บทที่4 ผลการวิจัยและพัฒนา

จากบทที่3 เมื่อพัฒนาต้นแบบเสร็จสิ้น ผู้วิจัยได้ต้นแบบหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา โดยระบบประมวลผลบนสมองกลฝังตัวตามขอบเขตการวิจัย และระบบสามารถลดเสียงรบกวนจากสิ่งแวดล้อมได้ดังที่ออกแบบ และกรองความถี่เสียงให้อยู่ในย่านที่ใช้ตรวจฟังคือ ช่วงBell จะกรองเสียงให้อยู่ในช่วงความถี่ 0-200 Hz ช่วง Diaphragm จะกรองเสียงให้อยู่ในช่วงความถี่ 100-500 Hz และช่วง Extended จะกรองเสียงให้อยู่ในช่วงความถี่ 0-2000 Hz ดังแสดงในรูปที่ 16-18ในบทที่3

ในบทนี้ผู้วิจัยนำเสนอผลการเปรียบเทียบฟังก์ชั่นการทำงานของระบบต้นแบบกับหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีขายและและการประเมินประสิทธิภาพของระบบต้นแบบโดยแพทย์ แสดงผลการรับสัญญาณเสียงผ่านบลูทูทเข้าคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผล รวมทั้งนำเสนอกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้มาตรฐาน GMP

4.1 การเปรียบเทียบฟังก์ชั่นการทำงานของระบบต้นแบบกับหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีขาย

ผู้วิจัยศึกษาเอกสารข้อมูลทางเทคนิคของหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ที่วางขายในท้องตลาด [28-30] พบว่าผู้ผลิตให้ข้อมูลทางเทคนิคระดับผู้ใช้โดยให้ข้อมูลฟังก์ชั่นการทำงานของผลิตภัณฑ์เท่านั้น (Functional specifications) โดยไม่ได้ให้ข้อมูลผลการวัดทางเทคนิคในห้องปฏิบัติการ (electrical specifications) โดยประสิทธิภาพนั้นใช้การประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้แทน ผู้วิจัยจึงสรุปฟังก์ชั่นของผลิตภัณฑ์ เปรียบเทียบกับระบบต้นแบบดังตารางที่ 3

ฟังก์ชั่น	ผลิตภัณฑ์ ก [28]	ผลิตภัณฑ์ ข [29]	ผลิตภัณฑ์ ค [30]	ระบบต้นแบบ
ตัดสัญญาณรบกวนจากภายนอก	ได้	ได้	ได้	ได้
เลือกรับฟังความถี่ช่วง Bell และ Diaphragm	ได้	ได้	ได้	ได้
ปรับเร่งความดังเสียงได้	ได้	ได้	ได้	ได้
ขนาดเทียบเท่าหูฟังแพทย์แบบดั้งเดิม	เทียบเท่า	เทียบเท่า	เทียบเท่า	เทียบเท่า

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบฟังก์ชั่นการทำงานของหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ที่วางขายในท้องตลาดและต้นแบบ

จากตารางที่ 3 จะเห็นว่าต้นแบบมีฟังก์ชั่นการทำงานเหมือนกับหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ที่วางขายในท้องตลาด ผู้วิจัยจึงทำการประเมินความพึงพอใจเบื้องต้นโดยให้แพทย์8ท่านทดลองระบบต้นแบบและขอความเห็น เพื่อการปรับปรุงและพัฒนาต่อเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีเชิงพาณิชย์

4.2 การประเมินความพึงพอใจเบื้องต้นโดยแพทย์

ผู้วิจัยออกแบบสอบถามดังแสดงในภาคผนวก ก เพื่อประเมินความพึงพอใจเบื้องต้นและขอความเห็นจากแพทย์ เพื่อนำต้นแบบไปปรับปรุงและพัฒนาต่อเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีเชิงพาณิชย์ โดยมีแพทย์ผู้ร่วมประเมิน8ท่าน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4

		พ1	พ2	พ3	พ4	พ5	พ6	พ7	พ8	เฉลี่ย
1	ท่านมีความพอใจต่อคุณภาพเสียงของเครื่อง e-steth	3	3	2	3	2	1	2	2	2.25
2	ท่านคิดว่าต้นแบบ e-steth มีความสวยงาม	3	4	4	4	5	3	4	4	3.875
3	ท่านคิดว่าต้นแบบ e-stethใช้งานได้ง่าย	4	3	4	4	2	3	2	3	3.125
4	ท่านเห็นว่าความสามารถในการอัดและแสดงสัญญาณเสียงได้มีประโยชน์	4	3	5	5	2	3	2	5	3.625
5	ท่านเห็นว่าคุณภาพเสียงมีความชัดเจนเทียบเท่าหรือดีกว่า stethoscope ปรกติที่ท่านเคยใช้ เมื่อใช้ในห้องตรวจ	2	2	1	3	1	1	2	2	1.75
6	ท่านเห็นว่าคุณภาพเสียงมีความชัดเจนเทียบเท่าหรือดีกว่า stethoscope ปรกติที่ท่านเคยใช้ เมื่อใช้ในที่ที่มีเสียงรบกวนสูง	2	2	2	2	1	1	2	1	1.625
7	การใช้ e-stethทำให้ท่านมั่นใจกับผลการวินิจฉัยมากขึ้น	3	3	2	3	1	2	2	1	2.125
8	ท่านรู้สึกเกะกะขณะใช้เครื่อง e-stethนี้	3	3	3	3	3	3	3	4	3.125
9	ท่านเห็นว่าต้นแบบ e-steth มีรูปลักษณ์เหมะสมกับการใช้ตรวจคนไข้จริง	3	3	2	5	3	3	2	2	2.875
10	ท่านเห็นว่าต้นแบบ e-steth มีประโยชน์กับการใช้ตรวจคนไข้จริง	3	2	2	5	2	3	2	2	2.625
11	ท่านเห็นว่าต้นแบบ e-stethมีรูปลักษณ์เหมะสมกับการใช้ในการเรียนการสอน	3	3	4	4	3	4	2	3	3.25
12	ท่านเห็นว่าต้นแบบ e-steth มีประโยชน์กับการใช้ในการเรียนการสอน	3	4	4	5	3	4	2	5	3.75
	(ค่าเฉลี่ย overall ของแพทย์แต่ละท่าน)	**3**	**2.917**	**2.917**	**3.833**	**2.333**	**2.583**	**2.25**	**2.833**	

ตารางที่ 4 คะแนนความพึงพอใจของแพทย์

<u>หมายเหตุ</u>

1 น้อยที่สุด

2 น้อย

3 ปานกลาง

4 มาก

5 มากที่สุด

จากตารางที่ 4 ประเมินความพึงพอใจเบื้องต้นโดยแพทย์สามารถสรุปผลได้ดังนี้ จากผลข้อ 2 3 8 9 ระดับคะแนนเฉลี่ย 3.3 ประเมินได้ว่าแพทย์มีความพอใจรูปลักษณ์และความสะดวกในการใช้งานต้นแบบหูฟังแพทย์ ซึ่งตรงตามวัตถุประสงห์หลักของโครงการ โดยผลจากข้อ 4 11 12 ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ย 3.5 พอสรุปได้ว่าแพทย์เล็งเห็นประโยชน์ในการใช้ต้นแบบหูฟังแพทย์ในการเรียนการสอน อย่างไรก็ตาม ผลการประเมินข้อ 1 5 6 7 10 ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 2.1 แสดงว่าคุณภาพเสียงของต้นแบบหูฟังแพทย์ได้รับความพึงพอใจน้อย ซึ่งชี้ให้ผู้วิจัยทราบว่าคุณภาพเสียงเป็นจุดที่จะต้องปรับปรุงสำหรับต้นแบบหูฟังแพทย์รุ่นถัดไป

จากการวิเคราะห์เบื้องต้น ผู้วิจัยคาดว่าปัญหาคุณภาพเสียงอาจจะมาจากส่วนหูฟังซึ่งการตามปกติถ้าใช้ด้านหนึ่งฟังอีกด้านจะต้องปิดไม่ให้รับเสียง ซึ่งในต้นแบบหูฟังอาจไม่ได้ปิดการรับเสียง ผู้วิจัยจะทดลองเปลี่ยนใช้หูฟังอื่นแทน นอกจากนี้ยังได้ความเห็นจากแพทย์ท่านหนึ่งว่าเสียงสูงกว่าที่ฟังจากหูฟังแพทย์แบบดั้งเดิม ความแตกต่างคล้ายกับเสียงเครื่องดนตรีอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งต่างจากเสียงเครื่องดนตรีปรกติ จุดนี้ผู้วิจัยไม่สามารถฟังออกเองได้ จึงต้องศึกษาเพิ่มเติมว่าปัจจัยอะไรทำให้เกิดความแตกต่างขึ้น ผู้วิจัยยังได้ความเห็นจากแพทย์ผู้เชี่ยวชาญด้านหัวใจ (Cardiologist) ว่าต้นแบบหูฟังแพทย์น่าจะเป็นประโยชน์กับการเรียนการสอน แต่ในการวินิจฉัยโรค ไม่ได้คาดหวังให้หูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์มีคุณภาพเสียงดีกว่าหูฟังแพทย์แบบดั้งเดิม เนื่องจากถ้าต้องการวินิจฉัยโรคอย่างละเอียดชัดเจน ก็จะใช้เครื่องมืออื่นที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเช่น electrocardiogram แทน

จากการสังเกตและพูดคุยกับแพทย์ ผู้วิจัยพบว่าหูฟังแพทย์แบบดั้งเดิมมีความดังของเสียงเพียงพออยู่แล้ว การมีที่หูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์มีฟังก์ชั่นการปรับความดังเสียงน่าจะใช้สำหรับแพทย์ที่มีปัญหาการได้ยินเท่านั้น

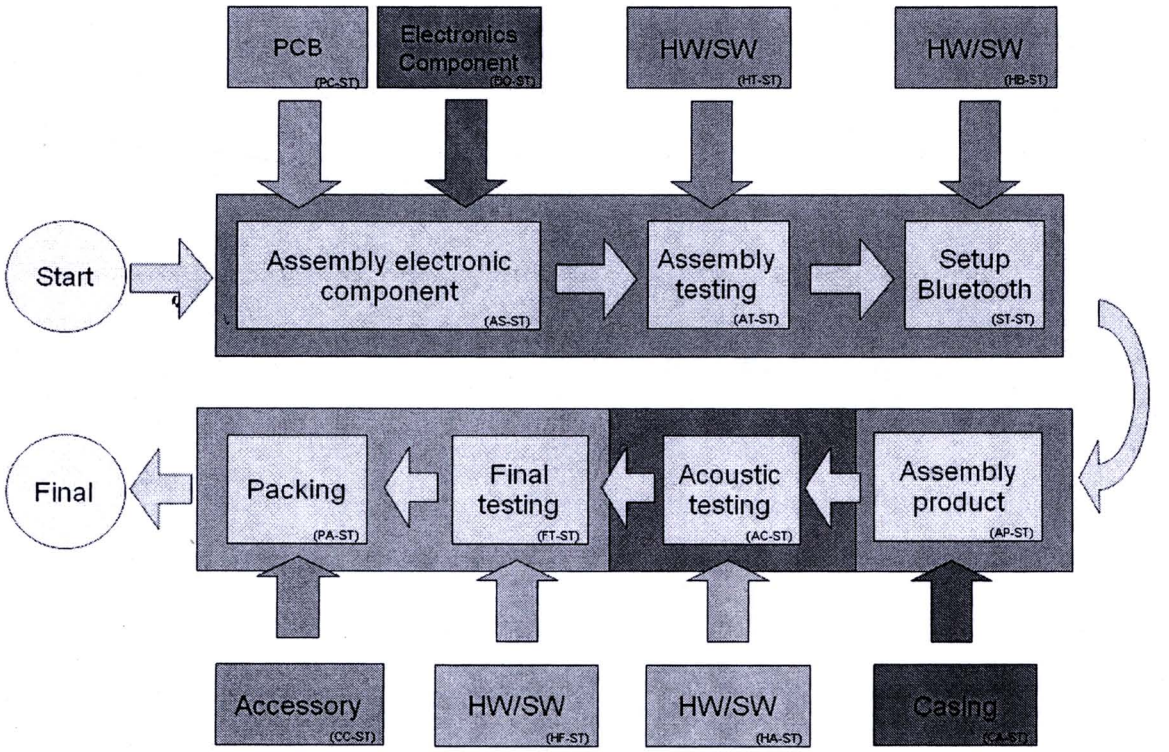
จากผลการประเมินทำให้ผู้วิจัยสรุปได้ว่าเป้าหมายการปรับปรุงหูฟังแพทย์รุ่นถัดไปคือให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่าหูฟังแพทย์แบบดั้งเดิม และให้เสียงมีความเป็นธรรมชาติ นอกจากนี้ยังมีส่วนที่สามารถปรับปรุงเพิ่มเติมเพื่อความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นได้ เช่นสายหูฟังที่ยังอาจให้ความรู้สึกรุงรัง หรือ ขนาดที่ควรให้พกพาได้สะดวกในกรณีต้องการให้แพทย์ใช้ในการตรวจรักษาประจำ หรือในกรณีสำหรับการเรียนการสอน การแสดงสัญญาณบนคอมพิวเตอร์ควรต้องมีการแสดงค่าที่สำคัญเช่น เสียง 1 เสียง 2 หรือส่วนที่เป็น murmur ให้ชัดเจน

4.3 กระบวนการผลิตเพื่อให้ได้มาตรฐาน GMP

ผู้วิจัยจะนำเสนอกระบวนการและขั้นตอนเอกสารในการผลิตเพื่อให้ได้มาตรฐาน GMP เพื่อให้บริษัทเอกชนสามารถรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีเชิงพาณิชย์ โดยหลักการคือในการผลิตต้องมีกระบวนการตรวจสอบคุณภาพในทุกขั้นตอนทำให้สามารถตรวจสอบย้อนหลังได้ ซึ่งรายละเอียดจะแตกต่างกันในแต่ละโรงงาน ผู้วิจัยจะนำเสนอกรอบกระบวนการผลิตดังนี้

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

กระบวนการผลิตเชิงอุตสาหกรรม ความสำคัญอยู่ที่ขั้นตอนในกระบวนการผลิตที่จะต้องแน่นอนและชัดเจน โดยจะมีเอกสารควบคุมการผลิตในแต่ละส่วนอย่างละเอียด ซึ่งหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ถูกออกแบบให้สามารถผลิตตามกระบวนการผลิตในรูปที่ 38 (กระบวนการผลิตนี้เป็นเพียงตัวอย่างแสดงถึงขั้นตอนกระบวนการผลิตเท่านั้น ซึ่งอาจแตกต่างออกไปตามโรงงานผู้ผลิต)



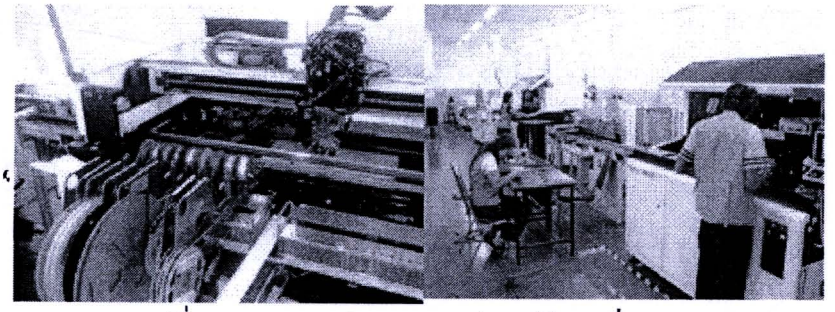
รูปที่ 38 กระบวนการผลิตหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์

โดยในแต่ละขั้นตอนจะมีเอกสารประกอบกระบวนการผลิตตามมาตรฐานของโรงงาน เพื่อควบคุมมาตรฐานในการผลิตและการตรวจสอบคุณภาพ ดังตารางที่ 5 โดยรายละเอียดของแต่ละเอกสารสามารถดูได้ในภาคผนวก ข

ซึ่งกระบวนการผลิตหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์เริ่มจาก การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่น PCB ซึ่งก่อนที่จะทำการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จะต้องมีการตรวจสอบแผ่น PCB และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

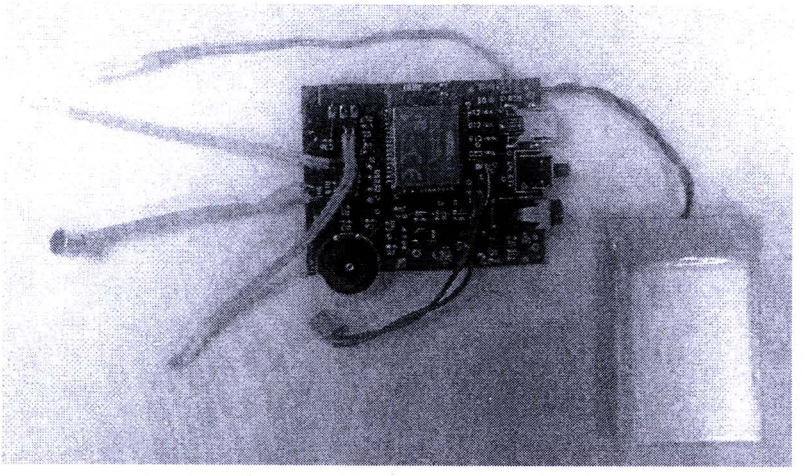
- ทำแผ่น stencil สำหรับเป็นแม่แบบของเครื่องปาดตะกั่ว

- นำแผ่นลายวงจรผ่านเครื่องปาดตะกั่วซึ่งมีแผ่น stencil ตามที่เราได้ออกแบบไว้ เครื่องปาดตะกั่วจะทำการปาดตะกั่วลงบนแผ่นลายวงจรตรงกับตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ต้องการจะลงอุปกรณ์บนแผ่นลายวงจร
- นำแผ่นลายวงจรผ่านเครื่อง chip mounter ซึ่งเครื่องจะทำการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในตำแหน่งที่ต้องการ
- ผ่านเครื่อง reflow เพื่อหลอมตะกั่วให้เชื่อมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ติดกับแผ่นลายวงจร
- ทำการตรวจสอบการเชื่อมตะกั่วของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นลายวงจร



รูปที่ 39 สายการผลิตการลงอุปกรณ์ด้วยเครื่องจักร

จากนั้นจึงนำมาลงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในส่วนที่ลงอุปกรณ์ด้วยมือพร้อมกับตรวจสอบความถูกต้อง ตัวอย่างแผ่นลายวงจรที่ประกอบอุปกรณ์ครบเรียบร้อยแล้ว แสดงดังรูปที่ 40



รูปที่ 40 อุปกรณ์ที่ประกอบเสร็จแล้ว

ลำดับ	หมายเลขเอกสาร	รายละเอียด	เวอร์ชั่น	วันที่ปรับปรุง	หมายเหตุ
1	PR-ST	เอกสารแสดงกระบวนการผลิตพร้อมหมายเลขเอกสารอ้างอิงในกระบวนการผลิตแต่ละขั้นตอน	1.00	15/06/2555	-
2	PC-ST	เอกสารแสดงรายละเอียดของแผ่นลายลายวงจร (PCB)	1.00	15/06/2555	-
3	BO-ST	เอกสารแสดงรายละเอียดวัสดุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	1.00	15/06/2555	-
4	AS-ST	เอกสารแสดงรายละเอียดขั้นตอนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	1.00	15/06/2555	-
5	HT-ST	เอกสารแสดงวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนการทดสอบ	1.00	15/06/2555	-
6	AT-ST	เอกสารแสดงขั้นตอนในการทดสอบ	1.00	15/06/2555	-
7	HB-ST	เอกสารแสดงวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนการกำหนดค่าเริ่มต้นของ Bluetooth	1.00	15/06/2555	-
8	ST-ST	เอกสารแสดงขั้นตอนการกำหนดค่าเริ่มต้นของ Bluetooth	1.00	15/06/2555	-
9	CA-ST	เอกสารแสดงรายละเอียดการตรวจสอบ Casing	1.00	15/06/2555	-
10	AP-ST	เอกสารแสดงขั้นตอนการประกอบแผ่นลายวงจร (PCB) เข้ากับ Casing	1.00	15/06/2555	-
11	HA-ST	เอกสารแสดงวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ Acoustic	1.00	15/06/2555	-
12	AC-ST	เอกสารแสดงขั้นตอนในการทดสอบ Acoustic	1.00	15/06/2555	-
13	HF-ST	เอกสารแสดงวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบขั้นสุดท้าย	1.00	15/06/2555	-
14	FT-ST	เอกสารแสดงขั้นตอนในการทดสอบขั้นสุดท้าย	1.00	15/06/2555	-
15	AC-ST	เอกสารแสดงวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการ Packing พร้อมการตรวจสอบ	1.00	15/06/2555	-
16	PA-ST	เอกสารแสดงขั้นการ Packing	1.00	15/06/2555	-

ตารางที่ 5 เอกสารประกอบกระบวนการผลิตตามมาตรฐานของโรงงาน เพื่อควบคุมมาตรฐานในการผลิตและการตรวจสอบคุณภาพสำหรับหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์