

การประเมินความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการเบรก คุณสมบัติผ้าเบรก และตัวแปรในกระบวนการ อัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน ด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

Evaluation of Relationship Between Brake Performances, Properties of Brake Pad and Hot-Pressing Process Parameters by QFD Technique

อนุดิตา มากมี*, ประจวบ กล่อมจิตร
Anutida Makmee*, Prachuab Klomjit

สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
Department of Engineering Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

*Corresponding author: ked.anu17@gmail.com

(Received: 23 January 2020, Revised: 263 March 2020, Accepted: 1 June 2020)

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการผลิตผ้าเบรกมีการแข่งขันกันมากขึ้น โดยเฉพาะในด้านของคุณภาพ ประสิทธิภาพการเบรกจะถูกออกแบบให้ตอบสนองความต้องการของลูกค้า แต่ในการทดสอบประสิทธิภาพนั้นมีความยากในการทดสอบและมีค่าใช้จ่ายสูง คุณภาพของผ้าเบรกจึงถูกควบคุมโดยการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผ้าเบรกทดแทน ซึ่งในกระบวนการผลิต กระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนเป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุด เนื่องจากส่งผลกระทบต่อตรงกับคุณสมบัติทางกายภาพและประสิทธิภาพของการเบรก จากการศึกษาบริษัทตัวอย่าง พบว่ามีสูตรเคมี B เป็นสูตรที่มีมูลค่าสูง มีการผลิตมาก พบของเสียในกระบวนการผลิตต่ำ แต่เกิดการร้องเรียนจากลูกค้าสูง ซึ่งคาดว่าเกิดจากการควบคุมการผลิตและการตรวจพบที่ยังไม่ครอบคลุม จุดประสงค์ของการศึกษานี้จึงเป็นการใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ เพื่อประเมินความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการเบรก คุณสมบัติของผ้าเบรก และตัวแปรในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาควบคุมการผลิต จากการศึกษาทำให้ทราบว่าสูตรเคมี B ถูกออกแบบประสิทธิภาพโดยเน้นความสามารถในการเบรกสูง มีตัวแปรสำคัญ จำนวน 5 ตัวในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนได้แก่ แรงอัด อุณหภูมิ เวลา จำนวนครั้งในการกด และระยะยกแม่พิมพ์ ซึ่งตัวแปรทั้ง 5 ตัวแปรส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของผ้าเบรก และประสิทธิภาพการเบรก จากการคำนวณค่าสัดส่วนความสำคัญแต่ละตัวแปรโดยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพพบว่ามีความสำคัญค่าสัดส่วนความสำคัญแต่ละตัวแปรอยู่ที่ 15%

คำสำคัญ: เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ ผ้าเบรก ประสิทธิภาพการเบรก คุณสมบัติผ้าเบรก กระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน

Abstract

Due to high competition in brake pad manufacturing especially in term of quality, brake performance must be perfectly designed to meet the customer needs. The performance testing of brake pad is practically difficult and relatively high cost, so brake pad quality is controlled by physical property tests instead. In production process, Hot-pressing process is the most crucial step because it directly affects physical properties and performances. The study asserted that formula “B” from sample manufactory was high value and mass produced with low manufacturing waste, yet it received lots of customer complains. It could be expected that the process control and the detection couldn’t solve all problems. The objective of this study was to evaluate relationships between brake performances, physical properties of brake pad and hot-pressing process parameters by using Quality Function Deployment technique (QFD). The relationship evaluation was a tool to help process control in production. The result showed that formula B was originally designed for high stopping

performance. Also, it was found that there were five parameters of hot-pressing process; pressure, temperature, holding time, number of gas release and lifting height; that had high impact to physical properties and performances of brake pad. In addition, QFD technique showed the significant weight of each parameter which was 15%.

Keywords: Quality Function Deployment (QFD), Brake pad, Brake performance, Properties of disc brake, Hot-pressing process

1. บทนำ

ผ้าเบรก เป็นชิ้นส่วนที่สำคัญในระบบเบรก มีหน้าที่สำคัญในการหยุดรถและชะลอความเร็ว เป็นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของผู้ใช้งานรถยนต์ ในปัจจุบันตลาดผ้าเบรกมีการแข่งขันกันมากขึ้น โดยเฉพาะในด้านของคุณภาพ (Ministry of Industry, 2010; GSB Research, 2018) นอกจากนี้ความสามารถในการหยุดรถ ประสิทธิภาพอื่น ๆ ของผ้าเบรกก็ถือเป็นเรื่องสำคัญ ไม่ว่าจะเป็น การสึกของผ้าเบรกและจานเบรก การเกิดเสียง การเกิดฝุ่น และความทนทานต่อสภาพการใช้งาน ที่เป็นส่วนสำคัญในการตัดสินใจเลือกซื้อสินค้าของลูกค้า ซึ่งจะมีการเลือกให้ตรงกับการใช้งาน

ประสิทธิภาพการเบรกขึ้นอยู่กับสองส่วนที่สำคัญ คือ วัสดุที่ใช้และกระบวนการผลิต ซึ่งสองส่วนนี้จะมีผลกระทบโดยตรง กับสมบัติทางกายภาพ (Physical properties) และสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) ทำให้ผ้าเบรกมีประสิทธิภาพการเบรกที่แตกต่างกันออกไป (Wilairat et al., 2018)

การเลือกวัสดุที่ใช้และเงื่อนไขการผลิต เป็นขั้นตอนในการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับลูกค้ากลุ่มเป้าหมาย ซึ่งจะมีการตรวจสอบประสิทธิภาพการเบรกของชิ้นงานให้เป็นไปตามการออกแบบ แต่การผลิตในอุตสาหกรรมไม่สามารถตรวจสอบประสิทธิภาพการเบรกได้โดยตรง เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูงและระยะเวลาทดสอบนาน จึงมีการควบคุมคุณภาพโดยการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลทดแทนการตรวจสอบประสิทธิภาพโดยตรง (ISO, 2008)

บริษัทตัวอย่างเป็นบริษัทผลิตผ้าเบรกที่มีการทดสอบประสิทธิภาพในขั้นตอนของการออกแบบด้วยเครื่องทดสอบไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) ในกระบวนการผลิตมีกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเบรกมากที่สุด กระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนเป็นการทำให้ก้อนเคมีเกิดปฏิกิริยากลายเป็นวัสดุที่มีความแข็งและมีสมบัติเสียดทาน ทำให้แผ่นเหล็กและเคมีติดกัน และทำให้ผ้าเบรกมีรูปร่างและลักษณะตามต้องการเพื่อให้สามารถประกอบติดตั้งได้ โดยมีการควบคุมคุณภาพของผ้าเบรกโดยการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและการตรวจสอบด้วยสายตาเท่านั้น

บริษัทตัวอย่างมีสูตรเคมี B ซึ่งเป็นสูตรเคมีที่มีการผลิตสูง มีมูลค่าสินค้ามาก เกิดข้อเสียในการผลิตต่ำ แต่เกิดปัญหาการร้องเรียนเรื่องประสิทธิภาพบ่อยครั้ง ซึ่งมีโอกาสสูงที่ระบบการควบคุมในปัจจุบันอาจจะยังไม่ครอบคลุมปัญหาที่เกิดขึ้นในการผลิต และการตรวจสอบคุณภาพยังไม่สัมพันธ์กับประสิทธิภาพที่ลูกค้าได้รับ ทำให้ผ้าเบรกที่ลูกค้าได้รับมีการใช้งานที่ไม่เต็มประสิทธิภาพ โดยในส่วนของบริษัทจะใช้การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบและกระบวนการ (DFMEA และ PFMEA) เป็นพื้นฐานในการออกแบบระบบควบคุมคุณภาพและตรวจสอบข้อร้องเรียนต่าง ๆ ซึ่งปัจจุบัน DFMEA และ PFMEA ยังไม่มีการเชื่อมโยงข้อมูลกัน ทำให้ระบบการทำงานไม่สอดคล้องกัน ในงานวิจัยนี้จึงเป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพแบบสี่ช่วง (4 Phase QFD) เนื่องจากในเฟสที่ 1 บริษัทตัวอย่างมีการศึกษาความต้องการของลูกค้าเพื่อแปลความต้องการของลูกค้าเป็นในเชิงเทคนิคแล้ว ซึ่งต้องการเน้นกลุ่มลูกค้าที่ใช้งานทั่วไป ใช้งานได้ทุกการขับขี ในงานการศึกษานี้จึงใช้เฟสที่ 2 และ 3 มาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการเบรก คุณสมบัติทางกายภาพของผ้าเบรก และกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน ในสูตรเคมี B ของบริษัทตัวอย่าง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนา FMEA ของบริษัทต่อไป

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผ้าเบรก

ผ้าเบรก เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยชะลอและหยุดการเคลื่อนที่ของรถ ผ้าเบรกมีองค์ประกอบหลักทั้งหมด 3 ส่วน ได้แก่ แผ่นเหล็กเคมี และกาวสำหรับทำให้แผ่นเหล็กและเคมียึดติดกัน

องค์ประกอบเคมีของเนื้อผ้าเบรกสามารถแบ่งได้เป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ สารยึด (Binder), ไฟเบอร์ (Fibers), สารขัดถู (Abrasives), สารเติมเต็ม (Mineral Fillers) และ สารหล่อลื่น (Lubricants) (Kosbe & More, 2010) ซึ่งสารเคมีเหล่านี้จะถูกออกแบบให้ใช้ในปริมาณที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสูตร (Formula) ที่มีการออกแบบเพื่อตอบสนองการใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ (Hemso, 2013)

2.2 ประสิทธิภาพของผ้าเบรก

ประสิทธิภาพของผ้าเบรกคือสิ่งที่ลูกค้าได้รับจากการใช้ผลิตภัณฑ์ เพื่อตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้าประสิทธิภาพการเบรกถูกออกแบบเพื่อตอบสนองการใช้งานที่แตกต่างกันโดยประสิทธิภาพของผ้าเบรกที่สำคัญได้แก่

1. สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Friction coefficient: μ) เป็นประสิทธิภาพที่สื่อถึงความสามารถในการหยุดของผ้าเบรก หากมีค่าน้อยจะทำให้ระยะเบรกมาก เป็นอันตรายต่อการขับขี่ ยิ่งมีค่ามากจะทำให้ระยะเบรกสั้น แต่หากมีค่าสูงเกินไปก็ทำให้เกิดอาการล้อล็อกและเกิดอันตรายได้ ดังนั้นสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจึงต้องมีการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน เพื่อไม่เป็นอันตรายกับผู้ขับขี่ ในการใช้งานสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีความแปรปรวนจากหลาย ๆ ด้าน ทั้งในเรื่องของแรงที่ใช้ในการเหยียบเบรก น้ำหนักในการบรรทุก ความเร็วต้นในการหยุด และอุณหภูมิสะสมในงานเบรก การใช้งานที่อุณหภูมิสูง (มากกว่า 250°C) จะทำให้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลงจนไม่สามารถหยุดรถได้ในระยะปลอดภัย เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเฟด (Fade) ซึ่งในการออกแบบผ้าเบรกจึงต้องมีการออกแบบให้ครอบคลุมถึงการใช้งานที่อุณหภูมิที่แตกต่างกันด้วย (Kosbe & More, 2010; Hemso, 2013; Nicholson, 1995)

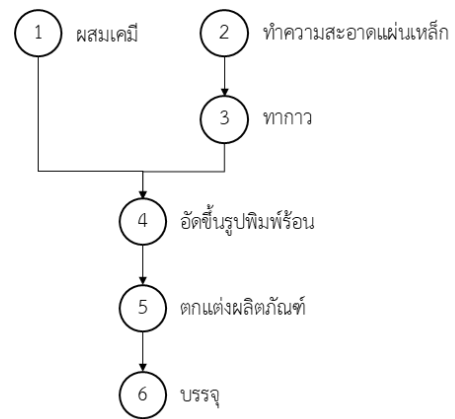
2. อัตราการสึก (Wear) เนื่องจากการใช้งานในระบบเบรกคือการเสียดสีกันระหว่างผ้าเบรกและจานเบรกเพื่อให้เกิดแรงในการหยุดล้อ ทำให้ทั้งผ้าเบรกและจานเบรกเกิดการสึก อัตราการสึกจึงสื่อถึงอายุการใช้งานของผ้าเบรกด้วย หากมีการสึกต่ำอายุการใช้งานของผ้าเบรกก็จะมากขึ้นไปด้วย นอกจากนั้นการสึกของจานเบรกและผ้าเบรกกยังส่งผลต่อปัญหาในด้านของฝุ่นดำที่อาจจะทำให้ลูกค้าไม่พึงพอใจได้ (Hemso, 2013; Nicholson, 1995)

3. เสียง (Noise) เสียงที่เกิดขึ้นจากการใช้งานเบรกไม่ได้ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยหรือประสิทธิภาพของการเบรก แต่ส่งผลกระทบต่อจิตใจของผู้ใช้งาน การเกิดเสียงทำให้ผู้ใช้งานรู้สึกถึงความผิดปกติของการเบรก และเกิดความรู้สึกไม่ปลอดภัยกับการขับขี่ ดังนั้นเรื่องการเกิดเสียงจึงเป็นอีกเรื่องที่สำคัญในการออกแบบผ้าเบรก (Hemso, 2013; Nicholson, 1995)

4. ลักษณะภายนอก (Appearance) ต้องไม่เกิดการแตกร้าว มีการสึกที่สม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นผิว ไม่เกิดรอยไหม้ และสภาพภายนอกของผ้าเบรกและจานเบรกหลังจากการใช้งานที่ต้องมีสภาพสมบูรณ์ตลอดการใช้งาน (ISO, 2008; Hemso, 2013)

2.3 กระบวนการผลิตผ้าเบรก

กระบวนการผลิตผ้าเบรกมีกระบวนการหลักตามรูปที่ 1 ซึ่งเป็นการผสมเคมีต่าง ๆ ให้ได้ตามสูตร เตรียมแผ่นเหล็กด้วยการทำความสะอาดและทากาว นำแผ่นเหล็กและเคมีอัดเข้าด้วยกันโดยการอัดด้วยความร้อนและแรงดันในเวลาที่เหมาะสมจะทำให้เคมีแปลงสภาพเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติความเสียดทานและได้รูปร่างตามต้องการ หลังจากนั้นจึงนำไปตกแต่งผลิตภัณฑ์และบรรจุ เพื่อเตรียมการจำหน่าย (Wilairat et al., 2018)



รูปที่ 1 แผนภาพกระบวนการผลิต

2.4 กระบวนการอัดขึ้นรูปพรีมพ์ร้อน (Hot-pressing process)

การอัดขึ้นรูปร้อนเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลของพีนอลิกเรซินโดยอาศัยความร้อนและแรงดัน โดยนำเคมีอัดที่อุณหภูมิ $150 - 200^{\circ}\text{C}$ ที่แรงดัน $30 - 70\text{ MPa}$ ทำให้พีนอลิกเรซินเกิดการหลอมและไหลแทรกไปตามเนื้อวัสดุเกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลเรซิน วัสดุเกิดการยึดติดกันที่สุดในที่สุด แต่ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงจะเกิดแก๊สแอมโมเนียเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ ซึ่งหากมีสะสมมากเกิดไปจะทำให้ผ้าเบรกเกิดการแตกและมีผลกระทบกับการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มโอกาสในการเกิดเฟด ดังนั้นในช่วงแรกของการอัดจึงต้องมีการอัดและคลายแรงดันสลับกันไปมาเพื่อคลายแก๊สเป็นระยะเวลาสั้นๆ (breathing cycle) ในกระบวนการพรีมพ์ร้อนจึงมีหลากหลายปัจจัยที่ต้องกำหนดให้เหมาะสมกับแต่ละสูตรของเคมี เนื่องจากปัจจัยในกระบวนการสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณรูพรุน สภาพอัดตัว ความยืดหยุ่น คุณสมบัติอื่น ๆ ทำให้ประสิทธิภาพการเบรกเปลี่ยนไป (Wilairat et al., 2018)

2.5 เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD)

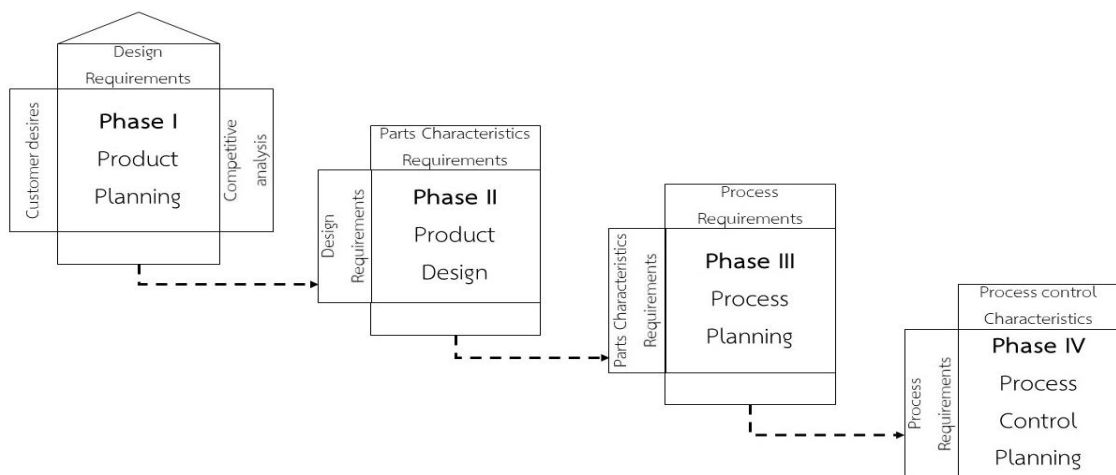
เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการเข้าใจถึงความต้องการของลูกค้าและตลาดเป้าหมาย มุ่งเน้นให้เกิดการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้า รวมถึงการออกแบบกระบวนการเพื่อผลิตสินค้าและการควบคุมคุณภาพให้ได้ตามที่ต้องการ เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพมีการประยุกต์ใช้ด้วยกันหลายรูปแบบ โดยรูปแบบที่มีการนิยมใช้มากที่สุดคือแบบสี่ช่วง (Four - Phase Approach หรือ Four - Phase Model) เป็นการใช้ออนุกรมของเมทริกซ์ 4 เฟส ดังรูปที่ 2 เพื่อให้ครอบคลุมช่วงการดำเนินการที่สำคัญในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ เป็นรูปแบบที่สามารถเข้าใจได้ง่ายและมีความคล่องตัวสูง

เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพแบบสี่ช่วง ประกอบไปด้วย 4 เฟส ได้แก่

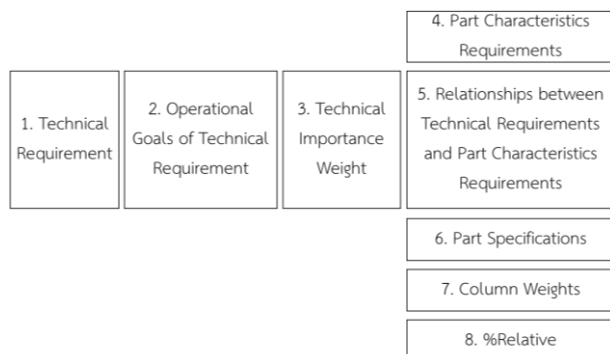
เฟส 1 การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning Matrix) เป็นการแปลงความต้องการของลูกค้า (Customer

Requirements) ให้เป็นความต้องการทางเทคนิค (Technical Requirements) โดยการวิเคราะห์ความคิดเห็นของลูกค้า จัดลำดับความสำคัญของความต้องการ ประเมินความสามารถขององค์กรในการตอบสนองความต้องการของลูกค้ากับบริษัท คู่แข่ง ประเมินความสัมพันธ์ของความต้องการของลูกค้ากับความต้องการทางเทคนิค และคำนวณค่าน้ำหนักความต้องการทางเทคนิค เพื่อช่วยในการสื่อสารกันภายในองค์กรให้มีความเข้าใจตรงกันในแต่ละขั้นต่าง ๆ

เฟส 2 การออกแบบผลิตภัณฑ์ (Product Design Matrix) เป็นการแปลงความต้องการทางเทคนิค ให้เป็นคุณลักษณะของส่วนประกอบผลิตภัณฑ์ (Part Characteristics) โดยวิเคราะห์ผ่านความต้องการและน้ำหนักความสำคัญของความต้องการทางเทคนิคในเฟสที่ 1 พิจารณารายละเอียดของส่วนประกอบผลิตภัณฑ์ในแต่ละส่วน พิจารณาหาความสัมพันธ์ที่ส่วนประกอบสามารถตอบสนองความต้องการทางเทคนิคได้ เพื่อกำหนดคุณลักษณะของส่วนประกอบ และจัดลำดับความสำคัญของคุณลักษณะส่วนประกอบ



รูปที่ 2 แผนภาพเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพแบบสี่ส่วน



รูปที่ 3 QFD เฟสที่ 2 เมทริกซ์การออกแบบผลิตภัณฑ์

เฟส 3 การวางแผนกระบวนการ (Process Planning Matrix) เป็นการแปลงข้อกำหนดคุณสมบัติของส่วนประกอบ ให้เป็นข้อกำหนดหรือคุณลักษณะทางด้านกระบวนการผลิต (Process Characteristics) โดยการวิเคราะห์จากข้อกำหนดและความสำคัญของส่วนประกอบที่ได้จากเฟสที่ 2 พิจารณาถึงข้อกำหนดในกระบวนการผลิต เพื่อให้สามารถผลิตแต่ละส่วนประกอบได้ตามต้องการ และพิจารณาความสัมพันธ์ของกระบวนการผลิตกับคุณลักษณะของส่วนประกอบ เพื่อกำหนดเป็นคุณลักษณะของกระบวนการผลิต และจัดลำดับความสำคัญของข้อกำหนดหรือคุณลักษณะทางด้านกระบวนการผลิต

เฟส 4 การวางแผนการผลิต (Production Planning Matrix) เป็นการนำคุณลักษณะทางด้านกระบวนการผลิตมาออกแบบและกำหนดวิธีในการควบคุมการผลิต โดยพิจารณาจากข้อกำหนดและความสำคัญของคุณลักษณะกระบวนการในเฟสที่ 3 เพื่อพิจารณาความยากในการควบคุมกระบวนการ ความถี่ในการเกิดปัญหา ความรุนแรงของปัญหา และความสามารถในการตรวจพบ เพื่อกำหนดและกำหนดวิธีการในการควบคุมการผลิตให้สามารถผลิตได้ตามต้องการ ลดโอกาสในการเกิดข้อผิดพลาดในการผลิต (Chiraboonthanandom, 2008)

			4. Process Requirements
1. Part Characteristics Requirements	2. Part Specifications	3. Importance Weight	5. Relationships between Part Characteristics Requirements and Process Requirements
			6. Process Specifications
			7. Column Weights
			8. %Relative

รูปที่ 4 QFD เฟสที่ 3 เมตริกซ์การวางแผนกระบวนการ

2.6 เทคนิคเดลฟาย Delphi Technique

เทคนิคเดลฟายเป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์เพื่อรวบรวมข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ มักใช้ในการวิเคราะห์และรวบรวมข้อมูลเพื่อแก้ปัญหาที่ยังไม่มีคำตอบอย่างชัดเจน การคาดคะเนเรื่องที่จะเกิดขึ้นในอนาคต หรือความรู้ใหม่ ๆ ผ่านการตอบคำถามด้วยแบบสอบถาม โดยผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านสามารถแสดงความคิดเห็นได้อย่างอิสระ ช่วยลดความขัดแย้ง และลดระยะเวลาในการทำงาน

กระบวนการวิจัยด้วยเทคนิคเดลฟาย

1. กำหนดประเด็นปัญหาของการวิจัย ควรเป็นประเด็นที่ยังไม่มีคำตอบที่ชัดเจน แนวโน้มหรือคำตอบที่เป็นเรื่องในอนาคต เพื่อให้วางแผนหรือตัดสินใจได้ โดยเฉพาะด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. คัดเลือกผู้เชี่ยวชาญ ผู้เชี่ยวชาญในการตอบแบบสอบถาม จำเป็นต้องมีประสบการณ์และความเชี่ยวชาญในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับประเด็นปัญหาของการวิจัย ยินดีตอบแบบสอบถามและสามารถติดต่อได้ตลอดการทำงานวิจัย
3. สร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูล เครื่องมือในเทคนิคเดลฟายคือแบบสอบถาม โดยจะทำการสอบถาม 2 - 4 รอบ ขึ้นอยู่กับผลการวิจัยที่ได้รับ โดยแต่ละรอบของการสอบถามจะมีคำถามที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งใช้

เวลาแต่ละรอบไม่ควรเกิน 2 สัปดาห์ โดยคำถามในแต่ละรอบจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

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

รอบที่ 2 : แบบสอบถามแบบมาตราส่วนประเมินค่า เป็นการรวบรวมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในแบบสอบถามรอบที่ 1 และทำให้เป็นแบบสอบถามมาตราส่วนประเมินค่า ส่งกลับไปยังผู้เชี่ยวชาญกลุ่มเดิม เพื่อจัดลำดับความสำคัญของแต่ละข้อ รวมทั้งสามารถระบุเหตุผลที่เห็นด้วย ไม่เห็นด้วยและข้อเสนอแนะต่าง ๆ นำคะแนนที่ได้จากแบบสอบถามวิเคราะห์หาค่ามัธยฐาน ฐานนิยม และพิสัยระหว่างควอไทล์ หรือค่า IR (Interquartile Range) ถ้าหากพบค่า IR น้อยแสดงว่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญค่อนข้างสอดคล้องกัน สามารถสรุปความได้ แต่หากค่า IR มาก แสดงว่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญค่อนข้างกระจาย จะทำการส่งแบบสอบถามในรอบที่ 3

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

รอบที่ 4 : แบบสอบถามแบบมาตราส่วนประเมินค่า ใช้แบบสอบถามเช่นเดียวกันกับรอบที่ 3 แต่เปลี่ยนค่ามัธยฐานและค่า IR เป็นผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในรอบที่ 3 ส่งแบบสอบถามให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินอีกครั้ง ทำวิเคราะห์ค่ามัธยฐานและค่า IR

4. สรุปและวิเคราะห์ผล หลังจากได้ข้อมูลที่สอดคล้องเมื่อพิจารณาค่ามัธยฐานและค่า IR แล้วจึงทำการสรุปคำตอบแต่ละประเด็น (Tiantong, 2005)

2.7 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

Chiraboonthanandom (2008) ได้ทำการศึกษาการใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ โดยประยุกต์ใช้ในเมตริกซ์ที่ 2 - 4 ในการวิเคราะห์ถึงการออกแบบและพัฒนาการผลิตคอยล์ร้อน โดยใช้เมตริกซ์ที่ 2 ในการแปลความ

หมายความว่าความต้องการเชิงเทคนิคของคอยล์ร้อนเป็นความต้องการคุณสมบัติของส่วนประกอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในผลิตภัณฑ์ หลังจากนั้นวิเคราะห์เมตริกซ์ที่ 3 เพื่อพิจารณาถึงกระบวนการต่าง ๆ ที่จะใช้ในการผลิตชิ้นส่วนให้ได้ตามต้องการ และวิเคราะห์เมตริกซ์ที่ 4 เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตชิ้นส่วนให้ได้ตามที่ออกแบบไว้ ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์และการทำงานในกระบวนการ รวมทั้งในการควบคุมกระบวนการมีการใช้เทคนิควิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการผลิต (PFMEA) โดยพิจารณาจากปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม ซึ่งมีสัดส่วน 16.29 % ซึ่งหลังจากพิจารณาถึงข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อหาสาเหตุที่เกิดขึ้นและทำการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง ทำให้ยอดของเสียลดลงจนเหลือ 7.5 %

Srimai et al. (2019) การใช้เทคนิค QFD เพื่อปรับปรุงคุณค่าของผลิตภัณฑ์ โดยการศึกษาความต้องการของผู้ใช้งานและแปลงออกมาเป็นการออกแบบข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ ทำให้ทราบความสำคัญของคุณสมบัติในแต่ละด้านของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์ต่อการเลือกวัตถุดิบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ตรงตามความต้องการของลูกค้า

Sanguansai (2007) การก่อสร้างบ้านซึ่งพบปัญหาในการส่งงานล่าช้าอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในการทำงานต่าง ๆ ที่จะมีการจ้างผู้รับเหมาจากภายนอกเข้ามาทำ โดยประยุกต์ใช้ QFD ในเมตริกซ์ที่ 3 – 4 โดยวิเคราะห์จากความคาดหวังของลูกค้า ความสามารถของคู่แข่ง ประสิทธิภาพการทำงานของผู้รับเหมา และทิศทางการพัฒนาของบริษัทตัวอย่าง ซึ่งทำให้ทราบความสัมพันธ์และความสำคัญของข้อมูลเหล่านี้ สามารถเชื่อมโยงข้อมูลของความคิดเห็นต่าง ๆ ไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) จากขั้นตอนการทำงานที่ส่งผลให้เกิดความผิดพลาด คุณภาพไม่ได้ตามที่กำหนดไว้ หลังจากการประเมินผู้วิจัยได้เลือก 3 ขั้นตอนที่มีดัชนีความเสี่ยงสูงสุดในแต่ละกระบวนการ เพื่อจัดทำเป็นเอกสารขั้นตอนการทำงาน การตรวจสอบ และแผนการควบคุม ซึ่งหลังการปรับปรุงพบว่าค่าจำนวนบกพร่องต่อหน่วย ลดลงจาก 216.18 DPU เหลือ 85.33 DPU

Korayem and Iravani (2008) ได้ทำการพัฒนาความน่าเชื่อถือและคุณภาพของแขนกลประเภท 3P และ 6R ได้ทำการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบโดยพิจารณาถึงข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นเมื่อใช้งาน และเลือกค่าดัชนีความเสี่ยงที่ต้องการปรับปรุง หลังจากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ QFD ทั้ง 4 เฟส โดยเริ่มจากพิจารณาถึงความต้องการของผู้ใช้งานแขนกล วิเคราะห์หาจุดที่ต้องการพัฒนา หลังจากนั้นวิเคราะห์ถึงการออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ กระบวนการใน

การผลิต และการควบคุมการผลิต ซึ่งประโยชน์ที่ได้จากการวิเคราะห์ FMEA และการวิเคราะห์ QFD เพื่อทำการปรับปรุงนั้น ก็ทำให้ได้ลักษณะความผิดพลาด ผลกระทบ สาเหตุ ความสำคัญของส่วนประกอบ และเทคนิคที่เหมาะสมในการป้องกันข้อผิดพลาด สามารถลดดัชนีความเสี่ยงที่เกิดขึ้น และได้รายการตรวจสอบการซ่อมบำรุงและซ่อมแซมเครื่องจักร

Almannai et al. (2008) ได้นำเทคนิค QFD และ FMEA มาใช้เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจ ในการนำระบบอัตโนมัติมาใช้ในอุตสาหกรรม เนื่องจากการนำระบบอัตโนมัติมาใช้จะมีความกระทบทั้งในด้านการเทคโนโลยี การบริหารจัดการและพนักงาน จึงจะต้องมีการหาทางเลือกที่ดีที่สุด ที่ทำให้การนำระบบอัตโนมัติเข้ามาใช้นั้นเกิดประโยชน์สูงสุด โดยได้ทำการวิเคราะห์ QFD โดยพิจารณาถึง กลยุทธ์ นโยบายและการดำเนินงานของบริษัท เพื่อหาความสอดคล้องกับการพัฒนาองค์ประกอบต่าง ๆ โดยการนำระบบอัตโนมัติเข้ามาใช้ และได้้นำเทคนิค FMEA เข้ามาใช้ในการวิเคราะห์ถึงความเสี่ยงต่าง ๆ ในการนำระบบอัตโนมัติเข้ามาใช้ ทำให้เห็นถึงความสำคัญของแต่ละองค์ประกอบ ทำให้สามารถเลือกวิธีการที่ดีที่สุดในการนำระบบอัตโนมัติเข้ามาใช้ได้ หลังจากนั้นได้มีการทดลองนำเทคโนโลยีตามทางเลือกที่ได้จากการวิเคราะห์เข้ามาใช้และพัฒนาต่อเพื่อให้เหมาะสมกับบริษัท และพบว่าความคิดเห็นที่ได้รับจากการนำมาใช้เป็นไปในทิศทางที่ดี

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 เก็บรวบรวมข้อมูล

3.1.1 ประสิทธิภาพของผ้าเบรกสูตรเคมี B ของบริษัทตัวอย่าง โดยมีการรวบรวมข้อมูลจากการทดสอบไดนามิเตอร์ (Dynamometer test) ซึ่งเป็นการจำลองประสิทธิภาพเบรกที่แรงเบรก ความเร็ว และอุณหภูมิที่แตกต่างกันไป เพื่อจำลองการเบรกในลักษณะที่ต่าง ๆ ซึ่งมีข้อมูลจำนวนการทดสอบทั้งหมด 4 ครั้งโดยมีลักษณะความเป็นรูปทรงของชิ้นงานที่แตกต่างกัน โดยใช้มาตรฐานการตรวจสอบ SAE-J2522 ค่าโฆษณาจากช่างกล่อ่งผลิตภัณฑ์และสื่อต่าง ๆ ที่ลูกค้ารับทราบถึงประสิทธิภาพที่จะได้รับจากผลิตภัณฑ์ และข้อมูลการเคลมสินค้าของบริษัทในเดือนมกราคม – มิถุนายน ปี 2562

3.1.2 คุณสมบัติของผ้าเบรกสูตรเคมี B โดยรวบรวมจากข้อกำหนดการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ ข้อมูลการตรวจสอบจากแผนการควบคุมกระบวนการของบริษัทตัวอย่าง ซึ่งจะระบุถึงรายละเอียดในการตรวจสอบคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ ได้แก่ วิธีการตรวจสอบ ระยะเวลาในการตรวจสอบ และผู้ตรวจสอบ รวมทั้งศึกษาจาก ISO 15484 ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลการประกันคุณภาพของผ้าเบรก (ISO, 2008)

3.1.3 กระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน โดยรวบรวมข้อมูลข้อกำหนดกระบวนการผลิตการผลิต ขั้นตอนการทำงานของพนักงาน การทดสอบและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน และข้อมูลของเสียในกระบวนการผลิตเดือนมกราคม – มิถุนายน ปี 2562

3.2 พิจารณาเลือกประสิทธิภาพการเบรกที่ต้องการวิเคราะห์ โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพที่ลูกค้าคาดว่าจะได้รับจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากการโฆษณาและการสื่อสารให้กับลูกค้า ประสิทธิภาพที่เราต้องการตอบสนองให้กับลูกค้า ซึ่งได้จากทางบริษัทในการออกแบบผลิตภัณฑ์และการทดสอบต่าง ๆ และความไม่พึงพอใจของลูกค้าจากการเคลมสินค้า

3.3 ประเมินความสำคัญของสูตรเคมี B โดยผู้เชี่ยวชาญด้วยเทคนิคเดลฟาย พิจารณาประสิทธิภาพที่ได้จากข้อ 3.2 ประเมินความสำคัญของแต่ละประสิทธิภาพที่ต้องการตอบสนองให้กับลูกค้าโดยการจัดคะแนนความสำคัญน้อยไปมากตั้งแต่ 1 – 5 ทำการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 6 ท่าน ซึ่งเป็นวิศวกรจากแผนกวิจัยพัฒนา ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบผ้าเบรกสูตรเคมี B ประเมินโดยใช้เทคนิคเดลฟาย คำนวณหาค่าพิสัยควอไทล์ (IR) จากผลต่างควอไทล์ที่ 3 และ 1

3.4 พิจารณาเลือกคุณสมบัติของผ้าเบรกที่ต้องการวิเคราะห์ โดยพิจารณาจากข้อกำหนดผลิตภัณฑ์และการทดสอบมาตรฐาน ISO 15484 ว่าต้องมีคุณสมบัติด้านไหนที่จำเป็นต้องตรวจสอบ และการทดสอบคุณสมบัติในปัจจุบันที่ทางบริษัทสามารถตรวจสอบได้ เพื่อเลือกคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับผ้าเบรกในการศึกษา

3.5 ประเมินความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการเบรก และคุณสมบัติของผ้าเบรก โดยการระดมสมอง (brainstorming) ของผู้เชี่ยวชาญในการทดสอบประสิทธิภาพ 1 ท่าน การทดสอบคุณสมบัติ 1 ท่าน และการออกแบบผลิตภัณฑ์ 1 ท่าน

3.6 คำนวณหาความสำคัญและจัดทำ QFD เฟสที่ 2 2 การจัดทำ QFD เฟสที่ 2 เป็นการนำข้อมูลความสำคัญของประสิทธิภาพการเบรกที่ได้จากการประเมินด้วยเทคนิคเดลฟายวิเคราะห์ร่วมกับเมตริกซ์ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการเบรกและคุณสมบัติผ้าเบรกที่ได้จากการวิเคราะห์ร่วมกับผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องโดยการระดมสมอง ซึ่งมีการกำหนดสัญลักษณ์เชิงตัวเลขแสดงค่าคะแนนความสัมพันธ์เป็นดังนี้

- 0 ไม่มีความสัมพันธ์กัน
- 1 มีความสัมพันธ์กันน้อย
- 3 มีความสัมพันธ์กันปานกลาง
- 9 มีความสัมพันธ์กันมาก

จัดทำข้อมูลในรูปแบบของ QFD เพื่อให้ง่ายกับการสื่อสารดังตัวอย่างรูปที่ 3 และคำนวณหาความสำคัญของคุณสมบัติจาก ผลรวมของผลคูณระหว่างค่าความสำคัญของประสิทธิภาพและค่าคะแนนความสัมพันธ์ และนำมาคำนวณหาสัดส่วนความสำคัญของคุณสมบัติโดยการเปรียบเทียบค่าความสำคัญทั้งหมดในรูปของร้อยละ

3.7 พิจารณาเลือกตัวแปรในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนที่ต้องการวิเคราะห์ ศึกษาข้อกำหนดกระบวนการผลิต ขั้นตอนการทำงาน งานวิจัยและการทดสอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อพิจารณาเลือกตัวแปรที่สำคัญที่ทำให้คุณสมบัติของผ้าเบรกไม่ได้ตามต้องการ หรือส่งผลกระทบต่อในด้านต่าง ๆ หรือเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการ

3.8 ประเมินความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติผ้าเบรกและกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนโดยผู้เชี่ยวชาญด้วยเทคนิคเดลฟาย จัดคะแนนความสำคัญน้อย ปานกลาง มาก และไม่มีความสัมพันธ์กัน ทำการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบผลิตภัณฑ์และกระบวนการทั้งหมด 4 ท่าน โดยพิจารณาแต่ละข้อกำหนดของกระบวนการว่ามีผลกระทบกับคุณสมบัติของผ้าเบรกอย่างไร คำนวณหาพิสัยควอไทล์จากผลต่างควอไทล์ที่ 3 และ 1

3.9 คำนวณหาความสำคัญและจัดทำ QFD เฟสที่ 3 เป็นการนำข้อมูลคุณสมบัติที่ได้จากการพิจารณาในเฟสที่ 2 เปลี่ยนค่าสัดส่วนความสำคัญของคุณสมบัติให้อยู่ในสเกล 1-5 นำมาจัดรูปแบบ QFD เฟสที่ 3 ดังตัวอย่างรูปที่ 4 ร่วมกับผลประเมินความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติและตัวแปรในกระบวนการพิมพ์ร้อน และคำนวณหาความสำคัญของกระบวนการ จากผลรวมของผลคูณระหว่างค่าความสำคัญของคุณสมบัติและค่าคะแนนความสัมพันธ์ และนำมาคำนวณหาสัดส่วนความสำคัญของกระบวนการโดยการเปรียบเทียบค่าความสำคัญทั้งหมดในรูปของร้อยละ

3.10 วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

4. ผลการวิจัย

4.1 ประสิทธิภาพการเบรกที่ใช้ในการศึกษา

ประสิทธิภาพการเบรกที่เราใช้ในการศึกษามีทั้ง 9 ด้าน ซึ่งมาจากการพิจารณารวมกันระหว่างผู้วิจัยและบริษัทตัวอย่าง เป็นประสิทธิภาพพื้นฐานของผ้าเบรก ประสิทธิภาพที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน ความปลอดภัย และความพึงพอใจของลูกค้า

4.1.1 ความสามารถในการหยุดรถที่อุณหภูมิปกติ (Stopping Performance Normal Temp.) การ ขับ ชี โดยทั่วไป ไม่ได้ใช้ความเร็วสูงและมีการเบรกบ่อย ช่วงอุณหภูมิ

ของการเบรกจะไม่เกิน 250 °C ซึ่งเบรกที่ดีไม่ควรมีความสามารถในการเบรกแปรผันตามอุณหภูมิ มีความเสถียรในการเบรก และมีประสิทธิภาพการเบรกเหมาะสมกับการหยุดของรถ

4.1.2 ความสามารถในการหยุดรถที่อุณหภูมิสูง (Stopping Performance High Temp.) อุณหภูมิที่สูงกว่า 250 °C มักเกิดจากการใช้งานที่ความเร็วสูงมีการเบรกถี่ ๆ จนเกิดความร้อนสะสมในการเบรก โดยปกติแล้ว สมบัติความเสถียรของผ้าเบรกจะมีค่าลดต่ำลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ในการใช้งาน ผู้ขับจะรู้สึกถึงระยะเบรกที่มากขึ้น แรงเบรกที่ใช้งานขึ้น ซึ่งประสิทธิภาพการเบรกที่ดีควรมีความเสถียรและเหมาะสมกับการหยุดเช่นเดียวกับการใช้งานที่อุณหภูมิปกติ

4.1.3 การป้องกัน การเกิดเฟด (Anti - fade Performance) โอกาสในการเกิดเฟดที่การใช้งานช่วงอุณหภูมิสูงที่ทำให้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลง ซึ่งอาจจะทำให้เกิดอันตรายในการขับขี่ได้ เนื่องจากผ้าเบรกเกิดปฏิกิริยาเคมีภายใน ทำให้เกิดแก๊ส แก๊สจะเคลือบบริเวณผิวหน้าจานเบรก ลักษณะเช่นเดียวกันกับฟิล์มบาง ทำให้ความสามารถในการเบรกลดลง

4.1.4 อัตราการสึกของผ้าเบรก (Pad wear) การสึกของเบรกส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานและฝุ่นดำ ยังมีการสึกน้อยก็จะสามารถใช้งานได้นานและมีฝุ่นน้อย

4.1.5 อายุการใช้งานของจานเบรกที่อุณหภูมิปกติ (Rotor Life Time Normal Temp.) การสึกของจานเบรกเนื่องจากการเสียดสีของผ้าเบรกและจานเบรก ซึ่งส่งผลกระทบต่อทั้งในด้านฝุ่นและความพึงพอใจของลูกค้า ภาพลักษณ์ของจานเบรกหลังการใช้งานควรมีความสม่ำเสมอทั้งผิวหน้า ไม่มีลักษณะการสึกเป็นเส้นหรือสร้างความเสียหายให้กับจาน

4.1.6 อายุการใช้งานของจานเบรกที่อุณหภูมิสูง (Rotor Life Time High Temp.) อายุการใช้งานที่อุณหภูมิของจานเบรกสูง มีลักษณะความสำคัญเช่นเดียวกันกับที่อุณหภูมิปกติ แต่ในการใช้งานที่อุณหภูมิสูงมักจะทำให้เกิดการสึกที่มากกว่า รวมทั้งการทำร้ายจานเบรกในรูปแบบต่าง ๆ

4.1.7 การเกิดฝุ่น (Dust) ซึ่งเกิดจากการสึกของผ้าเบรกและจานเบรก เป็นสิ่งที่ลูกค้าสามารถมองเห็นได้ และอาจจะเกิดความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์

4.1.8 การเกิดเสียง (Noise) เสียงที่เกิดจากการเบรกในช่วงความถี่ที่ผู้ขับและผู้โดยสารสามารถได้ยิน เสียงไม่ได้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของการเบรก แต่เป็นในเรื่องของความมั่นใจและความรู้สึกของลูกค้า ที่อาจจะรู้สึกถึงความผิดปกติของผลิตภัณฑ์และเกิดการร้องเรียนได้

4.1.9 ลักษณะของผ้าเบรก (Appearance) ต้องสามารถประกอบติดตั้งได้ มีคุณลักษณะและส่วนประกอบครบถ้วนตามข้อกำหนดผลิตภัณฑ์ และไม่เกิดการแตกหักระหว่างการใช้งาน

จากการประเมินความสำคัญของประสิทธิภาพที่ต้องการตอบสนองให้กับลูกค้าในสูตรเคมี B โดยผู้เชี่ยวชาญด้วยเทคนิคเดลฟาย กำหนดค่าการประเมินเป็น 1 – 5 โดยที่ 5 คือความสำคัญมาก และ 1 คือความสำคัญน้อย พบว่าความสำคัญของประสิทธิภาพการเบรกแต่ละด้านเป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสำคัญของประสิทธิภาพการเบรกสูตรเคมี B

ประสิทธิภาพ	ความสำคัญ	IR
Stopping Performance (Normal Temp.)	4.4	1.0
Stopping Performance (High Temp.)	4.0	0.0
Ant - Fade	3.3	1.0
Pad wear	3.2	0.0
Rotor Life Time (Normal Temp.)	3.7	0.8
Rotor Life Time (High Temp.)	2.8	0.0
Dust	3.0	0.0
Noise	3.5	1.0
Appearance	3.0	0.0

ซึ่งสูตรเคมี B เน้นให้ความสำคัญในเรื่องของประสิทธิภาพการเบรกเป็นหลักทั้งที่อุณหภูมิปกติและที่อุณหภูมิสูง ประสิทธิภาพอื่นก็ให้ความสำคัญในระดับที่ใกล้เคียงกัน 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

4.2 คุณสมบัติของผ้าเบรกสูตรเคมี B

จากการพิจารณาร่วมกันระหว่างผู้วิจัยและบริษัทตัวอย่างจึงสามารถเลือกคุณสมบัติของผ้าเบรกที่ใช้ในการศึกษามีทั้ง 5 ด้าน ซึ่งเป็นสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของผ้าเบรก ซึ่งมีการระบุให้มีการตรวจสอบในมาตรฐานสากล และทางบริษัทตัวอย่างมีการทดสอบในปัจจุบัน คุณสมบัติเหล่านี้มีการทดสอบในช่วงของการออกแบบผลิตภัณฑ์ และคุณสมบัติบางตัวใช้ในการควบคุมคุณภาพในการการผลิต ได้แก่

- 4.2.1 ความเป็นรูพรุน (Porosity)
- 4.2.2 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity, S.G.)
- 4.2.3 ความแข็ง (Hardness)
- 4.2.4 ค่าการอัด (Compressibility)
- 4.2.5 ความยืดหยุ่น (Modulus)

4.3 QFD เฟส 2

จากการประเมินความสำคัญประสิทธิภาพของสูตรเคมี B ด้วยเทคนิคเดลฟาย ประเมินความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเบรกและคุณสมบัติของผ้าเบรกโดยการระดม

สมองจากผู้เชี่ยวชาญ คำนวณหาค่าความสำคัญและสัดส่วนความสำคัญของคุณสมบัติ ทำให้สามารถจัดทำเมตริกซ์ QFD เฟส 2 ได้ดังรูปที่ 5

จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่า คุณสมบัติความเป็นรูพรุน ความถ่วงจำเพาะ ความแข็ง และความยืดหยุ่น มีค่าความสัมพันธ์กับ

ประสิทธิภาพในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากว่าคุณสมบัติทั้ง 4 มีความสอดคล้องกันเอง ยกตัวอย่างเช่น หากความเป็นรูพรุนของผ้าเบรกต่ำ จะทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานสูงขึ้น

		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 5 QFD เฟสที่ 2 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการเบรกและคุณสมบัติผ้าเบรก

ความแข็งแรงมากขึ้น ความยืดหยุ่นสูงขึ้น เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติของผ้าเบรกที่เปลี่ยนไปเหล่านี้ก็จะทำให้ ความสามารถในการหยุดรถที่อุณหภูมิปกติ ซึ่งเป็นประสิทธิภาพที่สำคัญที่สุดของสูตรเคมี B เปลี่ยนไปอย่างมาก นอกจากนั้นยังส่งผลกระทบต่ออย่างมากในเรื่องการสึกของจานเบรกและปัญหาด้านการเกิดฝุ่น ซึ่งปัญหาที่ลูกค้าสามารถมองเห็นได้ด้วยตา ทำให้อาจจะ

เกิดความไม่พึงพอใจได้ ทำให้คุณสมบัติความเป็นรูพรุน ความถ่วงจำเพาะ ความแข็ง และความยืดหยุ่น มีความสำคัญที่เท่ากัน และมีสัดส่วนความสำคัญอยู่ที่ 23% ในแต่ละคุณสมบัติ ในส่วนของคุณสมบัติค่าการอัดนั้น ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อในเรื่องความสามารถการเบรกและการสึกของการผ้าเบรก แต่ส่งผลกระทบมากในเรื่องของการเกิดเสียง ซึ่งเสียงมีค่า

ความสำคัญประสิทธิภาพอยู่ที่ 3.5 ทำให้ค่าสัดส่วนความสำคัญของคุณสมบัติการอัดอยู่ที่ 9%

4.4 ตัวแปรในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน

จากการพิจารณาร่วมกันระหว่างผู้วิจัยและบริษัทตัวอย่าง โดยพิจารณาจากงานวิจัย ข้อกำหนดกระบวนการ รวมทั้งวิธีการทำงานของพนักงาน ทำให้สามารถสรุปตัวแปรในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของผ้าเบรกที่สนใจ มีด้วยกันทั้งหมด 11 ตัวแปร ได้แก่

4.4.1 แรงอัดที่ชิ้นงานได้รับ แรงอัดที่กระทำกับชิ้นงาน โดยการกดแม่พิมพ์ลงมาด้วยระบบไฮดรอลิก

4.4.2 อุณหภูมิที่ชิ้นงานได้รับ ซึ่งมีกำหนดใช้อุณหภูมิในช่วงที่ชิ้นงานมีการเกิดปฏิกิริยา ทำให้พินอลิเกรซินเกิดปฏิกิริยา

4.4.3 เวลาในการกดครั้งแรก เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเริ่มต้น ชิ้นงานเกิดการขึ้นรูป

4.4.4 เวลาในการกดซ้ำ หลังจากการกดครั้งแรกจะเกิดแก๊สแอมโมเนียเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ของกระบวนการ ซึ่งหากมีแก๊สสะสมเยอะเกินไปอาจจะทำให้ชิ้นงานแตกได้ จึงต้องมีการคลายแก๊ส โดยการกดซ้ำสลับกับการยกแม่พิมพ์บนขึ้นเพื่อคลายแก๊ส

4.4.5 เวลาในการยกพิมพ์บน เป็นเวลาที่ยกแม่พิมพ์ขึ้นเพื่อทำการคลายแก๊สในแต่ละครั้ง

4.4.6 จำนวนครั้งในการกด เป็นจำนวนครั้งในการกดซ้ำสลับกับยกพิมพ์บนขึ้นเพื่อคลายแก๊ส

4.4.7 เวลาในการกดแช่ หลังจากการคลายแก๊ส จะมีการกดแช่อีกครั้งเพื่อทำปฏิกิริยาที่สมบูรณ์

4.4.8 ระยะยก เป็นระยะความสูงในการยกพิมพ์บนขึ้นในแต่ละครั้ง

4.4.9 ขนาดชิ้นงาน ขึ้นกับลักษณะของผ้าเบรกสำหรับรถแต่ละรุ่น ซึ่งก็จะมี ขนาด รูปร่าง พื้นที่ หรือความหนาของผ้าเบรกแตกต่างกันไป

4.4.10 การฉีดสเปรย์ซิลิโคนและปริมาณซิลิโคนที่ได้รับ การฉีดซิลิโคนจะฉีดบริเวณแม่พิมพ์แต่ละชั้น เพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานติดแม่พิมพ์ ซึ่งจะต้องมีปริมาณซิลิโคนที่เหมาะสมและได้รับทั่วถึงทั้งพื้นผิวแม่พิมพ์ที่สัมผัสกับชิ้นงาน

4.4.11 การใส่ชิ้นงานที่แตกต่างกัน การใส่ชิ้นงานพนักงานแต่ละคนมีลักษณะที่แตกต่างกัน ทั้งใส่ชิ้นงานทั้งชิ้นลงหลุมพอดี้ แต่พนักงานบางคนจะใส่ชิ้นงานไม่ได้ลงหลุมทั้งหมดเนื่องจากสะดวกกับความถนัดการทำงานของพวกเขา

4.5 QFD เฟส 3

จากการจัดทำ QFD เฟส 2 ทำให้ได้ค่าความสำคัญของคุณสมบัติต่าง ๆ นำมาจัดรูปแบบคะแนนในอยู่ในสเกล 1 – 5 วิเคราะห์ร่วมกับผลประโยชน์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของผ้าเบรกและตัวแปรในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนจากผู้เชี่ยวชาญด้วยเทคนิคเดลฟาย และคำนวณหาค่าความสำคัญและสัดส่วนความสำคัญของตัวแปรในกระบวนการ ทำให้สามารถจัดทำเมตริกซ์ QFD เฟส 3 ได้ดังรูปที่ 6

จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่า แรงอัดที่ชิ้นงานได้รับ อุณหภูมิที่ชิ้นงานได้รับ จำนวนครั้งในการกด เวลาในการกดแช่ และระยะยก เป็นตัวแปรที่ส่งผลกระทบมากกับทั้ง 5 คุณสมบัติผ้าเบรกที่พิจารณา ทำให้ค่าสัดส่วนความสำคัญของตัวแปรเหล่านี้มีค่าสูงที่สุด คือตัวแปรละ 15% ซึ่งเมื่อรวมกันทั้ง 5 ตัวแปรนี้มีสัดส่วนความสำคัญมากถึง 75%

			Hot Pressing Parameters										
			Product Spec. Importance	แรงอัดที่ชิ้นงานได้รับ	อุณหภูมิที่ชิ้นงานได้รับ	เวลาในการกดครั้งแรก	เวลาในการกดซ้ำ	เวลาในการยกพิมพ์	จำนวนครั้งในการกด	เวลาในการกดแช่	ระยะยก	ขนาดชิ้นงาน	การฉีดสเปรย์ซิลิโคนและปริมาณซิลิโคนที่ได้รับ
Product Specification	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			196.7	196.7	95.6	65.6	65.6	196.7	196.7	196.7	45.6	16.9	65.6
% Relative Weights			15%	15%	7%	5%	5%	15%	15%	15%	3%	1%	5%

รูปที่ 6 QFD เฟสที่ 3 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติผ้าเบรกและตัวแปรในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการเบรก คุณสมบัติผ้าเบรก และกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน ด้วยเทคนิค QFD เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาในระบบการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบให้มีความเชื่อมโยงของข้อมูล ซึ่งจากการศึกษาสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

เกรดเคมี B ซึ่งเป็นผ้าเบรกที่เน้นความสามารถในการเบรกเป็นหลัก ซึ่งจากการศึกษาด้วยเทคนิค QFD เฟส 2 ทำให้ทราบว่าคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการเบรกคือ ความเป็นรูปทรง ความถ่วงจำเพาะ ความแข็ง และความยืดหยุ่น นอกจากนั้นคุณสมบัติเหล่านี้ยังส่งผลกระทบมากในเรื่องการสึกของจานและการเกิดฝุ่น ทำให้ค่าสัดส่วนความสำคัญของคุณสมบัติทั้ง 4 อย่างนี้ มีค่า 23% ในแต่ละคุณสมบัติ

จากการศึกษาด้วยเทคนิค QFD เฟส 3 ทำให้ทราบว่าในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน แรงอัดที่ชิ้นงานได้รับ อุณหภูมิที่ชิ้นงานได้รับ เวลาในการกดแช่ จำนวนครั้งในการกด และ

ระยะยก มีความสัมพันธ์อย่างมากกับคุณสมบัติของผ้าเบรกทั้ง 5 ด้านที่นำมาศึกษา ซึ่งมีค่าสัดส่วนความสำคัญของตัวแปรในกระบวนการมีค่า 15% ในแต่ละตัวแปร

ซึ่งจากการศึกษาทำให้ทราบความสัมพันธ์ทั้งหมดของประสิทธิภาพการเบรก คุณสมบัติ และตัวแปรในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบได้ เนื่องจากความสัมพันธ์จากศึกษานี้สามารถช่วยอธิบายถึงสาเหตุและผลกระทบหากเกิดข้อบกพร่องได้ รวมทั้งในการศึกษานี้สามารถระบุตัวแปรสำคัญในกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน ทำให้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการควบคุมตัวแปรเหล่านี้เพื่อลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นได้

นอกจากนั้นการระดมสมองและการทำแบบสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญทำให้ได้ เมตริกซ์ QFD ที่เชื่อมโยงความรู้ของผู้เชี่ยวชาญในหน่วยงานต่าง ๆ ช่วยในการทำงานของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องให้มีความตรงเข้าใจที่ตรงกันมากยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทตัวอย่างที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูล ผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่ช่วยร่วมการประเมินและให้ข้อมูลตลอดการทำการศึกษ ขอขอบคุณมหาลัยศิลปากรและสำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ ที่ให้คำปรึกษาและเงินทุนสนับสนุนการทำงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- Almannai, B., Greenough, R., & Kay, J. (2008). A decision support tool based on QFD and FMEA for the selection of manufacturing automation technologies. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24(4), 501-507.
- Chiraboonthanandom, S. (2008). *Application of QFD and PFMEA Techniques for Design and Trial Production of Automotive Condensers* [Master's thesis]. Chulalongkorn University.
- GSB Research. (2018). *Automotive industry*. https://www.gsb.or.th/getattachment/07c2aa6e-9bc2-4682-8a9e-90b057178223/motor_61_62.aspx
- Hemso, W. (2013). *Defect Reduction from Brake Pads Production by Using DMAIC Method* [Master's thesis]. Rajamangala University of Technology Thanyaburi.
- ISO. (2008). ISO 15484 In Road vehicles – Brake lining Friction materials – Product definition and quality assurance. <https://www.iso.org/standard/37538.html>
- Korayem, M. H., & Iravani, A. (2008). Improvement of 3P and 6R mechanical robots reliability and quality applying FMEA and QFD approaches. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24(3), 472-487.
- Kosbe, P., & More, C. (2010). Performance of NAO Friction Material for Disc Brake. *National Journal on Advances in Building Sciences and Mechanics*, 1(2), 1-5.
- Ministry of Industry. (2010). *National Industrial Development Master Plan 2012-2031*. http://www.oie.go.th/assets/portals/1/fileups/2/files/Industrial%20Master%20Plan/National_Industrial_Development_Master_Plan.pdf
- Nicholson, G. (1995). *100 years of brake linings & clutch facings*. P&W Price Enterprises.
- Sanguansai, H. (2007). *Quality Improvement and Monitoring in House Building Process Applying the Concepts of QFD and FMEA* [Master's thesis]. Chulalongkorn University, Bangkok.
- Srimai, N., Sinthavilai, R., Suthmmanon, S., & Auckara-aree, K. (2019). Development of Rubber Metal Glue for Using in an Automotive Industry by Quality Function Deployment Technique. *The Industrial Engineering Network Journal*, 5(2), 46-54.

Tiantong, M. (2005). Delphi Techniques. In *Statistics and research methodology for information technology*. King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

Wilairat, T., Saechin, N., Buggakupta, W., & Sujaridworakun, P. (2018). Effects of Hot Molding Parameters on Physical and Mechanical Properties of Brake Pads. *Key Engineering Materials*, 824, 59-66.

8. ประวัติผู้เขียน



นางสาวอนูธิดา มากมี
นักศึกษาระดับปริญญาโท
สาขาการจัดการงานวิศวกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศิลปากร



รองศาสตราจารย์ ดร. ประจวบ กล่อมจิตร
อาจารย์ที่ปรึกษา
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศิลปากร