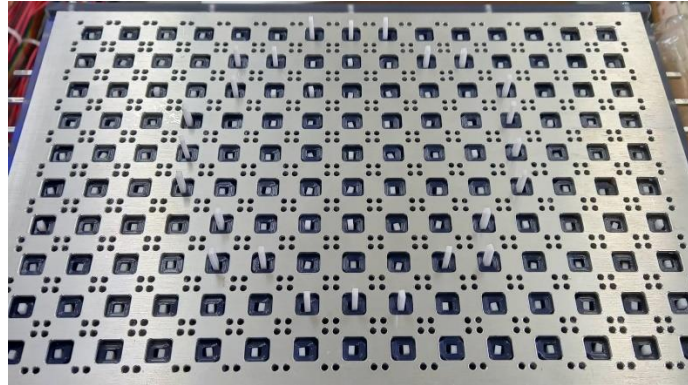
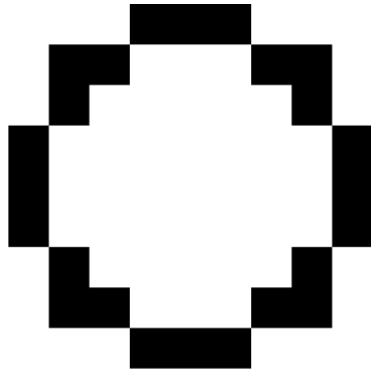


รูปที่ 103 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสัมผัสรูปตัวอักษรคำว่า AIT

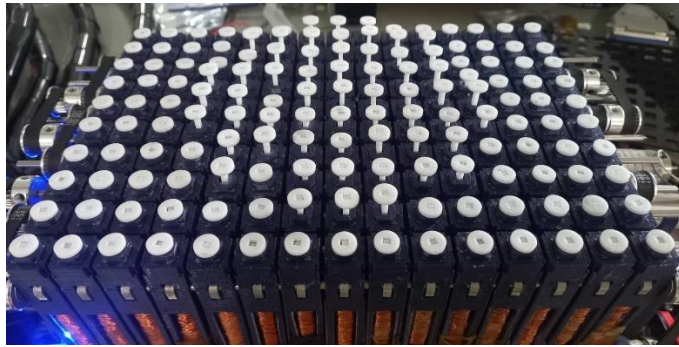
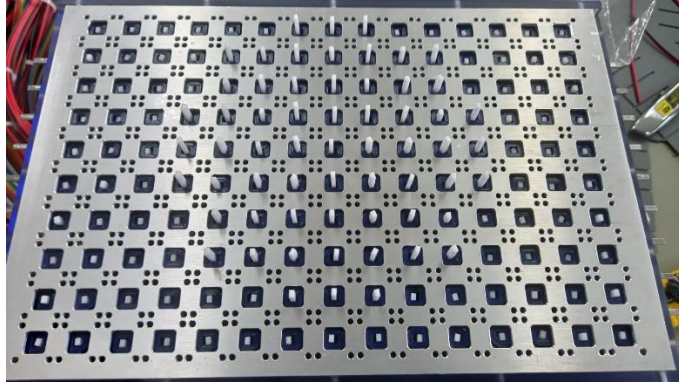
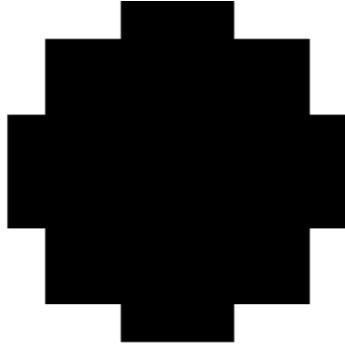
150
cell



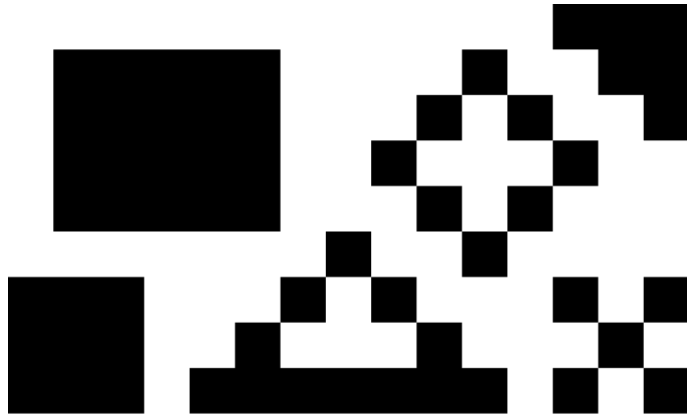
รูปที่ 104 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสั้มีสรูปตัวอักษรคำว่า 150 cell



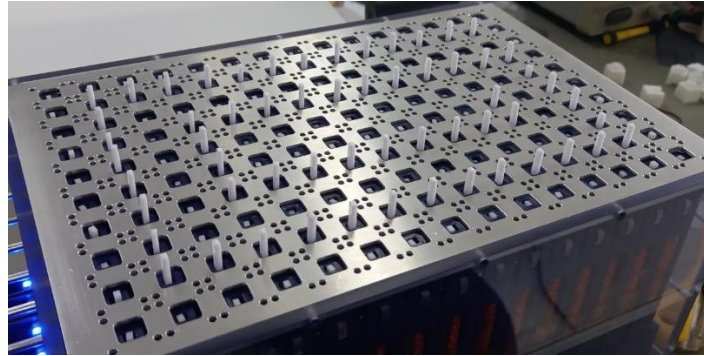
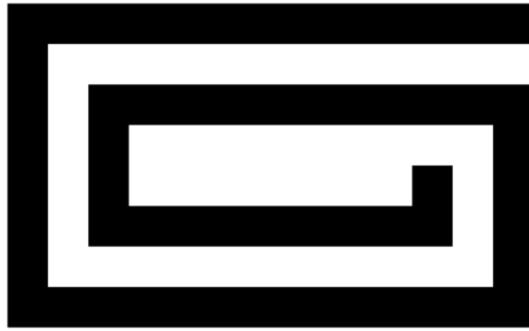
รูปที่ 105 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสัมผัสรูปวงกลมกลาง



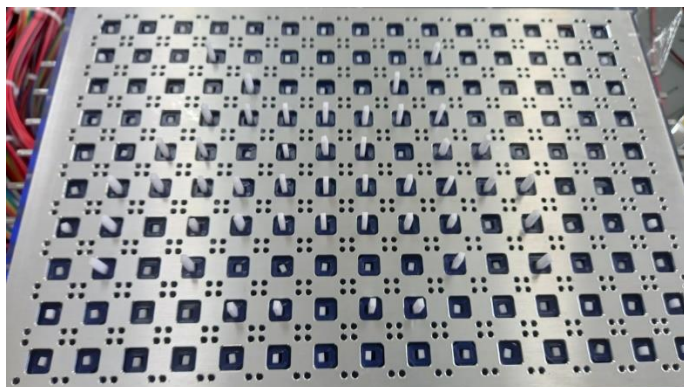
รูปที่ 106 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสัมผัสรูปวงกลมทึบ



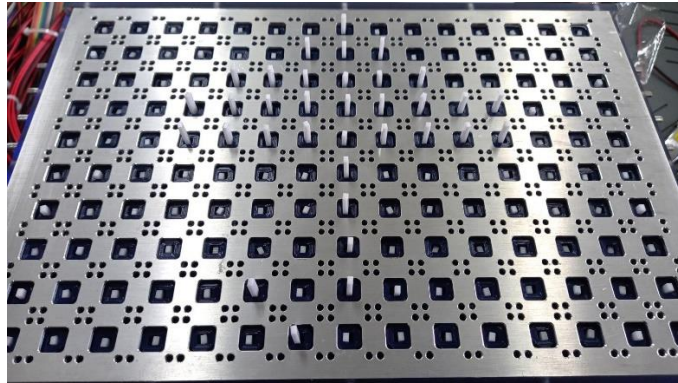
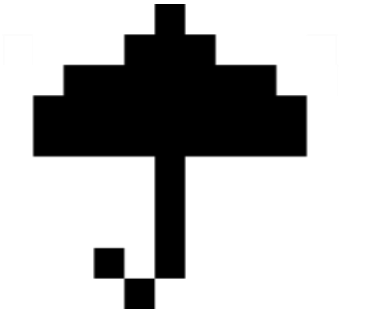
รูปที่ 107 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสัมผัสรูปหลากหลายแบบพร้อมกัน



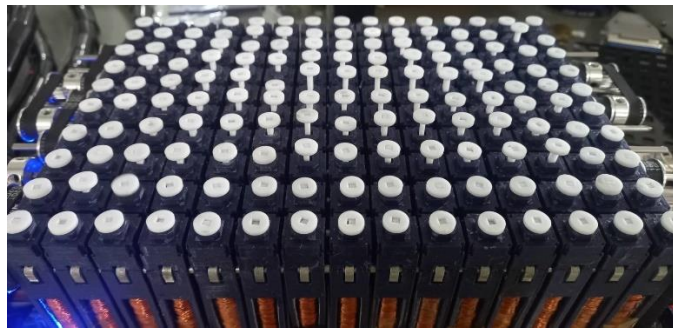
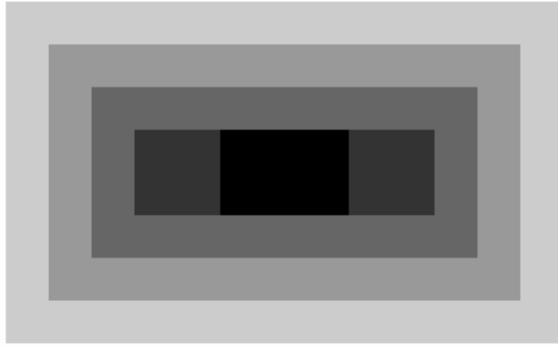
รูปที่ 108 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสัมผัสรูปเกลียวเหลี่ยม



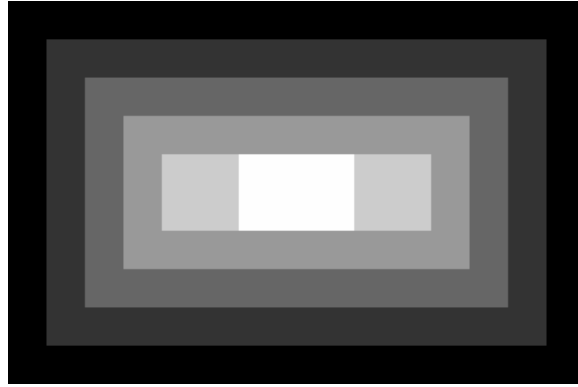
รูปที่ 109 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสัมผัสรูปตัว Space Invader



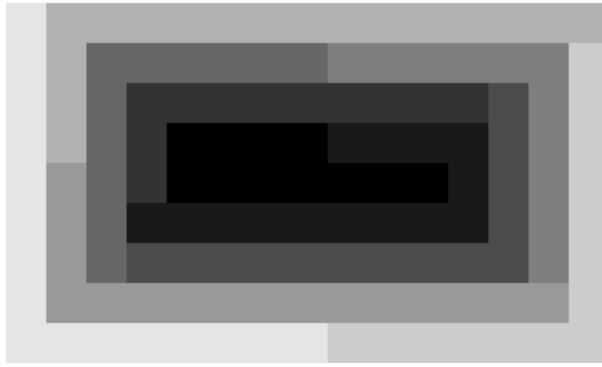
รูปที่ 110 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสัมผัสรูปร่ม



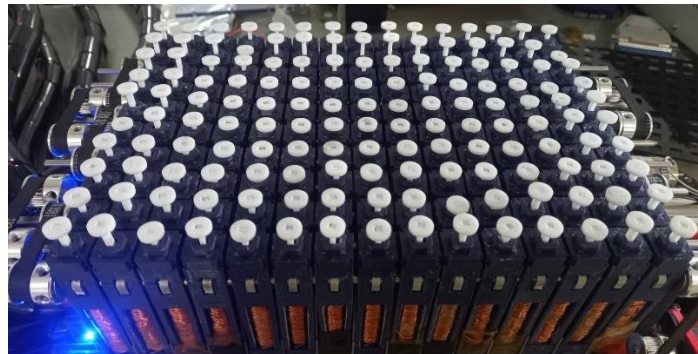
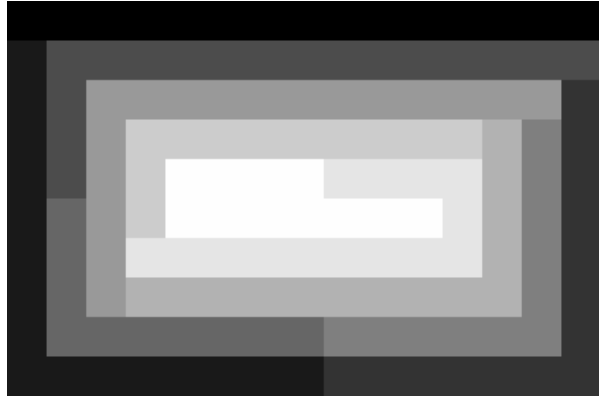
รูปที่ 111 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสัมผัสรูปสี่เหลี่ยมที่ความเข้มลดหลั่นกันไป
โดยที่ความเข้มสูงสุดอยู่ด้านใน



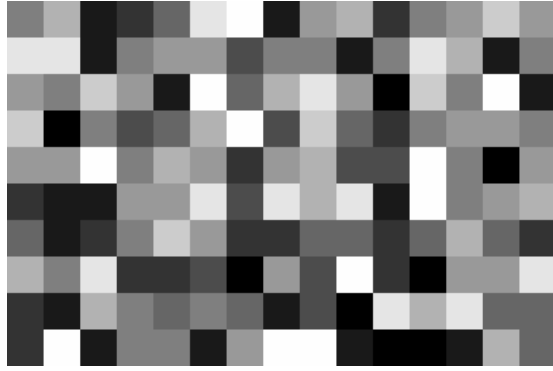
รูปที่ 112 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสัมผัสรูปสี่เหลี่ยมที่ความเข้มลดหลั่นกันไป โดยที่ความเข้มสูงสุดอยู่ด้านนอก



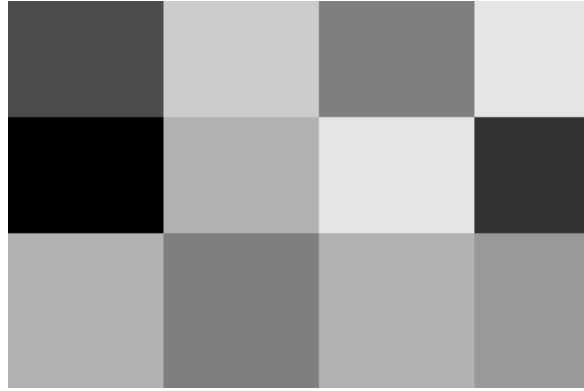
รูปที่ 113 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสัมผัสรูปเกลียวเหลี่ยมที่ความเข้มลดหลั่นกันไป โดยที่ความเข้มสูงสุดอยู่ด้านใน



รูปที่ 114 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสัมผัสรูปเกลียวเหลี่ยมที่ความเข้มลดหลั่นกันไป โดยที่ความเข้มสูงสุดอยู่ด้านนอก



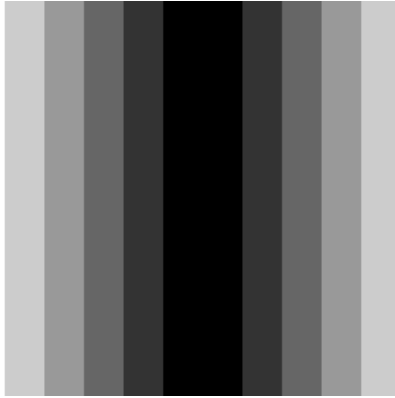
รูปที่ 115 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสัมผัสรูปแบบสุ่มที่ความเข้มต่าง ๆ



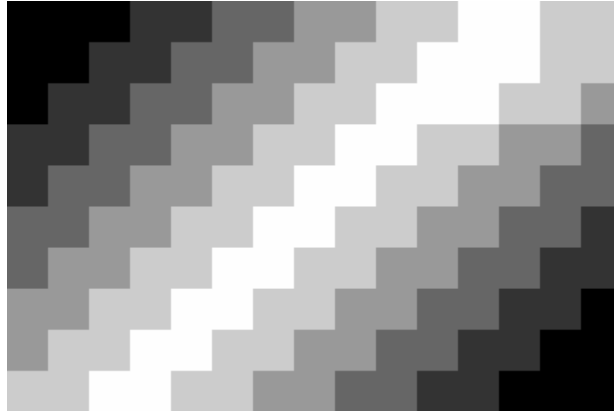
รูปที่ 116 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสัมผัสรูปสี่เหลี่ยมขนาดเล็กหลายรูปที่ความเข้มแตกต่างกัน



รูปที่ 117 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสัมผัสรูปหุบเขาที่ความเข้มแตกต่างกัน โดยที่ความเข้มสูงสุดอยู่ด้านนอกสุด



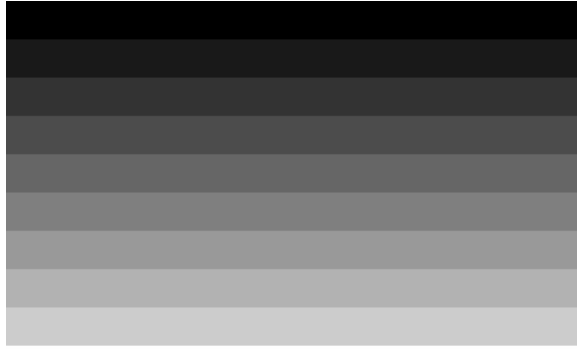
รูปที่ 118 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสัมผัสรูปสันเขาที่ความเข้มแตกต่างกัน โดยที่ความเข้มสูงสุดอยู่ด้านในสุด



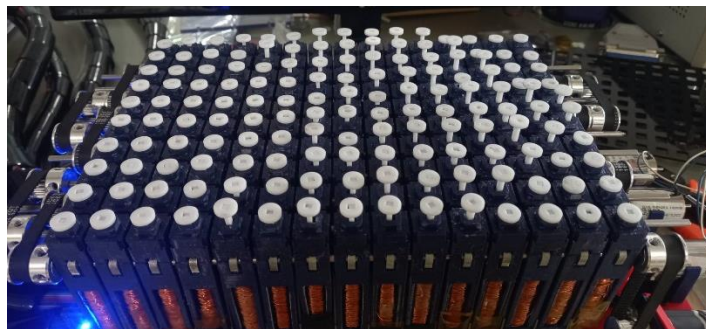
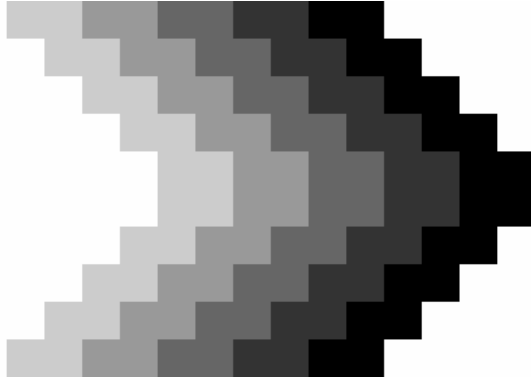
รูปที่ 119 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสัมผัสรูปหุบเขาแนวเส้นทแยงมุมที่ความเข้มแตกต่างกัน โดยที่ความเข้มสูงสุดอยู่ด้านนอกสุด



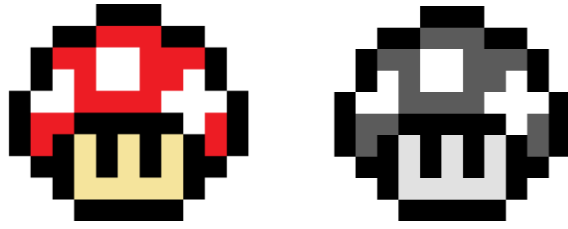
รูปที่ 120 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสัมผัสรูปเส้นแนวตั้งที่ความเข้มแตกต่างกัน โดยที่ความเข้มสูงสุดอยู่ด้านซ้าย



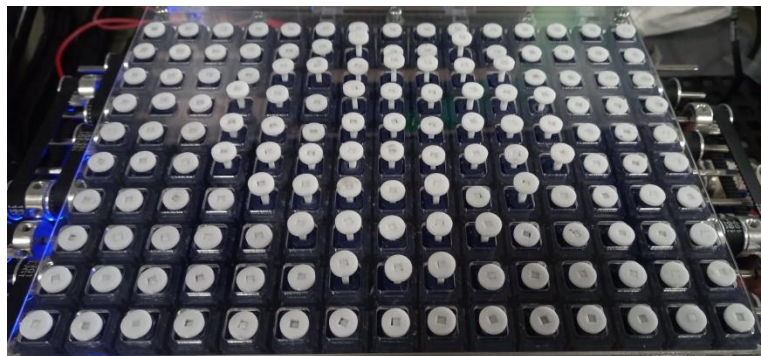
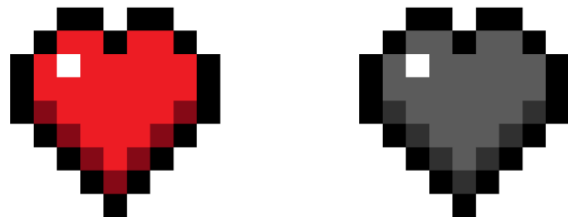
รูปที่ 121 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสัมผัสรูปเส้นแนวนอนที่ความเข้มแตกต่างกัน โดยที่ความเข้มสูงสุดอยู่ด้านบน



รูปที่ 122 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสัมผัสรูปหัวลูกศรที่ความเข้มแตกต่างกัน โดยที่ความเข้มสูงสุดอยู่ด้านขวา



รูปที่ 123 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสัมผัสรูปหัวคนโดยสัญญาณภาพที่รับมาเป็นภาพสี



รูปที่ 124 ผลการทดลองให้สร้างภาพแบบสัมผัสรูปหัวใจโดยสัญญาณภาพที่รับมาเป็นภาพสี

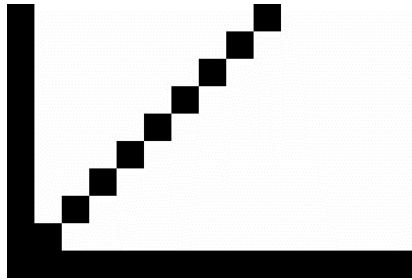
ในการทดสอบระบบแสดงผลภาพแบบสัมผัสที่พัฒนาขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญที่พิการทางสายตาได้รับข้อคิดเห็นว่า หากเปรียบเทียบกับระบบแสดงผลของอักษรเบรลล์นั้น เซลล์ที่ไม่มีการเคลื่อนที่จะจมฝังลงไปบนแป้นแสดงผลเลย ทำให้ผู้พิการสามารถแยกแยะว่าเซลล์ใดมีการเคลื่อนที่เซลล์ใดไม่มีการเคลื่อนที่ได้ง่าย ขณะที่ระบบแสดงผลภาพแบบสัมผัสที่พัฒนาขึ้นนั้น ส่วนหัวของแต่ละเซลล์จะไม่ฝังลงไปบนแป้นแสดงผล ทำให้การรับรู้ถึงภาพแบบสัมผัสทำได้ยาก นอกจากนี้ผู้พิการทางสายตายังไม่สามารถแยกแยะหากเซลล์มีตำแหน่งที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย อีกสาเหตุที่การรับรู้ของภาพแบบสัมผัสยังมีข้อบกพร่องคือ เวลาที่ใช้ในการรักษาภาพแบบสัมผัสจะต้องมีขนาดนานเพียงพอเพื่อให้ผู้พิการทางสายตาสามารถสัมผัสทุกเซลล์ได้ทัน การรีเฟรชภาพทุก 5 วินาทีสำหรับ 150 เซลล์เร็วเกินไป

นอกจากนี้แล้วการไม่มีเสียงแจ้งว่าขณะนี้ระบบกำลังสร้างการเคลื่อนที่ หรือระบบนั้นล๊อคตำแหน่งแล้ว ทำให้เป็นการยากสำหรับผู้พิการทางสายตาทราบว่าเมื่อใดควรเอามือออก เมื่อใดควรเริ่มการคลำภาพ ยิ่งทำให้การตีความภาพแบบสัมผัสยากขึ้นไปอีก

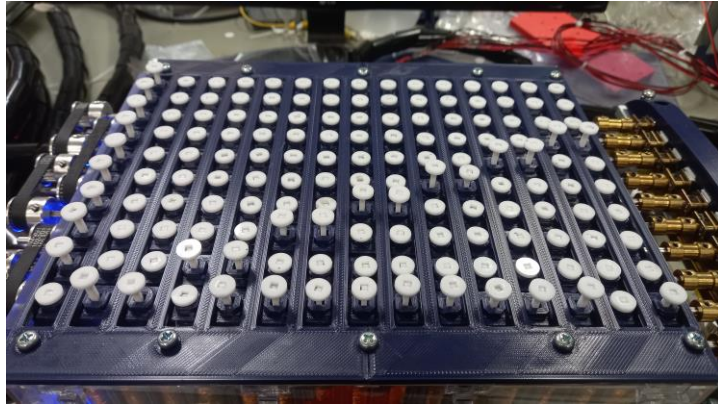
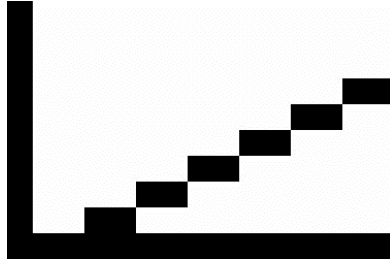
ผลการทดลองในรายงานระบบสามารถแสดงภาพต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากนักวิจัยไม่ได้ล๊อคการเคลื่อนที่ของแต่ละเซลล์ และใช้เวลาในการสร้างการเคลื่อนที่ของทุกเซลล์นานนับจากเริ่มรับคำสั่ง ทำให้แรงดันอันเนื่องมาจาก Integral term สูงขึ้น ๆ จนทำให้ข้อผิดพลาดของตำแหน่งหมดไป อย่างไรก็ตาม การไม่ล๊อคการเคลื่อนที่ทำให้ไม่มีแรงต้านขนาดอย่างต่ำ 500 mN ซึ่งยังเป็นข้อบกพร่องมีต้องมีการปรับปรุงระบบให้ดีขึ้นต่อไป ในการทดสอบระบบแสดงภาพแบบสัมผัสที่พัฒนาขึ้น โดยผู้เชี่ยวชาญที่พิการทางสายตาเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุกเซลล์มีจำกัดก่อนที่ระบบล๊อคการเคลื่อนที่จะทำงาน สิ่งนี้เป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้ภาพแบบสัมผัสยังมีข้อผิดพลาดในบางเซลล์อยู่

2.1.5.1 การแสดงผลเป็นกราฟและอักษรเบรลล์

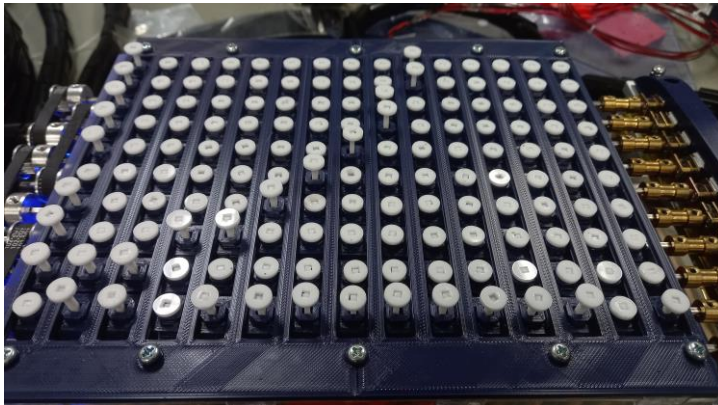
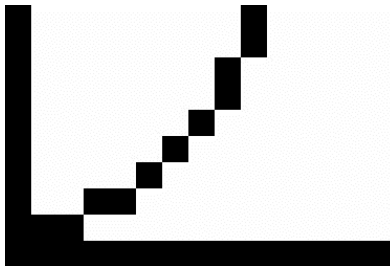
หลังจากที่คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิได้มาเยี่ยมชมและประเมินผลระบบแสดงผลภาพแบบสัมผัส คณะกรรมการได้ให้ข้อคิดเห็นให้ใช้ระบบในการแสดงผลเป็นกราฟและอักษรเบรลล์เพิ่มเติม นักวิจัยได้ทำการทดสอบให้ระบบแสดงผลภาพแบบสัมผัสทำการแสดงผล กราฟของความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ $y = x$, $y = \frac{x}{2} - 2$, $y = x^2$ กราฟแท่ง ตัวอักษรเบรลล์ของคำว่า AIT และ 150 Cells ดังแสดงในรูปที่ 125-130



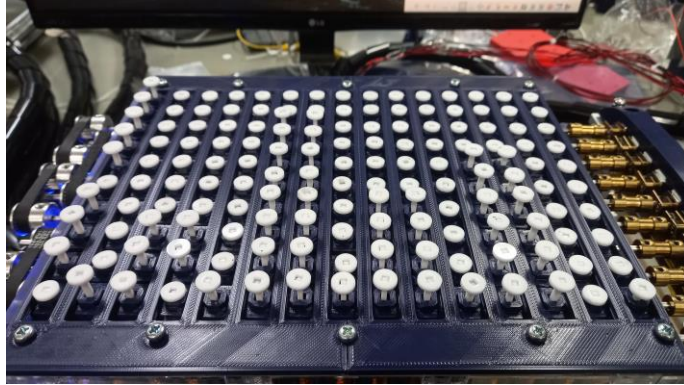
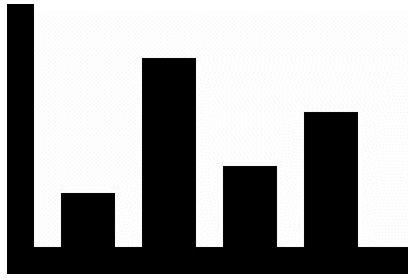
รูปที่ 125 ผลการทดลองในการแสดงผลกราฟของความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ $y = x$



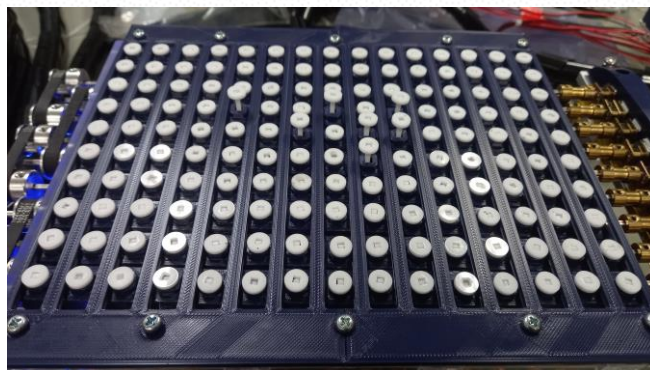
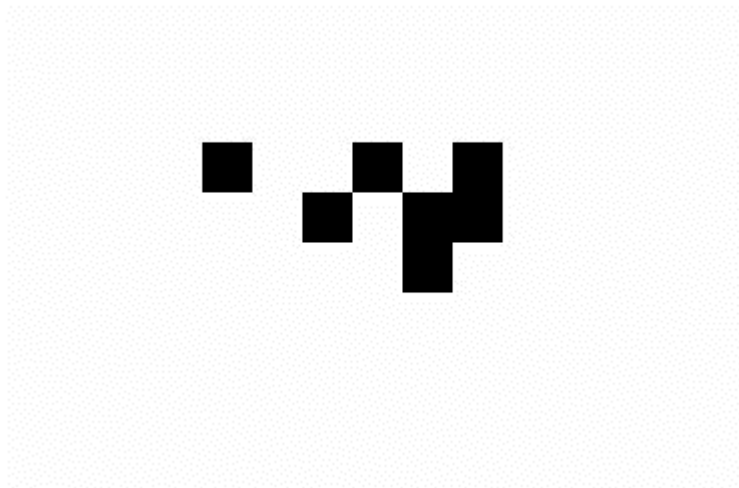
รูปที่ 126 ผลการทดลองในการแสดงผลกราฟของความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ $y = \frac{x}{2} - 2$



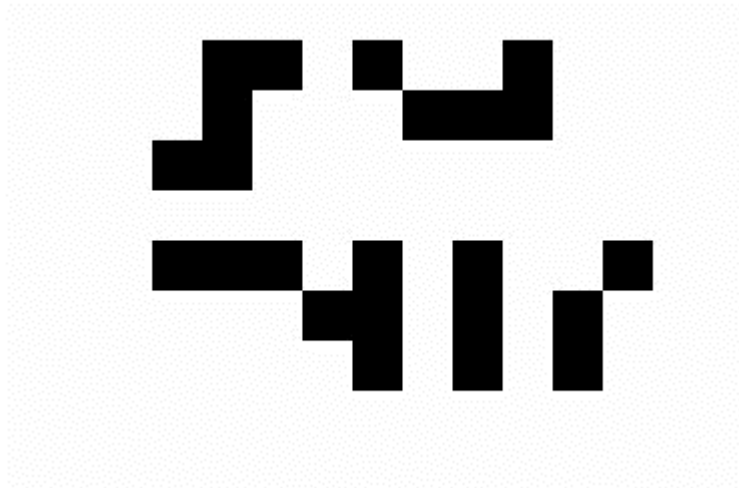
รูปที่ 127 ผลการทดลองในการแสดงผลกราฟของความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ $y = x^2$



รูปที่ 128 ผลการทดลองในการแสดงผลกราฟแท่ง



รูปที่ 129 ผลการทดลองในการแสดงผลอักขรเบรลล์ของคำว่า AIT



รูปที่ 130 ผลการทดลองในการแสดงผลอักขรเบรลล์ของคำว่า 150 Cells

2.1.5.2 การทดสอบระบบกับผู้พิการทางสายตา

นักวิจัยได้ทำการทดสอบระบบแสดงภาพแบบสัมผัสกับผู้พิการทางสายตา จากสถาบันคนตาบอดแห่งชาติ เพื่อการวิจัยและพัฒนาจำนวน 3 คน เป็นสุภาพสตรี 2 ท่านและสุภาพบุรุษ 1 ท่าน ดังแสดงในรูปที่ 131 โดยในการทดสอบนั้นจะให้ผู้พิการทำการใช้อุปกรณ์ หลังจากนั้นจึงได้ขอความเห็นถึงประสิทธิภาพของระบบแสดงภาพแบบสัมผัส ผลการทดสอบเป็นไปดังที่ได้แสดงในรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 131 การทดสอบระบบแสดงภาพแบบสัมผัสกับผู้พิการทางสายตา

ผู้พิการคนที่ 1 เพศ ชาย อายุ 30

1. ความยากง่ายในการรับรู้ถึงภาพแบบสัมผัสที่แสดง ระดับ 3 (ปานกลาง)

2. ระยะเวลาในการแสดงผล 5 วินาที เหมาะสมหรือไม่ ไม่เหมาะสม

หากไม่เหมาะสม ระยะเวลาในการแสดงผลที่เหมาะสมควรเป็น 7-10 วินาที

3. ความละเอียดขนาด 1.5 ซม x 1.5 ซม เหมาะสมหรือไม่ เหมาะสม

4. ระยะความสูงในการแสดงผลภาพ 1 ซม เหมาะสมหรือไม่ เหมาะสม

5. รูปทรงฝาครอบเหมาะสมหรือไม่ ไม่เหมาะสม

หากไม่เหมาะสม รูปทรงที่เหมาะสมควรเป็น รูปทรงโดม

6. ความเห็นอื่น ๆ บางครั้งมีข้อผิดพลาดของความสูงในการแสดงผลทำให้เกิดการสับสนในการตีความหมาย

ผู้พิการคนที่ 2 เพศ หญิง อายุ 29

1. ความยากง่ายในการรับรู้ถึงภาพแบบสัมผัสที่แสดง ระดับ 3 (ปานกลาง)
2. ระยะเวลาในการแสดงผล 5 วินาที เหมาะสมหรือไม่ ไม่เหมาะสม
หากไม่เหมาะสม ระยะเวลาในการแสดงผลที่เหมาะสมควรเป็น 15 วินาที
3. ความละเอียดขนาด 1.5 ซม x 1.5 ซม เหมาะสมหรือไม่ เหมาะสม
4. ระยะเวลาสูงในการแสดงภาพ 1 ซม เหมาะสมหรือไม่ เหมาะสม
5. รูปทรงฝาครอบเหมาะสมหรือไม่ ไม่เหมาะสม
หากไม่เหมาะสม รูปทรงที่เหมาะสมควรเป็น รูปทรงโดมสำหรับอักษรเบรลล์รูปทรงกระบอกสำหรับกราฟ
6. ความเห็นอื่น ๆ ไม่มี

ผู้พิการคนที่ 3 เพศ หญิง อายุ 27

1. ความยากง่ายในการรับรู้ถึงภาพแบบสัมผัสที่แสดง ระดับ 3 (ปานกลาง)
2. ระยะเวลาในการแสดงผล 5 วินาที เหมาะสมหรือไม่ ไม่เหมาะสม
หากไม่เหมาะสม ระยะเวลาในการแสดงผลที่เหมาะสมควรเป็น 7 วินาที
3. ความละเอียดขนาด 1.5 ซม x 1.5 ซม เหมาะสมหรือไม่ ไม่เหมาะสม
หากไม่เหมาะสม ความละเอียดที่เหมาะสมควรเป็นขนาด 1 ซม x 1 ซม
4. ระยะเวลาสูงในการแสดงภาพ 1 ซม เหมาะสมหรือไม่ เหมาะสม
5. รูปทรงฝาครอบเหมาะสมหรือไม่ เหมาะสม
6. ความเห็นอื่น ๆ ไม่มี

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าความยากง่ายในการรับรู้ถึงภาพแบบสัมผัสที่แสดงมีระดับ 3 (ปานกลาง) ผู้พิการส่วนใหญ่มีความเห็นว่าระยะเวลาในการแสดงผลสั้นไป โดยที่ระยะเวลาที่เหมาะสมควรนานขึ้นเป็น 7-15 วินาที ผู้พิการส่วนใหญ่มีความเห็นว่าความละเอียดขนาด 1.5 ซม x 1.5 ซม เหมาะสมอยู่แล้ว ระยะเวลาสูงในการแสดงภาพ 1 ซม เหมาะสมอยู่แล้ว รูปทรงฝาครอบขึ้นอยู่กับสิ่งที่แสดงผลหากเป็นอักษรเบรลล์ควรมีฝาครอบรูปทรงโดม

2.1.6 สรุป

นักวิจัยได้ทำการพัฒนาระบบแปลงภาพจากจอโทรทัศน์เป็นภาพแบบสัมผัสสำหรับผู้พิการทางสายตาดำขึ้น โดยผู้พิการทางสายตาดำจะใช้นิ้วและฝ่ามือในการลูบคลำบนอุปกรณ์สร้างภาพแบบสัมผัส เพื่อรับรู้ถึงรูปภาพที่แสดงอยู่บนหน้าจอโทรทัศน์ ซึ่งระบบที่ได้พัฒนาขึ้นจะรับสัญญาณภาพจากจอโทรทัศน์ผ่านแว่นตาที่ติดตั้งกล้อง แล้วทำการแปลงภาพเป็นภาพแบบสัมผัส โดยระบบที่ได้พัฒนาขึ้นจะมีขนาด 11 นิ้ว มีความละเอียด 15x10 (150) หน่วย โดยแต่ละหน่วยจะอยู่ห่างกัน 1.5 ซม. มีระยะการขึ้นลงของตัวสร้างการสัมผัส 1 ซม. ตัวสร้างการสัมผัสสามารถหยุดที่ระยะใดก็ได้ แรงในการแสดงผลแต่ละหน่วยขนาด 500 mN โดยมีอัตราการเปลี่ยนภาพที่อัตรา 1 ภาพในทุกๆ 5 วินาที หลังการพัฒนานักวิจัยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมตำแหน่งและการสร้างภาพแบบต่าง ๆ พบว่าระบบที่ได้พัฒนาขึ้นทำงานได้ตามที่ได้ออกแบบไว้ และมีความเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้งานจริงต่อไป

2.1.7. เอกสารอ้างอิง

- [1] http://blindandcomputeraroundtheworld.blogspot.com/p/blog-page_23.html
- [2] https://www.epfl.ch/labs/lmts/lmts-research/haptics/haptics_em/
- [3] <https://www.blindpad.eu/>
- [4] https://www.epfl.ch/labs/lmts/lmts-research/haptics/haptics_smp/
- [5] Anan Suebsomran and Manukid Parnichkun. "Disturbance Observer-Based Hybrid Control of Displacement and Force in a Medical Tele-Analyzer," International Journal of Control, Automation, and Systems. ICASE and KIEE. Vol. 3, No. 1, pp. 70-78 (2005)

2.1.8 รายงานผลการผลิตนักศึกษา

โครงการนี้ได้ผลิตนักศึกษาในระดับปริญญาโทจำนวนสองคน ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. นาย Xavier Jonathon Blake สัญชาติไทย, ชื่อวิทยานิพนธ์ Development of a TV-Image Conversion to Haptics Display for the Visually Impaired สำเร็จการศึกษา พฤษภาคม 2566
2. นาย Hilaius Prin Pujianto สัญชาติอินโดนีเซีย, ชื่อวิทยานิพนธ์ Development of Electromagnetic-based Haptics Display with Height Variation สำเร็จการศึกษา พฤษภาคม 2565

2.1.9 รายงานบทความการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

โครงการนี้ได้มีบทความการประชุมวิชาการระดับนานาชาติจำนวนหนึ่งบทความ ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. Xavier Jonathon Blake and Manukid Parnichkun, Development of an Electromagnetic Haptic Display System for the Visually Impaired, Proceedings of the 2023 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2023), Samui, Thailand, 2023.

2.1.10 รายงานผลการดำเนินงานฉบับย่อสำหรับตีพิมพ์ในวารสารสำนักงาน กสทช

โครงการนี้ได้จัดทำรายงานผลการดำเนินงานฉบับย่อสำหรับตีพิมพ์ในวารสารสำนักงาน กสทช ตามเอกสารที่แนบมาพร้อมรายงานฉบับนี้

2.2 สถานภาพการดำเนินโครงการรายกิจกรรม

กิจกรรม	ระยะเวลา	สถานะกิจกรรม/ ผลดำเนินงาน			แผนปฏิบัติการ ณ วันลงนาม ในสัญญา		ความก้าวหน้า โปรดทำเครื่องหมาย (✓)			กรณีล่าช้าหรือ เร็วกว่าแผน	
		แล้ว เสร็จ	อยู่ระหว่าง ดำเนินการ	ยังไม่ ดำเนินการ	เริ่มต้น	สิ้นสุด	ล่าช้า	ตามแผน	เร็วกว่า แผน	เริ่มต้น	สิ้นสุด
1. ค้นคว้าหา ข้อมูลเพิ่มเติมของ งานวิจัยและ เทคโนโลยีที่ เกี่ยวข้องกับ ระบบแสดงภาพ แบบสัมผัส	1 เดือน	✓				✓		✓			
2. ออกแบบทาง กลระบบแสดง ภาพแบบสัมผัส	4 เดือน	✓				✓		✓			
3. ออกแบบทาง ไฟฟ้าระบบแสดง ภาพแบบสัมผัส	4 เดือน	✓				✓		✓			
4. ออกแบบการ ควบคุมระบบ แสดงภาพแบบ สัมผัส	4 เดือน	✓				✓		✓			
5. โปรแกรมการ รับและการ จัดการสัญญาณ ภาพจาก จอโทรทัศน์	4 เดือน	✓				✓		✓			
6. รวมระบบการ รับสัญญาณภาพ จากจอโทรทัศน์ ผ่านกล้องและ	4 เดือน	✓				✓		✓			

ระบบแสดงภาพ แบบสัมผัส											
7. ทดสอบแก้ไข และประเมินผล	2 เดือน	✓				✓		✓			
8. สรุปการวิจัย และรายงานผล	1 เดือน	✓				✓		✓			

ส่วนที่ 3 รายงานความก้าวหน้าทางการเงิน

3.1 รายงานสรุปการใช้จ่ายงบประมาณ

รายละเอียดค่าใช้จ่ายในโครงการ								
หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณ	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	รวม	คงเหลือ	ร้อยละการเบิกจ่าย
1. ค่าตอบแทนบุคลากร	1,500,000	375,000	375,000	375,000	375,000	1,500,000	0	100%
2. ค่าใช้สอย	50,000	0	0	48,420	0	48,420	1,580	96.84%
3. ค่าวัสดุ	1,300,000	24,748.80	97,597	174,836.11	855,874.92	1,153,056.83	146,943.17	88.70%
4. ค่าใช้จ่ายครุภัณฑ์	80,000	0	0	0	0	0	80,000	0%
5. ค่าบริหารจัดการ	206,150	50,576	0	134,869	20,705	206,150	0	100%
6. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	235,580.50	0	0	187,220.44	0	187,220.44	48,360.06	79.47%
รวม	3,371,730.50	450,324.80	472,597	920,345.55	1,251,579.92	3,094,847.27	<u>276,883.23</u>	<u>91.79 %</u>

3.2 รายงานสรุปความก้าวหน้าทางการเงิน

จำนวนเงินที่ ได้รับและจำนวนเงินคงเหลือ						
ประจำงวด	มูลค่าตามสัญญา	วัน/เดือน/ปีที่ได้รับ	งบประมาณที่ได้รับจริง	ค่าใช้จ่าย	คงเหลือ	หมายเหตุ
งวดที่ 1	674,346.10	26/กค/65	505,759.57	450,324.80	55,434.77	
งวดที่ 2	1,348,692.20	8/พย/65	1,348,692.20	472,597	931,529.97	
งวดที่ 3	1,011,519.15	15/มีค/66	1,011,519.15	920,345.55	1,022,703.57	
งวดที่ 4	337,173.05	ยังไม่ได้รับ	ยังไม่ได้รับ	1,251,579.92	-228,876.35	
รวม	3,371,730.50		2,865,970.92	3,094,847.27	-228,876.35	บาท