

122

**ระบบผู้เชี่ยวชาญ สำหรับการแก้ปัญหาของกระบวนการชুবเคลื่อน  
โลหะผสมในแนวตั้ง ลงบนแผ่นวงจรพิมพ์**

**นายสมควร อติเรกธาวโรดม**

**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**

**ภาควิชาวิศวกรรมเคมี**

**บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์วิทยาลัย**

**พ.ศ. 2538**

**ISBN 974-632-823-9**

**ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

I16884176

**AN EXPERT SYSTEM FOR TROUBLESHOOTING OF THE  
VERTICAL SOLDER COATED LEVELING PROCESS  
OF A PRINTED CIRCUIT BOARD**



**Mr.SOMKUARN ATIRAKLAPVARODOM**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering  
Department of Chemical Engineering  
Graduate School  
Chulalongkorn University**

**1995**

**ISBN 974-632-823-9**

**Copyright Of The Graduate School, Chulalongkorn University.**

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบผู้เชี่ยวชาญ สำหรับการแก้ปัญหาของ กระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมในแนวตั้ง ของแผ่นวงจรมพิมพ์

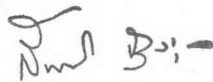
โดย นายสมควร อติเรกถาวโรดม

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี

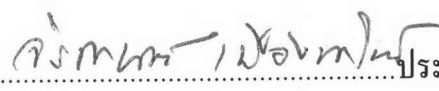
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม นายสุวัฒน์ ศรีสนั่น

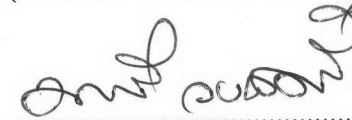
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

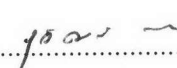


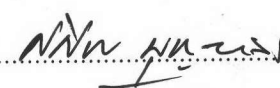
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ อุดงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. จีระกานต์ เมืองนาโพธิ์)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(นาย สุวัฒน์ ศรีสนั่น)

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศศิธร บุญหลง)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

สมควร อติเรกถาวรโรคม : ระบบผู้เชี่ยวชาญ สำหรับการแก้ปัญหาของกระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมในแนวตั้ง ของแผ่นวงจรพิมพ์ (An Expert System For Troubleshooting of The Vertical Solder Coated Leveling Process Of A Printed Circuit Board) อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี อ.ที่ปรึกษาร่วม : นาย สุวัฒน์ ศรีสนั่น , 223 หน้า , ISBN 974 - 632 - 823 - 9

ระบบผู้เชี่ยวชาญ สำหรับการแก้ปัญหาของกระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมในแนวตั้งของแผ่นวงจรพิมพ์ เป็นการศึกษาค้นคว้า และรวบรวมความรู้ เทคนิคและประสบการณ์ ของผู้ปฏิบัติ ทั้งทางด้านปฏิบัติและแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น มาจัดให้อยู่ในรูปแบบ ความรู้ในรูปกฎ โดยแยกกลุ่มของเสียที่เกิดขึ้น ออกเป็นสมมุติฐานต่าง ๆ ได้จำนวน 21 หัวข้อ สมมุติฐานย่อย 4 หัวข้อ และกฎ 93 หัวข้อ นำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้กับระบบผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นเครื่องอนุมานและเครื่องมือเก็บรวบรวมความรู้ ซึ่งจะมีหน้าที่คอยให้คำแนะนำกับผู้ใช้ โดยการตั้งคำถาม เพื่อสอบถามสภาพความเป็นจริงในขณะนี้ เพื่อให้ผู้ใช้ตอบ ระบบผู้เชี่ยวชาญจะถามคำถาม จนกระทั่งพบคำตอบที่ทำให้เงื่อนไขนั้นเป็นจริง เพื่อให้คำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาให้กับผู้ใช้ กลไกการอนุมานของระบบผู้เชี่ยวชาญ จะเป็นการอนุมานแบบย้อนกลับ และการค้นหาแบบในทางลึกก่อน (Depth - First) และการค้นหาแบบในทางกว้างก่อน (Breadth - First)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำขึ้นเพื่อเป็นต้นแบบในการเชื่อมโยงความรู้ และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์ เข้ากับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ ต่อไป ซึ่งคาดหวังว่าระบบผู้เชี่ยวชาญที่สร้างขึ้นนี้ จะสามารถชี้แนะแนวทางการแก้ไขปัญหา ประมาณ 50% ส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญที่สมบูรณ์ ต้องใช้เวลาในการพัฒนาอย่างต่อเนื่องต่อไปในอนาคต

ภาควิชา ..... วิศวกรรม เคมี  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรม เคมี  
ปีการศึกษา ..... 2538

ลายมือชื่อนิสิต ..... สมควร อติเรกถาวรโรคม  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... อ.มนตรี วงศ์ศรี  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ..... นาย สุวัฒน์ ศรีสนั่น

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ โดยได้รับความช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์จากหลายฝ่ายด้วยกัน ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา และแนะนำแนวทางการทำงานวิจัย แนวทางการแก้ไขปัญหา และให้ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่จะนำมาซึ่งความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเป็นรูปเล่มที่สมบูรณ์

นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ กลุ่มวิจัยการควบคุมกระบวนการ และระบบผู้เชี่ยวชาญ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ต่าง ๆ และเพื่อน ๆ ในกลุ่มวิจัยฯ ที่คอยให้กำลังใจในขณะค้นคว้าวิจัยด้วยดีเสมอมา จนทำให้การวิจัยของข้าพเจ้าสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ประกอบด้วย  
รองศาสตราจารย์ ดร.จिरกานต์ เมืองนาโพธิ์ ประธานกรรมการ  
อาจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี กรรมการและที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
นายสุวัฒน์ ศรีสนั่น กรรมการและที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร บุญ-หลง กรรมการ  
ซึ่งได้ให้ความสนใจและให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์เพิ่มเติม ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มี  
มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ท้ายที่สุดนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อจรัสศักดิ์ - คุณแม่เล็ก อติเรกลาภ ไรดม  
ซึ่งคอยให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลา จนสำเร็จการศึกษา



## สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์.....	3
1.2 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	4
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.3 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 ผลงานที่เกี่ยวข้อง.....	7
บทที่ 3 ทฤษฎีของโลหะผสมโซลเดอร์ และกระบวนการชุบเคลือบ โลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการใช้ลมร้อนเป่าให้เรียบ.....	12
3.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโลหะผสมโซลเดอร์.....	12
3.1.1 ทฤษฎีของโลหะผสมโซลเดอร์.....	12
3.1.2 การใช้งานทั่วไปของโลหะผสมโซลเดอร์.....	14
3.1.3 ผลของสิ่งเจือปน (Impurities) ที่มีต่อคุณสมบัติของ โลหะผสมโซลเดอร์ (Effects of Impurities on Properties of Solder).....	19
3.1.4 คุณสมบัติของโลหะผสมโซลเดอร์ที่ใช้ใน อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์.....	23

3.2	กระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการใช้ลมร้อนเป่าให้เรียบ (Hot Air Leveling, HAL).....	24
3.2.1	การชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการใช้ลมร้อนเป่าให้เรียบในแนวระนาบ (Horizontal HAL).....	24
3.2.2	การชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการใช้ลมร้อนเป่าให้เรียบในแนวตั้ง (Vertical HAL).....	26
บทที่ 4	ทฤษฎีของระบบฐานความรู้และระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	32
4.1	ความหมายทั่วไป.....	32
4.2	ประโยชน์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	34
4.3	โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	41
4.3.1	ฐานความรู้หรือฐานกฎ (Rule Base).....	41
4.3.2	เครื่องจักรวินิจฉัยหรือผู้ตีความกฎ (Inference Engine)....	42
4.3.3	ส่วนความจำหรือฐานข้อมูล (Working Memory).....	42
4.4	การทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	44
4.5	เทคนิคที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์.....	46
บทที่ 5	ระบบผู้เชี่ยวชาญ สำหรับการแก้ปัญหาของกระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมในแนวตั้ง ของแผ่นวงจรพิมพ์.....	49
5.1	รายละเอียดของระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	50
5.2	การทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	61
5.3	การติดต่อกับผู้ใช้.....	66
5.4	การแสดงผล.....	84
5.5	ตัวอย่างการใช้งานของระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	85
5.5.1	กรณีตัวอย่างของปัญหาอุดตัน (Block Hole) ที่เกิดจากสาเหตุของโลหะผสมโซลเดอร์ ไปอุดตันอยู่ในมีดลม....	85
5.5.2	กรณีตัวอย่างของปัญหาอุดตัน (Block Hole) ที่เกิดจากสาเหตุของความเร็วในการเคลื่อนที่ขึ้นของแผ่นบอร์ด...	86

5.5.3	กรณีตัวอย่างของปัญหาห้วงตัน (Block Hole) ที่เกิดจากสาเหตุของสารประสานการเชื่อม (Flux) มีคุณสมบัติไม่อยู่ในค่าควบคุม.....	89
5.5.4	กรณีตัวอย่างของปัญหาโลหะผสมติดอยู่บนส่วนที่ชุบทอง (Solder on gold) ที่เกิดจากสาเหตุของทิศทางของขาเชื่อมต่อ (Connection) ของบอร์ด อยู่ในแนวขนานกับตำแหน่งของมีดลม.....	92
บทที่ 6	สรุปและวิจารณ์.....	95
6.1	ข้อจำกัดของระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	96
6.2	ความคิดเห็นส่วนตัวของผู้ทำการวิจัย.....	99
	รายการอ้างอิง.....	100
ภาคผนวก ก	รายละเอียดของโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญ สำหรับการแก้ปัญหาของกระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมในแนวตั้งของแผ่นวงจรพิมพ์.....	106
ภาคผนวก ข	กระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ โดยย่อ.....	217
	ประวัติผู้เขียน.....	223



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1	ขอบเขตการใช้งานของโลหะผสมโซลเดอร์.....	15
ตารางที่ 3.2	มาตรฐาน Federal Specification QQ - S - 571 E.....	17
ตารางที่ 5.1	ชนิดของของเสีย (Defects) และคำอธิบาย.....	51
ตารางที่ 5.2	รายละเอียดของสมมุติฐานทั้งหมด.....	58

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 3.1	ไดอะแกรมสมดุลเชิงโลหะการของคืบูก - ตะกั่ว.....	13
รูปที่ 3.2	กระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการใช้ลมร้อน เป่าให้เรียบในแนวระนาบ.....	24
รูปที่ 3.3	ลักษณะการเคลื่อนที่ของแผ่นบอร์ดและตำแหน่งมีดคมของ กระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการ ใช้ลมร้อน เป่าให้เรียบในแนวระนาบ.....	25
รูปที่ 3.4	ลักษณะของชั้นความหนาของโลหะผสมโซลเดอร์ ที่ชุบด้วยวิธี การต่างกัน.....	26
รูปที่ 3.5	กระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการ ใช้ลมร้อน เป่าให้เรียบ ในแนวตั้ง.....	28
รูปที่ 3.6	ลักษณะการเคลื่อนที่ของแผ่นบอร์ด และตำแหน่งมีดคมของ กระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการ ใช้ลมร้อน เป่าให้เรียบในแนวตั้ง.....	29
รูปที่ 5.1	โครงสร้างข้อมูลแบบต้นไม้.....	50
รูปที่ 5.2	โครงสร้างแบบต้นไม้ของ ความรู้ในฐานานกฏของสมมุติฐาน “รูตัน” (Block Hole).....	55
รูปที่ 5.3	โครงสร้างแบบต้นไม้ของระบบผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด.....	60
รูปที่ 5.4	หน้าต่าง Smarts Elements.....	62
รูปที่ 5.5	แผนภูมิแสดงเส้นทางการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	65
รูปที่ 5.6	หน้าต่างแสดงเมนูย่อยของเมนูหลัก Expert .....	69
รูปที่ 5.7	หน้าต่างแสดงเมนูย่อยของเมนูหลัก Expert หลังจากเลือกเมนู ย่อย Load.....	69
รูปที่ 5.8	หน้าต่าง Open a script file สำหรับเลือกไฟล์ VSCL.scp.....	70

## สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์.....	3
1.2 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	4
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.3 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 ผลงานที่เกี่ยวข้อง.....	7
บทที่ 3 ทฤษฎีของโลหะผสมโซลเดอร์ และกระบวนการชุบเคลือบ โลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการใช้ลมร้อนเป่าให้เรียบ.....	12
3.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโลหะผสมโซลเดอร์.....	12
3.1.1 ทฤษฎีของโลหะผสมโซลเดอร์.....	12
3.1.2 การใช้งานทั่วไปของโลหะผสมโซลเดอร์.....	14
3.1.3 ผลของสิ่งเจือปน (Impurities) ที่มีต่อคุณสมบัติของ โลหะผสมโซลเดอร์ (Effects of Impurities on Properties of Solder).....	19
3.1.4 คุณสมบัติของโลหะผสมโซลเดอร์ที่ใช้ใน อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์.....	23

3.2	กระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการใช้ลมร้อน	
	เป่าให้เรียบ (Hot Air Leveling, HAL).....	24
3.2.1	การชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการใช้ลมร้อน	
	เป่าให้เรียบในแนวระนาบ (Horizontal HAL).....	24
3.2.2	การชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการใช้ลมร้อน	
	เป่าให้เรียบในแนวตั้ง (Vertical HAL).....	26
บทที่ 4.	ทฤษฎีของระบบฐานความรู้และระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	32
4.1	ความหมายทั่วไป.....	32
4.2	ประโยชน์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	34
4.3	โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	41
4.3.1	ฐานความรู้หรือฐานกฎ (Rule Base).....	41
4.3.2	เครื่องจักรวินิจฉัยหรือผู้ตีความกฎ (Inference Engine)....	42
4.3.3	ส่วนความจำหรือฐานข้อมูล (Working Memory).....	42
4.4	การทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	44
4.5	เทคนิคที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์.....	46
บทที่ 5	ระบบผู้เชี่ยวชาญ สำหรับการแก้ปัญหาของกระบวนการชุบเคลือบ	
	โลหะผสมในแนวตั้ง ของแผ่นวงจรพิมพ์.....	49
5.1	รายละเอียดของระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	50
5.2	การทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	61
5.3	การติดต่อกับผู้ใช้.....	66
5.4	การแสดงผล.....	84
5.5	ตัวอย่างการใช้งานของระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	85
5.5.1	กรณีตัวอย่างของปัญหาอุดตัน (Block Hole) ที่เกิดจาก	
	สาเหตุของโลหะผสมโซลเดอร์ ไปอุดตันอยู่ในมิดลม....	85
5.5.2	กรณีตัวอย่างของปัญหาอุดตัน (Block Hole) ที่เกิดจาก	
	สาเหตุของความเร็วในการเคลื่อนที่ขึ้นของแผ่นบอร์ด...	86

5.5.3	กรณีตัวอย่างของปัญหารูตัน (Block Hole) ที่เกิดจากสาเหตุของสารประสานการเชื่อม (Flux) มีคุณสมบัติไม่อยู่ในค่าควบคุม.....	89
5.5.4	กรณีตัวอย่างของปัญหาโลหะผสมติดอยู่บนส่วนที่ชุบทอง (Solder on gold) ที่เกิดจากสาเหตุของทิศทางของขาเชื่อมต่อ (Connection) ของบอร์ด อยู่ในแนวขนานกับตำแหน่งของมีดลม.....	92
บทที่ 6	สรุปและวิจารณ์.....	95
6.1	ข้อจำกัดของระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	96
6.2	ความคิดเห็นส่วนตัวของผู้ทำการวิจัย.....	99
	รายการอ้างอิง.....	100
ภาคผนวก ก	รายละเอียดของโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญ สำหรับการแก้ปัญหาของกระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมในแนวตั้งของแผ่นวงจรพิมพ์.....	106
ภาคผนวก ข	กระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ โดยย่อ.....	217
	ประวัติผู้เขียน.....	223

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1	ขอบเขตการใช้งานของโลหะผสมโซลเดอร์.....	15
ตารางที่ 3.2	มาตรฐาน Federal Specification QQ - S - 571 E.....	17
ตารางที่ 5.1	ชนิดของของเสีย (Defects) และคำอธิบาย.....	51
ตารางที่ 5.2	รายละเอียดของสมมุติฐานทั้งหมด.....	58

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 3.1	ไดอะแกรมสมดุลย์เชิงโลหะการของดีบุก - ตะกั่ว.....	13
รูปที่ 3.2	กระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการใช้ลมร้อน เป่าให้เรียบในแนวระนาบ.....	24
รูปที่ 3.3	ลักษณะการเคลื่อนที่ของแผ่นบอร์ดและตำแหน่งมีดคมของ กระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการ ใช้ลมร้อน เป่าให้เรียบในแนวระนาบ.....	25
รูปที่ 3.4	ลักษณะของชั้นความหนาของโลหะผสมโซลเดอร์ ที่ชุบด้วยวิธี การต่างกัน.....	26
รูปที่ 3.5	กระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการ ใช้ลมร้อน เป่าให้เรียบในแนวตั้ง.....	28
รูปที่ 3.6	ลักษณะการเคลื่อนที่ของแผ่นบอร์ด และตำแหน่งมีดคมของ กระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการ ใช้ลมร้อน เป่าให้เรียบในแนวตั้ง.....	29
รูปที่ 5.1	โครงสร้างข้อมูลแบบต้นไม้.....	50
รูปที่ 5.2	โครงสร้างแบบต้นไม้ของ ความรู้ในรูปฐานกฎของสมมุติฐาน “รูตัน” (Block Hole).....	55
รูปที่ 5.3	โครงสร้างแบบต้นไม้ของระบบผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด.....	60
รูปที่ 5.4	หน้าต่าง Smarts Elements.....	62
รูปที่ 5.5	แผนภูมิแสดงเส้นทางการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	65
รูปที่ 5.6	หน้าต่างแสดงเมนูย่อยของเมนูหลัก Expert .....	69
รูปที่ 5.7	หน้าต่างแสดงเมนูย่อยของเมนูหลัก Expert หลังจากเลือกเมนู ย่อย Load.....	69
รูปที่ 5.8	หน้าต่าง Open a script file สำหรับเลือกไฟล์ VSCL.scp.....	70

รูปที่ 5.9 หน้าต่างแสดงการเลือกเมนูย่อย Start with และเลือก Application Script.....	70
รูปที่ 5.10 หน้าต่างที่ 1 ของ Troubleshooting for Vertical SCL Process.....	71
รูปที่ 5.11 หน้าต่างที่ 2 สำหรับถามคำถามและรับคำตอบจากผู้ใช้.....	71
รูปที่ 5.12 หน้าต่างเลือกชนิดของของเสียที่ต้องการสอบถาม.....	72
รูปที่ 5.13 หน้าต่างแสดงคำถามหลังเลือกชนิดของของเสีย.....	72
รูปที่ 5.14 หน้าต่างแสดงคำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหารูตัน (Block Hole).....	73
รูปที่ 5.15 หน้าต่างแสดงคำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาทองแดงปรากฏในรู(Cu Expose in Hole).....	73
รูปที่ 5.16 หน้าต่างแสดงคำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาทองแดงปรากฏบนฐานรอง(Cu Expose on Pad).....	74
รูปที่ 5.17 หน้าต่างแสดงคำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาแผ่นบอร์ดเสียหาย เนื่องจาก โกงงอ (Damaged Board).....	74
รูปที่ 5.18 หน้าต่างแสดงคำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาแผ่นบอร์ดเสียหาย เนื่องจากบิดงอ (Damaged Board).....	75
รูปที่ 5.19 หน้าต่างแสดงคำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาสีของทองที่ขาเชื่อมต่อเปลี่ยนแปลง (Decoloration Gold).....	75
รูปที่ 5.20 หน้าต่างแสดงคำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาน้ำของแผ่นบอร์ดแยกชั้นออกจากกัน (Delamination).....	76
รูปที่ 5.21 หน้าต่างแสดงคำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหากการเปียกไม่สมบูรณ์ (Dewetting).....	76
รูปที่ 5.22 หน้าต่างแสดงคำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาคิวด้านของโลหะผสม โซลเดอร์ในรู (Dull Hole).....	77
รูปที่ 5.23 หน้าต่างแสดงคำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาคิวส่วนเกินของโลหะผสม โซลเดอร์ (Excess Solder).....	77



รูปที่ 5.24	หน้าต่างแสดงคำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาคราบขาวติด อยู่บนขาทอง (Glue Residue On Gold).....	78
รูปที่ 5.25	หน้าต่างแสดงคำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหารูมีขนาดเล็ก เกินไป (Hole Undersize).....	78
รูปที่ 5.26	หน้าต่างแสดงคำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาในรูมีช่องว่าง (Hole Void).....	79
รูปที่ 5.27	หน้าต่างแสดงคำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาเนื้อของแผ่น บอร์ดแยกชั้นออกจากกัน (Measling).....	79
รูปที่ 5.28	หน้าต่างแสดงคำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาการไม่เปียก อย่างสมบูรณ์ (Nonwetting).....	80
รูปที่ 5.29	หน้าต่างแสดงคำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหามันงทองแดง แยกออกจากแผงรู (Plate Slot Peel-Off).....	80
รูปที่ 5.30	หน้าต่างแสดงคำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาโลหะผสม โซลเดอร์ติดบนขาทอง(Solder On Gold).....	81
รูปที่ 5.31	หน้าต่างแสดงคำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาผิวของ โลหะผสม โซลเดอร์ที่ฐานรองขุ่นมัว (Tarnish Pad) .....	81
รูปที่ 5.32	หน้าต่างแสดงคำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาลักษณะ โซลเดอร์หนาเกินไป (Thick Solder Thickness).....	82
รูปที่ 5.33	หน้าต่างแสดงคำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาลักษณะ โซลเดอร์บางเกินไป (Thin Solder Thickness).....	82
รูปที่ 5.34	หน้าต่างแสดงคำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาลักษณะ โลหะผสม โซลเดอร์ไม่สม่ำเสมอ (Uneven Solder) .....	83
รูปที่ 5.35	หน้าต่างแสดงคำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาลักษณะ โซลเดอร์ กระจายติดอยู่ บนหมึกปกปิดโลหะผสม โซลเดอร์ (Webbing Solder).....	83
รูปที่ ข.1	กระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์.....	222