รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการขอรับการส่งเสริมและสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

ประเภทที่ ๑/๒๕๕๗

โครงการพัฒนาต้นแบบเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ราคาถูก ด้วยการใช้เทคนิควิศวกรรมย้อนรอยและวัสดุนวัตกรรมใหม่ สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต และโทรศัพท์สมาร์ตโฟน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

สัญญารับทุนเลขที่ T2-1-0007/57

สารบัญ

หน้า

1. สรุปผลการดำเนินงาน รายงานฉบับสมบูรณ์ 6
2. การปรับปรุงแผ่นวงจรพิมพ์เพื่อการผลิต 8
   2.1 การปรับปรุงแผ่นวงจรพิมพ์เปียโซ่ 8
   2.2 การปรับปรุงแผ่นวงจรพิมพ์หลัก 9
3. การปรับปรุง Braille Cell 13
   3.1 ปัญหาแท่งหมุด (Braille Pin) 14
   3.2 ปัญหา Braille Cell 15
   3.3 ผลการปรับปรุงชิ้นงาน Braille Cell 15
4. การปรับปรุงกล่องห่อหุ้มเพื่อการผลิต 16
5. การติดตั้งซอฟต์แวร์ใช้งาน 19
   5.1 การใช้งานโปรแกรม NVDA สำหรับ Windows 19
   5.2 การติดตั้ง Add-on (Thai Braille) ในกับโปรแกรม NVDA 20
   5.3 การเปิดใช้งานโปรแกรม NVDA ร่วมกับอุปกรณ์ 22
   5.4 การใช้งาน Thai Braille App สำหรับ Android 23
6. การทดสอบผลิตภัณฑ์ 28
   6.1 การทดสอบ Braille Keyboard 28
      6.1.1 การทดสอบทางไฟฟ้าของสวิตช์ปุ่มกดอักษรเบรลล์ (Braille Key) 28
      6.1.2 สวิตช์ปุ่มกดคำสั่ง (Command Key) 29
      6.1.3 สวิตช์ปุ่มกดลูกศร (Thumb Key) 30
      6.1.4 สวิตช์ปุ่มกดเว้นวรรค (Spacebar Key) 31
   6.2 การทดสอบทางซอฟต์แวร์ของสวิตช์ปุ่มกด 31
      6.2.1 สวิตช์ปุ่มกดอักษรเบรลล์ (Braille Key) 32
      6.2.2 สวิตช์ปุ่มกดคำสั่ง (Command Key) 32
      6.2.3 สวิตช์ปุ่มกดลูกศร (Thumb Key) 33
      6.2.4 สวิตช์ปุ่มกดเว้นวรรค (Spacebar Key) 33
   6.3 การทดสอบทางซอฟต์แวร์สำหรับการแสดงผลและการขับหน้าจอแสดงผล 34
   6.4 การปรับแก้ตำแหน่งการแสดงผลของหน้าจอแสดงผลอักษรเบรลล์ 36
      6.4.1 รูปแบบความคลาดเคลื่อนของการแสดงผล 36
      6.4.2 การทดสอบอุปกรณ์อื่น ๆ บนเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ 37
      6.4.3 ขั้นตอนในการทดสอบทางซอฟต์แวร์ของเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ 38
      6.4.4 การทดสอบหน้าจอแสดงผลอักษรเบรลล์ 43

รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ ๓ 46
1. สรุปผลการดำเนินงาน รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 3 47
2. ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย 47

2.1 ศึกษาการทำงานของคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ 47
2.2 วางแผนและออกแบบระบบการทำงานต่าง ๆ ในคีย์บอร์ด 47
2.3 การวิจัยและพัฒนาต้นแบบคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ 49
3. สถานะปัจจุบัน ความคืบหน้าและปัญหาของโครงงานวิจัยฯ 51
3.1 ภาพรวมของอุปกรณ์ 51
3.2 ส่วนงานทางด้านซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ 52
3.2.1 โปรโตคอลสื่อสารระหว่าง NVDA กับ Braille Display 53
3.2.2 การสื่อสารแบบอนุกรม 54
3.3 ส่วนงานทางด้านซอฟต์แวร์ของคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ 55
3.4 ส่วนงานทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ 56
3.4.1 โมดูลขยายแรงดันสำหรับขับอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริก 58
3.4.2 โมดูลบลูทูธ 4.0 59
3.4.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับติดต่อสื่อสารโปรโตคอลเอชไอดี 60
3.4.4 โมดูลแปลงสัญญาณ Serial เป็น Parallel 62
3.4.5 โมดูลแปลงไฟขึ้น DC 21V 64
3.4.6 โมดูลชาร์จแบตเตอรี่ 66
3.5 ส่วนงานทางด้านระบบแมคคานิกส์และการออกแบบ 67
4. ผลการทดสอบของอุปกรณ์ 69
4.1 การทดสอบทางไฟฟ้าของอุปกรณ์จ่ายพลังงาน 69
4.1.1 การทดสอบกำลังไฟฟ้าเพื่อขับแผ่นเปียโซ 70
4.1.2 การทดสอบการใช้พลังงานรวม 71
4.2 การทดสอบเพียโซอิเล็กทริก 71
4.2.1 การทดสอบการงอของแผ่นเปียโซ 72
4.2.2 สรุปความสัมพันธ์ของการจ่ายไฟกับทิศทางในการงอของเพียโซอิเล็กทริก 72
4.3 การประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์ 73
4.3.1 การประกอบ Braille Cell 73
4.3.2 การบัดกรีแผ่นเปียโซ และการเก็บปลายสายไฟ 73
4.3.3 การทดสอบผลการประกอบชิ้นงาน 74
4.3.4 การประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นวงจรพิมพ์ 74
4.3.5 การประกอบแผงวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูง 76
4.3.6 ปัญหาที่พบจากการประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆ 78
5. การปรับปรุงประสิทธิภาพต้นแบบ 78
5.1 กรณีศึกษาการประกอบ Braille Cell ของบริษัท Metec 78
6. รายงานการทดสอบการทำงานกับกลุ่มตัวอย่างผู้พิการทางสายตา 81
6.1 การทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างผู้พิการทางสายตา 81
6.1.1 การทดสอบผิวของวัสดุ 81
6.1.2 การทดสอบการงอของแผ่นเปียโซ่อิเล็กทริค 84
6.2 ภาพบรรยากาศการทดสอบการทำงานกับกลุ่มผู้พิการทางสายตา 87

6.2.1 การทดสอบผิวของวัสดุ 87
6.2.2 การทดสอบการอ่าน 88
6.2.3 การทดสอบการพิมพ์ 88
6.3 การปรับปรุงประสิทธิภาพต้นแบบเพื่อตอบสนองต่อผู้พิการทางสายตา 89

รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ ๒ 92
1. สรุปผลการดำเนินงาน รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 2 93
1.1 ส่วนของ Braille Cell 93
1.1.1 แบบสำหรับพิมพ์ Braille Pin 93
1.1.2 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ (3D Printer) 96
1.1.3 ผลการพิมพ์ตัวอย่างด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ 98
1.2 ส่วนของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ 101
1.3 ส่วนของตัวเรือนอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่าง ๆ 102
2. รายงานผลการพัฒนาวงจรอิเล็กทรอนิกส์และซอฟต์แวร์สำหรับการสื่อสารข้อมูล 102
2.1 เครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ (DEVICE OVERVIEW) 102
2.2 การใช้งานเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์เบื้องต้น 103
2.3 การเชื่อมต่อข้อมูล (Connectivity) 105
2.4 โปรแกรม Braille Display Reader (เวอร์ชั่นทดสอบ) 109
2.4.1 การแปลงตัวอักษรเบรลล์เป็นรหัส Unicode 109
2.4.2 โปรโตคอลสื่อสารระหว่างโปรแกรมและเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ 111
2.4.3 ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม 113
2.5 โปรแกรม Braille Display Tester 115
2.5.1 การเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานแบบกราฟิค 115
2.5.2 คุณลักษณะสำคัญของโปรแกรม 115
2.5.3 การใช้งานซอฟต์แวร์ 116
3. รายงานผลการพัฒนาเครื่องต้นแบบเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์สำหรับการทดสอบ 117
3.1 อักษรเบรลล์ (Braille) 117
3.2 อักษรเบรลล์ภาษาไทย 117
3.2.1 การเขียนพยัญชนะและสระตามปกติ 119
3.2.2 การเขียนสระลดรูปและเปลี่ยนรูป 120
3.2.3 การเขียนวรรณยุกต์ 120
3.2.4 การเขียนเครื่องหมายในภาษาบาลี และสันสกฤต 120
3.2.5 การเขียนเครื่องหมายวรรคตอน 120
3.3 คอมพิวเตอร์เบรลล์ (Computer Braille) 123
3.4 อุปกรณ์ต้นแบบเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ 123
3.4.1 แผนภาพโครงสร้างเครื่องต้นแบบและการเชื่อมต่อ 123
3.4.2 LPC2468 I/O Expender 124
3.4.3 PDm200b 125

3.4.4 การทดสอบโปรแกรม Braille Display 126
3.5 วัสดุผลิตปุ่มอักษรเบรลล์ 128
3.5.1 ลักษณะทางกายของปุ่มอักษรเบรลล์ 128
3.5.2 วัสดุที่ใช้ในการผลิต 128
3.5.3 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างปุ่มอักษรเบรลล์ 129
4. สรุปผลการดำเนินงานและการปรับปรุงแผนการดำเนินงาน 131

1. สรุปผลการดำเนินงาน รายงานฉบับสมบูรณ์

รายงานโครงการพัฒนาต้นแบบเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ราคาถูก ด้วยการใช้เทคนิควิศวกรรมย้อนรอยและวัสดุนวัตกรรมใหม่ สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต และโทรศัพท์สมาร์ตโฟน ฉบับนี้เป็นฉบับสุดท้ายที่รายงานผลการปรับปรุงเครื่องต้นแบบจากการทดสอบการใช้งานมาปรับปรุงและพัฒนาต่อในลักษณะเพื่อนำไปผลิตในเชิงอุตสาหกรรมร่วมกับโรงงานผู้ผลิต โดยทีมวิจัยได้พัฒนาปรับปรุงเครื่องต้นแบบดังกล่าว ในด้านต่างๆ สรุปได้ดังนี้

1. การปรับปรุงแผ่นวงจรพิมพ์เปียโซ แผ่นวงจรพิมพ์เปียโซเป็นแผ่นวงจรพิมพ์ที่เชื่อมต่อกับแผ่นเปียโซอิเล็กทริค และเชื่อมต่อกับ Braille Cell ทำให้ต้องมีขนาดเล็กทำให้ยากต่อการออกแบบ ซึ่งในการทำต้นแบบเราออกแบบให้ใช้สายไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อเชื่อมต่อแผ่นเปียโซอิเล็กทริคกับแผ่นวงจรพิมพ์ตามต้นแบบที่เราได้ศึกษามา ซึ่งการประกอบต้นแบบสามารถใช้งานได้ โดยสายไฟต้องมีความยาวที่เหมาะสม ถ้ายาวเกินไปจะทำให้ต้องขดสายไฟไว้ในพื้นที่ที่จำกัดจะทำให้ Braille Cell ประกบกันไม่สนิทเมื่อนำมาเรียงต่อกันเป็นขนาด 40 เซลล์ แต่ถ้าสายไฟสั้นเกินไปการบัดกรีปลายสายจะทำได้ยากลำบาก เนื่องจากด้วยขนาดของแผ่นวงจรพิมพ์ที่เล็กและสายไฟที่เล็กทำให้ต้องบัดกรีภายใต้กล้องส่องจุลทรรศน์เท่านั้น ดังนั้นการประกอบจึงใช้เวลานานและมีข้อผิดพลาดได้ง่าย เช่นสายไฟเกิดหักงอและขาดเนื่องจากสายไฟมีขนาดเล็กมาก

การปรับปรุงแผ่นวงจรพิมพ์เปียโซหลังจากที่ได้มีการนำชิ้นงานไปทดสอบการผลิต เราได้ออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ใหม่ โดยให้สามารถบัดกรีแผ่นเปียโซอิเล็กทริคลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ได้โดยตรงโดยไม่ต้องต่อสายไฟ ซึ่งต้องมีการวาง Layout แผ่นวงจรพิมพ์ใหม่และมีการทดสอบการผลิตอีกครั้ง ผลที่ได้คือเวลาในการผลิตลดลงประมาณ 10 เท่า จากใช้เวลาประมาณ 10 นาทีต่อชิ้น เหลือประมาณ 1 นาทีต่อชิ้น

2. การปรับปรุงแผ่นวงจรพิมพ์หลัก แผ่นวงจรพิมพ์ของเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ฯ เดิมได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ แผ่นวงจรหลักสำหรับส่วนวงจรประมวลผลกลาง (CPU) และ แผ่นวงจรรองสำหรับการปุ่มแป้นพิมพ์ โดยการสัมพันธ์กับการออกแบบกล่องห่อหุ้ม คือแผ่นวงจรหลักอยู่ด้านล่าง และแผ่นวงจรรองอยู่ด้านบนเพื่อรองรับกับปุ่มคีย์บอร์ดสำหรับการพิมพ์ ซึ่งแผ่นวงจรพิมพ์ทั้งสองได้ซ้อนกันอยู่เพื่อให้มีพื้นที่สำหรับการวางอุปกรณ์ต่างๆ บนแผ่นวงจรหลักเพิ่มขึ้น หลังจากได้ประกอบเครื่องต้นแบบแล้วก็มีการปรับปรุงให้แผ่นวงจรพิมพ์ทั้ง 2 แผ่น ให้เหลือแผ่นเดียวเพราะเมื่อได้มีการปรับปรุงการจัดวางอุปกรณ์ของแผ่นวงจรประมวลผลกลาง (CPU) ทำให้มีพื้นที่เหลือเพียงพอ และเพื่อเป็นการลดงานประกอบโดยถ้าใช้แผ่นวงจรพิมพ์แผ่นเดียวสามารถใช้เครื่องอัตโนมัติ SMT ในการวางอุปกรณ์และบัดกรีได้โดยตรง และลดการบัดกรีโดยพนักงานซึ่งจะทำให้งานการผลิตรวดเร็วขึ้น และมีความผิดพลาดน้อยลง ทำให้คุณภาพการผลิตเพิ่มขึ้น

3. การปรับปรุง Braille Cell จากการปรับปรุงแผ่นวงจรพิมพ์เปียโซทำให้ต้องมีการปรับปรุง Braille Cell อีกเล็กน้อยเพื่อให้การบัดกรีแผ่นเปียโซอิเล็กทริคบนแผ่นวงจรพิมพ์สามารถทำได้ง่าย และแก้ไขให้สามารถสอดชิ้นงานแผ่นเปียโซหลังจากการบัดกรีได้ง่าย ซึ่งเดิมการประกอบจะสอดใส่แผ่นเปียโซก่อนแล้วจึงบัดกรีสายไฟบนแผ่นวงจรพิมพ์ ต่อมาเปลี่ยนเป็นบัดกรีแผ่นเปียโซบนแผ่นวงจรพิมพ์ก่อนแล้วจึงสอดใส่ ซึ่งต้องมีการปรับปรุงขนาดของร่อง และบริเวณปากร่องให้สามารถสอดใส่ได้ง่าย อีกทั้งยังปรับปรุงให้แผ่นเปียโซไม่เสียดสีกับผนังกลางของเซลล์เวลาเกิดการเคลื่อนไหวหรือกระดก โดยปรับปรุงให้มีการยกร่องเพื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างเปียโซกับผนังกลางอีกเล็กน้อยเพื่อลดโอกาสการเกิดการเสียดสีในกรณีที่การประกอบแผ่นเปียโซมีข้อผิดพลาดเล็กน้อยที่ทำให้แผ่นเปียโซไม่ตรง ซึ่งเป็นการปรับปรุงที่ช่วยให้การผลิตทำได้ง่ายขึ้น และลดความผิดพลาดของการทำงานที่เกิดจากการผลิตเชิงอุตสาหกรรม

4. การปรับปรุงกล่องห่อหุ้ม จากการปรับปรุงแผ่นวงจรพิมพ์หลักและรองที่รวมเหลือแผ่นเดียวเพื่อให้สามารถผลิตได้รวดเร็วและแม่นยำขึ้น เราจึงต้องมีการปรับปรุงกล่องห่อหุ้มเพื่อให้สอดรับกับการวางเรียงของแผ่นวงจรพิมพ์ภายในเพื่อให้สามารถประกอบเครื่องได้อย่างรวดเร็วและลดข้อผิดพลาดในการประกอบ

5. โครงการนี้ได้แสดงวิธีการทดสอบผลิตภัณฑ์สำหรับการผลิตเชิงพาณิชย์ที่จำเป็นต้องทดสอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ก่อนและหลังจากการประกอบใช้งาน และการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่ต้องทดสอบในขั้นตอนสุดท้าย (Final Quality Check) ก่อนส่งมอบให้ลูกค้า ซึ่งโครงการนี้ได้พัฒนาเครื่องมือทดสอบ และซอฟต์แวร์สำหรับการทดสอบผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้ายอีกด้วย

6. โครงการนี้มีการผลิตเชิงพาณิชย์ร่วมกับโรงงานผู้ประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ บริษัท ฟอร์ท คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) ผลิตจำนวน 50 เครื่อง ผลของการดำเนินการในรอบแรกไม่ประสบความสำเร็จเนื่องจากการออกแบบชิ้นส่วนอุปกรณ์ และการประกอบยังไม่สอดคล้องกัน ทำให้การประกอบใช้เวลานานเกินไป และเกิดความผิดพลาดได้ง่าย ทำให้ต้นทุนแรงงานสำหรับการประกอบเครื่องมีค่าใช้จ่ายสูง เราจึงนำข้อเสนอแนะจากบริษัทมาปรับปรุงแผ่นวงจรพิมพ์ส่วนต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น ทำให้เราเสียวัสดุจำนวนมากในการทดลองประกอบครั้งที่ 1 จึงต้องสั่งชิ้นส่วนอุปกรณ์ และผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ออกแบบใหม่ ทำให้สูญเสียเงินค่าวัสดุจำนวนมาก และต้องรอการสั่งซื้อจากต่างประเทศ ทำให้โครงการมีความล่าช้า

7. ข้อเสนอแนะจากโครงการ คือ การผลิตเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ราคาถูกสามารถผลิตในเชิงพาณิชย์ได้จริง แต่การผลิตนั้นได้สูญเสียวัสดุและเวลาในการลองผิดลองถูก ซึ่งโครงการได้ตั้งงบประมาณการผลิตไว้เพียง 50 เครื่อง แต่การผลิตจริงเชิงพาณิชย์ต้องมีการปรับปรุงหลายครั้ง ซึ่งในโครงการเราผลิตจริงมากกว่า 80 เครื่อง ทำให้งบประมาณที่ตั้งไว้ (จำนวน 1,500,000 บาท) ไม่เพียงพอ ทำให้งบประมาณวัสดุไม่เพียงพอ (ติดลบกว่า 900,000 บาท) จึงต้องมีถังงบประมาณรายจ่ายจากหมวดค่าตอบแทนมาเป็นค่าวัสดุ ดังนั้นการผลิตเชิงพาณิชย์ไม่ควรให้มีการผลิตจริงเพราะจะเป็นการสิ้นเปลืองงบประมาณ ซึ่งโครงการนี้ได้เสนอเพียงการผลิตต้นแบบจำนวน 5 เครื่อง แต่ทางคณะกรรมการพิจารณาทุนวิจัยเห็นว่าควรให้มีการผลิตจริงจำนวน 50 เครื่อง

2. การปรับปรุงแผ่นวงจรพิมพ์เพื่อการผลิต

การปรับปรุงแผ่นวงจรพิมพ์ แบ่งเป็น การปรับปรุงแผ่นวงจรพิมพ์เปียโซ่ และการปรับปรุงแผ่นวงจรพิมพ์หลัก โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 การปรับปรุงแผ่นวงจรพิมพ์เปียโซ่

จากการทดสอบการผลิตด้วยแผ่นวงจรพิมพ์เปียโซ่เดิมทำให้พบความลำบากในการผลิตดังนี้

1. สายไฟที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อแผ่นเปียโซ่มีขนาดเล็ก (ขนาด AWG #30) ทำให้หักหรือขาดได้ง่าย ดังนั้นการบัดกรีต้องใช้ tweezer สำหรับหนีบเพื่อป้องกันสายไฟขาด

<u>การปรับปรุง</u> ไม่ใช้สายไฟในการบัดกรี ให้บัดกรีแผ่นเปียโซ่บนแผ่นวงจรพิมพ์โดยตรง

2. สายไฟที่ใช้ต้องมีความยาวที่พอดี ถ้าสั้นเกินไปการบัดกรีทำได้ยากเนื่องจากต้องมีการดัดไปมาระหว่างจุดบัดกรีบนแผ่นเปียโซ่ กับจุดบัดกรีบนแผ่นวงจรพิมพ์ ถ้ายาวเกินไปจะทำให้ต้องขดสายไฟบริเวณเหนือแผ่นวงจรพิมพ์ ถ้าขดมากเกินไปจะทำให้ช่องว่างระหว่างเซลล์ที่เว้นไว้ไม่เพียงพอ ทำให้การประกอบเรียงเซลล์มาต่อๆ กันเป็นแผงแล้วจะทำให้เกิดเป็นช่องว่างระหว่างเซลล์ ทำให้มีปัญหาในการประกอบจำนวน 40 เซลล์จะไม่สามารถใส่ลงกล่องอุปกรณ์ได้พอดี

<u>การปรับปรุง</u> ไม่ใช้สายไฟในการบัดกรี ให้บัดกรีแผ่นเปียโซ่บนแผ่นวงจรพิมพ์โดยตรง

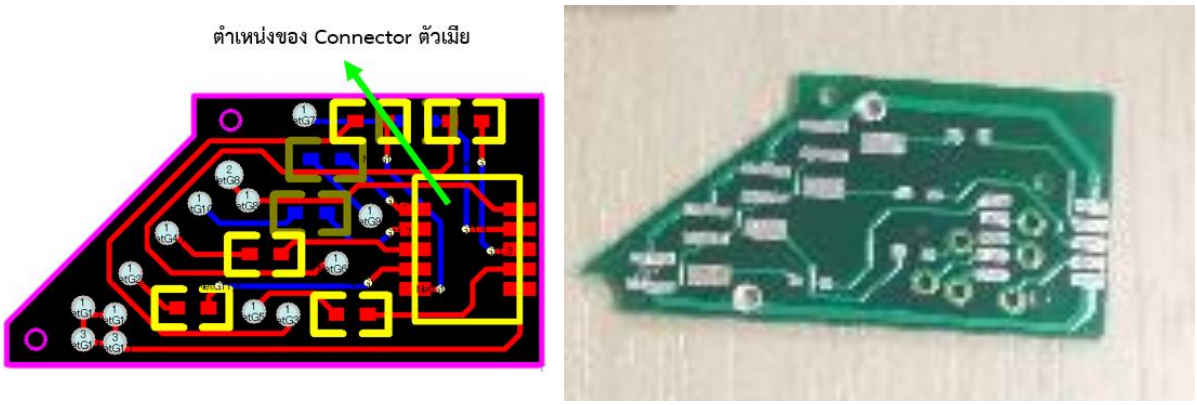
3. การบัดกรีตัวต้านทาน และ Connector แบบ Surface Mount บนแผ่นเปียโซ่ต้องทำด้วยมือ เพราะแผ่นมีขนาดเล็กเกินไปจึงไม่สามารถเข้าเครื่องได้ และตัวต้านทานมีขนาด 0402 หรือ 0.04 in x 0.02 in หรือ 1 mm x 0.5 mm ซึ่งมีขนาดเล็กมาก หากบัดกรีด้วยมือต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ ทำให้การประกอบทำได้ช้าและต้องใช้ความชำนาญ

<u>การแก้ไข</u> เราออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ใหม่โดยนำแผ่นเล็กๆ มาเรียงต่อกันเป็นแผ่นใหญ่ และให้ผู้ผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ไม่ต้องแบ่งแผ่นวงจรพิมพ์เป็นแผ่นเล็กๆ ให้ส่งงานเป็นแผ่นใหญ่เพื่อให้โรงงานประกอบสามารถนำแผ่นวงจรพิมพ์มาลงอุปกรณ์ด้วยเครื่องอัตโนมัติ SMT ในการประกอบเพื่อให้เกิดความรวดเร็วและแม่นยำเพิ่มขึ้น แล้วจึงค่อยแบ่งออกเป็นแผ่นเล็กๆ เพื่อบัดกรีกับแผ่นเปียโซ่

4. การบัดกรีแผ่นเปียโซ่บนแผ่นวงจรพิมพ์ กระบวนการนี้ต้องทำด้วยมือเท่านั้นไม่สามารถใช้เครื่องอัตโนมัติได้ ดังนั้นเราจึงปรับปรุงการบัดกรีให้ง่าย รวดเร็ว และลดข้อผิดพลาดให้ได้มากที่สุด ซึ่งเดิมการประกอบเราจะนำแผ่นเปียโซ่ไปใส่ในเซลล์ให้ครบ 4 แผ่นใน 1 ด้านแล้วจึงบัดกรี จากนั้นจึงใส่แผ่นเปียโซ่อีกด้านให้ครบ 4 แผ่นแล้วจึงบัดกรี แต่พบปัญหาว่าหัวแร้งบางครั้งไปโดนเซลล์ทำให้ละลายหรือเสียรูปเนื่องจากช่องในการแหย่หัวแร้งมีขนาดเล็กจึงอาจพลาดได้ทำให้เกิดของเสีย

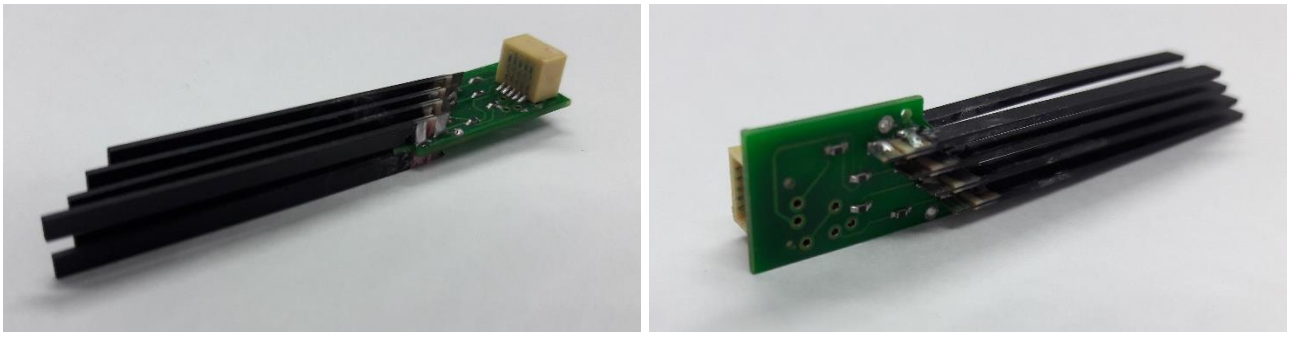
<u>การแก้ไข</u> เราทำ Jig สำหรับการบัดกรีโดยเฉพาะ โดยจะบัดกรีแผ่นเปียโซ่บน Jig ก่อนแล้วค่อยถอดออกมาจาก Jig เพื่อไปใส่ในเซลล์ ดังนั้นหาก Jig เสียหายจากหัวแร้งก็ไม่เป็นไร ซึ่ง Jig ที่ทำขึ้นก็ทำจากแบบเซลล์ที่เราได้ออกแบบไว้ก่อนหน้า

ผลการปรับปรุงแผ่นวงจรพิมพ์สามารถแสดงได้ดังรูปต่อไปนี้

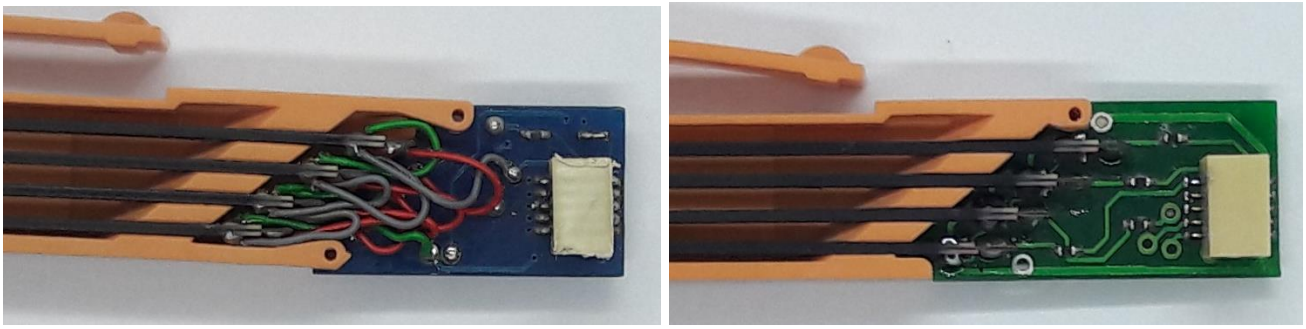


(ก) แบบเดิม (ข) แบบใหม่

รูปที่ 2-1 การปรับปรุงการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์เปียโซ่



รูปที่ 2-2 การบัดกรีแผ่นเปียโซ่บนแผ่นวงจรพิมพ์ก่อนช่วยลดความผิดพลาดของตำแหน่งบัดกรี



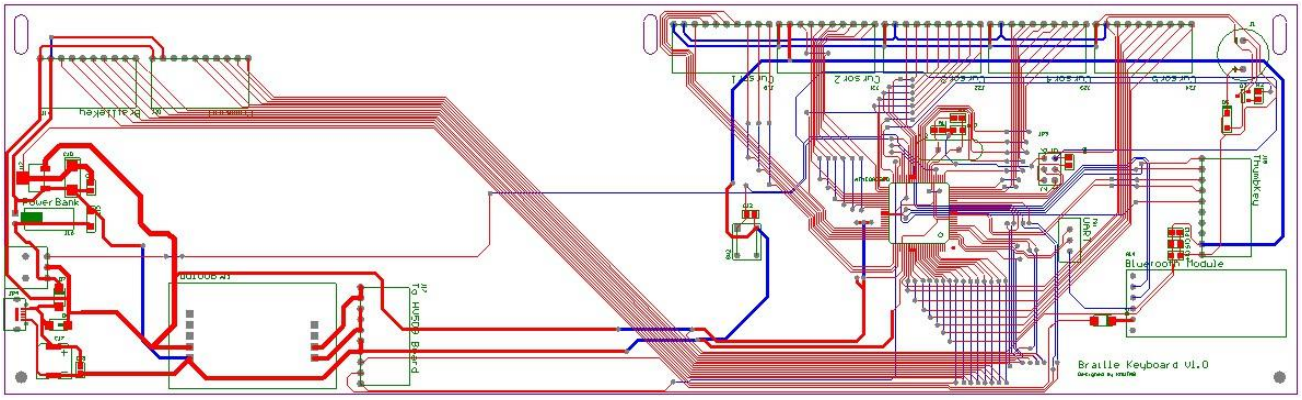
(ก) แบบเดิม (มีสายไฟ) (ข) แบบใหม่ (ไม่มีสายไฟ)

รูปที่ 2-3 การปรับปรุงการประกอบแผ่นเปียโซ่กับกับแผ่นวงจรพิมพ์

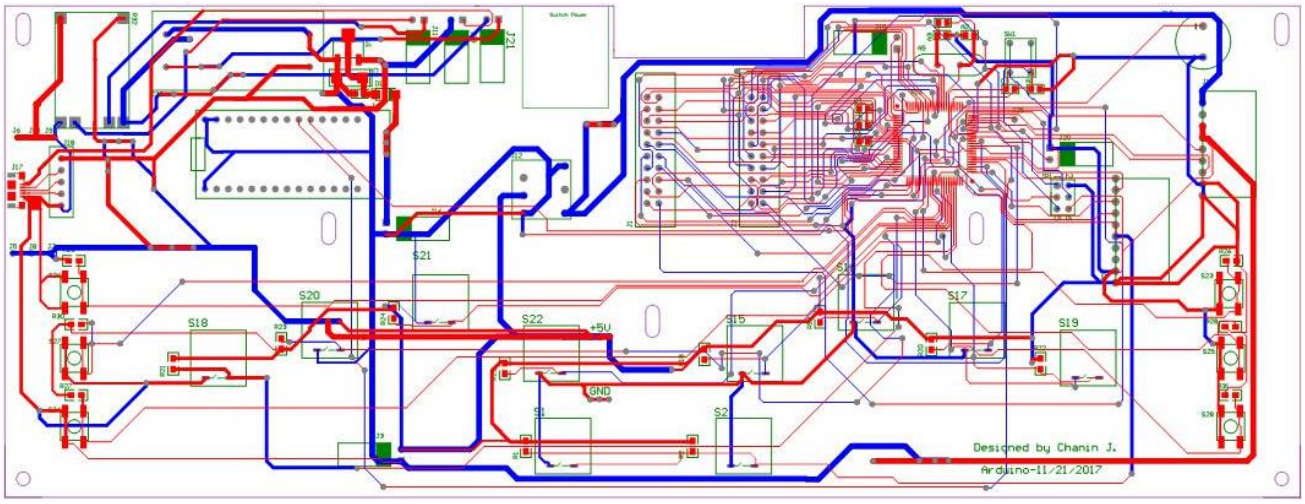
2.2 การปรับปรุงแผ่นวงจรพิมพ์หลัก

แผ่นวงจรพิมพ์หลักแผ่นเดิมได้มีการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์แยกระหว่างแผ่นวงจรประมวลผลหลัก (แผ่นวงจร CPU) ซึ่งแยกกับแผ่นวงจรปุ่มคีย์บอร์ดเพื่อความสะดวกในการทำเครื่องต้นแบบ อย่างไรก็ตามการแยกแผ่นวงจรพิมพ์หมายถึงการเพิ่มปริมาณงานในการผลิต ซึ่งรวมถึงการต่อสายสัญญาณต่างๆ ซึ่งอาจทำให้เพิ่มความผิดพลาดในการผลิต

ได้ ดังนั้นในรูปที่ 2-4 เราเห็นว่ามีบริเวณพื้นที่ว่างทางซ้าย เราจึงนำวงจรปุ่มคีย์บอร์ดจำนวน 10 ปุ่ม และปุ่มคำสั่งจำนวน 6 ปุ่ม มารวมกับแผ่นวงจรหลัก ซึ่งแสดงในรูปที่ 2-5 ซึ่งทำให้ขนาดของแผ่นวงจรพิมพ์มีความกว้างเพิ่มขึ้นแต่ไม่ได้ทำให้กล่องมีขนาดเพิ่มขึ้น

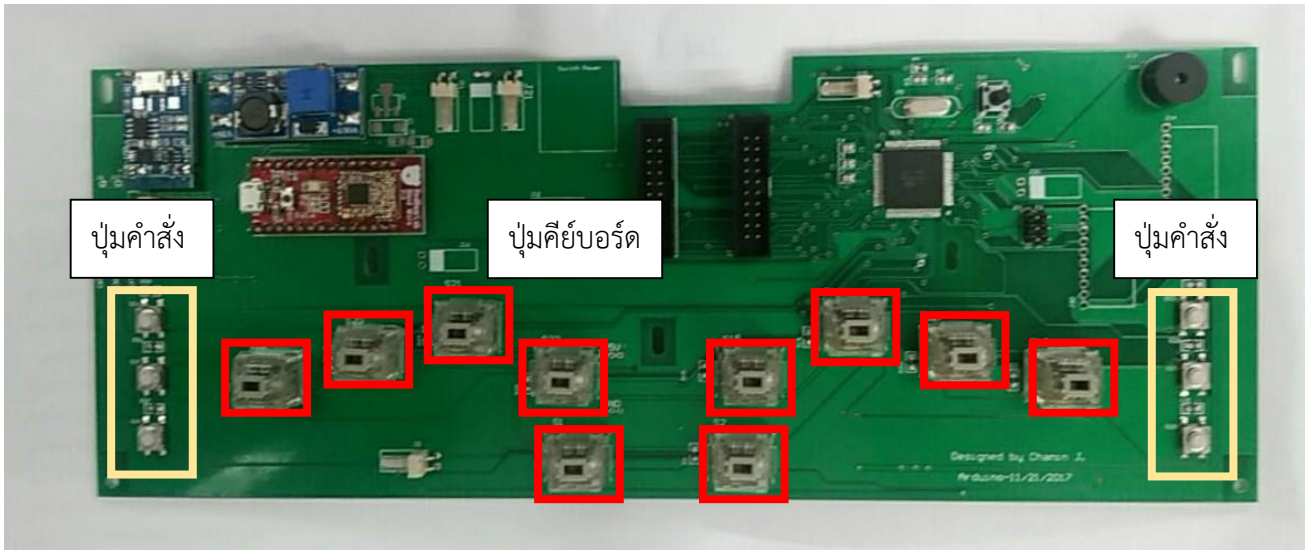


รูปที่ 2-4 การออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์หลัก (ก่อนการปรับปรุง)



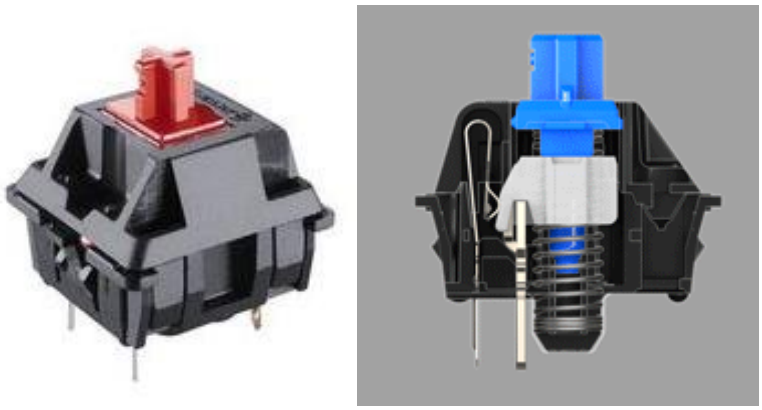
รูปที่ 2-5 การออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์หลัก (หลังการปรับปรุง)

รูปที่ 2-6 แสดงแผ่นวงจรพิมพ์หลักที่ประกอบเสร็จแล้ว ซึ่งแสดงปุ่มคีย์บอร์ดและปุ่มคำสั่งบริเวณด้านล่างของแผ่นวงจรพิมพ์ โดยเราได้ปรับปรุงปุ่มคีย์บอร์ดจากปุ่มแบบ Tactile เป็นแบบ Cherry หรือ Matias ซึ่งได้รับคำแนะนำจากผู้ใช้งานว่าปุ่มแบบ Tactile มีความแข็งทำให้กดยากถึงแม้ว่าแบบ Tactile จะให้ความรู้สึกในการกดมากกว่าก็ตาม และปุ่มแบบ Tactile มีเสียงดังกริ๊ก ซึ่งการกดแต่ละครั้งด้วยนิ้วพร้อมๆ กันอาจทำให้เกิดเสียงดังและรบกวนผู้ที่อยู่ข้างเคียง ดังนั้นผู้ใช้งานจึงต้องการปุ่มแบบที่สามารถกดและรู้สึกสัมผัสได้และต้องไม่มีเสียงดังมากเวลาปุ่มทำงาน

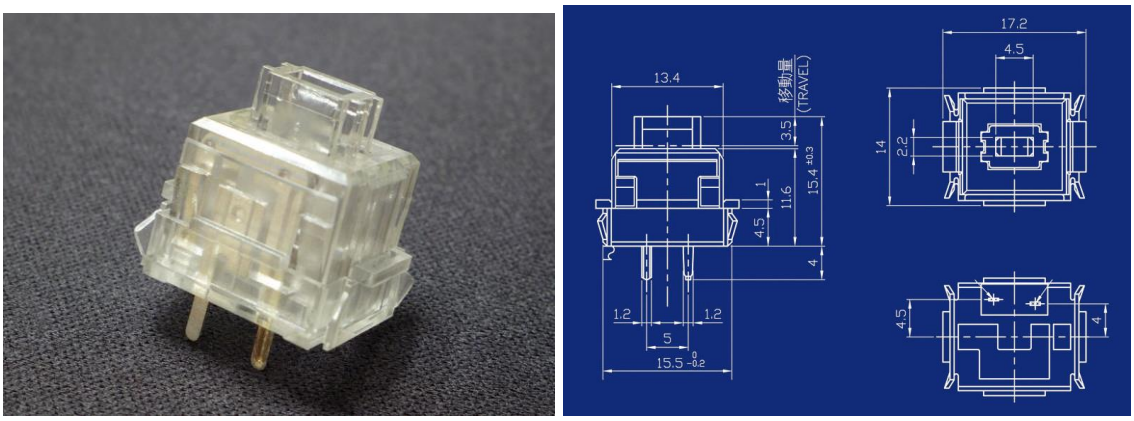


รูปที่ 2-6 แผ่นวงจรพิมพ์หลักที่ปรับปรุงโดยรวมปุ่มคีย์บอร์ดและปุ่มคำสั่งวางบนแผ่นเดียวกัน

ทีมนักวิจัยจึงได้หาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับปุ่มคีย์บอร์ดที่มีความนุ่ม รู้สึกได้เมื่อกด และที่สำคัญมีเสียงเงียบ ซึ่งพบปุ่มคีย์บอร์ดที่ทำพิเศษสำหรับให้มีเสียงเงียบ คือปุ่มของบริษัท Cherry และ Matias ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2-7 และรูปที่ 2-8 ซึ่งมีคุณสมบัติตามที่ต้องการสำหรับการใช้งานกับเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์



รูปที่ 2-7 ตัวอย่างปุ่มคีย์บอร์ดของบริษัท Cherry

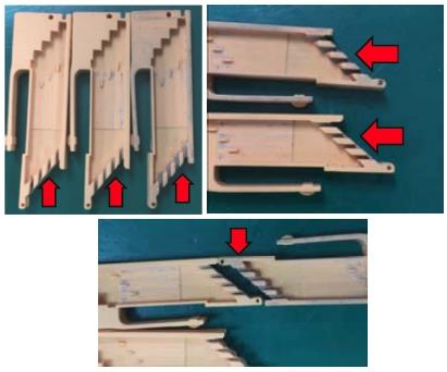
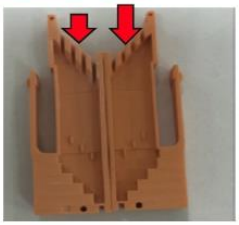


รูปที่ 2-8 ตัวอย่างปุ่มคีย์บอร์ดของบริษัท Matias

3. การปรับปรุง Braille Cell

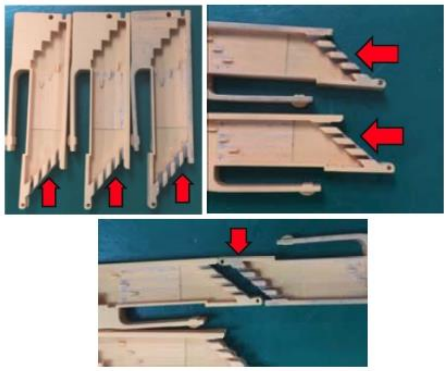
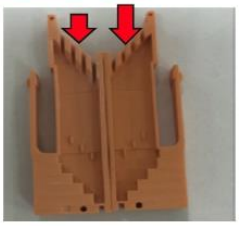
หลังจากออกแบบและผลิตต้นแบบสำหรับการทดสอบการใช้งานกับผู้พิการทางสายตาแล้วพบว่าวัสดุที่ใช้ในการผลิตมีผิวเรียบ ไม่สากนิ้วเวลาลูบ ทำให้การอ่านอักษรเบรลล์ทำได้ง่าย อย่างไรก็ตามจากการปรับปรุงแผ่นวงจรพิมพ์เปียโซ่เพื่อให้สามารถผลิตได้ง่าย และจากการหารือกับโรงงานผู้ผลิตก็พบข้อจำกัดของ Braille Cell หลายเรื่องดังแสดงใน

สรุปปัญหาที่พบในกระบวนการผลิต มีดังนี้

Model	ปัญหาที่พบในกระบวนการ	Picture (NG.)	Action
1. Model : PIEZO Lot : 1/2200	1. พบแท่งหมุดที่ส่งมาให้ ปนกันมา ตัดไม่หมด และบางตัว มีติ่งด้านข้าง ดังรูป	รูป NG. แท่งหมุดมีติ่งด้านข้าง	1. แยกแท่งหมุด NG. ออก แจ้งลูกค้าให้รับทราบ ทาง E-mail
	2. พบแท่งหมุดไม่ตรง เบี้ยว โค้งงอ ผิวไม่เรียบ ทำให้ Test ไม่ผ่าน ดังรูป	รูป NG. แท่งหมุดไม่ตรง เบี้ยว โค้งงอ ผิวไม่เรียบ ดังรูป	
	3. ชุด PIEZO ระยะของช่องที่ใส่ไม่เท่ากัน บางครั้งมาใหญ่ , บางรอบมาเล็ก ดังรูป 	รูป NG.ชุด PIEZO ระยะของช่องที่ใส่ไม่เท่ากัน ดังรูป 	3. แยกชุด PIEZO NG. ออก แจ้งลูกค้าให้รับทราบ ทาง E-mail

รูปที่ 3-1 ซึ่งแบ่งเป็นหัวข้อต่างซึ่งอธิบายในหัวข้อถัดไป

สรุปปัญหาที่พบในกระบวนการผลิต มีดังนี้

Model	ปัญหาที่พบในกระบวนการ	Picture (NG.)	Action
1. Model : PIEZO Lot : 1/2200	1. พบแท่งหมุดที่ส่งมาให้ ปนกันมา ตัดไม่หมด และบางตัว มีติ่งด้านข้าง ดังรูป	รูป NG. แท่งหมุดมีติ่งด้านข้าง	1. แยกแท่งหมุด NG. ออก แจ้งลูกค้าให้รับทราบ ทาง E-mail
	2. พบแท่งหมุดไม่ตรง เบี้ยว โค้งงอ ผิวไม่เรียบ ทำให้ Test ไม่ผ่าน ดังรูป	รูป NG. แท่งหมุดไม่ตรง เบี้ยว โค้งงอ ผิวไม่เรียบ ดังรูป	
	3. ชุด PIEZO ระยะของช่องที่ใส่ไม่เท่ากัน บางครั้งมาใหญ่ , บางรอบมาเล็ก ดังรูป 	รูป NG.ชุด PIEZO ระยะของช่องที่ใส่ไม่เท่ากัน ดังรูป 	3. แยกชุด PIEZO NG. ออก แจ้งลูกค้าให้รับทราบ ทาง E-mail

รูปที่ 3-1 ตัวอย่างปัญหาในการผลิต Braille Cell

3.1 ปัญหาแท่งหมุด (Braille Pin)

การผลิตแท่งหมุด หรือ Braille Pin คือการผลิตด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติจากการขึ้นรูปด้วยวัสดุเรซิน ซึ่งมีขั้นตอนในการผลิตที่ละเอียดอ่อน โดยการผลิตหรือการพิมพ์สามมิติมีปัญหา 2 เรื่อง คือ เรื่องชิ้นงานไม่เรียบ และชิ้นงานไม่ได้รูปทรง

1) เรื่องชิ้นงานไม่เรียบ เนื่องจากการพิมพ์สามมิติจะต้องมีการทำ Support เพื่อให้ชิ้นงานได้รูปทรง ดังนั้นเมื่อพิมพ์เสร็จแล้วต้องมีการตกแต่งชิ้นงานเพื่อนำเอาส่วน Support ที่เสริมเข้าไปสำหรับการพิมพ์ออก ซึ่งในบางครั้งผู้พิมพ์ก็ไม่ได้ตกแต่งชิ้นงานให้เรียบร้อย

   <u>การแก้ปัญหา</u> สามารถทำได้ง่ายโดยกำชับให้ผู้พิมพ์ตกแต่งชิ้นงานให้เรียบร้อยก่อนส่งมอบให้ผู้ประกอบ

2) เรื่องชิ้นงานไม่ได้รูปทรง ปัญหาส่วนใหญ่จากการแท่งหมุดงอ หรือบิดเบี้ยวไม่ได้รูปทรง จากการวิเคราะห์ปัญหาพบว่าผู้พิมพ์ไม่ได้จับเวลาการปล่อยแห้ง (Setting) ที่เพียงพอ ก่อนการทำความสะอาด จึงทำให้เมื่อทำความสะอาดเสร็จแล้วและปล่อยแห้ง จึงเกิดหดตัวของวัสดุที่ไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการบิดงอของแท่งหมุดได

   <u>การแก้ปัญหา</u> สามารถทำได้โดยการจับเวลาการปล่อยแห้ง ให้เพียงพอ โดยกำชับให้ผู้พิมพ์ใช้นาฬิกาจับเวลาตั้งไว้เมื่อเครื่องพิมพ์เสร็จแล้วจึงเริ่มจับเวลา หรือ ใช้การบันทึกเวลาการเริ่มสั่งพิมพ์ และประมาณเวลาพิมพ์เสร็จ เพื่อมาคำนวณเวลาปล่อยแห้งให้เพียงพอ ทั้งนี้ปัญหาเกิดจากการพิมพ์ใช้เวลานาน ทำให้ต้องตั้งเครื่องทิ้งไว้ข้ามคืน ทำให้ผู้ที่ทำงานไม่ทราบว่างานเสร็จกี่โมง และต้องปล่อยแห้งนานเท่าไหร่ ซึ่งบางครั้งก็หยิบงานมาทำความสะอาดทันทีจึงทำให้ชิ้นงานหดตัวไม่เท่ากัน

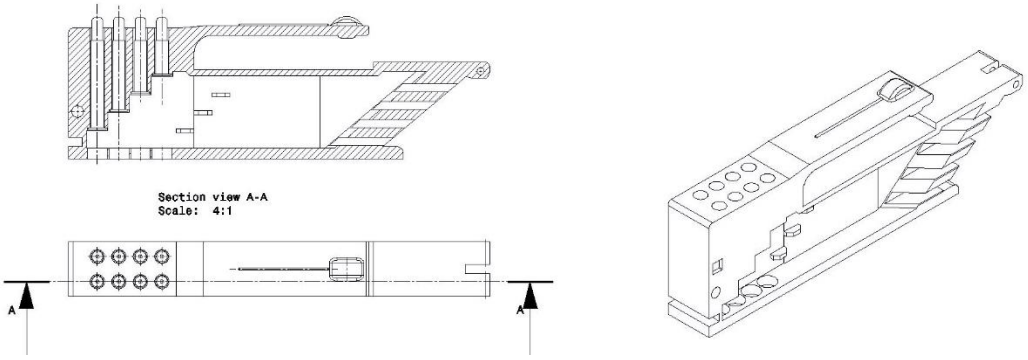
3.2 ปัญหา Braille Cell

ปัญหาการพิมพ์สามมิติของ Braille Cell มีลักษณะเช่นเดียวกันคือ การหดตัวของวัสดุไม่เท่ากันเนื่องจากระยะเวลาการปล่อยแห้งไม่เพียงพอ ซึ่งเกิดจากการรีบส่งงาน ทำให้ขาดคุณภาพ

การปัญหาอีกส่วนคือ ร่องสำหรับการสอดใส่แผ่นเปียโซ่แคบเกินไป เนื่องจากการพัฒนาต้นแบบเราใช้การต่อสายไฟกับเปียโซ่ก่อนบัดกรี โดยจะสอดใส่กับ Braille Cell ก่อนแล้วจึงบัดกรีสายไฟ แต่กระบวนการผลิตเปลี่ยนจากการบัดกรีแผ่นเปียโซ่บนแผ่นวงจรพิมพ์โดยตรง โดยไม่ใช้สายไฟ ทำให้กระบวนการผลิตเปลี่ยน ดังนั้นเราจึงปรับปรุง Braille Cell ให้มีร่องที่กว้างขึ้นเพื่อให้สามารถสอดใส่แผ่นเปียโซ่ที่ เดิม ใส่ทีละแผ่นแล้วบัดกรี เป็นบัดกรีพร้อมกัน 8 แผ่นแล้วค่อยสอดใส่ที่ Braille Cell ทำให้การใส่ทำได้ลำบากขึ้น จึงมีการปรับปรุงให้สามารถสอดใส่ได้ง่าย และใช้กาวซิลิโคนหยอดบริเวณร่องยึดแผ่นเพื่อให้การยึดแผ่นแข็งแรงขึ้นเพื่อป้องกันการเลื่อนหลุดของแผ่นจากร่องเมื่อเกิดการใช้ไปนานๆ

3.3 ผลการปรับปรุงชิ้นงาน Braille Cell

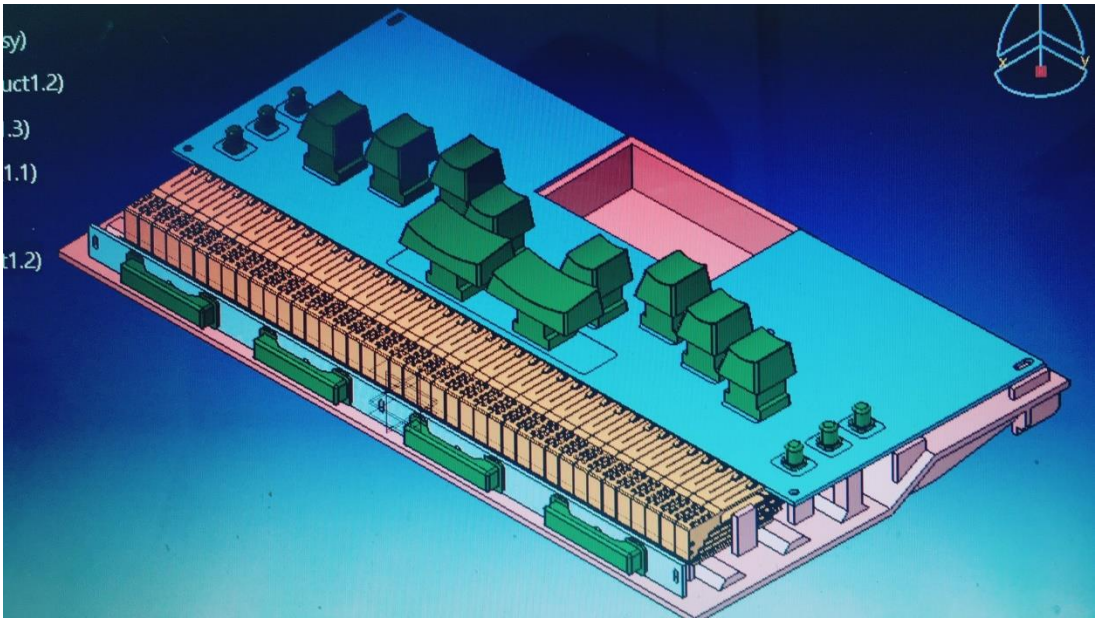
ผลการปรับปรุง Braille แสดงได้ใน รูปที่ 3-2 ซึ่งได้ออกแบบให้สามารถใช้ในการผลิตได้ง่าย ทำให้มีต้นทุนการผลิตต่ำ และสามารถใช้งานได้เหมือนเครื่องต้นแบบที่ได้มีการทดสอบกับผู้ใช้งานก่อนหน้านี้



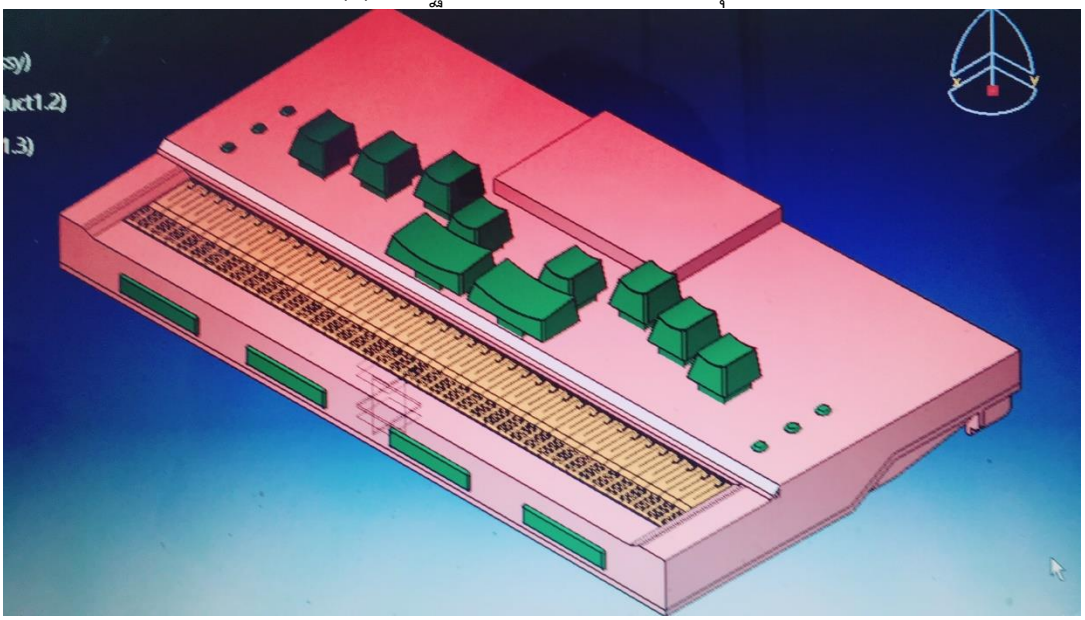
รูปที่ 3-2 ผลการปรับปรุงแบบของ Braille Cell

4. การปรับปรุงกล่องห่อหุ้มเพื่อการผลิต

จากผลของการปรับปรุงแผ่นวงจรพิมพ์หลักให้เหลือเพียงแผ่นเดียวเพื่อง่ายสำหรับการผลิตและลดความผิดพลาดในการผลิต จึงทำให้การออกแบบกล่องห่อหุ้มต้องมีการเปลี่ยนรูปทรงและโครงสร้างภายใน และรายละเอียดต่างๆ สำหรับการวางแผ่นวงจรพิมพ์ ทำให้ทีมวิจัยออกแบบกล่องใหม่ทั้งหมดโดยแสดงในรูปที่ 4-1 โดยกล่องเป็น 2 ชิ้นเป็นฝาบน และฝาล่าง และสามารถผลิตได้โดยเครื่องพิมพ์สามมิติแบบ SLA ที่มีความละเอียดสูง และใช้วัสดุ Polyimide ในการผลิต ทำให้วัสดุมีความแข็งแรงทนทาน อย่างไรก็ตามยังพบว่ามีการบิดเบี้ยวของกล่อง แต่มีการแก้ไขโดยการเพิ่มการยึดน๊อตระหว่างฝาบนและฝาล่างเพิ่มขึ้นทำให้รูปทรงของกล่องห่อหุ้มไม่บิดเบี้ยว



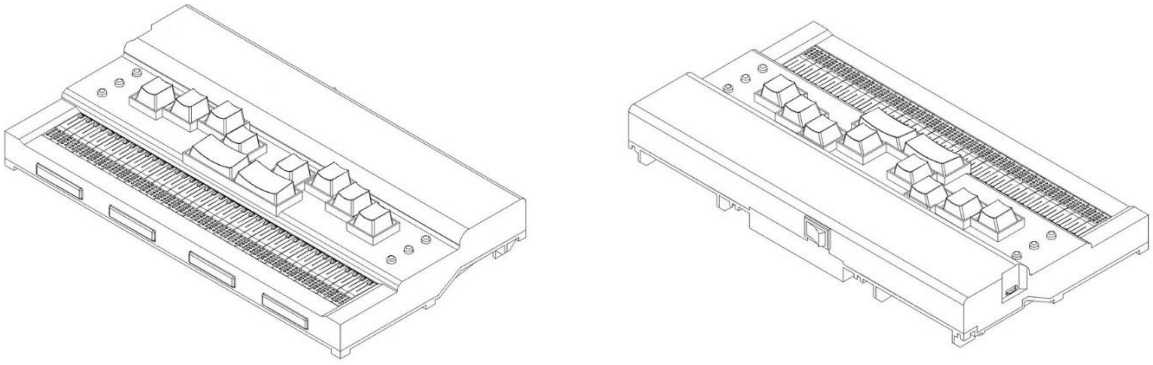
(ก) ส่วนฐานด้านล่างของกล่องห่อหุ้ม



(ข) ส่วนฝาด้านบนของกล่องห่อหุ้ม

รูปที่ 4-1 รูป 3 มิติของกล่องห่อหุ้มเครื่องแสดงผมอักษรเบรลล์ (ส่วนสีส้ม)

รูปที่ 4-2 แสดงภาพ CAD สำหรับกล่องห่อหุ้มที่ออกแบบใหม่ และ รูปที่ 4-3 แสดงกล่องห่อหุ้มที่ทำสำเร็จแล้ว และใส่ประกอบกับเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ได้อย่างสนิท และ รูปที่ 4-4 แสดงการใช้งานเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์กับเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4-2 CAD Design ของกล่องห่อหุ้ม

รูปที่ 4-3 เครื่องต้นแบบที่ประกอบลงกล่อง

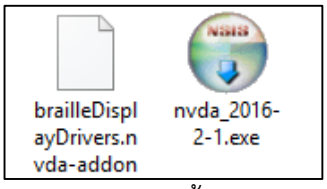
รูปที่ 4-4 การใช้งานเครื่องต้นแบบกับคอมพิวเตอร์

5. การติดตั้งซอฟต์แวร์ใช้งาน

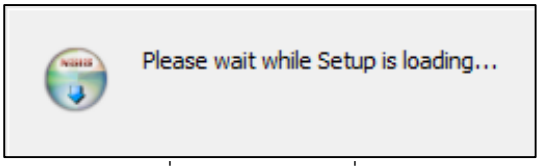
การใช้งานเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์จำเป็นต้องมีการใช้งานร่วมกับเครื่องคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ตและสมาร์ทโฟน ซึ่งต้องมีการติดตั้งซอฟต์แวร์ใช้งาน ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

5.1 การใช้งานโปรแกรม NVDA สำหรับ Windows

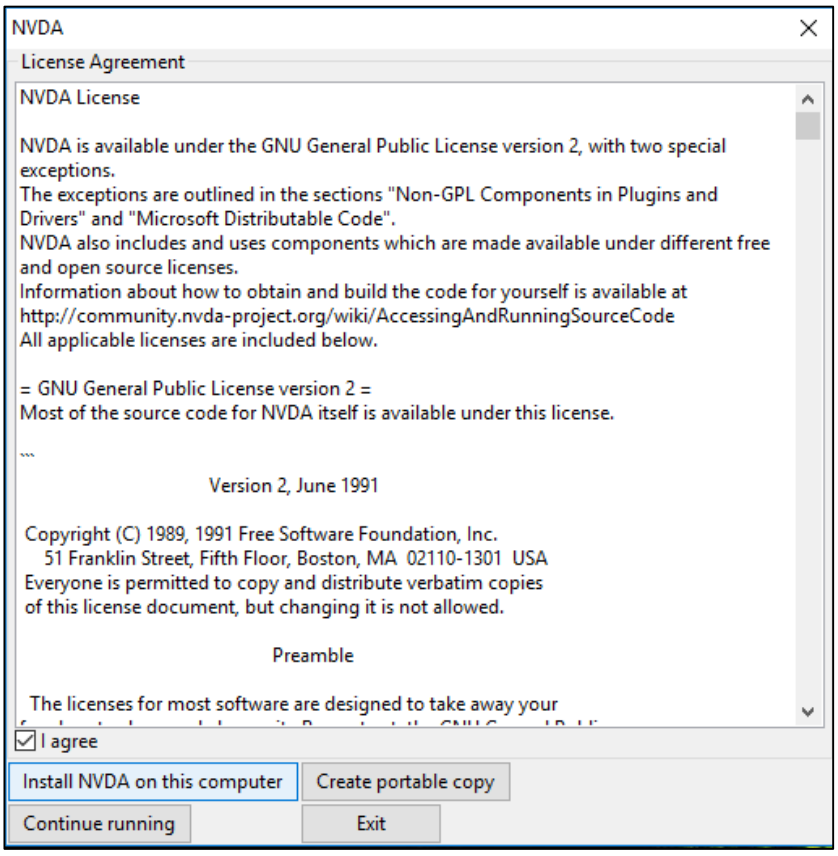
1. เปิดโฟลเดอร์ NVDA ขึ้นมาในโฟลเดอร์จะประกอบไปด้วย
   1.1. ไฟล์ nvda_2016-2-1.exe
   1.2. ไฟล์ brailleDisplayDrivers.nvda-addon



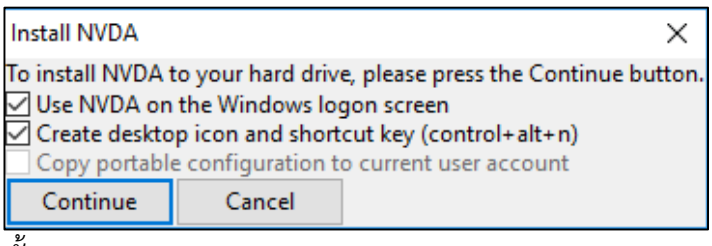
2. ให้คลิกดับเบิลคลิกที่ไฟล์ nvda_2016-2-1.exe จะมีหน้าจอขึ้นมาดังรูปต่อไปนี้



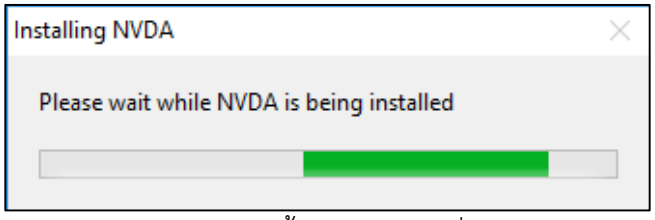
3. จากนั้นให้คลิกเลือก I agree เพื่อทำการยอมรับเงื่อนไขและ คลิกที่ปุ่ม Install NVDA on this computer เพื่อทำการติดตั้ง



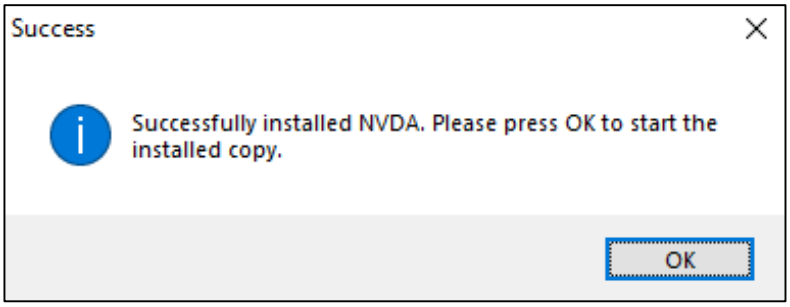
4. จากนั้นให้คลิกเลือก Use NVDA on the Windows logon screen และ Create desktop icon and shortcut key (control + alt + n) และคลิกที่ปุ่ม Continue



5. รอสักครู่โปรแกรมกำลังติดตั้ง

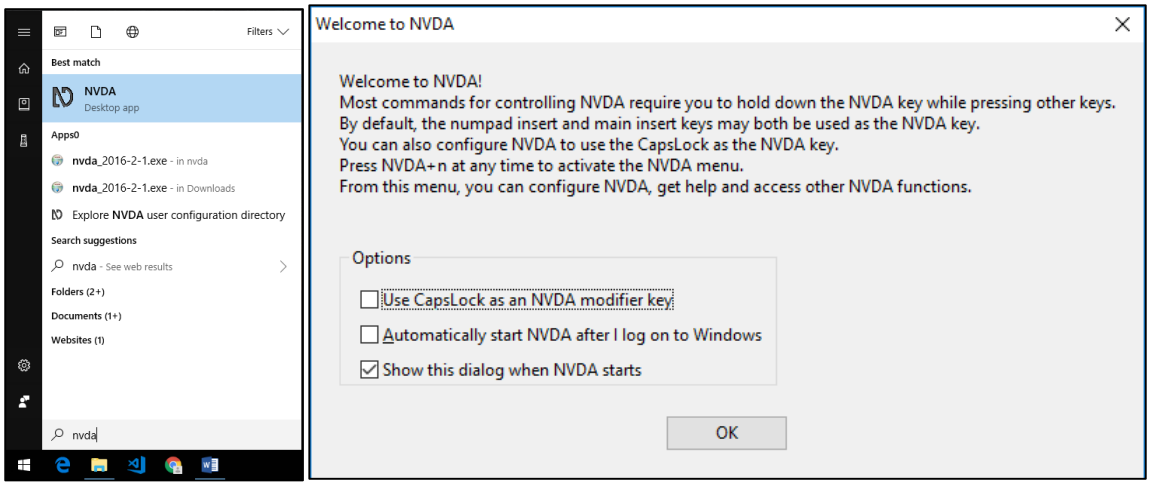


6. เมื่อโปรแกรมติดตั้งเสร็จสิ้นมีหน้าต่าง Success แสดงขึ้น และให้คลิกที่ปุ่ม OK

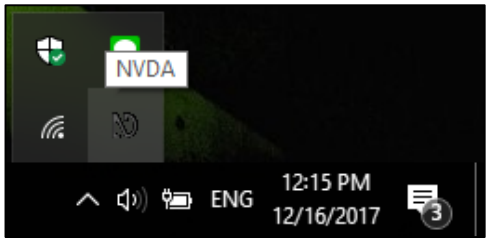


5.2 การติดตั้ง Add-on (Thai Braille) ในกับโปรแกรม NVDA

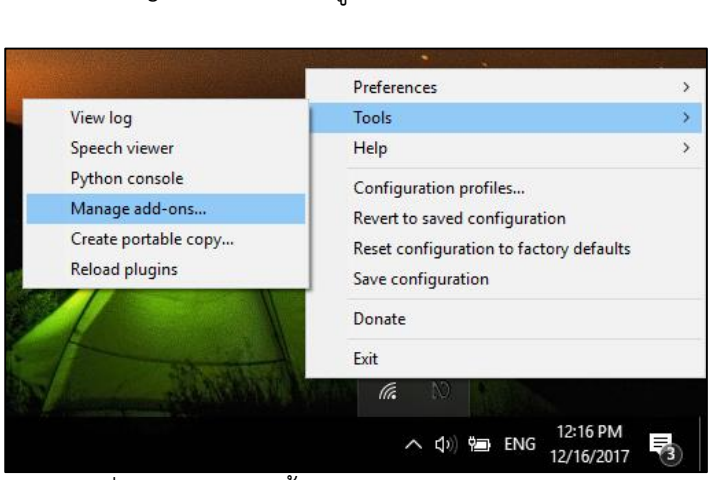
1. การเปิดโปรแกรม NVDA ขึ้นมา และกดปุ่ม OK

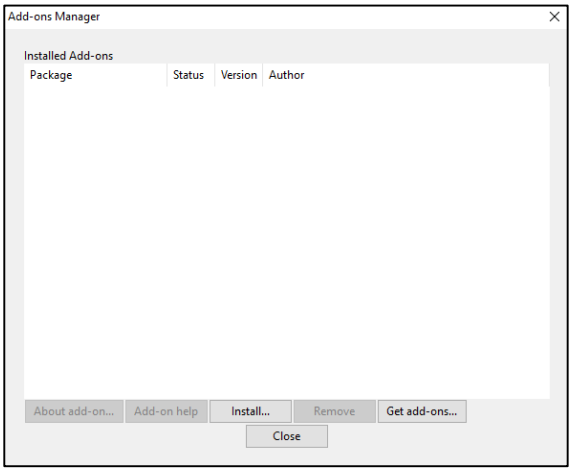


2. เมื่อจะใช้งานโปรแกรม ไอคอนโปรแกรมจะซ่อนอยู่แถบเครื่องมือด้านล่างขวาของ Windows

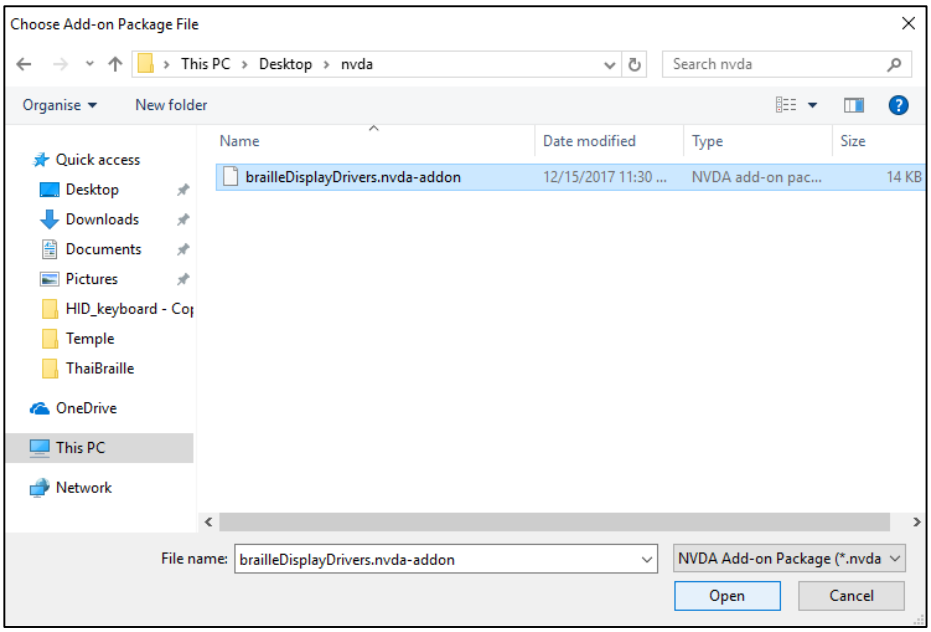


3. ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการติดตั้ง addon (Thai Braille) ให้กับ NVDA จะคลิกขวาที่ไอคอน NVDA ให้เลือก Tools > Manage add-ons (ดังรูปภาพที่ 2-4) แล้วจะมีหน้าต่าง Add-ons Manager ขึ้นมาให้

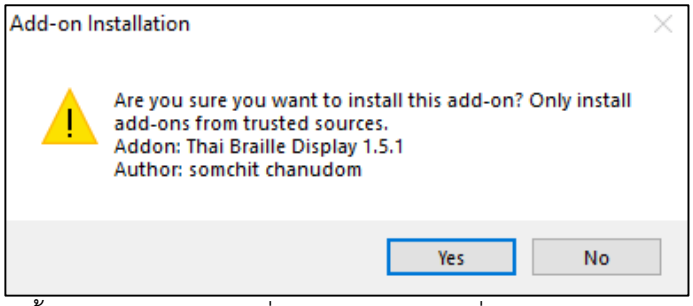




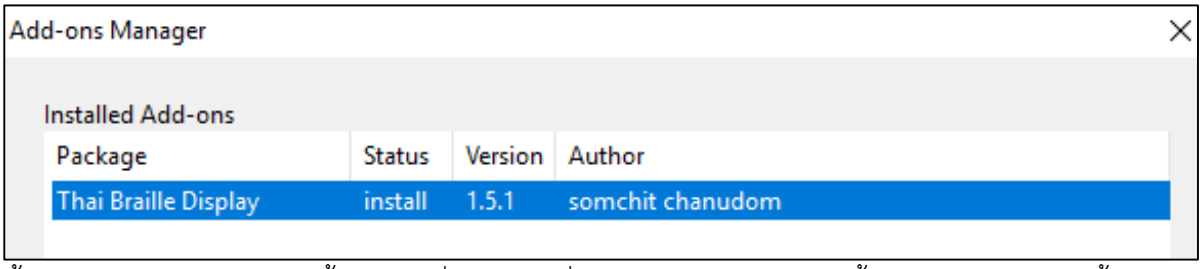
4. คลิกที่ปุ่ม Install จะขึ้นหน้าต่างในเลือกไฟล์ Add-on ให้เลือกไฟล์ brailleDisplayDrivers.nvda-addon ที่ได้แนบมาไว้ให้และ กดปุ่ม Open



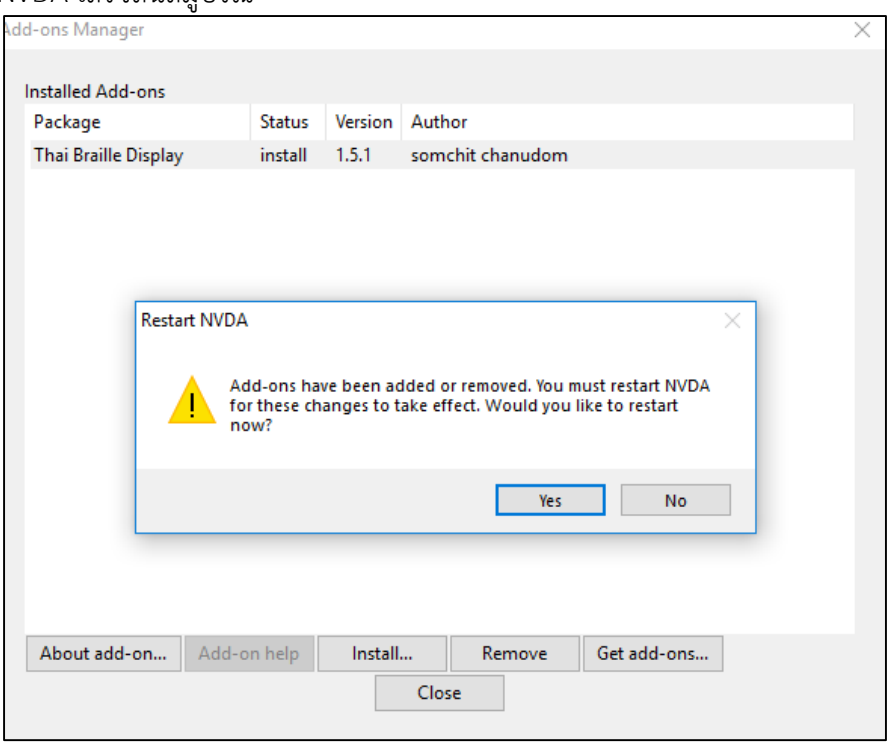
5. จากนั้นจะปรากฏเมื่อหน้าต่างให้ทำการยืนยันการเพิ่ม addon โดยคลิกที่ปุ่ม Yes



6. เมื่อเพิ่ม Add-on เสร็จสิ้นจะขึ้นข้อมูล (ดังรูปภาพที่ 2-8) และให้คลิกที่ปุ่ม Close



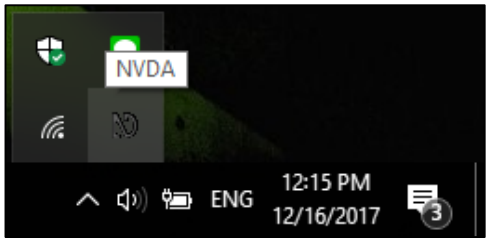
7. เมื่อขึ้นหน้าต่าง Restart NVDA ขึ้นให้คลิกที่ปุ่ม Yes เพื่อทำการรีสตาทโปรแกรมขึ้นมาใหม่ เป็นการติดตั้ง addon ให้กับโปรแกรม NVDA เสร็จสิ้นสมูบรณ์



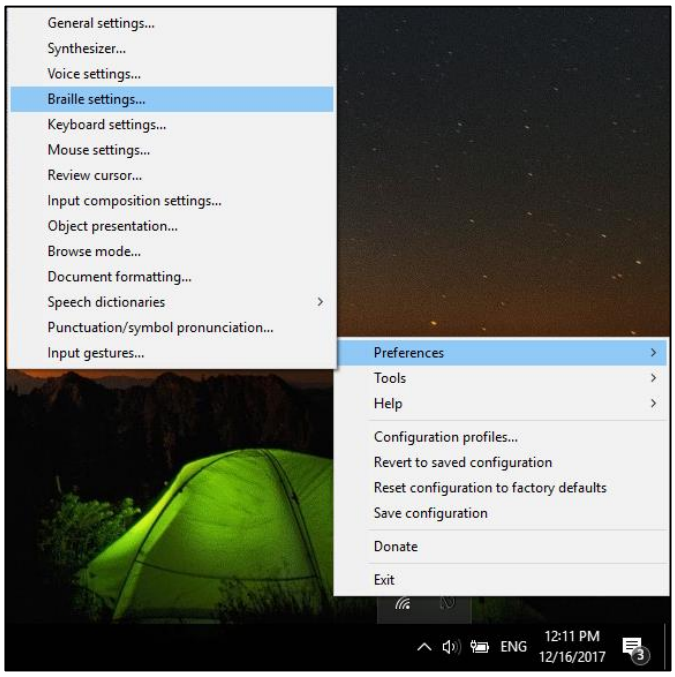
5.3 การเปิดใช้งานโปรแกรม NVDA ร่วมกับอุปกรณ์

ขั้นแรกให้ทำการเสียบเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับคอมพิวเตอร์ที่ต้องการจะใช้งานโดยคอมพิวเตอร์นั้นจะต้องทำการติดตั้งโปรแกรม NVDA และส่วนเสริม addon (Thai Braille) เสร็จสิ้นเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการเปิดโปรแกรม NVDA ขึ้นมา

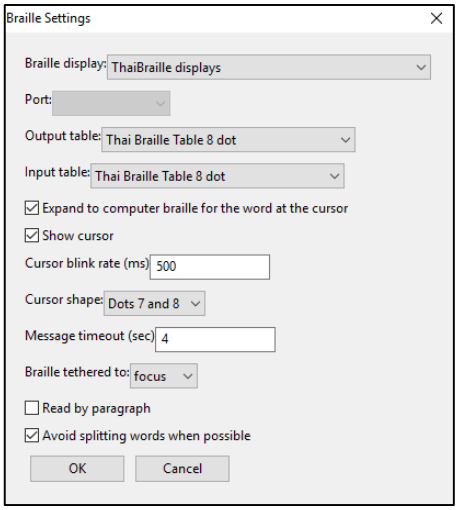
1. เลือกไอคอนโปรแกรมจะซ่อนอยู่แถบเครื่องมือด้านล่างขวาของ Windows Toolbar



2. จากนั้นให้เลือกเมนู Preference > Braille settings..

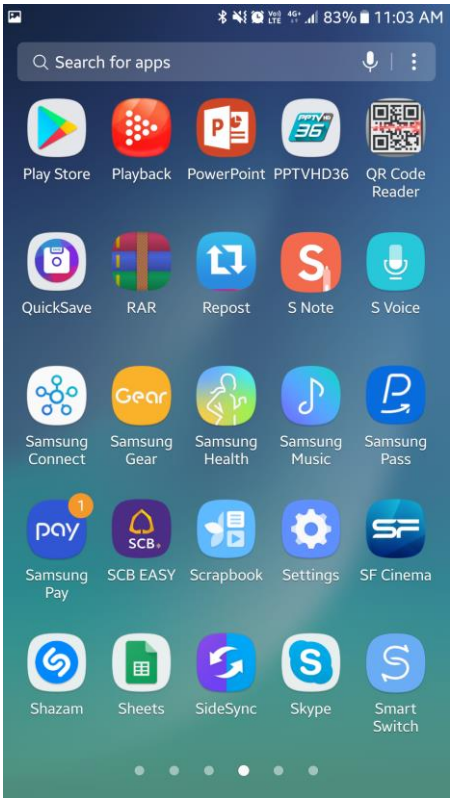


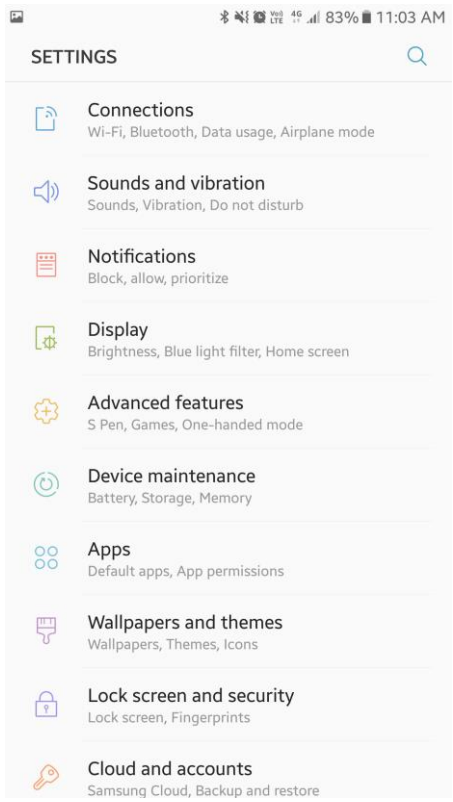
3. จะมีหน้าต่าง Braille Settings ให้ทำการเลือกข้อมูล



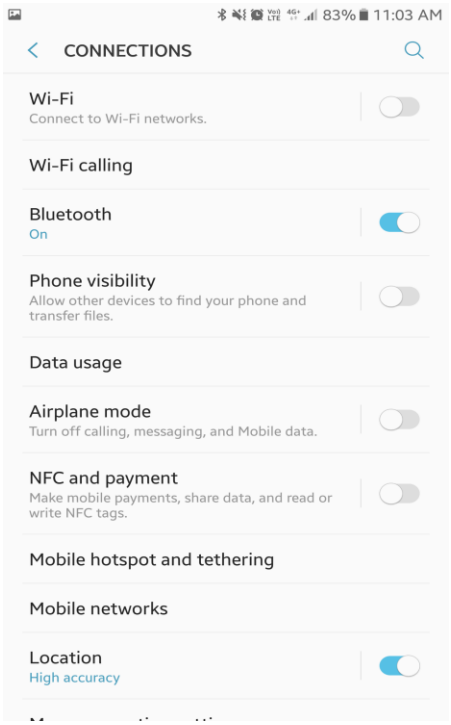
5.4 การใช้งาน Thai Braille App สำหรับ Android

1. โดยเปิดแอพพลิเคชั่น Settings > Connections

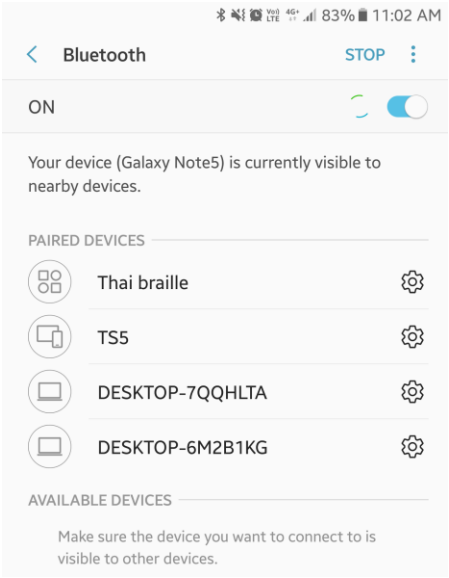




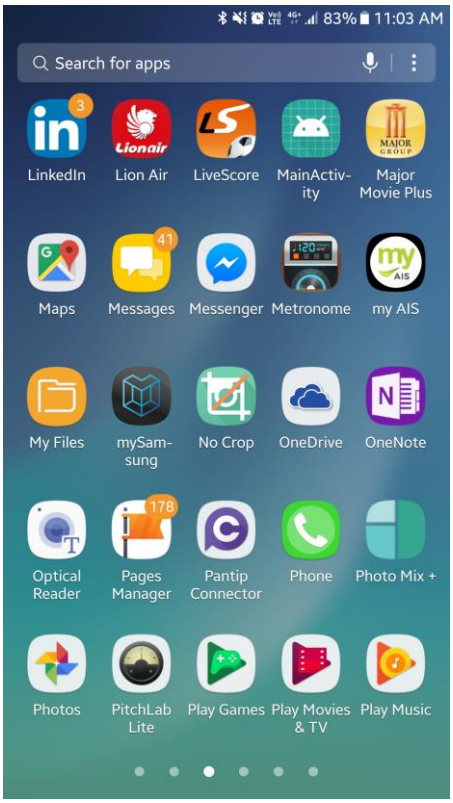
2. เลือกแถบเมนู Bluetooth

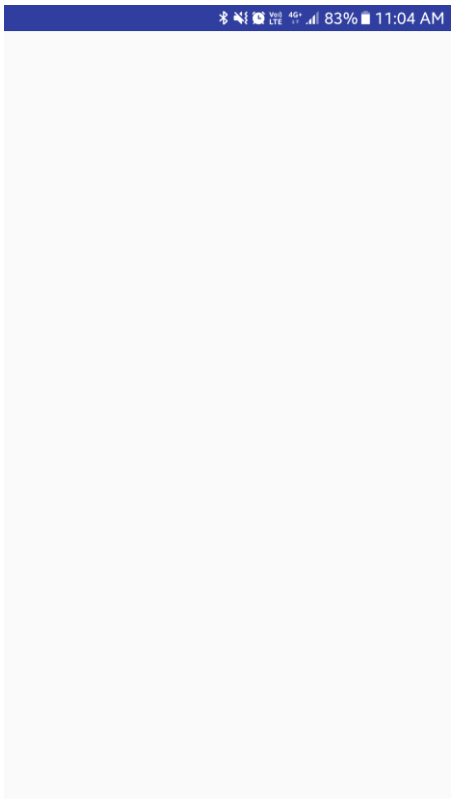


3. เลือกเชื่อมต่อกับ Device ที่ชื่อ Thai braille

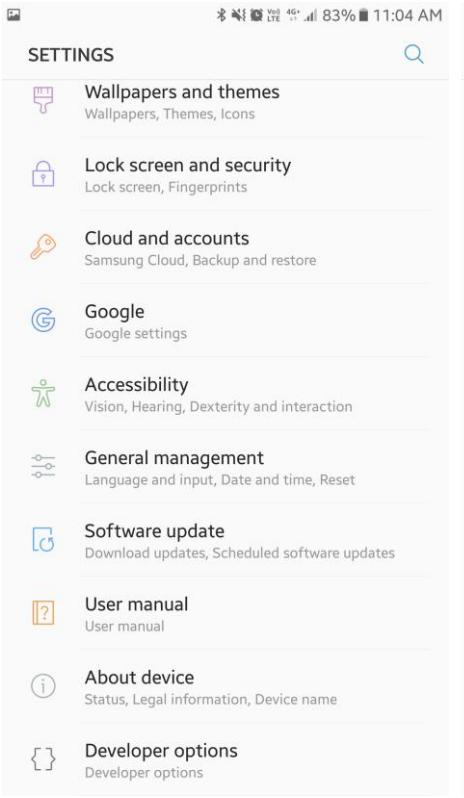


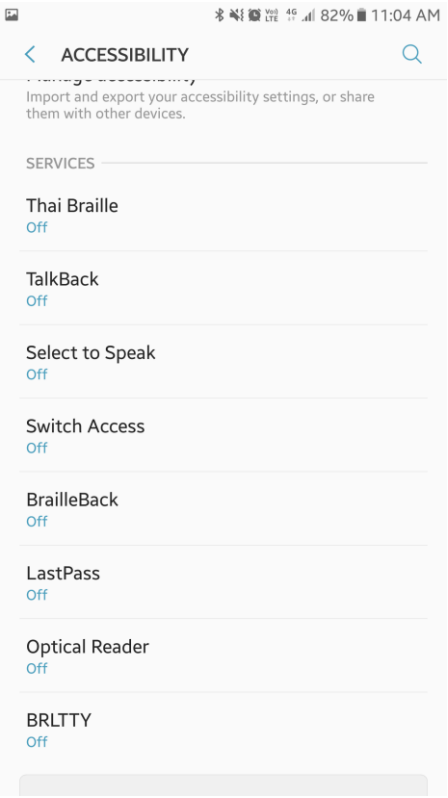
4. จากนั้นให้ทำการเปิด Application Main Activity (Thai Braille) ขึ้นมา



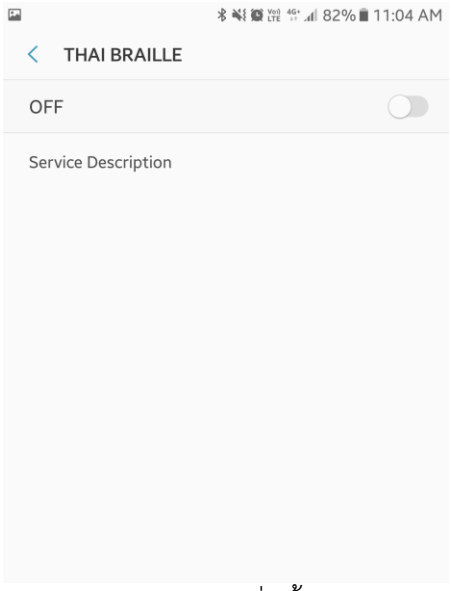


5. เปิดแอพพลิเคชั่น Settings > Accessibility > Thai Braille

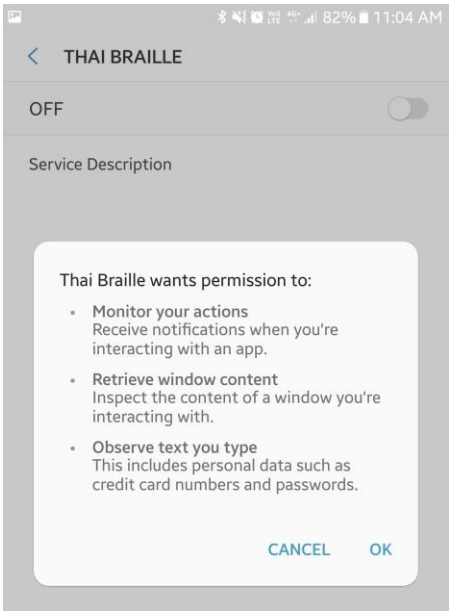




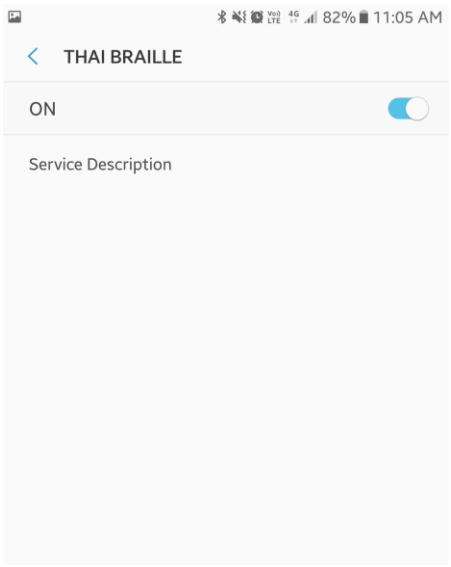
6. เมื่อเข้าสู่แอพพลิเคชั่นให้กดที่ปุ่มเปิดเพื่อการเปิดการใช้งาน Accessibility



7. เมื่อกดเปิดแอพพลิเคชั่นหน้าต่างว่าจะทำการเปิดแอพพลิเคชั่นนี้หรือไม่ ให้กดที่ปุ่ม OK



8. จากแอพพลิเคชั่น Accessibility Thai Braille จะสามารถใช้งานร่วมกับ Keyboard Braille ได้แล้ว



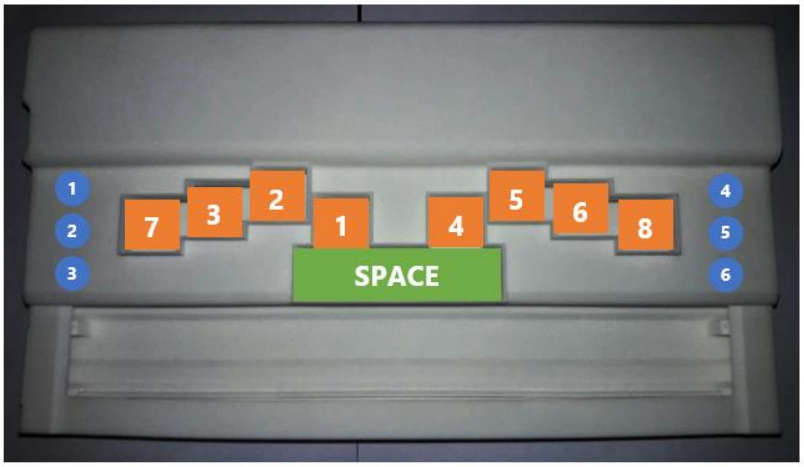
6. การทดสอบผลิตภัณฑ์

การทดสอบผลิตภัณฑ์สำหรับการผลิตเป็นสิ่งที่ต้องพัฒนาขึ้นสำหรับใช้ในการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่ประกอบหรือผลิตจากโรงงาน ซึ่งทีมวิจัยได้พัฒนาโปรแกรม และอุปกรณ์สำหรับการทดสอบผลิตภัณฑ์ และโมดูลต่างในกระบวนการประกอบเพื่อให้สามารถนำไปผลิตและสามารถตรวจสอบคุณภาพได้

6.1 การทดสอบ Braille Keyboard

6.1.1 การทดสอบทางไฟฟ้าของสวิตช์ปุ่มกด Braille Key

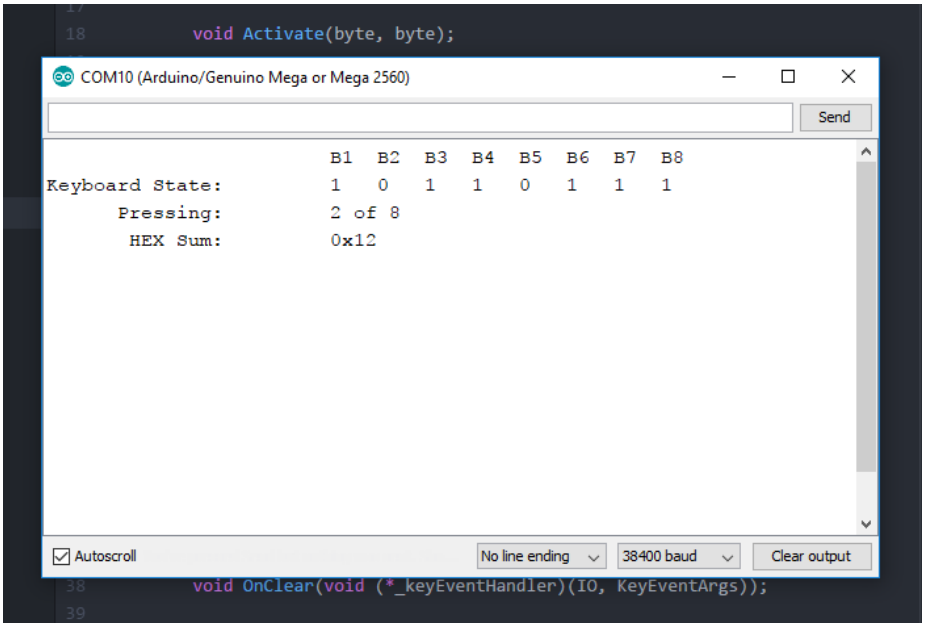
สวิตช์ปุ่มกดอักษรเบรลล์นั้นมีทั้งหมด 8 ปุ่ม ดังแสดงในรูปต่อไปนี้ ซึ่งมีรูปแบบการลำดับสวิตช์ปุ่มกดอักษรเบรลล์ ปุ่มกดคำสั่ง และปุ่มกดเว้นวรรค



1

ตารางที่ 6-1

ตำแหน่งของปุ่มกดอักษรเบรลล์	สถานะขณะกดปุ่ม	สถานะขณะปล่อยปุ่ม
B1	0	1
B2	0	1
B3	0	1
B4	0	1
B5	0	1
B6	0	1
B7	0	1
B8	0	1

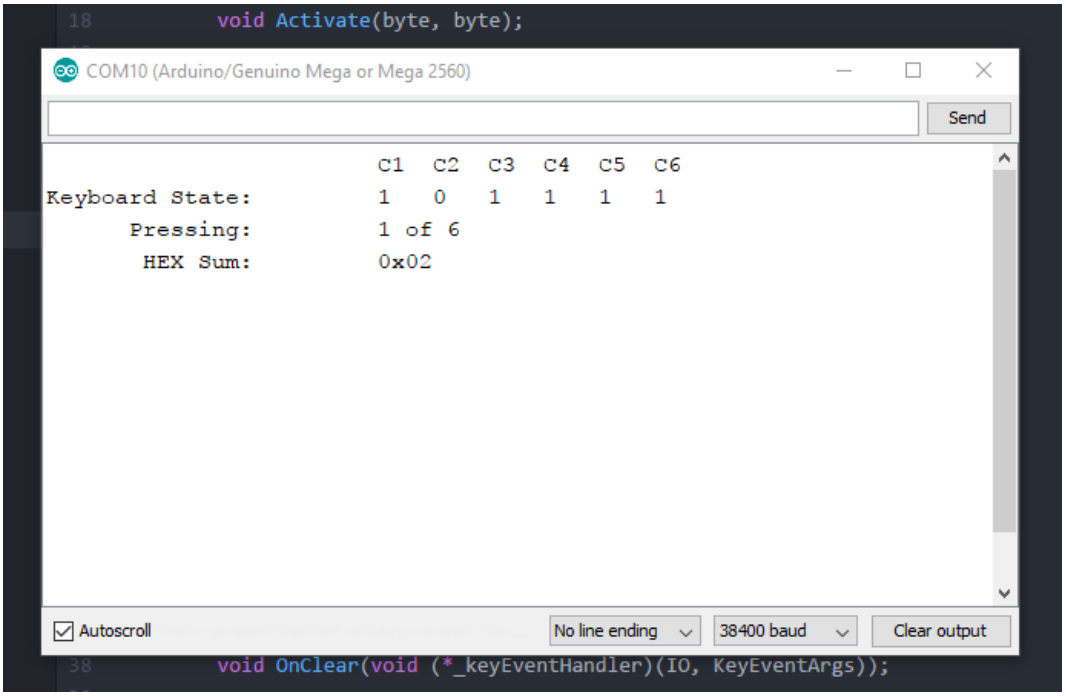


6.1.2 สวิตช์ปุ่มกดคำสั่ง (Command Key)

1

ตารางที่ 6-2 ตารางสถานะของปุ่มคำสั่งที่อ่านได้โดยไมโครคอนโทรลเลอร์

ตำแหน่งของปุ่มกดคำสั่ง	สถานะขณะกดปุ่ม	สถานะขณะปล่อยปุ่ม
C1	0	1
C2	0	1
C3	0	1
C4	0	1
C5	0	1
C6	0	1



รูปที่ 6-1 หน้าต่างผลการทดสอบการกดปุ่มคำสั่ง

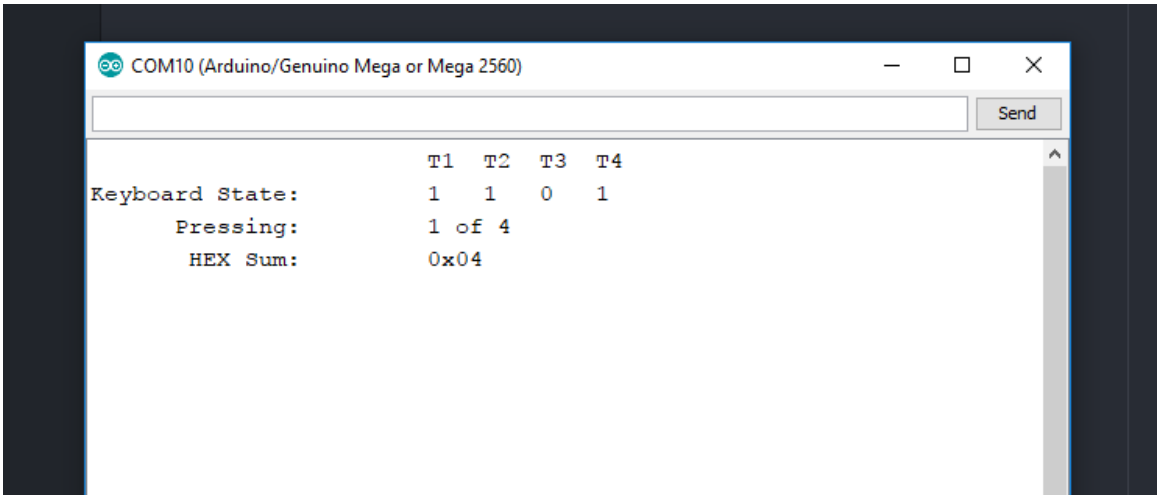
6.1.3 สวิตช์ปุ่มกดลูกศร (Thumb Key)

4

1

ตารางที่ 6-3 ตารางค่าสถานะของปุ่มลูกศรที่อ่านได้โดยไมโครคอนโทรลเลอร์

ตำแหน่งของปุ่มกดลูกศร	สถานะขณะกดปุ่ม	สถานะขณะปล่อยปุ่ม
T1	0	1
T2	0	1
T3	0	1
T4	0	1



รูปที่ 6-2 หน้าต่างผลการทดสอบการกดปุ่มลูกศร

6.1.4 สวิตช์ปุ่มกดเว้นวรรค (Spacebar Key)

2

1

ตารางที่ 6-4 ตารางค่าสถานะของปุ่มเว้นวรรคที่อ่านได้โดยไมโครคอนโทรลเลอร์

ตำแหน่งของปุ่มกดเว้นวรรค	สถานะขณะกดปุ่ม	สถานะขณะปล่อยปุ่ม
SP1	0	1
SP2	0	1

6.2 การทดสอบทางซอฟต์แวร์ของสวิตช์ปุ่มกด

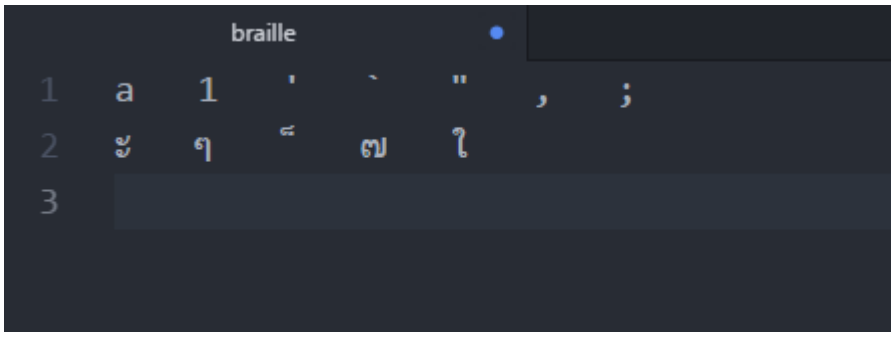
USB to TTL

Braille Byte Spacebar Byte Command Byte Thumb Byte Cursor Byte

6.2.1 สวิตช์ปุ่มกดอักษรเบรลล์ (Braille Key)

ตารางที่ 6-5 ตารางผลลัพธ์การทดสอบพิมพ์ตัวอักษรต่าง ๆ ไปยังคอมพิวเตอร์

ตำแหน่งของปุ่มกดอักษรเบรลล์	ไบต์ 0	ไบต์ 1	ไบต์ 2	ไบต์ 3	ไบต์ 4	อักษรภาษาไทย	อักษรภาษาอังกฤษ
1	0x01	0	0	0	0	อะ	a
2	0x02	0	0	0	0	ๆ	1
3	0x04	0	0	0	0	อ็	‘
4	0x08	0	0	0	0		`
5	0x10	0	0	0	0		“
6	0x20	0	0	0	0		,
7	0x40	0	0	0	0		;
8	0x80	0	0	0	0		
2, 3, 5, 6, 7	0x76	0	0	0	0	๗	
1, 5, 6, 8	0xB1	0	0	0	0	ใ	



รูปที่ 6-3

6.2.2 สวิตช์ปุ่มกดคำสั่ง (Command Key)

ตารางที่ 6-6 ตารางรูปแบบการกระทำที่เกิดขึ้นบนหน้าจอคอมพิวเตอร์จากการกดปุ่มคำสั่ง

ตำแหน่งของปุ่มกดคำสั่ง	ไบต์ 0	ไบต์ 1	ไบต์ 2	ไบต์ 3	ไบต์ 4	รูปแบบการกระทำ
1	0	0	0x01	0	0	สั่งกดปุ่ม ENTER
2	0	0	0x02	0	0	สั่งกดปุ่ม BACKSPACE
3	0	0	0x04	0	0	สั่งกดปุ่ม TAB
4	0	0	0x08	0	0	สั่งกดปุ่ม INSERT
5	0	0	0x10	0	0	
6	0	0	0x20	0	0	
2, 3	0	0	0x06	0	0	สั่งกดปุ่มเปลี่ยนภาษา
2, 4, 6	0	0	0x2A	0	0	สั่งกดปุ่ม F10

6.2.3 สวิตช์ปุ่มกดลูกศร (Thumb Key)

Caret

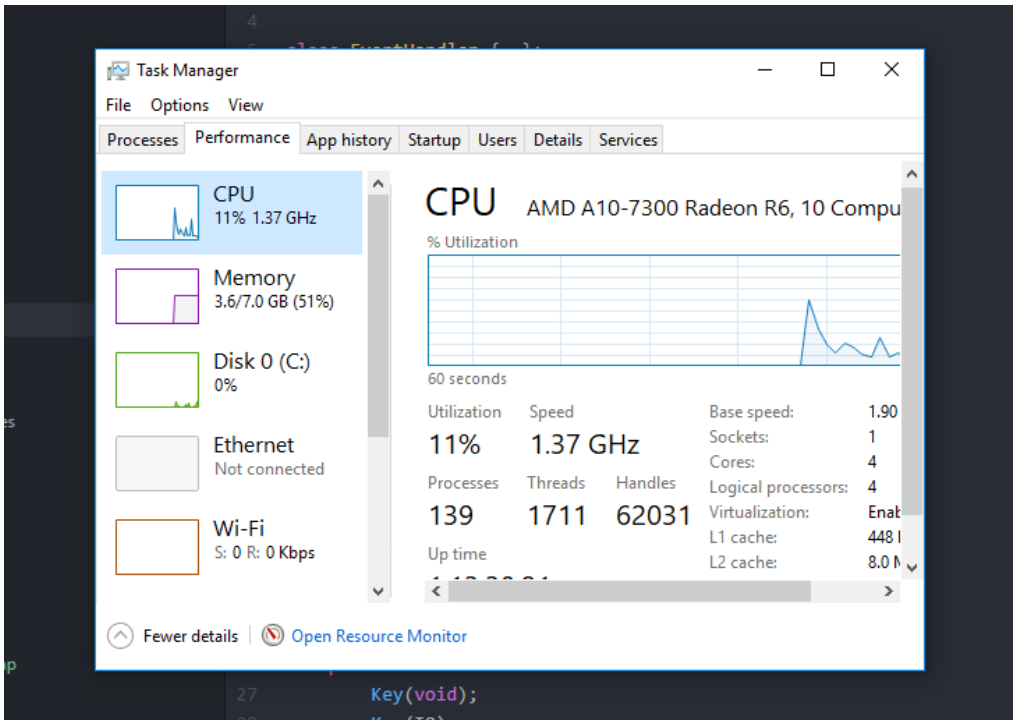
ตารางที่ 6-7 ตารางผลการทดสอบการกดปุ่มลูกศร

ตำแหน่งของปุ่มกดลูกศร	ไบต์ 0	ไบต์ 1	ไบต์ 2	ไบต์ 3	ไบต์ 4	รูปแบบการกระทำ
1	0	0	0	0x01	0	กดปุ่มลูกศรขึ้น / เลื่อนขึ้น
2	0	0	0	0x02	0	กดปุ่มลูกศรซ้าย / เลื่อนซ้าย
3	0	0	0	0x04	0	กดปุ่มลูกศรขวา / เลื่อนขวา
4	0	0	0	0x08	0	กดปุ่มลูกศรลง / เลื่อนลง

6.2.4 สวิตช์ปุ่มกดเว้นวรรค (Spacebar Key)

ตารางที่ 6-8 ตารางรูปแบบการกระทำที่เกิดขึ้นบนหน้าจอคอมพิวเตอร์จากการกดปุ่มเว้นวรรคและปุ่มเบรลล์

ตำแหน่งของปุ่มกดอักษรเบรลล์	ไบต์ 0	ไบต์ 1	ไบต์ 2	ไบต์ 3	ไบต์ 4	รูปแบบการกระทำ
Space	0	0x01	0	0	0	พิมพ์เว้นวรรค
Space + 1	0x01	0x01	0	0	0	CTRL + A / เลือกทั้งหมด
Space + 1, 2	0x03	0x01	0	0	0	CTRL + B / ตัวหนา
Space + 1, 3, 5, 6	0x35	0x01	0	0	0	CTRL + Z / Undo
Space + 2, 5	0x12	0x01	0	0	0	CTRL + N / สร้างไฟล์ใหม่
Space + 2, 3, 5	0x16	0x01	0	0	0	เรียก Task Manager



รูปที่ 6-4 ภาพการทดสอบเรียกใช้ตัวจัดการงาน (Task Manager) ด้วยคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์

6.3 การทดสอบทางซอฟต์แวร์สำหรับการแสดงผลและการขับหน้าจอแสดงผล

HV509 Cascade

Hello

HV509

1) Latch

2) H HV509

ตำแหน่ง	**1**	**2**	**3**	**4**	**...**	**37**	**38**	**39**	**40**
									H

3) E HV509

ตำแหน่ง	**1**	**2**	**3**	**4**	**...**	**37**	**38**	**39**	**40**
								H	E

4) L HV509

ตำแหน่ง	**1**	**2**	**3**	**4**	**...**	**37**	**38**	**39**	**40**
							H	E	L

5) L HV509

ตำแหน่ง	**1**	**2**	**3**	**4**	**...**	**37**	**38**	**39**	**40**
						H	E	L	L

6) O HV509

ตำแหน่ง	**1**	**2**	**3**	**4**	**...**	**37**	**38**	**39**	**40**
						E	L	L	O

7) HV509

ตำแหน่ง	**1**	**2**	**3**	**4**	**...**	**37**	**38**	**39**	**40**
	H	E	L	L					

HV509

6.4 การปรับแก้ตำแหน่งการแสดงผลของหน้าจอแสดงผลอักษรเบรลล์

Binary Modification

ตารางที่ 6-9 ตารางตัวอย่างของการแสดงผลที่ผิดพลาด

ตัวอักษรบนหน้าจอคอมพิวเตอร์	ค่าไบต์ของข้อมูล	การแสดงผลที่คาดหวัง	การแสดงผลจริง	ค่าไบต์ของการแสดงผลจริง
ก	0x1B			0x78
A	0x41			0xDD
X	0x6D			0x54

6.4.1 รูปแบบความคลาดเคลื่อนของการแสดงผล

1)

Compliment

2)

สีเขียว:

สีแดง:

สีน้ำเงิน:

ตารางที่ 6-10 ตารางรูปแบบการแสดงผลของหน้าจอแสดงผลอักษรเบรลล์

รูปแบบการสั่งการแสดงผล	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 5	จุด 6	จุด 7	จุด 8
สั่งให้แสดงจุดเบรลล์ที่ 1	UP					UP		
สั่งให้แสดงจุดเบรลล์ที่ 2		UP					UP	
สั่งให้แสดงจุดเบรลล์ที่ 3			UP					UP
สั่งให้แสดงจุดเบรลล์ที่ 4				UP				
สั่งให้แสดงจุดเบรลล์ที่ 5					UP			
สั่งให้แสดงจุดเบรลล์ที่ 6	UP					UP		
สั่งให้แสดงจุดเบรลล์ที่ 7		UP					UP	
สั่งให้แสดงจุดเบรลล์ที่ 8			UP					UP

ตารางที่ 6-11 ตารางรูปแบบการสลับตำแหน่งข้อมูลไบนารี่ให้สอดคล้องกับการแสดงผล

ตำแหน่งของบิตเดิม	7	6	5	4	3	2	1	0
ตำแหน่งของบิตใหม่	2	1	0	4	3	7	6	5

6.4.2 การทดสอบอุปกรณ์อื่น ๆ บนเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์

การทดสอบบัซเซอร์

ตารางที่ 6-12 ตารางสถานะของบัซเซอร์

สถานะของการควบคุม	แรงดัน (V)	สถานะของบัซเซอร์
0	0.0	ดัง / ทำงาน
1	5.0	เงียบ / ไม่ทำงาน

6.4.3 ขั้นตอนในการทดสอบทางซอฟต์แวร์ของเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์

6.4.3.1 การเตรียมสำหรับการทดสอบ

1)

2) Arduino IDE

www.arduino.cc/en/Main/Software

3) NVDA ThaiBraille

4) CH34 CH341

www.9arduino.nisit.net/download/CH341SER.zip

5)

a.

b. Layout Thai Kedmanee

c. Layout US

d. Grave Accent `

6) Sketch

a. Micro USB

b. USB

6.4.3.2 การดาวน์โหลดเฟิร์มแวร์ลงในบอร์ดหลัก

1. ทำการถอดพลาสติกครอบปุ่มอักษรเบรลล์ทั้งหมดออก
2. ทำการเปิดฝาครอบด้านบนของตัวเครื่อง โดยการขันสกรูบริเวณด้านล่างตัวเครื่อง
3. ตรวจสอบสถานะของสวิตช์เปิด-ปิดเครื่อง ว่าอยู่ในสถานะปิดเครื่องอยู่
4. ทำการถอดขั้วแบตเตอรี่ออกจากขั้วบนบอร์ดหลัก
5. ตรวจสอบว่าสาย USB ไม่ได้เชื่อมต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์
6. ทำการเชื่อมต่อสายแพร์ระหว่างเครื่องโปรแกรมเมอร์กับบอร์ดหลัก (ทั้งหมด 6 เส้น)
7. ทำการต่อสาย USB ระหว่างเครื่องโปรแกรมเมอร์กับคอมพิวเตอร์
8. ดับเบิลคลิกเปิดไฟล์ Sketch เฟิร์มแวร์ที่เตรียมไว้
9. ในโปรแกรม Arduino IDE ให้ไปที่เมนู Tools > Programmer: แล้วเลือกโปรแกรมเมอร์ที่ชื่อ “Arduino as ISP”
10. ไปที่เมนู Tools > Boards: แล้วเลือกบอร์ดที่ชื่อว่า “Arduino/Genuino Mega or Mega 2560“
11. ตรวจสอบว่าขณะนี้สาย USB เชื่อมต่อระหว่าง Programmer กับคอมพิวเตอร์ และสายแพร์ทั้ง 6 เส้น เชื่อมต่อระหว่าง Programmer กับบอร์ดเมนอยู่ จากนั้นให้ไปที่เมนู Tools > Port จากนั้นจึงเลือก Port ที่ Programmer เชื่อมต่ออยู่ (ชื่อทั่วไปคือ COM ตามด้วยตัวเลข 1-2 หลัก และไม่มีตัวอักษรใด ๆ หลังตัวเลข) หากไม่เจอ Port กรุณาติดต่อทีมซอฟต์แวร์ในทันที

12. หลังจากเลือกพอร์ทแล้ว ให้ไปที่ Sketch > “Upload Using Programmer” แล้วรอจนกว่าจะมีข้อความขึ้นว่า “Done uploading”
13. ถอดสาย USB จากคอมพิวเตอร์
14. ถอดสายแพร์ทั้ง 6 เส้นออกจากบอร์ดหลัก

6.4.3.3 การทดสอบสวิตช์ปุ่มกด

การทดสอบสวิตช์ปุ่มกดอักษรเบรลล์

1)

2) Notepad Windows R

notepad Enter

3) USB

4)

ตารางที่ 6-13 |

Notepad ablLK , 2, 3, 4, 5, 6

ตารางที่ 6-13 รูปแบบการทดสอบภาษาอังกฤษของปุ่มกดอักษรเบรลล์

หมายเลขปุ่มกด	ภาษา	ผลลัพธ์ของการกด	ผลลัพธ์รวมบน Notepad
1	ENG	a (เอเล็ก)	a|
1, 2	ENG	b (บีเล็ก)	ab|
1, 2, 3	ENG	l (แอลเล็ก)	abl|
1, 2, 3, 7	ENG	L (แอลใหญ่)	ablL|
1, 3, 7	ENG	K (เค ใหญ่)	ablLK|
1, 2, 3, 4, 5, 6	ENG	= (เท่ากับ)	ablLK=|

5)

Notepad

ตารางที่ 6-14

ตารางที่ 6-14

หมายเลขปุ่มกด	ภาษา	ผลลัพธ์ของการกด	ผลลัพธ์รวมบน Notepad
1, 2, 4, 5	ไทย	ก (กอ ไก่)	ก|
3, 4	ไทย	ฉ (ฉอ ฉิ่ง)	กฉ|
2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	ไทย	ธ (ธอ ธง)	กฉธ|

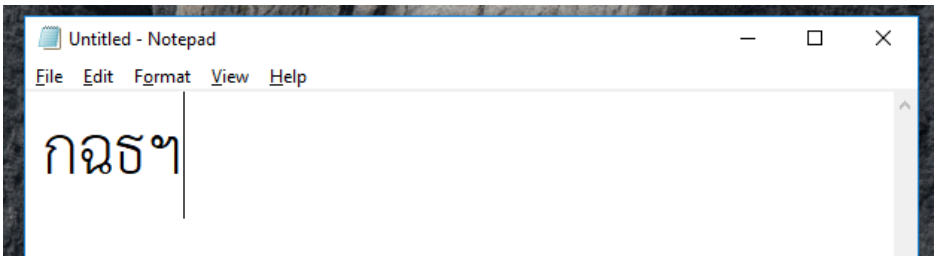
5, 6, 8	ไทย	ฯ (ไปยาลน้อย)	กฉธฯ|

Notepad

6) Notepad

6.4.3.4 การทดสอบสวิตช์ปุ่มกดคำสั่ง

1. ทำการ Focus ตำแหน่งเคอร์เซอร์บนหน้าต่าง Notepad ไว้ที่ตำแหน่งท้ายสุด ดังแสดงในรูปที่ 6-5



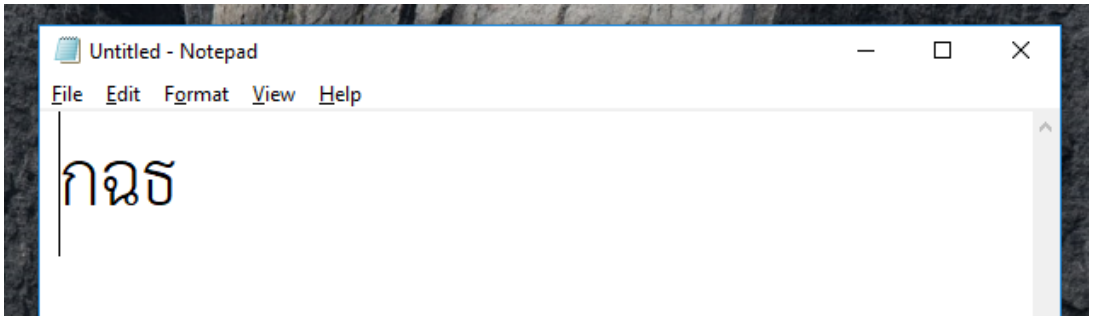
รูปที่ 6-5 Notepad

2. เริ่มต้นทดสอบปุ่มกดอักษรเบรลล์โดยกดปุ่มคำสั่งตามรูปแบบดังนี้ (อ้างอิงวิธีการลำดับปุ่มกดต่าง ๆ จากตารางที่ 6-15)

ตารางที่ 6-15

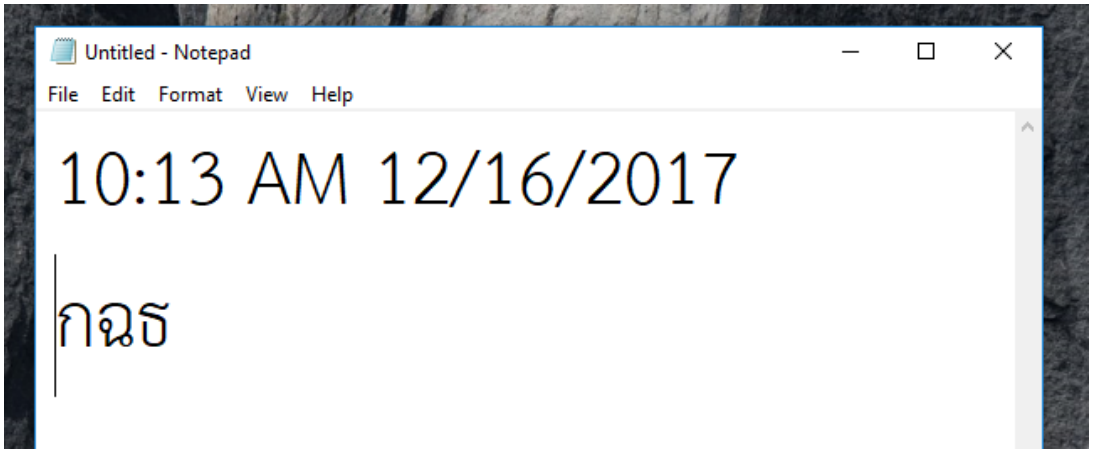
หมายเลขปุ่มกด	**ภาษา**	**ผลลัพธ์ของการกด**	**ผลลัพธ์รวมบน Notepad**
1	ไทย	ENTER	กฉธฯ | (เคอร์เซอร์อยู่ที่บรรทัดถัดไป)
2	ไทย	BACKSPACE	กฉธฯ| (เคอร์เซอร์กลับมาอยู่ด้านหลังไปยาลน้อย)
2	ไทย	BACKSPACE	กฉธ|
1, 4	ไทย	HOME	|กฉธ (เคอร์เซอร์เลื่อนไปตำแหน่งแรกสุด แบบภาพที่ 8)
2, 3	ไทย	เปลี่ยนภาษา	สังเกตภาษาของเครื่อง จะต้องเป็น ENG
2, 3	ENG	เปลี่ยนภาษา	สังเกตภาษาของเครื่อง จะต้องเป็น ไทย
1, 3, 6	ไทย	F5	10:13 AM 12/16/2017|กฉธ
1	ไทย	ENTER	10:13 AM 12/16/2017 |กฉธ

3. หากหน้าต่างโปรแกรม Notepad แสดงผลแบบเดียวกันกับรูปที่ 6-6 แสดงว่าปุ่มกดคำสั่งตำแหน่งที่ 1, 2, 3, 4 และ 6 สามารถใช้งานได้ทั้งหมด



รูปที่ 6-6

3) Notepad

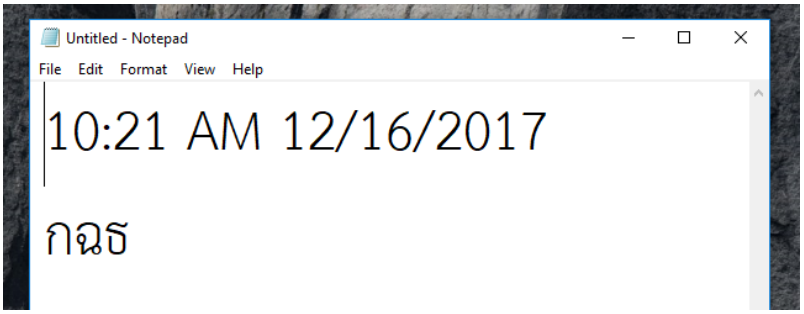


รูปที่ 6-7

6.4.3.5 การทดสอบสวิตช์ปุ่มกดลูกศร

รูปที่ 6-8

1) 1 Notepad



รูปที่ 6-9

2) Notepad

3) Notepad

4) Notepad

5)

6) Notepad Focus

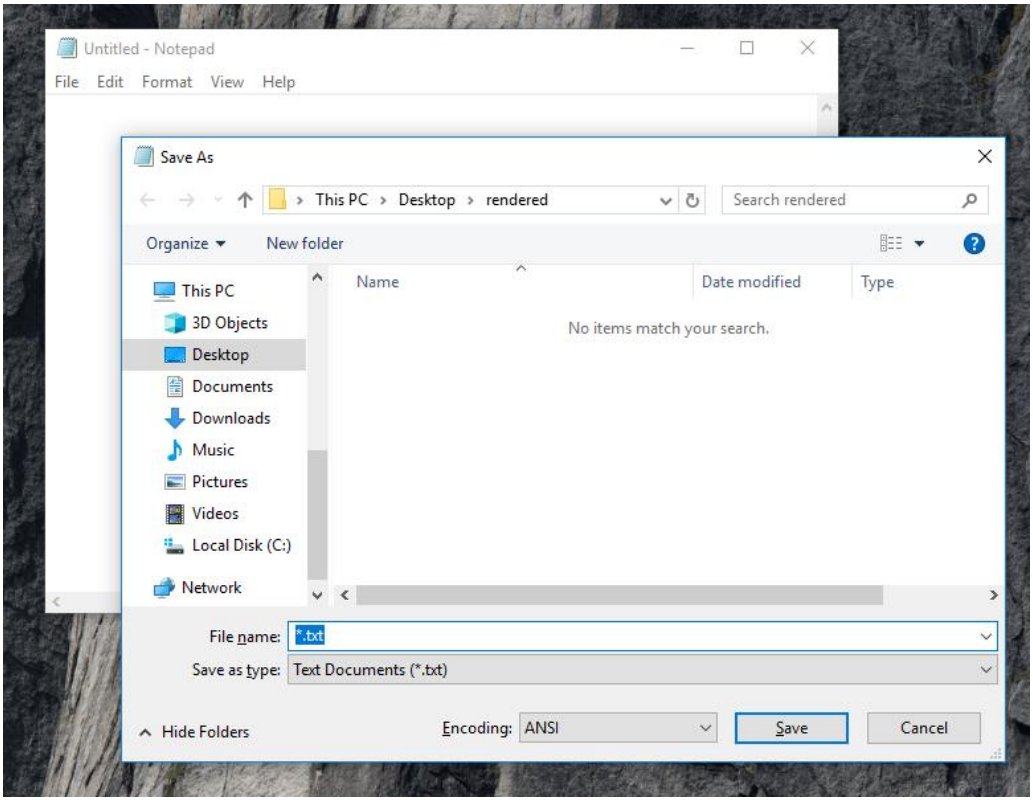
6.4.3.6 การทดสอบสวิตช์ปุ่มกดเว้นวรรค

1) Notepad

2)

ตารางที่ 6-16

หมายเลขปุ่มกด	ภาษา	ผลลัพธ์ของการกด	ผลลัพธ์รวมบน Notepad
SPACE + 2, 3, 4, 7	ไทย	CTRL + S	เรียกหน้าต่าง Save dialog (ภาพที่ 12)



ตารางที่ 6-17 Save dialog

3) Save dialog

4) Save dialog Notepad

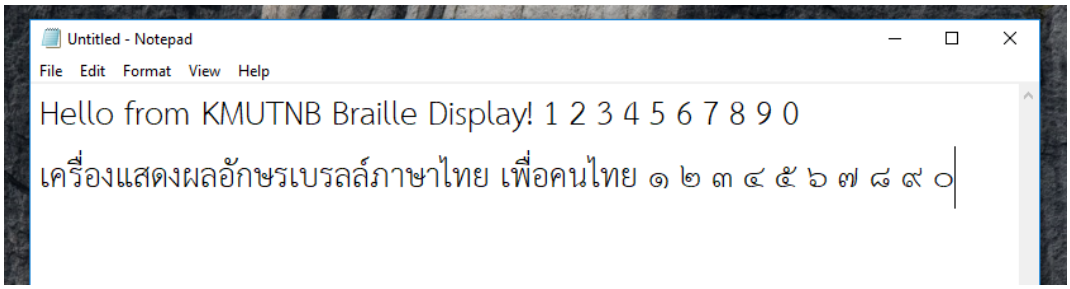
6.4.4 การทดสอบหน้าจอแสดงผลอักษรเบรลล์

6.4.4.1 ขั้นตอนการทดสอบการแสดงผลของหน้าจอแสดงผลอักษรเบรลล์

1) Notepad Windows R notepad Enter

2) Hello from KMUTNB Braille Display 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 Notepad

3) Notepad



ตารางที่ 6-18

4)

5)

ตารางที่ 6-19

ตำแหน่งเซลล์	รูปแบบการแสดงผล	ข้อมูลอ้างอิง	ไบต์ข้อมูล
1-5	⠓⠑⠇⠇⠕	Hello	53 11 07 07 15
6-10	(space) ⠠⠋⠗⠕⠍	(space) from	00 0B 17 15 0D
11-15	(space) ⠠⠅⠍⠥⠞	(space) KMUT	00 45 4D 65 5E
16-20	⠝⠃ (space) ⠠⠃⠗	NB (space) Br	5D 43 00 43 17
21-25	⠁⠊⠇⠇⠑	aille	01 0A 07 07 11
26-30	(space) ⠠⠙⠊⠎⠏	(space) Disp	00 59 0A 0E 0F
31-35	⠇⠁⠽⠖ (space)	lay! (space)	07 01 3D 2E 00
36-40	⠁ (space) ⠃ (space) ⠉⠉	1 (space) 2 (space) 3	02 00 06 00 12

6)

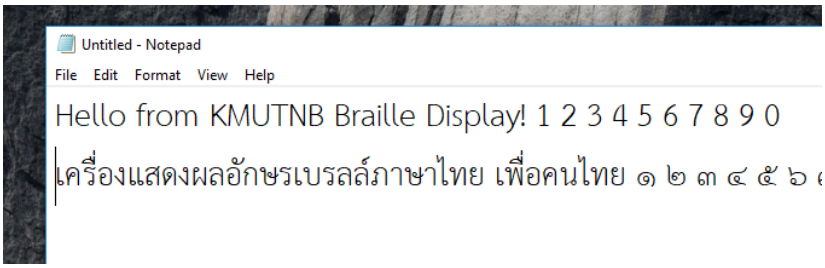
7)

ตารางที่ 6-20 รูปแบบการแสดงผลภาษาไทยบนหน้าจอแสดงผลอักษรเบรลล์

ตำแหน่งเซลล์	รูปแบบการแสดงผล	ข้อมูลอ้างอิง	ไบต์ข้อมูล
1-5	⠠⠒⠬⠐⠂	เครี่	0B 25 17 22 14
6-10	⠐⠿⠐⠴⠠⠉	องแสด	15 3B 23 0E 19
11-15	⠿⠠⠐⠃⠐⠐	งผลอั	3B 0F 07 15 1C
16-20	⠉⠴⠬⠠⠆	กษรเบ	1B 8E 17 0B 27
21-25	⠬⠃⠃⠤⠹	รลล์ภ	17 07 07 34 79
26-30	⠐⠴⠐⠐⠿	าษาไท	21 8E 21 31 3E
31-35	⠿ (space) ⠠⠠⠐⠐	ย (space) เพื	3D 00 0B 39 22
36-40	⠄⠐⠒⠒⠐	(ไม้เอก) อคนไ	14 15 25 1D 31

หากสามารถแสดงผลได้ถูกต้องตามรูปแบบในตารางด้านบน แสดงว่าเซลล์แสดงผลทั้ง 40 เซลล์สามารถใช้งานได้

รูปที่ 6-10



รูปที่ 6-11

รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ ๓

(The 3rd Progression Report)

โครงการขอรับการส่งเสริมและสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

ประเภทที่ ๑/๒๕๕๗

ประจำงวดที่ ๔

โครงการพัฒนาต้นแบบเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ราคาถูก ด้วยการใช้เทคนิควิศวกรรมย้อนรอยและวัสดุนวัตกรรมใหม่ สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต และโทรศัพท์สมาร์ตโฟน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

สัญญารับทุนเลขที่ T2-1-0007/57

1. สรุปผลการดำเนินงาน รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 3

การดำเนินงานในการรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 3 มีความล่าช้าอย่างมากทั้งนี้เนื่องจากการพัฒนาชิ้นส่วนต่าง ๆ ทำได้ยากเนื่องจากเป็นชิ้นส่วนเล็กมาก และต้องมีการลองผิดลองถูกหลายครั้ง อีกทั้งอุปกรณ์มีชิ้นส่วนจำนวนมากที่ประกอบกันเป็นชุดอุปกรณ์ ทำให้การออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ ให้สามารถประกอบเป็นชิ้นเดียวกันทำได้ยากลำบากเช่นกัน มีการปรับเปลี่ยนขนาดหลายครั้ง และการปรับเปลี่ยนแต่ละครั้งต้องใช้เวลานานเนื่องจากต้องปรับเปลี่ยนขนาดของชิ้นส่วนอื่น ๆ ด้วยเช่นกัน ซึ่งการรายงานความก้าวหน้าในครั้งนี้ ทีมผู้วิจัยสามารถผลิตเครื่องต้นแบบที่สามารถประกอบเป็นเครื่องได้สำเร็จแต่ยังมีข้อที่ยังต้องปรับปรุงให้ได้ประสิทธิภาพ เช่น การปรับปรุงเพื่อการผลิตเชิงอุตสาหกรรม การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์ การปรับปรุงซอฟต์แวร์ให้สามารถใช้งานได้ง่าย เป็นต้น

ทั้งนี้ทีมวิจัยมีความตั้งใจอย่างมากที่จะทำให้ผลงานชิ้นนี้ประสบความสำเร็จแม้จะมีอุปสรรคมากมาย และเป็นประสบการณ์ใหม่ที่ได้พัฒนาอุปกรณ์เครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ที่มีราคาถูกสำหรับผู้พิการทางสายตาในประเทศไทย และที่สามารถนำมาใช้งานได้จริงกับการทำงานของผู้พิการทางสายตา

2. ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการศึกษาวิจัยสามารถอธิบายแบบย่อได้ดังต่อไปนี้

2.1 ศึกษาการทำงานของคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์

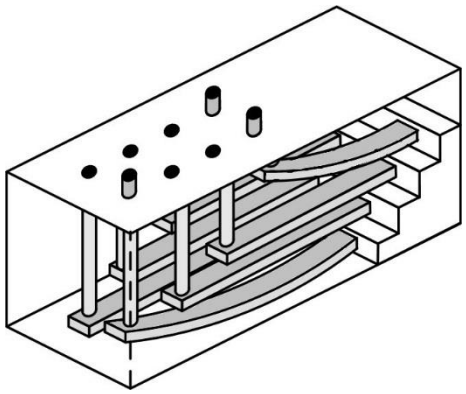
คีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ที่ทางคณะวิจัยได้นำมาศึกษาหลักการทำงานเพื่อเป็นต้นแบบสำหรับการวิจัยและพัฒนา คือเครื่องคีย์บอร์ด Humanware Brailliant BI40 ซึ่งเป็นคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ที่สามารถอ่านข้อความจากคอมพิวเตอร์มาเสดงผลเป็นภาษาเบรลล์ สามารถพิมพ์ข้อความกลับไปยังคอมพิวเตอร์ได้ และยังสามารถใช้คำสั่งควบคุมการทำงานพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ได้อีกด้วย ซึ่งเครื่องคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์นี้ จะมีการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางการใช้สายยูเอสบี(USB) และผ่านทางการส่งสัญญาณไร้สายด้วยบลูทูธ (Bluetooth) โดยจะทำงานร่วมกับโปรแกรมอ่านหน้าจอ (Screen Reader) ต่าง ๆ เช่น JAWS, NVDA, Windows Eyes ฯลฯ ซึ่งทางคณะผู้จักทำได้แบ่งหัวข้อการศึกษาออกเป็น 3 หัวข้อหลัก ๆ ได้แก่ โครงสร้างและการออกแบบของคีย์บอร์ด อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการแสดงผลและควบคุมการทำงานของคีย์บอร์ด และการทำงานของซอฟต์แวร์ที่ใช้ติดต่อสื่อสารระหว่างคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์กับคอมพิวเตอร์

อุปกรณ์ต่าง ๆ ในเครื่องคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์จะประกอบไปด้วยหน่วยประมวลผลของคีย์บอร์ดที่มีหน้าที่ในการติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์และควบคุมการแสดงผลของคีย์บอร์ด อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการแสดงผลตัวอักษรเบรลล์ที่จะประกอบไปด้วยก้านกระดกที่ถูกควบคุมด้วยตัวประมวลผลของคีย์บอร์ดอยู่ในรูปแบบของอักษรเบรลล์จำนวน 40 ตัวอักษร และปุ่มกดต่าง ๆ สำหรับการพิมพ์ข้อความหรือเรียกใช้คำสั่งต่าง ๆ และตัวเครื่องคีย์บอร์ดที่จะใช้สำหรับรวมอุปกรณ์ข้างต้นเข้าไว้ด้วยกัน

2.2 วางแผนและออกแบบระบบการทำงานต่าง ๆ ในคีย์บอร์ด

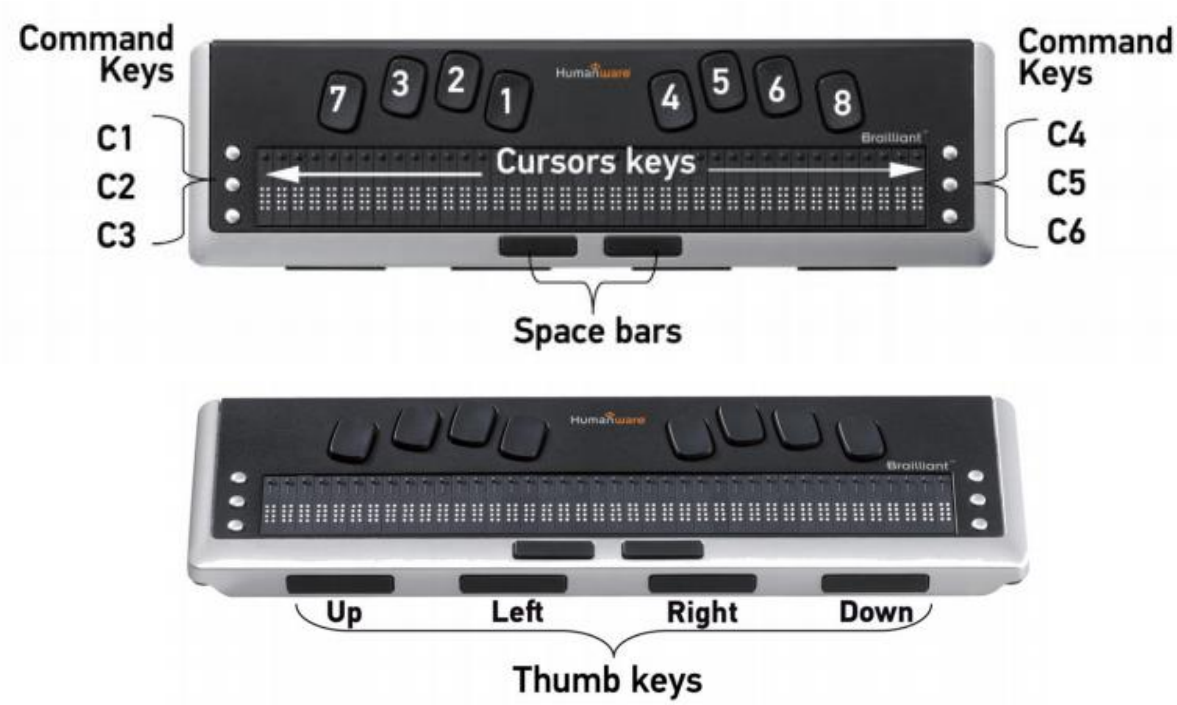
ระบบการแสดงผลอักษรเบรลล์ จะประกอบไปด้วยหน่วยแสดงผลทั้งหมด 40 ตัว สำหรับการแสดงผลจำนวน 40 ตัวอักษร โดยแต่ละหน่วยแสดงผลจะประกอบไปด้วยตัวเรือนของอักษรเบรลล์ที่จะใช้สำหรับบรรจุก้านกระดกจำนวน 8 ก้าน โดยจะมีเข็มทรงกระบอกขนาดเล็กตั้งอยู่ที่บริเวณปลายของก้านกระดกทุกก้านเพื่อใช้ในการขยับขึ้นลงให้แสดงผลออกมาอยู่ในรูปของอักษรเบรลล์ 1 ตัวอักษร และด้านท้ายของหน่วยแสดงผลจะมีบอร์ดไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อก้าน

กระดกทั้ง 8 ก้านเข้ากับตัวประมวลผลของบอร์ด ดังแสดงในรูปที่ 2-1 เพื่อให้ตัวประมวลผลสามารถควบคุมการทำงานของก้านกระดกเหล่านี้ให้สามารถแสดงผลออกมาอยู่ในรูปแบบของตัวอักษรในภาษาเบรลล์ที่ต้องการ



รูปที่ 2-1 ภาพจำลองการทำงานของตัวแสดงผลอักษรเบรลล์

ระบบการพิมพ์ข้อความเข้าไปยังคอมพิวเตอร์ จะประกอบไปด้วยปุ่มกดหลายชนิด ได้แก่ปุ่มกดสำหรับพิมพ์ข้อความ ปุ่มเรียกใช้งานคำสั่งของคอมพิวเตอร์ ปุ่มเว้นวรรค ปุ่มลูกศร และปุ่มที่ใช้เปิดปิดเครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 2-2 โดยปุ่มกดเหล่านี้จะเชื่อมต่ออยู่กับหน่วยประมวลผลของคีย์บอร์ดเพื่อประมวลผลคำสั่งและส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์ต่อไป



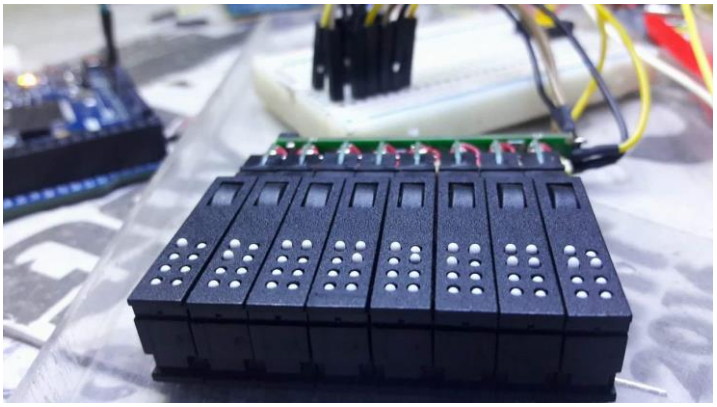
รูปที่ 2-2 คีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ของ Humanware

หน่วยประมวลผลสำหรับคีย์บอร์ด ทำหน้าที่ในการรับสัญญาณการกดปุ่มต่าง ๆ มาจากผู้ใช้งานคีย์บอร์ดแล้วนำไปประมวลผลคำสั่งเพื่อส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์ รับข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมในคอมพิวเตอร์มาประมวลผล และนำผลที่ได้มาไปควบคุมการทำงานของก้านกระดกในอุปกรณ์แสดงผลบนอักษรเบรลล์ให้แสดงผลตามข้อมูลที่ได้รับมาจากคอมพิวเตอร์ในรูปแบบของตัวอักษรภาษาเบรลล์

หลังจากการวางแผนและออกแบบระบบของคีย์บอร์ดเรียบร้อยแล้ว ทางคณะวิจัยจึงได้รวบรวมอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดสอบการทำงานของระบบต่าง ๆของคีย์บอร์ด เช่นการนำกระบวนการผลิตด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (3D Printer) มาใช้ในการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆที่จะนำมาเป็นต้นแบบในการผลิต เช่นชิ้นส่วนที่เป็นตัวเรือนและเข็มที่ใช้ในอุปกรณ์แสดงผลของคีย์บอร์ด รวมถึงตัวเครื่องของคีย์บอร์ดด้วย และเลือกใช้ไมโครโพรเซสเซอร์อาร์ดูโนมาเป็นตัวประมวลผลในคีย์บอร์ด เพื่อใช้สำหรับการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์แสดงผลรวมถึงเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ และในส่วนของการกดปุ่มก็จะเลือกใช้สวิตช์ปุ่มกดนำมาต่อเข้ากับตัวประมวลผลเพื่อให้สามารถส่งสัญญาณการกดปุ่มไปประมวลผลต่อไปได้

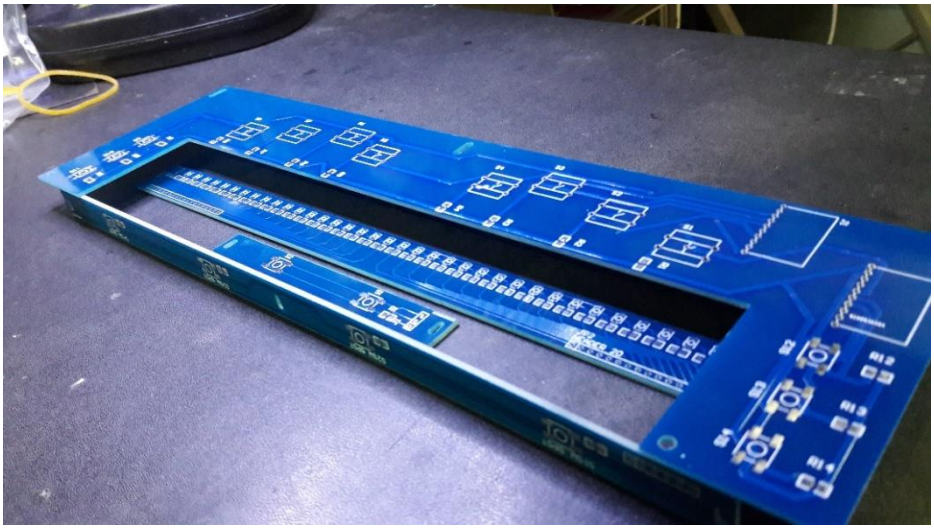
2.3 การวิจัยและพัฒนาต้นแบบคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์

การวิจัยและพัฒนาเริ่มจากการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้ในตัวอย่างคีย์บอร์ด ในส่วนนี้จะเริ่มจากการนำหน่วยประมวลผลที่ทางคณะวิจัยได้จัดทำขึ้นมาไปทดสอบสั่งงานอุปกรณ์แสดงผลของเครื่องตัวอย่างเพื่อให้ทราบว่าหน่วยประมวลผลที่ทำขึ้นมานั้นสามารถนำไปสั่งงานและควบคุมการแสดงผลได้แบบเดียวกับเครื่องคีย์บอร์ดของเครื่องตัวอย่างได้อย่างถูกต้อง รูปที่ 2-3 แสดงการทดสอบหน่วยประมวลผลกับโมดูลของเครื่องตัวอย่าง



รูปที่ 2-3 การทดลองควบคุมการแสดงผลบนโมดูลอักษรเบรลล์ของคีย์บอร์ดต้นแบบ

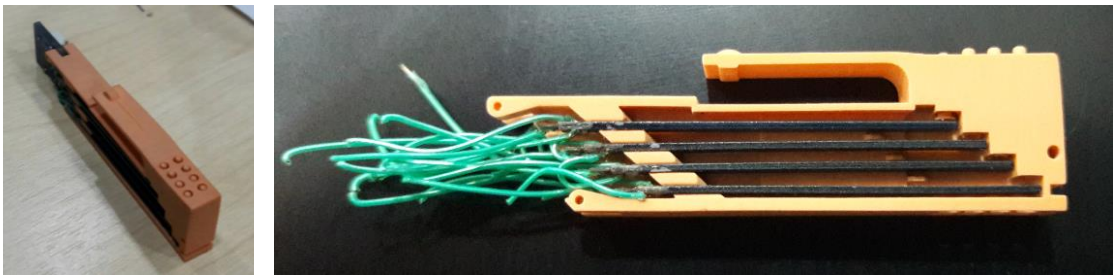
การออกแบบแผ่นลายวงจรที่ใช้ในต้นแบบคีย์บอร์ดนี้ทางคณะวิจัยได้ทำการออกแบบวงจรไฟฟ้าที่จะใช้ในตัวเครื่องคีย์บอร์ด ซึ่งจะประกอบไปด้วยวงจรสวิตช์ปุ่มกดต่าง ๆในคีย์บอร์ด วงจรที่ใช้สำหรับการควบคุมการแสดงผลอักษรเบรลล์ของคีย์บอร์ด และทำการรวมวงจรทั้งหมดให้เชื่อมต่อกับหน่วยประมวลผลของคีย์บอร์ด ดังแสดงในรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 แผ่นลายวงจรที่ออกแบบสำหรับใช้ในคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์

การทดสอบการทำงานในส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง หลังจากที่ได้ออกแบบและจัดทำระบบไฟฟ้าขึ้นมาแล้ว ก็จะนำมาทำการทดสอบการทำงานของระบบต่าง ๆ ว่าสามารถทำงานได้ตามที่วางแผนเอาไว้หรือไม่ รวมถึงตรวจสอบและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

การออกแบบและพัฒนาโครงสร้างในส่วนของการแสดงผลของต้นแบบคีย์บอร์ด ในส่วนนี้จะเป็นการออกแบบและผลิตหน่วยแสดงผลตัวอักษรเบรลล์ขึ้นมาเองดังแสดงในรูปที่ 2-5 และนำมาทำการทดสอบการทำงานต่าง ๆ เช่น ระยะการขยับขึ้นลงของเข็มที่ใช้แสดงผล ความถูกต้องในการแสดงผลเมื่อนำมาควบคุมผ่านหน่วยประมวลผลที่ทำขึ้นมา เป็นต้น



รูปที่ 2-5 โมดูลแสดงผลจากกระบวนการพิมพ์สามมิติ (3D Printing)

การออกแบบและพัฒนาโครงสร้างภายนอกของต้นแบบคีย์บอร์ดเป็นการออกแบบตัวเครื่องที่จะรวมเอาอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ามาใส่ไว้ข้างในดังแสดงในรูปที่ 2-6 โดยจะมีการทดสอบและตรวจหาปัญหาในด้านของความแข็งแรง ขนาดโดยรวมของคีย์บอร์ด ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ภายในตัวเครื่อง ตามเหมาะสมของตำแหน่งปุ่มกด เป็นต้น

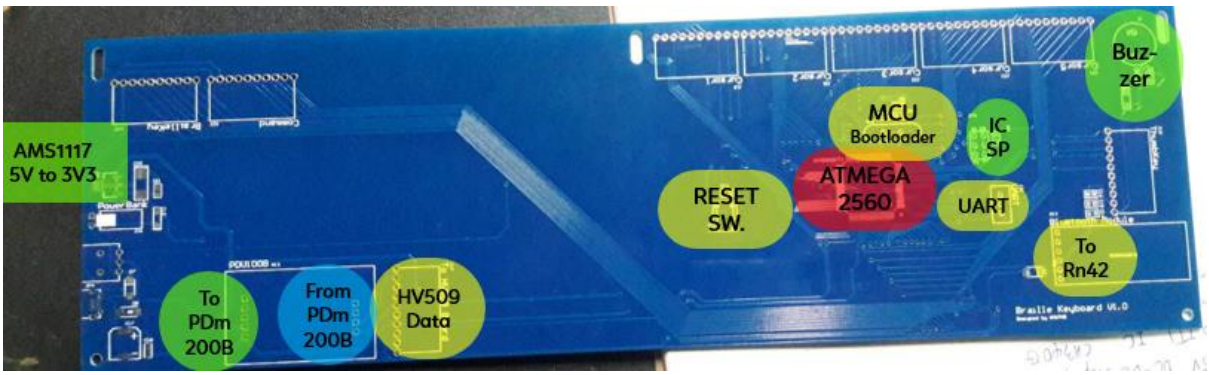
รูปที่ 2-6 ตัวเครื่องและปุ่มกดของคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ที่ได้จากกระบวนการพิมพ์สามมิติ

3. สถานะปัจจุบัน ความคืบหน้าและปัญหาของโครงงานวิจัยฯ

สถานะปัจจุบัน ความคืบหน้าและปัญหาในแต่ละภาคส่วนของโครงงานวิจัยและพัฒนาต้นแบบคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ราคาถูก ซึ่งสามารถแบ่งได้ตามภาคส่วนของงานวิจัยฯ ดังนี้

3.1 ภาพรวมของอุปกรณ์

อุปกรณ์เครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ใช้หน่วยประมวลผลหลักคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega2560: Microcontroller ซึ่งเชื่อมต่อกับโมดูลต่าง ๆ ดังแสดงจุดเชื่อมต่อบนแผ่นวงจรพิมพ์ใน รูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก ATmega2560

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega2560 ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลหลักของคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ ทำหน้าที่รับข้อมูลสถานการณ์กดปุ่มคีย์บอร์ดจากบอร์ดสวิตช์อื่น ๆ มาประมวลผลและส่งต่อไปยังโมดูลโปรไมโคร นอกจากนั้นยังทำหน้าที่รับข้อมูลจากโปรไมโครมาทำการส่งต่อให้กับบอร์ด HV509 เพื่อใช้ควบคุมการแสดงผลอักษรเบรลล์

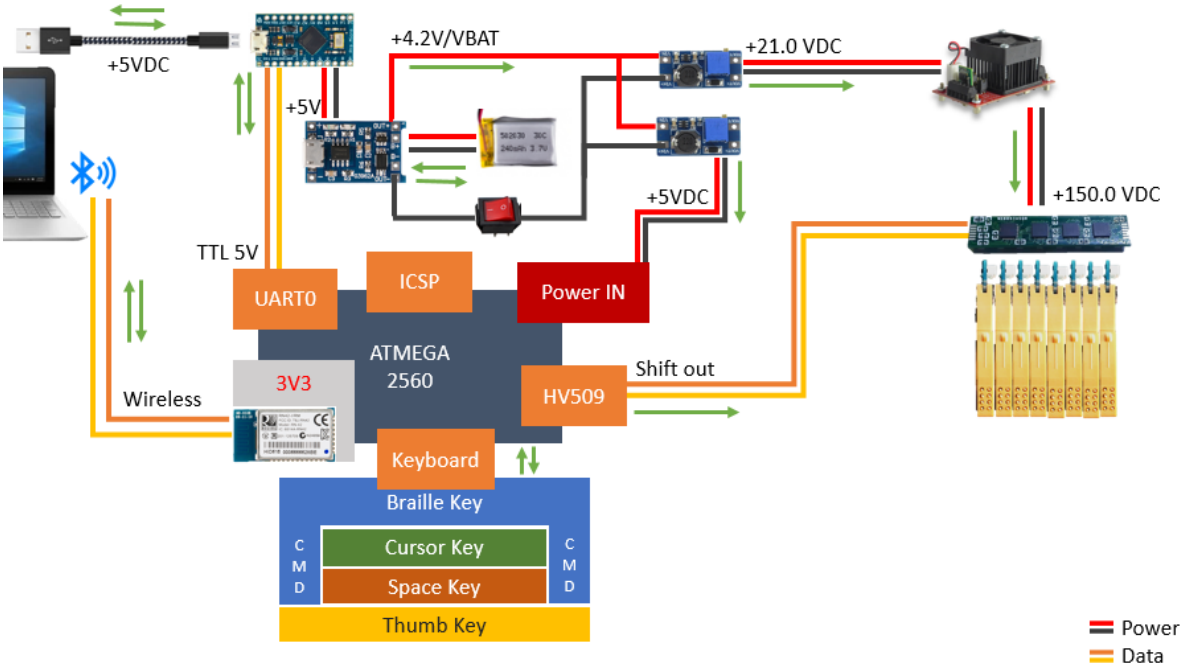
ในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์หลักจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบย่อย ๆ ดังรูปที่ 3-1 ดังนี้

- AMS1117: 5V to 3V3 สำหรับแปลงไฟ 5V ที่ใช้เลี้ยงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega2560 ไปเป็นแรงดันระดับ 3.3V สำหรับใช้เป็นแหล่งจ่ายให้กับโมดูลบลูทูธ (RN-42)

- MCU Bootloader: เป็นส่วนที่ใช้ในการอับโหลดโปรแกรมเพื่อตั้งค่าการทำงานเริ่มต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้สามารถทำการอับโหลดโปรแกรมลงไปได้
- Buzzer: ส่วนของการแจ้งเตือนด้วยระบบเสียง
- ส่วนการเชื่อมต่อไปยังโมดูลต่าง ๆ รวมถึงบอร์ดสวิตช์อื่น ๆ

รูปที่ 3-2 แสดงภาพรวมการเชื่อมต่อชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega2560 เป็นหน่วยประมวลผลหลัก
- วงจรปรับแรงดันขึ้นขนาด 21 VDC สำหรับจ่ายให้ชุดขยายแรงดันเพื่อขับแผ่นเปียโซ
- วงจรปรับแรงดันขึ้นขนาด 5 VDC สำหรับจ่ายไฟฟ้าให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วง
- วงจรปรับแรงดันขึ้นขนาด 200 VDC เพื่อขับแผ่นเปียโซให้ทำงาน
- แผ่นควบคุมเปียโซสำหรับส่งสัญญาณการควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังชุดขับแผ่นเปียโซ
- ชุดวงจรบลูทูธสำหรับการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สาย
- ชุดประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่และสำหรับการจ่ายไฟฟ้าให้กับชุดปรับแรงดัน
- ชุดวงจรโปรไมโครสำหรับการควบคุมการสั่งงานผ่านพอร์ต USB เพื่อการสื่อสารข้อมูลและการเขียนโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์

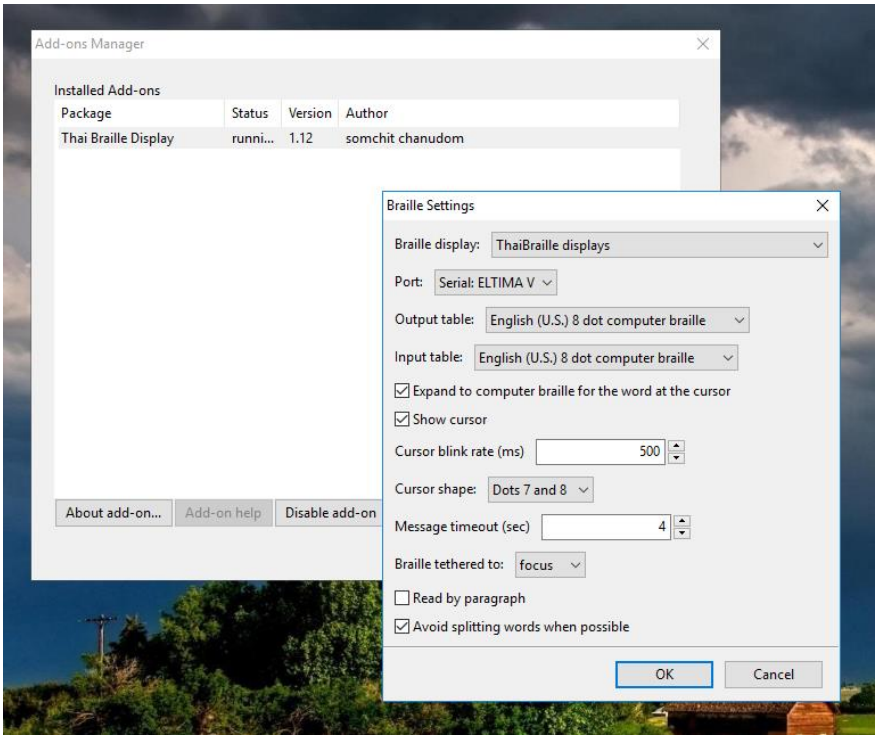


รูปที่ 3-2 แผนภาพการต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์อื่น ๆ

3.2 ส่วนงานทางด้านซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์

ในส่วนของซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ คณะวิจัยฯ ได้ออกแบบและพัฒนาส่วนเสริม (Add-on) ที่ใช้กับโปรแกรมเอ็นวีดีเอ (NVDA) บนระบบปฏิบัติการวินโดว์ ในปัจจุบันส่วนเสริมของโปรแกรมเอ็นวีดีเอนี้สามารถติดต่อสื่อสารกับคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ผ่านทางยูเอสบี (USB) เพื่อทำการส่งข้อมูลที่เป็นตัวอักษรบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ไปยังหน่วยประมวลผลของคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ได้เรียบร้อยแล้ว รวมทั้งยังสามารถรับข้อมูลการกดปุ่มบนคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์

เข้าไปแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้บางส่วนแล้ว อาทิ คำสั่งในการเลื่อนเคอร์เซอร์ (Cursor) คำสั่งในการเรียกเมนูของระบบปฏิบัติการวินโดว์ ฯลฯ ส่วนเสริมนี้ยังสามารถรองรับรูปแบบข้อมูลที่เป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ สัญลักษณ์และตัวเลขตามรูปแบบของอักษรเบรลล์ที่ถูกส่งมาจากคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ได้อีกด้วย



รูปที่ 3-1 ส่วนเสริมของโปรแกรมเอ็นวีดีเอสำหรับใช้ติดต่อสื่อสารกับคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์

3.2.1 โปรโตคอลสื่อสารระหว่าง NVDA กับ Braille Display

การสื่อสารระหว่างซอฟต์แวร์ NVDA และเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์เป็นการสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม ซึ่งผ่านการทำงานของชุดอนุกรมสื่อสาร โดยกำหนดให้ Baud rate เท่ากับ 19200 bps สำหรับ EcoBraille.และความเร็ว 9600 bps ThaiBraille. โดยกำหนดให้มีรูปแบบการสื่อสารข้อมูลดังนี้

Format:

```
10 02 BC 00 00 00 00 00 {40 Byte of data} 00 00 00 00 00 00 00 10 03
```

Example: (57 Byte)

```
10 02 BC 00 00 00 00 00 AA BB CC DD EE FF AA BB CC DD EE FF 12 34 56 78 9A BC DE FF 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 10 03
```

Data: (40 Byte)

```
AA BB CC DD EE FF AA BB CC DD EE FF 12 34 56 78 9A BC DE FF 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
```

Binary conversion:

```
BIT          7654 3210
AA     =     1010 1010
```

```
BB      =      1011 1011
9A      =      1001 1010
```

Braille pattern:

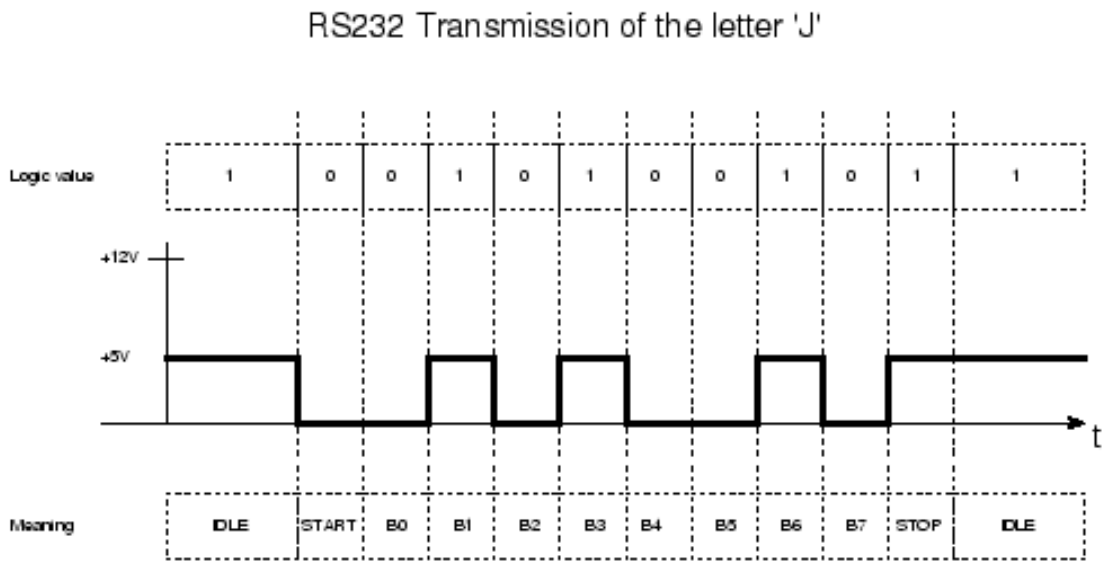
```
B4 B0
B5 B1
B6 B2
B7 B3
```

Shift register: (Arduino)

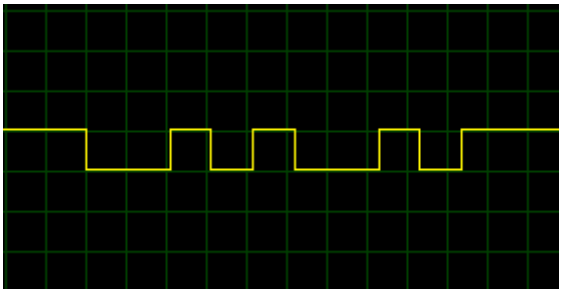
```
AA      =      shiftOut(DP, CP, MSBFIRST, B10101010);
9A      =      shiftOut(DP, CP, MSBFIRST, 0x9A);
```

3.2.2 การสื่อสารแบบอนุกรม

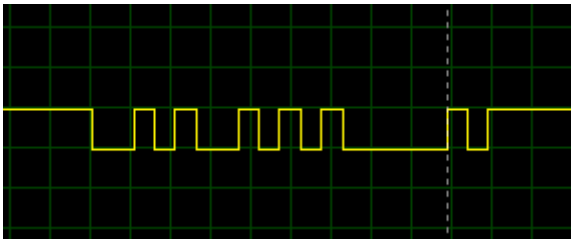
การส่งข้อมูลผ่านพอร์ท RS232 นั้นจะเป็นการส่งข้อมูลในรูปแบบของรหัสแอสกี้ (ASCII Code) ฐาน2 หรือก็คือข้อมูลที่ส่งนั้นจะอยู่ในรูปของสัญญาณ 0 และ 1 จำนวน 8 ตัว ในสภาวะปรกตินั้น จะมีการส่งสัญญาณเอาท์พุทเป็น 1 หรือ HIGH อยู่ตลอดเวลา เมื่อมีการส่งข้อมูลจะเริ่มต้นจากการส่งสัญญาณ 0 เป็นจำนวน 1 bit เพื่อบอกว่ากำลังจะเริ่มส่งข้อมูลแล้ว หลังจากนั้นก็จะทำการส่งข้อมูลออกไปเป็นจำนวน 8 bit แล้วจึงหยุดการส่งข้อมูลด้วยการส่งสัญญาณที่เป็น 1 อีกครั้ง



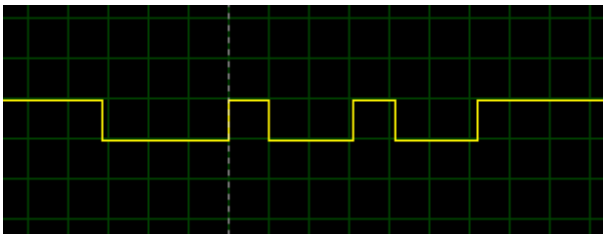
รูปที่ 3-3 ลักษณะของสัญญาณที่ส่งมาจากบอร์ด Arduino (จำลองผ่านโปรแกรม Proteus)



จากรูปข้างต้นเป็นการส่งข้อมูล “J” ด้วยคำสั่งจากบอร์ด Arduino โดยสัญญาณที่ส่งมาจะเป็น “10 01010010 1” สัญญาณ 10 ในส่วนแรกจะเป็นสัญญาณเพื่อบอกว่ากำลังจะเริ่มส่งข้อมูลแล้ว หลังจากนั้นเป็นจำนวน 8 bit จะนำมาเรียงใหม่จากหลังมาหน้าเป็น 01001010 หรือก็คือ ASCII Code ของตัวอักษร “J” และจึงส่งสัญญาณเป็น 1 อีกครั้งเพื่อหยุดส่งข้อมูล



จากรูปข้างต้นเป็นการส่งข้อมูล “JA” มาจากบอร์ด Arduino โดยจะได้สัญญาณมาเป็น “10 01010010 10 10000010 1” ซึ่งก็หมายถึงได้มีการส่งสัญญาณ 8 bit แรกมาเป็น 01001010 หรือก็คือตัว “J” และก็ส่งสัญญาณ HIGH มา 1 bit เพื่อจบการส่งข้อมูล และทำการส่งข้อมูลตัวต่อไปในทันที ซึ่งก็คือ 01000001 หรือก็คือ ASCII Code ของตัวอักษร “A”

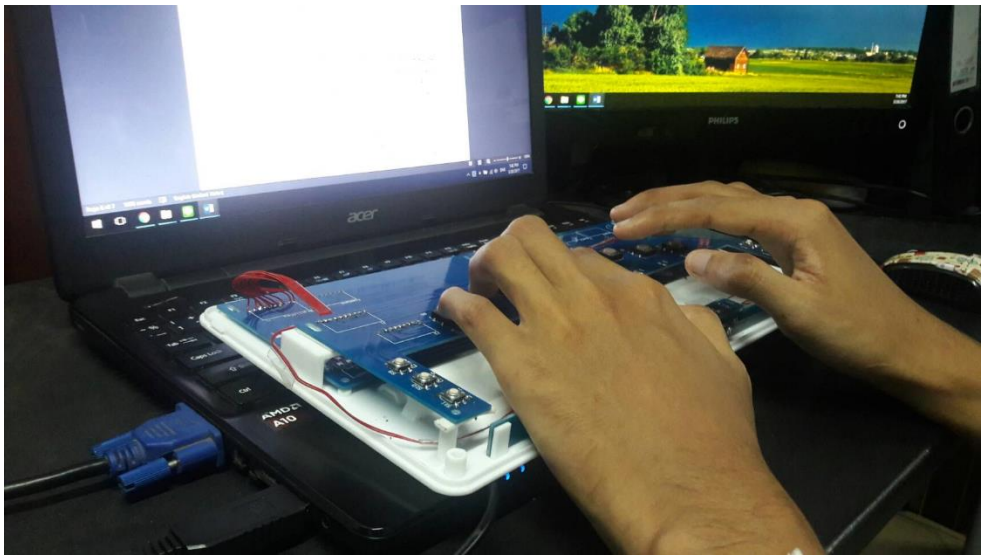


จากรูปข้างต้น เราได้ศึกษาการส่งข้อมูลผ่านพอร์ท RS232 นี้ ทำให้เราสามารถที่จะควบคุมการส่งสัญญาณของบอร์ด Arduino ให้มีลักษณะของคลื่นสัญญาณให้ได้ตามที่เราต้องการ ด้วยการสั่งข้อมูลเอาท์พุทในรูปแบบของ Byte เช่น B00100100 สัญญาณที่ได้มาจะอยู่ในรูป “10 00100100 1” ซึ่งข้อมูลที่ได้รับมาก็คือ 00100100 ตามข้อมูลที่ส่งออกไป

3.3 ส่วนงานทางด้านซอฟต์แวร์ของคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์

ในปัจจุบัน หน่วยประมวลผลกลางของคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์นี้สามารถรับค่าสถานะการกดปุ่มบนตัวคีย์บอร์ดไปประมวลผล และส่งต่อไปยังส่วนเสริมของโปรแกรมเอ็นวีดีเอได้เรียบร้อยแล้ว สำหรับในส่วนของหน้าจอแสดงผลอักษร

เบรลล์นั้นสามารถรับข้อมูลเชิงอักษรจากหน้าจอคอมพิวเตอร์มาประมวลผล เพื่อที่จะนำไปแสดงผลได้ครบทั้ง 40 ตัวอักษร



รูปที่ 3-4 การทดสอบการพิมพ์ข้อความไปยังคอมพิวเตอร์โดยใช้คีย์บอร์ดอักษรเบรลล์

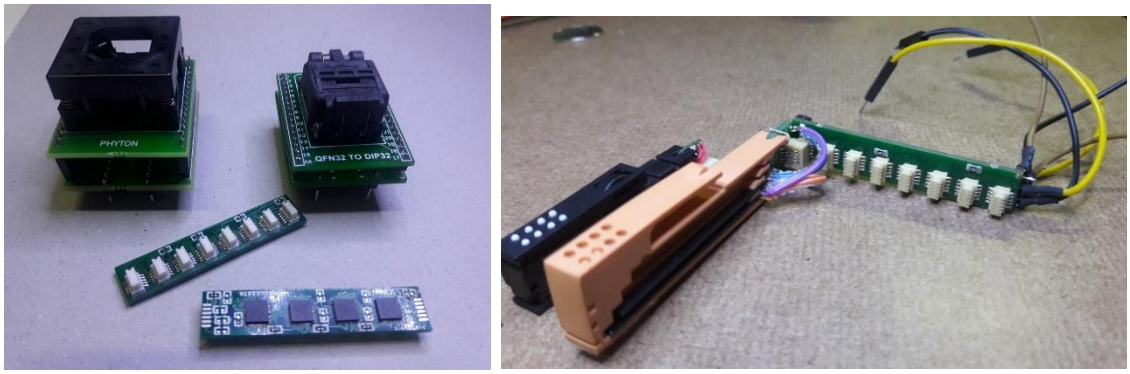
ปัญหาที่กำลังดำเนินการแก้ไขและแนวทางในการพัฒนา : ขณะนี้ในส่วนของซอฟต์แวร์ของหน่วยประมวลผลบนคีย์บอร์ดอักษรที่ทำการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางยูเอสบี รวมถึงในส่วนของการแสดงผลตัวอักษรเบรลล์ทั้ง 40 ตัวอักษรนั้นเป็นไปอย่างราบรื่น จึงเหลือในส่วนของการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางระบบไร้สายด้วยบลูทูธ 4.0 ซึ่งทางคณะวิจัยฯ กำลังวางแผนเพื่อที่จะดำเนินการพัฒนาในขั้นตอนถัดไป

3.4 ส่วนงานทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์

ในส่วนของไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์นั้นได้มีการออกแบบและพัฒนาบอร์ดลายวงจร (PCB) ทั้งในส่วนของปุ่มกดรวมไปถึงบอร์ดลายวงจรของหน่วยประมวลผลหลักที่ใช้ในคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ ปัจจุบันในส่วนของบอร์ดปุ่มกดนั้นสามารถใช้งานได้ปกติ สามารถทำการส่งสัญญาณการกดปุ่มไปยังหน่วยประมวลผลของคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ได้อย่างไม่มีปัญหา

รูปที่ 3-5 แผ่นลายวงจรต่าง ๆ ที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์

ปัญหาที่กำลังดำเนินการแก้ไขและแนวทางในการพัฒนา : ปัญหาของส่วนงานด้านไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันนั้นจะเกี่ยวข้องกับหน่วยประมวลผลกลางเป็นหลัก เนื่องจากข้อผิดพลาดบางประการทางการออกแบบแผ่นลายวงจรหน่วยประมวลผล ทำให้ปัจจุบันบอร์ดลายวงจรของหน่วยประมวลผลกลางจะยังไม่สามารถใช้งานได้ ทางคณะวิจัย ฯ จึงได้นำบอร์ดสำหรับนักพัฒนา (Developer Board) มาใช้งานแทนแผ่นลายวงจรของหน่วยประมวลผลชั่วคราว นอกจากนั้นแผ่นลายวงจรในส่วนของการขับเคลื่อนอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) ที่ใช้ในการควบคุมรูปแบบการแสดงผลของอักษรเบรลล์บนคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์นั้นก็เกิดปัญหาไม่สามารถทำให้แสดงผลได้อย่างที่ออกแบบไว้ จึงส่งผลให้ส่วนของการแสดงผลของคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์นั้นยังไม่สามารถทำได้ ในส่วนนี้ทางคณะวิจัยฯ ได้แก้ไขปัญหาเบื้องต้นโดยการนำอุปกรณ์ตัวแปลงไอซี (IC Adapter) มาต่อใช้งานภายนอกกล่องคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์เพื่อให้สามารถแสดงผลรูปแบบข้อมูลที่ส่งมาจากคอมพิวเตอร์ได้อย่างชั่วคราว ซึ่งทางฝ่ายไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของคณะวิจัยฯ กำลังเร่งมือแก้ไขและปรับปรุงปัญหาที่เกิดขึ้นในส่วนนี้อย่างเร่งด่วนที่สุด



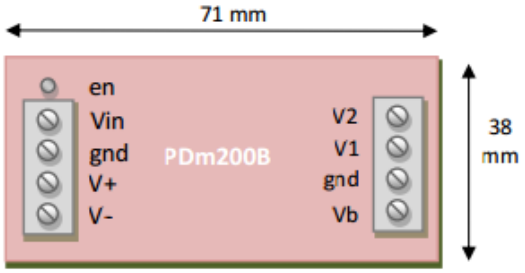
รูปที่ 3-6 ตัวแปลงไอซี (IC Adapter) และแผ่นลายวงจรสำหรับขับเคลื่อนอุปกรณ์ภาคแสดงผล

3.4.1 โมดูลขยายแรงดันสำหรับขับอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริก

ในโครงการนี้เราใช้โมดูลสำเร็จรูปของบริษัท Piezo Drive รุ่น PDm200B: Miniature High Voltage Amplifier ดังแสดงในรูปที่ 3-7 และแสดงการต่อวงจรในรูปที่ 3-8 โมดูลขยายแรงดันนี้ทำหน้าที่แปลงแรงดันขาออกจากโมดูลแปลงไฟขึ้น (MT3608) จาก 21 V ให้กลายเป็น 150V สำหรับนำไปขับอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริก มีข้อมูลทางเทคนิคดังต่อไปนี้

แรงดันขาเข้า:	±12 ถึง +34V
แรงดันขาออก (Unipolar):	-30 ถึง 200V
แรงดันขาออก (Bipolar):	±200V
กระแสสูงสุดขาออก:	300mA

รูปที่ 3-7 โมดูลขยายแรงดันสำหรับขับอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริก



Inputs	
en	Enable
Vin	Input Signal
gnd	Ground
V+	Positive Supply
V-	Negative Supply

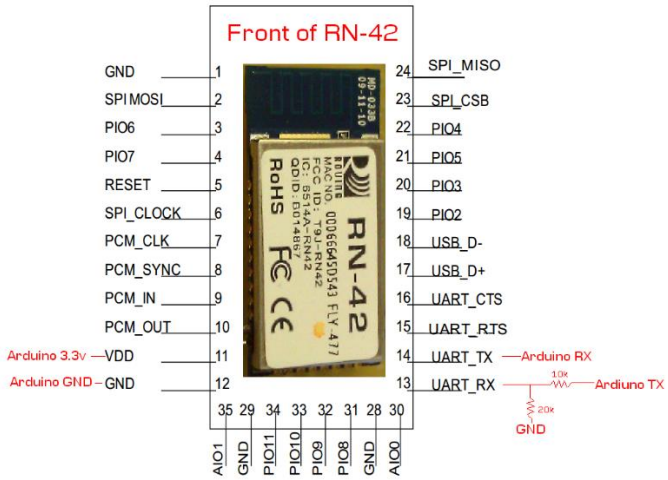
Outputs	
V2	Low Noise Output
V1	High Speed Output
gnd	Ground
Vb	Bias Voltage

รูปที่ 3-8 ไดอะแกรมการเชื่อมต่อโมดูลขยายแรงดันสำหรับขับอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริก

3.4.2 โมดูลบลูทูธ 4.0

ในโครงการนี้เราใช้การสื่อสารแบบไร้สายแบบ Bluetooth ในการเชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟน โดยเราใช้โมดูล RN-42: Wireless Bluetooth 4.0 Module ดังแสดงในรูปที่ 3-9 และแสดงการเชื่อมต่อวงจรกับโมดูลบลูทูธเวอร์ชั่น 4.0 ได้ในรูปที่ 3-10

รูปที่ 3-9 โมดูลบลูทูธ 4.0



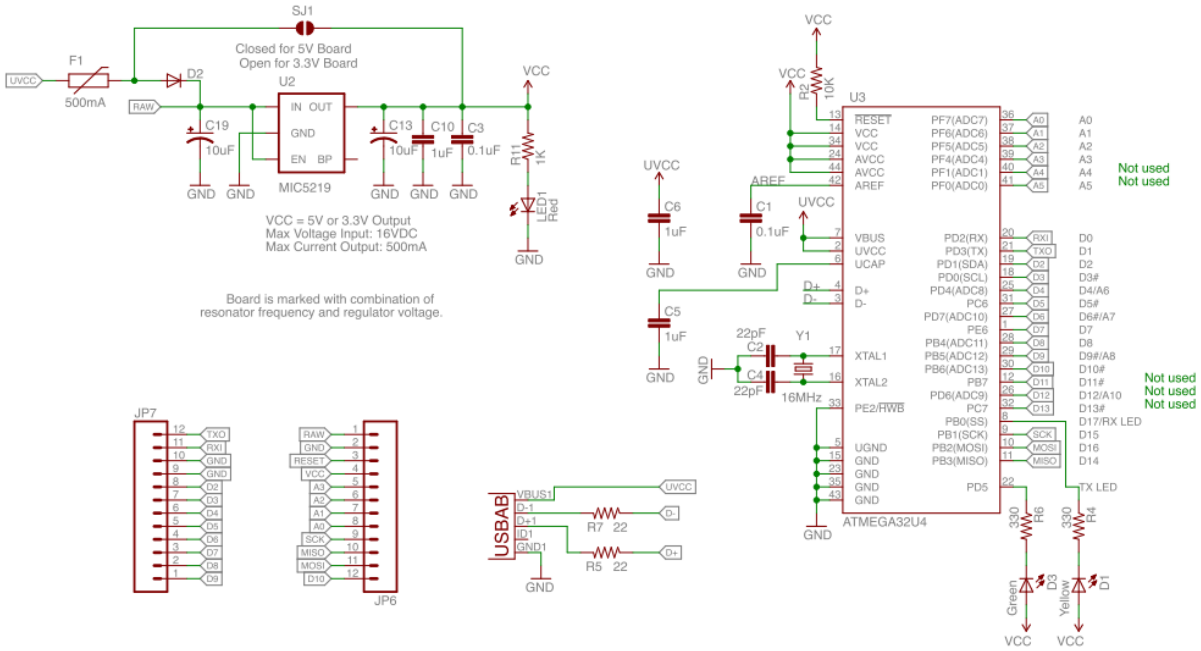
รูปที่ 3-10 การ Wiring โมดูลบลูทูธ 4.0 กับไมโครคอนโทรลเลอร์

บลูทูธในคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ทำหน้าที่สื่อสารระบบ HID ไปยังอุปกรณ์ที่รองรับระบบบลูทูธ 4.0 เช่น คอมพิวเตอร์และสมาร์ทโฟน หลักการทำงานและโปรโตคอลจะเหมือนกันกับโมดูลโปรไมโคร โดยมีข้อมูลทางเทคนิคดังต่อไปนี้

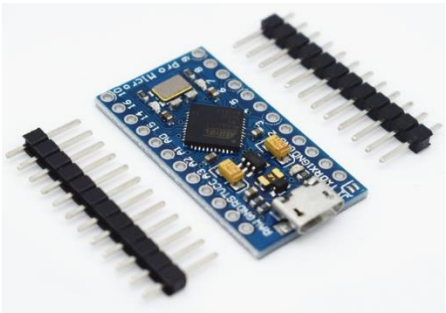
แรงดันขาเข้า:	3.0 – 3.6V
กระแสขณะทำการรับส่ง:	40 – 50mA
ช่องทางการติดต่อสื่อสาร:	UART, 38400 Baud Rate

3.4.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับติดต่อสื่อสารโปรโตคอลเอชไอดี

เป็นอุปกรณ์เพิ่มเติมในการเชื่อมต่อเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์กับเครื่องคอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟน หรือ แท็บเล็ต โดยไม่จำเป็นต้องมีการติดตั้งซอฟต์แวร์หรือ Driver เพิ่มเติม โดยเราใช้การติดตั้งไมโครคอมโทรลเลอร์อีกตัวที่มีหน้าที่เฉพาะสำหรับการเชื่อมต่อ โดยเราใช้ MCU คือ ATmega32U4: Pro Micro หรือเรียกว่าโปรไมโคร รูปที่ 3-11 แสดงแผนภาพของวงจรโปรไมโครสำหรับการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทาง USB หรือกับสมาร์ทโฟน หรือ แท็บเล็ต ผ่านทางบลูทูธ รูปที่ 3-12 แสดงโปรไมโครที่ประกอบลงบอร์ดพร้อมใช้งาน



รูปที่ 3-11 แผนภาพวงจรของโปรไมโคร



รูปที่ 3-12 ไมโครคอนโทรลเลอร์โปรไมโครที่ประกอบลงบอร์ด

โปรไมโครใช้ไอซี ATmega32U4 ที่มี USB Interface อยู่ในตัว ดังนั้นจึงสามารถนำโปรไมโครมาใช้ติดต่อสื่อสารโปรโตคอล HID กับคอมพิวเตอร์ผ่านทาง USB ได้โดยไม่ต้องติดตั้งไดรเวอร์เพิ่มเติม ตัวโปรไมโครจะถูกติดตั้ง Firmware สำหรับติดต่อ HID ไว้แล้ว ทำให้สามารถใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์หลักติดต่อกับโปรไมโครผ่านทาง TTL Serial Communication ได้

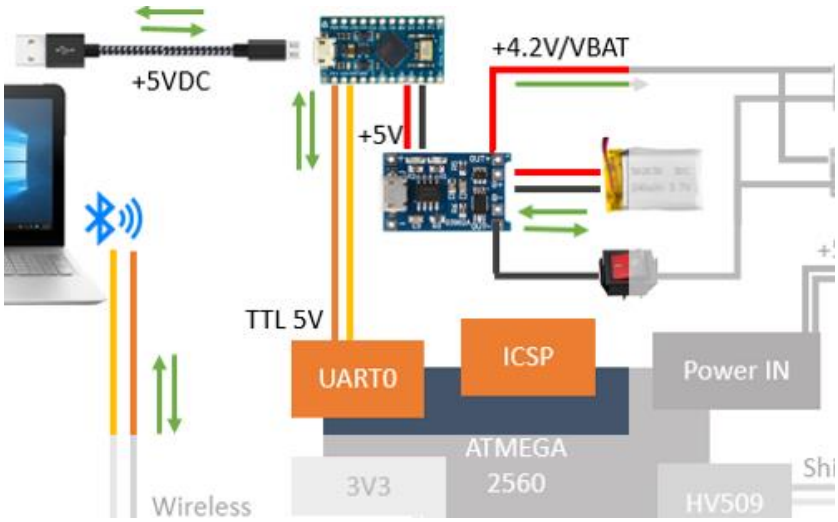
ระดับแรงดัน:	TTL, 5V
แรงดันขาเข้า:	5V ที่ขา VCC, 7 - 12V ที่ขา RAW
ไมโครคอนโทรลเลอร์:	ATmega32U4
ความถี่สัญญาณนาฬิกา:	16MHz
ช่องทางการติดต่อสื่อสาร:	UART, 38400 Baud Rate

รูปแบบโปรโตคอลการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์หลักและโปรไมโคร เป็นการสื่อสารด้วยโปรโตคอล HID ไปยังคอมพิวเตอร์ เมื่อโปรไมโครได้รับข้อมูลขาเข้าตรงตามโปรโตคอลดังต่อไปนี้

`0xFE`	`0x03`	`0x00`	`0x00`	`0x04`	(1)
`0xFE`	`0x03`	`0x00`	`0x00`	`0x00`	(2)

บรรทัดที่ (1) เป็นการส่งข้อมูล 5 ไบต์ที่หมายถึงการกดคีย์บอร์ด “A” โดยที่ ***0xFE*** และ ***0x03*** เป็นไบต์คงที่ซึ่งเป็นตัวขึ้นต้นและจำนวนไบต์ของข้อมูล (3 Byte) ส่วน **`0x00 0x00 0x04`** คือข้อมูลการกดปุ่มคีย์บอร์ดขึ้นอยู่กับชนิดของปุ่ม ได้แก่ Braille Key, Command Key, Space Key, Thumb Key เป็นต้น

รูปที่ 3-13 แสดงการต่อวงจรโปรไมโครกับ USB Interface และเชื่อมต่อกับบอร์ดหลักผ่านทาง UART0 และเชื่อมต่อ +5V กับวงจรชาร์จแบตเตอร์รี่เพื่อนำไปชาร์จแบตเตอร์รี่และใช้สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับวงจรอื่นๆ

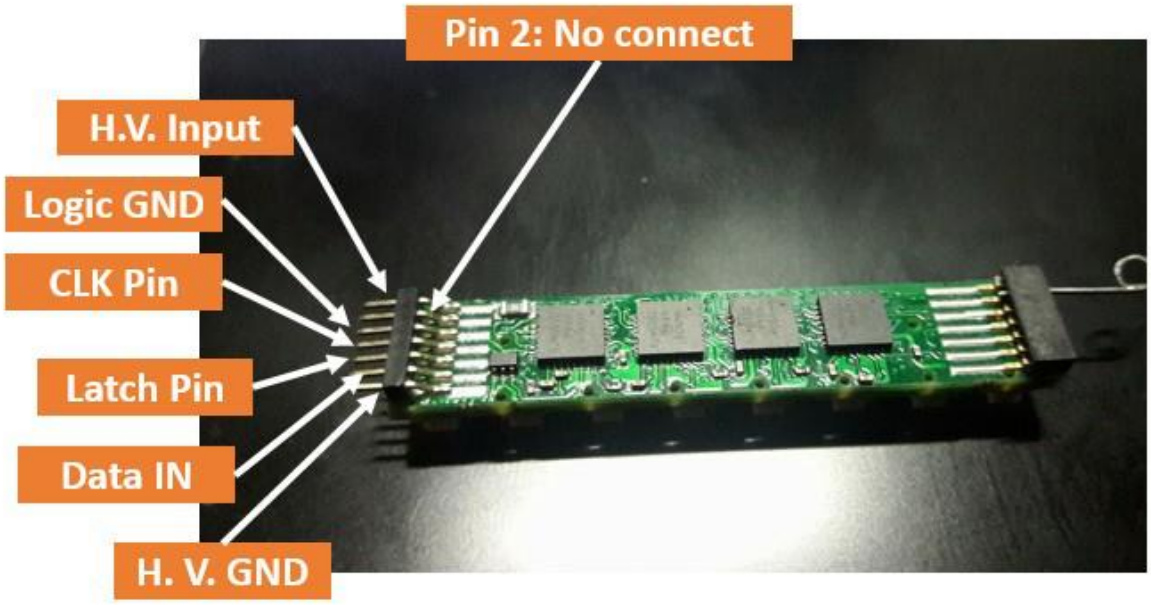


รูปที่ 3-13 แผนภาพการต่อโปรไมโครกับอุปกรณ์อื่น ๆ

3.4.4 โมดูลแปลงสัญญาณ Serial เป็น Parallel

ในโครงการนี้เราใช้โมดูลแปลงสัญญาณ Serial-to-Parallel ที่ใช้ไอซีเบอร์ HV509: 200V, 16-Channel Serial to Parallel Converter ที่สามารถส่งสัญญาณแรงดันสูงสำหรับจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับแผ่นเปียโซด้วย

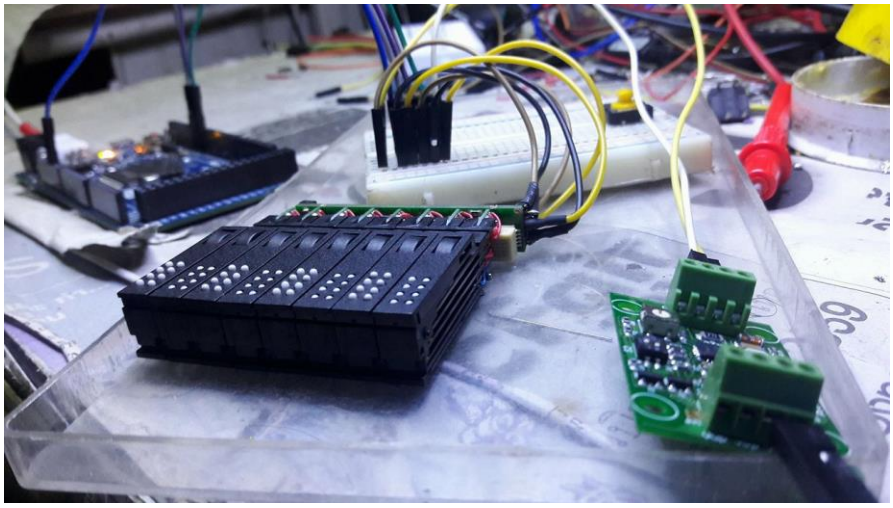
หน้าที่ของโมดูลในคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ คือทำหน้าที่แปลงข้อมูล Serial ให้เป็น Parallel สำหรับใช้ขับเคลื่อนเพียโซอิเล็กทริก เพื่อใช้แสดงผลบนหน้าจอแสดงผลอักษรเบรลล์ทั้ง 320 ก้าน โดยในแต่ละโมดูลนั้นจะสามารถควบคุมเพียโซอิเล็กทริกได้ทั้งหมด 16 ก้าน สำหรับใช้ในการแสดงผลอักษรเบรลล์ 2 เซลล์



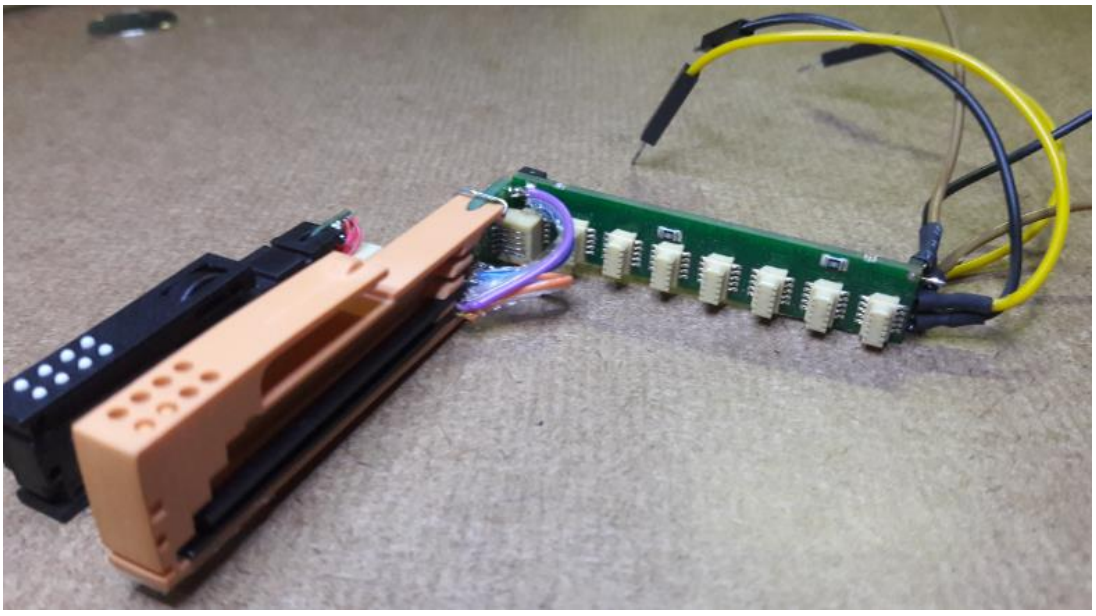
รูปที่ 3-14 โมดูลแปลงสัญญาณ Serial เป็น Parallel และตำแหน่งขา

ในคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์นี้จะใช้โมดูลแปลงสัญญาณนี้ทั้งหมด 5 โมดูล ซึ่งเรียงต่อกันในลักษณะของการ Cascade ข้อมูล เพื่อทำการส่งต่อข้อมูลไปยังโมดูลถัด ๆ ไป ซึ่ง HV509 นั้นจะมีขา Data IN ที่ใช้รับข้อมูลจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และขา Data OUT ที่ใช้สำหรับการส่งต่อข้อมูลไปยัง HV509 ตัวถัด ๆ ไป (Cascade) ดังนั้นการสั่งงานจะใช้ขาในการสั่งงานเพียง 3 ขา (Data, CLK, Latch) และให้ HV509 ตัวแรก ส่งข้อมูลไปยังตัวถัด ๆ ไป

เมื่อ HV509 ได้รับข้อมูลเข้ามา 2 ไบต์ (16 บิต) ข้อมูลนั้นจะถูกนำไปใช้สำหรับการแสดงผลอักษรเบรลล์ตัวแรก และเมื่อได้รับข้อมูลครั้งถัดไป HV509 ตัวแรกจะส่งข้อมูลชุดเดิมไปยังขา Data OUT เพื่อส่งต่อไปยัง Data IN ของ HV509 ตัวต่อ ๆ ไป



รูปที่ 3-15 ภาพการทดสอบโมดูลแสดงผลกับโมดูล HV509



รูปที่ 3-16 ภาพการทดสอบโมดูลแสดงผลทั้งสองแบบกับโมดูล HV509

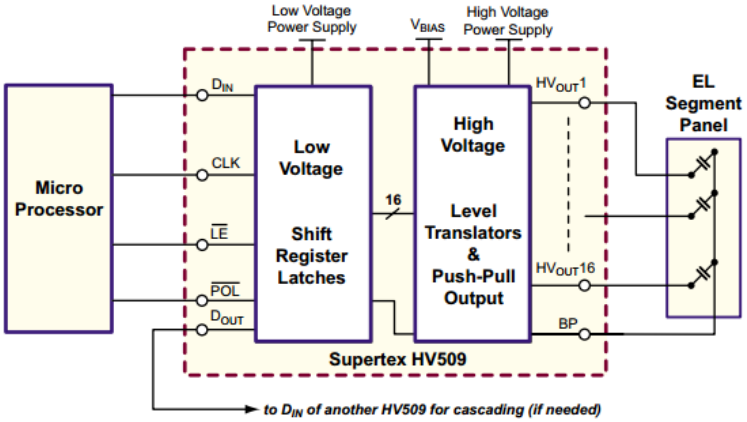
ข้อมูลในตารางที่ 3-1 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของไอซี HV509 ซึ่งรองรับแรงดันแหล่งจ่ายแรงสูงขาออกมากถึง 200 V และมีขาเอาต์พุตมากถึง 16 ขา ดังนั้นไอซี HV509 จึงเหมาะสำหรับการจ่ายแรงดันแรงสูงให้กับเพียโซอิเล็กทริค โดยไอซี 1 ตัวสามารถใช้ควบคุม Braille Cell ได้จำนวน 2 เซลล์

ตารางที่ 3-1 ข้อมูลทางเทคนิคของไอซี HV509

แรงดันขาเข้าสำหรับขาลอจิก:	2V-5.5V
แรงดันแหล่งจ่ายแรงสูง:	50V-200V

แรงดันขาออก:	สูงสุดถึง +200V
ความเร็วในการส่งข้อมูล:	500kHz ที่ V_{DD} = 2V
จำนวนเอาต์พุต:	16

รูปที่ 3-17 แสดงการต่อไอซีกับไมโครโปรเซสเซอร์สำหรับควบคุมการทำงานของ Shift Register เพื่อไปขับแรงดันแรงสูงขาออกที่ไปต่อกับวงจรเพียโซอีกทีหนึ่ง ซึ่งการต่อไอซีสามารถทำได้ง่ายและไม่ยุ่งยาก

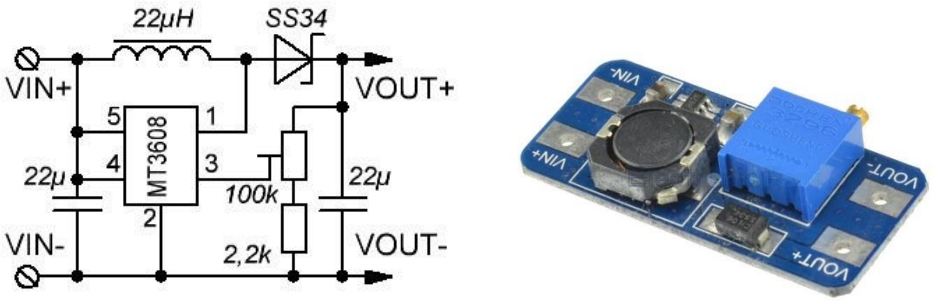


รูปที่ 3-17 ไดอะแกรมของโมดูล HV509 และตัวอย่างการต่อใช้งาน

3.4.5 โมดูลแปลงไฟขึ้น DC 21V

โมดูลแปลงไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น หรือ DC-DC Step Up Booster เป็นวงจรที่แปลงแรงดันจากแบตตารี่ 3.7 V หรือจากแหล่งจ่ายไฟ USB 5 V เพื่อให้มีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาออกเพียงพอสำหรับวงจรขยายแรงดันสำหรับอุปกรณ์เพียโซที่ต้องการแรงดันถึง 36 V ซึ่งเราได้ใช้วงจร DC-DC Booster 2 แบบดังนี้

แบบใช้ไอซี MT3608 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต่อเพิ่มเพียงเล็กน้อยดังแสดงในรูปที่ 3-18 จึงทำให้โมดูลมีขนาดเล็กกะทัดรัดและไม่ต้องใช้ Heatsink เพื่อการระบายความร้อน



รูปที่ 3-18 แผนภาพวงจรของโมดูลแปลงไฟขึ้น และโมดูลที่ประกอบเสร็จแล้ว

หน้าที่ของโมดูลในคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์นี้จะทำหน้าที่แปลงแรงดันขาออกจากโมดูลชาร์จแบตเตอรี่ (TP4056) จาก V_{BAT} ให้กลายเป็น 5V สำหรับจ่ายให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ และใช้โมดูลอีกตัวต่อขนานเพื่อแปลงไฟ V_{BAT} ให้กลายเป็น 21V สำหรับใช้เป็นแหล่งจ่ายให้กับโมดูลขับอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริก (PDm200B) ต่อไป ตารางที่ 3-2 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของไอซี MT3609 ที่สามารถปรับค่าแรงดันขาออกได้สูงถึง 28 V แม้ว่าแรงดันขาเข้าจะแค่เพียง 3.7 V ก็สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงถึง 2 A

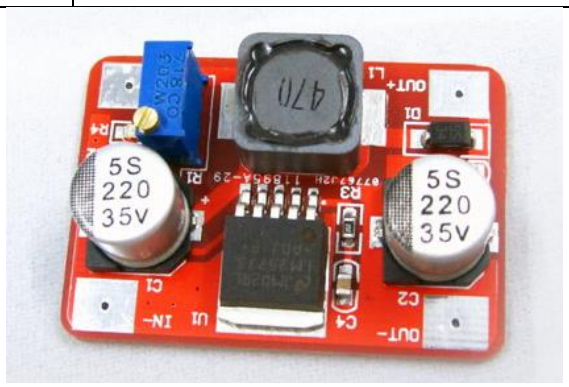
ตารางที่ 3-2 ข้อมูลทางเทคนิคของไอซี MT3608

แรงดันขาเข้า:	2 V – 24 V
แรงดันขาออก:	สูงสุดได้ถึง 28V, ปรับค่าได้ด้วยการหมุนปรับค่าตัวต้านทาน
กระแสที่จ่ายได้สูงสุด:	2 A
ประสิทธิภาพสูงสุด:	93%
ไฟแสดงสถานะ:	ไม่มี

โมดูลแปลงไฟขึ้นตัวที่สองที่ใช้คือ LM2577: 3A DC-DC Adjustable Step Up Booster ดังแสดงในรูปที่ 3-19 ที่ทำหน้าที่เหมือน MT3608 แต่สามารถจ่ายแรงดันขาออกได้สูงสุดถึง 60 V หน้าที่ของโมดูลในคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์นี้คือจะทำหน้าที่แปลงแรงดันขาออกจากโมดูลชาร์จแบตเตอรี่ (TP4056) จาก VBAT ให้กลายเป็น 24V สำหรับใช้เป็นแหล่งจ่ายให้กับโมดูลขับอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริก (PDm200B) ต่อไป ตารางที่ 3-3 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของไอซี LM2577 ที่สามารถรับแรงดันขาเข้าที่ต่ำได้ 3.5 V และกระแสสูงสุด 3A จึงเหมาะสำหรับใช้ต่อคู่กับแบตตารี่เพื่อจ่ายแรงดันให้เพียโซอิเล็กทริค

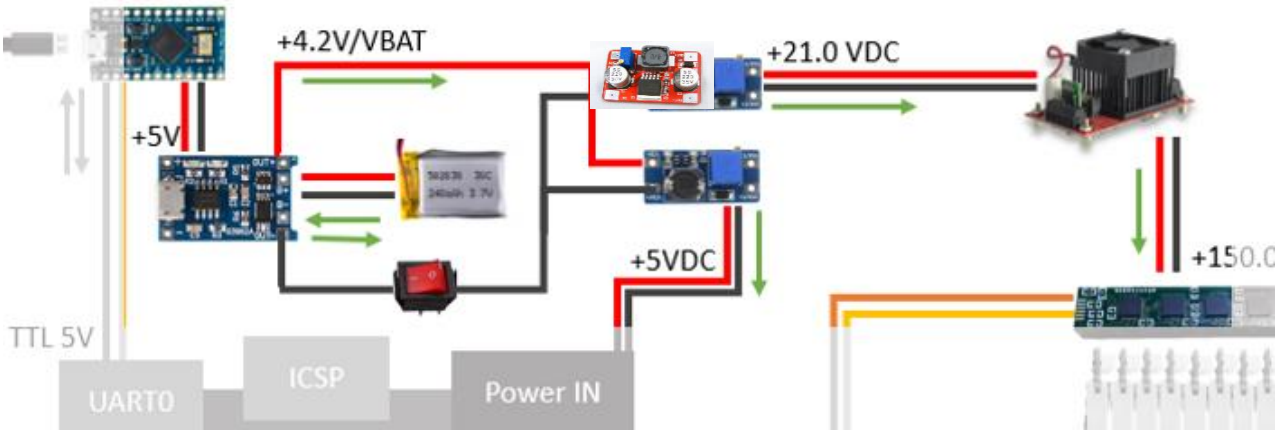
ตารางที่ 3-3 ข้อมูลทางเทคนิคของไอซี LM2577

แรงดันขาเข้า:	3.5V-40V
แรงดันขาออก:	สูงสุดได้ถึง 60V, ปรับค่าได้ด้วยการหมุนปรับค่าตัวต้านทาน
กระแสที่จ่ายได้สูงสุด:	3A
ประสิทธิภาพ:	80% ที่ V_{in} = 5V, Load = 800mA
ไฟแสดงสถานะ:	ไม่มี



รูปที่ 3-19 โมดูลแปลงไฟขึ้น LM2577

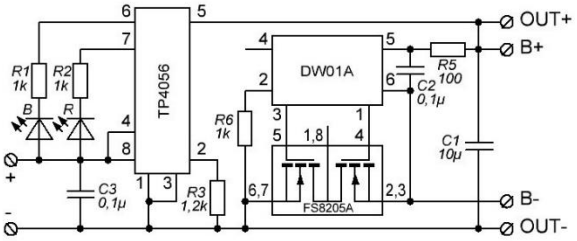
รูปที่ 3-20 แสดงการเชื่อมต่อโมดูลแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่ระดับแรงดันต่างๆ ให้เหมาะสมกับการใช้งานกับวงจรต่างๆ ในอุปกรณ์เครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์



รูปที่ 3-20 แผนภาพการต่อโมดูลแปลงไฟขึ้นกับอุปกรณ์อื่น ๆ

3.4.6 โมดูลชาร์จแบตเตอรี่

หน้าที่ของโมดูลในคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ คือทำหน้าที่นำไฟฟ้ามาชาร์จแบตเตอรี่ของคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ พร้อมกับเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับโมดูลแปลงไฟ (MT3608) ทั้งสองบอร์ด สำหรับในขณะที่ไม่ได้เสียบสาย USB หรือไม่ได้ทำการจ่ายแรงดันขาเข้าให้กับโมดูล แรงดันจากแบตเตอรี่จะถูกนำมาใช้งานแทน ตารางที่ 3-4 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของไอซี TP4056 ซึ่งเป็นไอซีสำเร็จรูป สามารถแสดงสถานการณ์ทำงานในโหมดต่างๆ ได้ ซึ่งอธิบายไว้ในตารางที่ 3-5 ที่แสดงสถานะการทำงานด้วยหลอดไฟ LED สีฟ้าและสีแดง



รูปที่ 3-21

TP4056

ตารางที่ 3-4 TP4056

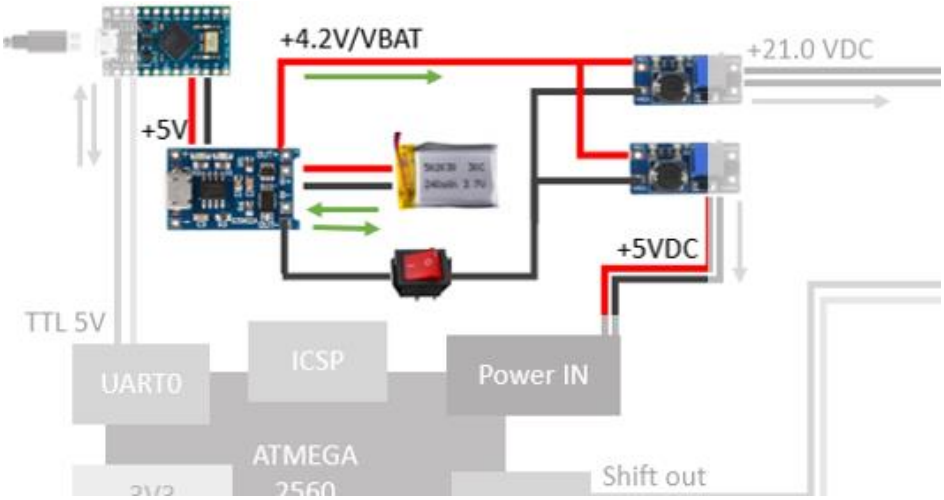
	4 5V 5 5V
	1000 mA,
	4 2V ± 1 5
	,

ตารางที่ 3-5

การปรับค่ากระแสชาร์จ จากรูปที่ 3-21 การเปลี่ยนค่าตัวต้านทานที่ขา 2 (R3) จะทำให้กระแสที่ใช้ในการชาร์จนั้นเปลี่ยนแปลงไปด้วย จุดประสงค์ของการเปลี่ยนแปลงกระแสชาร์จก็เพื่อป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่ได้รับกระแสที่มากเกินไป ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความร้อนขึ้น ค่าความต้านทานสามารถคำนวณได้จากสมการด้านล่าง

$$I_{BAT} = \frac{V_{PROG}}{R_{PROG}} \times 1200, \qquad V_{PROG} = 1V$$

ในคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์นั้นใช้แบตเตอรี่ขนาดความจุ 1200 mAh จึงไม่จำเป็นต้องทำการเปลี่ยนค่าตัวต้านทานบนตัวโมดูลแต่อย่างใด รูปที่ 3-22 แสดงแผนภาพการต่อโมดูลชาร์จแบตเตอรี่กับอุปกรณ์อื่น



รูปที่ 3-22 แผนภาพการต่อโมดูลชาร์จแบตเตอรี่กับอุปกรณ์อื่น ๆ

โมดูลชาร์จแบตเตอรี่ต่อกับแบตเตอรี่แบบลิเทียมพอลิเมอร์ที่มีความจุ 1,200 mAh และจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 3.7 V

3.5 ส่วนงานทางด้านระบบแมคคานิกส์และการออกแบบ

ในส่วนของการออกแบบและพัฒนาต้นแบบคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์นั้นมีการนำเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ (3D Printing) มาใช้ในการออกแบบโครงสร้างทั้งภายนอกและภายในของคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ ในปัจจุบันทางฝ่ายออกแบบของคณะวิจัยฯ ได้ทำการผลิตต้นแบบโครงสร้างของคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ออกมาเรียบร้อยแล้ว ซึ่งประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ชุดฐานของตัวเครื่อง ชุดฝาครอบคีย์บอร์ด ปุ่มแสดงผลอักษรเบรลล์ และโครงสร้างของโมดูลแสดงผลของหน้าจอแสดงผลบนคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์

รูปที่ 3-23 ปุ่มกดและโมดูลแสดงผลที่ได้จากการพิมพ์สามมิติ

รูปที่ 3-24 ชุดฝาครอบคีย์บอร์ดที่ได้จากการพิมพ์สามมิติ

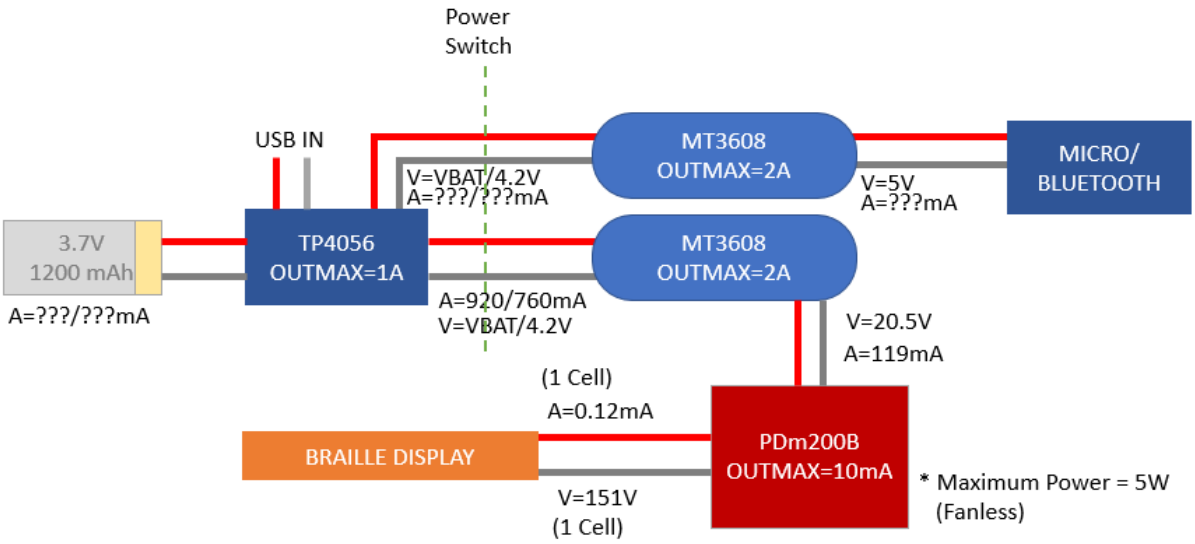
ปัญหาที่กำลังดำเนินการแก้ไขและแนวทางในการพัฒนาของส่วนแมคคานิกส์และการออกแบบนั้นจะอยู่ในส่วนของวัสดุและโครงสร้างในการรับแรงเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากโครงที่ทำการพิมพ์ออกมานั้นเกิดได้การบิดงอตัวและไม่คงสภาพเป็นวัสดุแข็งได้อย่างเต็มที่ รวมไปถึงโครงสร้างการรับแรงนั้นยังไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร นอกจากนั้นยังมีปัญหาด้านขนาดและมิติของชิ้นงานที่คลาดเคลื่อนไปจากการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งปัญหาที่กล่าวมานี้ได้ถูกแก้ไขโดยให้มีการกำหนดไฟล์ CAD สำหรับกล่องและแผ่นวงจรพิมพ์ร่วมกันเพื่อป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

4. ผลการทดสอบของอุปกรณ์

จากการศึกษาดำเนินงานในส่วนต่างๆ ของอุปกรณ์เพื่อพัฒนาต้นแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ เพื่อนำมาประกอบเป็นเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์แล้ว ในตอนนี้กล่าวถึงการทดสอบการทำงานและประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในด้านต่างๆ ดังอธิบายต่อไปนี้

4.1 การทดสอบทางไฟฟ้าของอุปกรณ์จ่ายพลังงาน

เครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ที่ออกแบบนี้ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่เป็นหลักเนื่องจากต้องเป็นอุปกรณ์พกพาที่สามารถนำไปใช้เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ตและสมาร์ตโฟนได้ ดังนั้นการใช้พลังงานของอุปกรณ์จึงมีความสำคัญต่อการพัฒนาอุปกรณ์ อีกทั้งในอุปกรณ์มีการใช้แรงดันไฟฟ้าที่ต่างระดับกัน และใช้พลังงานจากแบตเตอรี่และใช้ชุดประจุพลังงานไฟฟ้าหรือ ชาร์จเจอร์ร่วมทำงานด้วย การทดสอบทางไฟฟ้าของอุปกรณ์จ่ายพลังงานไฟฟ้าเป็นการทดสอบการทำงานและประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไฟฟ้า รูปที่ 4-1 แสดงแผนภาพการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าและระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานในอุปกรณ์เครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์



รูปที่ 4-1 แผนภาพการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าและระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานสำหรับแต่ละวงจร

จากแผนภาพแหล่งจ่ายไฟภายนอกคือ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 V ที่สามารถเสียบกับพอร์ต USB ของเครื่องคอมพิวเตอร์หรือกับอแดปเตอร์เพื่อจ่ายไฟให้อุปกรณ์ หรือแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขนาดแรงดัน 3.7 V ที่ความจุ 1200 mAh แหล่งจ่ายไฟฟ้าทั้งสองจะผ่านโมดูล TP4056 ซึ่งเป็นชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่เมื่อเสียบกับพอร์ต USB และจ่ายแรงดันไฟฟ้าขนาด 4.2 V ให้กับชุดปรับแรงดัน ในกรณีที่ไม่ได้เสียบพอร์ต USB โมดูล TP4056 จะรับพลังงานจากแบตเตอรี่เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้า 4.2 V ให้กับชุดปรับแรงดันเช่นกัน ชุดปรับแรงดันเป็นชุดปรับแรงดันเพิ่มขึ้น หรือ DC-DC Booster ที่ระดับ 5 V เพื่อจ่ายพลังงานให้กับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์และบลูทูธ และอีกชุดหนึ่งปรับระดับแรงดันไฟฟ้าที่ 20.5 V เพื่อจ่ายให้กับโมดูลปรับระดับแรงดันอีกขั้นสำหรับจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้แผ่นเปียโซ ชุดปรับระดับแรงดัน PDm200B ทำการปรับระดับแรงดันจาก 20.5 V เป็นระดับ 200 V ที่สำหรับใช้ขับแผ่นเปียโซให้ทำงาน

ผลการทดสอบการทำงานทางไฟฟ้าพบว่าวงจรสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้ตามต้องการและสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้เพียงพอกับความต้องการ

4.1.1 การทดสอบกำลังไฟฟ้าเพื่อขับแผ่นเปียโซ

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อปรับค่าแรงดันขาออกของ PDm200B เพื่อทดสอบการขับแผ่นเปียโซที่ใช้แรงดันต่างระดับเพื่อให้เปียโซทำงานได้อย่างเหมาะสม กล่าวคือมีแรงดีดที่เพียงพอและไม่ใช้พลังงานมากเกินไป

แบบที่ 1 ใช้แรงดัน *+150 VDC*

MT3608	3 7	V
MT3608	20 5	V
PDm200B	20 5	V
PDm200B	150 8	V
PDm20 B	119 4	mA
	120 0	uA
กระแสสูงสุดสำหรับ 40 โมดูลแสดงผล: (จากการคำนวณ)	**4.8**	**mA**
กำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อ 40 โมดูลแสดงผล: (จากการคำนวณ)	**0.72**	**W**

แบบที่ 2 ใช้แรงดัน *+200VDC*

MT3608	3 7	V
MT3608 6V	27 1	V
PDm200B	27 1	V
PDm200B	200 4	V
PDm20 B	123 2	mA
	220 0	uA
กระแสสูงสุดสำหรับ 40 โมดูลแสดงผล: (จากการคำนวณ)	**8.8**	**mA**
กำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อ 40 โมดูลแสดงผล: (จากการคำนวณ)	**1.76**	**W**

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าที่ระดับแรงดัน 150 VDC นั้นชุดปรับระดับแรงดันใช้กระแสไฟฟ้า 4.8 mA ซึ่งใช้พลังงานไม่มากโดยใช้เพียง 0.72 วัตต์ แต่เมื่อปรับระดับแรงดันที่ 200 VDC ซึ่งเป็นระดับแรงดันสูงสุดพบว่าชุดปรับแรงดันจ่ายกระแสไฟฟ้าเพียง 8.8 mA และใช้พลังงานเพียง 1.76 วัตต์ ซึ่งสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ระดับแรงดัน 200 VDC ซึ่งทำให้แผ่นเปียโซดีดตัวได้แรงและทนต่อแรงกดได้มากขึ้น

4.1.2 การทดสอบการใช้พลังงานรวม

จากแผนภาพการเชื่อมต่อชุดจ่ายพลังงานไฟฟ้าเราได้ทำการต่อวงจรทั้งหมดเพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้ารวมที่อุปกรณ์แต่ละส่วนใช้งาน ผลการวัดค่าพลังงานได้ดังตารางต่อไปนี้

แรงดันจากแบตเตอรี่:	+3.1/+4.2	V
ความจุแบตเตอรี่:	1200	mAh
แรงดันขาออกของ TP4056:	+3.1/+4.2	V
กระแสที่ MT3608 ดึงจาก TP4056:	920/760	mA
แรงดันขาออกของ MT3608:	+20.16	V
กระแสที่ PDm200B ดึงจาก MT3608:	119.2	mA
แรงดันขาออกของ PDm200B:	+151.0	V
กระแสที่ Braille Display ดึงจาก PDm200B: (ต่อ 1 โมดูล)	0.12	mA

ผลการวัดค่าพลังงานแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์สามารถทำงานด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่จ่ายแรงดันระหว่าง 3.1 – 4.2 V โดยอุปกรณ์กินกระแสไฟฟ้าประมาณ 760 mA หากใช้แบตเตอรี่ที่มีความจุ 1200 mAh นั้นเราสามารถใช้อุปกรณ์ได้ระยะเวลาประมาณ 95 นาทีแบบต่อเนื่อง ซึ่งในกรณีนี้เรายังต้องมีการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่อไปอีกเพื่อให้อุปกรณ์สามารถใช้งานได้ยาวนานมากขึ้น

4.2 การทดสอบเพียโซอิเล็กทริก

แผ่นเปียโซอิเล็กทริคเมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าจะเกิดการบิดงอ และเช่นเดียวกันเมื่อได้รับการบิดงอก็จะจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมาเช่นกัน ดังนั้นการทดสอบนี้จึงเป็นการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพการบิดงอของแผ่นเปียโซเพื่อหาค่าระดับแรงดันที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานสำหรับเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์

ในการทดสอบกระแสสูงสุดนี้ใช้ในโมดูลเพียโซอิเล็กทริกโดยการสั่งงานแบบอัตโนมัติทำการทดลองสั่งงานผ่านการโปรแกรมให้สถานะเป็น 0 สลับกับ 1 ในทุก ๆ 1 วินาที ทั้งหมด 8 บิต โดยใช้งานโมดูล “HV509” สำเร็จรูป นำมาทดลองต่อกับโมดูลเพียโซฯ ที่ประกอบแล้ว (ไม่มีการต่อตัวต้านทานในการทดลอง)

ก) บันทึกผลการทดลองขณะไม่มีโหลด

ครั้งที่	กระแส (μA)
1	1065
2	1080
3	1178
เฉลี่ย	1107.67

ข) บันทึกผลการทดลองขณะออกแรงกด

ครั้งที่	กระแส (μA)

1	1120
2	1106
3	1117
เฉลี่ย	1114.33

สรุปผลกระแสสูงสุดเฉลี่ยต่อหนึ่งโมดูล (8 ก้านเพียโซอิเล็กทริก) ขณะไม่มีโหลด มีกระแสไหล 1,107.67 µA และขณะออกแรงกดมีกระแสไหล 1,114.33 µA ซึ่งมีความแตกต่างเล็กน้อย การกดบนแผ่นเปียโซจะเป็นการสร้างแรงดันไฟฟ้าได้ด้วย แต่ในกรณีนี้มีผลแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ดังนั้นกระแสจากการคำนวณสำหรับ 40 โมดูล (320 ชิ้น) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 44.5732 mA

4.2.1 การทดสอบการงอของแผ่นเปียโซ

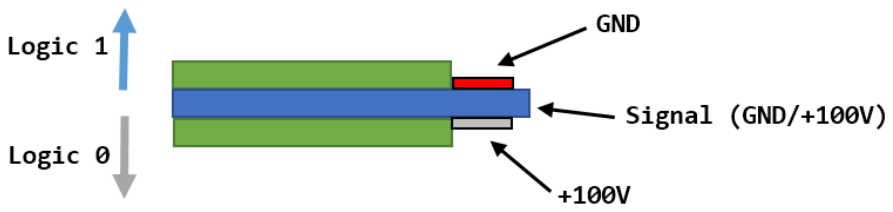
การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาสถานะตำแหน่งของก้านเพียโซอิเล็กทริกที่เหมาะสมสำหรับการดัน Braille Dot เมื่อทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าแสดงผลในตารางต่อไปนี้

ขณะไม่มีการจ่ายไฟ และไม่มีการจ่ายสัญญาณ	ตำแหน่งเริ่มต้น (0)
ขณะทำการจ่ายไฟ +100V เข้าไปที่โมดูล	งอขึ้นเล็กน้อย (+)
ขณะที่โปรแกรมสั่งให้สถานะของทุกบิตเป็น 0	งอลง (ดอทเบรลล์จมปากหลุม) (-)
ขณะที่โปรแกรมสั่งให้สถานะของทุกบิตเป็น 1	งอขึ้นมากกว่า 3.2 mm (+)

ข้อสังเกตที่พบขณะทำการทดลอง คือตำแหน่งเริ่มต้นของก้านเพียโซอิเล็กทริกนั้นไม่ขนานกัน ซึ่งอาจมาจากการผลิตของโรงงานยังไม่แน่นอน จำเป็นต้องมีการคัดคุณภาพของเปียโซก่อนการประกอบ ต่อมาก้านเพียโซอิเล็กทริกทั้ง 8 ก้านมีระยะงอที่ใกล้เคียงกันทั้งหมด และสัญญาณที่สั่งให้เพียโซอิเล็กทริกจากโมดูลสำเร็จรูป “HV509” จ่ายออกมาเป็นกระแสตรง ซึ่งเป็นไปตามหลักการ และแหล่งจ่ายไฟสำหรับ “PDu100b” (5V) และแหล่งจ่ายของอาร์ดูโน (5V) ต้องแยกจากกัน เนื่องจากการแหล่งจ่ายไฟสำหรับ PDu100b ต้องการแรงดันสูงแต่กระแสต่ำ ซึ่งจะทำให้เกิดการดึงกระแสจากการต่อบอร์ด Arduino เข้ากับแหล่งจ่ายไฟเดียวกัน

4.2.2 สรุปความสัมพันธ์ของการจ่ายไฟกับทิศทางในการงอของเพียโซอิเล็กทริก

เมื่อแรงดันไฟฟ้าจากบอร์ด “PDu100B” นั้นถูกใช้เป็นแหล่งจ่ายให้กับอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริก โดยส่งผ่านบอร์ดโมดูล “HV509” เพื่อมาเข้าที่เพียโซอิเล็กทริกดังรูปที่ 4-2 นอกจากนั้นบอร์ด “HV509” ยังส่งสัญญาณเพื่อขับเพียโซอิเล็กทริกให้งอขึ้นและลง โดยขึ้นอยู่กับชนิดของสัญญาณที่สั่งงานโดยบอร์ดอาร์ดูโน ซึ่งสามารถสรุปเป็นตารางความสัมพันธ์ได้ดังแสดงในตารางที่ 4-1 จากตารางแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าพร้อมกับลอจิกการสั่งการของไมโครคอนโทรลเลอร์ แผ่นเปียโซสามารถงอได้ตามทิศทางที่ต้องการ



รูปที่ 4-2 การจ่ายไฟและการสั่งลอจิกให้กับเพียโซอิเล็กทริก

ตารางที่ 4-1 ความสัมพันธ์ของการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากับการงอของแผ่นเปียโซ

ลำดับเหตุการณ์	แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วสีแดง	แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วสีขาว	แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วสัญญาณ	ตำแหน่ง	ระยะงอ (%)
(ไม่มีการจ่ายไฟ)	-	-	-	กลาง	0
จ่ายไฟเข้าโมดูล “HV509”	GND	+100V	-	งอไปทางขั้วสีแดง	70
อาร์ดูโนสั่งสัญญาณเป็น 1	GND	+100V	+100V	งอไปทางขั้วสีแดง	100
อาร์ดูโนสั่งสัญญาณเป็น 0	GND	+100V	GND	งอไปทางขั้วสีขาว	100

*** วีดีโอแสดงการงอของเพียโซอิเล็กทริก:** https drive google com open?id 0BzLtaOW XPnWY0ZOMUlnLTU3MGM

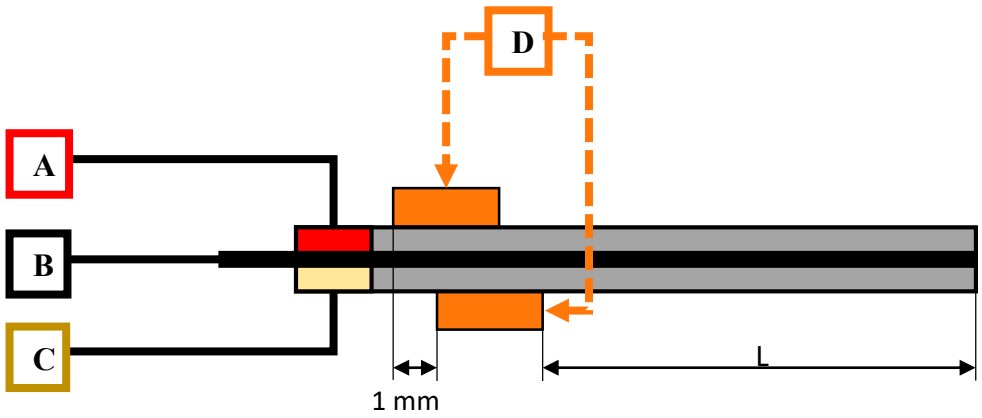
4.3 การประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์

ในส่วนนี้ของรายงานเป็นการแสดงผลการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ที่ได้ออกแบบไว้สำหรับการจ้างประกอบเพื่อให้สามารถผลิตอุปกรณ์เชิงอุตสาหกรรมได้

4.3.1 การประกอบ Braille Cell

รายละเอียดดังต่อไปนี้เป็นการแสดงวิธีการประกอบ Braille Cell ที่ประกอบด้วยการบัดกรีแผ่นเปียโซให้ถูกขั้นและบัดกรีสายไฟเข้ากับแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับ Braille Cell ที่ใช้เชื่อมต่อกับชุดควบคุมการทำงาน หรือชุด HV509

4.3.2 การบัดกรีแผ่นเปียโซ และการเก็บปลายสายไฟ



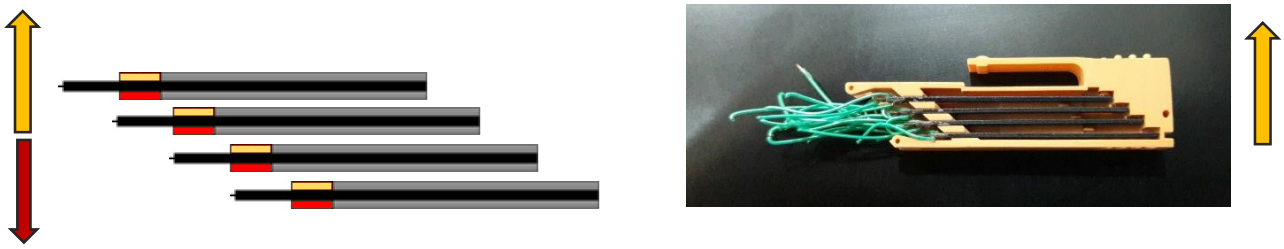
A, B, C คือขั้วที่ใช้บัดกรีสายไฟของก้านเพียโซ
D คือจุดที่ยึดก้านเพียโซไว้กับตัวโมดูลสีส้ม
ระยะ L สูงสุดที่เป็นไปได้คือ 28 มม.

รูปที่ 4-3 ตัวอย่างการพันสายไฟฟ้าเพื่อเก็บให้เรียบร้อย

4.3.3 การทดสอบผลการประกอบชิ้นงาน

- ☐ ด้านสีเหลือง (A) คือสาย Ground (หันด้านนี้ขึ้นด้านบน)
- ☐ ด้านสีแดง (C) คือสายไฟ 100V
- ☐ ด้านแกนกลาง (B) คือสัญญาณ (GND / 100V)

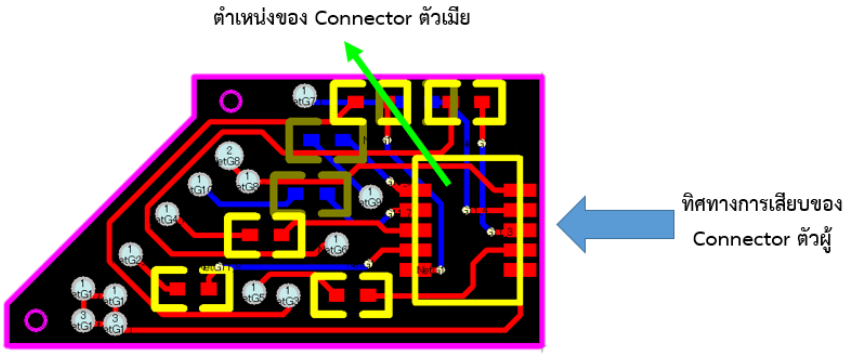
A	B	C	ทิศการงอ	สัญญาณ
GND	GND	+100 V	↓	0
GND	+100 V	+100 V	↑	1
NC	NC	NC	Nautral	-



รูปที่ 4-4 ตัวอย่างการเรียงและการหันทิศทาง

4.3.4 การประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นวงจรพิมพ์

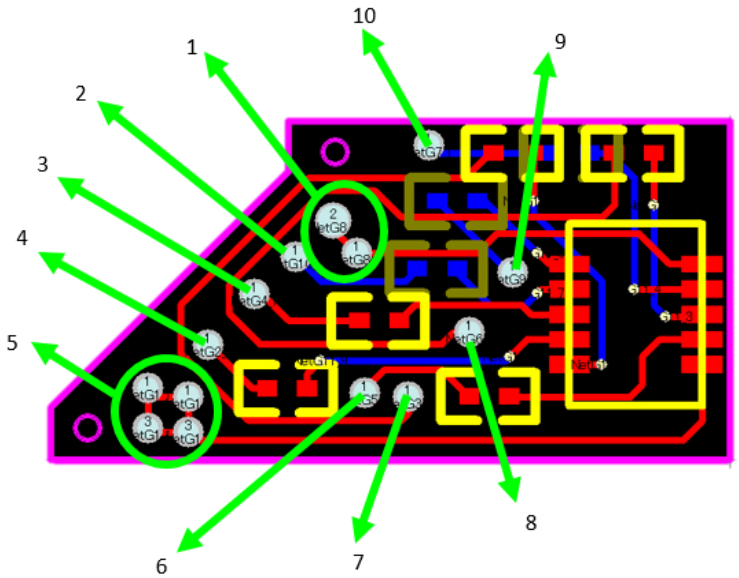
- ☐ บัดกรีตัวต้านทานเข้าไปในวงจร (**8 จุด**) มีค่า **470kOhm ทั้งหมด** (**Footprint: 0402**)
- ☐ บัดกรีคอนเนคเตอร์ตัวเมียลงไปบนบอร์ด



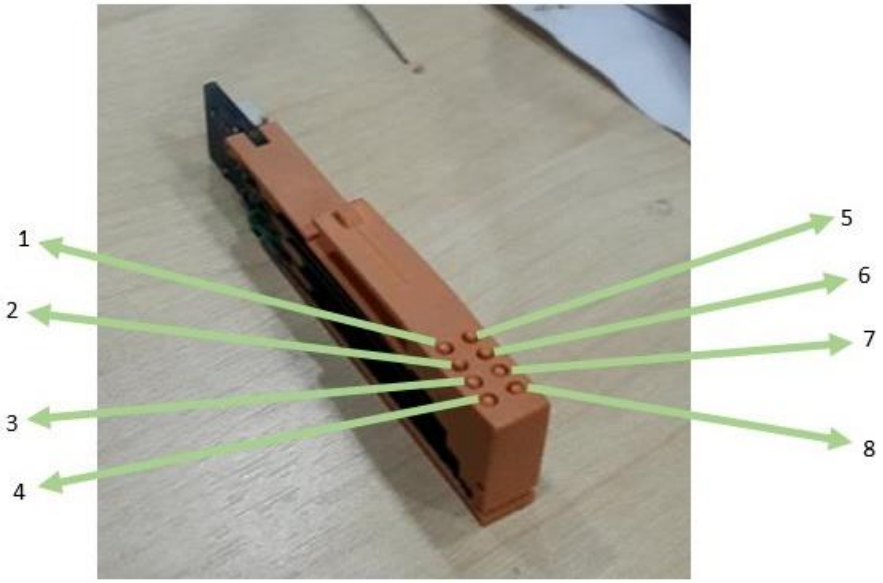
รูปที่ 4-5 ตำแหน่งการบัดกรี Connector

การต่อขาของก้านเพียโซกับแผ่นวงจรพิมพ์

- ☐ ขา 1 ต่อกับขาสีแดงของเพียโซทั้ง 8 ก้าน (ทั้งหมดใน 2 รู, ขาไฟ)
- ☐ ขา 2 ต่อไปยังขากลางของเพียโซหมายเลข 5
- ☐ ขา 3 ต่อไปยังขากลางของเพียโซหมายเลข 6
- ☐ ขา 4 ต่อไปยังขากลางของเพียโซหมายเลข 7
- ☐ ขา 5 ต่อกับขาสีเหลืองของเพียโซทั้ง 8 ก้าน (ทั้งหมดใน 4 รู, ขากราว)
- ☐ ขา 6 ต่อไปยังขากลางของเพียโซหมายเลข 8
- ☐ ขา 7 ต่อไปยังขากลางของเพียโซหมายเลข 4
- ☐ ขา 8 ต่อไปยังขากลางของเพียโซหมายเลข 3
- ☐ ขา 9 ต่อไปยังขากลางของเพียโซหมายเลข 2
- ☐ ขา 10 ต่อไปยังขากลางของเพียโซหมายเลข 1



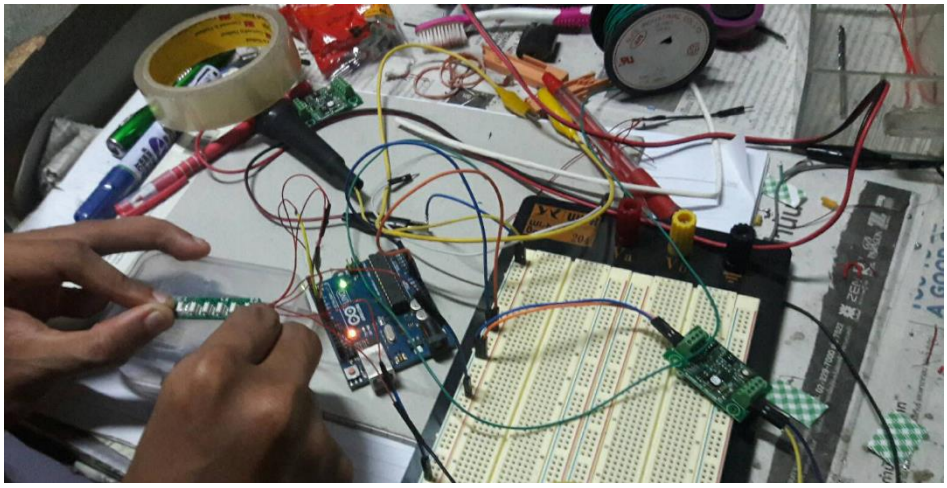
รูปที่ 4-6 วิธีการวายสาย PCB-to-Piezo Wiring



รูปที่ 4-7 ตำแหน่งการวางของก้านเพียโซกับปุ่มเบรลล์

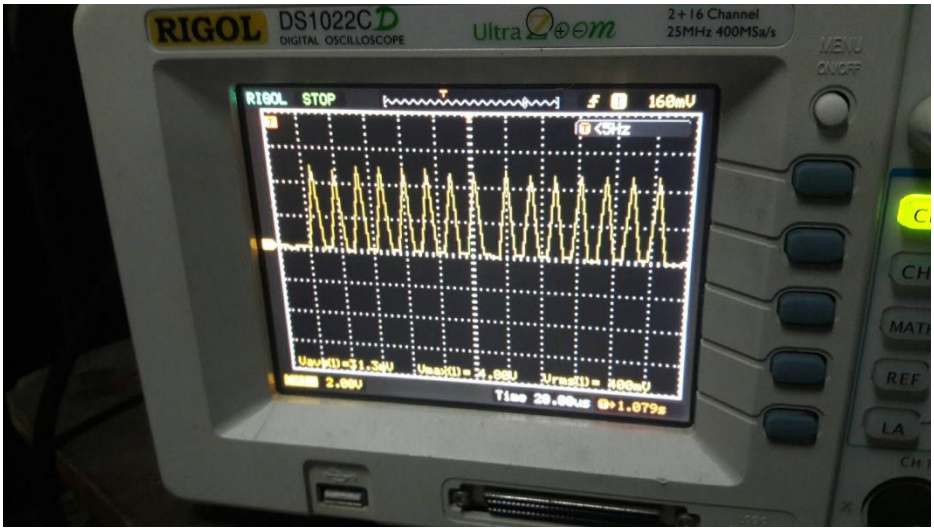
4.3.5 การประกอบแผงวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูง

บอร์ด HV509 จากการประกอบของโรงงานสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต 0, 100V ตามการควบคุมด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Dev. Board + PDu100B และมีการทดสอบร่วมกับโมดูล Braille Cell ซึ่งแผ่นวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงสามารถส่งลอจิกการทำงานและจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับแผ่นเปียโซได้อย่างถูกต้อง

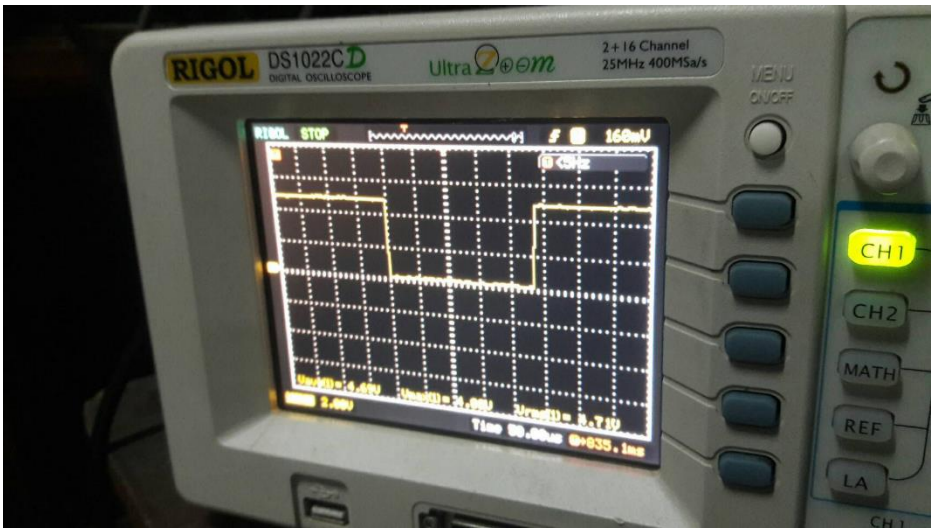


รูปที่ 4-8 การทดสอบแผ่นวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูง (HV509)

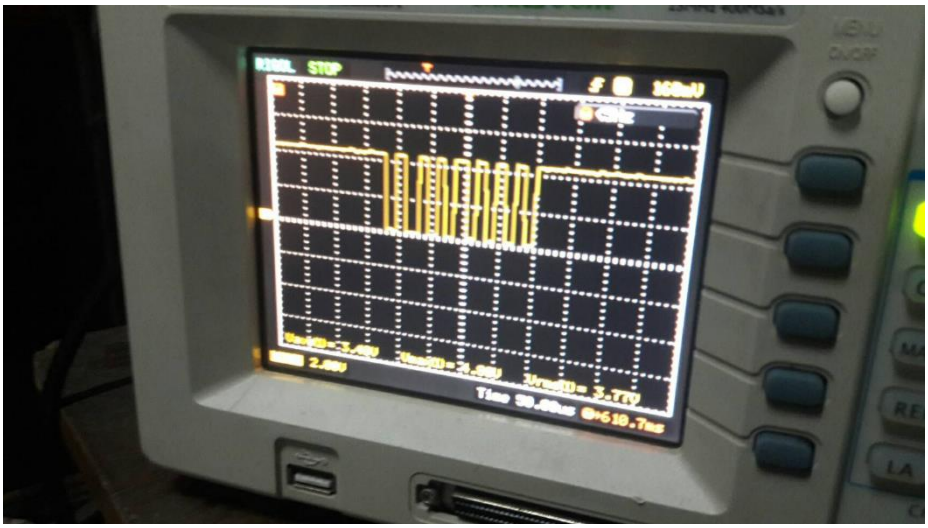
การสั่งงาน HV509 จะต้องใช้สายสัญญาณทั้งหมด 3 เส้นสำหรับควบคุมการเปิด-ปิดของสวิตช์เอาต์พุต ได้แก่ สาย Clock ที่เป็นสัญญาณนาฬิกาสำหรับกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูลของไอซี สาย Latch ที่ใช้สำหรับกำหนดช่วงเวลาในการรับข้อมูลของไอซี และสาย Data ที่จะเป็นข้อมูลที่จะใช้สำหรับควบคุมการทำงานของเอาต์พุต



รูปที่ 4-9 Clock HV509



รูปที่ 4-10 Latch HV509



รูปที่ 4-11 Data HV509

4.3.6 ปัญหาที่พบจากการประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆ

จากการทดลองต่อโมดูล Braille Cell กับบอร์ด HV ที่ออกแบบเองพบว่า

☐ สามารถสั่งให้ทุกดอทติด (งอขึ้น) และทุกดอทดับ (งอลง) ได้

☐ ยังไม่สามารถสั่งดอทในโมดูลให้ติดเป็นบางดอทได้ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าจะดรอป และทำให้ก้านเพียโซไม่งอได้น้อย

จากการทดลองต่อโมดูล Braille Cell เข้ากับบอร์ด HV ของ Metec แล้วพบว่า

☐ สามารถสั่งงานโมดูล Braille Cell แบบติดทุกดอทและดับทุกดอทได้

☐ สามารถสั่งงานโมดูล Braille Cell ให้ติดเป็นบางดอทได้ แต่จะมีบางขาของโมดูลบางตัวที่เวลาต่อสัญญาณแล้วแรงดันไฟฟ้าจะดรอป ทำให้ก้านเพียโซงอได้น้อย (ยังไม่ทราบสาเหตุ)

สรุปผลความแตกต่างจากการทดสอบ

☐ โมดูล Braille Cell ที่โรงงานประกอบมากับโมดูลของ Metec ยังมีจุดที่แตกต่างกันที่ Resistor บนแผ่นวงจรพิมพ์ไม่เท่ากัน (Metec = 470 kOhm, โมดูล Braille Cell = 10kOhm)

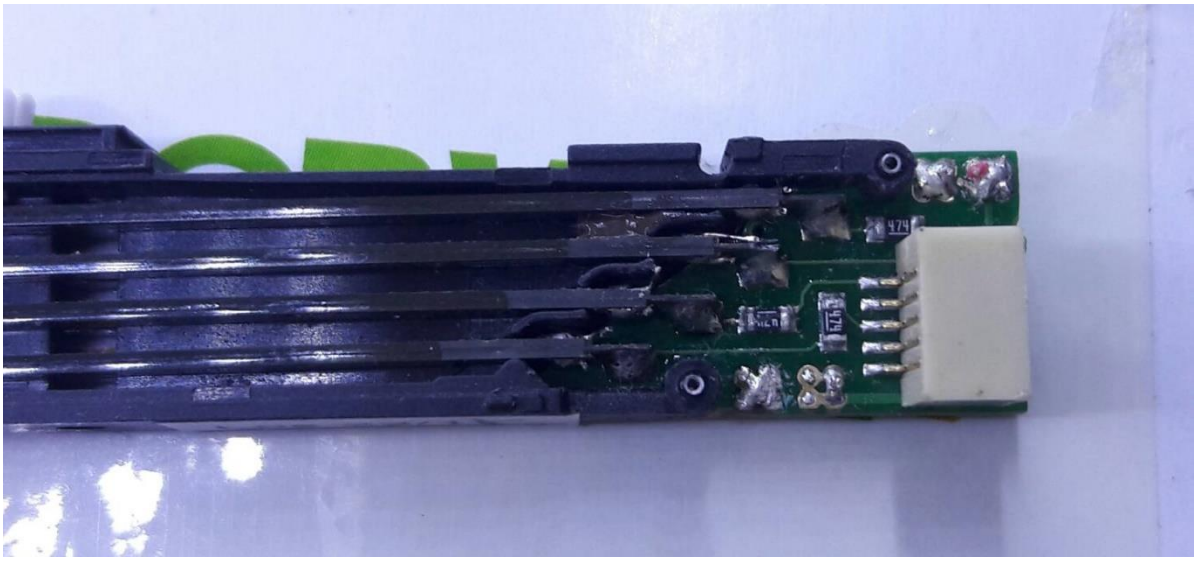
☐ เบรลล์ดอทบางตัวของโมดูล Braille Cell จะฝืด ทำให้เวลายกขึ้นแล้วบางครั้งจะไม่ตกลงตามแรงธรรมชาติ

5. การปรับปรุงประสิทธิภาพต้นแบบ

จากผลการประกอบเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ข้างต้น ทางทีมวิจัยพบว่าปัญหาที่สำคัญหรือการทำงานของ Braille Cell ไม่ได้ประสิทธิภาพอันเกิดจากการประกอบ Braille Cell ซึ่งมีขนาดเล็กและใช้การต่อสายไฟเส้นสั้นๆ เพื่อให้ประหยัดพื้นที่ และการบัดกรีบนพื้นที่แคบๆ ทำให้การทำงานประกอบยากลำบากและใช้เวลานาน ดังนั้นเราจึงได้ศึกษาเครื่องตัวอย่างของบริษัท Metec เพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่างการออกแบบของทีมวิจัยและของบริษัท Metec

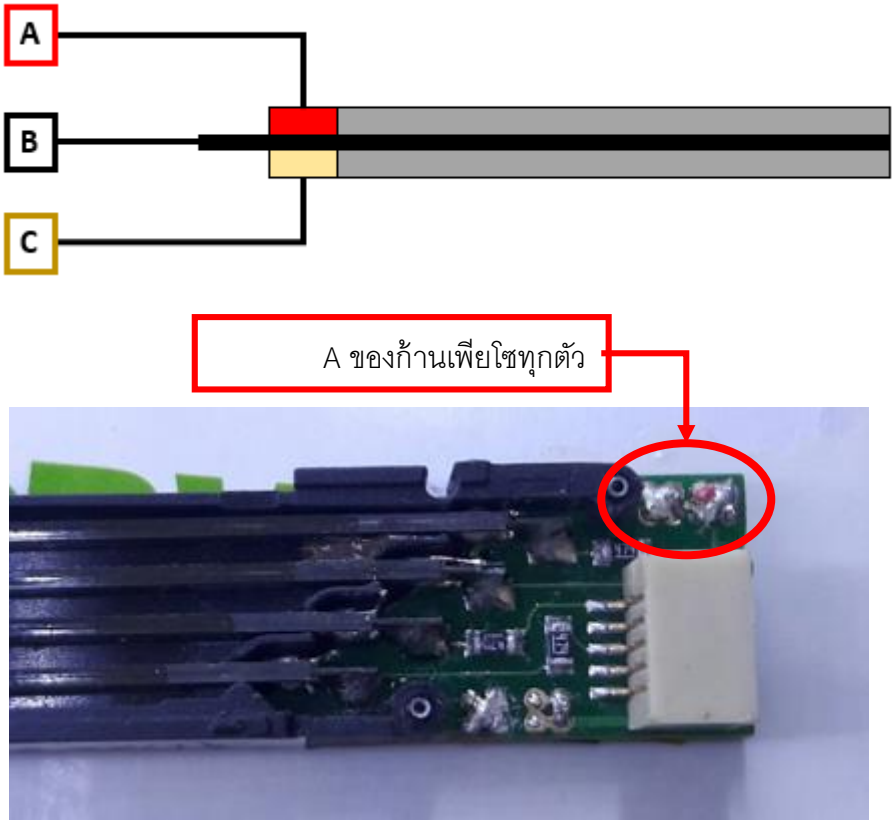
5.1 กรณีศึกษาการประกอบ Braille Cell ของบริษัท Metec

จากผลการดำเนินงานในการพัฒนาชุด Braille Cell ที่ได้ออกแบบและประกอบใช้งาน เราพบว่าการประกอบ Braille Cell ที่เราได้ออกแบบไว้มีความผิดพลาดสูง และประกอบยากลำบากเพราะพื้นที่สำหรับการบัดกรีมีน้อยแต่มีจำนวนจุดบัดกรีค่อนข้างมาก ทำให้การบัดกรีทำได้ช้าและขาดประสิทธิภาพในการผลิต เราจึงได้ศึกษาชุด Braille Cell ของบริษัท Metec ถึงเทคนิคการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ให้มีขนาดเล็กและสามารถประกอบได้ง่าย ซึ่งแสดงในรูปที่ 5-1



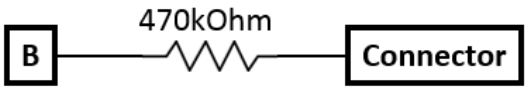
รูปที่ 5-1 ตัวอย่างการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ของแผ่นวงจรเปียโซอิเล็กทริค

จากรูปที่ 5-2 ขั้ว A ของก้านเพียโซทุกก้าน จะต่อเข้ากับขาแรงดันไฟฟ้าที่อยู่บริเวณด้านซ้ายบนของบอร์ด PCB แล้วจึงต่อเข้ากับ Connector (ใช้สายไฟสีแดง 8 เส้น) ความยาวสายไฟที่ใช้ สายสีแดง : 18 มม. 5 เส้น, 13 มม. 3 เส้น สายสีฟ้า : 13 มม. 8 เส้น

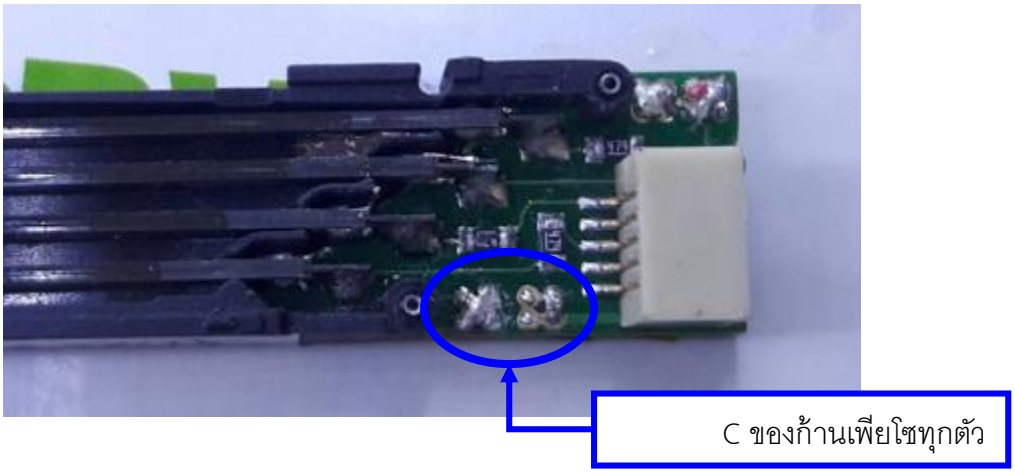


รูปที่ 5-2 การต่อขั้วขาแรงดันของแผ่นเปียโซอิเล็กทริคบนแผ่นวงจรพิมพ์

ขั้ว B ของก้านเพียโซแต่แต่ละก้านจะทำการบัดกรียึดเข้ากับบอร์ด PCB และต่อเข้ากับตัวต้านทาน 470kOhm บนบอร์ด PCB แล้วจึงต่อเข้าไปยังคอนเนคเตอร์ (ไม่ใช้สายไฟเนื่องจากบัดกรีลงไปบนบอร์ด PCB และทำการเดินวงจรผ่านลายทองอดงบน PCB แทน) โดยขา B ของก้านเพียโซแต่ละก้านจะต่อเข้ากับ ตัวต้านทาน 1 ตัวและต่อไปยังขาขาหนึ่งของคอนเนคเตอร์ ทำให้บนบอร์ด PCB จะมี R 8 ตัวสำหรับต่อเข้ากับก้านเพียโซทั้ง 8 ก้าน และต่อเข้าไปยังขาของคอนเนคเตอร์ทั้งหมด 8 ขา

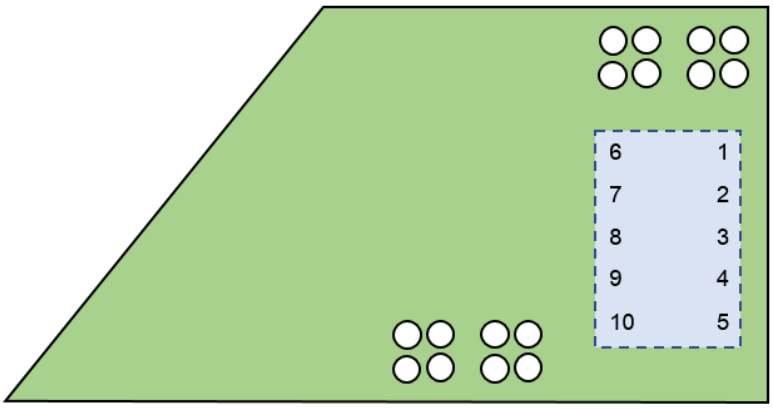


ขั้ว C ของก้านเพียโซทุกก้าน จะต่อเข้ากับขากราวด์ของวงจรที่อยู่บริเวณด้านซ้ายบนของบอร์ด PCB แล้วจึงต่อเข้ากับ Connector (ใช้สายไฟสีฟ้าทั้งหมด 8 เส้น)



รูปที่ 5-3 การต่อขั้วขากราวด์ของแผ่นเปียโซบนแผ่นวงจรพิมพ์

รูปที่ 5-4 แสดงแบบจำลอง PCB ด้านท้ายของโมดูลของบริษัท Metec ที่ออกแบบมาให้สำหรับการประกอบที่ง่ายและลดความผิดพลาดระหว่างการประกอบแผ่นเพียโซ



รูปที่ 5-4 แบบจำลองแผ่นวงจรพิมพ์ของบริษัท Metec

กล่องสีฟ้าจะหมายถึงคอนเนคเตอร์ 10 ขาที่อยู่บนบอร์ด PCB ที่อยู่บริเวณด้านท้ายของโมดูลเพียโซ โดยขา 1 ของคอนเนคเตอร์จะเป็นขาแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะเชื่อมต่อกับรูทั้ง 8 รูด้านบนของบอร์ด PCB ที่จะต่อเข้าไปยังขา A ของ

ก้านเพียโซทั้ง 8 ตัวบนบอร์ดด้วยสายไฟสีแดง ขาที่ 5 ของคอนเนคเตอร์จะเป็นกราวของวงจรที่จะเชื่อมต่ออยู่กับรู 8 รู บริเวณด้านล่างของบอร์ด PCB ที่จะต่อเข้ากับขา C ของก้านเพียโซทั้ง 8 ก้านด้วยสายไฟสีฟ้า

ขาที่เหลือของคอนเนคเตอร์ (ขาที่ 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10) แต่ละขาจะต่อเข้ากับตัวต้านทานที่อยู่บนบอร์ด PCB และต่อไปยังขา B ของก้านเพียโซ 1 ก้านเพื่อใช้สำหรับควบคุมการกระดกของก้านเพียโซก้านนั้น ๆ

6. รายงานการทดสอบการทำงานกับกลุ่มตัวอย่างผู้พิการทางสายตา

จากการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์และการทดสอบการใช้งานเบื้องต้น ทีมนักวิจัยได้นำตัวอย่างต้นแบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อนำไปทดสอบกับผู้ใช้งานกลุ่มผู้พิการทางสายตา ดังรายงานต่อไปนี้

6.1 การทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างผู้พิการทางสายตา

การทดสอบกับกลุ่มผู้พิการทางสายตาจะเป็นการทดสอบการใช้งานทางด้านกายภาพ โดยทีมนักวิจัยได้ทดสอบการใช้งานดังต่อไปนี้

6.1.1 การทดสอบผิวของวัสดุ

วัสดุที่ใช้ในโครงการแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

- วัสดุสำหรับเครื่องห่อหุ้มอุปกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 6-1 เป็นวัสดุ Polyimide ที่มีลักษณะเป็นผง และใช้แสงเลเซอร์ในการยิงที่วัสดุเพื่อให้เกิดการแข็งตัวเพื่อขึ้นรูป โดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติที่ใช้เทคนิค Selective Laser Sintering (SLS) ในการขึ้นรูป ซึ่งพื้นผิวมีความหยาบเล็กน้อย แต่มีความแข็งแรงสูง

ผลการทดสอบจากการสัมผัส

ผลการสัมผัสภายนอกของอุปกรณ์อยู่ในระดับที่ยอมรับได้แม้ว่าจะเปรียบเทียบของต่างประเทศซึ่งทำจากโลหะ จะให้ความรู้สึกแข็งแรงและทนทานกว่า อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้งานให้ข้อดีของวัสดุสำหรับเครื่องห่อหุ้มนี้ คือมีน้ำหนักเบา สามารถพกพาได้ง่าย แต่อยากให้ทำให้ขนาดเล็กลงอีก ซึ่งทีมวิจัยต้องปรับปรุงเป็นอีกรุ่นจากขนาด 40 เซลล์ เป็นแบบ 32 หรือ 24 เซลล์ แต่ขนาด 16 เซลล์อาจจะเล็กไปสำหรับการอ่านที่ในหนึ่งประโยคมีตัวอักษรจำนวนมาก

- วัสดุสำหรับ Braille Cell แบบที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 6-2 เป็นวัสดุ Resin ที่มีลักษณะเป็นของเหลวใช้แสง LED ในการยิงที่วัสดุเพื่อให้เกิดการแข็งตัวเพื่อขึ้นรูป โดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติที่ใช้เทคนิค Stereo Lithography (SLA) ในการขึ้นรูป ซึ่งทำให้ผิววัสดุมีความเรียบ แต่มีความเปราะ แตกหักง่าย การพิมพ์ขึ้นรูปแต่ละครั้ง ทำได้ในปริมาณน้อย ใช้เวลานาน

ผลการทดสอบจากการสัมผัส

ผลทดสอบจากการสัมผัส Braille Cell แบบที่ 1 ซึ่งมีพื้นผิวเรียบ สามารถนำมาใช้สร้าง Braille Cell ได้ ให้ผิวสัมผัสได้ดี แต่ผู้ใช้งานแนะนำว่าถ้านิ้วหรือผิวหนังมีความเปียกชื้นก็จะทำให้เกิดความฝืด การรูดนิ้วอาจจะติดขัดเล็กน้อย หากทำให้วัสดุมีความหยาบเล็กน้อยก็จะดีกว่าแต่ก็ไม่เป็นไรหากใช้วัสดุนี้ในการผลิต เพราะความสำคัญของการสัมผัสอยู่ที่ความแตกต่างระหว่างการสัมผัสโดนปุ่มเบรลล์กับไม่โดนปุ่มเบรลล์ (หรือหลุมเบรลล์)

- วัสดุสำหรับ Braille Cell แบบที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 6-3 เป็นวัสดุ Polyimide เหมือนเครื่องห่อหุ้ม มีความแข็งแรง ไม่แตกหักง่าย สามารถพิมพ์ขึ้นรูปได้ในปริมาณมากในแต่ละครั้ง แต่การพิมพ์ขึ้นรูปจะมีความละเอียด

น้อยกว่า ทำให้มีปัญหาในส่วนของรู Braille Pin ซึ่งต้องมีการตกแต่งอีกครั้งหลังจากพิมพ์เสร็จแล้ว ซึ่งจะเพิ่มส่วนการใช้แรงงานคนอาจทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นได้

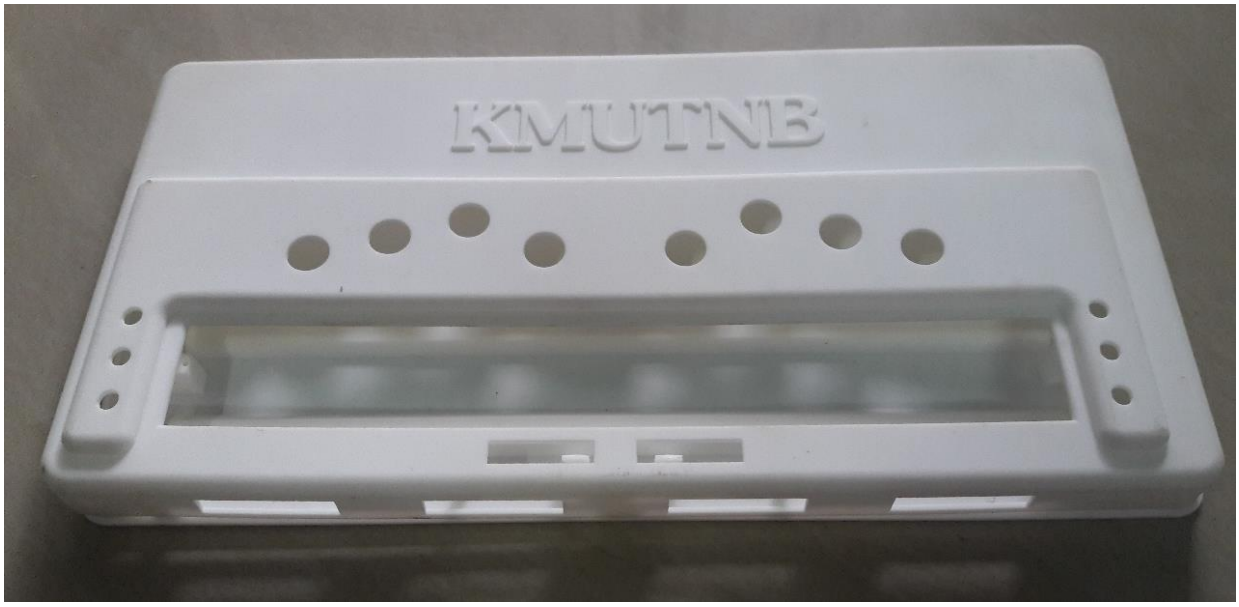
ผลการทดสอบจากการสัมผัส

ผลการทดสอบจากการสัมผัสพบว่าแม้ผิวจะมีความหยาบขึ้นมากกว่าแบบที่ 1 เล็กน้อย แต่ก็อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และอาจจะดีสำหรับผู้ใช้งานที่มีเหงื่อง่ายทำให้เกิดการเปียกชื้นระหว่างการใช้งาน แต่ก็สามารถนำมาใช้ในการผลิตได้ ไม่มีปัญหาการใช้งาน

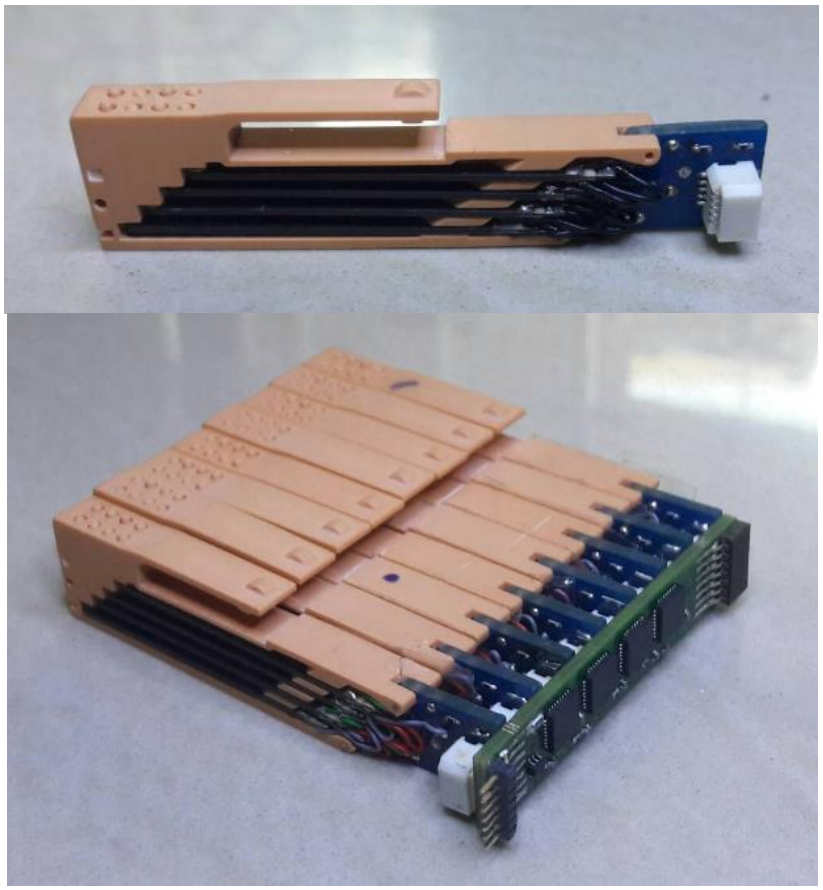
- วัสดุสำหรับ Braille Dot หรือ Braille Pin ดังแสดงในรูปที่ 6-4 เป็นวัสดุ Resin ใช้กรรมวิธีการขึ้นรูปเหมือน Braille Cell เพราะมีความเรียบมากและเหมาะสำหรับใช้เป็นผิวสัมผัสจากนิ้วมือของผู้ใช้งาน

ผลการทดสอบจากการสัมผัส

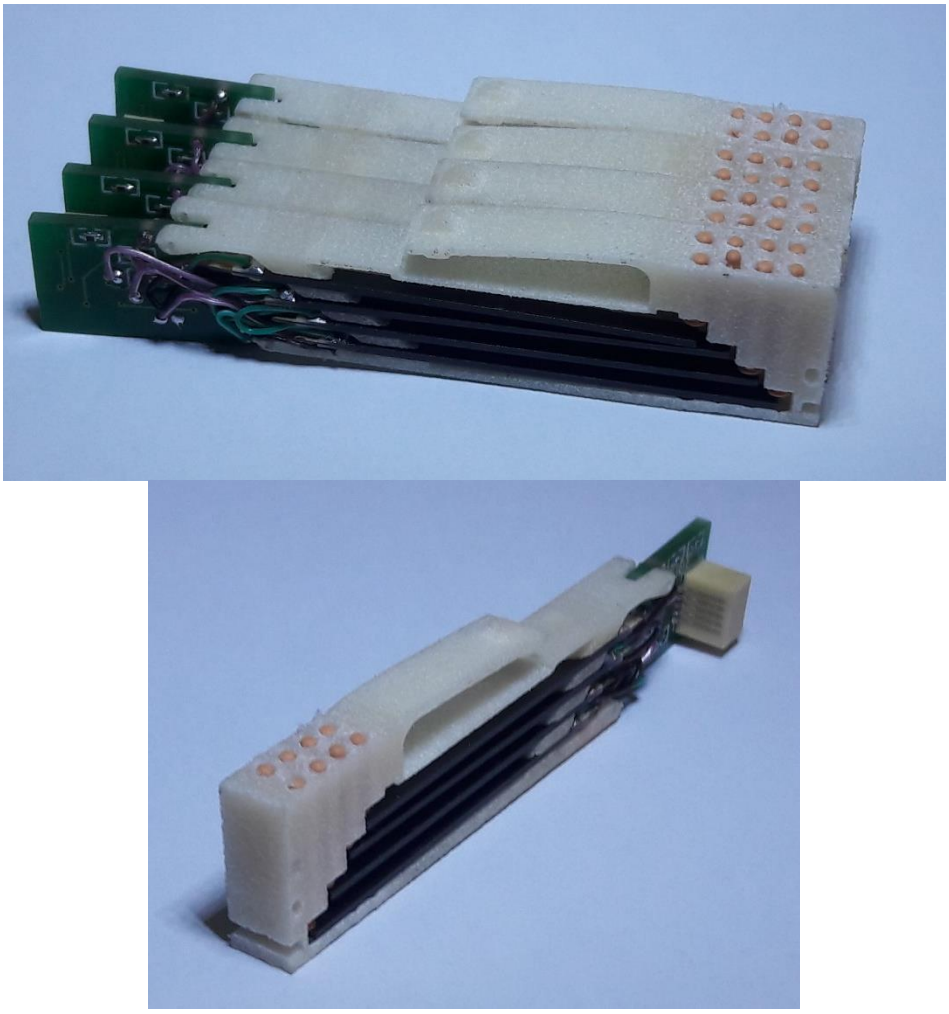
เนื่องจากชิ้นส่วนนี้เป็นชิ้นส่วนที่ละเอียดที่สุด ส่วนปลายของ Braille Pin จะต้องโค้งมน ไม่มีเหลี่ยมหรือขอบที่จะทำให้การสัมผัสเกิดความรู้สึกถูกบาด เราจึงใช้วัสดุ Resin เพียงอย่างเดียวในการพิมพ์เนื่องจากวัสดุแบบอื่น ๆ ไม่สามารถพิมพ์ได้ ผลจากการทดสอบการสัมผัส ผู้ใช้อยู่ในระดับพึงพอใจ ปลายของปุ่มมีความโค้งมนในระดับที่ดีมาก ให้ความรู้สึกเหมือนเครื่องที่ผลิตจากต่างประเทศ ซึ่งส่วนนี้ทีมวิจัยก็จะนำผลการออกแบบส่วนนี้ไปจดอนุสิทธิบัตรหรือสิทธิบัตรต่อไปตามความเหมาะสมของการขึ้นทะเบียนทรัพย์สินทางปัญญาต่อไป



รูปที่ 6-1 เครื่องห่อหุ้ม Braille Display ที่ทำจากวัสดุ Polyimide



รูปที่ 6-2 Braille Cell ที่ทำจากวัสดุ Resin



รูปที่ 6-3 Braille Cell ที่ทำจากวัสดุ Polyimide

รูปที่ 6-4 Braille Pin ที่ทำจากวัสดุ Resin

6.1.2 การทดสอบการงอของแผ่นเปียโซ่อิเล็กทริค

กลไกการทำงานที่สำคัญของเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์คือการงอของแผ่นเปียโซ่เพื่อทำให้ปุ่มเบรลล์ หรือ Braille Pin เกิดการยกตัวขึ้นเพื่อให้นิ้วของผู้ใช้งานได้สัมผัส และเกิดความแตกต่างของการสัมผัสระหว่างการสัมผัสผ่านปุ่มที่มีการยกตัว และการสัมผัสที่ปุ่มไม่ได้ยกตัว ซึ่งการงอของแผ่นเปียโซ่กับระยะความยาวของแผ่นเปียโซ่มีผลต่อความสูงของการยกตัวของปุ่มเบรลล์

การงอขอแผ่นเปียโซ่เกิดจากการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไปยังแผ่นเปียโซ่เพื่อให้เกิดการบิดงอตัว ถ้าป้อนแรงดันเพิ่มขึ้นก็จะทำให้เกิดการงอตัวเพิ่มขึ้น แต่จะใช้พลังงานมากและเกิดเสียงรบกวนที่เกิดจากการดีดตัว และอาจทำให้เกิดความกระด้างในการสัมผัส ถ้าป้อนแรงดันไม่เพียงพอ การงอของแผ่นเปียโซ่ก็จะไม่เพียงพอต่อการยกของปุ่มเบรลล์ให้ตามระดับที่สามารถสัมผัสและรู้สึกได้ถึงความแตกต่างระหว่างการยกหรือการไม่ยกของปุ่มเพื่อให้เกิดความชัดเจน ดังนั้นหากเปรียบเทียบการอ่านอักษรเบรลล์ของผู้พิการทางสายตากับการอ่านหนังสือของผู้มีสายตาปกติ การยกของปุ่มที่น้อยเกินไปก็เปรียบเสมือนอักษรตัวหนังสือบนแผ่นกระดาษไม่ชัดทำให้ผู้อ่าน อ่านผิด หรือเกิดความลังเลหรือไม่แน่ใจในตัวอักษร ทำให้การอ่านทำได้ช้าและขาดประสิทธิภาพ

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้คือการทดสอบหาระดับแรงดันที่เหมาะสมสำหรับการป้อนให้กับแผ่นเปียโซ่เพื่อให้การงอทำให้การยกตัวของปุ่มเบรลล์อยู่ในระดับที่เหมาะสม และทำให้แรงดีดของแผ่นเปียโซ่อยู่ในระดับที่เหมาะสมเช่นกัน เพื่อให้เกิดแรงสัมผัสที่เหมาะสมที่สุด เพื่อทำให้เครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์สามารถแสดงผลตัวอักษรได้ “ชัดเจน” ที่สุดจากการสัมผัสด้วยนิ้วของผู้พิการทางสายตา

- การทดสอบการยกตัวของปุ่มเบรลล์ สามารถแสดงในรูปที่ 6-5 ซึ่งเราทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าบวกให้กับแผ่นเปียโซ่ทุกแผ่นของจำนวนเซลล์ทั้งหมด 40 เซลล์ หรือแผ่นเปียโซ่ทั้งหมด 320 แผ่น ทำให้เกิดการโค้งงอแบบหงาย ทำให้ปุ่มทั้งหมดจะถูกยกขึ้นเพื่อให้ปลายปุ่มโผล่พ้นผิวเรียบของ Braille Cell

ผลการทดสอบ

การยกปุ่มส่วนใหญ่อยู่ในระดับที่สูงกว่าพื้นเรียบ แต่มีบางปุ่มซึ่งยังมีระดับที่ต่ำกว่าระดับที่ควรจะเป็น และบางปุ่มมีระดับการยกสูงสุดที่ไม่เท่ากัน ซึ่งทีมวิจัยจะต้องหาทางปรับปรุงต่อไป ส่วนการสัมผัสปุ่มของผู้ใช้งาน ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจโดยสามารถสัมผัสได้ถึงความแตกต่างระหว่างปุ่มกับพื้นผิวเรียบ และปุ่มมีแรงดีดที่เหมาะสม แต่สามารถลดแรงดีดลงได้อีกเพื่อจะช่วยในการประหยัดพลังงานที่ใช้ในการดีดปุ่ม

- การทดสอบการยุบตัวของปุ่มเบรลล์ สามารถแสดงในรูปที่ 6-6 ซึ่งเราทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าลบให้กับแผ่นเปียโซ่ทุกแผ่นโค้งงอแบบคว่ำ ทำให้ปุ่มยุบตัวลงด้วยแรงโน้มถ่วงจากน้ำหนักของตัวปุ่มเอง

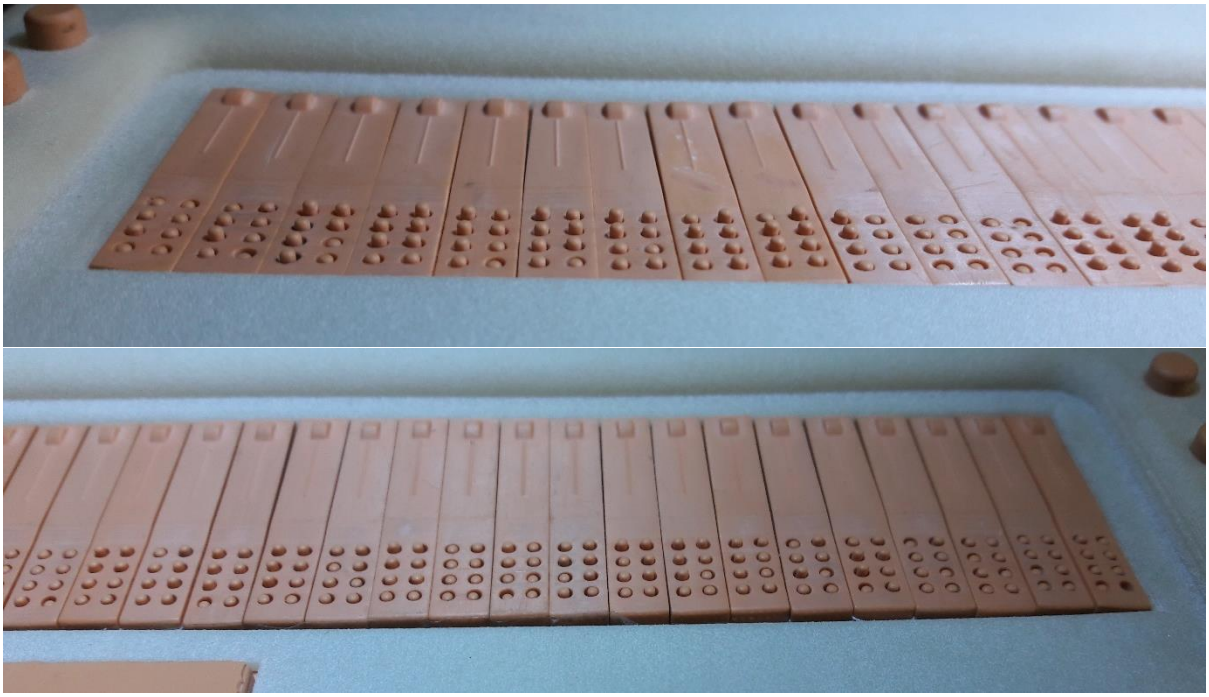
ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบจากรูปภาพแสดงให้เห็นว่า การยุบตัวของปุ่มส่วนใหญ่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าพื้นผิวเรียบ และจากการทดสอบการสัมผัส ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจ สามารถสัมผัสได้ถึงร่องของรูที่ปุ่มเบรลล์ยุบลงไป ทำให้รู้สึกได้ถึงความแตกต่างระหว่างการยกและการยุบของปุ่ม อย่างไรก็ตาม บางปุ่มยังมีความผิดพลาดที่ยังยุบตัวไม่ต่ำกว่าพื้นผิวเรียบ ซึ่งบางปุ่มอาจเกิดจากการติดค้างของปุ่ม เนื่องจากปุ่มมีน้ำหนักเบา แต่เมื่อสัมผัสถูกนิ้วเพียงเล็กน้อย ปุ่มก็จะยุบตัวลง ซึ่งในส่วนนี้ผู้ใช้งานบอกว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เพราะยังสามารถแยกความแตกต่างระหว่างการยกตัวของปุ่ม และการยุบตัวหรือการสัมผัสร่องของรูของปุ่มได้

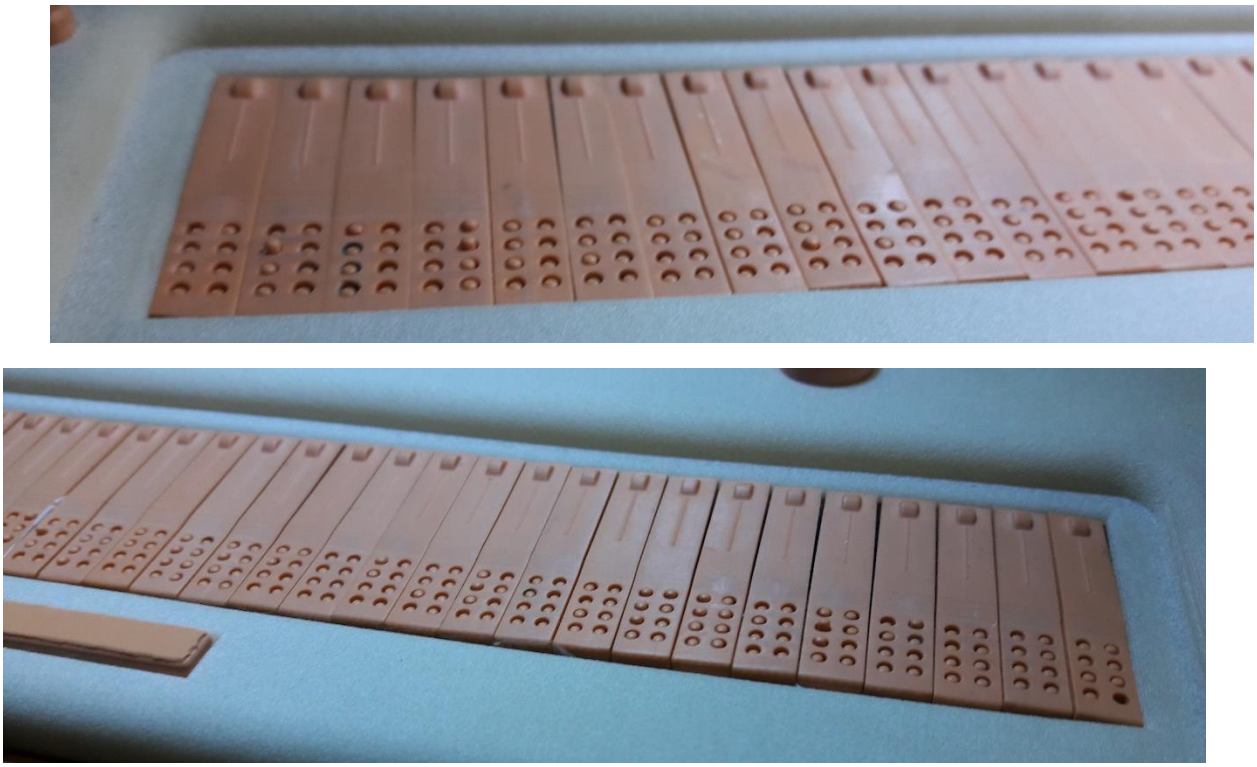
- การทดสอบการแสดงผลด้วยคำว่า “สวัสดี” ซึ่งในความหมายของอักษรเบรลล์คือ การแสดงด้วยอักษรและสระคือ ส-ว-ั-ส-ด-ี ซึ่งสามารถแสดงในรูปที่ 6-7

ผลการทดสอบ

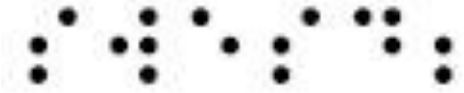
ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 6-8 ซึ่งสามารถแสดงผลยังมีผิดอยู่บ้างในบางจุดทั้งนี้เนื่องจากการกระดกตัวของปุ่มที่เกิดจากการงอของแผ่นเปียโซ่ยังไม่ได้มีการปรับปรุงให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง



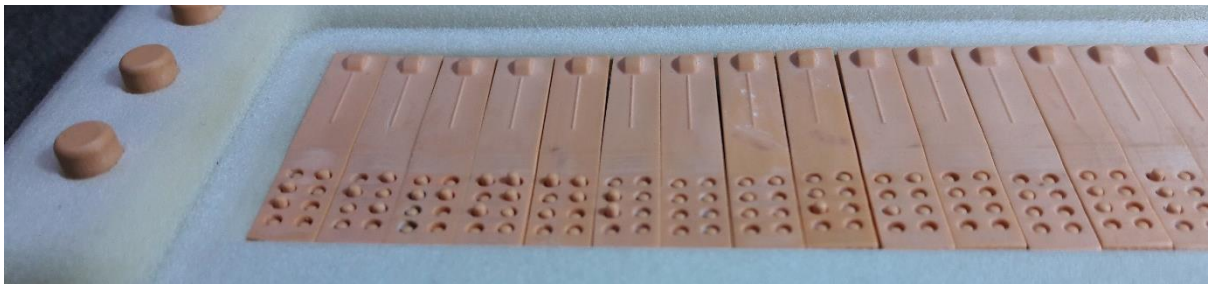
รูปที่ 6-5 การยกตัวของปุ่มเบรลล์ทั้งหมด



รูปที่ 6-6 การยุบตัวของปุ่มเบรลล์ทั้งหมด



รูปที่ 6-7 การแสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยคำว่า “สวัสดี”



รูปที่ 6-8 การยกและการยุบตัวของปุ่มเบรลล์เพื่อแสดงคำว่า “สวัสดี”

6.2 ภาพบรรยากาศการทดสอบการทำงานกับกลุ่มผู้พิการทางสายตา

การทดสอบกับกลุ่มผู้พิการทางสายตาจำนวน 4 คน จากสมาคมคนตาบอดแห่งประเทศไทย 1 ท่าน และจากมูลนิธิธรรมิกชน จำนวน 3 ท่าน

6.2.1 การทดสอบผิวของวัสดุ

6.2.2 การทดสอบการอ่าน

6.2.3 การทดสอบการพิมพ์

6.3 การปรับปรุงประสิทธิภาพต้นแบบเพื่อตอบสนองต่อผู้พิการทางสายตา

จากการทดสอบการใช้งานของเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์กับกลุ่มตัวอย่างผู้พิการทางสายตาถึงการใช้งานของเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ ที่ประกอบด้วย การทดสอบผิวของวัสดุ และการทดสอบการงอของแผ่นเปียโซ่อิเล็กทริค

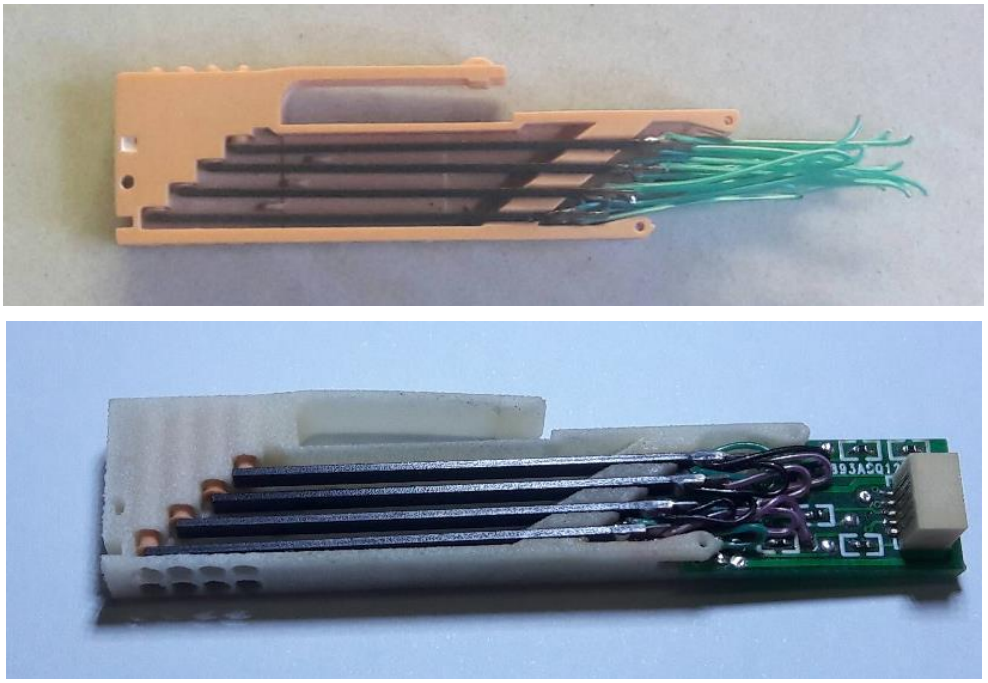
ผลการทดสอบผิวของวัสดุแสดงให้เห็นว่าวัสดุที่ทางทีมวิจัยใช้นั้น สามารถใช้งานได้ดี ผู้ใช้งานพึงพอใจกับวัสดุที่ใช้ การสัมผัสบน Braille Cell และ Braille Pin มีความใกล้เคียงกับของต่างประเทศ แต่วัสดุที่ใช้ห่อหุ้มอุปกรณ์มีความแตกต่าง วัสดุห่อหุ้มเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ของต่างประเทศส่วนใหญ่ทำจากโลหะ เช่น เหล็ก หรือ อลูมิเนียม ซึ่งมีความแข็งแรงทนทานกว่าแต่ก็มีราคาแพงกว่า อย่างไรก็ตามถ้านำเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ที่เป็นเครื่องต้นแบบในโครงการมาเปรียบเทียบกับเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ราคาถูกที่ผลิตในประเทศจีน เครื่องต้นแบบในโครงการมีวัสดุและการใช้ที่ดีกว่ามาก

ผลการทดสอบการงอของแผ่นเปียโซ่อิเล็กทริค แสดงให้เห็นว่าการงอของแผ่นเปียโซ่ยังมีลักษณะที่ไม่เท่ากัน ยังไม่เป็น Uniform จึงทำให้การกระดกหรือการยกขึ้นของปุ่มมีความสูงที่ไม่เท่ากัน จากผลการพิสูจน์ทีมวิจัยได้พบสาเหตุ 2 ประการ ดังต่อไปนี้

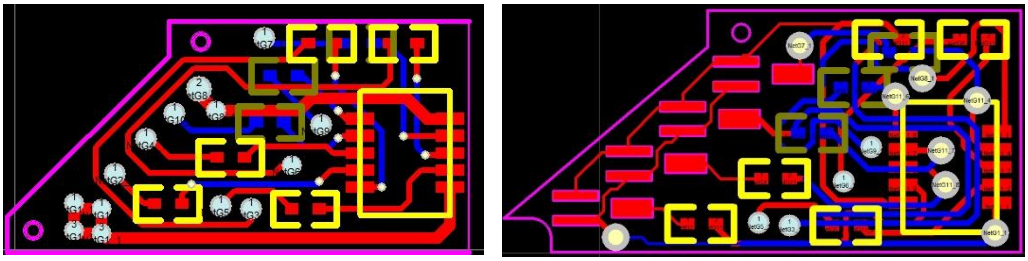
สาเหตุที่หนึ่งมาจากการประกอบแผ่นเปียโซ่บน Braille Cell มีความผิดพลาดได้ง่ายเนื่องจากมีสายไฟจำนวนมากที่จำเป็นต้องบัดกรีบนแผ่นวงจรพิมพ์ดังแสดงในรูปที่ 6-9

ซึ่งแผ่นเปียโซ่หนึ่งชิ้นต้องใช้สายไฟ 3 เส้น ดังนั้นแผ่นเปียโซ่ 8 ชิ้นต้องใช้สายไฟ 24 เส้นในการบัดกรี และตำแหน่งของจุดบัดกรีก็อยู่ใกล้ๆ กัน ทำให้บัดกรีได้ยาก หรือบัดกรีแล้วหลุดจากวงจร ทำให้การประกอบ Braille Cell มีความผิดพลาดสูง

การปรับปรุงประสิทธิภาพต้นแบบเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดยการพัฒนาแผ่นวงจรพิมพ์แบบใหม่เพื่อลดการบัดกรี เพื่อลดโอกาสเกิดความผิดพลาด โดยการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ที่สามารถบัดกรีแผ่นเปียโซ่ได้โดยตรงโดยไม่ต้องใช้สายไฟ ซึ่งทีมวิจัยได้ออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ใหม่ดังแสดงในรูปที่ 6-10 ซึ่งจะทำให้การประกอบ Braille Cell ทำได้ง่ายและลดความผิดพลาด และเพิ่มความเร็วในการประกอบ และลดค่าใช้จ่ายในการประกอบอีกด้วย อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวย่อมมีผลกระทบกับการออกแบบ Braille Cell ซึ่งทางทีมวิจัยก็ได้ทำการปรับปรุงแก้ไขแล้วเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้แผ่นวงจรพิมพ์แบบใหม่ด้วย



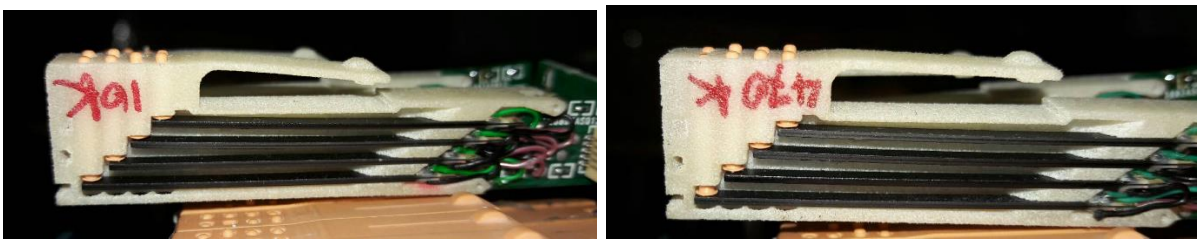
รูปที่ 6-9 การบัดกรีสายไฟระหว่างแผ่นเปียโซกับแผ่นวงจรพิมพ์



(ก) ก่อนปรับปรุง (ข) หลังปรับปรุง

รูปที่ 6-10 การออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ให้สามารถบัดกรีแผ่นเปียโซได้โดยตรง

สาเหตุที่สองที่ทำให้การงอของแผ่นเปียโซไม่เท่ากันคือ การป้อนแรงดันให้กับแผ่นเปียโซไม่เท่ากัน โดยการป้อนแรงดันไฟฟ้าไปยังแผ่นเปียโซจะผ่านตัวความต้านทานเพื่อป้องกันการไหลของกระแสที่มากเกินไป ทีมวิจัยได้ทดสอบหาค่าความต้านทานที่เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 6-11 จากรูปจะเห็นว่าระดับการยกตัวของปุ่มเบรลล์มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย เมื่อได้ระดับการยกตัวที่เหมาะสมแล้ว ทีมวิจัยจึงได้หาค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ป้อนวงจรเพื่อการงอแผ่นเปียโซที่เหมาะสมเพื่อจะให้การกระดกและการยกตัวของปุ่มเบรลล์อยู่ในระดับที่ผู้ใช้งานพึงพอใจ และทีมวิจัยได้ปรับปรุงวงจรป้อนแรงดันให้กับแผ่นเปียโซเป็นที่เรียบร้อยแล้วเพื่อใช้ในการผลิตต่อไป



(ก) R = 10 kOhm (ข) R = 470 kOhm

รูปที่ 6-11 การทดสอบค่าความต้านทานกับผลการยกตัวของปุ่มเบรลล์

รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ ๒

(The 2nd Progression Report)

โครงการขอรับการส่งเสริมและสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

ประเภทที่ ๑/๒๕๕๗

ประจำงวดที่ ๓

โครงการพัฒนาต้นแบบเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ราคาถูก ด้วยการใช้เทคนิควิศวกรรมย้อนรอยและวัสดุนวัตกรรมใหม่ สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต และโทรศัพท์สมาร์ตโฟน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

สัญญารับทุนเลขที่ T2-1-0007/57

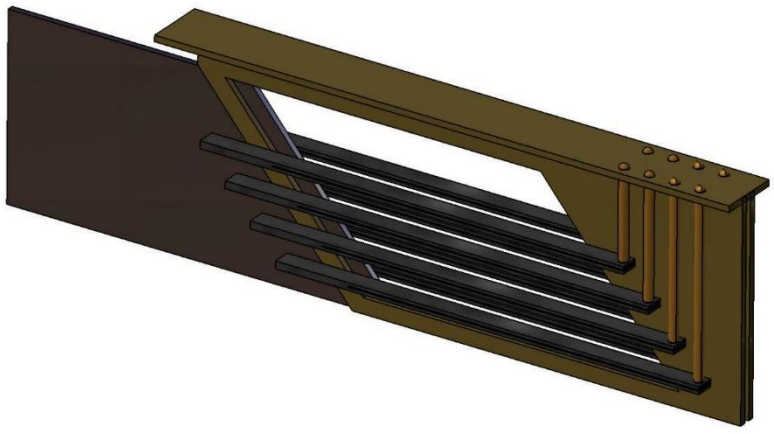
1. สรุปผลการดำเนินงาน รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 2

รายงานผลการออกแบบเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ สามารถแบ่งการออกเป็น ๓ ส่วนของ ส่วนของ Braille Cell ส่วนของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และส่วนของตัวเรือนอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่าง ๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 ส่วนของ Braille Cell

Braille Cell เป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ที่ประกอบกันแบบเรียงแถวเป็นเครื่องขนาด 16, 20, 40 หรือ 80 เซลล์ซึ่งมีราคาเฉลี่ยเซลล์ละ $100 หรือประมาณ 3,500 บาท ภาพรวมของ Braille Cell สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1-1 ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ คือ

- Braille Pin เป็นส่วนที่เล็กที่สุดและมีความละเอียดมากที่สุด และมีความสำคัญในการออกแบบให้ผิวของ Pin มีลักษณะที่เรียบ กลมมน เพื่อให้ผู้อ่านสามารถสัมผัส Pin ได้อย่างไม่สะดุด จึงทำให้การออกแบบในส่วนนี้มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นและจำเป็นต้องหาวิธีในการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการสร้าง Braille Pin
- Braille Cap เป็นส่วนที่วางปิดส่วนบนของ Braille Pin เพื่อกำหนดให้ระยะห่างของแต่ละ Pin เป็นไปตามมาตรฐานและเป็นส่วนสัมผัสสำหรับนิ้วมือในการลากผ่านหรือการถูไปมาระหว่างแถวของ Cell
- Drive Circuit และ Piezoelectric เป็นส่วนของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เชื่อมต่อ Braille Cell กับตัวเรือนอุปกรณ์และแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์หลักเพื่อเชื่อมต่อทางไฟฟ้าและสัญญาณข้อมูล
- Cell Frame เป็นส่วนที่ยึดทุกส่วนเข้าด้วยกัน รวมถึงการยึดแผ่น Piezoelectric เพื่อให้ได้ระยะการงอที่พอดีกับการยก Braille Pin และสามารถได้แรงยกที่เพียงพอกับการกดทับของนิ้วที่ลากผ่าน Braille Pin แล้วสามารถส่งแรงดันเพื่อให้ผู้อ่านสามารถรับรู้ความรู้สึกที่แตกต่างระหว่าง Pin ที่ถูกยกกับ Pin ที่ไม่ถูกยกขึ้น

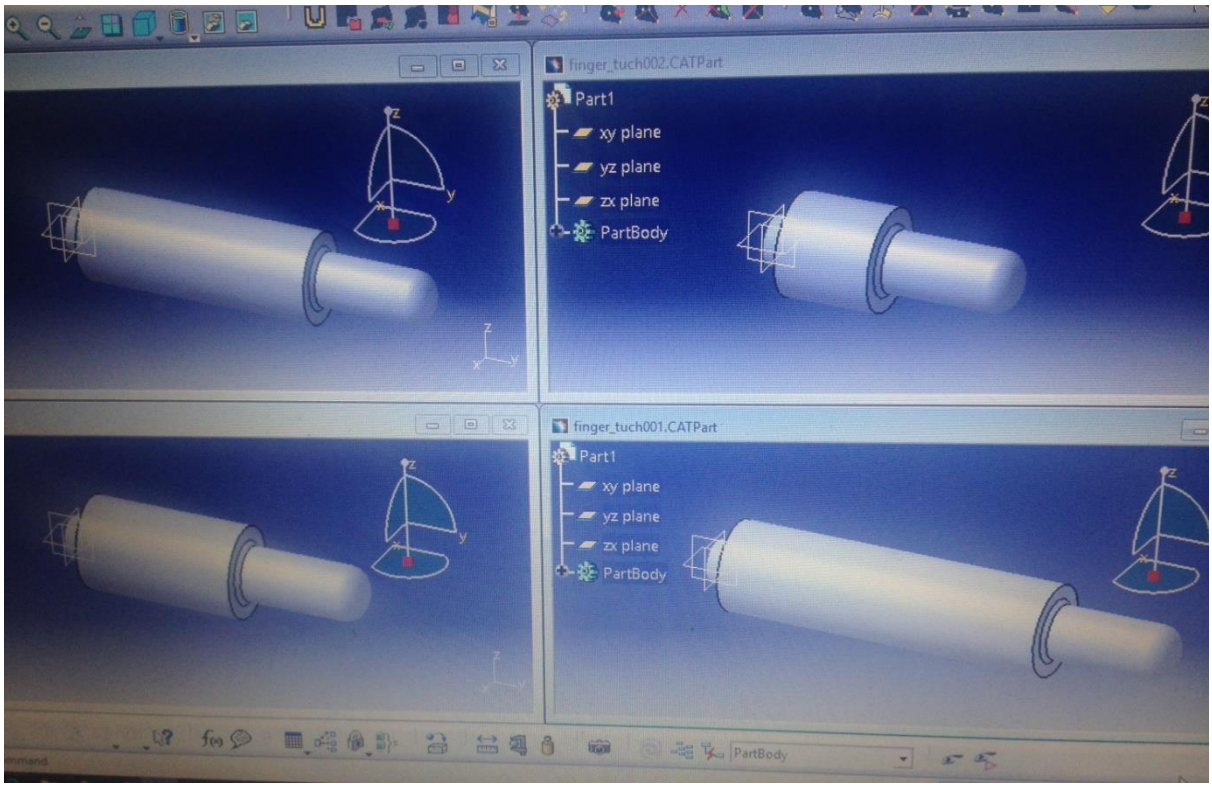


รูปที่ 1-1 Braille Cell ที่ประกอบด้วยส่วนย่อยต่าง ๆ

1.1.1 แบบสำหรับพิมพ์ Braille Pin

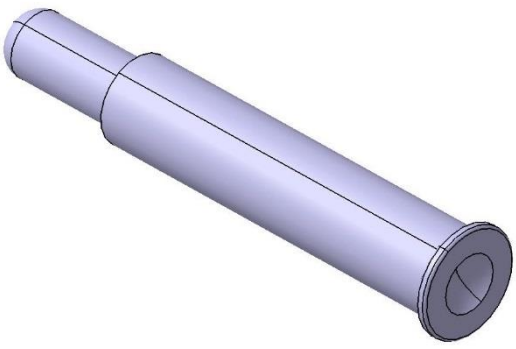
การออกแบบ Braille Pin มีความสำคัญอย่างมากในการผลิตเพื่อให้ได้คุณภาพและสามารถลดต้นทุนของ Braille Cell ได้ โดยการผลิต Pin จะต้องสามารถนำมาสร้างเป็นแม่พิมพ์ได้ง่ายและเมื่อพิมพ์เสร็จแล้วสามารถนำมาใช้

งานได้ทันทีโดยไม่ต้องตกแต่งชิ้นงานที่ใช้เวลานาน รูปที่ 1-2 แสดงแบบ Pin ทั้ง 4 ขนาดที่ใช้สำหรับการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ



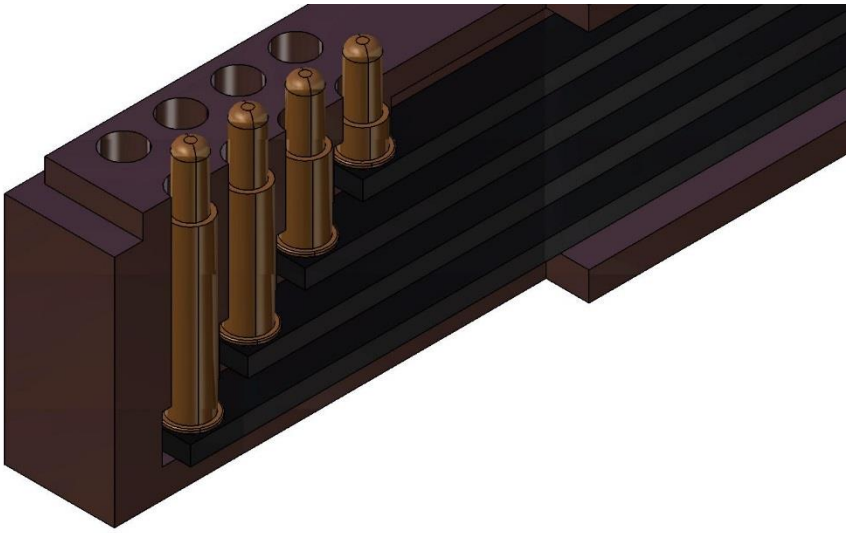
รูปที่ 1-2 แบบ CAD สำหรับพิมพ์ Braille Pin

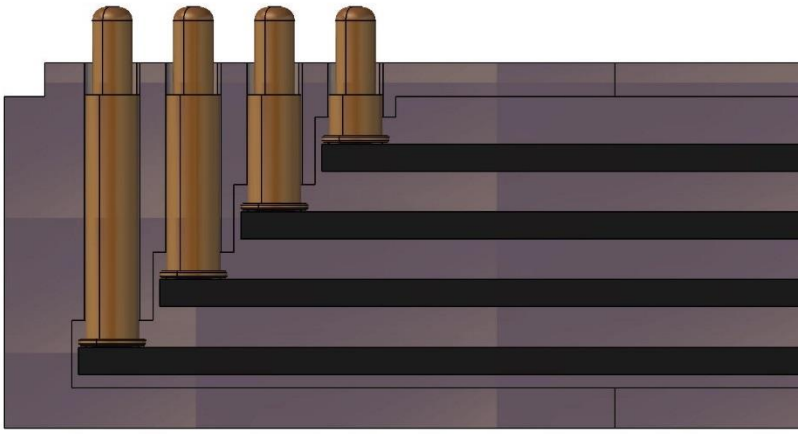
รูปที่ 1-3 แสดงภาพ CAD ของ Braille Pin สำหรับนำไปออกแบบแม่พิมพ์และพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ รูปที่ 1-4 แสดงการวาง Braill Pin บนแผ่น Piezoelectric รูปที่ 1-5 แสดงการออกแบบ Brille Pin แผ่น Piezoelectric และ Cell Frame สำหรับยึด Pin กับแผ่น Piezo เข้าด้วยกัน

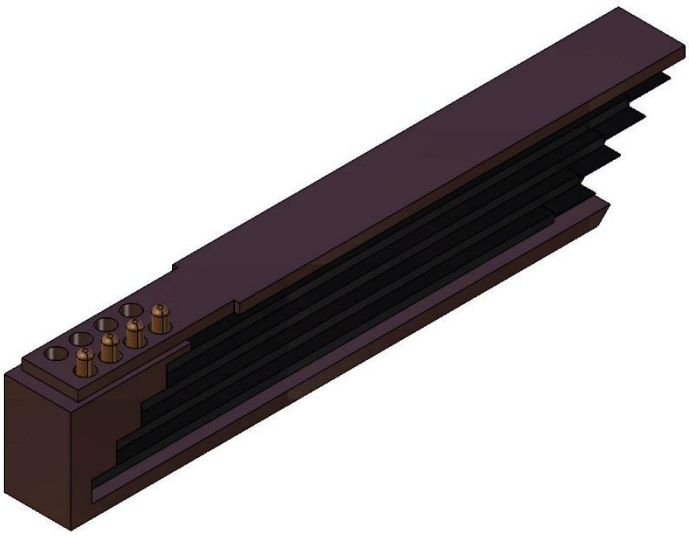


รูปที่ 1-3 CAD ของ Braille Pin สำหรับการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

รูปที่ 1-4 การวาง Braille Pin บนแผ่น Piezoelectric







รูปที่ 1-5 การออกแบบ Braille Pin กับแผ่น Piezoelectric กับ Cell Frame

1.1.2 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ (3D Printer)

ในการสร้าง Braille Pin มีความละเอียดมาก ซึ่งการออกแบบแม่พิมพ์จะต้องออกแบบให้การฉีดพลาสติกได้รูปทรงตามที่ต้องการและไม่มีขอบเหลือจากการฉีดเพื่อให้ไม่จำเป็นต้องมาตกแต่งชิ้นงานอีกหลังการฉีดซึ่งนั่นหมายถึงต้นทุนค่าแรงที่สูงขึ้น แต่การออกแบบแม่พิมพ์โดยที่ยังไม่มีตัวต้นแบบจริงจึงทำได้ยากและอาจเสียค่าใช้จ่ายสูง เราจึงทดสอบการสร้างแบบ Braille Pin ด้วยเครื่องพิมพ์ ๓ มิติแบบที่ใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ ที่สามารถแบ่งออกเป็น ๒ ประเภทหลักคือ ประเภทที่ใช้วัสดุเป็นของแข็ง เช่น วัสดุผงหรือแท่ง และประเภทที่ใช้วัสดุเป็นของเหลว เช่น เรซิน และวิธีการสร้างชิ้นงาน สามารถแสดงตารางเปรียบเทียบเครื่องพิมพ์ ๓ มิติ ได้ดังตารางที่ 1-1 ซึ่งในโครงการมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องพิมพ์ ๓ มิติมากกว่า ๑ เครื่องที่ใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกันเพื่อการพัฒนาชิ้นงานที่แตกต่างกัน เช่น ชิ้นงานใหญ่แต่ผิวงานไม่ละเอียด ใช้เครื่องแบบ FDM หรือชิ้นงานขนาดใหญ่และใช้ผิวละเอียด ใช้เครื่องแบบ SLM หรือชิ้นงานขนาดเล็กและใช้ผิวละเอียด ใช้เครื่องแบบ SLA เป็นต้น ซึ่งทีมวิจัยได้มีการศึกษาการใช้เครื่องประเภทต่าง ๆ และความเหมาะสมและความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ในการพัฒนาชิ้นงานต้นแบบเพื่อนำไปสู่การพัฒนาแม่พิมพ์ รวมถึงการนำเครื่องพิมพ์มาใช้ในการพัฒนาเครื่องต้นแบบจำนวน ๓๐ เครื่องตามเป้าหมายของโครงการ

ตารางที่ 1-1 ชนิดของเครื่องพิมพ์ ๓ มิติ วิธีการพิมพ์ และวัสดุที่ใช้[1]

Type	Technologies	Materials
Extrusion	Fused deposition modeling (FDM) or Fused filament fabrication (FFF)	Thermoplastics, eutectic metals, edible materials, Rubbers, Modeling

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing#General_principles

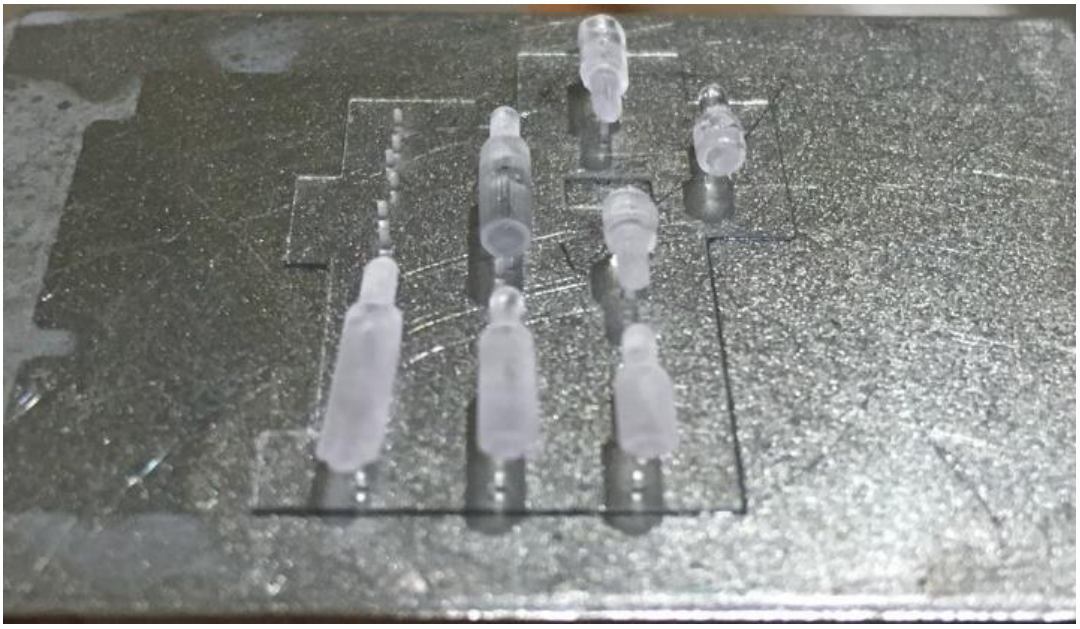
		clay, Plasticine, Metal clay (including Precious Metal Clay)
	Robocasting or Direct Ink Writing (DIW)	Ceramic materials, Metal alloy, cermet, metal matrix composite, ceramic matrix composite
Light polymerized	Stereolithography (SLA)	Photopolymer
	Digital Light Processing (DLP)	Photopolymer
Powder Bed	Powder bed and inkjet head 3D printing (3DP)	Almost any metal alloy, powdered polymers, Plaster
	Electron-beam melting (EBM)	Almost any metal alloy including Titanium alloys
	Selective laser melting (SLM)	Titanium alloys, Cobalt Chrome alloys, Stainless Steel, Aluminum
	Selective heat sintering (SHS)	Thermoplastic powder
	Selective laser sintering (SLS)	Thermoplastics, metal powders, ceramic powders
	Direct metal laser sintering (DMLS)	Almost any metal alloy
Laminated	Laminated object manufacturing (LOM)	Paper, metal foil, plastic film
Powder Fed	Directed Energy Deposition	Almost any metal alloy
Wire	Electron beam freeform fabrication (EBF3)	Almost any metal alloy

1.1.3 ผลการพิมพ์ตัวอย่างด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

การพิมพ์ Braille Pin เป็นงานที่ต้องงานพิมพ์ที่มีผิวละเอียด มีความละเอียดสูงในระดับที่น้อยกว่า 50 ไมครอม แต่ไม่ต้องการงานพิมพ์ที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการพิมพ์ลักษณะนี้คือ เทคโนโลยี Light polymerized และใช้กับวัสดุประเภทของเหลว เช่น เรซิน ที่เป็น Photo-polymer หรือโพลิเมอร์ที่ไวต่อแสง

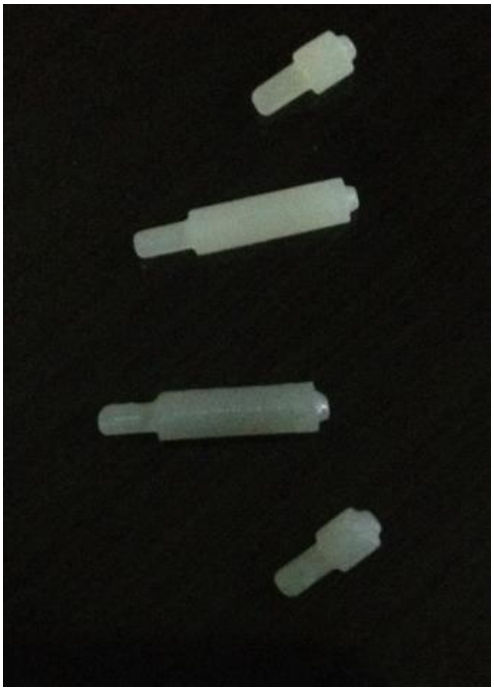
รูปที่ 1-6 แสดงตัวอย่าง Braille Pin ที่พิมพ์ด้วยเครื่องแบบ SLA ซึ่งใช้แหล่งแสง UV ในการทำให้วัสดุเรซินแข็งตัว ซึ่งความกว้างของเลเซอร์มีค่าขนาด 140 ไมครอน ซึ่งเป็นค่าความละเอียดในแนนแกน X-Y ส่วนความละเอียดในแนวแกน Z อยู่ระหว่างค่า 25-100 ไมครอน

ดังนั้นการขึ้นรูปสามารถทำแบบที่มีความละเอียดสูงได้ สามารถนำมาใช้กับการพิมพ์แบบที่ต้องการผิวละเอียดได้ แต่วิธีการพิมพ์แบบนี้จำเป็นต้องใช้แท่นพิมพ์มีการเคลื่อนที่แบบแนวตั้งและมีการเคลื่อนที่ของการ Rolling แนวนอน เพื่อให้วัสดุที่เป็นของเหลวเกิดเป็นระนาบเดียว ในบางครั้งการทำ Rolling บนผิวของเรซินอาจทำให้รูปทรงของ Pin เสียรูปได้ เช่น เกิดการคดงอบริเวณปลายที่มีความอ่อนไหวของแรงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของแท่นพิมพ์ ซึ่งจำเป็นต้องมีการออกแบบส่วน Support หลายชิ้น ซึ่งจะทำให้ต้องมีการตกแต่งหลังการพิมพ์ จึงอาจทำให้เพิ่มเวลาในการตกแต่งชิ้นส่วนเมื่อพิมพ์เสร็จแล้ว โดยเฉพาะชิ้นงานที่มีขนาดเล็กการตกแต่งจะยิ่งทำได้ยาก



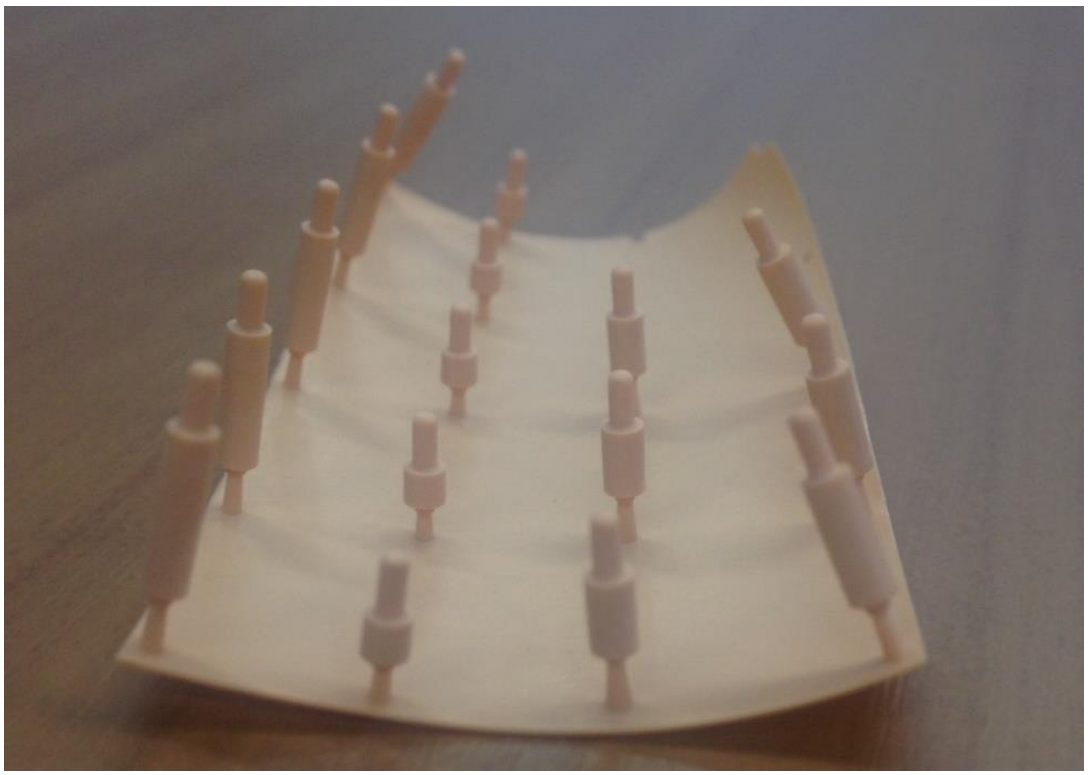
รูปที่ 1-6 ผลตัวอย่างการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติแบบ SLA (ความละเอียด 140 um)

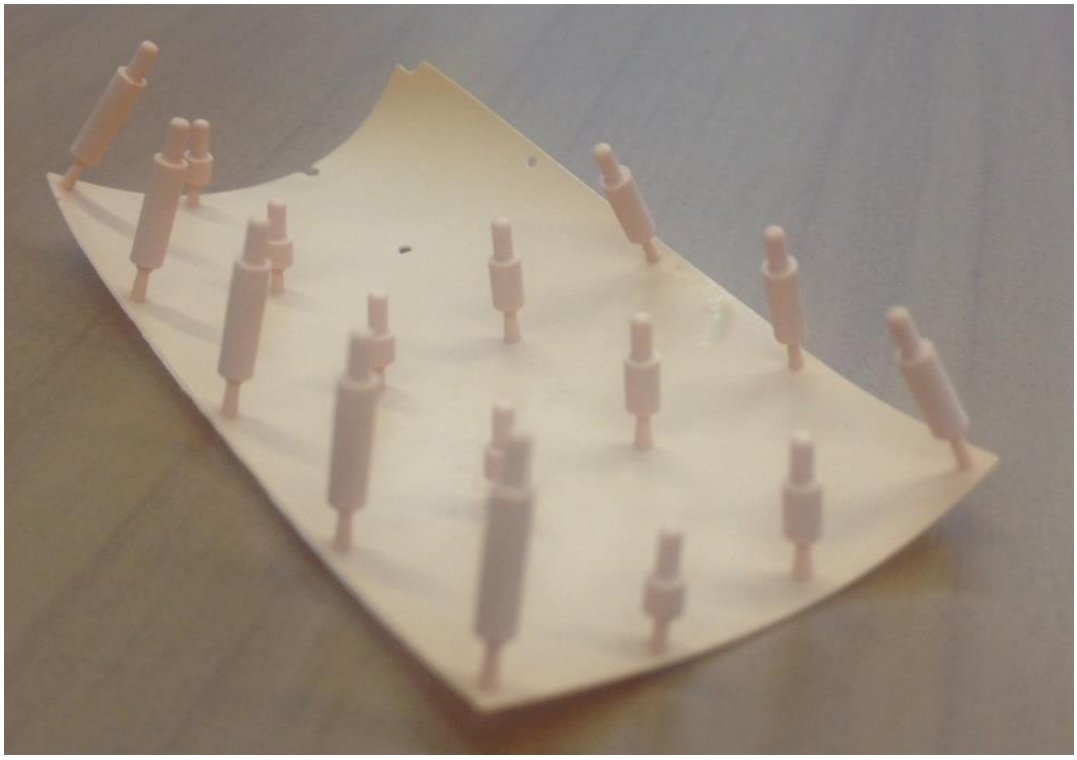
รูปที่ 1-7 แสดงตัวอย่างการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์แบบ micro-SLA ที่เป็นแบบ SLA แต่มีความละเอียดสูงกว่าแบบ SLA ธรรมดาโดยการใช้แสง UV ฉายบนเลนส์ที่บีบความกว้างของแสงให้แคบลงอีก จึงได้ความละเอียดของการขึ้นรูปในแนวแกน X-Y ที่ประมาณ 56 ไมครอน รูปชิ้นงานที่ได้จึงมีความละเอียดกว่าแบบ SLA ธรรมดา อย่างไรก็ตาม การพิมพ์เพื่อให้ชิ้นงานสามารถนำมาใช้งานได้ทันทีเมื่อพิมพ์เสร็จนั้น ส่วน Support จะต้องมีขนาดเล็กที่สุด และมีจำนวนชิ้นน้อยหรือถ้าเป็นไปได้ให้มีส่วน Support เพียงแค่ชิ้นเดียว เมื่อพิมพ์เสร็จก็สามารถดึงให้หลุดจากแผ่นพิมพ์และใช้งานได้เลย ในกรณีใช้เครื่องพิมพ์แบบ Micro-SLA ส่วน Support สามารถทำเป็นชิ้นเดียวได้ แต่ขนาดของส่วน Support ยังมีขนาดใหญ่จึงทำให้การดึงชิ้นงานออกมาจะทำให้เกิดการฉีกของชิ้นงานได้ อีกทั้งในกรณีที่ชิ้นงานมีขนาดยาวและผอม ปลายชิ้นงานอาจคดงอได้เหมือนกับการพิมพ์แบบ SLA เครื่องพิมพ์แบบ micro-SLA มีราคาแพงกว่าแบบ SLA ประมาณ 2 เท่า



รูปที่ 1-7 ผลตัวอย่างการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติแบบ micro-SLA (ความละเอียด 56 um)

รูปที่ 1-8 แสดงตัวอย่าง Braille Pin ที่พิมพ์ด้วยเครื่องแบบ DLP ซึ่งมีความละเอียดเท่ากันกับแบบ SLA แต่มีข้อดีคือไม่มีการเคลื่อนไหวของแท่นพิมพ์ในแนวราบ มีแต่แนวตั้งเท่านั้น จึงทำให้วัสดุไม่คดงอขณะที่พิมพ์ที่ปลายของ Pin และมีการออกแบบส่วน Support ส่วนเดียวที่มีขนาดเล็กมาก จึงสามารถนำ Pin มาใช้ได้เลยไม่ต้องตกแต่ง แต่เครื่องมีราคาแพงกว่าแบบ SLA ประมาณ 3 เท่า





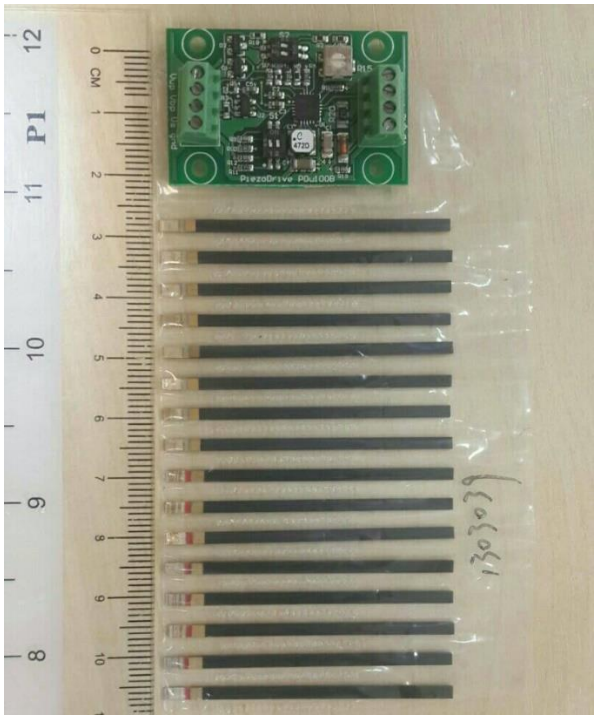
รูปที่ 1-8 ผลตัวอย่างการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติแบบ DLP (ความละเอียด 30 um)

ในส่วนของ Braille Cap และ Cell Frame ยังไม่ได้มีการพิมพ์ด้วยเครื่อง ๓ มิติเนื่องจากต้องการทดสอบ Braille Pin ซึ่งมีขนาดเล็กที่สุดและเป็นงานละเอียดที่สุดก่อนเพื่อให้ได้ก่อนจึงจะพิมพ์ส่วนประกอบที่เหลือด้วยเครื่องพิมพ์แบบ SLA

1.2 ส่วนของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์

วงจรอิเล็กทรอนิกส์บนส่วน Braille Cell ประกอบด้วยส่วน DC Drive สำหรับขยายแรงดัน 3.3V เป็นประมาณ 150-200V เพื่อทำให้แผ่น Piezoelectric งอและเกิดแรงดีดหรือแรงยกที่เพียงพอกับการสัมผัสของนิ้วของผู้อ่าน รูปที่ 1-9 แสดงแผ่นวงจร DC Drive ที่สั่งซื้อมาเพื่อทดสอบกับ แผ่น Piezoelectric ที่สั่งซื้อมาเพื่อทดสอบเช่นกัน ซึ่งผลการทดสอบคือวงจรสามารถทำให้แผ่น Piezoelectric งอได้ระยะยกตามระยะยกของ Pin ให้เหนือกว่า Cap ที่กำหนดในมาตรฐานของเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ของ National Braille Press ของประเทศสหรัฐอเมริกา[2]

[2] Noel H. Runyan, "EAP Braille Display Needs and Requirements", Center for Braille Innovation, National Braille Press (NBP)



รูปที่ 1-9 ชิ้นส่วน Piezoelectric ที่ใช้เป็นวัสดุในการประกอบและวงจร DC Drive

ส่วนแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในขณะนี้อยู่ระหว่างการทำ PCB Layout เพื่อกำหนดขนาดของแผ่นวงจรให้มีขนาดเล็กที่สุดและมีขนาดที่พอดีกับ Braille Cell ที่ออกแบบ

1.3 ส่วนของตัวเรือนอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่าง ๆ

ในส่วนของตัวเรือนอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่าง ๆ ในขณะนี้ยังไม่ได้ดำเนินการปริ้นท์ออกมาเป็น ๓ มิติเนื่องจากจะต้องรอขนาดของ Braille Cell ให้แน่นอนก่อนเพื่อจะได้หาขนาดของแป้นอักษรเบรลล์ และจะต้องทราบขนาดของแผ่นวงจรพิมพ์ก่อน จึงจะสามารถกำหนดขนาดรวมของอุปกรณ์เพื่อสั่งพิมพ์ด้วยเครื่อง ๓ มิติแบบ FDM ที่สามารถพิมพ์งานขนาดใหญ่ได้

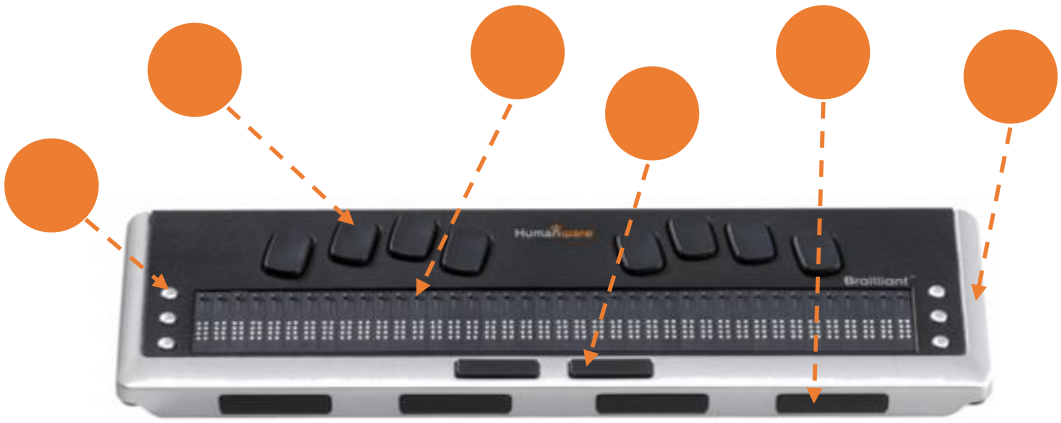
2. รายงานผลการพัฒนาวงจรอิเล็กทรอนิกส์และซอฟต์แวร์สำหรับการสื่อสารข้อมูล

2.1 เครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ (DEVICE OVERVIEW)

คีย์บอร์ดสำหรับผู้พิการทางสายตา เป็นอุปกรณ์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อตอบโจทย์ให้กับผู้ที่มีความพิการทางสายตาเพื่อให้สามารถใช้งานคอมพิวเตอร์ได้อย่างทัดเทียมกับบุคคลปกติทั่ว ๆ ไป ลักษณะของคีย์บอร์ดสำหรับผู้พิการนี้ จะคล้ายคลึงกับคีย์บอร์ดคอมพิวเตอร์ทั่ว ๆ ไป แตกต่างกันที่คีย์บอร์ดสำหรับผู้พิการนี้จะมีส่วนแสดงผลตัวอักษรเบรลล์ (Braille display) รวมอยู่ด้วย โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ผู้พิการทางสายตาสามารถทราบได้ว่าขณะนี้กำลังใช้งานซอฟต์แวร์ตัวไหน หรือกำลังพิมพ์อะไรอยู่ ผ่านทางการแสดงผลทางหน้าจออักษรเบรลล์ด้วยข้อมูลที่ส่งมาจากซอฟต์แวร์พิเศษของคีย์บอร์ด ซอฟต์แวร์นี้จะมีหน้าที่ส่งข้อมูลมาให้คีย์บอร์ด เพื่อบอกให้คีย์บอร์ดทราบว่าขณะนี้คอมพิวเตอร์อยู่ในสถานะอะไร และกำลังโฟกัสอยู่ในโปรแกรมใด และในขณะเดียวกันซอฟต์แวร์ตัวนี้ก็จะทำหน้าที่รับค่าข้อมูลปุ่มกดที่คีย์บอร์ดส่งไปให้ นำไปใช้ในการประมวลผล เพื่อสั่งให้ระบบปฏิบัติการกระทำการต่าง ๆ เช่น เรียกเมนู เปิดปิดโปรแกรม เปิดปิดปุ่ม CAPS LOCK หรือสั่งปิดคอมพิวเตอร์ได้ง่ายๆ ผ่านทางคีย์บอร์ดนั่นเอง

คีย์บอร์ดสำหรับผู้พิการทางสายตานี้ จะมีส่วนประกอบหลัก ๆ อยู่ทั้งหมด 2 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ส่วนที่เป็นหน้าจอแสดงผล **(Braille display)** ขนาด 40 ตัวอักษร และส่วนที่เป็นปุ่มคีย์บอร์ดสำหรับส่งข้อมูลเข้าไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งแบ่งเป็นหมวดหมู่ได้ดังนี้

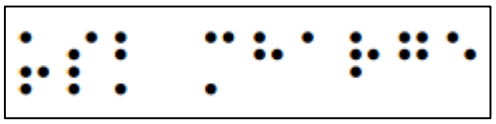
ก. ปุ่มคีย์บอร์ดหลัก ใช้สำหรับพิมพ์ตัวอักษรและสัญลักณ์ จำนวน 8 ปุ่ม
ข. ปุ่มฟังก์ชั่น ใช้สำหรับเรียกใช้ชุดคำสั่งพิเศษ จำนวน 6 ปุ่ม
ค. ปุ่มเปลี่ยนเคอร์เซอร์ ใช้สำหรับเปลี่ยนเคอร์เซอร์ขณะพิมพ์ จำนวน 40 ปุ่ม
ง. ปุ่ม Spacebar สำหรับเว้นวรรคและเรียกใช้คำสั่งลัด จำนวน 2 ปุ่ม
จ. Thumb key ใช้สำหรับเลื่อนหรือเปลี่ยนหน้าจอแสดงผล จำนวน 4 ปุ่ม
ฉ. ปุ่มเปิดเครื่อง ใช้สำหรับเปิดปิด และเปลี่ยนโหมดการทำงาน จำนวน 1 ปุ่ม



รูปที่ 2-1 รูปแบบตัวอย่างของคีย์บอร์ดสำหรับผู้พิการทางสายตา

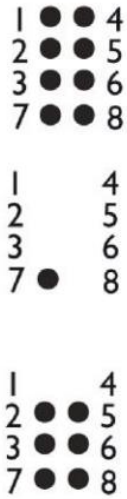
2.2 การใช้งานเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์เบื้องต้น

อักษรเบรลล์สำหรับคอมพิวเตอร์ (Braille for Computer) จัดว่าเป็นภาษาสำหรับผู้ที่พิการทางการมองเห็น ที่จะใช้สื่อสารกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางอุปกรณ์ช่วยเหลือต่างๆ ได้ อาทิเช่น คีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ ดังนั้นในหัวข้อนี้จะเป็นการอธิบายหลักการโดยภาพรวมของอักษรเบรลล์สำหรับคอมพิวเตอร์ ว่ามีลักษณะและหลักการในการอ่านและเขียนอย่างไร



รูปที่ 2-2 ตัวอักษรเบรลล์สำหรับคอมพิวเตอร์

อักษรเบรลล์สำหรับคอมพิวเตอร์นั้นจะมีรูปแบบเป็นจุดทั้งหมด 8 จุด ขนาด 4 แถวคูณ 2 หลัก ซึ่งสามารถแยกเป็นรูปแบบที่ต่างกันได้ถึง 2 ยกกำลัง 8 หรือเท่ากับ 256 ตัวอักษรเลยทีเดียว อักษรเบรลล์สำหรับคอมพิวเตอร์นี้ได้ถูกพัฒนามาจากอักษรเบรลล์แบบ 6 จุด โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดระยะเวลาในการอ่านของผู้มีความบกพร่องทางการมองเห็น ซึ่งหลักการในการอ่านจะคล้ายกัน คือจะมีเลขระบุตำแหน่งของแต่ละจุดอยู่ ดังนี้

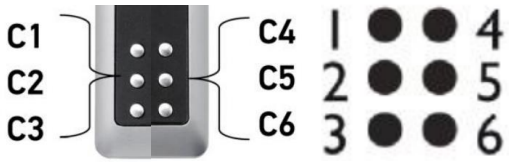


เมื่อสังเกตจากคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ในรูปด้านล่างจะเห็นได้ว่า ตัวเลขที่ระบุตำแหน่งของจุดในตัวอักษรเบรลล์ตั้งแต่เลข 1 ถึง 8 จะมีความสัมพันธ์กับปุ่มกดบนคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ หากผู้ใช้งานทราบว่าตัวอักษรหรือตัวเลขมีรูปแบบอย่างไร ผู้ใช้ก็จะสามารถทราบได้ว่าต้องกดปุ่มใดบ้างจึงจะรวมกันเป็นรูปแบบของตัวอักษรนั้น ๆ ยกตัวอย่างเช่นตัวอักษร “n” จะมีรูปแบบอักษรเบรลล์เป็น ผู้ใช้จะทราบว่าต้องกดปุ่มหมายเลข 1,3,4,5 พร้อม ๆ กัน จึงจะกลายเป็นตัวอักษร “n” นั่นเอง

รูปที่ 2-3 รูปแบบในการพิมพ์ตัวอักษร “n” ในอักษรเบรลล์

สำหรับหลักการในการใช้งานคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์นี้ ผู้ใช้จำเป็นต้องศึกษา-และจดจำรูปแบบ (Pattern) ของอักษรเบรลล์ให้ได้เสียก่อน ว่าตัวอักษรหรือตัวเลขแต่ละตัวนั้นมีรูปแบบอย่างไร จึงจะสามารถพิมพ์ออกมาเป็นตัวอักษรได้นั่นเอง

นอกจากการพิมพ์ด้วยปุ่ม 1 ถึง 8 แล้ว ในคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ยังมีปุ่มที่ใช้ในการเรียกคำสั่ง (Command Keys) อยู่ด้วย ซึ่งหลักการก็คล้ายคลึงกันกับการพิมพ์ตัวอักษรดังที่ได้กล่าวไป เพราะว่าปุ่มคำสั่งจะถูกเรียงอยู่ในรูปแบบของอักษรเบรลล์เช่นเดียวกันนั่นเอง



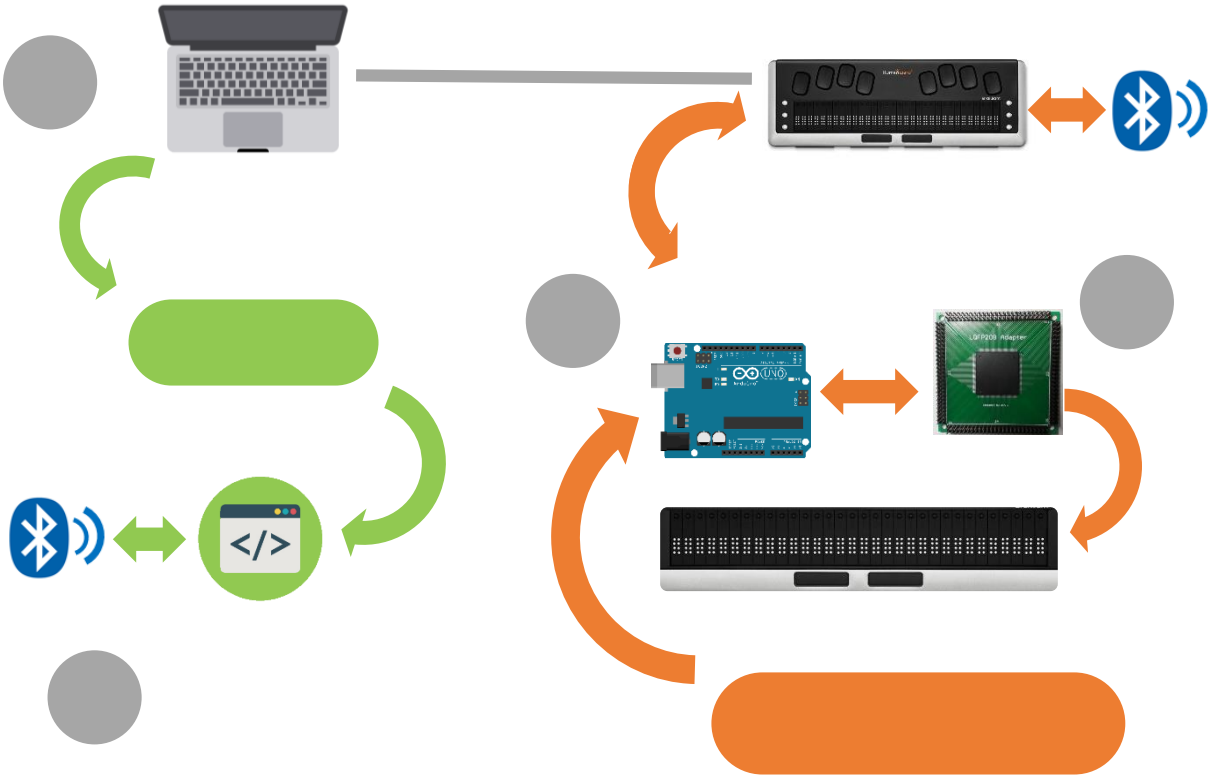
รูปที่ 2-4 รูปแบบการจัดวางปุ่มคำสั่งในรูปแบบเดียวกับอักษรเบรลล์แบบ 6 จุด

2.3 การเชื่อมต่อข้อมูล (Connectivity)

การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์มีอยู่ด้วยกัน 2 วิธีหลัก ๆ ได้แก่เชื่อมต่อแบบมีสายผ่านพอร์ต USB และการเชื่อมต่อแบบไร้สายผ่านทาง Bluetooth 2.0 ซึ่งทั้งสองวิธีจะใช้การรับส่งข้อมูลแบบ RS-232 Serial Communication ซึ่งดูได้จากรูปด้านล่าง

รูปที่ 2-5 รูปแบบการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์

คอมพิวเตอร์ที่จะทำการเชื่อมต่อกับคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ จะต้องทำการลงDriver ของคีย์บอร์ด และจำเป็นต้องมีซอฟต์แวร์ในการรับข้อมูลจากคีย์บอร์ดที่ส่งไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อให้คอมพิวเตอร์รับรู้ว่าคำสั่งหรือตัวอักษรใด ๆ ที่คีย์บอร์ดส่งไปหา PC นั้นคืออะไร ในขณะเดียวกันในคีย์บอร์ดก็จะมีส่วนประมวลผลที่เรียกว่า “ไมโครคอนโทรลเลอร์” ซึ่งมีหน้าที่ประมวลผลข้อมูลที่ซอฟต์แวร์ในคอมพิวเตอร์ส่งมายังคีย์บอร์ด เพื่อให้คีย์บอร์ดรับรู้ว่าในขณะนี้ คอมพิวเตอร์กำลังใช้งานโปรแกรมอะไรอยู่ แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำการเปลี่ยนชุดรหัสข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ ให้อยู่ในรูปของตัวอักษรอักษรเบรลล์ ส่งขึ้นไปแสดงผลบนหน้าจอแสดงผล (Braille display) เพื่อให้ผู้พิการทางสายตาที่กำลังใช้งานคีย์บอร์ดนี้ได้ทราบว่ากำลังทำอะไรอยู่ที่ไหนนั่นเอง ซึ่งรายละเอียดสามารถดูได้จากแผนภาพด้านล่าง



รูปที่ 2-6 แผนภาพแสดงการสื่อสารระหว่างคีย์บอร์ดและคอมพิวเตอร์

จากภาพที่ 10 ที่แสดงให้เห็นถึงการสื่อสารระหว่างคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์และคอมพิวเตอร์จะมีอยู่ 4 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้

A. ส่วนการส่งข้อมูลระหว่างซอฟต์แวร์และคอมพิวเตอร์ ในส่วนนี้โปรแกรมในเครื่องคอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่อ่านข้อมูลสถานะปัจจุบันของคอมพิวเตอร์ แล้วทำการประมวลผลข้อมูลนั้นให้ออกมาเป็นข้อความที่พร้อมจะทำการส่งให้กับคีย์บอร์ดผ่านทางการเชื่อมต่อทั้ง 2 รูปแบบ

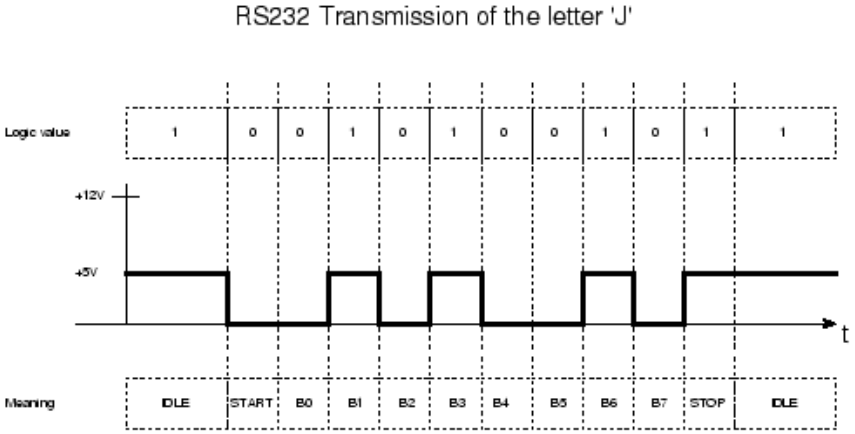
B. ส่วนการรับและส่งข้อมูลระหว่างซอฟแวร์และคีย์บอร์ด ในส่วนนี้โปรแกรมจะส่งข้อมูลสถานะปัจจุบันของคอมพิวเตอร์ที่ประมวลผลเรียบร้อยแล้วไปยังคีย์บอร์ดผ่านทางการเชื่อมต่อ Bluetooth หรือ USB และในเวลาเดียวกันซอฟต์แวร์ก็จะรอรับข้อมูลการกดปุ่มจากคีย์บอร์ดด้วย เพื่อนำมาประมวลผลแล้วแปลงเป็นตัวอักษรหรือคำสั่งในคอมพิวเตอร์

C. หน่วยประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยหลัก ๆ จะทำหน้าที่อยู่ 2 อย่าง อย่างแรกได้แก่ ประมวลผลและส่งผ่านข้อมูลที่รับมาจากซอฟต์แวร์ไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์อีกตัว (LPC2468) เพื่อนำไปแสดงผลในหน้าจอแสดงผลอักษรเบรลล์ต่อไป อีกส่วนหนึ่งทำหน้าที่รับข้อมูลจากการกดปุ่มบนคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ นำมาประมวลผลแล้วส่งผ่านข้อมูลนี้ไปยังซอฟต์แวร์ผ่านทางการเชื่อมต่อ Bluetooth หรือ USB นั่นเอง

D. หน่วยประมวลผลสำหรับการถอดรหัสข้อมูล ในส่วนนี้มีหน้าที่รับข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลแล้วจากไมโครคอนโทรลเลอร์ มาทำการถอดรหัสข้อมูล เพื่อทำการควบคุมรูปแบบทั้งหมดของหน้าจอแสดงผลอักษรเบรลล์ ให้สามารถแสดงผลข้อความหรือตัวอักษรที่ได้รับมาจากคอมพิวเตอร์ได้นั่นเอง

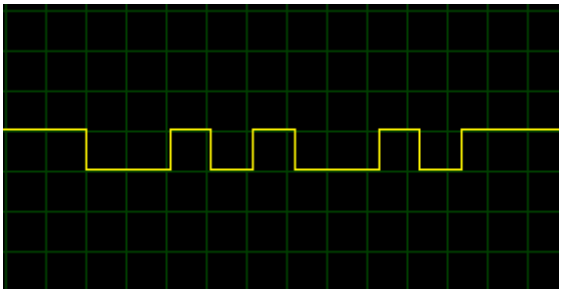
หน้าที่ของ LPC2468 นั้นมีไว้สำหรับควบคุมหน้าจอแสดงผลตัวอักษรเบรลล์ทั้งหมด 40 ตัว โดยใช้หลักการรับส่งข้อมูลแบบ RS-232 ซึ่งมีรายละเอียดและลักษณะการทำงานดังนี้

การส่งข้อมูลผ่านพอร์ท RS232 นั้นจะเป็นการส่งข้อมูลในรูปแบบของรหัสแอสกี้ (ASCII Code) ฐาน 2 หรือก็คือข้อมูลที่ส่งนั้นจะอยู่ในรูปของสัญญาณ 0 และ 1 จำนวน 8 ตัว นั่นเอง ในสภาวะปรกตินั้น จะมีการส่งสัญญาณเอาท์พุทเป็น 1 หรือ HIGH อยู่ตลอดเวลา เมื่อมีการส่งข้อมูลจะเริ่มต้นจากการส่งสัญญาณ 0 เป็นจำนวน 1 bit เพื่อบอกว่ากำลังจะเริ่มส่งข้อมูลแล้ว หลังจากนั้นก็จะทำการส่งข้อมูลออกไปเป็นจำนวน 8 bit แล้วจึงหยุดการส่งข้อมูลด้วยการส่งสัญญาณที่เป็น 1 อีกครั้ง



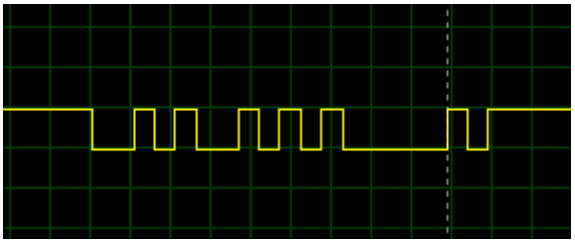
รูปที่ 2-7 ลักษณะของสัญญาณเมื่อส่งข้อมูลตัวอักษร “J”

เมื่อได้ทดลองส่งข้อมูลตัวอักษร “J” จาก Arduino ไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วใช้ Oscilloscope ตรวจดูสัญญาณที่ออกมาจากขา TX (ขาส่งข้อมูล) ผลลัพท์ได้ดังภาพด้านล่าง



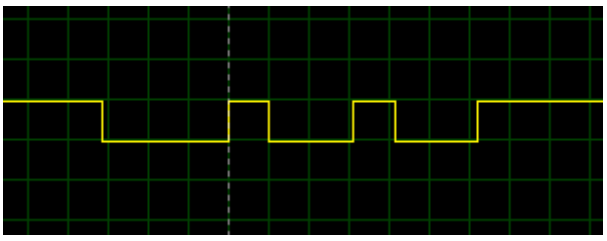
รูปที่ 2-8 ลักษณะของสัญญาณเมื่อส่งข้อมูลตัวอักษร “J”

จากภาพที่ 12 เป็นการส่งข้อมูล “J” ด้วยคำสั่งจากบอร์ด Arduino โดยสัญญาณที่ส่งมาจะเป็น “10 01010010 1” สัญญาณ “10” ในส่วนแรกจะเป็นสัญญาณเพื่อบอกว่ากำลังจะเริ่มส่งข้อมูลแล้ว หลังจากนั้นเป็นจำนวน 8 bit จะนำมาเรียงใหม่จากหลังมาหน้าเป็น “01001010” หรือก็คือ ASCII Code ของตัวอักษร “J” และจึงส่งสัญญาณเป็น “1” อีกครั้งเพื่อหยุดส่งข้อมูล



รูปที่ 2-9 ลักษณะของสัญญาณเมื่อส่งข้อมูลตัวอักษร “JA”

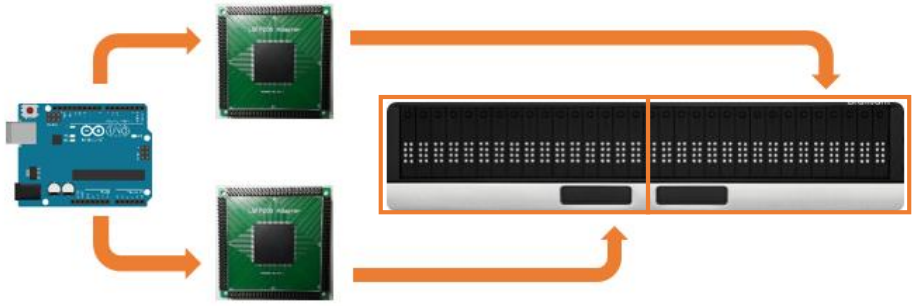
ในภาพที่ 13 เป็นการส่งข้อมูล “JA” มาจากบอร์ด Arduino โดยจะได้สัญญาณมาเป็น “10 01010010 10 10000010 1” ซึ่งก็หมายถึงได้มีการส่งสัญญาณ 8 bit แรกมาเป็น “01001010” หรือก็คือตัว “J” และก็ส่งสัญญาณ HIGH มาอีก 1 bit เพื่อจบการส่งข้อมูล และทำการส่งข้อมูลตัวต่อไปในทันที ซึ่งก็คือ “01000001” หรือก็คือ ASCII Code ของตัวอักษร “A”



รูปที่ 2-10 ลักษณะของสัญญาณข้อมูลที่สามารถควบคุมได้โดยไมโครฯ

จากการศึกษาการส่งข้อมูลผ่านพอร์ท RS-232 นี้ ทำให้เราสามารถที่จะควบคุมการส่งสัญญาณของบอร์ด Arduino ให้มีลักษณะของคลื่นสัญญาณให้ได้ตามที่เราต้องการ ด้วยการสั่งข้อมูลเอาท์พุทในรูปแบบของ Byte เช่น “B00100100” สัญญาณที่ได้มาจะอยู่ในรูป “10 00100100 1” ซึ่งข้อมูลที่ได้รับมาก็คือ “00100100” ตามข้อมูลที่ส่งออกไปนั่นเอง

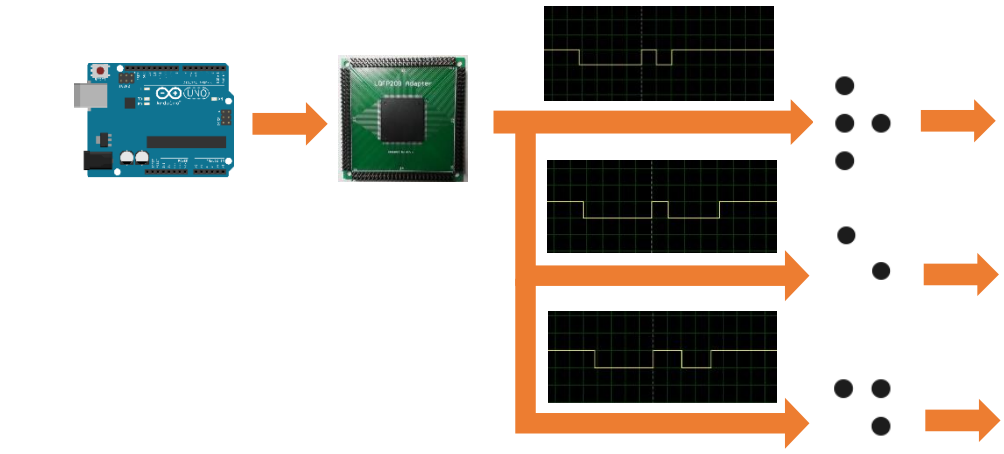
การควบคุมสัญญาณของข้อมูลเอาต์พุตนี้จะถูกสั่งการโดยบอร์ด Arduino และส่งผ่านข้อมูลต่อไปยัง LPC2468 เพื่อนำข้อมูลที่ได้รับมาควบคุมหน้าจอแสดงผลอักษรเบรลล์ทั้ง 40 ตัวอักษร ให้เป็นไปตามรูปแบบที่ต้องการ และเนื่องจาก LPC2468 นี้มี I/O ทั้งหมด 160 ช่องต่อหนึ่งบอร์ด (320 ช่องสำหรับสองบอร์ด) ทำให้สามารถควบคุมจุดที่ใช้แสดงผลอักษรเบรลล์ได้ทั้งหมด 320 จุดได้ทั้งหมด



รูปที่ 2-11 การควบคุมหน้าจอแสดงผลผ่านทาง **LPC2468** (แบ่งครึ่งควบคุม)

การใช้ LPC2468 เข้ามาควบคุมหน้าจอแสดงผลอักษรเบรลล์นี้ มีจุดประสงค์เพื่อที่จะขยายพอร์ต I/O ที่มีไม่เพียงพอของบอร์ด Arduino ซึ่งมีเพียง 54 พอร์ต ในขณะที่ LPC2468 ใช้การติดต่อสื่อสารแบบ RS-232 ซึ่งใช้พอร์ตบนบอร์ด Arduino เพียงแค่ 2 พอร์ต ก็สามารถที่จะควบคุม I/O ได้เพิ่มขึ้นถึง 160 พอร์ต

ลักษณะในการส่งข้อมูล RS-232 ระหว่างบอร์ด Arduino และ LPC2468 นั้นจะอยู่ในรูปแบบ AT Command ที่มีลักษณะการส่งเป็นข้อมูลจำนวน 10 byte ตามด้วย “/0d/0a” ซึ่งข้อมูลนี้จะบ่งบอกถึงสถานะของจุดแต่ละจุดของหน้าจอแสดงผลตัวอักษรเบรลล์ทั้งหมดโดยการส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ยกตัวอย่างเช่น {0101010010101010101/0d/0a} ก็จะเป็นการควบคุม bit ของจุดแต่ละจุดตามค่าสถานะ “0” และ “1” ของข้อมูลที่ส่งไป ให้อยู่ในรูปแบบของตัวอักษรเบรลล์ที่ต้องการ



รูปที่ 2-12 การควบคุมการแสดงผลอย่างต่อเนื่องด้วย **LPC2468**

2.4 โปรแกรม Braille Display Reader (เวอร์ชั่นทดสอบ)

โปรแกรม Braille Display Reader พัฒนาขึ้นเพื่อรองรับภาษาไทย เป็นโปรแกรมส่วนต่อขยายกับโปรแกรม Screen Reader NVDA (Add on) การทำงานของโปรแกรมเปรียบเสมือน Dictionary แปลงภาษาทั่วไปให้เป็นอักษรเบรลล์ โดยเฉพาะอักษรเบรลล์ภาษาไทย

2.4.1 การแปลงตัวอักษรเบรลล์เป็นรหัส Unicode

ตัวอักษรเบรลล์เป็นการแสดงตำแหน่งของจุดต่าง ๆ ในรูปแบบจุด 8 จุด ซึ่งในทางคอมพิวเตอร์ตัวอักษรเบรลล์ดังกล่าวจะต้องถูกเข้ารหัสตัวอักษร หรือ Character Encoding เพื่อให้ตัวอักษรที่เข้ารหัสแล้วมีความเป็นมาตรฐานและสามารถใช้สื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับโปรแกรมต่าง ๆ รวมถึงการสื่อสารกับเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ ซึ่งรหัสตัวอักษรที่เป็นมาตรฐานที่ยอมรับคือรหัส Unicode ตารางที่ 2-1 แสดงวิธีการแปลงจากสัญญลักษณ์อักษรเบรลล์เป็นรหัส Unicode

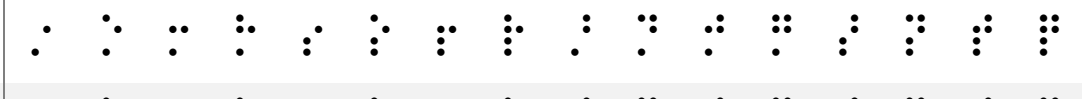
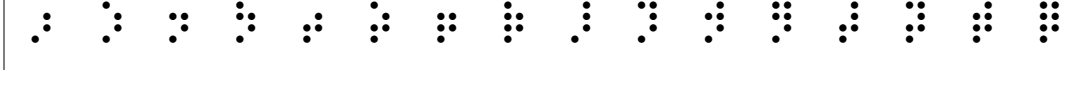
ตารางที่ 2-1 ค่าตัวอักษร Unicode สำหรับอักษรเบรลล์

Braille symbol	⠁	⠇	⣿
Unicode character	U+2813	U+28C7	U+28FF
Name	BRAILLE PATTERN DOTS-125	BRAILLE PATTERN DOTS-12378	BRAILLE PATTERN DOTS-12345678
Dot numbers available	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8
Dot raised=1	1 1 0 0 1 0 0 0	1 1 1 0 0 0 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1
Binary value (by reversing order)	$0\,0\,0\,1\,0\,0\,1\,1_2$	$1\,1\,0\,0\,0\,1\,1\,1_2$	$1\,1\,1\,1\,1\,1\,1\,1_2$
Hex value of dots	$10+2+1_{16}$	$80+40+4+2+1_{16}$	$80+40+20+10+8+4+2+1_{16}$
Total hexadecimal value	13_{16}	$C7_{16}$	FF_{16}
Into block, offset $U+2800_{16}$	$2800_{16}+13_{16}=U+2813$	$2800_{16}+C7_{16}=U+28C7$	$2800_{16}+FF_{16}=U+28FF$

ซึ่งค่า Unicode ที่แปลงจากสัญลักษณ์อักษรเบรลล์แล้วจะมีค่า Unicode ที่ระหว่าง U2800 – U287F ตารางที่ 2-2 แสดงรหัส Unicode สำหรับอักษรเบรลล์จำนวน 255 ตัวอักษร

ตารางที่ 2-2 รหัส Unicode สำหรับ Braille Pattern

CODE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
U280X	⠀	⠁	⠂	⠃	⠄	⠅	⠆	⠇	⠈	⠉	⠊	⠋	⠌	⠍	⠎	⠏
U281X	⠐	⠑	⠒	⠓	⠔	⠕	⠖	⠗	⠘	⠙	⠚	⠛	⠜	⠝	⠞	⠟
U282X	⠠	⠡	⠢	⠣	⠤	⠥	⠦	⠧	⠨	⠩	⠪	⠫	⠬	⠭	⠮	⠯
U283X	⠰	⠱	⠲	⠳	⠴	⠵	⠶	⠷	⠸	⠹	⠺	⠻	⠼	⠽	⠾	⠿

U284X																
U285X																
U286X																
U287X																

ดังนั้นการแปลงตัวอักษรภาษาใด ๆ ก็ตามที่ใช้รหัส Unicode ก็สามารถแปลงเป็นภาษาที่ใช้อักษรเบรลล์ได้ ตัวอย่างเช่น การแปลงภาษาอังกฤษเป็นอักษรเบรลล์ ดังแสดงการแปลงอักษรในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 รหัส Unicode สำหรับตัวอักษรภาษาอังกฤษเทียบกับอักษรเบรลล์

CODE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
U002X		!	#	$	%	&	'	(	)	*	+	,	-	.	/	
U003X	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	:	;	<	=	>	?
U004X	@	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
U005X	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	[	\	]	^	_
U006X	`	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
U007X	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z	{			}	~

ในกรณีของภาษาไทยก็เช่นกัน เราสามารถแปลงตัวอักษรในภาษาไทยที่เป็นรหัส Unicode ให้เป็นตัวอักษรในอักษรเบรลล์ได้เช่นกัน ตารางที่ 2-4 แสดงการแปลงตัวอักษร สระ และวรรณยุกต์ต่าง ๆ ในภาษาไทยให้เป็นตัวอักษรเบรลล์

ตารางที่ 2-4 รหัส Unicode สำหรับตัวอักษรภาษาไทยเทียบกับอักษรเบรลล์

CODE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
U0E0X		ก	ข	ฃ	ค	ฅ	ฆ	ง	จ	ฉ	ช	ซ	ฌ	ญ	ฎ	ฏ
		⠫	⠐	⠭	⠢	⠸	⠴	⠻	⠩	⠄	⠬	⠡	⠈	⠒	⠺	⠵
U0E1X	ฐ	ฑ	ฒ	ณ	ด	ต	ถ	ท	ธ	น	บ	ป	ผ	ฝ	พ	ฟ
	⠯	⠽	⠆	⠛	⠔	⠞	⠎	⠗	⠊	⠝	⠃	⠏	⠋	⠧	⠹	⠇
U0E2X	ภ	ม	ย	ร	ฤ	ล	ฦ	ว	ศ	ษ	ส	ห	ฬ	อ	ฮ	ฯ
	⠷	⠍	⠽	⠗	⠚	⠇	⠜	⠧	⠩	⠱	⠎	⠓	⠫	⠕	⠣	
U0E3X	ะ	ั	า	ำ	ิ	ี	ึ	ื	ุ	ู	ฺ					฿
	⠮	⠤	⠁	⠌	⠊	⠒	⠬	⠡	⠥	⠳						
U0E4X	เ	แ	โ	ใ	ไ	ๅ	ๆ	็	่	้	๊	๋	์	๎	๏	๚
	⠪	⠣	⠕	⠔	⠢	⠖	⠆	⠂	⠄	⠪	⠭	⠬	⠤			
U0E5X	๐	๑	๒	๓	๔	๕	๖	๗	๘	๙	๛	๜				
	⠴	⠂	⠆	⠒	⠲	⠢	⠖	⠶	⠦	⠔						

2.4.2 โปรโตคอลสื่อสารระหว่างโปรแกรมและเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์

เครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์เป็นอุปกรณ์ที่ต่อภายนอกเครื่องคอมพิวเตอร์ สมาร์ทโฟน หรือแท็บเล็ตที่สามารถเชื่อมต่อกันด้ายสายสัญญาณข้อมูลเช่น สาย Serial หรือ สาย USB เป็นต้น หรือในกรณีที่ไม่ใช้สายแต่ใช้สัญญาณคลื่นวิทยุในการเชื่อมต่อ เช่น Bluetooth หรือ Wi-Fi เป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้การสื่อสารข้อมูลระหว่างโปรแกรมสำหรับการเข้ารหัส Unicode และแปลงรหัส Unicode ของภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ เป็นรหัส Unicode อักษรเบรลล์ กับเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ที่รับรหัส Unicode อักษรเบรลล์เพื่อนำข้อมูลไปแปลงเป็นการแสดงตำแหน่งจุดบนเครื่อง รูปแบบของข้อมูล (Format) สำหรับการสื่อสารข้อมูลระหว่างโปรแกรมกับเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์แสดงในตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 รูปแบบข้อมูลสำหรับการสื่อสารระหว่างโปรแกรมกับเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์

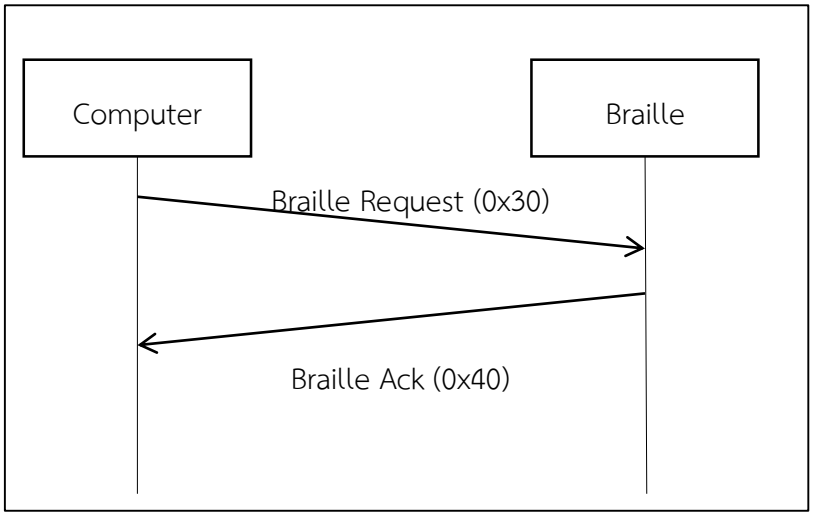
Start (1 byte)	0x7E	Start Protocol
Length (1 byte)	0x03	Length = 3
Command (1 byte)	0x30	Data Transfer
Payload (n bytes)	0x01 ...	40 cell

Check sum (1 byte)	0xFF	Checksum

ค่า Start Byte มีค่าเท่ากับ 0x7E เสมอ จากนั้นตามด้วยความยาวของเฟรมซึ่งขนาดของเฟรมมีความยาวไม่เกิน 255 byte จากนั้นตามด้วยคำสั่ง (Command) สำหรับการควบคุมการรับส่งข้อมูล ตารางที่ 2-6 แสดงคำสั่งต่าง ๆ สำหรับในควบคุมการทำงาน เช่น 0x10 หมายถึงการสื่อสารเป็นการตั้งค่าเครื่อง (Configuration) หรือกรณีที่มีความต้องการส่งข้อมูล อุปกรณ์หรือคอมพิวเตอร์จะส่งคำสั่ง 0x30 เพื่อร้องขอการส่งข้อมูล และเมื่อคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์พร้อมจะรับข้อมูลก็จะส่ง 0x40 เพื่อตอบรับทราบ (Acknowledgment) รูปที่ 2-13 แสดงตัวอย่างการรับส่งข้อความหรือเฟรมเพื่อการร้องของการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์

ตารางที่ 2-6 รหัสคำสั่งสำหรับการสื่อสารข้อมูล

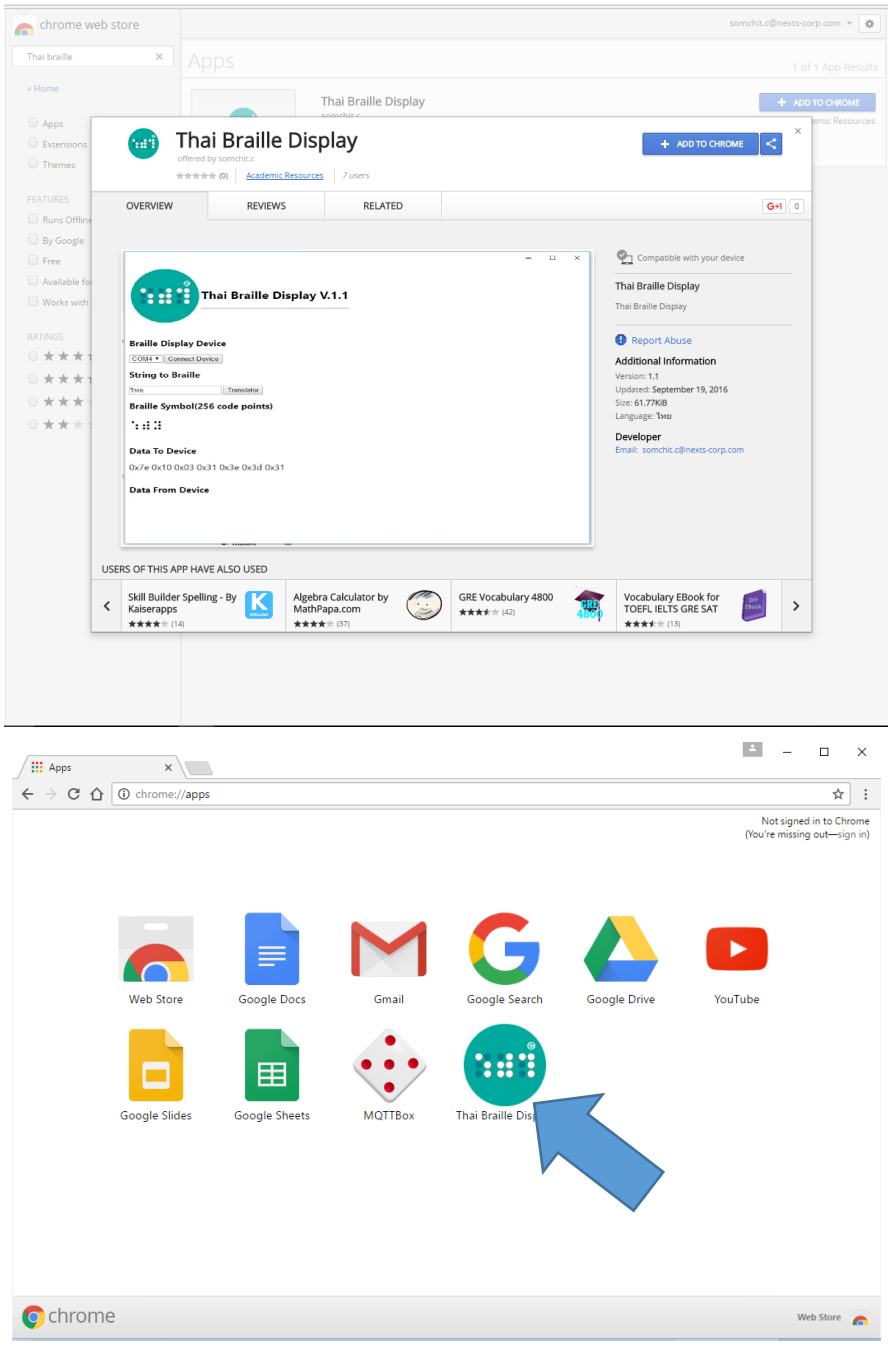
Command	Description
0x10	Configuration
0x20	Data Transfer
0x30	Event/Request
0x40	Acknowledgment



รูปที่ 2-13 ตัวอย่างการร้องขอการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์

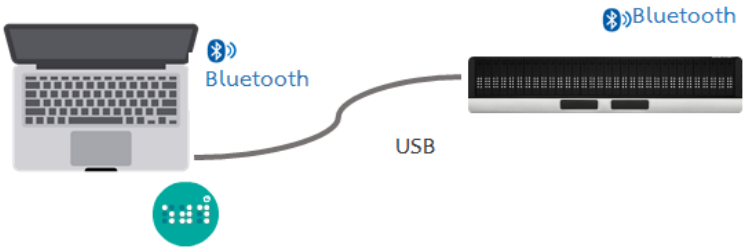
2.4.3 ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม

การติดตั้งโปรแกรมผู้ใช้งานสามารถเข้าไปดาว์โหลดเพื่อติดตั้งได้ที่เว็บไซต์ https://chrome.google.com/webstore/category/apps และค้นหาด้วยคำว่า “Thai Braille Display” แสดงดังรูปที่ 2-14



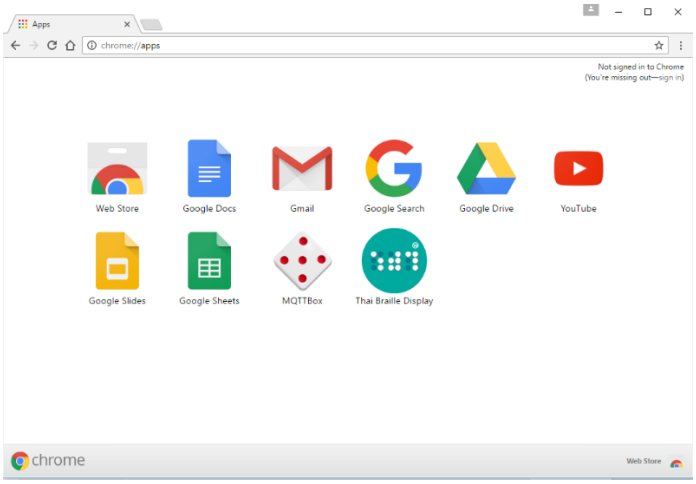
รูปที่ 2-14 โปรแกรม Thai Braille Display

การใช้งานโปรแกรม โปรแกรมสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ Braille Display Device ผ่านทางสาย USB หรือผ่านทาง Bluetooth แสดงลักษณะการเชื่อมต่อโปรแกรมดังรูปที่ 2-15

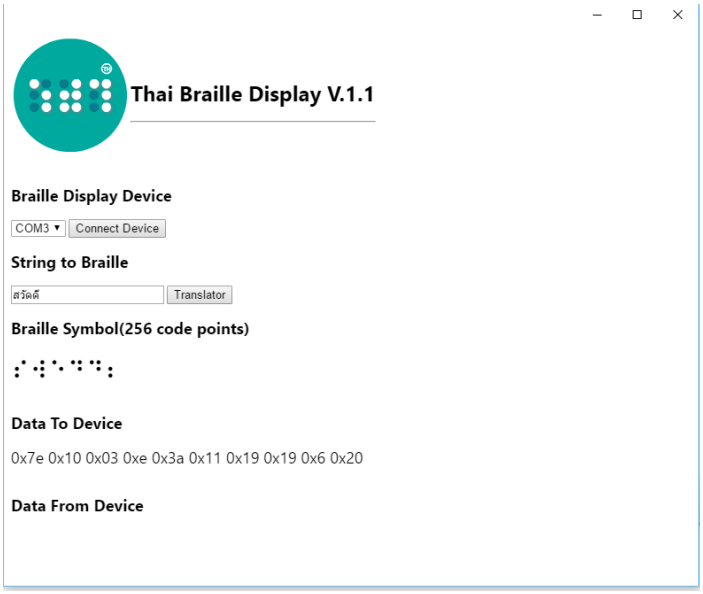


รูปที่ 2-15 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์

1) เปิดโปรแกรม Thai Braille Display



2) เชื่อมต่อไปยัง Braille Display Device และทดสอบพิมพ์ข้อความ โปรแกรมจะส่งข้อความไปแสดงที่อุปกรณ์พร้อมทั้งแสดง Braille Pattern ในหน้าจอ

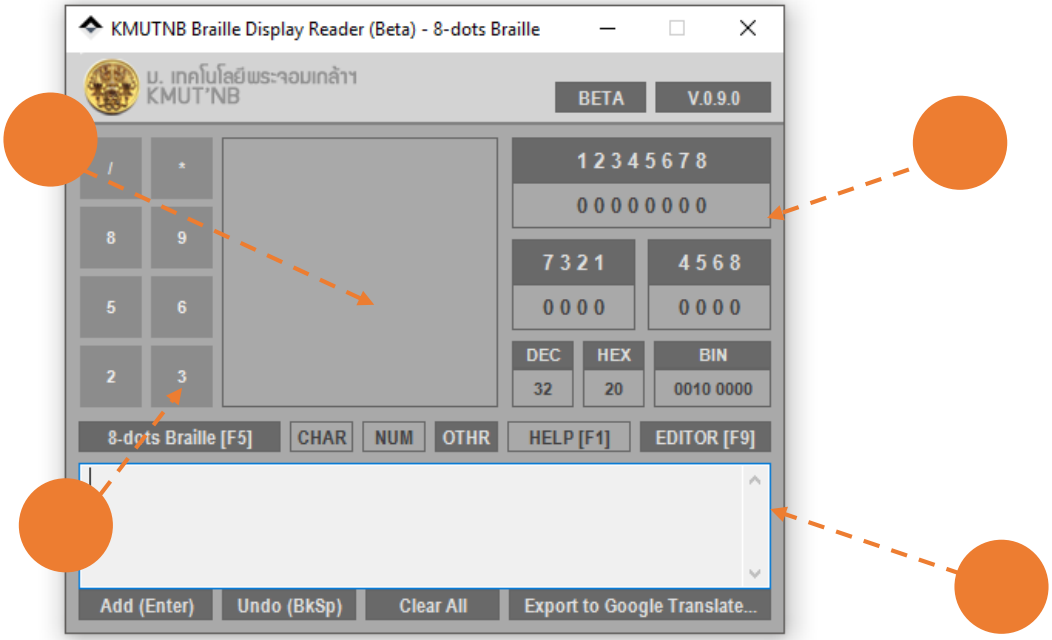


2.5 โปรแกรม Braille Display Tester

สำหรับบุคคลที่มีสายตาเป็นปกติ และไม่ได้ใช้งานอักษรเบรลล์ในชีวิตประจำวัน โปรแกรมนี้จะเปรียบเสมือนดิกชั่นนารี่อักษรเบรลล์ ทำหน้าที่แปลตัวอักษรเบรลล์ให้เป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษหรือตัวเลขที่คนทั่วไปอ่านได้ง่าย ทำให้ผู้ใช้งานสะดวกต่อการเข้าใจความหมายของข้อความที่แสดงอยู่บนหน้าจอแสดงผลอักษรเบรลล์ได้รวดเร็วขึ้น โปรแกรมนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ซึ่งปัจจุบันยังคงเป็นเพียงเวอร์ชั่นทดสอบ แต่ประสิทธิภาพของมันก็เพียงพอที่จะแปลตัวอักษรเบรลล์ให้เป็นภาษาอังกฤษได้ในเกณฑ์ที่ดี

2.5.1 การเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานแบบกราฟิค

รูปที่ 2-16 แสดงหน้าจอการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานแบบกราฟิค หรือ Graphic User Interface (GUI)



รูปที่ 2-16 หน้าตาของโปรแกรมทดสอบคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์

ในโปรแกรมมีส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญอยู่ทั้งหมด 4 ส่วนหลักๆ ได้แก่

ก. หน้าต่างแสดงตัวอักษรภาษาอังกฤษ ตัวเลข และสัญลักษณ์
ข. หน้าต่างแสดงตัวอักษรเบรลล์ที่ผู้ใช้กรอกเข้ามายังโปรแกรม
ค. หน้าต่างแสดงค่าประจำหลักของอักษรเบรลล์ (รายละเอียดเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 2)
ง. หน้าต่าง Editor สำหรับเพิ่ม/ลบ ตัวอักษร

2.5.2 คุณลักษณะสำคัญของโปรแกรม

ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนโหมดการพิมพ์ได้ 2 รูปแบบ คือแบบเดียวกับคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ และอีกแบบเป็นรูปแบบของตัวอักษรเบรลล์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนโหมดการพิมพ์นี้ได้โดยการกดคีย์ F5 (สำหรับในโหมด 8-Bits Braille จะเคลียร์หน้าต่างอักษรเบรลล์ได้โดยกดคีย์ Num 0 สำหรับโหมด HW Bl-40 จะใช้คีย์ Spacebar แทน และสามารถใช้คีย์ Esc เพื่อเคลียหน้าต่างได้ทั้งสองโหมด)

ผู้ใช้สามารถเปิด/ปิด Editor โดยการกดปุ่ม F9 ซึ่งผู้ใช้สามารถเพิ่มหรือลบตัวอักษร รวมถึงแปลข้อความผ่านทาง Google Translator ได้ในโหมดนี้ (ใช้ปุ่ม Enter เพื่อเพิ่มตัวอักษร, Backspace เพื่อลบตัวอักษร)

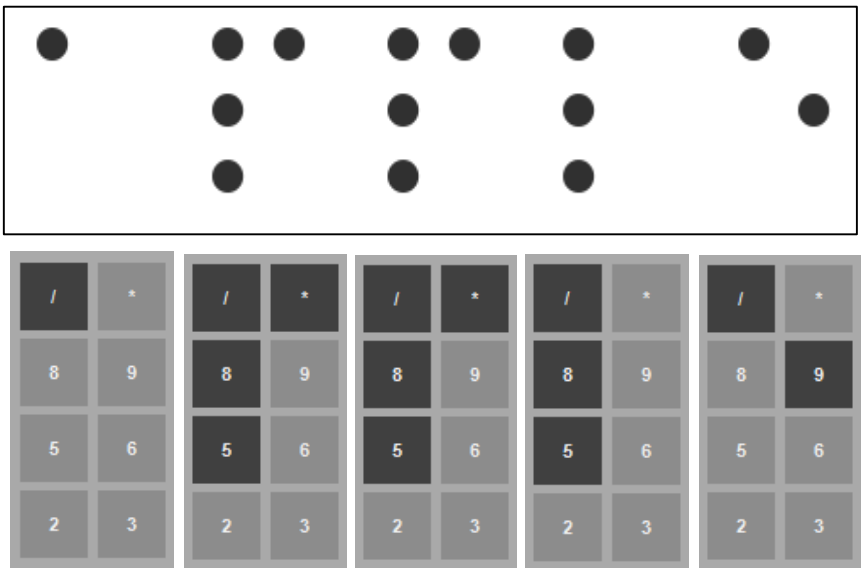
หากต้องการความช่วยเหลือ หรือต้องการดูรายละเอียดโปรแกรม สามารถกดคีย์ F1 เพื่อเรียกหน้าต่างรายละเอียดโปรแกรม เพื่อดูคำแนะนำเบื้องต้นได้

2.5.3 การใช้งานซอฟต์แวร์

ในการใช้งานโปรแกรมทดสอบคีย์บอร์ดแปลอักษรเบรลล์นี้ไม่มีอะไรซับซ้อน ผู้ใช้เพียงเปิดโปรแกรม KMUTNB Braille Display Reader ขึ้นมา โปรแกรมจะเลือกโหมด 8-Bits Braille มาใช้งานเป็นอันดับแรก (ซึ่งสามารถเปลี่ยนได้ในภายหลัง) ซึ่งทั้งสองโหมดมีรายละเอียดและวิธีการใช้งาน ดังนี้

โหมด 8-Bits Braille จะอาศัยหลักการของพิกเซลในการพิมพ์รูปแบบของตัวอักษรเบรลล์ จากภาพด้านล่างแสดงให้เห็นถึงคีย์ที่จำเป็นในการใช้พิมพ์ตัวอักษรเบรลล์เข้าไปในโปรแกรมแปลภาษา

รูปที่ 2-17 รูปแบบของการพิมพ์ตัวอักษรเบรลล์แบบ 8-Bits Braille



รูปที่ 2-18 อักษรเบรลล์ (ภาพบน) รูปแบบการพิมพ์ (ภาพล่าง) ซึ่งมีความหมายแปลได้เป็นคำว่า “apple”

โหมด HW Bl-40 จะอาศัยรูปแบบในการพิมพ์ตัวอักษรอักษรเบรลล์ในรูปแบบของคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์ดังรูปด้านล่าง ด้วยการใช้คีย์ A S D F J K L และ ; ในการพิมพ์ตัวอักษรเบรลล์ลงในโปรแกรมแปลภาษา

รูปที่ 2-19 รูปแบบการพิมพ์ตัวอักษรเบรลล์ในโหมด HW Bl-40

สำหรับผู้ที่ทำงานร่วมกับคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์อยู่แล้ว (บุคคลที่ไม่มีความบกพร่องทางการมองเห็น) โหมดนี้จะสะดวกและรวดเร็วกว่าโหมด 8-Bits Braille เป็นอย่างมาก เนื่องจากใช้วิธีพิมพ์แบบเดียวกันนั่นเอง

3. รายงานผลการพัฒนาเครื่องต้นแบบเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์สำหรับการทดสอบ

3.1 อักษรเบรลล์ (Braille)

เป็นตัวอักษรสำหรับผู้พิการทางสายตาซึ่งถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1921 โดยครูตาบอดชาวฝรั่งเศสชื่อ หลุยส์ เบรลล์ (Louis Braille) อักษรเบรลล์ขนาด 1 เซลล์ ประกอบด้วยปุ่มนูนเล็กๆ จำนวน 6 ปุ่มวางตัวในลักษณะต่างๆ กันไปตามรหัสที่กำหนดขึ้นใช้แทนตัวอักษรปกติ หรือ สัญลักษณ์อื่นๆ

รูปที่ 3-1 อักษรเบรลล์เทียบกับอักษรภาษาอังกฤษ

3.2 อักษรเบรลล์ภาษาไทย

ในประเทศไทยมีอักษรเบรลล์ครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2482 โดยมิสเจนีวีฟ คอลฟิลด์ (Miss Genevive Caufield) ซึ่งประยุกต์มาจากอักษรเบรลล์ภาษาอังกฤษ การกำหนดอักษรเบรลล์ภาษาไทยจะเทียบกับอักษรเบรลล์ภาษาอังกฤษในบางตัวอักษร โดยส่วนใหญ่จะเทียบเคียงกับเสียงในภาษาอังกฤษ ดังนี้

ตารางที่ 3-1 อักษรเบรลล์พยัญชนะ 44 ตัว แยกพยัญชนะตามรูปและเสียง

ก G		ข K	ฃ 0k
ค U	ฆ ฅ ,u -u	ง }	
จ J		ฉ /	
ช +	ฌ ,+	ซ !	
ด D	ฎ ,d	ต \	ฏ ,\
ถ T	ฐ ,t	ท)	ฑ ฒ ธ ,) -) 0)
น N	ณ ,n	บ V	
ป &		ผ P	
ฝ X		พ ?	ภ ,?
ฟ $		ม M	
ย Y	ญ ,y	ร R	
ล L	ฬ ,l	ว W	
ส S	ศ ษ ,s -s	ห H	
อ O		ฮ =	

ตารางที่ 3-2 สระอักษรเบรลล์ภาษาไทย 21 รูป 32 เสียง

อะ oa	อา o*	อิ ob	อี o2
อึ O{	อื o5	อุ oc	อู o3

เอะ ofa	เอ fo	แอะ o<a	แอ <o
โอะ oia	โอ io	เอาะ ooa	ออ oo
เออะ o%”	เออ o%	เอียะ o(a	เอีย o(
เอือะ oqa	เอือ oq	อัวะ oea	อัว oe
อำ oz	ไอ :o	ใอ :1o	เอา o6
ฤ R1	ฤๅ R1*	ฦ l1	ฦๅ l1*

ตารางที่ 3-3 วรรณยุกต์อักษรเบรลล์และเครื่องหมายต่าง ๆ

ไม้เอก 9	ไม้โท 4	ไม้ตรี 7	ไม้จัตวา 8
ไม้หันอากาศ >	ตัวการันต์ 0	ไม้ยมก 1	ไม้ไต่คู้ '

โดยการเขียนอักษรเบรลล์ภาษาไทยจะมีวิธีการเขียน ดังนี้

3.2.1 การเขียนพยัญชนะและสระตามปกติ

1. การเขียนสระที่อยู่ข้างหน้าพยัญชนะ เช่น สระ เอ แอ โอ ไอ และ ใอ ให้เขียนไว้ข้างหน้าพยัญชนะตามปกติ

   ตัวอย่าง เก=fg, แล=<l, ใจ=:1j

2. การเขียนสระที่อยู่ข้างหลังพยัญชนะ เช่น อะ อา ออ อัวะ อัว และ อำ ให้เขียนไว้ข้างหลังพยัญชนะตามปกติ

   ตัวอย่าง มะ=ma, มา=m*, หัว=he, นำ=nz, ผัวะ=pea

3. การเขียนสระที่อยู่ข้างบนและข้างล่างพยัญชนะ เช่น อิ อี อึ อื อุ และ อู ให้เขียนไว้ข้างหลังพยัญชนะ

   ตัวอย่าง ชิ=!b, ถึง=t{], ลุ=lc, ดู=d3

4. การเขียนสระรูปผสม เช่น เอะ แอะ โอะ เออะ เออ เอาะ เอียะ เอีย เอือะ เอือ และ เอา ให้เขียนสระรูปผสมตามรหัสอักษรเบรลล์ไว้ข้างหลังพยัญชนะเสมอ

   ตัวอย่าง เละ=lfa, โต๊ะ=|ia7, เทอะ=)%a, เกวียน=gw(n

5. การเขียนสระรูปพิเศษ เช่น ตัว ฤ ฤๅ ฦ และ ฦๅ ให้เขียนตามตำแหน่งพยัญชนะปกติ

   ตัวอย่าง ฤทธิ์=r1)0)b0, อังกฤษ=o>]gr1-s, ฤาษี=r1*-s2, ตฤณ=\r1,n

3.2.2 การเขียนสระลดรูปและเปลี่ยนรูป

1. สระ อะ ที่เปลี่ยนเป็นไม้หันอากาศ ให้เขียนไว้ข้างหลังพยัญชนะต้นก่อนวรรณยุกต์และตัวสะกด

ตัวอย่าง วัน= w>n, ฉัน=/>n, รัก= r>g

2. สระ โอะ ถ้าลดรูปจะไม่เป็นรูปสระ การเขียนให้เรียงตามพยัญชนะตามปกติ

ตัวอย่าง กด=gd, มด=md, ลง=l]

3. สระ เออ ที่เปลี่ยนรูปเป็น เอิ เอย และสระ เออ ที่มีตัวสะกดตามหลัง มีหลักการเขียน ดังนี้

- สระ เออ ที่เปลี่ยนรูปเป็น เอิ ให้เขียนอยู่ในรูปสระ เออ ตามรหัสเบรลล์โดยเขียนตามหลังพยัญชนะ

ตัวอย่าง เดิน=d%n, เกิด=g%d, เพลิน=?l%n

- สระ เออ ที่เปลี่ยนรูปเป็น เอย ให้เขียนตามรูปแบบพยัญชนะตามปกติ

3.2.3 การเขียนวรรณยุกต์

1. การเขียนวรรณยุกต์กับสระ อา ออ และ อัว ที่ลดรูปเป็น -ว- ที่ไม่มีไม้หันอากาศให้เขียนวรรณยุกต์ก่อนสระเสมอ

ตัวอย่าง หว่านล้อม=hw9*nl4om, ถ้วยข้าว=t4wyk4*w, ส่วนข้าง=s9wnk4*]

2. สระอื่นๆ รวมทั้งสระ อะ ที่เปลี่ยนรูปเป็นไม้หันอากาศ ให้เขียนวรรณยุกต์ตามหลังสระก่อนตัวสะกดที่ตามมา

ตัวอย่าง ที่นั่น=)29n>9n, นะจ๊ะ=naja7, เต้าหู้=|64h34, เชื่อได้=+q9:d4

3. การเขียนไม้หันอากาศ ตัวการันต์ ไม้ยมก และไม้ไต่คู้ ให้เขียนตามหลังพยัญชนะตามปกติ

3.2.4 การเขียนเครื่องหมายในภาษาบาลี และสันสกฤต

1. พยัญชนะที่มีเครื่องหมายพินทุ กำกับอยู่ข้างล่าง การออกเสียงเช่นเดียวกันกับไม้หันอากาศ เป็นเครื่องหมายที่แสดงว่า พยัญชนะนั้นเป็นอักษรควบ อักษรนำ หรือตัวสะกด ในการเขียนให้ใช้จุด 3 ตามหลังพยัญชนะที่มีเครื่องหมายพินทุกำกับอยู่ได้เลย '

ตัวอย่าง ธมฺโม อ่านว่า ทัม-โม = 0)m'im o9*nw9*)>m-im

สมฺมา อ่านว่า สัม-มา = sm'm* o9*nw9* s>m-m*

2. พยัญชนะที่มีเครื่องหมายนิคหิต ◌ กำกับอยู่ข้างบน การออกเสียงเป็น อัง ซึ่งมีไม้หันอากาศกับตัวสะกดพยัญชนะ ง ในการเขียนใช้จุด 5 " นำหน้าพยัญชนะนั้นก่อน

ตัวอย่าง อรหำ อ่านว่า อะ-ระ-หัง = or"h o9*nw9* oa-ra-h>] ,

สรณำ อ่านว่า สะ-ระ-นัง = sr",n o9*nw9* sa-ra-n>]

3.2.5 การเขียนเครื่องหมายวรรคตอน

1. เครื่องหมายมหัพภาพหรือจุด . ใช้เขียนหลังอักษรย่อ ตัวย่อ ตัวเลข หรือเมื่อจบประโยค หรือจบบท มีวิธีการใช้ดังนี้

- ใช้เขียนกำกับอักษรย่อ หรือตัวย่อ

ตัวอย่าง พ.ศ. ดร. ม.ร.ว.

?4,s4 dr4 m4r4w4

- ใช้เขียนกำกับหัวข้อ

ตัวอย่าง ก. ข. 1. 2

g4 k4 #a4 #b4

- ใช้เขียนกำกับเมื่อจบประโยค

ตัวอย่าง คนดีของชาติไทย.

Und2ko]+*|b:)y_4

2. เครื่องหมายจุลภาค , ใช้เขียนเพื่อคั่นระหว่างคำ หรือกลุ่มคำ ที่อยู่เรียงถัดกันไป เพื่อเป็นการเว้นวรรคตอนให้สะดวกในการอ่าน และเข้าใจ ในการเขียนมีวิธีการใช้ดังนี้

- ใช้เขียนกำกับหลักของตัวเลขใช้จุด

ตัวอย่าง ๑๐,๐๐๐ = #aj'jjj

- ใช้เขียนกำกับเพื่อแยกข้อความหรือคำที่ต่อเนื่องกันให้เห็นชัดเจนขึ้น

ตัวอย่าง ช้าง, ม้า, วัว, ควาย

+4*]_1 m4*_1 we_1 uw*y

3. เครื่องหมายนขลิขิตหรือวงเล็บ (...) ใช้เขียนคร่อมข้อความที่เป็นคำอธิบายนอกเรื่อง หรือขยายความของข้อความเพื่อให้ชัดเจน ในการเขียนเปิดและปิดวงเล็บ

ตัวอย่าง นารี (ผู้หญิง)

n*r2 7p34h,yb]7

4. เครื่องบุพสัญญา " ใช้เขียนแทนคำ หรือข้อความที่อยู่ข้างบนเครื่องหมายนี้ เพื่อที่จะไม่ต้องเขียนคำซ้ำกันบ่อย ๆ

ตัวอย่าง ภรรยา อ่านว่า พัน-ยา

ปกติ " ปะ-กะ-ติ

,?rry* o9*nw9* ?>n-y*

&g\b "1 &a-ga-\b

5. เครื่องหมายอัญประกาศ "..." ใช้คร่อมข้อความหรือ

ตัวอย่าง คนพูดว่า "เสียชีพอย่าเสียสัตย์"

un?3dw9* 8s(+2?oy9*s(

s>\y00

6. เครื่องหมายสัญประกาศ ___ ใช้ขีดเส้นใต้อักษร คำ หรือข้อความที่สำคัญที่ต้องการให้ผู้อ่านสังเกตและเห็นชัดเจนเป็นพิเศษ

ตัวอย่าง ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้อง

k4o:1dgl9*w.:m9.t3g\4o]

7. เครื่องหมายปรัศนีหรือเครื่องหมายคำถาม ? เขียนหลังข้อความที่เป็นคำถาม หรือมีลักษณะเป็นคำถาม

ตัวอย่าง ใคร? ทำไม? ที่ไหน?

:1ur_8)z:m_8)29:hn_8

8. เครื่องหมายอัศเจรีย์ ! ใช้เขียนกำกับข้างหลังคำอุทาน หรือข้อความสั้น ๆ เพื่อแสดงอาการต่าง ๆ ใน

ตัวอย่าง โอ้ย! โอ้โฮ!

io4y_6 io4l=_6

9. เครื่องหมายไปยาลน้อย ฯ ใช้เขียนหลังคำเพื่อแสดงว่า ละบางส่วนของคำไว้เวลาอ่านจะต้องอ่านให้เต็ม

ตัวอย่าง กรุงเทพฯ น้อมเกล้าฯ

grc]f)?;2 n4omgl64;2

10. เครื่องหมายไปยาลใหญ่ ฯลฯ ใช้เขียนหลังคำ หรือข้อความเพื่อละคำ หรือ ข้อความว่ามีอีกมาก

ตัวอย่าง ช้าง, ม้า, วัว ฯลฯ

+4*]_1 m4*_1 we ;l

11. เครื่องหมายยัติภังค์ - ใช้เพื่อละข้อความ คำ หรือพยางค์

ตัวอย่าง พัทลุง-ตรัง ๑-๔

?>)lc]-|r>] #a-d

12. เครื่องหมายเสมอภาค สมผล หรือเท่ากับ = ใช้เพื่อแสดงความหมายเท่ากันของข้อความ หรือความหมายเหมือนกัน

ตัวอย่าง ธันวาคม = ธันวา + อาคม

0)>nw*um ;7 0)>nw* + o*um

13. เครื่องหมายอัฒภาค ; ใช้เขียนคั่นคำ ข้อความ หรือประโยคเล็ก ๆ ที่มีความหมายเท่าเทียมกัน หรือขนานกัน

ตัวอย่าง ทิฐิ ; ทิษฎี

)b,tb_2)b-s,d2

14. เครื่องหมายจุดคู่ : ใช้เขียนหลังข้อความที่ต่อไปจะตัวอย่างหรือคำอธิบาย ชี้แจง

ตัวอย่าง กรี : กระดูกแหลมที่หัวกุ้ง

gr2_3 grad3g<hlm)29hegc4]

15. เครื่องหมายเส้นไข่ปลา ... ใช้เพื่อแสดงละข้อความที่ยกมาบางส่วน หรือละเอาไว้เพื่อให้ตีความหมาย

ตัวอย่าง โง่ฉิบ... = l]9/bv'''

16. เครื่องหมายทับ / ใช้เขียนคั่นข้อความ หรือตัวเลข

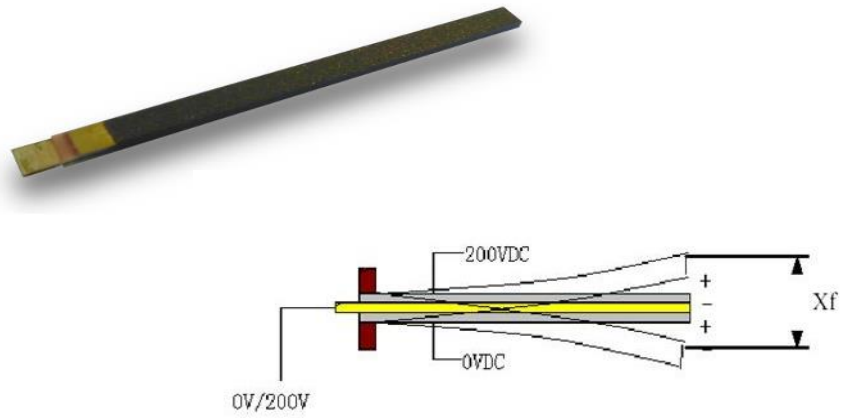
ตัวอย่าง เมตร/วินาที ๕/๑๒

fm\r_/wbn*)2 #e_/ab

3.3 คอมพิวเตอร์เบรลล์ (Computer Braille)

อักษรเบรลล์สำหรับคอมพิวเตอร์นั้นจะมีรูปแบบเป็นจุดทั้งหมด 8 จุด ขนาด 4 แถวคูณ 2 หลัก ซึ่งสามารถแยกเป็นรูปแบบที่ต่างกันได้ถึง 2 ยกกำลัง 8 หรือเท่ากับ 256 ตัวอักษรเลยทีเดียว อักษรเบรลล์สำหรับคอมพิวเตอร์นี้ได้ถูกพัฒนามาจากอักษรเบรลล์แบบ 6 จุด โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดระยะเวลาในการอ่านของผู้มีความบกพร่องทางการมองเห็น ซึ่งหลักการในการอ่านจะคล้ายกัน คือจะมีเลขระบุตำแหน่งของแต่ละจุดอยู่

อุปกรณ์เพียโซอิเล็กตริก (Piezoelectric Actuator) คืออุปกรณ์ที่เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าไปจะทำให้อุปกรณ์เพียโซอิเล็กตริกนี้เกิดการงอ สำหรับในคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์นั้นจะใช้อุปกรณ์ตัวนี้ในการบังคับการแสดงผลของปุ่มอักษรเบรลล์ทั้ง 320 ตัว เพื่อให้แสดงผลชุดข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ออกมาในรูปแบบของอักษรเบรลล์บนคีย์บอร์ด

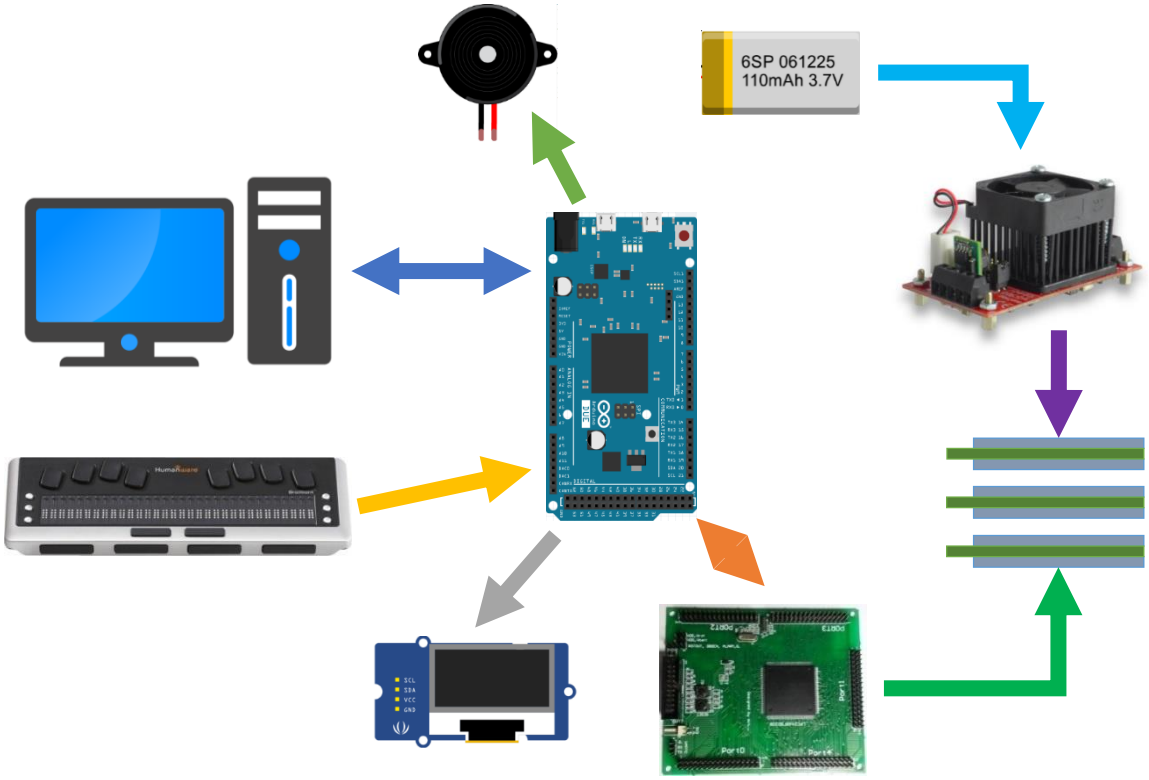


รูปที่ 3-2 ตัวอย่างแผ่น Piezoelectric และการงอหรือดีดเพื่อยก Braille Pin

3.4 อุปกรณ์ต้นแบบเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์

3.4.1 แผนภาพโครงสร้างเครื่องต้นแบบและการเชื่อมต่อ

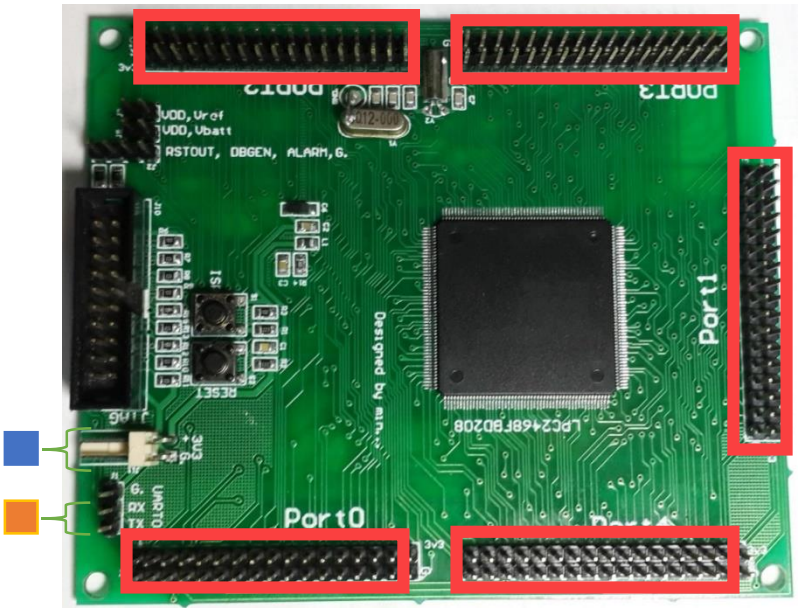
รูปที่ 3-3 แสดงแผนภาพโดยรวมของคีย์บอร์ดอักษรเบรลล์สำหรับผู้พิการทางสายตา ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็น Input จากคีย์บอร์ดและคอมพิวเตอร์ รวมถึงส่วนที่เป็นการแสดงผลบนหน้าจออักษรเบรลล์



รูปที่ 3-3 องค์ประกอบและการเชื่อมต่อชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบ

3.4.2 LPC2468 I/O Expender

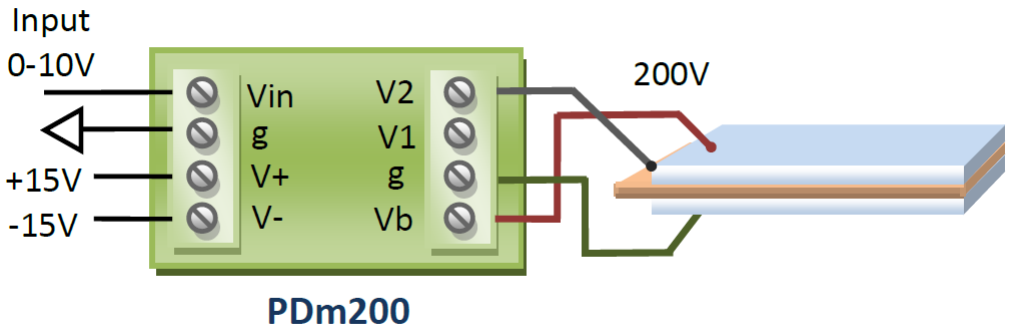
ใช้สำหรับรับข้อมูล Serial จาก Arduino เพื่อใช้ในการควบคุมสัญญาณดิจิตอล เพื่อที่จะนำไปสั่งงานอุปกรณ์เพียโซอิเล็กตริก



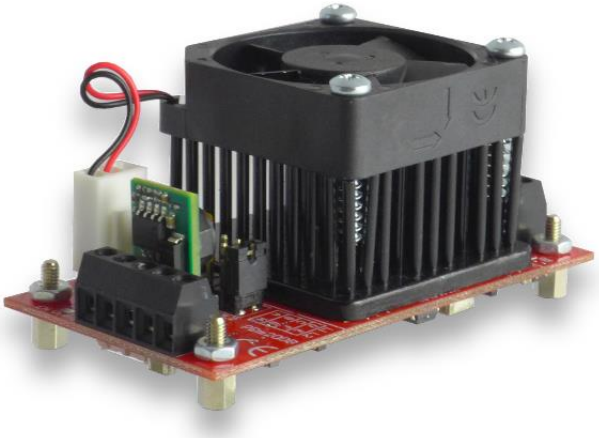
รูปที่ 3-4 **บอร์ดทดลองสำหรับการขยายพอร์ต**

3.4.3 PDm200b

เป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงแรงดันขาเข้าให้สูงขึ้น เพื่อนำไปใช้ในการขับอุปกรณ์เพียโซอิเล็กตริก

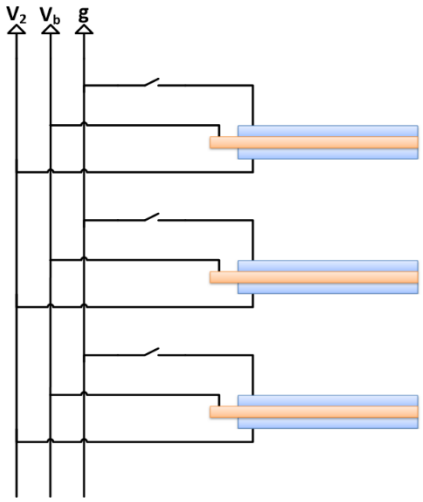


รูปที่ 3-5 วงจรและไอซีสำหรับขยายแรงดัน



รูปที่ 3-6 ตัวอย่างแผ่นวงจรสำหรับการขยายแรงดัน

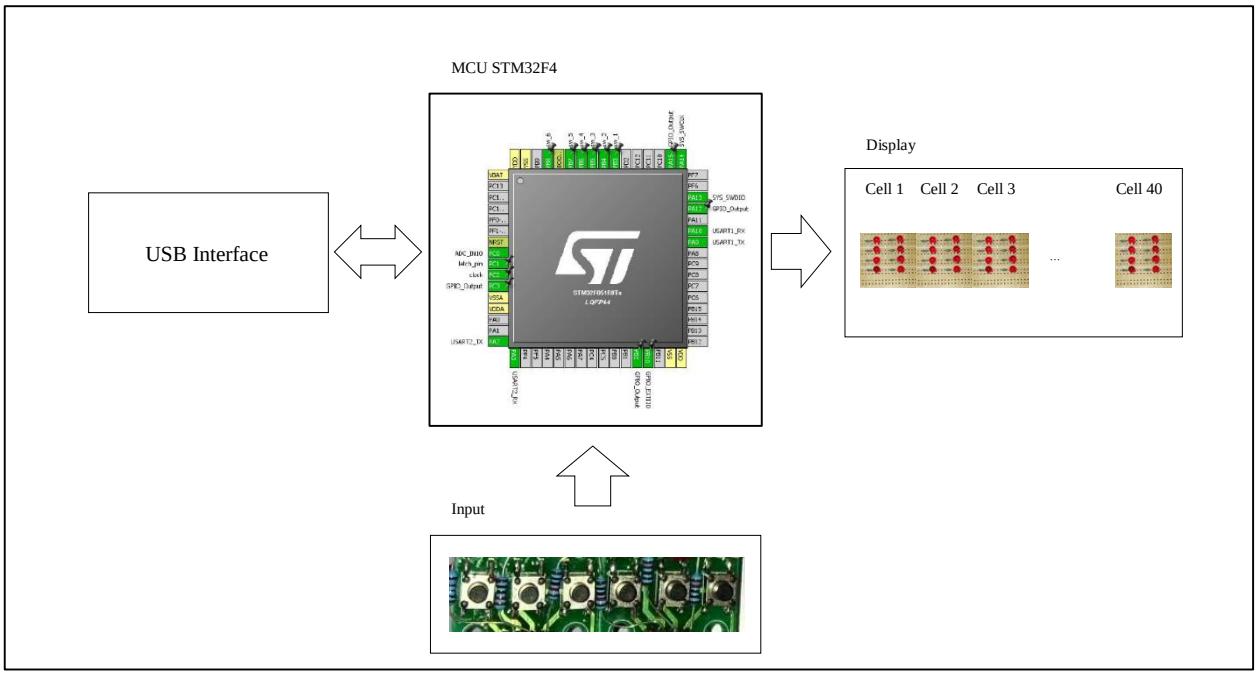
วงจรควบคุมอุปกรณ์เพียโซอิเล็กตริกที่ควบคุมด้วยการสั่งงานผ่านบอร์ด IO Expender โดยมีจุดประสงค์เพื่อสั่งการปุ่มแสดงผล (อุปกรณ์เพียโซอิเล็กตริก) ทั้ง 320 ตัว เพื่อให้แสดงผลออกมาในรูปแบบของอักษรเบรลล์ทั้ง 40 ตัว



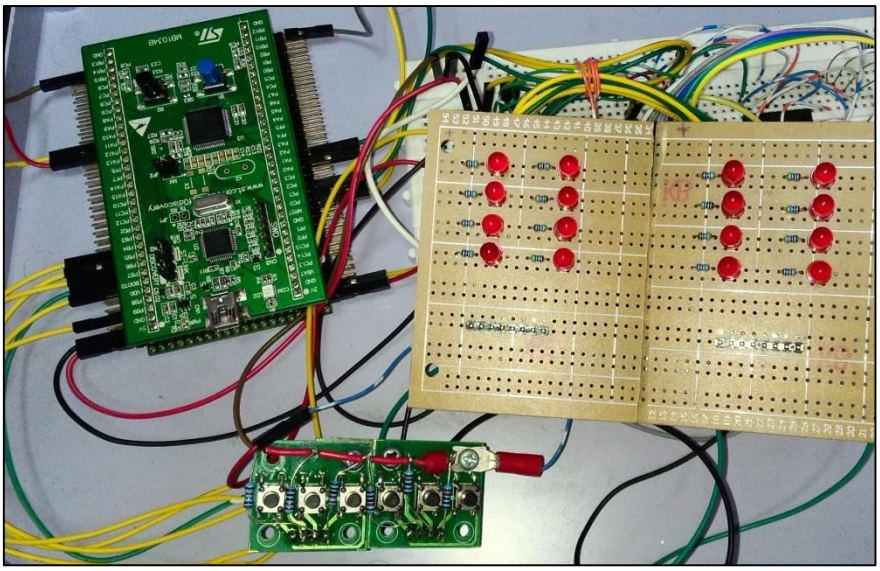
รูปที่ 3-7 การขยายพอร์ตกับการต่อวงจรกับ Piezoelectric

3.4.4 การทดสอบโปรแกรม Braille Display

โครงสร้างของการทดสอบโปรแกรม Braille Display แสดงในรูปที่ 3-8 ประกอบด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32 และช่องเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์แบบ USB และยังมีปุ่มกดสำหรับการโต้ตอบคอมพิวเตอร์ และชุดไฟ LED สำหรับการแสดงผลเป็นจุดเพื่อสร้างรูปเป็นตัวอักษรเบรลล์ รูปที่ 3-9 แสดงการต่อวงจรสำหรับการทดสอบโปรแกรม

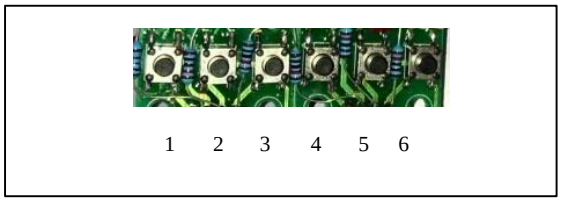


รูปที่ 3-8 โครงสร้างการทดสอบโปรแกรม Braille Display



รูปที่ 3-9 การต่อวงจรสำหรับทดสอบโปรแกรม Braille Display

การเชื่อมต่อเครื่องแสดงผลอักษรเบลกับเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้ช่อง USB แสดงผลผ่านทาง เครื่องอ่านอักษรเบลจำลองโดยมี 40 เซลล์ เพื่อแสดงผล และมีปุ่มอินพุตจำนวน 6 ปุ่ม แต่ละปุ่มมีหน้าที่ที่กำหนดไว้ในรูปที่ 3-10 เพื่อจำลองการทำงานเป็นคีย์บอร์ดสำหรับผู้ใช้อุปกรณ์

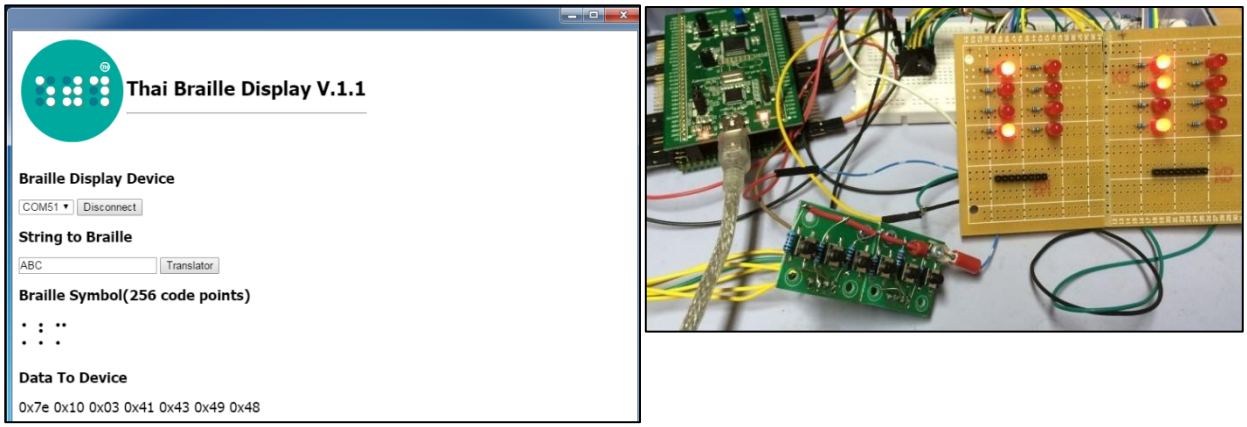


ปุ่ม	หน้าที่
1	Reset button
2	Frist page button
3	Previous page button
4	Next page button
5	Last page button
6	Shift button

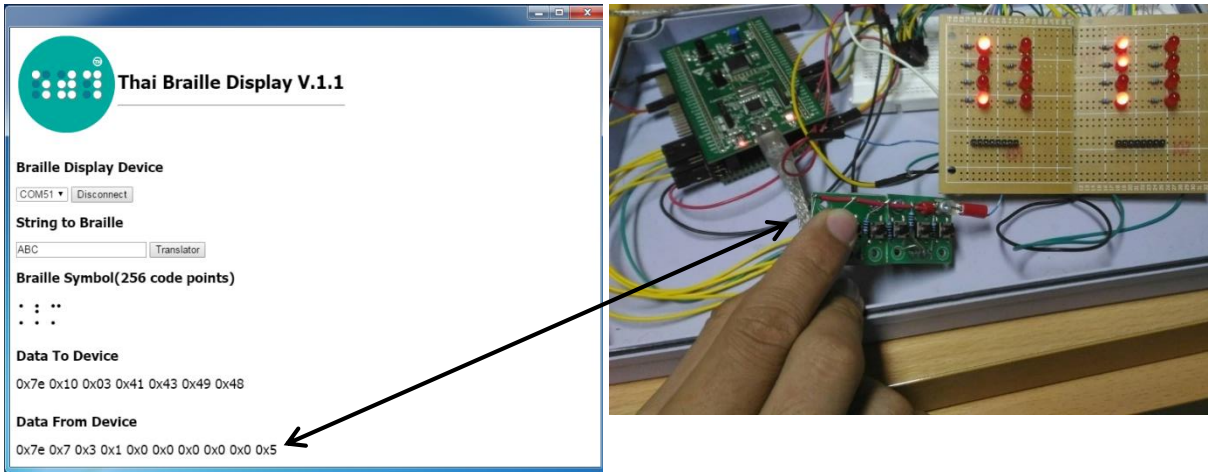
รูปที่ 3-10 หมายเลขปุ่มและหน้าที่ของปุ่ม

ขั้นตอนการทดสอบอุปกรณ์ และโปรแกรม Braille Display มีดังนี้

1) เชื่อมต่ออุปกรณ์ Braille Display ผ่านทางสาย USB
2) เปิดโปรแกรม Thai Braille Display
3) เชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์ Braille Display
4) ทดสอบส่งข้อความ ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 3-11
5) ทดสอบรับข้อมูลจากสวิตช์ ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 3-12



รูปที่ 3-11 การทดสอบส่งข้อความตัวอักษร AB จากคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่อง



รูปที่ 3-12 การทดสอบการส่งข้อมูลปุ่มกดจากเครื่องไปยังคอมพิวเตอร์

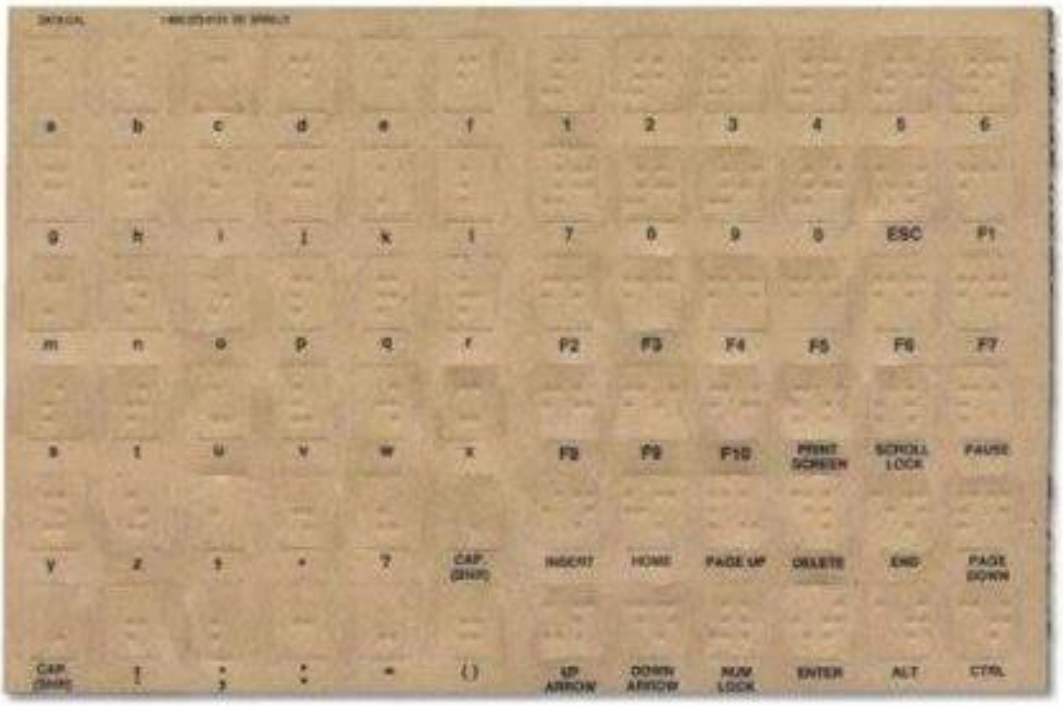
3.5 วัสดุผลิตปุ่มอักษรเบรลล์

3.5.1 ลักษณะทางกายของปุ่มอักษรเบรลล์

เป็นแท่งทรงกระบอกปลายด้านบนโค้งมน รองรับการสัมผัสด้วยปลายนิ้วเพื่ออ่านอักษรเบรลล์ ซึ่งด้านล่างของ แท่งจะถูกควบคุมให้เคลื่อนที่ขึ้นลงด้วยอุปกรณ์เพียโซอิเล็กตริก ทำให้เกิดการนูนขึ้นหรือยุบลงในแต่ละตำแหน่งของคีย์บอร์ดเมื่อสั่งด้วยอุปกรณ์ควบคุม

3.5.2 วัสดุที่ใช้ในการผลิต

คีย์บอร์ดทั่วไปที่มีอักษรเบรลล์ เป็นปุ่มนูนอยู่นี้จะมีการผลิตขึ้นหลายลักษณะ อาจทำขึ้นพร้อมกับปุ่มกดของ คีย์บอร์ด ก็จะใช้วัสดุประเภทเดียวกับที่ใช้ขึ้นรูปปุ่มกด เช่น ABS หรือทำเป็นแผ่นสติกเกอร์เพื่อติดในภายหลัง ซึ่งอาจทำจากวัสดุประเภท polycarbonate

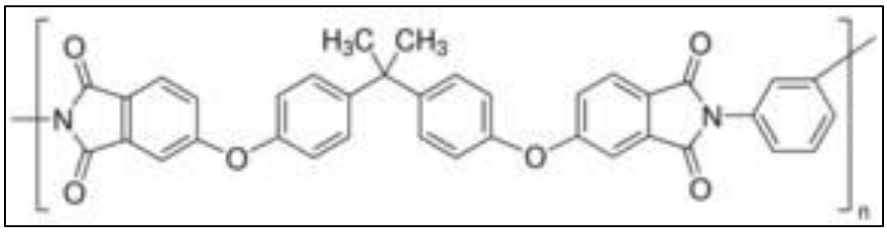


รูปที่ 3-13 แผ่นวัสดุประเภท Polycarbonate สำหรับใช้กับคีย์บอร์ด[3]

แต่ปุ่มที่ใช้แสดงอักษรเบรลล์ ที่อยู่ในอุปกรณ์หรือคีย์บอร์ดจะเป็นปุ่มแยกอิสระเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ จึงนำตัวอย่าง ดังกล่าวมาวิเคราะห์เพื่อหาชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้ขึ้นรูปซึ่งให้ผลดังนี้

3.5.3 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างปุ่มอักษรเบรลล์

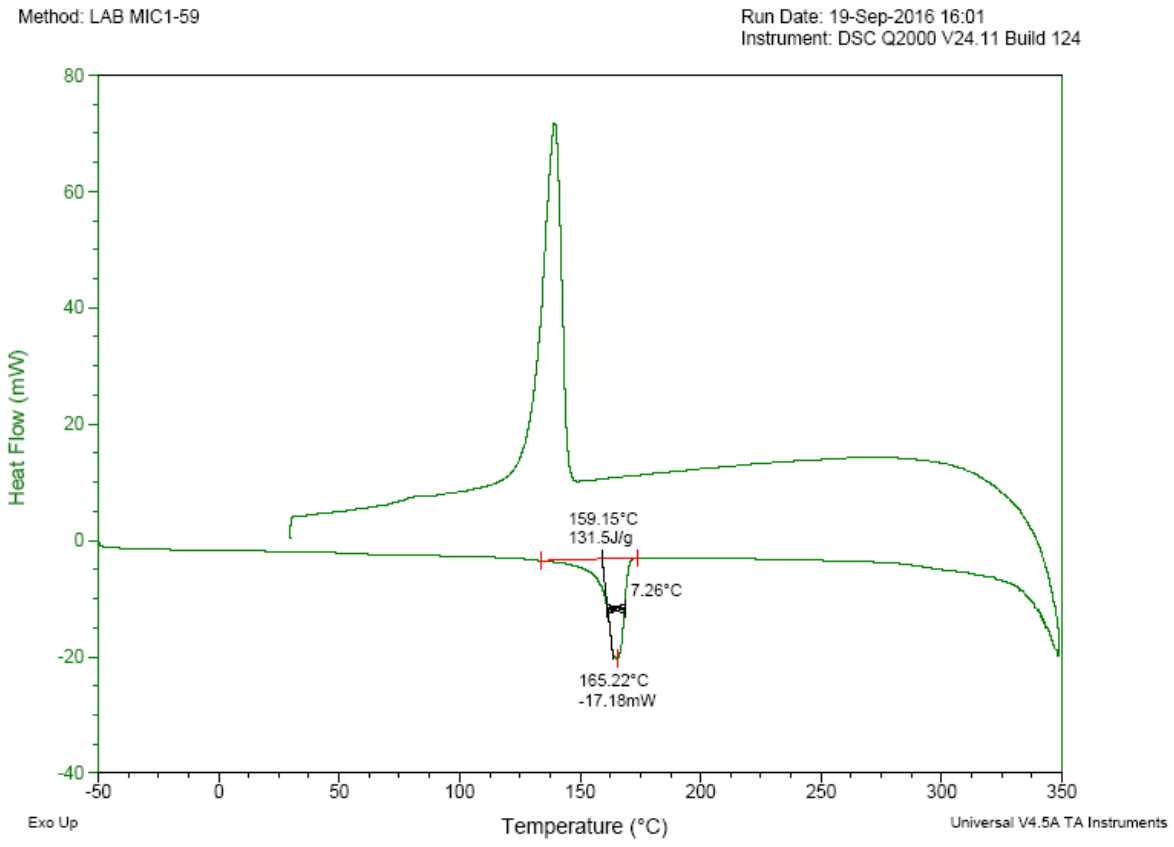
เทคนิค FT-IR Spectroscopy ได้นำมาใช้วิเคราะห์หาประเภทของพลาสติกได้โดยพิจารณาจากสัญญาณการ ดูดกลืนที่ปรากฏในตำแหน่งเลขคลื่นเฉพาะตัวของสารหรือองค์ประกอบที่มีอยู่ ซึ่งพบหมู่ฟังก์ชันหลักที่เป็น carbonyl และ amine/imide จึงสันนิษฐานว่าอาจเป็น Polyetherimide หรือ PEI, Poly(bisphenol A anhydride-co-1,3-phenylenediamine) ซึ่งมีโครงสร้างดังนี้



รูปที่ 3-14 โครงสร้างทางเคมีของ Polyetherimide

อย่างไรก็ตามเมื่อทำการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของตัวอย่าง อักษรเบรลล์ โดยเทคนิค Differential scanning calorimetry พบว่าตัวอย่างดังกล่าวให้ ค่า Glass transition อยู่ในช่วง 145-165 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่ใช่ค่า Glass transition ของ Polyetherimide ซึ่งจะมีค่าอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส [Polymer International 46 (1998) 29-32]

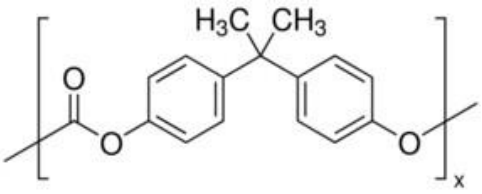
[3] **ที่มา** : https://www.amazon.com/Transparent-Computer-Keyboard-Overlays-Stickers/dp/B00014VWP2



รูปที่ 3-15 **ค่าคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุตัวอย่าง**

โดยพอลิเมอร์ที่จะให้ค่า Glass transition อยู่ในช่วง 145-165 องศาเซลเซียส นั้นก็จะมี polycarbonate ที่มี ค่าใกล้เคียง

Name of plastic	Tg
Polyethylene	-125°C
Polypropylene	0°C
Polyvinyl chloride	87°C
Polystyrene	100°C
ABS	80 to 125°C
Polymethyl methacrylate	90°C
Polyamide 6	50°C
Polyamide 66	50°C
Polyacetal	-50°C
Polycarbonate	150°C
Polyphenylene sulfide	126°C
Polyurethane	-20°C
Polyether sulfone	230°C
Polyphenylene oxide	104 to 120°C
Polyamide imide	275°C
Polylactic acid	57°C
Polytetrafluoroethylene	126°C
EVA	-42°C
Polyacrylonitrile	104°C
Polyfluoro vinylidene	35°C



รูปที่ 3-16 ค่าความร้อนของวัสดุต่าง ๆ [4]

ดังนั้นพอลิเมอร์ที่นำมาขึ้นรูปอาจเป็น polycarbonate ที่มีการใส่สารเติมแต่งประเภท amine/imide ลงไป เป็น static dissipative additive เพื่อเพิ่มสมบัติการกระจายประไฟฟ้าจุ ให้เหมาะสมกับการใช้งานที่ต้องมีการ เสียดสีเป็นประจำ ไม่ให้เกิดไฟฟ้าสถิตย์ ซึ่งจำเป็นต้องมีการทดลองเพิ่มเติมเพื่อยืนยันประเภทของพอลิเมอร์ และสารเติมแต่งที่ใช้ สำหรับกำหนดวัสดุสำหรับการผลิตปุ่มอักษรเบรลล์ต่อไป

4. สรุปผลการดำเนินงานและการปรับปรุงแผนการดำเนินงาน

โครงการพัฒนาต้นแบบเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ราคาถูก ด้วยการใช้เทคนิควิศวกรรมย้อนรอยและวัสดุนวัตกรรมใหม่ สาหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต และโทรศัพท์สมาร์ตโฟน มีระยะเวลาในโครงการทั้งสิ้น 24 เดือน เริ่มตั้งแต่วันที่ 22 กันยายน 2558 ถึง 21 กันยายน 2560 โดยมีระยะเวลาในการส่งรายงานความก้าวหน้าโครงการดังต่อไปนี้

การส่งรายงาน	งวดงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน
รายงานเบื้องต้น	งวดที่ 1	22 กย. 58 – 21 ตค. 58

[4] **ที่มา** : http://www.misumi-techcentral.com/tt/en/mold/2011/12/106-glass-transition-temperature-tg-of-plastics.html

รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1	งวดที่ 2	22 ตค. 58 – 21 มีค. 59
รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 2	งวดที่ 3	22 มีค. 59 – 21 กย. 59
รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 3	งวดที่ 4	22 กย. 59 – 21 มีค. 60
รายงานฉบับสมบูรณ์พร้อมต้นแบบจำนวน 50 เครื่อง	งวดที่ 5	22 มีค. 60 – 21 กย. 60

โดยมีเป้าหมายการทำงานในแต่ละงวดงานดังแสดงในตารางดังต่อไปนี้

งวดงาน	เป้าหมายการทำงาน
งวดที่ 1	- แนวคิดการวิจัย แผนการดำเนินโครงการ - แผนการจัดซื้อครุภัณฑ์การวิจัยพร้อมรายละเอียดรายการจัดซื้อ - รายงานการศึกษา และเปรียบเทียบการทำงาน และนำเสนอข้อดีข้อเสียของเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์แบบต่างๆ ที่มีอยู่ เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนาเครื่องต้นแบบยุคใหม่ - รายงานการศึกษาวัสดุนวัตกรรมใหม่ประเภทต่างๆ ที่จะสามารถนำมาใช้ในการพัฒนาเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ยุคใหม่ - ผลการจัดซื้อเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์รูปแบบต่างๆ จากต่างประเทศ เช่น Braille Display 40 หรือ BrailleNote และการจัดซื้อวัสดุนวัตกรรมใหม่ชนิดต่างๆ เช่น EAP, SMA และ Piezo ในแบบต่างๆ
งวดที่ 2	- รายงานผลการศึกษากลไกการทำงาน ของเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ โดยการใช้เทคนิควิศวกรรมย้อนรอยเพื่อการหาขนาดของชิ้นส่วนต่างๆ และจัดทำแบบ 3 มิติของเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์เพื่อแสดงกลไกการทำงานด้วยภาพเคลื่อนไหว
งวดที่ 3	- รายงานผลการออกแบบกลไกเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ยุคใหม่ ด้วยการใช้เทคโนโลยีด้านการออกแบบสามมิติ และการนำเอาวัสดุนวัตกรรมใหม่มาประยุกต์ใช้ - รายงานการพัฒนาวงจรอิเล็กทรอนิกส์และระบบสมองกลฝังตัวเพื่อขับเคลื่อนกลไกที่ออกแบบ และเพื่อเชื่อมต่อกับซอฟต์แวร์ที่ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์และสมาร์ตโฟนด้วยเทคโนโลยี การสื่อสารแบบไร้สายเช่น บลูทูธ (Bluetooth) หรือ Wi-Fi - รายงานผลการพัฒนาต้นแบบเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์เพื่อเตรียมสำหรับการทดสอบ
งวดที่ 4	- รายงานผลการทดสอบการทำงานกับกลุ่มตัวอย่างผู้พิการทางสายตาที่มีความแตกต่างทางกายภาพและประสบการณ์การใช้งาน และการดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพต้นแบบเพื่อให้ตอบสนองต่อผู้ใช้งาน (ผู้พิการทางสายตา)

งวดที่ 5	รายงานผลการปรับปรุงเครื่องต้นแบบจากการทดสอบการใช้งานมาปรับปรุงและพัฒนาต่อในลักษณะเพื่อนำไปผลิตในเชิงอุตสาหกรรมร่วมกับโรงงานผู้ผลิต ไฟล์ข้อมูล เครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์พร้อมคำรับรองการนำไปผลิตเชิงอุตสาหกรรมที่สามารถส่งให้ผู้ประกอบการหรือโรงงานในอุตสาหกรรมการผลิตสามารถนำไปผลิตเชิงอุตสาหกรรมได้ เอกสารข้อมูลเพื่อยื่นคำขอรับสิทธิบัตร ต้นแบบเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ที่ได้พัฒนาขึ้นจำนวน ๕๐ เครื่อง รายงานสรุปผลการดำเนินโครงการพัฒนาต้นแบบเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ราคาถูก ด้วยการใช้เทคนิควิศวกรรมย้อนรอยและวัสดุนวัตกรรมใหม่ สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต และโทรศัพท์สมาร์ตโฟนครบถ้วนสมบูรณ์ตามที่ระบุไว้ในข้อเสนอโครงการ

ซึ่งการดำเนินงานในงานงวดที่ 3 สำหรับการรายงานในรายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 2 มีดังนี้

1. รายงานผลการออกแบบกลไกเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์ยุคใหม่ ด้วยการใช้เทคโนโลยีด้านการออกแบบสามมิติ และการนำเอาวัสดุนวัตกรรมใหม่มาประยุกต์ใช้
2. รายงานการพัฒนาวงจรอิเล็กทรอนิกส์และระบบสมองกลฝังตัวเพื่อขับเคลื่อนกลไกที่ออกแบบและเพื่อเชื่อมต่อกับซอฟต์แวร์ที่ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์และสมาร์ตโฟนด้วยเทคโนโลยี การสื่อสารแบบไร้สายเช่น บลูทูธ (Bluetooth) หรือ Wi-Fi
3. รายงานผลการพัฒนาต้นแบบเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์เพื่อเตรียมสำหรับการทดสอบ

ซึ่งการทางโครงการได้ดำเนินการในข้อที่ 1 และข้อที่ 2 เสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้ว สำหรับในข้อที่ 3 ได้ดำเนินการพัฒนาต้นแบบโดยการรวมผลการออกแบบกลไกด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ และ ผลการพัฒนาวงจรอิเล็กทรอนิกส์และระบบสมองกลฝังตัวแล้ว มีการเชื่อมต่อกับซอฟต์แวร์ NVDA ที่ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว อย่างไรก็ตามเครื่องต้นแบบดังกล่าว อยู่ระหว่างการประกอบเครื่องจำนวน 1 ชุดและปรับปรุงซอฟต์แวร์ เครื่องชุดแรกที่ผลิตมีการแก้ไขกลไกการทำงาน และแก้ไขแผ่นวงจรพิมพ์เนื่องจากการประกอบเครื่องชุดแรกมีข้อบกพร่อง ทำให้เครื่องต้นแบบไม่สามารถประกอบได้สำเร็จ ซึ่งการแก้ไขงานดังกล่าว จะนำไปดำเนินการในงานงวดที่ 4 และนำเสนอผลการแก้ไขในรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 3 พร้อมกับผลการทดสอบกับผู้พิการทางสายตา ภายในวันที่ 21 มีนาคม 2560 ซึ่งการดำเนินงานดังกล่าวจะไม่ส่งผลกระทบต่อการดำเนินงานในงวดที่ 4 และสามารถดำเนินโครงการได้ตามแผนงานของโครงการตามที่นำเสนอไว้