

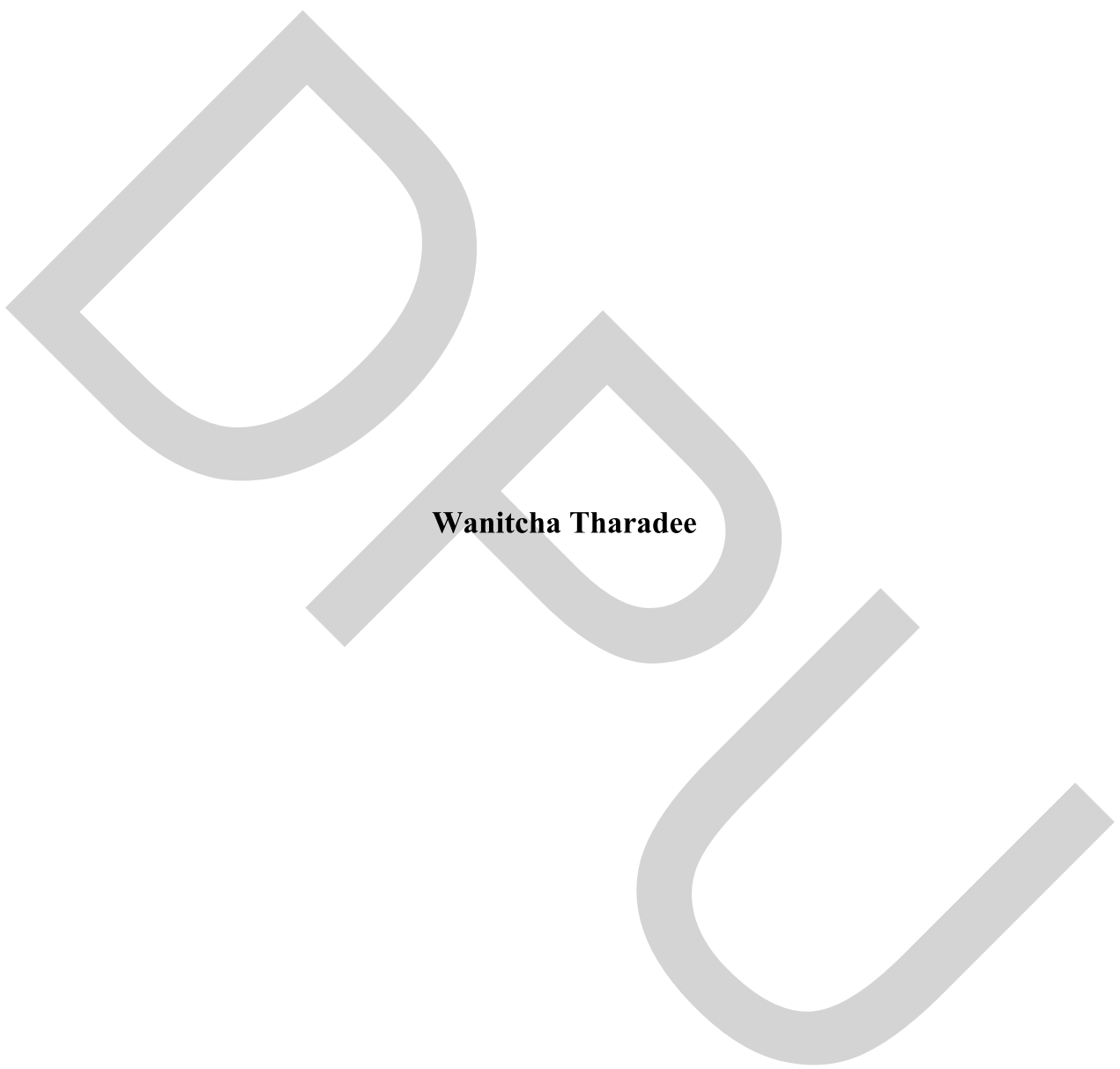
การประเมินราคาอุปกรณ์จับยึดแผงวงจรเพื่อผ่านเครื่องบัดกรีตะกั่ว
ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

วณิชชา ทรดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

พ.ศ.2554

Wave soldering fixture cost estimation
By Multiple regression analysis technique



Wanitcha Tharadee

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of Master of Science
Department of Engineering Management
Graduate School, Dhurakij Pundit University

2011

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร.ประศาสน์ จันทราทิพย์ ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร กรรมการ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์แนะนำ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนทำให้ผลการวิจัยครั้งนี้สมบูรณ์ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้รับความกรุณาจากท่านผู้ทรงคุณวุฒิอีกหลายท่านที่ได้กล่าวนามในที่นี้ที่ได้แสดงความคิดเห็น และให้คำแนะนำต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้วิจัย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณณรงค์ นุชสุภาพ ผู้จัดการแผนก ที่ได้ให้การสนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างดี และอีกท่านก็คือ คุณวราห์ สนั่นน้ำหนัก วิศวกรอาวุโสทางด้าน Six Sigma ที่ได้ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับเนื้อหางานวิจัยทำให้ผู้วิจัยมีความรู้และความเข้าใจสามารถทำงานวิจัยสำเร็จลงได้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ขอบคุณคุณดารา ไชยนามสฤติย์ น้องสาวผู้ที่คอยให้กำลังใจ และขอขอบคุณ คุณสมจิตร เป็นมุล ที่ได้ดูแลครอบครัวตลอดระยะเวลาที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาต่อ ที่สำคัญอีกก็คือเพื่อนๆ EM รุ่น 51 ทุกคน ที่คอยให้คำแนะนำและให้กำลังใจมาโดยตลอดรวมทั้งทุกท่านที่ผู้วิจัยไม่สามารถเอ่ยนามได้ครบ ขอคุณงามความดีที่เป็นประโยชน์อันเกิดจากผลการศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยขออุทิศให้แก่คุณบิดามารดาตลอดจนท่านอาจารย์ทุกท่านที่ประสาทวิชาความรู้อันเป็นสิ่งที่มิค้ำยั้งแก่ผู้วิจัย ส่วนความผิดพลาดและข้อบกพร่องใดๆ ที่อาจจะมีผู้วิจัยขอน้อมรับไว้แต่ผู้เดียว

วนิษา ตรีดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ฅ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	4
1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.6 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย.....	5
1.7 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	5
1.8 คำนิยาม คำศัพท์เฉพาะ.....	6
2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการประกอบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์.....	8
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับ เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools).....	33
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการพยากรณ์ (Forecasting).....	35
2.4 ทฤษฎีการใช้สมการเส้นถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Model).....	40
2.5 การวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์.....	48
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	49
3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	52
3.1 ศึกษาสภาพการดำเนินงานของโรงงานกรณีศึกษา	54
3.2 สำรวจสภาพปัจจุบันของปัญหา	59
3.3 วิเคราะห์และหาสาเหตุการสลับหาปัจจัย.....	61

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.4 วิธีการติดตามผลหลังดำเนินงานวิจัย และสรุปผลการดำเนินงานวิจัย	79
4 ผลการศึกษา	80
4.1 ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของสมการถดถอย	80
4.2 ทำการเก็บข้อมูลของทั้ง 3 ปัจจัยที่ถูกคัดเลือก	84
4.3 วิธีการพยากรณ์กับข้อมูลของทั้ง 3 ปัจจัยที่ถูกคัดเลือก	85
4.4 การวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (Measuring Forecast Errors)	87
4.5 สรุปผลการศึกษา	89
5 สรุปผลการศึกษา	90
5.1 สรุปผลการศึกษา	90
5.2 รายละเอียดเวลาในการประเมินราคา และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น	92
5.3 ข้อเสนอแนะ	93
บรรณานุกรม	94
ภาคผนวก	99
ประวัติผู้เขียน	101

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงระยะเวลาในการดำเนินงาน	6
3.1 แสดงราคาวัสดุแต่ละชนิด (ตารางมิลลิเมตรต่อคอลลาร์สำหรับ).....	66
3.2 แสดงรายละเอียดข้อมูลของทั้ง 9 ปัจจัย.....	67
3.3 แสดงผลรายละเอียดจากการวิเคราะห์ Regression	69
3.4 แสดงผลรายละเอียดจากการ Run Regression หลังจากตัดข้อมูลชุดที่ไม่เข้าพวกออก	71
3.5 แสดงรายละเอียดผลของการใช้เทคนิค Best Subsets คัดเลือกตัวแปร	73
3.6 แสดงรายละเอียดผลของการใช้ Stepwise regression คัดเลือกตัวแปร	74
3.7 แสดงผลการตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรอิสระ กับตัวแปรตาม จากตาราง ANOVA	76
3.8 แสดงผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยแต่ละค่าของตัวแปร จากตาราง Coefficients.....	77
3.9 แสดงรายละเอียดผลของการใช้ Stepwise regression คัดเลือกตัวแปร	79
4.1 แสดงการตรวจสอบความไม่มีความสัมพันธ์กันของตัวแปรอิสระแต่ละตัว.....	84
4.2 แสดงข้อมูลของทั้ง 3 ปัจจัยและ ราคาที่สั่งซื้อจริงจำนวน 37 ชุด	85
4.3 แสดงผลของราคา Wave soldering fixture จากการใช้สมการพยากรณ์	86
4.4 แสดงการเปรียบเทียบวิธีการวัดค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ ระหว่างวิธีการประเมินแบบเก่า และ การใช้สมการพยากรณ์ต้นแบบจากการศึกษา.....	87
4.5 แสดงวิธีการวัดค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error-(MAPE)).....	88
5.1 แสดงผลการเปรียบเทียบวัตถุประสงค์เป้าหมายกับผลที่ได้รับจากการดำเนินงาน	91
5.2 แสดงการเปรียบเทียบเวลาในการประเมิน และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น	92

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แสดงขบวนการสั่งซื้อ Fixture แต่ละประเภท (พ.ศ. 2551-2552)	3
1.2 แสดงการเปรียบเทียบราคาที่เกิดขึ้นจริง และราคาประเมิน	3
1.3 แสดง Wave Soldering fixture.....	4
2.1 แสดง PCB และตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ก่อนและหลังประกอบ	8
2.2 แสดงตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กลุ่มของ SMD (Surface Mounted Device)	9
2.3 แสดงตัวอุปกรณ์ SMD (Surface Mounted Device) ประกอบเข้ากับ PCB.....	9
2.4 แสดงตัวอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์กลุ่มของ PTH (Pin Through Hole)	10
2.5 แสดงตัวอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์กลุ่มของ PTH (Pin Through Hole) ประกอบเข้ากับ PCB)	10
2.6 แสดงตะกั่วในรูปแบบของครีม (Solder paste).....	11
2.7 แสดง Stencil ที่ใช้สำหรับการ print ตะกั่วครีม (Solder paste)	11
2.8 แสดงตะกั่วในรูปร่างต่างๆ (Solder Preform)	12
2.9 แสดง Solder Preform เมื่อใช้กับขาอุปกรณ์	12
2.10 แสดงตะกั่วในรูปแบบแท่ง (Solder Bar).....	13
2.11 แสดงตะกั่วในรูปแบบแท่ง (Solder Bar) หลังจากละลาย.....	13
2.12 แสดงตะกั่วในรูปแบบเส้น (Solder Wire)	14
2.13 แสดงเครื่องบัดกรี และหัวแร้งที่ใช้ในการบัดกรี Solder Wire.....	14
2.14 แสดงสายการผลิตทั้งส่วน SMT Line และ IMT Line	15
2.15 แสดงการผลิตส่วน SMT	16
2.16 แสดง Loader machine	16
2.17 แสดง Screen printer.....	17
2.18 แสดง Inspection conveyor.....	17
2.19 แสดง Chip placement machine	18
2.20 แสดง IC placement machine	19
2.21 แสดง Chip and IC placement machine.....	19
2.22 แสดง Reflow oven.....	20

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.23 แสดง Auto Optical Inspection (AOI)	20
2.24 แสดง Process flow ของ MIT line.....	21
2.25 แสดง Board ก่อนและหลังทำการแยกบอร์ด.....	22
2.26 แสดง Router machine.....	23
2.27 แสดงตัวอุปกรณ์ DIP (Dual in-line package)	23
2.28 แสดง DIP machine	24
2.29 แสดง Radial component	24
2.30 แสดง Radial machine	25
2.31 แสดง Axial component.....	25
2.32 แสดง Variable Center Distance and Sequencer Machine (VCD)	26
2.33 แสดง Component ในรูปแบบต่าง ๆ ที่ใช้ Semi-auto component preparation	26
2.34 แสดง Equipment ที่ใช้ Preparation Component ในรูปแบบ Axial	27
2.35 แสดง การทำงานของเครื่อง Wave soldering	28
2.36 แสดง เครื่อง Cleaning.....	28
2.37 แสดง Wave soldering fixture	29
2.38 แสดง ส่วนประกอบต่างๆ ของ Wave soldering fixture.....	31
2.39 แสดง วัสดุที่ใช้ในการทำ Wave soldering fixture.....	33
2.40 แสดง ตัวอย่าง Cause and Effect Diagram	35
2.41 แสดงประเภทของการพยากรณ์.....	37
2.42 แสดงการนำข้อมูลจากตัวแปรวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ที่สามารถบอกแนวโน้ม ของความสัมพันธ์โดยใช้แผนภาพเส้นตรงแทน	42
3.1 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	53
3.2 แสดงผลิตภัณฑ์ของโรงงานตัวอย่าง	54
3.3 ฟังก์ชันกรของโรงงานตัวอย่าง	55
3.4 แสดงการดำเนินงานของแผนก NPI (New Product Introduction)	57
3.5 แสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของฝ่าย Quote team.....	58
3.6 แสดงยอดการสั่งซื้อ Fixture แต่ละประเภท (พ.ศ. 2551-2552)	59

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.7 แสดง 5 อันดับแรกของลูกค้าที่มียอดการสั่งซื้อ Wave soldering fixture.....	60
3.8 แสดงความแตกต่างระหว่างราคาประเมิน กับ ราคาจริงในแต่ละลูกค้า.....	60
3.9 แสดงรายละเอียดที่ได้จากการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อราคา Wave soldering fixture.....	61
3.10 แสดงกรอบแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย	62
3.11 แสดงลักษณะของการเปิด material หลบ SMD part	63
3.12 แสดงขนาดของ Wave soldering fixture 380 x 500 mm.	63
3.13 แสดง Clamp lock และตัวอุปกรณ์ประเภท Connector ที่ต้องกดล็อก	64
3.14 แสดงตัวอุปกรณ์ประเภท Socket Dimm Connector Capacitor และ LED ที่ต้องกดล็อก	64
3.15 แสดง Clamp lock และตัวอุปกรณ์ประเภท Connector ที่ต้องกดล็อก ที่เปิดทะลุ	65
3.16 แสดงจำนวนช่องที่เปิด และขนาดของช่องที่เปิด Wave soldering fixture	65
3.17 ตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูล โดยใช้ Normality Test จาก Minitab.....	68
3.18 แสดงการจัดกลุ่มของข้อมูลโดย Cluster Observations จาก Minitab	71
4.1 แสดงตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันในแบบเส้นตรง จากโปรแกรม Minitab	81
4.2 แสดงการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง เทียบกับค่า Fitted Value.....	82
4.3 แสดงค่าความเคลื่อนที่จะต้องเป็นอิสระต่อกัน.....	83

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินราคาอุปกรณ์จับยึดแผงวงจรเพื่อผ่านเครื่องบัดกรีตะกั่วด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ
ชื่อผู้เขียน	วณิชชา ทรดี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภรัชชัย วรรณัน
สาขาวิชา	การจัดการทางวิศวกรรม
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะทำการศึกษาค้นคว้าหาปัจจัยที่ส่งผลต่อราคาของ อุปกรณ์จับยึดแผงวงจรเพื่อผ่านเครื่องบัดกรีตะกั่ว หรือ Wave soldering fixture เพื่อที่จะจัดทำสมการพยากรณ์ต้นแบบ โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบการใช้สมการเส้นถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Model) และเลือกลูกค้า SL เนื่องจากมียอดการสั่งซื้อมากที่สุดจาก 5 อันดับแรกของลูกค้าทั้งหมด และเมื่อทำการเทียบราคาจริงกับราคาประเมิน มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error-MAPE) อยู่ที่ 48.89 เปอร์เซ็นต์ และถ้าคิดเป็นค่าใช้จ่ายในด้านเวลาที่ใช้ในการประเมินจะต้องเสียเวลา 21 ชั่วโมง คิดเป็นค่าใช้จ่ายต่องาน 5,600 บาท และเมื่อได้ทำการศึกษหาปัจจัยที่ส่งผลต่อราคา Wave soldering fixture โดยประยุกต์ใช้วิธีการคัดเลือกตัวแปร 2 รูปแบบคือ วิธี All Enter ด้วยเทคนิค Best Subset regression และวิธี Stepwise regression ปัจจัยที่ส่งผลจากทั้งสองวิธีเป็นปัจจัยที่เหมือนกันทั้ง 3 ปัจจัยคือ จำนวนของ SMD part จำนวนของ PTH part และราคาของวัสดุ (Material price) สมการต้นแบบที่ได้คือ ราคา Wave soldering fixture = $101.106 + 1.1297(\text{ราคาของวัสดุ (Material price)}) + 0.3784(\text{จำนวนของ PTH part}) + 0.02982(\text{จำนวนของ SMD part})$ และเมื่อได้นำสมการพยากรณ์ต้นแบบใช้กับงานของลูกค้า SL สามารถช่วยลดเวลาในการประเมินเหลือเพียงแค่ 11.8 ชั่วโมง คิดเป็นค่าใช้จ่ายต่องานเท่ากับ 3,096 บาท ซึ่งสามารถประหยัดต่องานได้ถึง 2,504 บาท และได้มีการนำเสนอราคา Wave soldering fixture ให้แก่ลูกค้าทั้งหมดจำนวน 37 งานของระยะเวลา 10 เดือน ซึ่งเป็นสามารถประหยัดได้ถึง $2,508 \times 37 = 92,802$ บาท และมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE) ลดลงอยู่ที่ 8.03 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถลดค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ได้ถึง 84 เปอร์เซ็นต์

Thesis Title	Wave soldering fixture cost estimation By Multiple regression analysis technique
Author	Wanitcha Tharadee
Thesis Advisor	Asst. Suparatchai Vorarat, Ph.D.
Department	Engineering Management
Academic Year	2011

ABSTRACT

The objectives of this study are to finding the factor which impact with the price of Wave soldering fixture and also in order to setting the equation model to use predict the price that one. This study used technique forecasting by Linear regression model and customer that choose to research was SL due to this one are high order from 5 top of all customer and when checking the historical data by comparison between actual and estimate price have average percent of MAPE (Mean Absolute Percent Error) at 48.89% and working hours for estimate the price about 21 hours , cost per project 5,600 baht . After study for analysis about factor by All Enter technique by Best subset regression and Stepwise regression found that same the factor for both method are qty of SMD part qty of PTH part and Material price, Equation model are Wave soldering fixture price = $101.106 + 1.1297(\text{Material price}) + 0.3784 (\text{Qty of PTH part}) + 0.02982 (\text{Qty of SMD part})$ and then use equation model implement with SL can reduced working hours for estimation only use 11.8 hours, cost per project 2,504 baht total project that use this one 37 project (10 month) total cost $2,508 \times 37 = 92,802$ baht , MAPE can reduced to 8.03% percent improvement = 84%

บทที่ 1

บทนำ

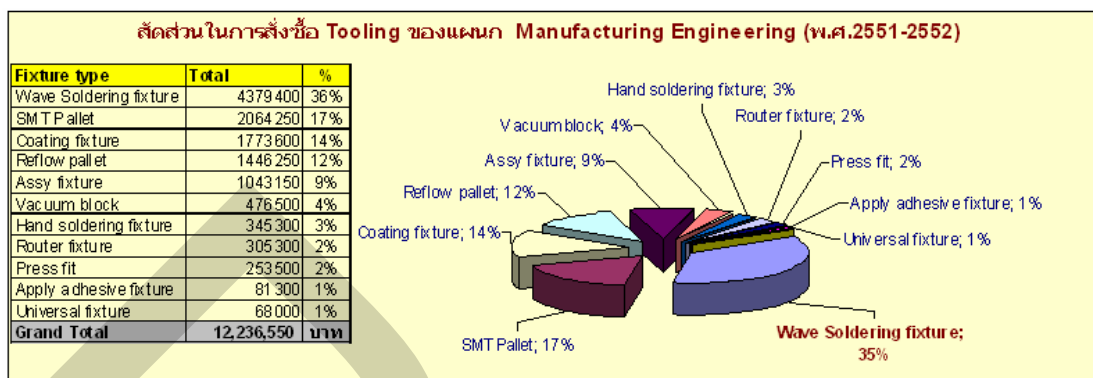
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

บริษัทที่อยู่ในกลุ่มที่เรียกว่า CM (Contract Manufacturing) หรือ EMS (Electronic Manufacturing Service) เป็นบริษัทที่บริการออกแบบ, ทดสอบ, ผลิตแผงวงจรไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์และบริการหลังการขาย คือ การรับซ่อมกับตัวผลิตภัณฑ์ที่มีความเสียหายด้วยเหตุของทางด้านอายุการใช้งานหรือ ความเสียหายอันที่จะเกิดจากสาเหตุอื่นๆ ทั้งหมดนี้ให้กับกลุ่มบริษัทที่เรียกว่า Original Equipment Manufacturers (OEMs) สืบเนื่องมาจากที่ในปัจจุบันนี้ได้มีการแข่งขันในอุตสาหกรรมประเภทอิเล็กทรอนิกส์ที่สูงมาก ประกอบด้วยการเปิดเสรีกับประเทศคู่ค้าต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศจีน เวียดนาม อินเดีย ซึ่งมีศักยภาพที่สูงขึ้นเรื่อยๆ จึงนับว่าเป็นคู่แข่งที่บริษัทต่างจะต้องมีการพัฒนาปรับปรุงคุณภาพของสินค้าและบริการที่ดีที่สุดของลูกค้า ซึ่งโดยทั่วๆ ไปสิ่งที่สร้างความพึงพอใจของลูกค้านั้นจะหนีไม่พ้นในเรื่องของการได้รับสินค้า บริการที่ดี ความน่าเชื่อถือในด้านของคุณภาพ การส่งมอบสินค้าที่ตรงต่อเวลาที่กำหนด และที่สำคัญที่สุดคือในด้านของราคาตัวผลิตภัณฑ์จะต้องเป็นที่น่าสนใจ และยอมรับได้ทั้งทางบริษัทที่รับจ้างและลูกค้า

โรงงานตัวอย่างดำเนินธุรกิจในการประกอบแผงวงจรไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อการส่งออกเป็นหลักและกลุ่มลูกค้าเป็นกลุ่มธุรกิจ ในอุตสาหกรรม กลุ่มเครือข่ายโทรคมนาคมเพื่อการสื่อสาร (Telecommunication Network) กลุ่มเครื่องมือแพทย์ กลุ่มธุรกิจการบิน กลุ่มธุรกิจรถยนต์ กลุ่มธุรกิจทางการบินเหิง ด้วยความหลากหลายของกลุ่มธุรกิจ และจำนวนรุ่นของผลิตภัณฑ์ที่มีรุ่นนี้เองจึงเป็นที่มาของมาตรฐานต่างๆ ที่มีในกระบวนการผลิตเกิดความหลากหลาย

ต้นทุนสินค้าจะประกอบไปด้วย แรงงานทางตรง วัสดุทางตรง วัสดุทางอ้อม และ โสหุ้ยการผลิต ผู้วิจัยทำหน้าที่ในงานการประเมินเวลามาตรฐาน คำนวณวัสดุทางอ้อม และ จัดเตรียมในส่วนของ Non-recurring engineering (NRE) คำนวณหาเครื่องมือที่จำเป็นจะต้องใช้สำหรับตัวผลิตภัณฑ์นั้นๆ โดยงานที่ผู้วิจัยรับผิดชอบจะต้องทำงานให้กับลูกค้าที่มีอยู่ในปัจจุบัน และลูกค้าใหม่ และอีกทั้งยังเป็นหน่วยงานแรกที่ได้ทำหน้าที่ในการนำเสนอข้อมูลให้กับทางลูกค้า การประเมินมาตรฐานต่างๆ ซึ่งเป็นเพียงส่วนหนึ่งของแรงงานทางตรง แต่ความสำคัญก็คือในการนำเสนอประกวราคาของตัวผลิตภัณฑ์นั้น ราคาวัตถุดิบนั้นจะเป็นต้นทุนคงที่ราคาไม่แตกต่างกัน

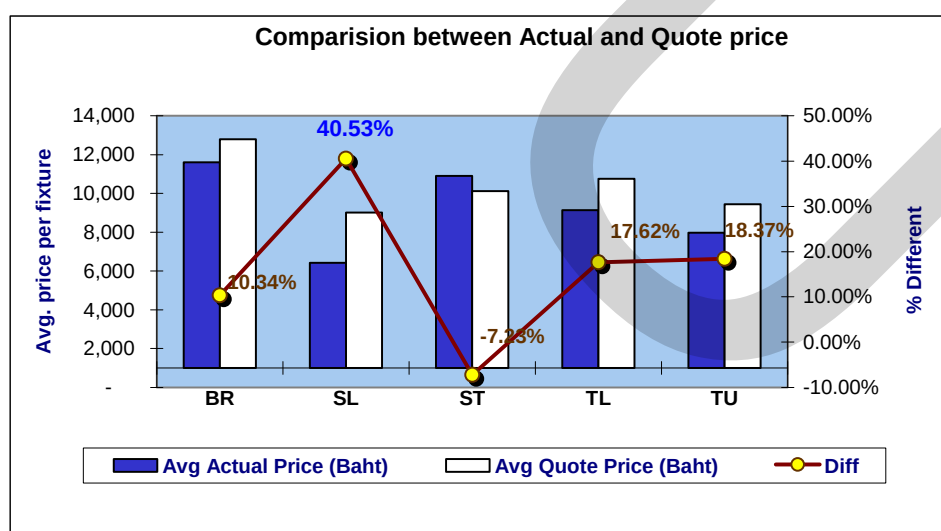
มากนัก แต่ส่วนที่จะเป็นตัวชี้วัดว่าทางบริษัทจะได้รับความสนใจจากลูกค้านั้นจะแข่งขันกันตรงที่ต้นทุนผันแปร ซึ่งก็คือแรงงานทางตรงนั่นเอง นอกจากนี้แล้วยังเป็นหน่วยงานที่จะเป็นฐานข้อมูลสำหรับการที่จะนำไปประกอบการพิจารณาสิ่งต่างๆ เช่น การวางแผนจำนวนคน เครื่องจักร, การประเมินต้นทุน การวางกำหนดการ งบประมาณ การประเมินเอาท์พุท และการออกแบบระบบการสนับสนุนต่างๆ หรืออาจพิจารณานำมาใช้เป็นมาตรฐานเพื่อสะท้อนกับต้นทุน การประเมินในมาตรฐานต่าง ๆ เบื้องต้นในรายละเอียดของงาน หากไม่มีความแม่นยำไม่ใกล้เคียงกับรายละเอียดงานที่เกิดขึ้นจริงในสายการผลิต ก็จะส่งผลทำให้เป็นฐานข้อมูลที่ไม่มีความน่าเชื่อถือในการนำไปใช้ในส่วนต่างๆ ตามที่กล่าวมาข้างต้น สำหรับในประเทศไทยเรานั้น โรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เป็นอุตสาหกรรมที่นำรายได้เข้าสู่ประเทศไทยในอันดับต้น ๆ ในด้านของค่าแรงงานของคนงานถ้าเทียบกันในภาคพื้นเอเชียด้วยกันนับว่าสูงพอสมควร แต่ฝีมือ ความรู้ ความสามารถ ประสิทธิภาพของคนไทยนั้นนับว่าเป็นจุดขายที่สำคัญ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงและรักษาระดับฝีมือและคุณภาพ ให้ดียิ่งขึ้นไป จึงจะอยู่ได้ในอุตสาหกรรมนี้ได้อย่างมั่นคง และสืบเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ของลูกค้าส่วนใหญ่จะเป็นลักษณะผลิตภัณฑ์หลากหลายรุ่น แต่จำนวนการสั่งซื้อต่ำ ทำให้มาตรฐานในรายละเอียดของงานที่มีอยู่เดิม เมื่อนำมาใช้ในการประเมินเกิดความคลาดเคลื่อน ประกอบเข้าด้วยกับฐานข้อมูลเดิมของมาตรฐานงานที่มีอยู่นั้นเป็นมาตรฐานที่จัดทำขึ้นที่มีมานานมาแล้วและเป็นมาตรฐานที่เป็นของผลิตภัณฑ์ที่จัดทำขึ้นในช่วงที่ผลิตภัณฑ์ที่มียอดการสั่งซื้อและการผลิตที่ค่อนข้างสูง มาตรฐานค่อนข้างจะไม่มีค่าความแปรปรวน แต่เมื่อนำมาใช้กับสถานการณ์ปัจจุบันทำให้มีความแตกต่างค่อนข้างมาก และด้วยเหตุนี้ ทางหน่วยงานของผู้วิจัยได้มอบหมายให้ทำการศึกษาและปรับปรุงในรายละเอียดวิธีการคำนวณราคามาตรฐานใหม่ โดยจะให้มีการจัดทำสมการพยากรณ์ราคา เพื่อเป็นเครื่องมือตัวหนึ่งที่จะช่วยให้การประเมินราคามีความแม่นยำน่าเชื่อถือ และเมื่อได้มีการเปรียบเทียบราคาจริง กับราคามาตรฐานย้อนหลังกลับไป 2 ปี (พ.ศ.2551- 2552) ที่มีอยู่เดิมพบว่ามีความแตกต่างกันออกไปในแต่ละลูกค้า จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการเข้าไปค้นคว้าหาปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดค่าความแปรปรวนในราคาของ Fixture ที่ใช้ในการผลิต เพื่อที่จะให้เหมาะสมกับสภาพปัจจุบัน ดังแสดงในภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 แสดงยอดการสั่งซื้อ Fixture แต่ละประเภท (พ.ศ. 2551-2552)

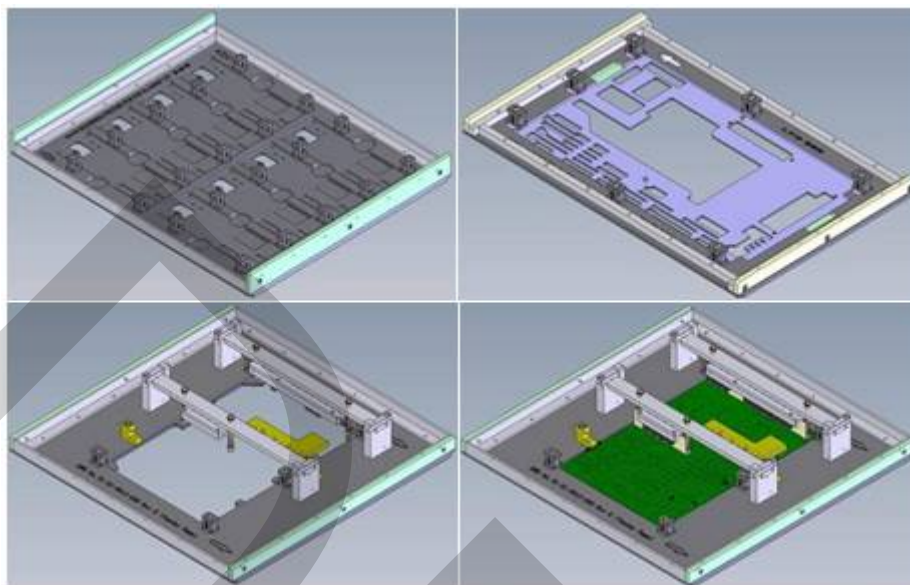
ที่มา: บันทึกการสั่งซื้อของแผนก Manufacturing Engineering ของโรงงานตัวอย่าง

จากภาพที่ 1.1 เมื่อได้ทำการรวมยอดค่าใช้จ่ายของการสั่งซื้อในแต่ละประเภทของ fixture ออกมาแล้ว Wave soldering fixture มีสัดส่วนสูงมากที่สุดถึง 36% เมื่อเปรียบเทียบยอดในการสั่งซื้อ Fixture ทุกประเภท และเมื่อได้ทำการแยกตามรายชื่อลูกค้าที่ใช้ Wave soldering fixture โดยที่พิจารณา 5 อันดับแรกของลูกค้าทั้งหมดออกเปรียบเทียบก็พบว่ามีความแตกต่างทั้งที่ราคาของการประเมินสูงกว่า รายละเอียดแตกต่างกันไปในแต่ละลูกค้า ดังแสดงรายละเอียดการเปรียบเทียบของราคาจริงและ ราคาที่นำเสนอลูกค้า ตามภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.2 แสดงการเปรียบเทียบราคาที่เกิดขึ้นจริง และราคาประเมิน

ที่มา: บันทึกการสั่งซื้อของแผนก Manufacturing Engineering ของโรงงานตัวอย่าง



ภาพที่ 1.3 แสดง Wave Soldering fixture

ที่มา: บันทึกการสั่งซื้อของแผนก Manufacturing Engineering ของโรงงานตัวอย่าง

จากปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องทำอย่างอื่นที่ผู้วิจัยจะต้องทำการปรับปรุงและแก้ไขปัญหา เพื่อที่จะหาวิธีการในการจัดทำสมการพยากรณ์ราคาของ Wave soldering fixture ที่มีความแม่นยำ ในการประเมินราคาได้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ และสามารถที่จะทำการคำนวณแบบสำหรับ Fixture ประเภทอื่นๆ อีกต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1 เพื่อค้นหาปัจจัยที่ส่งผลกับการประเมินราคา Wave soldering fixture
- 2 เพื่อหาราคามาตรฐานและจัดทำสมการคำนวณ รวมทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ Fixture ประเภทอื่นๆ ให้เหมาะสม และนำเสนอให้กับลูกค้า

1.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

- 1 โปรแกรมสำเร็จรูป MINITAB
- 2 วิธีการพยากรณ์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression)
- 3 7 QC Tools

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาหาปัจจัยที่ส่งผลต่อราคาของ Wave soldering fixture ลูกค้ำ SL เพื่อที่จะจัดทำสมการพยากรณ์ต้นแบบ โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบการใช้สมการเส้นถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Model) ของโรงงานประกอบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ตัวอย่าง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1 เป็นการสร้างความเชื่อมั่นให้หน่วยงานที่ทำวิจัยว่างานที่ทำอยู่นั้นว่าจุดที่ถูกต้อง และแม่นยำกับข้อมูลนั้นอยู่ตรงไหน
- 2 ทราบหลักการและแนวทางในการแก้ปัญหาจากการใช้หลักวิธีการทางสถิติ
- 3 เพิ่มฐานลูกค้าใหม่ๆ
- 4 นำหลักการไปใช้กับการประเมินราคากับ fixture ประเภทอื่น

1.6 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

- 1 สำนวณสภาพปัจจุบัน โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลปัญหาที่เกิดขึ้นปัจจุบัน
- 2 ทำการศึกษาสาเหตุของปัญหานำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาแก้ไข
- 3 การดำเนินการแก้ไข และป้องกัน ตามมาตรการที่ได้จากการวิเคราะห์ ปัญหา
- 4 การประเมินผลหลังการแก้ไข/ปรับปรุง และ จัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงาน
- 5 สรุปปัญหาและผลการวิจัย
- 6 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.7 แผนการดำเนินงานวิจัย

เวลาการดำเนินงานประมาณ 11 เดือน (พฤศจิกายน 2552-ตุลาคม 2553) ดังแสดงรายละเอียดตามตารางที่ 1.1

SMD (Surface Mounted Device) หมายถึง อุปกรณ์ที่ไม่ต้องเสียบขาใส่ลงไปในตัวแผงวงจร แต่แปะขาไว้ด้านบนแผงวงจร แล้วสามารถบัดกรีด้านบนได้

PTH (Pin through Hole) หมายถึง อุปกรณ์ที่มีขาต้องเสียบลงไปในตัวแผงวงจร แล้วบัดกรีด้านล่าง

SMT (Surface Mount Technology) หมายถึงวิธีการ หรือโครงสร้างของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่นำเอาชิ้นส่วนอุปกรณ์ (SMD) มาเชื่อมติดวงจรกับแผงวงจรไฟฟ้า (PCB) ตามตำแหน่งที่ต้องการ

BOM (Bill of Material) หมายถึง รายการวัตถุดิบที่ทางลูกค้ากำหนดมาจะประกอบไปด้วย Part number Description และจำนวนที่จะต้องใช้สำหรับผลิตภัณฑ์รุ่นนั้นๆ

บทที่ 2

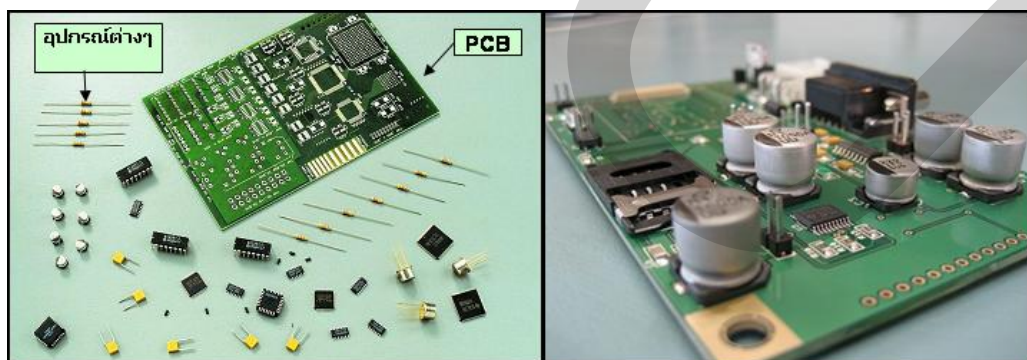
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากบทที่ 1 ได้กล่าวถึงปัญหาและความสำคัญของปัญหา ซึ่งผู้วิจัยได้หยิบปัญหาการค้นหาวัดที่จะส่งผลกระทบต่อราคา Wave soldering fixture ซึ่งเป็น fixture ที่มีขดในการสั่งซื้อและถูกใช้ในหลายๆ ลูกค้ายากที่สุดในบรรดา fixture ทั้งหมด ในบทนี้ผู้วิจัยได้รวบรวม ทฤษฎีและเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย พร้อมด้วยกับรายละเอียดเบื้องต้นเกี่ยวกับประกอบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ รวมทั้งผลงานวิจัยในอดีตที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ดังที่จะได้กล่าวต่อไปนี้

2.1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการประกอบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์

2.1.1 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ในการที่จะประกอบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หรือที่เรียกว่า PCBA (Print Circuit Board Assembly) ให้สำเร็จรูปพร้อมใช้งานนั้นจะต้องประกอบไปด้วยตัวอุปกรณ์ต่างๆ ประกอบเข้ากับแผ่นวงจรเปล่า หรือ PCB โดยที่ใช้ตะกั่ว (lead) เป็นตัวเชื่อมเข้ากับตัวอุปกรณ์ ซึ่งจะอธิบายให้เห็นถึงรายละเอียดของแต่ละหัวข้อดังต่อไปนี้ เพื่อให้เข้าใจในการงานวิจัย

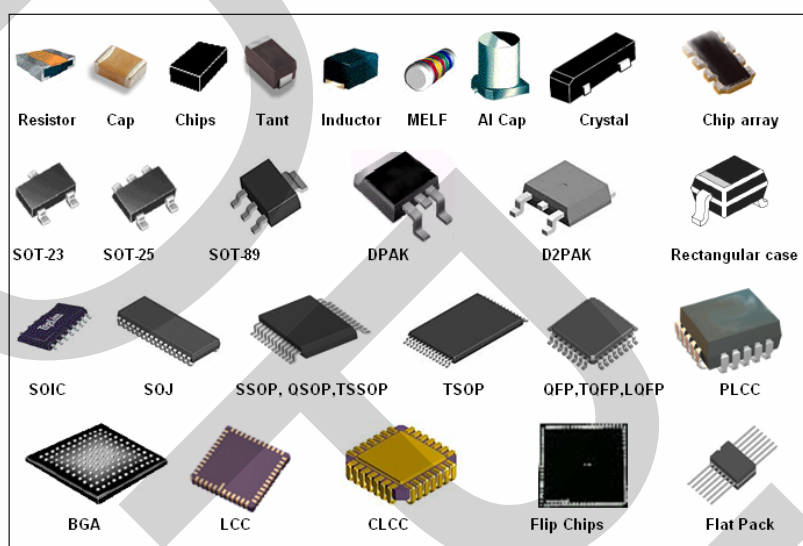


ภาพที่ 2.1 แสดง PCB และตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ก่อนและหลังประกอบ

ที่มา: www.pcb-manufacturers.co.uk/pcb-...s-b.html

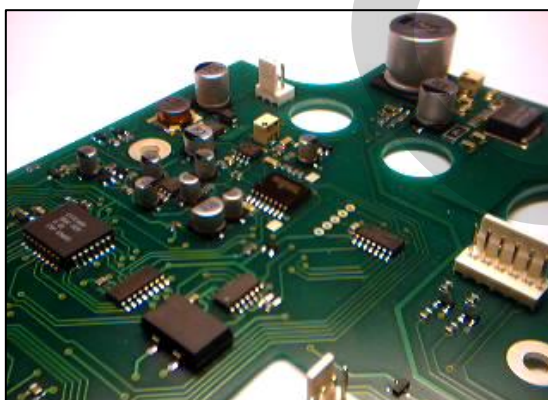
อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ตัวอุปกรณ์ SMD (Surface Mounted Device) และ PTH (Pin through Hole)

2.1.1.1 SMD (Surface Mounted Device) หมายถึง อุปกรณ์ที่ไม่ต้องเสียบขาใส่ลงไป ในรูของแผงวงจร แต่แปะขาไว้ด้านบนแผงวงจร และไม่ต้องเจาะรูของแผ่นวงจรแล้วบัดกรีด้วยตะกั่ว ครีม (Solder paste)



ภาพที่ 2.2 แสดงตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กลุ่มของ SMD (Surface Mounted Device)

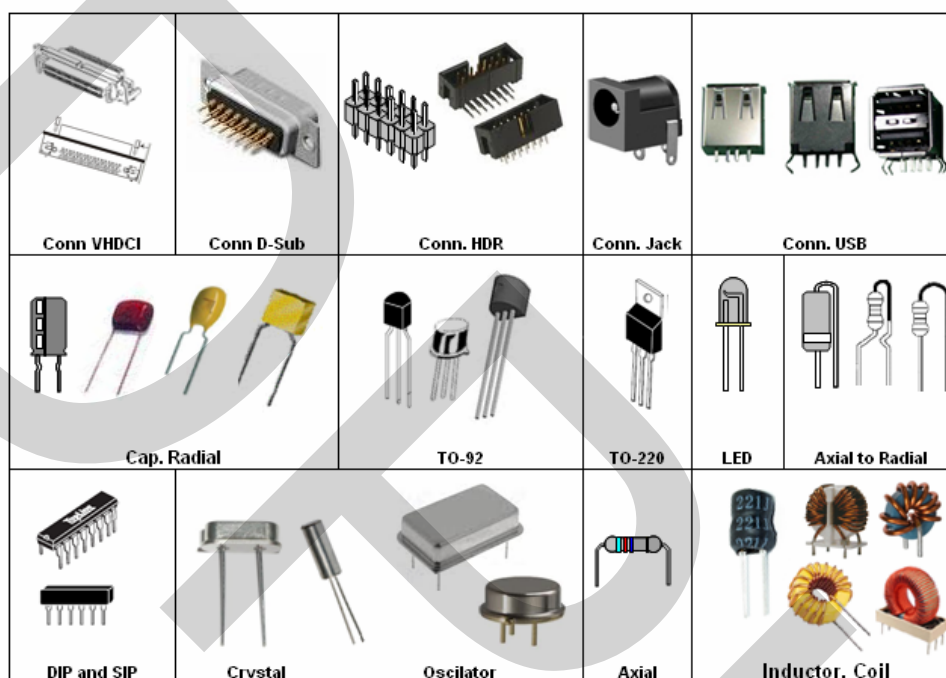
ที่มา: <http://www.topline.tv/ChipComponents.html>



ภาพที่ 2.3 แสดงตัวอุปกรณ์ SMD (Surface Mounted Device) ประกอบเข้ากับ PCB

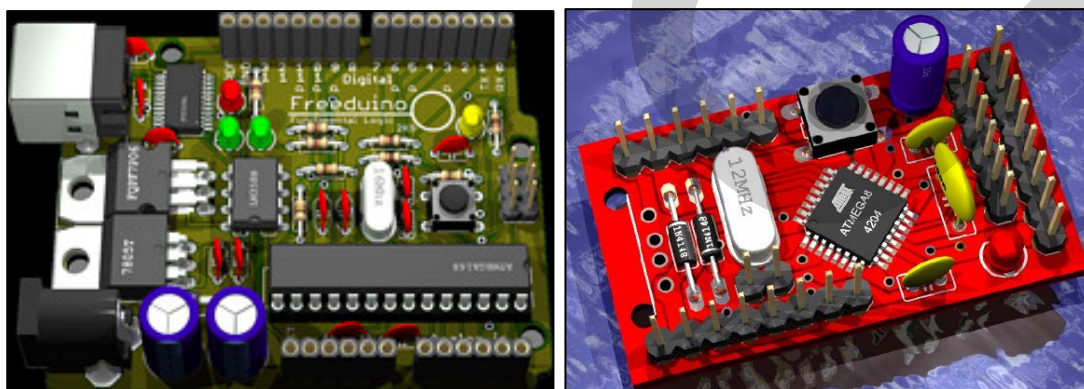
ที่มา: <http://www.topline.tv/ChipComponents.html>

2.1.1.2 PTH (Pin Through Hole) หมายถึง อุปกรณ์ที่มีขาต้องเสียบลงไปในเรื่องแผงวงจร แล้วบัดกรีด้านล่างด้วยตะกั่วแท่ง (Solder bar)



ภาพที่ 2.4 แสดงตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กลุ่มของ PTH (Pin Through Hole)

ที่มา: <http://www.topline.tv/ChipComponents.html>



ภาพที่ 2.5 แสดงตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กลุ่มของ PTH (Pin through Hole) ประกอบเข้ากับ PCB

ที่มา: www.electoday.com/bbs/viewthread...d%3D1342

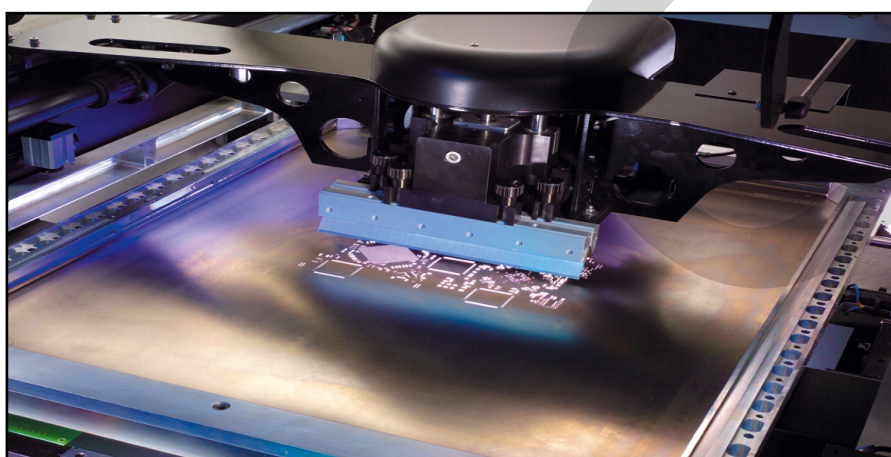
2.1.2 ข้อมูลเกี่ยวกับตะกั่วและสารเคมีที่ใช้ในการผลิต

2.1.2.1 Solder paste คือ ตะกั่วที่มีลักษณะเป็นครีมเหลวข้น มีสีออกเทาดำ และจะมีส่วนผสมของผงเงินประมาณ 2% กับส่วนผสมของน้ำยา flux ซึ่งจะเป็นตัวช่วยประสาน โดยจะหลอมรวมตัวกันโดยผ่านเครื่อง Reflow oven บรรจุใน 2 รูปแบบคือ บรรจุกระปุก และบรรจุอยู่ในหลอดฉีด ใช้กับเครื่อง Screen printer สำหรับพิมพ์ตะกั่วให้ลงตาม Stencil ที่เปิดรูตามขาของตัวอุปกรณ์ SMD ที่จะประกอบลงบนแผ่น PCB



ภาพที่ 2.6 แสดงตะกั่วในรูปแบบของครีม (Solder paste)

ที่มา: www.mydrmobile.com/mobileboard/h...16546/0/



ภาพที่ 2.7 แสดง Stencil ที่ใช้สำหรับในการ print ตะกั่วครีม (Solder paste)

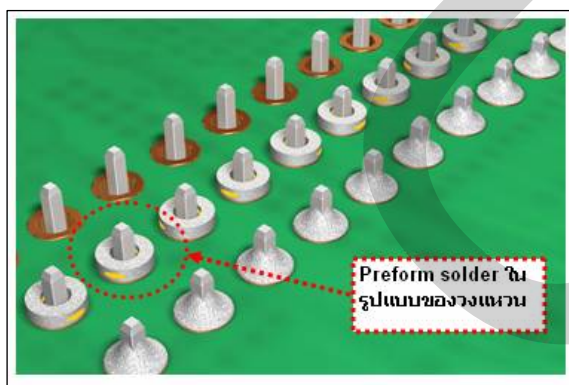
ที่มา: www.eptonpower.com/ezpcbweb2/pro...ncil.php

2.1.2.2 Solder perform คือ ตะกั่วที่อยู่ในรูปแบบกึ่งสำเร็จรูป จะมีลักษณะเป็นรูปร่างต่างๆ เช่น สี่เหลี่ยม วงกลม วงแหวน และตามตัวอุปกรณ์หรือตรงตำแหน่งที่ต้องการจะเชื่อมต่อ โดยที่จะใช้มือจับใส่เข้าที่ขาหรือตำแหน่งของตัวอุปกรณ์ และไม่ต้องใช้ Stencil ให้เปลืองค่า tooling จะใช้คู่กับเครื่อง Reflow oven. ในการทำให้ตะกั่วหลอมละลาย และจะถูกใช้กับสายการผลิต SMT



ภาพที่ 2.8 แสดงตะกั่วในรูปร่างต่างๆ (Solder Preform)

ที่มา: www.indium.com/TIM/solutions/sol...orms.php



ภาพที่ 2.9 แสดง Solder Preform เมื่อใช้กับขาอุปกรณ์

ที่มา: www.alpha.cooksonelectronics.com...reforms/

2.1.2.3 Solder Bar คือ ตะกั่วในรูปแบบที่เป็นแท่ง ใช้สำหรับทำหน้าที่เชื่อมต่อขาของอุปกรณ์ PTH และใช้กับเครื่อง Wave soldering โดยที่นำตะกั่วใส่เข้าไปในบ่อที่อยู่ในตัวเครื่องทำ

ให้ตะกั่วแท่งละลายและสามารถเชื่อมติดกับขาอุปกรณ์ ซึ่งขาของอุปกรณ์นั้นจะต้องได้รับการฉาบ
น้ำยา flux ก่อนที่จะผ่านป้อตะกั่ว



ภาพที่ 2.10 แสดงตะกั่วในรูปแบบแท่ง (Solder Bar)

ที่มา: <http://www.kester.com/SideMenu/Products/WaveSolderingMaterials/BarSolder/tabid/256/Default.aspx>



ภาพที่ 2.11 แสดงตะกั่วในรูปแบบแท่ง (Solder Bar) หลังจากละลาย

ที่มา: <http://www.spectratechmfg.com/facility-tour.htm#wave>

2.1.2.4 Solder Wire คือ ตะกั่วในรูปแบบที่เป็นเส้นใช้สำหรับทำหน้าที่เชื่อมต่อขาของ
อุปกรณ์ที่เป็นทั้ง SMD และ PTH โดยที่การหลอมตะกั่วเส้นให้ยึดติดกับขาอุปกรณ์นั้นโดยอาศัย
ความร้อนจากหัวแร้ง (Iron) มีหลายชนิด หลายส่วนผสมให้เลือกให้เหมาะสมกับตัวผลิตภัณฑ์ และ
หลายขนาดตามตำแหน่งที่จะบัดกรี



ภาพที่ 2.12 แสดงตะกั่วในรูปแบบเส้น (Solder Wire)

ที่มา: www.telepart.net/index.php%3Fplay...3D465382

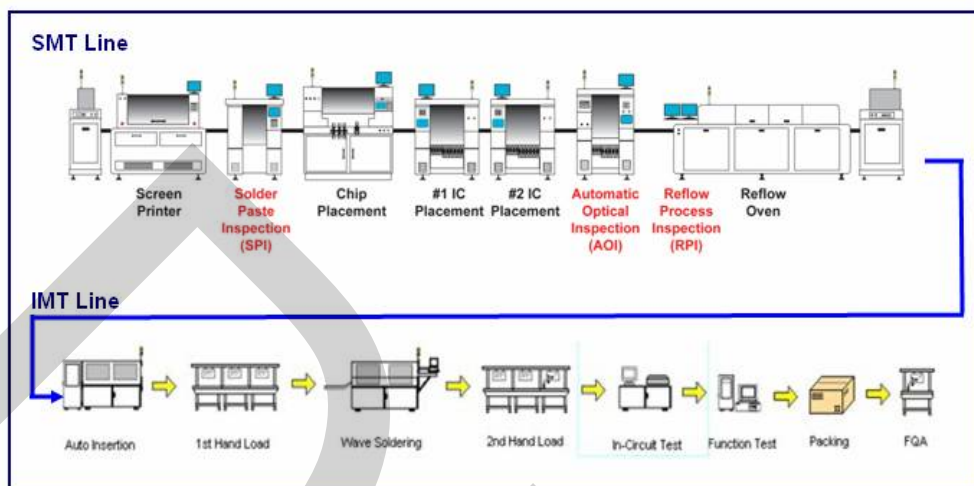


ภาพที่ 2.13 แสดงเครื่องบัดกรี และหัวแร้งที่ใช้ในการบัดกรี Solder Wire

ที่มา : <http://www.shutterstock.com/pic-48331120/stock-photo-electronic-laboratory-technician-repairs-circuit-board-of-tube-television-with-iron-soldering-and.html>

2.1.3 รายละเอียดของสายการผลิตและเครื่องจักร

PCBA ที่ลูกค้าทำการสั่งซื้อมานั้นจะมีทั้งที่เป็นเทคโนโลยีเฉพาะ SMD หรือเฉพาะ PTH และส่วนใหญ่ก็จะเป็นแบบเทคโนโลยีผสมซึ่งมีทั้ง SMD และ PTH ในกระบวนการผลิตก็จะทำการประกอบอุปกรณ์ประเภท SMD ก่อน โดยใช้เทคโนโลยีการผลิตที่เรียกว่า SMT (Surface Mount Technology) และจะตามมาด้วยการประกอบอุปกรณ์ที่เป็น PTH โดยใช้เทคโนโลยีการผลิตที่เรียกว่า IMT (Insert Mount Technology) ซึ่งจะได้กล่าวรายละเอียดต่อไป



ภาพที่ 2.14 แสดงสายการผลิตทั้งส่วน SMT Line และ IMT Line

ที่มา: ข้อมูลจากโรงงานตัวอย่าง

2.1.3.1 SMT (Surface Mount Technology) Line ส่วนประกอบพื้นฐานของ SMT Line จะต้องประกอบด้วยเครื่องจักรต่างๆ ดังนี้

- 1) Loader machine
- 2) Screen printer
- 3) Inspection conveyor
- 4) Pick & Place machine
- 5) Reflow Oven
- 6) Auto Optical Inspection (AOI)



ภาพที่ 2.15 แสดงการผลิตส่วน SMT

ที่มา: http://en.wikipedia.org/wiki/Surface-mount_technology

2.1.3.1.1 Loader machine ทำหน้าที่ป้อนแผ่นบอร์ด (PCB) เข้าเครื่อง Screen printer โดยจะต้องจัดแผ่นบอร์ดไว้ใน magazine ให้ทิศทางถูกต้องตามทิศทางการออกแบบ stencil และการทำโปรแกรมก่อนใส่เข้าไปในเครื่อง loader



ภาพที่ 2.16 แสดง Loader machine

ที่มา: www.easiky.com/equipment/view/69...veyor%2B

2.1.3.1.2 Screen printer ทำหน้าที่ปาดตะกั่ว (solder paste) ลงบนแผ่น PCB ตามตำแหน่งที่เปิด aperture บน stencil ซึ่งจะถูกกำหนดไว้ใน gerber, drawing และ BOM



ภาพที่ 2.17 แสดง Screen printer

ที่มา: www.icimfg.com/tour.php

2.1.3.1.3 Inspection conveyor มีไว้สำหรับพักบอร์ดเพื่อให้พนักงานตรวจสอบคุณภาพการปาดตะกั่ว เช่น miss-alignment, no print, poor solder, bridge, excessive solder เป็นต้น



ภาพที่ 2.18 แสดง Inspection conveyor

ที่มา: www.easiky.com/equipment/view/69...veyor%2B

2.1.3.1.4 Pick & Place machine ทำหน้าวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ลงบนตำแหน่งที่ต้องการซึ่งจะสอดคล้องกับตำแหน่งที่ทำการปาดตะกั่วมาก่อนหน้า โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1) Chip placement machine สำหรับวาง SMD จะใช้วางอุปกรณ์ขนาดเล็ก ได้แก่ Chip Resistor Chip Capacitor Transistor หรือ Diode เป็นต้น เครื่องเหล่านี้ควรมีคุณสมบัติการวางที่รวดเร็วยิ่งมากยิ่งดี



ภาพที่ 2.19 แสดง Chip placement machine

ที่มา: www.meritronics.com/equipmentlist.html

2) IC placement machine สำหรับวาง IC จะใช้สำหรับวางอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่ ได้แก่ IC, BGA, LGA, SOP, SOT, MOSFET, Crystal และ Connector (USB, Fi-Wi400, Fi-Wi800, ESATA, Hi-Rise, SATA, Special) เป็นต้น เครื่องเหล่านี้จะมีความมียึดการวางต่อ short ต่ำกว่าประเภทแรกแต่จะให้ความแม่นยำในการวางสูง



ภาพที่ 2.20 แสดง IC placement machine

ที่มา: www.kitmondo.com/category.aspx%3...Page%3D2

3) Chip and IC placement machine เป็นเครื่องสำหรับวางทั้ง SMD และ IC ใช้วางอุปกรณ์ได้ทุกขนาด ดังนั้นเครื่องเหล่านี้จึงอัตราการวางต่อ short ปานกลางแต่ความแม่นยำยังสูงอยู่



ภาพที่ 2.21 แสดง Chip and IC placement machine

ที่มา: http://protec.jesa.or.jp/2006/en/exhibitors/exh_detail.html?id=3050

2.1.3.1.5 Reflow Oven ทำหน้าที่หลอมละลายตะกั่วให้เชื่อมต่อกันระหว่างอุปกรณ์กับ pad วงจรบนบอร์ด สิ่งสำคัญที่ควรตรวจสอบก่อนการใช้งานเครื่องคือ อุณหภูมิแต่ละ zone ต้องเป็นไปตามกราฟ standard ของคุณสมบัติหรือชนิดของตะกั่ว เช่น pb หรือ pb-free และจะต้อง

ขึ้นอยู่กับว่าในตัว PCBA นั้นๆ ประกอบไปด้วยตัวอุปกรณ์ อะไรบ้าง เป็นต้น แต่สิ่งสำคัญคือ คุณภาพของการบัดกรีหลังผ่านเครื่อง reflow ยกตัวอย่างเช่น Heller 1809EXL เป็นต้น



ภาพที่ 2.22 แสดง Reflow oven

ที่มา: www.kitmondo.com/category.aspx%3D3DHeller

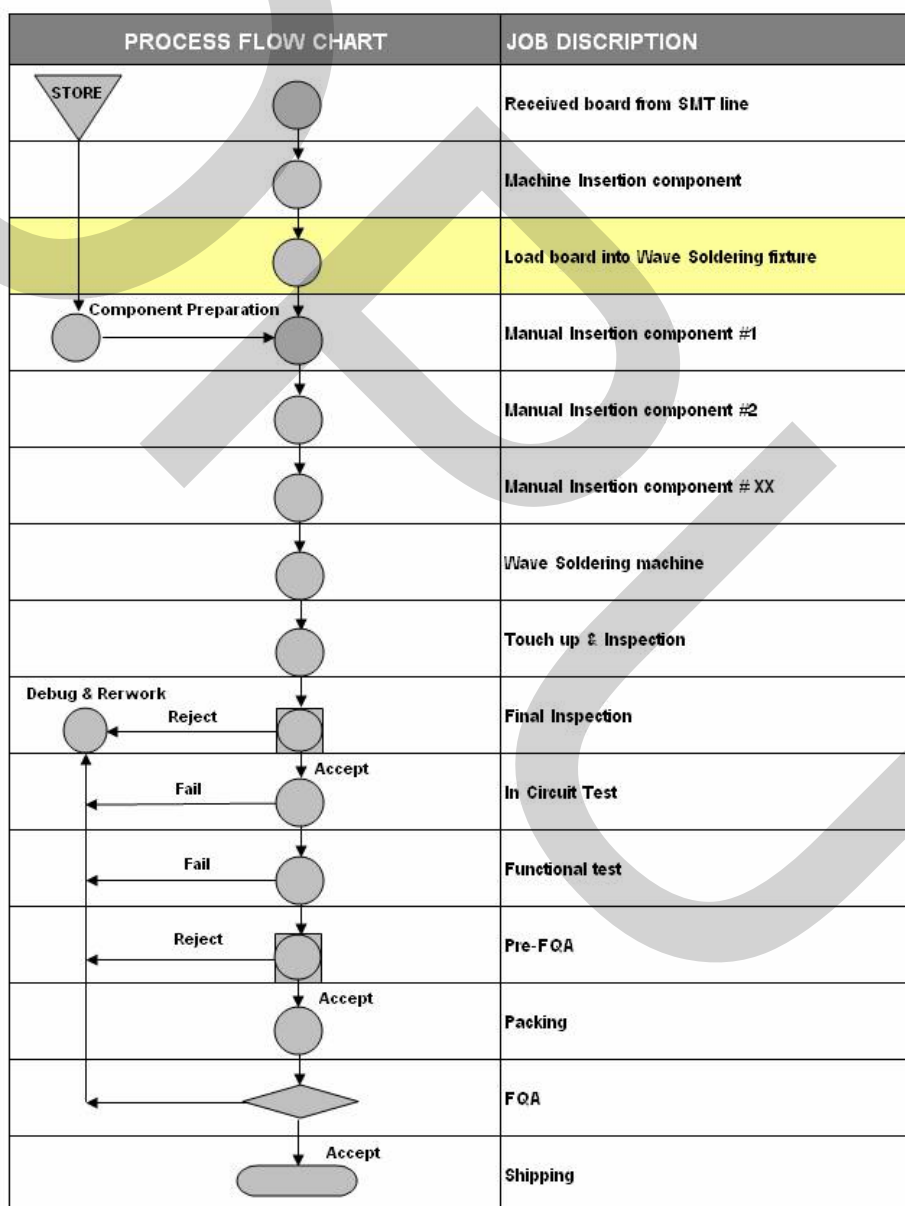
2.1.3.1.6 Auto Optical Inspection (AOI) เครื่องที่ใช้ตรวจสอบแผ่น PCBA เช่น miss-alignment, missing, Tombstone, Bill-board, Wrong part, Wrong polarity, Floating, Up side down เป็นต้น



ภาพที่ 2.23 แสดง Auto Optical Inspection (AOI)

ที่มา: <http://www.o-digital.com/wholesale-products/2179/2192-1/Automatic-Optical-Inspection-System-OTEK-600-83384.html>

2.1.3.2 IMT (Insert Mount Technology) Line เป็นสายการผลิตที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในครั้งนี้โดยตรง ซึ่ง Wave soldering fixture จะถูกใช้ในสายการผลิตที่เป็นส่วน IMT line ซึ่งจะมีทั้งในส่วนที่เป็น Manual ก็จะต้องใช้พนักงานประกอบชิ้นงานด้วยมือ และอีกส่วนก็จะเป็นในส่วนของเครื่องจักรประกอบตัวอุปกรณ์เข้ากับ PCB หลังจากมีการประกอบอุปกรณ์ เข้ากับ PCB แล้วก็จะผ่านเข้าเครื่อง Wave soldering machine โดยที่ PCB นั้นจะต้องถูกโหลดลงใน Wave soldering fixture ก่อนวางบน In-line conveyor ดังรายละเอียดตาม Process flow

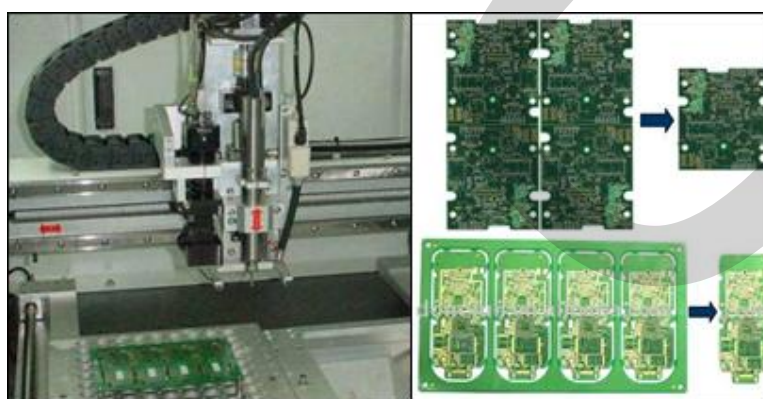


ภาพที่ 2.24 แสดง Process flow ของ MIT line

จาก Process flow อาจจะมีเครื่องจักรมากกว่านี้ตาม Process ของ Product นั้นๆ เท่าที่ต้องการ แต่เครื่องจักรหลักๆ ของ MIT Line จะประกอบด้วยเครื่องต่างๆ ดังนี้

- 1) Router machine
- 2) DIP machine
- 3) Radial machine
- 4) VCD and Sequencer machine
- 5) Semi-auto component preparation
- 6) Wave soldering machine
- 7) Cleaning machine

2.1.3.2.1 Router machine เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการแยกบอร์ดออกเป็นบอร์ดเดี่ยวๆ เนื่องจากใน line การผลิตนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องออกแบบตัวชิ้นงานให้เหมาะสมกับ line การผลิตและประหยัดเวลาคุ้มค่ามากที่สุดในการใช้ line การผลิต และส่วนใหญ่จะใช้กับ line SMT มาก่อนเมื่อบอร์ดมาถึงส่วนของ IMT line จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการแยกบอร์ดออกจากกันก่อน เพราะป้องกันปัญหาของ component มีการแตกหัก หรือชำรุด ถ้าแยกหลัง Wave soldering ลักษณะการทำงานนั้นจะต้องมีการเขียน program โดย Engineer ที่มีหน้าที่ตรงส่วนนี้โดยตรงในการกำหนดเส้นทางให้ โดยหัวของ Router นั้นจะเป็นดอกสว่านเล็กๆ และจะกัดในส่วนของเนื้อ PCB ที่ต้องการจะตัดออก มีขนาดแตกต่างกันไปตามชิ้นงาน



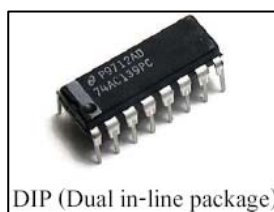
ภาพที่ 2.25 แสดง Board ก่อนและหลังทำการแยกบอร์ด

ที่มา: http://www.hosotec.com/pc_controlled.htm



ภาพที่ 2.26 แสดง Router machine
ที่มา: โรงงานอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่าง

2.1.3.2.2 DIP machine เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการประกอบตัวอุปกรณ์ที่เรียกว่า DIP (Dual In-line package) นอกจากนี้เครื่องจะทำหน้าที่จัดและตัดขาของตัว DIP ให้เรียบร้อย ก่อนที่จะ load ลงบนบอร์ดอีกด้วย Component ที่จัดซื้อมานั้นการบรรจุหีบห่อจะต้องอยู่หลอดพลาสติกจึงจะสามารถใช้กับเครื่องนี้ได้ และ Specification จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานของเครื่องที่กำหนดไว้ ในการที่จะตัดสินใจเครื่องนี้นั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนของ Component มากพอที่จะสามารถลดพนักงานได้ 1 คน โดยที่พนักงาน 1 คนนั้นจะสามารถทำการโหลด Component ได้ ประมาณ 10 ตัว ซึ่งเมื่อใช้เครื่องนี้จะช่วยลดเวลาได้อย่างมากและถูกต้อง แม่นยำ ความน่าเชื่อถือจะมีมากกว่าคน

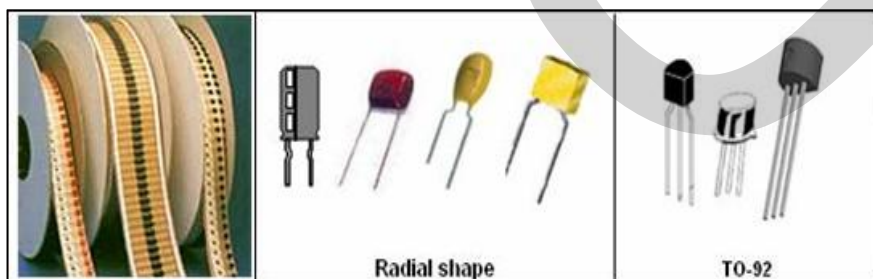


ภาพที่ 2.27 แสดงตัวอุปกรณ์ DIP (Dual in-line package)
ที่มา: โรงงานอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่าง



ภาพที่ 2.28 แสดง DIP machine
ที่มา: โรงงานอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่าง

2.1.3.2.3 Radial machine เป็นเครื่องจักรที่ใช้ใน การประกอบตัวอุปกรณ์ที่เรียกว่า Radial เป็น component ที่มีลักษณะขาจะทิ่มตรง สำหรับหน้าที่ก็จะคล้ายกับเครื่อง DIP คือ จะทำหน้าที่จัดและตัดขาของตัว Radial ให้เรียบร้อยก่อนที่จะนำชิ้นงานลงบนบอร์ดอีกด้วย Component ที่จัดซื้อมานั้นการบรรจุหีบห่อมาจะต้องอยู่ในรูปแบบของม้วนและมีเทปปิดไว้ให้เรียบร้อยจึงจะสามารถใช้กับเครื่องนี้ได้ และ Specification จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานของเครื่องที่กำหนดไว้ แล้วการพิจารณาที่จะใช้เครื่องนี้นั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนของ Component มากพอที่จะสามารถลดพนักงานได้ 1 คน โดยที่พนักงาน 1 คนนั้นจะสามารถทำการโหลด Component ได้ ประมาณ 10 ตัว เช่นกัน

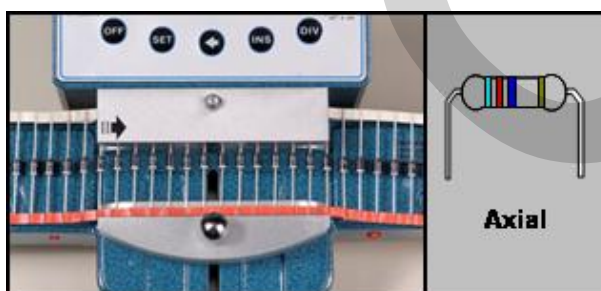


ภาพที่ 2.29 แสดง Radial component
ที่มา: www.tapenreel.com/



ภาพที่ 2.30 แสดง Radial machine
ที่มา: โรงงานอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่าง

2.1.3.2.4 Variable Center Distance (VCD) เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการประกอบตัวอุปกรณ์ที่เรียกว่า Axial เป็น component ที่มีลักษณะขาจะกางออกด้านข้างของตัวอุปกรณ์ และงอกลงมาเป็นมุมฉาก สำหรับหน้าที่ก็จะคล้ายกับเครื่อง DIP และ Radial ก็คือจะจัดและตัดขาของตัว Axial ที่จะ load ลงบนบอร์ด Component ที่จัดซื้อมานั้นการบรรจุหีบห่อมาจะต้องอยู่รูปแบบของม้วนและมีเทปพลาสติกปิดไว้จึงจะสามารถใช้กับเครื่องนี้ได้ และ Specification จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานของเครื่องที่กำหนดไว้ แล้วการพิจารณาที่จะใช้เครื่องนี้นั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนของ Component มากพอที่จะสามารถลดพนักงานได้ 1 คน โดยที่พนักงาน 1 คนนั้นจะสามารถทำการโหลด Component ได้ประมาณ 10 ตัวเช่นกัน



ภาพที่ 2.31 แสดง Axial component

ที่มา: <https://www.manncorp.com/component-counters-manual/magic-plus/>



ภาพที่ 2.32 แสดงเครื่อง Variable Center Distance (VCD)

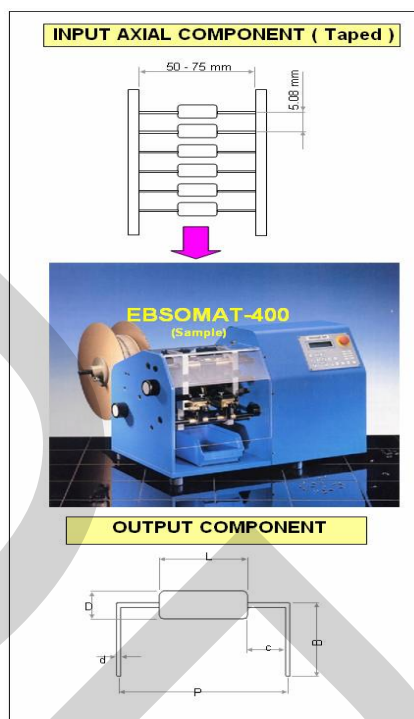
ที่มา: โรงงานอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่าง

2.1.3.2.5 Semi-auto component preparation เป็น Equipment ขนาดเล็กใช้สำหรับในการตัดและจัดขาของ Component รูปแบบต่าง ๆ ที่ต้องการ และ component ที่ซื้อมานั้นจะเป็นลักษณะ ที่เรียกว่า Loose part คือบรรจุหีบห่อก็จะใส่แค่กล่องหรือถุงมา แต่ในบางส่วนก็จะมาเป็นรูปแบบของ Tape and Reel แต่ว่า Specification ไม่สามารถที่จะเข้าเครื่อง DIP, VCD, Radial การก็จะต้องใช้ Equipment ตัวนี้ทำการ Preparation



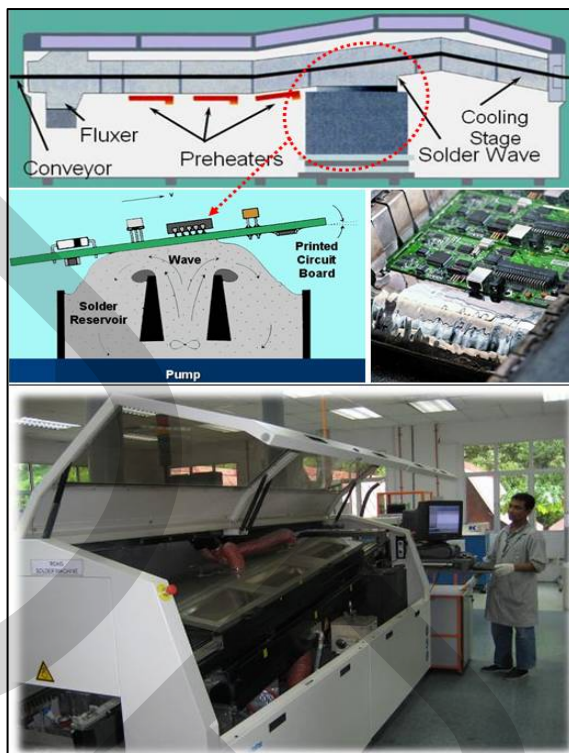
ภาพที่ 2.33 แสดง Component ในรูปแบบต่าง ๆ ที่ใช้ Semi-auto component preparation

ที่มา: <http://www.topline.tv/ChipComponents.html>



ภาพที่ 2.34 แสดง Equipment ที่ใช้ Preparation Component ในรูปแบบ Axial
ที่มา: โรงงานอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่าง

2.1.3.2.6 Wave soldering machine ทำหน้าที่หลอมละลายตะกั่วให้เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กับ pin วงจรบนบอร์ด ในการที่จะผลิต PCBA ในแต่ละรุ่นนั้นก็จะมี Profile เฉพาะรุ่น อุณหภูมิแต่ละ zone ต้องเป็นไปตามกราฟ standard ของคุณสมบัติหรือชนิดของตะกั่ว เช่น pb หรือ pb-free และต้องขึ้นอยู่กับว่ามีการประกอบอุปกรณ์ประเภทใดบ้าง และที่สำคัญนั้นก่อนที่จะนำ PCB เข้าเครื่อง Wave soldering fixture จะต้องใส่บอร์ดลงเข้าไปใน Wave soldering fixture ก่อน ดังจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อถัดไป



ภาพที่ 2.35 แสดงการทำงานของเครื่อง Wave soldering

ที่มา: www.electronicandyou.com/electr...ges.html

2.1.3.2.7 Cleaning machine เป็นเครื่องจักรที่ใช้ทำหน้าที่ในการล้างบอร์ดให้สะอาดหลังจาก บอร์ดได้ผ่านจากเครื่อง Wave soldering แล้วโดยจะทำการขจัดคราบอันเกิดจากน้ำยาประสานในการเชื่อม หรือ Flux

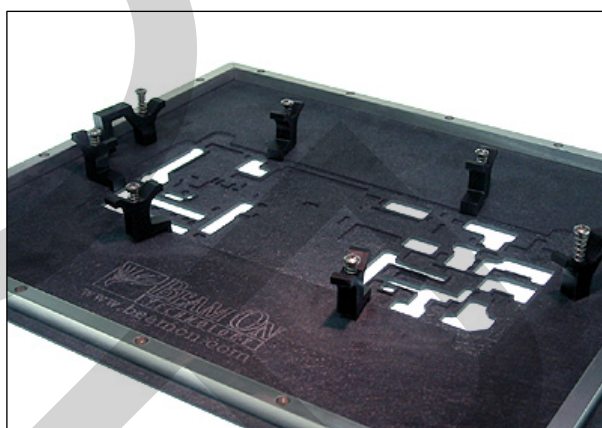


ภาพที่ 2.36 แสดงเครื่อง Cleaning

ที่มา: โรงงานอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่าง

2.1.4 รายละเอียดของ Wave soldering fixture ที่ใช้ในสายงานการผลิต

Wave soldering fixture เป็นเครื่องมือที่ทำหน้าที่ยึด PCB ไว้กับตัว Fixture ซึ่งในแต่ละ PCBA ก็จะต้องมีการออกแบบเหมาะสมกับตัวผลิตภัณฑ์ในแต่ละรุ่นที่จัดทำขึ้นมาเพื่อให้ชิ้นงานหรือตัวผลิตภัณฑ์อยู่กับที่ และออกแบบให้เหมาะสมกับตัวผลิตภัณฑ์ในแต่ละรุ่น โดยจะใช้คู่กับเครื่อง Wave soldering machine ที่ใช้การบัดกรีด้วยอุปกรณ์ ที่มีขาและจะต้องเสียบลงไปบนรูของแผงวงจร แล้วบัดกรีด้านล่าง ซึ่งจะมีองค์ประกอบหลักต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องดังรายละเอียดมีดังนี้



ภาพที่ 2.37 แสดง Wave soldering fixture

ที่มา: www.beamon-oregon.com/fixtures.asp

2.1.4.1 หน้าที่และความสำคัญของ Wave soldering fixture

2.1.4.1.1 ป้องกันตะกั่วลื่นและท่วมบอร์ดขณะผ่านป้อตะกั่ว

2.1.4.1.2 ป้องกันตะกั่วไม่ให้บัดกรีในจุดที่ไม่ต้องการบัดกรี

2.1.4.1.3 ป้องกันบอร์ดแอ่นขณะผ่านป้อตะกั่ว เพราะป้อตะกั่วมีความร้อนสูงถึง 250C Fixture จะทำหน้าที่ support บอร์ดไว้ เพราะถ้าบอร์ดแอ่นหรือบิดเบี้ยวแล้วจะไม่สามารถคืนรูปมาเป็นอย่างเดิมได้

2.1.4.1.4 ป้องกันบอร์ดแตกหัก จากการบีบอัดของโซ่ลำเลียง (Chain Conveyor)

2.1.4.1.5 บอร์ดหลายรุ่นมีอุปกรณ์ชนิดหรือใกล้กับขอบบอร์ด ทำให้ไม่สามารถ Load เข้าเครื่องได้

2.1.4.1.6 ป้องกันความร้อนสูงแผ่ไปยังอุปกรณ์ที่ไม่ต้องการ (อุปกรณ์ทนความร้อนต่ำ)

2.1.4.1.7 ป้องกันตัวอุปกรณ์ที่มีน้ำหนักเบา และมีขนาดเล็กยก หรือหลุดจากบอร์ดขณะผ่านบ่อตะกั่วจึงจำเป็นต้องใช้ Clamper ล็อคตัวอุปกรณ์เอาไว้

2.1.4.1.8 เพื่อป้องกัน Solder ball กระเด็นไปติดพื้นที่อื่นบนบอร์ด

2.1.4.1.9 ป้องกันคราบน้ำยาประสาน หรือ flux ติดบนพื้นที่ที่ไม่เกี่ยวข้อง

2.1.4.1.10 เพื่อต้องการให้บอร์ดได้รับความร้อนเฉพาะจุด ตามต้องการ

2.1.4.1.11 เพื่อให้ง่ายต่อการ load หรือใส่อุปกรณ์บนบอร์ดกับพนักงาน

2.1.4.2 ส่วนประกอบหลักต่าง ๆ ของ Wave soldering fixture

2.1.4.2.1 Base Plate เป็นตัวฐานหลักรองรับแผ่น PCB

2.1.4.2.2 Side bar มีหน้าที่เป็นตัวกั้นไม่ให้ตะกั่วกระเด็น หรือไหลเข้าจะอยู่ด้านข้างของ fixture

2.1.4.2.3 Front bar มีหน้าที่เป็นตัวกั้นไม่ให้ตะกั่วกระเด็น หรือไหลเข้าจะอยู่ด้านหน้าและหลังของ fixture

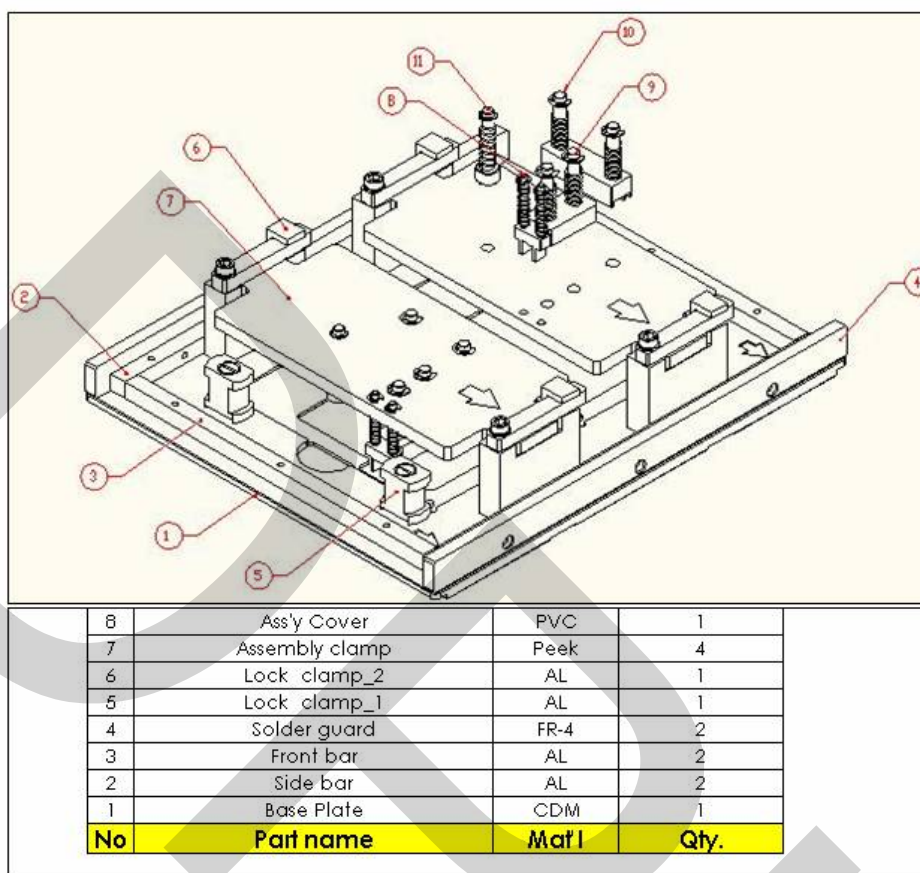
2.1.4.2.4 Solder guard มีหน้าที่เป็นตัวกั้นตะกั่วติดกับตัว fixture

2.1.4.2.5 Lock clamp มีหน้าที่เป็นตัวล็อคแผ่น PCB ไม่ให้เลื่อน

2.1.4.2.6 Assembly clamp มีหน้าที่เป็นตัวล็อคตัวอุปกรณ์ ไม่ให้กระดกยกขึ้นขณะทำการ Wave Soldering

2.1.4.2.7 Assembly cover มีหน้าที่เป็นตัวล็อคด้านบนอุปกรณ์

ส่วนประกอบหลักต่าง ๆ เหล่านี้อาจจะมีมาก หรือน้อยกว่าที่กล่าว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ รุ่นของ Product หรือ ลูกค้านั้นๆ ซึ่งจะปรับไปตามสภาพของ PCB และ Component ที่จะทำการประกอบลงไป



ภาพที่ 2.38 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของ Wave soldering fixture

ที่มา: โรงงานอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่าง

2.1.4.3 ชนิดของวัสดุ (Material) ที่ใช้ทำ Wave soldering fixture

ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะวัสดุที่ใช้กับชิ้นส่วนของ Base plate ซึ่งจะสามารถแบ่งประเภทของวัสดุ Material ได้แก่ CDM, G11, CBC, ทั้งหมดคือ fiber reinforced plastic (FRP) คือ ใช้ fiber เป็นแกนกระดูก เหมือนผูกเหล็กเส้น และใช้ resin เป็นตัวประสาน (เหมือนเทคอนกรีต) ชื่อ Grade มาตรฐาน เช่น G10, G11 mechanical strength และ ชื่อการค้า เช่น CDM, Glastic CBC, Roechling CAS สิ่งที่แตกต่างกันมักเป็นชนิด resin มักเป็น epoxy หรือ polyester และ epoxy, polyester ก็มีหลากหลายชนิด และทนความร้อน,เคมี ได้ต่างกัน epoxy จะทนได้ดีกว่าแตกต่างกันไป เช่น การทนอุณหภูมิสูง การทนสารเคมีกัดกร่อน การ flexible การ adhesion ที่ดีขึ้นราคาของเกรดก็แตกต่างกันไป FRP ที่มีอยู่ในท้องตลาดสำหรับทำ pallet ก็มีการใช้ resin แตกต่างกัน ใช้ fiberglass ขนาด และรูปแบบการเรียงตัวต่างกันรวมทั้งเปอร์เซ็นต์ของ fiberglass ที่ต่างกัน ทำให้มีคุณสมบัติที่ต่างกัน อาทิเช่น

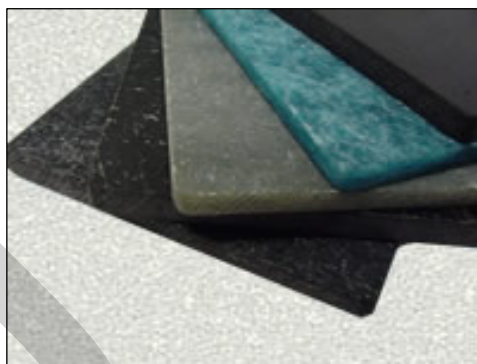
2.1.4.3.1 G10 ใช้ low temp epoxy (low cost) กับ glass cloth จึงทำให้ค่า Tg : Glass Transition Temperature ใช้เป็นตัวบ่งชี้ความสามารถในการทนความร้อนของ material ว่ายังคงใช้งานได้ที่ temperature เท่าไหร่ ต่ำแต่ราคาถูก

2.1.4.3.2 G11 ใช้ epoxy temperature ที่สูงขึ้นแต่ใช้ glass cloth เหมือนเดิม ทำให้ Tg สูงขึ้น

2.1.4.3.3 Durapol ใช้ polyester ที่ strength และ adhesion แย่กว่า epoxy แต่ราคาถูกกว่าโดยที่ตลาด polyester = 60 บาทต่อกิโล แต่ epoxy grade ราคาตลาดอยู่ที่ 350 บาท และ random XY chopped fiber จะร้อนง่ายกว่า epoxy

2.1.4.3.4 CAS ใช้ epoxy เกรดทนอุณหภูมิสูง และ random XY chopped fiber (fiber orientation มีผลต่อ strength ของ composite material ใน direction ที่ต่างกัน อาทิเช่น random ให้ค่า Glass Transition Temperature ใช้เป็นตัวบ่งชี้ความสามารถในการทนความร้อนของ material ว่ายังคงใช้งานได้ที่ temperature เท่าไหร่ สูงกว่า non-random หรือ กรณี laminate composite ค่า CTE แกน Z จะสูงกว่าแกน X และ Y มากๆ เป็นต้น

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่า resin เป็นวัสดุหลักอย่างหนึ่งในการกำหนดคุณสมบัติของ FRP ความจริงข้อหนึ่งที่เราควรรู้ก็คือว่า resin สามารถถูกทำให้ degrade หรือ decompose ได้ด้วยความร้อน และ chemical Strength ของ FRP จะดีหรือไม่ ขึ้นอยู่กับว่า ตัว resin จะยึดกันดีแค่ไหน (cohesion strength) และยึดกับ compound อื่นๆ เช่น fiber, carbon ได้ดีแค่ไหน (adhesion strength) ถ้า Resin เกิดการ degrade หรือ decompose ไป strength ในการยึดเกาะก็ลดลง หรือหลุดออกมา อีกข้อหนึ่งก็คือ strength เหล่านี้ จะลดลงตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น จนถึงข้อจำกัดของอุณหภูมิของ resin นั้นๆ แรงยึดก็จะ sharply drop อย่างน่ากลัว Resin หลายชนิด มี mechanical strength แทบไม่ต่างกันที่อุณหภูมิห้อง แต่ที่อุณหภูมิมากกว่า 150 องศาเซลเซียส พวก low temp epoxy บางตัว มี strength ที่อุณหภูมิห้อง สูงกว่าพวก high temp epoxy แต่พอเจอ 200 C ก็อ่อนโยบโยบ ขณะที่ high temp epoxy ยังแข็ง epoxy เป็น thermo set จึงไม่ละลายเป็นของเหลวแบบ thermoplastic แค่ loss strength ที่อุณหภูมิสูง หรือถ้าสูงมากๆ ก็ decompose หรือไหม้



ภาพที่ 2.39 แสดงวัสดุที่ใช้ในการทำ Wave soldering fixture

ที่มา: www.stonemountaintool.com/

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับ เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools)

ในปี ค.ศ. 1946 JUSE หรือ Union of Japanese Scientists and Engineers ได้ถูกก่อตั้งขึ้น พร้อมๆ กับการจัดตั้งกลุ่ม Quality Control Research Group ขึ้นเพื่อค้นคว้าให้การศึกษาและเผยแพร่ความรู้ความเข้าใจในเรื่องระบบการควบคุมคุณภาพทั่วทั้งประเทศ โดยมีจุดหมายเพื่อลบภาพพจน์สินค้าคุณภาพต่ำ ราคาถูก ออกจากสินค้าที่ "Made in Japan" และเพิ่มพลังการส่งออกไปพร้อมๆ กัน หลังจากนั้นมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งก็คือ Japanese Industrial Standards (JIS) marking system ได้ถูกกำหนดเป็นกฎหมายในปี ค.ศ. 1950 พร้อมๆ กับการเชิญ Dr. W. E. Deming มาเปิดสัมมนาทาง QC ให้แก่ผู้บริหารระดับต่างๆ และวิศวกรในประเทศ นับเป็นการจุดประกายของการตระหนักถึงการพัฒนาคุณภาพ อันตามมาด้วยการก่อตั้งรางวัล Deming Prize อันมีชื่อเสียง เพื่อมอบให้แก่โรงงานซึ่งมีความก้าวหน้าในการพัฒนาคุณภาพดีเด่นของประเทศ ต่อมาในปี ค.ศ. 1954 Dr. J. M. Juran ได้ถูกเชิญมายังประเทศญี่ปุ่น เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจแก่ผู้บริหารระดับสูงภายในองค์กรในการนำเทคนิคเหล่านี้มาใช้งาน โดยได้รับความร่วมมือจากพนักงานทุกๆ คน นับเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาและรวบรวมเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพรวม 7 ชนิด ที่เรียกว่า QC 7 Tools มาใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพทั้ง 7 ชนิดนี้ ตั้งชื่อตามนักรบในตำนานของชาวญี่ปุ่นที่ชื่อ "เบงเค" (Ben-ke) ผู้ซึ่งมีอาวุธอันร้ายกาจแตกต่างกัน 7 ชนิด พกอยู่ที่หลัง และสามารถเลือกดึงมาใช้สลับคู่ต่อสู้ที่มีฝีมือร้ายกาจคนแล้วคนเล่า สำหรับเครื่องมือทั้ง 7 ชนิด สามารถแจกแจงได้ดังนี้

- 1) แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือฟังก้างปลา (Fishbone Diagram)
- 2) แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)
- 3) กราฟ (Graphs)

- 4) แผ่นตรวจสอบ (Check sheet)
- 5) ฮิสโตแกรม (Histogram)
- 6) ผังการกระจาย (Scatter Diagram)
- 7) แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือคุณภาพ ได้แก่ แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือผังก้างปลา (Fishbone Diagram))

2.2.1 แผนผังสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram)

แผนภาพสาเหตุและผล คือ แผนภาพที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่ง (ผล) กับองค์ประกอบหรือสาเหตุต่างๆ (เหตุ) ที่มีผลทำให้เกิดคุณลักษณะนั้นๆ ไว้อย่างเป็นระบบ โดยรวบรวมในแผนภาพที่มีลักษณะคล้ายก้างปลา จึงเรียกชื่อกันว่า ผังก้างปลา และเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ผู้ที่คิดค้นขึ้นมาคือ ดร.อิชิกาวา บางทีจึงเรียกแผนภาพอิชิกาวา (Ishikawa Diagram)

องค์ประกอบหรือสาเหตุหลักโดยทั่วไปไม่ว่าจะอยู่ในหน่วยงานการผลิตหรืองานสำนักงานมักจะใช้ 4M เหมือนกันคือ

- 1) Man = คน
- 2) Machine = เครื่องมือ เครื่องจักรหรืออุปกรณ์
- 3) Material = วัตถุดิบหรือวัสดุ
- 4) Method = วิธีการทำงาน

การรวบรวมองค์ประกอบหรือสาเหตุต่างๆ ให้เป็นระบบในรูปของแผนภาพสาเหตุและผล จะช่วยให้เราสามารถค้นคว้า วิเคราะห์ได้ง่ายขึ้นว่า องค์ประกอบใด หรือสาเหตุใดที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของผลผลิตหรือผลงานจะได้ควบคุมปรับปรุงสาเหตุ หรือองค์ประกอบนั้นๆ ต่อไป ข้อเสนอแนะในการสร้างแผนภาพสาเหตุและผล

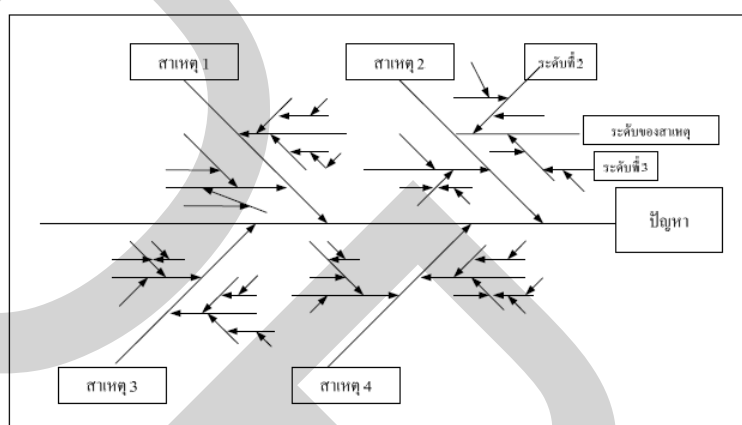
2.2.1.1 แผนภาพสาเหตุและผล จะมีประโยชน์และใช้งานได้ดี ต้องมีการเข้าร่วมของบุคคลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทำการระดมสมอง ในการแสดงความคิดเห็นห้ามมิให้มีการคัดค้านว่าไม่ถูกต้องหรือใช้ไม่ได้อย่างเด็ดขาดไม่ว่าความคิดเห็นของสมาชิกจะเป็นอย่างไรให้ใส่ลงในแผนภาพสาเหตุและผลให้หมด บางครั้งความคิดที่ว่าไม่เข้าท่ากลับใช้เป็นสาเหตุสำคัญได้

2.2.1.2 กำหนดลักษณะคุณภาพให้ชัดเจนและเป็นรูปธรรมมากที่สุด เช่น แทนที่จะระบุคำว่าคุณภาพไม่ดี ควรระบุว่า ขนาดเกินข้อกำหนด หรือ มีรอยขีดข่วน เป็นต้น

2.2.1.3 หาสาเหตุต่างๆ ให้ครบ เพราะจุดมุ่งหมายของการเขียนแผนภาพสาเหตุและผล ไม่ได้อยู่ที่การใช้ ดังนั้นต้องทำให้จุดของปัญหาเด่นชัดขึ้นมาได้

2.2.1.4 ไม่ควรใช้การระดมสมองเพียงอย่างเดียวควรอาศัยข้อเท็จจริงจากแหล่งงานด้วย

2.2.1.5 การที่เขียนแผนภาพเหตุและผลได้ดี แสดงว่าเข้าใจเนื้อหาของงานนั้น (โครงการ คิวซี สสท (ไทย-ญี่ปุ่น), 2534: 100-107)



ภาพที่ 2.40 รูปแสดงตัวอย่าง Cause and Effect Diagram

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการพยากรณ์ (Forecasting)

2.3.1 ความหมายของการพยากรณ์ (Defining Forecasting)

การพยากรณ์ คือ การประมาณหรือการคาดเดา ค่าของตัวแปรที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยทราบค่าของข้อมูลในอดีตของตัวแปรนั้น หรือทราบค่าข้อมูลในอดีตของตัวแปรอื่นที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรนั้น นอกจากนี้การพยากรณ์อาจทำได้โดยการใช้การตัดสินใจจากทักษะความชำนาญและประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ โดยจะใช้ข้อมูลในอดีตหรือไม่ใช้ก็ได้ การพยากรณ์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มได้ดังนี้

- 1) การพยากรณ์เชิงคุณภาพ (Qualitative Forecasting)
- 2) การพยากรณ์เชิงปริมาณ (Quantitative Forecasting)

2.3.2 ความสำคัญของการพยากรณ์

การพยากรณ์เป็นวิธีการที่จะให้คำตอบเกี่ยวกับเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งจะนำมาใช้ในการวางแผนและการตัดสินใจในด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.3.2.1 ในด้านการเงินและการบัญชี (Finance) อุปสงค์ที่ประมาณการจะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดทำงบประมาณการขาย ซึ่งจะเป็จุดเริ่มต้นในการทำงานงบประมาณการเงิน เพื่อจัดสรรทรัพยากรให้ทุกส่วนขององค์กรอย่างทั่วถึงและเหมาะสม

2.3.2.2 ในด้านการตลาด (Marketing) อุปสงค์ที่ประมาณการไว้จะถูกใช้กำหนดโควตาการขายของ พนักงาน หรือถูกนำไปสร้างเป็นยอดขายเป้าหมายของแต่ละผลิตภัณฑ์ เพื่อใช้ในการควบคุมกิจกรรมของฝ่ายขายและฝ่ายการตลาด

2.3.2.3 ในด้านการผลิต (Operation) อุปสงค์ที่ประมาณการไว้ถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลในการดำเนินการต่างๆ ในฝ่ายการผลิต คือ

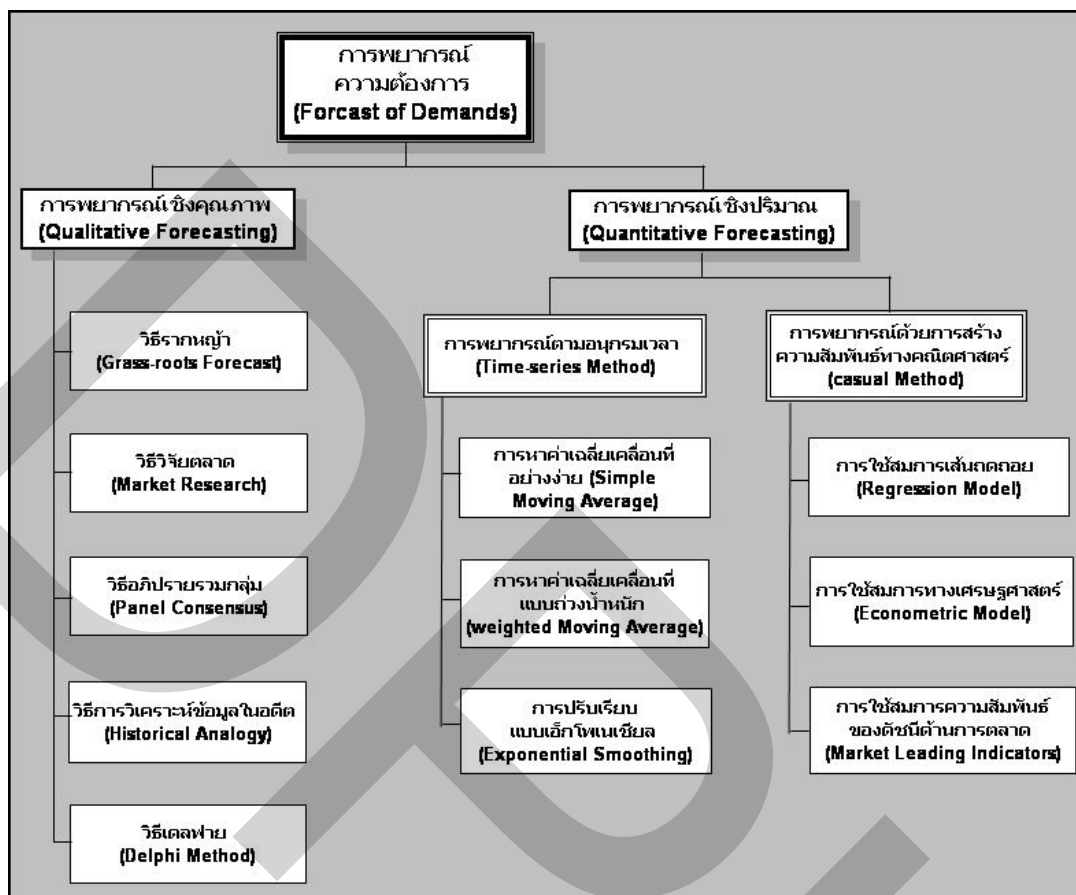
2.3.2.3.1 การบริหารสินค้าคงคลังและการจัดซื้อ เพื่อมีวัตถุดิบพอเพียงในการผลิต และมีสินค้าสำเร็จรูปพอเพียงต่อการขาย ภายใต้ต้นทุนสินค้าคงคลังในระดับที่เหมาะสม

2.2.2.3.2 การบริหารแรงงาน โดยการจัดกำลังคนให้สอดคล้องกับปริมาณงานการผลิตที่พยากรณ์ไว้แต่ละช่วงเวลา

2.3.2.3.3 การกำหนดกำลังการผลิต เพื่อจัดให้มีขนาดของโรงงานที่เหมาะสม มีเครื่องจักร อุปกรณ์หรือสถานการผลิตที่เพียงพอต่อการผลิตในปริมาณที่พยากรณ์ไว้ การวางแผนการผลิตรวม เพื่อจัดสรรแรงงานและกำลังการผลิตให้สอดคล้องกับการจัดซื้อวัตถุดิบและชิ้นส่วนที่ต้องใช้ในการผลิตแต่ละช่วงเวลา

2.3.2.3.4 การเลือกทำเลที่ตั้งสำหรับการผลิต คลังเก็บสินค้า หรือศูนย์กระจายสินค้าในแต่ละแหล่งลูกค้าหรือแหล่งการขายที่มีอุปสงค์มากพอ

2.3.2.3.5 การวางแผนผังกระบวนการการผลิตและการจัดตารางการผลิต เพื่อจัดกระบวนการผลิตให้เหมาะสมกับปริมาณสินค้าที่ต้องผลิต และกำหนดเวลาการผลิตให้สอดคล้องกับช่วงของอุปสงค์



ภาพที่ 2.41 แสดงประเภทของการพยากรณ์

ที่มา: การวางแผน และ ควบคุมการผลิต ผศ. ดร. บรรหาญ ลิลา

2.3.3 การพยากรณ์เชิงคุณภาพ (Qualitative Forecasting) คือ การพยากรณ์ที่ใช้ทักษะความชำนาญและประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งอาจจะใช้ข้อมูลในอดีตหรือไม่ใช้ก็ได้ โดยส่วนมากใช้ร่วมกับวิธีการพยากรณ์เชิงปริมาณ เพื่อให้ได้ผลการพยากรณ์ที่มีความถูกต้องสูงขึ้นนิยมใช้ในการพยากรณ์ระยะปานกลางถึงระยะยาว และใช้เมื่อไม่มีทางเลือกอื่นในการพยากรณ์ จะประกอบไปด้วยเทคนิคที่ใช้ดังต่อไปนี้

2.3.3.1 วิธีรากหญ้า (Grass Roots) สมมติฐานหลักของการพยากรณ์ด้วยวิธีนี้คือ ความเชื่อว่าผู้ที่อยู่ใกล้ชิดกับลูกค้าหรือ ผลิตภัณฑ์มากที่สุดคือผู้ทราบความต้องการในอนาคตมากที่สุด ถึงแม้ว่าความเชื่อนี้จะไม่เป็นจริงเสมอไปก็ตาม การพยากรณ์ด้วยวิธีนี้นับเป็นวิธีที่เริ่มจากระดับล่างสุดก่อน แล้วส่งข้อมูลขึ้นไปในระดับถัดไป เช่น คลังสินค้า ของร้านขายปลีกรวบรวมข้อมูล

ความต้องการในเขตพื้นที่ของตน และเสนอแนะความต้องการในอนาคตไปที่ผู้จัดการในเขต จาก ระดับเขตส่งต่อไปตามลำดับจนถึงระดับสูงที่รับผิดชอบการพยากรณ์ขององค์กรหรือผู้เกี่ยวข้อง

2.3.3.2 วิธีวิจัยตลาด (Market Research) องค์กรอาจจะทำการวิจัยตลาดเอง หรือจ้าง บริษัทผู้ที่มีความเชี่ยวชาญด้านนี้เป็นผู้ทำให้ เพื่อรวบรวมข้อมูลมาใช้ในการพยากรณ์ความต้องการ วัตถุประสงค์ของการวิจัยจะทำเพื่อเสาะหาแนวความคิดสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ลักษณะที่ ชอบและไม่ชอบในตัวสินค้าหรือบริการ กลุ่มเป้าหมาย และผลิตภัณฑ์ของกลุ่มคู่แข่งในตลาดกลุ่ม เดียวกัน ซึ่งเครื่องมือหลักในการทำวิจัยคือ แบบสอบถามและการสัมภาษณ์

2.3.3.3 วิธีการอภิปรายร่วมกลุ่ม (Panel Consensus) พื้นฐานความคิดของเทคนิคนี้ตรงกับ คำที่ว่า “สองหัวดีกว่าหัวเดียว” ในด้านการพยากรณ์เชื่อว่า กลุ่มของบุคคลที่รับผิดชอบหน้าที่ แตกต่างกันสามารถให้ข้อมูลการพยากรณ์ที่มีความน่าเชื่อถือได้มากกว่าข้อมูลจากกลุ่มคนในวง แคบ วิธีการนี้เป็นการพยากรณ์ที่ได้จากข้อสรุปของการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นอย่างอิสระของ กลุ่มบริหารจัดการทุกระดับ ข้อจำกัดของการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นอย่างมีอิสระนี้ก็คือ พนักงานในระดับต่ำกว่าจะรู้สึกไม่มั่นใจที่จะแสดงความคิดเห็นต่อหน้าผู้บังคับบัญชา หรือถ้า ความเห็นไม่ตรงกัน ก็อาจจะไม่กล้าโต้แย้ง ทำให้ความคิดเห็นของผู้บังคับบัญชากลายเป็นข้อสรุป ในที่สุด ดังนั้นการแก้ไขปัญหาด้านนี้ทำได้โดยการใช้วิธีเดลฟาย

2.3.3.4 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลในอดีต (Historical Analogy) การใช้สถานการณ์หรือ ข้อมูลของเหตุการณ์หรือผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ผ่านมาแล้ว ในการพยากรณ์อีกเหตุการณ์หรือผลิตภัณฑ์ หนึ่งที่คล้ายกัน เช่นความต้องการของสินค้าในปัจจุบันมาทำนายความต้องการของผลิตภัณฑ์ที่จะ พัฒนาขึ้นมาใหม่ วิธีนี้ใช้ได้ดีกับการวางแผนระยะกลางหรือ ระยะยาว มากกว่าการวางแผนระยะ สั้น

2.3.3.5 วิธีเดลฟาย (Delphi Method) ใช้การสร้างกลุ่มอภิปราย โดยผู้ประสานงาน กลาง สมาชิกแต่ละคนไม่จำเป็นต้องมีการเปิดเผยให้สมาชิกทุกคนรับทราบ ทั้งนี้เพื่อส่งเสริมให้ ทุกคนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระมากขึ้น ความคิดเห็นของสมาชิกทุกคนในกลุ่มมีน้ำหนักเท่ากัน โดยการใช้แบบสอบถามที่ส่งไปยังสมาชิกแต่ละคน ความคิดเห็นที่ตอบผ่านแบบสอบถามจะถูก รวบรวมและสรุปในขั้นต้น และส่งกลับไปยังสมาชิกพร้อมกับแบบสอบถามชุดใหม่ต่อไป หลักการของเดลฟายนี้สามารถประยุกต์ใช้กับการรวบรวมแนวความคิดด้านอื่นๆ นอกเหนือจาก การพยากรณ์ความต้องการได้ เช่น การรวบรวมแนวความคิดด้านขั้นตอนที่มีประสิทธิภาพในการ ผลิตทำให้เกิดมาตรฐานด้านคุณภาพในอุตสาหกรรม

2.3.4 การพยากรณ์เชิงปริมาณ (Quantitative Forecasting) คือ การพยากรณ์โดยนำข้อมูลในอดีตมาใช้ในการพยากรณ์ การพยากรณ์เชิงปริมาณจะทำได้หากมีเงื่อนไขดังนี้

- มีข้อมูลในอดีต และข้อมูลในอดีตนั้นสามารถแสดงในรูปแบบคณิตศาสตร์ได้
- มีสมมติฐานที่ว่ารูปแบบ (Pattern) ของข้อมูลในอดีต จะมีลักษณะต่อเนื่องไปใน

อนาคตเรียกว่า “Assumption of Continuity”

สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การพยากรณ์ที่เกี่ยวกับเวลาและการพยากรณ์ที่อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.3.4.1 การพยากรณ์ที่วิเคราะห์ด้วยอนุกรมเวลา (Time Series Analysis Forecast) เป็นการพยากรณ์บนพื้นฐานของข้อมูลในอดีต เทคนิคการพยากรณ์ที่ใช้การวิเคราะห์อนุกรมเวลาสามารถอธิบายคร่าวๆ แบ่งได้ดังนี้

2.3.4.1.1 การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (Simple Moving Average) การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เป็นวิธีที่ง่าย วิธีนี้ช่วยกำจัดการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ของความต้องการแบบสุ่ม หรือที่เรียกว่าการปรับเรียบ (Smoothing) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในกรณีที่ความต้องการไม่มีพฤติกรรมที่เพิ่มขึ้นหรือ ลดลงอย่างรวดเร็ว และไม่มีลักษณะของพฤติกรรมที่ได้รับมาจากอิทธิพลฤดูกาล โดยค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาที่ผ่านมา (n หน่วยเวลา) สามารถใช้เป็นค่าพยากรณ์ของช่วงเวลาถัดไป ข้อได้เปรียบของวิธีนี้คือ ง่าย คำนวณได้รวดเร็ว และไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก แต่ระยะเวลาในการพยากรณ์ต้องไม่ยาวนานนัก ส่วนข้อเสียเปรียบของการพยากรณ์โดยใช้วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่คือ ข้อมูลที่ได้ไม่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการที่เกิดขึ้นจากพฤติกรรมอื่น เช่น วัฏจักร และอิทธิพลฤดูกาล ปัจจัยที่เป็นต้นเหตุของพฤติกรรมเหล่านี้จะไม่ได้รับการพิจารณาเลย การแก้ไขข้อเสียเปรียบนี้ทำได้โดยการปรับวิธีการเฉลี่ยไปเป็นการเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก

2.3.4.1.2 การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Moving Average) วิธีนี้เป็นการปรับให้ค่าเฉลี่ยสะท้อนผลการเปลี่ยนแปลงของความต้องการมากขึ้น โดยการให้น้ำหนักกับข้อมูลความต้องการที่เกิดขึ้นนานกว่าซึ่งค่าพยากรณ์ การกำหนดค่าน้ำหนักที่เหมาะสมสำหรับแต่ละหน่วยเวลาในการพยากรณ์นั้น ปกติต้องการ การลองผิดลองถูก ซึ่งเป็นเช่นเดียวกับการกำหนดจำนวนหน่วยเวลา การกำหนดที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลกระทบต่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการแบบสุ่มมากหรือน้อยเกินไป แนวทางที่นิยมทั่วไปคือ ให้ความสำคัญกับข้อมูลที่เพิ่งเกิดขึ้นมากกว่าข้อมูลที่เกิดขึ้นก่อนหน้านั้น ยกเว้นในกรณีที่มีความชัดเจนว่าพฤติกรรมของความต้องการมีผลมาจากปัจจัยอื่น เช่น อิทธิพลฤดูกาล ซึ่งต้องกำหนดน้ำหนักไปตามผลของอิทธิพล

2.3.4.1.3 การปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing) การพยากรณ์ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลนี้คล้ายกับวิธีการเคลื่อนที่ คือเป็นวิธีการหาค่าเฉลี่ย และมีการกำหนดน้ำหนักของข้อมูลเพื่อให้ค่าพยากรณ์ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความถี่ความต้องการ แต่ในกรณีของการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลนี้ ค่าพยากรณ์จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ใช่แบบสุ่มได้ดีกว่า และนับว่าเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมาก เพราะต้องการข้อมูลในอดีตน้อยกว่า การพยากรณ์ในแต่ละหน่วยเวลาต้องการข้อมูลความต้องการย้อนหลังเพียงหน่วยเวลาเดียว มีความเที่ยงตรงสูง การคำนวณทำได้ง่าย สมการทางคณิตศาสตร์ไม่ซับซ้อน ยังมีอีกคือวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลสำหรับความต้องการที่มีพฤติกรรมของแนวโน้ม (Adjust Exponential Smoothing) วิธีนี้เป็นการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่รวมผลของแนวโน้มเข้ามาเพื่อเสริมจุดอ่อนที่ค่าพยากรณ์ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความถี่ความต้องการช้า โดยการเพิ่มค่าคงที่ของแนวโน้ม (Smoothing Constant for Trend) ข้อกำหนดคือ ค่าคงที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00 ถึง 1.00 และเป็นน้ำหนักที่ให้กับแนวโน้มที่เกิดขึ้นล่าสุด การเลือกค่าคงที่ขึ้นอยู่กับวิจารณ์ญาณของผู้พยากรณ์หรือพิจารณาข้อมูลในอดีต ค่าคงที่สูงจะแสดงถึงการให้ความสำคัญของแนวโน้มมากกว่าค่าต่ำ

2.3.4.2 การพยากรณ์ด้วยการสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ (Casual Method) การพยากรณ์ด้วยวิธีนี้ประกอบด้วยหลายเทคนิค ได้แก่

2.3.4.2.1 การใช้สมการเส้นถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Model)

2.3.4.2.2 การใช้สมการทางเศรษฐศาสตร์ (Econometric Model)

2.3.4.2.3 การใช้สมการความสัมพันธ์ของดัชนีด้านการตลาด (Market Leading Indicators)

แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคเดียวในการทำวิจัย คือ การใช้สมการเส้นถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Model)

2.4 ทฤษฎีการใช้สมการเส้นถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Model)

การวิเคราะห์การถดถอย เป็นวิธีการทางสถิติอย่างหนึ่ง ที่ใช้ในการตรวจสอบลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป โดยแบ่งเป็นตัวแปรอิสระ (Independent variable) และตัวแปรตาม (Dependent variable) ผลของการศึกษาจะให้ทราบถึง ขนาดของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ ที่มีต่อตัวแปรตาม และ แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม

ในการวิเคราะห์การถดถอย มักเรียกตัวแปรอิสระ ว่า ตัวทำนาย (Predictor) หรือตัวแปรกระตุ้น (Stimulus variable) ส่วนตัวแปรตาม มักเรียกว่า ตัวแปรตอบสนอง (Response variable) หรือตัวแปรเกณฑ์ (Criterion variable)

2.4.1 วัตถุประสงค์ของการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์การถดถอย

2.4.1.1 ต้องการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ และมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ในกลุ่มตัวแปรอิสระหลายๆ ตัวนั้น ตัวใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม ตัวใดมีความสัมพันธ์สูง ตัวใดมีความสัมพันธ์น้อย หรือไม่มีความสัมพันธ์ เพื่อที่จะสามารถคาดการณ์ได้ว่าตัวแปรอิสระตัวใดมีอิทธิพลต่อตัวแปรตามมากที่สุด เช่น ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักทารกแรกเกิด กับอายุ น้ำหนัก และส่วนสูงของมารดา

2.4.1.2 ต้องการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ทำนายตัวแปรตาม โดยรูปแบบจำลองดังกล่าวอยู่ในลักษณะสมการทางคณิตศาสตร์ เช่น ศึกษาเรื่องพื้นที่ในบ้านว่าจะส่งผลต่อราคาของที่ดินหรือไม่

2.4.1.3 ต้องการทราบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระบางตัว ที่มีผลต่อตัวแปรตาม โดยควบคุมอิทธิพลของตัวแปรอิสระตัวอื่นๆ ให้คงที่ เช่น ศึกษาอิทธิพลของความวิตกกังวลที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงาน เมื่อควบคุมระยะเวลาในการทำงานติดต่อกันให้คงที่

2.4.1.4 ต้องการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ดีที่สุด เพื่อนำไปใช้ในการทำนายตัวแปรตาม โดยอาจมีแบบจำลองจำนวนมากให้ตัดสินใจ

2.4.1.5 ต้องการทราบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาสำหรับทำนายนั้น จะมีประสิทธิภาพในการทำนายได้อย่างคงเส้นคงวาหรือไม่ เมื่อนำไปใช้กับกลุ่มเป้าหมายต่างๆ กัน

2.4.2 ชนิดของการวิเคราะห์การถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอยมีหลายชนิด ขึ้นกับลักษณะของตัวแปรตาม รูปแบบความสัมพันธ์ และการกำหนดตัวแปรอิสระ (ตัวแปรต้น) ซึ่งโดยทั่วไปแบ่งการวิเคราะห์การถดถอยได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis)

2) การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non Linear Regression)

ในการวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น เท่านั้น

2.4.2.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) เป็นการวิเคราะห์การถดถอยที่ตัวแปรอิสระส่วนใหญ่เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ ส่วนตัวแปรตามเป็นจะต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณเท่านั้น รูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม สามารถแทนได้

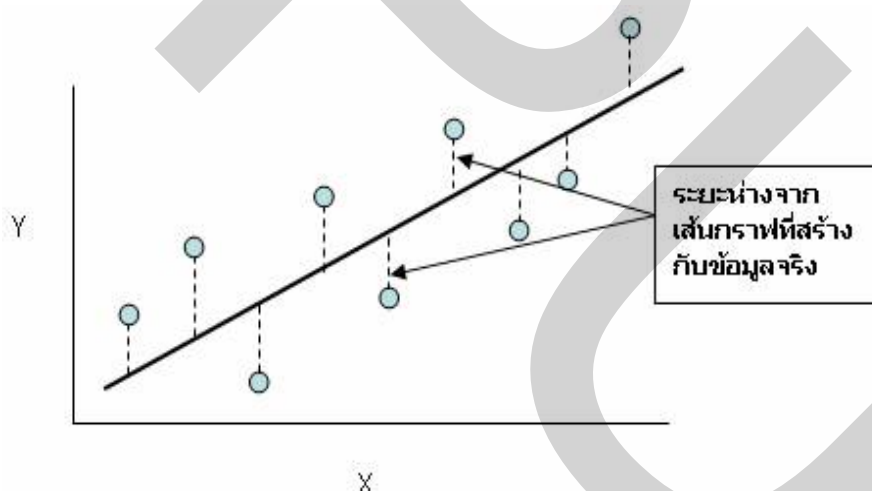
ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นเชิงเส้น (Linear Model) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น มี 2 แบบ คือ

- การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression)
- การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression)

2.4.3 แนวคิดของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น

ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (กรณีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย) จะเป็นการนำข้อมูลจากตัวแปรที่ทำการศึกษามาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ที่สามารถบอกแนวโน้มของความสัมพันธ์โดยใช้แผนภาพเส้นตรงแทนได้ และจะทำการหาเส้นตรงที่ดีที่สุดเพื่อเป็นตัวแทนของรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษา

เส้นตรงที่ดีที่สุดจะมีเพียงเส้นเดียวโดยถือหลักการว่าจะต้องมีผลรวมของระยะห่างกำลังสอง จากเส้นกราฟถึงทุกๆจุดนั้น มีค่าน้อยที่สุด เราเรียกหลักการนี้ว่า วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Method of Least Squares)



ภาพที่ 2.42 แสดงการนำข้อมูลจากตัวแปรวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ที่สามารถบอกแนวโน้มของความสัมพันธ์โดยใช้แผนภาพเส้นตรงแทน

จากเส้นตรงดังกล่าว ใช้กระบวนการทางสถิติเพื่อหาค่าคงที่และสัมประสิทธิ์สมการสร้างเป็นแบบจำลองในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ เรียกว่า สมการถดถอยเชิงเส้น หรือสมการพยากรณ์ หลังจากได้แบบจำลองแล้ว จึงทำการตรวจสอบความสอดคล้องของแบบจำลอง เพื่อดูว่า

แบบจำลองที่สร้างขึ้น มีความสอดคล้องและเหมาะสมกับข้อมูลหรือไม่ โดยมีการทดสอบทางสถิติดังต่อไปนี้

1) ทดสอบความเหมาะสมของโมเดล (เป็นการตรวจสอบว่าตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกันหรือไม่)

2) ทดสอบค่าคงที่ และค่าสัมประสิทธิ์ในสมการถดถอย ทีละตัวโดยใช้สถิติทดสอบ t

3) พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบพหุ (Multiple R) และค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ (Standard Error of Estimate)

กระบวนการดังกล่าวทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นจนจบจะทำการคำนวณและการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ ด้วยการคำนวณตัวเลขเอง หรือสามารถใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทำการวิเคราะห์ให้ก็ได้

ข้อตกลงเบื้องต้นในการใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น

(1) ตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันในแบบเส้นตรง สมการเส้นถดถอยแบบเส้นตรงที่มีตัวแปรอิสระ k ตัวจะอยู่ในรูป

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_k X_{ik} + e_i$$

โดยที่ Y_i = ค่าของตัวแปรตามที i เก็บรวบรวมได้

β_0 = ค่าคงที่ในสมการเส้นถดถอย ซึ่งเป็นค่าของ Y เมื่อทุกค่าของ X_k

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ = สัมประสิทธิ์ของเส้นถดถอยซึ่งสอดคล้องกับแต่ละค่าของตัวแปรอิสระ

e = ความคลาดเคลื่อนสุ่ม ซึ่งเกิดจากการสุ่มตัวอย่าง

(2) ความแปรปรวนของตัวแปรตามเมื่อกำหนดค่าต่างๆ ของตัวแปรอิสระจะมีค่าเท่ากันซึ่งข้อตกลงนี้เรียกว่า มีคุณสมบัติของ Homo scedasticity

(3) ตัวแปรอิสระแต่ละตัวจะต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน (Mlticollinearity)

รศ.สมจิต วัฒนาชากุล (2545)

(4) ความคลาดเคลื่อน e_i เป็นตัวแปรสุ่มที่เป็นอิสระ มีการแจกแจงปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 รศ. วิรัช พานิชวงค์ (2545)

2.4.3.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย จะประกอบด้วยตัวแปรตาม 1 ตัว และตัวแปรอิสระเพียง 1 ตัว การวิเคราะห์เป็นการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสอง และสร้างรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นการพยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม เช่น การพยากรณ์ระดับ Carbon monoxide ในผู้สูบบุหรี่ เมื่อทราบปริมาณการสูบบุหรี่ต่อวัน การพยากรณ์ผลการสอบปลายภาค เมื่อทราบผลการสอบกลางภาค เป็นต้น

แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น

ตัวแปรอิสระ (X) 1 ตัวตัวแปรตาม (Y) 1 ตัว

สมการถดถอยของประชากร

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (2.1)$$

สมการถดถอยของกลุ่มตัวอย่าง

$$Y' = b_0 + b_1 X \quad (2.2)$$

สมการถดถอยของกลุ่มตัวอย่าง ในรูปคะแนนมาตรฐาน

$$Z'Y = B_1 Z_X \quad (2.3)$$

เมื่อ X, Z_X เป็น ค่าของตัวแปรอิสระในรูปคะแนนดิบ และคะแนนมาตรฐาน Y เป็น ค่าของตัวแปรตาม Y', Z'_Y เป็น ค่าพยากรณ์ของตัวแปรตามในรูปคะแนนดิบ และคะแนนมาตรฐาน β_0 และ β_1 เป็น ค่าคงที่ และสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรอิสระในสมการ (ประชากร) b_0 และ b_1 เป็น ค่าคงที่ และสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรอิสระในสมการ (กลุ่มตัวอย่าง) B_1 เป็น สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรอิสระในสมการ (คะแนนมาตรฐาน) ε เป็น ค่าความคลาดเคลื่อน

การหาค่าคงที่ และสัมประสิทธิ์ในสมการ

จาก $Y' = b_0 + b_1 X$ เป็นสมการถดถอยของกลุ่มตัวอย่าง สามารถหาค่าของ b_0 และ b_1

ได้จากสูตร

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X} \quad \text{และ} \quad b_1 = r_{xy} \frac{S_y}{S_x} \quad (2.4)$$

เมื่อ $\bar{Y}, \bar{X}$ เป็นค่าเฉลี่ยของตัวแปร Y และ X r_{xy} เป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X กับ Y

ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$r_{xy} = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (2.5)$$

S_Y, S_X เป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปร Y และ X

การหาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์ (Standard Error of Estimation) สามารถหาได้จากสูตร

$$S_{Y.X} = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n-2}} \quad (2.6)$$

หรือ

$$S_{Y.X} = S_Y \sqrt{\frac{(1-r^2)(n-1)}{n-2}} \quad (2.7)$$

การทดสอบความมีนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การถดถอย โดยมีสมมติฐานของการทดสอบ

$$H_0 : \beta = 0$$

$$H_1 : \beta \neq 0$$

สถิติทดสอบ เป็นการทดสอบแบบสองทาง

$$t = \frac{b - \beta}{\sqrt{\frac{S_{Y.X}^2}{(n-1)S_X^2}}} \quad (2.8)$$

โดยที่ $df = n-2$

อาณาเขตวิกฤตและการสรุปผล

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า t ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า $t_{\alpha, n-2}$ ที่เปิดจากตาราง หรือ t ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า $-t_{\alpha, n-2}$

ช่วงความเชื่อมั่น $(1-\alpha)100\%$ ของการประมาณค่า Y

จากสมการถดถอย $Y' = b_0 + b_1X$ ที่ได้จากกลุ่มตัวอย่าง สามารถใช้ค่า Y' มาประมาณค่า Y ที่เกิดขึ้นได้ เมื่อ $X=X_i$ ดังนี้

ช่วงความเชื่อมั่น $(1-\alpha)100\%$ ของ Y

$$Y = Y' \pm t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} \cdot S_{Y.X} \sqrt{\left(1 + \frac{1}{n}\right) + \frac{(X_i - \bar{X})^2}{(n-1)S_X^2}} \quad (2.9)$$

2.4.3.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression) จะประกอบด้วยตัวแปรตาม 1 ตัว และ ตัวแปรอิสระตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป การวิเคราะห์เป็นการหาขนาดของความสัมพันธ์ และสร้างรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นการพยากรณ์ค่าของตัวแปรตามโดยใช้ตัวแปรอิสระที่ศึกษา เช่น ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอายุ เพศ ปัญหาในการทำงาน

แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น

ตัวแปรอิสระ (X) n ตัว

ตัวแปรตาม (Y) 1 ตัว

สมการถดถอยของประชากร

$$Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \dots + \beta_nX_n + \varepsilon \quad (2.10)$$

สมการถดถอยของกลุ่มตัวอย่าง

$$Y' = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad (2.11)$$

สมการถดถอยของกลุ่มตัวอย่าง ในรูปคะแนนมาตรฐาน

$$Z'_Y = B_1Z_{X_1} + B_2Z_{X_2} + \dots + B_nZ_{X_n} \quad (2.12)$$

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ เป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรอิสระหลายๆ ตัว กับตัวแปรตาม ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองสมการพยากรณ์ จะพิจารณาจากการมีตัวแปรอยู่ในระบบสมการ ซึ่งเรียกว่า การนำตัวแปรเข้าระบบสมการ ที่นิยมมีด้วยกัน 4 วิธี คือ

1) All Enter เลือกกลุ่มตัวแปรอิสระกลุ่มเล็กๆ ที่ดี ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ตรวจสอบรูปแบบการถดถอยเหล่านี้ วิธีนี้จะคัดเลือกสมการดีที่สุดจากรูปแบบการถดถอยทั้งหมดที่เป็นไปได้

รูปแบบการถดถอยทั้งหมดที่เป็นไปได้นี้ คือ รูปแบบที่เกิดจากการนำตัวแปรอิสระต่างๆ ใส่ไว้ในรูปแบบ โดยเริ่มจากรูปแบบที่ไม่มีตัวแปรอิสระอยู่ในรูปแบบเลย ต่อมาเป็นรูปแบบที่มีตัวแปรอิสระ 1 ตัว รูปแบบตัวแปรอิสระ 2 ตัว 3 ตัว จนถึงรูปแบบที่มีตัวแปรอิสระครบทุกตัว ถ้ามีตัวแปรอิสระ k ตัว จำนวนรูปแบบจะน้อยกว่าเท่ากับ 2^k รูปแบบเช่น ถ้า $k = 10$ จะมีจำนวนรูปแบบจะน้อยกว่าทั้งหมดเท่ากับ $2^{10} = 1024$ รูปแบบที่จะคัดเลือก หลังจากนั้นแล้วสร้างสมการถดถอยโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด แล้วคัดเลือกรูปแบบด้วยเกณฑ์ต่างๆ โดยที่พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

2) Forward กำหนดให้เริ่มต้นสร้างสมการยังไม่มีตัวแปรใดอยู่ในระบบสมการ จากนั้นให้เริ่มทำการสร้างระบบสมการ โดยนำตัวแปรอิสระที่มีขนาดของอิทธิพลสูงสุด (โดยพิจารณาจากค่า Partial F ไม่ได้ดูจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์) เข้าไปสร้างสมการกับตัวแปรตามก่อน จากนั้นจึงนำตัวแปรอิสระที่เหลือที่มีขนาดของอิทธิพลรองลงไปเข้าทีละตัว และจะหยุดการนำตัวแปรอิสระเข้าระบบสมการหากพบว่าตัวแปรนั้นมีขนาดของอิทธิพลน้อย (ไม่มีนัยสำคัญ) หรือไม่มีอิทธิพลเลย

3) Backward กำหนดให้เมื่อเริ่มสร้างสมการ มีตัวแปรอิสระทุกตัวอยู่ครบในระบบสมการ จากนั้นให้ทำการดึงตัวแปรอิสระที่มีขนาดของอิทธิพลน้อยที่สุด (ไม่มีนัยสำคัญ) ออกจากสมการทีละตัว (โดยพิจารณาจากค่า Partial F) จนกระทั่งเหลือตัวแปรในระบบสมการเฉพาะที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม

4) Stepwise เป็นวิธีการที่นำตัวแปรอิสระเข้าสมการทีละตัวเช่นเดียวกับ Forward และเมื่อตัวแปรนั้นเข้าไปอยู่ในระบบสมการแล้ว จะทำการตรวจสอบย้อนกลับโดยวิธี Backward อีกทีหนึ่ง ในทุกครั้งที่มีการนำตัวแปรอิสระเข้าสมการ

สำหรับการประมาณค่าคงที่ และสัมประสิทธิ์ในสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ จะใช้วิธีการประมาณที่เรียกว่า การประมาณโดยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation: MLE) โดยวิธีดังกล่าวนี้สามารถประมาณค่าคงที่ และสัมประสิทธิ์ในสมการได้ทั้งในกรณีที่ตัวแปรอิสระมีจำนวน 1 ตัว หรือมากกว่า 1 ตัว โดยมีข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับตัวแปรอิสระแต่ละตัว คือ ตัวแปรอิสระจะต้องไม่มีความสัมพันธ์กันเอง (intercollinearity หรือเกิด Multicollinearity) การหาค่าคงที่ และสัมประสิทธิ์ในสมการ จะใช้วิธีการคำนวณโดยรูปแบบเมตริกซ์

ลำดับของการอ่านผลการวิเคราะห์การถดถอย เมื่อผ่านการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นในการวิเคราะห์การถดถอย แล้ว ลำดับของการอ่านผลการวิเคราะห์ เป็นดังนี้

- 1) การตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม (F test ในตาราง ANOVA)
- 2) การตรวจสอบความมีนัยสำคัญของค่าคงที่ และสัมประสิทธิ์แต่ละตัวในสมการ (ในตาราง Coefficients)
- 3) การเขียนรูปแบบของสมการถดถอยจากค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ (จากตาราง Coefficients)
- 4) การสรุปสมการถดถอยที่ได้

2.4.3.3 การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non Linear Regression) เป็นการวิเคราะห์การถดถอย ที่รูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม สามารถแทนได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non – Linear Model)

2.5 การวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (Measuring Forecast Errors)

เพื่อที่จะสร้างความมั่นใจให้กับตัวต้นแบบของสมการพยากรณ์ ว่าวิธีพยากรณ์ที่เราใช้นั้นจะมีประสิทธิผลเพียงใดจึงต้องมีการประเมินผลของวิธีการพยากรณ์ วิธีการที่เหมาะสมที่จะสามารถให้คำตอบในที่นี้ก็คือ การวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ถ้าเราจะใช้วิธีที่ใช้ในการวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์นั้นเป็นเรื่องที่ง่ายมาก คือเราเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์ที่คำนวณได้กับข้อมูลจริงในช่วงเวลา (t) เดียวกัน ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$e_t = \text{ราคาจริง}_t - \text{ราคาพยากรณ์}_t \quad (2.13)$$

เมื่อ e_t คือความคลาดเคลื่อนในช่วงเวลา t และผลรวมของความคลาดเคลื่อนคือ

$$\sum_{t=1}^n e_t = \sum_{t=1}^n (\text{ราคาจริง}_t - \text{ราคาพยากรณ์}_t) \quad (2.14)$$

แต่ดูแล้ว สมการ (2.14) ดูไม่สมเหตุสมผล ถ้านำไปใช้ในการวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ เนื่องจากเป็นเพียงแต่การวัดความโอนเอียงของการพยากรณ์ว่าจะมีความโน้มเอียงไปทางด้านบวกหรือด้านลบ แต่ในการวัดความคลาดเคลื่อนไม่ว่าจะคลาดเคลื่อนไปในทางใดก็ตาม ก็ถือว่าเป็นค่าที่คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงที่เกิดขึ้น ดังนั้น ในการหาผลรวมของความคลาดเคลื่อนจึงไม่ควรจะคำนึงถึงเครื่องหมายบวกหรือลบ จากสมการ (2.14) ค่า e ที่คำนวณได้ในช่วง t ต่างๆ อาจจะหักลบกันเองทำให้ไม่ได้ค่าผลรวมของความคลาดเคลื่อนที่แท้จริง ดังนั้นเพื่อขจัดปัญหาดังกล่าวนี้ ในงานวิจัยครั้งนี้จึงทำการวัดความคลาดเคลื่อนโดยการใช้วิธีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error – MAPE)

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left[\frac{\left| \text{ราคาจริง}_t - \text{ราคาพยากรณ์}_t \right|}{\text{ราคาจริง}_t} \right] \quad (2.15)$$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผกากรอง เทพรัักษ์ (2546) ศึกษาการพยากรณ์ราคาผลผลิตทางการเกษตรในตลาดการซื้อขยาล่วงหน้ากรณีศึกษาขยาลพาร เพื่อช่วยให้นักลงทุนสามารถนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจซื้อหรือขายในช่วงเวลาที่เหมาะสม เพื่อลดความเสี่ยง ศึกษาหารูปแบบการพยากรณ์ทางเทคนิคที่เหมาะสม และหาขนาดอนุกรมเวลาที่เหมาะสม การศึกษาแยกเป็น 2 กรณี คือ การพยากรณ์ระยะสั้น วิธีที่ศึกษาได้แก่ วิธีปรับให้เรียบครั้งเดียวแบบเอกโปเนนเชียล วิธีปรับให้เรียบแบบเอกโปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ วิธีวิเคราะห์การถดถอยที่มีค่าคลาดเคลื่อนในรูปแบบ AR วิธีบอซซ์-เจนกินส์ และวิธีการพยากรณ์ร่วม โดยแบ่งขนาดอนุกรมเวลาที่ศึกษาเป็น 5 ขนาดคือ 15, 30, 50, 95, 100 วัน เกณฑ์การเลือกรูปแบบที่ดีที่สุดใช้ค่าเฉลี่ยผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อนของค่าพยากรณ์ที่น้อยที่สุดเป็นเกณฑ์ จากการเปรียบเทียบการพยากรณ์ทั้ง 5 วิธี พบว่าขนาดอนุกรมเวลาที่เหมาะสมคือ อนุกรมเวลาขนาด 30 วัน และวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมคือ วิธีปรับให้เรียบครั้งเดียวแบบเอกโปเนนเชียล กรณีที่ 2 คือการพยากรณ์ระยะยาว ได้แบ่งอนุกรมเวลาเป็น 4 ขนาดคือ 30, 50, 75, 90 เดือน โดยใช้วิธีที่ศึกษาเปรียบเทียบ 6 วิธี คือ วิธีปรับให้เรียบครั้งเดียวแบบเอกโปเนนเชียลวิธีปรับให้เรียบแบบเอกโปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ วิธีวิเคราะห์การถดถอยที่มีค่าความคลาดเคลื่อนในรูปแบบ AR วิธีแยกส่วนประกอบ วิธีบอซซ์-เจนกินส์ และวิธีการพยากรณ์ร่วม พบว่าขนาดอนุกรมเวลาที่เหมาะสมคือ อนุกรมเวลาขนาด 75 เดือน และวิธีพยากรณ์ที่เหมาะสมคือวิธีบอซซ์-เจนกินส์ และได้ศึกษาปัจจัยพื้นฐานที่มีผลกระทบต่อราคาขยาลในตลาดล่วงหน้าโดยเกียวจปัจจัยที่มีผลต่อราคาขยาลได้แก่ ราคาขยาลย้อนหลัง 1 เดือน และปริมาณการใช้ยางธรรมชาติของญี่ปุ่นและนำปัจจัยมาสร้างตัวแบบการพยากรณ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย ตัวแบบการพยากรณ์สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงราคาขยาลในตลาดล่วงหน้าได้ถึง 80.9 % รวมทั้งได้ศึกษาปัจจัยที่ชี้นำราคาขยาลในอนาคต โดยพบว่าปริมาณการใช้ยางธรรมชาติของประเทศญี่ปุ่นสามารถชี้นำแนวโน้มราคาขยาล่วงหน้าประมาณ 2-3 เดือน

ไพศาล คุษณัฐนิกุล (2550) ศึกษาปัจจัยภายในและภายนอกของอุตสาหกรรมกุ้งแช่แข็งเพื่อกำหนดกลยุทธ์ในการพยากรณ์ปริมาณการส่งออก โดยการใช้ข้อมูลทุติยภูมิทางสถิติเป็นรายเดือน ตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2543 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 โดยใช้เครื่องมือทางสถิติในการพยากรณ์โดยใช้วิธีการศึกษาเชิงพรรณนาและเชิงปริมาณ จากผลการศึกษาการพยากรณ์โดยวิธีการ

ของ Winters ที่ระดับ Alpha 0.584, Gamma (Trend) 0.1, และ Delta(season) 0.0 ซึ่งให้ค่า Mean Absolute Percentage Error (MAPE) = 9, Mean Absolute Deviation (MAD) = 1,897, Mean Squared Deviation (MSD) = 5,920,748 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุดจากการปรับค่าพารามิเตอร์ จากค่าดังกล่าว พบว่า อุตสาหกรรมกุ้งแช่แข็งมีแนวโน้มการส่งออกในปี พ.ศ. 2550 มีปริมาณ 391,821 ตัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 11% เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2549 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยภายในและภายนอกของอุตสาหกรรมกุ้งแช่แข็งเพื่อกำหนดกลยุทธ์ และจัดลำดับความสำคัญของกลยุทธ์ในกลุ่มกลยุทธ์เสริมสร้างศักยภาพของอุตสาหกรรม รองลงมาคือกลยุทธ์การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้ากลยุทธ์การลดต้นทุนของอุตสาหกรรม กลยุทธ์เสริมสร้างมาตรฐานสินค้า กลยุทธ์การแสวงหาตลาดใหม่ และกลยุทธ์การคว้าวิจัยและพัฒนา (R&D) ซึ่งเป็นกลยุทธ์ที่ใช้เสริมกลยุทธ์หลัก

โยธิน โนริเวช (2543) ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อราคาประมูลและราคากลางของงานดิน รวมถึงอัตราการผลิตของเครื่องจักร คัดเลือกจากโครงการก่อสร้างทางหลวง จำนวน 45 โครงการ มีมูลค่างานก่อสร้างระหว่าง 50 ล้านบาท ถึง 400 ล้านบาทในระหว่าง พ.ศ. 2541-2543 โดยมีผู้บริหารและวิศวกรเป็นผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 60 คน โดยแบ่งแบบสอบถามเป็น 3 ส่วน คือ 1.ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสถานภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม 2.ข้อมูลด้านอัตราการผลิตต่อหน่วยของเครื่องจักร 3.ข้อมูลด้านปัจจัยที่มีผลทำให้ราคาต่อหน่วยเปลี่ยนไป เครื่องมือที่ใช้คือแบบสอบถาม 1 ชุด วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS/PC สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย ค่ามัธยฐานเลขคณิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบค่าที การทดสอบความแปรปรวนทางเดียว และการวิเคราะห์เปรียบเทียบรายคู่หลังการทดสอบความแปรปรวน กำหนดระดับมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ผลการวิจัยคือ อัตราการผลิตงานตัดคันทาง งานถมคันทาง และงานวัสดุคัดเลือกของภาพเอกชนมีอัตราการผลิตมากกว่าอัตราการผลิตของภาครัฐ ส่วนงานวางป่าและชุดต่ออัตราการผลิตของภาคเอกชนมีค่าไม่แตกต่างกับอัตราการผลิตของภาครัฐ และปัจจัยที่มีผลทำให้ราคาต่อหน่วยเปลี่ยนไป ผลคือราคาวัสดุและแหล่งวัสดุมีผลต่อปัจจัยด้านวัสดุมากที่สุด ราคาน้ำมันและระยะทางการขนส่งวัสดุ มีผลต่อปัจจัยด้านการขนส่งมากที่สุด น้ำมันเชื้อเพลิงและมีพนักงานขับเครื่องจักร มีผลต่อปัจจัยด้านการดำเนินการก่อสร้างงานทางมากที่สุด ค่าสมยอมด้านราคา และขนาดของโครงการ มีผลต่อปัจจัยด้านกำไรมากที่สุด วิธีการคิดค่าเสื่อมราคามีผลต่อปัจจัยด้านการบริหารจัดการมากที่สุด การเปลี่ยนแปลงของราคาวัสดุ และระยะเวลาการก่อสร้าง มีผลต่อปัจจัยด้านความผันผวนมากที่สุด การเปลี่ยนแปลงของอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ มีผลต่อปัจจัยด้านอัตราดอกเบี้ยมากที่สุด ซึ่งสรุปได้ว่า ภาครัฐควรพิจารณาหาต้นทุนอัตราการผลิตต่อหน่วย ซึ่งเป็นผลกระทบโดยตรง

วัชรพร วงศ์สมิง (2550) ศึกษาพัฒนาแบบจำลองการประมาณค่าใช้จ่ายในการพัฒนาซอฟต์แวร์ประยุกต์เชิงโครงสร้างด้วยการวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอนพร้อมการวิเคราะห์ปัจจัยเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ถดถอยเชิงชั้น แบบถ่วงน้ำหนัก และการวิเคราะห์ถดถอยยกกำลังสองต่ำสุดแบบสองชั้น โดยเน้นไปที่ความแม่นยำในการพยากรณ์ข้อมูลของทั้ง 4 วิธี ผลการสอบทานแบบจำลองพบว่า เทคนิคการวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอน และเทคนิคการวิเคราะห์ถดถอยแบบเชิงชั้น พร้อมการวิเคราะห์ปัจจัยมีความแม่นยำในการพยากรณ์ค่าใช้จ่ายของแบบจำลองมีความผิดพลาด 65.73% ในส่วนของแบบจำลองโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักมีความผิดพลาด 51.25% แต่เกิดปัญหาด้าน Multi co-linearity เทคนิคการวิเคราะห์ถดถอยยกกำลังสองต่ำสุดแบบสองชั้นมีความแม่นยำในการพยากรณ์ค่าใช้จ่ายของแบบจำลองมีความผิดพลาด 2.33% สรุปได้ว่าแบบจำลองที่ได้จากเทคนิคการวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอนมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด

อนงค์นุช ไชยโชติ (2549) ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อราคาที่ดินการเกษตรในเขตปฏิรูปที่ดินจังหวัดศรีสะเกษ ข้อมูลปฐมภูมิที่ได้จากการสอบถามเกษตรกร จำนวน 125 ครัวเรือน ในเขตอำเภอกันทรลักษ์ ใช้วิธีการวิเคราะห์ สมการถดถอยเชิงซ้อน ราคาที่ดินที่ใช้ในการศึกษามี 2 ประเภท คือ ราคาที่เกษตรกรระบุ และราคาที่คิดจากรายได้ โดยการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อราคาที่ดินการเกษตรในเขตปฏิรูปที่ดิน แบ่งเป็นการวิเคราะห์แปลงที่ดินทุกแปลงในภาพรวมและเฉพาะแปลงที่ดินในเขตพื้นที่เอกสารสิทธิ ส.ป.ก. 4-01 ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อราคาที่ดินคือ สภาพถนนเข้า-ออก ความเพียงพอของปริมาณน้ำเพื่อการเกษตร แหล่งน้ำเพื่อใช้ในการผลิต สภาพภูมิประเทศ และประเภทเอกสารสิทธิที่ดิน ผลการศึกษาสรุปได้ว่า ในพื้นที่เอกสารสิทธิ ส.ป.ก. 4-01 ราคาที่ดินของพื้นที่ทำนาจะต่ำกว่าราคาที่ดินของพื้นที่ทำไร่ เมื่อพิจารณาจาก ราคาที่เกษตรกรระบุพื้นที่ทำไร่ จะมีราคาระหว่าง 28,000 – 33,000 บาท และพื้นที่ทำนาจะมีราคาระหว่าง 25,000 – 30,000 บาท และราคาเมื่อคิดจากรายได้ พื้นที่ทำไร่จะมีราคาระหว่าง 23,000 – 29,000 บาท และพื้นที่ทำนาจะมีราคาระหว่าง 17,000 – 27,000 บาท ราคาที่เกษตรกรระบุและราคาที่ดินคิดจากรายได้ มีราคาใกล้เคียงกัน

อรอุไร หนูหอม (2544) นำเสนอการประเมินวิธีการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าให้เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลในอดีต โดยทำการวิจัยเพื่อจะเลือกวิธีการพยากรณ์ทางสถิติให้เหมาะสมเพื่อทำให้ทราบแนวทางในการเลือกวิธีการพยากรณ์ทางสถิติในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าจากวิธีการพยากรณ์ 5 วิธี ได้แก่ วิธี Smoothing วิธี Decomposition วิธี Box-Jenkins วิธี Simple Linear Regression และวิธี Multiple Linear Regression ในการทำวิจัยนี้ใช้ข้อมูลหน่วยจำหน่ายรวมไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตั้งแต่ปีงบประมาณ พ.ศ.2527 ถึง พ.ศ.2544 โดยแบ่ง

ลักษณะรูปแบบของข้อมูลเป็น 2 ลักษณะคือ มีปัจจัยฤดูกาล และ ไม่มีปัจจัยฤดูกาล ในการเลือกวิธีพยากรณ์ที่เหมาะสมจะพิจารณาค่า MAPE (Mean Absolute Percentage Error) ของข้อมูลในชุดทดสอบที่มีค่าน้อยที่สุด ผลที่ได้จากการวิจัยพบว่าสามารถประเมินวิธีการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าในแต่ละสภาวะการพยากรณ์และข้อมูลต่าง ๆ กันได้ และพบว่าลักษณะรูปแบบข้อมูลที่มีปัจจัยฤดูกาลจะมีค่า MAPE น้อยกว่ารูปแบบข้อมูลที่ไม่มีปัจจัยฤดูกาล

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

จากทฤษฎีที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 2 สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อราคา Wave soldering fixture ให้มีความเหมาะสม และได้ทำการวางแผนในการดำเนินงาน โดยอธิบายเป็นแผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยได้ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศักยภาพการดำเนินงานของโรงงานกรณีศึกษา

3.1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานที่ทำการศึกษา

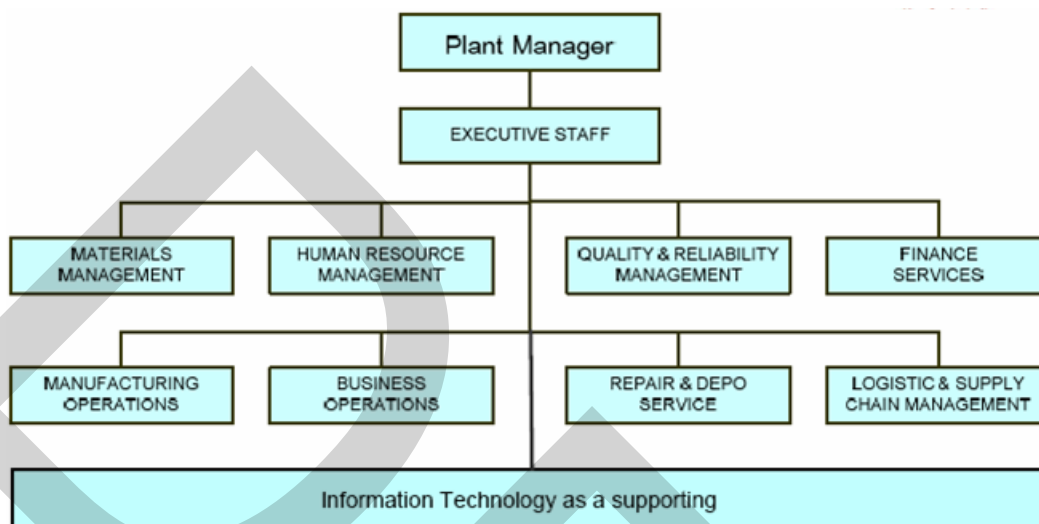
เป็นบริษัทที่อยู่ในกลุ่มที่เรียกว่า CM (Contract Manufacturing) หรือ EMS (Electronic Manufacturing Service) รับบริการออกแบบ, ทดสอบ, ผลิตแผงวงจรไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ และรับซ่อมกับตัวผลิตภัณฑ์ ให้กับกลุ่มบริษัทที่เรียกว่า Original Equipment Manufacturers (OEMs) ผลิตภัณฑ์ก็จะมีกลุ่มต่างๆ เช่น ธุรกิจในอุตสาหกรรม กลุ่มเครือข่ายโทรคมนาคมเพื่อการสื่อสาร (Telecommunication Network) กลุ่มเครื่องมือแพทย์ (Medical Products) กลุ่มธุรกิจการบิน (Avionics) กลุ่มธุรกิจรถยนต์ (Automotive) กลุ่มธุรกิจทางด้านการบันเทิง (Entertainment)



ภาพที่ 3.2 แสดงผลิตภัณฑ์ของโรงงานตัวอย่าง

ที่มา: http://www.jobtopgun.com/jobpost/jobpost?id_emp=15325&id_p=5

3.1.2 ฝั่งองค์กรของโรงงานตัวอย่างที่ทำการศึกษา



ภาพที่ 3.3 ฝั่งองค์กรของโรงงานตัวอย่าง

ทางโรงงานตัวอย่าง มีการจัดองค์กร มีบทบาทหน้าที่ในแต่ละฝ่ายงาน มีดังนี้

Plant Manager หรือผู้จัดการโรงงาน มีหน้าที่บริหารจัดการโรงงานทั้งหมดในภาพรวม กำหนดเป้าหมายของบริษัท

Executive Staff หรือ กลุ่มผู้บริหารระดับสูง มีหน้าที่บริหารโรงงานเฉพาะเรื่อง หรือเฉพาะด้าน แต่ละแผนก หรือก็คือ กลุ่มผู้จัดการแผนกแต่ละแผนก

Material Management หรือ การจัดการกับวัตถุดิบเพื่อนำมาผลิต มีหน้าที่วางแผนว่า จะต้องใช้วัตถุดิบอะไรบ้าง จำนวนเท่าใด นำเข้าวันไหน เพื่อที่จะได้ผลิตสินค้าตามที่ลูกค้าสั่งซื้อ

Human Resource Management หรือ การจัดการทรัพยากรมนุษย์ มีหน้าที่หาคนเข้ามาทำงานให้เหมาะสมกับตำแหน่ง พร้อมทั้งการฝึกอบรม การพัฒนาทักษะของพนักงานทั้งหลาย

Quality & Reliability Management หรือ การจัดการด้านคุณภาพ (Quality) และความเชื่อมั่นในผลิตภัณฑ์ (Reliability) มีหน้าที่ดูแลให้สินค้าที่ผลิตขึ้นมานั้น มีคุณภาพตรงตามข้อกำหนดที่องค์กรกำหนดและตรงตามข้อกำหนดที่ลูกค้าต้องการ และสร้างความเชื่อมั่นให้กับลูกค้า

Finance Service หรือ การให้บริการเกี่ยวกับเรื่องการเงิน บัญชี มีหน้าที่จัดการเกี่ยวกับเรื่องการเงินทั้งหมด เช่น จัดหาเงินทุน ค่าใช้จ่ายในการซื้อสินค้า เครื่องจักร ค่าใช้จ่ายขององค์กร การเก็บเงินจากลูกค้า เป็นต้น

Manufacturing Operations หรือ การปฏิบัติการทางด้านการผลิตต่างๆ มีหน้าที่นำวัตถุดิบที่ซื้อมา มาผลิตเป็นสินค้าตามกระบวนการที่กำหนดไว้ เพื่อขายให้ผู้สั่งซื้อ ซึ่งแยกออกได้เป็น Engineering Management (ออกแบบ) กับ Operation Management (ผลิตสินค้า)

Business Operations เกี่ยวกับทางด้านการธุรกิจต่างๆ ได้แก่ติดต่อลูกค้า ทำสัญญา ติดต่อเกี่ยวกับรายละเอียดตัวผลิตภัณฑ์ เช่น BOM, Drawing เป็นต้น

Repair & Depo Services หรือ แผนกบริการซ่อมแวมแก้ไข ส่วนนี้จะมีหน้าที่แก้ไขข้อบกพร่องของสินค้าที่ผลิตขึ้นมาในกระบวนการผลิต และสินค้าที่ลูกค้าส่งกลับมาซ่อมแซมแก้ไข (Post Manufacturing)

Logistic and Supply Chain Management การจัดการทางด้านจัดหา จัดซื้อวัตถุดิบ (Supply Chain) และการจัดส่ง การขนส่ง การกระจายสินค้าทั้งหลาย

IT หรือ Information Technology เป็นแผนกเทคโนโลยีสารสนเทศ มีหน้าที่สนับสนุนทางด้านสารสนเทศทั้งหลายให้กับทุกๆ ฝ่ายในโรงงานตัวอย่าง

3.1.3 รายละเอียดแผนกของงานที่จะทำการวิจัย

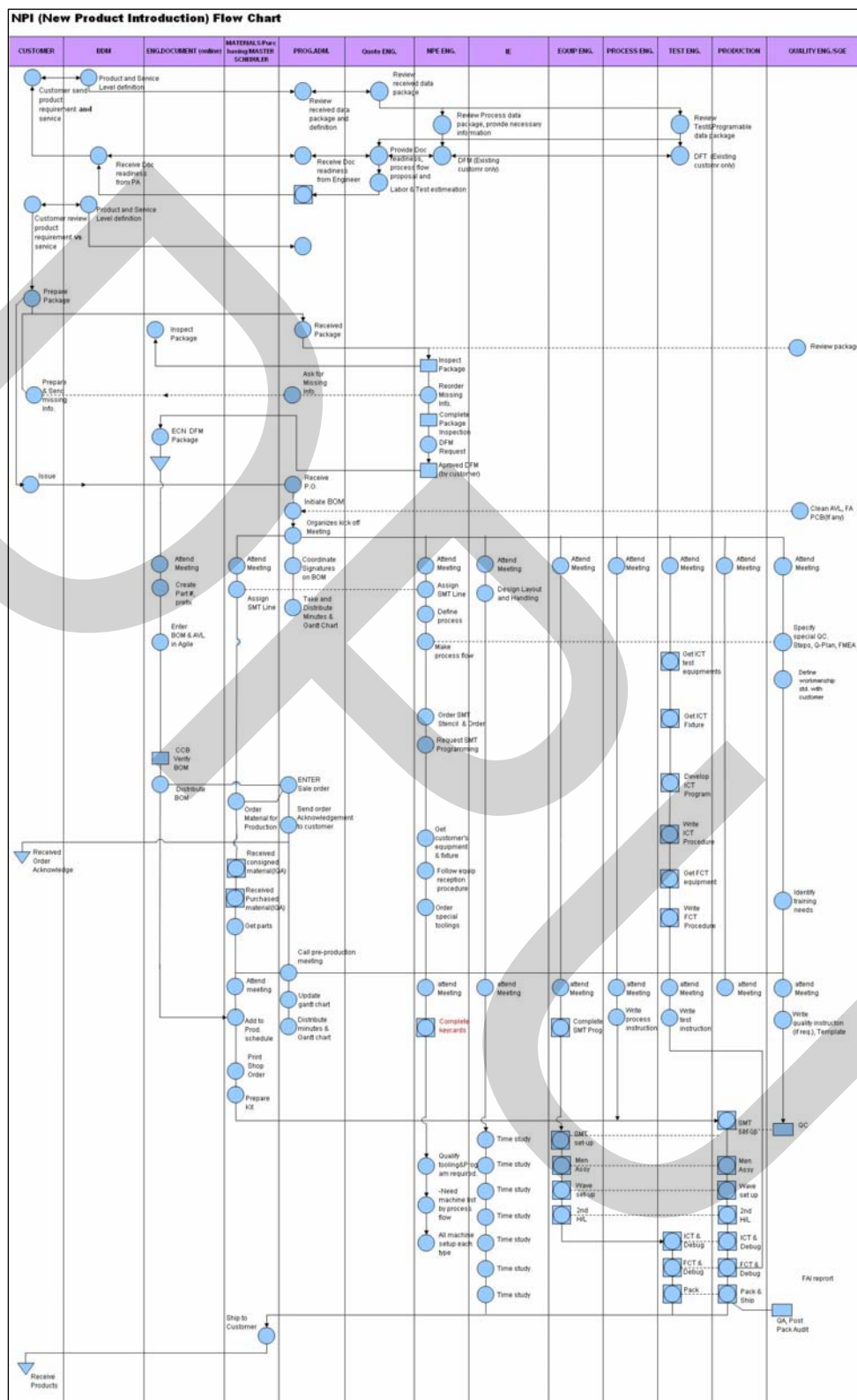
สำหรับแผนกที่ผู้วิจัยสังกัดอยู่นั้นจะอยู่ในส่วนของ Manufacturing Operations แผนกที่เรียกว่า ME. (Manufacturing Engineering) ซึ่งจะประกอบไปด้วย 3 ฝ่ายคือ

3.1.3.1 Quote team มีหน้าที่ประเมินเวลาในการผลิต Board, Tooling และ Fixture ต่างๆ และจะเป็นฐานข้อมูลเบื้องต้นที่ให้ทางฝ่ายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องนำไปใช้ต่อไป

3.1.3.2 New Product Introduction (NPI) นี้จะแบ่งออกเป็น 2 ฝ่ายด้วยกันคือ NPE (New product Engineering) ซึ่งมีหน้าที่ออกแบบผลิตภัณฑ์ให้สามารถผลิตได้ที่โรงงานตัวอย่าง รวมทั้งต้องทำให้ผลิตได้เร็วและถูกต้องตามมาตรฐานที่กำหนด และอีกส่วนหนึ่งก็คือ Design Engineering มีหน้าที่คอยควบคุมในเรื่องของการออกแบบ Tooling ต่างๆ ให้เป็นไปตาม Concept ที่ทางฝ่าย NPE ออกแบบไว้

3.1.3.3 Document Engineering หรือ ERP team (Enterprise Resource Planning) มีหน้าที่ในการนำข้อมูลในรายละเอียดของรายการวัตถุดิบ หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า BOM (Bill of Material) รวมทั้งเอกสารที่เป็นรายละเอียดของตัวผลิตภัณฑ์ของลูกค้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไว้ในระบบ ตาม Procedure ของบริษัท ซึ่งจะเป็นที่มาของการใช้ข้อมูลในการสั่งซื้อวัตถุดิบ การวางแผนการผลิต และอื่นๆ

จากรายละเอียดด้านบนสามารถเขียนผังการทำงานในส่วน of แผนก Manufacturing Operations ได้ดังนี้



ภาพที่ 3.4 แสดงการดำเนินงานของแผนก NPI (New Product Introduction)

ลำดับขั้นตอนการดำเนินงานในฝ่ายของผู้วิจัยนั้นสามารถอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังนี้



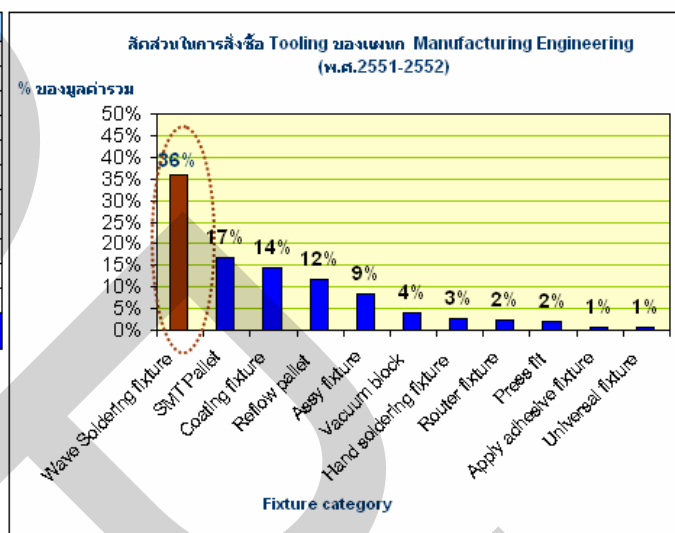
ภาพที่ 3.5 แสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของฝ่าย Quote team

3.2 สํารวจสภาพปัจจุบันของปัญหา

โดยมีการลำดับขั้นตอนการสำรวจสภาพปัจจุบันดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

3.2.1 รวบรวมข้อมูลจากบันทึกรายงานการสั่งซื้อ Tooling ทั้งหมดของแผนก Manufacturing Engineering บริษัทตัวอย่าง โดยที่พิจารณาข้อมูลย้อนหลัง ปี 2551 – 2552

Fixture type	Total	%
Wave Soldering fixture	4,379,400	36%
SMT Pallet	2,064,250	17%
Coating fixture	1,773,600	14%
Reflow pallet	1,446,250	12%
Assy fixture	1,043,150	9%
Vacuum block	476,500	4%
Hand soldering fixture	345,300	3%
Router fixture	305,300	2%
Press fit	253,500	2%
Apply adhesive fixture	81,300	1%
Universal fixture	68,000	1%
Grand Total	12,236,550	บาท



ภาพที่ 3.6 แสดงยอดการสั่งซื้อ Fixture แต่ละประเภท (พ.ศ. 2551-2552)

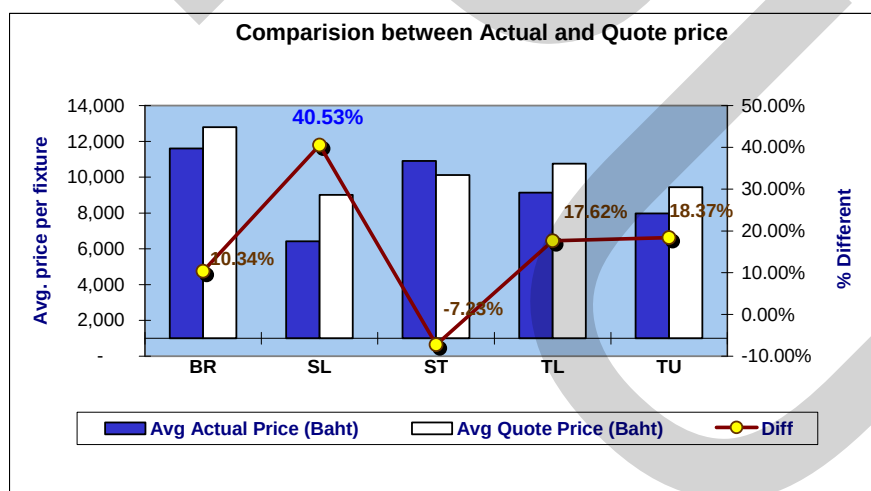
ที่มา: บันทึกการสั่งซื้อแผนก Manufacturing Engineering ของโรงงานตัวอย่าง

จากภาพที่ 3.6 รูปจะเห็นได้ว่า Wave Soldering Fixture มียอดในการสั่งซื้อมากที่สุดถึง 36% เมื่อเปรียบเทียบกับ fixture ประเภทอื่นๆ ดังนั้นจึงได้พิจารณาที่นำมาแก้ไขเป็นอันดับแรก และได้นำข้อมูลการสั่งซื้อ Wave Soldering Fixture ทั้งหมดของปี 2551-2552 มาทำการคัดแยกของแต่ละลูกค้าและจัดอันดับเฉพาะเพียงแค่ 5 อันดับของลูกค้าทั้งหมด



ภาพที่ 3.7 แสดง 5 อันดับแรกของลูกค้าที่มียอดการสั่งซื้อ Wave soldering fixture
ที่มา: บันทึกการสั่งซื้อแผนก Manufacturing Engineering ของโรงงานตัวอย่าง

จากภาพที่ 3.7 พบว่า ลูกค้าที่มีการสั่งซื้อ Wave soldering fixture มากที่สุดคือ SL รองลงมา是客户 BR ST TL และ TU ตามลำดับ จากนั้นได้ทำการนำข้อมูลของราคาจริงเปรียบเทียบกับราคาที่ประเมินไปว่ามีความแตกต่างไปจากราคาจริงมากน้อยเพียงใด



ภาพที่ 3.8 แสดงความแตกต่างระหว่างราคาประเมิน กับ ราคาจริงในแต่ละลูกค้า
ที่มา: บันทึกการสั่งซื้อแผนก Manufacturing Engineering ของโรงงานตัวอย่าง

จากภาพที่ 3.8 เมื่อได้ข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างราคาจริงและราคาประเมินของ Wave Soldering Fixture สำหรับ 5 ลูกค้าที่ได้ทำการเลือกมานั้น พบว่าแต่ละลูกค้ามีความแตกต่างของ

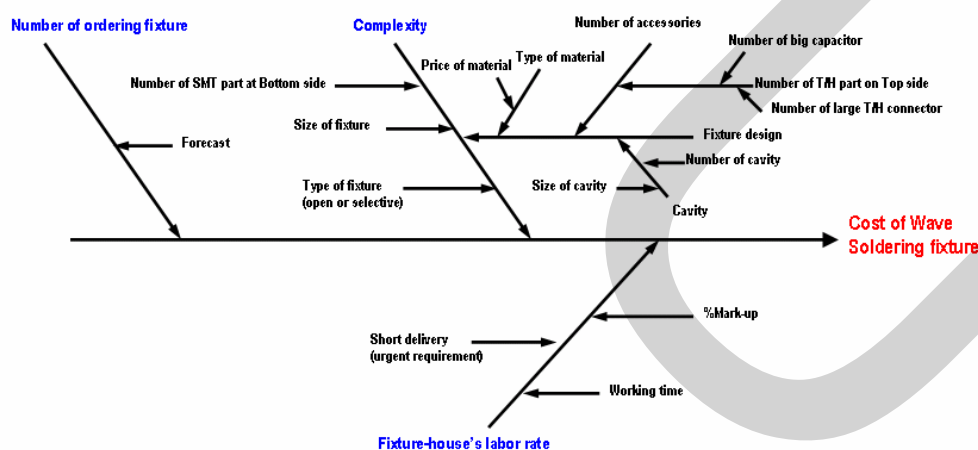
ราคาจริงและราคาประมาณการอย่างมาก และได้งานวิจัยครั้งนี้จึงพิจารณาเลือกลูกค้า SL ซึ่งมีความแตกต่างที่สูงถึง 40.53% มาทำงานวิจัย

3.3 การสรุปหาปัจจัยที่ส่งผลต่อราคา Wave soldering fixture และวิธีวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยในครั้งนี้ต้องการที่จะทำการจัดทำสมการพยากรณ์ ราคาของ Wave Soldering Fixture ซึ่งจะทำให้การศึกษาวเคราะห์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องโดยจะดำเนินงานวิจัยดังนี้

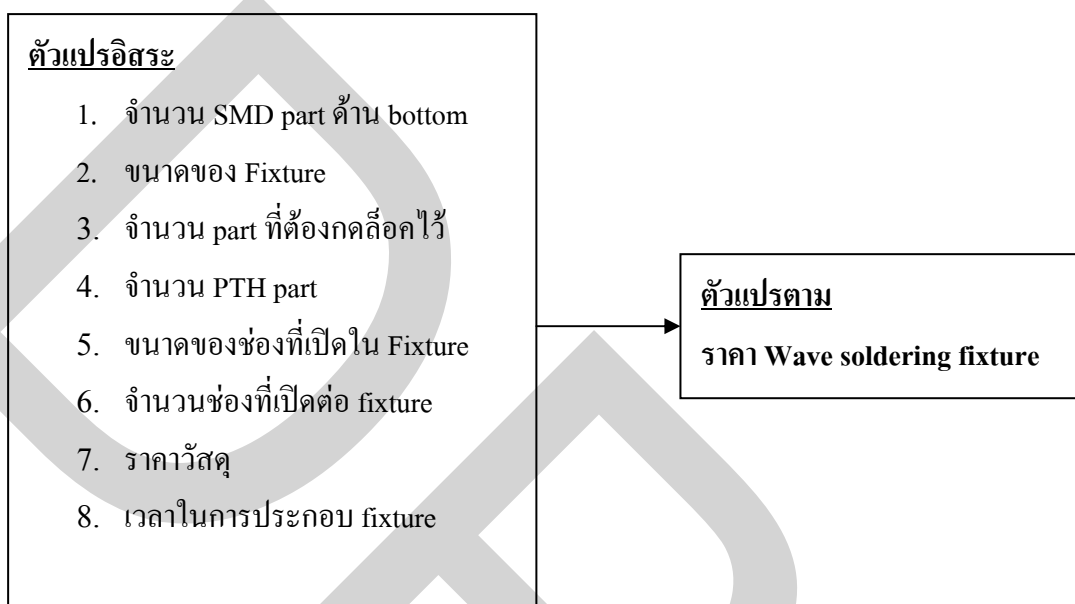
- 1) ใช้วิธีระดมสมองจากทีมงานที่เกี่ยวข้องเพื่อค้นหาปัจจัย
- 2) เก็บรวบรวมข้อมูล
- 3) วิเคราะห์ข้อมูลดิบและบรรยายลักษณะของข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา
- 4) จัดตัวแปรเพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขของการใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น
- 5) ออกแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นและ ประเมินค่าความแม่นยำในการพยากรณ์

3.3.1 ระดมสมองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อราคา Wave Soldering Fixture โดยได้ทำการคัดเลือกให้มาช่วยกันออกความคิดเห็น คือ ระดับ Engineering ผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานที่จะต้องใช้ Wave soldering fixture โดยตรง โดยใช้หลักการ Cause and Effect Diagram มาประยุกต์ใช้



ภาพที่ 3.9 แสดงรายละเอียดที่ได้จากการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อราคา Wave soldering fixture

จาก Cause and Effect Diagram สามารถค้นหาปัจจัยที่จะนำมากำหนดกรอบแนวคิด
สำหรับการทำวิเคราะห์ ได้ดังรายการข้างล่างตามภาพที่ 3.10

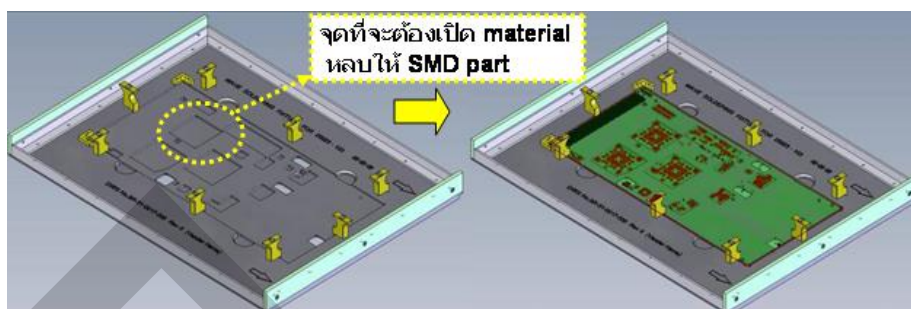


ภาพที่ 3.10 แสดงกรอบแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย

จากภาพที่ 3.10 พิจารณาเฉพาะปัจจัยทั้งหมด 9 ปัจจัยและจะมีการคัดเลือกปัจจัยโดยจะใช้ โปรแกรม Minitab ช่วยวิเคราะห์ และรายละเอียดของแต่ละปัจจัยดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.3.1.1 จำนวนการสั่งซื้อของลูกค้า เป็นตัวเลขที่ได้มาจากทางลูกค้าซึ่งเป็นตัวเลขที่ใช้ในการนำเสนอ Quotation .ในเบื้องต้น

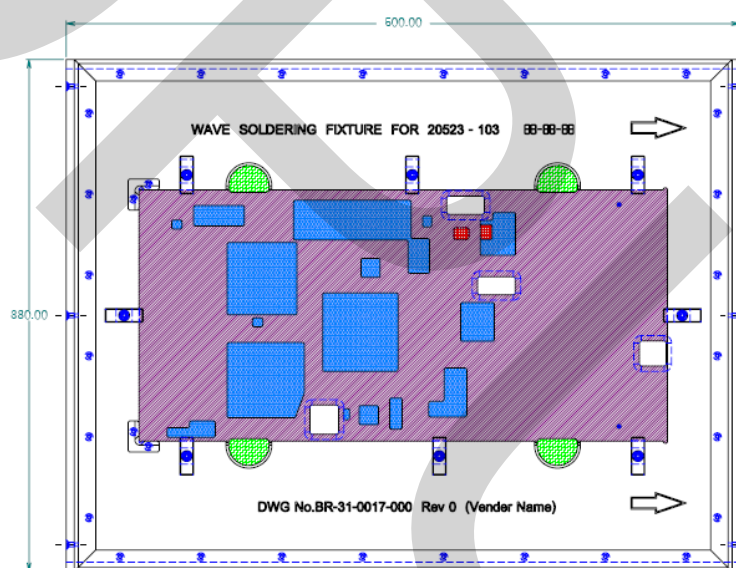
3.3.1.2 จำนวน SMD part ด้าน Bottom ของบอร์ด ซึ่งจะต้องการเปิดพื้นที่ของ Material เพื่อที่จะหลบ SMD part ของ Wave soldering fixture แต่จะไม่เป็นการเปิดที่ไม่ทะลุตัว fixture เฉพาะแค่ความสูงของตัว SMD part เท่านั้น ซึ่งถ้ามีจำนวนมาก ก็จะมีส่งผลกับราคา fixture ดังแสดงรายละเอียดตามรูป



ภาพที่ 3.11 แสดงลักษณะของการเปิด material หลบ SMD part

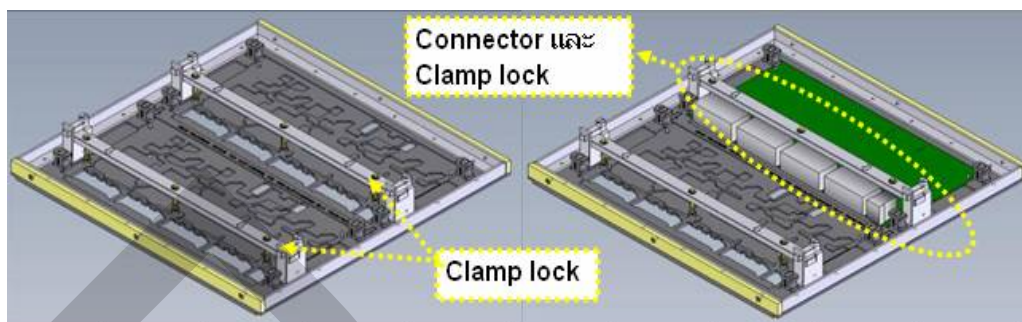
3.3.1.3 ขนาดของ fixture ก็คือ ความกว้าง ความยาวของ Fixture ดังแสดงตามภาพที่

3.12

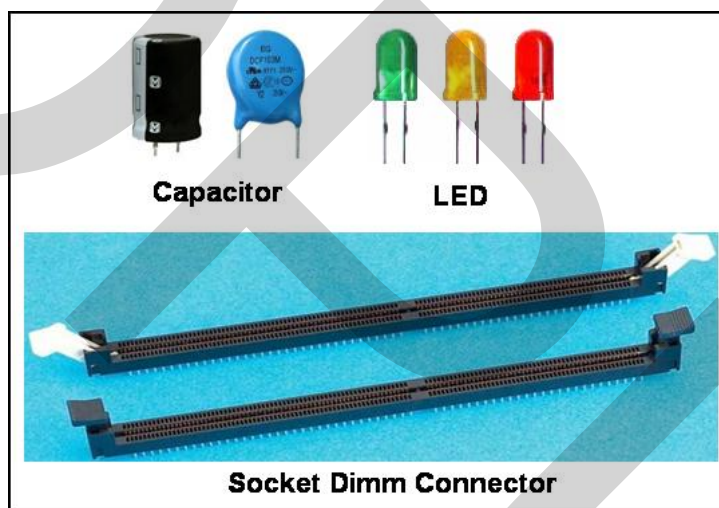


ภาพที่ 3.12 แสดงขนาดของ Wave soldering fixture 380 x 500 mm.

3.3.1.4 จำนวนของ part ที่จะต้องกดล็อกไว้จะเป็นประเภท Connector ที่มีความยาวเช่น มีจำนวนมากกว่า 100 ขาขึ้นไป Capacitor ที่มีขนาดตัวสูง LED ที่มีน้ำหนักเบา และ ตัวอุปกรณ์ที่มีเรื่องที่เกี่ยวข้องกับทางด้านคุณภาพ เช่น ตัวอุปกรณ์ที่เรียกว่า Critical part เนื่องจากถ้าจะต้องมีการ Rework ขึ้นมาจะทำให้ส่งผลเสียทั้งบอร์ด จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมัดตัว Clamp ล็อกเอาไว้ให้มีการแน่ใจว่าหลังจาก Soldering แล้วตัวอุปกรณ์จะไม่มีการขยับ หรือกระดกขึ้นดังแสดงตัวอย่างตามภาพที่ 3.13 และ ภาพที่ 3.14

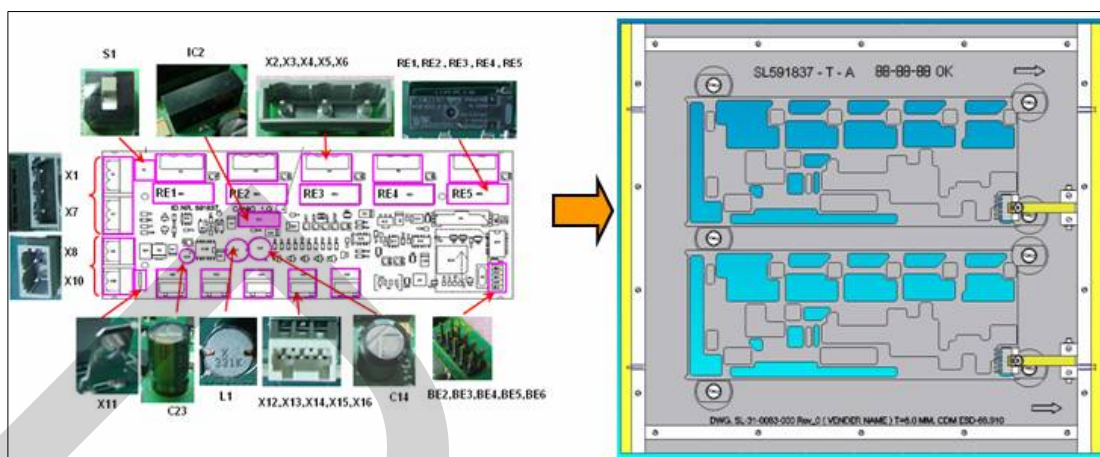


ภาพที่ 3.13 แสดง Clamp lock และตัวอุปกรณ์ประเภท Connector ที่ต้องกดล็อก



ภาพที่ 3.14 แสดงตัวอุปกรณ์ประเภท Socket Dimm Connector Capacitor และ LED ที่ต้องกดล็อก

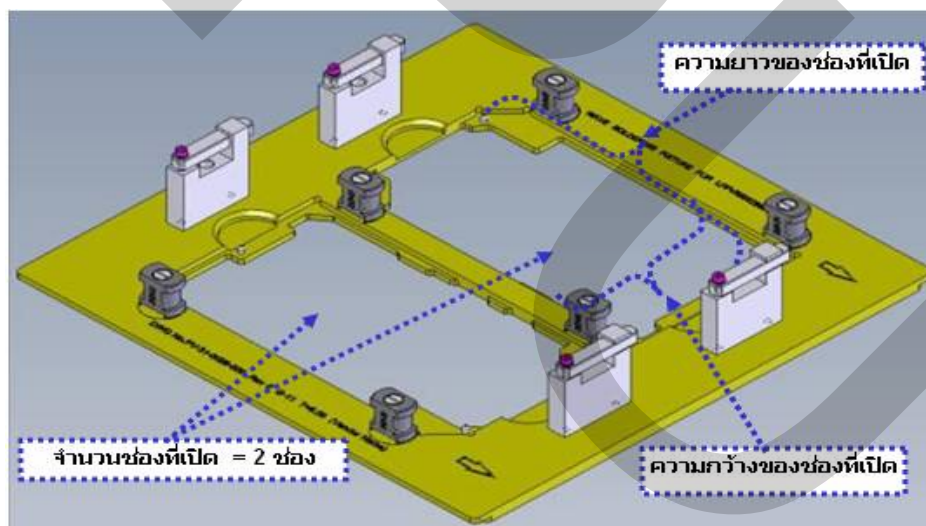
3.3.1.5 จำนวนของ PTH part ซึ่งจะต้องการเปิดพื้นที่ของ Material เพื่อที่จะให้ขาของ PTH ทะลุ และทำการ soldering ถ้ามีจำนวนมาก ก็จะมีส่งผลกับราคา fixture ดังแสดงรายละเอียดตามภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 แสดงตัวอุปกรณ์ประเภท PTH และลักษณะของ Wave soldering fixture ที่เปิดทะลุ

3.3.1.6 ขนาดของช่องที่เปิด (Cavity size) ที่ Wave soldering fixture ผลิตกันที่บางรุ่นจะใช้ลักษณะ fixture แบบเปิดทะลุทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 3.16

3.3.1.7 จำนวนของช่องที่เปิด (Cavity) ที่ Wave soldering fixture ดังภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.16 แสดงจำนวนช่องที่เปิด และขนาดของช่องที่เปิด Wave soldering fixture

3.3.1.8 ราคาของวัสดุที่ใช้ ซึ่งจะแบ่งเป็นทั้งหมด 3 ประเภทคือ G-11 CDM และ CBC-C ดังแสดงรายละเอียดราคาตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงราคาวัสดุแต่ละชนิด (ตารางมิลลิเมตรต่อดอลลาร์สหรัฐ)

Type of material	Price of Material (\$/mm2)
G-11	0.00025
CDM	0.00082
CBC-C	0.00056

3.3.1.9 เวลาในการประกอบ Wave soldering fixture ซึ่งเป็นรายละเอียดที่รวบรวมมาจากฝ่าย Design Engineering ที่ได้จัดทำไว้ซึ่งขั้นตอนจะประกอบตามขั้นตอนดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 : Cutting
- ขั้นตอนที่ 2 : CNC Time
- ขั้นตอนที่ 3 : Milling
- ขั้นตอนที่ 4 : Polishing
- ขั้นตอนที่ 5 : Drilling
- ขั้นตอนที่ 6 : Lathe
- ขั้นตอนที่ 7 : Taping
- ขั้นตอนที่ 8 : Painting
- ขั้นตอนที่ 9 : Assembly

3.3.2 เก็บรวบรวมข้อมูล ของทั้ง 9 ปัจจัยโดยที่แหล่งข้อมูลนั้นได้มาจาก 4 แหล่งด้วยกันคือ

- 1) บันทึกการสั่งซื้อ Tooling ของแผนก Manufacturing Engineering เป็นการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับราคาของ Wave soldering Fixture ที่มีการสั่งซื้อ
- 2) Labor Standard Time Quotation ของฝ่าย Quote team ซึ่งเป็นสังกัดของผู้วิจัยเอง เป็นการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับ จำนวนการสั่งซื้อจากลูกค้า จำนวนของ SMD part ด้าน bottom จำนวน part ที่ต้อง Clamp ล็อค และ จำนวน part PTH
- 3) บันทึกรายละเอียด และ Drawing ของ Wave soldering fixture เป็นการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับ ขนาดของ fixture ขนาดของช่องที่เปิดใน fixture จำนวนช่องที่เปิดต่อ fixture ราคาของวัสดุ และเวลาในการประกอบ fixture

4) Process Instruction เป็นรายละเอียดของขั้นตอนในการทำงานในสายการผลิต ทั้งนี้ เพื่อยืนยันรายละเอียดงานที่จะเช็คตัวอุปกรณ์ SMD หรือ PTH จำนวนข้อมูลที่เก็บทั้งหมด 48 ชุด ข้อมูล

ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดข้อมูลของทั้ง 9 ปีจ้ย

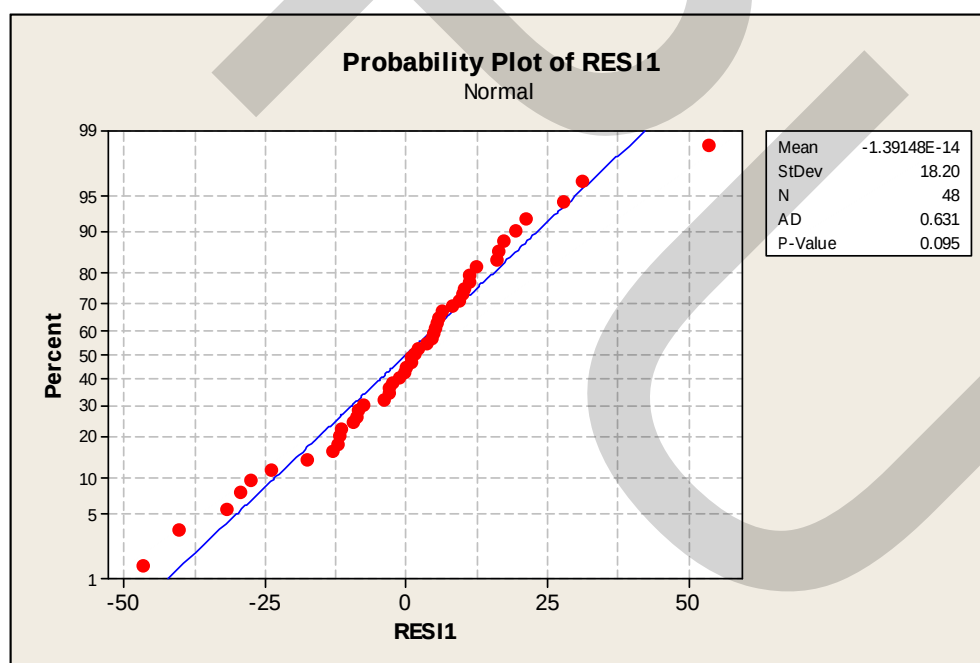
Customer Code	Volume brd. per month	Qty Btm. SMD	Size of fixture (mm ²)	Comp. require accessory	Number of PTH	Size of cavity (mm.)	Number of cavity	Price of Mat. (USD)	Total Working Time (sec)	Actual Price (USD)
SL1	45	0	50000	0	12	9099	2	12	840	127
SL2	350	0	54000	0	21	23277	3	13	600	152
SL3	45	0	55200	0	34	11383	2	45	690	152
SL4	500	0	59400	0	42	7781	3	49	690	161
SL5	204	0	59800	1	2	9220	2	33	360	121
SL6	500	0	62500	0	26	10304	2	51	480	167
SL7	204	0	66000	0	33	6686	3	37	420	152
SL8	400	0	67600	0	27	2058	9	38	660	115
SL9	350	0	68000	0	39	32642	1	56	690	161
SL10	45	0	70000	0	45	2479	9	17	660	152
SL11	500	102	70000	0	50	14531	2	75	600	200
SL12	45	0	70400	0	34	37036	1	58	690	182
SL13	500	0	72000	0	16	15917	2	59	690	176
SL14	120	0	72900	0	26	15909	2	60	730	176
SL15	120	0	73600	0	48	9122	4	18	840	158
SL16	97	320	75000	0	24	7808	4	19	420	152
SL17	350	0	75000	0	78	16070	2	62	720	188
SL18	45	0	75000	0	28	15918	2	62	750	173
SL19	133	0	75000	0	16	15909	2	62	600	188
SL20	30	0	75000	0	30	15976	2	62	750	188
SL21	44	144	75000	0	56	15927	2	62	750	227
SL22	200	0	75000	0	32	8114	4	62	600	182
SL23	500	0	75000	0	27	35513	1	62	480	182
SL24	45	0	84000	2	6	17690	2	69	660	176
SL25	200	162	90000	4	22	38600	1	74	620	212
SL26	150	0	90000	0	36	7255	6	74	480	212
SL27	350	0	90000	8	58	52027	1	74	540	182
SL28	204	4	90000	5	4	17162	2	60	420	182
SL29	240	0	90000	0	3	26322	1	50	480	115
SL30	120	0	90000	0	34	38134	1	74	674	209
SL31	200	0	90000	0	36	11036	4	74	480	197
SL32	45	0	90000	0	36	38144	1	74	600	197
SL33	500	0	90000	0	50	38134	1	74	480	212
SL34	500	1068	90000	0	48	19564	6	74	480	227
SL35	400	0	91000	0	18	5342	6	75	420	197
SL36	200	181	95000	6	28	28062	1	63	390	182
SL37	1000	0	95000	0	28	19417	2	78	660	203
SL38	500	0	95000	0	24	21815	2	78	690	203
SL39	384	0	104000	0	57	62281	1	85	690	221
SL40	500	0	104000	0	56	48286	1	85	600	203
SL41	500	0	105000	0	24	18243	3	86	750	209
SL42	700	0	114000	0	30	57556	1	94	480	227
SL43	1800	0	114000	0	24	6569	6	94	740	236
SL44	240	0	126000	0	24	15125	4	104	750	236
SL45	500	0	135000	5	66	84372	1	144	480	333
SL46	417	0	144400	0	36	41076	2	119	750	255
SL47	1000	0	144400	1	54	40496	2	119	490	264
SL48	200	0	171000	1	73	93972	1	140	750	409

3.3.3 วิเคราะห์ข้อมูลดิบของทั้ง 9 ปัจจัยโดยการทดสอบข้อมูลที่เก็บมาว่า มีการกระจายตัวเป็นแบบปกติ (Normal distribution) หรือไม่โดยใช้การตรวจสอบจากค่าของ Residuals ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญด้วยเพราะถ้าข้อมูลไม่เป็น Normal distribution แล้วเราไม่สามารถใช้ค่า σ และ μ ในการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ได้และจะส่งผลถึงการทดสอบสมมติฐาน หรือการอนุมาน ด้วยเครื่องมือทางสถิติอื่นๆ ก็จะทำให้ผลคลาดเคลื่อนตั้งแต่เล็กน้อย จนถึงไม่อาจยอมรับได้ เพราะถือว่าผิดข้อกำหนดของ Normal Distribution ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรม Minitab มาช่วยวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ Minitab จะให้ค่า P-Value ซึ่งเป็นการสรุปผลการทดสอบสมมติฐานที่ว่า

H_0 : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลไม่เป็นการกระจายแบบปกติ

โดยที่กำหนดระดับนัยสำคัญ (α) ยอมรับความผิดพลาดที่ 5 % ($\alpha=0.05$) เมื่อ $P\text{-Value} > \alpha$ เราจึงยอมรับสมมติฐาน H_0 : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ ดังแสดงผลการตามภาพที่ 3.17

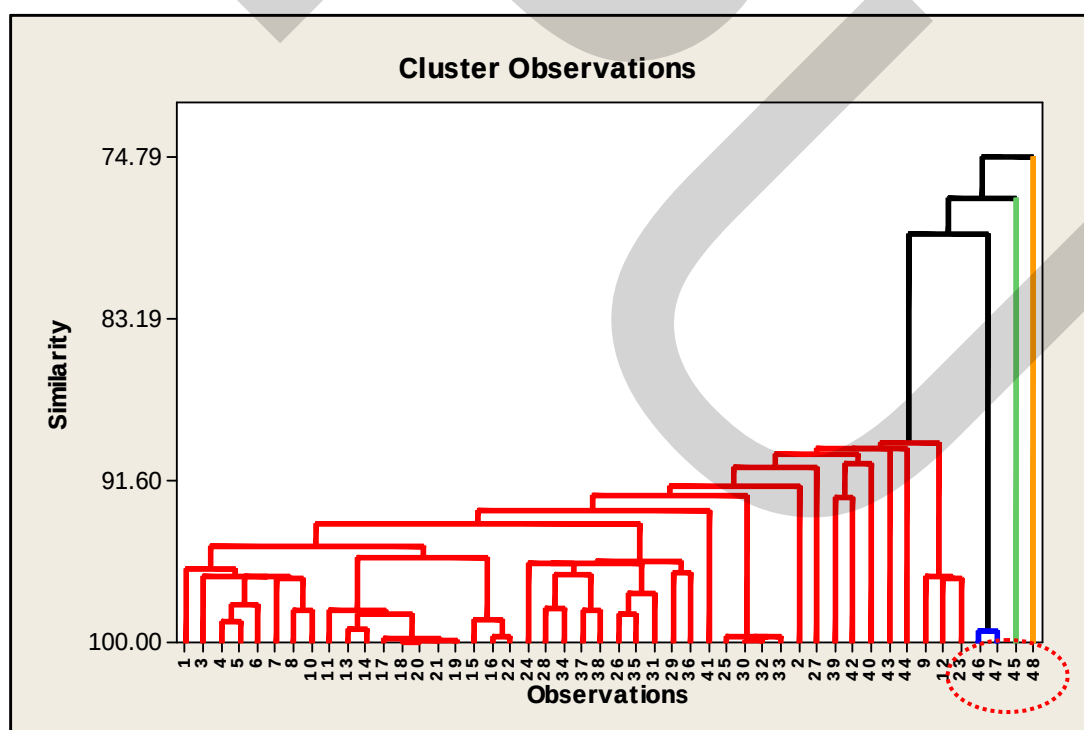


ภาพที่ 3.17 ตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูล โดยใช้ Normality Test จาก Minitab

จากภาพที่ 3.17 การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ของค่าส่วนตกค้างจากการพิจารณาการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง โดยนำข้อมูลตารางที่ 3.2 มาสร้าง

จากตารางที่ 3.3 แสดงผลการหาสมการจากการวิเคราะห์การถดถอย พบว่าตัวแปรอิสระทั้ง 9 ตัวแปร มีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดพหุ ($R-Sq$) = 87.2% เป็นค่าที่ใช้แสดงความแปรผันที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตาม อันผลเนื่องมาจากตัวแปรอิสระทุกตัวแปร ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วก็เป็นเปอร์เซ็นต์ที่ค่อนข้างสูง แต่เมื่อทำการพิจารณาค่าความแปรปรวน (S) ปรากฏว่ามีค่าสูงถึง 20.2355 และเมื่อได้พิจารณาตัวแปรอิสระแล้วตัวแปรที่อิทธิพลกับราคาของ Wave soldering Fixture พบอยู่ 2 ตัวแปรคือ PTH และ Material price และส่วนที่เหลือนั้นพบว่ายังมีความสัมพันธ์กันเองระหว่างตัวแปรเช่น Cavity size และ Cavity number ก็จะขึ้นอยู่กับจำนวนของ PTH และ SMD ซึ่งด้วยเหตุนี้เองทำให้เกิด Multicollinearity ซึ่งผิดข้อกำหนดของการเลือกตัวแปรอิสระ และประกอบด้วย มีข้อมูลที่ผิดปกติ (Unusual Observations) จากการเก็บข้อมูลที่เก็บมาอยู่ 4 ชุดข้อมูลคือชุดที่ 8, 29, 34, 48 แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าข้อมูลชุดนี้ไม่สามารถที่จะใช้ได้

2) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการตัดข้อมูลผิดจึงต้องการจัดกลุ่มข้อมูลที่มีความคล้ายกันโดยใช้ Cluster Analysis เพื่อทำการจัดกลุ่มข้อมูลที่เก็บมาและมีความคล้ายกันอยู่ให้อยู่กลุ่มเดียวกันแล้วทำการตัดชุดข้อมูลที่ไม่เข้าพวกออกโดยใช้คำสั่งใน Minitab คือเข้า Multivariate และ Cluster Observations ซึ่งผลที่ได้แสดงดังภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.18 แสดงการจัดกลุ่มของข้อมูลโดย Cluster Observations จาก Minitab

ตารางที่ 3.4 แสดงผลรายละเอียดจากการ Run Regression หลังจากตัดข้อมูลชุดที่ไม่เข้าพวกออก

```

Regression Analysis: Fix_Price versus Volume, SMD, ...

The regression equation is
Fix_Price = 72.2 + 0.00012 Volume + 0.0338 SMD + 0.000472 Fix_Size(mm2)
          - 0.96 Comp_Acpe + 0.410 PTH - 0.000190 Cav_Size - 1.17 Cav_Num
          + 0.869 Mat_Price(USD) + 0.0209 Tot_time

Predictor          Coef          SE Coef          T          P
Constant          72.19          18.96          3.81      0.001
Volume            0.000125       0.008947        0.01      0.989
SMD               0.03377       0.01539        2.19      0.035
Fix_Size(mm2)     0.0004715    0.0003016        1.56      0.127
Comp_Acpe         -0.963        1.550        -0.62      0.539
PTH               0.4104       0.1800        2.28      0.029
Cav_Size         -0.0001896    0.0002811       -0.67      0.504
Cav_Num          -1.166        1.952        -0.60      0.554
Mat_Price(USD)    0.8691       0.2202        3.95      0.000
Tot_time         0.02094       0.02127        0.98      0.332

S = 15.8419   R-Sq = 79.7%   R-Sq(adj) = 74.3%

Unusual Observations

Obs   Volume   Fix_Price   Fit   SE Fit   Residual   St Resid
 2     350     152.00   122.26   7.68     29.74     2.15R
 8     400     115.00   151.16   9.98    -36.16    -2.94R
29     240     115.00   163.24   7.49    -48.24    -3.46R
34     500     227.00   234.11  15.00     -7.11    -1.40 X

R denotes an observation with a large standardized residual.
X denotes an observation whose X value gives it large influence.

```

จากตารางที่ 3.4 จะเห็นได้ว่าหลังจากมีการตัดข้อมูลชุดที่ 45, 46, 47 และ 48 ออกแล้วนั้น ผลจากการวิเคราะห์การถดถอยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดพหุ ($R-Sq$) = 74.3% เป็นค่าที่ใช้แสดงความแปรผันที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตามลดลง แต่ก็ยังคงเป็นเปอร์เซ็นต์ที่นับว่าสูงอยู่ แต่เมื่อทำการพิจารณาค่าความแปรปรวน (S) ปรากฏว่ามีค่าลดลงเหลือค่าอยู่ที่ 15.8419 จากที่เคยสูงถึง 20.2355 และเมื่อได้พิจารณาตัวแปรอิสระแล้วตัวแปรที่อิทธิพลกับราคาของ Wave soldering Fixture เพิ่มขึ้นมาอีกหนึ่งตัวแปรคือ SMD ซึ่งเมื่อคำนึงถึงความเป็นจริงแล้วนับว่าเป็นตัวแปรที่น่าจะมีอิทธิพลตัวหนึ่ง

4) เพื่อให้ได้ตัวแบบที่เหมาะสม และที่ดีที่สุดจึงได้ทำการทดลองเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกตัวแบบ และการคัดเลือกตัวแปรอิสระโดยใช้การคัดเลือกตัวแปร 2 วิธีเข้ามาช่วยคือ วิธีการเลือกตัวแปรเข้าสมการ โดยวิธีนำเข้าข้อมูลทั้งหมด (All possible regression) และวิธีการเลือกตัวแปรเข้าสมการแบบ Stepwise regression

(4.1) วิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการ ในรูปแบบที่นำเข้าตัวแปรอิสระทั้งหมดที่มีอยู่หรือที่เรียกว่า All possible regression ขั้นตอนคือ นำค่าของตัวแปรอิสระทั้งหมดเข้าทำการวิเคราะห์ โดยใช้เทคนิค Best Subset และเมื่อผลการวิเคราะห์ออกมาให้พิจารณาค่า Mallows C_p ที่ต่ำสุดหรือเท่ากับ $p+1$ (p คือจำนวนของตัวแปรอิสระที่อยู่ใน Model การพยากรณ์) แล้วทำการเลือก Model 5 ดังแสดงผลตามตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงรายละเอียดผลของการใช้เทคนิค Best Subsets คัดเลือกตัวแปร

Best Subsets Regression: Fix_Price versus Volume, SMD, ...
Response is Fix_Price

Vars	R-Sq	R-Sq(adj)	Mallows C-p	S	Fix Price	Model	Statistics
1	69.9	69.2	10.4	17.361			
1	53.9	52.8	37.2	21.478	X		
2	74.6	73.3	4.6	16.147		X	
2	73.5	72.2	6.3	16.471	X		
3	77.1	75.4	2.3	15.500	X	X	
3	75.9	74.0	4.4	15.927		X	X
4	78.1	75.9	2.7	15.362	X	X	X
4	78.0	75.8	2.8	15.386	X		X
5	79.1	76.4	2.9	15.188	X	X	X
5	78.7	75.9	3.6	15.343	X	X	X
6	79.4	76.1	4.5	15.294	X	X	X
6	79.3	75.9	4.7	15.334	X	X	X
7	79.5	75.5	6.4	15.477	X	X	X
7	79.5	75.5	6.4	15.484	X	X	X
8	79.7	75.1	8.0	15.614	X	X	X
8	79.5	74.8	8.4	15.696	X	X	X
9	79.7	74.3	10.0	15.842	X	X	X

จากตารางที่ 3.5 ผลจากการหาสมการจาก Regression ด้วยเทคนิค Best Subset จะได้มาทั้งหมด 17 ตัวแบบ ซึ่งสำหรับโปรแกรม Minitab สามารถกำหนดให้แสดงตัวแบบมากสุดในแต่จำนวนตัวแปรได้มากที่สุดถึง 5 ตัวแบบ ซึ่งไม่ได้ส่งผลต่อตัวแบบแต่อย่างใด เพราะค่าที่ดีที่สุดก็จะเป็นที่ตัวแบบนั้นๆ ที่ควรจะเป็น และในที่นี้เป็นการกำหนดให้มีการแสดงผลที่ดีที่สุดของแต่ละขนาดตัวแบบออกมาอย่างละ 2 ตัวแบบซึ่งก็จะได้ทั้งหมด 17 ตัวแบบดังที่กล่าวข้างต้น และเมื่อมีพิจารณาค่าของ Mallows C-p ที่ต่ำสุดจะได้ค่าเท่ากับ 2.3 เป็นตัวแบบที่มีการนำเข้า 3 ตัวแปรอิสระ และได้ปัจจัยที่ส่งผลทั้งหมด 3 ปัจจัยคือ

- จำนวนของ SMD part
- จำนวนของ PTH part
- ราคาของวัสดุ (Material price)

สามารถอธิบายได้ว่าปัจจัยทั้ง 3 คือ จำนวนของ SMD part จำนวนของ PTH part และ ราคาของวัสดุ (Material price) ที่มีต่อราคาของ Wave soldering fixture มีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดพหุ (R-Sq) = 77.1% ส่วนที่เหลืออีก 22.9% เป็นผลอันเนื่องมาจากตัวแปรอื่น ส่วนค่าความแปรปรวน (S) ปรากฏว่ามีค่าลดลงเหลือค่าอยู่ที่ 15.5

(4.2) วิธีการเลือกตัวแปรเข้าสมการแบบ Stepwise regression โดยการเลือกค่าตั้ง Regression แบบ Stepwise regression ดังแสดงผลตามตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 แสดงรายละเอียดผลของการใช้ Stepwise regression คัดเลือกตัวแปร

Stepwise Regression: Fix_Price versus Volume, SMD, ...			
Alpha-to-Enter: 0.15 Alpha-to-Remove: 0.15			
Response is Fix_Price on 9 predictors, with N = 44			
Step	1	2	3
Constant	111.2	100.9	101.1
Mat_Price(USD)	1.18	1.13	1.13
T-Value	9.87	10.00	10.41
P-Value	0.000	0.000	0.000
PTH		0.43	0.38
T-Value		2.75	2.51
P-Value		0.009	0.016
SMD			0.030
T-Value			2.12
P-Value			0.040
S	17.4	16.1	15.5
R-Sq	69.88	74.56	77.13
R-Sq(adj)	69.16	73.32	75.42
Mallows C-p	10.4	4.6	2.3

จากตารางที่ 3.6 ผลจากการหาสมการจาก Stepwise Regression จะได้มาทั้งหมด 3 ตัวแปร ซึ่งการแสดงผลนี้ก็จะคล้ายกับวิธีของ Best subset regression คือโปรแกรม Minitab แสดงตัวแปรที่ดีที่สุดออกมาให้ เมื่อพิจารณาค่าของ Mallows C-p ที่ต่ำสุดจะได้ค่าเท่ากับ 2.3 เป็นตัวแปรที่

3 มีการนำเข้า 3 ตัวแปรอิสระ และได้ปัจจัยที่ส่งผลทั้งหมด 3 ปัจจัยคือ จำนวนของ SMD part จำนวนของ PTH part และราคาของวัสดุ (Material price) ที่มีต่อราคาของ Wave soldering fixture มีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดพหุ (R-Sq) = 77.1% ส่วนค่าความแปรปรวน (S) ปรากฏว่ามีค่าอยู่ที่ 15.5 และผลลัพธ์ทั้งหมดนี้ตรงกับวิธีการเลือกตัวแบบ แบบเดียวกับวิธีการเลือกแบบนำเข้าข้อมูลทั้งหมด (All possible regression)

3.3.4.2 สร้างสมการการพยากรณ์ โดยการนำตัวแบบและการคัดเลือกตัวแปรที่ได้จากการใช้เทคนิค Best subset regression และ Stepwise regression เลือกตัวแบบที่ดีที่สุดออกมาคือ

ราคา Wave soldering fixture = 101 + 1.13 (ราคาวัสดุ(USD)) + 0.378 (จำนวน PTH) + 0.0298 (จำนวน SMD)

ในขั้นตอนต่อไปเป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยจะทำการทดสอบสัมประสิทธิ์ การถดถอยซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ การทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยโดยรวม และการทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยแต่ละค่าของตัวแปร

1) การทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยโดยรวม ซึ่งเป็นการตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม

สมมุติฐาน

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

H_1 : มี β_i อย่างน้อย 1 ตัวที่ไม่เท่ากับศูนย์

หรือ

H_0 : ตัวแปรตาม (Y) ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรอิสระ (X_i) ทั้ง 3 ตัว

H_1 : มีตัวแปรอิสระ (X_i) อย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตาม (Y)

โดยที่กำหนดระดับนัยสำคัญ (α) ยอมรับความผิดพลาดที่ 5 % ($\alpha=0.05$) เมื่อ P-Value $< \alpha$ เราจึงปฏิเสธ H_0 : ตัวแปรตาม (Y) ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรอิสระ (X_i) ทั้ง 3 ตัว ดังแสดงผลตามตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 แสดงผลการตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม จากตาราง ANOVA

Analysis of Variance

Model 1 : Fix_Price versus Mat_Price(USD)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	29365	29365	97.43	0.000
Residual Error	42	12659	301		
Total	43	42025			

Model 2 : Fix_Price versus Mat_Price(USD) , PTH

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	31335	15667	60.09	0.000
Residual Error	41	10690	261		
Total	43	42025			

Model 3 : Fix_Price versus Mat_Price(USD) , PTH , SMD

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	32415	10805	44.97	0.000
Residual Error	40	9610	240		
Total	43	42025			

จากตารางที่ 3.7 การทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยโดยรวมค่าของ P-value มีค่า 0.000 น้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ที่ว่าตัวแปรตาม (Y) ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรอิสระ (X_i) ทั้ง 3 ตัว และยอมรับ H_1 นั่นคือมีตัวแปรอิสระ (X_i) อย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตาม (Y)

2) การทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยแต่ละค่าของตัวแปร

สมมุติฐาน

$$H_0 : \beta_i = 0$$

$$H_1 : \beta_i \neq 0$$

โดยที่กำหนดระดับนัยสำคัญ (α) ยอมรับความผิดพลาดที่ 5 % ($\alpha=0.05$) เมื่อ P-Value $< \alpha$ เราจึงปฏิเสธ H_0 ซึ่งหมายความว่า Wave soldering fixture มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระ (X_i) ดังแสดงผลการตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 แสดงผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยแต่ละค่าของตัวแปรจากตาราง Coefficients

Coefficients

Model 1 : Fix_Price versus Mat_Price(USD)

The regression equation is

Fix_Price = 111 + 1.18 Mat_Price(USD)

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	111.203	7.769	14.31	0.000
Mat_Price(USD)	1.1824	0.1198	9.87	0.000

Model2 : Fix_Price versus Mat_Price(USD) , PTH

The regression equation is

Fix_Price = 101 + 1.13 Mat_Price(USD) + 0.427 PTH

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	100.904	8.14	12.4	0.000
Mat_Price(USD)	1.1299	0.113	10	0.000
PTH	0.4268	0.1553	2.75	0.009

Model3 : Fix_Price versus Mat_Price(USD) , PTH , SMD

The regression equation is

Fix_Price = 101 + 1.13 Mat_Price(USD) + 0.378 PTH + 0.0298 SMD

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	101.106	7.814	12.94	0.000
Mat_Price(USD)	1.1297	0.1085	10.41	0.000
PTH	0.3784	0.1508	2.51	0.016
SMD	0.02982	0.01406	2.12	0.040

จากตารางที่ 3.8 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อราคาของ Wave soldering fixture มากที่สุดคือ ราคาของวัสดุ (Material price) เนื่องจากมีค่า Beta มากที่สุด

(2.1) การทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างราคา Wave soldering fixture กับ ราคาของวัสดุ (Material price)

สมมุติฐาน

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

จากตารางที่ 3.8 การทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างราคาของ Wave soldering fixture กับราคาของวัสดุ (Material price) มีค่าของ P-value มีค่า 0.000 น้อยกว่า 0.05 แสดงว่า

ปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือ $\beta_1 \neq 0$ และยอมรับ H_1 หมายความว่า ราคาของ Wave soldering fixture มีความสัมพันธ์กับราคาของวัสดุ (Material price) แบบเชิงเส้นที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

(2.2) การทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างราคา Wave soldering fixture กับจำนวนของ PTH part

สมมติฐาน

$$H_0: \beta_2 = 0$$

$$H_1: \beta_2 \neq 0$$

จากตารางที่ 3.8 การทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างราคาของ Wave soldering fixture กับจำนวนของ PTH part มีค่าของ P-value มีค่า 0.016 น้อยกว่า 0.05 แสดงว่า ปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือ $\beta_2 \neq 0$ และยอมรับ H_1 หมายความว่า ราคาของ Wave soldering fixture มีความสัมพันธ์กับจำนวนของ PTH part แบบเชิงเส้นที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

(2.3) การทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างราคา Wave soldering fixture กับจำนวนของ SMD part

สมมติฐาน

$$H_0: \beta_3 = 0$$

$$H_1: \beta_3 \neq 0$$

จากตารางที่ 3.8 การทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างราคาของ Wave soldering fixture กับจำนวนของ SMD part มีค่าของ P-value มีค่า 0.040 น้อยกว่า 0.05 แสดงว่า ปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือ $\beta_3 \neq 0$ และยอมรับ H_1 หมายความว่า ราคาของ Wave soldering fixture มีความสัมพันธ์กับจำนวนของ SMD part แบบเชิงเส้นที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากการทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยโดยรวม และ การทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยแต่ละค่าของตัวแปรแล้วสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 แสดงสรุปผลการวิเคราะห์

Regression Analysis: Fix_Price versus Mat_Price(USD), PTH, SMD				
The regression equation is				
Fix_Price = 101 + 1.13 Mat_Price(USD) + 0.378 PTH + 0.0298 SMD				
Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	101.106	7.814	12.94	0.000
Mat_Price(USD)	1.1297	0.1085	10.41	0.000
PTH	0.3784	0.1508	2.51	0.016
SMD	0.02982	0.01406	2.12	0.040
S = 15.4999 R-Sq = 77.1% R-Sq(adj) = 75.4%				

จากตารางที่ 3.9 เป็นผลจากการวิเคราะห์ความถดถอยของราคา Wave soldering fixture ที่มีผลต่อปัจจัยต่างๆ โดยใช้วิธีวิธีนำเข้าข้อมูลทั้งหมด (All possible regression) และวิธีการเลือกตัวแปรเข้าสมการแบบ Stepwise regression ในการคัดเลือกตัวแปรซึ่งได้ตัวแบบและตัวแปรที่เหมือนกัน โดยพบว่าราคา Wave soldering fixture มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับราคาของวัสดุ (Material price) จำนวนของ PTH part และจำนวนของ SMD part และสามารถสร้างสมการการถดถอยพหุเชิงเส้นได้ดังนี้

ราคา Wave soldering fixture = 101.106 + 1.1297(ราคาของวัสดุ (Material price) + 0.3784 (จำนวนของ PTH part) + 0.02982 (จำนวนของ SMD part)

3.4 วิธีการติดตามผลหลังดำเนินงานวิจัย และสรุปผลการดำเนินงานวิจัย

หลังจากที่ได้ลงมือปฏิบัติตามแผนการแก้ไขตามระยะเวลาที่กำหนดไว้แล้วนั้น ผู้วิจัยจะทำการเก็บข้อมูล เพื่อสรุปผลการดำเนินงาน ว่าการที่ได้สมการพยากรณ์ต้นแบบนั้นสามารถช่วยทำให้ ป้องกันปัญหาการประเมินราคา Wave soldering fixture มากหรือน้อยจนเกินไป และการคัดเลือกปัจจัยนำเข้าสำหรับการพยากรณ์นั้นจะสามารถช่วยแก้ไขปัญหานี้ได้ สามารถสรุปขั้นตอนและลำดับในการดำเนินงานวิจัยเพื่อสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวอย่างเป็นระบบ ทำให้สามารถทำการคัดเลือกตัวแปรที่ดีที่สุดและได้สมการพยากรณ์ต้นแบบออกมาได้ และเพื่อให้เป็นไปตามความถูกต้องตรงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ซึ่งจะมีผลในการดำเนินงานวิจัย ซึ่งจะแสดงไว้ในบทที่ 4 ต่อไป

บทที่ 4

ผลการศึกษา

จากขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ซึ่งได้แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการดำเนินงานวิจัย ซึ่งมีขั้นตอนต่างๆ และผลลัพธ์จากการดำเนินงานวิจัยโดยจะเปรียบเทียบการคัดเลือกตัวแปรแบบ All possible Regression และ Stepwise Regression ผลที่ได้รับคือ ปัจจัยที่ส่งผลทั้งหมด 3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อราคา Wave soldering fixture คือ

1) จำนวนของ SMD part มีค่าสัมประสิทธิ์ของเส้นถดถอย = + 0.02982

2) จำนวนของ PTH part มีค่าสัมประสิทธิ์ของเส้นถดถอย = + 0.3784

3) ราคาของวัสดุ (Material price) มีค่าสัมประสิทธิ์ของเส้นถดถอย = + 1.1297

และมีค่าคงที่ในสมการเส้นถดถอย = 101.106 และด้วยปัจจัยทั้งหมดที่มีต่อราคาของ Wave soldering fixture มีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดพหุ (R-Sq) = 77.1% ส่วนค่าความแปรปรวน (S) = 15.5 และสามารถสรุปเป็นรูปแบบของสมการได้ดังนี้

ราคา Wave soldering fixture = 101.106 + 1.1297(ราคาของวัสดุ (Material price) + 0.3784 (จำนวนของ PTH part) + 0.02982 (จำนวนของ SMD part)

โดยจะมีเงื่อนไขในเบื้องต้นว่าจะต้องใช้สมการการพยากรณ์นี้กับขนาดของ Fixture ไม่เกินหรือเท่ากับ 135,000 ตารางมิลลิเมตรเท่านั้น และเมื่อได้สมการการพยากรณ์มาแล้ว ในขั้นตอนต่อไปในบทที่ 4 นี้จะเป็นการหาผลการวิจัยโดยจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1 ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของสมการถดถอย

4.1.1 ตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันในแบบเส้นตรง สมการเส้นถดถอยแบบเส้นตรงที่มีตัวแปรอิสระ k ตัวจะอยู่ในรูป

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + e_i$$

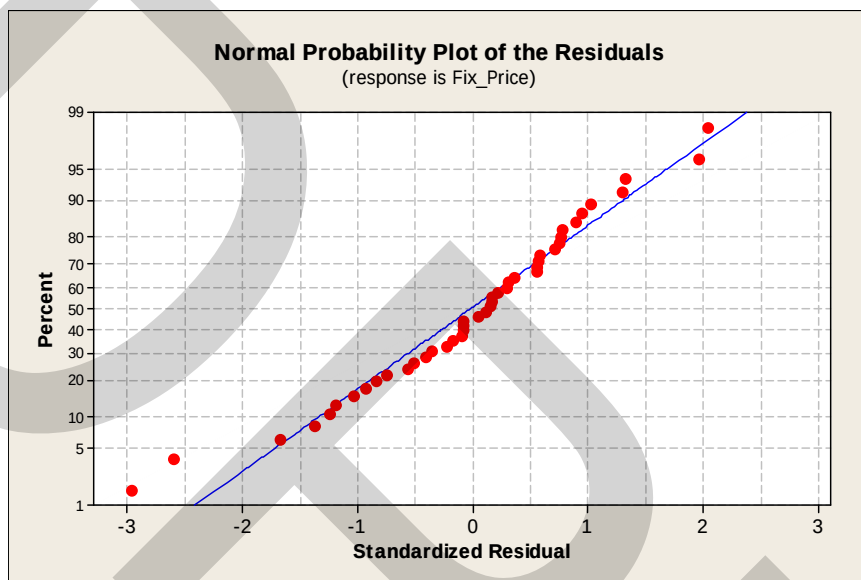
โดยที่ Y_i = ค่าของตัวแปรตามที่ i เก็บรวบรวมได้

β_0 = ค่าคงที่ในสมการเส้นถดถอย ซึ่งเป็นค่าของ Y เมื่อทุกค่าของ X_k

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ = สัมประสิทธิ์ของเส้นถดถอยซึ่งสอดคล้องกับแต่ละค่าของตัวแปรอิสระ

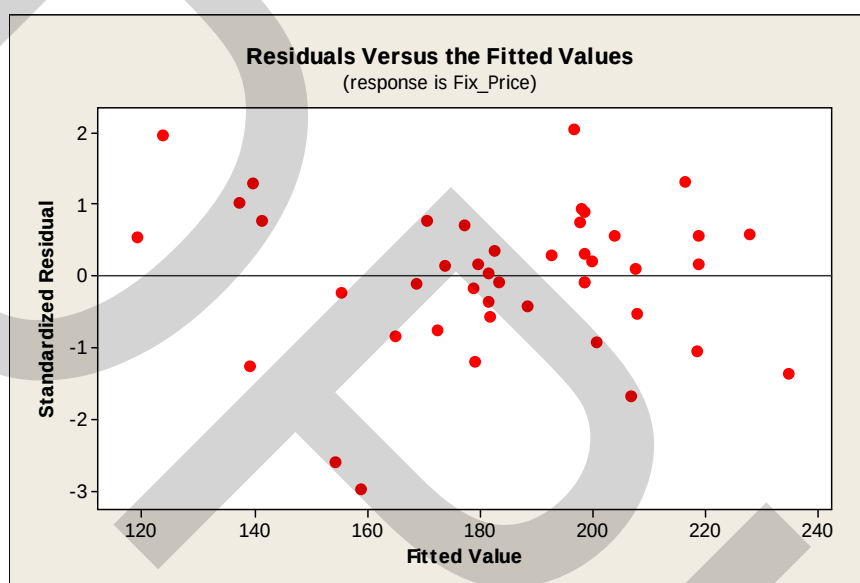
e_i = ความคลาดเคลื่อนสุ่ม ซึ่งเกิดจากการสุ่มตัวอย่าง

ตรวจสอบว่าตัวแปรอิสระและ ตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันในแบบเส้นตรงโดย Normal Probability plot ของค่าส่วนตกค้าง จากการพิจารณาการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างตาม ภาพที่ 4.1 พบว่าค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง ทำให้ประมาณได้ว่ามีความสัมพันธ์กันในแบบเส้นตรง



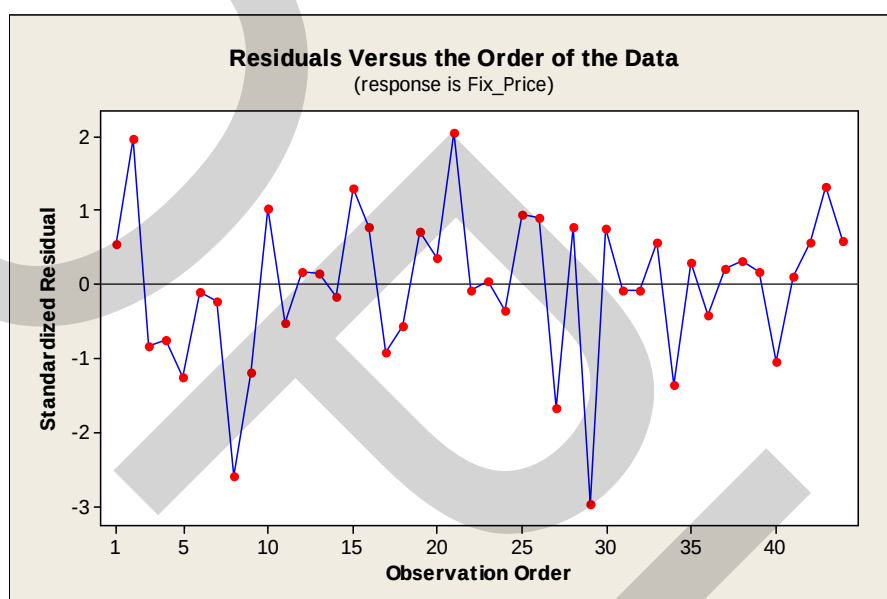
ภาพที่ 4.1 แสดงตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันในแบบเส้นตรง จากโปรแกรม Minitab

4.1.2 ความแปรปรวนของตัวแปรตามเมื่อกำหนดค่าต่างๆ ของตัวแปรอิสระ จะมีค่าคงที่การตรวจสอบความแปรปรวนคงที่สามารถพิจารณาได้จากแผนภูมิการกระจายดังภาพที่ 4.2 ซึ่งเป็นแผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้าง เทียบกับค่า Fitted Value พบว่าค่าส่วนตกค้าง มีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละตำแหน่ง และไม่พบว่ารูปแบบการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างมีลักษณะเป็นแนวโน้มแต่อย่างใด จึงสรุปได้ว่าความแปรปรวนมีความคงที่



ภาพที่ 4.2 การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง เทียบกับค่า Fitted Value

4.1.3 ความคลาดเคลื่อน e_i เป็นตัวแปรสุ่มที่เป็นอิสระ (Independent) มีการแจกแจงปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 สามารถพิจารณาจากการนำข้อมูลในตารางที่นำมาทำการวิเคราะห์จากบทที่ 3 มาสร้างเป็นแผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) เมื่อพิจารณาการกระจายของข้อมูลบนแผนภูมิพบว่า การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง มีรูปแบบที่เป็นอิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนหรือ ไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงให้เห็นว่าค่าส่วนตกค้าง มีความเป็นอิสระต่อกันดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่จะต้องเป็นอิสระต่อกัน

4.1.4 ตัวแปรอิสระแต่ละตัวจะต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน (Multicollinearity) จากตารางที่ 4.1 ตัวแปรอิสระจะต้องไม่มีความสัมพันธ์กันเอง (Multicollinearity) ซึ่งค่า VIF ของจำนวนของ SMD part=1, จำนวนของ PTH part=1.1 และราคาของวัสดุ (Material price)= 1 โดยจะใช้ค่า Variance inflation factor (VIF) ซึ่งเกณฑ์ VIF มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรอิสระแต่ละตัวต้องเป็นอิสระต่อกัน รศ.สมจิต วัฒนาชาญกุล (2545)

ตารางที่ 4.1 แสดงการตรวจสอบความไม่มีความสัมพันธ์กันของตัวแปรอิสระแต่ละตัว

Regression Analysis: Fix_Price versus SMD, PTH, Mat_Price(USD)

The regression equation is

Fix_Price = 101 + 0.0298 SMD + 0.378 PTH + 1.13 Mat_Price(USD)

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	101.106	7.814	12.94	0	
SMD	0.02982	0.01406	2.12	0.04	1
PTH	0.3784	0.1508	2.51	0.016	1.1
Mat_Price(USD)	1.1297	0.1085	10.41	0	1

S = 15.4999 R-Sq = 77.1% R-Sq(adj) = 75.4%

การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของสมการการถดถอยผ่านในกฎทุกข้อ คือ ค่า e มีความแปรปรวนคงที่, ค่า e มีการแจกแจงแบบปกติ, ค่า e แต่ละตัวจะต้องเป็นอิสระต่อกัน และ ตัวแปรอิสระแต่ละตัวต้องเป็นอิสระกัน ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่าผ่านกฎทุกข้อ ทำให้สมการการถดถอยพหุเชิงเส้นที่สร้างขึ้น สามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ด้วยภายใต้เงื่อนไขว่าข้อมูลที่จะนำมาทดสอบสมการพยากรณ์ที่จะใช้นั้นจะต้องมีขนาดของ Wave soldering fixture ไม่เกินหรือเท่ากับ 135000 ตารางมิลลิเมตร

4.2 ทำการเก็บข้อมูลของทั้ง 3 ปัจจัยที่ถูกคัดเลือก

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการรวบรวมข้อมูลของปัจจัยที่ส่งผลต่อราคา Wave soldering fixture คือ จำนวนของ SMD part จำนวนของ PTH part และ ราคาของวัสดุ (Material price) ซึ่งรายละเอียดดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลของทั้ง 3 ปัจจัยและ ราคาที่สั่งซื้อจริงจำนวน 37 ชุด

Items	Price of Mat'l (USD)	Number of PTH Per fixture (pcs)	Number of SMD part Per fixture (pcs)	Actual Price per fixture (USD)
SL1	100	21	0	242
SL2	60	26	0	176
SL3	74	34	0	209
SL4	18	48	0	158
SL5	62	28	0	173
SL6	62	16	0	188
SL7	62	30	0	188
SL8	17	9	0	152
SL9	78	30	0	203
SL10	64	10	0	176
SL11	12	12	0	127
SL12	62	44	0	188
SL13	85	57	0	221
SL14	62	56	0	227
SL15	58	34	0	182
SL16	74	36	0	197
SL17	56	38	0	161
SL18	94	30	0	236
SL19	45	34	0	152
SL20	78	24	0	203
SL21	59	16	0	176
SL22	49	42	0	161
SL23	85	7	0	203
SL24	13	48	0	152
SL25	74	8	0	197
SL26	75	50	102	200
SL27	74	50	0	212
SL28	74	20	356	227
SL29	51	26	0	167
SL30	62	27	0	182
SL31	94	30	0	283
SL32	100	21	0	267
SL33	100	100	0	283
SL34	78	12	291	300
SL35	100	12	0	267
SL36	87	36	0	267
SL37	100	6	0	250

4.3 วิธีการพยากรณ์กับข้อมูลของทั้ง 3 ปัจจัยที่ถูกคัดเลือก

ในขั้นตอนนี้ทำการพยากรณ์จากปัจจัยที่รวบรวมมาทั้ง 37 ชุด วิธีการพยากรณ์ก็คือ จากสมการพยากรณ์ราคา **Wave soldering fixture** = 101.106 + 1.1297(ราคาของวัสดุ (Material price) + 0.3784 (จำนวนของ PTH part) + 0.02982 (จำนวนของ SMD part) เมื่อต้องการพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ SL1 ตามตารางโดย

Wave soldering fixture = $101.106 + 1.1297(100) + 0.3784(21) + 0.02982(0) = 222$
 USD และผลของทั้ง 37 ชุดข้อมูลดังแสดงไว้ตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลของราคา Wave soldering fixture จากการใช้สมการพยากรณ์

Items	Price of Mat'l (USD) $\beta_1 = 1.1297$	Number of PTH Per fixture (pcs) $\beta_2 = 0.3784$	Number of SMD part Per fixture (pcs) $\beta_3 = 0.02982$	Price of Wave soldering fixture (USD) From equation
SL1	100	21	0	222
SL2	60	26	0	179
SL3	74	34	0	197
SL4	18	48	0	140
SL5	62	28	0	181
SL6	62	16	0	177
SL7	62	30	0	182
SL8	17	9	0	124
SL9	78	30	0	201
SL10	64	10	0	177
SL11	12	12	0	120
SL12	62	44	0	187
SL13	85	57	0	219
SL14	62	56	0	192
SL15	58	34	0	179
SL16	74	36	0	198
SL17	56	38	0	179
SL18	94	30	0	218
SL19	45	34	0	165
SL20	78	24	0	198
SL21	59	16	0	174
SL22	49	42	0	172
SL23	85	7	0	200
SL24	13	48	0	134
SL25	74	8	0	188
SL26	75	50	102	208
SL27	74	50	0	204
SL28	74	20	356	203
SL29	51	26	0	169
SL30	62	27	0	181
SL31	94	30	0	218
SL32	100	21	0	222
SL33	100	100	0	252
SL34	78	12	291	202
SL35	100	12	0	218
SL36	87	36	0	213
SL37	100	6	0	216

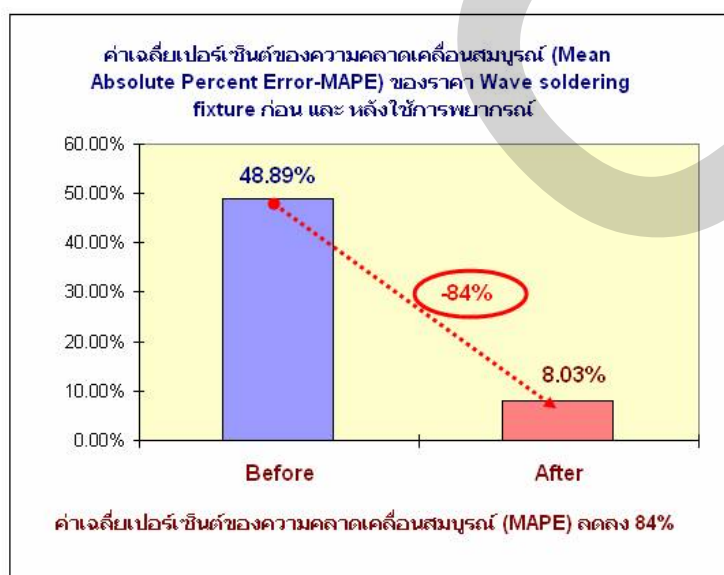
4.4 การวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (Measuring Forecast Errors)

เพื่อที่จะสร้างความมั่นใจให้กับตัวต้นแบบของสมการพยากรณ์ ว่าวิธีพยากรณ์ที่เราใช้นั้นจะมีประสิทธิผลเพียงใดจึงต้องมีการประเมินผลของวิธีการพยากรณ์ในงานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้วิธีคือวิธีการวัดค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error-MAPE) ว่าจากสมการพยากรณ์ที่เราใช้นั้นมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่กี่เปอร์เซ็นต์ วิธีการคือ

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left[\frac{\left| \text{ราคาจริง}_t - \text{ราคาพยากรณ์}_t \right|}{\text{ราคาจริง}_t} \right] \quad (4.1)$$

โดยผลที่ได้รับจากการใช้สมการพยากรณ์ต้นแบบที่ได้มานั้นมีความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์อยู่ที่ 8.03 เปอร์เซ็นต์ ดังรายละเอียดตามตารางที่ 4.5 และเมื่อทำการเปรียบเทียบการวัดความคลาดเคลื่อน ตามวิธีการประเมินราคา Wave soldering fixture แบบเดิมก่อนที่จะใช้วิธีการพยากรณ์จากสมการต้นแบบนี้มีความคลาดเคลื่อนของการประเมินราคาอยู่ถึง 48.89 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงกราฟการเปรียบเทียบตามภาพที่ 4.4 ซึ่งการจัดทำสมการพยากรณ์ต้นแบบในงานวิจัยครั้งนี้สามารถลดความคลาดเคลื่อนได้ถึง 84 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบวิธีการวัดค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ระหว่างวิธีการประเมินแบบเก่า และการใช้สมการพยากรณ์ต้นแบบจากการศึกษา



ตารางที่ 4.5 แสดงวิธีการวัดค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์
(Mean Absolute Percent Error-(MAPE))

Items	Price of Mat'l (USD) $\beta_1 = 1.1297$	Number of PTH Per fixture (pcs) $\beta_2 = 0.3784$	Number of SMD part Per fixture $\beta_3 = 0.02982$	Price of Wave soldering fixture (USD)		Diff.Price	Diff.Price	%Diff.Price
				Actual	From equation			
SL1	100	21	0	242	222	20.52	20.52	0.08
SL2	60	26	0	176	179	-2.84	2.84	0.02
SL3	74	34	0	209	197	11.59	11.59	0.06
SL4	18	48	0	158	140	17.69	17.69	0.11
SL5	62	28	0	173	181	-8.58	8.58	0.05
SL6	62	16	0	188	177	11.11	11.11	0.06
SL7	62	30	0	188	182	5.82	5.82	0.03
SL8	17	9	0	152	124	27.39	27.39	0.18
SL9	78	30	0	203	201	2.41	2.41	0.01
SL10	64	10	0	176	177	-1.52	1.52	0.01
SL11	12	12	0	127	120	7.62	7.62	0.06
SL12	62	44	0	188	187	0.52	0.52	0.00
SL13	85	57	0	221	219	2.02	2.02	0.01
SL14	62	56	0	227	192	35.37	35.37	0.16
SL15	58	34	0	182	179	2.51	2.51	0.01
SL16	74	36	0	197	198	-1.28	1.28	0.01
SL17	56	38	0	161	179	-17.99	17.99	0.11
SL18	94	30	0	236	218	18.11	18.11	0.08
SL19	45	34	0	152	165	-13.68	13.68	0.09
SL20	78	24	0	203	198	4.68	4.68	0.02
SL21	59	16	0	176	174	1.78	1.78	0.01
SL22	49	42	0	161	172	-11.52	11.52	0.07
SL23	85	7	0	203	200	3.13	3.13	0.02
SL24	13	48	0	152	134	17.12	17.12	0.11
SL25	74	8	0	197	188	9.31	9.31	0.05
SL26	75	50	102	200	208	-7.64	7.64	0.04
SL27	74	50	0	212	204	8.57	8.57	0.04
SL28	74	20	356	227	203	24.46	24.46	0.11
SL29	51	26	0	167	169	-2.28	2.28	0.01
SL30	62	27	0	182	181	0.89	0.89	0.00
SL31	94	30	0	283	218	65.08	65.08	0.23
SL32	100	21	0	267	222	44.76	44.76	0.17
SL33	100	100	0	283	252	31.54	31.54	0.11
SL34	78	12	291	300	202	97.51	97.51	0.33
SL35	100	12	0	267	218	48.17	48.17	0.18
SL36	87	36	0	267	213	53.19	53.19	0.20
SL37	100	6	0	250	216	33.77	33.77	0.14
						673.98	2.97	

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left[\frac{|ราคาจริง_t - ราคาพยากรณ์_t|}{ราคาจริง_t} \right]$$

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error-MAPE) **8.03**

จากตารางค่า $n = 37$,

ผลรวมของค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสมบูรณ์ = 2.97

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ = $\frac{100}{37} (2.97) = 8.03$

4.5 สรุปผลการศึกษา

หลังจากที่ได้ใช้ สมการพยากรณ์ที่ได้แบบมาแล้วนั้น เพื่อสรุปผลการดำเนินงาน ว่า การนำสมการพยากรณ์ที่ได้มานั้นสามารถช่วยให้การประเมินราคา Wave soldering fixture ได้อย่างมั่นใจ ป้องกันปัญหาที่มีการประเมินมากหรือน้อยจนเกินไปรวมทั้งยังทำให้ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ลดลงถึง 84 เปอร์เซนต์ และสามารถพร้อมทั้งสรุปข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ที่ได้จากการทำวิจัยในบทที่ 5

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

จากที่ได้ทำการศึกษา และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เก็บมาตามรายละเอียด และการกำหนดกรอบแนวความคิดวิธีการค้นหาปัจจัยที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 และบทที่ 4 เพื่อที่จะจัดทำสมการพยากรณ์ต้นแบบ ผู้วิจัยได้ทำการสรุปผลการศึกษาเปรียบเทียบกับวัตถุประสงค์เป้าหมาย และรวมถึงข้อเสนอแนะต่างๆ ดังรายละเอียดที่แสดงไว้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษางาน เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อราคา Wave fixture soldering ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ในบทที่ 3 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า จากการเก็บข้อมูลมาทั้งหมด 48 ชุดข้อมูลนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยให้ผลที่ตัวแปรอิสระทั้ง 9 ตัวแปร มีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดพหุ (R-Sq) = 87.2% ค่าความแปรปรวน (S) มีค่าสูงถึง 20.2355 จึงได้ทำการจัดกลุ่มข้อมูลโดยใช้วิธี Cluster analysis โดยกำหนดให้มีความคล้ายกันมากที่สุดถึง 90 เปอร์เซนต์ พบว่ามีข้อมูลอยู่ 4 ชุดคือ ข้อมูลชุดที่ 45, 46, 47 และ 48 ซึ่งสามารถอธิบายถึงความผิดปกติของข้อมูลได้ว่ามีขนาดของ Fixture เกินหรือเท่ากับ 135,000 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งนั่นก็หมายความว่าสมการพยากรณ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลชุดนี้จะไม่สามารถใช้ในการพยากรณ์ราคา Wave soldering fixture ได้หากมีขนาดเกิน 135,000 ตารางมิลลิเมตร และในขั้นตอนถัดไปได้ใช้วิธีการคัดเลือกตัวแปรเพื่อที่จะสร้างสมการพยากรณ์ด้วยวิธี All Possible Regression ด้วยเทคนิค Best Subset และ วิธีการคัดเลือกปัจจัยแบบ Stepwise Regression ปรากฏว่าได้ปัจจัยที่เหมือนกันทั้ง 3 ปัจจัยคือ จำนวนของ SMD part จำนวนของ PTH part และราคาของวัสดุ (Material price) ที่มีต่อราคาของ Wave soldering fixture มีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดพหุ (R-Sq) = 77.1% ส่วนค่าความแปรปรวน (S) มีค่าอยู่ที่ 15.5 เมื่อได้ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อราคา Wave soldering fixture แล้วนำปัจจัยทั้ง 3 มาสมการพยากรณ์ได้ดังนี้คือ

ราคา Wave soldering fixture = 101.106 + 1.1297(ราคาของวัสดุ (Material price) + 0.3784 (จำนวนของ PTH part) + 0.02982 (จำนวนของ SMD part)

ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อราคาของ Wave soldering fixture มากที่สุดคือ ราคาของวัสดุ (Material price) เนื่องจากมีค่า Beta มากที่สุดคือ 1.1297 และหลังจากนั้นได้ใช้สมการพยากรณ์กับงานใหม่ของลูกค้า SL ทั้งหมด 37 งาน และทำการเปรียบเทียบราคาที่ประเมินได้กับราคาจริงที่เกิดขึ้น แล้วทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error-MAPE) ระหว่างวิธีการประเมินราคาแบบเดิม และการใช้สมการพยากรณ์ที่จากการศึกษาผลปรากฏว่าวิธีการเดิมอยู่ที่ 48.89 เปอร์เซนต์ และวิธีใหม่มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์อยู่ที่ 8.03 สามารถลดความคลาดเคลื่อนได้ถึง 84 เปอร์เซนต์

จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถสรุปวัตถุประสงค์ เป้าหมาย และผลที่ได้รับจากการดำเนินงานดังแสดงรายละเอียดตามตารางที่ 5.1

ตาราง 5.1 แสดงผลการเปรียบเทียบวัตถุประสงค์เป้าหมายกับผลที่ได้รับจากการดำเนินงาน

วัตถุประสงค์	เป้าหมาย	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
1) เพื่อค้นหาปัจจัยที่ส่งผลกับการประเมินราคา Wave soldering fixture	ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อราคาของ Wave soldering fixture	ไม่ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อราคา Wave soldering fixture ทางหน่วยงาน Quote ไม่ทราบว่า การประเมินราคานั้น มากหรือน้อย	ได้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งต่อราคา Wave soldering fixture คือ SMD part PTH part และ ราคาวัสดุ
2) เพื่อหาราคามาตรฐานและจัดทำสมการต้นแบบ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับ Fixture ประเภทอื่นๆ ให้เหมาะสม และนำเสนอให้กับลูกค้า	ได้สมการพยากรณ์ที่มีความน่าเชื่อถือ และมีหลักเกณฑ์ถูกต้อง	ใช้วิธีการเปรียบเทียบกับงานเก่าที่มีความคล้าย แต่ก็มีความคลาดเคลื่อนในการประเมินอยู่สูง	สมการพยากรณ์คือ ราคา Wave soldering fixture = $101.106 + 1.1297(\text{ราคาของวัสดุ (Material price)}) + 0.3784(\text{จำนวนของ PTH part}) + 0.02982(\text{จำนวนของ SMD part})$
3) เพื่อลดเวลาในการประเมินราคา Wave soldering fixture	ลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการประเมินราคา fixture ได้	ใช้เวลาในการประเมิน 21 ชั่วโมง มีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นต่องานละ 5,600 บาท	ใช้เวลาในการประเมิน 11.8 ชั่วโมงมีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นต่องานละ 3,096 บาท

5.2 รายละเอียดเวลาในการประเมินราคา และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น

ตาราง 5.2 แสดงการเปรียบเทียบเวลาในการประเมิน และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น

รายละเอียดงาน	ผู้รับผิดชอบ	ค่าใช้จ่ายก่อน ชั่วโมง (บาท)	การประเมินแบบเดิม		การประเมินแบบใหม่	
			ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)
1. ตรวจสอบข้อมูลลูกค้าส่ง มาให้	Quote team	250	2	500	2	500
2. Print รายละเอียดที่ เกี่ยวข้อง (BOM, File ที่ เกี่ยวกับ PCB, Assembly dwg. และอื่นๆ)	Quote team	250	2	500	2	500
3. ตรวจสอบ Requirement ของลูกค้า	Quote team	250	1	250	1	250
4. ตรวจสอบ Packaging ของ Component	Quote team	250	4	1000	1.5	375
5. ออกแบบ PCB ให้ เหมาะสมกับสายการผลิตใน	Quote team	250	0.5	125	0.5	125
	Engineer	300	1.5	450	1.5	450
6. ออกแบบ Process flow	Quote team	250	0.5	125	0.5	125
	Engineer	300	1.5	450	0.5	150
7. ตรวจสอบสายการผลิต และ เครื่องมือ	Quote team	250	1	250	0.5	125
8. ตรวจสอบรูปแบบของ Fixture ที่ทาง Engineer	Quote team	250	0.5	125	0.5	125
	Engineer	300	2.5	750	0.5	150
9. นำรูปแบบที่ได้ตรวจสอบ ราคา Fixture กับหน่วยงาน	Quote team	250	0.5	125	0.17	41.75
	Design team	300	1.5	450	0.17	50.1
10. จัดทำ Quotation สำหรับราคาของ Fixture	Quote team	250	2	500	0.5	125
รวมชั่วโมงทำ Quotation			21	5600	11.8	3092

หมายเหตุ ค่าใช้จ่ายต่อชั่วโมงเป็นฐานเงินเดือนเฉลี่ยภายในแผนก

จากตาราง 5.2 จากวิธีการประเมินแบบเดิมใช้เวลา 21 ชั่วโมง วิธีการประเมินแบบใหม่
ลดเหลือเพียง 11.8 ชั่วโมง คิดเป็น 44 เปอร์เซ็นต์ และค่าใช้จ่ายจากเดิม 5600 บาทต่องาน ลดลง
เหลือ 3,092 บาท คิดเป็น 45 เปอร์เซ็นต์ และสำหรับลูกค้าของ SL ที่มีการทำใบเสนอเวลามาตรฐาน
ในเดือนมกราคม ถึง ตุลาคม 2553 มีจำนวนทั้งสิ้น 48 งานแต่นำมาใช้วิธีการพยากรณ์ได้ 37 งาน
และสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายได้เท่ากับ $2,508 \times 37 = 92,802$ บาทของตลอดระยะเวลา 10
เดือน ที่เหลืออีก 9 งานไม่สามารถจะใช้สมการพยากรณ์ได้เนื่องจากมีขนาด Fixture ใหญ่เกิน
135,000 ตารางมิลลิเมตร

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรพิจารณาวิธีการพยากรณ์แบบอื่นเพื่อทำการเปรียบเทียบ และทำการศึกษาค้นคว้าเทคนิคใหม่ๆ ที่จะเป็นตัวช่วยเพิ่มความแม่นยำของตัวแบบให้มากยิ่งขึ้น

5.3.2 ควรพิจารณาขยายผลในการปรับปรุงตัวสมการพยากรณ์ต้นแบบ ให้กับลูกค้าอื่นๆ และทำการปรับปรุงให้เหมาะสมกับลูกค้าอื่นๆ

5.3.3 ศึกษาข้อมูลของลูกค้าอื่นที่มีความคล้ายกันที่สำหรับขนาดของ Wave soldering fixture ที่มีขนาดใหญ่เกิน 135,000 ตารางมิลลิเมตรเพื่อที่จะสามารถใช้ในการพยากรณ์ราคากรณีมี Fixture ขนาดใหญ่ได้



บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

หนังสือ

- พิภพ ลลิตาภรณ์. (2549). ระบบการวางแผนและควบคุมการผลิต. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- บรรหาญ ลิลา. (2553). การวางแผนและควบคุมการผลิต. กรุงเทพฯ: ท็อป.
- วิรัช พานิชวงค์. (2545). การวิเคราะห์การถดถอย. นนทบุรี: ศูนย์ผลิตตำรา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ชานินทร์ ศิลปจารุ. (2552). การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS. กรุงเทพฯ: บิซซิเนสอาร์แอนดี.
- สมจิต วัฒนาชากุล. (2545). สถิติวิเคราะห์เบื้องต้น. กรุงเทพฯ: ปรกาศพริก.

วิทยานิพนธ์

- ผกากรอง เทพรักษ์. (2546). การพยากรณ์ราคาผลผลิตทางการเกษตรในตลาดการซื้อขายล่วงหน้า: กรณีศึกษายางพารา. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สถิติ) สาขาวิชาสถิติ. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ไพศาล คุณภูวติกุล. (2550). การพยากรณ์ปริมาณการส่งออกและกำหนดกลยุทธ์ให้กับอุตสาหกรรมกุ้งแช่แข็งของไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาการจัดการทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- โยธิน โนรีเวช. (2543). ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อราคาประมูลและราคากลางของงานดิน. วิทยานิพนธ์ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาโยธา. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- วัชรพร วงศ์สมิง. (2550). การพัฒนาแบบจำลองการประมาณค่าใช้จ่ายในการพัฒนาซอฟต์แวร์ประยุกต์เชิงโครงข่ายประเภทการประมวลผลรายการกระทบยอดด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอยและการวิเคราะห์ปัจจัย. สารนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

- อนงค์นุช ไชยโชติ. (2549). การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อราคาที่ดินการเกษตรในเขตปริมณฑล
จังหวัดศรีสะเกษ. ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การจัดการทรัพยากร) สาขาการ
จัดการทรัพยากร. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรอุไร หนูหอม. (2544). การประเมินวิธีการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าในแต่ละสถานะการ
พยากรณ์และข้อมูลต่างๆ กัน. วิทยานิพนธ์ปรินญามหาบัณฑิต. สาขาวิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สารสนเทศจากสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์

- ฉลอง สีแก้วสีว. (2010). Regression analysis. สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน 2553,
จาก http://www.statistics.ob.tc/normal_test.thm.
- America Tape and Reel, Inc. (2002). Radial component. สืบค้นเมื่อ 8 มิถุนายน 2553,
จาก [http:// www.tapenreel.com/](http://www.tapenreel.com/).
- Beam On Oregon Corporation. (2006). Wave soldering fixture. สืบค้นเมื่อ 13 มิถุนายน 2553,
จาก [http:// www.beamon-oregon.com/fixtures.asp](http://www.beamon-oregon.com/fixtures.asp).
- Cookson Electronics Assembly Materials. (2001). Alpha Solder perform.
สืบค้นเมื่อ 22 พฤษภาคม 2553,
จาก [http:// www.alpha.cooksonelectronics.com...reforms/](http://www.alpha.cooksonelectronics.com...reforms/).
- Electronic Automation Services, Inc. (1993). Loader machine. สืบค้นเมื่อ 25 พฤษภาคม 2553,
จาก [http://www.easiky.com/equipment/view/693_Inline+SMT+Magazine
+Loader](http://www.easiky.com/equipment/view/693_Inline+SMT+Magazine+Loader).
- Electronic Automation Services, Inc. (1993). Inspection conveyor. สืบค้นเมื่อ 25 พฤษภาคม 2553,
จาก [http:// www.easiky.com/equipment/view/69...veyor%2B](http://www.easiky.com/equipment/view/69...veyor%2B).
- Electronicsandyou. (2009). Wave soldering. สืบค้นเมื่อ 13 มิถุนายน 2553,
จาก [http:// www.electronicsandyou.com/electr...ges.html](http://www.electronicsandyou.com/electr...ges.html).
- Electoday Forum Provide by Micro4you.com. (2009). PCBA. สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2553,
จาก [http:// www.electoday.com/bbs/viewthread...d%3D1342](http://www.electoday.com/bbs/viewthread...d%3D1342).
- Essemtec Benelux. (2009). stencil solder paste printing. สืบค้นเมื่อ 22 พฤษภาคม 2553,
จาก <http://www.essemtec.com/news.asp?id=10302>.

Hosotec Technology Co.,Ltd. (2002). depanel by rounter. สืบค้นเมื่อ 8 มิถุนายน 2553,

จาก http://www.hosotec.com/pc_controlled.htm.

Indium Corporation. (1996). Indium Solder perform. สืบค้นเมื่อ 22 พฤษภาคม 2553,

จาก <http://www.indium.com/TIM/solutions/solderpreforms.php>.

Indium Corporation. (2010). Indium Solder wire. สืบค้นเมื่อ 22 พฤษภาคม 2553,

จาก http://buy.solder.com/Solder-Wire/C61_1/.

Innovative Circuits, Inc. (1998). Screen printer. สืบค้นเมื่อ 25 พฤษภาคม 2553,

จาก [http:// www.icimfg.com/tour.php](http://www.icimfg.com/tour.php).

Japan Electronics Show Association (JESA). (2006). Chip and IC placement machine.

สืบค้นเมื่อ 27 พฤษภาคม 2553,

จาก [http:// protec.jesa.or.jp/2006/en/exhibitors/exh_detail.html?id=3050](http://protec.jesa.or.jp/2006/en/exhibitors/exh_detail.html?id=3050).

Jim Hisert. (2008). Solder paste. สืบค้นเมื่อ 22 พฤษภาคม 2553,

จาก <http://blogs.indium.com/blog/jim-hisert/package-on-package-solder-paste-Viscosity>.

John Wiley & Sons, Inc. (2006). Regression analysis. สืบค้นเมื่อ 4 กันยายน 2552,

จาก <http://www.pdffoo.com/result-regression-analysis-by-example-4th-edition-ebook.html>.

Kester. (2010). Kester Solder Bar. สืบค้นเมื่อ 22 พฤษภาคม 2553,

จาก <http://www.kester.com/SideMenu/Products/WaveSolderingMaterials/BarSolder/tabid/256/Default.aspx>.

Kitmondo. (2005). Reflow oven. สืบค้นเมื่อ 27 พฤษภาคม 2553,

จาก [http:// www.kitmondo.com/category.aspx%3...3DHeller](http://www.kitmondo.com/category.aspx%3...3DHeller).

Lef Circuits Ltd. (1996). PCB Production Examples. สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2553,

จาก <http://www.pcb-manufacturers.co.uk/pcb-...s-b.html>.

Manncrop. (1980). Axial. สืบค้นเมื่อ 8 มิถุนายน 2553,

จาก <https://www.manncorp.com/component-counters-manual/magic-plus/>.

Meritronics, inc. (1995). Pick & Place machine. สืบค้นเมื่อ 27 พฤษภาคม 2553,

จาก [http:// www.meritronics.com/equipmentlist.html](http://www.meritronics.com/equipmentlist.html).

o-digital.com Limited. (2002). Auto Optical Inspection (AOI). สืบค้นเมื่อ 27 พฤษภาคม 2553,

จาก <http://www.o-digital.com/wholesale-products/2179/2192-1/Automatic-Optical-Inspection-System-OTEK-600-83384.html>.

Shutterstock. (2003). iron soldering with board. สืบค้นเมื่อ 22 พฤษภาคม 2553,

จาก <http://www.shutterstock.com/pic-48331120/stock-photo-electronic-laboratory-technician-repairs-circuit-board-of-tube-television-with-iron-soldering-and.html>.

Spectra-Tech Manufacturing, Inc. (2009). Wave soldering. สืบค้นเมื่อ 22 พฤษภาคม 2553,

จาก <http://www.spectratechmfg.com/facility-tour.htm#wave>.

Stone Mountain Tool. (1990). Wave soldering fixture. สืบค้นเมื่อ 13 มิถุนายน 2553,

จาก <http://www.stonemountaintool.com/>.

TopLine Corporation. (1995). ChipComponents. สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2553,

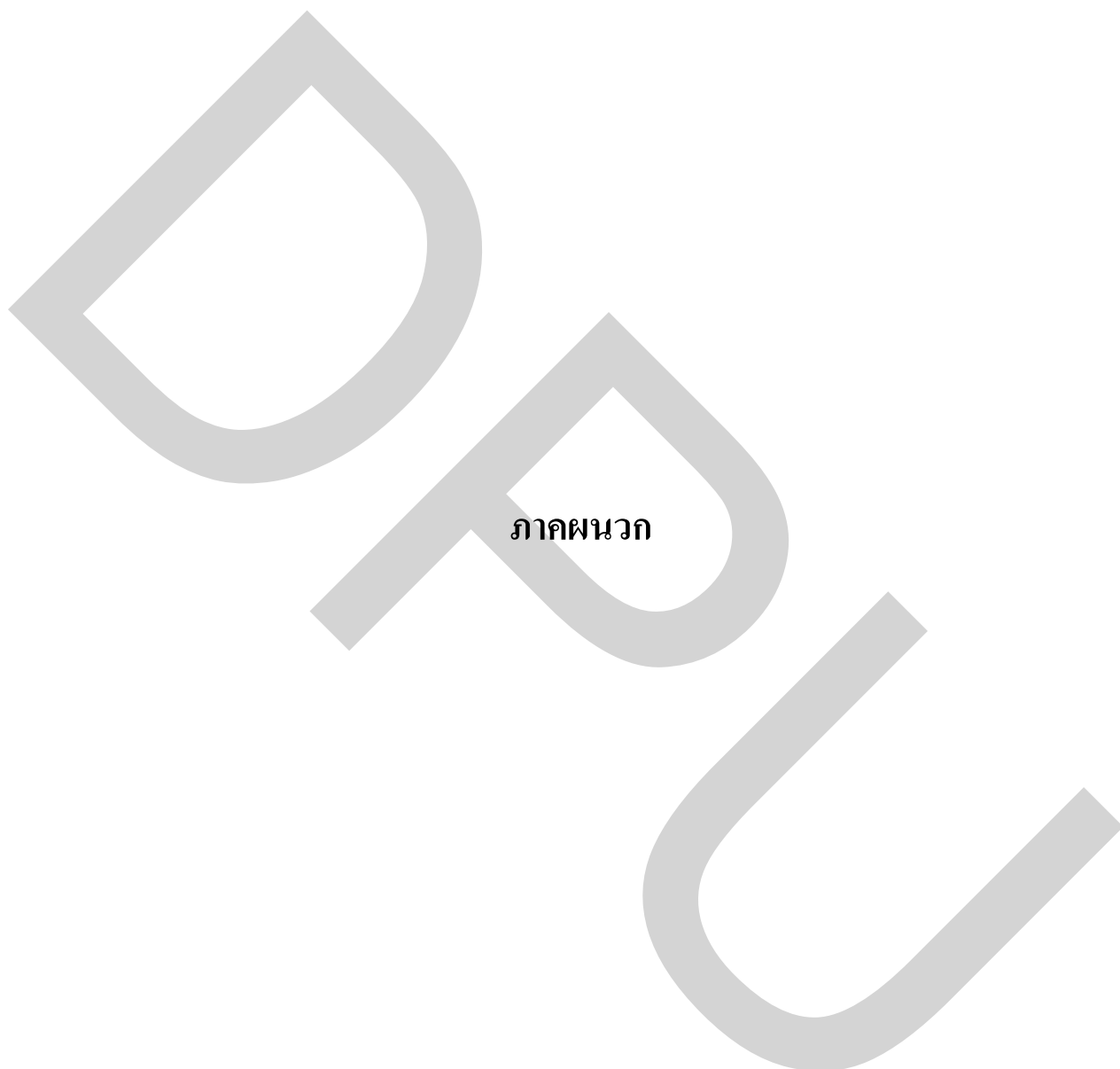
จาก <http://www.topline.tv/ChipComponents.html>.

Topline Corporation. (1995). Through-hole package. สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2553,

จาก <http://www.topline.tv/ChipComponents.html>.

Zureks. (2009). Surface-mount technology. สืบค้นเมื่อ 25 พฤษภาคม 2553,

จาก http://en.wikipedia.org/wiki/Surface-mount_technology.



ภาคผนวก

ภาคผนวก

แบบฟอร์มของ RFQ (Request for Quotation)

Date :xx-xx-xxxx

Customer Name

Customer Part Number

Description

End Product

Product (PCBA / Box Build)

XXXXXX

Please see attached

Please see attached

Please see attached

PCBA/ Box build

Quotation Type (place X in respective box):-

☒

☐

New Build

Rework - please provided rework detail below

Please quote (place X in respective box):-

Yes

No

☒

☐

Material

Assembly Labor

ICT

FCT

Other (specify)

Lot of

per Month

per Year

Other

☐

☐

☐

☒

☐

☐

☐

☐

Volume:

Document provided:-

Document on SSCI drive space at:-

Comments:-

Labor hour for rework in Production line per each board defect

Please refer EAU of each product.

Rework flow provided by

Mattawit B., Kittisak Ph., Somboon A.

Please provide rework hour in Production line for each defect/board.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล

ประวัติการศึกษา

ประสบการณ์การทำงาน

วนิชชา ทรรคิ

สาขาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ

มหาวิทยาลัยเกริก

พ.ศ. 2539

Assistant Equipment Engineer

Assistant Process Engineer

Sr. Engineering Administrator

Dept: Manufacturing Engineering