

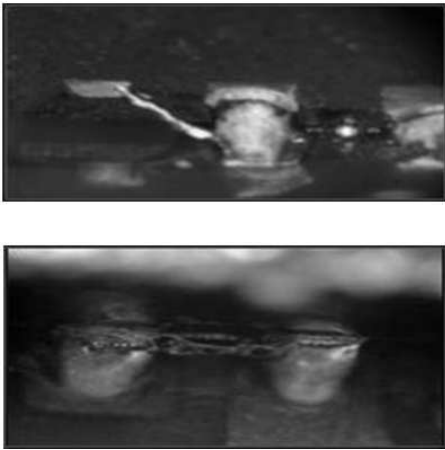
บทที่ 4

กรณีศึกษา

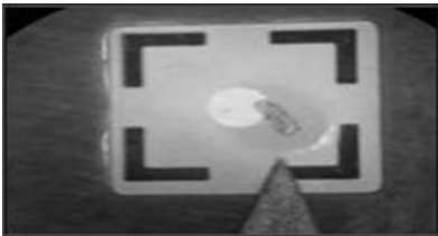
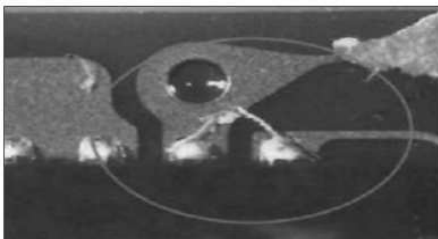
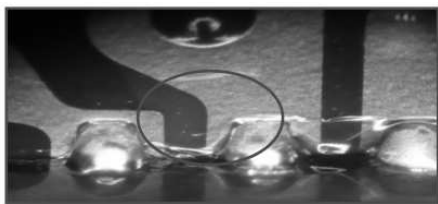
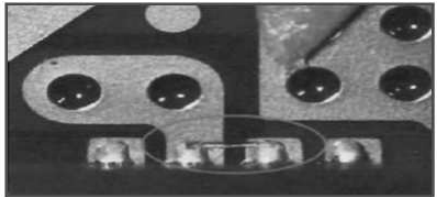
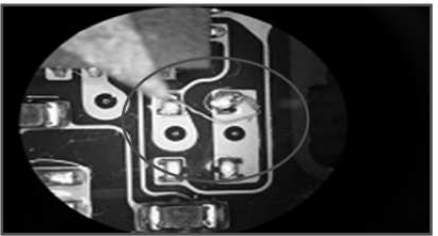
กรณีศึกษาดำเนินการกับกระบวนการผลิตแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้าชนิดอ่อนเพื่อศึกษาปัญหาคุณภาพผลิตภัณฑ์ และปัญหาคุณภาพที่พบอย่างต่อเนื่องจากการร้องเรียนของลูกค้าที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์ คือ ปัญหาเศษทองแดงตกค้างบนตัวผลิตภัณฑ์ระหว่างเส้นลายวงจรของแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้า หรือบนตะกั่วที่ใช้เชื่อมต่อกับผลิตภัณฑ์กับส่วนประกอบของลูกค้า ปัญหาดังกล่าวทำให้เกิดการลัดวงจรของกระแสไฟฟ้า โดยเศษทองแดง (ตัวนำไฟฟ้า) เป็นตัวพาเชื่อมกระแสไฟฟ้าระหว่างเส้นลายวงจร หรือบนพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยตะกั่ว ทำให้ผลิตภัณฑ์ใช้งานไม่ได้

การศึกษาวิจัยดำเนินการกับผลิตภัณฑ์ที่ได้รับปัญหาข้อร้องเรียนด้านคุณภาพ เรื่อง ปัญหาเศษทองแดงตกค้างบนตัวผลิตภัณฑ์ โดยศึกษาจากผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการร้องเรียนปัญหาคุณภาพดังกล่าวมากที่สุดในช่วงระยะเวลา 6 เดือน (กุมภาพันธ์ ถึง กรกฎาคม ปีพุทธศักราช 2550) ข้อมูลแสดงตามตารางที่ 4.1

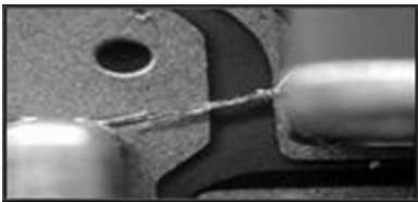
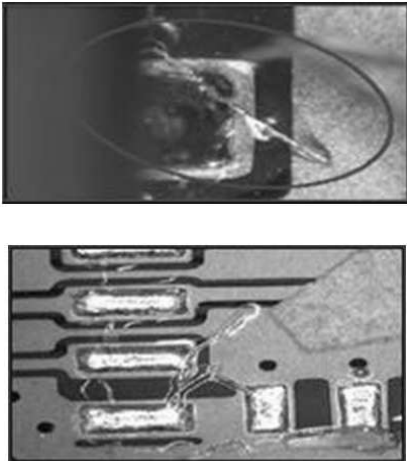
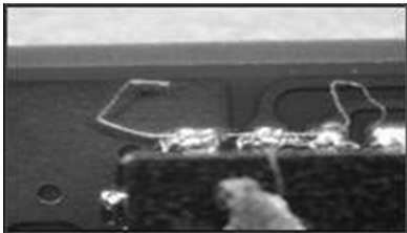
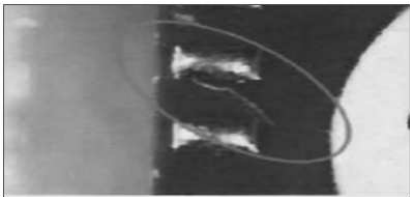
ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลผลิตภัณฑ์ และภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้รับปัญหาข้อร้องเรียนทางด้านคุณภาพ เรื่องเศษทองแดงตกค้างบนผลิตภัณฑ์ (กุมภาพันธ์ ถึง กรกฎาคม 2550)

ผลิตภัณฑ์	เดือน	รูปภาพปัญหาคุณภาพผลิตภัณฑ์	ปัญหาการร้องเรียนทางด้านคุณภาพ (ครั้ง)
1	กุมภาพันธ์		2

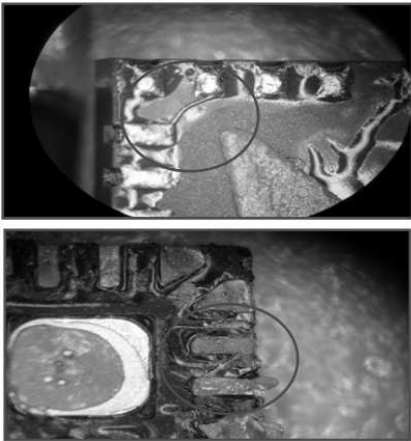
ตารางที่ 4.1 (ต่อ) แสดงข้อมูลผลิตภัณฑ์ และภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้รับปัญหาข้อร้องเรียนทางด้าน
คุณภาพ เรื่องเศษทองแดงตกค้างบนผลิตภัณฑ์ (กุมภาพันธ์ ถึง กรกฎาคม 2550)

ผลิตภัณฑ์	เดือน	รูปภาพปัญหาคุณภาพผลิตภัณฑ์	ปัญหาการร้องเรียน ทางด้านคุณภาพ (ครั้ง)
1	เมษายน		1
	พฤษภาคม		1
	มิถุนายน		1
	กรกฎาคม	 	2
	กุมภาพันธ์ – กรกฎาคม		7

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) แสดงข้อมูลผลิตภัณฑ์ และภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้รับปัญหาข้อร้องเรียนทางด้านคุณภาพ เรื่องเศษทองแดงตกค้างบนผลิตภัณฑ์ (กุมภาพันธ์ ถึง กรกฎาคม 2550)

ผลิตภัณฑ์	เดือน	รูปภาพปัญหาคุณภาพผลิตภัณฑ์	ปัญหาการร้องเรียนทางด้านคุณภาพ (ครั้ง)
2	กุมภาพันธ์		1
	มีนาคม		2
	เมษายน		1
	พฤษภาคม		1

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) แสดงข้อมูลผลิตภัณฑ์ และภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้รับปัญหาข้อร้องเรียนทางด้านคุณภาพ เรื่องเศษทองแดงตกค้างบนผลิตภัณฑ์ (กุมภาพันธ์ ถึง กรกฎาคม 2550)

ผลิตภัณฑ์	เดือน	รูปภาพปัญหาคุณภาพผลิตภัณฑ์	ปัญหาการร้องเรียนทางด้านคุณภาพ (ครั้ง)
2	มิถุนายน		1
	กรกฎาคม		1
	กุมภาพันธ์ – กรกฎาคม		7

จากตารางที่ 4.1 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับปัญหาข้อร้องเรียนด้านคุณภาพมากที่สุดมีทั้งหมด 2 ผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในการวิจัยนี้ จึงเลือกศึกษาผลิตภัณฑ์ที่ 1 เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ตามรายละเอียดดังนี้

4.1 ศึกษากระบวนการผลิตแต่ละขั้นตอน เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุความเป็นไปได้ที่ทำให้เกิดเศษทองแดงตกค้างบนตัวผลิตภัณฑ์ จากการศึกษา พบว่า กระบวนการผลิตที่น่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดเศษทองแดงตกค้างบนตัวผลิตภัณฑ์ ได้แก่ กระบวนการตัดผลิตภัณฑ์ ดังนั้น จึงทำการติดตามผลในส่วนของการตัดผลิตภัณฑ์ โดยศึกษาตามขั้นตอน ดังนี้

4.1.1 การติดตามผลในแต่ละกระบวนการตัดผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดให้มีการทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ ด้วยลูกกลิ้งทำความสะอาด (Sticky roller) หลังจากกระบวนการตัด

ผลิตภัณฑ์ โดยทำการติดตามผลเศษทองแดงจากกระดาษกาวที่ใช้ทำความสะอาดลูกกลิ้ง ตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 นำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการตัดแต่ละกระบวนการ มาทำความสะอาดด้วยลูกกลิ้ง ด้วยการถูลูกกลิ้งบนตัวผลิตภัณฑ์ 1 รอบ ทั้งด้านหน้าและด้านหลังผลิตภัณฑ์ หลังจากทำความสะอาดผลิตภัณฑ์แต่ละครั้งให้ทำความสะอาดลูกกลิ้ง ด้วยการนำลูกกลิ้งถูบนกระดาษกาว 1 รอบ ก่อนที่จะนำลูกกลิ้งไปใช้ในการทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ขั้นต่อไป



ภาพที่ 4.1 แสดงภาพตัวอย่างวิธีการทำความสะอาดผลิตภัณฑ์

ขั้นที่ 2 ติดตามผลเศษทองแดงจากกระดาษกาวแต่ละกลุ่มการวิจัย จำนวนกลุ่มการวิจัยละ 5 กลุ่มย่อย (กลุ่มการวิจัยมี 1,800 ชิ้นของผลิตภัณฑ์) โดยการนำกระดาษกาวที่ได้จากการศึกษามาตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ 1 เครื่อง (กำลังขยาย 30 เท่า) เพื่อตรวจสอบจำนวนเศษทองแดงที่ตกค้างบนกระดาษกาว

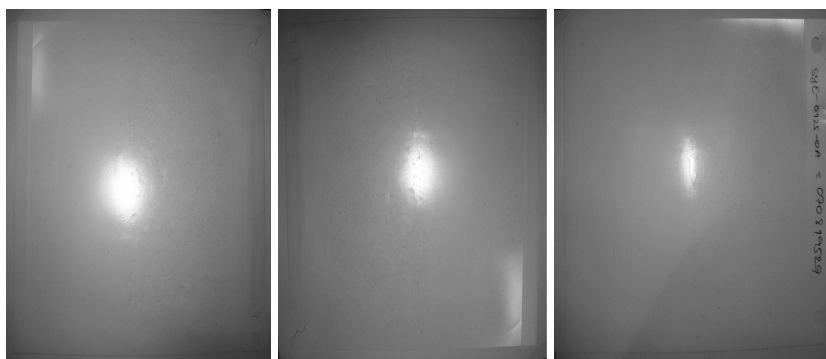
ขั้นที่ 3 นับจำนวนเศษทองแดงที่ตกค้างบนกระดาษกาว ด้วยการเปรียบเทียบขนาดและลักษณะของเศษทองแดงที่ตกค้างบนกระดาษกาว กับเศษทองแดงที่ตกค้างบนผลิตภัณฑ์ที่พบโดยลูกค้า ภายใต้กำลังขยาย 30 เท่าของกล้องจุลทรรศน์ โดยผู้ปฏิบัติงาน 1 ท่าน



ภาพที่ 4.2 แสดงภาพตัวอย่างการตรวจสอบเศษทองแดงที่ตกค้างบนผลิตภัณฑ์
โดยกล้องจุลทรรศน์



ภาพที่ 4.3 ก)



ภาพที่ 4.3 ข)

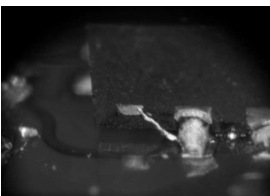
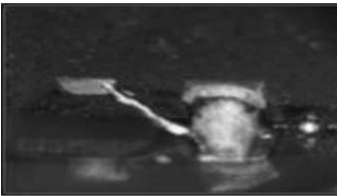
ภาพที่ 4.3 แสดงภาพตัวอย่างแผ่นกระดาษแก้วที่ใช้ในการติดตามผล

4.3 ก) แผ่นกระดาษแก้วใหม่ ก่อนการทดลอง

4.3 ข) แผ่นกระดาษแก้วที่ใช้ หลังการทดลอง

จากการศึกษาดังกล่าว แสดงภาพตัวอย่างเศษทองแดงจากการตัดผลิตภัณฑ์ และจำนวนเศษทองแดงที่พบจากกระบวนการตัดผลิตภัณฑ์ ตามตารางที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 แสดงภาพตัวอย่างเศษทองแดงจากการตัดผลิตภัณฑ์

กระบวนการผลิต	ภาพตัวอย่างเศษทองแดงจากการตัดผลิตภัณฑ์
- ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจากลูกค้า ที่พบปัญหาเศษทองแดง ตกค้างบนผลิตภัณฑ์	 ภาพเศษทองแดง (กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 10 เท่า)  ภาพเศษทองแดง (กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 30 เท่า)

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) แสดงภาพตัวอย่างเศษทองแดงจากการตัดผลิตภัณฑ์

กระบวนการผลิต	ภาพตัวอย่างเศษทองแดงจากการตัดผลิตภัณฑ์	
การตัดแผ่น (VIC)		ภาพเศษทองแดง (กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 10 เท่า)
		ภาพเศษทองแดง (กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 30 เท่า)
การเจาะแผ่น (Piercing)		ภาพเศษทองแดง (กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 10 เท่า)
		ภาพเศษทองแดง (กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 30 เท่า)
การตัดแผ่น (Blanking)		ภาพเศษทองแดง (กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 10 เท่า)
		ภาพเศษทองแดง (กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 30 เท่า)

(ข้อมูลจาก บริษัทผลิตแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้าชนิดอ่อน)

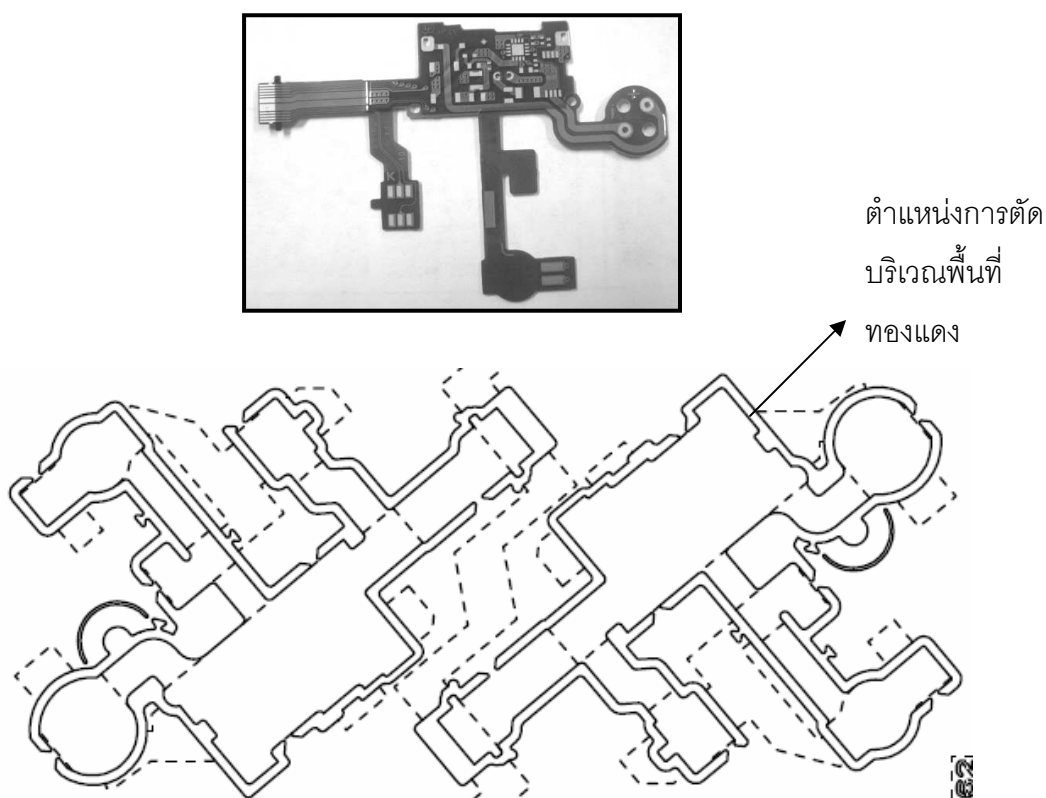
ตารางที่ 4.3 แสดงจำนวนเศษทองแดงที่พบบนกระดาษขาวแต่ละกระบวนการตัดผลิตภัณฑ์

กระบวนการผลิต (ผลิตภัณฑ์ที่ 1 ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ)	กลุ่มการติดตามผล	จำนวนเศษทองแดงบนแผ่นกระดาษขาว (ชิ้น)
การตัดแผ่น (336*500mm, 30 แผ่น)	1	0
	2	0
	3	0
	4	0
	5	0
การเจาะแผ่น (CNC)	1	0
	2	0
	3	0
	4	0
	5	0
การตัดแผ่น (250*318mm)	1	0
	2	0
	3	0
	4	0
	5	0
เจาะโฟลตโฮล	1	0
	2	0
	3	0
	4	0
	5	0
การตัดแผ่น (VIC)	1	93
	2	56
	3	32
	4	88
	5	38
การเจาะแผ่น (Piercing)	1	110
	2	90
	3	82
	4	71
	5	102
การตัดแผ่น (Blanking) (จำนวนเศษทองแดงที่พบ รวม)	1	220(รวม = 423)
	2	210(รวม = 356)
	3	197(รวม = 311)
	4	243(รวม = 402)
	5	189(รวม = 329)

(ข้อมูลจาก บริษัทผลิตแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้าชนิดอ่อน)

จากตารางที่ 4.3 พบว่า กระบวนการตัดผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตขั้นตอนสุดท้าย ที่กระบวนการผลิตย่อย ได้แก่ การตัดแผ่นผลิตภัณฑ์ (VIC process) การเจาะแผ่นผลิตภัณฑ์ (Piercing process) และการตัดผลิตภัณฑ์ (Blanking process) พบปัญหาเศษทองแดงตกค้างบนตัวผลิตภัณฑ์ ดังนั้นความน่าเป็นไปได้ของสาเหตุที่ทำให้เกิดเศษทองแดงตกค้างบนตัวผลิตภัณฑ์ เกิดจากกระบวนการตัดผลิตภัณฑ์

4.2 ศึกษาโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ และตำแหน่งการตัดผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา จากการศึกษาพบว่า โครงสร้างผลิตภัณฑ์จะประกอบด้วยแผ่นฐานผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแผ่นทองแดง (อ้างอิง : ภาพที่ 1 ภาคผนวก ข) และตำแหน่งการตัดบนตัวผลิตภัณฑ์ที่มีการตัดบริเวณพื้นที่ทองแดงในกระบวนการตัดผลิตภัณฑ์ แสดงตามภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 แสดงตำแหน่งการตัดบนตัวผลิตภัณฑ์บริเวณพื้นที่ทองแดง

(ข้อมูลจาก บริษัทผลิตแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้าชนิดอ่อน)

จากการศึกษาดังกล่าว พบว่า การตัดผลิตภัณฑ์ในตำแหน่งที่เป็นพื้นที่ทองแดงในกระบวนการตัดแผ่นผลิตภัณฑ์ การเจาะแผ่นผลิตภัณฑ์ และการตัดผลิตภัณฑ์ มีความเป็นไปได้ที่ทำให้เกิดเศษทองแดงตกค้างบนตัวผลิตภัณฑ์

4.3 ศึกษาความเป็นไปได้ในการแก้ปัญหา โดยอาศัยทฤษฎีการแก้ปัญหการประดิษฐ์ (TRIZ) ตามรายละเอียดดังนี้

ขั้นที่ 1 ตามที่กล่าวมาข้างต้น ว่าการตัดผลิตภัณฑ์ในตำแหน่งที่เป็นพื้นที่ทองแดง มีความเป็นไปได้ทำให้เกิดเศษทองแดงตกค้างบนตัวผลิตภัณฑ์ เมื่อนำปัญหาเหล่านี้มาพิจารณาให้สอดคล้องกับพารามิเตอร์ 39 อย่างของอัลท์ชูลเลอร์ ตามตารางที่ 2.1 พบว่า พารามิเตอร์ที่สอดคล้องกับปัญหาที่เกิดขึ้น ได้แก่

- พารามิเตอร์ที่ 12 คือ รูปร่าง
- พารามิเตอร์ที่ 30 คือ ปัจจัยเป็นโทษที่มีต่อวัตถุ
- พารามิเตอร์ที่ 32 คือ ความสามารถในการผลิตได้
- พารามิเตอร์ที่ 35 คือ ความสามารถในการปรับเปลี่ยน
- พารามิเตอร์ที่ 37 คือ ความซับซ้อนของการควบคุม
- พารามิเตอร์ที่ 39 คือ ผลผลิต

ขั้นที่ 2 นำพารามิเตอร์ที่ได้ในข้อที่ 1.3.1 มาวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีความขัดแย้งทางเทคนิคที่พบในกระบวนการตัดผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาจากพารามิเตอร์ที่ต้องเปลี่ยนแปลงกับผลกระทบที่ไม่พึงปรารถนาของพารามิเตอร์อื่น ๆ แสดงในตารางที่ 4.4 (อ้างอิง : ตารางที่ 1 ภาคผนวก ก (ตารางความขัดแย้งทางเทคนิค))

ตารางที่ 4.4 แสดงการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีความขัดแย้งทางเทคนิค

ลักษณะที่ต้องเปลี่ยน	ความขัดแย้ง (ผลกระทบที่ไม่พึงปรารถนา)	หลักการประดิษฐ์คิดค้น
12. รูปร่าง	30 ปัจจัยเป็นโทษที่มีต่อวัตถุ	22 , 1 , 2 , 35
12. รูปร่าง	32. ความสามารถในการผลิตได้	1 , 32 , 17 , 28
12. รูปร่าง	32. ความสามารถในการผลิตได้	1 , 32 , 17 , 28
32. ความสามารถในการผลิตได้	35 ความสามารถในการปรับเปลี่ยน	2 , 13 , 15
35 ความสามารถในการปรับเปลี่ยน	37 ความซับซ้อนของการควบคุม	1
37 ความซับซ้อนของการควบคุม	39 ผลผลิต	35 , 18

ขั้นที่ 3 เปลี่ยนหลักการประดิษฐ์คิดค้นที่ได้จากตารางความขัดแย้งทางเทคนิค ในข้อ 4.3.2 เป็นแนวทางการแก้ปัญหาในกระบวนการตัดผลิตภัณฑ์ โดยใช้กระบวนการความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบ (อ้างอิง : ตารางหลักการประดิษฐ์คิดค้น (ตารางที่ 2 ภาคผนวก ก)) ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงแนวทางการแก้ปัญหากระบวนการตัดผลิตภัณฑ์
ที่ได้จากหลักการประดิษฐ์คิดค้น

หลักการประดิษฐ์คิดค้น	คำอธิบาย	แนวทางการแก้ปัญหา
1 การแบ่งส่วน	- การแบ่งวัตถุออกเป็นส่วนต่างๆที่เป็นอิสระต่อกัน	แบ่งพื้นที่การตัดผลิตภัณฑ์ออกเป็นส่วนๆ
22 การเปลี่ยนร้ายให้กลายเป็นดี	- ใช้ปัจจัยที่ส่งผลลบเพื่อสร้างผลในทางบวก - กำจัดปัจจัยที่ส่งผลลบออกโดยรวมเข้ากับปัจจัยลบด้านอื่น ๆ	- การกำจัดพื้นที่ทองแดงออกจากผลิตภัณฑ์ - กำจัดเศษทองแดงออกในรูปของเศษการตัดผลิตภัณฑ์
2 การแยกออก	- แยกชิ้นส่วนที่รบกวนออกจากวัตถุ - แยกส่วนที่จำเป็นออกเป็นส่วนเดียว	การตัดผลิตภัณฑ์ในส่วนพื้นที่ทองแดงออกให้หมด

จากแนวความคิดการแก้ปัญหากระบวนการตัดผลิตภัณฑ์ดังกล่าว สามารถเสนอแนวความคิดที่จะใช้เป็นแนวทางการแก้ปัญหา ด้วยกระบวนการความคิดสร้างสรรค์ รายละเอียดตามตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงแนวความคิดที่ได้จากทฤษฎีการแก้ปัญหาการประดิษฐ์
และกระบวนการความคิดสร้างสรรค์

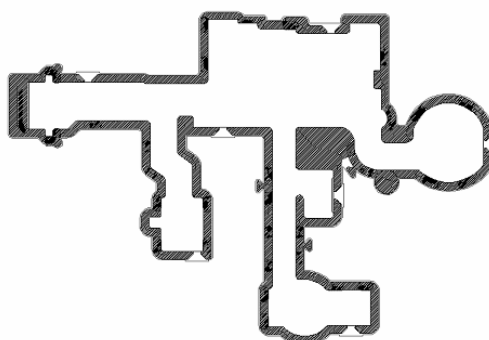
แนวทางการแก้ปัญหา	แนวความคิดในการแก้ปัญหา
- แบ่งพื้นที่การตัดผลิตภัณฑ์ออกเป็น ส่วนๆ - การกำจัดพื้นที่ทองแดงออกจาก ผลิตภัณฑ์ - กำจัดเศษทองแดงออกในรูปของเศษ การตัดผลิตภัณฑ์ - การตัดผลิตภัณฑ์ในส่วนพื้นที่ทองแดง ออกให้หมด	1. การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการตัดผลิตภัณฑ์ โดยการเพิ่มพื้นที่การตัดผลิตภัณฑ์ เพื่อหลีกเลี่ยงการตัด ผลิตภัณฑ์บริเวณพื้นที่ทองแดง
	2. การเปลี่ยนสภาพของผลิตภัณฑ์บริเวณรอยตัด โดยกำจัดส่วนที่เป็นทองแดงออกระหว่างกระบวนการผลิต
	3. การออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ เพื่อง่ายต่อการแบ่งพื้นที่การตัดบริเวณที่ไม่ใช่ทองแดง

4.4 เลือกแนวความคิดในการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้ และเหมาะสมที่สุด จากตารางที่ 4.6 ตามการศึกษาวิจัยเลือกใช้ แนวความคิดที่ 1 คือ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการตัดผลิตภัณฑ์ โดยการเพิ่มพื้นที่การตัดผลิตภัณฑ์ เพื่อหลีกเลี่ยงการตัดผลิตภัณฑ์บริเวณพื้นที่ทองแดง เพื่อลด ปัญหาเศษทองแดงตกค้างบนตัวผลิตภัณฑ์หลังจากกระบวนการตัดผลิตภัณฑ์

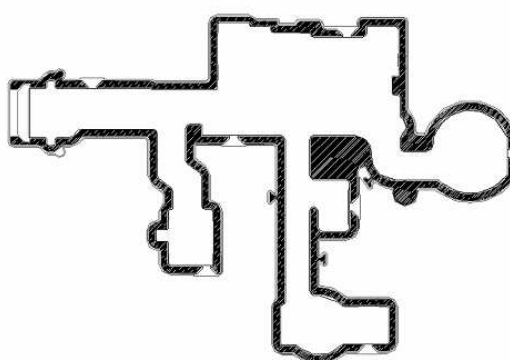
4.5 การทดลองตามแนวทางการแก้ปัญหา นำแนวทางการแก้ปัญหาที่ได้มาทำการทดลอง ตามรายละเอียดดังนี้

ขั้นที่ 1 การออกแบบการทดลอง โดยพิจารณาถึงการเพิ่มพื้นที่การตัดผลิตภัณฑ์ เพื่อหลีกเลี่ยงการตัดผลิตภัณฑ์บริเวณพื้นที่ทองแดง การศึกษาวิจัยแบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 3 กลุ่มการทดลอง ได้แก่ กลุ่มผลิตภัณฑ์ต้นแบบ กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มพื้นที่การตัดผลิตภัณฑ์เฉพาะ ด้านหลัง และกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มพื้นที่การตัดผลิตภัณฑ์ด้านหน้า และด้านหลัง

ขั้นที่ 2 การเขียนแบบการทดลอง เขียนแบบโดยเพิ่มพื้นที่การตัดผลิตภัณฑ์ ตามรายละเอียดของการศึกษาวิจัย ตามตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 ก) การเพิ่มพื้นที่การตัดผลิตภัณฑ์ด้านหลัง



ภาพที่ 4.5 ข) การเพิ่มพื้นที่การตัดผลิตภัณฑ์ด้านหน้า และด้านหลัง

ภาพที่ 4.5 แสดงตำแหน่งพื้นที่การตัดผลิตภัณฑ์ตามการศึกษาวิจัย

4.5 ก) การเพิ่มพื้นที่การตัดผลิตภัณฑ์ด้านหลัง

4.5 ข) การเพิ่มพื้นที่การตัดผลิตภัณฑ์ด้านหน้า และด้านหลัง

ขั้นที่ 3 การสร้างเอกสารในกระบวนการผลิต และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ขั้นที่ 4 การทดลองศึกษาวิจัย ทำการทดลองตามวิธีการติดตามผลในหัวข้อที่ 4.1.1

ในแต่ละกระบวนการตัดผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งกลุ่มการทดลองเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มผลิตภัณฑ์ต้นแบบ กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มพื้นที่การตัดผลิตภัณฑ์เฉพาะด้านหลัง และกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มพื้นที่การตัดผลิตภัณฑ์ด้านหน้า และด้านหลัง แต่ละกลุ่มของการศึกษาวิจัยมีจำนวนกลุ่มย่อย 30 กลุ่ม การออกแบบการทดลอง และผลการทดลองที่ได้ แสดงตามตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงการออกแบบการทดลอง และผลการทดลองที่ได้

กลุ่มการทดลอง ที่	กลุ่มการศึกษาวิจัย (ลักษณะการตัด ผลิตภัณฑ์)	กลุ่มการทดลอง (กลุ่ม) (ขนาดกลุ่มการทดลองต่อกลุ่ม 1,800 ชิ้น)	จำนวนเศษทองแดงที่พบ บนกระดาษขาว (ชิ้น)
1	กลุ่มผลิตภัณฑ์ต้นแบบ	30	7,276
2	กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เพิ่ม พื้นที่การตัดผลิตภัณฑ์ ด้านหลัง	30	5,735
3	กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เพิ่ม พื้นที่การตัดผลิตภัณฑ์ ด้านหน้า และด้านหลัง	30	4,784

หมายเหตุ : ตัวแปรอิสระ คือ ลักษณะการตัดผลิตภัณฑ์ (แบบผลิตภัณฑ์)

ตัวแปรตาม คือ จำนวนเศษทองแดงจากการทดลองเก็บข้อมูลจากการศึกษาวิจัย

ขั้นที่ 5 การวิเคราะห์ และประเมินผลการออกแบบทางสถิติ โดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว เพื่อศึกษาอิทธิพลของลักษณะการตัดผลิตภัณฑ์ ที่ส่งผลต่อจำนวนเศษทองแดงที่ตกค้างบนผลิตภัณฑ์หลังจากกระบวนการตัด

4.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม SPSS (ผลการคำนวณ แสดงในภาคผนวก ค)

สมมุติฐานในการทดสอบ : สมมุติฐานหลัก (H_0) : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

สมมุติฐานรอง (H_A) : $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

ทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ และ $\alpha = 0.01$

หมายเหตุ : การทดสอบนี้เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น

1. กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มเลือกมาอย่างสุ่มจากประชากรที่มีการแจกแจงของค่าตัวแปรที่ศึกษาเป็นแบบปกติ
2. กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มเป็นอิสระต่อกัน
3. $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2$ (ความแปรปรวนของกลุ่มการทดลองเท่ากัน)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และ 4.10

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการประมวลผล
ด้วยโปรแกรม SPSS ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ($\alpha = 0.05$)

ANOVA

เศษทองแดงที่พบบนแผ่นกระดาษขาว

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	105434.956	2	52717.478	13.630	.000
Within Groups	336493.100	87	3867.737		
Total	441928.056	89			

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการประมวลผลด้วย
โปรแกรม SPSS ที่ระดับนัยสำคัญ 99% ($\alpha = 0.01$)

ANOVA

เศษทองแดงที่พบบนแผ่นกระดาษขาว

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	105434.956	2	52717.478	13.630	.000
Within Groups	336493.100	87	3867.737		
Total	441928.056	89			

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 4.9 และ 4.10 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ และ $\alpha = 0.01$ ผลการวิเคราะห์ของทั้งสองระดับนัยสำคัญมีค่าเท่ากัน คือ ค่า sig = 0.000 มีค่าน้อยกว่า $\alpha = 0.05$ และ $\alpha = 0.01$ แสดงว่าค่า F มีนัยสำคัญ ในการวิเคราะห์จึงทำการปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 ที่ว่า กลุ่มผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 กลุ่มมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเศษทองแดงตกค้างหลังจากกระบวนการตัดผลิตภัณฑ์เท่ากัน และยอมรับสมมติฐานรอง H_A ที่ว่า กลุ่มผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 กลุ่มมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเศษทองแดงตกค้างหลังจากกระบวนการตัดผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน ($\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$)

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ว่ากลุ่มผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 กลุ่มมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเศษทองแดงตกค้างบนผลิตภัณฑ์ต่างกัน ทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มการทดลองตามวิธีของ เชฟฟ์ (Scheffe')

สมมติฐานในการทดสอบ : สมมติฐานหลัก (H_0) : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

สมมติฐานรอง (H_A) : $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

ทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ และ $\alpha = 0.01$

ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มการทดลอง แสดงตามตารางที่ 4.11 และ 4.12

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มการทดลองจากการประมวลผลด้วยโปรแกรม SPSS ที่ระดับนัยสำคัญ 95%

($\alpha = 0.05$)

Multiple Comparisons

เส้นทแยงแดงที่พบบนแผ่นกระดาษกราฟ
Scheffe

(I), กลุ่ม การ ทดลอง	(J), กลุ่ม การ ทดลอง	Mean Difference (I- J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	51.367 [*]	16.058	.008	11.38	91.36
	3	83.067 [*]	16.058	.000	43.08	123.06
2	1	-51.367 [*]	16.058	.008	-91.36	-11.38
	3	31.700	16.058	.149	-8.29	71.69
3	1	-83.067 [*]	16.058	.000	-123.06	-43.08
	2	-31.700	16.058	.149	-71.69	8.29

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

เส้นทแยงแดงที่พบบนแผ่นกระดาษกราฟ

Scheffe

กลุ่ม การ ทดลอง	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
3	30	159.47	242.53
2	30	191.17	
1	30		
Sig.		.149	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มการ
ทดลองจากการประมวลผลด้วยโปรแกรม SPSS
ที่ระดับนัยสำคัญ 99% ($\alpha = 0.01$)

Multiple Comparisons

เส้นทองแดงที่พบบนแผ่นกระดาษขาว
Scheffe

(I). กลุ่ม การ ทดลอง	(J). กลุ่ม การ ทดลอง	Mean Difference (I- J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	51.367 ^a	16.058	.008	1.32	101.42
	3	83.067 ^a	16.058	.000	33.02	133.12
2	1	-51.367 ^a	16.058	.008	-101.42	-1.32
	3	31.700	16.058	.149	-18.35	81.75
3	1	-83.067 ^a	16.058	.000	-133.12	-33.02
	2	-31.700	16.058	.149	-81.75	18.35

*. The mean difference is significant at the 0.01 level.

เส้นทองแดงที่พบบนแผ่นกระดาษขาว

กลุ่ม การ ทดลอง	N	Subset for alpha = 0.01	
		1	2
3	30	159.47	242.53
2	30	191.17	
1	30		
Sig.		.149	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จากตารางที่ 4.11 และ 4.12 ผลที่ได้จากการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยพบว่า กลุ่มการทดลองที่ 1 และ 2 มีค่า sig = 0.008 มีค่าน้อยกว่า $\alpha = 0.05$ แสดงว่า ปฏิเสธสมมุติฐานหลัก H_0 นั่นคือ กลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของจำนวนเศษทองแดงตกค้างหลังจากกระบวนการตัดผลิตภัณฑ์มากกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.01

กลุ่มการทดลองที่ 1 และ 3 มีค่า sig = 0.000 มีค่าน้อยกว่า $\alpha = 0.05$ แสดงว่า ปฏิเสธสมมุติฐานหลัก H_0 นั่นคือ กลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของจำนวนเศษทองแดงตกค้างหลังจากกระบวนการตัดผลิตภัณฑ์มากกว่ากลุ่มการทดลองที่ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.01

กลุ่มการทดลองที่ 2 และ 3 มีค่า $\text{sig} = 0.149$ มีค่ามากกว่า $\alpha = 0.05$ แสดงว่า ปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 นั่นคือ กลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของจำนวนเศษทองแดงตกค้าง หลังกระบวนการตัดผลิตภัณฑ์เท่ากับกลุ่มการทดลองที่ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.01

การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิเคราะห์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.01 ให้ผลการทดสอบที่เหมือนกัน คือ กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของจำนวนเศษทองแดงตกค้างหลังจากกระบวนการตัดผลิตภัณฑ์สูงสุด และแตกต่างจากกลุ่มการทดลองที่ 2 และกลุ่มการทดลองที่ 3 ซึ่งกลุ่มผลิตภัณฑ์ทั้งสองมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเศษทองแดงตกค้างหลังจากกระบวนการตัดผลิตภัณฑ์เท่ากัน

ดังนั้น การทดลองศึกษาวิจัย สรุปผลการทดลองตามตารางที่ 4.9 และ 4.10 ได้ว่า กลุ่มผลิตภัณฑ์ต้นแบบมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเศษทองแดงตกค้างหลังกระบวนการตัดผลิตภัณฑ์แตกต่างจากกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มพื้นที่การตัดผลิตภัณฑ์เฉพาะด้านหลัง และกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มพื้นที่การตัดผลิตภัณฑ์ด้านหน้า และด้านหลัง และผลจากตารางที่ 4.11 และ 4.12 พบว่า กลุ่มผลิตภัณฑ์ต้นแบบมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเศษทองแดงตกค้างหลังจากกระบวนการตัดผลิตภัณฑ์สูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มพื้นที่การตัดผลิตภัณฑ์เฉพาะด้านหลัง และกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มพื้นที่การตัดผลิตภัณฑ์ด้านหน้า และด้านหลัง ผลการทดลองดังกล่าวสรุปได้ว่า การปรับปรุงลักษณะการตัดผลิตภัณฑ์มีผลทำให้เศษทองแดงที่ตกค้างหลังกระบวนการตัดผลิตภัณฑ์ลดลง และการเพิ่มพื้นที่การตัดผลิตภัณฑ์ด้านหน้า และด้านหลังทำให้เกิดเศษทองแดงตกค้างน้อยที่สุด การตัดผลิตภัณฑ์ลักษณะนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการออกแบบผลิตภัณฑ์อื่น เพื่อเป็นแนวทางการลดปัญหาเศษทองแดงตกค้างหลังกระบวนการตัดผลิตภัณฑ์ที่ส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์