การปรับปรุงกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนโดยใช้เทคนิค QFD และ FMEA

โดย
นางสาวอนุธิดา มากมี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 1 ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การปรับปรุงกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนโดยใช้เทคนิค QFD และ FMEA

โดย
นางสาวอนุธิดา มากมี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 1 ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

HOT PRESSING PROCESS IMPROVEMENT BY QFD AND FMEA TECHNIQUES

By

MISS Anutida MAKMEE

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Engineering (ENGINEERING MANAGEMENT)

Department of INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2019

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	การปรับปรุงกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนโดยใช้เทคนิค QFD และ FMEA
โดย	อนุธิดา มากมี
สาขาวิชา	การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 1 ปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ประจวบ กล่อมจิตร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.สิทธิชัย แซ่เหล่ม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระพี กาญจนะ)

61405320 : การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 1 ปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ, เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ

นางสาว อนุธิดา มากมี: การปรับปรุงกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนโดยใช้เทคนิค QFD และ FMEA อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รองศาสตราจารย์ ดร. ประจวบ กล่อมจิตร

อุตสาหกรรมการผลิตผ้าเบรกมีการแข่งขันกันมากขึ้น โดยเฉพาะในด้านของคุณภาพ คุณภาพของผ้าเบรกสอดคล้องกับสามด้านคือ ประสิทธิภาพของการเบรก คุณสมบัติของการเบรก และกระบวนการผลิต โดยเฉพาะกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนซึ่งมีความสำคัญและเกิดของเสียมากที่สุด การศึกษานี้มีจุดประสงค์ในการปรับปรุงระบบควบคุมคุณภาพในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนโดยใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) และเทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ซึ่งเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพทำให้ทราบความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการเบรก คุณสมบัติดิสก์เบรก และตัวแปรในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน และจากการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการพบว่าตัวแปรที่ส่งผลกระทบมากที่สุดในกระบวนการคืออุณหภูมิที่ชิ้นงานได้รับ ซึ่งเป็นสาเหตุของข้อบกพร่องชิ้นงานที่มีค่าความถ่วงจำเพาะของผ้าเบรกต่ำกว่ามาตรฐานมีค่าดัชนีความเสี่ยงมากที่สุด 150 และอุณหภูมิยังเป็นสาเหตุของข้อบกพร่องอีก 6 กรณี ทำให้ผู้วิจัยเลือกปรับปรุงการตรวจสอบกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นส่วนสำคัญระบบควบคุมอุณหภูมิ ทำให้ค่าดัชนีความเสี่ยงรวมลดลงจาก 3,179 เหลือ 2,996 ลดดัชนีความเสี่ยงลง 183 คิดเป็น 5.8%

61405320 : Major (ENGINEERING MANAGEMENT)
Keyword : Quality Function Deployment, Failure Mode and Effect Analysis

MISS ANUTIDA MAKMEE : HOT PRESSING PROCESS IMPROVEMENT BY QFD AND FMEA TECHNIQUES THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR DR. PRACHUAB KLOMJIT

Due to high competition in brake pad manufacturing is increasingly competitive especially in term of the quality. Brake pad quality corresponds to 3 parts, brake performances, properties of brake pad, production process especially hot-pressing process. The hot-pressing process is the most crucial but it causes a lot of waste. The objective of this study is to improve the quality control system by using QFD and FMEA techniques. QFD technique state the relationship among brake performances, physical properties of product and hot-pressing process parameters. FMEA technique showed that temperature has the most critical effect. The temperature was the cause of lower standard specific gravity (S.G.). It had RPN of 150. Moreover, the temperature was also the cause of 6 failures. Therefore, the researcher decided to improve the electric current control system which is an important part of the temperature control system. The implement decreased the RPN from 3,179 to 2,996, reducing RPN 183 or 5.8%.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้อย่างดียิ่ง ด้วยความช่วยเหลือและคำแนะนำจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้ช่วยเหลืออย่างดี ทำให้ได้รับความรู้และประสบการณ์ตลอดการทำงาน ขอขอบคุณอาจารย์ ดร.สิทธิชัย แซ่เหล่ม และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระพี กาญจนะ ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการและให้คำแนะนำต่าง ๆ ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณดร.บรรพต หอบรรลือกิจ ที่ช่วยให้ความรู้และคำแนะนำในการทำวิจัย ขอขอบคุณบริษัทตัวอย่างที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูล ผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่ช่วยร่วมการประเมินและให้ข้อมูลตลอดการทำการศึกษา โดยเฉพาะนายนัทวุฒิ แซ่ฉิน ที่คอยให้ข้อมูลและเป็นที่ปรึกษาให้คำแนะนำตลอดการทำงาน ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศิลปากรและสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ ที่ให้คำปรึกษาและเงินทุนสนับสนุนการทำงานวิจัย

ในท้ายที่สุดขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัยที่ช่วยให้กำลังลังใจและสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน ขอขอบคุณเพื่อน ๆ โครงการ RDI และเพื่อน ๆ ของผู้วิจัยทุกคนที่ช่วยสนับสนุน ให้กำลังใจ ให้คำแนะนำ และให้การช่วยเหลืออย่างดีเสมอมา ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกคนมา ณ ทีนี้ด้วย หวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจและเป็นแนวทางการศึกษา วิจัยและพัฒนาต่อไปในอนาคต

อนุธิดา มากมี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ญ

บทที่ 1 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์การวิจัย 2

สมมติฐานการวิจัย 3

ขอบเขตของการวิจัย 3

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 3

บทที่ 2 4

ข้อมูลทั่วไปของผ้าเบรก 4

เทคนิคการแปลหน้าที่เชิงคุณภาพ 9

เทคนิคเดลฟาย 21

เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบต่อคุณภาพ 22

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 29

บทที่ 3 33

ข้อมูลทั่วไปของบริษัทและสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น 33

ขั้นตอนการออกแบบดิสก์เบรก 39

ขั้นตอนการผลิตดิสก์เบรกและการควบคุมการผลิต 40
คุณสมบัติของเกรดเคมี B 44
กระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน 44
การควบคุมคุณภาพกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน 46
บทที่ 4 48
ผลการศึกษาข้อมูลดิสก์เบรกด้วยเทคนิค QFD 48
ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบต่อคุณภาพ 58
การปรับปรุงกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน 73
บทที่ 5 79
สรุปและอภิปรายผลการวิจัย 79
ข้อเสนอแนะ 80
รายการอ้างอิง 81
ประวัติผู้เขียน 84

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 เกณฑ์การให้คะแนนความรุนแรงของผลกระทบ (S) 25
ตารางที่ 2 เกณฑ์การให้คะแนนโอกาสที่จะเกิดข้อบกพร่อง (O) 26
ตารางที่ 3 เกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการตรวจพบข้อบกพร่อง (D) 27
ตารางที่ 4 ข้อมูลการผลิตดิสก์เบรกในเดือนมกราคม – มิถุนายน ปีพ.ศ. 2562 34
ตารางที่ 5 แหล่งที่เกิดของเสียในแต่ละเดือน 35
ตารางที่ 6 การเคลมดิสก์เบรกในแต่ละเกรดเคมี 35
ตารางที่ 7 ข้อมูลการผลิตดิสก์เบรกในแต่ละเกรดเคมี 36
ตารางที่ 8 ตัวอย่างการการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบของบริษัทตัวอย่างในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน (FMEA) 37
ตารางที่ 9 แผนการควบคุมคุณภาพของกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน 47
ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพของการเบรกที่สนใจและค่าความสำคัญ 49
ตารางที่ 11 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติดิสก์เบรกและพารามิเตอร์ในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน 55
ตารางที่ 12 เกณฑ์การให้คะแนนความรุนแรงของข้อบกพร่อง (S) 59
ตารางที่ 13 เกณฑ์การให้คะแนนโอกาสการเกิด (O) 61
ตารางที่ 14 สาเหตุและโอกาสการเกิดข้อบกพร่อง 62
ตารางที่ 15 เกณฑ์การให้คะแนนโอกาสการเกิด (D) 64
ตารางที่ 16 การป้องกันและการตรวจพบกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนในปัจจุบัน 65
ตารางที่ 17 ข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน 67
ตารางที่ 18 ข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนก่อนและหลังการปรับปรุง 76

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 การประยุกต์ใช้หลักการของคานและไฮโดรลิกในระบบเบรก 4

รูปที่ 2 อุปกรณ์และระบบเบรกภายในรถยนต์ 5

รูปที่ 3 ระบบเบรกประเภทดิสก์เบรก 6

รูปที่ 4 ระบบเบรกประเภทดรัมเบรก 7

รูปที่ 5 เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ 13

รูปที่ 6 เมตริกซ์การออกแบบ 16

รูปที่ 7 เมตริกซ์การวางแผนกระบวนการ 18

รูปที่ 8 เมตริกซ์การวางแผนการผลิต 19

รูปที่ 9 ปริมาณสัดส่วนของเสียในแต่ละเดือนในปีพ.ศ.2562 34

รูปที่ 10 เครื่อง Constant speed friction tester 39

รูปที่ 11 เครื่อง Dynamometer 39

รูปที่ 12 เครื่อง Universal Tensile testing machine 40

รูปที่ 13 กระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์เย็นและชิ้นงานที่ได้ 41

รูปที่ 14 กระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน 41

รูปที่ 15 กระบวนการผลิตดิสก์เบรก 43

รูปที่ 16 ประสิทธิภาพของเกรดเคมี B 44

รูปที่ 17 แผนผังการวิเคราะห์ QFD 50

รูปที่ 18 แผนภาพ QFD เฟสที่ 2 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการเบรกและคุณสมบัติดิสก์เบรก 52

รูปที่ 19 QFD เฟสที่ 3 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติดิสก์เบรกและกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน .. 58

รูปที่ 20 องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับระบบความร้อนในเครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน 73

รูปที่ 21 ตำแหน่งฮีตเตอร์และเทอร์โมคัปเปิลภายในแผ่นแพลต 74

รูปที่ 22 มาตรฐานการตรวจสอบกระแสไฟฟ้า 75

รูปที่ 23 อุณหภูมิของแม่พิมพ์ก่อนและหลังการปรับปรุงฮีตเตอร์ 75

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์มานานกว่า 40 ปี ได้รับการยอมรับเป็นประเทศฐานการผลิตที่มีคุณภาพ เป็นฐานการผลิตยานยนต์ที่สำคัญของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ [1] ซึ่งในปีพ.ศ. 2562 คาดว่าจะมีการผลิตรถยนต์จำนวน 2,100,000 คัน มีการขยายตัวร้อยละ 5-6 รวมถึงการเติบโตของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ ที่คาดว่าจะมีการส่งออกประมาณ 295,000 ล้านบาท ขยายตัวร้อยละ 3-4 [2] การขยายตัวของอุตสาหกรรมท่ามกลางกระแสโลกาภิวัตน์ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วและซับซ้อน ทำให้เกิดการแข่งขันที่รุนแรง ทำให้ประเทศไทยและประเทศที่กำลังพัฒนาต้องให้ความสนใจและพัฒนาปรับปรุงศักยภาพและคุณภาพของสินค้า [1]

เช่นเดียวกันกับบริษัทตัวอย่างที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา ซึ่งมีผลิตภัณฑ์หลักเป็นผ้าเบรกรถยนต์ ประเภทดิสก์เบรก โดยบริษัทมีนโยบายที่ต้องการเพิ่มกำลังการผลิต และลดต้นทุนการผลิต ซึ่งจากข้อมูลการผลิตผ้าเบรกรถยนต์ประเภทดิสก์เบรกในเดือนมกราคม – มิถุนายน ปีพ.ศ. 2562 พบว่า มีการวางแผนผลิตดิสก์เบรกทั้งหมด 3,500,975 ชิ้น เกิดของเสียจำนวน 17,729 ชิ้น คิดเป็น 0.51% ของยอดวางแผนผลิตทั้งหมด ซึ่งเมื่อพิจารณาแนวโน้มสัดส่วนของเสียในแต่ละเดือน พบว่าของเสียมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ปัญหาของเสียที่เกิดขึ้น ส่งผลให้เกิดปัญหาในด้านต่าง ๆ ตามมา ทั้งการส่งงานล่าช้า การแทรกงานในการผลิต การเพิ่มต้นทุนการผลิต การกำจัดของเสีย รวมทั้งข้อร้องเรียน ต่าง ๆ เป็นต้น เมื่อพิจารณาถึงแหล่งที่เกิดของเสีย พบว่า จากจำนวนของเสีย 17,729 ชิ้น หน่วยงานอัดขึ้นรูปเป็นหน่วยงานที่เกิดของเสียมากที่สุด มีของเสียจำนวน 11,032 ชิ้น ซึ่งคิดเป็น 62.2% ของเสียทั้งหมด

ในการบริหารงานของบริษัทตัวอย่าง ได้มีการแบ่งหน้าที่รับผิดชอบในการผลิตดิสก์เบรกออกเป็น 3 หน่วยงาน ได้แก่ หน่วยงานเคมี หน่วยงานอัดขึ้นรูป หน่วยงานฝนตกแต่ง โดยในการผลิตนั้นจะมีแผนกประกันคุณภาพที่คอยควบคุมการผลิต โดยมีการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) เพื่อจัดทำแผนการควบคุมคุณภาพ (Control Plan) เพื่อใช้ในการตรวจสอบหน่วยงานอัดขึ้นรูปเป็นหน่วยงานที่ทำหน้าที่ให้เคมีที่ถูกผสมแล้วและแผ่นเหล็กเกิดการยึดติดกัน รวมทั้งทำให้เคมีต่าง ๆ เกิดปฏิกิริยากลายเป็นวัสดุที่มีความขัด มีสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เหมาะ

สำหรับการเบรก โดยมีกระบวนการที่สำคัญที่สุด คือกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน เป็นกระบวนการที่นำเอาเคมีที่ถูกอัดตัวเป็นก้อนจากกระบวนการก่อนหน้าคือกระบวนการอัดขึ้นรูปเย็น กับแผ่นเหล็กที่ถูกทำความสะอาดด้วยการยิงทรายและพ่นกาว อัดด้วยแรงดัน ความร้อนและเวลาที่เหมาะสม เพื่อให้ผ้าเบรกและแผ่นเหล็กติดกัน รวมทั้งการเกิดปฏิกิริยาของเคมี เป็นกระบวนการหลักที่กำหนดคุณสมบัติของผ้าเบรก [3] แต่ในปัจจุบันการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบของทางบริษัทยังไม่ได้มีการศึกษาอย่างละเอียดถึงความผิดพลาดหรือของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนกับประสิทธิภาพของดิสก์เบรกที่ผู้ใช้งานจะได้รับ

ในการผลิตดิสก์เบรกนั้นจะมีเกรดเคมีหรือส่วนผสมของเคมีที่แตกต่างกันไป เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการเบรกที่เหมาะกับการใช้งานที่แตกต่างกัน ปัจจุบัน เกรดเคมี B เป็นสินค้าที่มีประสิทธิภาพการเบรกที่ดีที่สุด และยังมีราคาขายที่สูง ซึ่งเมื่อพิจารณายอดการร้องเรียนในเดือนมกราคม – มิถุนายน ปีพ.ศ. 2562 พบว่ามีการร้องเรียนสินค้าทั้งหมด 762 รายการ จำนวน 861 ชุด เกรดเคมี B มีการร้องเรียน 119 รายการ จำนวน 121 ชุด คิดเป็น 14% ซึ่งเมื่อพิจารณาการผลิตดิสก์เบรกเกรดเคมี B พบว่ามีการผลิตมากเป็นอันดับที่ 4 มีการผลิตทั้งหมด 397,147 ชิ้น คิดเป็น 11% ของการผลิตทั้งหมด มีของเสียทั้งหมด 1,423 ชิ้น คิดเป็นสัดส่วนของเสีย 0.36% ซึ่งน้อยกว่าสัดส่วนเฉลี่ยของการผลิตทั้งหมด 0.51% แสดงว่า การตรวจพบของเสียดิสก์เบรกเกรดเคมี B ยังไม่ดีพอ ทำให้ชิ้นงานที่ไม่ได้ตามมาตรฐานหลุดถึงมือลูกค้า

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนเกรดเคมี B ในหน่วยงานอัดขึ้นรูปกับประสิทธิภาพการเบรก โดยการใช้เทคนิคการแปลหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) และใช้เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) เพื่อปรับปรุงระบบควบคุมคุณภาพและลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อปรับปรุงกระบวนการควบคุมคุณภาพในการผลิตดิสก์เบรก ในหน่วยงานอัดขึ้นรูป โดยใช้เทคนิคการแปลหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) และเทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA)

สมมติฐานการวิจัย

การควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพและประสิทธิภาพการเบรกของดิสก์เบรก ในกระบวนการพิมพ์ร้อน เพื่อปรับปรุงระบบควบคุมคุณภาพ

ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการศึกษาเฉพาะกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน ในหน่วยงานอัดขึ้นรูป และกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของแผนกประกันคุณภาพในการผลิตดิสก์เบรกของโรงงานตัวอย่างเท่านั้น

2. ศึกษาปัญหาและผลกระทบที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเบรกและความพึงพอใจของลูกค้า

3. ศึกษาความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการเบรก คุณสมบัติดิสก์แบรกและกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนด้วยเทคนิค QFD ของเกรดเคมี B เท่านั้น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. สามารถทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการผลิตและคุณภาพของชิ้นงานที่ลูกค้าจะได้รับ

2. สามารถวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ เพื่อลำดับความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพในกระบวนผลิต

3. สามารถปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดข้อบกพร่องได้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

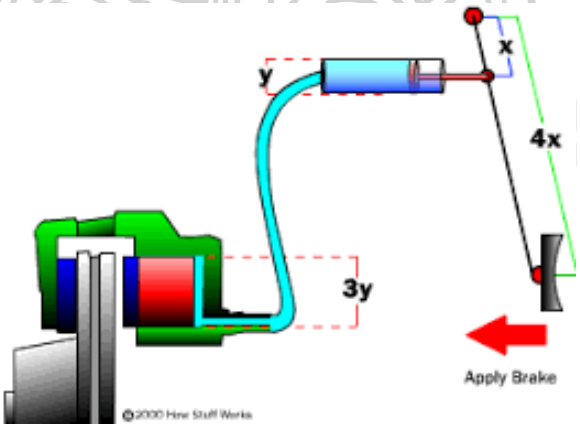
การวิจัยนี้ได้ศึกษาในเรื่องของข้อมูลทั่วไปของผ้าเบรก เทคนิคการแปลหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) เทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis: FMEA) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลทั่วไปของผ้าเบรก

ระบบเบรก คือ ระบบที่ช่วยชะลอและหยุดการเคลื่อนที่ของยานพาหนะต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น รถจักรยานยนต์ รถยนต์ รถบรรทุก หรือแม้กระทั่งเครื่องบิน โดยการเปลี่ยนจากพลังงานจลน์เป็นพลังงานความร้อน

1. หลักการทำงานของเบรก

การเบรกนั้นต้องให้แรงที่ใช้ในการเบรกที่มากกว่าแรงที่รถกำลังเคลื่อนที่ ทำให้ในระบบเบรกมีการนำสองหลักการเข้ามาช่วยในการเพิ่มแรงที่เท้าเยียบแป้นเบรก ได้แก่ หลักการของคานและ ไฮโดรลิก



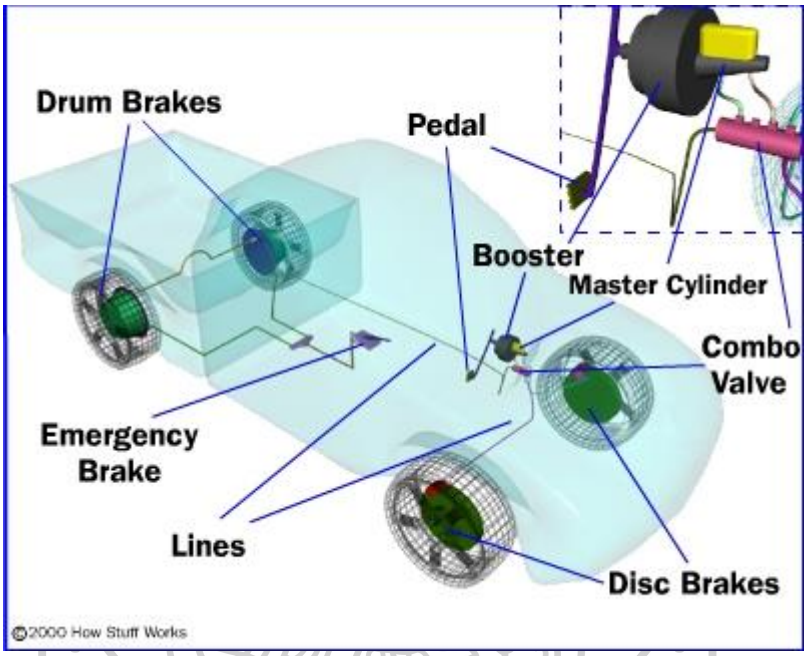
รูปที่ 1 การประยุกต์ใช้หลักการของคานและไฮโดรลิกในระบบเบรก

จากรูปที่ 1 เมื่อมีการเหยียบแป้นแบรกเป็นการให้แรงกับระบบเบรก (Apply Brake) จากหลักการของคาน เมื่อระยะทางจากจุดหมุนถึงแป้นเบรก 4x ซึ่งมากกว่าระยะทางจากจุดหมุนถึงลูกสูบ x อยู่ 4 เท่า ทำให้แรงที่ลูกสูบได้รับเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่า ซึ่งเมื่อขยายแรงต่อด้วยหลักการของไฮโดรลิก ที่ลูกสูบเบรกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3y ซึ่งมากกว่าลูกสูบที่แป้นเบรกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง y อยู่ 3 เท่า

ทำให้พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบทั้งสองต่างกันอยู่ 9 เท่า ทำให้แรงที่ลูกสูบแป้นเบรกมีการขยายเพิ่มขึ้นอีก 9 เท่า ทำให้เมื่อรวมกันทั้งระบบแล้ว แรงที่ให้กับระบบเบรกด้วยการเหยียบแป้นเบรกถูกขยายเพิ่มขึ้นเป็น 36 เท่าที่บริเวณจานเบรก

2. องค์ประกอบของระบบเบรก

ระบบเบรกภายในรถยนต์นั้น จะมีองค์ประกอบหลัก ๆ ได้แก่



รูปที่ 2 อุปกรณ์และระบบเบรกภายในรถยนต์

2.1 แป้นเบรก (Pedal) เป็นอุปกรณ์ที่ติดไว้ภายในห้องโดยสารรถ มีหน้าที่เพื่อรับแรงที่ผู้ขับขี่กระทำกับแป้นเบรก และส่งต่อไปยังหม้อลมเบรก

2.2 หม้อลมเบรก (Booster) เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มแรงกดที่มาจากแป้นเบรก ซึ่งภายในเป็นสุญญากาศ

2.3 วาล์วสุญญากาศ (Combo valve) เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้ระบบสุญญากาศเป็นไปในทิศทางเดียว ป้องกันแรงดันอากาศไหลย้อนกลับ

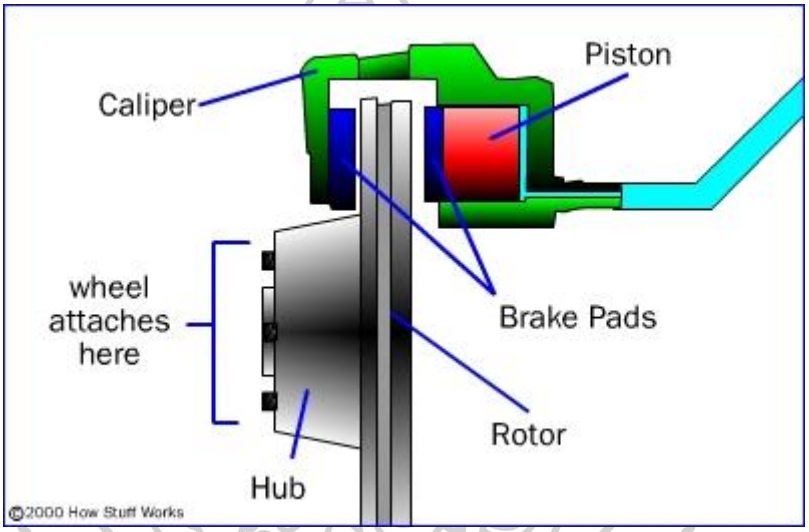
2.4 แม่ปั๊มเบรก (Master cylinder) เป็นอุปกรณ์ระบบไฮโดรลิกทำให้เกิดแรงดันสูง ซึ่งแรงดันที่เกิดขึ้นจะทำให้น้ำมันเบรกไหลไปตามท่อน้ำมันเบรก

2.5 น้ำมันเบรก (Brake Fluid) เป็นตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายทอดแรงจากแม่ปั๊มเบรกไปยังคาริเปอร์

2.6 ท่อน้ำมันเบรก (Brake Lines) เป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อจากแม่ปั๊มเบรกไปยังล้อทั้งสี่ของรถ ทำหน้าที่ให้น้ำมันเบรกไหลผ่านด้วยแรงดันสูง

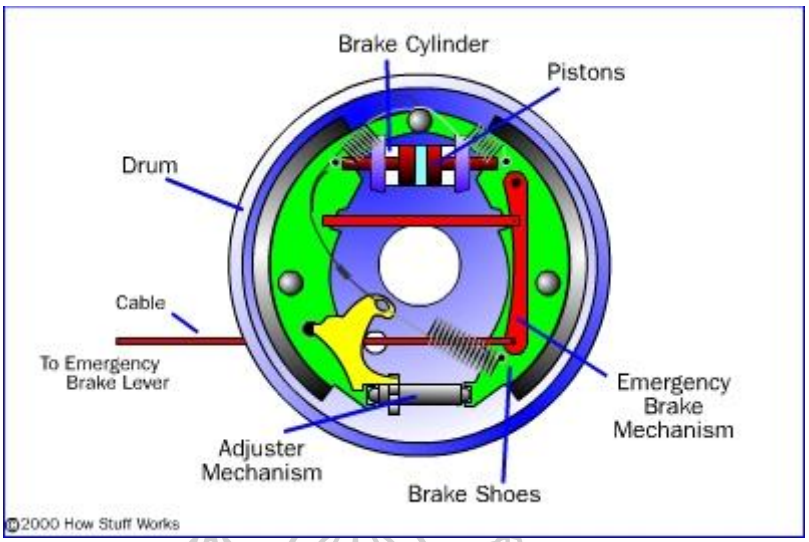
2.7 เบรก (Brake) ชุดของอุปกรณ์ที่ช่วยทำให้ทำให้เกิดการชะลอและหยุดของรถ ในปัจจุบันชนิดของเบรกมีด้วยกัน 2 ชนิด

2.7.1 ดิสก์เบรก (Disc brake) เมื่อน้ำมันเบรกที่มีแรงดันสูงถูกส่งผ่านมายังคาริปเปอร์ (Caliper) จะทำให้ผ้าเบรก (Brake Pads) ที่อยู่ทั้งสองฝั่งถูกประกบเข้าหาจานเบรก (Rotor) ซึ่งคุณสมบัติเสียดทานของผ้าเบรกทำให้จานเบรกมีความเร็วลดลงและหยุดในที่สุดเช่นเดียวกับรถ



รูปที่ 3 ระบบเบรกประเภทดิสก์เบรก

2.7.2 ดรัมเบรก (Drum Brake) เมื่อน้ำมันเบรกที่มีแรงดันสูงถูกส่งผ่านมายังกระบอกเบรก (Brake cylinder) จะทำให้ลูกสูบเบรก (Pistons) ดันก้ามเบรก (Brake Shoes) ออกทั้งสองด้าน คุณสมบัติเสียดทานของก้ามเบรกทำให้เมื่อสัมผัสกับจานดรัมเบรก (Drum) ที่มีความเร็วอยู่นั้นมีความเร็วลดลงและหยุดลงในที่สุด [4]



รูปที่ 4 ระบบเบรกประเภทดรัมเบรก

3. ประเภทเนื้อผ้าเบรก

ดิสก์เบรกและดรัมเบรกมีองค์ประกอบหลัก ๆ อยู่ด้วยกันทั้งหมด 3 ส่วน ได้แก่ แผ่นเหล็ก , เนื้อผ้าเบรก และกาวสำหรับยึดเนื้อผ้าเบรกและเหล็กเข้าด้วยกัน ซึ่งตัวเนื้อผ้าเบรกจะมีคุณสมบัติเป็นวัสดุเสียทาน (Friction Materials) สำหรับจับกับจานเบรกเพื่อทำให้รถหยุด ซึ่งความสามารถและประสิทธิภาพของผ้าเบรกโดยหลักแล้วมาจากเนื้อเคมีที่เป็นองค์ประกอบของเนื้อผ้าเบรก ซึ่งสามารถแบ่งองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อผ้าเบรกได้เป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ สารยึด (Binder), ไฟเบอร์ (Fibers), สารขัดถู (Abrasive), สารเติมเต็ม (Mineral Fillers) และ สารหล่อลื่น (Lubricants) ซึ่งสารเคมีเหล่านี้จะถูกออกแบบให้ใช้ในปริมาณที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสูตร (Formula) ที่มีการออกแบบเพื่อตอบสนองการใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ โดยปัจจุบันชนิดของเนื้อผ้าเบรกที่นิยมใช้กันมีอยู่ทั้งหมด 4 แบบ ได้แก่

3.1 โลหะ (Metallic) เป็นกลุ่มที่มีการใช้เส้นใยเหล็กเป็นองค์ประกอบหลักของโครงสร้างพื้นฐานและแสดงคุณสมบัติเสียดทานบางส่วน มีความปลอดภัยต่อระบบทางเดินหายใจสูง สามารถทนต่อสภาพการใช้งานที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากมีการระบายความร้อนได้เร็ว แต่มีข้อเสียคือเกิดเสียงขณะใช้งานและเกิดฝุ่นดำ

3.2 สารอินทรีย์ (Non Asbestos Organic: NAO) เป็นกลุ่มที่ใช้ใยสังเคราะห์ชนิดอโลหะเป็นองค์ประกอบหลักของโครงสร้างพื้นฐานและแสดงคุณสมบัติเสียดทาน มีน้ำหนักเบาและ

สามารถควบคุมการเกิดเสียงขณะใช้งานได้ดีกว่าเนื้อผ้าเบรกประเภทโลหะ แต่ให้แรงเสียดทานที่น้อยกว่า ทนต่อสภาพการใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ไม่ดีนัก เนื่องจากมีการระบายความร้อนที่ไม่ดี โดยส่วนมากจำเป็นต้องผสมเคมีหลายชนิดเข้าด้วยกันและใยสังเคราะห์บางตัวที่ไม่ใช่แร่ใยหิน (Asbestos) ยังคงมีอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ

3.3 กึ่งโลหะ (Semi – Metallic) เป็นประเภทเนื้อผ้าเบรกที่พัฒนามาจากประเภทสารอินทรีย์ ซึ่งมีการผสมผงคาร์บอน (Carbon Steel Fiber) และเรซิน (Resin) ทำให้มีการทนความร้อนได้มากขึ้น ลดอัตราการสึกของผ้าเบรก และไม่ทำให้เกิดคราบเขม่าดำ

3.4 เซรามิค (Ceramic) มีองค์ประกอบหลักเป็น อะราไมด์ (Aramide Fiber) มีการผสมด้วยทองแดง จึงทำให้มีอัตราการสึกของผ้าเบรกต่ำ สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี เสียงเงียบกว่า แต่มีความเสียทานต่ำกว่าเนื้อผ้าเบรกชนิดอื่น [5, 6]

4. ประสิทธิภาพการเบรก

4.1 สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction coefficient: μ) คุณสมบัติที่สำคัญของผ้าเบรกที่สุดคือความปลอดภัยในการใช้งานของผู้ขับขี่ ซึ่งตัวชี้วัดที่จะระบุถึงประสิทธิภาพในการเบรกได้นั้นคือสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน สัมประสิทธิ์เสียดทานคือคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุแต่ละชนิด ยิ่งมีค่ามากจะยิ่งมีความฝืดสูง ทำให้สามารถลดความเร็วของรถได้ดี แต่ในขณะเดียวกัน หากมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่มากเกินไป ก็จะทำให้ความเร็วลดลงอย่างรวดเร็ว เกิดการหยุดอย่างกระทัน และอาจจะเกิดอาการล้อล็อคที่เป็นสาเหตุทำให้รถไถล ดังนั้นสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจึงต้องมีการออกแบบให้สอดคล้องกับการใช้งานของรถแต่ละชนิด โดยการทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสามารถทำได้หลายวิธี เช่น

ทดสอบไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) เป็นการจำลองการใช้งานผ้าเบรกที่ความเร็ว, ความดันในการเบรกและอุณหภูมิที่แตกต่างทำให้ได้สัมประสิทธิ์การใช้งานที่ครอบคลุมการใช้งานรูปแบบต่าง ๆ ทั้งการใช้ความเร็วต่ำ ความเร็วสูง การเบรกกะทันหัน รวมถึงการใช้งานที่อุณหภูมิสูงที่เสี่ยงกับการเกิดเฟด (Fade) และการฟื้นตัวของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Recovery) หลังจากผ่านการใช้งานที่อุณหภูมิสูงหรือหลังการเกิดเฟด การทดสอบไดนาโมมิเตอร์จึงถือเป็นการทดสอบประสิทธิ์ภาพการเบรกที่ใกล้เคียงการใช้งานจริงมากที่สุด แต่มีข้อจำกัดคือค่าใช้จ่ายในการทดสอบสูงและใช้เวลานาน

ทดสอบ Chase (Chase Test) เป็นการทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของเนื้อผ้าเบรก โดยการตัดเนื้อผ้าเบรกออกเป็นขนาดประมาณ 1 x 1 นิ้ว นำไปหมุนบนเครื่องที่มีการควบคุมอุณหภูมิ ความเร็วในการหมุน จำนวนรอบในการหมุน และ อุณหภูมิให้มีการเพิ่มขึ้นทุก 50 องศาเซลเซียล สามารถระบุความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่อุณหภูมิแต่ต่างกันได้ แต่มีข้อจำกัดคือความเร็วและแรงที่ใช้ในการกดชิ้นงานจะมีการกำหนดคงที่

4.2 อัตราการสึก (Wear) เนื่องจากการใช้งานของผ้าเบรกที่จะต้องมีการเสียดสีกันของจานเบรกและผ้าเบรก ทำให้ทั้งผ้าเบรกและจานเบรกเกิดการสึกขึ้น โดยอัตราการสึกของผ้าเบรกและจานเบรกสามารถหาได้จากน้ำหนักหรือความหนาที่หายไปของผ้าเบรกและจานเบรกเทียบกับระยะทางเมื่อผ่านการใช้งานหรือการทดสอบ ซึ่งอัตราการสึกของผ้าเบรกสามารถนำมาคำนวณเพื่อหาอายุการใช้งานของผ้าเบรกได้ นอกจากนั้นอัตราการสึกของผ้าเบรกยังเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเกิดฝุ่นของผ้าเบรก เนื่องจากฝุ่นของผ้าเบรกคือเนื้อผ้าเบรกที่เกิดจากการเสียดสีและหลุดออกมา ดังนั้นยิ่งอัตราการสึกมาก อายุการใช้งานของผ้าเบรกก็ต่ำและมีการเกิดฝุ่นสูง

4.3 เสียง (Noise) เสียงที่เกิดขึ้นจากการใช้งานของผ้าเบรกไม่ได้สื่อถึงความปลอดภัยหรือประสิทธิ์ภาพของการเบรก แต่ส่งผลทางด้านจิตใจของผู้ใช้งาน การเกิดเสียงทำให้ผู้ใช้งานรู้สึกถึงความผิดปกติของการเบรก และเกิดความความรู้สึกไม่ปลอดภัยกับการขับขี่ ดังนั้นเรื่องการเกิดเสียงจึงเป็นอีกเรื่องที่สำคัญในการออกแบบผ้าเบรก การทดสอบเรื่องเสียงก็สามารถทำได้หลากหลายวิธี ซึ่งในการทดสอบไดนาโมมิเตอร์ก็ยังสามารถวัดการเกิดเสียงได้อีกด้วย โดยจะได้ออกมาเป็นจำนวนครั้งในการเกิดเสียงในช่วงความถี่เสียงต่าง ๆ

4.4 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties Test) เป็นการตรวจสอบเพื่อวัดคุณสมบัติทั่วไปของผ้าเบรก เช่น ความหนา (Thickness) ขนาดและรูปร่าง (Shape and Size) ความแข็งแรง (Hardness) ความหนาแน่น (Specific Gravity Density: SG) การอัด (Compression) ความพรุน (Porosity) เป็นต้น [5, 7, 8]

เทคนิคการแปลหน้าที่เชิงคุณภาพ

เทคนิคการแปลหน้าที่เชิงคุณภาพ(Quality Function Deployment: QFD) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการเข้าใจการถึงความต้องการของลูกค้าและตลาดเป้าหมาย มุ่งเน้นให้เกิดการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้า รวมถึงการออกแบบกระบวนการเพื่อผลิตสินค้าและการควบคุมคุณภาพให้ได้ตามที่ต้องการ

1. จุดประสงค์ในการทำ QFD

1.1. เพื่อใช้ในการออกแบบหรือพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยเน้นที่การตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างถูกต้อง

1.2. เพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นในการในการออกแบบผลิตภัณฑ์ ทั้งในด้านของระยะเวลาการออกแบบ ต้นทุนที่ใช้ และความเสี่ยงในการออกแบบผลิตภัณฑ์

1.3. เพื่อช่วยพัฒนาผลิตภัณฑ์ดำเนินไปในทิศทางที่ถูกต้อง

1.4. เพื่อช่วยรวบรวมข้อมูลของลูกค้าได้อย่างเป็นระบบ ทั้งในด้านความต้องการและความพึงพอใจของลูกค้า

1.5. เพื่อช่วยให้บุคลากรภายในองค์กรเห็นภาพรวมของการทำงาน และเข้าใจความต้องการของลูกค้าได้ดีขึ้น

1.6. เพื่อช่วยสร้างและจัดการโครงสร้างภายในองค์กรได้ง่ายขึ้น เนื่องจากต้องมีการปฏิสัมพันธ์กับลูกค้าในการรวบรวมข้อมูล เพื่อให้การทำงานของฝ่ายต่าง ๆ ไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งฝ่ายผลิต ฝ่ายการตลาด และฝ่ายวิจัยและพัฒนา

2. การประยุกต์ใช้เทคนิค QFD

การประยุกต์ใช้เทคนิค QFD นิยมใช้กัน 3 รูปแบบ ได้แก่

2.1. แบบสี่ช่วง (Four - Phase Approach หรือ Four - Phase Model) เป็นการใช้อนุกรมของเมตริกซ์ 4 ชั้น เพื่อให้ครอบคลุมช่วงการดำเนินการที่สำคัญในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ เป็นรูปแบบที่นิยมใช้งานมากที่สุดเนื่องจากสามารถเข้าใจได้ง่ายและมีความคล่องตัวสูง

2.2. แบบ Matrix Approach เป็นรูปแบบดั้งเดิมที่ใช้ในประเทศญี่ปุ่น คิดค้นโดย Yoji Akao ตัวโมเดลมีขนาดใหญ่และเข้าใจได้ยาก เป็นการเชื่อมโยงเทคนิคอื่น ๆ ด้วย ส่วนใหญ่จะใช้งานในลักษณะของระบบเมตริกซ์ 30 เมตริกซ์

2.3. แบบ Integrated QFD Approach เป็นโมเดลที่สร้างขึ้นตามขั้นตอนในการพัฒนาสินค้าและผลิตภัณฑ์ใหม่ มีระเบียบวิธีและขั้นตอนที่ตายตัว รวมกิจกรรมการดำเนินงานกิจกรรมทางธุรกิจรวมทั้งการรีเอ็นจิเนียริ่งไว้ในโมเดลด้วย เริ่มตั้งแต่การแปรความต้องการลูกค้า การพัฒนาแผนการปฏิบัติงาน การกำหนดเป้าหมาย ไปจนถึงความต้องการด้านโรงงานผลิตและการปฏิบัติในการดำเนินงาน

3. ขั้นตอนการทำ QFD แบบสี่ช่วง

ขั้นตอนที่ 1 Understanding the Customer เป็นขั้นตอนในการสำรวจและรวมรวบข้อมูลความต้องการของลูกค้า โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1) กำหนดกลุ่มของลูกค้าและคุณลักษณะหรือพฤติกรรมของกลุ่มลูกค้า

1.2) จัดกลุ่มลูกค้าและลำดับความสำคัญ

ขั้นตอนที่ 2 Capturing and Analyzing the Voice เป็นขั้นตอนในการนำข้อมูลความต้องการของลูกค้ามาวิเคราะห์เพื่อแปลความหมายเป็นความต้องการทางเทคนิค โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1) ทำความเข้าใจเสียงของลูกค้า (Voice of Customer: VOC)

2.2) พิจารณาถึงความต้องการของลูกค้า โดยเฉพาะในด้านของประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้คุณภาพที่ลูกค้าต้องการ (Demanded Qualities) จัดลำดับความสำคัญและระดับความพึงพอใจในปัจจุบันของลูกค้า

2.3) แปลงความต้องการของลูกค้าเป็นความต้องการทางเทคนิคที่สามารถวัดและเข้าใจได้

ขั้นตอนที่ 3 Translating Demand of Quality into Performance Measures เป็นขั้นตอนการแปลงจากความต้องการทางเทคนิคเป็นความต้องการเชิงคุณสมบัติทางด้านส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ จัดลำดับความสำคัญเชิงคุณสมบัติ

ขั้นตอนที่ 4 Choosing the Best Concept เป็นขั้นตอนที่แปลความต้องการเชิงคุณสมบัติทางด้านส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์เป็นความต้องการทางกระบวนการ

4.1) ทำการเปรียบเทียบเพื่อกำหนดแนวทางที่เหมาะสม

4.2) พิจารณาประกอบด้วยเป้าหมายด้านต้นทุน

4.3) เลือกแนวทางที่ดีที่สุด และทำการกำหนดคุณสมบัติทางด้านส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับกระบวนการผลิต

4.4) กำหนดคุณสมบัติทางด้านกระบวนการผลิตที่เป็นไปได้

ขั้นตอนที่ 5 Translating Performance Measures into Manufacturing Conditions เป็นขั้นตอนการวางแผนและกำหนดวิธีการในการควบคุมความต้องการหรือคุณสมบัติทางด้านกระบวนการ

5.1) สร้างความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางด้านส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์กับคุณสมบัติทางด้านกระบวนการผลิต โดยอาศัยความรู้ในกระบวนการผลิต

5.2) ผลลัพธ์ที่ได้อาจอยู่ในรูป Quality Control System และ Procedures เป็นต้น

4. เทคนิคการแปลหน้าที่การทำงานเชิงคุณภาพแบบสี่ช่วง

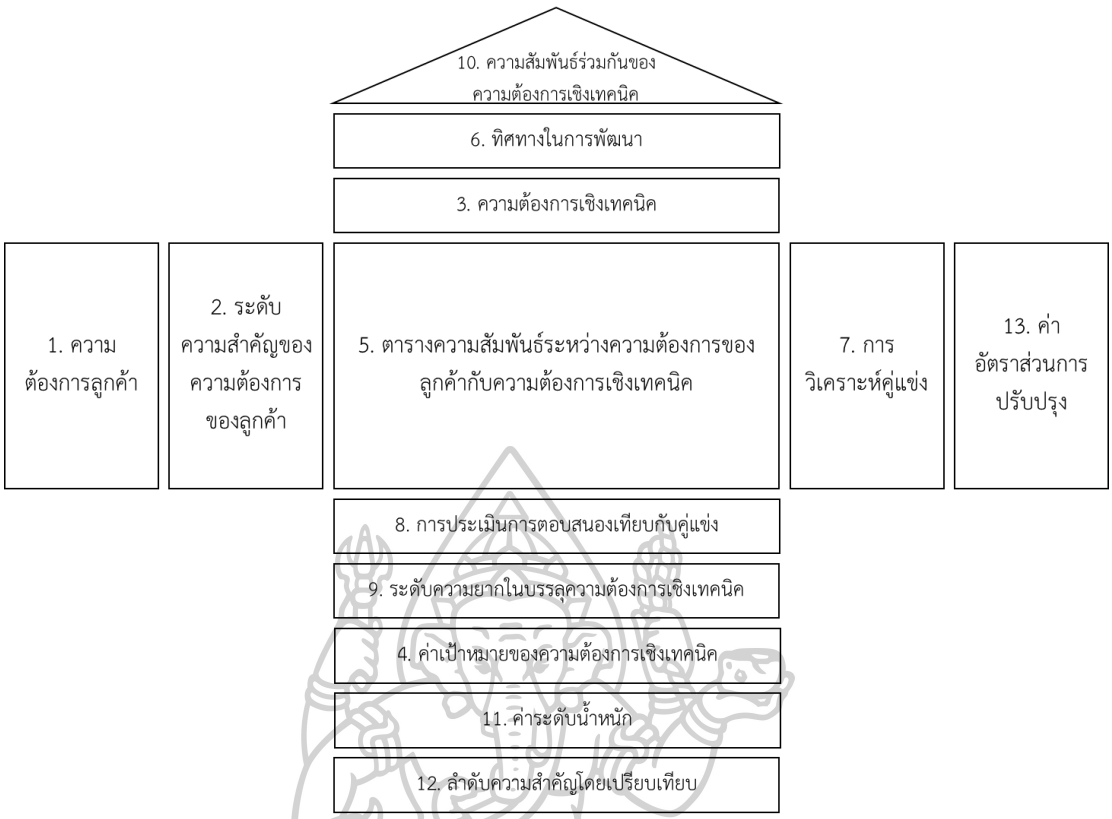
เทคนิคการแปลหน้าที่การทำงานเชิงคุณภาพแบบสี่ช่วง สามารถแสดงโครงสร้างพื้นฐานซึ่งประกอบด้วยเมตริกซ์จำนวน 4 เมตริกซ์ รายละเอียดของแต่ละเมตริกซ์ มีดังนี้

Phase 1: การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning Matrix)

เป็นการแปลความต้องการของลูกค้า (Customer Requirements) ให้เป็นความต้องการทางเทคนิค (Technical Requirements) ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วน ได้แก่

ข้อมูลในแนวนอน เป็นข้อมูลที่ได้จากการสำรวจจากทางลูกค้า

ข้อมูลในแนวตั้ง เป็นข้อมูลเชิงเทคนิคที่ได้ทำการสำรวจจากทีมงาน



รูปที่ 5 เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์

1.) ความต้องการลูกค้า (Customer Requirements) ข้อมูลนี้ได้มาจากการสำรวจลูกค้า นำมาจัดกลุ่ม และตีความ

2.) ระดับความสำคัญของความต้องการของลูกค้า (Customer Important Rating) เป็นการระบุความสำคัญของความต้องการของลูกค้าเมื่อเปรียบเทียบกันในแต่ละข้อว่ามีความสำคัญในระดับใด

3.) ความต้องการเชิงเทคนิค (Technical Requirements) เป็นการแปลความหมายจากความต้องการของลูกค้าเป็นความต้องการทางเทคนิคที่ทำให้ภายในองค์กรสามารถเข้าใจตรงกันได้

4.) ค่าเป้าหมายของความต้องการเชิงเทคนิค (Operational Goals of Technical Requirements) ค่าเป้าหมายความต้องการทางเทคนิคที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ สามารถวัดค่าได้ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

5.) ตารางความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้ากับความต้องการเชิงเทคนิค (Relationship between Customer Requirements and Technical Requirements) เป็นการกำหนดตัวเลขหรือสัญลักษณ์ เพื่อระบุความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างความต้องการของลูกค้ากับความต้องการเชิงเทคนิค โดยลำดับ โดยที่

◎ เลข 9 หรือ Strong relationship หมายถึง มีความสัมพันธ์อย่างมาก

○ เลข 3 หรือ Moderate relationship หมายถึง มีความสัมพันธ์ปานกลาง

△ เลข 1 หรือ Weak relationship หมายถึง มีความสัมพันธ์น้อย

ช่องว่าง หรือ No relationship หมายถึง ไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์สามารถวิเคราะห์ได้จากการตั้งถามว่า “หากเราสามารถควบคุม (ความต้องการทางเชิงเทคนิค) ได้ จะส่งผลต่อ (ความต้องการของลูกค้า) อย่างไร?”

6.) ทิศทางในการพัฒนา (Movement of Target Level) คือ การกำหนดทิศทางในการ เคลื่อนไหวของตัวเป้าหมายว่าจะมีเป็นไปในลักษณะใด 3 ลักษณะดังนี้

↓ แนวโน้มค่าเป้าหมายปรับลดลง หมายถึงหากสามารถลดค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ได้ก็ยิ่งดี

○ แนวโน้มค่าเป้าหมายคงที่ หมายถึงเป้าหมายที่ตั้งไว้ดีอยู่แล้ว หากสามารถทำได้ตามเป้าหมายนี้ก็สามารถที่จะตอบสนองต่อความต้องการผู้ใช้งานได้ในเกณฑ์เหมาะสมและเพียงพอ

↑ แนวโน้มต้องปรับค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้น หมายถึงหากสามารถเพิ่มค่าเป้าหมายที่ตั้งได้ก็ยิ่งดี

7.) การวิเคราะห์คู่แข่ง (Competitive Evaluation) ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

การประเมินระดับความพึงพอใจของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันเปรียบเทียบกับคู่แข่ง (Competitive Assessments) คือ การให้ลูกค้าประเมินความพึงพอใจกับผลิตภัณฑ์ โดยใช้ 1-5 ในการประเมิน เปรียบเทียบกับการประเมินเทียบกับคู่แข่ง

ค่าเป้าหมายในการตอบสนองความต้องการของลูกค้า (Customer Requirements Goal) คือ การใช้สเกล 1-5 เพื่อตั้งเป้าหมายเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าเทียบกับคู่แข่ง

8.) การประเมินระดับการตอบสนองของความต้องการเชิงเทคนิคต่อความพึงพอใจของลูกค้าเทียบกับคู่แข่ง (Competitive Technical Assessments) เป็นการคะแนน 1-5 ที่ทีมงานประเมินความสามารถในการตอบสนองเชิงเทคนิคของบริษัทเทียบกับคู่แข่ง

9.) ระดับความยากในการบรรลุความต้องการทางเทคนิค (Degree of Organization Difficulty) เป็นการพิจารณาของทีมงานที่ระบุถึงความยากของการพัฒนาความต้องการเชิงเทคนิคให้บรรลุผล

10.) ตารางแสดงความสัมพันธ์ร่วมกันของความต้องการเชิงเทคนิค (Co-relationship of Technical Requirements) เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความต้องการเชิงเทคนิคด้วยกันเอง โดยมีสัญลักษณ์แทนความสำคัญดังนี้

+ มีความสัมพันธ์แบบเสริมกัน

- มีความสัมพันธ์แบบขัดแย้ง

O หรือ Strong แสดงว่าข้อกำหนดทั้งสองมีความสัมพันธ์กันมาก

X หรือ Weak แสดงว่าข้อกำหนดทั้งสองมีความสัมพันธ์กันน้อย

11.) ค่าระดับน้ำหนัก (Column weights) เป็นการหาสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของความ ต้องการเชิงเทคนิคในแต่ละตัว สามารถคำนวณได้จาก

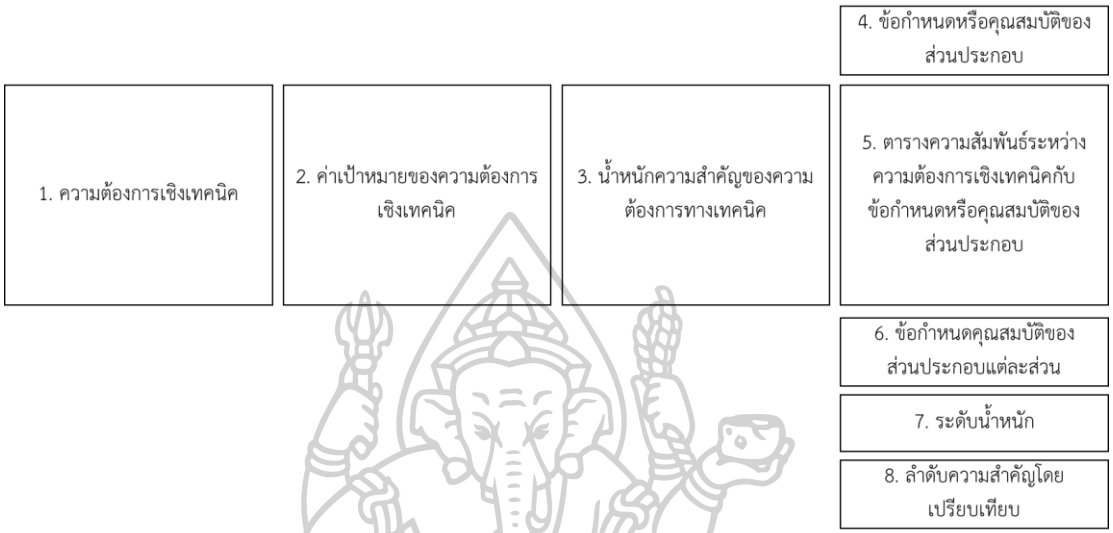
ค่าระดับน้ำหนัก = ∑ ความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้ากับความต้องการเชิงเทคนิค X ความสำคัญของความต้องการของลูกค้า

12.) ลำดับความสำคัญโดยเปรียบเทียบ (Technical Importance Relative Weight) การหาสัดส่วนค่าน้ำหนักของแต่ละความต้องการทางเทคนิคออกมาในรูปแบบของร้อยละ

13.) ค่าอัตราส่วนการปรับปรุง (Improvement Ratio) เป็นเป้าหมายในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า โดยได้มาจากการเปรียบเทียบสัดส่วนระดับค่าเป้าหมาย ต่อค่าที่ได้จากการประเมินระดับความพึงพอใจของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์ของบริษัทในปัจจุบัน

Phase 2: การออกแบบผลิตภัณฑ์ (Product Design Matrix)

เป็นการแปลความต้องการทางเทคนิค (Technical Requirements) ให้เป็นข้อกำหนดหรือคุณลักษณะของส่วนประกอบผลิตภัณฑ์ (Part Characteristics)



รูปที่ 6 เมตริกซ์การออกแบบ

1.) ความต้องการเชิงเทคนิค (Technical Requirements) ข้อมูลนี้ได้มาจากส่วนที่ 3 ของเมตริกซ์ที่ 1 ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลในส่วนนี้ จะต้องมีการย้อนกลับไปทำเมตริกซ์ที่ 1 อีกครั้ง

2.) ค่าเป้าหมายของความต้องการเชิงเทคนิค (Operational Goals of Technical Requirements) ข้อมูลนี้ได้มาจากส่วนที่ 4 ของเมตริกซ์ที่ 1 ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลในส่วนนี้ จะต้องมีการย้อนกลับไปทำเมตริกซ์ที่ 1 อีกครั้ง

3.) น้ำหนักความสำคัญของความต้องการทางเทคนิค (Technical Importance Weight) ข้อมูลนี้ได้มาจากส่วนที่ 12 ของเมตริกซ์ที่ 1 โดยแปลงจากสัดส่วนของร้อยละ เป็นสเกลระดับ 1-5

4.) ข้อกำหนดหรือคุณสมบัติของส่วนประกอบ (Part Characteristics Requirements) เป็นการแปลความหมายจากความต้องการทางเทคนิคเป็นข้อกำหนดหรือคุณสมบัติของส่วนประกอบ ได้มาจากการระดมสมองหรือการทำ FMEA โดยทีมงาน

5.) ตารางความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการเชิงเทคนิคกับข้อกำหนดหรือคุณสมบัติของส่วนประกอบ (Relationship between Technical Requirements and Part Characteristics Requirements) เป็นการกำหนดตัวเลขหรือสัญลักษณ์ เพื่อระบุความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างความต้องการทางเทคนิคและข้อกำหนดหรือคุณสมบัติของส่วนประกอบโดยลำดับ โดยที่ตัวเลขหรือสัญลักษณ์เช่นเดียวกันกับ ส่วนที่ 5 เมตริกซ์ที่ 1

6.) ข้อกำหนดคุณสมบัติของส่วนประกอบแต่ละส่วน (Part Specifications) เป็นการระบุค่าที่ต้องการหรือคุณสมบัติของแต่ละชิ้นส่วนแต่ละข้อ สามารถวัดค่าได้ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

7.) ระดับน้ำหนัก (Importance Weights) เป็นการหาสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดหรือคุณสมบัติของส่วนประกอบแต่ละตัว สามารถคำนวณได้จาก

ค่าระดับน้ำหนัก = ∑ ความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการเชิงเทคนิคกับข้อกำหนดหรือคุณสมบัติของส่วนประกอบ X น้ำหนักความสำคัญของความต้องการทางเทคนิค

8.) ลำดับความสำคัญโดยเปรียบเทียบ (Part Characteristics Requirements Importance Weights) การหาสัดส่วนค่าน้ำหนักของแต่ละข้อกำหนดหรือคุณสมบัติของส่วนประกอบออกมาในรูปแบบของร้อยละ

Phase 3 การวางแผนกระบวนการ (Process Planning Matrix)

เป็นการแปลข้อกำหนดหรือคุณสมบัติของส่วนประกอบ (Part Characteristics) ให้เป็นข้อกำหนดหรือคุณลักษณะทางด้านกระบวนการผลิต (Process Characteristics)

รูปที่ 7 เมตริกซ์การวางแผนกระบวนการ

1.) ข้อกำหนดหรือคุณสมบัติของส่วนประกอบ (Part Characteristics Requirements) ข้อมูลนี้ได้มาจากส่วนที่ 4 ของเมตริกซ์ที่ 2

2.) ข้อกำหนดคุณสมบัติของส่วนประกอบแต่ละส่วน (Part Specifications) ข้อมูลนี้ได้มาจากส่วนที่ 6 ของเมตริกซ์ที่ 2

3.) น้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดหรือคุณสมบัติของส่วนประกอบ (Part Characteristics Requirements Importance Weights) ข้อมูลนี้ได้มาจากส่วนที่ 8 ของเมตริกซ์ที่ 2 โดยแปลงจากสัดส่วนของร้อยละ เป็นสเกลระดับ 1-5

4.) คุณสมบัติของกระบวนการ (Process Characteristics) ได้จากการวิเคราะห์โดยทีมงาน ซึ่งสามารถแยกได้เป็นกระบวนการผลิตที่ดีอยู่แล้ว และกระบวนการใหม่สามารถปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น

5.) ความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดหรือคุณสมบัติทางด้านส่วนประกอบกับคุณสมบัติของกระบวนการ (Relationship between Part Characteristics Requirements and Process Characteristics) เป็นการกำหนดตัวเลขหรือสัญลักษณ์ เพื่อระบุความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างข้อกำหนดหรือคุณสมบัติทางด้านส่วนประกอบกับคุณสมบัติของกระบวนการโดยลำดับ โดยที่ตัวเลขหรือสัญลักษณ์เช่นเดียวกันกับ ส่วนที่ 5 เมตริกซ์ที่ 1

6.) ข้อกำหนดทางด้านกระบวนการ (Process specifications) เป็นการระบุค่าที่ต้องการเพื่อทำให้กระบวนการเป็นไปตามที่ต้องการ สามารถวัดค่าได้ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

7.) ระดับน้ำหนัก (Importance Weights) เป็นการหาสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดของกระบวนการแต่ละตัว สามารถคำนวณได้จาก

ค่าระดับน้ำหนัก = ∑ ความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดหรือคุณสมบัติทางด้านส่วนประกอบกับคุณสมบัติของกระบวนการ X น้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดหรือคุณสมบัติทางด้านส่วนประกอบ

8.) ลำดับความสำคัญโดยเปรียบเทียบ (Process Characteristics Requirements Importance Weights) การหาสัดส่วนค่าน้ำหนักของแต่ละคุณสมบัติทางด้านกระบวนการออกมาในรูปแบบของร้อยละ

Phase 4 การวางแผนการผลิต (Production Planning Matrix)

เป็นการนำคุณลักษณะทางด้านกระบวนการผลิต (Process Characteristics) มาออกแบบและกำหนดวิธีในการควบคุมการผลิต

1. คุณสมบัติของกระบวนการ	2. ระดับความสำคัญของคุณสมบัติของกระบวนการ	3. การประเมินการดำเนินการ	4. ความต้องการการวางแผน

รูปที่ 8 เมตริกซ์การวางแผนการผลิต

1.) คุณสมบัติของกระบวนการ (Process Characteristic) ข้อมูลนี้ได้มาจากส่วนที่ 4 ของเมตริกซ์ที่ 3

2.) ระดับความสำคัญของคุณสมบัติของกระบวนการ (Process Characteristics Requirements Importance Weights) ข้อมูลนี้ได้มาจากส่วนที่ 8 ของเมตริกซ์ที่ 3 โดยแปลงจากสัดส่วนของร้อยละ เป็นสเกลระดับ 1-5

3.) การประเมินการดำเนินการ (Operation Evaluation) ประเมินคุณสมบัติแต่ละข้อของกระบวนการ โดยใช้การให้คะแนน 1-5 ในหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

3.1) ความยากของการควบคุมกระบวนการ

3.2) ความถี่ของปัญหาที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

3.3) ความรุนแรงของปัญหาเมื่อเกิดขึ้น

3.4) ความสามารถในการตรวจจับ

4.) ความต้องการการวางแผน (Planning Requirements) ใช้สำหรับระบุปัจจัย เช่น การควบคุม การบำรุงรักษา การป้องกันความผิดพลาด และการฝึกอบรมที่ต้องการเมื่อทำการผลิตสินค้า ซึ่งในส่วนนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงบ่อยครั้ง เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงการผลิตที่ต่างชนิดกัน ความต้องการการวางแผนที่นำมาใช้กับคุณสมบัติของกระบวนการแต่ละข้อ ได้แก่

4.1) แผนภูมิควบคุม (Quality Control Chart) เป็นแผนภูมิที่ถูกเขียนเป็นเอกสารแยก ออกมา ใช้เพื่อกำหนดแผนสำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติของกระบวนการ

4.2) ตารางการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance Schedule) ใช้เพื่อป้องการถดถอยของประสิทธิภาพการทำงาน

4.3) การป้องกันการทำงานผิดพลาด (Mistake-proofing) การปรับปรุงกระบวนการเพื่อป้องกันการผิดพลาดหรือสามารถตรวจสอบได้ทันทีเมื่อเกิดขึ้น

4.4) การศึกษาและการฝึกอบรม (Education and Training) ควรถูกพิจารณาเมื่อมีการ เปลี่ยนแปลงวิธีการทำงาน

5. ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำ QFD

5.1. **ประโยชน์ที่ลูกค้าได้รับ**

5.1.1. ได้รับผลิตภัณฑ์ที่ตรงกับความต้องการของลูกค้ามากขึ้น

5.1.2. ลูกค้าได้มีส่วนร่วมในการพัฒนาออกแบบผลิตภัณฑ์

5.2. ประโยชน์ต่อองค์กร

5.2.1. การพัฒนาและออกแบบผลิตภัณฑ์เป็นไปในทิศทางที่ถูกต้อง

5.2.2. ลดขั้นตอนในการพัฒนาและออกแบบผลิตภัณฑ์

5.2.3. ลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการพัฒนาและออกแบบผลิตภัณฑ์

5.2.4. ช่วยในการวางแผนทางการตลาดและเข้าใจความต้องการของลูกค้าได้ดียิ่งขึ้น

5.2.5. ช่วยเสริมสร้างภาพลักษณ์ขององค์กรในด้านการใส่ใจลูกค้า

5.2.6. ช่วยให้เกิดการร่วมมือในการทำงานและลดปัญหาขัดแย้งภายในองค์กร

5.2.7. ช่วยให้ผลิตภัณฑ์และบริการต่าง ๆ พัฒนาไปอย่างมีคุณภาพ [9, 10]

เทคนิคเดลฟาย

เทคนิคเดลฟาย (Delphi Technique) เป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์เพื่อรวบรวมข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ มักใช้ในการวิเคราะห์และรวบรวมข้อมูลเพื่อแก้ปัญหาที่ยังไม่มีคำตอบอย่างชัดเจน การคาดคะเนเรื่องที่จะเกิดขึ้นในอนาคต หรือความรู้ใหม่ ๆ ผ่านการตอบคำถามด้วยแบบสอบถาม โดยผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านสามารถแสดงความคิดเห็นได้อย่างอิสระ ช่วยลดความขัดแย้ง และลดระยะเวลาในการทำงาน

กระบวนการวิจัยด้วยเทคนิคเดลฟาย

1. กำหนดประเด็นปัญหาของการวิจัย ควรเป็นประเด็นที่ยังไม่มีคำตอบที่ชัดเจน แนวโน้มหรือคำตอบที่เป็นเรื่องในอนาคต เพื่อให้วางแผนหรือตัดสินใจได้

2. คัดเลือกผู้เชี่ยวชาญ ผู้เชี่ยวชาญในการตอบแบบสอบถาม จำเป็นต้องมีประสบการณ์และความเชี่ยวชาญในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับประเด็นปัญหาของการวิจัย ยินดีตอบแบบสอบถามและสามารถติดต่อได้ตลอดการทำงานวิจัย

3. สร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูล เครื่องมือในเทคนิคเดลฟายคือแบบสอบถาม โดยจะทำการสอบถาม 2 - 4 รอบ ขึ้นอยู่กับผลการวิจัยที่ได้รับ โดยแต่ละรอบของการสอบถามจะมีคำถามที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งใช้เวลาแต่ละรอบไม่ควรเกิน 2 สัปดาห์ โดยคำถามในแต่ละรอบจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

รอบที่ 1 : แบบสอบถามแบบปลายเปิด (opened end) เป็นการสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนเพื่อให้ครอบคลุมปัญหาและประเด็นต่าง ๆ ของงานวิจัย เพื่อวิเคราะห์ผลและสังเคราะห์ผลในประเด็นต่าง ๆ เพื่อใช้ทำแบบสอบถามในรอบต่อไป

รอบที่ 2 : แบบสอบถามแบบมาตราส่วนประเมินค่า เป็นการรวบความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในแบบสอบถามรอบที่ 1 และทำให้เป็นแบบสอบถามมาตราส่วนประเมินค่า ส่งกลับไปยัง

ผู้เชี่ยวชาญกลุ่มเดิม เพื่อจัดลำดับความสำคัญของแต่ละข้อ รวมทั้งสามารถระบุเหตุผลที่เห็นด้วย ไม่เห็นด้วยและข้อเสนอแนะต่าง ๆ นำคะแนนที่ได้จากแบบสอบถามวิเคราะห์หาค่ามัธยฐาน ฐานนิยม และพิสัยระหว่างคลอไทด์ หรือค่า IR (Interquartile Range) โดยคำนวณจาก ผลต่างระหว่างควอไทน์ที่ 3 และ ควอไทน์ที่ 1 ถ้าหากพบว่าค่า IR น้อยแสดงว่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญค่อนข้างสอดคล้องกัน สามารถสรุปความได้ แต่หากค่า IR มาก แสดงว่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญค่อนข้างกระจัดกระจาย จะทำการส่งแบบสอบถามในรอบที่ 3

รอบที่ 3 : แบบสอบถามแบบมาตราส่วนประเมินค่า เป็นการพัฒนาคำตอบจากรอบที่ 2 โดยคำถามที่ใช้ในแบบสอบถามรอบที่ 3 จะใช้คำถามเช่นเดียวกันกับรอบที่ 2 แต่เพิ่มค่ามัธยฐานและค่า IR ลงไป ส่งกลับไปให้ผู้เชี่ยวชาญอีกครั้งเพื่อยืนยันคำตอบเดิมหรือเปลี่ยนแปลงคำตอบ และนำมาวิเคราะห์ค่ามัธยฐานและค่า IR เช่นเดียวกับรอบที่ 2 และหากค่า IR มีค่าน้อยก็สามารถสรุปความได้ แต่หากยังมีค่ามากก็จะทำการส่งแบบสอบถามในรอบที่ 4

รอบที่ 4 : แบบสอบถามแบบมาตราส่วนประเมินค่า ใช้แบบสอบถามเช่นเดียวกันกับรอบที่ 3 แต่เปลี่ยนค่ามัธย-ฐานและค่า IR เป็นผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในรอบที่ 3 ส่งแบบสอบถามให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินอีกครั้ง ทำวิเคราะห์ค่ามัธยฐานและค่า IR

4. สรุปและวิเคราะห์ผล หลังจากได้ข้อมูลที่สอดคล้องเมื่อพิจารณาค่ามัธยฐานและค่า IR แล้วจึงทำการสรุปคำตอบแต่ละประเด็น [11]

เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบต่อคุณภาพ

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบต่อคุณภาพ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) เป็นการวิเคราะห์ข้อบกพร่องที่เกิดจากการออกแบบผลิตภัณฑ์ กระบวนผลิต และการบริการ ที่อาจจะส่งผลต่อกระทบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทำการค้นหาสาเหตุของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นและกำหนดวิธีการตรวจสอบ บ่งชี้ เพื่อป้องกันการเกิดขึ้น โดยมีลักษณะการทำเป็นการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องต่าง ๆ และพิจารณาถึงความรุนแรง โอกาสที่จะเกิดขึ้น และความสามารถในการตรวจจับ โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดข้อบกพร่องเหล่านั้นลง ผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้จากการวิเคราะห์คือแผนปฏิบัติงาน เพื่อกำจัดหรือลดข้อบกพร่องทางกายภาพของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิต โดยคำนึงถึงลำดับก่อนหลังของความสำคัญของปัญหา

การดำเนินกิจกรรม FMEA นั้นเป็นการรวมมือและรวบรวมความรู้จากหลาย ๆ ฝ่ายเข้าด้วยกัน เช่น Design Engineer, Process Engineer, Test Engineer, Production, Maintenance, Quality Assurance และ Operators เป็นต้น การวิเคราะห์ FMEA นั้น เป็นการวิเคราะห์เพื่อป้องกันก่อนเกิดเหตุ แต่ปัญหาหรือข้อบกพร่องบางอย่างอาจจะเกิดขึ้นภายหลังการวิเคราะห์ ดังนั้น FMEA ควรที่จะได้มีการบันทึก ทบทวนและปรับปรุงอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เพื่อใช้เป็นเอกสารให้ผู้ที่เกี่ยวข้องรับทราบถึงความเสี่ยงต่าง ๆ

1. จุดมุ่งหมายของกิจกรรม FMEA

1.1. หยิบยกและพิจารณาปัญหาที่เกิดขึ้น รวมทั้งสาเหตุที่เกี่ยวข้องในการผลิตสินค้า

1.2. หาแนวทางในการขจัดหรือลดค่าความน่าจะเป็น หรือโอกาสที่จะเกิดปัญหาให้ลดลง

1.3. เป็นการบันทึกเอกสารในระบบการผลิต ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคต

2. รูปแบบการประยุกต์ใช้ FMEA

2.1. Process วิเคราะห์กระบวนการผลิตและประกอบ

2.2. Design วิเคราะห์สินค้าก่อนการผลิต

2.3. Equipment วิเคราะห์การออกแบบเครื่องจักรและอุปกรณ์ก่อนทำการจัดซื้อ

2.4. Service วิเคราะห์กระบวนการให้บริการ ก่อนที่จะมีผลกระทบต่อลูกค้า

3. ค่าความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN)

ดัชนีที่บ่งชี้ถึงความเสี่ยง สามารถคำนวณได้จากผลคูณของความรุนแรง โอกาสในการเกิดและความสามารถในการตรวจพบ (Severity X Occurrence x Detection) ถ้ามีค่า RPN สูง แปลว่ามีความเสี่ยงของข้อบกพร่องสูง ควรมีการให้ความสำคัญกับข้อบกพร่องนั้น เพื่อพิจารณาหาแนวทางแก้ไขเพื่อลดความเสี่ยง แต่ในบางกรณีถึงแม้ว่าค่า RPN มีค่าต่ำ แต่ระดับความรุนแรงของปัญหานั้นค่อนข้างมากหรือโอกาสเกิดสูงหรือการตรวจจับทำได้ยาก ในกรณีนี้ก็ควรให้ความสำคัญเช่นเดียวกัน

4. ลักษณะของแบบฟอร์มที่ใช้ประกอบการทำการวิเคราะห์ FMEA

เพื่อให้ง่ายและสะดวกต่อการจัดทำเอกสารในการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลที่ได้ แบบฟอร์มกระบวนการ FMEA จึงได้พัฒนาขึ้นโดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1. หมายเลข FMEA: ระบุหมายเลขเอกสาร FMEA ซึ่งอาจนำไปใช้ในการติดตามต่อไปภายหลัง

4.2. ชื่อและหมายเลข ระบบ ระบบย่อย หรือส่วนประกอบ: กรอกหมายเลขและชื่อของ ระบบ ระบบย่อย หรือส่วนประกอบที่ทำการวิเคราะห์

4.3. ความรับผิดชอบด้านกระบวนการ: ใส่ชื่อของฝ่ายและกลุ่มที่รับผิดชอบ

4.4. จัดทำโดย: ใส่ชื่อผู้รับผิดชอบและการจัดทำออกแบบ FMEA

4.5. วันที่ศึกษา: ระบุวันที่เริ่มต้นการทำการวิเคราะห์ FMEA ไม่ควรช้ากว่าวันที่เริ่มต้นการ ผลิตตามกำหนดการ

4.6. วันที่ของ FMEA: ระบุวันที่จัดทำต้นฉบับ FMEA รวมทั้งวันที่ได้รับการทบทวนครั้ง ล่าสุด

4.7. คณะผู้ทำงานหลัก

4.8. ลักษณะข้อบกพร่อง: เป็นรายละเอียดที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของการปฏิบัติงานที่เจาะจงไว้

4.9. ผลกระทบของข้อบกพร่องด้านศักยภาพ: เป็นขั้นตอนในการวิเคราะห์ว่าหากเกิดข้อบกพร่องต่าง ๆ ขึ้นจะส่งผลกระทบกับคุณภาพอย่างไร

4.10. ภาวะความรุนแรง (Severity: S): เป็นการวิเคราะห์และประเมินความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดจากลักษณะข้อบกพร่องต่าง โดยมีการประเมินและให้คะแนนความรุนแรงตั้งแต่ 1-10 แสดงรายละเอียดในตารางที่ 1

4.11. สาเหตุของการเกิดข้อบกพร่อง: เป็นการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดความเสี่ยงต่อไป

4.12. โอกาสที่ข้อบกพร่องเกิดขึ้น (Occurrence: O): เป็นการคาดการณ์ถึงโอกาสของการเกิดข้อบกพร่อง โดยมีการประเมินและให้คะแนนโอกาสการเกิดตั้งแต่ 1-10 แสดงรายละเอียดในตารางที่ 2

4.13. การควบคุมกระบวนการปัจจุบัน: การควบคุมกระบวนการปัจจุบันเป็นการระบุ รายละเอียดที่ต้องการควบคุม เพื่อป้องกันมิให้ข้อบกพร่องเกิดเพิ่มขึ้น หรือตรวจว่าข้อบกพร่อง เกิดขึ้นหรือไม่

4.14. การตรวจพบ (Detection: D): เป็นการประเมินความสามารถของการควบคุมกระบวนการในปัจจุบัน โดยมีการประเมินและให้คะแนนโอกาสการเกิดตั้งแต่ 1-10 แสดงรายละเอียดในตารางที่ 3

4.15. ค่าดัชนีความเสี่ยงชี้นำ (RPN): ค่าดัชนีความเสี่ยงชี้นำเป็นผลของการจัดอันดับ ความรุนแรง (S), โอกาสการเกิด (O) และการตรวจพบ (D) ค่า RPN จะมีค่า 1-1000

โดยค่า RPN = S x O x D

ตารางที่ 1 เกณฑ์การให้คะแนนความรุนแรงของผลกระทบ (S)

ผลกระทบ	เกณฑ์ความรุนแรงของผลกระทบ การจัดระดับนี้จะใช้เมื่อแนวโน้มความล้มเหลวที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องต่อลูกค้า หรือในการผลิตประกอบของลูกค้า	การจัดอันดับ
สูงมาก	จัดให้เป็นอันดับภาวะความรุนแรงมาก เมื่อข้อบกพร่องนั้นให้อิทธิพลต่อความปลอดภัยในการใช้ยานยนต์ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้	10 9
สูง	ได้แก่ กรณีลูกค้าไม่พอใจมาก เนื่องจากธรรมชาติของข้อบกพร่องนั้น ๆ เอง อาทิเช่น ยานยนต์ที่ใช้งานไม่ได้ โดยไม่เกี่ยวข้อง กับความปลอดภัยในการใช้	8 7
ปานกลาง	จัดให้เป็นอันดับปานกลาง เนื่องจากข้อบกพร่องนั้นทำให้ลูกค้าเกิดความไม่พึงพอใจบางประการ ลูกค้าได้รับความไม่สะดวกสบาย หรือได้รับการรบกวนจาก ข้อบกพร่องนั้น	6 5 4
ต่ำ	จัดให้เป็นอันดับต่ำ เนื่องจากธรรมชาติของข้อบกพร่องสร้างความรำคาญให้กับลูกค้า เพียงเล็กน้อย เช่น ต้องปฏิบัติการแก้ไขเล็ก ๆ น้อย ๆ	3 2
น้อย	ไม่มีเหตุผลที่คาดว่าส่วนเล็กน้อยในธรรมชาติของข้อบกพร่องนั้น จะเป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบอย่างจริงจัง ลูกค้าส่วนใหญ่อาจไม่สังเกตเห็นข้อบกพร่องนี้ก็ได้	1

ตารางที่ 2 เกณฑ์การให้คะแนนโอกาสที่จะเกิดข้อบกพร่อง (O)

ผลกระทบ	ความน่าจะเป็นในการเกิดความล้มเหลว	การจัดอันดับ
สูงมาก	เกิดความล้มเหลวบ่อยมาก	10 9
สูง	เกิดความล้มเหลวถี่	8 7
ปานกลาง	เกิดความล้มเหลวเป็นครั้งคราว	6 5 4
ต่ำ	เกิดความล้มเหลวน้อยครั้ง	3
ต่ำมาก	ความล้มเหลวไม่น่าจะเกิดขึ้นได้	2
ห่างไกล	ไม่มีแนวโน้มของข้อบกพร่อง	1

ตารางที่ 3 เกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการตรวจพบข้อบกพร่อง (D)

การตรวจพบ	เกณฑ์	ประเภทของการตรวจพบ			การควบคุมที่ใช้เพื่อให้ตรวจพบ	ระดับ
		A	B	C		
สูงมาก	ไม่สามารถตรวจพบได้			x	ไม่สามารถตรวจพบหรือไม่มีการตรวจ	10
สูงมาก	เป็นไปได้ยากมากที่การควบคุมจะตรวจพบ			x	การควบคุมมีเพียงการตรวจสอบทางอ้อมหรือการสุ่มตรวจสอบเท่านั้น	9
สูง	เป็นไปได้ยากมากที่การควบคุมจะตรวจพบ			x	การควบคุมมีเพียงการตรวจสอบด้วยสายตาเท่านั้น	8
ปานกลางถึงค่อนข้างสูง	เป็นไปได้ยากมากที่การควบคุมจะตรวจพบ			x	การควบคุมมีเพียงการตรวจสอบด้วยสายตา 2 ครั้งเท่านั้น	7
ปานกลาง	การควบคุมจะตรวจพบได้		x	x	การควบคุมมีการใช้ผังควบคุม เช่น SPX (การควบคุมกระบวนการด้วยกลวิธีทางสถิติ)	6
ต่ำ	การควบคุมจะตรวจพบได้		x		มีการใช้เกจต่าง ๆ ตรวจสอบหลังจากชิ้นงานออกจากหน่วยผลิตหรือมีการใช้ GO/No Go เกจตรวจ สอบ 100 % สำหรับชิ้นงานที่ออกจากหน่วยผลิต	5
ต่ำมาก	การควบคุมโอกาสสูงที่จะตรวจพบ	x	x		ตรวจสอบความบกพร่องในกระบวนการย่อย ต่าง ๆ ได้หรือใช้เกจตรวจสอบการตั้งเครื่องและชิ้นงานแรก (สำหรับการตั้งเครื่องเท่านั้น)	4
เป็นไปได้ยาก	การควบคุมโอกาสสูงที่จะตรวจพบ	x	x		ตรวจพบข้อบกพร่องในจุดปฏิบัติงานหรือตรวจพบในกระบวนการย่อย ต่าง ๆ ได้ โดยมีการกรองเพื่อยอมรับในหลาย ๆ ระดับ	3
เป็นไปได้ยากมาก	การควบคุมโอกาสสูงที่จะตรวจพบ	x	x		ตรวจพบข้อบกพร่องในจุดปฏิบัติงาน (มีการใช้เกจอัตโนมัติร่วมกับ 2 การหยุดอัตโนมัติ) ไม่สามารถที่จะส่งต่อชิ้นงานเสียได้	2
แทบเป็นไปไม่ได้	การควบคุมมีแน่นอนที่จะตรวจพบ	x			ไม่สามารถเกิดชิ้นงานบกพร่องได้ เนื่องจากมีการป้องกันความ ผิดพลาดโดยกระบวนการและการออกแบบผลิตภัณฑ์	1

ชนิดของการตรวจพบ

A = ตัวป้องกันความผิดพลาด B = ใช้เครื่องมือตรวจสอบ C = การตรวจสอบโดยผู้ปฏิบัติงาน

4.16. ปฏิบัติการเสนอแนะ: เมื่อข้อบกพร่องได้รับการจัดอันดับโดยค่า RPN การแก้ไขควร พิจารณาจากสาเหตุของข้อบกพร่องที่มีค่า RPN อันดับสูงสุดก่อน โดยมุ่งหมายที่จะลดภาวะ ความรุนแรงที่จะเกิดขึ้น และการตรวจพบของข้อบกพร่อง

4.17. ปฏิบัติการที่ได้ดำเนินการ: หลังจากแก้ไขสาเหตุของข้อบกพร่องแล้ว ให้ระบุ รายละเอียดโดยย่อของปฏิบัติการที่ดำเนินการแก้ไขจริง

4.18. ผลด้าน RPN: หลังจากปฏิบัติการเชิงแก้ไขได้รับการดำเนินการแล้ว ให้ประเมินผล ด้านภาวะความรุนแรง การเกิดขึ้นและการตรวจพบอีกครั้ง หลังจากนั้นคำนวณและบันทึกผลของ ค่า RPN

5. ขั้นตอนการทำ FMEA โดยสรุป

5.1. กำหนดลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์

5.2. ศึกษาลำดับขั้นตอนของกระบวนการหรือการออกแบบ

5.3. อธิบายลักษณะของงานหรือหน้าที่ของแต่ละขั้นตอน

5.4. ทบทวนหน้าที่หลักของแต่ละขั้นตอน

5.5. ระบุข้อผิดพลาดที่มีโอกาสเกิดขึ้นทั้งหมด

5.6. ระบุผลกระทบจากแต่ละข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น

5.7. ระบุสาเหตุของแต่ละข้อบกพร่องที่มีโอกาสเกิดขึ้นทั้งหมด

5.8. ระบุการควบคุมในปัจจุบัน

5.9. ให้คะแนนระดับความรุนแรง, ความถี่ในการเกิด และความสามารถในการตรวจจับ

5.10. คำนวณค่า RPN พร้อมทั้งกำหนดค่า RPN ซึ่งต้องแก้ไข

5.11. ระบุวิธีการแก้ไขปรับปรุง โดยระบุผู้รับผิดชอบพร้อมทั้งวันกำหนดเสร็จ

5.12. ทบทวนค่า RPN ใหม่เมื่อเสร็จสิ้นการดำเนินการแล้ว

6. ประโยชน์ของ FMEA

6.1. เป็นการประกันว่าได้มีการพิจารณาปัญหาและข้อผิดพลาดต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นกับ การดำเนินการ

6.2. เป็นการแยกแยะและลำดับความสำคัญของข้อผิดพลาดรวมทั้งผลกระทบที่เกี่ยวข้อง

6.3. เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์หาแนวทางในการแก้ไขล่วงหน้า เพื่อป้องกันไม่ให้เกิด ปัญหาขึ้นหรือลดปัญหาลง

6.4. เป็นการเก็บหลักฐานเชิงประวัติศาสตร์ สำหรับอ้างอิงในอนาคต เมื่อมีความต้องการที่ จะปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงระบบการผลิตหรือผลิตภัณฑ์

6.5. สร้างความมั่นใจให้ทีมงานที่มีส่วนร่วมในการหาวิธีป้องกันปัญหาและของเสีย ต่าง ๆ

6.6. เป็นระบบป้องกันที่สร้างขึ้นเพื่อการสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า

6.7. เป็นการเสนอผลงานที่มีระบบระเบียบและขั้นตอนที่ดีให้ฝ่ายบริหารได้รับทราบและ พิจารณาแนวทางในการดำเนินการต่อไป

6.8. นำปัญหาข้อบกพร่องที่เกี่ยวข้องหรือเกิดขึ้นในอดีตมาเป็นข้อมูลในการปรับปรุง คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตหรือออกแบบ

6.9. ใช้แสดงสาเหตุหรือกลไกของปัญหา ข้อบกพร่องที่มีโอกาสเกิดขึ้น

6.10. พัฒนาคุณภาพ, ความปลอดภัย, กระบวนการ

6.11. ลดเวลาในการพัฒนาสินค้าและภาระค่าใช้จ่าย [12]

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศุภพิชญ์ จิรบูรณ์ธนันดร (2551) ได้ทำศึกษาการใช้เทคนิคการแปลหน้าที่เชิงคุณภาพโดยประยุกต์ใช้ในเมตริกซ์ที่ 2 – 4 ในการวิเคราะห์ถึงการออกแบบและพัฒนาการผลิตคอยล์ร้อน โดยใช้เมตริกซ์ที่ 2 Product Design Matrix ในการแปลความหมายความต้องการเชิงเทคนิคของคอยล์ร้อนเป็นความต้องการคุณสมบัติของส่วนประกอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในผลิตภัณฑ์ หลังจากนั้นวิเคราะห์ต่อด้วยเมตริกซ์ที่ 3 Process Design Matrix เพื่อพิจารณาถึงกระบวนการต่าง ๆ ที่จะใช้ในการผลิตชิ้นส่วนให้ได้ตามต้องการ วิเคราะห์ต่อด้วยเมตริกซ์ที่ 4 Process Control Planning Matrix เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ให้ได้ตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งมีการใช้เทคนิค PFMEA เป็นการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการผลิต โดยพิจารณาจากปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม ซึ่งมีสัดส่วน 16.29 % ซึ่งหลังจากพิจารณาถึงข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อหาสาเหตุที่เกิดขึ้นและทำการปรับปรุงแก้ไขข้อพกพร่องที่มี RPN มากกว่า 60 ขึ้นไป ทำให้ยอดของเสียลดลงจนเหลือ 7.5% [9]

รณชัย ไม้สนธ์ (2553) ได้ศึกษาการใช้เทคนิค FMEA เพื่อวิเคราะห์ข้อบกพร่องที่เกิดจากกระบวนการอบยาง ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดของเสียมากที่สุด โดยการใช้เทคนิค FMEA ทำให้ทราบถึงขั้นตอน อุปกรณ์และวิธีการทำงานต่าง ๆ ในกระบวนการอบยาง ที่ส่งผลกระทบกับคุณภาพของยางที่ผู้ใช้ได้รับ หลังจากนั้นใช้แผนผังก้างปลาเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของข้อบกพร่อง ซึ่งหลังจากทำการวิเคราะห์ข้อบกพร่องต่าง ๆ มีการเลือกที่จะปรับปรุงข้อบกพร่องที่มีค่า RPN มากกว่า 100 ขึ้นไป ซึ่งภายหลังการปรับปรุงกระบวนการแล้วสามารถลดจำนวนข้อบกพร่องที่มีค่า RPN มากกว่า 100 ขึ้นไป จาก 12 ตัว เหลือ 8 ตัว และของเสียที่เกิดขึ้นจาก 2.88 % ลดลงเหลือ 1.29 % [12]

หทัยรัตน์ สงวยไทร (2550) ได้ศึกษาการใช้เทคนิคการแปลหน้าที่เชิงคุณภาพและวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบเชิงคุณภาพเพื่อปรับปรุงระบบการติดตามคุณภาพในการก่อสร้างบ้าน ซึ่งพบปัญหาในการส่งงานล่าช้าอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในการทำงานต่าง ๆ ที่จะมีการจ้างผู้รับเหมาจากภายนอกเข้ามาทำ โดยประยุกต์ใช้ QFD ในเมตริกซ์ที่ 3 – 4 โดยวิเคราะห์จากความต้องคาดหวังของลูกค้า ความสามารถของคู่แข่ง ประสิทธิภาพการทำงานของผู้รับเหมา และทิศทางการพัฒนาของบริษัทตัวอย่าง ซึ่งทำให้ทราบความสัมพันธ์และความสำคัญของข้อมูลเหล่านี้ และทำการวิเคราะห์ PFMEA จากขั้นตอนการทำงานที่ส่งผลให้เกิดความผิดพลาด คุณภาพไม่ได้ตามที่กำหนดไว้ หลังจากการประเมินผู้วิจัยได้เลือก 3 ขั้นตอนที่มี RPN สูงสุดในแต่ละกระบวนการ เพื่อจัดทำเป็นเอกสารขั้นตอนการทำงาน การตรวจสอบ และแผนการควบคุม ซึ่งหลังการปรับปรุงพบว่าค่าจำนวนบกพร่องต่อหน่วย ลดลงจาก 216.18 DPU เหลือ 85.33 DPU [13]

ประพัฒน์ เจริญหงส์ทอง (2551) ได้ศึกษาการใช้เทคนิคการแปลหน้าที่เชิงคุณภาพและวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบเชิงการออกแบบเพื่อพัฒนาและออกแบบตู้โชว์สินค้าแช่แข็ง เนื่องจากตู้โชว์สินค้าแช่แข็งมีแนวโน้มในการขายที่ลดลง จึงได้นำเทคนิค QFD ในเมตริกซ์ที่ 1 – 2 มาประยุกต์ใช้เพื่อให้สามารถออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ตรงกับความต้องการของลูกค้ามากขึ้น และใช้เทคนิค DFMEA วิเคราะห์หาข้อบกพร่องรวมทั้งสาเหตุที่เกิดขึ้น และป้องกันข้อบกพร่องหลักที่เกิดขึ้นทั้งหมด 7 ข้อบกพร่องในกระบวนการออกแบบ ทำให้หลังจากการปรับปรุงการออกแบบ มีจำนวนชิ้นส่วนที่ปรับเปลี่ยนลดลงจาก 17.81 % เหลือ 6.85 % [14]

วิชาญ ทองไพรวรรณ (2554) ได้ศึกษาการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบเชิงคุณภาพ เพื่อปรับปรุงกระบวนออกแบบและพัฒนาแม่พิมพ์ขึ้นรูปแก้วที่ใช้บนโต๊ะอาหาร เนื่องจากในการออกแบบแม่พิมพ์จะมีการสร้างชุดทดสอบเพื่อนำไปทดสอบ ซึ่งหากไม่ผ่าน

การทดสอบก็จะมีการออกแบบและสร้างชุดทดลองใหม่ซ้ำ ๆ ซึ่งในการอุตสากรรรมก็ยังขาดแคลนบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถ ต้องพึงพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ รวมทั้งการบริหารจัดการซึ่งส่งผลในเรื่องของคุณภาพ ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อบกพร่องในการออกแบบผลิตภัณฑ์ทำให้เข้าใจถึงการออกแบบมากขึ้น ทำให้ภายหลังการปรับปรุง จำนวนรั้งการทดสอบเฉลี่ยจาก 2.7 ครั้งต่อผลิตภัณฑ์ ลดลงเหลือเพียง 1 ครั้งต่อผลิตภัณฑ์ รวมทั้งเวลาเฉลี่ยในการออกแบบลดลงจาก 75 วัน เหลือ 45 วัน [15]

Korayem M.H. and Iravani A. (2008) ได้ทำการพัฒนาความน่าเชื่อถือและคุณภาพของแขนกลประเภท 3P และ 6R ได้ทำการวิเคราะห์ FMEA โดยพิจารณาถึงข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นเมื่อใช้งาน และเลือกค่า RPN ที่ต้องการปรับปรุง หลังจากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ QFD ทั้ง 4 เฟส โดยเริ่มจากพิจารณาถึงความต้องการของผู้ใช้งานแขนกล รวมทั้งวิเคราะห์ข้อบกพร่องด้วยเทคนิค FMEA เพื่อหาจุดที่ต้องการพัฒนา หลังจากนั้นวิเคราะห์ถึงการออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ กระบวนการในการผลิต และการควบคุมการผลิต ซึ่งประโยชน์ที่ได้จากการวิเคราะห์ FMEA และการวิเคราะห์ QFD เพื่อทำการปรับปรุงนั้น ก็ทำให้ได้ลักษณะความผิดพลาด ผลกระทบ สาเหตุ ความสำคัญของส่วนประกอบ และเทคนิคที่เหมาะสมในการป้องกันข้อผิดพลาด สามารถลดค่า RPN ที่เกิดขึ้น และได้รายการตรวจสอบการซ่อมบำรุงและซ่อมแซมเครื่องจักร [16]

Almannai B., Greenough R., and Kay J. (2008) ได้นำเทคนิค QFD และ FMEA มาใช้เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจ ในการนำระบบอัตโนมัติมาใช้ในอุตสาหกรรม เนื่องจากการนำระบบอัตโนมัติมาใช้จะมีการกระทบทั้งในด้านของการเทคโนโลยี การบริหารจัดการและพนักงาน จึงจะต้องมีการหาทางเลือกที่ดีที่สุด ที่ทำให้การนำระบบอัตโนมัติเข้ามาใช้นั้นเกิดประโยชน์สูงที่สุด โดยได้ทำการวิเคราะห์ QFD โดยพิจารณาถึง กลยุทธ์ นโยบายและการดำเนินงานของบริษัท เพื่อหาความสอดคล้องกับการพัฒนาองค์ประกอบต่าง ๆ โดยการนำระบบอัตโนมัติเข้ามาใช้ และได้นำเทคนิค FMEA เข้ามาใช้ในการวิเคราะห์ถึงความเสี่ยงต่าง ๆ ในการนำระบบอัตโนมัติเข้ามาใช้ ทำให้เห็นถึงความสำคัญของแต่ละองค์ประกอบ ทำให้สามารถเลือกวิธีการที่ดีที่สุดในการนำระบบอัตโนมัติเข้ามาใช้ได้ หลังจากนั้นได้มีการทดลองนำเทคโนโลยีตามทางเลือกที่ได้จากการวิเคราะห์เข้ามาใช้และพัฒนาต่อเพื่อให้เหมาะสมกับบริษัท และพบว่าความคิดเห็นที่ได้รับจากการนำมาใช้เป็นไปในทิศทางที่ดี [17]

Qui Guo and others (2017) ได้ทำการศึกษาถึงความสำคัญของการติดตั้งเพลาเรือ ซึ่งเพลาเรือถือว่าเป็นส่วนประกอบสำคัญในระบบพลังงานของเรือ ซึ่งมีความซับซ้อน ต้องการความ

แม่นยำสูง และยังมีความเสี่ยงต่อการทำงานของส่วนประกอบอื่น ๆ โดยเฉพาะกังหันเรือ ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ QFD ในเฟสที่ 1 House of Quality โดยพิจารณาความต้องการของลูกค้าในด้าน การทำงาน ความปลอดภัย และความต้องการในการใช้งาน โดยใช้ FAHP เพื่อช่วยในการตัดสินใจลำดับความสำคัญของความต้องการต่าง ๆ หลังจากนั้นใช้ FMEA เพื่อพิจารณาถึงความเสี่ยงที่สามารถเกิดขึ้นได้ ที่ทำให้ไม่ได้ตามความต้องการของลูกค้า หลังจากนั้นนำมาหาความสัมพันธ์ของ QFD และ FMEA เพื่อลำดับความสำคัญขององค์ประกอบต่าง ๆ ซึ่งหลังจากนั้นจะทำให้สามารถพัฒนาต่อไปได้ถึงแผนการควบคุมคุณภาพ [18]

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การปรับปรุงระบบควบคุมคุณภาพและลดของเสียที่เกิดขึ้นในการผลิตดิสก์เบรก โดยใช้เทคนิคการแปลหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) และเทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) มีรายละเอียดของการดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาข้อมูลทั่วไปของบริษัทและสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น
2. ศึกษาขั้นตอนการออกแบบดิสก์เบรก
3. ศึกษาขั้นตอนการผลิตดิสก์เบรกและการควบคุมการผลิต
4. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพดิสก์เบรกที่ลูกค้าต้องการและกระบวนการออกแบบ โดยใช้เทคนิคการแปลหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) แบบสี่ช่วง เมตริกซ์ที่ 2 เมตริกซ์การออกแบบ
5. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการออกแบบและกระบวนการผลิต โดยใช้เทคนิคการแปลหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) แบบสี่ช่วง เมตริกซ์ที่ 3 เมตริกซ์กระบวนการผลิต
6. วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบต่อคุณภาพ (FMEA)
7. กำหนดประเด็นปัญหาที่ต้องการทำการปรับปรุง
8. จัดตั้งทีมงานและทำแผนการปรับปรุงกระบวนการ
9. ทำการปรับปรุงแก้ไขตามแผนการดำเนินการ
10. วิเคราะห์ FMEA หลังการปรับปรุง

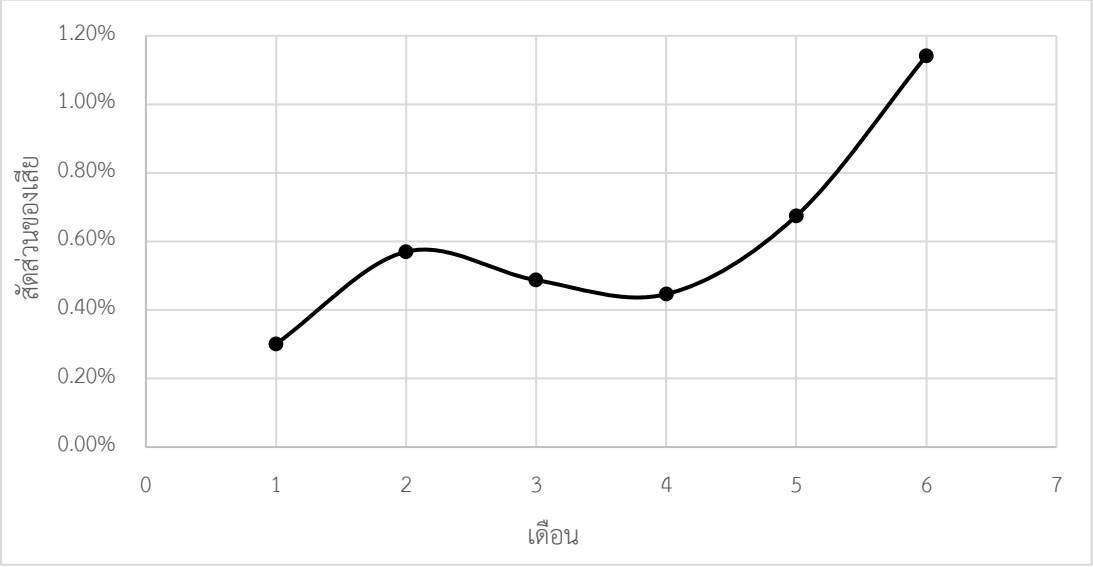
ข้อมูลทั่วไปของบริษัทและสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น

บริษัทตัวอย่างเป็นบริษัทผู้ผลิตผ้าเบรกประเภทต่าง ๆ ทั้งผ้าเบรกประเภทดิสก์เบรก ก้ามเบรก และผ้าเบรกใหญ่สำหรับรถบรรทุก โดยมีสินค้าหลักเป็นผ้าเบรกรถยนต์ประเภทดิสก์เบรกซึ่งมีการผลิตประมาณ 70% ของสินค้าทั้งหมด ดิสก์เบรกมีการขายทั้งในและนอกประเทศ สินค้ามีความหลากหลายเพื่อตอบสนองการใช้งานของลูกค้าที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น การขับขี่ในเมือง การบรรทุกหนัก การใช้ขนส่งโดยสารเป็นต้น นอกจากนั้นยังมีความหลากหลายของโมเดล ซึ่งระบุถึงรูปร่าง ขนาด และความหนาของชิ้นงานที่แตกต่างกันตามรถยนต์รุ่นต่าง ๆ ซึ่งมีมากถึง 438 โมเดล

จากข้อมูลการผลิตในเดือนมกราคม – มิถุนายน ปีพ.ศ. 2562 พบว่า มีการผลิตดิสก์เบรกทั้งหมด 3,500,975 ชิ้น เกิดของเสีย 17,729 ชิ้น คิดเป็นสัดส่วน 0.51% และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งของเสียส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้น เกิดขึ้นที่หน่วยงานอัดขึ้นรูป ซึ่งเป็นหน่วยงานที่สำคัญในการผลิตดิสก์เบรก เนื่องจากเกี่ยวข้องโดยตรงกับประสิทธิภาพของผ้าเบรก

ตารางที่ 4 ข้อมูลการผลิตดิสก์เบรกในเดือนมกราคม – มิถุนายน ปีพ.ศ. 2562

เดือน	**ยอดวางแผนการผลิตอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน (ชิ้น)**	**ของเสียที่เกิดขึ้น (ชิ้น)**	**สัดส่วนของเสีย**
1	627,678	1,888	0.30%
2	552,296	3,148	0.57%
3	644,261	3,138	0.49%
4	459,907	2,052	0.45%
5	594,628	3,247	0.55%
6	622,205	4,256	0.68%
เฉลี่ย	583,466	2,955	0.51%



รูปที่ 9 ปริมาณสัดส่วนของเสียในแต่ละเดือนในปีพ.ศ.2562

ตารางที่ 5 แหล่งที่เกิดของเสียในแต่ละเดือน

เดือน	แหล่งที่เกิดของเสีย					รวม
	หน่วยงานอัดขึ้นรูป	หน่วยงานฝนตกแต่ง	แผนกประกันคุณภาพ	หน่วยงานเคมี	อื่น ๆ	
1	1,338	401	126	23	-	1,888
2	1,655	1,304	168	4	17	3,148
3	1,825	737	205	58	313	3,138
4	1,365	525	109	24	29	2,052
5	1,944	439	222	75	567	3,247
6	2,905	1,185	86	80	-	4,256
เฉลี่ย	1,839	765	153	44	232	2,955
สัดส่วน	62.2%	25.9%	5.2%	1.5%	5.2%	100.0%

ตารางที่ 6 การเคลมดิสก์เบรกในแต่ละเกรดเคมี

เกรดเคมี	รายการเคลม (รายการ)	จำนวนสินค้าเคลม (ชุด)	สัดส่วนจำนวนสินค้าเคลม
ไม่ทราบ	287	361	42%
A	151	155	18%
B	119	121	14%
C	82	90	10%
อื่น ๆ	123	134	16%
รวม	762	861	100%

ตารางที่ 7 ข้อมูลการผลิตดิสก์เบรกในแต่ละเกรดเคมี

เกรดเคมี	ยอดวางแผนการผลิต	สัดส่วนการผลิต	ของเสีย	สัดส่วนของเสีย
D	1,144,575	33%	4,006	0.35%
E	660,045	19%	3,619	0.55%
F	509,038	15%	2,405	0.47%
B	397,147	11%	1,423	0.36%
อื่น ๆ	790,170	23%	6,276	0.79%
รวม	3,500,975	100%	17,726	0.51%

จากข้อมูลการเคลมของดิสก์เบรกในเดือนมกราคม – มิถุนายน ปี 2562 พบว่าเกรดเคมีที่มีการเคลมมากที่สุดคือเกรดเคมี A คิดเป็น 18% ของเคลมทั้งหมด ซึ่งเกรดเคมี A ได้มีนโยบายที่จะยกเลิกการขายแล้ว รองลงมาเป็นเกรดเคมี B ซึ่งมีการเคลม 14% แต่เมื่อพิจารณาจากข้อมูลผลิตเกรดเคมี B มีการผลิตมากที่สุดเป็นอันดับ 4 ผลิตทั้งหมด 397,147 ชิ้น มีของเสีย 1,423 ชิ้น คิดเป็น 0.36% ซึ่งมีสัดส่วนของเสียที่น้อยกว่าสัดส่วนของเสียโดยเฉลี่ย 0.51% แต่จากข้อมูลการเคลมของลูกค้าที่ระบุถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับดิสก์เบรก เช่น เสียงดัง ผ้าเบรกแตก ผ้าเบรกเป็นขุย ผ้าเบรกร่อนไม่ติดกับเหล็ก เบรกไม่อยู่ ฝุ่นดำ เป็นต้น แสดงว่าการตรวจสอบคุณภาพของดิสก์เบรกเกรดเคมี B ยังข้อบกพร่องในการตรวจสอบอยู่ ทำให้ชิ้นงานที่ไม่ได้มาตรฐานหลุดถึงมือลูกค้า

ในการตรวจสอบคุณภาพของบริษัทได้จัดทำ FMEA เพื่อใช้ในการวิเคราะห์จัดทำแผนการควบคุม (Control Plan) แต่ FMEA ในปัจจุบันไม่มีการระบุถึงผลกระทบที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของดิสก์เบรกและยังไม่ครอบคลุมปัญหาทั้งหมดที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 8 ตัวอย่างการการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบของบริษัทตัวอย่างในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน (FMEA)

Process Step / Function	Requirement	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Classification	Potential Cause(s) of Failure	Current Process				RPN
							Occurrence	Controls Prevention	Controls Detection	Detection	
อัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน	- ชิ้นงานที่ผลิตเป็นไปตามข้อกำหนด	- ชิ้นงานบวม	- เกิดของเสียในกระบวนการ	7		- อุณหภูมิไม่เป็นไปตามข้อกำหนด	2	- ตรวจสอบตามความถี่ที่กำหนดไว้ในเอกสารการปฏิบัติงาน	- บันทึกผลการตรวจสอบอุณหภูมิตามความถี่ที่กำหนด	4	56
				7		- โปรแกรม PLC ไม่เหมาะสม	2	- มีการปรับตั้งโปรแกรม PLC ก่อนการผลิต	- เฝ้าระวังการไล่ลมของเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ	4	56
			- ลูกค้าไม่พึงพอใจเนื่องจากอายุการใช้งานไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์พื้นฐาน	7		- อุณหภูมิไม่เป็นไปตามข้อกำหนด	2	- ตรวจสอบตามความถี่ที่กำหนดไว้ในเอกสารการปฏิบัติงาน	- บันทึกผลการตรวจสอบอุณหภูมิตามความถี่ที่กำหนด	4	56
				7		- โปรแกรม PLC ไม่เหมาะสม	2	- มีการปรับตั้งโปรแกรม PLC ก่อนการผลิต	- เฝ้าระวังการไล่ลมของเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ	4	56
		- ชิ้นงานแตกข้าง	- เกิดของเสียในกระบวนการ	7		- อุณหภูมิไม่เป็นไปตามข้อกำหนด	2	- ตรวจสอบตามความถี่ที่กำหนดไว้ในเอกสารการปฏิบัติงาน	- บันทึกผลการตรวจสอบอุณหภูมิตามความถี่ที่กำหนด	4	56
				7		- โปรแกรม PLC ไม่เหมาะสม	2	- มีการปรับตั้งโปรแกรม PLC ก่อนการผลิต	- เฝ้าระวังการไล่ลมของเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ	4	56

ตารางที่ 8 ตัวอย่างการการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบของบริษัทตัวอย่างในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน (FMEA) (ต่อ)

Process Step / Function	Requirement	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Classification	Potential Cause(s) of Failure	Current Process				RPN
							Occurrence	Controls Prevention	Controls Detection	Detection	
อัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน	- ชิ้นงานที่ผลิตเป็นไปตามข้อกำหนด	- ชิ้นงานแตกข้าง	- ลูกค้าไม่พึงพอใจเนื่องจากอายุการใช้งานไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์พื้นฐาน	7		- อุณหภูมิไม่เป็นไปตามข้อกำหนด	2	- ตรวจสอบตามความถี่ที่กำหนดไว้ในเอกสารการปฏิบัติงาน	- บันทึกผลการตรวจสอบอุณหภูมิตามความถี่ที่กำหนด	4	56
				7		- โปรแกรม PLC ไม่เหมาะสม	2	- มีการปรับตั้งโปรแกรม PLC ก่อนการผลิต	- เฝ้าระวังการไล่ลมของเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ	4	56
		- ชิ้นงานหน้าร่อน	- เกิดของเสียในกระบวนการ	7		- ฉีดน้ำยาไม่ทั่วแม่พิมพ์	2	- มีการฝึกอบรม OJT	- มีการประเมิน skill ของพนักงาน 2 ครั้ง/ปี	4	56
				7		- แม่พิมพ์ไม่สะอาด	2	- มีการฝึกอบรม OJT	- มีการประเมิน skill ของพนักงาน 2 ครั้ง/ปี	4	56
		- ชิ้นงานมุมนิ่ม	- เกิดของเสียในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน	7		- ใส่ชิ้นงานพิมพ์เย็นไม่ตรง	2	- มีการฝึกอบรม OJT	- มีการประเมิน skill ของพนักงาน 2 ครั้ง/ปี	4	56
			- เกิดของเสียในกระบวนการฝนตกแต่ง	7		- ขาดทักษะในการตรวจสอบชิ้นงาน	2	- มีการฝึกอบรม OJT	- มีการประเมิน skill ของพนักงาน 2 ครั้ง/ปี	4	56
		- ความหนาต่ำกว่าข้อกำหนด	- เกิดของเสียในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน	7		- คุณสมบัติของวัตถุดิบไม่คงที่	2	- ตรวจสอบตามความถี่ที่กำหนดไว้ในเอกสารการปฏิบัติงาน	- มีการแจ้งการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัตถุดิบทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลง	4	56

ขั้นตอนการออกแบบดิสก์เบรก

3.2.1 พิจารณาความต้องการของลูกค้า ความต้องการของลูกค้าจะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพที่สำคัญของดิสก์เบรก ว่าควรมีประสิทธิภาพใดเท่าไรและมีการเน้นความต้องการแบบไหน

3.2.2 ทดลองผลิตดิสก์เบรกด้วยเคมีที่มีองค์ประกอบและสัดส่วนที่แตกต่างกัน รวมถึงเงื่อนไขการผลิตที่แตกต่างกัน

3.2.3 ทดสอบประสิทธิภาพของผ้าเบรก ด้วยเครื่อง Constant speed friction tester และเครื่อง Dynamometer

รูปที่ 10 เครื่อง Constant speed friction tester

รูปที่ 11 เครื่อง Dynamometer

3.2.4 ทดสอบความแข็งแรงโดยการทดสอบแรงเฉือนด้วยเครื่อง Universal Tensile testing machine

รูปที่ 12 เครื่อง Universal Tensile testing machine

3.2.5 ประเมินราคาต้นทุนของการผลิตชิ้นงานในแต่ละแบบ

3.2.6 เลือกเกรดเคมีที่เหมาะสมที่สุด โดยคำนึงถึง ประสิทธิภาพ ราคาต้นทุน และความแข็งแรงของดิสก์เบรก

3.2.7 ทดสอบค่าความแข็งด้วยเครื่อง Rockwell hardness tester และความหนาแน่นของชิ้นงาน เครื่อง Specific gravity meter เพื่อใช้สำหรับควบคุมคุณภาพในการผลิต

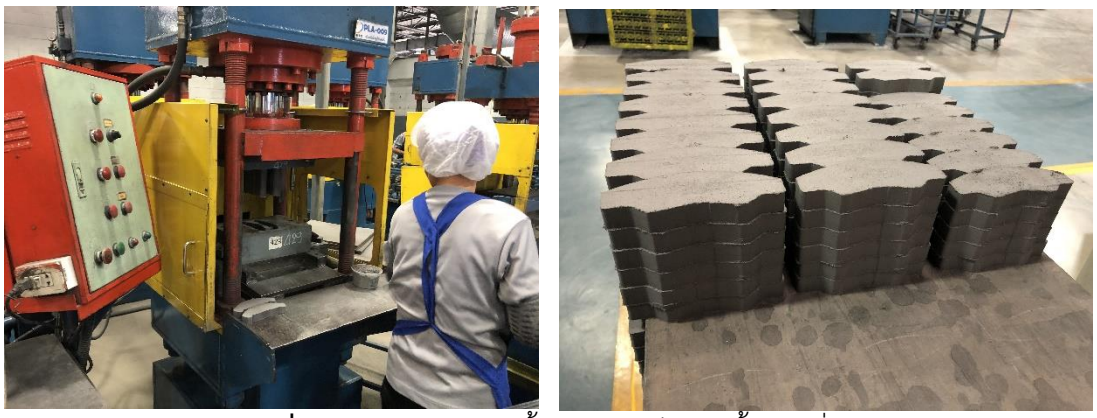
ขั้นตอนการผลิตดิสก์เบรกและการควบคุมการผลิต

3.3.1 การตรวจรับวัตถุดิบ แบ่งออกเป็นสองชนิด คือการตรวจรับเคมีและการตรวจรับแผ่นเหล็ก มีการตรวจตามมาตรฐานของแผนกประกันคุณภาพ

3.3.2 จัดเก็บ – เบิกจ่ายวัตถุดิบ วัตถุดิบที่ผ่านการตรวจสอบจะถูกส่งเข้าคลังเพื่อรอแผนการผลิตในการเบิกวัตถุดิบออกมาใช้ ในการจัดเก็บวัตถุดิบประเภทเคมี มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเพื่อควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบ

3.3.3 ผสมเคมี (Mixing) คือ การทำให้เคมีทุกชนิด ซึ่งเป็นวัตถุดิบของการผลิตผ้าเบรก มีการผสมรวมกันได้สัดส่วนที่เหมาะสม มีการฟูของเคมีและการกระจายตัวตามที่กำหนดไว้ ซึ่งในแต่ละสูตรเคมี จะมีสัดส่วนและชนิดของเคมีที่แตกต่างกันออกไป ทำให้ผ้าเบรกในแต่ละสูตรนั้น มีประสิทธิภาพในการเบรกแตกต่างกันออกไป

3.3.4 อัดขึ้นรูปพิมพ์เย็น (Preforming) คือ การทำให้เคมีที่ถูกผสมเสร็จเรียบร้อยแล้วจากกระบวนการผสมเคมี ถูกแรงอัดภายใต้รูปร่างของแม่พิมพ์ตามลักษณะของผ้าเบรกในแต่ละรุ่น เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีลักษณะตามที่ต้องการ สามารถหยิบจับได้ง่าย เพื่อสะดวกกับการทำงานในกระบวนการถัดไป ซึ่งการผลิตชิ้นงานจะต้องควบคุมน้ำหนักของเคมี แรงอัดและเวลาที่ใช้ในการอัด



รูปที่ 13 กระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์เย็นและชิ้นงานที่ได้

3.3.1 ยิงทรายแผ่นเหล็กดิสก์เบรก (Backing plate Sand Blasting) คือ ขั้นตอนในการทำความสะอาดแผ่นเหล็กด้วยทรายที่ยิงด้วยความเร็วสูง

3.3.2 พ่นกาวแผ่นเหล็กดิสก์เบรก (Adhesive Spaying) หลังจากผ่านการทำความสะอาด แผ่นเหล็กบนสายพานจะเคลื่อนที่ผ่านตู้พ่นกาวที่จะถูกควบคุมความเร็วของสายพาน แรงดันของหัวพ่นกาว และความเข้มข้นของกาว เพื่อให้ได้ความหนากาวที่แผ่นเหล็กเป็นความหนาตามมาตรฐานและกระจายทั่วทั้งแผ่นเหล็ก

3.3.3 อัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน (Hot Pressing / Curing Press) คือ การใช้แรงอัดและความร้อน ทำให้เคมีจากการอัดขึ้นรูปจากพิมพ์เย็นและแผ่นเหล็กยึดติดกัน และทำให้เคมีต่าง ๆ เกิดการทำปฏิกิริยาขึ้น เพื่อให้ได้ความแข็งแรงของชิ้นงานและประสิทธิภาพต่าง ๆ ในของผ้าเบรก กระบวนการขึ้นรูปพิมพ์ร้อนจึงเป็นกระบวนการที่สำคัญมากในการผลิตดิสก์เบรก ซึ่งในการอัดขึ้นพิมพ์รูปร้อนนั้นจะต้องมีการควบคุมทั้งแรงที่ใช้ในการอัด อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในการอัด การระบายแก๊สที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา โดยปัจจุบันการควบคุมทั้งหมดจะใช้ระบบอัตโนมัติโปรแกรม PLC

รูปที่ 14 กระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน

3.3.4 อบ (Baking) คือ การให้ความร้อนกับชิ้นงานหลังจากกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน เพื่อให้ชิ้นงานมีการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่สมบูรณ์ เพื่อให้มีประสิทธิภาพการเบรกใกล้เคียงกับการออกแบบที่สุด และเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างการใช้งานที่ส่งผลให้เสี่ยงต่อการเกิดเฟด โดยการอบจะมีการควบคุมอุณหภูมิและเวลาในการอบ

3.3.5 ฝนตกแต่งดิสก์เบรก (Disc Brake Pads Grinding) คือการฝนบริเวณผิวหน้าชิ้นงานให้มีความหนาของชิ้นงานตรงตามที่กำหนด และปรับสภาพผิวหน้าชิ้นงานให้มีความเรียบสม่ำเสมอ เพื่อให้สัมผัสกับจานเบรกได้ดีขึ้น ไม่เกิดการทำลายผิวหน้าของจานเบรกขณะใช้งาน

3.3.6 ผ่าร่องและปาดข้าง (Slot & Chamfer) คือ การผ่าร่องและปาดข้างชิ้นงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเบรก ช่วยในการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นจากการใช้งาน ลดการเกิดเสียง ลดการเกิดฝุ่น ซึ่งในแต่ละโมเดลจะมีการผ่าร่องและปาดข้างแตกต่างกันไปตามแต่ละภาพเขียน

3.3.7 Scorching คือ การเผาหน้าผ้าเบรกด้วยความร้อนสูง เพื่อให้ผิวหน้าเกิดรูพรุนทำให้ดิสก์เบรกจับกับจานเบรกได้ดีขึ้น เพิ่มประสิทธิภาพการเบรกในช่วงการใช้งานเริ่มต้น และช่วยระบายแก๊สภายในดิสก์เบรก ควบคุมการผลิตด้วยอุณหภูมิและความเร็วสายพาน

3.3.8 พ่นสี (Powder coating) คือ การพ่นสีแผ่นเหล็ก มีการควบคุมความเร็วสายพาย ปริมาณสี แรงดันในการพ่นสี และความหนาของสี

3.3.9 ติดแผ่นชิม (Attach Shim) แผ่นชิมเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยการดูดซับเสียงในการเบรก ติดไว้บริเวณหลังแผ่นเหล็ก ซึ่งจะควบคุมด้วยแรงและเวลาที่ใช้ในการอัด

3.3.10 ยิงรหัสผลิต (Lot No Marking) เป็นการระบุรหัสการผลิตเพื่อให้สะดวกในการตรวจสอบย้อนกลับเมื่อเกิดความผิดพลาดต่าง ๆ

3.3.11 ย้ำปุ่มข้าง (Button Pressing) การกดปุ่มเหล็กเพื่อให้ยึดแผ่นชิมให้แน่นขึ้น

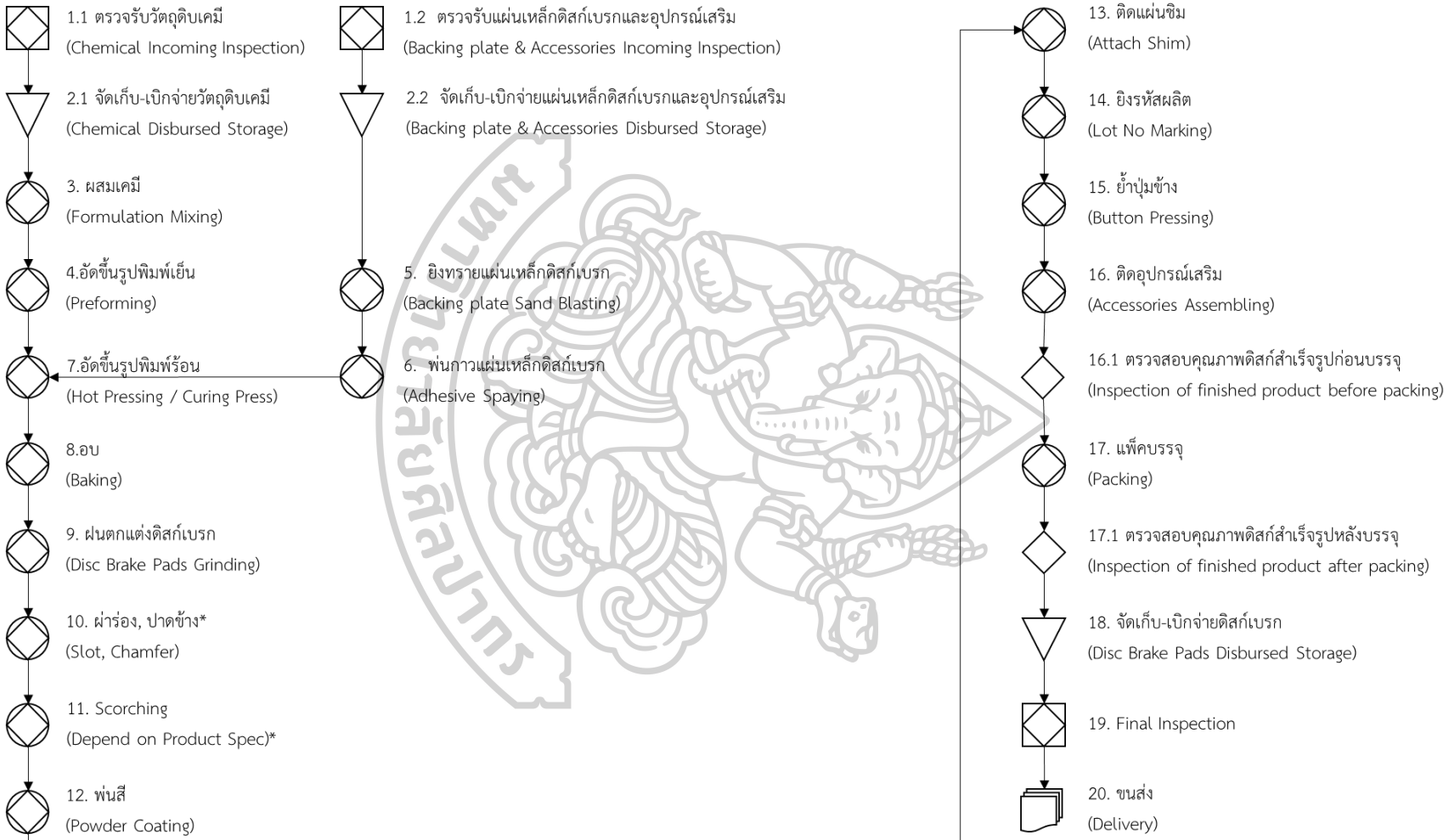
3.3.12 ติดอุปกรณ์เสริม (Accessories Assembling) อุปกรณ์เสริมส่วนใหญ่จะเป็นกิ๊ฟสำหรับเตือนเมื่อผ้าเบรกหมด ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการผลิตชิ้นงานดิสก์เบรกก่อนทำการบรรจุ จะมีการตรวจสอบคุณภาพดิสก์สำเร็จรูปก่อนบรรจุ (Inspection of finished product before packing) เป็นสุ่มตรวจโดยแผนกคุณภาพเพื่อดูคุณภาพของชิ้นงานทั้งลักษณะของดิสก์เบรก ความหนา เลขรหัสการผลิต รวมถึงอุปกรณ์เสริมต่าง ๆ

3.3.13 แพ็คบรรจุ (Packing) เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการผลิต มีการตรวจสอบคุณภาพดิสก์สำเร็จรูปหลังบรรจุ (Inspection of finished product after packing)

3.3.14 จัดเก็บ-เบิกจ่ายดิสก์เบรก (Disc Brake Pads Disbursed Storage) ดิสก์เบรกที่ผลิตเสร็จแล้วจะมีการจัดเก็บไว้ที่คลัง

3.3.15 Final Inspection เป็นการตรวจสอบขั้นสุดท้ายของดิสก์เบรก

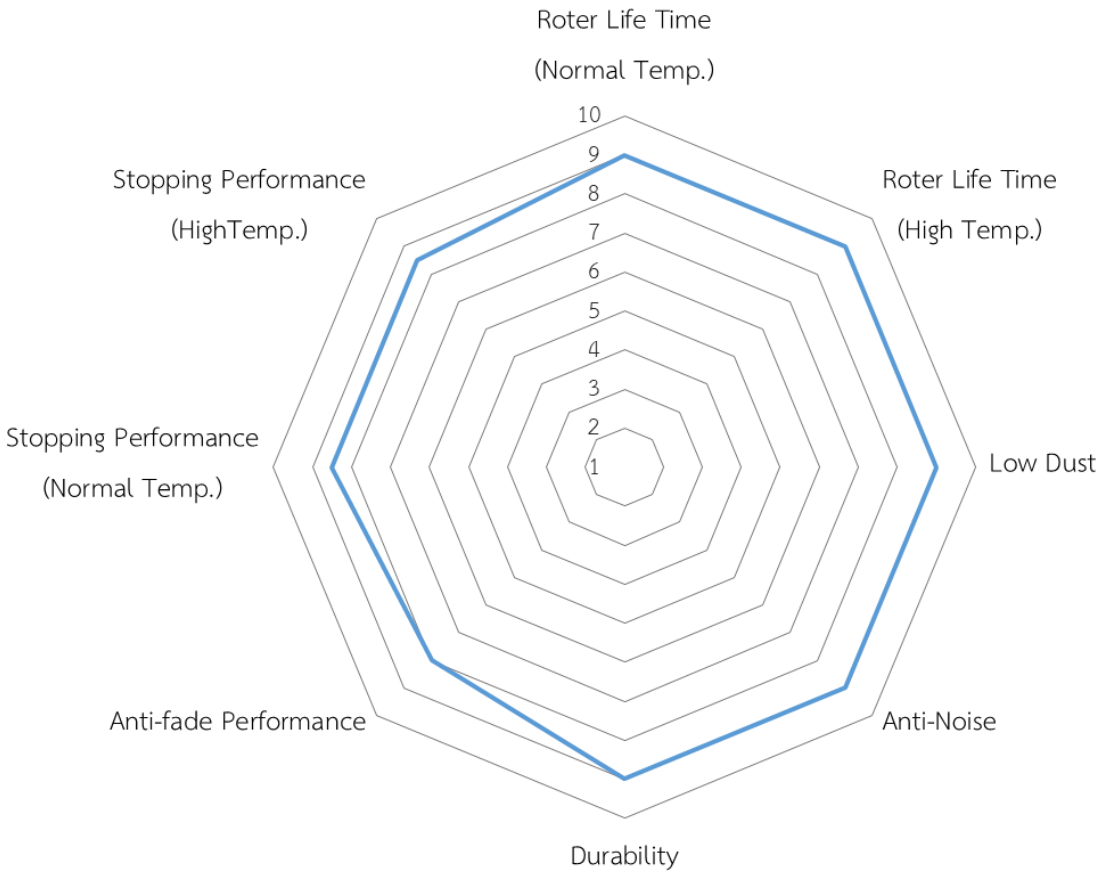
3.3.16 ขนส่ง (Delivery) ดิสก์เบรกจะถูกแยกการขนส่งตามรายการสั่งของลูกค้า



รูปที่ 15 กระบวนการผลิตดิสก์เบรก

คุณสมบัติของเกรดเคมี B

เกรดเคมี B เป็นเกรดเคมีสำหรับดิสก์เบรกชนิดอินทรีย์ (Non Asbestos Organic: NAO) โดยมีการออกแบบให้มีประสิทธิภาพการเบรกสูง ตอบสนองการใช้งานได้ดีทั้งการใช้งานที่อุณหภูมิปกติและที่อุณหภูมิสูง มีอัตราการสึกหรอของจานต่ำเมื่อใช้งาน มีฝุ่นและเสียงน้อย เหมาะสำหรับรถประเภทสำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถยนต์เอนกประสงค์ (MPV) รถยนต์เอนกประสงค์สมรรถนะสูง (SUV) และรถกระบะ



รูปที่ 16 ประสิทธิภาพของเกรดเคมี B

กระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน

กระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน คือ การให้ความร้อนกับเคมีเพื่อให้เรซินในชิ้นงานเกิดการ Curing เป็นตัวเชื่อมเคมีตัวอื่น ๆ ให้ยึดเกาะ และใช้แรงดันกดอัดชิ้นงานให้เป็นรูปทรง รวมทั้งทำให้เนื้อผ้าเบรกยึดติดกับแผ่นเหล็ก

เครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน สามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภทตามขนาดของลูกสูบ

1.) ขนาดเล็ก มีความดันสูงสุดของลูกสูบเท่ากับ 2,000 PSI แต่ละแม่พิมพ์มีจำนวนหลุมเฉลี่ยได้ 4 หลุม

2.) ขนาดกลาง มีความดันสูงสุดของลูกสูบเท่ากับ 2,500 PSI แต่ละแม่พิมพ์มีจำนวนหลุมเฉลี่ยได้ 15 หลุม

3.) ขนาดใหญ่ มีความดันสูงสุดของลูกสูบเท่ากับ 3,00 PSI แต่ละแม่พิมพ์มีจำนวนหลุมเฉลี่ยได้ 15 หลุม

ขั้นตอนการทำงาน

1.) ปรับตั้งความดันในการกดชิ้นงาน โดยเกรดเคมี B ชิ้นงานในแต่ละหลุมต้องได้รับความดันที่ 300 kg/cm^2

2.) ปรับตั้งโปรแกรมการทำงาน โปรแกรมการทำงานของเครื่องพิมพ์ร้อนจะแตกต่างกันตามแต่เกรดเคมี ภายในโปรแกรมจะเป็นการระบุขั้นตอนการทำงานของเครื่อง โดยเกรดเคมี B ปรับตั้งค่าดังนี้

- ระยะยก (Lifting height) 2.5 ± 0.2 มิลลิเมตร
- เวลาในการกดครั้งแรก (Pre-heat) 10 วินาที
- เวลาในการยก (Time up) 3 วินาที
- เวลาในการกด (Time down) 2 วินาที
- จำนวนครั้งในการกด (Number of gas release) 4 ครั้ง
- เวลาในการกดแช่ (Holding Time) 200 วินาที

3.) ติดตั้งแม่พิมพ์ (Mold) ตามรุ่นการผลิต โดยแม่พิมพ์จะมีทั้งหมด 3 ส่วน ได้แก่ พิมพ์ล่าง พิมพ์กลาง และพิมพ์บน พิมพ์ล่างจะมีขนาดและลักษณะตามแผ่นเหล็กตามแต่ละรุ่น พิมพ์กลางจะมีลักษณะตามเนื้อผ้าเบรก และพิมพ์บนจะมีลักษณะตามเนื้อผ้าเบรก แต่จะมีขนาดเล็กกว่าเล็กน้อย ใช้สำหรับกดอัดลงมาในพิมพ์กลาง หลังการติดตั้งจะมีการวัดและปรับอุณหภูมิของแม่พิมพ์ให้มีค่าเท่ากับ 150 ± 5 ^{O}C

4.) ฉีดสเปรย์ซีลีโคนเพื่อป้องกันการติดของเคมีกับแม่พิมพ์

5.) ใส่แผ่นเหล็กที่พ่นกาวแล้วลงในแม่พิมพ์ล่าง

6.) ใส่เคมีที่อัดขึ้นรูปจากกระบวนการพิมพ์เย็นลงในแม่พิมพ์กลาง

7.) เครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนจะทำงานโดยอัตโนมัติ โดยในเกรดเคมี B มีการกดแม่พิมพ์บนลงมาครั้งแรก 10 วินาที ซึ่งหลังจากการเกิดปฏิกิริยาในช่วงของการกดจะเกิดแก๊สขึ้นในตัวชิ้นงาน ซึ่งอาจจะทำให้ชิ้นงานแตกได้ จึงจะมีการยกแม่พิมพ์บนขึ้นเพื่อระบายแก๊สออก โดยมีระยะยก 2.5±0.2 มิลลิเมตร เป็นเวลา 3 วินาที หลังจากนั้นจะกดลงมาอีก 2 วินาที ก่อนจะยกขึ้นอีกครั้ง โดยมียกขึ้นลงเพื่อระบายแก๊สทั้งหมด 4 ครั้ง หลังจากนั้นจะเป็นการกดแช่ทิ้งไว้อีก 200 วินาที

8.) นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

การควบคุมคุณภาพกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน

ในการควบคุมกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน สามารถแบ่งการควบคุมออกได้เป็น 2 ส่วน คือ การควบควบคุมกระบวนการ และการควบคุมผลิตภัณฑ์

1.) การควบคุมกระบวนการ มีการตรวจสอบความพร้อมของเครื่องจักรและแม่พิมพ์ทุกครั้งก่อนปฏิบัติงาน ตรวจสอบความถูกต้องของรหัสแม่พิมพ์ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแม่พิมพ์ ตรวจสอบการปรับตั้งเวลา แรงอัดและอุณหภูมิก่อนเริ่มการผลิตและทุก 2 ชม.

2.) การควบคุมผลิตภัณฑ์ มีการตรวจสอบความถูกต้องของเกรดเคมี ความหนาของชิ้นงาน และสภาพทั่วไปทุกพิมพ์แรกและทุก 10 พิมพ์ การทดสอบค่าแรงเฉือนและสภาพการยึดติดทุกพิมพ์แรกต่อรุ่นต่อกะ การทดสอบค่าความแข็งต่อเกรดเคมีต่อรุ่นต่อวันต่อเครื่อง และการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะต่อเกรดต่อวัน โดยคุณสมบัติทางกายภาพของเกรดเคมี B มีคุณสมบัติดังนี้

- ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity of the adhesive) เท่ากับ 2.5 ± 0.1
- ค่าความแข็ง (Hardness) เท่ากับ 55 ± 25 HRS
- ค่าแรงเฉือน (Shear strength) พื้นที่การยึดติดมากกว่า 90%
- ความหนาชิ้นงาน (Thickness) มากกว่าความหนาของชิ้นงานหลังกระบวนการฝนหรือความหนาตามภาพเขียนแบบ (Drawing) 0.5 – 1 มิลลิเมตร

ตารางที่ 9 แผนการควบคุมคุณภาพของกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน

Process Name/ Operation Description	Characteristics			Methods				
	NO.	Product	Process	Special Char Class	Product/Process Specification/ Tolerance	Evaluation Measurement Technique	Sample size	Sample Freq.
อัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน	1	-	ความพร้อมของเครื่องจักร	-	เครื่องจักรสมบูรณ์พร้อมใช้งาน	ตรวจเช็คตามรายการใน Check sheet follow check sheet	ก่อนปฏิบัติงาน	ทุกวัน
	2	-	ความพร้อมของแม่พิมพ์ร้อน	-	แม่พิมพ์สมบูรณ์พร้อมใช้งาน	Visual Check	ก่อนปฏิบัติงาน	ทุกครั้งที่ทำการผลิต
	3	-	รหัสแม่พิมพ์ร้อน	-	เป็นไปตามข้อกำหนดการผลิต	Visual Inspection	n = 1 Time	พิมพ์แรก
	4	-	ปรับตั้งเวลา	-		โปรแกรม PLC		ปรับตั้งก่อนการผลิตและทุก 2 ชม.
	5	-	ปรับตั้งแรงอัด	-		Presure Gauge		
	6	-	ปรับตั้งอุณหภูมิ	-		digital thermometer		
	7	เกรดเคมี	-	-		Visual Inspection		พิมพ์แรกและทุก 10 พิมพ์
	8	ความหนาของชิ้นงาน	-	-	ตามใบสั่งงานของรุ่นนั้นๆ	Vernier Caliper		
	9	สภาพทั่วไป	-	-	ไม่แตกหัก, ไม่ร้าว, ไม่บวม, และไม่มีวัสดุอื่นเจือปน	Visual Check		
	10	ค่าแรงเฉือน	-	-	เป็นไปตามข้อกำหนดการผลิต	Presure Gauge		พิมพ์แรก/รุ่น/กะ
	11	สภาพการยึดติด	-	-	พื้นที่การยึดติกต้องมากกว่าเท่ากับ80%	Visual Inspection		
ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์	1	ค่าความแข็ง Hardness	-	-	ตามมาตรฐานการตรวจสอบ	Rockwell Hardness tester machine	n = 2 pcs.	เกรด/รุ่น/วัน/เครื่อง
	2	ค่าความถ่วงจำเพาะ Specific gravity of the adhesive	-	-		Specific gravity tester sets Electronic Balance	n = 1 pcs.	เกรด/วัน

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ผลการศึกษาข้อมูลดิสก์เบรกด้วยเทคนิค QFD

จากการศึกษาข้อมูลทั่วไปดิสก์เบรกพบว่าประสิทธิภาพการเบรกเป็นสิ่งที่ออกแบบเพื่อให้ตรงกับความต้องการของลูกค้า โดยมีพื้นฐานการออกแบบจากการขับขี่รูปแบบต่าง ๆ ประสิทธิภาพการเบรกที่แตกต่างกันของดิสก์เบรก เกิดจากสองส่วนที่สำคัญคือองค์ประกอบของเคมี ที่ทำให้เกิดเกรดเคมีรูปแบบต่าง ๆ และอีกส่วนคือกระบวนการผลิตที่ทำให้ดิสก์เบรกมีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันออกไป ประสิทธิภาพการเบรก คุณสมบัติทางกายภาพ และกระบวนการผลิตจึงมีความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจน

บริษัทตัวอย่างมีการศึกษาการตลาด พฤติกรรมของกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย เพื่อออกแบบสูตรผลิตภัณฑ์ในแต่ละเกรดแล้ว คล้ายคลึงกับหลักการศึกษาด้วย QFD ในเฟสที่ 1 ซึ่งเป็นการรวบรวมข้อมูลความต้องการของลูกค้า ความสามารถในการแข่งขัน และประเมินความสามารถของคู่แข่ง เพื่อแปลความหมายเป็นความต้องการทางเทคนิค สามารถออกแบบผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าและสามารถแข่งขันในตลาดได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำแบบสอบถามโดยใช้เทคนิคเดลฟาย เพื่อศึกษาประสิทธิภาพที่สำคัญของเกรดเคมี B ที่บริษัทได้ออกแบบไว้รายละเอียดของแต่ละประสิทธิภาพ รวมทั้งการให้ค่าคะแนนความสำคัญของแต่ละหัวข้อ โดยกำหนดค่าการประเมินเป็น 1 – 5 โดยที่ 5 คือความสำคัญมาก และ 1 คือความสำคัญน้อย พบว่าความสำคัญของประสิทธิภาพการเบรกแต่ละด้าน ทำให้ได้ผลดังตารางที่ 10

จากค่าพิสัยควอไทล์มีค่า 0.0 - 1.0 แสดงว่าความคิดของผู้เชี่ยวชาญไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งพิสัยควอไทล์ที่มากที่สุดคือ 1 แสดงว่าร้อยละ 50 ของผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นค่าความสำคัญต่างกัน 1 และพิสัย ควอไทล์ที่ต่ำที่สุดคือ 0 แสดงว่าร้อยละ 50 ของผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นตรงกันทั้งหมด ซึ่งมีมากถึง 5 ประสิทธิภาพที่มีพิสัย ควอไทล์เป็น 0 และอีก 4 ประสิทธิภาพผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นแตกต่างกันเล็กน้อย

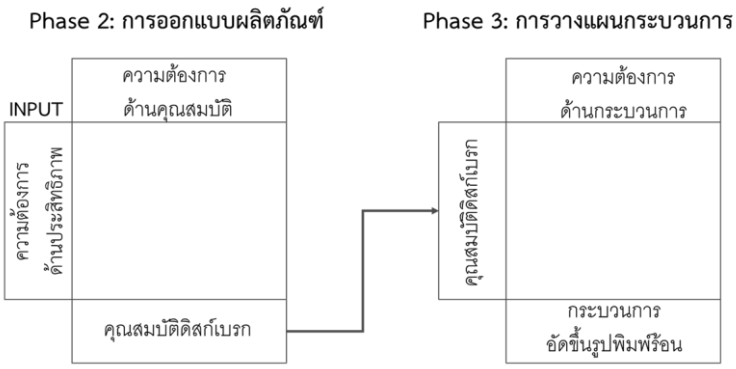
ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพของการเบรกที่สนใจและค่าความสำคัญ

ประสิทธิภาพ	รายละเอียด	ความสำคัญ	IR
Stopping Performance (Normal Temp.)	การขับขี่โดยทั่วไป ไม่ได้ใช้ความเร็วสูงและมีการเบรกบ่อย ช่วงอุณหภูมิของการเบรกจะไม่เกิน 250 ^{O}C ซึ่งเบรกที่ดีไม่ควรมีความสามารถในการเบรกแปรผันตามอุณหภูมิ มีความเสถียรในการเบรก และมีประสิทธิภาพการเบรกเหมาะสมกับการหยุดของรถ	4.4	1.0
Stopping Performance (High Temp.)	อุณหภูมิที่สูงกว่า 250 ^{O}C มักเกิดจากการใช้งานที่ความเร็วสูงมีการเบรกถี่ ๆ จนเกิดความร้อนสะสมในการเบรก ซึ่งประสิทธิภาพการเบรกควรมีความเสถียรและเหมาะสมกับการหยุด	4.0	0.0
Ant – Fade	โอกาสในการเกิดเฟดที่การใช้งานช่วงอุณหภูมิสูงที่ทำให้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลง ซึ่งอาจจะทำให้เกิดอันตรายในการขับขี่ได้ เนื่องจากการผ้าเบรกเกิดปฏิกิริยาเคมีภายใน ทำให้เกิดแก๊ส แก๊สจะเคลือบบริเวณผิวหน้าจานเบรกทำให้ความสามารถในการเบรกลดลง	3.3	1.0
Pad wear	การสึกของเบรกส่งผลกระทบกับอายุการใช้งานและฝุ่นดำ ยิ่งมีการสึกน้อย ก็จะสามารถใช้งานได้นานและมีฝุ่นน้อย	3.2	0.0
Rotor Life Time (Normal Temp.)	การสึกของจานเบรกเนื่องจากการเสียดสีของผ้าเบรกและจานเบรก ซึ่งส่งผลกระทบทั้งในด้านฝุ่นและความพึงพอใจของลูกค้า ภาพลักษณ์ของจานเบรกหลังการใช้งานควรมีความสม่ำเสมอทั้งผิวหน้า ไม่มีลักษณะการสึกเป็นเส้นหรือสร้างความเสียหายให้กับจาน	3.7	0.8
Rotor Life Time (High Temp.)	อายุการใช้งานที่อุณหภูมิของจานเบรกสูง มีลักษณะความสำคัญเช่นเดียวกันกับที่อุณหภูมิปกติ แต่ในการใช้งานที่อุณภูมิสูงมักจะทำให้เกิดการสึกที่มากกว่า รวมทั้งการทำร้ายจานเบรกในรูปแบบต่าง ๆ	2.8	0.0

ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพของการเบรกที่สนใจและค่าความสำคัญ (ต่อ)

ประสิทธิภาพ	รายละเอียด	ความสำคัญ	IR
Dust	ซึ่งเกิดจากการสึกของผ้าเบรกและจานเบรก เป็นสิ่งที่ลูกค้าสามารถมองเห็นได้ และอาจจะเกิดความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์	3.0	0.0
Noise	เสียงที่เกิดจากการเบรกในช่วงความถี่ที่ผู้ขับขี่และผู้โดยสารสามารถได้ยิน เสียงไม่ได้ส่งผลกระทบกับคุณภาพของการเบรก แต่เป็นในเรื่องของความมั่นใจและความรู้สึกของลูกค้า ที่อาจจะรู้สึกถึงความผิดปกติของผลิตภัณฑ์และเกิดการร้องเรียนได้	3.5	1.0
Appearance	ต้องสามารถประกอบติดตั้งได้ มีคุณลักษณะและส่วนประกอบครบถ้วนตามข้อกำหนดผลิตภัณฑ์ และไม่เกิดการแตกหักระหว่างการใช้งาน	3.0	0.0

หลักจากการประเมินด้วยเทคนิคเดลฟายเพื่อหาหัวข้อประสิทธิภาพที่สนใจและค่าสำคัญของแต่ละประสิทธิภาพเพื่อนำมาศึกษาต่อในเทคนิค QFD ในเฟสที่ 2 – 3 โดยจากเดิม เฟสที่ 2 เป็นการแปลความต้องการทางเทคนิคให้เป็นข้อกำหนดหรือคุณลักษณะของส่วนประกอบผลิตภัณฑ์ ซึ่งผู้วิจัยได้ปรับเปลี่ยนเป็นการแปลความต้องการทางประสิทธิภาพให้เป็นความต้องการของคุณสมบัติทางกายภาพของดิสก์เบรก และในเฟสที่ 3 ที่เดิมเป็นการแปลคุณลักษณะของส่วนประกอบให้เป็นคุณลักษณะทางด้านกระบวนการผลิต ได้ปรับเปลี่ยนเป็นความต้องการของคุณสมบัติทางกายภาพของดิสก์เบรกกับกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน โดยข้อมูลนำเข้าข้อมูลมาเพื่อพิจารณาเริ่มต้นจากผลการประเมินประสิทธิภาพที่ได้ในตารางที่ 10 และผลที่ได้จากการศึกษา QFD จะถูกนำไปใช้ต่อไปในการวิเคราะห์ FMEA โดยมีลำดับการวิเคราะห์ข้อมูลดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 แผนผังการวิเคราะห์ QFD

QFD เฟสที่ 2 เป็นการแปลความหมายจากประสิทธิภาพให้เป็นความต้องการทางคุณสมบัติ โดยจากการศึกษาคุณสมบัติของดิสก์เบรกที่สำคัญมีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 5 คุณสมบัติ ได้แก่

1. ความเป็นรูพรุน (Porosity) ความเป็นรูพรุนของดิสก์เบรกเกิดจากช่องว่างในเนื้อผ้าเบรก ซึ่งรูพรุนที่แตกต่างกันของเนื้อผ้าเบรก ทำให้ประสิทธิภาพในการเบรกแตกต่างไปด้วย เนื่องจากรูพรุนที่เกิดขึ้น จะทำให้ผิวหน้าผ้าเบรกเกิดความขรุขระและเกิดการสัมผัสกับจานเบรกได้แตกต่างกัน

2. ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity: S.G.) ความถ่วงจำเพาะของชิ้นงานสื่อถึงความหนาแน่น สอดคล้องกับคุณสมบัติของความเป็นรูพรุนเนื่องจากยิ่งมีรูพรุนมาก ความหนาแน่นของชิ้นงานจะยิ่งต่ำ แต่หากเป็นความเป็นรูพรุนต่ำ ความหนาแน่นของชิ้นงานก็จะสูง โดยความหนาแน่นของชิ้นงานทำให้ในอัตราการสึกของดิสก์เบรกที่เท่ากัน ความหนาแน่นของชิ้นงานที่มากกว่าจะทำให้เกิดฝุ่นเยอะกว่า นอกจากนั้นความหนาแน่นยังสื่อถึงความแข็งแรงของชิ้นงานอีกด้วย

3. ความแข็ง (Hardness) ค่าความแข็งนี้เป็นการวัดค่าความแข็งบริเวณผิวหน้าดิสก์เบรกเท่านั้น ซึ่งเป็นบริเวณที่ดิสก์เบรกสัมผัสกับจานเบรก ซึ่งความแข็งก็สอดคล้องกับความหนาแน่นและความเป็นรูพรุนเช่นเดียวกัน โดยหากผิวหน้าของผ้าเบรกมีความแข็งน้อยเกินไปก็ทำให้อัตราการสึกของดิสก์เบรกมาก อายุการใช้งานสั้นลง แต่หากความแข็งผิวหน้ามากเกินไป ก็จะทำให้จานเบรกเกิดการสึกเร็ว และอาจจะทำให้เกิดรอยอันไม่พึงประสงค์ ซึ่งทำให้ลูกค้าไม่พอใจได้

4. ค่าการอัด (Compressibility) ค่าการอัดส่งผลกระทบโดยเฉพาะด้านของเสียงที่เกิดขึ้นจากการเบรก ทำให้ลูกค้าเกิดความรู้สึกไม่ปลอดภัยในการขับขี่ได้

5. ความยืดหยุ่น (Modulus) ค่าความยืดหยุ่นของดิสก์เบรกมีผลสืบเนื่องมาจากความหนาแน่นและความเป็นรูพรุนของดิสก์เบรก ทำให้ส่งผลกระทบโดยตรงกับในเรื่องประสิทธิภาพการเบรก รวมทั้งการสึก

หลังจากการรวบรวมข้อมูลของคุณสมบัติด้านต่าง ๆ รวมทั้งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของคุณสมบัติ จึงได้ทำการระดมสมองจากผู้เชี่ยวชาญเพื่อพิจารณา หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเบรกและคุณสมบัติของดิสก์เบรก ได้ผลการจัดทำ QFD ในเฟสที่ 2 เป็นตามรูปที่ 18 โดยมีการพิจารณาการให้คะแนนเป็น

0 ไม่มีความสัมพันธ์กัน

1 มีความสัมพันธ์กันน้อย

3 มีความสัมพันธ์กันปานกลาง

9 มีความสัมพันธ์กันมาก

		Performance Importance	Product Requirement				
			Porosity	S.G.	Hardness	Compressibility	Modulus
Performance Requirement	Stopping Performance (Normal Temp.)	4.4	9	9	9	0	9
	Stopping Performance (High Temp.)	4.0	1	1	1	0	1
	Anti-fade Performance	3.3	1	1	1	0	1
	Pad wear	3.2	3	3	3	0	3
	Rotor Life Time (Normal Temp.)	3.7	9	9	9	3	9
	Rotor Life Time (High Temp.)	2.8	9	9	9	3	9
	Dust	3.0	9	9	9	3	9
	Noise	3.5	3	3	3	9	3
	Appearance	3.0	3	3	3	0	3
	Column Weights		161.4	161.4	161.4	60.0	161.4
	% Relative Weights		23%	23%	23%	9%	23%

รูปที่ 18 แผนภาพ QFD เฟสที่ 2 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการเบรกและคุณสมบัติดิสก์เบรก

ซึ่งเมื่อคำนวณสัดส่วนความสำคัญของคุณสมบัติพบว่า สมบัติความเป็นรูพรุน ความถ่วงจำเพาะ ความแข็งและความยืดหยุ่นมีความสำคัญมากที่สุด คือ 23% เนื่องจากส่งผลกระทบกับคุณสมบัติหลักในการออกแบบผลิตภัณฑ์คือในเรื่องของประสิทธิภาพการเบรกและการสึก และยังมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันมีทิศทางของคุณสมบัติไปในทางเดียวกันอีกด้วย

QFD เฟสที่ 3 เป็นการแปลความหมายจากความต้องการทางคุณสมบัติให้เป็นความต้องการในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน โดยจากการศึกษากระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของดิสก์เบรกที่สำคัญมีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 11 ตัวแปร ได้แก่

1. แรงอัดที่ชิ้นงานได้รับ ในกระบวนการความดันเป็นปัจจัยนึงที่ช่วยให้ฟีนอลิกเรซินเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยจะเกิดภายใต้ความดัน 30 – 70 เมกะปาลคาล โดยเครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนประกอบด้วยแม่พิมพ์จำนวน 3 ชั้น แม่พิมพ์ชั้นบนเชื่อมต่อกับกระบอกสูบไฮดรอลิกสำหรับกดลงมาที่ชิ้นงานที่อยู่ใบบริเวณพิมพ์กลาง เนื่องจากดิสก์เบรกในแต่ละรุ่นมีขนาดแตกต่างกัน ทำให้จำนวนหลุมในแม่พิมพ์ของแต่ละแม่พิมพ์มีจำนวนไม่เท่ากันด้วย หากชิ้นงานมีขนาดใหญ่ จำนวนหลุมก็จะน้อยชิ้นงานที่ได้ในแต่ละของการทำงานก็จะน้อยลงไปด้วย เนื่องจากกระบอกสูบของเครื่องจักรมีแรงอัดสูงสุดคงที่ ทำให้การให้แรงอัดของแม่พิมพ์แต่ละรุ่นจะแตกต่างกัน โดยมีการคำนวณเพื่อให้ชิ้นงานในแต่ละชิ้นได้รับแรงอัด 300 kg/cm2 หรือ ประมาณ 30 ปาลคาล

2. อุณหภูมิที่ชิ้นงานได้รับ กระบวนการเกิดปฏิกิริยาของฟีนอลิกเรซินจะเกิดขึ้นภายใต้อุณหภูมิ 140 - 160 องศาเซลเซียล เครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนจะมีฮีตเตอร์ฝังใต้แผ่นเหล็ก ซึ่งจะติดอยู่บริเวณแม่พิมพ์ชิ้นบนและชั้นล่าง อุณหภูมิจะส่งผ่านจากฮีตเตอร์ สู่แม่พิมพ์ชิ้นบนและล่าง และถ่ายถอดสู่แม่พิมพ์กลาง โดยปกติของการทำงานเพื่อให้ลดเวลาการรออุณหภูมิให้ได้ตามเวลา แม่พิมพ์จะถูกนำไปอุ่นในตู้อบให้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำงาน ก่อนจะนำมาติดตั้งในเครื่องพิมพ์ร้อนเพื่อใช้ผลิตชิ้นงานจริง

3. เวลาในการกดครั้งแรก หลังจากใส่แผ่นเหล็กและก้อนเคมีลงในแม่พิมพ์ที่มีอุณหภูมิตามที่ได้ตั้งไว้แล้ว แม่พิมพ์บนจะกดลงมาตามแรงดันที่กำหนด เป็นเวลาในการกดครั้งแรกเพื่อให้ความร้อนถ่ายเทไปที่ชิ้นงาน เกิดปฏิกิริยาขึ้นภายในทำให้ตัวฟีนอลิกเรซินเริ่มเกิดการละลายแทรกตามเนื้อวัสดุต่าง ๆ แต่ระหว่างการกดครั้งแรก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ คือ แก๊สแอมโมเนีย ซึ่งหากภายในชิ้นงานมีแก๊สแอมโมเนียสะสมมากเกินไปจะทำให้ชิ้นงานแตกได้

4. เวลาในการกดย้ำ แก๊สแอมโมเนียที่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากปฏิกิริยาเคมีจะมีการระบายออกชิ้นงานโดยการยกแม่พิมพ์บนขึ้นสลับกับการกดย้ำเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ ซึ่งเวลาในการกดย้ำคือช่วงเวลาที่ใช้ในการกดพิมพ์บนลงบนชิ้นงานในช่วงการคายแก๊ส

5. เวลาในการยกพิมพ์บน เป็นเวลาในการยกพิมพ์บนขึ้นเพื่อให้แก๊สแอมโมเนียในชิ้นงานมีการระบายออก

6. จำนวนครั้งในการกด ในช่วงเวลาการคายแก๊ส การยกแม่พิมพ์บนขึ้นสลับกับการกดชิ้นงานจะมีจำนวนครั้งในการกดสลับนี้ เพื่อให้แก๊สเกิดการระระบายออกมากพอที่จะไม่ทำให้ชิ้นงานเกิดการแตก หรือมีความผิดปกติอื่น ๆ ภายใน

7. เวลาในการกดแช่ หลังจากการคายแก๊สจนมากพอ แม่พิมพ์บนจะกดแช่ลงมาอีกครั้ง เพื่อให้ฟีนอลิกเรซินเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์

8. ระยะยก ในการยกแม่พิมพ์ขึ้นแต่ละครั้งจะมีความสูงของการยกกำหนดไว้ เพื่อให้มีระยะที่เหมาะสม ไม่สูงเกินไปจนเกิดการกระฉากผิวหน้าชิ้นงานให้เกิดความเสียหาย หรือมีระยะยกน้อยเกินไปจนแก๊สไม่สามารถระบายออกนอกระบบได้

9. ขนาดชิ้นงาน ขนาดของดิสก์เบรกมีหลายหลากขนาด ขึ้นกับการออกแบบระบบเบรกของรถแต่ละรุ่น โรงงานตัวอย่างมีการผลิตดิสก์เบรกในหลายรุ่นเช่นกัน ซึ่งขนาดของดิสก์เบรกก็ส่งผลกับจำนวนในแต่ละแม่พิมพ์ ทำให้อาจจะเกิดความหลากหลายในการถ่ายเทความร้อนในชิ้นงาน การกระจายตัวของแรงดัน และการทำงานของพนักงาน

10. การฉีดสเปรย์ซีลีโคนและปริมาณซีลีโคนที่ได้รับ การซีลีโคนเป็นการป้องกันเคมีติดกับแม่พิมพ์ ทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหาย มีตำหนิ ผิวหน้าไม่สวยงาม อาจจะทำให้เกิดของเสียในกระบวนการได้

11. การใส่ชิ้นงานที่แตกต่างกัน ขนาดของก้อนเคมีถูกออกแบบมาให้มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของหลุมแม่พิมพ์ ทำให้ในปัจจุบันการทำงานของพนักงานตัวอย่างมีการใส่ชิ้นงานที่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งได้เป็นสองอย่างหหลัก ๆ คือ การใส่ก้อนเคมีลงไปในหลุมทั้งก้อนและการใส่ก้อนเคมีลงไปในหลุมเพียงบางส่วน

หลังจากการรวบรวมข้อมูลของตัวแปรที่ส่งผลกับกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนในด้านต่าง ๆ จึงทำการประเมินความสัมพันธ์ของกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนกับคุณสมบัติทางกายภาพของดิสก์เบรกทั้ง 5 ด้าน โดยใช้แบบสอบถามด้วยเทคนิคเดลฟาย ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ มีการพิจารณาการให้คะแนนเป็น

0 ไม่มีความสัมพันธ์กัน

1 มีความสัมพันธ์กันน้อย

2 มีความสัมพันธ์กันปานกลาง

3 มีความสัมพันธ์กันมาก

หลังจากการประเมินได้นำผลคะแนนการพิจารณาเพื่อหาค่าเฉลี่ยคะแนนความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติและกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน และค่าพิสัยระหว่างควอไทล์ และแปลค่าเฉลี่ยของคะแนนเป็นลำดับความสำคัญและสัญลักษณ์ตามเทคนิค QFD เช่นเดียวกับเฟสที่ 2 ทำให้ได้ผลตามตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติดิสก์เบรกและพารามิเตอร์ในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน

คุณสมบัติดิสก์เบรก	พารามิเตอร์ในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน	ค่าเฉลี่ยคะแนน	พิสัยควอไทล์	ความสัมพันธ์	สัญลักษณ์ตาม QFD
Porosity	แรงอัดที่ชิ้นงานได้รับ	3.00	0.00	มาก	9
	อุณหภูมิที่ชิ้นงานได้รับ	2.75	0.25	มาก	9
	เวลาในการกดครั้งแรก	2.00	1.25	ปานกลาง	3
	เวลาในการกดย้ำ	2.00	0.25	ปานกลาง	3
	เวลาในการยกพิมพ์บน	2.25	0.50	ปานกลาง	3
	จำนวนครั้งในการกด	2.50	0.25	มาก	9
	เวลาในการกดแช่	3.00	0.25	มาก	9
	ระยะยก	2.50	1.00	มาก	9
	ขนาดชิ้นงาน	2.25	2.00	ปานกลาง	3
	การฉีดสเปรย์ซีลีโคนและปริมาณซีลีโคนที่ได้รับ	0.75	1.00	ไม่มี	0
	การใส่ชิ้นงานที่แตกต่างกัน	2.25	0.25	น้อย	3
S.G.	แรงอัดที่ชิ้นงานได้รับ	3.00	0.00	มาก	9
	อุณหภูมิที่ชิ้นงานได้รับ	2.75	1.00	มาก	9
	เวลาในการกดครั้งแรก	2.25	0.50	ปานกลาง	3
	เวลาในการกดย้ำ	2.00	0.25	ปานกลาง	3
	เวลาในการยกพิมพ์บน	2.25	1.00	ปานกลาง	3
	จำนวนครั้งในการกด	2.50	0.25	มาก	9
	เวลาในการกดแช่	3.00	1.00	มาก	9
	ระยะยก	2.50	1.00	มาก	9
	ขนาดชิ้นงาน	2.00	1.25	ปานกลาง	3
	การฉีดสเปรย์ซีลีโคนและปริมาณซีลีโคนที่ได้รับ	1.00	1.25	น้อย	1
	การใส่ชิ้นงานที่แตกต่างกัน	2.25	0.25	ปานกลาง	3

ตารางที่ 11 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติดิสก์เบรกและพารามิเตอร์ในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน (ต่อ)

คุณสมบัติดิสก์เบรก	พารามิเตอร์ในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน	ค่าเฉลี่ยคะแนน	พิสัยควอไทล์	ความสัมพันธ์	สัญลักษณ์ตาม QFD
Hardness	แรงอัดที่ชิ้นงานได้รับ	2.75	0.25	มาก	9
	อุณหภูมิที่ชิ้นงานได้รับ	3.00	0.00	มาก	9
	เวลาในการกดครั้งแรก	2.50	0.50	มาก	9
	เวลาในการกดย้ำ	2.00	0.50	ปานกลาง	3
	เวลาในการยกพิมพ์บน	2.00	1.00	ปานกลาง	3
	จำนวนครั้งในการกด	2.50	1.00	มาก	9
	เวลาในการกดแช่	2.75	0.25	มาก	9
	ระยะยก	2.50	1.00	มาก	9
	ขนาดชิ้นงาน	1.50	1.00	น้อย	1
	การฉีดสเปรย์ซีลีโคนและปริมาณซีลีโคนที่ได้รับ	1.00	0.25	น้อย	1
	การใส่ชิ้นงานที่แตกต่างกัน	2.00	1.25	ปานกลาง	3
Compressibility	แรงอัดที่ชิ้นงานได้รับ	2.75	0.25	มาก	9
	อุณหภูมิที่ชิ้นงานได้รับ	3.00	0.50	มาก	9
	เวลาในการกดครั้งแรก	2.25	0.50	ปานกลาง	3
	เวลาในการกดย้ำ	2.00	1.00	ปานกลาง	3
	เวลาในการยกพิมพ์บน	2.00	0.25	ปานกลาง	3
	จำนวนครั้งในการกด	2.50	1.00	มาก	9
	เวลาในการกดแช่	2.50	0.25	มาก	9
	ระยะยก	2.50	1.25	มาก	9
	ขนาดชิ้นงาน	1.75	0.50	ปานกลาง	3
	การฉีดสเปรย์ซีลีโคนและปริมาณซีลีโคนที่ได้รับ	1.00	0.25	น้อย	1
	การใส่ชิ้นงานที่แตกต่างกัน	2.00	2.00	ปานกลาง	3

ตารางที่ 11 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติดิสก์เบรกและพารามิเตอร์ในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน (ต่อ)

คุณสมบัติดิสก์เบรก	พารามิเตอร์ในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน	ค่าเฉลี่ยคะแนน	พิสัยควอไทล์	ความสัมพันธ์	สัญลักษณ์ตาม QFD
Modulus	แรงอัดที่ชิ้นงานได้รับ	3.00	0.00	มาก	9
	อุณหภูมิที่ชิ้นงานได้รับ	2.75	1.00	มาก	9
	เวลาในการกดครั้งแรก	2.25	1.25	ปานกลาง	3
	เวลาในการกดย้ำ	2.00	0.25	ปานกลาง	3
	เวลาในการยกพิมพ์บน	2.25	1.25	ปานกลาง	3
	จำนวนครั้งในการกด	2.50	0.25	มาก	9
	เวลาในการกดแช่	3.00	0.25	มาก	9
	ระยะยก	2.75	0.25	มาก	9
	ขนาดชิ้นงาน	1.50	1.00	น้อย	1
	การฉีดสเปรย์ซีลีโคนและปริมาณซีลีโคนที่ได้รับ	1.00	1.00	น้อย	1
	การใส่ชิ้นงานที่แตกต่างกัน	2.00	2.00	ปานกลาง	3

จากการประเมินด้วยเทคนิคเดลฟาย ค่าพิสัยควอไทล์อยู่ในช่วง 0.00 – 2.00 ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วความคิดของผู้เชี่ยวชาญไปทิศทางเดียวกัน มีค่า IR ต่ำกว่า 1 แสดงว่าร้อยละ 50 ของผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นค่าความสำคัญต่างกัน 1 และพิสัย ควอไทล์ที่ต่ำที่สุดคือ 0 แสดงว่าร้อยละ 50 ของผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นตรงกันทั้งหมด แต่ในประเด็นเรื่องการใส่ชิ้นงานที่แตกต่างกัน ผู้เชี่ยวชาญยังมีความคิดเห็นที่หลากหลาย เนื่องจากยังไม่มีการทดลองหรือข้อมูลมากพอ แต่ในเบื้องต้นค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ของการใส่ชิ้นงานที่แตกต่างกันอยู่ในช่วง น้อยและปานกลาง และตัวแปรในกระบวนการ แรงอัด อุณหูมิ เวลาในการกดแช่ จำนวนครั้งในการกด และระยะยก ซึ่งมีค่าความสัมพันธ์ที่มาก และมีค่า IR อยู่ในช่วง 0.00 - 1.25 ซึ่งไปในทิศทางเดียวกัน

จากการประเมินความสัมพันธ์คุณสมบัติดิสก์เบรกและกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน จึงสามารถจัดทำ QFD เฟสที่ 3 การออกแบบกระบวนการได้ตามรูปที่ 19 ซึ่งเมื่อคำนวณสัดส่วนความสำคัญของตัวแปรในกระบวนการพบว่า แรงอัดที่ชิ้นงานได้รับ อุณหภูมิที่ชิ้นงานได้รับ จำนวน

ครั้งในการกด เวลาในการกดแช่ และระยะยก มีความสำคัญมากที่สุด คือ 15% ในแต่ละตัวแปร ซึ่งแต่ละตัวแปรมีความสัมพันธ์มากกับคุณสมบัติดิสก์เบรกที่สนใจทั้ง 5 ด้าน ซึ่งมีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบกับประสิทธิภาพในการเบรก และเกิดความไม่พึงพอใจของลูกค้าได้

			Hot Pressing Parameters										
		Product Spec. Importance	แรงอัดที่ชิ้นงานได้รับ	อุณหภูมิที่ชิ้นงานได้รับ	เวลาในการกดครั้งแรก	เวลาในการกดย้ำ	เวลาในการยกพิมพ์บน	จำนวนครั้งในการกด	เวลาในการกดแช่	ระยะยก	ขนาดชิ้นงาน	การฉีดสเปรย์ซิลิโคนและปริมาณซิลิโคนที่ได้รับ	การใส่ชิ้นงานที่แตกต่างกัน
Product Requirements	Porosity	5.0	9	9	3	3	3	9	9	9	3	0	3
	S.G.	5.0	9	9	3	3	3	9	9	9	3	1	3
	Hardness	5.0	9	9	9	3	3	9	9	9	1	1	3
	Compressibility	1.9	9	9	3	3	3	9	9	9	3	1	3
	Modulus	5.0	9	9	3	3	3	9	9	9	1	1	3
Column Weights			197	197	96	66	66	197	197	197	46	17	66
% Relative Weights			15%	15%	7%	5%	5%	15%	15%	15%	3%	1%	5%

รูปที่ 19 QFD เฟสที่ 3 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติดิสก์เบรกและกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน

ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบต่อคุณภาพ

กระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน มีจุดประสงค์ในการทำให้ชิ้นงานมีรูปร่างตามต้องการให้สามารถประกอบเข้ากับชุดเบรกได้ ด้วยการอัดก้อนเคมีและแผ่นเหล็กเข้าด้วยกันในแม่พิมพ์ ทำให้แผ่นเหล็กยึดติดกันด้วยกาวและได้รูปร่างตามต้องการ และการทำให้ฟีนอเรลิกเรซินเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงโมเลกุลของเคมีอื่น ๆ ให้ยึดติดเข้าด้วยกัน ซึ่งการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบกับคุณภาพ ทำให้ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการไม่ถูกต้องตามวัตถุประสงค์

1. ความรุนแรงลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ

จากการศึกษาความรุนแรงผลกระทบของข้อบกพร่องในตารางที่ 1 นำมาปรับประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับผลกระทบด้านประสิทธิภาพของดิสก์เบรกได้ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 เกณฑ์การให้คะแนนความรุนแรงของข้อบกพร่อง (S)

ผลกระทบ	เกณฑ์ความรุนแรงของผลกระทบ การจัดระดับนี้จะใช้เมื่อแนวโน้มความล้มเหลวที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องต่อลูกค้า หรือในการผลิตประกอบของลูกค้า	การจัดอันดับ
สูงมาก	จัดให้เป็นอันดับภาวะความรุนแรงมาก เมื่อข้อบกพร่องนั้นให้อิทธิพลต่อความปลอดภัยในการใช้ยานยนต์ซึ่งอาจ ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้	10
		9
สูง	ได้แก่ กรณีลูกค้าไม่พอใจมาก เนื่องจากธรรมชาติของข้อบกพร่องนั้น ๆ เอง อาทิเช่น ยานยนต์ที่ใช้งานไม่ได้ โดยไม่เกี่ยวข้อง กับความปลอดภัยในการใช้	8
		7
ปานกลาง	จัดให้เป็นอันดับปานกลาง เนื่องจากข้อบกพร่องนั้นทำให้ลูกค้าเกิดความไม่พึงพอใจบางประการ ลูกค้าได้รับความไม่ สะดวกสบาย หรือได้รับการรบกวนจากข้อบกพร่องนั้น	6
		5
		4
ต่ำ	จัดให้เป็นอันดับต่ำ เนื่องจากธรรมชาติของข้อบกพร่องสร้างความรำคาญให้กับลูกค้า เพียงเล็กน้อย เช่น ต้องปฏิบัติการแก้ไขเล็ก ๆ น้อย ๆ	3
		2
น้อย	ไม่มีเหตุผลที่คาดว่าส่วนเล็กน้อยในธรรมชาติของข้อบกพร่องนั้น จะเป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบอย่างจริงจัง ลูกค้าส่วนใหญ่อาจไม่สังเกตเห็นข้อบกพร่องนี้ก็ได้	1

1.) ค่าความหนาต่ำกว่ากำหนด ทำให้อายุการใช้งานของผ้าเบรกสั้นกว่ากำหนด อาจจะสร้างความไม่พอใจให้กับลูกค้าได้ จัดอันดับความรุนแรงของข้อบกพร่องอยู่ที่ 3

2.) ชิ้นงานแตก ทำให้เกิดความไม่พึงพอใจของลูกค้าได้ เนื่องจากรอยแตกของชิ้นงานสามารถมองเห็นได้ด้วยตา ประสิทธิภาพของการเบรกเปลี่ยนไป ทำให้เกิดเสียง ซึ่งลูกค้าสามารถรับรู้ได้ จึงสามารถจัดอันดับความรุนแรงของข้อบกพร่องอยู่ที่ 7

3.) ชิ้นงานมีตำหนิ สามารถมองเห็นได้ด้วยตา ทำให้ลูกค้ารู้สึกถึงความผิดปกติของชิ้นงาน จัดอันดับความรุนแรงของข้อบกพร่องอยู่ที่ 3

4.) ชิ้นงานหน้านิ่ม คือการที่ชิ้นงานผิวหน้ามีความแข็งแรงน้อย ทำให้ประสิทธิภาพการเบรกในช่วงแรกเปลี่ยนไป อาจจะเกิดความไม่พึงพอใจกับลูกค้าในช่วงแรกของการใช้งาน จึงสามารถจัดอันดับความรุนแรงของข้อบกพร่องอยู่ที่ 5

5.) ชิ้นงานหน้าร่อน สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า อาจจะเกิดความไม่พึงพอใจได้ และยังทำให้อายุการใช้งานสั้นลงด้วย จัดอันดับความรุนแรงของข้อบกพร่องอยู่ที่ 3

6.) เคมีไหล คือการที่เนื้อเคมีเละออกมาจากรูปทรงของดิสก์เบรก บริเวณระหว่างแผ่นเหล็กและก้อนเคมี สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ความผิดปกติที่ทำให้ลูกค้าไม่พอใจ แต่ไม่ได้ส่งผลกระทบกับประสิทธิภาพการเบรก ดังนั้นอันดับความรุนแรงของข้อบกพร่องอยู่ที่ 3

7.) ชิ้นงานบวม คือการที่มีแก๊สสะสมในชิ้นงาน ทำให้ในการใช้งานที่อุณหภูมิสูงเพิ่มโอกาสในการเกิดเฟด รวมทั้งทำให้อาจจะเกิดการแตกของชิ้นงานได้หลังจากการใช้งาน จัดอันดับความรุนแรงของข้อบกพร่องอยู่ที่ 6

8.) ค่าแรงเฉือนต่ำกว่าข้อกำหนด ในการใช้งานของดิสก์เบรก แรงที่เกิดระหว่างการที่ดิสก์เบรกสัมผัสกับจานเบรก ซึ่งการที่แรงเฉือนต่ำกว่าข้อกำหนดแสดงถึงความสามารถทนทานของดิสก์เบรก อาจจะเพิ่มโอกาสในการทำให้ผ้าเบรกหลุดจากแผ่นเหล็กได้ ซึ่งเป็นอันตรายกับการขับขี่ จัดอันดับความรุนแรงของข้อบกพร่องอยู่ที่ 9

9.) สภาพการยึดติดน้อยว่า 90% ของพื้นที่ พื้นที่การยึดติดของกาวเป็นส่วนนึงที่สำคัญถึงสอดคล้องกับสภาพการทนแรงเฉือนของชิ้นงาน ยิ่งมีพื้นที่การยึดติดมากความทนทานของดิสก์เบรกก็ยิ่งมาก ซึ่งหากสภาพการยึดติดน้อยเกินไป ก็อาจจะทำให้ดิสก์เบรกมีโอกาสที่จะหลุดออกจากแผ่นเหล็กได้เมื่อมีการใช้งานหนัก ซึ่งเป็นอันตรายในการขับขี่ จึงจัดอันดับความรุนแรงของข้อบกพร่องอยู่ที่ 9

10.) ความแข็งต่ำกว่ากำหนด ทำให้ประสิทธิภาพการเบรกเปลี่ยนไป อัตราการสึกของดิสก์เบรกสูงขึ้น ซึ่งทำให้อายุการใช้งานของชิ้นงานสั้นลง ส่งผลกับความพึงพอใจของลูกค้าในหลาย ๆ ดังนั้นอันดับความรุนแรงของข้อบกพร่องอยู่ที่ 6

11.) ความแข็งสูงกว่ากำหนด ทำให้ประสิทธิภาพการเบรกเปลี่ยนไป ซึ่งเมื่อผิวหน้าของดิสก์เบรกแข็งเกินไป ทำให้เมื่อสัมผัสกับจานเบรกอาจจะทำให้จานเบรกเกิดรอยได้ และยังทำให้เกิดเสียงและฝุ่นมากขึ้นด้วย ซึ่งลูกค้าจะรู้สึกไม่พึงพอใจในหลาย ๆ ด้าน เพราะสามารถรับรู้ได้ง่ายทั้งการมองเห็นและการได้ยิน จึงจัดอันดับความรุนแรงของข้อบกพร่องอยู่ที่ 7

12.) ความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าข้อกำหนด ส่งผลกระทบในลักษณะเดียวกันกับความแข็งต่ำ คือประสิทธิภาพการเบรกเปลี่ยนไป และทำให้อัตราการสึกสูงขึ้น อันดับความรุนแรงอยู่ที่ 6

13.) ความถ่วงจำเพาะสูงกว่าข้อกำหนด ส่งผลกระทบในลักษณะเดียวกันกับความแข็งสูงกว่าข้อกำหนดคือประสิทธิภาพการเบรกเปลี่ยนไป ทำร้ายจานเบรก และการเกิดเสียงและฝุ่นเพิ่มขึ้น อันดับความรุนแรงจึงอยู่ที่ 7

2. สาเหตุของข้อบกพร่องและโอกาสการเกิด

จากการศึกษาโอกาสการเกิดผลของข้อบกพร่องและสาเหตุของการเกิดในตารางที่ 2 นำมาปรับประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับโอกาสการเกิดในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนของบริษัทตัวอย่างได้ตามตารางที่ 13

ตารางที่ 13 เกณฑ์การให้คะแนนโอกาสการเกิด (O)

ผลกระทบ	ความน่าจะเป็นในการเกิดข้อบกพร่อง	สัดส่วนการเกิดข้อบกพร่อง	การจัดอันดับ
สูงมาก	เกิดความล้มเหลวบ่อยมาก	100 ใน 1,000>= 1 ใน 10	10
		50 ใน 1,000 (1 ใน 20)	9
สูง	เกิดความล้มเหลวถี่	20 ใน 1,000 (1 ใน 50)	8
		10 ใน 1,000 (1 ใน 100)	7
ปานกลาง	เกิดความล้มเหลวเป็นครั้งคราว	2 ใน 1,000 (1 ใน 500)	6
		0.5 ใน 1,000 (1 ใน 2,000)	5
		0.1 ใน 1,000 (1 ใน 10,000)	4
ต่ำ	เกิดความล้มเหลวน้อยครั้ง	0.01 ใน 1,000 (1 ใน 100,000)	3
ต่ำมาก	ความล้มเหลวไม่น่าจะเกิดขึ้นได้	<= 0.001 ใน 1000 (1 ใน 1,000,000)	2
ห่างไกล	ไม่มีแนวโน้มของข้อบกพร่อง	การป้องกันสามารถกำจัดการเกิดได้	1

จากการรวบรวมข้อมูลเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุในการเกิดของแต่ละข้อบกพร่อง เพื่อวิเคราะห์หาโอกาสการเกิด จากข้อมูลของเสีย และการตรวจสอบต่าง ๆ เทียบค่าน้ำหนักการเกิดข้อบกพร่องของแต่ละสาเหตุ จากการรวบรวมข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ การจัดทำ QFD คำนวณหาสัดส่วนข้อบกพร่องของแต่ละสาเหตุ เทียบกับตารางที่ 13 ทำให้ได้สาเหตุการเกิดและโอกาสในการเกิดข้อบกพร่องตามตารางที่ 14

ตารางที่ 14 สาเหตุและโอกาสการเกิดข้อบกพร่อง

ลักษณะข้อบกพร่อง	ข้อบกพร่องใน 1,000	สาเหตุการเกิดข้อบกพร่อง	ค่าน้ำหนักสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง	ข้อบกพร่องใน1,000	การจัดอันดับ
ค่าความหนาต่ำกว่ากำหนด	0.029	วัตถุดิบพิมพ์เย็นไม่ได้ตามข้อกำหนด	0.5	0.014	3
		การขยายตัวของแม่พิมพ์	0.5	0.014	3
ชิ้นงานแตก	0.703	การคายแก๊สไม่สมบูรณ์เนื่องมาจากโปรแกรม PLC ไม่เหมาะสม	0.6	0.422	5
		แรงดันไม่ได้ตามข้อกำหนด	0.2	0.141	4
		อุณหภูมิไม่ได้ตามข้อกำหนด	0.2	0.141	4
ชิ้นงานมีตำหนิ	0.146	วัตถุดิบพิมพ์เย็นไม่ได้ตามข้อกำหนด	0.5	0.073	4
		ความสะอาดของแม่พิมพ์	0.5	0.073	4
ชิ้นงานนิ่ม	0.428	วัตถุดิบพิมพ์เย็นกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ	0.7	0.300	5
		การใส่ชิ้นงานที่ทำให้พิมพ์เย็นแตก	0.3	0.129	4
ชิ้นงานหน้าร่อน	0.053	ฉีดน้ำยาไม่ทั่วแม่พิมพ์	1	0.053	4
เคมีไหล	0.005	แม่พิมพ์ไม่แนบสนิท	1	0.005	3
ชิ้นงานบวม	0.166	โปรแกรม PLC ไม่เหมาะสม	0.6	0.100	4
		แรงดันไม่ได้ตามข้อกำหนด	0.2	0.033	3
		อุณหภูมิไม่ได้ตามข้อกำหนด	0.2	0.033	3
ค่าแรงเฉือนต่ำกว่าข้อกำหนด	0.008	การพ่นกาวที่แผ่นเหล็กไม่ได้ตามข้อกำหนด	0.7	0.005	3
		แผ่นเหล็กไม่สะอาด	0.3	0.002	3

ตารางที่ 14 สาเหตุและโอกาสการเกิดข้อบกพร่อง (ต่อ)

ลักษณะข้อบกพร่อง	ข้อบกพร่องใน 1,000	สาเหตุการเกิดข้อบกพร่อง	ค่าน้ำหนักสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง	ข้อบกพร่องใน1,000	การจัดอันดับ
สภาพการยึดติดน้อยกว่า 90% ของพื้นที่	0.008	การพ่นกาวที่แผ่นเหล็กไม่ได้ตามข้อกำหนด	0.5	0.004	3
		แรงอัดไม่เพียงพอ	0.2	0.002	2
		อุณหภูมิไม่ได้ตามข้อกำหนด	0.3	0.002	3
ความแข็งต่ำกว่าข้อกำหนด	0.633	โปรแกรม PLC ไม่เหมาะสม	0.6	0.380	5
		อุณหภูมิต่ำกว่าข้อกำหนด	0.2	0.127	4
		แรงดันต่ำกว่าข้อกำหนด	0.2	0.127	4
ความแข็งสูงกว่าข้อกำหนด	1.103	โปรแกรม PLC ไม่เหมาะสม	0.6	0.662	5
		อุณหภูมิสูงกว่าข้อกำหนด	0.2	0.221	4
		แรงดันสูงกว่าข้อกำหนด	0.2	0.221	4
ความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าข้อกำหนด	2.042	โปรแกรม PLC ไม่เหมาะสม	0.6	1.225	6
		อุณหภูมิต่ำกว่าข้อกำหนด	0.2	0.408	5
		แรงดันต่ำกว่าข้อกำหนด	0.2	0.408	5
ความถ่วงจำเพาะสูงกว่าข้อกำหนด	0.653	โปรแกรม PLC ไม่เหมาะสม	0.6	0.392	5
		อุณหภูมิสูงกว่าข้อกำหนด	0.2	0.131	4
		แรงดันสูงกว่าข้อกำหนด	0.2	0.131	4

3. การป้องกันและตรวจสอบในปัจจุบัน

จากการศึกษาเกณฑ์ความสามารถในการตรวจพบข้อบกพร่องในตารางที่ 3 นำมาปรับประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับการรูปแบบการตรวจสอบของบริษัทตัวอย่างได้ตามตารางที่ 15

ตารางที่ 15 เกณฑ์การให้คะแนนโอกาสการเกิด (D)

การตรวจพบ	เกณฑ์	ประเภทตรวจพบ			การควบคุมที่ใช้เพื่อให้ตรวจพบ	การจัดอันดับ
		A	B	C		
แทบเป็นไปไม่ได้	ไม่สามารถตรวจพบได้			x	ไม่มีการตรวจสอบเลย	10
เป็นไปได้ยากมาก	เป็นไปได้ยากมากที่การควบคุมจะตรวจพบ			x	ตรวจสอบทางอ้อม	9
เป็นไปได้ยาก	เป็นไปได้ยากมากที่การควบคุมจะตรวจพบ			x	สุ่มตรวจด้วยสายตา	8
ต่ำมาก	เป็นไปได้ยากมากที่การควบคุมจะตรวจพบ			x	สุ่มตรวจด้วยเครื่องมือ	7
ต่ำ	การควบคุมจะตรวจพบได้		x	x	ตรวจก่อนตั้งเครื่อง (ชิ้นแรก) และตามความถี่ ด้วยสายตา	6
ปานกลาง	การควบคุมจะตรวจพบได้		x		ตรวจก่อนตั้งเครื่อง (ชิ้นแรก) และตามความถี่ ด้วยเครื่องมือ	5
ปานกลางถึงค่อนข้างสูง	การควบคุมโอกาสสูงที่จะตรวจพบ	x			ตรวจสอบด้วยสายตาครอบคลุม 100%	4
สูง	การควบคุมโอกาสสูงที่จะตรวจพบ	x	x		ตรวจด้วยเครื่องมือครอบคลุม 100%	3
สูงมาก	การควบคุมโอกาสสูงที่จะตรวจพบ	x	x		มีระบบตรวจสอบที่ไม่สามารถส่งต่อชิ้นงานเสียได้	2
สูงมาก	การควบคุมมีแน่นอนที่จะตรวจพบ	x			ไม่สามารถเกิดชิ้นงานบกพร่องได้ เนื่องจากมีการป้องกันความ ผิดพลาดโดยกระบวนการและการออกแบบผลิตภัณฑ์	1

ชนิดของการตรวจพบ

A = มีมาตรฐานป้องกันความผิดพลาด B = ใช้เครื่องมือตรวจสอบ C = ตรวจสอบโดยผู้ปฏิบัติงาน

จากการศึกษาการทำงาน ระบบควบคุมและป้องกันการทำงานของกระบวนการในปัจจุบัน พบว่าแต่ละสาเหตุของความผิดพลาดสามารถจำแนกและให้คะแนนการจัดอันดับตามตารางที่ 16

ตารางที่ 16 การป้องกันและการตรวจพบกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนในปัจจุบัน

สาเหตุ	การป้องกัน	การตรวจพบ	การจัดอันดับ
วัตถุดิบพิมพ์เย็นต่ำกว่ากำหนด	- มีข้อกำหนดเป็นเอกสาร ณ จุดปฏิบัติการในกระบวนการพิมพ์เย็น	- ตรวจสอบทางอ้อมด้วยน้ำหนักทุกชิ้น	9
วัตถุดิบพิมพ์เย็นไม่ได้ตามข้อกำหนด	- มีข้อกำหนดเป็นเอกสาร ณ จุดปฏิบัติการในกระบวนการพิมพ์เย็น	- ตรวจสอบชิ้นงานพิมพ์เย็นด้วยสายตาทุก 10 ชิ้น	6
วัตถุดิบพิมพ์เย็นกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ	- มีข้อกำหนดเป็นเอกสาร ณ จุดปฏิบัติการในกระบวนการพิมพ์เย็น	- ตรวจสอบชิ้นงานพิมพ์เย็นด้วยสายตาทุก 10 ชิ้น	6
การขยายตัวของแม่พิมพ์	-	-	10
ความสะอาดของแม่พิมพ์	- ทำความสะอาดแม่พิมพ์หลังจากการใช้งาน ก่อนนำไปเก็บเพื่อใช้งานครั้งต่อไป	- ตรวจสอบด้วยสายตาหลังความสะอาด	4
แม่พิมพ์ไม่แนบสนิท	- เครื่องจักรเป็นระบบอัตโนมัติ - มีการฝึกอบรม OJT	- ตรวจสอบด้วยสายตาโดยพนักงานปฏิบัติการ - มีการประเมินทักษะของพนักงาน 2 ครั้ง/ปี	6
ฉีดน้ำยาไม่ทั่วแม่พิมพ์	- เครื่องฉีดน้ำยาอัตโนมัติ - มีการฝึกอบรม OJT	- มีการประเมินทักษะของพนักงาน 2 ครั้ง/ปี	4
การใส่ชิ้นงานที่ทำให้พิมพ์เย็นแตก	- มีการฝึกอบรม OJT	- มีการประเมินทักษะของพนักงาน 2 ครั้ง/ปี	4

ตารางที่ 16 การป้องกันและการตรวจพบกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนในปัจจุบัน (ต่อ)

สาเหตุ	การป้องกัน	การตรวจพบ	การจัดอันดับ
การพ่นกาวที่แผ่นเหล็กไม่ได้ตามข้อกำหนด	-	- ตรวจสอบคุณสมบัติของกาว ความหนากาว และสภาพทั่วไป	5
แผ่นเหล็กไม่สะอาด	-	- ตรวจสอบด้วยสายตาโดยพนักงานทุกชิ้น	4
การพ่นกาวที่แผ่นเหล็กไม่ได้ตามข้อกำหนด	- มีข้อกำหนดเป็นเอกสาร ณ จุดปฏิบัติการในกระบวนพ่นกาว	- บันทึกผลการตรวจสอบคุณสมบัติแผ่นเหล็กพ่นกาวตามความถี่ที่กำหนด	5
โปรแกรม PLC ไม่เหมาะสม	- ตั้งค่าโปรแกรมก่อนเริ่มการทำงาน	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง	3
แรงดันไม่ได้ตามข้อกำหนด	- ปรับตั้งก่อนการผลิต - ตรวจเช็คเครื่องจักรก่อนเริ่มการทำงาน	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง	4
อุณหภูมิไม่ได้ตามข้อกำหนด	- มีข้อกำหนดตาม WI	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง	5

4. ค่าดัชนีความเสี่ยงชี้นำ (RPN) และการจัดทำ FMEA

หลังจากการศึกษาข้อมูลของข้อบกพร่องต่าง ๆ ทั้งความรุนแรง (S) โอกาสที่จะเกิด (O) การตรวจพบ (D) และให้คะแนนในแต่ละหัวข้อแล้วได้นำมาคำนวณหาค่าดัชนีความเสี่ยงชี้นำ และจัดทำตาราง FMEA ได้ตามตารางที่ 17 โดย

$$RPN = S \times O \times D$$

ซึ่งจากการวิเคราะห์ดัชนีความเสี่ยงที่สูงที่สุด 150 คือชิ้นงานนิ่มเนื่องจากเคมีกระจายตัวไม่สม่ำเสมอและค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่ากำหนดเนื่องจากอุณหภูมิต่ำกว่ากำหนด ซึ่งมีค่าดัชนีความเสี่ยงรวม 3,179

ตารางที่ 17 ข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน

Process Step / Function	Requirement	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s) of Failure	Current Process				RPN
						Occurrence	Controls Prevention	Controls Detection	Detection	
อัดขึ้นรูปร้อน	มีลักษณะภายนอกตามข้อกำหนด	ค่าความหนาต่ำกว่ากำหนด	- อายุการใช้งานน้อยกว่าปกติ	3	วัตถุดิบพิมพ์เย็นต่ำกว่ากำหนด	3	- มีข้อกำหนดเป็นเอกสาร ณ จุดปฏิบัติการในกระบวนการพิมพ์เย็น	- ตรวจสอบทางอ้อมด้วยน้ำหนักทุกชิ้น	9	81
					การขยายตัวของแม่พิมพ์	3			10	90
		ชิ้นงานแตก	- เกิดเสียง - ลูกค้าไม่พึงพอใจ - เพิ่มโอกาสให้อายุการใช้งานสั้นลง	7	โปรแกรม PLC ไม่เหมาะสม	5	- ตั้งค่าโปรแกรมก่อนเริ่มการทำงาน	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง	3	105
					แรงดันไม่ได้ตามข้อกำหนด	4	- ปรับตั้งก่อนการผลิต - ตรวจเช็คเครื่องจักรก่อนเริ่มการทำงาน	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง	4	112
					อุณหภูมิไม่ได้ตามข้อกำหนด	4	- มีข้อกำหนดตาม WI	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง	5	140

ตารางที่ 17 ข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน (ต่อ)

Process Step / Function	Requirement	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s) of Failure	Current Process				RPN
						Occurrence	Controls Prevention	Controls Detection	Detection	
		ชิ้นงานมีตำหนิ	- ลักษณะชิ้นงานไม่เป็นที่พึงพอใจของลูกค้า	3	วัตถุดิบพิมพ์เย็นไม่ได้ตามข้อกำหนด	4	- มีข้อกำหนดเป็นเอกสาร ณ จุดปฏิบัติการในกระบวนการพิมพ์เย็น	- ตรวจสอบชิ้นงานพิมพ์เย็นด้วยสายตาทุก 10 ชิ้น	6	72
					ความสะอาดของแม่พิมพ์	4	- ทำความสะอาดแม่พิมพ์หลังจากการใช้งาน ก่อนนำไปเก็บเพื่อใช้งานครั้งต่อไป	- ตรวจสอบด้วยสายตาหลังความสะอาด	4	48
		ชิ้นงานนิ่ม	- ลักษณะชิ้นงานไม่เป็นที่พึงพอใจของลูกค้า - ประสิทธิภาพการเบรกลดลง	5	วัตถุดิบพิมพ์เย็นกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ	5	- มีข้อกำหนดเป็นเอกสาร ณ จุดปฏิบัติการในกระบวนการพิมพ์เย็น	- ตรวจสอบชิ้นงานพิมพ์เย็นด้วยสายตาทุก 10 ชิ้น	6	150
					การใส่ชิ้นงานที่ทำให้พิมพ์เย็นแตก	4	- มีการฝึกอบรม OJT	- มีการประเมินทักษะของพนักงาน 2 ครั้ง/ปี	4	80

ตารางที่ 17 ข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน (ต่อ)

Process Step / Function	Requirement	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s) of Failure	Current Process				RPN
						Occurrence	Controls Prevention	Controls Detection	Detection	
		ชิ้นงานหน้าร่อน	- อายุการใช้งานสั้นลง	3	ฉีดน้ำยาไม่ทั่วแม่พิมพ์	4	- เครื่องฉีดน้ำยาอัตโนมัติ - มีการฝึกอบรม OJT	- สุ่มตรวจด้วยสายตา - มีการประเมินทักษะของพนักงาน 2 ครั้ง/ปี	4	48
		เคมีไหล	- ลักษณะชิ้นงานไม่เป็นที่พึงพอใจของลูกค้า	2	แม่พิมพ์ไม่แนบสนิท	3	- เครื่องจักรเป็นระบบอัตโนมัติ - มีการฝึกอบรม OJT	- ตรวจสอบด้วยสายตาโดยพนักงานปฏิบัติการ - มีการประเมินทักษะของพนักงาน 2 ครั้ง/ปี	6	36
		ชิ้นงานบวม	- เพิ่มโอกาสการเกิดเฟด - เพิ่มโอกาสทำให้ผ้าเบรกแตก	6	โปรแกรม PLC ไม่เหมาะสม	4	- ตั้งค่าโปรแกรมก่อนเริ่มการทำงาน	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง	3	72
					แรงดันไม่ได้ตามข้อกำหนด	3	- ปรับตั้งก่อนการผลิต - ตรวจเช็คเครื่องจักรก่อนเริ่มการทำงาน	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง	4	72
					อุณหภูมิไม่ได้ตามข้อกำหนด	3	- มีข้อกำหนดตาม WI	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง	5	90

ตารางที่ 17 ข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน (ต่อ)

Process Step / Function	Requirement	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s) of Failure	Current Process				RPN
						Occurrence	Controls Prevention	Controls Detection	Detection	
	สามารถทนแรงเฉือนได้ตามข้อกำหนด	ค่าแรงเฉือนต่ำกว่าข้อกำหนด	- เพิ่มโอกาสผ้าเบรกหลุดจากแผ่นเหล็ก เป็นอันตรายกับการขับขี่	9	การพ่นกาวที่แผ่นเหล็กไม่ได้ตามข้อกำหนด	3		- ตรวจสอบคุณสมบัติของกาว ความหนากาว และสภาพทั่วไป ตามความถี่ที่กำหนด	5	135
					แผ่นเหล็กไม่สะอาด	3		- ตรวจสอบด้วยสายตาโดยพนักงานทุกชิ้น	4	108
	มีสภาพการยึดติดมากกว่า 90% ของพื้นที่	สภาพการยึดติดน้อยกว่า 90% ของพื้นที่	- เพิ่มโอกาสผ้าเบรกหลุดจากแผ่นเหล็ก เป็นอันตรายกับการขับขี่	9	การพ่นกาวที่แผ่นเหล็กไม่ได้ตามข้อกำหนด	3	- มีข้อกำหนดเป็นเอกสาร ณ จุดปฏิบัติการในกระบวนพ่นกาว	- ตรวจสอบคุณสมบัติของกาว ความหนากาว และสภาพทั่วไป ตามความถี่ที่กำหนด	5	135
					แรงอัดไม่เพียงพอ	2	- ปรับตั้งก่อนการผลิต - ตรวจเช็คเครื่องจักรก่อนเริ่มการทำงาน	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง	4	72
					อุณหภูมิไม่ได้ตามข้อกำหนด	3	- มีข้อกำหนดตาม WI	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง	5	135

ตารางที่ 17 ข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน (ต่อ)

Process Step / Function	Requirement	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s) of Failure	Current Process				RPN
						Occurrence	Controls Prevention	Controls Detection	Detection	
	ค่าความแข็งตามผิวหนาตามข้อกำหนด	ความแข็งต่ำกว่าข้อกำหนด	- ประสิทธิภาพการเบรกเปลี่ยนไป - อัตราการสึกสูง	6	โปรแกรม PLC ไม่เหมาะสม	5	- ตั้งค่าโปรแกรมก่อนเริ่มการทำงาน	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง	3	90
					แรงดันต่ำกว่าข้อกำหนด	4	- ปรับตั้งก่อนการผลิต - ตรวจเช็คเครื่องจักรก่อนเริ่มการทำงาน	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง	4	96
					อุณหภูมิต่ำกว่าข้อกำหนด	4	- มีข้อกำหนดตาม WI	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง	5	120
		ความแข็งสูงกว่าข้อกำหนด	- ประสิทธิภาพการเบรกเปลี่ยนไป - ทำร้ายจานเบรก - เกิดเสียง - เกิดฝุ่น	7	โปรแกรม PLC ไม่เหมาะสม	5	- ตั้งค่าโปรแกรมก่อนเริ่มการทำงาน	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง	3	105
					แรงดันสูงกว่าข้อกำหนด	4	- ปรับตั้งก่อนการผลิต - ตรวจเช็คเครื่องจักรก่อนเริ่มการทำงาน	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง	4	112
					อุณหภูมิสูงกว่าข้อกำหนด	4	- มีข้อกำหนดตาม WI	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง	5	140

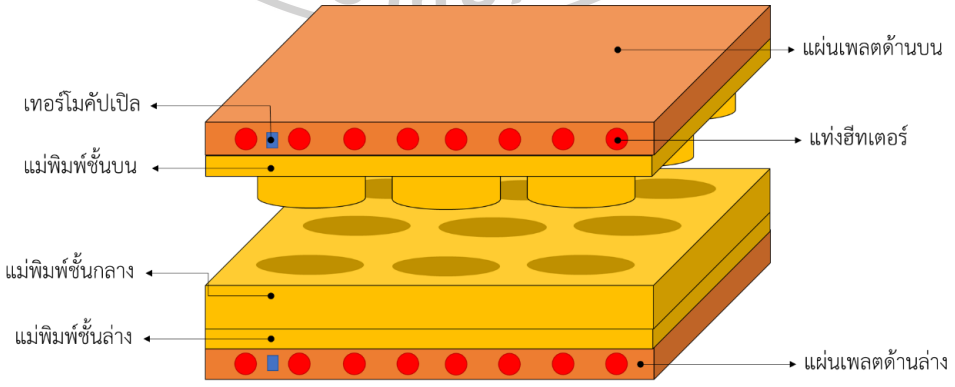
ตารางที่ 17 ข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน (ต่อ)

Process Step / Function	Requirement	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s) of Failure	Current Process				RPN
						Occurrence	Controls Prevention	Controls Detection	Detection	
	ค่าความถ่วงจำเพาะตามข้อกำหนด	ความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าข้อกำหนด	- ประสิทธิภาพการเบรกเปลี่ยนไป - อัตราการสึกสูง	6	โปรแกรม PLC ไม่เหมาะสม	6	- ตั้งค่าโปรแกรมก่อนเริ่มการทำงาน	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง	3	108
					แรงดันต่ำกว่าข้อกำหนด	5	- ปรับตั้งก่อนการผลิต - ตรวจเช็คเครื่องจักรก่อนเริ่มการทำงาน	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง	4	120
					อุณหภูมิต่ำกว่าข้อกำหนด	5	- มีข้อกำหนดตาม WI	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง	5	150
		ความถ่วงจำเพาะสูงกว่าข้อกำหนด	- ประสิทธิภาพการเบรกเปลี่ยนไป - ทำร้ายจานเบรก - เกิดเสียง - เกิดฝุ่น	7	โปรแกรม PLC ไม่เหมาะสม	5	- ตั้งค่าโปรแกรมก่อนเริ่มการทำงาน	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง	3	105
					แรงดันสูงกว่าข้อกำหนด	4	- ปรับตั้งก่อนการผลิต - ตรวจเช็คเครื่องจักรก่อนเริ่มการทำงาน	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง	4	112
					อุณหภูมิสูงกว่าข้อกำหนด	4	- มีข้อกำหนดตาม WI	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง	5	140

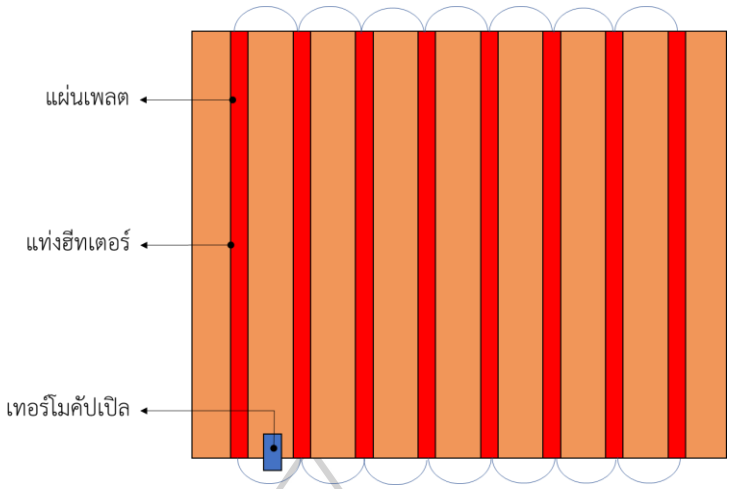
การปรับปรุงกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน

จากการศึกษา QFD ทำให้ทราบถึงตัวแปรสำคัญในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน คือ แรงอัดที่ชิ้นงานได้รับ อุณหภูมิที่ชิ้นงานได้รับ จำนวนครั้งในการกด เวลาในการกดแช่ และระยะยก ปัจจัยทั้งหลายเหล่านี้ส่งผลให้คุณสมบัติของดิสก์เบรกแต่ละชิ้นมีคุณภาพแตกต่างกันไป ความแปรปรวนในกระบวนการส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องต่าง ๆ ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ ดัชนีความเสี่ยงมีมากที่สุด 150 คือ ชิ้นงานนิ่มเนื่องจากวัตถุดิบพิมพ์เย็นกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ และความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าข้อกำหนด ซึ่งมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิ นอกจากนั้นความเสี่ยงอื่น ๆ ที่มีสาเหตุมาจากอุณหภูมิคือ ชิ้นงานแตก (RPN=140) ชิ้นงานบวม (RPN=90) สภาพการยึดติดต่ำกว่า 90% ของพื้นที่ (RPN=135) ความแข็งต่ำกว่ากำหนด (RPN=120) ความแข็งสูงกว่ากำหนด (RPN=140) ความถ่วงจำเพาะสูงกว่าข้อกำหนด (RPN=140) การควบคุมอุณหภูมิในปัจจุบันมีการตรวจสอบโดยพนักงานปฏิบัติงานก่อนเริ่มการทำงานและทุก ๆ 2 ชั่วโมง โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดแม่พิมพ์บนและล่างอย่างละ 1 ตำแหน่ง ทำให้คะแนนการป้องกันและการตรวจพบในปัจจุบันอยู่ที่ 5 ผู้วิจัยจึงเลือกปรับปรุงระบบควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน

อุณหภูมิที่ชิ้นงานได้รับ อาศัยการถ่ายโอนความร้อนจากฮีตเตอร์ ส่งผ่านให้กับแผ่นแพลทที่ติดแม่พิมพ์ ทำให้แม่พิมพ์มีอุณหภูมิตามที่ต้องการ ซึ่งควบคุมการทำงานของอีตเตอร์ด้วยเทอร์โมคัปเปิล หากอุณหภูมิในแผ่นเพลตที่เทอร์โมคัปเปิลตรวจวัดได้ต่ำกว่าที่ตั้งไว้ ระบบจะปล่อยกระแสไฟฟ้าให้ฮีตเตอร์ทำงาน เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้ได้ตามที่ตั้งไว้ ซึ่งเมื่อได้อุณหูมิได้ตามที่ตั้งไว้แล้ว ระบบจะตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้า จนกว่าอุณหภูมิจะต่ำกว่ากำหนดอีกครั้งจึงให้กระแสไฟใหม่



รูปที่ 20 องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับระบบความร้อนในเครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน

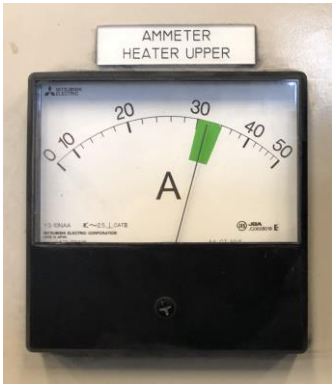


รูปที่ 21 ตำแหน่งฮีตเตอร์และเทอร์โมคัปเปิลภายในแผ่นแพลต

ซึ่งมาตรฐานของอุณหภูมิกำหนดอยู่ที่ 150±5 ^{O}C ซึ่งจะมีการควบคุมภายในด้วยเทอร์-โมคัปเปิล มีการแสดงผลของอุณหภูมิผ่านหน้าจอแสดงผล แต่อุณหภูมิที่ส่งผ่านไปที่ชิ้นงานจะวัดอีกครั้งด้วยเทอร์โมมิเตอร์บริเวณแม่พิมพ์บนและล่างอีก 1 จุด ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแม่พิมพ์และหลังการทำงานทุก ๆ 2 ชั่วโมง ซึ่งหากอุณหภูมิไม่ได้ตามข้อกำหนดสาเหตุหลักเกิดจากการที่ฮีตเตอร์บางตัวเกิดการชำรุด ซึ่งการตรวจวัดในปัจจุบัน ไม่ได้ทำการตรวจวัดอุณหภูมิทุกจุดของแม่พิมพ์ทำให้ยากกับการตรวจพบการชำรุดของฮีตเตอร์ แต่หากเพิ่มจุดตรวจวัดให้พนักงาน ก็จะเป็นการเพิ่มความลำบากในการทำงานและเสี่ยงกับอันตรายในการสัมผัสความร้อน ผู้วิจัยจึงได้นำหลักการการทำงานของฮีตเตอร์ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนเป็นระบบในการพบและควบคุมอุณหภูมิ โดยอาศัยหลักการกระแสไฟฟ้า ซึ่งฮีตเตอร์ 1 แท่งใช้กระแสไฟฟ้า 4 A แผ่นเพลตในเครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนแต่ละเครื่องจะมีฮีตเตอร์ 8 – 9 แท่งต่อวงจรแบบขนานจึงสามารถสร้างมาตรฐานค่ากระแสไฟฟ้าได้เป็น

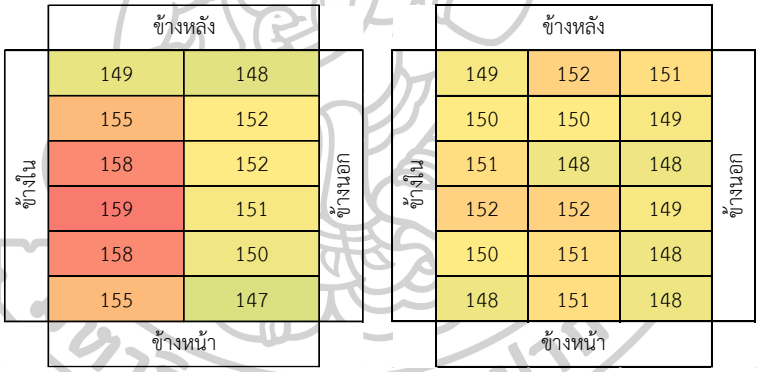
ค่ากระแสไฟฟ้า = (จำนวนแท่งฮีตเตอร์ X 4) ± 2

ทำให้ได้มาตรฐานของแต่ละเครื่อง และได้นำไปติดบริเวณแอมมิเตอร์ที่หน้าเครื่องจักร ซึ่งจะมีการตรวจสอบโดยพนักงานก่อนเริ่มงานและระหว่างปฏิบัติงาน โดยหากเข็มอยู่บริเวณสีเขียวแสดงว่าสามารถปฏิบัติงานได้ แต่หากเข็มอยู่บริเวณสีแดงพนักงานจะทำการหยุดเครื่องจักรและทำการแจ้งซ่อม เพื่อให้ช่างซ่อมบำรุงเข้ามาปรับปรุงเครื่องจักร ทำให้ระบบในการตรวจพบความเสี่ยงเรื่องอุณหภูมิมีความครอบคลุมมากขึ้น



รูปที่ 22 มาตรฐานการตรวจสอบกระแสไฟฟ้า

ซึ่งจากการเก็บข้อมูลกระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิ พบว่า แอมมิเตอร์ด้านบนของเครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนเครื่องที่ 12 มีกระแสไฟฟ้า 28 A ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานคือ 32 A ซึ่งเมื่อวัดอุณหภูมิของแต่ละหลุมของแม่พิมพ์ชั้นบนพบว่าอุณหภูมิมีความแปรปรวนสูงมาก และในบางหลุมของแม่พิมพ์มีอุณหภูมิสูงกว่ามาตรฐาน ซึ่งหลังจากการซ่อมบำรุงเครื่องจักรแล้ว อุณหภูมิในแต่ละหลุมของแม่พิมพ์มีความเสถียรมากยิ่งขึ้น และทุกหลุมของมีพิมพ์ยังมีอุณหภูมิได้ตามกำหนดอีกด้วย



รูปที่ 23 อุณหภูมิของแม่พิมพ์ก่อนและหลังการปรับปรุงฮีตเตอร์

หลังจากการปรับปรุงระบบควบคุมและตรวจสอบอุณหภูมิ ทำให้จากการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับสาเหตุด้านอุณหภูมิ โดยการเพิ่มมาตรฐานการตรวจสอบอุณหภูมิทำให้สามารถมองเห็นได้ด้วยสายตาตลอดเวลาการทำงาน ทำให้การจัดอันดับการตรวจพบลดลงเป็น 4 ทำให้ได้ค่าดัชนีความเสี่ยงรวมลดลงจาก 3,179 เหลือ 2,996 ลดดัชนีความเสี่ยงลง 183 คิดเป็น 5.8% ซึ่งเป็นการลดความเสี่ยง 7 ข้อบกพร่องคือ ชิ้นงานแตก ชิ้นงานบวม สภาพการยึดติดต่ำกว่า 90% ของพื้นที่ ค่าความแข็งต่ำกว่ากำหนด ค่าความแข็งสูงกว่ากำหนด ความถ่วงจำเพาะต่ำกว่ากำหนด และความถ่วงจำเพาะสูงกว่ากำหนด ซึ่งมีค่าการตรวจพบและค่าดัชนีความเสี่ยงเปลี่ยนไปตามตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนก่อนและหลังการปรับปรุง

Process Step / Function	Requirement	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s) of Failure	Occurrence	Current Process				Improvement Process			
							Controls Prevention	Controls Detection	Detection	RPN	Controls Prevention	Controls Detection	Detection	RPN
อัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน	มีลักษณะภายนอกตามข้อกำหนด	ชิ้นงานแตก	- เกิดเสียง - ลูกค้าไม่พึงพอใจ - เพิ่มโอกาสให้อายุการใช้งานสั้นลง	7	อุณหภูมิไม่ได้ตามข้อกำหนด	4	- มีข้อกำหนดตาม WI	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก 2 ชั่วโมง	5	140	- มีข้อกำหนดตาม WI - ตรวจสอบเครื่องจักรก่อนปฏิบัติงาน	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง - ตรวจสอบค่ากระแสไฟฟ้า	4	112
		ชิ้นงานบวม	- เพิ่มโอกาสการเกิดเฟด - เพิ่มโอกาสทำให้ผ้าเบรกแตก	6	อุณหภูมิไม่ได้ตามข้อกำหนด	3	- มีข้อกำหนดตาม WI	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก 2 ชั่วโมง	5	90	- มีข้อกำหนดตาม WI - ตรวจสอบเครื่องจักรก่อนปฏิบัติงาน	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง - ตรวจสอบค่ากระแสไฟฟ้า	4	72
	มีสภาพการยึดติดมากกว่า 90% ของพื้นที่	สภาพการยึดติดน้อยกว่า 90% ของพื้นที่	- เพิ่มโอกาสผ้าเบรกหลุดจากแผ่นเหล็ก เป็นอันตรายกับการขับขี่	9	อุณหภูมิไม่ได้ตามข้อกำหนด	3	- มีข้อกำหนดตาม WI	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก 2 ชั่วโมง	5	135	- มีข้อกำหนดตาม WI - ตรวจสอบเครื่องจักรก่อนปฏิบัติงาน	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง - ตรวจสอบค่ากระแสไฟฟ้า	4	108

ตารางที่ 18 ข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนก่อนและหลังการปรับปรุง (ต่อ)

Process Step / Function	Requirement	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s) of Failure	Occurrence	Current Process				Improvement Process			
							Controls Prevention	Controls Detection	Detection	RPN	Controls Prevention	Controls Detection	Detection	RPN
	ค่าความแข็งตามผิวหนาตามข้อกำหนด	ความแข็งต่ำกว่าข้อกำหนด	- ประสิทธิภาพการเบรกเปลี่ยนไป - อัตราการสึกสูง	6	อุณหภูมิต่ำกว่าข้อกำหนด	4	- มีข้อกำหนดตาม WI	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก 2 ชั่วโมง	5	120	- มีข้อกำหนดตาม WI - ตรวจสอบเครื่องจักรก่อนปฏิบัติงาน	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง - ตรวจสอบค่ากระแสไฟฟ้า	4	96
		ความแข็งสูงกว่าข้อกำหนด	- ประสิทธิภาพการเบรกเปลี่ยนไป - ทำร้ายจานเบรก - เกิดเสียง - เกิดฝุ่น	7	อุณหภูมิสูงกว่าข้อกำหนด	4	- มีข้อกำหนดตาม WI	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก 2 ชั่วโมง	5	140	- มีข้อกำหนดตาม WI - ตรวจสอบเครื่องจักรก่อนปฏิบัติงาน	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง - ตรวจสอบค่ากระแสไฟฟ้า	4	112

ตารางที่ 18 ข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนก่อนและหลังการปรับปรุง (ต่อ)

Process Step / Function	Requirement	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s) of Failure	Occurrence	Current Process				Improvement Process			
							Controls Prevention	Controls Detection	Detection	RPN	Controls Prevention	Controls Detection	Detection	RPN
	ค่าความหนาแน่นตามข้อกำหนด	ความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าข้อกำหนด	- ประสิทธิภาพการเบรกเปลี่ยนไป - อัตราการสึกสูง	6	อุณหภูมิต่ำกว่าข้อกำหนด	5	- มีข้อกำหนดตาม WI	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก 2 ชั่วโมง	5	150	- มีข้อกำหนดตาม WI - ตรวจสอบเครื่องจักรก่อนปฏิบัติงาน	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง - ตรวจสอบค่ากระแสไฟฟ้า	4	120
		ความถ่วงจำเพาะสูงกว่าข้อกำหนด	- ประสิทธิภาพการเบรกเปลี่ยนไป - ทำร้ายจานเบรก - เกิดเสียง - เกิดฝุ่น	7	อุณหภูมิสูงกว่าข้อกำหนด	4	- มีข้อกำหนดตาม WI	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก 2 ชั่วโมง	5	140	- มีข้อกำหนดตาม WI - ตรวจสอบเครื่องจักรก่อนปฏิบัติงาน	- ตรวจสอบก่อนเริ่มผลิตและทุก ๆ 2 ชั่วโมง - ตรวจสอบค่ากระแสไฟฟ้า	4	112

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

เทคนิคการแปลหน้าที่เชิงคุณภาพช่วยให้สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพ คุณสมบัติและกระบวนการได้อย่างเป็นรูปประธรรม ช่วยให้ง่ายในการเข้าใจความต้องการของลูกค้า และสื่อสารกันในองค์กร เกิดการแก้ปัญหาอย่างตรงจุด โดยจากการศึกษาข้อมูลของดิสก์เบรกเกรดเคมี B ซึ่งต้องการตอบสนองลูกค้าในด้านประสิทธิภาพของการเบรกเป็นหลัก ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติที่สำคัญของดิสก์เบรกคือความเป็นรูพรุน ความถ่วงจำเพาะ ค่าความแข็ง และค่าความยืดหยุ่น ซึ่งคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต โดยเฉพาะกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน ซึ่งมีตัวแปรที่สำคัญได้แก่ แรงอัดที่ชิ้นงานได้รับ อุณหภูมิที่ชิ้นงานได้รับ จำนวนครั้งในการกด เวลาในการกดแช่ และระยะยก ซึ่งมีค่าความสำคัญของตัวแปรอยู่ที่ 15%

การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนทำให้ทราบถึงลักษณะและอาการของข้อบกพร่อง ผลกระทบที่สอดคล้องกับความพึงพอใจของลูกค้า สาเหตุในการเกิดข้อบกพร่อง รวมทำโอกาสการเกิดและความสามารถในการตรวจพบ ทำให้สามารถจัดการและควบคุมกระบวนการได้อย่างเป็นระบบ เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตรวจสอบความผิดพลาดและลดการเกิดขึ้นของข้อบกพร่องไม่ให้เกิดความไม่พึงพอใจของลูกค้า ซึ่งจากการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าดัชนีความเสี่ยงที่สูงที่สุดคือ ชิ้นงานนิ่มเนื่องจากวัตถุดิบพิมพ์เย็นกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ และความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าข้อกำหนด ซึ่งมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิ นอกจากนั้นยังมีอีก 6 ข้อบกพร่องที่มีสาเหตุมาจากอุณหภูมิด้วยเช่นกัน ทำให้อุณหภูมิเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องมีการปรับปรุง

จากการปรับปรุงกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนโดยเพิ่มการตรวจสอบด้านอุณหภูมิโดยการตรวจสอบกระแสไฟฟ้า ทำให้สามารถมองเห็นด้วยสายตาตลอดการทำงานช่วยให้การจัดอันดับการตรวจพบอยู่ที่ 4 ลดความเสี่ยงของ 7 ข้อบกพร่องที่เกี่ยวข้องคือ ชิ้นงานแตก ชิ้นงานบวม สภาพการยึดติดต่ำกว่า 90% ของพื้นที่ ค่าความแข็งต่ำกว่ากำหนด ค่าความแข็งสูงกว่ากำหนด ความถ่วงจำเพาะต่ำกว่ากำหนด และความถ่วงจำเพาะสูงกว่ากำหนด ทำให้ค่าดัชนีความเสี่ยงรวมลดลงจาก 3,179 เหลือ 2,996 ลดดัชนีความเสี่ยงลง 183 คิดเป็น 5.8%

ข้อเสนอแนะ

1. เพิ่มการตรวจสอบด้านอุณหภูมิโดยใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ
2. ปรับปรุงเครื่องจักรเพื่อให้การกระจายตัวของอุณหภูมิสม่ำเสมอยิ่งขึ้น
3. ตรวจสอบผลกระทบเพิ่มเติมหลังการปรับปรุง เช่น ของเสีย การร้องเรียน เป็นต้น
4. ปรับปรุงการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ครอบคลุมปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตตลอดเวลา

รายการอ้างอิง

1. กระทรวงอุตสาหกรรม, แผนแม่บทการพัฒนาอุตสาหกรรมไทย พ.ศ. *2555-2574*. 2553.
2. ธนาคารออมสิน ส่วนเศรษฐกิจรายสาขา ศูนย์วิจัยเศรษฐกิจ ธุรกิจและเศรษฐกิจฐานราก, อุตสาหกรรมยานยนต์. 2561.
3. ธนภร วิไลรัตน์, ผลของตัวแปรในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนต่อสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของผ้าเบรก, in ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์. 2561, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
4. Shenshen Shi, *Automobile brake system*, in *Applied Sciences*. 2016, Savonia University.
5. วลัยพร เหมโสม, การลดของเสียจากกระบวนการผลิตผ้าเบรกรถยนต์โดยการประยุกต์ใช้วิธีการ *DMAIC*, in สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ 2556, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
6. Pradnya Kosbe and Chittaranjan More, *Performance of NAO Friction Material for Disc Brake.* National Journal on Advances in Building Sciences and Mechanics, 2010. 1(2): p. 1-5.
7. Geoffrey Nicholson, *100 years of brake linings & clutch facings*. 1995, Croydon: P&W Price Enterprises Inc.
8. ISO, *ISO 15484* in *Road vehicles – Brake lining Friction materials – Product definition and quality assurance.* 2008.
9. ศุภพิชญ์ จิรบูรณ์ธนันดร, การประยุกต์ใช้เทคนิค *QFD* และ *PFMEA* สำหรับการออกแบบและทดสอบผลิตคอยล์ร้อนรถยนต์, in สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2551, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
10. นิรมล ศรีไหม, et al., การพัฒนาผลิตภัณฑ์กาวติดโลหะจากยางธรรมชาติสำหรับอุตสาหกรรมรถยนต์ด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ. วารสารข่ายงานวิศวหรรมอุตสาหกรรมไทย, 2562. **5**(2): p. 46-54.
11. มนต์ชัย เทียนทอง, การวิจัยด้วยเทคนิคเดลฟาย, in สถิติและวิธีการวิจัยทางเทคโนโลยีสารสนเทศ. 2548, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ: กรุงเทพ. p. 165-180.
12. รณชัย ไม้สนธิ์, การลดของเสียจากการอบยางในกระบวนการผลิตยางรถยนต์โดยใช้เทคนิค *FMEA*, in สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2553, จุฬาลงกรณ์

มหาวิทยาลัย.

13. หทัยรัตน์ สงวนไทร, การปรับปรุงและเฝ้าติดตามคุณภาพในกระบวนการก่อสร้างบ้านโดยประยุกต์ใช้หลักการ *QFD* และ *FMEA*, in สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ 2550, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
14. ประพัฒน์ เจริญหงส์ทอง, การออกแบบและวางแผนกระบวนการผลิตตู้โชว์สินค้าแช่แข็งโดยประยุกต์ใช้เทคนิค, in สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ 2551, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
15. วิชาญ ทองไพรวรรณ, การประยุกต์ใช้เทคนิค *FMEA* ในการปรับปรุงกระบวนการออกแบบและพัฒนาแม่พิมพ์ขึ้นรูปแก้วที่ใช้บนโต๊ะอาหาร, in สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2554, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
16. Korayem, M.H. and A. Iravani, *Improvement of 3P and 6R mechanical robots reliability and qualily applying FMEA and QFD approaches.* ScienceDirect, 2008. 24(3): p. 472-487.
17. B. Almannai, R. Greenough, and J. Kay, *A decision support tool based on QFD and FMEA for the selection of manufacturing automation technologies.* ScienceDirect, 2008. 24(4): p. 501-507.
18. Qi Guo, et al., *Research on Element Importance of Shafting Installation Based on QFD and FMEA.* ScienceDirect, 2017. 174: p. 677-685.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	อนุธิดา มากมี
วัน เดือน ปี เกิด	17 พฤษภาคม 2539
สถานที่เกิด	ตาก
วุฒิการศึกษา	วท.บ. สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	18 หมู่ 13 ตำบลวังหิน อำเภอเมือง จังหวัดตาก