การออกแบบข้อกำหนดทางวิศวกรรมและทางการผลิตของอุปกรณ์เคลื่อนที่ขดลวดแม่เหล็ก โดยใช้เทคนิคการแปลความต้องการของลูกค้า

นายไพฑูรย์ พรหมสาขา ณ สกลนคร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545.....
ISBN 974-17-1835-7
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DESIGN OF ENGINEERING AND MANUFACTURE SPECIFICATION OF ACTUATOR MAGNETIC WIRE USING QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT

Mr. Paitoon Promsakanasakolnakorn

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-1835-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบข้อกำหนดทางวิศวกรรมและทางการผลิตของอุปกรณ์เคลื่อนที่ขดลวดแม่เหล็กโดยใช้เทคนิคการแปลความต้องการของลูกค้า
โดย	นายไพฑูรย์ พรหมสาขา ณ สกลนคร
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริจิรวนิช)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)

……. กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน)

……. กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไพฑูรย์ พรหมสาขา ณ สกลนคร : การออกแบบข้อกำหนดทางวิศวกรรมและทางการผลิตของอุปกรณ์เคลื่อนที่ขดลวดแม่เหล็กโดยใช้เทคนิคการแปลความต้องการของลูกค้า. (DESIGN OF ENGINEERING AND MANUFACTURE SPECIFICATION OF ACTUATOR MAGNETIC WIRE USING QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร, 118หน้า. ISBN 974-17-1835-7.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอให้เห็นถึงการสร้างระบบการออกแบบอุปกรณ์เคลื่อนที่ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าให้ตรงกับความต้องการของลูกค้าโดยอาศัยกลไกในการแปลงความต้องการของลูกค้าไปสู่ข้อกำหนดทางวิศวกรรมและการผลิตอย่างเป็นระบบ หรือที่เรียกว่าเทคนิคการแปลความต้องการด้านคุณภาพ (Quality Function Deployment) นับตั้งแต่การนำเอารายละเอียดความต้องการของลูกค้าที่ทราบมาทำการวิเคราะห์ลำดับความสำคัญ ก่อนที่จะแปรไปสู่ความต้องการของผลิตภัณฑ์และการกำหนดเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการวางข้อกำหนดควบคุมต่างๆด้านคุณภาพ ทั้งในตัวของผลิตภัณฑ์และระบบกลไกที่เป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์จนถึงการวางแผนกระบวนการผลิตและการควบคุม กระบวนการดังกล่าวเป็นระบบกลไกของการออกแบบผลิตภัณฑ์อย่างเป็นลำดับโดยใช้ตารางคุณภาพเชื่อมความสัมพันธ์ในแต่ละขั้นตอน ซึ่งเป็นกระบวนการเริ่มต้นจากความหลากหลายของความต้องการจากลูกค้าต่างๆ แต่ในงานศึกษาวิจัยนี้จะอิงลูกค้ารายเดียว

ผลการดำเนินการออกแบบผลิตภัณฑ์อย่างมีลำดับขั้นตอนด้วยแนวทางที่แสดงไว้ในงานวิจัยนี้ทำให้ได้ข้อกำหนดที่เป็นเกณฑ์ในการควบคุมและวัดผลของความสามารถในการสนองตอบต่อความต้องการของลูกค้าต่อตัวผลิตภัณฑ์อย่างครบถ้วน ความสามารถในการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าสามารถยืนยันได้จากผลการทดสอบกระบวนการผลิตและกระบวนการประกอบเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของข้อกำหนดด้านวิศวกรรม จึงทำให้แน่ใจได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำการออกแบบจนถึงกระบวนการผลิตนั้นจะได้รับการตอบรับจากลูกค้าได้เป็นอย่างดี และกลไกในการแปลงความต้องการของลูกค้าไปสู่ข้อกำหนดทางวิศวกรรมและการผลิตที่ได้เสนอไว้ในงานวิจัยนี้ยังสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางให้กับผู้ปฏิบัติงานหรือผู้สนใจเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานให้ดีขึ้น

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2545

4371465221: MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD:Actuator Coil / Quality Function Deployment / House Of Quality / Failure Mode and Effect Analysis

PAITOON PROMSAKANASAKOLNAKORN: DESIGN OF ENGINEERING AND MANUFACTURE SPECIFICATION OF ACTUATOR MAGNETIC WIRE USING QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT. THESIS ADVISOR: ASSIST. PROF. SOMCHAI POURJINDANET, Ph.D. 118 pp. ISBN 974-17-1835-7.

This research describes Quality Function Deployment (QFD), which systematically create technical support design and develop Actuator Coil to serve customer's need. The systematic process being used since analysis of customer's need by calculating a mechanism weight. Then, Quality function deployment (QFD) is becoming customer-oriented approach Product requirement, Product strategy and specified critical to quality characteristic. The target products' functions and mechanisms are deployed in parallel into hierarchical structures, and the mechanism that most requires technical innovation is specified. The technical problems to be solved are defined by considering the relationship between the specified mechanism and corresponding functions or quality characteristics by using quality house. The effectiveness process can go through process planning and process control. The process for customers would usually have several sources of information but the case being presented is in fact for one customer.

The result of QFD systematic process creates mechanism and corresponding functions or critical quality characteristics specification to support a whole of customer's need. The target product's functions had been proved by all customer's need had been served when analyze the final testing result compare to engineering specification found all parameter pass to spec. The result will make sure customer feedback is in positive. A structured technique of Quality Function Deployment (QFD) description is also be used as guideline to perform.

Department Industrial Engineering Student's signature……

Field of study Industrial Engineering Advisor's signature……

Academic year 2002

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เนื่องมาจากความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร รวมทั้งคณาจารย์และเจ้าหน้าที่จากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พร้อมทั้งเพื่อนร่วมงานและการสนับสนุนส่งเสริมด้านการศึกษาจากครอบครัว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทที่ หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ฎ

สารบัญรูป.....ฒ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 2

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 3

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 3

1.3.1 ข้อตกลงเบื้องต้น.....4

1.3.2 ข้อจำกัดของการวิจัย.....4

1.3.3 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย..... 4

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....5

1.5 ขั้นตอนหรือแนวทางของการดำเนินงานวิจัย..... 5

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการแปรความต้องการของลูกค้าสู่ความต้องการของผลิตภัณฑ์..... 6

2.2 หลักการเกี่ยวกับการแปลความต้องการของลูกค้า QFD (Qulaity function deployment).....10

2.2.1 การใช้ประโยชน์จากแบบสอบถาม..... 10

2.2.2 จุดประสงค์ของกระบวนการ QFD.....11

2.2.3 กระบวนวิธีพื้นฐานของ QFD.....11

2.3 ขั้นตอนพื้นฐานของการดำเนินการ QFD..... 11

2.4 หลักการเกี่ยวกับ FMEA..... 13

2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 16

บทที่ หน้า

2.6 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์.....19
2.6.1 หลักการแม่เหล็กไฟฟ้า.....19
2.6.2 แรงกระทำต่อเส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน.....19
2.6.3 หลักการของอุปกรณ์เคลื่อนที่ขดลวดแม่เหล็ก.....20
2.6.4 ลักษณะและความต้องการของผลิตภัณฑ์.....20
2.7 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์.....21
2.7.1 มาตรฐาน NEMA.....21
2.7.2 มาตรฐาน IEC.....21
2.7.3 มาตรฐาน ASTM 21

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย
3.1 วิธีเตรียมความพร้อมของปัจจัยในการดำเนินงานวิจัย.....22
3.1.1 ดำเนินการจัดตั้งกลุ่มผู้ปฏิบัติงานและวางภาระหน้าที่ของ
กลุ่มผู้ปฏิบัติงาน.....22
3.1.2 กำหนดเป้าหมายและวัตถุประสงค์.....23
3.1.3 ประเมินและกำหนดกลุ่มลูกค้า.....24
3.1.4 กำหนดแผนงานด้านเวลา.....24
3.1.5 ศึกษาแนวความคิดของผลิตภัณฑ์.....24
3.1.6 จัดระเบียบข้อตกลงภายในกลุ่ม.....24
3.1.7 กำหนดแผนงานในส่วนงาน QFD.....25
3.1.8 จัดเตรียมองค์ประกอบเพื่อดำเนินงาน.....25
3.2 วิธีการวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning).....25
3.3 วิธีวางแนวคิดและแนวทางการออกแบบ (Product deployment).....27
3.4 วิธีการออกแบบกระบวนการผลิต และการวางแผนควบคุมการผลิต
(Process Planning and process control).....28
3.5 วิธีทดสอบการผลิต.....29
3.5.1 การทดสอบการผลิตขดลวด.....29
3.5.1.1 ทำการทดลองพันขดลวดสำหรับงานต้นแบบ.....29
3.5.1.2 ยืนยันผลการผลิต.....29

บทที่ หน้า

3.5.2 การทดสอบการผลิตกรอบขดลวด.....29
3.5.3 การทดสอบการประกอบชุดขดลวด.....30

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย
4.1 ผลการวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning) 32
4.1.1 ผลการประเมินความต้องการของลูกค้า
4.1.1.1 ผลการจัดหมวดหมู่ความต้องการของลูกค้า..... 32
4.1.1.2 ผลการจัดลำดับความสำคัญของความต้องการของลูกค้า.....33
4.1.2 ผลการจัดทำข้อกำหนดของความต้องการของผลิตภัณฑ์.....34
4.1.3 ผลการจัดลำดับความสำคัญของรายการความต้องการของผลิตภัณฑ์ 36
4.1.4 ผลการจัดทำแผนกลยุทธ์ในการออกแบบพัฒนา.....37
4.1.4.1. ข้อกำหนดเบื้องต้นของความต้องการผลิตภัณฑ์..... 37
4.1.4.2. การจัดกลุ่มความต้องการของผลิตภัณฑ์..... 38
4.1.4.3. สรุปการจัดทำแผนกลยุทธ์ในการออกแบบพัฒนา..... 40
4.2. ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Assembly part development)..... 41
4.2.1 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของผลิตภัณฑ์
สู่ความต้องการของส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์.....42
4.2.2 ผลการแปรความต้องการของผลิตภัณฑ์สู่ความต้องการ
ของส่วนประกอบขดลวด.....43
4.2.2.1 การออกแบบขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnet wire)..... 44
4.2.3 ผลการแปรความต้องการของผลิตภัณฑ์สู่ความต้องการของ
ส่วนประกอบกรอบขดลวด.....57
4.2.3.1. การออกแบบกรอบขดลวด (Frame coil design)..... 59
4.2.4 ผลการแปรความต้องการของผลิตภัณฑ์สู่ความต้องการของกาว.....60
4.2.4.1. ผลของการเลือกใช้กาว..... 63
4.2.5 ผลการแปรความต้องการของผลิตภัณฑ์สู่ความต้องการของ
จุดเชื่อมกระแสไฟฟ้า.....65
4.2.5.1. ผลการประเมินกระบวนการผลิตจุดเชื่อมกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม...66
4.2.5.2. การออกแบบจุดเชื่อมต่อกระแสไฟฟ้า (Solder joint)..... 66

บทที่ หน้า

4.3 ผลการวางแผนกระบวนการผลิต (Process Planning)……..68

4.3.1 การวางแผนกระบวนการผลิตขดลวดเบื้องต้น (Coil wiring Process Planning)……68

4.3.1.1 กระบวนการผลิตขดลวดเบื้องต้นในรูปสัญลักษณ์ (Coil wiring Process flow diagram)…… 69

4.3.2 การวางแผนกระบวนการผลิตกรอบขดลวดเบื้องต้น (Frame Coil Process Planning)……70

4.3.2.1 กระบวนการผลิตกรอบขดลวดในรูปการใช้สัญลักษณ์ (Frame Coil Process flow diagram)…….. 73

4.3.3 การวางแผนกระบวนการประกอบ (Parts Assembly Process flow)……. 74

4.3.3.1 กระบวนการประกอบในรูปการใช้สัญลักษณ์ (Parts Assembly Process flow diagram)……..76

4.4. ผลการวางแผนควบคุมการผลิต (Process control)…….. 77

4.4.1 กระบวนการควบคุมการผลิตขดลวด (Coil wiring Process control)……..77

4.4.2 กระบวนการควบคุมการผลิตกรอบขดลวด (Frame Coil/Process control)……..79

4.4.3 กระบวนการควบคุมการประกอบชุดขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า (Actuator Coil Assembly Process Control)…….84

4.5 ผลการทดสอบการผลิต

4.5.1 ผลการทดสอบการผลิตขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า.....89

4.5.2 ผลการทดสอบการผลิตกรอบขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า……..98

4.5.3 ผลการทดสอบการประกอบชุดขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า……...103

บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัย

5.1 อภิปรายผลการวิจัย.....107

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย.....109

บทที่ หน้า

6.1.1 สรุปผลการจัดเตรียมความพร้อมของปัจจัยการดำเนินงาน.....109
6.1.2 สรุปผลการวางแผนผลิตภัณฑ์..... 110
6.1.3 สรุปผลการวางแผนพัฒนาผลิตภัณฑ์.....110
6.1.4 สรุปการวางแผนกระบวนการผลิต.....111
6.1.5 สรุปการวางแผนควบคุมการผลิต.....111
6.1.6 สรุปผลการทดสอบการผลิต.....111
6.2 ข้อเสนอแนะ.....112

รายการอ้างอิง.....113
ภาคผนวก ก . ข้อมูลและเทคนิคกระบวนการที่ใช้ในการผลิตชุดขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า
ข้อมูลรายชื่อและลายละเอียดผู้ผลิตเส้นลวด.....114
เทคนิคการเคลือบผิวขดลวดทองแดงด้วยสารที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนนำไฟฟ้า..... 114
ขบวนการทำให้ผิวชิ้นงานเรียบโดยการใช้ประจุไฟฟ้า.....116

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....118

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

บทที่ 1

บทที่ 2

ตาราง 2.1 ประเภทของความสัมพันธ์ของการใช้ QFD.....10

ตาราง 2.2 เกณฑ์การประเมินความรุนแรง (Severity) ในการดำเนินการ FMEA..... 14

ตาราง 2.3 เกณฑ์การประเมินโอกาสในการเกิด (Occurrence) ในการดำเนินการ FMEA15

ตาราง 2.4 เกณฑ์การประเมินการตรวจจับ (Detection) ในการดำเนินการ FMEA..... 16

บทที่ 3

บทที่ 4

ตาราง 4.1 การจัดหมวดความต้องการลูกค้า.....33

ตาราง 4.2 การจัดลำดับความสำคัญของความต้องการ.....33

ตาราง 4.3 ผลของข้อกำหนดของความต้องการของผลิตภัณฑ์.....34

ตาราง 4.4 ตารางคุณภาพแปรความต้องการของลูกค้าสู่ความต้องการของผลิตภัณฑ์.....35

ตาราง 4.5 ผลของค่าความสำคัญในรายการความต้องการของผลิตภัณฑ์.....36

ตาราง 4.6 ผลการจัดความสำคัญของกลุ่มความต้องการของผลิตภัณฑ์.....40

ตาราง 4.7 ผลการจัดค่าความสำคัญของความต้องการของผลิตภัณฑ์.....41

ตาราง 4.8 ผลการแปรความต้องการของผลิตภัณฑ์สู่ความต้องการของส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์.....42

ตาราง 4.9 ผลการแปรความต้องการผลิตภัณฑ์สู่ความต้องการของส่วนประกอบขดลวด.....43

ตาราง 4.10 ข้อกำหนดของขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า.....44

ตาราง 4.11 ข้อมูลเปรียบเทียบคุณสมบัติของสารเคลือบผิวเส้นลวดอ้างอิงมาตรฐานNEMA.....46

ตาราง 4.12 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของสารเคลือบผิวเส้นลวด.....47

ตาราง 4.13 ผลการคำนวณความยาวของเส้นลวดเปรียบเทียบกับขนาดมาตรฐานที่ใช้พันขดลวดหนาชั้นเดียว.....50

บทที่ หน้า

ตาราง 4.14 ผลการคำนวณจำนวนชั้นขดลวดเปรียบเทียบกับขนาดมาตรฐาน.....50
ตาราง 4.15 ผลการคำนวณความยาวทั้งหมดของเส้นลวดที่ใช้พันขดลวด
แม่เหล็กไฟฟ้า.....51
ตาราง 4.16 ผลการคำนวณขนาดขดลวดมาตรฐานเทียบกับค่า
ความต้านทานที่ควรได้.....51
ตาราง 4.17 ข้อมูลมาตรฐานขนาดเส้นลวดเทียบกับคุณสมบัติอื่น ๆ.....52
ตาราง 4.18 ผลของค่าความต้านทานในการพันขดลวดโดยการปรับเปลี่ยน
ความเร็วรอบ..... 54
ตาราง 4.19 ผลของค่าความต้านทานในการพันขดลวดเมื่อปรับเปลี่ยนค่าแรงดึง.....55
ตาราง 4.20 ผลการแปรความต้องการผลิตภัณฑ์สู่ความต้องการของส่วนประกอบ
กรอบขดลวด.....57
ตาราง 4.21 ผลการใช้วัสดุที่ใช้ทำกรอบขดลวด.....59
ตาราง 4.22 ผลการแปรความต้องการของผลิตภัณฑ์สู่ความต้องการของกาว.....61
ตาราง 4.23 เปรียบเทียบคุณสมบัติของกาวประเภทต่าง.....62
ตาราง 4.24 ผลการวัดค่าความสำคัญของคุณสมบัติกาว.....63
ตาราง 4.25 ผลการแปรความต้องการของผลิตภัณฑ์สู่ความต้องการของจุดเชื่อม
กระแสไฟฟ้า.....65
ตาราง 4.26 ผลการเปรียบเทียบกระบวนการผลิตจุดเชื่อมกระแสไฟฟ้า.....66
ตาราง 4.27 ผลการแปรความต้องการของขดลวดสู่ความต้องการของกระบวน
การผลิต.....68
ตาราง 4.28 ขบวนการผลิตขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า.....70
ตาราง 4.29 ผลการแปรความต้องการสู่กระบวนการผลิตกรอบขดลวด.....71
ตาราง 4.30 ผลการเปรียบเทียบขบวนการขึ้นรูปกรอบขดลวด.....72
ตาราง 4.31 ผลการแปรความต้องการของชิ้นส่วนองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์
สู่ความต้องการของกระบวนการประกอบ.....74
ตาราง 4.32 ผลการจัดค่าความสำคัญของกระบวนการประกอบ.....75
ตาราง 4.33 ผลการแปรความต้องการของกระบวนการผลิตสู่กระบวนการควบคุมการ
ผลิตขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า.....77

บทที่ หน้า

ตาราง 4.34 รายละเอียดกระบวนการผลิตและกระบวนการควบคุมการผลิตขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า.....78
ตาราง 4.35 ผลการแปรความต้องการของกระบวนการผลิตสู่กระบวนการควบคุมการผลิตกรอบขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า.....79
ตาราง 4.36 รายละเอียดกระบวนการผลิตและกระบวนการควบคุมการผลิตกรอบขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า.....81
ตาราง 4.37 กระบวนการวิเคราะห์จุดวิกฤตของกระบวนการประกอบโดยการใช้ FMEA.....85
ตาราง 4.38 รายละเอียดกระบวนการประกอบและกระบวนการควบคุมการประกอบชุดขดลวดไฟฟ้าสนามแม่เหล็ก.....87
ตาราง 4.39 ผลการผลิตชิ้นงานต้นแบบขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า.....90
ตาราง 4.40 ผลการผลิตชิ้นงานขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า.....94
ตาราง 4.41 ผลการตรวจสอบงานต้นแบบกรอบขดลวด.....99
ตาราง 4.42 ผลการตรวจสอบงานประกอบชุดขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า.....104
ตาราง 4.43 ผลการตรวจสอบสารระเหิดจากงานประกอบ.....106
ตาราง 4.44 ผลการตรวจสอบความสะอาดของงานประกอบ.....106

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก1 รายละเอียดข้อมูลผู้ผลิตเส้นลวดสำหรับอุตสาหกรรม.....114
ตารางที่ ก2 รายละเอียดกระบวนการขัดผิวกรอบขดลวดด้วยกระแสไฟฟ้า.....116

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

บทที่ 1

รูปที่ 1.1 ภาพแสดงส่วนประกอบอุปกรณ์เคลื่อนที่ขดลวดแม่เหล็ก.....4

บทที่ 2

รูปที่ 2.1 ตารางคุณภาพ (House of Quality).....6

รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของการใช้ตารางคุณภาพในการวิเคราะห์.....8

รูปที่ 2.3 กระบวนวิธีดำเนินการ QFD.....12

รูปที่ 2.4 ภาพแสดงส่วนประกอบอุปกรณ์เคลื่อนที่ขดลวดแม่เหล็ก.....20

บทที่ 3

รูปที่ 3.1 แผนผังแนวทางการดำเนินงานวิจัย.....31

บทที่ 4

รูปที่ 4.1 ภาพการใช้โปรแกรมในการช่วยงานออกแบบขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า.....49

รูปที่ 4.2 แบบแสดงขนาดขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า..... 53

รูปที่ 4.3 แบบแสดงขนาดของกรอบขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า..... 60

รูปที่ 4.4 แนวทางเบื้องต้นของการออกแบบจุดเชื่อกระแสไฟฟ้า.....66

รูปที่ 4.5 แบบแสดงขนาดของจุดเชื่อมกระแสไฟฟ้า..... 67

รูปที่ 4.6 กระบวนการผลิตกรอบขดลวด.....73

รูปที่ 4.7 กระบวนการประกอบขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า..... 76

รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตงานต้นแบบส่วนของพารามิเตอร์ ความกว้างของขดลวด..... 91

รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตงานต้นแบบ ส่วนของพารามิเตอร์ ความหนาของขดลวด.....91

รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตงานต้นแบบ ส่วนของพารามิเตอร์ ความต้านทานไฟฟ้า.....92

รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า ส่วนของพารามิเตอร์ความกว้างของขดลวด.....97

รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตผลิตขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า ส่วนของพารามิเตอร์ความหนาของขดลวด.....97

บทที่ หน้า

รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตผลิตขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า
ส่วนของพารามิเตอร์ค่าความต้านทาน..... 98

ภาคผนวก ก

รูปที่ ก1 กระบวนการเคลือบผิวเส้นลวด..... 115

รูปที่ ก2 ภาพแสดงเครื่องElectro Chemical Deburring (ECD)..... 117

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

เทคนิคการกระจายคุณภาพเป็นเสมือนเครื่องมืออันสำคัญในการช่วยงานวิจัยและพัฒนา โดยที่เทคนิคนี้เป็นการพัฒนาหลักการด้านงานควบคุมคุณภาพในงานผลิต ควบคุมกระบวนการผลิต พัฒนาไปสู่การนำหลักการนี้ไปใช้ในการทำงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่

หลักการสำคัญของการกระจายคุณภาพสู่ผลิตภัณฑ์ เน้นการมุ่งเน้นให้ตัวผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตสามารถสนองตอบและรองรับความต้องการที่แท้จริงของกลุ่มผู้บริโภค โดยมุ่งเน้นการรวบรวมตวามต้องการของลูกค้ามาแปลงสู่ความต้องการและข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ หมายความว่าข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นมีที่มาจากความต้องการของผู้บริโภค ในด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ โดยการนำข้อมูลต่าง ๆ มาทำการแสดงเปรียบเทียบให้เห็นเด่นชัดในรูปของตารางที่เรียกว่า “House of Quality” เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้น

ประโยชน์ของการนำกระบวนการกระจายคุณภาพสู่ผลิตภัณฑ์สามารถสรุปให้เห็น คือ ช่วยลดระยะเวลาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในการออกสู่ตลาด ลดการเปลี่ยนแปลการออกแบบที่เกิดบ่อยครั้งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ลดมูลค่าในการใช้จ่ายสำหรับงานออกแบบและงานผลิต ใช้เป็นการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพื่อเพิ่มความพึงพอใจในตัวผลิตภัณฑ์ให้แก่ลูกค้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในประเทศไทยอุตสาหกรรมการผลิตยังมีจำนวนบริษัทมากมายที่ทำหน้าที่เป็นบริษัทคู่ค้ากับกลุ่มบริษัท OEM (Original Equipment Manufacturing) ในต่างประเทศ นอกจากนั้นแล้วยังต้องมีการแข่งขันกับบริษัทคู่ค้าในต่างประเทศ ดังนั้นกระบวนการผลิตที่มีคุณภาพจะเป็นเหตุผลซึ่งทำให้ได้มาของปริมาณการสั่งซื้อ

ด้วยสภาวะทางเศรษฐกิจของโลกและแนวนโยบายกลยุทธ์ในการลดต้นทุนการผลิตของบริษัทยักษ์ใหญ่ ที่เคยมีความต้องการให้บริษัทคู่ค้าดำเนินการผลิตตามการออกแบบและการวางแผนทางด้านกระบวนการผลิตที่ได้ถูกกำหนดไว้เรียบร้อยแล้ว ได้เปลี่ยนแปลงเป็นการทำธุรกิจแบบเหมารวม (turn key) โดยให้บริษัทคู่ค้าดำเนินการออกแบบผลิตภัณฑ์และการออกแบบกระบวนการผลิตเอง ทั้งนี้บริษัทที่เป็น OEM จะตรวจสอบประสิทธิภาพและคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังจากที่ได้ทำการผลิตแล้วเสร็จ ให้เป็นไปตามความต้องการ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการที่จะได้มาซึ่งปริมาณการสั่งซื้อจากบริษัทที่เป็น OEM บริษัทคู่ค้าจำเป็นจะต้องมีความสามารถในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ เพื่อบรรลุตามความต้องการของลูกค้า นอกจากนั้นยังจะต้องมีราคาที่เหมาะสม

โดยปกติแล้วการเริ่มทำการผลิตหลังการออกแบบ มักจะประสบกับปัญหา คือการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตอันเนื่องมาจากความผิดพลาดของกระบวนการออกแบบในบางขั้นตอน ซึ่งจะต้องใช้เวลาในการสืบค้นและแก้ปัญหา ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวนั้นเป็นช่วงที่จะต้องเกิดความสูญเสียอันเนื่องมาจากของเสียในระบบ ทำให้เกิดต้นทุนที่สูงในช่วงเวลาเริ่มต้นการผลิต ซึ่งถือเป็นจุดด้อยในการแข่งขัน

ถ้าการออกแบบถูกวางระบบเพื่อใช้ควบคุมและสืบค้นความผิดพลาดจะสามารถทำให้ความผิดพลาดอันเกิดจากระบวนการออกแบบลดน้อยลง หรือสามารถลดเวลาการสืบค้นเพื่อแก้ไขความผิดพลาดนั้น โดยใช้เวลาน้อยลงเป็นการลดภาระต้นทุนของการเริ่มต้นผลิต เพื่อเป็นประโยชน์ในการแข่งขัน

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์แสดงขั้นตอนการออกแบบ และพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยการวางระบบในการศึกษาควบคุมในแต่ละขั้นตอนของการออกแบบ เพื่อเป็นแนวทางให้มองเห็นถึงกรรมวิธีการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะส่งผลให้อุตสาหกรรมการผลิตในประเทศไทยมีการพัฒนาก้าวหน้าต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. สร้างระบบการออกแบบอุปกรณ์เคลื่อนที่ขดหลวดแม่เหล็กให้ตรงกับความต้องการของลูกค้า
2. สร้างกลไกในการแปลงความต้องการของลูกค้าไปสู่ข้อกำหนดทางวิศวกรรมและการผลิต

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แสดงรายละเอียดกระบวนการวิธี เทคนิคการกระจายคุณภาพในการดำเนินการทำการออกแบบงานผลิต งานขดลวดสนามแม่เหล็กที่ใช้ในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ด้านอิเล็คทรอนิคส์

เทคนิคการกระจายคุณภาพเป็นเสมือนเครื่องมืออันสำคัญในการช่วยงานวิจัยและพัฒนา โดยที่เทคนิคนี้เป็นการพัฒนาหลักการด้านงานควบคุมคุณภาพในงานผลิต ควบคุมกระบวนการผลิต พัฒนาไปสู่การนำหลักการนี้ไปใช้ในการทำงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่

หลักการสำคัญของการกระจายคุณภาพสู่ผลิตภัณฑ์ เน้นการมุ่งเน้นให้ตัวผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตสามารถสนองตอบและรองรับความต้องการที่แท้จริงของกลุ่มผู้บริโภค ทั้งนี้หมายความว่าข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์เกิดสืบเนื่องมาจากความต้องการของผู้บริโภค ในด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ โดยการนำข้อมูลต่าง ๆ มาทำการแสดงเปรียบเทียบให้เห็นเด่นชัดในรูปของตารางที่เรียกว่า “House of Quality” เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้น

ประโยชน์ของการนำกระบวนการกระจายคุณภาพสู่ผลิตภัณฑ์สามารถแสดงให้เก็นในหลักใหญ่ ๆ คือ

1. ลดระยะเวลาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในการออกสู่ตลาด
2. ลดการเปลี่ยนแปลการออกแบบที่เกิดบ่อยครั้งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์
3. ลดมูลค่าในการใช้จ่ายสำหรับงานออกแบบและงานผลิต
4. เป็นการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์
5. เพิ่มความพึงพอใจในตัวผลิตภัณฑ์ให้แก่ลูกค้า

การดำเนินงานวิจัยจึงเป็นการนำเสนอการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยเลือกการออกแบบระบบกลไกที่ใช้ในการเคลื่อนที่เพื่อรับสัญญาณแสงด้วยกระแสไฟฟ้า หรืออุปกรณ์เคลื่อนที่ขดลวดแม่เหล็ก (Actuator Magnetic Wire) เป็นกรณีศึกษาแนวทางในการค้นหาระบบควบคุมและสืบค้นกระบวนการออกแบบ

1.3.1 ข้อตกลงเบื้องต้น

หน้าที่ของงานวิจัยชุดนี้ คือการจัดทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเป็นไปตามความต้องการทั้งหมดดังกล่าวไว้ก่อนหน้านี้ อีกทั้งการออกแบบกระบวนการผลิตและระบบควบคุมการผลิตที่จะสร้างความมั่นใจได้ว่าผลิตภัณฑ์ทุกชิ้นที่เกิดจากกระบวนการผลิตนั้น เป็นไปตามความต้องการทุกประการ และยังต้องพิสูจน์ว่ากระบวนวิธีดังกล่าวทั้งหมดสามารถใช้งานได้จริง

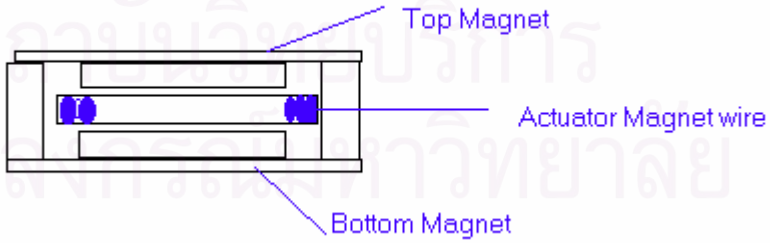
1.3.2 ข้อจำกัดของการวิจัย

เนื่องจากงานวิจัยชุดนี้ดำเนินการ เพื่อใช้ในการปฏิบัติงานจริงในการออกแบบและผลิตตัวผลิตภัณฑ์ให้แก่ลูกค้าซึ่งอยู่ภายใต้เงื่อนไขข้อตกลงในการสงวนไว้ ซึ่งข้อมูลรายละเอียดบางส่วนอันมีผลต่อการแข่งขันในทางธุรกิจ ดังนั้นในบางข้อมูลรายละเอียดจึงไม่อาจนำมาแสดงไว้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ แต่อย่างไรก็ตามรายละเอียดที่แสดงไว้ในวิทยานิพนธ์นี้ ก็เพียงพอที่จะเป็นแนวทางเพื่อนำเอาหลักวิชา QFD เพื่อช่วยในการออกแบบและวางแผนขบวนการผลิตพร้อมทั้งระบบควบคุมการผลิต

1.3.3 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

<u>อุปกรณ์เคลื่อนที่ขดลวดแม่เหล็ก</u>

เป็นการขับเคลื่อนซึ่งควบคุมด้วยการป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไปสู่ขดลวดทองแดง เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตัดผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าถาวรอันเกิดจาก magnetized magnet ซึ่งเรียกว่า permanent magnet เป็นกลไกซึ่งสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ในช่วงองศาต่ำ ๆ ด้วยการควบคุมกระแสไฟฟ้าที่มีความเที่ยงตรงค่อนข้างสูง



รูปที่ 1.1 ภาพแสดงส่วนประกอบอุปกรณ์เคลื่อนที่ขดลวดแม่เหล็ก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ป้องกันปัญหาอันเกิดจากความผิดพลาดของกระบวนการออกแบบอันส่งผลให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิต
2. สามารถสร้างระบบควบคุมขั้นตอนการออกแบบ เพื่อสะดวกต่อการสืบค้นหาความผิดพลาดของขั้นตอนการออกแบบต่าง ๆ

1.5 ขั้นตอนหรือแนวทางของการดำเนินงานวิจัย

จะแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอนดังนี้ คือ

1. ศึกษาหลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาความต้องการของลูกค้าของอุปกรณ์เคลื่อนที่ขดลวดแม่เหล็ก
3. แปลความต้องการของลูกค้าไปสู่ข้อกำหนดทางวิศวกรรมและการผลิตโดยเทคนิค QFD
4. ออกแบบชิ้นส่วนและการผลิตให้เป็นไปตามข้อกำหนดทางวิศวกรรมและการผลิต
5. นำผลที่ได้จากข้อ 4 ไปดำเนินการผลิต
6. วิเคราะห์ผลการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลความต้องการของลูกค้า
7. อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการแปรความต้องการของลูกค้าสู่ความต้องการผลิตภัณฑ์

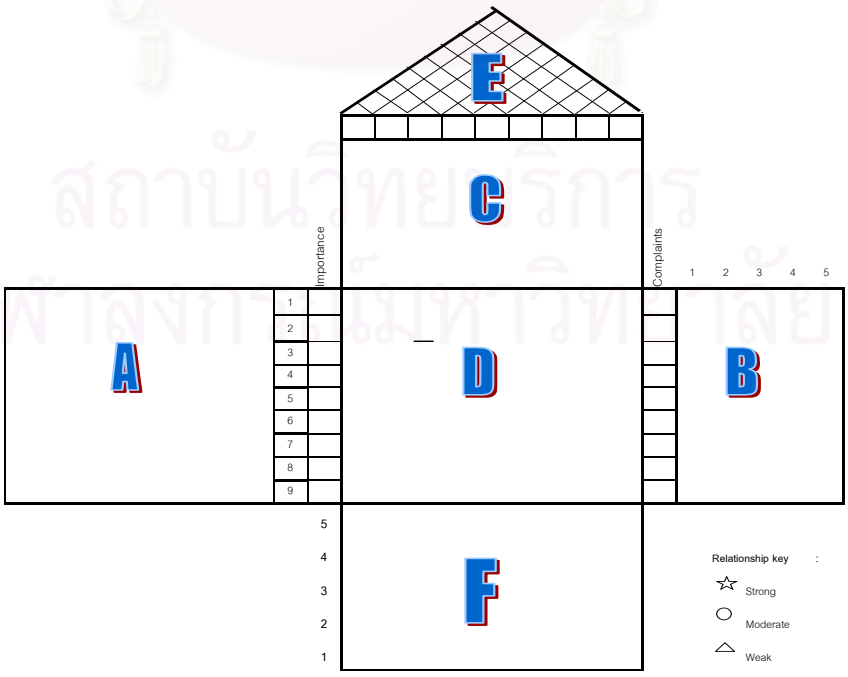
Quality Function Deployment (QFD)

นับแต่ปี 1966 Quality Function Deployment (QFD) ได้เริ่มแพร่หลายไปสู่ทุกอุตสาหกรรม ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงการเริ่มต้นใช้งาน QFD เป็นการเตรียมความเข้าใจให้รู้จักกับหลักการของ QFD และการนำเอาหลักวิชาของ QFD มาเริ่มดำเนินการในการปฏิบัติงานจริง

ความหมายของ Quality Function Deployment (QFD)

QFD (Quality Function Deployment) เป็นเสมือนโครงสร้างกรรมวิธีการวางแผนในตัวของผลิตภัณฑ์ และการดำเนินการพัฒนา โดยเป็นเครื่องมือให้ผู้ใช้สามารถคำนึงถึงปัจจัยความต้องการของลูกค้าที่แท้จริง อีกทั้งยังสามารถทำการทดลองตรวจสอบว่าการสนองความต้องการแก่ผู้ใช้ในแต่ละเงื่อนไขว่าจะมีผลกระทบอย่างไรต่อผลิตภัณฑ์

Quality Function Deployment เป็นขบวนการที่นำมาสู่โครงสร้างในการพิจารณาในรูปของตารางความสัมพันธ์ โดยที่มีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่า “House of Quality” (HOQ) โดยในตาตรางความสัมพันธ์ดังกล่าวจะแสดงถึงสิ่งที่เป็นความต้องการของลูกค้า (Voice of customer) ทั้งนี้กลุ่มผู้ดำเนินการพัฒนาจะต้องทำการร่วมแสดงความคิดเห็นในสิ่งต่าง ๆ ที่เป็นความต้องการของลูกค้า เพื่อมองหาความต้องการสูงสุดของลูกค้า ซึ่งตารางความสัมพันธ์จะเป็นตัวแปรในขบวนการดังกล่าว



รูป 2.1. ตารางคุณภาพ (House Of Quality)

หมวด A ⇨ กำหนดโครงสร้างของความต้องการของลูกค้า โดยทั่วไปข้อมูลที่ได้จะนำมาจากการทำ Market Research การสำรวจตลาดของผู้ใช้บริการ ข้อมูลจะบรรจุลงในแผนผังต้นไม้

หมวด B ⇨ บรรจุข้อมูลสำคัญหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

1. ปริมาณข้อมูลด้านการตลาด, ข้อบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ที่สำคัญในความต้องการของลูกค้าและระดับความพอใจของลูกค้าและคู่แข่งขันในงานตลาดเพื่อการเปรียบเทียบ
2. จุดประสงค์ของกลยุทธ์การวางแผนสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่หรืองานบริการ
3. การคำนวณเปรียบเทียบลำดับในความสำคัญของความต้องการของลูกค้า

หมวด C ⇨ บรรจุการจัดข้อกำหนดหรือเกณฑ์ทางด้านเทคนิคที่วางไว้เพื่อดำเนินการพิจารณาเปรียบเทียบและดำเนินการพัฒนา โดยปกติแล้วข้อมูลด้านเทคนิคด้านต่าง ๆ เหล่านี้จะมีรายละเอียดมาจากความต้องการโดยทั่วไปจากลูกค้าที่แสดงไว้ในหมวด A

หมวด D ⇨ แสดงถึงการแสดงประเมินผลของสถานะในปัจจุบันของผลิตภัณฑ์ โดยการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างในแต่ละปัจจัยด้านเทคนิคกับความต้องการของลูกค้า

หมวด E ⇨ เป็นหมวดที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยทางด้านเทคนิคในปัจจัยต่างๆ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อนำการบรรจุปัจจัยดังกล่าวไปใช้ในการปรับปรุงจะส่งผลถึงปัจจัยอื่นใด ๆ ตามมา ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะเป็นส่วนช่วยในการจัดลำดับของการนำสู่การพัฒนาด้านเทคนิคต่าง ๆ

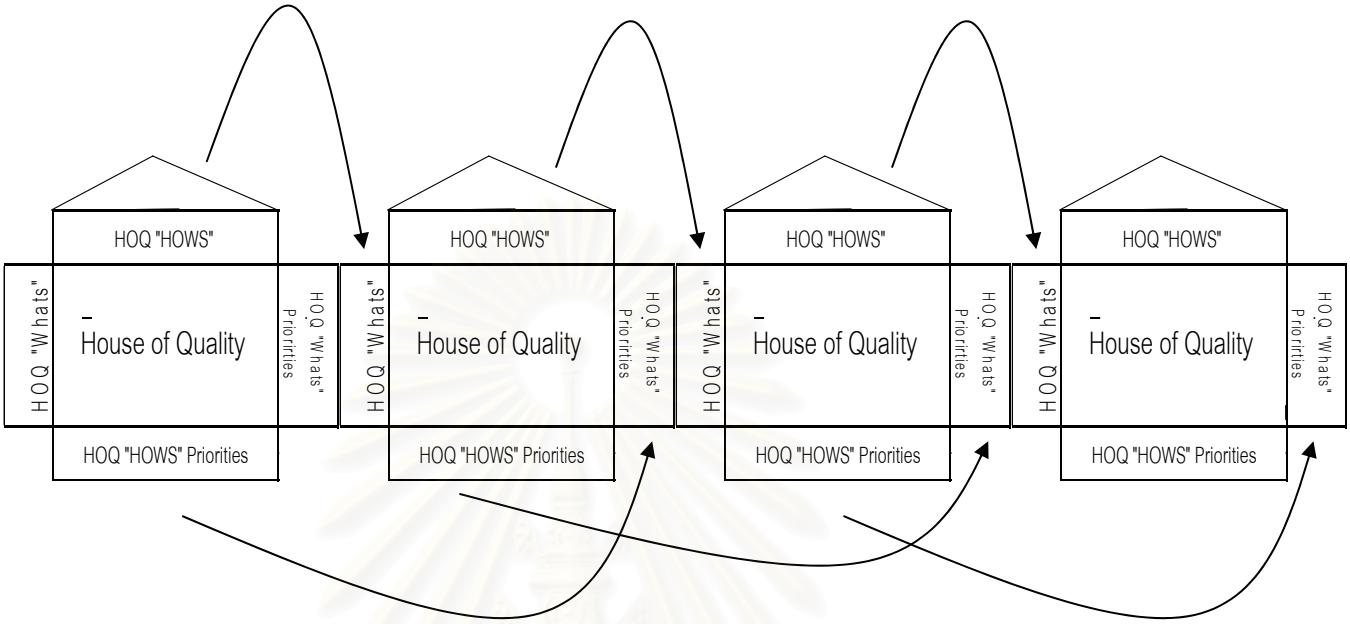
หมวด F ⇨ เป็นที่แสดงรวบรวมข้อมูลหลัก ๆ 3 ส่วน

1. คำนวณประเมินผลของการตอบสนองด้านเทคนิค โดยมีพื้นฐานการตัดสินใจมาจากความต้องการของลูกค้าที่ได้จากข้อมูลของหมวด B และความสัมพันธ์ที่มีขึ้นในหมวด D
2. ทำการเปรียบเทียบข้อมูลกับคู่แข่งขันด้านประสิทธิภาพทางเทคนิค
3. ประสิทธิภาพด้านเทคนิคเพื่อนำสู่เป้าหมาย

House of Quality (HOQ) เป็นเครื่องมือที่แสดงเป็นตารางความสัมพันธ์เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการตัดสินใจในอนาคตที่ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์หรือการพัฒนาขบวนการบริการ ในการที่ผู้ดำเนินการพัฒนาไม่ใช้ House of Quality จะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดขึ้น เนื่องจากด้วยคุณสมบัติของ HOQ จะช่วยแสดงถึงขบวนการพัฒนาที่สำคัญหลังจากการดำเนินการวางแผน

แผนผัง 2.2 เป็นการแสดงภาพแสดงโครงสร้างที่มีการสัมพันธ์ด้านข้อมูล บ่งถึงการใช้เทคนิค QFD เพื่อนำเอาข้อมูลจากตารางหนึ่งโอนย้ายไปสู่ตารางหนึ่ง เพื่อค้นหาจุดเป้าหมายที่

ต้องการจะไปให้ถึง การดำเนินกรรมวิธีใด ๆ เพื่อสนองตอบความต้องการของลูกค้าอย่างแท้จริง โดยการถ่ายข้อมูลจากตารางหนึ่งไปสู่ตารางหนึ่ง จะถูกดำเนินภายใต้คำถามว่า “อะไร” (WHAT)



รูป 2.2 ความสัมพันธ์ของการใช้ ตารางคุณภาพในการวิเคราะห์

WHAT เป็นคำถามที่เกิดจากความต้องการของลูกค้าคืออะไร ซึ่งนำสู่การตั้งวัตถุประสงค์ในขบวนการ QFD โดยจะต้องมีการลำดับความสำคัญของความต้องการของลูกค้าตามลำดับ ทั้งนี้จะต้องเกิดจากข้อมูลที่ได้จากการทำการสำรวจ ซึ่งอาจต้องทำโดยการให้น้ำหนักในแต่ละความต้องการโดยกำหนดลงในด้านขวามือของตาราง

ขั้นตอนถัดไปกำหนด “Hours” ด้านบนของ HOQ (House of Quality) ใช้เป็นข้อกำหนดที่แสดงให้เห็นถึงการบรรลุจุดประสงค์ของ “WHATS” โดยปกติแล้ว “Hows” คือเทคนิคการวัดผลประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์หรืองานบริการที่กำลังพิจารณา

ด้วยน้ำหนักที่ความสำคัญที่กำหนดให้ในแต่ละความต้องการของลูกค้าและปริมาณผลกระทบในการจะทำอย่างไรเพื่อให้บรรลุในความต้องการนั้น ๆ โดยวิธีดังกล่าวจะเป็นตัวช่วยกำหนดลำดับความสำคัญ ซึ่งแสดงไว้ในตอนล่างของตาราง การจัดลำดับของการดำเนินการหรือสำคัญ ความต้องการเหล่านี้ คือ หลักสำคัญที่ได้จากการดำเนินขบวนการ HOQ (House of Quality)

ในการเชื่อมตารางความสัมพันธ์ที่ได้สู่ HOQ ถัดไป คือการนำเอา “Hows” ด้านบนของ HOQ แรกไปบรรจุลงในด้านซ้ายของตาราง HOQ และทำการจัดการลำดับความสำคัญด้านขวามือตามข้อมูลที่ได้จากตอนล่างของตารางแรก ในขณะนี้ “Hows” จะกลายเป็น “Whats” ของตาราง 2 และสิ่งที่ต้องการก็คือจะต้องหาความสัมพันธ์อื่น ๆ บรรจุลงไปในตารางที่ 2 ของ HOQ

ในรูป 2.1 เป็นรูปแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตาราง โดยเป็นการนำเอากรรมวิธี QFD ในการนำเอาข้อมูลจากตารางหนึ่งไปสู่อีกตารางหนึ่ง ในรูป 2.1 จะเริ่มต้นที่ House of Quality (HOQ) โดยใช้หลักคำถามว่า “What” ไว้ด้านซ้ายของตาราง “What” เป็นสิ่งที่เป็นพื้นฐานของการนำสู่จุดประสงค์หรือเป้าหมาย และสิ่งที่เราต้องการจะทำให้สำเร็จ โดยมากแล้ว “What” จะเป็นสิ่งที่ถามหาถึงความต้องการของลูกค้า หรือที่เรียกว่า “Voice of Customer” ทั้งนี้ผู้ดำเนินการที่ทำ QFD ต้องคำนึงเสมอว่า “What” คือส่วนหนึ่งของขบวนการ QFD โดยผู้ทำต้องจัดทำลำดับความสำคัญของ “What” โดยการให้ลำดับตัวเลขตามการพิจารณาจากผลของการสำรวจความต้องการของลูกค้า การให้คะแนนในการจัดลำดับจะถูกแสดงไว้ที่ด้านขวาของตาราง

หลังจากที่ได้ข้อมูลในส่วน “What” แล้วก็จำเป็นจะต้องมี “Hows” ซึ่งอยู่ส่วนบนของตารางที่บรรจุความเป็นไปได้ที่จะเป็นวิธีเพื่อนำสู่ความสำเร็จตามความต้องการของ “What” ทั้งนี้อาจจะกล่าวได้ว่า “Hows” คือวิธีการในการวัดผลประสิทธิภาพของจุดประสงค์ที่วางไว้

สืบเนื่องมาจากการจัดลำดับความสำคัญที่กำหนดให้ในส่วน “Whats” และผลของการเกิดผลกระทบในแต่ละ “How” ในแต่ละ “What” จะเป็นผลสืบเนื่องไปสู่การจัดลำดับความสำคัญในส่วนของ “Hows” ซึ่งแสดงไว้ที่ด้านล่างของตาราง House of Quality (HOQ) โดยการจัดน้ำหนักลำดับความสำคัญเหล่านี้ ถือเป็นผลลัพธ์ที่สำคัญที่ได้จากขบวนการ HOQ

การเชื่อมโยง HOQ ไปสู่ตารางที่ 2 นั้นผู้ดำเนินการจะต้องนำส่วนที่สำคัญของ “How” ใน HOQ ไปใส่ไว้ที่ส่วนด้านซ้ายของตารางที่ 2 (ดูรูปที่ 1.2 ประกอบ) และในขณะเดียวกันในส่วนความสำคัญของ “Hows” ของตาราง HOQ ถึงจะต้องถูกบรรจุในส่วนด้านขวาของตาราง 2 ซึ่งในขณะนี้ส่วนของ “Hows” จากตาราง HOQ จะกลายเป็น “Whats” ของตารางที่ 2 ที่บ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ที่สำคัญที่นำไปสู่ “What” ใน HOQ

วิธีการจำเป็นที่จะบรรลุจุดประสงค์ “Whats” ของตาราง 2 ผู้ทำ QFD จะต้องกำหนดรายละเอียดในกลุ่มของ “Hows” ในส่วนบนของตาราง 2 พร้อมทั้งทำการพิจารณาจัดลำดับความสำคัญของ “Hows” โดยคำนึงถึงน้ำหนักความสำคัญของ “Whats” และการประมาณถึงความสัมพันธ์ระหว่าง “Hows” ของตาราง 2 และ “Whats” ของตาราง 2

สำหรับการเชื่อมความสัมพันธ์จากตาราง 2 ไปสู่ตาราง 3 จะดำเนินการนำส่วนของ “Hows” ของตาราง 2 ไปอยู่ที่ส่วนซ้ายของตาราง 3 ซึ่งจะกลายไปเป็น “Whats” พร้อมกับการลำดับความสำคัญของ “Hows” ในตาราง 2 ก็จะกลายไปเป็นการกำหนดความสำคัญของ “Whats” ของ

ตาราง 3 โดยจะไปอยู่ที่ส่วนด้านขวามือของตาราง 3 ทั้งนี้จะต้องกำหนด “Hows” ของตาราง 3 โดยลพิจารณาตาม “Whats” ที่เกิดขึ้นแต่ละตารางในลักษณะลูกโซ่ดังกล่าว จะแสดงถึงรายละเอียดขบวนการโดยเฉพาะ ในทางลึกของงานผลิตภัณฑ์หรืองานบริการ ในแต่ละประเภทของรูปแบบของ QFD ที่ใช้ในงานที่แตกต่างกันตามแต่ลักษณะการใช้หรือตัวผลิตภัณฑ์ที่ทำการพิจารณา

ความสัมพันธ์ในส่วนของ “Whats” และ “Hows” ในแต่ละชนิดของตารางของการพิจารณา แสดงไว้ให้เห็นใน ตาราง 2-3

ลักษณะของตาราง	ความต้องการ (What)	วิธีการ (How)
House of Quality	Voice of the Customer	Technical Performance Measures
Subsystem Design Matrix	Technical Performance Measurement	Piece-Part Characteristics
Piece Part Design Matrix	Piece-Part Characteristics	Process Parameter
Process Design Matrix	Process Parameter	Production Operation

ตาราง 2.1 ประเภทของความสัมพันธ์ของการใช้ QFD

ตาราง QFD อื่นอาจมีความซับซ้อนมากกว่าที่แสดงไว้ในตาราง 2-3 บางครั้ง ตาราง QFD อาจต้องใช้ถึง 30 ตารางซึ่งทำการจัดลำดับ Voice of customer ในการวางแผนสู่ขบวนการการออกแบบการปรับปรุงคุณภาพ การวางแผนการผลิต การวางแผนเครื่องจักรการผลิตและการจัดการ ผู้เชี่ยวชาญด้าน QFD เชื่อว่าการมีตารางเพิ่มมาก ๆ เพียงอย่างเดียว ไม่ควรจัดว่าเป็น QFD ถ้าตราบใดที่ตารางเหล่านั้นไม่ได้มีการลำดับที่ต่อเนื่อง ประโยชน์ของ QFD ที่ได้ขึ้นอยู่กับผู้ใช้ต้องการที่จะใช้งาน ซึ่งสามารถทำประโยชน์ได้จากเพียงแค่ข้อมูลใน HOQ (House of Quality) หรือการมีตารางความสัมพันธ์ต่อเนื่อง ซึ่งนำไปสู่หนทางในการแก้ปัญหา เพื่อรองรับความต้องการของวัตถุประสงค์ดังจะกล่าวเป็นสุภาษิตที่ว่า “วิทยาศาสตร์ คือ สิ่งที่นักวิทยาศาสตร์ทำ” ซึ่งเราก็เชื่อว่า “QFD คืออะไรก็ตามที่ผู้ใช้ QFD ทำ”

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 หลักการเกี่ยวกับการแปลความต้องการของลูกค้า QFD (Quality function deployment)

2.2.1 การใช้ประโยชน์จากแบบสอบถาม

ความต้องการของลูกค้าถือเป็นหัวใจสำคัญของการพัฒนา QFD เป็นวิธีการอย่างหนึ่งเพื่อทำการวางแผนผลิตภัณฑ์ และจะต้องหาปัจจัยหลาย ๆ อย่างเพื่อทำการพัฒนาระบบโดยการทำงานเป็นทีมซึ่งจะทำให้ประสบผลสำเร็จด้วยดี

2.2.2 จุดประสงค์ของกระบวนการ QFD

1. เป็นขบวนการเพื่อเชื่อมโยงระหว่างบริษัทกับลูกค้า
2. QFD แบ่งเป็น 2 ส่วน
   2.1 แนวแกนนอน เป็นส่วนที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับลูกค้ากับเรา
   2.2 แนวแกนตั้ง เป็นเสมือนข้อมูลทางด้านเทคนิค

2.2.3 กระบวนวิธีการพื้นฐานของ QFD

1. หาความต้องการของลูกค้า
2. ส่งไปสำรวจความคิดเห็นและสอบถามความรู้สึกหรือความต้องการของลูกค้าและเปรียบเทียบกับคู่แข่ง พร้อมทั้งคำร้องเรียนต่าง ๆ จากลูกค้า
3. การบรรจุความต้องการของลูกค้าเข้าเป็นกลุ่มและจัดลำดับข้อมูลในแนวแกนนอน
4. พัฒนาข้อมูลทางด้านเทคนิคเข้าไปในแกนตั้งซึ่งมักจะเป็นสิ่งที่วัดได้ สามารถนำไปทำการเปรียบเทียบได้
5. เชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้ากับข้อมูลทางด้านเทคนิค
6. ทำการเปรียบเทียบกับคู่แข่งในเรื่องของความต้องการของลูกค้าหรือข้อมูลทางด้านเทคนิค
7. จัดลำดับคะแนนเพื่อลำดับความสำคัญของปัญหาว่าปัญหาใดต้องได้รับการแก้ไขก่อนหลัง

2.3 ขั้นตอนพื้นฐานของการดำเนินการ QFD

QFD เป็นการใช้ตารางคุณภาพอย่างต่อเนื่องในการแปลความต้องการด้านคุณภาพไปสู่การจัดทำข้อกำหนดต่างๆจนถึงแนวทางการวางแผนผลิตและการปรับปรุงพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยมีลำดับขั้นตอนโดยพื้นฐานทั่วๆไปดังนี้

1. สืบค้นหาความต้องการของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย(Top-level Product Requirement) หรือ ลักษณะทางเทคนิค จากความต้องการของลูกค้า
2. พัฒนารูปแบบลักษณะของผลิตภัณฑ์เพื่อสนองตอบความพอใจของลูกค้า
3. ประเมินรูปแบบลักษณะของผลิตภัณฑ์เพื่อเลือกสิ่งที่ดีที่สุด (Concept Selection Matrix)

4. พิจารณาแยกย่อยส่วนประกอบต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย โดยคำนึงถึงความต้องการหรือ ลักษณะทางเทคนิค ขององค์ประกอบเหล่านั้น และรูปแบบลักษณะต่างๆ

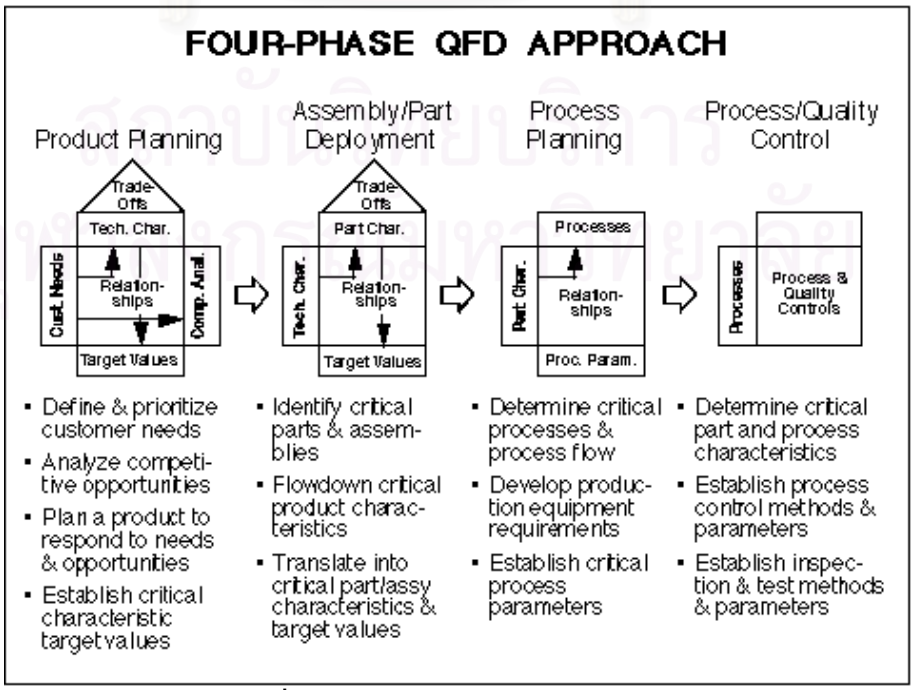
5. สืบค้นหาความต้องการและข้อกำหนด ของผลิตภัณฑ์ขั้นรองลงมา(Assembly or part Characteristic) ก่อนจะเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย

6. นำเอาจุดอ่อนหรือจุดวิกฤตในการประกอบขั้นถัดไป มาเป็นแนวทางของความต้องการหรือข้อกำหนด ของชิ้นส่วน หรืองานประกอบในขั้นตอนก่อนหน้า (lower - level product Requirement)

7. พิจารณา ขบวนการหรือขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วน เพื่อให้เป็นไปตามความต้อง

8. หลังจากที่ได้ ขบวนการการประกอบชิ้นส่วนแล้ว ต้องค้นหาข้อกำหนดในการปรับแต่ง (Set-up Requirement) กระบวนการควบคุมการผลิต (Process Control) และการควบคุมคุณภาพ (Quality Control) เพื่อให้แน่ใจว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ

กระบวนการพื้นฐานของการประยุกต์ใช้ขบวนการ Quality Functional Deployment ประกอบด้วยขั้นตอนหลักสำคัญ 4ขั้นตอน เพื่อครอบคลุมการดำเนินการออกแบบและวางแผนการผลิต ในแต่ละขั้นตอนอาจประกอบด้วย หนึ่งตารางคุณภาพหรือมากกว่า เพื่อเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการแปลความต้องการหรือใช้ในการ วางแผนขบวนการผลิตหรือการออกแบบ โดยขบวนการ QFD สามารถแสดงไว้ในรูป



รูปที่ 2.3 **กระบวนวิธีดำเนินการ** QFD

2.4 หลักการเกี่ยวกับ FMEA (Failure Mode Effect and Analysis)

วิธีการที่จะใช้ในการพิจารณาความรุนแรงของปัญหาหรือปัจจัยที่อาจมีผลกระทบต่อการผลิต อาจใช้การพิจารณาโดย FMEA (Failure Mode Effect and Analysis)

ประโยชน์ของ FMEA

1. เป็นการประกันได้ว่าได้มีการพิจารณาปัญหาและข้อผิดพลาดต่าง ๆ ต่อการดำเนินงาน
2. เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์หาแนวทางในการแก้ไขล่วงหน้า เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาขึ้น
3. เป็นการเก็บหลักฐานเพื่อใช้อ้างอิงในอนาคต เมื่อมีความจำเป็นต้องปรับปรุงผลิตภัณฑ์หรือขบวนการในอนาคต

แนวทางในการพิจารณา FMEA

1. กิจกรรมใดในกระบวนการผลิตหรือหน้าที่ใดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกพิจารณา
2. ข้อบกพร่องที่จะเกิดขึ้นกับพารามิเตอร์หรือหน้าที่นั้นมีอะไรบ้าง
3. ข้อบกพร่องนั้นมีผลกระทบอย่างไร ร้ายแรงแค่ไหน
4. อะไรบ้างที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดข้อบกพร่องต่อพารามิเตอร์หรือหน้าที่นั้น
5. สาเหตุที่เกิดขึ้นได้บ่อยขนาดไหน
6. มีโอกาสทราบถึงปัญหาดังกล่าวหรือไม่และดีเพียงไร
7. มีวิธีกำจัดหรือแก้ไขสาเหตุของข้อบกพร่องอย่างไร
8. ใครเป็นผู้รับผิดชอบต่อการแก้ไขและจะทำเสร็จเมื่อใด
9. ผลที่ได้หลังจากการแก้ไขเป็นอย่างไร

หน้าที่พื้นฐานของการดำเนินการ FMEA

1. ระบุถึงพารามิเตอร์กระบวนการหรือหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการศึกษา (key process input)
2. ระบุแนวทางที่เป็นไปได้ที่จะเกิดข้อบกพร่องของหน้าที่ของผลิตภัณฑ์หรือพารามิเตอร์กระบวนการ (Potential Failur mode)
3. ข้อบกพร่องดังกล่าวน่าจะมีผลกระทบอย่างไรต่อหน้าที่ของผลิตภัณฑ์หรือพารามิเตอร์ของกระบวนการ (Potential Effects of Failure)
4. ข้อบกพร่องดังกล่าวมีผลกระทบต่อหน้าที่หรือกระบวนการรุนแรงแค่ไหน (Severity)
5. อะไรเป็นเสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องดังกล่าว (Potential Cause of failure)
6. มีโอกาสมากหรือน้อยแค่ไหนที่จะเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว (Occurrence)
7. ปัจจุบันมีความสามารถในการตรวจพบสิ่งที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องอย่างไร (Current Process Control)

8. ความสามารถในการตรวจพบดังกล่าวมีประสิทธิภาพดีเพียงใด (Detection)
9. ประเมินว่าจะแก้ปัญหาใดก่อนหลังหรือลำดับความสำคัญ เพื่อทำการลดโอกาสในการเกิดสาเหตุที่จะทำให้เกิดข้อบกพร่อง (RPN)

เกณฑ์การประเมินความรุนแรง (Severity)

ผลกระทบ	**เกณฑ์ : ความรุนแรงของผลกระทบ**	**สเกล**
อันตรายที่ไม่มีการเตือน	รุนแรงมากเมื่อลักษณะของข้อบกพร่องมีผลต่อการใช้ผลิตภัณฑ์ด้านความปลอดภัย และ/หรือเกี่ยวกับการไม่ทำตามข้อกำหนดของรัฐบาลโดยไม่มีการเตือน	10
อันตรายโดยมีการเตือน	รุนแรงมากเหมือนข้อแรกแต่มีการเตือนก่อน	9
สูงมาก	ผลิตภัณฑ์/Item ไม่สามารถใช้งานได้ โดยสูญเสียการทำงานเบื้องต้น	8
สูง	ผลิตภัณฑ์/Item ไม่สามารถใช้งานได้ แต่ในลักษณะที่ต่ำลง ลูกค้าไม่พอใจ	7
ปานกลาง	ผลิตภัณฑ์/Item ใช้งานได้แต่ Item ที่ให้ความสะดวกสบายใช้งานไม่ได้ ลูกค้าได้รับความไม่สะดวกสบาย	6
ต่ำ	ผลิตภัณฑ์/Item ใช้งานได้แต่ Item ที่ให้ความสะดวกสบายใช้งานได้ที่ระดับต่ำลง ลูกค้าได้รับความไม่พอใจบ้าง	5
ต่ำมาก	Item ที่ประกอบมีเสียง/มีข้อบกพร่องที่สังเกตุได้จากลูกค้าส่วนใหญ่	4
เล็กน้อย	Item ที่ประกอบมีเสียง/มีข้อบกพร่องที่สังเกตุได้จากลูกค้าโดยเฉลี่ย	3
เล็กน้อยมาก	Item ที่ประกอบมีเสียง/มีข้อบกพร่องที่สังเกตุได้จากลูกค้าส่วนน้อย	2
ไม่มี	ไม่มีผลกระทบ	1

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การประเมินความรุนแรง (Severity) ในการดำเนินการ FMEA

เกณฑ์การประเมินโอกาสในการเกิด (Occurrence)

โอกาสที่จะเกิดข้อบกพร่อง	**อัตราการเกิดข้อบกพร่องที่เป็นไปได้**	**สเกล**
สูงมาก : เกือบจะหลีกเลี่ยงไม่ได้	≥ 1 ใน 2	10
	1 ใน 3	9
สูง	1 ใน 8	8
	1 ใน 20	7
ปานกลาง	1 ใน 80	6
	1 ใน 400	5
	1 ใน 2000	4
ต่ำ	1 ใน 15000	3
	1 ใน 150000	2
เกือบจะเป็นไปไม่ได้	≤ 1 ใน 1500000	1

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์การประเมินโอกาสในการเกิด (Occurrence) ในการดำเนินการ FMEA

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เกณฑ์การประเมินสามารถในการตรวจจับ (Detection)

การตรวจจับ	**เกณฑ์ : ความน่าจะเป็นในการตรวจจับโดยการควบคุมการออกแบบ**	**สเกล**
โอกาสตรวจจับแทบจะเป็นไปไม่ได้	การควบคุมการออกแบบจะไม่สามารถตรวจจับสาเหตุและข้อบกพร่อง หรือไม่มีการควบคุมการออกแบบ (Design Control)	10
ยากมาก	โอกาสยากมากที่การควบคุมการออกแบบจะสามารถตรวจจับสาเหตุและข้อบกพร่อง	9
ยาก	โอกาสยาก	8
ต่ำมาก	โอกาสน้อยมาก	7
ต่ำ	โอกาสน้อย	6
ปานกลาง	โอกาสปานกลาง	5
สูงปานกลาง	โอกาสสูงปานกลาง	4
สูง	โอกาสสูง	3
สูงมาก	โอกาสสูงมาก	2
เกือบจะแน่นอน	การควบคุมการออกแบบเกือบจะสามารถตรวจจับสาเหตุและข้อบกพร่องได้อย่างแน่นอน	1

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์การประเมินการตรวจจับ (Detection)ในการดำเนินการ FMEA

2.5. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Fabricius,F. (ค.ศ 1994)

งานออกแบบสำหรับการผลิต (Design for manaufacture, DFM) เป็นกระบวนวิธีที่มุ่งเน้นและช่วยในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ในอุตสาหกรรมการผลิต เพื่อส่งเสริมการพัฒนาประสิทธิภาพของขบวนการผลิต DFM สามารถช่วยทำให้ประสิทธิภาพของงานเพิ่มขึ้น การดำเนินวิธี DFM เป็นการดำเนินงานที่ไม่ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด เมื่อเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้กลับมา กระบวนการ DFM ยังสามารถใช้ได้ทั้งกับการผลิตปริมาณสูง ๆ และปริมาณต่ำ ๆ ซึ่งช่วยให้ลดการกระทำที่ไม่เหมาะสมในการออกแบบในช่วง detail design และเพิ่มความสนใจในช่วง Conceptual design

Lyu, J. and Gunasekaran, A. (ค.ศ 1993)

เพื่อส่งเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ควรจะเป็นในช่วงการออกแบบ (Design Phase) หลาย ๆ รายงานแสดงให้เห็นถึงการดำเนินการที่เรียกว่า การออกแบบเพื่อคุณภาพ (Design for quality) ซึ่งเป็นประโยชน์ในการดำเนินการแข่งขันกับคู่แข่งในตลาดการค้า วิธีการนี้เป็นที่นิยมใช้มากในโลกตะวันออก เช่น ที่ญี่ปุ่นและไต้หวัน โดยใช้หลักการ Product Oriented design (POD) และ Quality function deployment (QFD) ในหลาย ๆ อุตสาหกรรม ด้วยเหตุผลนี้ทำให้อุตสาหกรรมของประเทศเหล่านี้เจริญได้อย่างรวดเร็วในช่วงเวลาที่ผ่านมา อุตสาหกรรมต่อเรือมีความจำเป็นมากที่จะนำหลักการนี้ไปใช้ เมื่อการผลิตค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อนมาก วิธีการ Design for quality และ design for manufacture เป็นเสมือนเครื่องมือสู่ความสำเร็จในการนำไปสู่ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ

Zhang, Z. (ค.ศ 1998)

เป็นการนำเสนอถึงการดำเนินวิธีการทดลองออกแบบในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ในงาน Extrusion press โดยการใช้ experimental design สามารถลดเวลาในการออกแบบลง อีกทั้งเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ให้สูงขึ้น เป็นการแสดงให้เห็นและเข้าใจถึงกระบวนการวิธีการทดลองออกแบบ (experimental design) อย่างมีขั้นตอน สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ เพื่อเพิ่มความมั่นใจในความสำเร็จที่จะเกิดขึ้นกับตัวผลิตภัณฑ์ และเพื่อที่จะรู้ถึงบางอย่างที่จำเป็นที่จะต้องมีเพื่อนำไปคำนวณในเรื่องของงบประมาณ ตัวอย่างที่แสดงให้เห็นดังกล่าวสามารถนำไปทำการพัฒนาสำหรับผลิตภัณฑ์อื่นได้ด้วย

Ellekjaer, M.R. and Bisgaard, S. (ค.ศ 1998)

วิธีการทดลองออกแบบ (experimental design) เป็นเครื่องมือนำไปสู่ความรู้ในงานที่ออกแบบมากขึ้น เวลาและมูลค่าที่เกิดขึ้นในการทดลองจะถูกใช้ในระหว่างการพัฒนา วิธีการนี้จะส่งเสริมให้เกิดคุณภาพในตัวผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในช่วงวัฏจักรเวลาที่สั้น ๆ เทคนิคนี้จะช่วยศึกษาถึงผลกระทบที่เป็นไปได้มากมายที่จะเกิดขึ้น และช่วยในการเลือกรวมปัจจัยเพื่อให้เกิดการพัฒนาคุณภาพ พร้อมทั้งลดค่าใช้จ่ายก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าที่มีคุณภาพสูง และยิ่งไปกว่านั้นกรรมวิธีดังกล่าวนี้จะเป็นเสมือนระบบที่ทำให้สามารถเข้าถึงและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ สำหรับความแตกต่างของวิธีการ experimental design และตัวอย่างของการนำไปใช้งานระหว่างช่วงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ก็ได้แสดงไว้ให้เห็น

Gunasekaran, A. (ค.ศ 1998)

เป็นการพยายามดำเนินกาพัฒนา integrate product development-quality management (IPD-QM) โดยการรวบรวมแนวคิดของ Concurrent Engineering (CE) และ TQM ซึ่งทั้งสองแนวคิดสนใจในส่วนที่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามเป็นความต้องการพัฒนาระบบที่สนใจการจัดการด้านคุณภาพและพัฒนาในช่วงการออกแบบ (Design Stage) โดยการดำเนินกรรมวิธี การบริหารด้านคุณภาพ (TQM) ทุก ๆ ขั้นตอนของงานออกแบบ ทำให้เกิดประสิทธิภาพในงานออกแบบ และความเชื่อมั่นในตัวผลิตภัณฑ์ ความพิเศษของระบบคือ จะช่วยแนะนำให้ผู้ออกแบบสามารถออกแบบให้เกิดคุณภาพแก่ผลิตภัณฑ์และงานผลิต ขอบข่ายของสิ่งที่กล่าวถึงจะเป็นเรื่องรองของ CE และ TQM ในอุตสาหกรรมงานผลิต

Riedel, J. C.K.H.and Pawar, K. S. (ค.ศ 1997)

รายงานในผลงานวิจัยนี้เกิดจากพื้นฐานข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ การบริหารงานออกแบบในอุตสาหกรรม เครื่องกลในประเทศอังกฤษ เป็นการพิจารณาถึงลักษณะของงานการผลิต ในขณะทำการออกแบบผลิตภัณฑ์ และการทำการจำลองผลิตภัณฑ์ต้นแบบ เป็นกระบวนการที่จำเป็นในการที่จะเข้าใจถึงลักษณะกระบวนการผลิตที่ควรจะเป็นสำหรับผลิตภัณฑ์ ซึ่งไม่จำเป็นจะต้องรอจนกระทั่งงานออกแบบเรียบร้อยแล้วจึงทำการศึกษาถึงลักษณะของกระบวนการผลิต เป็นการแสดงให้เห็นว่า วิศวกรฝ่ายผลิตจำเป็นจะต้องมีส่วนร่วมในช่วงของงานออกแบบก่อนไปสู่ขั้นตอนการผลิต จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้จะช่วยลดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น

Vonderembse, M.A. and Raghunathan,T. S. (ค.ศ 1997)

Qualtiy function deployment (QFD) เป็นสิ่งที่เป็นประโยชน์ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ เป็นการลดค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนของผลิตภัณฑ์ และการลดเวลาให้สั้นลง ปัจจุบันการศึกษาถึงวิธีการเรียนรู้การนำ QFD ไปใช้ในองค์กรเพื่อก่อให้เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์สู่ความสำเร็จในการทำกำไร ข้อมูลจากการสำรวจจาก 80 โครงการ QFD เป็นที่ยอมรับจากผู้ใช้ โดยอาศัยการเปรียบเทียบของการดำเนินงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้วยกรรมวิธี QFD และโดยวิธีที่ไม่ใช้ QFD แสดงไว้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขบวนการ QFD สร้างความพอใจให้แก่ลูกค้าและเห็นผลแตกต่างที่ดีขึ้นอย่างเด่นชัด อีกทั้ง ต้นทุนสินค้าและเวลาการดำเนินงานออกแบบสู่การผลิตมีการพัฒนาอย่างน่าพอใจ

2.6 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น ของผลิตภัณฑ์

2.6.1 หลักการแม่เหล็กไฟฟ้า

เมื่อเปิดกระแสไฟฟ้า ให้ไหลผ่านขดลวดที่พันรอบแกนแม่เหล็ก และทำให้เปลี่ยน สภาพเป็นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถดูดแผ่นโลหะได้ ถ้าเอาสายไฟที่มีฉนวนหุ้ม แล้วมาพันรอบ ๆ แท่งดินสอ หรือแท่งโลหะหรือไม้หลาย ๆ รอบ แล้วดึง แท่งดินสอหรือแท่งโลหะ หรือแท่งไม้ออก ลวดที่พันไว้จะคงรูปอยู่ เช่นนั้น เราเรียกว่าขดลวด ถ้านำเอา ขดลวดนี้ ไปต่อกับไฟฟ้า ขดลวดนี้จะมีคุณสมบัติคล้ายเป็นแม่เหล็กแท่ง กล่าวคือสามารถดูด ผงตะไบเหล็กได้ ถ้าเอาวาง บนกระดาษ และเอาผงตะไบเหล็กโรยรอบ ๆก็จะเห็นผงตะไบเหล็กเรียงตัว เช่นเดียวกับ การเรียงตัวของตะไบเหล็กรอบ ๆ แทงแม่เหล็ก นอกจากนี้ปลายหนึ่ง ของขดลวดจะแสดง อำนาจเป็น ขั้วเหนืออีกปลายหนึ่ง แสดงอำนาจเป็นขั้วใต้ อาจทดลองดูได้โดยนำเข็มทิศเข้าใกล้ปลายหนึ่ง ของขดลวด จะผลักขั้วเหนือและดูดขั้วใต้ของเข็มทิศ ซึ่งแสดงว่าปลายนั้นเป็นขั้วเหนือ ของขดลวด อีกปลายหนึ่งของขดลวดจะแสดงอำนาจตรงข้ามกับเข็มทิศ ซึ่งแปลว่าขั้วนั้นแสดงอำนาจเป็นขั้วใต้ของ ขดลวด ถ้าหากเอาแท่งเหล็กสอดไว้ตรงกลาง แท่งเหล็ก จะมีอำนาจแม่เหล็กและมีอำนาจมากกว่า ขดลวดเปล่า ๆ ถ้าแท่งเหล็กนั้นเป็นเหล็กกล้า เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเดินรอบขดลวดก็จะเป็นแม่เหล็ก และเมื่อนำออกมา จาก ขดลวดแล้วอำนาจแม่เหล็กก็ยังคงอยู่ถ้าแท่งเหล็ก นั้นเป็นเหล็กออ่น มันจะแสดง อำนาจแม่เหล็กเฉพาะเวลาที่ ไฟฟ้าเดินอยู่ในขดลวดเท่านั้น ถ้าตัดไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลในขดลวด แท่งเหล็กออ่นก็หมดอำนาจแม่เหล็ก เรา เรียกแม่เหล็กแบบนี้ว่า "แม่เหล็กไฟฟ้า" อำนาจแม่เหล็กของแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดที่พันอยู่รอบ ๆ แท่งเหล็กยิ่งจำนวน รอบของขดลวดมากขึ้นอำนาจแม่เหล็กของขดลวดก็มากขึ้นด้วย และถ้ากระแสไฟฟ้ามากขึ้นอำนาจ แม่เหล็กก็ เพิ่มขึ้นด้วย แม่เหล็กไฟฟ้าอาจทำเป็นรูปเกือกม้าก็ได้ จะทำให้อำนาจแม่เหล็กแรงขึ้นแม่เหล็ก ไฟฟ้านี้สามารถดูดเหล็ก ที่หนักกว่าตัวมันเองได้ จึงใช้ขนย้ายแม่เหล็กจากแห่งหนึ่งไปยังอีกแห่งหนึ่ง ภายในโรงงาน เช่น ขนเศษเหล็ก ได้โดยไม่ใช้ภาชนะหรือการผูกรัดใด ๆ เพียงแต่ใช้แม่เหล็กไฟฟ้าดูดขึ้นมา เท่านั้น นอกจากนี้แม่เหล็กไฟฟ้ายังใช้ในเครื่องใช้หลายอย่าง เช่น กระดิ่งไฟฟ้า โทรเลข โทรศัพท์

2.6.2 แรงกระทำต่อเส้นลวดที่มีกระแสไหลผ่าน

เมื่อมีกระแสไหลในเส้นลวดที่วางในสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงกระทำต่อลวดนั้น โดยขนาดของแรงหาได้จาก

$$F = I\,L\,B \sin\theta$$

เมื่อ

F = แรงกระทำต่อเส้นลวด N

I = กระแสไฟฟ้าที่ไหลในเส้นลวด A

L = ความยาวของเส้นลวด m

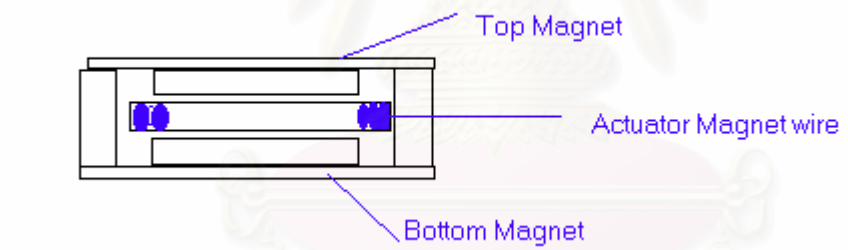
B = ความเข้มสนามแม่เหล็ก T, Wb/m^2

θ = มุมระหว่างเส้นลวดกับสนามแม่เหล็ก

ทิศของแรงหาได้จากกฎมือขวา กำนิ้วทั้งสี่ของมือขวาจากทิศของกระแส I ไปหาทิศของสนามแม่เหล็ก B หัวแม่มือจะชี้ทิศของแรง F

2.6.3 หลักการของอุปกรณ์เคลื่อนที่ขดลวดแม่เหล็ก

จากพื้นฐานของระบบกลไกซึ่งใช้ในการขับเคลื่อนหัวอ่านในอุปกรณ์ hard disk ซึ่งควบคุมด้วยการป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไปสู่ขดลวดทองแดง เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตัดผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าถาวรอันเกิดจาก magnetized magnet ซึ่งเรียกว่า permanent magnet เป็นกลไกซึ่งสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ในช่วงองศาต่ำ ๆ ด้วยการควบคุมกระแสไฟฟ้าที่มีความเที่ยงตรงค่อนข้างสูง จึงเหมาะที่จะนำมาเป็นแนวคิดต้นแบบของการประยุกต์ เพื่อออกแบบเป็นระบบกลไกในการเคลื่อนที่



รูปที่ 2.4 ภาพแสดงส่วนประกอบอุปกรณ์เคลื่อนที่ขดลวดแม่เหล็ก

2.6.4. ลักษณะและความต้องการของผลิตภัณฑ์

การประยุกต์กลไก เพื่อใช้งานในการนำเอาสัญญาณย่านความถี่ของแสงในช่วงต่าง ๆ ไปใช้งาน หรือทำการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณคลื่นความถี่ที่มีสัญญาณอ่อนกำลังลง

ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำการออกแบบและวางแผนกระบวนการผลิต คือ อุปกรณ์ชิ้นส่วนซึ่งทำหน้าที่เป็นกลไกในการเคลื่อนที่ของตัวกระจกที่ใช้ในการสะท้อนแสง แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของแสงเมื่อเกิดการตกกระทบและสะท้อนกลับจะเห็นว่าย่านความถี่แสงที่แตกต่างกันจะกระจายสะท้อนกลับไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ดังนั้น การที่จะต้องการให้สัญญาณแสงทุกย่านความถี่สะท้อนกลับไปสู่จุดที่ต้องการเดียวกัน จำเป็นจะต้องมีการเคลื่อนที่ กระจกสะท้อนแสงในมุมที่ต่างกันไป

2.7 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์

2.7.1 มาตรฐาน(NEMA)

มาตรฐาน NEMA ที่กล่าวถึงคือ The National Electrical Manufacturers Association (NEMA) ซึ่งเป็นสมาคมการค้าขนาดใหญ่ในประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับบริษัทอุตสาหกรรมผู้ผลิตผลิตภัณฑ์กำเนิดไฟฟ้า, อุปกรณ์สื่อนำไฟฟ้า, การจ่ายกระแสไฟฟ้า, การควบคุม และอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์ปลายทาง NEMA ยังเป็นผู้นำในการพัฒนาข้อกำหนดมาตรฐานอุตสาหกรรมด้านต่างๆ

2.7.2 มาตรฐาน IEC

มาตรฐาน IEC มาจาก The international Electrotecnical Commission ซึ่งเป็นองค์กรนานาชาติที่ทำหน้าที่ในการกำหนดมาตรฐานสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็คทรอนิคส์ที่มีความสำคัญกับการพัฒนาเทคโนโลยี เป็นเสมือนข้อกำหนดมาตรฐานนานาชาติ ซึ่งในที่นี้ IEC ยังมีส่วนที่ครอบคลุมถึงอุตสาหกรรมทางอิเล็คทรอนิคส์ที่เกี่ยวพันกับสนามแม่เหล็ก หรืออุปกรณ์กำเนิดสนามแม่เหล็กหรือแม้กระทั่งงานอุตสาหกรรมการสื่อสาร

2.7.3 มาตรฐาน ASTM

ASTM international เกิดขึ้นเมื่อ คศ. 1898 เป็นองค์กรที่ก่อตั้งขึ้นมาโดยไม่หวังผลกำไรเพื่อมีส่วนช่วยในการพัฒนาและการกำหนดมาตรฐานของวัตถุดิบที่ใช้ในผลิตภัณฑ์หรือระบบแม้กระทั่งงานบริการ มากกว่า 100 ประเทศได้เข้ามาเป็นสมาชิกของ ASTM ไม่ว่าจะเป็นผู้ผลิต ผู้ใช้ หรือผู้ขาย มาตรฐาน ASTM ยังรองรับพื้นฐานของงานอุตสาหกรรมการผลิตเป็นที่รู้จักกันดีในนามของ American Society for Testing and Materials โดย ASTM จะกำหนดมาตรฐานในการยอมรับในการวิจัยและพัฒนา การทดสอบผลิตภัณฑ์ คุณภาพของระบบ และอื่น ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีเตรียมความพร้อมของปัจจัยในการดำเนินงานวิจัย

ทำการดำเนินการวางแผน โดยใช้หลักสำคัญ 8 ประการ แล้วดำเนินการไปตามขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1. จัดตั้งกลุ่มผู้ปฏิบัติงาน
2. กำหนดเป้าหมายและวัตถุประสงค์
3. กำหนดกลุ่มลูกค้า
4. กำหนดแผนด้านระยะเวลา
5. พิจารณาถึงแนวคิดของผลิตภัณฑ์
6. ดำเนินการข้อตกลงภายในทีม
7. จัดทำกำหนดเวลาขั้นตอนดำเนินการ QFD
8. จัดทำความต้องการด้านองค์ประกอบที่ใช้และวัสดุอุปกรณ์

ขั้นตอนการวางแผน QFD ถือเป็นหัวใจสำคัญในการดำเนินสู่ความสำเร็จ สู่การดำเนินการพัฒนา House of Quality โดยการนำเอาความต้องการของลูกค้ามาเป็นตัวกำหนดให้แก่ทีมผู้ปฏิบัติงาน

3.1.1 ดำเนินการจัดตั้งกลุ่มผู้ปฏิบัติงานและวางภาระหน้าที่ของกลุ่มผู้ปฏิบัติงาน

ในการปฏิบัติโดยทั่วไป การดำเนินไปสู่จุดมุ่งหมายในความสำเร็จตามขบวนการ QFD กลุ่มผู้ปฏิบัติงานที่สำคัญจะมาจากส่วนหลัก ๆ 3 ส่วนด้วยกัน คือ

1. กลุ่มผู้บริหาร (Management Support)
2. กลุ่มผู้ปฏิบัติงานที่มีความเชี่ยวชาญในด้านต่าง ๆ เพื่อรองรับการผลิต (Functional Support)
3. ผู้ดำเนินการในด้านเทคนิค QFD (QFD Technical Support)

- กลุ่มผู้บริหาร (Management Support)

ทำหน้าที่ในการติดต่อสื่อสารกับผู้บริหารชั้นสูงในองค์กรและจัดทำการวางแผนการใช้ทรัพยากรด้านต่าง ๆ ให้สมบูรณ์เพื่อรองรับกับความต้องการของการดำเนินการตามหลัก QFD ทั้งนี้ทรัพยากรที่กล่าวถึง รวมทั้งทรัพยากรบุคคลในองค์กร, ทรัพยากรด้านวัตถุดิบ และแม้กระทั่งความต้องการของลูกค้า อีกทั้งเป็นผู้นำให้ทีมงานได้ใส่ใจและให้ความสำคัญกับกรรมวี QFD เพื่อนำสู่ความสำเร็จ

- กลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านต่าง ๆ

การจัดตั้งทีมที่มีความรู้ในด้านต่าง ๆ เพื่อรองรับการผลิตจะต้องคำนึงถึงตัวผลิตภัณฑ์ โดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญเหล่านี้จะเข้ามามีส่วนร่วมในการดำเนินการวิจัยและพัฒนา รวมทั้งการวางแผนหรือการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาและกรรมวิธีต่าง ๆ โดยในที่นี้จะได้จัดกลุ่มผู้เชี่ยวชาญมาจากส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- จัดซื้อ (Purchasing)
- ฝ่ายผลิต (Manufacturing)
- ฝ่ายคุณภาพ (Quality Assurance)
- ฝ่ายควบคุมการผลิต (Process Engineer)
- ฝ่ายออกแบบ (Design Engineer)
- ฝ่ายการเงิน (Finance)
- ฝ่ายฝึกอบรม (Training)

- ผู้ดำเนินการด้านเทคนิค QFD (QFD Technical Support)

เป็นบุคคลที่มีความเข้าใจในวิธีดำเนินการตามหลักเทคนิค QFD โดยจะเป็นผู้ให้ความรู้แก่สมาชิกในกลุ่มที่ปฏิบัติงาน ให้มีความรู้ ความเข้าใจ QFD ด้วย อีกทั้งจะต้องเป็นผู้กำหนดความต้องการของ QFD ให้แก่สมาชิกในกลุ่มให้ทราบเพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการเพื่อช่วยให้บรรลุถึงความสำเร็จที่ได้ตั้งไว้ในจุดประสงค์

3.1.2 กำหนดเป้าหมายและวัตถุประสงค์

เป้าหมายและวัตถุประสงค์หลักในการนำเอาเทคนิค QFD เข้ามาช่วยในการออกแบบและการผลิตในที่นี้ที่สมาชิกในกลุ่มทำงานจะต้องคำนึงถึงเสมอ คือ

- สามารถเข้าใจถึงความต้องการของลูกค้าได้ดี
- ช่วยในการกำหนดเป้าหมายด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์
- ประเมินความสามารถของผลิตภัณฑ์ที่ดำเนินการได้เพื่อเปรียบเทียบกับคู่แข่งขัน
- ทำให้กลุ่มผู้ปฏิบัติงานมีมุมมองที่มีแนวทางเดียวกันในการส่วนของผลิตภัณฑ์
- มีเอกสารรองรับการดำเนินการตัดสินใจในด้านต่าง ๆ ของการดำเนินการวิจัย
- มีการจัดทำแผนปฏิบัติงานเพื่อทำให้งานวิจัยดำเนินการก้าวหน้า
- เชื่อมโยงถึงขบวนการตัดสินใจต่าง ๆ ที่สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า
- ลดความเสี่ยงในการเริ่มต้นงานวิจัยใหม่ อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงข้อมูลของลูกค้า ในขณะที่งานวิจัยหรืองานดำเนินการพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้ดำเนินการมาแล้ว โดย

การแก้ไขข้อมูลความต้องการสามารถนำไปเปลี่ยนแปลงในตาราง HOQ (House of Quality) เดิมได้เลย

- ช่วยให้แผนและการวางแผนมีความเที่ยงตรงสูง เนื่องจาก QFD จะช่วยให้เกิดโครงสร้างของแผนการทำงานที่ถูกต้องสูง

3.1.3. ประเมินและกำหนดกลุ่มลูกค้า

โดยทั่วไปในแผนการจัดทำ QFD จะเป็นกำหนดกลุ่มลูกค้าและดำเนินการพิจารณาการจัดลำดับความสำคัญเป็นกลุ่มลูกค้า แต่ในงานวิจัยนี้ ลูกค้าเป็นกลุ่มเดียวกันที่มีความต้องการใกล้เคียงกัน ในกลุ่มงานอิเล็คทรอนิคส์ จึงถือได้ว่าเป็นกลุ่มลูกค้าสำคัญ (Key customer) เดียวกัน เนื่องจากมาตรฐานการยอมรับผลิตภัณฑ์มีความใกล้เคียงกันมาก จึงอยู่ในลำดับความสำคัญเดียวกัน

3.1.4 กำหนดแผนงานด้านเวลา

เพื่อควบคุมให้การดำเนินการของงานวิจัยเป็นไปตามเป้าหมายในเงื่อนไขของระยะเวลา จึงจำเป็นจะต้องมีการจัดทำการวางแผนด้านระยะเวลาไว้พอสังเขปในเบื้องต้น

3.1.5. ศึกษาถึงแนวคิดของผลิตภัณฑ์

สิ่งสำคัญเบื้องต้นของกระบวนการ QFD คือ ความเข้าใจในทางลึกอันเกี่ยวข้องกับตัวผลิตภัณฑ์ ในแง่ของหลักการออกแบบ หรือกรรมวิธีการทำงานของผลิตภัณฑ์ ในที่นี้ จะต้องมุ่งมองถึงการวางจุดประสงค์ และแนวทางต่างๆ ในการแก้ไขปัญหาเพื่อผลักดันให้ประสบผลสำเร็จ นั่นหมายความว่า กลุ่มผู้ปฏิบัติงานจะต้องศึกษาข้อมูลพื้นฐาน ในส่วนของเทคนิคต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นทฤษฎีพื้นฐาน และ สิ่งที่หน้าจะเป็นเหตุของความบกพร่องและสิ่งที่น่าจะเป็นแนวทางแก้ไข

3.1.6. จัดระเบียบข้อตกลงภายในกลุ่ม

ดำเนินการจัดสรรภาระหน้าที่ในแต่ละส่วนของการดำเนินการให้แก่สมาชิกภายในกลุ่ม ซึ่งโดยส่วนใหญ่ก็คือกลุ่มผู้เชี่ยวชาญในแต่ละด้านเทคนิคต่าง ๆ โดยการมอบหมายภาระงานในการรับผิดชอบ (ownership) และการให้อำนาจในการตัดสินใจในเบื้องต้น (decision making) ซึ่งองค์ประกอบสำคัญสองส่วนดังกล่าวถือว่าเป็นการช่วยให้การปฏิบัติงานดำเนินไปได้อย่างราบรื่น โดยยึดถือความสำเร็จในตัวผลิตภัณฑ์

กลุ่มผู้พัฒนาตาราง QFD จะต้องคำนึงถึง การวางกลยุทธ์เบื้องต้น อันที่จะเกิดขึ้นกับตัวผลิตภัณฑ์ ไม่ว่าจะเป็น การออกแบบ แนวทางการพัฒนา การดำเนินการผลิต ดังนั้นเพื่อการเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ควรคำนึงถึงการจัดสรรบุคลากรในการดำเนินงานโดยยึดแนวทางคร่าวๆ ดังนี้

1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับลูกค้า
2. มีประสบการในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียง
3. มีความตั้งใจที่จะมีส่วนร่วมในการวางแผนโดยใช้แนวทางของ QFD
4. เป็นบุคลากรจากส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานพัฒนา
5. มีอำนาจหน้าที่ในการตัดสินใจในฐานะตัวแทนของส่วนงานนั้น
6. มีความรู้ในส่วนที่เกี่ยวข้องในฐานะตัวแทนของส่วนงานนั้น

3.1.7 กำหนดแผนงานในส่วนงาน QFD

กำหนดเวลาในการทำ QFD ในแต่ละส่วน ของขบวนการ เพื่อเป็นแผนนโยบายคร่าวๆในการปฏิบัติงาน

3.1.8. จัดเตรียมองค์ประกอบเพื่อการดำเนินงาน

องค์ประกอบในการดำเนินการผลิต โดยหลักแล้วประกอบด้วย เรื่องของ สถานที่ในการผลิต อุปกรณ์ เครื่องมือสนับสนุน เครื่องจักร และ วัตถุดิบที่จะใช้ในการผลิต

3.2 **วิธีการวางแผนผลิตภัณฑ์** (Product Planning)

เมื่อทราบความต้องการของลูกค้าแล้ว จะต้องจัดเตรียมตารางคุณภาพ “House of Quality “ โดยลำดับขั้นตอนการปฏิบัติ ดังนี้

1. นำเอาความต้องการของลูกค้าบรรจุไว้ด้านซ้ายมือของตารางคุณภาพ โดยความต้องการทั้งหลายจะถูกจัดเป็นหมวดหมู่ตามวิธีที่เรียกว่า Affinity diagram ทั้งนี้ต้องแน่ใจว่าสิ่งที่เป็นความต้องการของลูกค้าจะมีผลต่อการตลาดโดยตรง ถ้าจำนวนหรือปริมาณความต้องการของลูกค้ามีมากกว่า 20 หรือ 30 รายการ อาจจะต้องแยกตารางการกระจายคุณภาพออกเป็นการพิจารณาสำหรับกลุ่มเล็กๆ หลายๆตารางเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา สำหรับในแต่ละรายการความต้องการจะถูกจัดลำดับความสำคัญโดยการให้คะแนน ตั้งแต่ 1 ถึง 5 ซึ่งการลำดับความสำคัญที่ได้จะส่งผลถึงการพิจารณาด้านเทคนิคต่างๆ ในการพัฒนา ผลิตภัณฑ์

2. ประเมินคุณภาพเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียง โดยใช้การสำรวจ หรือผลการตอบสนองจากลูกค้าประเมินเปรียบเทียบกับคู่แข่งขัน แล้วจัดทำ ข้อมูล บ่งชี้ถึงการประเมินด้านมูลค่าของผลิตภัณฑ์ การตลาด การรับประกัน ความน่าเชื่อถือ พร้อมทั้งการรวบรวมปัญหาที่เคยเกิดขึ้นในอดีตไว้เป็นแนวทางในการปรับปรุง โดยการดำเนินยุทธ์ศาสตร์ เช่นนี้ต้องพิจารณา จุดแข็งและจุดอ่อน ของผลิตภัณฑ์เทียบกับคู่แข่งขัน พร้อมความเข้าใจอย่างถ่องแท้ในเหตุผลของการเป็นจุดอ่อนและจุดแข็ง และเตรียมหนทางในการกำจัดจุดอ่อนดังกล่าว ไม่ว่าจะเป็นการปรับเปลี่ยนกรรมวิธีให้เหมือนคู่แข่งขันหรือการหาวิธีการใหม่ๆมาใช้ โดยจะต้องประเมินโอกาสที่จะมีคุณภาพดีกว่า โดยแบ่งเป็นจุดที่ต้องการพัฒนาให้เท่าเทียมและจุดที่ไม่ต้องการการปรับปรุง สิ่งดังกล่าวเหล่านี้ถือเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้มุ่งเน้นถึงการปรับปรุงพัฒนาผลิตภัณฑ์
3. จัดทำข้อกำหนดของความต้องการของผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการที่จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ดังกล่าว เพื่อรองรับตามความต้องการของลูกค้า โดยบรรจุไว้เป็นรายละเอียดในแต่ละหมวดหมู่ ลักษณะความต้องการดังกล่าวจะต้องมีนัยสำคัญ สามารถวัดผลได้และครอบคลุมความต้องการ โดยสิ่งเหล่านี้ จะต้องไม่ก่อให้เกิดผลกระทบกับวิธีการผลิต อีกทั้งต้องไม่ก่อให้เกิดข้อจำกัดของการออกแบบด้วย
4. จัดทำความสัมพันธ์ระว่างความต้องการของลูกค้าและความต้องการของผลิตภัณฑ์ในการรองรับการผลิตโดยใช้สัญญลักษณ์ที่มีความหมาย 3 ระดับ คือ สัมพันธ์กันมาก (Strong) สัมพันธ์กันระดับปานกลาง (Medium) และไม่สัมพันธ์หรือมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก (Weak) ซึ่งมักจะให้ความสนใจในกลุ่มข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันมาก
5. จัดทำกระบวนการผลิตที่คาดว่าจะเป็นสำหรับการดำเนินผลิตผลิตภัณฑ์ และของคู่แข่งหรือผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงแล้วทำการเปรียบเทียบในเชิงเทคนิค (Benchmarking) โดยทำบนพื้นฐานของรายละเอียดรายการความต้องการของผลิตภัณฑ์ ภายใต้เงื่อนไขของข้อมูลการรับประกันการบริการ แก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นและค่าใช้จ่าย
6. ตั้งเป้าหมายที่คาดว่าควรจะเป็นความต้องการของผลิตภัณฑ์เบื้องต้นขึ้นมา
7. ตรวจสอบความสัมพันธ์ที่มีความน่าจะเป็นไปในทางเดียวกันและในทางขัดแย้งกันระหว่างความต้องการของผลิตภัณฑ์ในรายการต่าง ๆ โดยใช้สัญลักษณ์แสดงความสัมพันธ์มาก (Strong) ปานกลาง (Medium) สำหรับความสัมพันธ์ที่ไปในทางเดียวกัน (Positive) และขัดแย้งกัน (Negative)
8. จัดลำดับความสำคัญโดยการให้คะแนนตามน้ำหนักความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย โดยจัดลำดับคะแนนเป็น (5-3-1, 9-3-1, หรือ 4-2-1) ก็ได้ แล้วแต่ผู้ปฏิบัติ จากนั้นคูณคะแนนที่ให้ในแต่ละส่วนในตารางคุณภาพในแต่ละแนว (column) จะได้คะแนนรวมของการจัดลำกับ

ความสำคัญในแต่ละรายการของความต้องการของผลิตภัณฑ์หรือที่เรียกว่าปัจจัยทางเทคนิคที่รองรับการผลิต

9. ประเมินความยากง่ายของเทคนิคต่าง ๆ โดยการแสดงเป็นลำดับคะแนน ในที่นี้เทคนิคที่ยากที่สุดให้ประเมินด้วยเลขจำนวนสูงที่สุด ดังนั้นในแต่ละรายะการของความต้องการของผลิตภัณฑ์จะมีลำดับคะแนนแสดงความยากง่ายไว้ด้านล่างของตารางคุณภาพ หลักการพิจารณาให้ยึดถือการคำนึงว่าเทคโนโลยีนั้นเก่าหรือใหม่ ความสามารถของผู้ปฏิบัติงาน ความเสี่ยงทางด้านธุรกิจ ความสามารถของโรงงานอุตสาหกรรม หรือความสามารถของผู้ผลิตที่จะส่งชิ้นส่วนต่าง ๆ มาให้ ค่าใช้จ่ายระยะเวลา การหลีกเลี่ยงสิ่งที่เป็นความยาก หรือก่อให้เกิดความเสี่ยงมาก เพื่อที่จะได้ไม่ทำให้เกิดการทำงานที่ล่าช้า และค่าใช้จ่ายที่มากเกินไปจากที่กำหนดไว้ การยอมดำเนินการในสิ่งที่ยาก จะต้องมีเหตุผลเมื่อสิ่งนั้นจะทำให้บรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้และไม่ทำให้มีค่าใช้จ่ายเกินกว่าที่กำหนด
10. วิเคราะห์ตารางคุณภาพและจัดทำข้อสรุปของแผนกลยุทธ์ในการออกแบบพัฒนาผลิตภัณฑ์ ตรวจสอบความต้องการในส่วนที่มุ่งเน้นและกำหนดเป้าหมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านเป้าหมายจะต้องสอดคล้องกับความยากง่ายของเทคโนโลยี หรือเทคโนโลยีดังกล่าวสามารถดำเนินการได้ และรองรับถึงข้อกำหนด การลำดับความสำคัญ (importance rating) ในรายการความต้องการของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามเป้าหมายดังกล่าวจะต้องรักษาไว้ในการยึดถือความต้องการของลูกค้า

3.3 วิธีวางแนวคิดและแนวทางการออกแบบ (Product Deployment)

เมื่อการวางแผนผลิตภัณฑ์ดำเนินการเรียบร้อย ความต้องการในลำดับถัดไปคือการกำหนดรายการข้อกำหนดของรายละเอียด (Specification) สิ่งดังกล่าวจะต้องรองรับความต้องการหรือเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ที่วางเอาไว้ วิธีการทำการเปรียบเทียบ (Product benchmarking) การระดมความคิด (Brainstorming) และการวิจัยพัฒนา (Research and development) ถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญในการทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ

หลังจากที่แนวคิดของผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นจะต้องมีการพิสูจน์ รวมทั้งการศึกษาถึงค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนเปรียบเทียบกับการตลาด ในที่นี้จะใช้ตารางคุณภาพช่วยในการพิสูจน์

ตารางคุณภาพที่นำมาใช้จะนำความต้องการของผลิตภัณฑ์ (Product Requirement or technical Characteristics) บรรจุไว้ในส่วนด้านซ้ายของตาราง สิ่งเหล่านี้เป็นสิ่งที่คาดว่าจะเป็นข้อวิกฤตที่นำมาใช้พิสูจน์หาวิธีการที่เหมาะสม หลังจากนั้นทำการจัดลำดับความสำคัญ (Important Rating) ในแต่ละรายการ ลำดับดังกล่าวเป็นค่าเดียวกับที่ใช้ในการทำ Product Planning นำแนวคิด (concept) แต่ละวิธีบรรจุไว้ด้านบนของตาราง ทำการเปรียบเทียบแต่ละ

แนวคิดที่มีผลต่อรายการของความต้องการผลิตภัณฑ์ โดยในการเปรียบเทียบก็คือการให้น้ำหนักของแต่ละแนวคิด อาจใช้สัญลักษณ์น้ำหนักของข้อดีและข้อเสีย (5-3-1) และการคำนวณหลังจากที่ให้น้ำหนักเรียบร้อยแล้ว คือการเอาตัวเลขที่ได้จากการประเมินข้อดีคูณเข้ากับเลขของลำดับความสำคัญ และรวมผลคูณในแต่ละรายการของแนวคิดนั้นๆ เปรียบเทียบกัน เมื่อแนวคิดไหนได้คะแนนสูงหมายความว่าแนวคิดนั้นน่าจะเหมาะสมที่สุด

การใช้ตารางคุณภาพดังที่กล่าวมานี้สามารถใช้ในการพิจารณาลึกลงไปถึงชิ้นส่วนย่อย ๆ ที่ใช้ประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายได้ ทั้งนี้แนวความคิดดังกล่าวสามารถแสดงเป็นรายละเอียดเชิงแนวคิดในรูปของแผนผังดังรูปด้านล่าง นอกจากนี้แล้ว เทคนิคที่สำคัญในการพิจารณาจุดหรือองค์ประกอบที่สำคัญอาจใช้แผนภูมิความบกพร่อง (Fault Tree analysis หรือ Failure Mode and effects analysis (FMEA) ช่วยในการปรับปรุงความน่าเชื่อถือและคุณภาพของผลิตภัณฑ์

นำเอาข้อกำหนดดังกล่าวที่บรรจุอยู่ด้านซ้ายของตารางคุณภาพ ซึ่งเป็นความต้องการของผลิตภัณฑ์จะถูกแปลงเป็นข้อกำหนดในการพิจารณาถึงองค์ประกอบลำดับต่ำลงมา คือ ชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่จะนำมาประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย นั่นหมายความว่าการกำหนดความสัมพันธ์อันได้มาจากความต้องการของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากขั้นตอน Product Planning กับลักษณะของชิ้นส่วน (Part) หรือองค์ประกอบ (Subassembly) จะต้องเป็นไปในทางเดียวกัน การพิจารณาก็ยังคงใช้ลำดับความสำคัญของแต่ละราการกับการให้คะแนนความสัมพันธ์ของการพิจารณาส่วนประกอบต่าง ๆ

3.4 วิธีการออกแบบกระบวนการผลิตและการวางแผนควบคุมการผลิต (Process Planing and Process Control)

QFD ยังคงสามารถนำไปสู่การวางแผนการผลิตในช่วงของการออกแบบโดย หลักการคือว่า คำถาม “How” ในชิ้นส่วนที่อยู่ในลำดับสูงกว่าในขบวนการผลิต (Top-level process) จะกลายเป็น “Whats” ในการออกแบบและวางแผนการผลิตชิ้นส่วนในลำดับถัดมา (Down-stream process) ขบวนการผลิตที่สำคัญรวมทั้งข้อกำหนดด้านเครื่องมือสามารถจะถูกระบุไว้ในการควบคุม

สิ่งสำคัญเพิ่มเติมในการวางแผนการผลิต คือ รายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมกระบวนการผลิต การควบคุมคุณภาพ การปรับตัว เครื่องมือ เครื่องจักร การซ่อมบำรุง หรือแม้แต่การทดสอบก็สามารถดำเนินไปได้โดยการใช้ตารางคุณภาพ โดยการนำขั้นตอนการผลิตที่ได้จากการวางแผนการผลิตมาเป็นแนวทางการทำแผนควบคุมการผลิต นั้นคือ ผู้ผลิต (Manufacturing) จะต้องรู้ว่าขบวนการใดเป็นขบวนการที่ถือว่าเป็นจุดวิกฤตที่ต้องการการเอาใจใส่ หรือการควบคุมสูงที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์โดยตรงในแง่ของความต้องการของลูกค้า

3.5 วิธีทดสอบการผลิต

เป็นกระบวนการดำเนินการทดลองหรือเก็บข้อมูลเพื่อพิสูจน์และยืนยันแผนการดำเนินการผลิตที่ได้ปฏิบัติมาตามขั้นตอนของการออกแบบจนกระทั่งเป็นผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ตรงกับความต้องการของลูกค้าตามข้อกำหนดด้านวิศวกรรมจริง

3.5.1 การทดสอบการผลิตขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

3.5.1.1 ทำการทดลองพันขดลวดสำหรับงานต้นแบบ

วิธีการทดลอง

1. ทดลองทำงานตัวอย่าง 32 ชิ้น
2. กำหนดความเร็วรอบ 800 RPM
3. กำหนดแรงดึงของเส้นลวดที่ 81 กรัม
4. วัดค่าความต้านทานของเส้นลวด
5. วัดค่าขนาดของขดลวดทั้งความกว้างและความหนา

3.5.1.2 ยืนยันผลการผลิต

ยืนยันขบวนการผลิตที่ได้จากข้อ 3.5.1โดยการทดลองผลิตตัวอย่างเพิ่ม 150 ชิ้น และทำการบันทึกผลพร้อมกับวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขบวนการผลิต

3.5.2 การทดสอบการผลิตกรอบขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

การทดลองทำการขึ้นรูปชิ้นงานตามแบบกำหนดเบื้องต้น

วิธีการทดลอง

1. ขึ้นรูปชิ้นงานตามขบวนการผลิต
2. ปฏิบัติตามข้อกำหนดต่างๆที่ได้กำหนดไว้ในกระบวนการผลิต
3. สุ่มตัวอย่างชิ้นงาน 5 ชิ้นจากการผลิต 30 ชิ้น
4. วัดค่าขนาดของชิ้นงานตามค่าต่าง ๆ อย่างละเอียดตามการออกแบบและข้อกำหนด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5.3 การทดสอบการกระบวนการประกอบชุดขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

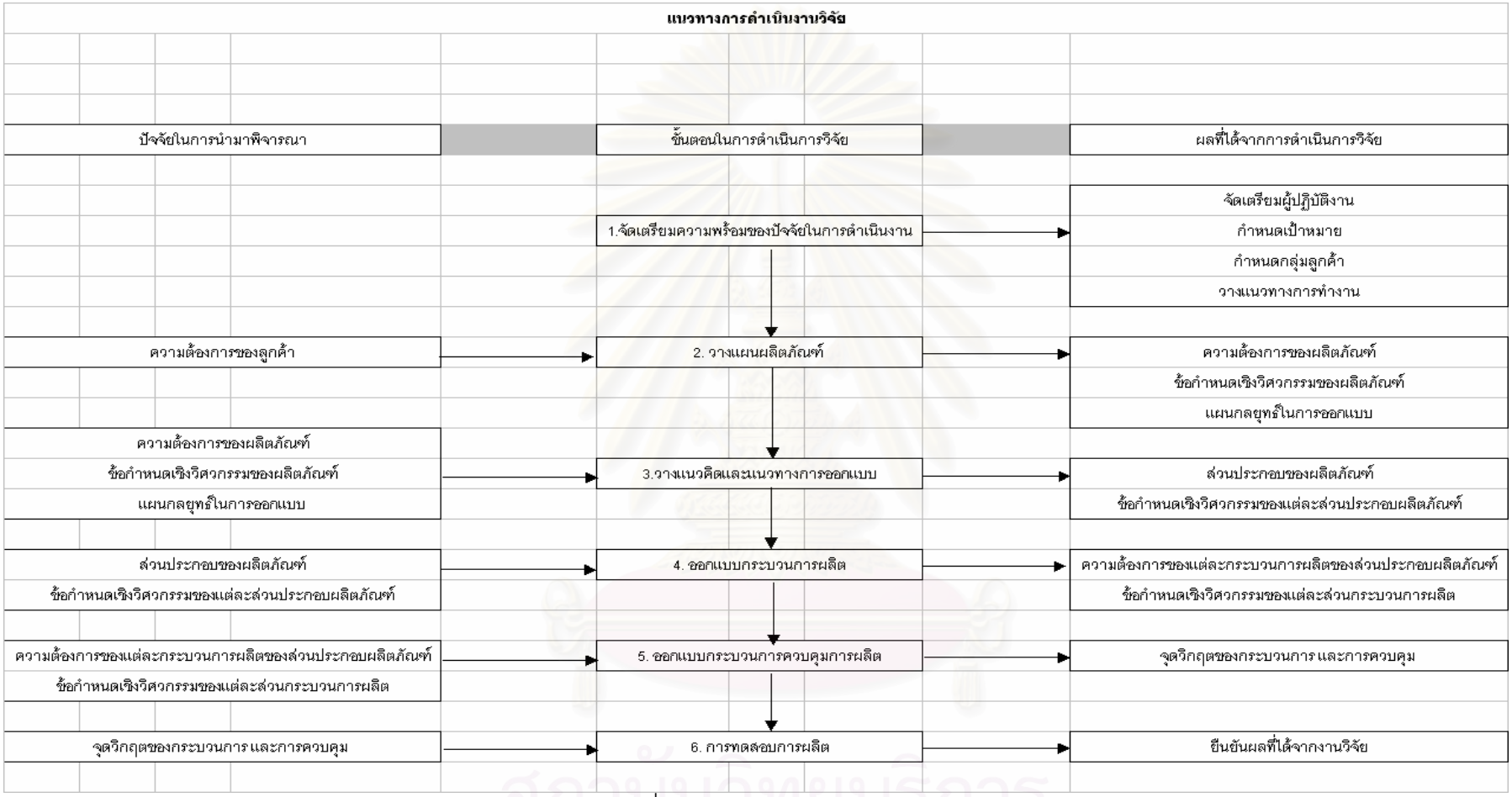
การทดตรวจสอบการออกแบบกระบวนการประกอบชิ้นงาน

วิธีการทดลอง

1. สุ่มชิ้นงาน 10 ตัว ไปทดสอบความสามารถในการการรับแรงกดของกาว
2. สุ่มชิ้นงาน 50 ตัว ไปทดสอบค่าความต้านทาน และ การลัดวงจร
3. สุ่มตัวอย่างชิ้นงาน 3 ชิ้นส่งห้องวิจัยตรวจสอบสารประกอบที่สามารถระเหิดออกมาได้ที่อุณหภูมิสูง
4. สุ่มตัวอย่างชิ้นงาน 3 ชิ้นส่งห้องวิจัยตรวจสอบค่าความสะอาด NVR (Non-Volatile Residue)

จากวิธีการดำเนินการวิจัยทั้งหมดสามารถสรุปได้เป็นแผนผังดังรูป 3.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 แผนผังแนวทางการดำเนินงานวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ผลการวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning)

จากลักษณะและความต้องการเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ (Product Definition) ที่ต้องการทำการออกแบบและวางแผนกระบวนการผลิต คือ อุปกรณ์ชิ้นส่วนซึ่งจะต้องทำหน้าที่เป็นกลไกในการช่วยรองรับการเคลื่อนที่ของตัวกระจกขนาดเล็กเพื่อใช้ในการสะท้อนแสง

หลักการของอุปกรณ์ที่สามารถรองรับการเคลื่อนที่ตามความต้องการของลูกค้าในเบื้องต้นพบว่ามีอยู่หลายหลักการด้วยกัน ในที่นี้จะแยกหลักการใหญ่ ๆ ออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. หลักการเคลื่อนที่โดยระบบกลไกทางด้านเครื่องกล โดย ใช้เฟืองหรือสายพานขนาดเล็ก
2. ระบบกลไกทางด้านไฟฟ้าที่อาศัยการเคลื่อนที่ของขดลวดตัดสนามแม่เหล็ก

ทั้งนี้ทั้งสองระบบดังกล่าวดูเหมือนจะสามารถรองรับการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ที่กล่าวมาข้างต้นได้เช่นกัน ซึ่งการจะเลือกใช้วิธีการใดนั้นจำเป็นจะต้องนำหลักการทั้งสองมาทำการเปรียบเทียบกับความต้องการเบื้องต้นของลูกค้าในตัวผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย เพื่อเลือกวิธีการที่เหมาะสมที่สุดไปใช้ในการดำเนินการออกแบบต่อไป

4.1.1 ผลการประเมินความต้องการของลูกค้า

ก่อนทำการเปรียบเทียบเพื่อหาหลักการที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้ในการออกแบบจะต้องรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นทางด้านความต้องการของลูกค้า(Customer Reuirement) ในตัวผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย เพื่อนำมาเป็นหลักเกณฑ์ในการตัดสิน โดยข้อมูลเบื้องต้นความต้องการของลูกค้าที่ได้มาจากการรวบรวมมีดังต่อไปนี้

1. ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ต้องมีความเที่ยงตรงสูง
2. ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะต้องมีขนาดเล็ก
3. เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา
4. จะต้องไม่มีความซับซ้อนมากเกินไป ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการซ่อมบำรุงสูง
5. ราคาถูก
6. ไม่เกิดเสียงดังขณะทำงาน
7. มีอายุการทำงานยาวนาน
8. มีความน่าเชื่อถือสูง

4.1.1.1 ผลการจัดหมวดหมู่ความต้องการของลูกค้า

ความต้องการ	หมวดความต้องการ
1. ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ต้องมีความเที่ยงตรงสูง 2. มีอายุการทำงานยาวนาน 3. ไม่เกิดเสียงดังขณะทำงาน 4. มีความน่าเชื่อถือสูง	การใช้งาน
5. จะต้องไม่มีความซับซ้อนมากเกินไป 6. ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะต้องมีขนาดเล็ก 7. เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา	ลักษณะทางกายภาพ
8. ราคาถูก	ราคา

ตาราง 4.1 การจัดหมวดความต้องการของลูกค้า

4.1.1.2 ผลการจัดลำดับความสำคัญของความต้องการของลูกค้า

เมื่อรวบรวมข้อมูลความต้องการของลูกค้าได้แล้ว ก่อนนำไปใช้ประโยชน์ในการเปรียบเทียบในตารางคุณภาพจะต้องนำมาจัดลำดับความสำคัญในแต่ละความต้องการก่อน เนื่องจากการดำเนินการใด ๆ หรือวิธีการใด ๆ ไม่อาจทำให้ส่งผลตอบสนองความต้องการได้ทุกข้อ ดังนั้นจะต้องทราบความต้องการที่แท้จริง โดยให้คะแนนลำดับความสำคัญมากที่สุดและลำดับรองลงมาตามลำดับ

หมวดความต้องการ	ความต้องการ	ลำดับความสำคัญ
การใช้งาน	1. ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ต้องมีความเที่ยงตรงสูง	5
	2. มีอายุการทำงานยาวนาน	5
	3. ไม่เกิดเสียงดังขณะทำงาน	1
	4. มีความน่าเชื่อถือสูง	5
ลักษณะทางกายภาพ	5. จะต้องไม่มีความซับซ้อนมากเกินไป	3
	6. ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะต้องมีขนาดเล็ก	5
	7. เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา	3
ราคา	8. ราคาถูก	5

ตาราง 4.2 การจัดลำดับความสำคัญของความต้องการ

เมื่อได้ความต้องการของลูกค้าและลำดับความสำคัญแล้วก็นำไปบรรจุไว้ด้านซ้ายมือของตารางคุณภาพ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้า(Customer Requirement) กับความต้องการของผลิตภัณฑ์ (Product Requirement)

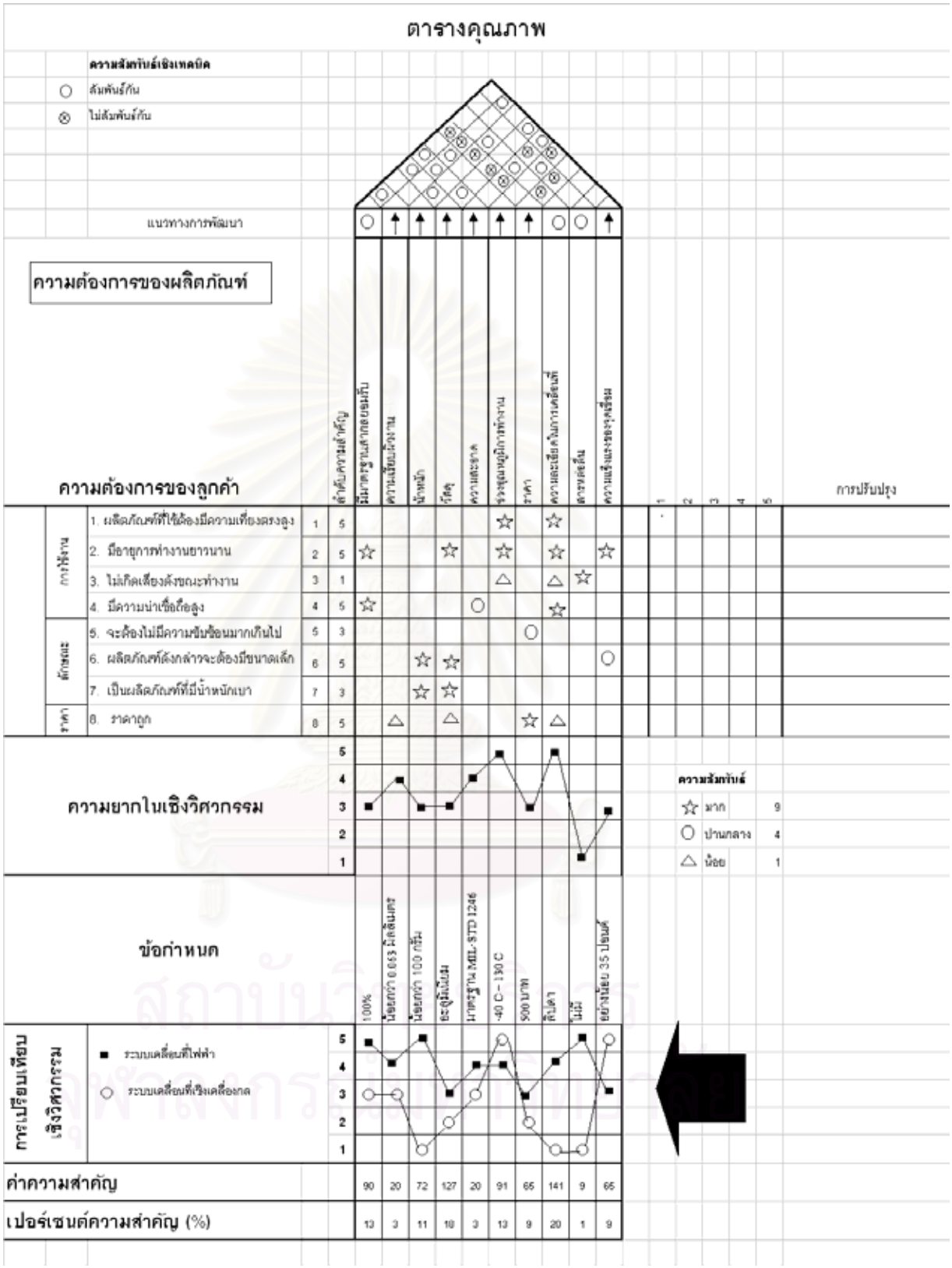
4.1.2. ผลของการจัดทำข้อกำหนดของความต้องการของผลิตภัณฑ์

ก่อนการนำเอาความต้องการไปทำการประเมินเปรียบเทียบ จะต้องจัดทำข้อกำหนดของความต้องการของผลิตภัณฑ์(Product Requirement) หรือขบวนการที่จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ดังกล่าว เพื่อรองรับตามความต้องการของลูกค้า รวมทั้งข้อกำหนดในการวัดผล ซึ่งเกิดจากการระดมความคิด โดยบรรจุไว้เป็นรายละเอียดในแต่ละความต้องการดังต่อไปนี้

ความต้องการของตัวผลิตภัณฑ์	ข้อกำหนดในการวัดผล
มีมาตรฐานสากลยอมรับ	
ความเรียบผิวงาน	น้อยกว่า 0.063 มิลลิเมตร
น้ำหนัก	น้อยกว่า 100 กรัม
วัสดุ	อะลูมิเนียม
ความสะอาด	มาตรฐาน MIL-STD 1246
ช่วงอุณหภูมิการทำงาน	-40 C – 130 C
ราคาต้นทุน	500 บาท
ความละเอียดในการเคลื่อนที่	ลิปดา
สารหล่อลื่น	ไม่มี
ความแข็งแรงของจุดเชื่อมของส่วนประกอบ	อย่างน้อย 35 ปอนด์

ตาราง 4.3 ผลของข้อกำหนดของความต้องการของผลิตภัณฑ์

นำข้อมูลที่ได้บรรจุลงใน ตารางคุณภาพ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้า(Customer Requirement) กับความต้องการของผลิตภัณฑ์ (Product Requirement) ทั้งนี้ถ้ามีความสัมพันธ์กันมากก็ให้ คะแนนมากที่ 9 คะแนน ส่วนปานกลาง 4 คะแนน และน้อยสุด 1 คะแนน พร้อมทั้งทำการประเมินความยากง่ายในแต่ละเทคนิค โดยประเมินร่วมกันกับทีมผู้ร่วมงานและผู้เกี่ยวข้อง ที่มีความรู้เกี่ยวกับเทคนิคนั้นๆ ก่อนจะประเมินความสำคัญทางด้านเทคนิคต่างๆ



ตาราง 4.4 ตารางคุณภาพแปรความต้องการของลูกค้าสู่ความต้องการของผลิตภัณฑ์

นอกจากจะได้ความต้องการของตัวผลิตภัณฑ์ (Product Requirement)จากการทำตารางคุณภาพซึ่งทำหน้าที่กระจายความต้องการของลูกค้าไปสู่ความต้องการของผลิตภัณฑ์แล้ว เมื่อทำการเปรียบเทียบขบวนการออกแบบพื้นฐานของอุปกรณ์ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ระหว่างระบบที่เคลื่อนที่โดยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดตัดสนามแม่เหล็ก กับระบบเคลื่อนที่เชิงเครื่องกล เพื่อกำหนดกลยุทธ์ในการออกแบบขั้นพื้นฐานพบว่าความเหมาะสมที่จะสนองต่อความต้องการของลูกค้า รวมถึงความเป็นไปได้ในเชิงวิศวกรรม ในการออกแบบนี้ควรเลือกทำการออกแบบระบบเคลื่อนที่ไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดตัดสนามแม่เหล็ก เนื่องจากเป็นระบบที่ง่ายต่อการออกแบบให้มีขนาดเล็ก และน้ำหนักเบา สามารถควบคุมความละเอียดในการเคลื่อนที่โดยการกำหนดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไปในขดลวด และทำงานได้ภายใต้ช่วงอุณหภูมิการทำงานที่กว้างตามความต้องการ โดยไม่ต้องการสารหล่อลื่น อีกทั้งพื้นฐานการออกแบบดังกล่าวนี้ได้มีมาตรฐานสากลรองรับเป็นพื้นฐานอยู่แล้ว จึงน่าจะรองรับความต้องการของลูกค้าได้เป็นอย่างดี

เมื่อได้แนวทางของการกำหนดแผนกลยุทธ์ในการออกแบบผลิตภัณฑ์เบื้องต้นแล้ว ก็จำเป็นจะต้องตรวจสอบความต้องการในส่วนที่มุ่งเน้นโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในด้านเป้าหมายหรือเทคโนลียีดังกล่าว จะต้องแน่ใจว่าสามารถดำเนินการได้ และรองรับถึงข้อกำหนด ดังนั้นการพิจารณาในลำดับต่อไปจะต้องทำการลำดับความสำคัญในรายการความต้องการของผลิตภัณฑ์ซึ่งได้จากตารางคุณภาพ

4.1.3 ผลการจัดลำดับความสำคัญในรายการความต้องการของผลิตภัณฑ์

สิ่งดังกล่าวนี้อาจเรียกว่าปัจจัยทางเทคนิครองรับการผลิต

ความต้องการของผลิตภัณฑ์	ค่าความสำคัญ	เปอร์เซ็นต์ความสำคัญ
ความละเอียดในการเคลื่อนที่	141	20
วัสดุ	127	18
ช่วงอุณหภูมิการทำงาน	91	13
มาตรฐานสากล	90	13
น้ำหนัก	72	11
ความแข็งของจุดเชื่อม	65	9
ราคา	65	9
ความเรียบผิวงาน	20	3
ความสะอาด	20	3
สารหล่อลื่น	9	1

ตาราง 4.5 ผลของค่าความสำคัญในรายการความต้องการของผลิตภัณฑ์

4.1.4 ผลของการจัดทำแผนกลยุทธ์ในการออกแบบพัฒนา

ความต้องการของผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการกระจายความต้องการของลูกค้าสู่ข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ จึงทำให้แน่ใจได้ว่ากลยุทธ์ในการออกแบบจะสามารถรองรับความต้องการของลูกค้าได้เป็นอย่างดี เมื่อความต้องการของผลิตภัณฑ์ถูกจัดลำดับความสำคัญแล้วก็เสมือนเป็นแนวทางในการกำหนดเป้าหมายในการดำเนินการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นแนวทางในการระดมความคิด (Brainstroming) เพื่อให้ได้ข้อกำหนดเบื้องต้นของตัวผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคในการผลิต

4.1.4.1 ข้อกำหนดเบื้องต้นของความต้องการผลิตภัณฑ์

เป็นการระดมความคิดที่คาดว่าน่าจะเป็นข้อกำหนดหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวผลิตภัณฑ์ โดยข้อมูลที่ได้จากการระดมความคิดซึ่งมาจากพื้นฐานรายการความต้องการของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย

1. ชุดขับเคลื่อนนี้จะต้องมีความละเอียดในการเคลื่อนที่สูงในหน่วยของลิปดาและมีความเที่ยงตรงตลอดเวลา
2. ค่าความต้านทานของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดทั้งหมดจะต้องมีภาระประมาณ 27.75 Ohm โดยมีช่วงค่าเผื่อที่ยอมรับได้ประมาณ 10% โดยการวัดที่อุณหภูมิปกติ
3. ชิ้นงานสุดท้ายจะต้องมีน้ำหนักเบา เพื่อสะดวกต่อการใช้งาน.
4. ขดลวดจะต้องยึดอยู่กับกรอบโลหะ ซึ่งมีน้ำหนักเบาและมีความเสถียรที่อุณหภูมิสูง โดยที่ค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างขดลวดกับกรอบโลหะจะต้องรับแรงได้ไม่น้อยกว่า 35 ปอนด์ที่เกิดจากแรงกด
5. ต้องมีจุดเพื่อที่จะต่อกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวดได้อย่างสะดวก
6. กำหนดให้การพันขดลวดให้พันในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา
7. จะต้องมีความไว้วางใจว่าจะไม่เกิดกระแสลัดวงจร อันเกิดจากขดลวดหนึ่งไปสู่ขดลวดหนึ่ง
8. ชุดขับเคลื่อนนี้จะต้องทำงานภายใต้ช่วงอุณหภูมิ - 40° C ถึง 130° C โดยภาระการทำงานเป็นการทำงานอย่างต่อเนื่อง และไม่ยอมให้เกิดผลกระทบต่อความคงทนของผลิตภัณฑ์
9. การทำงานอย่างต่อเนื่องของผลิตภัณฑ์ อันเป็นผลให้เกิดความร้อนแต่ผลิตภัณฑ์ต้องทนต่อความร้อนนั้นได้
10. ชิ้นงานจะต้องมีความสะอาดที่เป็นไปตามมาตรฐานกำหนดไว้สำหรับงานชิ้นส่วนอิเล็คโทรนิค

11. ราคาต้นทุนไม่ควรเกิน 500 บาท ต่อ ชิ้น
12. ความเรียบผิวของกรอบชิ้นงานที่ยึดขดลวดจะต้องไม่เกินกว่า 63 micron .
13. ปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์ไม่สูงมาก
14. ชิ้นงานที่ผลิตควรจะต้องระบุรายละเอียด วันที่ผลิตลงบนชิ้นงานด้วย เพื่อง่ายต่อการตรวจสอบ

จากข้อกำหนดเบื้องต้นของความต้องการของผลิตภัณฑ์จะถูกนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบและดำเนินการพัฒนาเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า แต่อย่างไรก็ตามข้อกำหนดในการพัฒนาอาจไม่สามารถเป็นไปตามแนวทางดังกล่าวได้ทุกข้อ ยกตัวอย่างเช่น การพัฒนาให้ผลิตภัณฑ์ใช้วัสดุที่มีความเรียบผิวสูงมีความแข็งแรงมาก หรืออาจกำหนดความละเอียดในการเคลื่อนที่สูงจนเกินไป ก็ย่อมส่งผลให้ราคาของผลิตภัณฑ์สูงตามไปด้วยเช่นกัน ตัวอย่างดังกล่าวนี้จะทำให้เกิดปัญหาว่าควรจะเลือกแนวทางใดเป็นหลักในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และอาจเป็นข้อโต้เถียงในกลุ่มของผู้ทำงาน ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวและทำให้ความเข้าใจของกลุ่มผู้ทำงานเป็นไปในทิศทางเดียวกัน จึงจำเป็นจะต้องนำเอากลุ่มความต้องการของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมาทำการจัดสรรเป็นหมวดหมู่ เพื่อนำไปพิจารณาเปรียบเทียบกับปัจจัยอื่น ๆ เช่น ผลกระทบต่อการตลาดซึ่งเป็นปัจจัยที่ได้มาจากการทำตารางคุณภาพในตอนต้น พิจารณาร่วมกับความเป็นไปได้ในการพัฒนา พร้อมทั้งระยะเวลาในการดำเนินการพัฒนาสำหรับกลุ่มปัจจัยนั้น ๆ เพื่อประเมินผล เป็นลำดับความสำคัญในการมุ่งเน้นพัฒนาต่อไป การดำเนินการเช่นนี้ จะส่งผลให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์ยังคงอยู่บนพื้นฐานรองรับความต้องการของลูกค้า และเป็นการพัฒนาด้านเทคนิคที่มีความเป็นไปได้สูง อีกทั้งอยู่ในระยะเวลาการดำเนินงานที่กำหนดให้ เพื่อส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ออกสู่ตลาดหรือส่งถึงมือลูกค้าได้ตามกำหนด

ดังนั้นในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการดำเนินการจัดกลุ่มความต้องการของผลิตภัณฑ์ให้เป็นหมู่หลัก ๆ เพื่อสะดวกต่อการประเมินลำดับความสำคัญในการวางกลยุทธ์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์

4.1.4.2 การจัดกลุ่มความต้องการของผลิตภัณฑ์ (Grouping)

การประเมินความต้องการของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดสามารถนำมาจัดเป็นกลุ่มความต้องการเป็นสามกลุ่มหลักๆคือ 1.กลุ่มประโยชน์ในการใช้งาน 2.กลุ่มประโยชน์เพื่อความวางใจในตัวผลิตภัณฑ์ และ 3. กลุ่มราคา ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- กลุ่มประโยชน์ในการใช้งาน

1. ชุดขับเคลื่อนนี้จะต้องมีความละเอียดในการเคลื่อนที่สูงในหน่วยของลิปดาและมีความ

เที่ยงตรงตลอดเวลา

2. ชุดขับเคลื่อนนี้จะต้องทำงานภายใต้ช่วงอุณหภูมิ - 40° C ถึง 130° C โดยภาระการทำงานเป็นการทำงานอย่างต่อเนื่อง และไม่ยอมให้เกิดผลกระทบต่อความคงทนของผลิตภัณฑ์
3. ค่าความต้านทานของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดทั้งหมดจะต้องมีภาระประมาณ 27.75 Ohm โดยมีช่วงค่าเผื่อที่ยอมรับได้ประมาณ 10% โดยการวัดที่อุณหภูมิปกติ
4. ชิ้นงานสุดท้ายจะต้องมีน้ำหนักเบา เพื่อสะดวกต่อการใช้งาน
5. ต้องมีจุดเพื่อที่จะต่อกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวดได้อย่างสะดวก
6. กำหนดให้การพันขดลวดให้พันในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

- กลุ่มประโยชน์เพื่อความวางใจในตัวผลิตภัณฑ์

1. จะต้องมีความไว้วางใจว่าจะไม่เกิดกระแสลัดวงจร อันเกิดจากขดลวดหนึ่งไปสู่ขดลวดหนึ่ง
2. ขดลวดจะต้องยึดอยู่กับกรอบโลหะ ซึ่งมีน้ำหนักเบาและมีความเสถียรที่อุณหภูมิสูง โดยที่ค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างขดลวดกับกรอบโลหะจะต้องรับแรงได้ไม่น้อยกว่า 35 ปอนด์ที่เกิดจากแรงกด
3. ชิ้นงานจะต้องมีความสะอาดที่เป็นไปตามมาตรฐานกำหนดไว้ใน MIL-STD1246 level 300 A/5
4. การทำงานอย่างต่อเนื่องของผลิตภัณฑ์ อันเป็นผลให้เกิดความร้อนแต่ผลิตภัณฑ์ต้องทนต่อความร้อนนั้นได้
5. ความเรียบผิวของกรอบชิ้นงานที่ยึดขดลวดจะต้องไม่เกินกว่า 63 micron
6. ชิ้นงานที่ผลิตจะต้องระบุรายละเอียด วันที่ผลิตลงบนชิ้นงานด้วย

- กลุ่มราคา

1. ราคาต้นทุนไม่ควรเกิน 500 บาท ต่อ ชิ้น
2. ปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์ไม่สูงมาก

เมื่อจัดกลุ่มเรียบร้อยแล้วก็ดำเนินการจัดลำดับความสำคัญของกลุ่มความต้องการเพื่อใช้ในการประเมิน ในตารางคุณภาพต่อไป โดยในการจัดลำดับความสำคัญใช้ปัจจัยในการพิจารณาดังต่อไปนี้คือ

1. ผลกระทบต่อการตลาด

2. ความเป็นไปได้

3. ระยะเวลาในการดำเนินการ

ปัจจัยที่เป็นผลกระทบต่อการตลาดเป็นปัจจัยซึ่งได้มาจากการจัดลำดับความสำคัญในรายการความต้องการของผลิตภัณฑ์ ที่ได้มาจากตารางคุณภาพซึ่งแปรความต้องการของลูกค้าไปสู่ความต้องการของผลิตภัณฑ์ ในการวางแผนผลิตภัณฑ์ก่อนหน้านี้ ส่วนปัจจัยด้านความเป็นไปได้และระยะเวลาในการดำเนินการ เป็นการประเมินมาจากความยากง่ายของเทคโนโลยี ความสามารถของผู้ผลิตงาน และความเสี่ยงทางธุรกิจ หรือความสามารถของผู้ผลิตที่จะส่งชิ้นส่วนต่าง ๆ มาให้ การประเมินคะแนนของแต่ละปัจจัย ด้วยการจัดสรรตามลำดับของความสำคัญทำได้โดยการให้คะแนน 9 , 7 , 5 และ 3 ตามลำดับ ของปัจจัยโดยถ้ามีผลกระทบต่อการตลาดสูงหรือความเป็นไปได้สูง และระยะเวลาในการดำเนินการน้อยก็ให้คะแนนมาก และลดหลั่นไปตามลำดับ

กลุ่มความต้องการ	**ผลกระทบต่อการตลาด**	**ความเป็นไปได้**	**ระยะเวลาในการดำเนินการ**	**ประเมินผล**	**ลำดับความสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์**
กลุ่มประโยชน์ในการใช้งาน	9	9	7	567	5
กลุ่มความวางใจในตัวผลิตภัณฑ์	7	9	7	441	3
กลุ่มราคา	9	5	9	405	3

ตาราง 4.6 ผลการจัดความสำคัญของกลุ่มความต้องการของผลิตภัณฑ์

4.1.4.3 สรุปการจัดทำแผนกลยุทธ์ในการออกแบบพัฒนา

เมื่อได้ลำดับความสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากการจัดสรรแล้วให้นำเอาแนวทางดังกล่าวเป็นกลยุทธ์ในการออกแบบพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยในที่นี้จะมุ่งเน้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในกลุ่มซึ่งตอบสนองต่อประโยชน์ในการใช้งานเป็นหลักเบื้องต้น และความไว้วาใจในตัวผลิตภัณฑ์เป็นลำดับถัดมา และตามด้วยราคาของผลิตภัณฑ์

กลยุทธ์ในการออกแบบพัฒนานี้จะเป็นแนวทางสำหรับคุมผู้ปฏิบัติงานในส่วนต่าง ๆ ให้มีความเข้าใจในแนวทางเดียวกัน เพื่อมุ่งไปสู่ความสำเร็จในการออกแบบผลิตภัณฑ์

4.2 ผลของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Assembly part deployment)

เป็นการดำเนินการออกแบบและวางแนวทางสำหรับชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ โดยมีกรอบของการออกแบบมาจากการกำหนดกลยุทธ์ของผลิตภัณฑ์ในหัวข้อของการวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planing)

จากการวางแผนผลิตภัณฑ์ทำให้ทราบว่าจะต้องทำการออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก ดังนั้นชิ้นส่วนหลักที่จะต้องทำการศึกษาประกอบด้วย

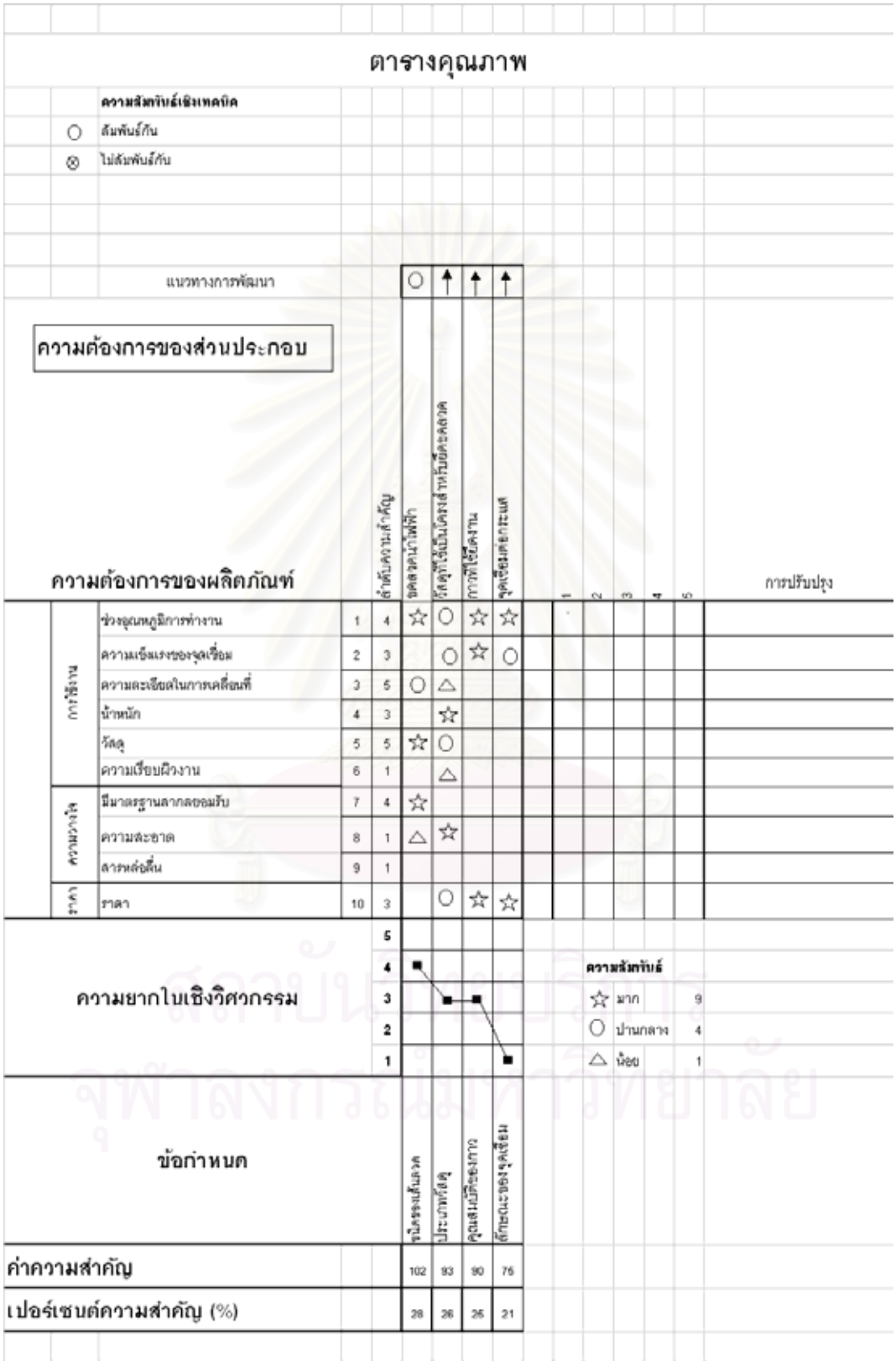
1. ขดลวดนำไฟฟ้า (Magnetic wire)
2. วัสดุที่ใช้เป็นโครงสำหรับยึดขดลวด (Frame)
3. กาวที่ใช้ยึดงาน (Epoxy)
4. จุดเชื่อมต่อกระแส (Solder joint)

จัดทำตารางคุณภาพเพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของผลิตภัณฑ์ กับความต้องการของชิ้นส่วนประกอบต่างๆ ซึ่งอาศัยค่าความสำคัญ ของความต้องการของผลิตภัณฑ์จากการเทียบค่าเปอร์เซ็นต์

ความต้องการของผลิตภัณฑ์	ค่าความสำคัญ	เปอร์เซ็นต์ความสำคัญ	ค่าความสำคัญ
ความละเอียดในการเคลื่อนที่	141	20	5
วัสดุ	127	18	5
ช่วงอุณหภูมิการทำงาน	91	13	4
มาตรฐานสากล	90	13	4
น้ำหนัก	72	11	3
ความแข็งของจุดเชื่อม	65	9	3
ราคา	65	9	3
ความเรียบผิวงาน	20	3	1
ความสะอาด	20	3	1
สารหล่อลื่น	9	1	1

ตาราง 4.7 ผลการจัดค่าความสำคัญของความต้องการของผลิตภัณฑ์

4.2.1 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของผลิตภัณฑ์สู่ความต้องการของส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์

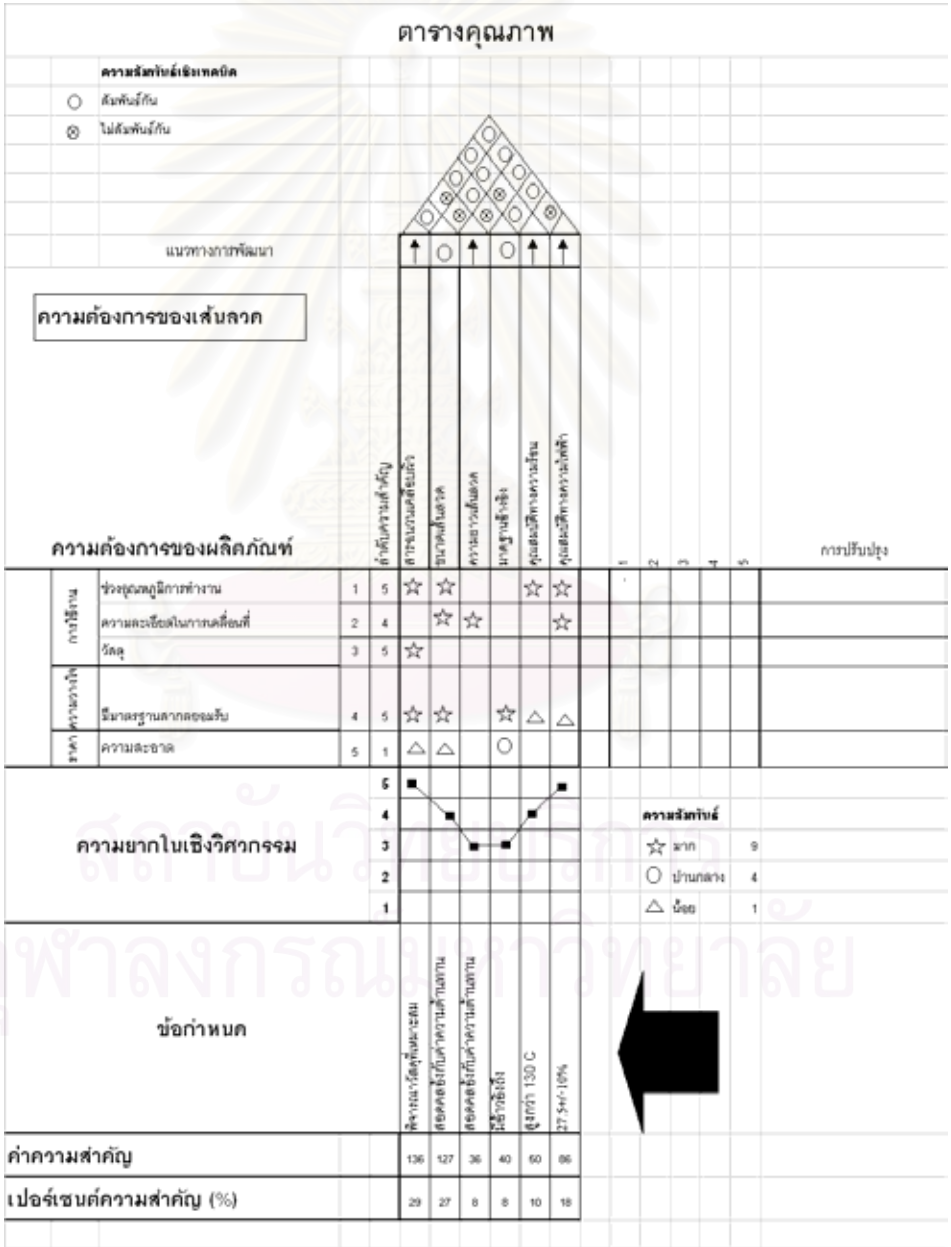


ตาราง 4.8 ผลการแปรความต้องการของผลิตภัณฑ์สู่ความต้องการของส่วนประกอบ ของผลิตภัณฑ์

ตารางคุณภาพแสดงถึงลำดับความสำคัญของชิ้นส่วนองค์ประกอบต่างๆตามลำดับที่จะส่งผลให้เมื่อมาประกอบเป็นผลิตภัณฑ์แล้วจะทำให้เป็นไปตามความต้องการของผลิตภัณฑ์ คือ ขดลวดนำไฟฟ้า, กรอบขดลวด, กาว และ จุดเชื่อมกระแสไฟฟ้า

นอกจากนี้แล้วสามารถใช้ตารางคุณภาพยังบอกถึงเกณฑ์การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ หรือกระบวนการผลิตของชิ้นส่วนต่างๆ ดังนี้

4.2.2 ผลการแปรความต้องการของผลิตภัณฑ์สู่ความต้องการของส่วนประกอบขดลวด



ตาราง 4.9 ผลการแปรความต้องการผลิตภัณฑ์สู่ความต้องการของส่วนประกอบ ขดลวด

เมื่อทราบลำดับความสำคัญของความต้องการของเส้นลวดที่จะนำมาใช้ พร้อมทั้งเกณฑ์ในการปรียบเทียบสำหรับส่วนต่างๆแล้วก็ต้องทำการเก็บข้อมูลพื้นฐานขององค์ประกอบชิ้นส่วนเส้นลวดแล้ว นำมาทำการเปรียบเทียบเพื่อเลือกใช้สิ่งที่เหมาะสมที่สุด

4.2.2.1 การออกแบบขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Wire)

- สรุปความต้องการของเส้นลวด
    1. สารฉนวนเคลือบผิว
    2. ขนาดเส้นลวด
    3. ความยาวเส้นลวด
    4. มาตรฐานอ้างอิง
    5. คุณสมบัติทางความร้อน
    6. คุณสมบัติทางความไฟฟ้า

แต่จากการวางแผนกลยุทธ์ของผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของขดลวดนำไฟฟ้าในขั้นตอนวางแผนผลิตภัณฑ์ มีความต้องการหลักดังต่อไปนี้

1. ชุดขับเคลื่อนนี้จะต้องทำงานภายใต้ช่วงอุณหภูมิ –40^{O}C ถึง 130 ^{O}C โดยภาระการทำงานเป็นการทำงานอย่างต่อเนื่อง และไม่ยอมให้เกิดผลกระทบต่อความคงทนของผลิตภัณฑ์
2. ค่าความต้านทานของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดทั้งหมดจะต้องมีภาระประมาณ 27.50 โอห์ม+/-10% โดยมีช่วงค่าเผื่อที่ยอมรับได้ประมาณ 10% โดยการวัดที่อุณหภูมิปกติ

นำแผนกลยุทธ์ของผลิตภัณฑ์ ที่มีความสอดคล้องกับ คุณสมบัติทางความร้อน และคุณสมบัติทางความไฟฟ้า มาเป็นข้อกำหนดที่วัดผล

ความต้องการของเส้นลวด	ข้อกำหนด
1. สารฉนวนเคลือบผิว	ประเภท
2. ขนาดเส้นลวด	ขนาด
3. ความยาวเส้นลวด	ความยาว
4. มาตรฐานอ้างอิง	ชื่อมาตรฐาน
5. คุณสมบัติทางความร้อน	-40 C – 130 C
6. คุณสมบัติทางความไฟฟ้า	27.50 โอห์ม+/-10%

ตาราง 4.10 ข้อกำหนดของขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

ดังนั้นข้อกำหนดที่เหลือที่จะต้องพิจารณาต่อไปคือ

1. สารฉนวนเคลือบผิว
2. ขนาดเส้นลวด
3. ความยาวเส้นลวด
4. มาตรฐานอ้างอิง

- สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับเส้นลวดเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ

ผลจากการสืบค้นข้อมูลเบื้องต้นพบว่า ผู้ผลิตขดลวดทองแดงขนาดเล็กตามความต้องการของลูกค้าและตามความต้องการของผลิตภัณฑ์ น่าจะหาได้จากบริษัท Electrisola ทั้งนี้ ผลจากการสืบค้นข้อมูลยังทำให้ทราบอีกว่าขดลวดดังกล่าวจะต้องมีกระบวนการเคลือบผิว ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวน เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าลัดวงจร โดยมาตรฐานในการเคลือบผิวที่ถูกอ้างถึงเป็นมาตรฐาน NEMA ดังนั้นก่อนทำการออกแบบเบื้องต้นจะต้องมีความเข้าใจในเรื่องของการเคลือบผิวฉนวนบนเส้นขดลวดทองแดง

สารที่ใช้เคลือบผิวอาจแบ่งประเภทใหญ่ ๆ ได้เป็น 5 ประเภท จากข้อมูลของผู้ผลิตคือ

1. Polyurethane
2. Polyurethane Polyamide overcoat
3. Polyesterimide
4. Theic-mod Polyesterimide
5. Polymide

ประมวลข้อมูลทำการเปรียบเทียบและเลือกใช้ประเภทของขดลวด ซึ่งในการพิจารณาต้องดำเนินภายใต้ ความต้องการของผลิตภัณฑ์ซึ่งในการเลือกใช้ประเภทของฉนวนขดลวด ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติและประเภทของการนำไปใช้งานว่าเหมาะสมตรงกับความต้องการหรือไม่ อีกทั้งต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพการทำงานในอุณหภูมิที่กำหนดตามมาตรฐานหรือข้อมูลที่ได้มา เพื่อป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นเกิดความล้มเหลวในการใช้งาน เมื่ออุณหภูมิใช้งานสูงเกินกว่าความสามารถในการทนต่อความร้อนของสารเคลือบผิวชนิดต่าง ๆ นอกจากนี้แล้วคุณสมบัติทางด้านไฟฟ้าหรือหมายถึงการเปลี่ยนแปลงไปของคุณสมบัติทางไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดก็มีผลโดยตรงต่อผลิตภัณฑ์ เนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้าจะเป็นตัวกำเนิดเส้นแรงแม่เหล็กในขดลวดโดยตรง โดยนำข้อมูลของผู้ผลิตมาทำการการเปรียบเทียบดังต่อไปนี้

ตาราง 4.11 ข้อมูลเปรียบเทียบคุณสมบัติของสารเคลือบผิวเส้นลวดอ้างอิงมาตรฐาน NEMA

ชื่อผลิตภัณฑ์ / สัญลักษณ์	**Polysol 155** **P155**	**Polysol -N 155** **PN155**	**Polysol 180** **P180**	**Estersol 180** **E180**	**Amidester 200** **A200**
รายละเอียด สารฉนวนเคลือบผิว	mod. Polyurethane	mod. Polyurethane / Polyamide overcoat	mod. Polyurethane	Polyesterimide	Theic-mod. Polyesterimide
1. การใช้งานทั่วไป					
มาตรฐาน					
IEC	**IEC 60317-20**, 60317-4	**IEC 60317 -19**	**IEC 60317 - 51**	**60317-23**, 60317-3, 6031	**IEC 60317 -8**
NEMA	**MW79**,MW 2,MW 75	**MW80**,MW 28	**MW 82**	**MW77**,MW 5,MW 26	**MW74**, MW 5, MW 30
ขนาดของขดลวด	0.01 - 0.50 mm	0.01 - 0.50 mm	0.01 - 0.50 mm	0.01 - 0.50 mm	0.01 - 0.50 mm
	24 - 56 AWG	24 - 56 AWG	24 - 56 AWG	24 - 56 AWG	24 - 56 AWG
คุณสมบัติ	มีคุณสมบัติในการบัดกรีที่ดี และมีคุณสมบัติที่ดีในการใช้งานที่อุณหภูมิสูง	มีคุณสมบัติในการบัดกรีที่ดี และมีคุณสมบัติที่ดีในการใช้งานที่อุณหภูมิสูง	มีคุณสมบัติในการบัดกรีที่ดีที่อุณห ๓มิประรมาณ 370 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น	มีคุณสมบัติในการบัดกรีที่อุณภภูมิสูง และมีคุณสมบัติที่ดีในด้านความร้อน และมีความต้านทานด้านเคมี	มีคุณสมบัติเหมาะกับอุณหภูมิสูงและมีความต้านทานด้านเคมี
การใช้งาน	ใช้ในการทำหม้อแปลงไฟขนาดเล็ก , ลีเนียร์มอเตอร์ , รีเลย์, โซลินอยด์ , มอเตอร์ขนาดเล็ก , ขดลวดนาฬิกา , ขั้วแม่เหล็ก , อุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็ก	ใช้ในการทำมอเตอร์ , โซลินอยด์ , หม้อแปลง	ใช้ในอุตสาหกรรมขดลวดยานยนต์จำพวกอุปกรณ์ในการถ่ายกำลังในการจุดระเบิด	ใช้สำหรับการทำมอเตอร์ขนาดเล็ก , หม้อแปลงขนาดเล็ก , ขดลวดของอุตสาหกรรมยานยนต์	ใช้ทำมอเตอร์ , มอเตอร์ขนาดเล็ก , หม้อแปลง
2. คุณสมบัติทางความร้อน					
ค่าคุณสมบัติทางความร้อนที 20000 ชั่วโมง (ASTM D2307)	**158°C**	**170°C**	**> 180°C**	**181°C**	**210°C**
3. คุณสมบัติทางไฟฟ้า					
เปอร์เซนต์ของความต่างศักย์ทางไฟฟ้าที่ลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น (ค่าทดสอบที่ขนาดขดลวด 44/30 AWG)	**25% ที่ 155°C**	**30% ที่ 155°C**	**20%ที่ 180°C**	**20% ที่ 180°C**	**20%ที่ 200°C**

- จัดทำตารางการเปรียบเทียบคุณสมบัติของสารเคลือบผิวขดลวดทองแดงที่ใช้ในอุตสาหกรรมการทำขดลวดนำไฟฟ้า

สัญลักษณ์ กำหนดแทนค่าคะแนนที่ให้

สูง = 5 คะแนน ●

ปานกลาง = 3 คะแนน □

น้อย = 1 คะแนน △

ความต้องการ	**ลำดับความสำคัญ**	P115		PN115		P180		E180		A200	
ช่วงอุณหภูมิการทำงาน -40 C – 130 C	5	●	5	□	3	□	3	□	4	△	1
วัสดุ (ตรงความต้องการของลูกค้า)	5	●	5	□	3	□	3	△	1	△	1
มาตรฐานอ้างอิง	5	●	5	●	5	●	5	●	5	●	5
ความสะอาด	1	△	1	△	1	△	1	△	1	△	1
รวม			76		56		56		51		36

ตาราง 4.12 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของสารเคลือบผิวเส้นลวด

ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการของลูกค้าที่ต้องการนำเอาผลิตภัณฑ์ไปใช้ในช่วงของอุณหภูมิ –40 – 130 องศาเซลเซียส ประกอบกับขนาดของผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กทำให้พบว่าประเภทของสารเคลือบผิวที่เหมาะสมที่สุดน่าจึงเป็น สารเคลือบประเภทโพลียูรีเทน (Polyurethane) เนื่องจากว่ามีคุณสมบัติที่สามารถตอบสนองการบัดกรีได้อย่างดีและเป็นสารเคลือบที่มีคุณสมบัติดีที่อุณหภูมิสูง โดยในส่วนของคุณสมบัติทางด้านความร้อนนั้นค่าคุณสมบัติทางความร้อนในการทดสอบที่ 20,000 ชั่วโมง โดยการอ้างอิงมาตรฐาน ASTM พบว่ามีค่าอยู่ที่ 158 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าความต้องการ และในส่วนของด้านการนำไปใช้งานที่เหมาะสมสำหรับงานที่เป็นผลิตภัณฑ์ขนาดเล็ก ตามรายละเอียดในตารางการสืบค้นข้อมูล มีความคล้ายกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจะออกแบบ จึงเป็นเหตุผลสนับสนุนให้การเลือกใช้สารเคลือบประเภทโพลียูรีเทน (Polyurethane) มาใช้กับผลิตภัณฑ์

- คำนวณขนาดและความยาวของเส้นลวดที่จะใช้พันขดลวดให้ได้คุณสมบัติทางไฟฟ้าตามต้องการ

หลังจากได้ชนิดของสารเคลือบฉนวนแล้วสิ่งที่ต้องพิจารณาในขั้นถัดไปคือขนาดโดยประมาณของขดลวดที่พันแล้วเพื่อเลือกขนาดของขดลวดที่เหมาะสม โดยข้อจำกัดของขนาดจะถูกำหนดให้เหมาะสมกับชิ้นส่วนอื่น ๆ ที่ต้องนำไปทำการประกอบเข้าด้วยกัน ในที่นี้ชิ้นส่วนดังกล่าว คือ ขนาดของแม่เหล็กที่ขดลวดทองแดงจะต้องเคลื่อนที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก ดังนั้นก่อนอื่น ต้องถ่ายความสัมพันธ์ด้านขนาดสำหรับการออกแบบขดลวดไฟฟ้าสนามแม่เหล็ก เพื่อเป็นกรอบเบื้องต้นในการคำนวณหารายการรายละเอียดอื่น ๆ ต่อไป

ข้อกำหนดด้านขนาดโดยประมาณ

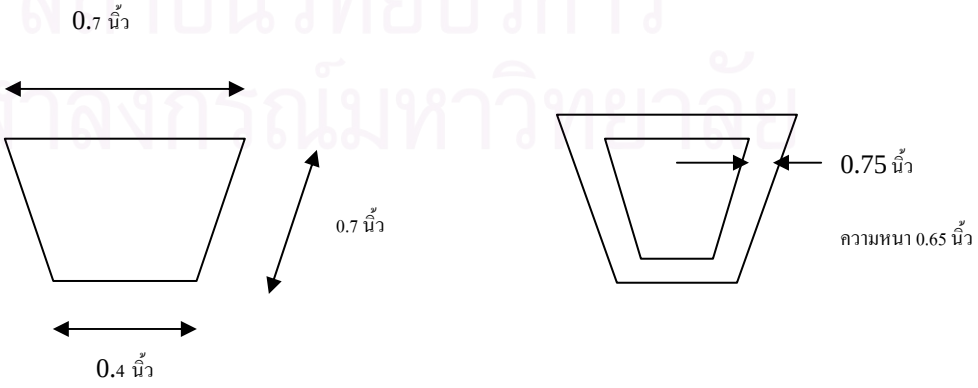
1. ความกว้างของขดลวดหลังพันแล้วประมาณ 0.050 – 0.075 นิ้ว
2. ความหนาของขดลวดหลังพันแล้วประมาณ 0.063 – 0.067 นิ้ว
3. เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งาน ลักษณะของขดลวดจะมีรูปทรงคล้ายสี่เหลี่ยมคางหมู เนื่องจาก แม่เหล็กที่ใช้เหนี่ยวนำมีลักษณะเป็นรูปคล้ายสี่เหลี่ยมคางหมู

ข้อกำหนดด้านไฟฟ้า

1. ค่าความต้านทานของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดทั้งหมดจะต้องมีภาระประมาณ 27.75 Ohm โดยมีข่วงค่าเผื่อที่ยอมรับได้ประมาณ 10% โดยการวัดที่อุณหภูมิปกติ

กำหนดขนาดโดยประมาณของขดลวด โดยอาศัยการคำนวณโดยประมาณหรือโปรแกรมการออกแบบ SolidWork

การคำนวณโดยประมาณ



- ขนาดเส้นรอบวงโดยประมาณ ยาว 2.50 นิ้ว เป็นค่าจากการเฉลี่ย

- กำหนดการใช้เส้นขดลวดเป็นแบบ สำหรับงานหนัก
- ประมาณขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวดประมาณ 0.005 นิ้ว (0.125 มิลิเมตร)
- ประมาณจำนวนแถวเพื่อให้ได้ความกว้างประมาณ 0.075 นิ้ว
    - 0.075/0.005 = 15 รอบ
- ประมาณจำนวนแถวเพื่อให้ได้ความหนาประมาณ 0.065 นิ้ว
    - 0.065 /0.005 = 13 รอบ
- ค่าประมาณของจำนวนขดลวดทั้งหมด
    - 15 x 13 = 195 รอบ
- ค่าประมาณความยาวของขดลวดที่ใช้
    - 2.5 x 195 = 487.5 นิ้ว หรือประมาณ 12.40 เมตร

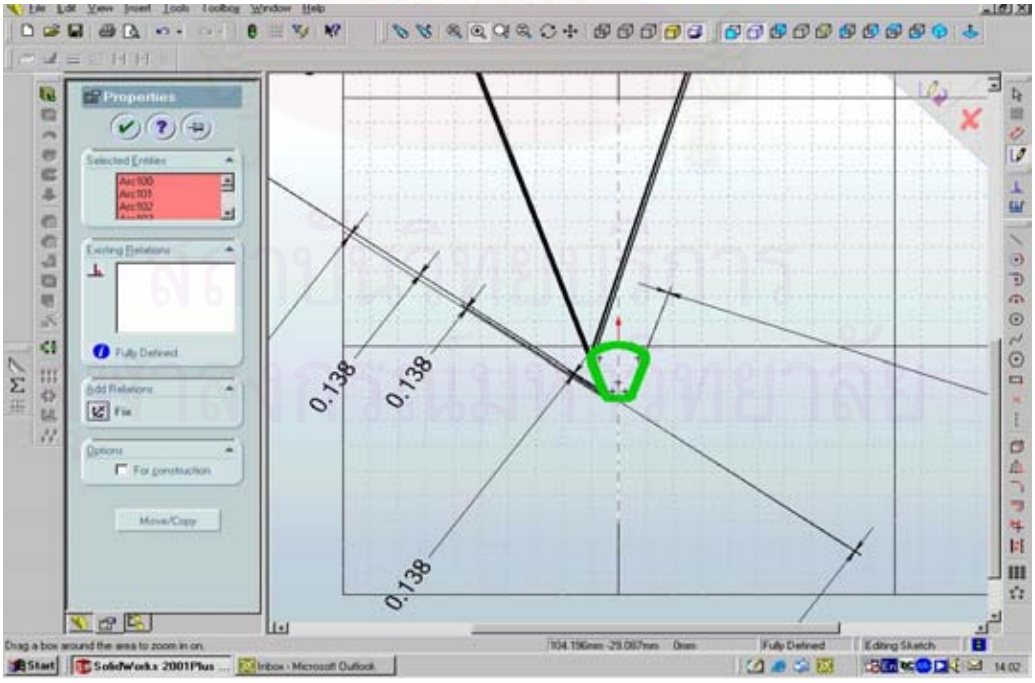
นำเอาค่าความต้องการทางไฟฟ้าในส่วนข้อกำหนดของค่าความต้านทาน 27.5+/- 10% มาประมาณหาขนาดของขดลวด ต่อความยาว 1 เมตร

- 27.5 / 12.4 = 2.22 โอห์ม

เทียบค่ากับตารางมาตรฐานเส้นลวดพบว่าค่าที่ได้อยู่ในช่วง ขดลวดขนาด 38AWG

การคำนวณโดยใช้โปรแกรมการออกแบบ SolidWork

1. เขียนรูปขนาดขดลวดคร่าวๆ โดยกำหนดค่าความหนาของขดลวดอยู่ในขนาด ประมาณ.



รูปที่ 4.1 ภาพการใช้โปรแกรมในการช่วยงานออกแบบขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

0.075 นิ้ว ตามค่าขนหาดกำหนดเบื้องต้น

2. ให้ค่า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของขดลวดตามขนาดมาตรฐานต่างๆ แล้วพิจารณาความยาวของเส้นลวดที่ใช้สำหรับความหนาของการพันขดลวดชั้นเดียว

เบอร์มาตรฐาน (AWG)	ขนาดเส้นลวด (มิลลิเมตร)	ขนาดเส้นลวด (นิ้ว)	ความยาวเส้นลวด (มิลิเมตร)
37.0	0.138	0.0054	915.37
37.5	0.131	0.0051	980.66
38.0	0.123	0.0048	1046.06
38.5	0.116	0.0045	1183.75
39.0	0.108	0.0042	1245.50

ตาราง 4.13 ผลการคำนวณความยาวของเส้นลวดเปรียบเทียบกับขนาดมาตรฐานที่ใช้พันขดลวดหนาชั้นเดียว

3. ใช้โปรแกรมหาจำนวนชั้นของขดลวดเมื่อต้องการให้ขดลวดมีขนาดความหนาประมาณ 0.065 นิ้ว

เบอร์มาตรฐาน (AWG)	ขนาดเส้นลวด (นิ้ว)	จำนวนชั้นโดยประมาณ
37.0	0.0054	12
37.5	0.0051	12.7
38.0	0.0048	13.5
38.5	0.0045	14.4
39.0	0.0042	15.5

ตาราง 4.14 ผลการคำนวณจำนวนชั้นขดลวดเปรียบเทียบกับขนาดมาตรฐาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. คำนวณ ความยาวของเส้นลวดทั้งหมดโดยประมาณ

เบอร์มาตรฐาน (AWG)	ความยาวเส้นลวดต่อการพันหนึ่งชั้น (มิลิเมตร)	จำนวนชั้นโดยประมาณ	ความยาวของขดลวดทั้งหมดโดยประมาณ (มม)
37.0	915.37	12	10984.44
37.5	980.66	12.7	12454.38
38.0	1046.06	13.5	14121.81
38.5	1183.75	14.4	17046
39.0	1245.50	15.5	19305.25

ตาราง 4.15 ผลการคำนวณความยาวทั้งหมดของเส้นลวดที่ใช้พันขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

5. คำนวณค่าความต้านทานที่น่าจะเป็น

เบอร์มาตรฐาน (AWG)	ความยาวของขดลวดทั้งหมดโดยประมาณ (เมตร)	ค่าความต้านทาน (โอห์ม) ต่อหน่วยความยาวหนึ่งเมตร	ค่าความต้านทานรวมโดยประมาณ(โอห์ม)
37.0	11	1.680	18.48
37.5	12.4	1.929	23.91
38.0	14	2.126	29.76
38.5	17	2.485	42.24
39.0	19.3	2.778	53.62

ตาราง 4.16 ผลการคำนวณขนาดขดลวดมาตรฐานเทียบกับค่าความต้านทานที่ควรได้

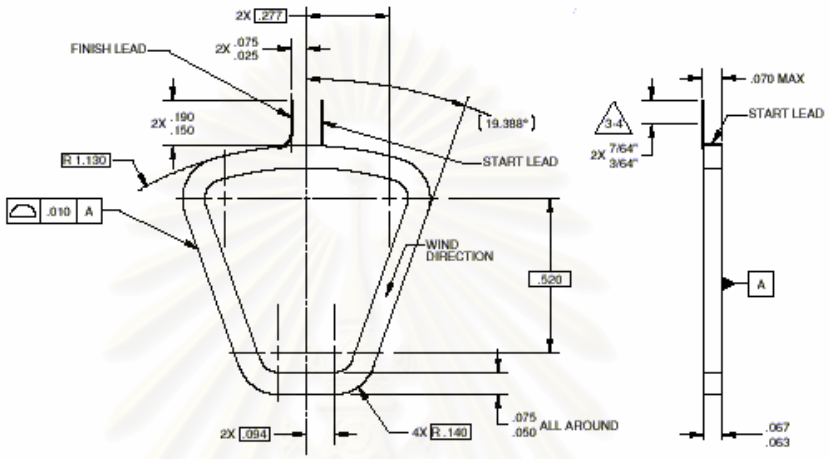
ค่าที่ได้จากการคำนวณโดยประมาณทั้งสองกรณีเป็นการประมาณค่าเพื่อเป็นแนวทางในการทดลองทำงานต้นแบบเพื่อยืนยันผล โดยการทำงานต้นแบบอาจทดสอบพันขดลวดโดยใช้ขนาดเส้นลวด 37.5 AWG และ 38.0 AWG แล้ววัดค่าความต้านทาน เปรียบเทียบ หรือทดลอง เฉพาะ เส้นลวด 38 AWG แล้ววัดผลดูก่อน เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการออกแบบ สำหรับในกรณีนี้จะทดลองพันขดลวดจากเส้นลวดขนาด 38 AWG ก่อน

ENGINEERING DATA FOR COPPER MAGNET WIRE																							METRIC
	Bare Copper						Single Build				Heavy Build				Area	Single Build						Recommended		
	Diameters (millimeters)			Resistance (ohms/meter)			Minimum Increase	Overall Diameter (millimeters)			Minimum Increase	Overall Diameter (millimeters)				kg/			Wires/	ohms/	Winding	Typical	
AWG	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	(mm)	MIN	NOM	MAX	(mm)	MIN	NOM	MAX	Sq. mm NOM	1000m NOM	m/kg NOM	Ohms/kg NOM	Sq. MM NOM	Cu. Mm NOM	Tensions (grams)	Elongation %	AWG
24.0	0.505	0.511	0.513	0.0834	0.0842	0.0859	0.025	0.531	0.541	0.551	0.048	0.554	0.565	0.577	0.204666	1.855	539	45.43	342	0.288	1,450	42	24.0
24.5	0.478	0.483	0.485	0.0933	0.0943	0.0963	0.025	0.503	0.513	0.523	0.048	0.526	0.538	0.549	0.182882	1.658	603	56.84	380	0.358	1,310	42	24.5
25.0	0.450	0.455	0.457	0.1050	0.1062	0.1086	0.023	0.472	0.483	0.493	0.046	0.495	0.505	0.516	0.162112	1.471	680	72.19	429	0.456	1,175	42	25.0
25.5	0.424	0.429	0.432	0.1177	0.1191	0.1220	0.023	0.447	0.457	0.467	0.046	0.470	0.480	0.490	0.144546	1.312	762	90.75	479	0.570	1,060	42	25.5
26.0	0.399	0.404	0.406	0.1329	0.1346	0.1380	0.023	0.422	0.431	0.439	0.043	0.442	0.452	0.462	0.128169	1.163	860	115.8	550	0.740	950	42	26.0
26.5	0.378	0.381	0.384	0.1492	0.1512	0.1533	0.023	0.401	0.410	0.419	0.043	0.422	0.432	0.442	0.113985	1.037	964	145.6	595	0.900	860	41	26.5
27.0	0.358	0.361	0.363	0.1664	0.1687	0.1711	0.020	0.378	0.387	0.396	0.041	0.399	0.408	0.417	0.102333	0.9294	1,076	181.6	668	1.127	770	41	27.0
27.5	0.338	0.340	0.343	0.1867	0.1895	0.1924	0.020	0.358	0.367	0.376	0.041	0.378	0.389	0.396	0.091188	0.8292	1,206	228.6	742	1.406	700	41	27.5
28.0	0.318	0.320	0.323	0.2110	0.2143	0.2178	0.020	0.338	0.347	0.356	0.041	0.358	0.366	0.373	0.080549	0.7342	1,362	292	830	1.779	630	40	28.0
28.5	0.300	0.302	0.305	0.2363	0.2403	0.2444	0.020	0.320	0.329	0.338	0.041	0.340	0.348	0.356	0.071937	0.6557	1,525	366.4	924	2.220	585	40	28.5
29.0	0.284	0.287	0.290	0.2618	0.2665	0.2713	0.018	0.302	0.311	0.320	0.038	0.323	0.330	0.338	0.064844	0.5907	1,693	451.3	1,034	2.756	540	40	29.0
29.5	0.267	0.269	0.272	0.2972	0.3028	0.3086	0.018	0.284	0.293	0.302	0.038	0.305	0.312	0.320	0.056739	0.5206	1,921	581.8	1,165	3.528	470	40	29.5
30.0	0.251	0.254	0.257	0.3336	0.3403	0.3472	0.018	0.269	0.277	0.284	0.036	0.287	0.295	0.302	0.050660	0.4634	2,158	734.4	1,303	4.434	400	40	30.0
30.5	0.239	0.241	0.244	0.3692	0.3770	0.3851	0.018	0.257	0.264	0.272	0.036	0.274	0.282	0.290	0.045720	0.4186	2,389	900.6	1,435	5.410	355	39	30.5
31.0	0.224	0.226	0.229	0.4201	0.4296	0.4394	0.015	0.239	0.246	0.254	0.033	0.257	0.265	0.274	0.040128	0.3671	2,724	1,170	1,652	7.097	315	39	31.0
31.5	0.211	0.213	0.216	0.4710	0.4822	0.4939	0.015	0.226	0.233	0.241	0.033	0.244	0.251	0.262	0.035745	0.3273	3,055	1,473	11,842	8.882	290	39	31.5
32.0	0.201	0.203	0.206	0.5186	0.5254	0.5317	0.015	0.216	0.224	0.231	0.030	0.231	0.240	0.249	0.032422	0.2974	3,362	1,787	1,993	10.59	270	37	32.0
32.5	0.188	0.191	0.193	0.5891	0.6049	0.6214	0.013	0.201	0.210	0.218	0.030	0.218	0.227	0.236	0.028496	0.2617	3,821	2,310	2,268	13.72	245	37	32.5
33.0	0.178	0.180	0.183	0.6564	0.6750	0.6944	0.013	0.190	0.198	0.206	0.028	0.206	0.215	0.224	0.025538	0.2343	4,268	2,881	2,551	17.22	225	37	33.0
33.5	0.168	0.170	0.173	0.7359	0.7580	0.7811	0.013	0.180	0.188	0.196	0.028	0.196	0.204	0.213	0.022741	0.2089	4,787	3,629	2,829	21.44	200	35	33.5
34.0	0.157	0.160	0.163	0.8307	0.8573	0.8852	0.013	0.170	0.177	0.183	0.025	0.183	0.191	0.198	0.020107	0.1845	5,421	4,647	3,192	27.36	182	35	34.0
34.5	0.147	0.150	0.152	0.9452	0.9775	1.0115	0.010	0.157	0.165	0.173	0.025	0.173	0.180	0.188	0.017634	0.162	6,172	6,034	3,673	35.90	165	34	34.5
35.0	0.140	0.142	0.145	1.047	1.085	1.124	0.010	0.150	0.156	0.163	0.023	0.163	0.170	0.178	0.015887	0.1457	6,863	7,445	4,109	44.58	147	34	35.0
35.5	0.132	0.135	0.137	1.167	1.211	1.258	0.010	0.142	0.149	0.155	0.023	0.155	0.163	0.170	0.014230	0.1307	7,653	9,270	4,504	54.54	133	34	35.5
36.0	0.124	0.127	0.130	1.308	1.361	1.417	0.010	0.135	0.141	0.147	0.020	0.145	0.152	0.160	0.012665	0.1165	8.585	11,680	5,030	68.45	120	33	36.0
36.5	0.117	0.119	0.122	1.476	1.540	1.608	0.008	0.124	0.132	0.140	0.020	0.137	0.145	0.152	0.011190	0.103	9,706	14,952	5,739	88.38	110	33	36.5
37.0	0.112	0.114	0.117	1.608	1.680	1.757	0.008	0.119	0.126	0.132	0.020	0.132	0.138	0.145	0.010259	0.0942	10,615	17,837	6,299	105.8	100	32	37.0
37.5	0.104	0.107	0.109	1.840	1.929	2.024	0.008	0.112	0.119	0.127	0.020	0.124	0.131	0.137	0.008936	0.0825	12,121	23,380	7,062	146.9	90	32	37.5
38.0	0.099	0.102	0.104	2.024	2.126	2.237	0.008	0.107	0.113	0.119	0.018	0.117	0.123	0.130	0.008105	0.0746	13,407	28,512	7,831	173.5	81	31	38.0
38.5	0.091	0.094	0.097	2.356	2.485	2.625	0.008	0.099	0.105	0.112	0.018	0.109	0.116	0.122	0.006935	0.064	15,630	38,849	9,070	225.3	72	31	38.5
39.0	0.086	0.089	0.091	2.625	2.778	2.943	0.005	0.091	0.098	0.104	0.015	0.102	0.108	0.114	0.006205	0.0571	17,510	48,636	10,412	289.2	64	30	39.0
39.5	0.081	0.084	0.086	2.943	3.124	3.323	0.005	0.086	0.093	0.099	0.015	0.097	0.104	0.109	0.005168	0.0508	19,865	61,506	11,562	361.2	58	30	39.5
40.0	0.076	0.079	0.081	3.323	3.540	3.780	0.005	0.081	0.088	0.094	0.015	0.091	0.097	0.102	0.004868	0.0448	22,320	79,028	12,913	457.1	52	29	40.0
40.5	0.074	0.076	0.079	3.540	3.780	4.046	0.005	0.079	0.085	0.091	0.015	0.090	0.094	0.099	0.004559	0.0421	23,761	89,333	13,840	523.2	47	27	40.5
41.0	0.069	0.071	0.074	4.056	4.340	4.668	0.005	0.074	0.079	0.084	0.013	0.081	0.086	0.091	0.003972	0.0365	27,360	118,746	16,023	695.4	42	25	41.0
41.5	0.064	0.066	0.069	4.668	5.034	5.444	0.005	0.069	0.074	0.079	0.013	0.076	0.081	0.086	0.003425	0.0315	31,703	159,578	18,262	919.3	38	25	41.5
42.0	0.061	0.064	0.066	5.034	5.444	5.907	0.005	0.066	0.071	0.076	0.010	0.071	0.076	0.081	0.003166	0.029	34,480	187,715	19,837	1,079	34	24	42.0
42.5	0.058	0.061	0.064	5.444	5.907	6.432	0.005	0.064	0.067	0.071	0.010	0.069	0.074	0.079	0.002918	0.0267	37,384	220,839	22,277	1,316	30	23	42.5
43.0	0.053	0.056	0.058	6.432	7.030	7.716	0.005	0.058	0.062	0.066	0.010	0.064	0.069	0.074	0.002452	0.0225	44,410	312,213	26,014	1,829	26	22	43.0
43.5	0.051	0.053	0.056	7.030	7.716	8.507	0.0025	0.053	0.058	0.064	0.010	0.061	0.066	0.071	0.002234	0.0205	48,690	375,681	29,726	2,294	24	21	43.5
44.0	0.048	0.051	0.053	7.716	8.507	9.426	0.0025	0.051	0.056	0.061	0.010	0.058	0.064	0.069	0.002026	0.0186	53,620	456,125	31,888	2,712	22	21	44.0
44.5	0.046	0.048	0.051	8.507	9.426	10.502	0.0025	0.048	0.053	0.058	0.010	0.056	0.061	0.066	0.001829	0.0169	59,338	559,298	35,600	3,356	19	20	44.5
45-58 AWG																							
45.0	0.0429	0.0447	0.0464	10.105	10.984	11.864	0.0025	0.0455	0.0488	0.0521	0.0076	0.0505	0.0546	0.0584	0.00154	0.01436	69,616	764	42,073		17.0	20	45.0
46.0	0.0384	0.0399	0.0417	12.697	13.802	14.908	0.0025	0.0409	0.0439	0.0470	0.0076	0.0460	0.0498	0.0533	0.00125	0.01143	87,490	1,210	51,783		14.0	20	46.0
47.0	0.0343	0.0356	0.0371	15.971	17.359	18.747	0.0025	0.0369	0.0401	0.0432	0.0076	0.0419	0.0452	0.0483	0.00099	0.00899	111,278	1,930	62,106		11.0	19	47.0
48.0	0.0302	0.0315	0.0328	20.358	22.129	23.901	0.0025	0.0328	0.0356	0.0381	0.0051	0.0353	0.0394	0.0432	0.00078	0.00725	137,955	3,050	79,018		9.0	18	48.0
49.0	0.0272	0.0282	0.0295	25.407	27.615	29.823	0.0025	0.0297	0.0315	0.0330	0.0051	0.0323	0.0353	0.0381	0.00062	0.00573	174,510	4,810	100,693		7.0	17	49.0
50.0	0.0241	0.0251	0.0262	31.396	34.711	37.500	0.0025	0.0267	0.0287	0.0305	0.0051	0.0292	0.0325	0.0356	0.00049	0.00458	218,190	7,560	121,400		5.0	16	50.0
51.0	0.0216	0.0224	0.0234	40.420	43.930	47.441	0.0025	0.0241	0.0262	0.0279	0.0051	0.0267	0.0297	0.0328	0.00039	0.00366	273,155	11,960	146,140		4.0	15	51.0
52.0	0.0191	0.0198	0.0206	51.476	55.938	60.400	0.0025	0.0216	0.0236	0.0254	0.0051	0.0241	0.0267	0.0292	0.00031	0.00292	342,840	19,180	179,122		3.0	14	52.0
53.0	0.0170	0.0178	0.0185	63.911	69.455	75.000	0.0013	0.0183	0.0201	0.0216	0.0025	0.0203	0.0234	0.0262	0.00025	0.00228	439,200	30,510	248,427		2.5	12	53.0
54.0	0.0152	0.0157	0.0165	81.430	88.517	95.604	0.0013	0.0165	0.0178	0.0190	0.0025	0.0185	0.0213	0.0241	0.00019	0.00180	555,300	49,130	316,516		2.0	11	54.0
55.0	0.0135	0.0140	0.0145	103.477	112.467	121.457	0.0013	0.0147	0.0163	0.0178	0.0025	0.0167	0.0196	0.0221	0.00015	0.00144	693,500	77,920	378,175		1.5	10	55.0
56.0	0.0119	0.0124	0.013	130.348	141.699	153.018	0.0013	0.0132	0.0150	0.0165	0.0025	0.0152	0.0180	0.0206	0.00012	0.00116	862,600	122,360	445,318		1.0	9	56.0
57.0	0.0107	0.0111	0.0116	163.170	177.360	191.549	0.0010	0.0117	0.0129	0.0141					0.00010	0.00041	1,099,775	195,160	620,000		0.8	8	57.0
58.0	0.0095	0.0099	0.0103	205.280	223.130	240.981	0.0010	0.0105	0.0117	0.0129					0.00008	0.00033	1,371,300	306,390	732,572		0.6	7	58.0

ตาราง 4.17 ข้อมูลมาตรฐานขนาดเส้นลวดเทียบกับคุณสมบัติอื่น ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับต่อไปก่อนทำการทดลองงานต้นแบบ ต้องมีการออกแบบโดยคร่าวของขนาดการพันขดลวดเพื่อ เป็นมาตรฐานงานทดลอง



รูปที่ 4.2 แบบแสดงขนาดขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

- ศึกษาปัจจัยของกระบวนการผลิตที่ส่งผลต่อความต้องการของขดลวด

กรรมวิธีการพันขดลวดจะทำบนเครื่องพันขดลวด (wiring machine)

ปัจจัยสำคัญที่ต้องควบคุมเครื่องจักร

1. ความเร็วรอบในการพันขดลวด
2. แรงดึงเส้นลวดในขณะพันขดลวด
3. จำนวนรอบของการพันขดลวด

สำหรับขนาดของขดลวดหรือรูปทรงภายในขดลวดจะขึ้นอยู่กับรูปทรงของแกนโลหะที่ใช้ในการ

พัน ซึ่งจะต้องออกแบบให้สอดคล้องกับขนาดภายในของขดลวก ดังนั้น ขนาดของแกนพันขดลวดจะถูกออกแบบไปตามขนาดของขดลวดที่ต้องการ

ในการทดลองผลิตงานต้นแบบจำเป็นจะต้องเข้าใจถึงผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้น อันเนื่องมาจากขบวนการปรับตั้งเครื่องพันขดลวด ทั้ง 3 ปัจจัยหลัก ดังนั้นการทดลองอันดับแรกคือการทดลองปรับค่าของปัจจัย ความเร็วรอบของการพันและแรงดึงของเส้นลวดในการพัน

การทดลองที่ 1 : *ทดสอบการปรับปัจจัย ความเร็วรอบ*

วิธีการดำเนินการทดลอง

1. เลือกใช้ขนาดของขดลวดขนาดเดียวกัน
2. ทำการปรับความเร็วรอบที่ต่างกันในงานตัวอย่างแต่ละกลุ่ม
3. กำหนดค่าแรงถึงของเส้นลวดที่ค่าใดค่าหนึ่ง
4. บันทึกผลค่าความต้านทานที่แต่ละกลุ่มงาน

ผลการทดลอง

ลำดับที่	ขนาดเส้นลวด (mm.)	แรงดึง (gram)	ความเร็ว (rpm)	ความกว้างขดลวด (inch)	ค่าความต้านทาน (ohm)
1	0.114	220	1500	0.064	24.63
2	0.114	220	1500	0.066	24.58
3	0.114	220	1500	0.065	24.67
4	0.114	220	1500	0.065	24.67
5	0.114	220	1500	0.066	24.70
ค่าเฉลี่ย				**0.065**	**24.65**
1	0.114	220	1200	0.067	23.80
2	0.114	220	1200	0.067	23.77
3	0.114	220	1200	0.066	23.89
4	0.114	220	1200	0.068	23.77
5	0.114	220	1200	0.067	23.77
ค่าเฉลี่ย				**0.067**	**23.80**
1	0.114	220	600	0.068	24.14
2	0.114	220	600	0.067	24.41
3	0.114	220	600	0.066	23.91
4	0.114	220	600	0.065	23.90
5	0.114	220	600	0.066	23.61
ค่าเฉลี่ย				**0.066**	**23.99**

ตาราง 4.18 ผลของค่าความต้านทานในการพันขดลวดโดยการปรับเปลี่ยน ความเร็วรอบ

สรุปผลการทดลอง

การเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบจะส่งผลโดยตรงต่อความต้านทาน หมายความว่าจากตารางผลการทดลองเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นจะทำให้ค่าความต้านทางสูงขึ้นตามไปด้วย ถึงแม้จะเป็นขนาดเส้นลวดขนาดเดียวกัน

การทดลองที่ 2 : ***ทดสอบการเปรียบปัจจัยแรงดึงเส้นลวด***

วิธีดำเนินการทดลอง

1. เลือกใช้ขนาดของขดลวดขนาดเดียวกัน
2. ทำการปรับค่าแรงดึงของเส้นลวดที่ต่างกัน สำหรับงานตัวอย่างแต่ละกลุ่ม
3. กำหนดค่าความเร็วรอบในการพันที่ค่าใดค่าหนึ่ง
4. บันทึกผลค่าความต้านทานที่ได้แต่ละกลุ่ม

ผลการทดลอง

ลำดับที่	ขนาดเส้นลวด (mm.)	แรงดึง (gram)	ความเร็ว (rpm)	ความกว้างขดลวด (inch)	ค่าความต้านทาน (ohm)
1	0.1	150	800	0.054	29.96
2	0.1	150	800	0.057	29.83
3	0.1	150	800	0.057	29.98
4	0.1	150	800	0.056	29.89
5	0.1	150	800	0.057	29.71
ค่าเฉลี่ย				**0.056**	**29.87**
1	0.1	140	800	0.056	28.95
2	0.1	140	800	0.053	28.88
3	0.1	140	800	0.055	29.04
4	0.1	140	800	0.055	28.72
5	0.1	140	800	0.057	29.09
ค่าเฉลี่ย				**0.055**	**28.94**
1	0.1	130	800	0.056	28.86
2	0.1	130	800	0.057	28.58
3	0.1	130	800	0.058	28.52
4	0.1	130	800	0.056	29.00
5	0.1	130	800	0.057	28.53
ค่าเฉลี่ย				**0.057**	**28.70**

ตาราง 4.19 ผลของค่าความต้านทานในการพันขดลวดเมื่อปรับเปลี่ยนค่าแรงดึง

สรุปผลการทดลอง

จากตารางผลการทดลองพบว่า เมื่อแรงถึงเส้นลวดขณะพันมีค่ามากขึ้นจะทำให้ค่าความต้านทานมีค่ามากขึ้น ทั้งนี้อาจมากจากผลของแรงดึงจะมีผลต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวด ทำให้มีขนาดเล็กลงแปรผันไปตามค่าแรงดึง และขนาดของขดลวดที่ลดลงย่อมส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานแน่นอน

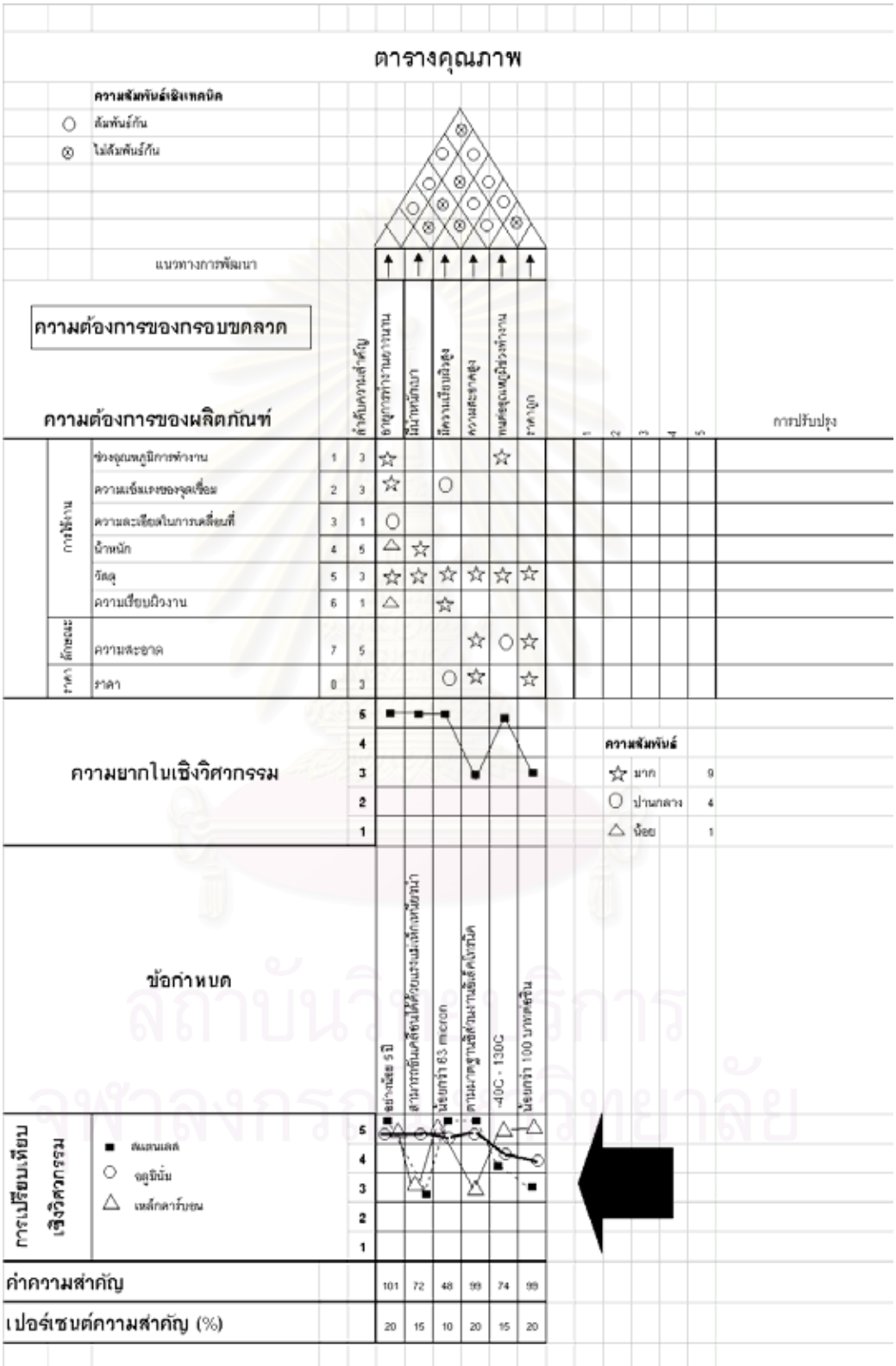
- สรุปผลของปัจจัยของกระบวนการผลิตที่ส่งผลต่อความต้องการของขดลวด

จากการทดลองทั้งสองทำให้ทราบว่า ปัจจัยทั้งความเร็วรอบในการพันขดลวดและแรงดึงของเส้นลวดขณะเครื่องพันขดลวด ล้วนมีความสำคัญที่จำเป็นจะต้องทำการควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนไปของปัจจัยทั้งสองจะทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนไปด้วยเช่นกัน สำหรับปัจจัยปริมาณรอบของการพนขดลวดนั้นมีผลโดยตรงต่อความต้านทานอยู่แล้ว เนื่องจากว่าที่รอบมากขึ้นความยาวของเส้นลวดก็จะมากขึ้น และเส้นลวดที่ยาวมากขึ้นก็จะทำให้ค่าความต้านทานมากขึ้นเช่นกัน

สำหรับการตอบปัญหาที่ว่าแรงดึงของเส้นลวดขณะพันโดยเครื่อง ควรจะมีขนาดเท่าใด อาจใช้วิธีการดูค่าอ้างอิงจากตารางมาตรฐานของเส้นลวด ในแต่ละขนาดที่ให้ไว้สำหรับเป็นค่าอ้างอิง ส่วนของความเร็วรอบนั้นกำหนดให้อยู่ที่ 800 RPM ซึ่งเป็นค่าที่หลังจากการพันรูปทรงของขดลวดมีรูปทรงที่ค่อนข้างสมบูรณ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 ผลการแปรความต้องการของผลิตภัณฑ์สู่ความต้องการของส่วนประกอบกรอบขดลวด



ตาราง 4.20 ผลการแปรความต้องการผลิตภัณฑ์สู่ความต้องการของส่วนประกอบกรอบขดลวด

กรอบขดลวดนำไฟฟ้าคือส่วนที่ใช้ในการยึดเกาะขดลวด และเป็นส่วนที่สามารถนำไปประกอบเข้ากับชิ้นส่วนอื่น ๆ ของระบบ สิ่งที่จะต้องพิจารณาถึงลำดับแรกของการออกแบบกรอบขดลวดนำไฟฟ้า คือ ประเภทของวัสดุที่จะนำมาใช้ว่าควรจะนำวัสดุประเภทใด การพิจารณาดังกล่าวจะต้องนำเอาความต้องการของผลิตภัณฑ์จากหัวข้อการวางแผนผลิตภัณฑ์ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของกรอบขดลวดนำไฟฟ้ามาเป็นแนวทางในการทำการเปรียบเทียบระหว่างประเภทของวัสดุต่าง ๆ

ความต้องการของผลิตภัณฑ์

1. มีอายุการทำงานยาว
2. มีน้ำหนักเบา
3. มีความเรียบผิวที่ดี
4. มีความสะอาดสูง
5. ทนต่อช่วงอุณหภูมิการทำงานสูงถึง –40 -130 องศาเซลเซียส
6. ราคา

วัสดุที่นำมาพิจารณาเปรียบเทียบ คือ

1. สแตนเลส
2. อลูมินั่ม
3. เหล็กคาร์บอน

ก่อนทำการเปรียบเทียบต้องมีการจัดลำดับความสำคัญของความต้องการต่างๆ ก่อนว่าจะให้ข้อกำหนดใดสำคัญที่สุดและลำดับถัดมา เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วไม่มีวัสดุใดจะสามารถรองรับความต้องการได้ทุกเรื่องแต่มักจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ดังนั้นการเลือกที่เหมาะสมจึงเป็นผลโดยตรงมาจากการจัดลำดับความสำคัญ

เกณฑ์ในการพิจารณาต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการทำให้บรรลุถึงความต้องการผลิตภัณฑ์หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นความยากง่ายในการดำเนินการ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและประสิทธิภาพของตัววัสดุที่นำมาพิจารณาเปรียบเทียบเอง

การเปรียบเทียบจะแสดงโดยใช้ตัวเลขเป็นตัวกำหนดค่า ความเป็นไปได้หมายความว่าถ้าคะแนนมากก็คือมีความเป็นไปได้มากกว่าหรือดีกว่าในแต่ละเรื่องและเมื่อนำค่าที่ได้มารวมกันก็จะเป็นตัวชี้ให้เห็นว่าควรเลือกวัสดุประเภทใด

สัญลักษณ์ กำหนดแทนค่าคะแนนที่ให้

สูง = 5 คะแนน ●

ปานกลาง = 3 คะแนน □

น้อย = 1 คะแนน △

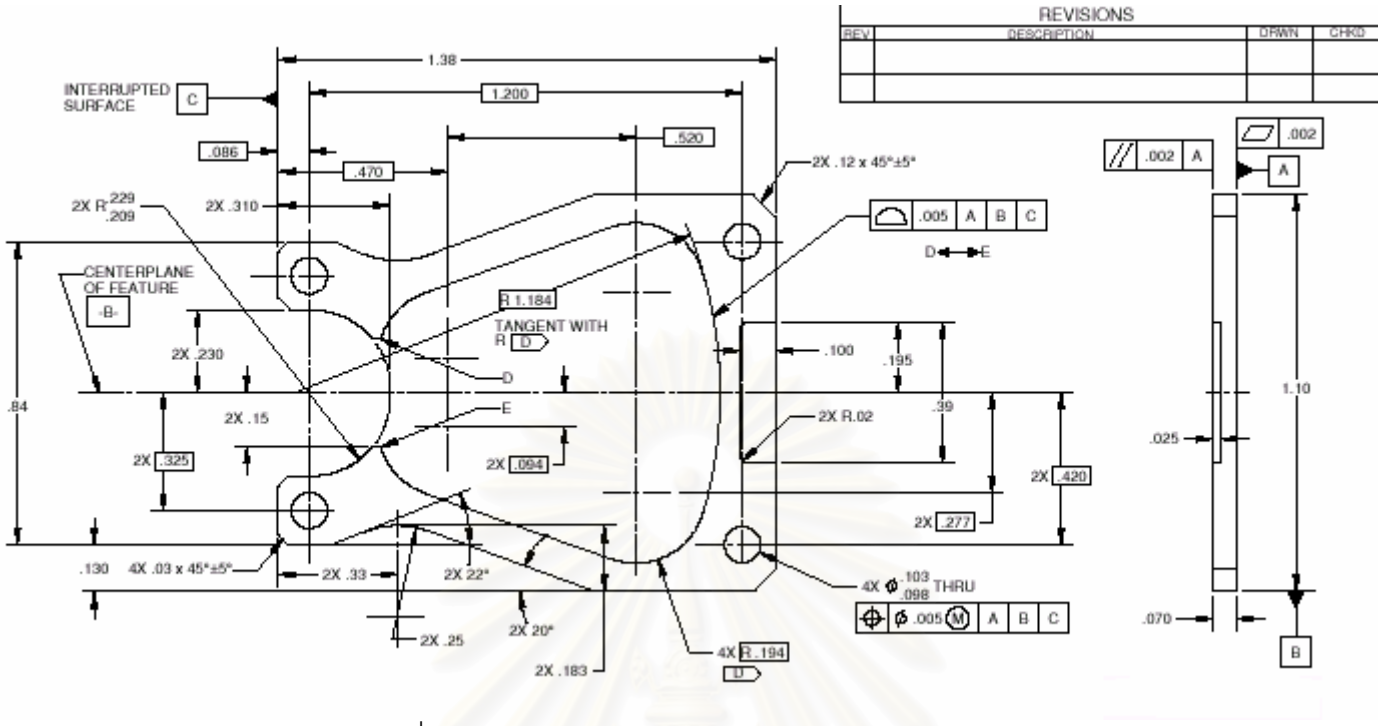
ความต้องการ	ลำดับความสำคัญ	สแตนเลส		อลูมินั่ม		เหล็กคาร์บอน	
มีอายุการทำงานยาว	5	●	5	●	5	●	5
มีน้ำหนักเบา	5	△	3	●	5	△	3
มีความเรียบผิวที่ดี	5	●	5	●	5	●	5
มีความสะอาดสูง	3	●	5	●	5	△	3
ทนต่อช่วงอุณหภูมิการทำงานสูง	5	□	4	□	4	●	5
ราคา	3	△	3	□	4	●	5
รวม			109		122		114

ตาราง 4.21 ผลการใช้วัสดุที่ใช้ทำกรอบขดลวด

ในการเปรียบเทียบเพื่อเลือกวัสดุที่ต้องการนำมาขึ้นรูปเป็นกรอบสำหรับยึดขดลวด โดยอาศัยความต้องการของผลิตภัณฑ์ พบว่าวัสดุที่สอดคล้องกับความต้องการมากที่สุด คือ อลูมินั่ม เนื่องจากมีอายุการใช้งานที่นาน น้ำหนักเบา และสามารถทำการขึ้นรูปเพื่อให้มีผิวที่เรียบได้ตามที่ต้องการ อีกทั้งมีความสะอาดผิวดี ถึงแม้จะมีช่วงขอบเขตการทำงานต่ำกว่าเหล็กคาร์บอน และราคาแพงกว่าก็ตามแต่เมื่อรวมคะแนนที่อาศัยการคำนึงถึงลำดับความสำคัญแล้วมีคะแนนมากสุด จึงควรนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์นี้

4.2.3.1 การออกแบบกรอบขดลวด (Frame Coil Design)

หลังจากได้วัสดุที่จะใช้ทำแล้วก็ดำเนินการออกแบบรูปทรงโดยคร่าว เพื่อใช้ในการทดสอบขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ โดยข้อจำกัดของการให้ขนาดอยู่ที่ขนาดของกรอบที่จะนำไปยึดกับขดลวดต้องประมาณช่องว่างระหว่างขดลวดกับตัวกรอบเพื่อใช้ในการยึดติดด้วยกัน



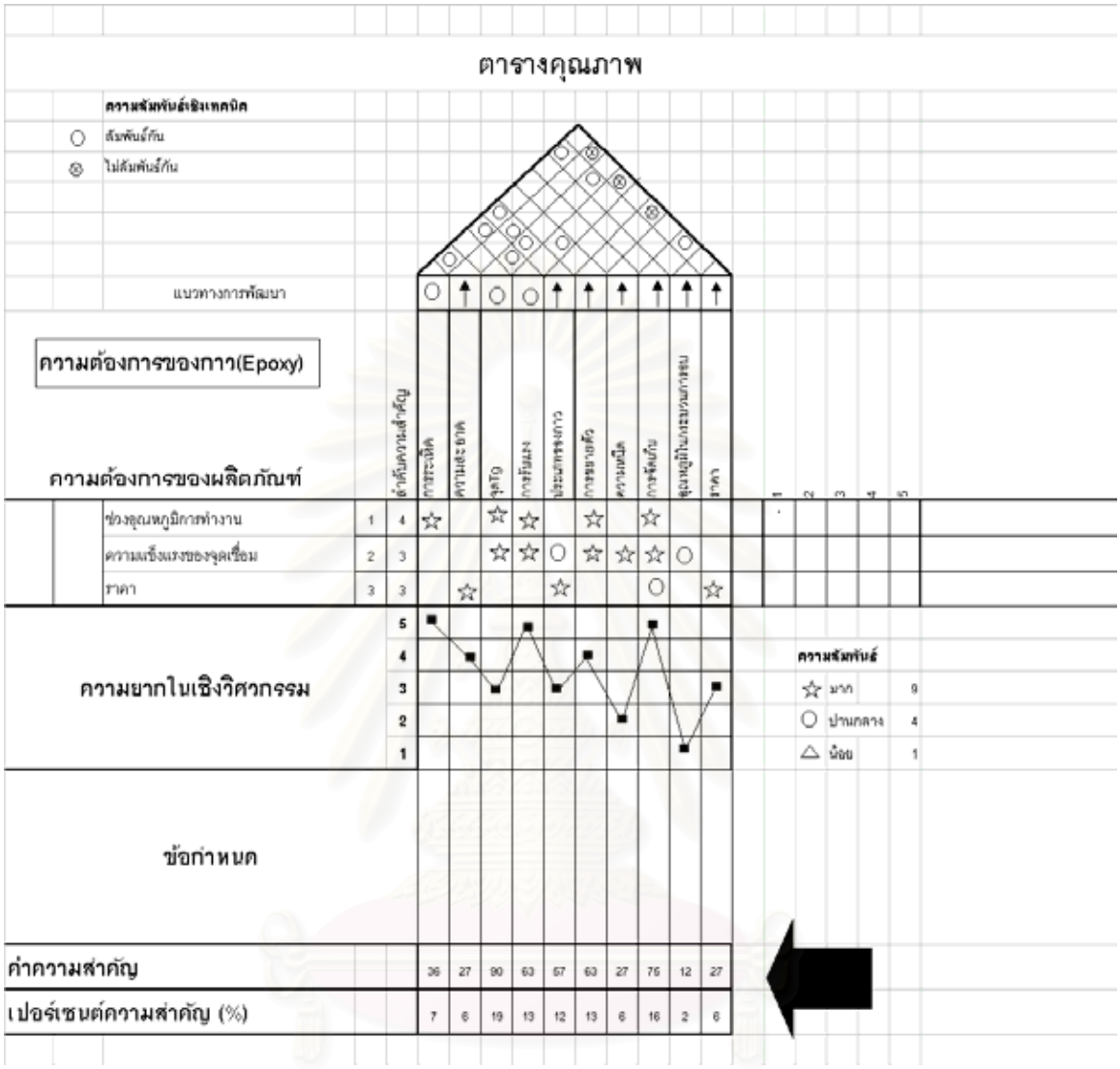
รูปที่ 4.3 แบบแสดงขนาดของกรอบขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

4.2.4 ผลการแปรความต้องการของผลิตภัณฑ์สู่ความต้องการของกาว

กระบวนการยึดขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าเข้ากับกรอบโลหะ

วิธีการยึดดังกล่าวนี้อาจทำด้วยวิธีการทางเครื่องกล และเคมี แต่กรรมวิธีทางเครื่องกล ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อม หรือการยึดด้วย น็อตหรือสกรูล้วนแต่ไม่เหมาะสมทั้งสิ้น เนื่องจากว่าถ้ามีการดำเนินการดังกล่าว จะส่งผลให้เกิดความเสียหายขึ้นแก่ขดลวดโดยตรง และความเสียหายดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงจร ทำให้ชิ้นงานมีความเสียหายได้ ดังนั้นกรรมวิธีการทางเคมีโดยการใช้กาว (Epoxy) ยึดจึงน่าจะเหมาะสมที่สุด แต่ทว่าในอุตสาหกรรมผลิตปัจจุบันมีกาวอยู่หลายประเภท ซึ่งความเหมาะสมขึ้นกับผลิตภัณฑ์และการนำไปใช้งาน ดังนั้นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกาวแต่ละชนิด เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผลิตภัณฑ์จึงมีความสำคัญมาก

เมื่อได้แนวทางเบื้องต้นว่ากรรมวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการยึดขดลวดที่พันแล้วเข้ากับกรอบอลูมินั่มขึ้นรูป คือการใช้กาวเติมลงไปในช่องว่างระหว่างชิ้นส่วนทั้งสอง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาเพื่อเก็บข้อมูลของคุณสมบัติของกาวแต่ละประเภทที่น่าจะเหมาะสมในท้องตลาด เพื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติให้เหมาะสมที่สุด แต่การเรียบเทียบจะต้องทราบหลักค่าความสำคัญในแต่พารามิเตอร์เพื่อใช้ในการพิจารณา ซึ่งเกิดจากตารางคุณภาพ



ตาราง 4.22 ผลการแปรความต้องการของผลิตภัณฑ์สู่ความต้องการของกาว

ข้อมูลเปรียบเทียบคุณสมบัติของกาวประเภทต่าง ๆ โดยข้อมูลเหล่านี้จะต้องมาจากค่าที่น่าเชื่อถือหรือเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด

ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของกาว (Epoxy)

	ชื่อผลิตภัณฑ์			
	DP460 EG	**AHS 495**	**EW-2020**	**2214 Hi-Dense**
ปริมาณการระเหิดของก๊าซหลังกาวเซ็ทตัว (Total Outgassing)	<1000 ug/g (ทดสอบโดยวิธี GC/MS @85 C ที่ 3 ชม.)	<25 ug/g (ทดสอบโดยวิธี GC/MS @85 C ที่ 3 ชม.)	13 ug/g (ทดสอบโดยวิธี GC/MS @120 C ที่ 15 นาที)	20 +/- 5 ug/g (ทดสอบโดยวิธี GC/MS @ 85 C ที่ 3 ชม.)
การระเหิดของก๊าซ Siloxane (Siloxane Outgassing)	</= 5 ug/g (ทดสอบโดยวิธี GC/MS @85 C ที่ 3 ชม.)	<2 ug/g (ทดสอบโดยวิธี GC/MS @85 C ที่ 3 ชม.)	ตรวจไม่พบ	<0.1 ug/g (ทดสอบโดยวิธี GC/MS @85 C ที่ 3 ชม.)
จุด Tg ของกาว (Tg)	ประมาณ 75 C @ ณ อุณหภูมิที่ใช้อบ 80 C	95 C @ ณ อุณหภูมิที่ใช้อบ 80 C	120 C @ ณ อุณหภูมิที่ใช้อบ 120 C	ไม่มีข้อมูลทดสอบ
การรับแรงอ้างอิงค่ามาตรฐาน (Overlap Shear (Al))	5000 PSI (ASTM D-1002-72)	3000 PSI (ASTM D-1002-72)	4496 PSI (31 Mpa, JIS K6850)	4500 PSI @82 C
ประเภทของกาว (Adhesive type	2 ส่วน (บรรจุอยู่ในแพ็คคู่)	2 ส่วน (บรรจุอยู่ในแพ็คคู่)	1 ส่วน	1 ส่วน
Coefficient of Expansion) (in/in/c)	59x10-6 ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุด Tg, 159x10-6 ที่อุณหภูมิสูง	56x10-6 ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุด Tg, 132x10-6 ที่อุณหภูมิสูงกว่าจุด Tg	5.9x10-5	49x10-6 (ที่อุณหภูมิระห่าง 0-80C)
ความหนืด (Viscosity)	15,000-25,000 cps	100,000 cps	300,000 cps	Over 1,000,000 cps
การจัดเก็บ (Storage)	15-27 C หรือเก็บในตู้เย็นเพื่อให้มีอายุการใช้งานนาน	15-27 C หรือเก็บในตู้เย็นเพื่อให้มีอายุการใช้งานนาน	5 C หรือต่ำกว่า	4 C หรือต่ำกว่า
สภาวะการเซ็ทตัว (Bonding)	approx. 70 minutes @ 80C	approx. 60 minutes @ 80C	60 minutes @ 120 C	40 minutes @ 121 C
ราคา (Product cost)	8 USD/ชิ้น	29.6 USD/ชิ้น	150 USD/กระป๋อง	55 USD/บรรจุภัณฑ์
บรรจุภัณฑ์ (Package)	37 ml/ชิ้น , 12 ชิ้น/กล่อง	37 ml/ชิ้น , 12 ชิ้น/กล่อง	947 ml/กระป๋อง , 6 กระป๋อง/กล่อง	180 ml/Cart , 6 กระป๋อง/กล่อง
ราคาเฉลี่ย (Average price)	2.19 USD/ml.	0.8 USD/ml.	0.16 USD/ml.	0.3 USD/ml.

ตาราง 4.23 เปรียบเทียบคุณสมบัติของกาวประเภทต่าง

4.2.4.1 ผลการเลือกใช้กาว

ประเมินผลการเปรียบเทียบกาวทั้งสี่ประเภทในตารางเปรียบเทียบล้วนแต่ถูกใช้ในงานอุตสาหกรรมอิเล็กโทรนิคส์ทั้งสิ้น แต่ในการเลือกใช้งานถูกพิจารณาที่ คุณสมบัติเทียบกับ ค่าความสำคัญ

คุณสมบัติ	ค่าความสำคัญ
การระเหิด	2
ความสะอาด	2
จุด Tg	5
การรับแรง	4
ประเภทของกาว	3
การขยายตัว	4
ความหนืด	2
การจัดเก็บ	4
อุณหภูมิในกระบวนการอบ	1
ราคา	2

ตาราง 4.24 ผลการวัดค่าความสำคัญของคุณสมบัติกาว

เมื่อกำหนดเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกใช้ ดังกล่าวพบว่ากาว (Epoxy) ที่เหมาะสมที่สุดคือ EW-2020 ดังนั้นเพื่อให้การวางแผนกระบวนการผลิตมีความสอดคล้องกับคุณสมบัติของกาวจะต้องดำเนินการรวบรวมและการศึกษาคุณสมบัติและข้อจำกัดของกาวเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบกระบวนการ

ผลิตภัณฑ์ EW-2020 เป็นกาวประเภท 1 part epoxy มีความต้านทานต่อความชื้นสูงและมีความหนืดต่ำ (Low viscosity) เนื้อกาวมีส่วนประกอบหลักเป็นเรซิน (Resin) สีเทา มีหลักพื้นฐานในการใช้งานดังนี้

1. ก่อนใช้จะต้องทิ้งกาวไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนเปิดภาชนะบรรจุ เพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นเกิดการควบแน่นไปที่ผิวกาว
2. ฝุ่นสกปรกหรือคราบน้ำมันที่เกาะอยู่บนผิวของชิ้นงานหรือบริเวณที่ต้องการนำกาวไปใช้ในการยึดเกาะ จะต้องทำความสะอาดให้หมดเสียก่อน
3. ค่าความสามารถในการรับแรงกดตามมาตรฐาน JIS H4000 , A2024P สำหรับผิวอลูมินั่มมีค่าอย่างน้อย 31 MPa ที่จุดเชื่อมซึ่งมีความหนาอย่างน้อยของกาวที่ 0.05 – 0.13

มิลลิเมตร

4. อุณหภูมิที่ใช้ในการอบกาวให้แห้งอย่างน้อย

1.1 120 องศาเซลเซียส ที่เวลา 60 นาที

1.2 140 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 นาที

5. ขณะที่กาวยังไม่แห้งพยายามอย่าทำการเคลื่อนย้ายชิ้นงานหรือในบางกรณีอาจต้องมีการกดชิ้นงาน

6. การทำความสะอาดผิวงานที่เปื้อนกาวอาจทำได้โดยการใช้สารละลาย Methyl Ethyl Ketone

7. การจัดเก็บจะต้องทำที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่านั้น

8. ที่อุณหภูมิสูงกว่า 55 องศาเซลเซียสอาจมีผลต่อคุณสมบัติของกาวในการจัดเก็บ

นอกจากนี้แล้วในการกำหนดปลายของขดลวดที่ยื่นออกมาเพื่อต่อกับจุดเชื่อมกระแสไฟฟ้า ในการออกแบบนั้นต้องการควบคุมระยะห่างของปลายทั้งสอง ดังนั้นเพื่อให้ได้ระยะเป็นไปได้ตามความต้องการขอการออกแบบ จึงต้องทำการยึดประท้วงปลายทั้งสองที่ระยะดังกล่าวกับตัวขดลวด

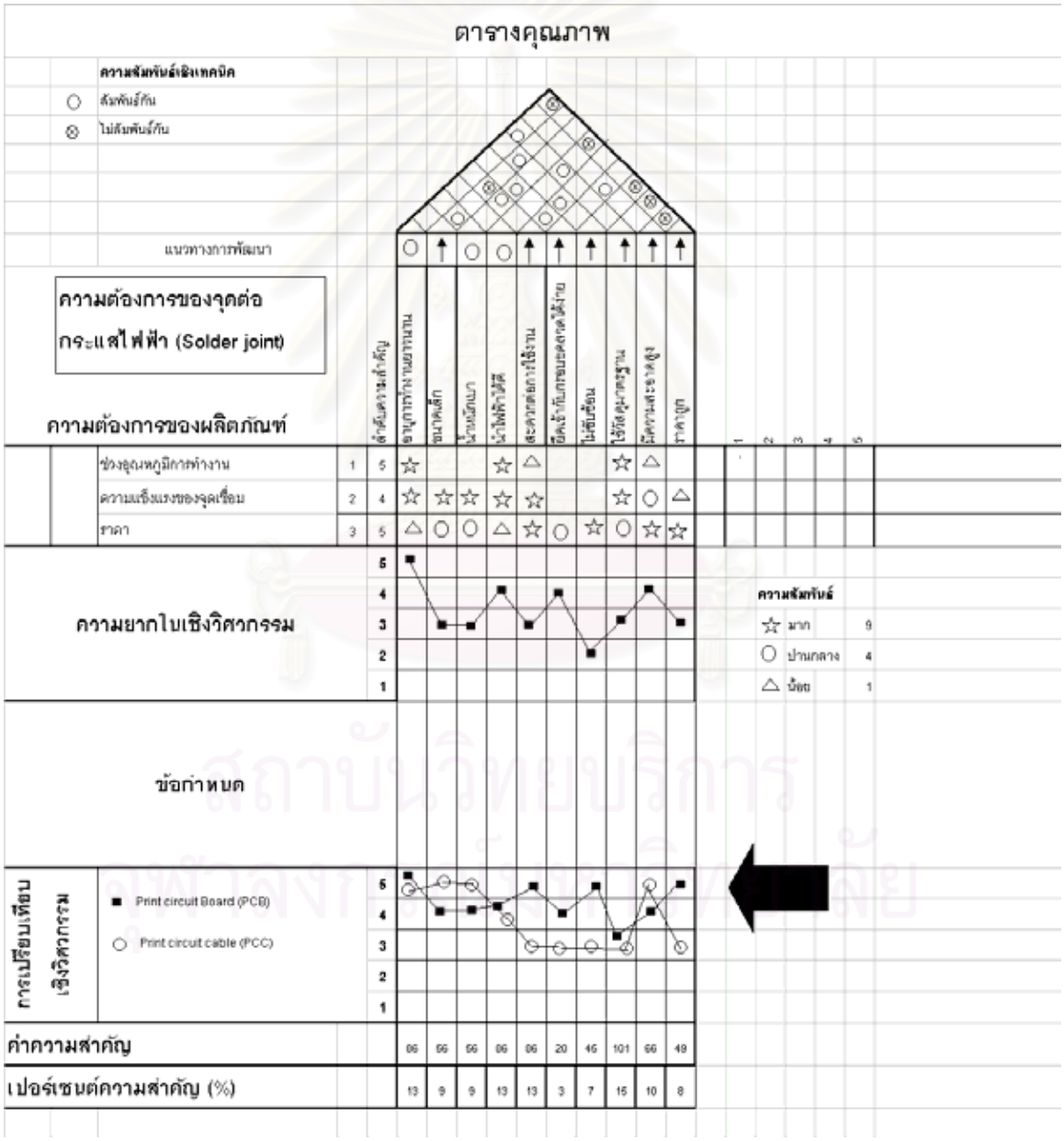
กรรมวิธีที่น่าจะเหมาะสมที่สุดในการยึดปลายทั้งสองให้อยู่ที่จุดดังกล่าว ควรใช้กาวประเภทที่ใช้ในการเคลือบขดลวดที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน และในอุตสาหกรรมเส้นลวดโดยส่วนใหญ่ในปัจจุบัน สำหรับวงการผลิตขดลวดในหัวอ่านของฮาร์ดดิสก์จะใช้กาวที่ชื่อว่า Ablebond 400-5 ซึ่งมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ ดังนั้นในกรณีนี้จึงน่าจะนำมาใช้ได้

คุณสมบัติของ Abelbond 400-5

1. เป็นกาวที่มีความหนืดต่ำ และถูกออกแบบสำหรับการพันขดลวด
2. มีจุด Tg ที่ 192 องศาเซลเซียส
3. อุณหภูมิสำหรับการทำงานอยู่ระหว่าง –40 ถึง 200 องศาเซลเซียส
4. มีอายุการใช้งาน 4 ชม. ภายใต้อุณหภูมิห้อง
5. สามารถจัดเก็บได้เป็นเวลานาน 1 ปี ภายใต้อุณหภูมิ –40 องศาเซลเซียส
6. อุณหภูมิที่ใช้ในการอบกาวให้แห้งอยู่ที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที

4.2.5 ผลการแปรความต้องการของผลิตภัณฑ์สู่ความต้องการของจุดต่อกระแสไฟฟ้า

สืบเนื่องจากความต้องการของลูกค้าในตอนต้นเกี่ยวกับการต่อกระแสไฟฟ้าเข้ามายังขดลวดจะต้องการให้มีจุดที่เชื่อมต่อกระแสดเข้ามาสู่ขดลวดได้สะดวก ดังนั้นเมื่อพันขดลวดได้ตามขนาดแล้วจะต้องมีการติดตั้งจุดเชื่อมกระแสไฟฟ้าที่กรอบขดลวด เพื่อนำปลายของขดลวดมายึดติดไว้รอที่ เมื่อต้องการนำกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวดก็สามารถจะได้ต่อที่จุดดังกล่าวได้เลย จุดเชื่อมดังกล่าวนี้ อาจเรียกได้ว่าเป็นจุดเชื่อม (Solder joint) ก็ได้



ตาราง 4.25 ผลการแปรความต้องการของผลิตภัณฑ์สู่ความต้องการของจุดเชื่อมกระแสไฟฟ้า

4.2.5.1 ผลการประเมินกระบวนการผลิตจุดเชื่อมกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม

จากข้อมูลในตารางคุณภาพสามารถนำมาประเมินกระบวนการผลิตที่เหมาะสมได้โดย

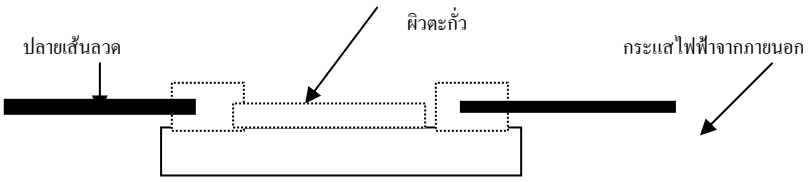
ความต้องการของจุดต่อกระแสไฟฟ้า	ค่าความสำคัญ	Print Circuit Board (PCB)	Print Circuit Cable (PCC)
อายุการทำงานยาวนาน	5	5	5
ขนาดเล็ก	3	4	5
น้ำหนักเบา	3	4	5
นำไฟฟ้าได้ดี	5	4	4
สะดวกต่อการใช้งาน	5	5	3
ยึดเข้ากับกรอบขดลวดได้ง่าย	1	4	3
ไม่ซับซ้อน	3	5	3
ใช้วัสดุมาตรฐาน	5	3	3
มีความสะอาดสูง	4	4	4
ราคาถูก	3	5	5
รวม		159	148

ตาราง 4.26 ผลการเปรียบเทียบกระบวนการผลิตจุดเชื่อมกระแสไฟฟ้า

กระบวนการผลิตที่เหมาะสมคือกระบวนการที่ผลิต Print Circuit Board (PCB) ซึ่งมีแนวทางการออกแบบเบื้องต้นดังนี้

4.2.5.2 การออกแบบจุดเชื่อมต่อกระแสไฟฟ้า (Solder joint)

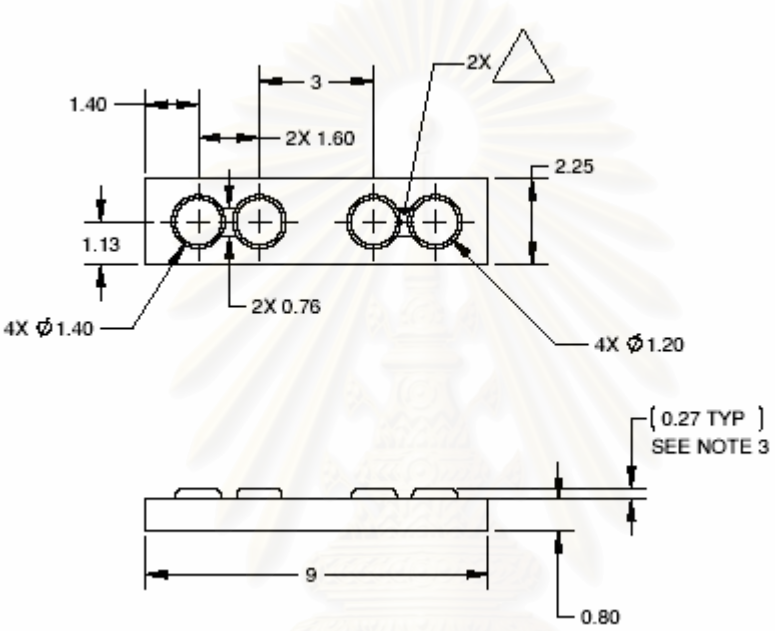
- แนวทางการออกแบบจุดเชื่อมกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 4.4 แนวทางเบื้องต้นของการออกแบบจุดเชื่อกระแสไฟฟ้า

จุดดังกล่าวเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็ก ๆ ติดตั้งบนกรอบขดลวด และที่จุดเชื่อมจะงเป็นผิวตะกั่วเพื่อรองรับการเชื่อมตั้งสำหรับปลายขดลวดและจุดที่จะนำกระแสไฟฟ้าเข้ามา โดยตะกั่วนี้จะต้องเชื่อมต่อจุดทั้งสองเข้าหากันเพื่อเป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้า

- ออกแบบขนาดของจุดเชื่อมไฟฟ้า



รูปที่ 4.5 แบบแสดงขนาดของจุดเชื่อมกระแสไฟฟ้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 ผลการวางแผนกระบวนการผลิต (Process Planing)

4.3.1 การวางแผนกระบวนการผลิตขดลวดเบื้องต้น (Process Planning)

ดำเนินการวางแผนโดยแปรความต้องการของขดลวดไปสู่ความต้องการของกระบวนการผลิต โดยใช้ตารางคุณภาพ

ตารางคุณภาพ

ความสัมพันธ์เชิงเทคนิค

○ สัมพันธ์กัน

⊗ ไม่สัมพันธ์กัน

แนวทางการพัฒนา

ความต้องการของกระบวนการผลิต

ความต้องการของขดลวด			กำลังไฟฟ้าที่ใช้	กระแสไฟฟ้าที่ใช้	ความเร็วในการพันขดลวด	ความตึงของลวดพัน	ความหนาแน่นของขดลวดพัน	1	2	3	4	5	การปรับปรุง
สารฉนวนเคลือบผิว	1	5	☆					-					
ขนาดเส้นลวด	2	5	☆	☆	☆	☆							
ความยาวเส้นลวด	3	2		☆	☆	☆							
มาตฐานอ้างอิง	4	2	☆	☆									
คุณสมบัติทางความร้อน	5	2	△	☆		△							
คุณสมบัติทางความไฟฟ้า	6	3	☆	☆	☆	☆							
ความยากในเชิงวิศวกรรม		5											
		4		■									
		3					■						
		2	■		■								
		1											
ข้อกำหนด			ต้องอยู่ในช่วงที่กำหนด	ต้องอยู่ในช่วงที่กำหนด	ให้มีค่าคงที่	27.5 โอห์ม +/-10%							
ค่าความสำคัญ			137	153	90	92							
เปอร์เซนต์ความสำคัญ (%)			29	32	19	20							

ความสัมพันธ์

☆ มาก 9

○ ปานกลาง 4

△ น้อย 1

ตาราง 4.27 ผลการแปรความต้องการของขดลวดสู่ความต้องการของกระบวนการผลิต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก่อนดำเนินการทดลองผลิตชิ้นงานจะต้องมีการวางแผนขบวนการเบื้องต้นไว้พอสังเขป เพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการผลิตชิ้นงาน โดยแผนขบวนการผลิตเกิดขึ้นจากแนวความคิดที่ได้จากการศึกษาถึงปัจจัยความต้องการของขดลวดในตารางคุณภาพ อย่างไรก็ตามแผนการผลิตเบื้องต้นอาจต้องมีการปรับเปลี่ยนหากพบว่าแผนการผลิตดังกล่าวยังมีข้อบกพร่องในส่วนใดก็ตามเมื่อทำการผลิตชิ้นงานต้นแบบ

4.3.1.1 กระบวนการผลิตขดลวดเบื้องต้นในรูปสัญลักษณ์ (Process Flow diagram)

ขบวนการผลิตเบื้องต้นถูกแสดงไว้ในรูปแผนภูมิขบวนการผลิต โดยมีสัญลักษณ์ (symbol) ดังต่อไปนี้

หมายถึง การนำวัตถุดิบเข้าสู่ขบวนการผลิต

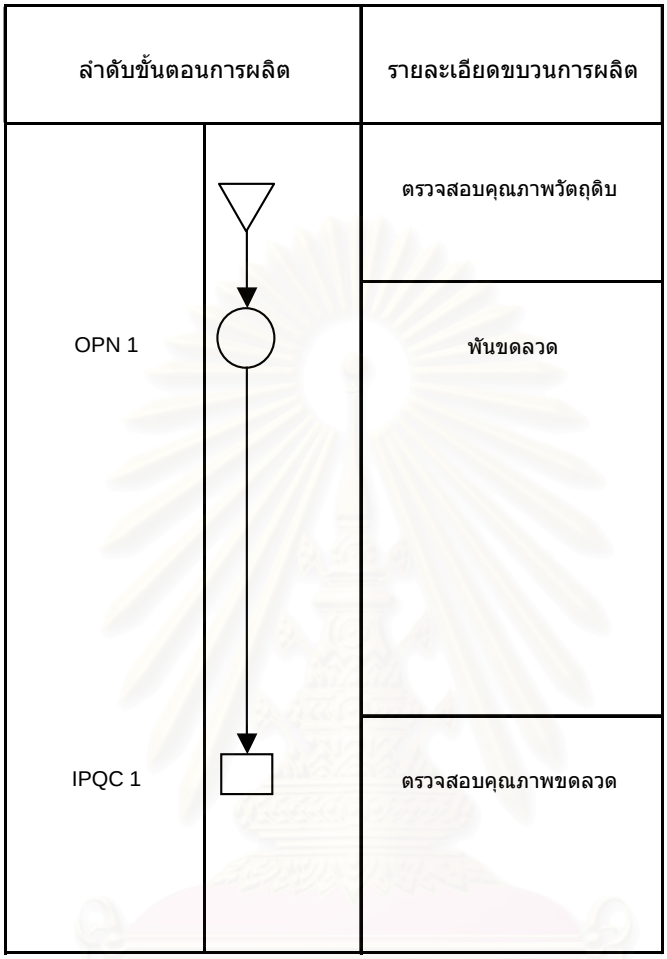
หมายถึง ขบวนการผลิตโดยพนักงานฝ่ายผลิต

หมายถึง ขบวนการตรวจสอบคุณภาพโดยพนักงานฝ่ายตรวจสอบคุณภาพ

หมายถึง ขบวนการจัดเก็บ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางแผนการผลิตเบื้องต้นและค่ากำหนดต่าง ๆ ในแต่ละขั้นตอน



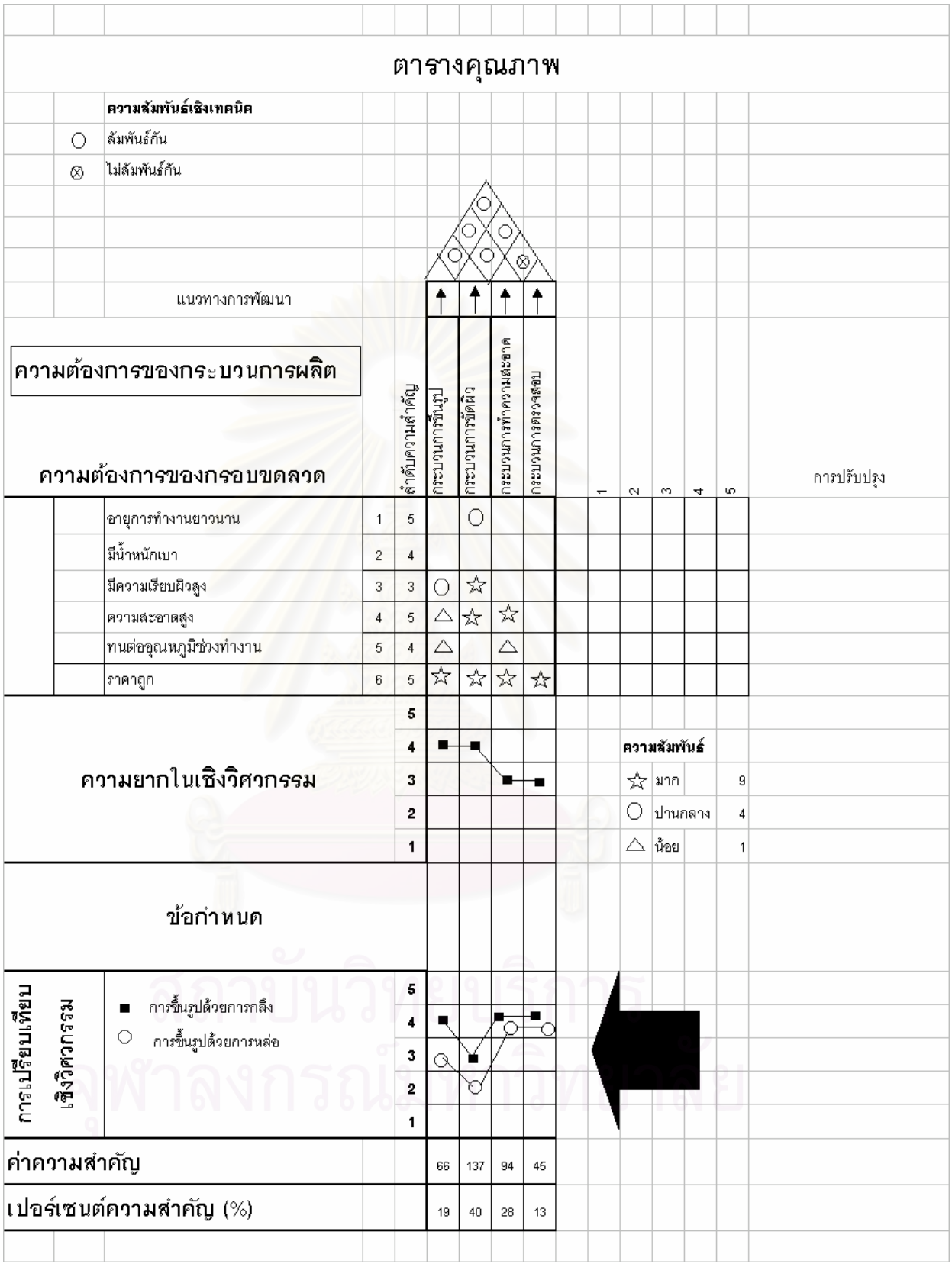
ตาราง 4.28 ขบวนการผลิตขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

4.3.2. การวางแผนกระบวนการผลิตชิ้นงานกรอบขดลวดเบื้องต้น (Frame Coil Process Planning)

เป็นการวางแนวทางการผลิตเบื้องต้นโดยอาศัยความต้องการของผลิตภัณฑ์เป็นตัวตั้ง แล้วพิจารณาถึงความต้องการของกระบวนการผลิต ซึ่งโดยเฉพาะอย่างยิ่งจะต้องคำนึงถึงขบวนการที่จะนำมาใช้ในการขึ้นรูป

ในกรณีนี้ขบวนการขึ้นรูปชิ้นงานที่พิจารณา

1. การขึ้นรูปด้วยการกลึง
2. การขึ้นรูปด้วยการหล่อ



ตาราง 4.29 ผลการแปรความต้องการสู่กระบวนการผลิตกรอบขดลวด

เมื่อได้ความต้องการของกระบวนการผลิตและการเปรียบเทียบเชิงวิศวกรรมระหว่างกระบวนการผลิตโดยการกลึงขึ้นรูป และการหล่อ ก็สามารถเปรียบเทียบเพื่อเลือกกระบวนการที่เหมาะสม โดยใช้สัญลักษณ์ กำหนดแทนค่าคะแนนที่ให้

สูง = 4 คะแนน ●

ปานกลาง = 3 คะแนน □

น้อย = 2 คะแนน △

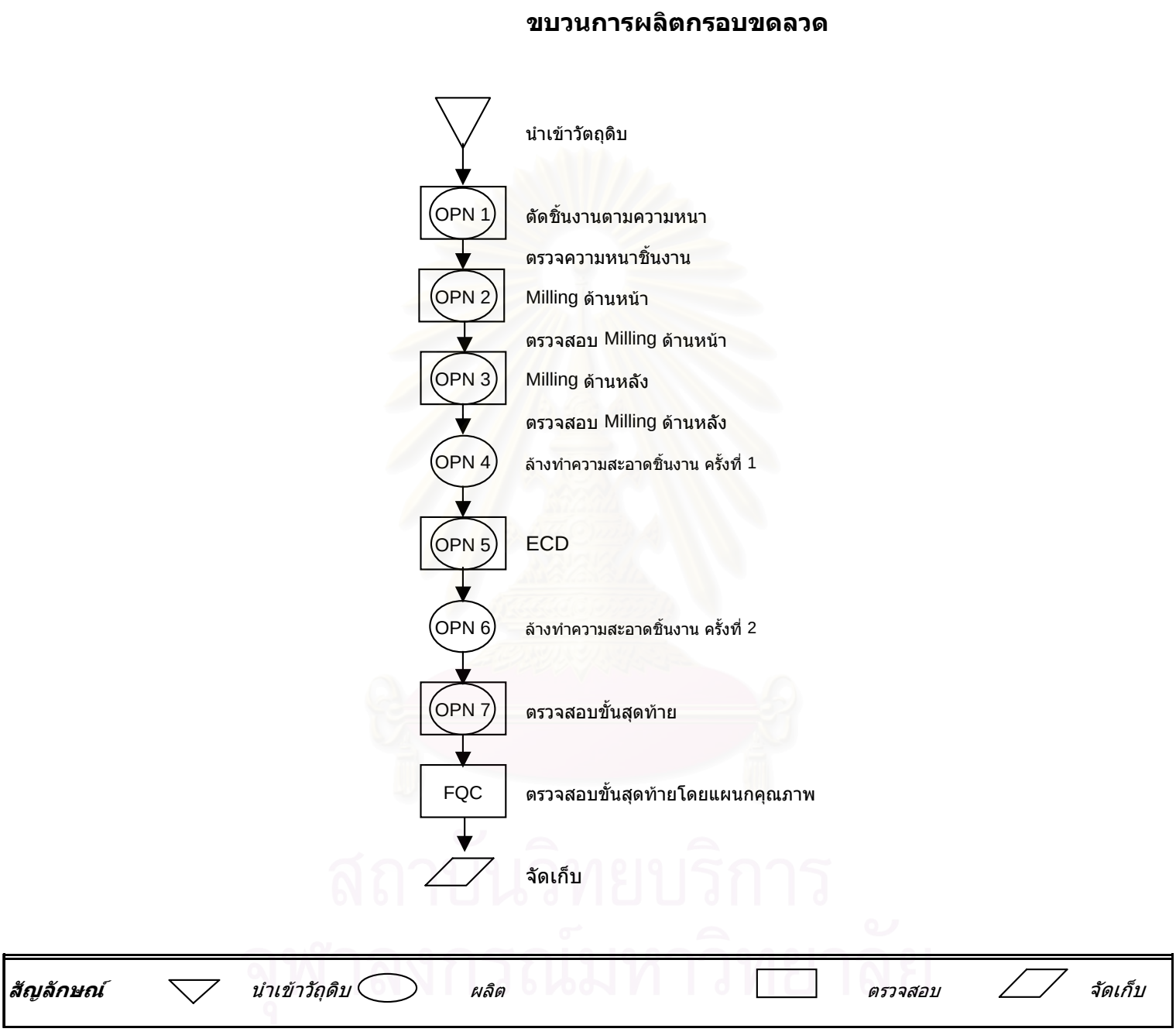
ความต้องการของกระบวนการ	ลำดับความสำคัญ	การขึ้นรูปด้วยการกลึง		การขึ้นรูปด้วยการหล่อ	
กระบวนการขึ้นรูป	3	●	4	□	3
กระบวนการขัดผิว	5	□	3	△	2
กระบวนการทำความสะอาด	4	●	4	●	4
กระบวนการตรวจสอบ	2	●	4	●	4
รวม			51		43

ตาราง 4.30 ผลการเปรียบเทียบขบวนการขึ้นรูปกรอบขดลวด

เมื่อพิจารณาด้านความต้องการของลูกค้าด้านปริมาณที่ต้องการใช้ประกอบพบว่าต้องการจำนวนไม่มากนัก ดังนั้น ขบวนการขึ้นรูปจึงเลือกใช้การกลึง เพื่อไม่ต้องการเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนเบื้องต้นสูงมาก

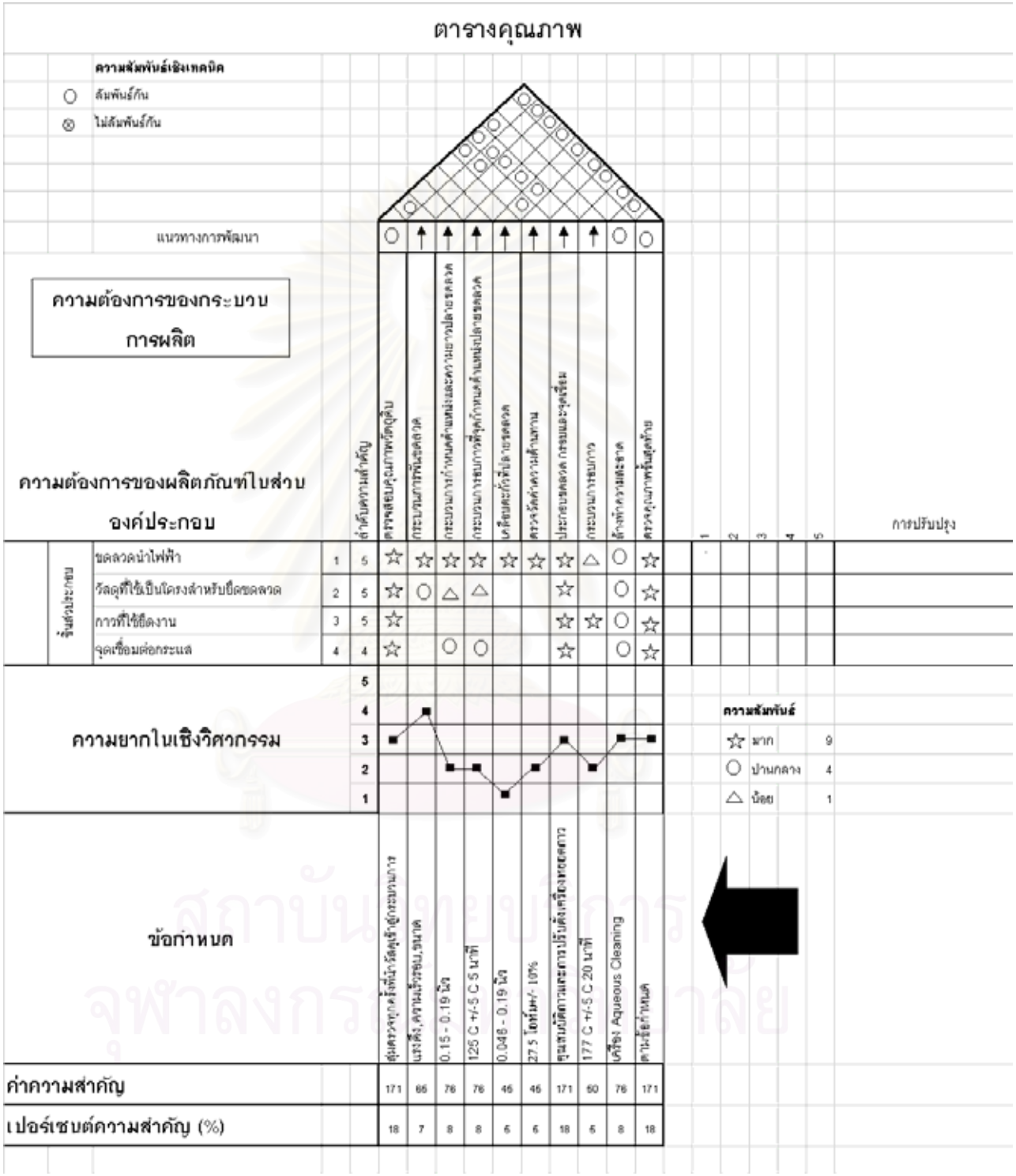
อย่างไรก็ตามการกลึงผิวขึ้นรูปถึงแม้จะทำให้มีผิวที่เรียบได้ตามข้อกำหนดความเรียบผิว แต่บริเวณในรูของสกรูหรือที่ขอบของอลูมินั่มมักจะมีเศษโลหะเล็ก ๆ ติดอยู่ที่ผิว การแก้ปัญหาดังกล่าวทำได้โดยการนำชิ้นงานที่ได้จากการกลึงไปผ่านขบวนการขัดที่เรียกว่า Electro Chemical Deburring (ECD) โดยมีหลักการนำเอาเศษที่ติดอยู่กับชิ้นงานออก โดยใช้กระแสไฟฟ้าขั้วบวกไปที่ตัวชิ้นงาน ซึ่งแช่อยู่ในสารละลายเกลือ (Saline) ที่มีสีขั้วประจุลบ ทำให้ประจุลบที่สารละลายพุ่งไปที่ชิ้นงาน เพื่อทำให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ครบระบบ เศษโลหะขนาดเล็ก ๆ ที่ผิวชิ้นงานจะถูกชะล้างออกไปนั่นเอง ขบวนการดังกล่าวจะใช้เวลาประมาณ 30 วินาที ขบวนการนี้สามารถอธิบายได้โดยแสดงเป็นรูปขบวนการผลิตและกระบวนการควบคุมการผลิตในภาคผนวก

4.3.2.1 กระบวนการผลิตชิ้นงานกรอบขดลวดเบื้องต้นในรูปการใช้สัญลักษณ์ (Process flow diagram)



รูปที่ 4.6 กระบวนการผลิตกรอบขดลวด

4.3.3 การวางแผนกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ (AssemblyProcess Planning)



ตาราง 4.31 ผลการแปรความต้องการของชิ้นส่วนองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์สู่ความต้องการของกระบวนการประกอบ

จากตารางคุณภาพส่มารถกำหนดกระบวนการผลิตและค่าความสำคัญในแต่ละกระบวนการพร้อมทั้งข้อกำหนดได้ดังต่อไปนี้

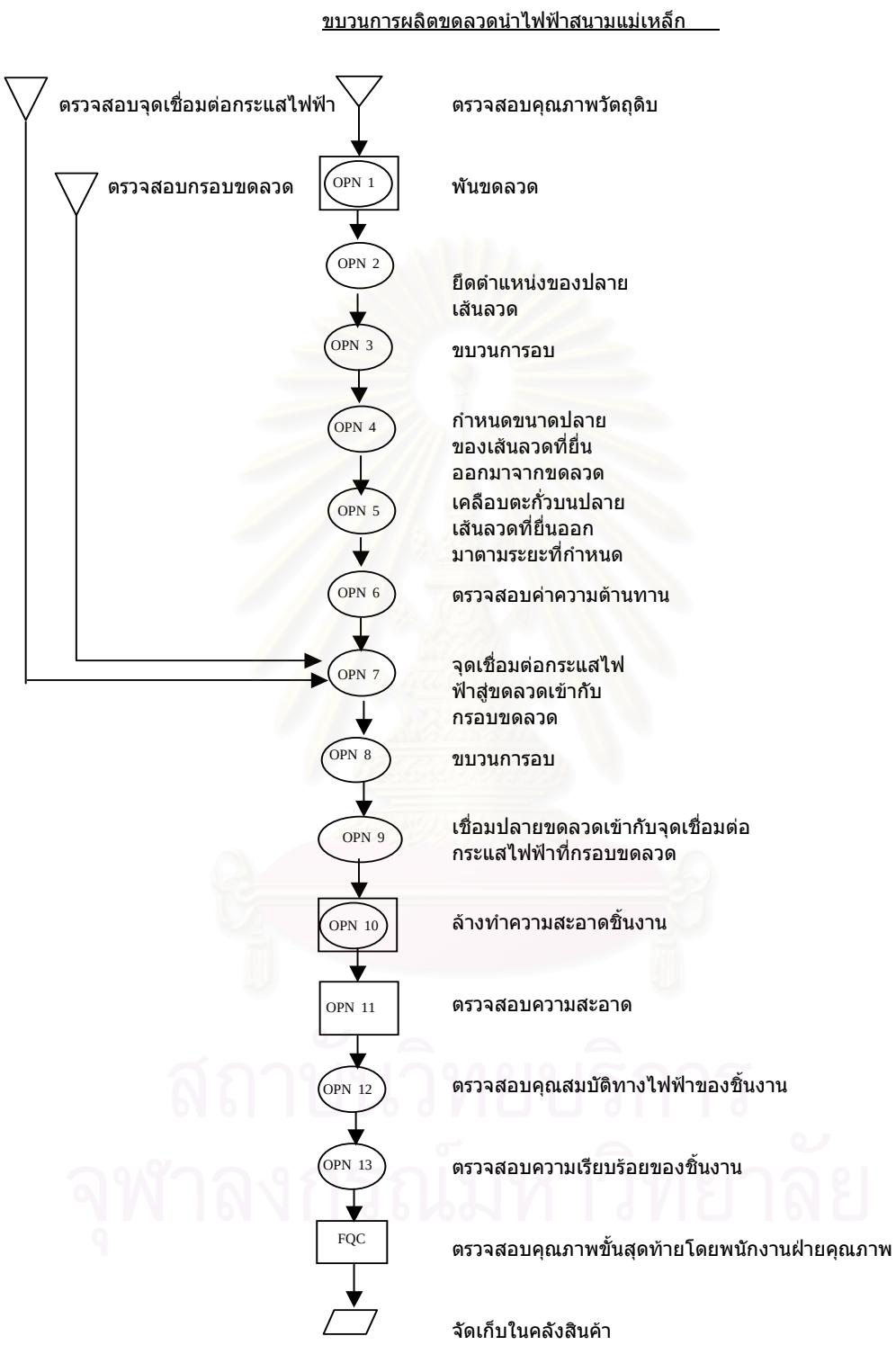
กระบวนการผลิต	ข้อกำหนด	ค่าความสำคัญ
ตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ	สุ่มตรวจทุกครั้งที่นำวัสดุเข้าสู่กระบวนการ	5
กระบวนการพันขดลวด	แรงดึง , ความเร็วรอบ , ขนาด	2
กระบวนการกำหนดตำแหน่งและความยาวปลายขดลวด	0.15 - 0.19 นิ้ว	2
กระบวนการอบกาวที่จุดกำหนดตำแหน่งปลายขดลวด	125 C +/-5 C 5 นาที	2
เคลือบตะกั่วที่ปลายขดลวด	0.046 - 0.19 นิ้ว	2
ตรวจวัดค่าความต้านทาน	27.5 โอห์ม+/- 10%	2
ประกอบขดลวด กรอบและจุดเชื่อม	คุณสมบัติกาวและการปรับตั้งเครื่องหยอดกาว	5
กระบวนการอบกาว	177 C +/-5 C 20 นาที	2
ล้างทำความสะอาด	เครื่อง Aqueous Cleaning	2
ตรวจคุณภาพขั้นสุดท้าย	ตามข้อกำหนดการออกแบบ	5

ตาราง 4.32 ผลการจัดค่าความสำคัญของกระบวนการประกอบ

จุดที่มีความสำคัญในกระบวนการประกอบที่สำคัญคือ

1. กระบวนการตรวจสอบวัสดุก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต
2. กระบวนการประกอบขดลวด กรอบและจุดเชื่อม
3. กระบวนการตรวจคุณภาพขั้นสุดท้าย

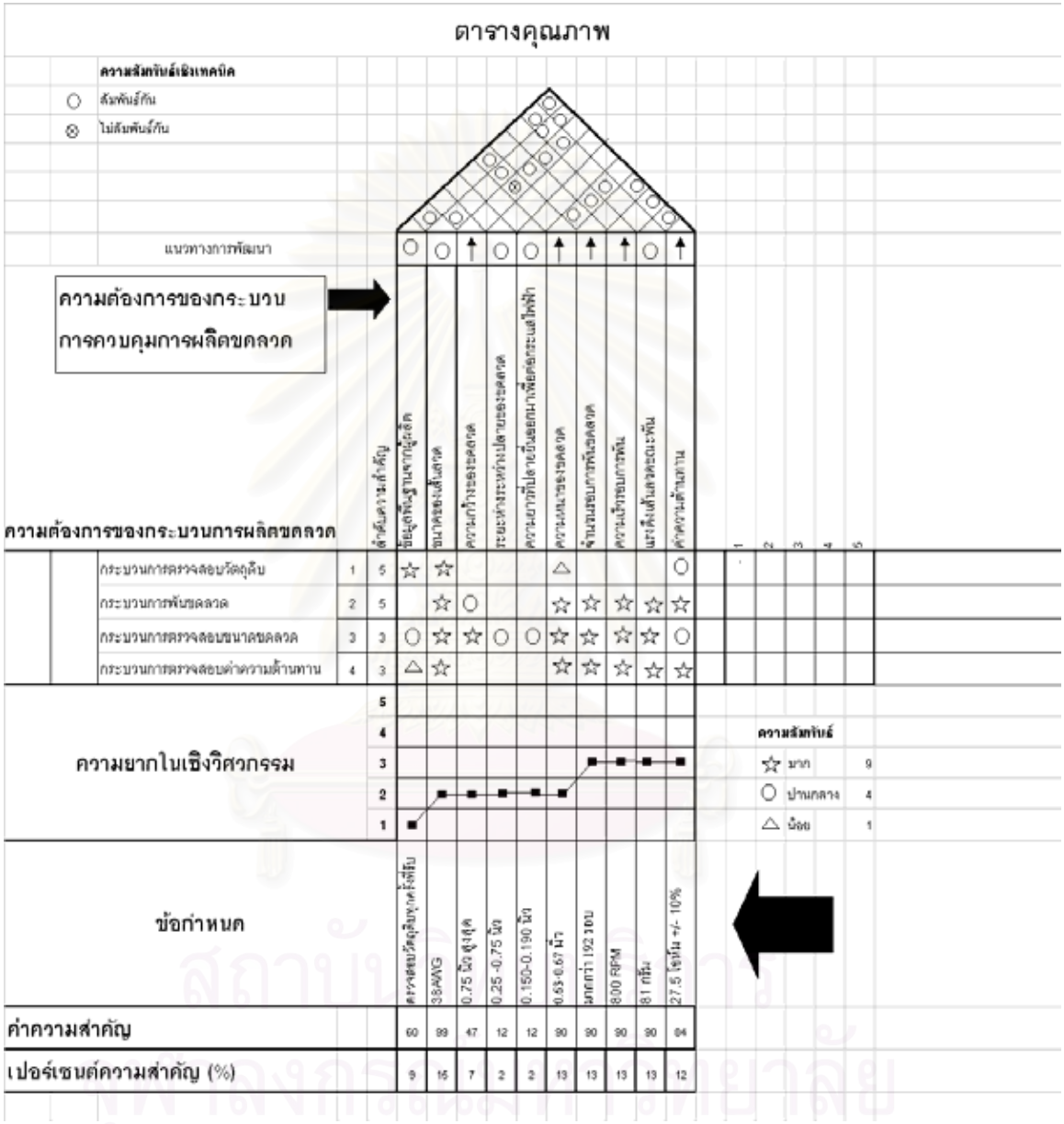
4.3.3.1 กระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ในรูปสัญลักษณ์ (Process Flow Diagram)



รูปที่ 4.7 กระบวนการประกอบขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

4.4 ผลการวางแผนกระบวนการควบคุมการผลิต (Process Control)

4.4.1 กระบวนการควบคุมการผลิตขดลวด (Coil Wiring Process Control)



ตารางที่ 4.33 ผลการแปรความต้องการของกระบวนการผลิตสู่กระบวนการควบคุมการผลิตขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

จากตารางคุณภาพทำให้ทราบข้อกำหนดของกระบวนการผลิตและค่าความสำคัญในแต่ละข้อกำหนดเพื่อใช้วางแผนควบคุมการผลิต ดังสามารถบรรจุไว้ในตารางต่อไปนี้

ลำดับขั้นตอนการผลิต		รายละเอียดขบวนการผลิต	ขบวนการควบคุมการผลิตเบื้องต้น และค่ากำหนดต่างๆ
		ตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ	- ขนาดของขดลวด -ข้อมูลของขดลวดที่มวจากผู้ผลิต
OPN 1		พันขดลวด	ความกว้างขดลวด .075 สูงสุด (2x) .150/.190 (2x) .025/.075 ความหนาของขดลวด .063 - .067 ความหนาสูงสุดรวมปลายเส้นลวด .070 รอบการพัน มากกว่า :192 ค่าความต้านทาน: 27.50 โอห์ม ±10% ความเร็วรอบในการพัน 800 RPM แรงดึงเส้นลวด 81 กรัม
IPQC 1		ตรวจสอบคุณภาพขดลวด	ความกว้างขดลวด .075 สูงสุด ความหนาของขดลวด .063 - .067 ค่าความต้านทาน: 27.50 โอห์ม ±10%

ตาราง 4.34 รายละเอียดกระบวนการผลิตและกระบวนการควบคุมการผลิตขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.2 กระบวนการควบคุมการผลิตกรอบขดลวด (Frame Coil Process Control)

ตารางคุณภาพ

ความสัมพันธ์เชิงเทคนิค

○ สัมพันธ์กัน

⊗ ไม่สัมพันธ์กัน

แนวทางการพัฒนา ○ ↑ ↑

ความต้องการของกระบวนการควบคุมการผลิตกรอบขดลวด

ความต้องการของกระบวนการผลิตกรอบขดลวด		ความสำคัญ	คงรูปได้ดีเยี่ยม	ความเรียบผิว	คงขนาดและรูปร่างได้ดี	1	2	3	4	5	
กระบวนการขึ้นรูป	1	3	☆	☆	○						
กระบวนการขัดผิว	2	5	☆	☆	○						
กระบวนการทำความสะอาด	3	4	△	☆	☆						
กระบวนการตรวจสอบ	4	2	☆	☆	☆						
ความยากในเชิงวิศวกรรม		5		■	■						
		4	■								
		3									
		2									
		1									
ข้อกำหนด			ต้องมีความหนาของเนื้อเคลือบผิวมากกว่า	น้อยกว่า 63 micron	อ้างอิงมาตรฐานอินดัสตรีโดยใช้เกรด						
ค่าความสำคัญ			94	126	86						
เปอร์เซนต์ความสำคัญ (%)			31	41	28						
ประเมินการจัดลำดับความสำคัญ			4	5	4						

ความสัมพันธ์

☆ มาก 9

○ ปานกลาง 4

△ น้อย 1

ตาราง 4.35 ผลการแปรความต้องการของกระบวนการผลิตสู่กระบวนการควบคุมการผลิตกรอบขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางคุณภาพแสดงให้เห็นว่ากระบวนการควบคุมการผลิตให้ความสำคัญหรือเน้นหนักที่ ความเรียบผิว ขนาด และความสะอาดของชิ้นงานตามลำดับ

เนื่องจากการขึ้นรูปชิ้นงานไม่ได้มีความซับซ้อนมากนักดังนั้นเมื่อได้แนวทางการควบคุมการผลิตแล้วก็สามารถกำหนดรายละเอียดแผนการควบคุมการผลิตในแต่ละสถานีการผลิตได้โดยมุ่งเน้นให้ความสำคัญในแต่ละกระบวนการตามแนวทางที่ได้จากการจัดลำดับความสำคัญของกระบวนการผลิตในตารางคุณภาพที่แปรความต้องการขอกระบวนการผลิตสู่ความต้องการของกระบวนการควบคุมการผลิตเพื่อให้เกิดความแน่นใจว่าจะได้ชิ้นงานตามความต้องการ ดั้งต่อไปนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.36 รายละเอียดกระบวนการผลิตและกระบวนการควบคุมการผลิตกรอบขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

ขบวนการผลิตกรอบขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

CUSTOMER	
PMP NO .	
PMP REV .	
PAGE NO .	

MODEL	**PART NO .**	**PART REV .**
CUSTOMER		

ลำดับขั้นตอนการผลิต		รายละเอียดขบวนการผลิต	ขบวนการควบคุมการผลิตเบื้องต้น และค่ากำหนดต่างๆ	ขนาดจำนวนตัวอย่าง /ความถี่ในการตรวจสอบ	ผู้ตรวจสอบ	ค่ากำหนด	วิธีการ		ความรุนแรง	การตอบสนองเมื่อเกิดปัญหา
							ทของแผนภูมิการควบคุม	เครื่องมือ		
IPQC 3		ตรวจสอบ Milling ด้านหลัง	// 0.002 A ▱ 0 .002 0.070 +/- 0.005 ตรวจด้วยการดู Chamfer 0.005 +/- 0.003	2ชิ้น /เครื่อง /4ชม . 2ชิ้น /เครื่อง /4ชม . 2ชิ้น /เครื่อง /4ชม . 2ชิ้น /เครื่อง /4ชม . 2Pcs /MC /2.5Hrs .	QC QC QC QC QC	0.0065 /0.0735	Genesis Genesis Genesis Genesis Genesis	CMM /Drop Gauge CMM CMM /Drop Gauge Naked Eyes Naked Eyes	1	
OPN 4		ล้างทำความสะอาดชิ้นงาน ครั้งที่ 1		อ้างอิงกระบวนการควบคุมพื้นฐานของเครื่องล้าง (Aqueous cleaning machine)						
OPN 5		ECD		อ้างอิงกระบวนการควบคุมพื้นฐานของเครื่องล้าง (Aqueous cleaning machine)						
OPN 6		ล้างทำความสะอาดชิ้นงาน ครั้งที่ 2		อ้างอิงกระบวนการควบคุมพื้นฐานของเครื่องล้าง (Aqueous cleaning machine)						
OPN 7		ตรวจสอบขั้นสุดท้าย	ตามมาตรฐานการตรวจสอบ	100 %	Optr .			กล่องกำลังขยาย 5 เท่า	1	
FQC		ตรวจสอบขั้นสุดท้ายโดยแผนกคุณภาพ	ตามข้อกำหนดขนาดตามชิ้นงาน	5%	QC			กล่องกำลังขยาย 5 เท่า	1	
		จัดเก็บ								

1. แจ้งหัวหน้างานในฝ่ายผลิต 2. แจ้งวิศวกรหรือผู้จัดการฝ่ายผลิต 3. แจ้งผู้จัดการโรงงานหรือผู้อำนวยการ

ระดับความรุน 1. แจ้งหัวหน้างานในฝ่ายผลิต 2. แจ้งวิศวกรหรือผู้จัดการฝ่ายผลิต 3. แจ้งผู้จัดการโรงงานหรือผู้อำนวยการ

สัญลักษณ์ : ▽ *การนำเข้าวัตถุดิบ* ○ *ขบวนการผลิต* ▱ *การจัดเก็บ*

หน่วยของการวัด *นิ้ว*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.36 รายละเอียดกระบวนการผลิตและกระบวนการควบคุมการผลิตกรอบขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า (ต่อ)

ขบวนการผลิตกรอบขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

CUSTOMER	
PMP NO .	
PMP REV .	
PAGE NO .	

MODEL	PART NO .	PART REV .

ลำดับขั้นตอนการผลิต		รายละเอียดขบวนการผลิต	ขบวนการควบคุมการผลิตเบื้องต้น และค่ากำหนดต่างๆ	ขนาดจำนวนตัวอย่าง / ความถี่ในการตรวจสอบ	ผู้ตรวจสอบ	ค่ากำหนด	วิธีการ		ความรุนแรง	การตอบสนองเมื่อเกิดปัญหา
							ของแผนภูมิการควบคุม	เครื่องมือ		
IPQC 2		ตรวจสอบ Milling ด้านหน้า	1.38 +/- 0.010	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	1.3730 / 1.3870	Genesis	CMM	1	ตรวจสอบชิ้นงานและแก้ไข
			1.10 +/- 0.010	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	1.0930 / 1.1070	Genesis	CMM		
			0.130 +/- 0.005	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	0.2650 / 1.3350	Genesis	CMM		
			0.840 +/- 0.010	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	0.8330 / 0.8470	Genesis	CMM		
			2 X 0.325 +/- 0.005	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	0.3215 / 0.3285	Genesis	CMM		
			2 X 0.150 +/- 0.010	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	0.1430 / 0.1570	Genesis	CMM		
			0.230 +/- 0.005	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	0.2265 / 0.2335	Genesis	CMM		
			2 X R 0.219 +/- 0.010	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	0.2120 / 0.2260	Genesis	CMM		
			1.200 +/- 0.005	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	1.1965 / 1.2035	Genesis	CMM		
			R 1.155 +/- 0.005	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	1.1515 / 1.1585	Genesis	CMM		
			⌓ . 005 A B C	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC		Genesis	CMM		
			1.95 +/- 0.005	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	0.1915 / 0.1985	Genesis	CMM		
			0.390 +/- 0.010	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	0.3830 / 0.3970	Genesis	CMM / Plug Gauge		
			2 X 0.420 +/- 0.005	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	0.4165 / 0.4235	Genesis	CMM		
			⌖ ø .005 m A B C	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC		Genesis	CMM		
			4 X R 0.165 +/- 0.005	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	0.1615 / 0.1685	Genesis	CMM		
			2 X 0.183 +/- 0.005	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	0.1795 / 0.1865	Genesis	CMM		
			2 X 0.250 +/- 0.010	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	0.2465 / 0.2535	Genesis	CMM		
			2 X 0.330 +/- 0.010	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	0.3230 / 0.3370	Genesis	CMM		
			2 X 0.094 +/- 0.010	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	0.0905 / 0.0975	Genesis	CMM		
			0.520 +/- 0.005	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	0.5165 / 0.5235	Genesis	CMM		
			0.470 +/- 0.005	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	0.4665 / 0.4735	Genesis	CMM		
			2 X 0.310 +/- 0.005	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	0.3065 / 0.3135	Genesis	CMM		
			0.086 +/- 0.005	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	0.0825 / 0.0895	Genesis	CMM		
			2 X R 0.020 +/- 0.010	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	0.0130 / 0.0270	Genesis	CMM		
			2 X 0.277 +/- 0.005	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	0.2735 / 0.2805	Genesis	CMM		
			0.100 +/- 0.005	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	0.0970 / 0.1040	Genesis	CMM / Drop Gauge		
			4 X 0.1005 +/- 0.0025	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	0.0988 / 0.1023	Genesis	CMM / Plug Gauge		
			Angles 2 X 20 ° +/- 2 °	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC		Genesis	CMM		
			Angles 2 X 22 ° +/- 2 °	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC		Genesis	CMM		
			4 X 0.03 x 45 ° +/- 5 °	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC		Genesis	CMM		
			0.025 +/- 0.005	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC	0.0220 / 0.0290	Genesis	CMM / Drop Gauge		
			2 X 0.12 X 45 ° +/- 5 °	2 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม.	QC		Genesis	CMM		
			VMI	2 Pcs / MC / 2.5 Hrs .	QC		Genesis	ดาเปล่า		
			Chamfer 0.005 +/- 0.003	ดูด้วยดาเปล่าว	QC		Genesis	ดาเปล่า		
OPN 3		Milling ด้านหลัง	// 0.002 A	สุ่ม 2 ครั้งต่อกะ	Tech .	ตาม IPQC 3		ตามค่ากำหนด IPQC 3	1	ตรวจสอบชิ้นงานและแก้ไข
			▱ 0 .002							
			0.070 +/- 0.005							
			VMI							
			Chamfer 0.005 +/- 0.003							

1. แจ้งหัวหน้างานในฝ่ายผลิต 2. แจ้งวิศวกรหรือผู้จัดการฝ่ายผลิต 3. แจ้งผู้จัดการโรงงานหรือผู้อำนวยการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.36 รายละเอียดกระบวนการผลิตและกระบวนการควบคุมการผลิตกรอบขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า (ต่อ)

ขบวนการผลิตกรอบขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

CUSTOMER	
PMP NO .	
PMP REV .	
PAGE NO .	

MODEL	PART NO .	PART REV .
CUSTOMER		

ลำดับขั้นตอนการผลิต		รายละเอียดขบวนการผลิต	ขบวนการควบคุมการผลิตเบื้องต้น และค่ากำหนดต่างๆ	ขนาดจำนวนตัวอย่าง / ความถี่ในการตรวจสอบ	ผู้ตรวจสอบ	ค่ากำหนด	วิธีการ		ความรุนแรง	การตอบสนองเมื่อเกิดปัญหา
							ทของแผนภูมิการควบคุม	เครื่องมือ		
IPQC 3		ตรวจสอบ Milling ด้านหลัง	// 0 .002 A ⏥0 .002 0 .070 +/- 0 .005 ตรวจด้วยการดู Chamfer 0 .005 +/- 0 .003	2 ชิ้น /เครื่อง /4 ชม . 2 ชิ้น /เครื่อง /4 ชม . 2 ชิ้น /เครื่อง /4 ชม . 2 ชิ้น /เครื่อง /4 ชม . 2 Pcs /MC /2 .5 Hrs .	QC QC QC QC QC	0 .0065 /0 .0735	Genesis Genesis Genesis Genesis Genesis	CMM /Drop Gauge CMM CMM /Drop Gauge Naked Eyes Naked Eyes	1	
OPN 4		ล้างทำความสะอาดชิ้นงาน ครั้งที่ 1	_____Re	อ้างอิงกระบวนการควบคุมพื้นฐานของเครื่องล้าง		(Aqueous cleaning machine)				
OPN 5		ECD	_____	อ้างอิงกระบวนการควบคุมพื้นฐานของเครื่องล้าง		(Aqueous cleaning machine)				
OPN 6		ล้างทำความสะอาดชิ้นงาน ครั้งที่ 2	_____Re	อ้างอิงกระบวนการควบคุมพื้นฐานของเครื่องล้าง		(Aqueous cleaning machine)				
OPN 7		ตรวจสอบขั้นสุดท้าย	ตามมาตรฐานการตรวจสอบ	100 %	Optr .			กล้องกำลังขยาย 5 เท่า	1	
FQC		ตรวจสอบขั้นสุดท้ายโดยแผนกคุณภาพ	ตามข้อกำหนดขนาดตามชิ้นงาน	5 %	QC			กล้องกำลังขยาย 5 เท่า	1	
		จัดเก็บ								

1 . แจ้งหัวหน้างานในฝ่ายผลิต 2 . แจ้งวิศวกรหรือผู้จัดการฝ่ายผลิต 3 . แจ้งผู้จัดการโรงงานหรือผู้อำนวยการ

ระดับความรุนแรง 1 . แจ้งหัวหน้างานในฝ่ายผลิต 2 . แจ้งวิศวกรหรือผู้จัดการฝ่ายผลิต 3 . แจ้งผู้จัดการโรงงานหรือผู้อำนวยการ

สัญลักษณ์ : *การนำเข้าวัตถุดิบ* *ขบวนการผลิต* *การจัดเก็บ*

หน่วยของการวัด *นิ้ว*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.3 กระบวนการควบคุมการประกอบชุดขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า (Actuator Coil Assembly Process Control)

เมื่อวางแผนแนวทางการผลิตโดยอาศัยการสร้างโครงจำลองในการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกันแล้ว ก็ต้องทำการศึกษาถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับชิ้นงานในกรณีต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ในขบวนการผลิต เพื่อเป็นบรรทัดฐานในการพิจารณา ลำดับความรุนแรงของปัญหาในแต่ละกรณี เนื่องจากถ้ากรณีใดมีผลกระทบรุนแรงจะต้องมีการดำเนินการควบคุมการผลิตอย่างเข้มงวด โดยจะต้องตรวจสอบปัจจัยนั้น ๆ แต่ถ้ามีผลกระทบไม่รุนแรงก็อาจจะลดความเข้มข้นในการตรวจสอบลง ทั้งนี้ต้องคำนึงค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นตามมาในการผลิตซึ่งหมายถึงต้นทุนการผลิตนั่นเอง

วิธีการที่จะใช้ในการพิจารณาความรุนแรงของปัญหาหรือปัจจัยที่อาจมีผลกระทบต่อการผลิต อาจใช้การพิจารณาโดย FMEA (Failure Mode Effect and Analysis)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.37 กระบวนการวิเคราะห์จุดวิกฤตของกระบวนการประกอบโดยการใช้ FMEA

กระบวนการผลิต / ผลิตภัณฑ์
Failure Modes and Effects Analysis
(FMEA)

กระบวนการผลิตหรือชื่อผลิตภัณฑ์:	กระบวนการผลิตชุดลวดแม่เหล็ก	ดำเนินการโดย:	หน้า_1__ จาก _2_
ผู้รับผิดชอบ:		วันที่ _____ (การแก้ไขครั้งที่) ____1_____	

กระบวนการผลิต	ปัจจัยสำหรับกระบวนการผลิต	ข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้น	ผลกระทบอันเกิดจากข้อบกพร่อง	ความรุนแรง	สิ่งที่น่าจะเป็นสาเหตุแห่งข้อบกพร่อง	โอกาสที่เกิด	ขบวนการควบคุมในปัจจุบัน	การตรวจจับ	ค่าประเมิน	แนวทางการแก้ปัญหา	ผู้รับผิดชอบ	แนวทางการแก้ปัญหาที่ถูกดำเนินการแล้ว	ความรุนแรง	โอกาสเกิด	การตรวจจับ	ค่าประเมิน
ตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ	พนักงานตรวจสอบคุณภาพ	ขนาดเส้นลวดไม่ได้ตามกำหนด	ค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนไป	8	วัตถุดิบมีคุณสมบัติไม่เป็นไปตามข้อกำหนด	2	ตรวจสอบข้อมูลของวัตถุดิบที่ส่งมาโดยพนักงานฝ่ายคุณภาพ	1	16							0
การพันขดลวด	แรงดึง และความเร็วรอบ	- ขนาดขดลวดไม่ได้ตามกำหนด - ค่าความต้านทานเปลี่ยนไป	ชิ้นงานไม่สอดคล้องต่อความต้องการของลูกค้า	7	การปรับตั้งเครื่องจักร	3	ใช้เครื่องวัดแรงดึงตรวจสอบและการแสดงผลที่จอควบคุมเครื่องจักรในส่วนของจำนวนรอบ	2	42							0
ขบวนการอบ	อุณภูมิ และเวลา	แรงยึดระหว่างเส้นลวดไม่ดี	เส้นลวดแยกตัวออกจากกัน	8	การปรับตั้งเครื่องและความผิดพลาดของผู้ปฏิบัติงาน	5	ตรวจสอบค่าการอัดอุณหภูมิและการบันทึกเวลาในแต่ละรอบ	4	160	ติดตั้งระบบติดตั้งเวลาอัดในมิติเมื่ออุณหภูมิได้ตามกำหนด	ไพวกรฝ่ายผลิต	ติดตั้งระบบติดตั้งเวลาอัดในมิติเมื่ออุณหภูมิได้ตามกำหนด	8	3	2	48
กำหนดระยะปลายเส้นลวด	การกำหนดระยะ	ปลายสั้น	ไม่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับจุดต่อกระแสไฟฟ้า	6	การวางระบบกระบวนการผลิต	6	ใช้แบบมาตรฐานในการช่วยกำหนดระยะ	1	36							0
เคลือบผลก้าที่ปลายเส้นลวด	การกำหนดระยะ	ไม่เหมาะสมคือ สั้นหรือยาวเกินไป	เกิดกระแสลัดวงจรถ้าปลายดังกล่าวสัมผัสกับกรอบขดลวด	8	การกำหนดระยะและกระบวนการควบคุมการผลิต	6	ใช้แบบมาตรฐานในการช่วยกำหนดระยะ	1	48							0
การตรวจสอบค่าความต้านทาน	เครื่องมือวัด	ค่าที่แสดงผลไม่ถูกต้อง	งานที่ผลิตไม่เป็นไปตามกำหนด	8	ความเสื่อมของเครื่องมือวัด	4	มีระบบการการตรวจสอบเครื่องมือวัด	5	160							0
	ผู้วัด	ค่าที่แสดงผลไม่ถูกต้อง	งานที่ผลิตไม่เป็นไปตามกำหนด	8	ความไม่เข้าใจวิธีปฏิบัติงานที่ถูกต้อง	5	มีระบบการการตรวจสอบพนักงาน	2	80							0
ประกอบขดลวดกรอบ และจุดต่อไฟ	คุณสมบัติของกาว	แรงยึดติดต่ำ	ขดลวดหลุดจากกรอบได้ง่าย	7	การจัดเก็บไม่เหมาะสม	6	บันทึกการจัดเก็บด้านเวลาและอุณหภูมิที่กำหนด	4	168	จัดทำเอกสารข้อปฏิบัติในการจัดเก็บและการบันทึกข้อมูลเมื่อจัดเก็บ	ไพวกรฝ่ายผลิต	จัดทำเอกสารข้อปฏิบัติในการจัดเก็บและการบันทึกข้อมูลเมื่อจัดเก็บ	7	4	2	56
	เครื่องหยอดกาว	ไม่ตรงตำแหน่ง	กาวเปอะเปื้อน	7	การปรับตั้งเครื่อง	6	ตรวจชิ้นงานทุกตัว	1	42							0
	พื้นงาน	ไม่สะอาด	กายึดติดไม่ดี	9	ขบวนการเคลื่อนย้ายงานในการผลิต	7	สุ่มตัวอย่างทดสอบค่าการรับแรงกดตัวก่อนหยอดกาว	5	315	ปรับกระบวนการให้ทำความสะอาดชิ้นงานทุกตัวก่อนหยอดกาว	ไพวกรฝ่ายผลิต	ปรับกระบวนการให้ทำความสะอาดชิ้นงานทุกตัวก่อนหยอดกาว	5	4	4	80
ขบวนการอบ	อุณภูมิ และเวลาในการอบ	การไม่ถูกอบจนถึงจุดที่ต้องการ	จุดยึดไม่แข็งแรง	8	การปรับตั้งเครื่องและความผิดพลาดของผู้ปฏิบัติงาน	5	ตรวจสอบค่าการอัดอุณหภูมิและการบันทึกเวลาในแต่ละรอบ	4	160	ติดตั้งระบบติดตั้งเวลาอัดในมิติเมื่ออุณหภูมิได้ตามกำหนด	ไพวกรฝ่ายผลิต	ติดตั้งระบบติดตั้งเวลาอัดในมิติเมื่ออุณหภูมิได้ตามกำหนด	8	3	2	48
เชื่อมปลายขดลวดเข้ากับจุดเชื่อมกระแส	ความร้อนของหัวเชื่อม	เชื่อมต่อไม่ดี	กระแสไหลผ่านไม่สะดวก	7	ความร้อนของหัวเชื่อมไม่ถึงจุดกำหนด	4	สุ่มตรวจวัดอุณหภูมิหัวเชื่อม	3	84							0
																0

ตาราง 4.37 กระบวนการวิเคราะห์จุดวิกฤตของกระบวนการประกอบโดยการใช้ FMEA (ต่อ)

กระบวนการผลิต / ผลิตภัณฑ์
Failure Modes and Effects Analysis
(FMEA)

กระบวนการผลิตหรือชื่อผลิตภัณฑ์:	**กระบวนการผลิตขดลวดแม่เหล็ก**	ดำเนินการโดย:	หน้า _2__ จาก __2_
ผู้รับผิดชอบ:		วันที่ _____ (การแก้ไขครั้งที่) ___1_____	

กระบวนการผลิต	ปัจจัยสำหรับขบวนการผลิต	ข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้น	ผลกระทบอันเกิดจากข้อบกพร่อง	ความรุนแรง	สิ่งที่น่าจะเป็นสาเหตุแห่งข้อบกพร่อง	ความถี่	ขบวนการควบคุมในปัจจุบัน	การตรวจจับ	ค่าประเมิน	แนวทางการแก้ปัญหา	ผู้รับผิดชอบ	แนวทางการแก้ปัญหาที่ถูกดำเนินการแล้ว	ความรุนแรง	ความถี่	การตรวจจับ	ค่าประเมิน
ล้างทำความสะอาดชิ้นงาน	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเครื่องล้าง	งานไม่สะอาดเพียงพอ	เกิดผลกระทบต่อการทำงานของชิ้นส่วนอื่น	6	การปรับตั้งเครื่องล้าง	3	ตรวจสอบที่แผงควบคุม	3	54							0
การตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า	เครื่องมือวัด	ค่าที่แสดงผลไม่ถูกต้อง	งานที่ผลิตไม่เป็นไปตามกำหนด	8	ความเสื่อมของเครื่องมือวัด	4	มีระบบการการตรวจสอบเครื่องมือวัด	5	160	มีระยะเวลาในการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่แน่นนอน	วิศวกรเครื่องวัด	มีระยะเวลาในการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่แน่นนอน	8	3	3	72
	ผู้วัด	ค่าที่แสดงผลไม่ถูกต้อง	งานที่ผลิตไม่เป็นไปตามกำหนด	8	ความไม่เข้าใจวิธีปฏิบัติงานที่ถูกต้อง	5	มีระบบการการตรวจสอบพนักงาน	2	80							0
																0
																0
																0
																0
																0
																0
																0
																0
																0
																0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.38 รายละเอียดกระบวนการประกอบและกระบวนการควบคุมการประกอบชุดขดลวดไฟฟ้าสนามแม่เหล็ก

ขบวนการผลิตขดลวดนำไฟฟ้าสนามแม่เหล็ก

CUSTOMER	
PMP NO .	
PMP REV .	
PAGE NO .	

MODEL	PART NO .

ลำดับขั้นตอนการผลิต		รายละเอียดขบวนการผลิต	ขบวนการควบคุมการผลิตเบื้องต้น และค่ากำหนดต่างๆ	ขนาดจำนวนตัวอย่าง /ความถี่ในการตรวจสอบ	ผู้ตรวจสอบ	ค่ากำหนด	วิธีการ		ความรุนแรง
							ประเภทของแผนภูมิการควบคุม	เครื่องมือ	
		ตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ	- ขนาดของขดลวด - ข้อมูลของขดลวดที่มาจากผู้ผลิต	ทุก ๆ ม้วนขดลวด	QC Inspectors	38 AWG	ตารางตรวจสอบทางฝ่ายคุณภาพ	ไมโครมิเตอร์	1
OPN 1		พันขดลวด	ความกว้างขดลวด .075 สูงสุด (2 x) . 025 /. 075 (2 x) . 150 /. 190 19 .388 ° ± 2 ความหนาของขดลวด 0 .63 - 0 .67 ความหนาสูงสุดรวมปลายเส้นลวด 0 .70 รอบการพันมากกว่า : 192 ค่าความต้านทาน : 27 .50 โอห์ม ± 10	หลังจากการปรับเครื่อง	Technician	0 .075 .025 /. 075 .150 /. 190 17 .388 ° /21 .388 ° 0 .007 .063 /. 067 .070 MAX 191 / 193 26 .6 / 29 .4	Check Sheet	Profile Projector Profile Projector Profile Projector Profile Projector Profile Projector เวอร์เนีย เวอร์เนีย เครื่องจักรพันขดลวด เครื่องวัดค่าความต้านทาน	2
IPQC 1		ตรวจสอบคุณภาพขดลวด	ความกว้างขดลวด 0 . 75 สูงสุด ความหนาของขดลวด .063 -. 067 ค่าความต้านทาน : 27 .50 โอห์ม ± 10	5 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม . 5 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม . 5 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม . 5 ชิ้น / เครื่อง / 4 ชม .	IPQC	0 .075 0 .007 .063 /. 067 26 .88 / 29 .12 (± 4 %)	Data Sheet Data Sheet Data Sheet Data Sheet	Profile Projector Profile Projector เวอร์เนีย เครื่องวัดค่าความต้านทาน	2
OPN 2		ยึดตำแหน่งของปลายเส้นลวดด้วยกาว	จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นลวดหลังจากการพัน คุณสมบัติของกาว	100 %	Operator	Ablebond 400 -5 อายุการใช้งาน 4 ชม .	N / A	ตรวจด้วยตาเปล่า	2
OPN 3		ขบวนการอบ	อุณหภูมิในการอบ เวลาในการอบ	1 ครั้งต่อกะ 1 ครั้งต่อกะ	Operator	125 ° C ± 5 ° C 5 นาที	N / A	Thrmocouple meter Timer	2
OPN 4		กำหนดขนาดปลายเส้นลวดที่ยื่นออกมาจากขดลวด	- Length (2 X) . 150 /. 190	100 %	Operator	.150 /. 190	N / A	Functional fixture	1
OPN 5		เคลือบตะกั่วบนปลายเส้นลวดที่ยื่นออกมาจากขดลวดตามระยะที่กำหนด	- Length (2 X) . 046 /. 109	100 %	Operator	.046 /. 109	N / A	Functional fixture	1
OPN 6		ตรวจสอบค่าความต้านทาน	- Resistance 28 ohms ± 5 %	100 %	Operator	26 .88 / 29 .12 (± 4 %)	X - R CHART	เครื่องวัดค่าความต้านทาน	1

1 . แจ้งหัวหน้างานในฝ่ายผลิต 2 . แจ้งวิศวกรหรือผู้จัดการฝ่ายผลิต 3 . แจ้งผู้จัดการโรงงานหรือผู้อำนวยการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.38 รายละเอียดกระบวนการประกอบและกระบวนการควบคุมการประกอบชุดขดลวดไฟฟ้าสนามแม่เหล็ก (ต่อ)

ขบวนการผลิตขดลวดนำไฟฟ้าสนามแม่เหล็ก

CUSTOMER	
PMP NO .	
PMP REV .	
PAGE NO .	

MODEL	PART NO .

ลำดับขั้นตอนการผลิต		รายละเอียดขบวนการผลิต	ขบวนการควบคุมการผลิตเบื้องต้น และค่ากำหนดต่างๆ	ขนาดจำนวนตัวอย่าง /ความถี่ในการตรวจสอบ	ผู้ตรวจสอบ	ค่ากำหนด	วิธีการ: ประเภทของแผนภูมิการควบคุม	วิธีการ: เครื่องมือ	ความรุนแรง
OPN 7	○	ประกอบขดลวดและจุดเชื่อมต่อกระแสไฟฟ้าสู่ขดลวดบนกรอบขดลวด	ช่องว่างในการเติมกาว การควบคุมคุณสมบัติของกาว การปนเปื้อนของกาว	100 % 100 % 100 %	Supervisor Operator	0.025 -0.035 2 สัปดาห์ภายใต้อุณหภูมิปกติ ไม่มีรอยเปื้อนของกาว	N/A		1
OPN 8	○	ขบวนการอบ	อุณหภูมิในการอบ เวลาในการอบ	1 ครั้งต่อกะ 1 ครั้งต่อกะ	Operator	177 ° C ±5° C 20 นาที	N/A	Thrmocouple meter Timer	1
OPN 9	○	เชื่อมปลายขดลวดเข้ากับจุดเชื่อมต่อกระแสไฟฟ้าที่กรอบขดลวด	จุดเชื่อมต่อกระแสไฟฟ้า อุณหภูมิที่หัวบัดกรี	100 %	Operator	มีการเติมตะกั่วที่ปลายจุดเชื่อม 130 -150 ° C	N/A	Soldering iron	1
OPN 10	○	ล้างทำความสะอาดชิ้นงาน	อ้างอิงกระบวนการควบคุมพื้นฐานของเครื่องล้าง (Aqueous cleaning machine)						
OPN 11	□	ตรวจสอบความสะอาด	การทดสอบความสะอาด	สัปดาห์ละ 1 ครั้ง	M&P Lab	- MIL -STD 1246 - NVR LEVEL C - LPC LEVEL 300	Report	-DHS	2
OPN 12	○	ตรวจสอบการลัดวงจรของกระแสไฟฟ้า ตรวจสอบค่าความต้านทาน	การลัดวงจรของกระแสไฟฟ้า ตรวจสอบความต้านทาน	100 %	Operator	350 VAC 3 วินาที 0.5mA	N/A	Hi -Port Resistance	2
OPN 13	○	ตรวจสอบความเรียบร้อยของชิ้นงาน	บริเวณกรอบขดลวด บริเวณขดลวด บริเวณจุดเชื่อมต่อกระแสไฟฟ้ากับขดลวด	100 % 100 % 100 %	Operator	ต้องไม่พบจุดบกพร่อง ไม่ยอมให้เกิดการลัดวงจรของกระแสไฟฟ้า จุดเชื่อมจะต้องสมบูรณ์	N/A	ตรวจด้วยตาเปล่า กล้องขยายกำลัง 10 เท่า	1
FQC	□	ตรวจสอบคุณภาพชิ้นสุดท้ายโดยพนักงานฝ่ายคุณภาพ	การตรวจได้กล้องขยาย ตรวจความแข็งแรงของจุดเชื่อม ตรวจสอบการลัดวงจรของกระแสไฟฟ้า ตรวจสอบค่าความต้านทาน	0.65 AQL 5Pcs /Shift 0.65 AQL 0.65 AQL	QC QC QC QC	35 ปอนด์ ผ่านค่ากำหนด 27.5 โอห์ม ±10 %	Data Sheet Data Sheet Data Sheet Data Sheet	กล้องขยาย -Push -Pull Gauge -Hi -pot Tester -Ohms Meter	1
	▽	จัดเก็บในคลังสินค้า	N/A		Operator				

1. แจ้งหัวหน้างานในฝ่ายผลิต 2. แจ้งวิศวกรหรือผู้จัดการฝ่ายผลิต 3. แจ้งผู้จัดการโรงงานหรือผู้อำนวยการ

ระดับความรุนแรง 1. แจ้งหัวหน้างานในฝ่ายผลิต 2. แจ้งวิศวกรหรือผู้จัดการฝ่ายผลิต 3. แจ้งผู้จัดการโรงงานหรือผู้อำนวยการ

สัญลักษณ์ : ▽ *การนำเข้าวัตถุดิบ* ○ *ขบวนการผลิต* □ *การจัดเก็บ*

หน่วยของการวัด *นิ้ว*

4.5 ตรวจสอบและยืนยันผลการออกแบบ

4.5.1 ผลการทดสอบการผลิตขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

การทดลองที่ 3 : *ทำการทดลองพันขดลวดสำหรับงานต้นแบบ*

วิธีการทดลอง

1. ทดลองทำงานตัวอย่าง 32 ชิ้น
2. กำหนดความเร็วรอบ 800 RPM
3. กำหนดแรงดึงของเส้นลวดที่ 81 กรัม
4. วัดค่าความต้านทานของเส้นลวด
5. วัดค่าขนาดของขดลวดทั้งความกว้างและความหนา

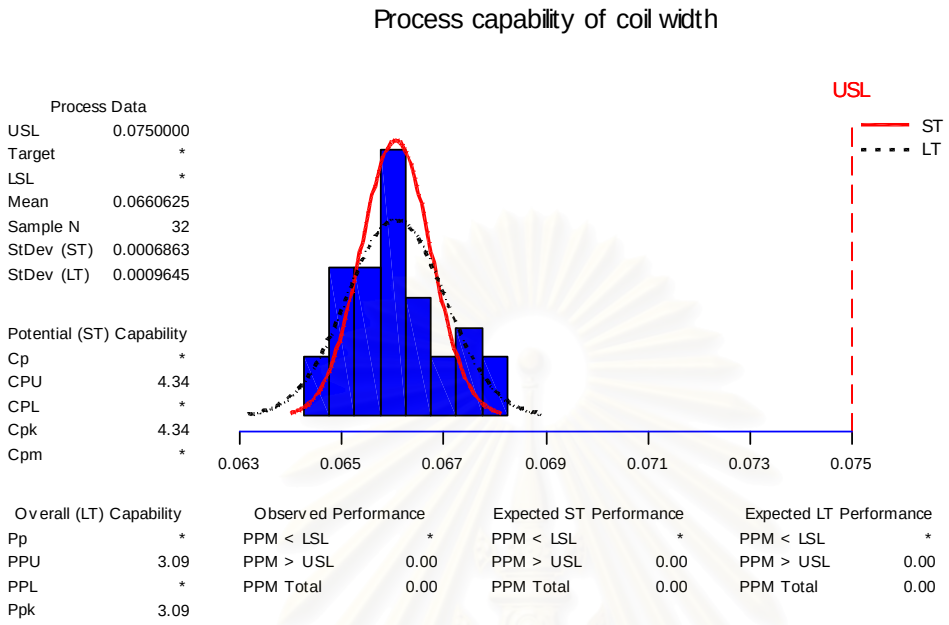
ผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

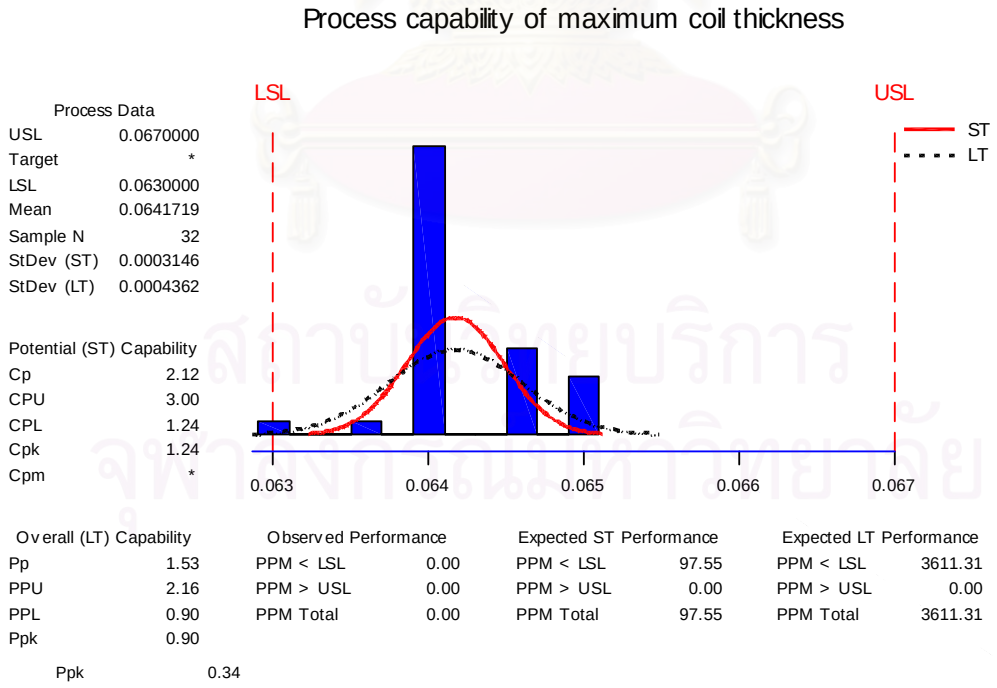
ตัวอย่างที่	ผลการทดสอบ	ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)
1	Pass	2.179	>0.66
2	Pass	2.175	>0.66
3	Pass	2.171	>0.66
31	Pass	2.272	

ตาราง 4.39 ผลการผลิตชิ้นงานต้นแบบขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

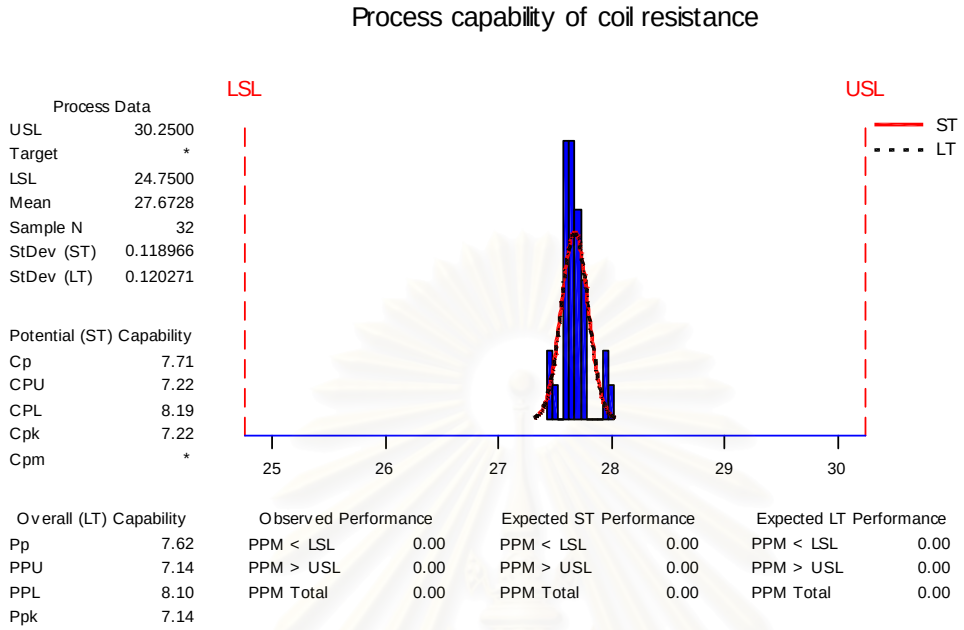
ตรวจสอบประสิทธิภาพขบวนการผลิต โดยใช้ กราฟ



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตงานต้นแบบส่วนของพารามิเตอร์ความกว้างของขดลวด



รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตงานต้นแบบ ส่วนของพารามิเตอร์ความหนาของขดลวด



รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตงานต้นแบบ ส่วนของพารามิเตอร์ ความต้านทานไฟฟ้า

สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจเนื่องจาก ค่าความต้านทานและขนาดของขดลวดเป็นไปตามค่าความต้องการในเบื้องต้น เพียงแต่ความหนาของชิ้นงานมีขนาดเล็กกว่าขนาดที่กำหนดในเบื้องต้น ทั้งนี้เหตุผลดังกล่าวอธิบายได้โดยเมื่อการคำนวณเบื้องต้นเป็นการคำนวณโดยใช้ขนาดของเส้นลวดโดยตรง โดยไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยของแรงดึงที่ส่งผลให้ขนาดของเส้นลวดมีขนาดเล็กลง พร้อมทั้งความแน่นของขดลวดของการพันก็มีขนาดมากขึ้น จึงสอดคล้องกันทำให้ขนาดความหนาน้อยลง

เมื่อพิจารณาความหนาที่น้อยลงดังกล่าวพบว่า ไม่ใช่ปัจจัยสำคัญต่อการตอบสนองความต้องการลูกค้า ถ้าจะลดข้อกำหนดด้านขนาดดังกล่าวลงเล็กน้อยเพื่อให้ประสิทธิภาพของขบวนการผลิตที่วัดโดยค่า CPK มีค่าที่ดีขึ้นมากว่า 1.33 โดยปรับค่าข้อกำหนดดังกล่าวเป็นขนาด 0.060-0.067

ยืนยันผลการผลิตขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

เพื่อเป็นการยืนยันขบวนการผลิตนี้ จึงทำงานตัวอย่างเพิ่ม 150 ชิ้น และทำการบันทึกผลพร้อมกับวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขบวนการผลิตนี้เบื้องต้น

หมายเหตุ

ในการทดสอบทำชิ้นงานเบื้องต้นหลังจากการพันขดลวดแล้วพบว่าเส้นลวดที่พันเข้าด้วยกันอาจหลุดออกจากกันได้ง่าย เนื่องจากว่าที่ผิวของฉนวนหุ้มขดลวดจะมีกาวเคลือบอยู่ซึ่งกาวที่เคลือบอยู่นี้จะยึดติดระหว่างผิวฉนวนของเส้นลวดเข้าด้วยกัน เมื่อนำเอาขดลวดที่พันแล้วไปอบในอุณหภูมิสูงประมาณ 125 องศาเซลเซียส หลังจากอบแล้วจะพบว่าเส้นลวดที่พันเข้าด้วยกันจะยึดติดซึ่งกันและกันด้วยแรงของกาวที่เคลือบอยู่บนผิวฉนวนที่เคลือบบนขดลวด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.40 ผลการผลิตชิ้นงานขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

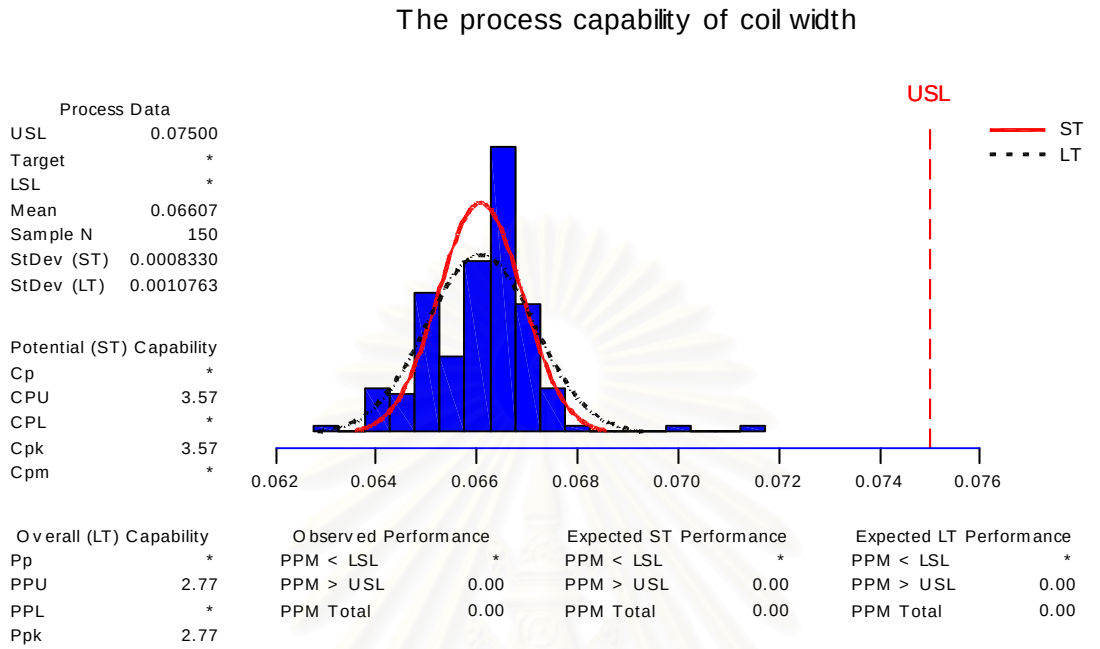
ลำดับ	ความกว้างขดลวด (สูงสุด 0.075)		ความหนาขดลวด .060-.067		ความต้านทาน
	น้อยสุด	มากสุด	น้อยสุด	มากสุด	27.50 ฑ10 %
1	0.066	0.0665	0.063	0.0635	27.73
2	0.0665	0.0665	0.064	0.064	27.63
3	0.065	0.0675	0.063	0.0645	27.64
4	0.065	0.066	0.0625	0.064	27.7
5	0.065	0.067	0.063	0.0635	27.64
6	0.0635	0.065	0.0625	0.0635	27.54
7	0.064	0.0655	0.063	0.063	27.54
8	0.0635	0.0655	0.062	0.063	27.57
9	0.064	0.0665	0.063	0.063	27.57
10	0.0655	0.0665	0.064	0.065	27.69
11	0.0635	0.067	0.0625	0.064	27.68
12	0.063	0.0655	0.062	0.064	27.78
13	0.0635	0.0655	0.062	0.0635	27.78
14	0.0645	0.0665	0.0615	0.0635	27.59
15	0.064	0.0655	0.0635	0.0635	27.6
16	0.065	0.065	0.0625	0.063	27.68
17	0.065	0.065	0.0625	0.0635	27.51
18	0.065	0.0665	0.062	0.062	27.73
19	0.0655	0.065	0.0635	0.063	27.73
20	0.0645	0.0645	0.062	0.064	27.65
21	0.0645	0.065	0.063	0.063	27.6
22	0.0645	0.065	0.063	0.0635	27.59
23	0.065	0.065	0.0635	0.0635	27.6
24	0.065	0.0665	0.063	0.064	27.91
25	0.065	0.066	0.062	0.063	27.73
26	0.065	0.066	0.063	0.064	27.6
27	0.067	0.0665	0.063	0.064	27.67
28	0.0645	0.0665	0.0635	0.063	27.96
29	0.064	0.067	0.0615	0.064	27.63
30	0.064	0.0665	0.063	0.0635	27.64
31	0.065	0.064	0.0635	0.0635	27.78
32	0.064	0.067	0.063	0.064	27.72
33	0.0645	0.0645	0.0635	0.064	27.72
34	0.0645	0.0665	0.0625	0.063	27.67
35	0.0645	0.0665	0.0625	0.064	27.63
36	0.0645	0.0665	0.0625	0.0635	27.65
37	0.064	0.065	0.0625	0.0635	27.63
38	0.0623	0.064	0.0625	0.0635	27.8
39	0.065	0.066	0.063	0.063	27.81
40	0.0645	0.066	0.063	0.064	27.71
41	0.063	0.065	0.066	0.0665	27.66
42	0.065	0.0665	0.063	0.064	27.72
43	0.065	0.067	0.062	0.063	27.72
44	0.065	0.0665	0.063	0.064	27.73
45	0.066	0.067	0.063	0.064	27.87
46	0.065	0.066	0.063	0.063	27.96
47	0.0655	0.067	0.064	0.0645	27.73
48	0.065	0.0665	0.0635	0.064	27.73
49	0.064	0.0655	0.063	0.0635	27.69
50	0.065	0.0655	0.0635	0.064	27.61

ตาราง 4.40 ผลการผลิตชิ้นงานขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า (ต่อ)

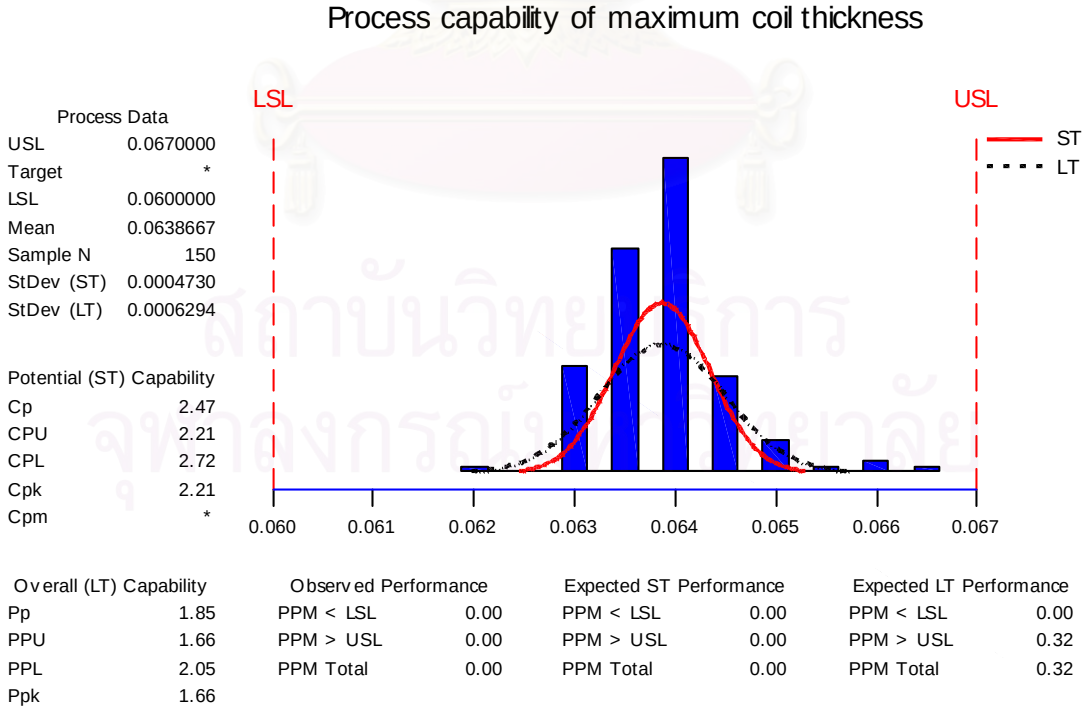
ลำดับ	ความกว้างขดลวด (สูงสุด 0.075)		ความหนาขดลวด .060-.067		ความต้านทาน
	น้อยสุด	มากสุด	น้อยสุด	มากสุด	27.50 ฑ10 %
51	0.065	0.0675	0.0635	0.064	27.46
52	0.065	0.066	0.064	0.0645	27.6
53	0.0655	0.066	0.063	0.064	27.64
54	0.0645	0.0655	0.064	0.064	27.71
55	0.066	0.07	0.063	0.0635	27.64
56	0.066	0.0715	0.063	0.064	27.59
57	0.0645	0.0675	0.064	0.066	27.73
58	0.065	0.0665	0.064	0.065	27.91
59	0.0645	0.0675	0.0625	0.065	27.62
60	0.063	0.064	0.0635	0.0645	27.62
61	0.0655	0.064	0.0635	0.064	27.88
62	0.0645	0.0665	0.0625	0.064	27.49
63	0.0635	0.065	0.063	0.064	27.63
64	0.065	0.0665	0.063	0.064	27.49
65	0.064	0.0665	0.063	0.0635	27.65
66	0.064	0.0665	0.0635	0.064	27.66
67	0.064	0.066	0.0645	0.0645	27.72
68	0.0655	0.0665	0.063	0.065	27.86
69	0.065	0.067	0.0635	0.0635	27.63
70	0.064	0.066	0.0635	0.0635	27.67
71	0.065	0.0665	0.063	0.0635	27.66
72	0.0645	0.067	0.0635	0.064	27.69
73	0.065	0.066	0.0635	0.064	27.67
74	0.064	0.0665	0.064	0.0645	27.66
75	0.0645	0.0665	0.062	0.0645	27.68
76	0.0655	0.067	0.063	0.0645	27.68
77	0.0635	0.064	0.0635	0.064	27.65
78	0.064	0.065	0.0635	0.064	27.66
79	0.065	0.067	0.064	0.064	27.77
80	0.065	0.065	0.062	0.064	27.72
81	0.064	0.065	0.064	0.064	27.72.
82	0.0635	0.066	0.0635	0.064	27.66
83	0.0645	0.0665	0.064	0.064	27.68
84	0.064	0.0665	0.063	0.064	27.65
85	0.065	0.0655	0.0635	0.0645	27.64
86	0.065	0.066	0.063	0.063	27.62
87	0.065	0.066	0.064	0.064	27.74
88	0.0645	0.066	0.063	0.0635	27.72
89	0.065	0.067	0.0635	0.0635	27.68
90	0.0645	0.0665	0.064	0.064	27.68
91	0.066	0.0665	0.0635	0.065	27.74
92	0.0645	0.0665	0.063	0.064	27.82
93	0.064	0.0665	0.0635	0.0635	27.84
94	0.0655	0.066	0.063	0.0635	27.77
95	0.0635	0.066	0.0635	0.0645	27.72
96	0.064	0.0665	0.063	0.0635	27.67
97	0.0635	0.067	0.063	0.0635	27.62
98	0.0645	0.0675	0.0635	0.064	27.6
99	0.064	0.066	0.064	0.064	27.68
100	0.0645	0.067	0.064	0.064	27.66

ตาราง 4.40 ผลการผลิตชิ้นงานขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า (ต่อ)

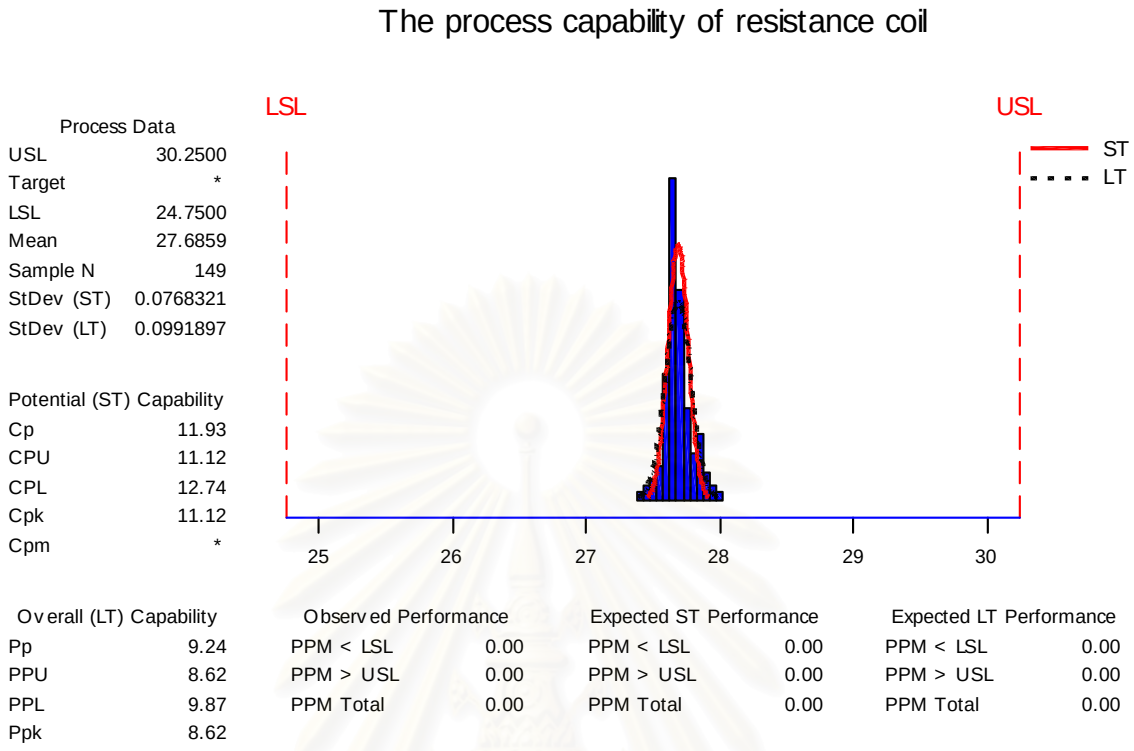
ลำดับ	ความกว้างขดลวด (สูงสุด 0.075)		ความหนาขดลวด .060-.067		ความต้านทาน
	น้อยสุด	มากสุด	น้อยสุด	มากสุด	27.50 ฑ10 %
101	0.0645	0.067	0.063	0.064	27.63
102	0.0645	0.065	0.064	0.064	27.66
103	0.063	0.066	0.0635	0.0635	27.72
104	0.064	0.066	0.0635	0.0635	27.63
105	0.0645	0.0655	0.063	0.063	27.87
106	0.0655	0.067	0.064	0.0645	27.63
107	0.064	0.0665	0.0635	0.065	27.63
108	0.063	0.067	0.0635	0.0645	27.64
109	0.063	0.0675	0.0625	0.064	27.55
110	0.065	0.0675	0.064	0.0645	27.59
111	0.0635	0.065	0.063	0.0635	27.65
112	0.064	0.065	0.063	0.0635	27.64
113	0.063	0.0645	0.063	0.064	27.38
114	0.064	0.064	0.063	0.0635	27.71
115	0.063	0.065	0.063	0.066	27.65
116	0.063	0.064	0.0625	0.064	27.71
117	0.064	0.065	0.063	0.063	27.75
118	0.0635	0.0645	0.063	0.0635	27.72
119	0.0645	0.0665	0.063	0.0635	27.66
120	0.0635	0.0645	0.0635	0.064	27.66
121	0.064	0.0665	0.0625	0.0655	27.9
122	0.0635	0.066	0.063	0.0645	27.67
123	0.064	0.0645	0.0625	0.063	27.59
124	0.064	0.0665	0.063	0.0635	27.65
125	0.0635	0.0665	0.064	0.064	27.61
126	0.063	0.065	0.063	0.0635	27.66
127	0.066	0.067	0.063	0.063	27.75
128	0.064	0.0665	0.063	0.0635	27.7
129	0.0645	0.067	0.063	0.063	27.69
130	0.064	0.065	0.0635	0.0635	27.69
131	0.063	0.0665	0.0635	0.0635	27.87
132	0.0635	0.0655	0.0635	0.0635	27.64
133	0.0635	0.066	0.0635	0.0645	27.79
134	0.064	0.0665	0.0625	0.0635	27.65
135	0.064	0.0665	0.0625	0.064	27.71
136	0.066	0.068	0.063	0.064	27.67
137	0.0645	0.0665	0.063	0.064	27.71
138	0.063	0.066	0.062	0.0635	27.63
139	0.063	0.066	0.0615	0.063	27.98
140	0.0635	0.066	0.0625	0.063	27.83
141	0.064	0.0655	0.062	0.0635	27.84
142	0.063	0.066	0.063	0.064	27.84
143	0.0645	0.067	0.0615	0.064	27.84
144	0.065	0.065	0.0645	0.0645	27.72
145	0.063	0.066	0.063	0.064	27.67
146	0.064	0.063	0.064	0.064	27.84
147	0.065	0.0665	0.063	0.064	27.67
148	0.0655	0.0665	0.064	0.0645	27.43
149	0.065	0.065	0.064	0.0645	27.59
150	0.064	0.0665	0.0635	0.064	27.61



รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนของพารามิเตอร์ความกว้างของขดลวด



รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตผลิตขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนของพารามิเตอร์ความหนาของขดลวด



รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตผลิตขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า ส่วนของพารามิเตอร์ค่าความต้านทาน

4.5.2 ผลการทดลองผลิตกรอบขดลวด

การทดลองที่ 4 ปฏิบัติการผลิตชิ้นงานตัวอย่าง

จุดประสงค์ การทดลองทำการขึ้นรูปชิ้นงานตามแบบกำหนดเบื้องต้น

วิธีการทดลอง

2. ขึ้นรูปชิ้นงานตามขบวนการผลิต
3. ปฏิบัติตามข้อกำหนดต่างๆ
4. สุ่มตัวอย่างชิ้นงาน 5 ชิ้นจากการผลิต 30 ชิ้น
5. วัดค่าขนาดของชิ้นงานตามค่าต่าง ๆ อย่างละเอียดตามการออกแบบและข้อกำหนด

หมายเหตุ

ในการผลิตจริงไม่จำเป็นต้องวัดทุกค่า แต่เนื่องจากว่าเป็นการผลิตงานต้นแบบ ดังนั้นเพื่อความแน่นใจจึงต้องวัดค่าเพื่อประเมินขบวนการผลิต

ผลการวัดชิ้นงานตัวอย่าง

ตาราง 4.41 ผลการตรวจสอบงานต้นแบบกรอบขดลวด

รหัสงาน :		ลำดับการแก้ไข . :	ชื่อชิ้นงาน : ขดลวดน่าไฟฟ้าสนามแม่เหล็ก	ผู้ผลิต ผู้ตรวจ	ผู้ผลิต วันที่	ผู้ใช้ ผู้ตรวจ	ผู้ใช้ วันที่	ผู้ผลิต	วันที่

ตำแหน่งการวัด	ค่ากำหนดทางวิศวกรรม		ผู้วัด	ค่าการวัด					"X" กรณีงานเสีย	เครื่องมือวัด	หมายเหตุ
				งานชิ้นที่ 1	งานชิ้นที่ 2	งานชิ้นที่ 3	งานชิ้นที่ 4	งานชิ้นที่ 5			
1A	Ø 0.103 / 0.098 THRU		ผู้ผลิต	0.0995	0.0998	0.0999	0.0998	0.0999		CMM	
			ผู้ใช้								
	0.086		ผู้ผลิต	0.0854	0.0865	0.0868	0.0864	0.0868		CMM	
			ผู้ใช้								
	0.325		ผู้ผลิต	0.3239	0.3231	0.3235	0.3233	0.3235		CMM	
			ผู้ใช้								
	A Ø 0.005 A A B C		ผู้ผลิต	0.0025	0.0039	0.0034	0.0035	0.0034		CMM	
			ผู้ใช้								
1B	Ø 0.103 / 0.098 THRU		ผู้ผลิต	0.0995	0.0999	0.0998	0.0996	0.0999		CMM	
			ผู้ผลิต								
	0.086		ผู้ใช้	0.0856	0.0855	0.0864	0.0858	0.0855		CMM	
			ผู้ผลิต								
	0.325		ผู้ใช้	0.3248	0.3252	0.3249	0.3255	0.3249		CMM	
			ผู้ผลิต								
	A Ø 0.005 A A B C		ผู้ใช้	0.0009	0.0011	0.0012	0.0011	0.0010		CMM	
			ผู้ผลิต								
1C	Ø 0.103 / 0.098 THRU		ผู้ใช้	0.0997	0.1001	0.0996	0.0998	0.1000		CMM	
			ผู้ผลิต								
	1.286		ผู้ผลิต	1.2851	1.2851	1.2855	1.2853	1.2850		CMM	
			ผู้ใช้								
	0.420		ผู้ผลิต	0.4185	0.4215	0.4211	0.4205	0.4211		CMM	
			ผู้ใช้								
	A Ø 0.005 A A B C		ผู้ผลิต	0.0031	0.0035	0.0024	0.0017	0.0030		CMM	
			ผู้ใช้								
1D	Ø 0.103 / 0.098 THRU		ผู้ผลิต	0.0995	0.0999	0.1005	0.1001	0.0999		CMM	
			ผู้ใช้								
	1.286		ผู้ผลิต	1.2845	1.2849	1.2848	1.2851	1.2848		CMM	
			ผู้ผลิต								
	0.420		ผู้ใช้	0.4210	0.4205	0.4208	0.4206	0.4211		CMM	
			ผู้ผลิต								
	A Ø 0.005 A A B C		ผู้ใช้	0.0036	0.0024	0.0029	0.0022	0.0033		CMM	
			ผู้ผลิต								
2	1.38	± 0.01	ผู้ใช้	1.3802	1.3805	1.3809	1.3804	1.3802		CMM	
			ผู้ผลิต								
3	0.100	± 0.005	ผู้ใช้	0.0999	0.1000	0.1000	0.1001	0.0998		CMM	
			ผู้ผลิต								
3A	2X R 0.02	± 0.01	ผู้ผลิต	0.0208	0.0210	0.0205	0.0211	0.0207		CMM	
			ผู้ใช้								

ตาราง 4.41 ผลการตรวจสอบงานต้นแบบกรอบขดลวด (ต่อ)

	R	002	± 001	ผู้ผลิต	00211	00210	00212	00209	00211		CMM	
				ผู้ใช้								
4		0195	± 0005	ผู้ผลิต	01948	01950	01945	01948	01952		CMM	
				ผู้ใช้								
5		039	± 001	ผู้ผลิต	03889	03891	03889	03892	03888		CMM	
				ผู้ใช้								
6A	R	0165		ผู้ผลิต	01648	01649	01651	01645	01649		CMM	
				ผู้ผลิต								
		0470		ผู้ใช้	04692	04690	04681	04687	04695		CMM	
				ผู้ผลิต								
		0094		ผู้ใช้	00927	00961	00985	00959	00948		CMM	
				ผู้ผลิต								
6B	R	0165		ผู้ใช้	01651	01649	01650	01648	01652		CMM	
				ผู้ผลิต								
		0470		ผู้ใช้	04728	04729	04728	04721	04725		CMM	
				ผู้ผลิต								
		0094		ผู้ผลิต	00915	00921	00918	00920	00918		CMM	
				ผู้ใช้								
6C	R	0165		ผู้ผลิต	01648	01650	01652	01645	01651		CMM	
				ผู้ใช้								
		0990		ผู้ผลิต	09889	09887	09890	09893	09888		CMM	
				ผู้ใช้								
		0277		ผู้ผลิต	02765	02763	02759	02762	02757		CMM	
				ผู้ใช้								
6D	R	0165		ผู้ผลิต	01651	01649	01650	01648	01652		CMM	
				ผู้ผลิต								
		0990		ผู้ใช้	09875	09872	09873	09878	09875		CMM	
				ผู้ผลิต								
		0277		ผู้ใช้	02759	02755	02749	02752	02755		CMM	
				ผู้ผลิต								
7	2X	015	± 001	ผู้ใช้	01500	01505	01502	01501	01500		CMM	
				ผู้ผลิต								
		015	± 001	ผู้ใช้	01497	01502	01497	01498	01503		CMM	
				ผู้ผลิต								
7A	2X	0230	± 0005	ผู้ผลิต	02300	02298	02304	02301	02299		CMM	
				ผู้ใช้								
		0230	± 0005	ผู้ผลิต	02297	02289	02301	02298	02300		CMM	
				ผู้ใช้								

ตาราง 4.41 ผลการตรวจสอบงานต้นแบบกรอบขดลวด (ต่อ)

8		0.84	± 0.01	ผู้ผลิต	0.8395	0.8388	0.8389	0.8399	0.8396		CMM	
				ผู้ใช้								
9	(2X) R 0.229	0.209		ผู้ผลิต	0.2179	0.2178	0.2185	0.2184	0.2181		CMM	
				ผู้ใช้								
	R 0.229	0.209		ผู้ผลิต	0.2184	0.2179	0.2179	0.2182	0.2185		CMM	
				ผู้ผลิต								
10	R	1.155		ผู้ใช้	1.1544	1.1548	1.1546	1.1549	1.1548		CMM	
				ผู้ผลิต								
11		1.10	± 0.01	ผู้ใช้	1.1005	1.1000	1.1005	1.1001	1.1000		CMM	
				ผู้ผลิต								
12	2X	20°	±2°	ผู้ใช้	20.2250	20.2220	20.2350	20.2180	20.1980		CMM	
				ผู้ผลิต								
		20°	±2°	ผู้ใช้	20.2150	20.2270	20.1590	20.2040	20.1780		CMM	
				ผู้ผลิต								
13	2X	22°	±2°	ผู้ผลิต	22.0250	21.9980	22.1050	22.0380	22.1160		CMM	
				ผู้ใช้								
		22°	±2°	ผู้ผลิต	22.0560	22.2590	21.9984	22.1870	22.1980		CMM	
				ผู้ใช้								
14 A	2X R	0.25	± 0.01	ผู้ผลิต	0.2512	0.2517	0.2515	0.2510	0.2515		CMM	
				ผู้ใช้								
		0.33	± 0.01	ผู้ผลิต	0.3305	0.3302	0.3301	0.3304	0.3302		CMM	
				ผู้ใช้								
		0.617	± 0.005	ผู้ผลิต	0.6179	0.6180	0.6175	0.6178	0.6177		CMM	
				ผู้ผลิต								
B	R	0.25	± 0.01	ผู้ใช้	0.2479	0.2504	0.2487	0.2495	0.2489		CMM	
				ผู้ผลิต								
		0.33	± 0.01	ผู้ใช้	0.3279	0.3285	0.3287	0.3288	0.3284		CMM	
				ผู้ผลิต								
		0.617	± 0.005	ผู้ใช้	0.6172	0.6179	0.6178	0.6175	0.6177		CMM	
				ผู้ผลิต								
15		0.130	± 0.005	ผู้ใช้	0.1308	0.1311	0.1315	0.1302	0.1311		CMM	
				ผู้ผลิต								
16	2X	0.12	±0.01	ผู้ผลิต	0.1155	0.1159	0.1155	0.1158	0.1155		CMM	
				ผู้ใช้								
		45°	±5°	ผู้ผลิต	45.118	45.125	45.112	45.2250	45.1890		CMM	
				ผู้ใช้								
		0.12	±0.01	ผู้ผลิต	0.1168	0.1175	0.1179	0.1181	0.1179		CMM	
				ผู้ใช้								

ตาราง 4.41 ผลการตรวจสอบงานต้นแบบกรอบขดลวด (ต่อ)

		45°	±5°	ผู้ผลิต	45023	45123	45089	451150	450980		CMM	
				ผู้ใช้								
16A	(4X)	0.03	±0.01	ผู้ผลิต	0.0297	0.0295	0.0288	0.0293	0.0298		CMM	
				ผู้ผลิต								
		45°	±5°	ผู้ใช้	45028	45045	45123	450480	450590		CMM	
				ผู้ผลิต								
		0.03	±0.01	ผู้ใช้	0.0298	0.0295	0.0289	0.0293	0.0289		CMM	
				ผู้ผลิต								
		45°	±5°	ผู้ใช้	45055	45055	45118	450590	451120		CMM	
				ผู้ผลิต								
		0.03	±0.01	ผู้ใช้	0.0295	0.0298	0.0299	0.0297	0.0295		CMM	
				ผู้ผลิต								
		45°	±5°	ผู้ผลิต	44995	45059	44995	451130	449980		CMM	
				ผู้ใช้								
		0.03	±0.01	ผู้ผลิต	0.0289	0.0293	0.0288	0.0293	0.0294		CMM	
				ผู้ใช้								
		45°	±5°	ผู้ผลิต	45023	45101	45089	451020	449870		CMM	
				ผู้ใช้								
17	E.005A B C			ผู้ผลิต	0.0003	0.0002	0.0003	0.0002	0.0003		CMM	
				ผู้ใช้								
18		0.070	± 0.005	ผู้ผลิต	0.0701	0.0702	0.0705	0.0703	0.0704		CMM	
				ผู้ผลิต								
19		0.025	± 0.005	ผู้ใช้	0.0249	0.0249	0.0251	0.0250	0.0248		CMM	
				ผู้ผลิต								
20	I .002A			ผู้ใช้	0.0010	0.0009	0.0008	0.0005	0.0008		CMM	
				ผู้ผลิต								
21	A .002			ผู้ใช้	0.0008	0.0010	0.0012	0.0006	0.0008		CMM	
				ผู้ผลิต								

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการทดลองผลิตงานต้นแบบกรอบขดลวด

การใช้เครื่องกลึง CNC ในการตัดขึ้นรูปของชิ้นงาน ได้ผลเป็นที่น่าพอใจในเรื่องของขนาดต่าง ๆ ที่กำหนด ดังที่แสดงผลไว้ในตารางผลการวัด การปรับโปรแกรมที่เครื่องอาจเสียเวลาบ้างในเบื้องต้น แต่เมื่อปรับได้จุดที่ต้องการก็สามารถดำเนินการผลิตได้อย่างต่อเนื่อง สำหรับการใช้ขบวนการ Electro chemical Deburning (ECD) ในการกำจัดเศษเสี้ยนของอลูมินั่มที่บริเวณขอบในรูเจาะและบนผิวของชิ้นงาน เมื่อนำชิ้นงานมาวัดความเรียบผิวก็พบว่า ได้ความเรียบผิวตามความต้องการของลูกค้า สาเหตุของความต้องการความเรียบผิวสูงนั้นมีผลต่อความสะอาดของชิ้นงานโดยตรง เนื่องจากถ้าผิวไม่เรียบมากพอ จะทำให้ขบวนการทำความสะอาดชิ้นงานทำได้ยาก และยังทำให้เกิดออกไซด์ของอลูมินั่มได้ง่ายกว่าผิวที่เรียบ

จากการยืนยันผลการทดสอบขบวนการผลิตโดยการวัดชิ้นงาน ทำให้มั่นใจว่าขบวนการที่ใช้นี้เหมาะสมจะนำมาเป็นขบวนการผลิตกรอบขดลวดได้ตามความต้องการ

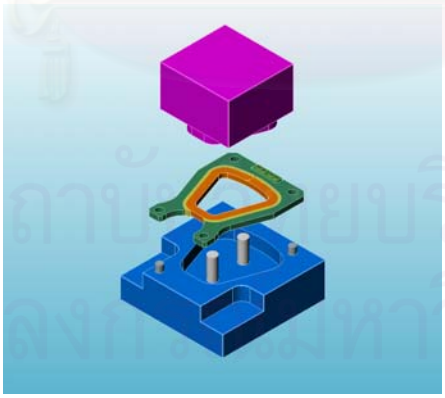
4.5.3 ผลการทดสอบการประกอบชุดขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

การทดลองที่ 5 ปฏิบัติการสุ่มชิ้นงานตัวอย่างหลังการประกอบเพื่อทดสอบ

จุดประสงค์ การทดตรวจสอบการออกแบบกระบวนการประกอบชิ้นงาน

วิธีการทดลอง

1. สุ่มชิ้นงาน 10 ตัว ไปทดสอบความสามารถในการการรับแรงกดของกาว



2. สุ่มชิ้นงาน 50 ตัว ไปทดสอบค่าความต้านทาน และ การลัดวงจร
3. สุ่มตัวอย่างชิ้นงาน 3 ชิ้นส่งห้องวิจัยตรวจสอบสารประกอบที่สามารถระเหิดออกมาได้ที่อุณหภูมิสูง
4. สุ่มตัวอย่างชิ้นงาน 3 ชิ้นส่งห้องวิจัยตรวจสอบค่าความสะอาด NVR (Non-Volatile Residue)

ผลการทดลอง

ตาราง 4.42 ผลการตรวจสอบงานประกอบชุดขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

ผลการตรวจสอบชิ้นงานหลังกระบวนการประกอบ			
ตัวอย่างที่	ตรวจกระแสลัดวงจร	ค่าความต้านทาน (โอห์ม)	ค่าการรับแรงกด (lb)
1	Pass	27.19	> 66
2	Pass	27.15	> 66
3	Pass	27.11	> 66
4	Pass	27.17	> 66
5	Pass	27.19	> 66
6	Pass	27.14	> 66
7	Pass	27.20	> 66
8	Pass	27.18	> 66
9	Pass	27.19	> 66
10	Pass	27.40	> 66
11	Pass	27.19	
12	Pass	27.12	
13	Pass	27.11	
14	Pass	27.16	
15	Pass	27.14	
16	Pass	27.16	
17	Pass	27.19	
18	Pass	27.15	
19	Pass	27.17	
20	Pass	27.22	
21	Pass	27.19	
22	Pass	27.17	
23	Pass	27.32	
24	Pass	27.16	
25	Pass	27.27	
26	Pass	27.13	
27	Pass	27.18	
28	Pass	27.14	
29	Pass	27.13	
30	Pass	27.11	

ตาราง 4.42 ผลการตรวจสอบงานประกอบชุดขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า (ต่อ)

ผลการตรวจสอบชิ้นงานหลังกระบวนการประกอบ			
ตัวอย่างที่	ตรวจกระแสลัดวงจร	ค่าความต้านทาน (โอห์ม)	ค่าการรับแรงกด (lb)
31	Pass	27.22	
32	Pass	27.20	
33	Pass	27.15	
34	Pass	27.15	
35	Pass	27.07	
36	Pass	27.16	
37	Pass	27.19	
38	Pass	27.26	
39	Pass	27.09	
40	Pass	27.20	
41	Pass	27.04	
42	Pass	27.15	
43	Pass	27.20	
44	Pass	27.16	
45	Pass	27.31	
46	Pass	27.21	
47	Pass	27.21	
48	Pass	27.16	
49	Pass	27.20	
50	Pass	27.23	
Xbar		27.18	
R		0.36	
Max		27.40	
Min		27.04	
Stdv.		0.0614	

ผลการตรวจสารที่ระเหิดออกมาจากชิ้นงานที่อุณหภูมิสูง

ลำดับ	ชื่อสารประกอบต้องการตรวจ	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่ากำหนด ng/ชิ้น
1	Phenol and Derivatives	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	20000
2	Hydrocarbons,(Aliphatic,Aromatic,Halogen containing)	268	462	403	6000
	Ketones,Aldehydes,Ethers				
3	Amines and Amides	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	2000
4	Alcohols	2248	2418	2624	3000
5	Each Unspecified Compound	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	1000
6	Total of All Compounds	2516	2880	3027	30000

ตาราง 4.43 ผลการตรวจสอบสารระเหิดจากงานประกอบ

ผลการตรวจความสะอาดชิ้นงาน

พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้ (ug/cm^2)	ค่ากำหนด อ้างอิงมาตรฐาน 1246C (ug/cm^2)
NVR	1.06	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3.0
หมายเหตุ : NVR คือการตรวจสอบคราบความสกปรกที่หลงเหลือหลังล้างชิ้นงานด้วยสารละลายเคมีแล้นำสารละลายที่ได้ไประเหยให้แห้งทำให้แห้ง		

ตาราง 4.44 ผลการตรวจสอบความสะอาดของงานประกอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
อภิปรายผลการวิจัย

5.1 อภิปรายผลการวิจัย

โดยทั่วไปกระบวนการ QFD เป็นการแปรความต้องการที่หลากหลายของลูกค้าต่างๆเพื่อออกแบบสนองตามความต้องการได้อย่างเหมาะสมกระบวนการต่างๆ ของงานวิจัยนี้ได้แสดงถึงแนวทางการแปลความต้องการของลูกค้าสู่การออกแบบผลิตภัณฑ์ (QFD) อย่างมีระบบ ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลความต้องการในด้านต่างๆของลูกค้า ซึ่งในกรณีของงานวิจัยนี้เป็นการผลิตสำหรับรองรับความต้องการของลูกค้าเพียงรายเดียว ดังนั้นความต้องการของลูกค้าจึงเกิดจากการขอข้อมูลจากลูกค้าได้โดยตรงทำให้ไม่มีรายละเอียดของการรวบรวมข้อมูลความต้องการของลูกค้า เหมือนอย่างในกรณีที่มีลูกค้าหลากหลาย เพียงแต่ว่าข้อมูลที่ได้มีลักษณะเป็นความต้องการเชิงคุณภาพที่ไม่สามารถนำมาเป็นเกณฑ์ในการวัดผลเพื่อยืนยันการออกแบบผลิตภัณฑ์ และกระบวนการผลิตว่าได้ตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าแล้วหรือไม่ จึงต้องนำมาแปลเป็นความต้องการเชิงปริมาณที่สามารถกำหนดเป็นเกณฑ์ในการวัดผลได้ โดยอาศัยกลไกของตารางคุณภาพตามกระบวนการQFD หลังจากนั้นจึงนำมาจัดลำดับความสำคัญ สร้างเป็นพื้นฐานในการพิจารณาในขั้นตอนต่างๆ เป็นการแสดงให้เห็นถึงระบบกลไกการออกแบบโครงสร้างผลิตภัณพ์อย่างเป็นลำดับ นับตั้งแต่การแปลความสัมพันธ์ไปสู่ความต้องการของผลิตภัณฑ์ และการวางกลยุทธ์เป้าหมายของผลิตภัณพ์และนำไปสู่กำหนดข้อกำหนดของระบบกลไกต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบในตัวผลิตภัณฑ์จนกระทั่งการวางแผนกระบวนการผลิตและกระบวนการควบคุม อย่างไรก็ตามในกรณีของการออกแบบผลิตภัณฑ์อื่นๆที่มีลูกค้าหลากหลาย และมีความต้องการต่อตัวผลิตภัณฑ์แตกต่างกันไป กระบวนการรวบรวมความต้องการของลูกค้า ไม่ว่าจะเป็นการออกแบบสอบถามหรือการประเมินจากผลิตภัณฑ์ที่มีลักณะใกล้เคียงในท้องตลาดที่ได้รับความนิยม และการนำมาวิเคราะห์ โดยอาศัยกระบวนการQFD จะช่วยทำให้การออบแบบผลิตภัณฑ์สามารถสนองตอบต่อความต้องการของลูกค้าที่หลากหลายได้มากที่สุด

ดังนั้นเทคนิคในการแก้ปัญหาQFD ได้ช่วยเป็นแนวทางการพิจารณาความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงอย่างมีระบบมีเหตุและผลที่ต่อเนื่องอ้างอิงได้ ระหว่างความต้องการกับข้อกำหนดในการออกแบบและคุณลักษณะในด้านคุณภาพ และกระบวนการผลิต ซึ่งการยืนยันความสำเร็จของการใช้เทคนิดQFD นี้ได้แสดงไว้ให้เห็นในการออกแบบอุปกรณ์เคลื่อนที่ขดลวดแม่เหล็ก

ผลของการทำงานวิจัย ทำให้สามารถเข้าใจความต้องการของผลิตภัณฑ์ที่แท้จริงโดยการนำ ตารางการกระจายคุณภาพ (House of Quality) มาใช้เป็นเครื่องมือในการพิจารณาความสัมพันธ์ต่างๆตั้งแต่ต้นจนจบ ซึ่งผลที่ได้จากการพิจารณาในแต่ละขั้นตอน จะถูกตั้งเป็น

บรรทัดฐานหรือเกณฑ์กำหนดในการพิจารณาที่ต่อเนื่องลงไปโดย เมื่อแปรความต้องการของลูกค้ามาสู่ความต้องการของผลิตภัณฑ์ ก็สามารถนำเอาความต้องการของผลิตภัณฑ์ที่ได้มาแปรไปสู่องค์ประกอบย่อยที่ประกอบเป็นตัวผลิตภัณฑ์ รวมถึงความต้องการขององค์ประกอบย่อยต่าง ๆ และเมื่อทราบความต้องการขององค์ประกอบย่อย ก็จะทำให้สามารถแปรเป็นข้อกำหนดทางวิศวกรรม เพื่อนำไปใช้ในการวางแผนกระบวนการผลิตและกระบวนการควบคุม ซึ่งจะเห็นได้ว่าไม่ว่าการแปรความต้องการหรือการแปรความสัมพันธ์จะซับซ้อนมากเพียงใด ผู้ปฏิบัติงานก็เชื่อมั่นได้ว่าด้วยความสัมพันธ์ที่มีการถ่ายทอดมาตั้งแต่ต้น จะทำให้ผลการทำงานขั้นสุดท้ายได้ตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าเป็นอย่างดี ซึ่งผลการออกแบบและผลิตชุดขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าตามกระบวนวิธี QFD ในงานวิจัยนี้พบว่าได้ผลเป็นที่พอใจของลูกค้าเป็นอย่างดี โดยยืนยันได้จากการตรวจสอบผลการผลิต โดยใช้ข้อกำหนดทางวิศวกรรมเป็นเกณฑ์ในการวัดผล

เมื่อเปรียบเทียบการดำเนินการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่อาศัยแนวทาง QFD กับการออกแบบอื่นโดยทั่วไปที่ไม่ได้ใช้หลักการ QFD พบว่าการดำเนินงานโดยยึดแนวทางเทคนิคการกระจายความต้องการของลูกค้าสู่ข้อกำหนดทางวิศวกรรม หรือ QFD ให้ผลที่ดีกว่าคือ ช่วยลดการทำงานบางขั้นตอนที่ไม่สำคัญลงได้ โดยอย่างน้อยก็ไม่ต้องไปเสียเวลาให้ความสำคัญกับสิ่งที่ไม่ใช่ความต้องการที่แท้จริงของลูกค้าหรือผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ในการวางแผนกระบวนการผลิตและกระบวนการควบคุม ก็จะเน้นการควบคุมในส่วนที่เป็นปัจจัยหลักที่มีนัยสำคัญเท่านั้น ไม่จำเป็นต้องทำการควบคุมในทุก ๆ ข้อกำหนด ดังนั้นข้อดีที่เห็นได้ชัดของผลการวิจัย สามารถกล่าวรวมได้ว่า เป็นการสร้างระบบการออกแบบอุปกรณ์เคลื่อนที่ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าให้ตรงกับความต้องการของลูกค้าและเป็นการยืนยันความสำเร็จของกลไก ในการแปลงความต้องการของลูกค้าไปสู่ข้อกำหนดทางวิศวกรรมและการผลิต ประโยชน์ของงานวิจัยนี้ คือ สามารถป้องกันปัญหาอันเกิดจากความผิดพลาดของกระบวนการการออกแบบ อันเป็นเหตุที่จะส่งผลให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิตและสามารถสร้างระบบควบคุมขั้นตอนการออกแบบ เพื่อให้สะดวกต่อการสืบค้นหาความผิดพลาดของขั้นตอนการออกแบบต่าง ๆ

ปัญหาหลักสำคัญในการดำเนินงานโดยใช้กระบวนการ QFD คือ ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับ QFD ของผู้ปฏิบัติงาน เนื่องจากการดำเนินงานตามแนวทางของ QFD จะต้องอาศัยความร่วมมือจากลุ่มผู้ปฏิบัติงานหลายฝ่ายเป็นสำคัญ ซึ่งถ้าไม่มีความเข้าใจในวิธีการของ QFD อาจทำให้สับสนในการปฏิบัติงาน หรืออาจรู้สึกว่าการต้องสูญเสียเวลาในการระดมความคิดในแต่ละขั้นตอนเป็นการสูญเปล่า ทำให้ไม่แสดงความคิดเห็นอย่างเต็มที่ ซึ่งทำให้ข้อมูลที่ได้จากการใช้ตารางคุณภาพด้อยประสิทธิภาพลงไป ตราบใดที่ไม่มีความเชื่อมั่นหรือทราบถึงประโยชน์ของกระบวนการดังกล่าวอย่างแท้จริง ดังนั้นการจะต้องอาศัยกลุ่มผู้ปฏิบัติงานให้มีส่วนร่วมในการทำงานตามแนวทางของ QFD จำเป็นจะต้องทำให้ทุกฝ่ายทราบถึงประโยชน์ของ QFD ที่จะได้รับ

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัย และ ข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

6.1.1 สรุปผลการจัดเตรียมความพร้อมของปัจจัยการดำเนินงาน

ผลการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ นับตั้งแต่การแปลความต้องการของลูกค้าสู่ข้อกำหนดทางวิศวกรรมจนกระทั่งกระบวนการออกแบบการผลิต และควบคุมการผลิตเป็นผลให้ได้รับผลิตภัณฑ์ที่เป็นไปตามความต้องการของลูกค้าในด้านต่าง ๆ อยู่บนพื้นฐานของความเข้าใจในกระบวนการแปลความต้องการของลูกค้าสู่ความต้องการด้านต่าง ๆ (Quality Function Deployment) ของผู้ปฏิบัติงานเป็นสำคัญ การจัดเตรียมความพร้อมของปัจจัยในการดำเนินงานในขั้นตอนแรกจึงมีความสำคัญอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นการจัดทีมปฏิบัติงาน ในกลุ่มต่าง ๆ เพื่อช่วยสนับสนุนกิจกรรมการดำเนินกระบวนการ QFD อย่างมีคุณภาพ มีการวางเป้าหมายและวัตถุประสงค์อย่างเด่นชัดซึ่งจะทำให้ทีมผู้ปฏิบัติงานรับรู้ถึงวัตถุประสงค์หลักของการดำเนินงาน มีการประเมินกลุ่มลูกค้าและการกำหนดแผนการตลาดของผลิตภัณฑ์ ซึ่งในบางกรณีผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตเป็นที่ต้องการของลูกค้าหลายกลุ่มก็จะต้องมีการลำดับกลุ่มความสำคัญของลูกค้าอย่างชัดเจน เพื่อให้น้ำหนักของความสำคัญและความสนใจต่อความต้องการมากขึ้นก่อนนำเอาความต้องการทั้งหมดที่เก็บรวบรวมได้จากลูกค้าทุกกลุ่มมาจัดลำดับความสำคัญก่อนนำไปแปลสู่ความต้องการหรือข้อกำหนดทางวิศวกรรมของผลิตภัณฑ์ ก่อนที่จะไปเริ่มทำการศึกษาถึงแนวคิดของผลิตภัณฑ์ ในส่วนทฤษฎีพื้นฐานและเทคนิคต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของความรู้ในเบื้องต้น พร้อมทั้งการจัดสรรภาระหน้าที่ของผู้ปฏิบัติงาน เพื่อไม่ให้เกิดความสับสนในการปฏิบัติงานและสามารถแน่ใจได้ว่าภาระกิจของกลุ่มผู้ปฏิบัติงานครอบคลุมทุก ๆ ส่วนความต้องการของการดำเนินงาน ให้เดินไปตามแผนการดำเนินงานที่วางไว้ และสิ่งที่สำคัญก่อนการลงมือปฏิบัติงาน คือการจัดเตรียมทรัพยากร องค์ประกอบอื่น ๆ เพื่อรองรับ ได้แก่ เรื่องของสถานที่ในการผลิต อุปกรณ์ต่าง ๆ โดยสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ทั้งหมดจะเป็นส่วนกำลังสำคัญในการสนับสนุนกิจกรรม QFD ให้ดำเนินไปได้อย่างราบรื่น

6.1.2 สรุปผลการวางแผนผลิตภัณฑ์

ด้วยความเข้าใจถึงองค์ประกอบของความต้องการของลูกค้าอย่างลึกซึ้ง จะถูกนำมาทำการจัดลำดับความสำคัญของความต้องการด้านต่าง ๆ ซึ่งถือเป็นหัวใจสำคัญของกระบวนการวางแผนผลิตภัณฑ์ ซึ่งเราจะพบว่าหมวดของความต้องการของลูกค้ามีหลักใหญ่สำคัญอยู่ 3 หมวด คือ หมวดการใช้งาน, หมวดลักษณะ, และราคา ซึ่งในแต่ละหมวดจะมีองค์ประกอบย่อยของความต้องการ คือ

- หมวดการใช้งาน
  1. ความเที่ยงตรงสูง
  2. มีอายุการทำงานยาวนาน
  3. ไม่เกิดเสียงดังขณะทำงาน
  4. มีความน่าเชื่อถือสูง
- หมวดลักษณะทางกายภาพ
  1. ไม่มีความซับซ้อนมากเกินไป
  2. ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะต้องมีขนาดเล็ก
  3. เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา
- หมวดราคา
  1. มีราคาถูก

ทำการจัดลำดับความสำคัญในแต่ละความต้องการ บรรจุเข้าในส่วนด้านซ้ายของตารางคุณภาพแล้วจัดทำความต้องการของผลิตภัณฑ์บรรจุไว้ด้านบนของตารางคุณภาพ (House of Quality) หลังจากนั้นก็ทำการระดมความคิดถึงความสัมพันธ์ของความต้องการของลูกค้ากับความต้องการของผลิตภัณฑ์และความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของผลิตภัณฑ์เอง พิจารณาความยากง่ายในแต่ละความต้องการของผลิตภัณฑ์ จัดทำข้อกำหนดและเปรียบเทียบแนวทางในการวางแผนผลิตภัณฑ์ กำหนดเป็นกลยุทธ์ในการออกแบบ ซึ่งจากผลการดำเนินการในช่วงวางแผนผลิตภัณฑ์ทำให้ทราบว่ากลยุทธ์ในการมุ่งเน้นตอบสนองต่อประโยชน์การใช้งานเป็นหลัก

6.1.3 สรุปผลการวางแผนพัฒนาผลิตภัณฑ์

ในขั้นตอนนี้เป็นการกระจายความต้องการของผลิตภัณฑ์ไปสู่ชิ้นส่วนประกอบย่อยของตัวผลิตภัณฑ์ คือ ขดลวด, กรอบขดลวด, กาว, จุดเชื่อมต่อกระแสไฟฟ้าสู่ขดลวด ซึ่งจะทำให้ทราบถึงความต้องการขององค์ประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ รวมถึงข้อกำหนดทางวิศวกรรม ดังนั้นสิ่งที่ได้จากการวิจัยในขั้นตอนนี้คือ ความต้องการของเส้นลวดและข้อกำหนด, ความต้องการของกรอบขดลวดและข้อกำหนด, ความต้องการของกาวและข้อกำหนด, ความต้องการของจุดเชื่อมต่อกระแสไฟฟ้าและข้อกำหนด ซึ่งการได้ข้อกำหนดดังกล่าวจะสามารถนำไปทำการออกแบบขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการพิจารณาเลือกชนิดของสารเคลือบผิวขดลวด และการกำหนดขนาดที่สอดคล้องกับความต้องการของผลิตภัณฑ์ และในแนวทางเดียวกันสำหรับการออกแบบกรอบขดลวดก็สามารถตัดสินใจเลือกกระบวนการวิธีการขึ้นรูปที่เหมาะสม และการกำหนดขนาดต่าง ๆ ส่วนในเรื่องของจุดต่อกระแสไฟฟ้าก็จะสามารถตัดสินใจได้ว่าควรจะเลือกลักษณะของจุดต่อ

กระแสไฟฟ้าที่มีลักษณะเช่นไร เช่นเดียวกับการเลือกประเภทของกาวที่เหมาะสมก็จะทำได้ในขั้นตอนนี้

6.1.4 สรุปการวางแผนกระบวนการผลิต

เมื่อได้ข้อกำหนดของแต่ละชิ้นส่วนองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แล้วก็นำเอาข้อกำหนดที่ได้ในแต่ละส่วนไปแปรเป็นความต้องการของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนนั้น ๆ คือ กระบวนการผลิตขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า, กระบวนการผลิตกรอบขดลวด สำหรับกระบวนการผลิตจุดต่อเชื่อมกระแสไฟฟ้านั้น เมื่อเลือกลักษณะที่ควรจะเป็นจากหัวข้อ 6.1.3 แล้วพบว่า ลักษณะที่เหมาะสมเป็นการผลิตประเภทมาตรฐานชิ้นส่วน PCB ทั่วไปจึงสั่งผลิตจากผู้ผลิตรายอื่น ทำให้ไม่มีรายละเอียดการวางแผนกระบวนการผลิต แต่อย่างไรก็ตามก็ได้แสดงรายละเอียดกระบวนการประกอบชุดขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า โดยนำเอาองค์ประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ มาทำการประกอบ โดยการแปรความต้องการของผลิตภัณฑ์ในส่วนขององค์ประกอบไปสู่ความต้องการของกระบวนการผลิต ซึ่งในขั้นตอนนี้จะทำให้ได้รู้ถึงกระบวนการผลิตขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า กระบวนการผลิตกรอบขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า และกระบวนการประกอบชุดขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

6.1.5 สรุปการวางแผนควบคุมการผลิต

จากกระบวนการผลิตต่าง ๆ ที่ได้ในกระบวนการวางแผนการผลิตของแต่ละชิ้นส่วนจะถูกแปรไปสู่ความต้องการของกระบวนการควบคุมการผลิต พร้อมทั้งข้อกำหนดในการควบคุม เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการตรวจสอบกระบวนการผลิต และการจัดลำดับความสำคัญของแต่ละความต้องการของกระบวนการควบคุมการผลิต เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการตรวจสอบในการควบคุมการผลิต กระบวนการเหล่านี้เกิดขึ้นในลักษณะเดียวกัน เมื่อทำการวางแผนควบคุมการประกอบขั้นสุดท้าย โดยในกระบวนการประกอบได้แสดงการวิเคราะห์ความสำคัญของแต่ละกระบวนการย่อยในกระบวนการประกอบโดยการใช้ตารางวิเคราะห์จุดวิกฤตของกระบวนการโดยใช้หลักการ FMEA เพื่อเน้นย้ำให้ทราบว่าที่กระบวนการย่อยใดมีความสำคัญมากหรือเสี่ยงต่อการเกิดความผิดพลาดในกระบวนการประกอบ เพื่อปรับปรุงแก้ไข โดยอาจใช้การเพิ่มการสุ่มการเก็บตัวอย่าง หรือการวางแนวทางป้องกันไว้ล่วงหน้า

6.1.6 สรุปผลการทดสอบการผลิต

การดำเนินการออกแบบผลิตภัณฑ์อย่างมีลำดับขั้นตอน ด้วยแนวทางที่แสดงไว้ในงานวิจัยนี้ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถสนองตอบต่อความต้องการของลูกค้าอย่างครบถ้วน โดยยืนยันได้จากการผลการทดสอบกระบวนการผลิตและกระบวนการประกอบ ดังนั้นจึงทำให้แน่ใจได้

ว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำการออกแบบจนถึงกระบวนการผลิตนั้นจะสามารถแข่งขันในตลาดการค้าได้ และกลไกในการแปลงความต้องการของลูกค้าไปสู่ข้อกำหนดทางวิศวกรรมและการผลิตที่ได้เสนอไว้ในงานวิจัยนี้ยังสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางให้กับผู้ปฏิบัติงานหรือผู้สนใจเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ การทำงานให้ดีขึ้น ไม่เกิดความสับสนในการปฏิบัติงานหรือใช้กรรมวิธี QFD ได้อย่างถูกวิธีและยังช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานมองเห็นถึงปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการออกแบบและกระบวนการการผลิตผลิตภัณฑ์ เพื่อวางแผนควบคุมการผลิตผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพตามความต้องการอย่างสม่ำเสมอหรือปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่อไป

6.2 **ข้อเสนอแนะ**

การออกแบบข้อกำหนดทางวิศวกรรมและการผลิตอุปกรณ์เคลื่อนที่ขดลวดแม่เหล็ก โดยใช้เทคนิคการแปลความต้องการของลูกค้าจะประสบความสำเร็จมากน้อยเพียงใดนอกเหนือจากความเข้าใจกระบวนการวิธีที่ถูกต้องแล้ว สิ่งที่สำคัญที่สุดอีกประการได้แก่ระบบการรวบรวมข้อมูลความต้องการของลูกค้าที่มีประสิทธิภาพเพื่อช่วยยืนยันได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตออกมาจะได้รับการตอบสนองจากลูกค้าเป็นอย่างดี ซึ่งระบบการรวบรวมข้อมูลดังกล่าวอาจทำได้โดยการวิจัยตลาด การออกแบบสอบถาม หรือแม้กระทั่งการเปรียบเทียบกับผู้ผลิตรายอื่นที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์ที่คล้ายคลึงกัน มาทำการพัฒนาเป็นจุดแข็งของผลิตภัณฑ์และวิเคราะห์จุดแข็งของคู่แข่งเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้เท่าเทียมหรือดีกว่า รวมทั้งการติดตามเก็บผลลัพท์ของข้อมูลที่มีความสำคัญเมื่อเริ่มกระบวนการผลิตมาทำการวิเคราะห์เพื่อยืนยันผลของการปฏิบัติงานออกแบบและพัฒนา ซึ่งผลของการวิเคราะห์จะช่วยชี้ให้เห็นถึงข้อบกพร่องของการดำเนินงานได้เป็นอย่างดี ถ้าหากมีข้อบกพร่องเกิดขึ้นและด้วยกลไกการออกแบบอย่างมีระบบจะช่วยให้เกิดความสะดวกในการสืบค้นหาสาเหตุของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้ก่อนจะนำเอาข้อมูลที่ได้เก็บไว้เป็นพื้นฐานความรู้ในการปรับปรุงต่อไปในอนาคต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

Cohen,L., Quality Function Deployment. : How to make QFD work for you. Engineering Process Improvement. United State of America : Addison-Wesley Publishing Company, 1995.

Crow, Kenneth. Quality Function Deployment. http://www.npd-solutions.com: DRM Associates, 2001.

Elektrisola Co.Ltd., Magnet wire engineering data. http://www.elektrisola.com : Elektricsola,

Ellekjaer, M.R. and Bisgaard, S., The use of experimental design in the development of new product. International Journal of Quality Science Volume 3 No. 3; 1998 : 254-274.

Fabricius, F., A seven step procedure for design for manufacture. World Class Design to Manufacture Volume 1 No. 2; 1994 : 23 -30.

Gunasekaran, A., An integrated product development-quality Management system for manufacturing. The TQM Magazine Volume 10 No. 2; 1998 : 115-123.

Lyu, J. and Gunasekaran, A., Design for Quality in the Shipbuilding industry. International Journal of Quality and Reliability Management Volume 10 No. 4; 1993: 100-115.

Riedel, J. C.K.H.and Pawar, K. S., The Consideration of Production aspects during product design stages. Integrated Manufacturing Systems Volume 8 No. 4; 1997 : 208-214.

Vonderembse, M.A. and Raghunathan,T. S., Quality function deployment' s impact on product development. International Journal of Quality Science Volume 2 No. 4; 1997 :253-271.

Zhang, Z. Application of experimental design in new product development. The TQM Magazine Volume 10 No. 6; 1998 : 432 - 437.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

1. ข้อมูลผู้ผลิต ขดลวดไฟฟ้า (Magnet wire)

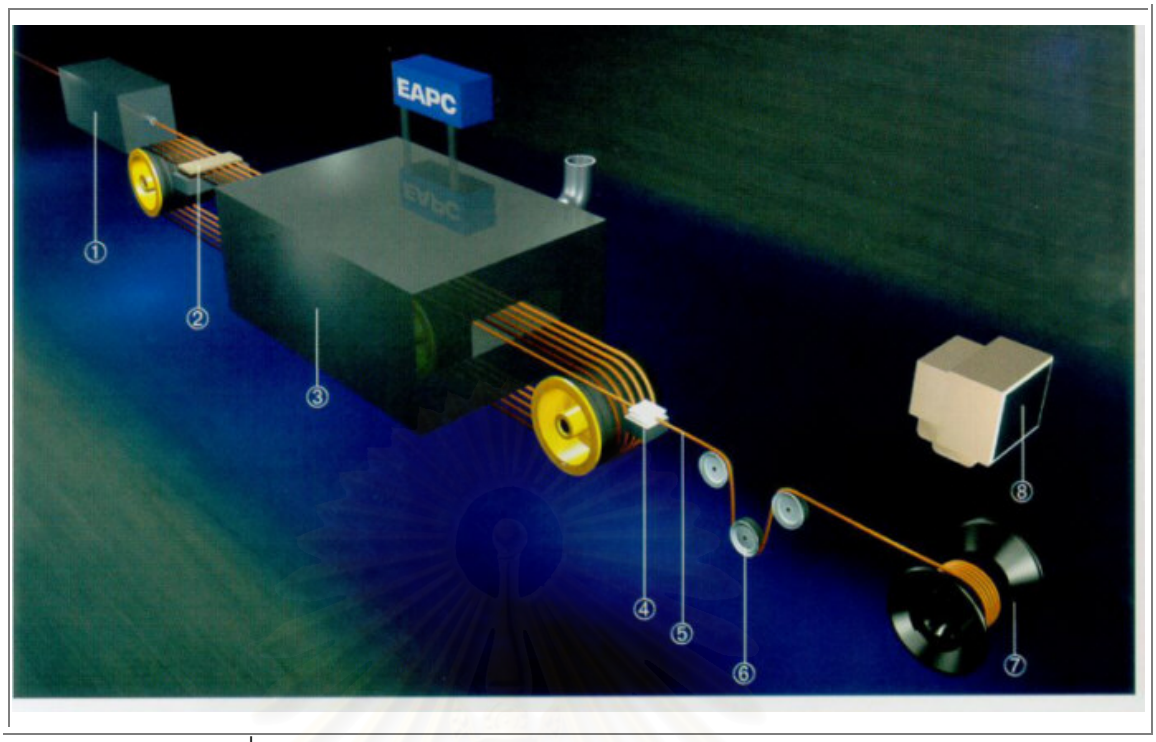
เป็นรายชื่อผู้ผลิตและรายละเอียดที่ผลิตขายในวงการอุตสาหกรรมที่ต้องการนำเส้นลวดไปใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์ต่างๆ

ชื่อบริษัท	รายละเอียด
Syntron Wires (P) Limited	เป็นโรงงานผลิตขดลวดทองแดง หุ้มด้วยสาร Polyester
Intermagnetic General Corporation	ผู้ผลิตและพัฒนาขดลวดแม่เหล็กนำไฟฟ้า ซึ่งใช้ในงานอุณหภูมิต่ำและสูง เช่น อุปกรณ์ประเภทตู้แช่แข็ง และในขดลวดของวิทยุ
Electrisola	ผู้ผลิตขดลวดทองแดงขนาดเล็ก ตั้งแต่ 0.50-0.010 มิลลิเมตร (AWG 24-58)
Eraser Company Inc.	เส้นลวดและสายเคเบิลที่ใช้พลังงานประเภทโรตารี่
Ampac International, Inc	ออกแบบอุปกรณ์ในการตรวจสอบสำหรับอุตสาหกรรมของขดลวดและอุปกรณ์ในการเคลือบผิวฉนวนบนเส้นขดลวดที่ได้มาตราฐาน NEMA

ตารางที่ ก1 รายละเอียดข้อมูลผู้ผลิตเส้นลวดสำหรับอุตสาหกรรม

2. เทคนิคการเคลือบผิวขดลวดทองแดงด้วยสารที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนนำไฟฟ้า

แนวความคิดพื้นฐานหรือกระบวนการผลิตของเครื่องจักรในการเคลือบผิวสามารถแสดงได้ดังภาพด้านล่างนี้



รูปที่ ก1 กระบวนการเคลือบผิวเส้นลวด

ความหมายของจุดต่าง ๆ ที่แสดงในภาพ

1. ตู้อบเพื่อหลอมโลหะให้อ่อนตัว (Annealing Oven)
2. จุดที่ทำการเคลือบผิวโลหะ (Enamel Applicator)
3. ตู้อบ (Curing Oven)
4. จุดเคลือบสารหล่อลื่น (Lubrication Application)
5. จุดควบคุมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของขดลวดที่เคลือบผิวแล้ว (Laser –O.D. Control)
6. จุดควบคุมแรงดึงของขดลวดที่จะพันสู่แกนขดลวด (Tension Control)
7. แกนขดลวด (Spooling)
8. จอคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุม (Monitor)

ข้อควรทราบ

1. เส้นขดลวดที่นำมาเคลือบผิวจะต้องมีคุณสมบัติของทองแดงที่ยืดหยุ่น (softness)
2. การเคลือบผิวชั้นเดียวที่มีความหนาถึงขนาด 30 สามารถรับประกันค่าการยึดเกาะของผิวฉนวนกับทองแดงที่ดีและมีคุณสมบัติความเป็นฉนวนที่ดี
3. ในตู้อบสารละลายจะถูกระเหยให้เหลือเพียงแค่สารเคลือบด้วยการให้ความร้อน
4. สารหล่อลื่นจะถูกเคลือบบนผิวของขดลวดที่ผ่านการหุ้มฉนวนแล้ว เพื่อช่วยในการพันสานขดลวดเข้าสู่แกนขดลวดได้อย่างดี
5. ขดลวดจะถูกพันเข้าสู่แกนขดลวดด้วยการควบคุมแรงดึง

ประเภทของสารที่ใช้ในการเคลือบผิวขดลวดทองแดงมีหลายชนิดด้วยกัน การจะเลือกนำมาใช้ขึ้นอยู่กับประเภทของการใช้งาน ซึ่งประกอบด้วยข้อกำหนดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของขดลวดทองแดง ในหลักการพิจารณาอาจแบ่งการคำนึงถึงในด้านการใช้ประโยชน์ทั่วไป (General Application) , คุณสมบัติทางความร้อน (Thermal property) และคุณสมบัติทางไฟฟ้า (Electric property) ตามลำดับ

สารที่ใช้เคลือบผิวอาจแบ่งประเภทใหญ่ ๆ ได้เป็น 5 ประเภท จากข้อมูลของผู้ผลิตคือ

1. Polyurethane
2. Polyurethane Polyamide overcoat
3. Polyesterimide
4. Theic-mod Polyesterimide
5. Polymide

3. กระบวนการทำให้ผิวชิ้นงานเรียบโดยการใช้ประจุไฟฟ้า (Electro Chemical Deburring)

เป็นข้อมูลโดยสังเขปแสดงให้เห็นถึงกระบวนการวิธีดังรายละเอียดในตารางต่อไปนี้

ขบวนการ ECD

ลำดับ	รายละเอียด	สารเคมีที่ใช้	สารละลาย	เวลา (วินาที)	ระยะเวลาที่ใช้งาน	ขบวนการควบคุม	ค่ากำหนด	ความถี่ในการตรวจสอบ	เคื่องมือ
Opn 1	ECD	Burlyte A Electrolyte		20-25	ค่าการนำไฟฟ้าไม่ได้ตามข้อกำหนด	1. PH	4.5-6.5	2 ครั้ง/กะ	PH Meter
						2. การนำไฟฟ้า	28-60 ms-cm^2	1 ครั้ง/กะ	Conductivity meter
						3. % Solic	15 % มากสุด	1 ครั้ง/กะ	Centrifuge
						4. โปรแกรม			ดูที่แผงควบคุม
Opn 2	แช่ในน้ำ DI	น้ำ DI	DI						
Opn 3	แช่ในน้ำ DI	น้ำ DI	DI						

ตารางที่ ก2 รายละเอียดกระบวนการขัดผิวกรอบขดลวดด้วยกระแสไฟฟ้า

รูปที่ ก2 ภาพแสดงเครื่องElectro Chemical Deburring (ECD)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายไพฑูรย์ พรหมสาขา ณ สกลนคร เกิดเมื่อวันที่ 23 ตุลาคม 2514 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี สาขา วิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง วิศวกร เข้าศึกษาในระดับปริญญาโท ภาควิชาอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2543

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย