



การพัฒนาคุณภาพกระบวนการผลิตยางรถยนต์โดยใช้หลักการพื้นผิว
ผลตอบสนอง

โดย

นายอภิชาต ชูทิพย์

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การพัฒนาคุณภาพกระบวนการผลิตยางรถยนต์โดยใช้หลักการพื้นผิว
ผลตอบสนอง

โดย

นายอภิชาต ชูทิพย์

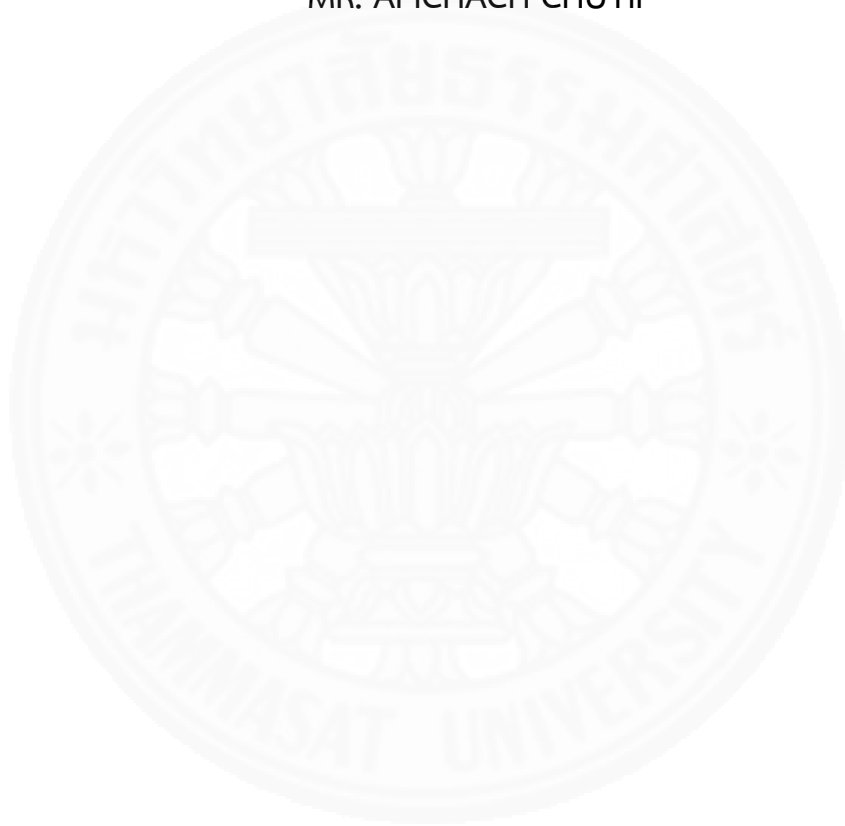


การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

QUALITY IMPROVEMENT OF TIRE PRODUCTION USING RESPONSE
SURFACE METHODOLOGY

BY

MR. APICHACH CHUTIP



AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING IN

INDUSTRIAL DEVELOPMENT

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

THAMMASAT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2017

COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

การค้นคว้าอิสระ

ของ

นายอภิชาต ชูทิพย์

เรื่อง

การพัฒนาคุณภาพกระบวนการผลิตยางรถยนต์โดยใช้หลักการพื้นผิวผลตอบสนอง

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 9 กรกฎาคม พ.ศ. 2561

ประธานกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ

(รองศาสตราจารย์ ดร. จิรรัตน์ ชีระวราพฤกษ์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ

(อาจารย์ ดร. อนินทยา คำกันยา)

กรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เสมอจิตร หอมรสสุคนธ์)

คณบดี

(รองศาสตราจารย์ ดร. ชีร์ เจียศิริพงษ์กุล)

หัวข้อการค้นคว้าอิสระ	การพัฒนาคุณภาพกระบวนการผลิตยางรถยนต์โดยใช้ หลักการพื้นผิวผลตอบแทน
ชื่อผู้เขียน	นายอภิชาต ชูทิพย์
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ	อาจารย์ ดร. อนินทยา คำกันยา
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักในการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบแทนในการลดของเสียในกระบวนการการผลิตยางรถยนต์ จากการศึกษเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษาพบว่า มีของเสียเกิดจากปัญหาฟองอากาศตกค้างภายในแก้มยางรถยนต์ขณะขึ้นรูปเป็นจำนวนมาก การวิเคราะห์หาสาเหตุของการเสียเริ่มจากการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฟองอากาศพบว่า มีสาเหตุมาจากร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางจากแผนกต้นยางไม่ได้ตามค่าเป้าหมาย เมื่อทำการศึกษาเพิ่มเติมพบว่าเกิดจากปัจจัยที่สำคัญสองปัจจัยได้แก่ แรงดันลม และระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร่องความลึก ผู้วิจัยจึงใช้หลักการพื้นผิวผลตอบแทนในการหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าว โดยเริ่มจากการทำการทดลองแบบเซ็นทรัลคอมโพสิตดีไซน์เพื่อศึกษาและเก็บข้อมูลความลึกของร่องใต้ท้องแก้มยางที่วัดได้จากการตั้งค่าปัจจัยในระดับต่าง ๆ จากนั้นค่าผลตอบมาสร้างสมการพื้นผิว และนำสมการพื้นผิวที่ได้ไปคำนวณหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้เกิดร่องความลึกได้ตามค่าเป้าหมายของการผลิตยาง จากการศึกษาพบว่าค่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางได้ตามค่าเป้าหมาย คือ การตั้งแรงดันลมเท่ากับ 0.762 เมกะปาสคาล และการตั้งระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร่องความลึกเท่ากับ 2.3 มิลลิเมตร เมื่อนำค่าดังกล่าวไปใช้งานจริงพบว่า ความลึกของร่องใต้ท้องแก้มยางเป็นไปตามเป้าหมาย ทำให้ของเสียประเภทฟองอากาศตกค้างภายในแก้มยางขณะขึ้นรูปลดลงร้อยละ 56.88 ผู้วิจัยจึงได้นำค่าดังกล่าวไปจัดทำเป็นมาตรฐาน

คำสำคัญ: การผลิตยางรถยนต์, การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบแทน, การควบคุมคุณภาพ, การออกแบบการทดลอง

Independent Study Title	QUALITY IMPROVEMENT OF TIRE PRODUCTION USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY
Author	Mr. Apichach Chutip
Degree	Master of Engineering
Department/Faculty/University	Industrial Development Faculty of Engineering Thammasat University
Independent Study Advisor	Dr. Anintaya Khamkanya
Academic Years	2017

ABSTRACT

This study aims to apply the response surface methodology (RSM) to reducing defects of tire production process. The preliminary study reveals that the most serious defect type of the process of study is the air bubble in tread and carcass sidewall of the tire, caused by the groove depth of underside tread from extrusion process failed to comply the specifications. The result from root cause analysis and factor screening suggests that two factors are considered critical to the groove depth of underside tread. These include pressure level and gap setting between disk roll and underplate roll. Consequently, RSM is conducted based on central composite design. The response surface models are then developed and the optimum operating conditions are obtained. The results show that the optimum operating conditions of the extrusion process are recommended at 0.762 MPa for pressure level and 2.3 mm. for gap setting. The optimum operating conditions are then implemented and the study shows that the defects reduce by 56.88%. Therefore, the optimum operating conditions are employed in the process and are used to developing a new working standard for this process.

Keywords: Tire production, Response surface methodology, Quality control, Design of experiments

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีต้องขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อนินทยา คำกันยา เป็นอย่างสูงที่กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา รวมถึงให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานค้นคว้าฉบับนี้ อีกทั้งยังช่วยให้ผู้วิจัยมีความกระตือรือร้นในการค้นคว้าหาข้อมูล รวมถึงช่วยในการตรวจสอบข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่และความเมตตา ทำให้การค้นคว้าอิสระฉบับนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี หากไม่ได้ท่านคอยช่วยเหลือหรือสนับสนุนแล้ว การค้นคว้าอิสระฉบับนี้คงจะไม่สำเร็จลงได้

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบ ซึ่งประกอบไปด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. จิรรัตน์ ธีระวราพฤกษ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. เสมอจิตร หอมรสสุคนธ์ สำหรับข้อคิดเห็นและแนวทางในการค้นคว้า ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง รวมถึงเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจและยังให้การสนับสนุนด้วยดีตลอดมา

นายอภิชาต ชูทิพย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญตาราง	(7)
สารบัญภาพ	(8)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 ขอบเขตการวิจัย	4
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.6 แผนการดำเนินงานวิจัย	5
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 นิยามศัพท์เฉพาะ	6
2.1.1 ส่วนประกอบสำคัญของยางรถยนต์	6
2.1.2 ส่วนประกอบของตัวกดและตัวทำร่องความลึก	7
2.1.3 ศัพท์ทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	8
2.2 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด	9
2.2.1 ความเป็นมา	9
2.2.2 7 QC Tools	9

2.3 การออกแบบการทดลอง	15
2.3.1 ส่วนประกอบของการทดลอง	15
2.3.2 รูปแบบของการออกแบบการทดลอง	17
2.3.3 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล	17
2.3.4 การออกแบบการทดลองแบบ Central Composite	19
2.3.5 วิธีการพินิจตอบสนอง	21
2.3.6 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง	23
2.4 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
 บทที่ 3 วิธีการวิจัย	 27
3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสภาพทั่วไป	27
3.1.1 ข้อมูลทั่วไป	27
3.1.2 สภาพการดำเนินงาน	28
3.2 ศึกษากระบวนการผลิตแก้มยางที่แผนกต้นยาง	28
3.2.1 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่องต้นยาง	28
3.2.2 ขั้นตอนการทำงานของตัวกดและตัวทำร่องความลึก	29
3.2.3 ลักษณะหรือรูปร่างของผลิตภัณฑ์	29
3.3 ศึกษาขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ	30
3.3.1 ศึกษาขั้นตอนการค้นหาและการคัดเลือกโครงการ	30
3.3.2 ศึกษาขั้นตอนการกำหนดตัววัดและทำความเข้าใจในกระบวนการ	31
3.3.2.1 ศึกษาแผนผังกระบวนการผลิตแก้มยาง	32
3.3.2.2 การเก็บข้อมูลและการใช้ระดับความลึกของร่องใต้ท้องแก้มยาง	33
3.3.2.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความเที่ยงก่อนการปรับปรุง	35
3.3.3 ศึกษาขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา	39
3.3.4 ศึกษาขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ	42
 บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	 44
4.1 ผลการทดลอง	44
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	49

4.2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน	49
4.2.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง	51
4.2.2.1 การตรวจสอบการกระจายแบบปกติ	51
4.2.2.2 การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน	52
4.2.2.3 การตรวจสอบความเป็นอิสระ	53
4.2.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันลมกับระยะห่างระหว่างตัวกด และตัวทำรองความลึก	54
4.2.4 การหาที่สภาวะที่เหมาะสมสำหรับปัจจัยที่มีผลต่อค่ารองความลึก	55
4.3 การยืนยันผลด้วยการทำการทดลองตามสภาวะที่เหมาะสมที่สุด	56
4.4 การเปรียบเทียบผลก่อน และหลังการปรับปรุง	57
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	59
5.1 สรุปผลการทดลอง	59
5.2 ข้อเสนอแนะ	60
รายการอ้างอิง	61
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ค่ารองความลึกที่ได้มาจากการทดลองตามสภาวะที่เหมาะสมที่สุด	64
ประวัติผู้เขียน	68

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย	5
2.1 ประเภทของกราฟ	12
2.2 ประเภทของกราฟฮีโตนแกรม	15
2.3 การเก็บข้อมูลของ Central Composite	20
3.1 ค่าความลึกของร่องใต้ท้องแก้มยางรถยนต์ชนิดที่มีขอบกระทะล้อตั้งแต่ 20 นิ้ว เป็นต้นไปก่อนการแก้ไข	34
3.2 ข้อมูลค่าร่องความลึกก่อนการปรับปรุงจากพนักงานวัดแต่ละกลุ่ม	35
3.3 ปัจจัยและระดับของปัจจัย	42
3.4 แผนการทดลอง Central Composite กรณีศึกษา 2 ปัจจัย	43
4.1 ค่าเฉลี่ยผลส่วนต่างของร่องความลึกระหว่างค่าจากการทดลองเทียบกับค่าเป้าหมาย	45
4.2 ค่าร่องความลึกที่ได้มาจากการทดลองตามสภาวะที่เหมาะสมที่สุด	56
4.3 ค่าผลส่วนต่างของร่องความลึกใต้ท้องแก้มยาง	57
4.4 ตารางเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง	57

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ห้องแก้มยางที่มีร่องความลึกไม่ได้ตามค่าเป้าหมาย	2
1.2 แก้มยางที่มีร่องความลึกไม่ได้ตามค่าเป้าหมายที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปยาง	2
1.3 ประเภทของเสีย 10 อันดับแรกภายในโรงงานเฉลี่ยต่อวันภายในเดือนกรกฎาคม 2560	3
1.4 สัดส่วนของยางดีเทียบกับยางเสียเมื่อใช้แก้มยางที่มีขอบกระดะล้อตั้งแต่ 20 นิ้วเป็นต้นไป	3
2.1 ส่วนประกอบของยางรถยนต์	6
2.2 ส่วนประกอบของตัวกดและตัวทำร่องความลึก	7
2.3 ลักษณะรูปร่างของแก้มยาง	8
2.4 ลักษณะการเกิดปัญหาฟองอากาศตกค้างในบริเวณแก้มยาง	8
2.5 แผนภูมิพาเรโต	10
2.6 แผนภูมิควบคุม	11
2.7 แผ่นตรวจสอบ	12
2.8 แผนผังสหสัมพันธ์	13
2.9 แผนผังก้างปลา	14
2.10 แบบจำลองทั่วไปของกระบวนการ	16
2.11 Central Composite Design สำหรับ 3 ปัจจัย	20
2.12 พื้นผิวตอบสนองแบบสามมิติ	21
2.13 เส้นโครงร่างของพื้นผิวตอบสนอง	22
2.14 ลำดับขั้นตอนของการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองอย่างมีลำดับขั้นตอน	23
3.1 เครื่องดันยาง	28
3.2 แก้มยางรถยนต์ชนิดที่มีขอบกระดะล้อตั้งแต่ 20 นิ้วเป็นต้นไป	30
3.3 แก้มยางรถยนต์ชนิดที่มีขอบกระดะล้อต่ำกว่า 20 นิ้วเป็นต้นไป	30
3.4 ชนิดของแก้มยางที่เกิดปัญหาฟองอากาศตกค้างในแก้มยางตั้งแต่เดือนกรกฎาคม - กันยายน พ.ศ. 2560	31
3.5 ระบุตำแหน่งที่อาจส่งผลกระทบต่อร่องความลึกใต้ห้องแก้มยาง	32
3.6 ลักษณะของตัวกดและตัวทำร่องความลึก	33

3.7 ลักษณะของตำแหน่งที่ใช้ในการวัดร่องความลึก	34
3.8 ตัวอย่างแก้มยางที่ร่องความลึกที่ไม่ได้ตามเป้าหมาย	35
3.9 กราฟวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความเที่ยงก่อนการปรับปรุง	37
3.10 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความเที่ยงก่อนการปรับปรุง	38
3.11 เครื่องมือเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบดิจิตอล	39
3.12 ผังก้างปลาแสดงการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อร่องความลึกได้ทั้งแก้มยาง ชนิดที่มีขอบกระโหลกตั้งแต่ 20 นิ้วเป็นต้นไป	39
3.13 ระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร่องความลึก	41
4.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab®	50
4.2 กราฟการกระจายตัวของส่วนตกค้าง	52
4.3 กราฟฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง	52
4.4 กราฟความเสถียรของความแปรปรวนของส่วนตกค้าง	53
4.5 กราฟความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง	53
4.6 พื้นผิวตอบสนองระหว่างแรงดันลม (A) และระยะห่างระหว่างตัวกด และตัวทำร่องความลึก (B)	54
4.7 กราฟโครงร่างแสดงค่าผลส่วนต่างร่องความลึกระหว่างแรงดันลม (A) และระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร่องความลึก (B)	55
4.8 กราฟแสดงจุดที่เหมาะสมที่สุดระหว่างแรงดันลม (A) และระยะห่างระหว่างตัวกด และตัวทำร่องความลึก (B)	55
4.9 กราฟแท่งเปรียบเทียบของเสียที่เกิดจากปัญหาฟองอากาศตกค้างในแก้มยาง ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2560 ถึง เดือนเมษายน 2561	58
4.10 ประเภทของเสีย 10 อันดับแรกภายในโรงงานเฉลี่ยสะสมต่อวัน ภายในเดือนเมษายน 2561	58

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันผู้นิยมใช้รถส่วนตัวกันมากขึ้น เนื่องจากมีความสะดวกในการเดินทาง มีความปลอดภัย อีกทั้งยังสามารถขนส่งสัมภาระต่างๆ ได้อีกด้วย ส่งผลให้มีรถวิ่งอยู่บนท้องถนนมีจำนวนมาก ซึ่งปฏิเสธไม่ได้เลยว่า รถเป็นสิ่งที่จำเป็นในผู้คนยุคสมัยนี้ ซึ่งในปัจจุบันก็มีรถให้เลือกซื้อหลายประเภท หลายขนาด หลายราคาตามกำลังซื้อของลูกค้า ไม่ว่าจะเป็นรถเก๋ง รถกระบะ รถบรรทุก รถโดยสารสาธารณะ รถจักรยานยนต์ หรือแม้แต่จักรยาน ล้วนแต่ต้องใช้ยาง เป็นตัวขับเคลื่อนที่มีผลต่อสมรรถนะของรถ ซึ่งยางนั้นก็จะมีหน้าที่หลักที่แตกต่างกันไปตามลักษณะการใช้งาน เช่น การดูดซับแรงกระแทกในระหว่างที่รถกำลังเคลื่อนที่ ช่วยลดเสียงรบกวนระหว่างการเดินทาง ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำมัน ช่วยในการรีดน้ำบนสภาพถนนที่เปียก ช่วยในการบังคับและควบคุมทิศทางการเคลื่อนของยานพาหนะ ช่วยในการยึดเกาะถนน การเข้าโค้ง การขึ้นเนิน ช่วยในการลุยในสภาวะถนนที่แตกต่างกันไป หรือการลงทางชัน และที่สำคัญที่สุด คือช่วยในการเบรก และการออกตัวของรถ ซึ่งส่วนประกอบของโครงสร้างยางนั้น จะมีอยู่หลายส่วนประกอบกัน เช่น หน้ายาง แก้มยาง ซึ่งก่อนจะมาเป็นวัสดุเหล่านี้จะต้องการผ่านหลายกระบวนการ เช่น กระบวนการผสมยาง กระบวนการดันยาง กระบวนการขึ้นรูปยาง กระบวนการอบยาง และสุดท้ายกระบวนการตรวจสอบยาง โดยวัสดุแต่ละตัวนั้นต้องได้มาตรฐานก่อนจะนำไปขึ้นรูป เพื่อป้องกันปัญหายางเสีย หรือยางไม่ได้ตามมาตรฐาน จะเห็นได้ว่าการลดของเสียที่ขึ้นจากกระบวนการผลิตนั้น ส่งผลให้ยางมีคุณภาพ และลดความเสี่ยงที่จะตามมาจากการใช้ยางที่ไม่ได้มาตรฐาน

กระบวนการที่สำคัญในทำวัสดุที่ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของยาง คือ กระบวนการดันยาง โดยกระบวนการนี้จะนำยางที่ผ่านการผสมสารต่าง ๆ มาผ่านการดันผ่านแม่พิมพ์ด้วยความร้อน เพื่อให้ได้รูปร่าง ลักษณะ หรือระยะตามที่ฝ่ายเทคนิคของแผนกขึ้นรูปออกแบบมาให้ จากนั้นก็จะลำเลียงยางที่ผ่านการดันจากแม่พิมพ์ มาพิมพ์ร่องด้านใต้ท้องยาง เพื่อให้มีร่อง สำหรับให้อากาศในกระบวนการขึ้นรูปยางต่อไป โดยการพิมพ์ร่องใต้ท้องยางนั้น จะมีตัวกด ทำหน้าที่ในการกดตัวยาง และตัวทำร่อง มีหน้าที่ในการทำร่องทางเดินสำหรับอากาศ ซึ่งในการขึ้นรูปยางนั้น จะนำวัสดุมาประกบกัน ซึ่งถ้าวัสดุมีร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางไม่ได้ตามค่าเป้าหมายจะให้เกิดปัญหายางมีฟองอากาศตกค้างอยู่ภายใน เนื่องจากไม่มีทางออกของอากาศที่ตกค้างอยู่ ซึ่งยางที่มีอากาศตกค้างอยู่ภายในถูกนำไปใช้ที่สภาวะแวดล้อมที่มีความร้อนสูงหรือนำไปใช้ขณะที่มีความเร็วสูง ก็จะทำให้เกิดการระเบิด

ของอากาศที่ค้างอยู่ภายใน ทำให้ยางระเบิด ซึ่งจากปัญหาดังกล่าวก็เป็นปัญหาทางด้านคุณภาพของวัสดุอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญ ที่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างยางโดยรวม อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อยอดการผลิต รวมถึงการส่งผลต่อความเชื่อมั่นของลูกค้าในการเลือกใช้อีกด้วย



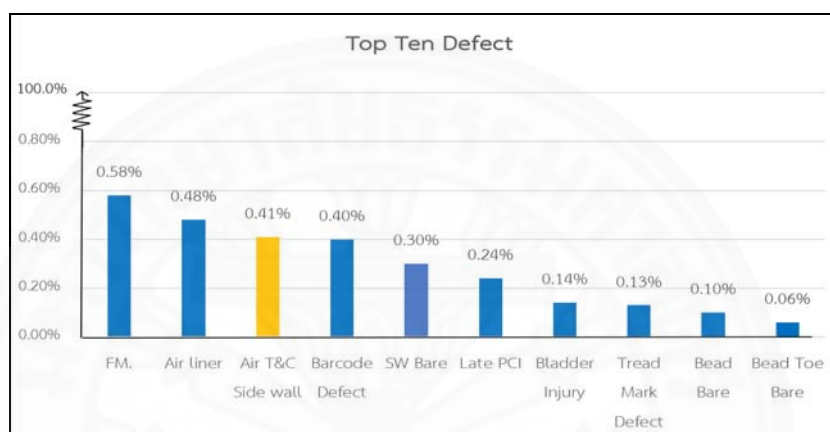
ภาพที่ 1.1 ท้องแก้มยางที่มีร่องความลึกไม่ได้ตามค่าเป้าหมาย



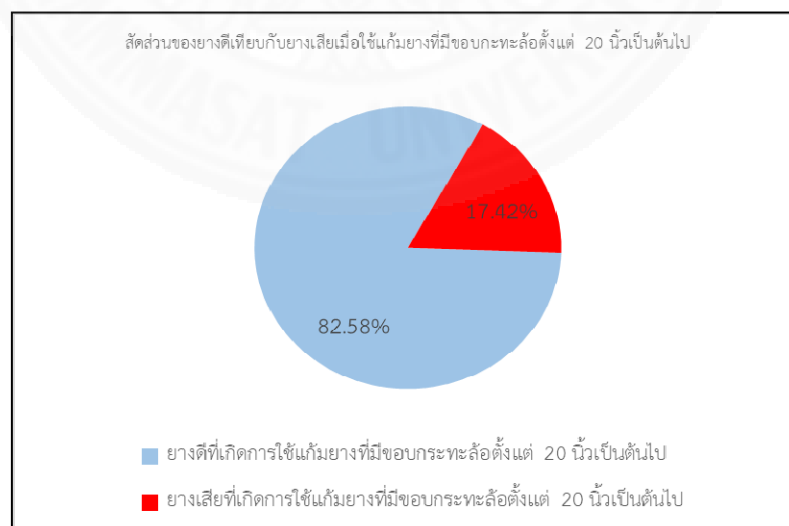
ภาพที่ 1.2 แก้มยางที่มีร่องความลึกไม่ได้ตามค่าเป้าหมายที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปยาง

โดยงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาโดยการมุ่งเน้นไปที่แก้มยางรถยนต์ชนิดที่มีขอบกระทะล้อ ตั้งแต่ 20 นิ้วเป็นต้นไป โดยต้องการที่จะลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการต้นยาง โดยศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระดับความลึกของร่องที่ถูกกดโดยตัวกดและตัวทำร่องความลึก หลังผ่านกระบวนการต้นยาง ปัญหายางมีฟองอากาศตกค้างในบริเวณแก้มยาง เป็นสาเหตุของปัญหาของเสียลำดับที่ 3 ซึ่งมีปริมาณของเสีย เฉลี่ยคิดเป็น 0.41% จากยอดการผลิตยางทั้งหมดภายในเดือนกรกฎาคม 2560

ดังภาพที่ 1.3 พบว่า เกิดขึ้นที่แก้มยางชนิดที่มีขอบกระทะล้อตั้งแต่ 20 นิ้วเป็นต้นไปถึง 97.7% หรือ 171 เส้น โดยที่การผลิตแก้มยางชนิดที่มีขอบกระทะล้อตั้งแต่ 20 นิ้วเป็นต้นไปของแผนกต้นยางมี ยอดการผลิตเฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ 1,950 เมตร หรือเฉลี่ยเป็นจำนวนเส้นได้ 975 เส้น และเมื่อนำไปเทียบกับปริมาณยางเสียที่เกิดจากปัญหาฟองอากาศตกค้างในแก้มยางที่มาจากแก้มยางชนิดที่มีขอบกระทะล้อตั้งแต่ 20 นิ้ว ทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ของเสียที่เกิดจากการใช้แก้มยางที่มีขอบกระทะล้อตั้งแต่ 20 นิ้ว เป็นต้นไปเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 17.42% ดังแสดงในภาพที่ 1.5



ภาพที่ 1.3 ประเภทของเสีย 10 อันดับแรกภายในโรงงานเฉลี่ยต่อวัน
ภายในเดือนกรกฎาคม 2560



ภาพที่ 1.4 สัดส่วนของยางดีเทียบกับยางเสียเมื่อใช้แก้มยางที่มีขอบกระทะล้อ
ตั้งแต่ 20 นิ้วเป็นต้นไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อร่องใต้แก้มยางที่ทำให้เกิดปัญหาฟองอากาศตกค้างภายในบริเวณแก้มยางรถยนต์

1.2.2 ศึกษาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางรถยนต์

1.2.3 เพื่อลดปัญหายางเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองฉบับนี้ จะมุ่งเน้นศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การเกิดร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางรถ กระบะที่เกิดจากกระบวนการด้นยางเท่านั้น โดยมุ่งเน้นไปที่การทำให้ร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางรถยนต์ชนิดที่มีขอบกระดะล้อตั้งแต่ 20 นิ้วเป็นต้นไปให้ได้ตามค่าเป้าหมาย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาฟองอากาศตกค้างในบริเวณแก้มยางหลักจากการนำไปขึ้นรูป หรือการนำวัสดุไปประกอบเป็นโครงสร้างยาง

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

ศึกษากระบวนการผลิตของแก้มยางและศึกษาหาแนวทางในการลดปริมาณของเสียจากกระบวนการด้นยางที่บริเวณตัวกด และตัวทำร่องความลึก ที่ส่งผลกระทบต่อ การเกิดร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางไม่ได้ตามค่าเป้าหมาย ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหายางมีฟองอากาศตกค้างภายในบริเวณแก้มยาง หลังจากนำไปขึ้นรูปยางที่แผนกขึ้นรูป โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการดังนี้

1.4.1 ศึกษาทฤษฎี และหลักการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำให้เกิดร่องความลึกใต้ท้องแก้มยาง

1.4.2 เก็บข้อมูลรายละเอียด และวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การเกิดร่องความลึกใต้ท้องแก้มยาง

1.4.3 วิเคราะห์ขั้นตอนการดำเนินงาน โดยใช้ผังก้างปลาเข้ามาช่วยวิเคราะห์ เพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การเกิดร่องความลึกใต้ท้องแก้มยาง

1.4.4 ออกแบบการทดลองในปัจจัยที่ได้จากวิเคราะห์ มาทำการหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดร่องความลึกใต้ท้องแก้มยาง

1.4.5 ทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อให้ทราบถึงค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ที่ส่งผลต่อการเกิดร่องความลึกใต้ท้องแก้มยาง

1.4.6 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และสรุปผลที่ได้รับจากการทดลอง

1.4.7 ดำเนินการแก้ไข ปรับปรุงและจัดทำเป็นมาตรฐานการทำงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงปัจจัยและพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อ การเกิดร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางชนิดที่มีขอบกระดะล้อตั้งแต่ 20 นิ้วเป็นต้นไป

1.5.2 สามารถแก้ไขปัญหาร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางไม่ได้ตามค่าเป้าหมาย ซึ่งเกิดขึ้นที่แก้มยางชนิดที่มีขอบกระดะล้อตั้งแต่ 20 นิ้วเป็นต้นไป ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดฟองอากาศตกค้างในบริเวณแก้มยาง ขณะทำการขึ้นรูปที่แผนกขึ้นรูปยาง

1.5.3 สามารถลดของยางเสีย ซึ่งเป็นผลให้เกิดปัญหาข้อร้องเรียนจากลูกค้า

1.6 แผนการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 1.1

แผนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัย	พ.ศ. 2560						พ.ศ. 2561		
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ศ.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับการทำให้ร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางได้ตามค่าเป้าหมาย	←→								
2. เก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำให้ร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางได้ตามค่าเป้าหมาย		←→							
3. ระบุปัญหาและกำหนดตัวแปรของการเกิดร่องใต้ท้องแก้มยาง การทำให้ร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางได้ตามค่าเป้าหมาย			←→						
4. ทำการออกแบบการทดลอง ในปัจจัยที่ได้วิเคราะห์แล้วว่า มีผลต่อการทำให้ร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางได้ตามค่าเป้าหมาย				←→					
5. ทำการทดลองตามปัจจัยที่ได้วิเคราะห์ว่า ส่งผลต่อการทำให้ร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางได้ตามค่าเป้าหมาย				←→					
6. ประเมินผลและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง							←→		
7. สรุปผลการวิจัยและประโยชน์ที่ได้รับ								←→	

บทที่ 2

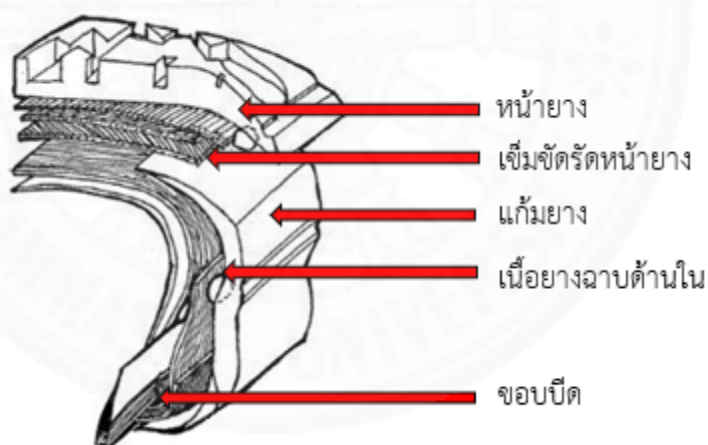
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาค้นคว้าทฤษฎี แนวคิด และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาเป็นกรอบในการศึกษา ดังนี้

2.1 นิยามศัพท์เฉพาะ

โดยทั่วไปแล้วส่วนประกอบของยางรถยนต์มีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 5 ส่วนหลัก ซึ่งแสดงดังภาพที่ 2.1 ประกอบเรียงชิดติดกันจนเป็นโครงสร้างยาง

2.1.1 ส่วนประกอบสำคัญของยางรถยนต์



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของยางรถยนต์

2.1.1.1 หน้ายาง เป็นส่วนที่อยู่ข้างนอกสุดของยางและเป็นส่วนที่สัมผัสผิวถนน ทำหน้าที่ป้องกันของมีคมที่จะทำอันตรายต่อโครงยาง มีดอกยางและร่องยางทำหน้าที่ในการยึดเกาะถนน ควบคุมทิศทางของรถให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงให้ระยะการเบรกสั้นลง เพื่อความปลอดภัยในการหยุดรถ หรือชะลอความเร็ว

2.1.1.2 แก้มยาง เป็นส่วนนอกสุดของยางที่ไม่ได้สัมผัสกับพื้นถนนขณะที่รถวิ่งอยู่ ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายที่เกิดกับโครงยางและเป็นส่วนที่มีความยืดหยุ่นมากที่สุดของยาง อีกทั้งเป็นส่วนที่ให้ความรู้สึกนุ่มนวล ขณะขับขี่

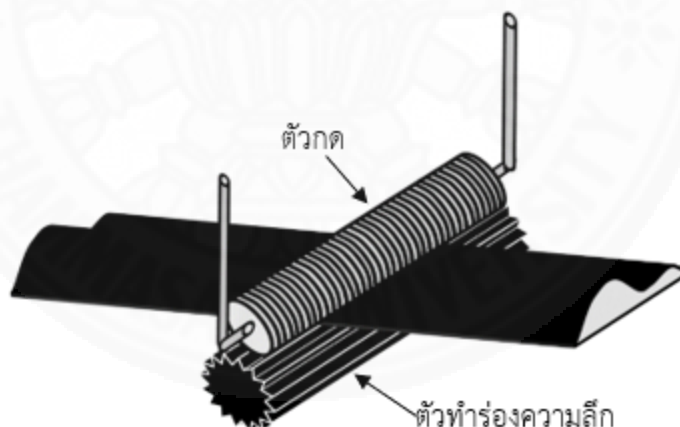
2.1.1.3 เนื้อยางฉาบด้านใน เป็นส่วนประกอบที่บอบบางสำคัญในการรักษาความดันลมภายในยางเพื่อให้ยางสามารถรับน้ำหนักที่บรรทุกได้รวมทั้งต้องทนทานต่อแรงกระแทกหรือสั่นสะเทือนจากถนนที่มีต่ออย่างดี

2.1.1.4 เข็มขัดรัดหน้ายาง เป็นชั้นที่อยู่หน้ายางกับโครงยาง ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรง รับแรงกระแทก และป้องกันไม่ให้โครงยางชำรุดเสียหายจากสภาวะที่ไม่ปกติ

2.1.1.5 ขอบปิด ประกอบด้วยกลุ่มของเส้นลวดเหล็กกล้า ซึ่งช่วยยึดส่วนปลายทั้ง 2 ข้างของโครงยางเอาไว้เพื่อให้บริเวณขอบยาง มีความแข็งแรงสามารถยึดแน่นสนิทกับกระทะล้อได้ดี เมื่อถูกนำไปใช้งาน สำหรับยางรถยนต์ที่ไม่ใช่ยางใน ขอบยางเป็นส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่ไม่ให้ลมรั่วซึมออกมา

2.1.2 ส่วนประกอบของตัวกดและตัวทำร่องความลึก

โดยประกอบสำคัญของตัวกดและตัวทำร่องความลึกประกอบไปด้วย 2 ส่วน ดังนี้



ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบของตัวกดและตัวทำร่องความลึก

2.1.2.1 ตัวกด มีหน้าที่ในการกดยาง โดยใช้น้ำหนักของตัวเองในการกดบนหลังยางให้โดนตัวทำร่องด้านล่าง โดยตัวกดจะมีแผ่นเหล็กขดตัวเรียงกันเป็นระนาบ

2.1.2.2 ตัวทำร่องความลึก มีหน้าที่ในการทำร่องความลึกใต้ห้องยาง ปกติแล้วตัวทำร่องจะหมุนอยู่กับที่

โดยหลักการทำงานของทั้งชุด คือ เมื่อยางผ่านส่วนประกอบ 2 ชุดนี้ไปสักครู่ ตัวกดจะทิ้งตัวลงมาด้วยน้ำหนักของตัวเอง ทำให้ยางถูกกดและสัมผัสกับตัวทำร่อง ที่ด้านล่าง ทำให้เกิดเป็นร่องที่ใต้ห้องแก้มยาง

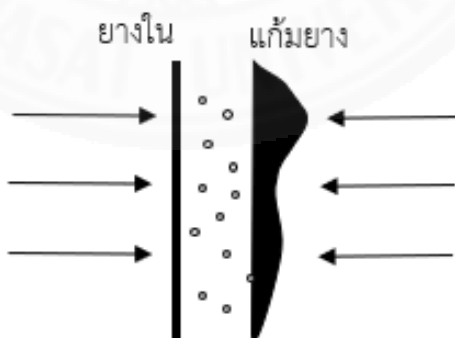
2.1.3 ศัพท์ทางเทคนิคที่เกี่ยวกับงานวิจัย

2.1.3.1 ลักษณะรูปร่างของยาง โดยทั่วไปแล้วยางแต่ละส่วนจะมีลักษณะรูปร่างความหนา ส่วนเว้าส่วนโค้งแตกต่างกันออกไป ตามแต่ละชนิดของยาง อาจจะมีลักษณะเป็นโค้ง หรือเว้าเป็นรูปภูเขา หรือแบนราบก็ได้



ภาพที่ 2.3 ลักษณะรูปร่างของแก้มยาง

2.1.3.2 ปัญหาฟองอากาศตกค้างในบริเวณแก้มยาง เป็นปัญหาที่เกิดจากการที่แก้มยางไม่มีร่องใต้ห้อง หรือร่องไม่ดี ทำให้ไม่มีทางออกของอากาศในขณะนำไปขึ้นรูป กล่าวคือ เมื่อนำแก้มยาง และเนื้อยางฉาบด้านในมาประกบกันจะมีอากาศติดค้างอยู่ ซึ่งไม่สามารถรีดให้ออกได้ ถ้าปราศจากร่องนำทางให้อากาศที่ติดค้างนั้นไหลออกไปได้



ภาพที่ 2.4 ลักษณะการเกิดปัญหาฟองอากาศตกค้างในบริเวณแก้มยาง

2.2 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด

2.2.1 ความเป็นมา

ในปี ค.ศ. 1946 JUSE หรือ Union of Japanese Scientists and Engineers ถูกก่อตั้งพร้อมกับการจัดตั้งกลุ่ม Quality Control research Group เพื่อแสวงหาและค้นคว้าให้การศึกษา ตลอดจนเผยแพร่ความรู้ความเข้าใจในเรื่องระบบการควบคุมและพัฒนาทางด้านคุณภาพ ซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดภาพพจน์สินค้าคุณภาพไม่ดี ราคาถูกออกจากสินค้าที่ผลิต “Made in Japan” และเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งออกไปพร้อมกัน

หลังจากนั้นมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศญี่ปุ่น หรือ Japanese Industrial Standards (JIS) marking system ได้ถูกกำหนดเป็นกฎหมายในปี ค.ศ. 1950 พร้อมกับการเชิญ Dr. W.E. Deming มาเปิดสัมมนาทาง QC ให้แก่ผู้บริหารระดับต่าง ๆ และวิศวกรในประเทศ นับเป็นการเริ่มต้นถึงการตระหนักถึงการควบคุมและพัฒนาคุณภาพ และตามมาด้วยการก่อตั้งรางวัล Deming Prize ที่มีชื่อเสียง เพื่อบริการให้แก่มือผู้ผลิตซึ่งมีความก้าวหน้าในการพัฒนาคุณภาพดีเด่นของประเทศ

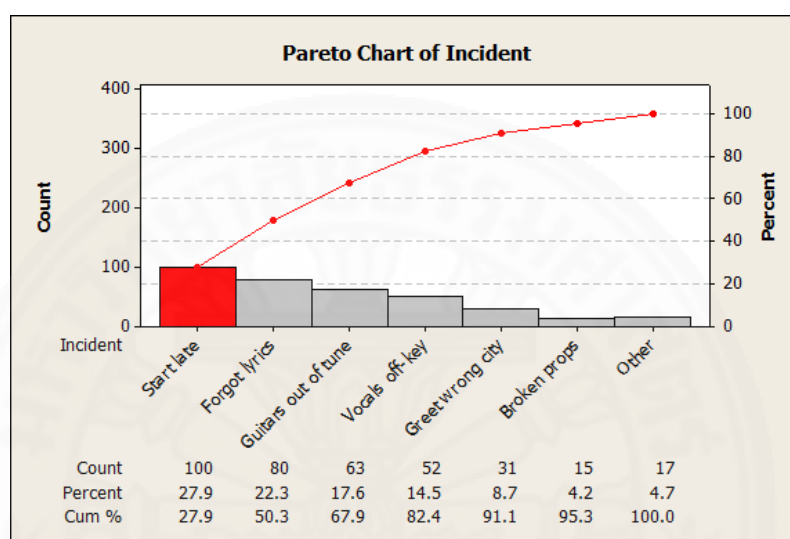
ต่อมาในปี ค.ศ. 1954 Dr. J.M. Juran ถูกเชิญมาประเทศญี่ปุ่น เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจแก่ผู้บริหารระดับสูงภายในองค์กรในการนำเทคนิคเหล่านี้มาใช้งาน โดยได้รับความร่วมมือจากผู้เกี่ยวข้องทุกคนเป็นอย่างดี ซึ่งถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาและรวบรวมเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพรวม 7 ชนิด ดังต่อไปนี้

2.2.2 7 QC Tools

เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิดนี้ เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพและประสิทธิภาพในกระบวนการทำงานต่าง ๆ ซึ่งเป็นเครื่องมือช่วยในการศึกษาสภาพทั่วไปของปัญหา การคัดลอก หรือช่วยในการจัดลำดับความสำคัญของปัญหา รวมถึงสามารถช่วยในการค้นหาและช่วยในการวิเคราะห์ความเป็นมาและสาเหตุการเกิดปัญหาที่แท้จริงได้ เพื่อให้เข้าใจถึงการแก้ไขปัญหาอย่างถูกต้องและชัดเจน และช่วยควบคุมในการติดตามผลอย่างต่อเนื่อง

2.2.2.1 แผนภูมิพาเรโต เป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุของความบกพร่องหรือผิดปกติกับปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้น ช่วยให้สามารถจัดการกับปัญหาได้อย่างเป็นขั้น หรือลำดับความสำคัญได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยประโยชน์ของแผนภูมิพาเรโต มีดังต่อไปนี้

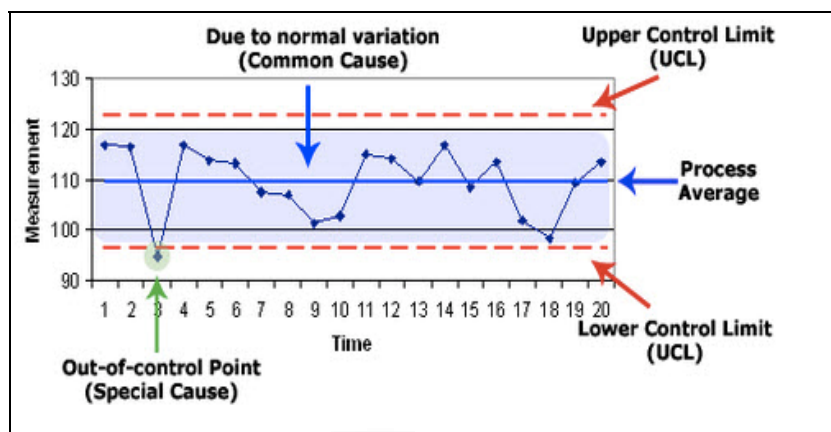
- (1) ใช้ในการจัดลำดับความรุนแรงของปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการทั่วไป
- (2) ใช้ในการพิจารณาคัดเลือกปัญหาเพื่อนำแก้ไขหรือปรับปรุง โดยทั่วไปจะเลือกจากความรุนแรงของปัญหามากที่สุดนำไปแก้ไขก่อน เพื่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุด
- (3) แผนภูมิพาเรโตจะแสดงเปอร์เซ็นต์สะสม ทำให้ผู้ใช้งานประหยัดเวลาในการคำนวณและสามารถนำไปใช้เปรียบเทียบกับก่อนและหลังการปรับปรุงหรือแก้ไขกระบวนการ



ภาพที่ 2.5 แผนภูมิพาเรโต

ที่มา : http://www.elcls.ssu.ac.th/surapong_in/pluginfile.php/82/block_html

2.2.2.2 แผนภูมิควบคุม เป็นแผนภูมิที่เปรียบเสมือนเครื่องมือที่ช่วยในการควบคุมหรือติดตามกระบวนการ โดยใช้การกำหนดขอบเขตที่ยอมรับได้ คือขอบเขตบนและขอบเขตล่าง เพื่อติดตามและตรวจจับข้อมูลที่ออกนอกขอบเขตการติดตาม ซึ่งลักษณะของแผนภูมิควบคุมมีลักษณะคล้ายกราฟเส้น แต่เนื่องจากเป็นแผนภูมิที่ต้องการเฝ้าดูความผันแปรของกระบวนการ จึงมีองค์ประกอบเพิ่มเติม ดังนี้ เส้นพิสัยด้านบน เป็นการกำหนดที่ค่า $+ 3 \sigma$ เส้นพิสัยด้านล่าง เป็นการกำหนดที่ค่า $- 3 \sigma$ และเส้นกลางหรือค่าเฉลี่ย ถ้านำข้อมูลมาพล็อตในแผนภูมิควบคุมอยู่ในการควบคุมของกระบวนการ แผนภูมิควบคุมจะแสดงค่าอยู่รอบ ๆ เส้นกลางและมีความผันแปรอยู่ในพิสัยบน - พิสัยล่าง



ภาพที่ 2.6 แผนภูมิควบคุม ที่มา : <https://www.clearpointstrategy.com>

2.2.2.3 แผ่นตรวจสอบ เป็นเครื่องมือที่เป็นแบบฟอร์มที่ทำให้เกิดความสะดวกในการควบคุมการวิเคราะห์ และติดตามผลการดำเนินงาน พร้อมทั้งช่วยสำหรับวิเคราะห์หาสาเหตุของความไม่สอดคล้องที่เกิดขึ้นของกระบวนการ โดยประโยชน์ของแผ่นตรวจสอบ มีดังนี้

- (1) ใช้ตรวจสอบการผลิต
- (2) ใช้ตรวจสอบความถูกต้องของกระบวนการ
- (3) ใช้ค้นหาสาเหตุของปัญหาของกระบวนการ

Source of Incoming Model Home Traffic
Check Sheet

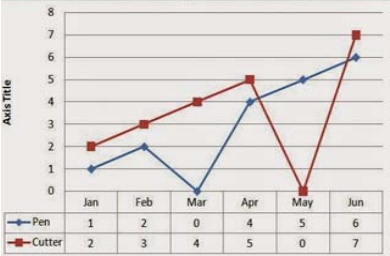
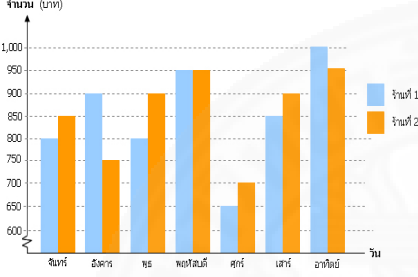
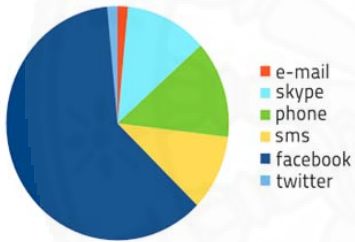
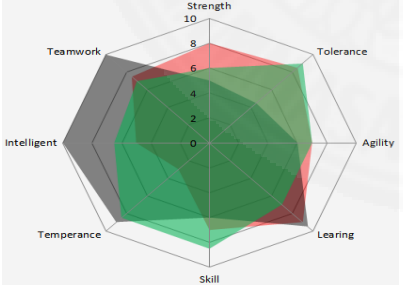
	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Total
Daily Newspaper Ads						24
Weekly Newspaper Ads						8
Website						20
Road Signage						3
Referral						2
Total	14	11	13	9	10	57

ภาพที่ 2.7 แผ่นตรวจสอบ ที่มา : <http://akachai99.blogspot.com>

2.2.2.4 กราฟ คือ แผนภาพที่แสดงถึงตัวเลขหรือข้อมูลทางสถิติที่ใช้ เมื่อต้องการนำเสนอข้อมูล และวิเคราะห์ผลของข้อมูล โดยทั่วไปแล้วกราฟมีหลายชนิด ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1

ประเภทของกราฟ

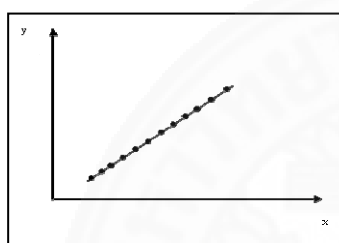
 กราฟเส้น	ใช้แสดงหรือสังเกตแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลตามช่วงเวลาต่าง ๆ แนวแกนตั้งจะใช้แสดงค่าของข้อมูล แนวแกนนอนจะใช้แสดงลำดับเวลาของข้อมูล
 กราฟแท่ง	ใช้เปรียบเทียบข้อมูลมากกว่าหรือเท่ากับ 2 ข้อมูล โดยเปรียบเทียบค่าของข้อมูลว่ามีขนาดใหญ่ น้อย หรือเท่ากัน กราฟแท่งมีความเหมาะสมกับแนวโน้มของข้อมูลในระยะสั้นหรือเป็นช่วงเวลา
 กราฟวงกลม	กราฟวงกลมจะมีพื้นที่ทั้งหมดคิดเป็น 100% ใช้เมื่อต้องการเปรียบเทียบสัดส่วนของข้อมูลนั้น ๆ กับข้อมูลโดยรวมทั้งหมด
 กราฟเรดาร์	กราฟเรดาร์เป็นกราฟที่แสดงความมากน้อยของแต่ละสัดส่วน กราฟเรดาร์เหมาะสำหรับการพล็อตเปรียบเทียบความมากน้อยในแต่ละด้านของก่อนและหลังการปรับปรุง ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของแต่ละสัดส่วนอย่างชัดเจน

ซึ่งประโยชน์ของกราฟ มีดังต่อไปนี้

- (1) อ่านง่าย ทำให้เกิดความเข้าใจในข้อมูล
- (2) ทำให้เข้าใจความหมายของข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว
- (3) ทำให้เปรียบเทียบข้อมูลหลาย ๆ ชุดได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

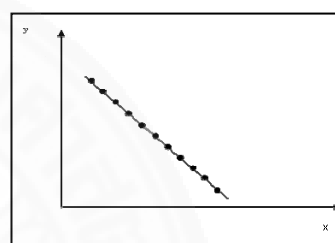
2.2.2.5 แผนผังสหสัมพันธ์ แผนผังสหสัมพันธ์ คือ เครื่องมือที่ใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวแปรว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ มีแนวโน้มไปในทิศทางใด เพื่อที่จะใช้หาความสัมพันธ์ที่แท้จริงโดยตัวแปร 2 ตัวแปร ประกอบด้วย ตัวแปร X คือ ตัวแปรอิสระหรือค่าที่ปรับเปลี่ยนไป และตัวแปร Y คือ ตัวแปรตามหรือผลที่เกิดขึ้นในแต่ละค่าที่เปลี่ยนไปของตัวแปร X โดยประโยชน์ของแผนผังสหสัมพันธ์ มีดังต่อไปนี้

- (1) ใช้เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร
- (2) ใช้ตรวจสอบหาผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร X มีผลต่อตัวแปรตาม Y หรือไม่



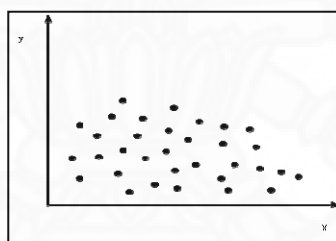
ความสัมพันธ์แบบแปรผันตามกัน

(สหสัมพันธ์เชิงบวก)



ความสัมพันธ์แบบผกผัน

(สหสัมพันธ์เชิงลบ)



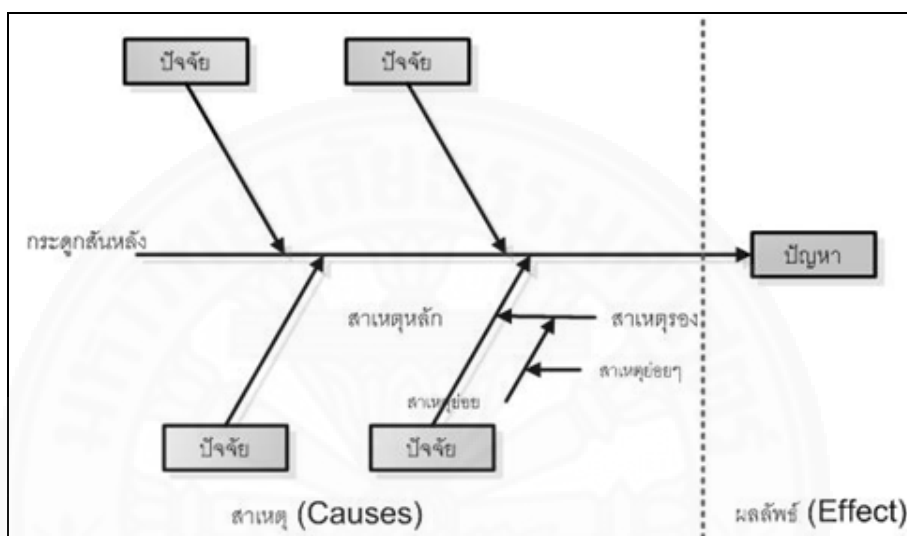
ผังกระจายไม่มีความสัมพันธ์

(สหสัมพันธ์เป็นศูนย์)

ภาพที่ 2.8 แผนผังสหสัมพันธ์ ที่มา : www.sut.ac.th/ist/coursesonline

2.2.2.6 ผังก้างปลา เป็นผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของปัญหากับปัจจัยต่างที่เกี่ยวข้อง โดยแผนผังก้างปลาประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของหัวปลาซึ่งใช้แทนสาเหตุของปัญหา ส่วนหางปลาใช้แทนปัจจัยที่มีผล ทำให้เกิดปัญหา ซึ่งปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหานั้นประกอบไปด้วย คน เครื่องจักร วิธีการ และวัสดุ ซึ่งผังก้างปลาสามารถแสดงให้เห็นถึงภาพรวมและความสัมพันธ์ของสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาได้ง่ายขึ้น ซึ่งประโยชน์ของแผนผังก้างปลา มีดังนี้

- (1) เป็นเครื่องมือที่สามารถนำไปประยุกต์เพื่อค้นหาสาเหตุต่าง ๆ ของปัญหา
ที่มาจากหลายปัจจัย
- (2) เพื่อให้ทราบสาเหตุของปัญหาว่าเกิดจากอะไร ส่วนใด ที่ใด
- (3) เพื่อให้เป็นแนวทางในการรวมความคิด ซึ่งจะช่วยให้สมาชิกทุกคนให้
ความสนใจในปัญหาของกลุ่ม



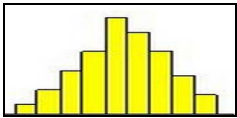
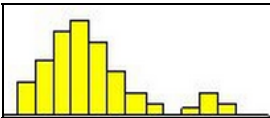
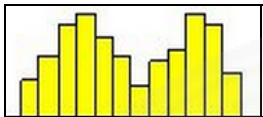
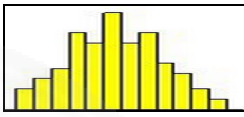
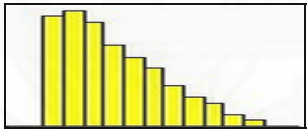
ภาพที่ 2.9 แผนผังก้างปลา ที่มา : <http://akachai99.blogspot.com>

2.2.2.7 ฮิสโตแกรม เป็นกราฟแท่งแบบเฉพาะที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล เป็นหมวดหมู่ที่เรียกว่า ชั้นข้อมูลกับความถี่ของข้อมูล เพื่อดูการกระจายของข้อมูล ลักษณะของข้อมูล ที่เป็นหมวดหมู่จะเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก โดยแกนตั้งจะเป็นตัวเลขแสดงความถี่และแกนนอน จะเป็นข้อมูลคุณสมบัติของสิ่งที่เราสนใจ ซึ่งความกว้างเท่าใช้แทนความกว้างของชั้นข้อมูล ส่วนความสูงของกราฟใช้แทนจำนวนความถี่ของแต่ละชั้นข้อมูล ซึ่งประโยชน์ของฮิสโตแกรม มีดังนี้

- (1) ใช้เพื่อต้องการตรวจสอบความผิดปกติของกระบวนการ โดยดูจากการกระจายตัวของข้อมูลว่าเป็นแบบ Normal Distribution หรือไม่ หรือมีการกระจายตัวไปทางบวกหรือลบ อีกทั้งยังช่วยวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาได้ง่ายขึ้น เนื่องมีการจัดเรียงข้อมูล
- (2) ใช้คำนวณค่าทางสถิติของข้อมูลชุดนั้นเช่น ค่าสูงสุด-ต่ำสุด
- (3) ใช้เพื่อ “วัดค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ” เพื่อเป็นประโยชน์ในการเทียบเคียง Benchmarking ในการวัดผลหลังการแก้ไข

ตารางที่ 2.2

ประเภทของกราฟฮิสโตแกรม

 แบบปกติ (Normal Distribution)	 แบบแยกเป็นเกาะ (Detached Island Type)
 แบบประหลาด (Double Hump Type)	 แบบฟันปลา (Serrated Type)
 แบบหน้าผา (Cliff Type)	

2.3 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเป็นการศึกษาผลของปัจจัย หรือตัวแปร ที่มีผลต่อความสนใจ โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อพิสูจน์หาข้อเท็จจริงหรือพิสูจน์ความเชื่อที่มาจากการสังเกตประสบการณ์ หรือจากทฤษฎีที่นำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการ ซึ่งอาจมีปัจจัยจำนวนมากที่เป็นสาเหตุของความผิดปกติ หรือความบกพร่องของกระบวนการ รวมถึงอิทธิพลของเงื่อนไขต่าง ๆ ที่มีผลต่อกระบวนการ ซึ่งในการปรับปรุงแก้ไขจะเป็นไปได้ยาก หากไม่ทราบว่าปัจจัยไหนส่งผลต่อปัญหาอย่างมีนัยสำคัญ การออกแบบการทดลองจึงเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้เพื่อบ่งชี้ปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหา และเกิดการพัฒนา และปรับปรุงกระบวนการต่อไป

2.3.1 ส่วนประกอบของการทดลอง

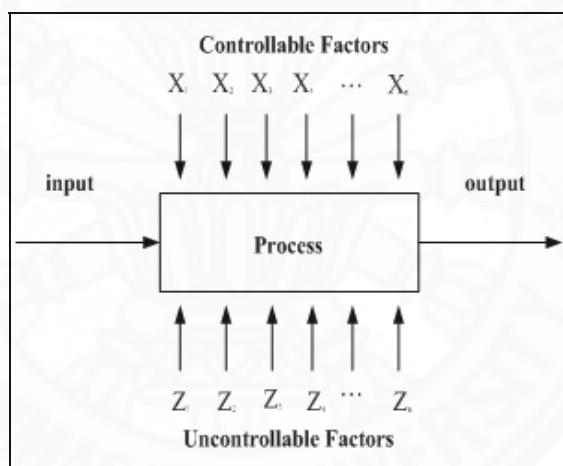
2.3.1.1 ปัจจัย ได้แก่ กลุ่มของทรีตเมนต์ทั้งหลายที่มีความเกี่ยวข้องกัน อาจใช้คำว่าตัวแปรอิสระก็ได้ ปัจจัยนั้นอาจเป็นได้ทั้งข้อมูล ปัจจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น

ก. ปัจจัยควบคุมได้ หมายถึงปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการดำเนินงานทดลอง เช่น เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการ อุณหภูมิระหว่างการทำทดลอง หรือแม้แต่วัสดุ และวัตถุดิบ

ข. ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ อาจเนื่องมาจากมีข้อกำหนดทางด้านเทคโนโลยีและต้นทุน ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้แบ่งออกเป็น

- Background Variable เป็นตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ในการทดลองแต่ไม่ใช่ปัจจัยที่ผู้ทดลองทำการศึกษา ส่วนใหญ่มักเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ เช่น ลม ความชื้น อุณหภูมิ เวลา อุปกรณ์หรือระบบ เป็นต้น

- Nuisance Variable คือ ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองแต่ไม่ทราบมาก่อน สามารถกำจัดอิทธิพลของ Nuisance Variable ได้โดยการสุ่ม



ภาพที่ 2.10 แบบจำลองทั่วไปของกระบวนการ

ที่มา : <http://akachai99.blogspot.com>

2.3.1.2 ผลตอบสนอง คือ ตัวแปรที่ถูกสังเกตหรือวัดค่าในการทดลองเรียกอีกอย่างว่า ตัวแปร ซึ่งเป็นตัวแปรที่สะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระ ในการทดลองหนึ่ง ๆ อาจวัดค่าตัวแปรตามมากกว่า 1 ก็ได้ การเลือกตัวแปรตามที่ดีควรพิจารณาจาก ความไว ความเชื่อถือได้ การแจกแจงของตัวแปรและความเป็นไปได้ทั้งปฏิบัติ ส่วนการเลือกตัวแปรตาม จะต้องพิจารณาว่า ค่าสังเกตที่ได้รับจากทรีตเมนต์หนึ่ง ๆ ควรมีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งสมมติฐานความปกติ เป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบการทดลอง อาจจะใช้การแปลงข้อมูล ค่าสังเกตที่มีการแจกแจงไม่ปกติเป็นแบบปกติ

2.3.1.3 ทริตเมนต์ คือ สิ่งหรือวิธีปฏิบัติต่อสิ่งทดลอง เพื่อวัดผลเปรียบเทียบกับ วัตถุประสงค์ของการทดลอง

2.3.1.4 หน่วยทดลอง เป็นมาตรฐานหรือหน่วยที่ใช้วัดอิทธิพลของทริตเมนต์ซึ่ง โดยคำจำกัดความ หมายถึง สิ่งหนึ่งหรือกลุ่มหนึ่งของการทดลอง ซึ่งได้รับจากทริตเมนต์เดียวกันในการ กระทำครั้งใดครั้งหนึ่ง หน่วยทดลองมีขนาดไม่จำกัดอาจผันแปรได้จากการทดลองหนึ่งไปสู่อีกการ ทดลองหนึ่งถึงแม้จะใช้สิ่งทดลองเหมือนกันก็ตาม ในการทดลองแต่ละครั้งจึงต้องให้คำจำกัดความของ หน่วยทดลองให้ชัดเจน

2.3.2 รูปแบบของการออกแบบการทดลอง

2.3.2.1 การทำซ้ำ หมายถึง การทำการทดลองซ้ำซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ โดยมีจุดประสงค์ คือ

(1) ทำให้สามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ซึ่งเป็น หน่วยวัดขั้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่าความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความ แตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่

(2) ทำให้ค่าความเที่ยงของการทดลองเพิ่มขึ้น ถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อ ประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง การทำซ้ำทำให้สามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้น ในการประมาณผลกระทบ

2.3.2.2 การสุ่ม หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับการ ทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม วิธีการเชิงสถิติกำหนดข้อมูล ข้อมูลจะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการ กระจายเป็นแบบอิสระ การสุ่มจะทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริงและสามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่ อาจจะปรากฏในการทดลองได้ เช่นในกรณีดังต่อไปนี้

2.3.2.3 บล็อกกิ้ง เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง ให้แก่การทดลอง บล็อกกิ้งอันหนึ่งอาจจะหมายถึง ส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะเป็นอันหนึ่งอัน เดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่าง ๆ ภายในแต่ละบล็อกจะ เกิดจากการบล็อกกิ้ง

2.3.3 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

การออกแบบแฟคทอเรียลนั้นสามารถแบ่งออกได้ 2 แบบ ได้แก่ การทดลอง แฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ โดยที่การทำทดลองต้องทำให้ครบทุกเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของทุกปัจจัย และจะต้องนำค่ามาวิเคราะห์ผลกระทบต่ตัวแปรตอบสนองในทุก ๆ กรณี และการทดลอง แฟคทอเรียลบางส่วน ซึ่งไม่ต้องทำการทดลองให้ครบทุกเงื่อนไขของการเปลี่ยนแปลงค่าของทุกปัจจัย

เนื่องจากมีจำนวน Run ที่มากเกินไป ซึ่งทำให้ความแม่นยำของผลที่ทดลองออกมามีค่าไม่เท่ากับการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ โดยแบ่งคร่าว ๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k เป็นการออกแบบการทดลองที่ใช้ในกรณีที่มีปัจจัย k ปัจจัย ซึ่งในแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ เช่น ถ้าทำการศึกษา 10 ปัจจัย แต่ละปัจจัยที่ 2 ระดับ จำนวนการทดลอง จะเท่ากับ 2^{10} ซึ่งเท่ากับ 1024 การทดลอง และใน 2 ระดับที่กล่าวถึงนี้จะแทนด้วยระดับสูงและต่ำของปัจจัยหนึ่งๆ ในหนึ่งการทำซ้ำที่บริบูรณ์สำหรับการออกแบบเช่นนี้ จะประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น $2k$ ข้อมูลการออกแบบการทดลองแบบนี้มีประโยชน์มากในการทดลองช่วงแรก ๆ เมื่อมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่เราต้องการจะตรวจสอบ โดยความสัมพันธ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง

2. การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3^k เป็นการออกแบบการทดลองที่ใช้ในกรณีที่มีปัจจัย k ปัจจัย ซึ่งในแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ ระดับเหล่านี้อาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ความดัน หรืออุณหภูมิ หรืออาจเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น คนงาน เครื่องจักร และใน 3 ระดับที่กล่าวถึงนี้จะแทนด้วยระดับสูง กลาง และต่ำของปัจจัย โดยในการศึกษาปัจจัย 3 ปัจจัย จะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเส้นตรง หรือโพลีโนเมียลกำลังสองขึ้นไป

3. การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^{k-p} เป็นการออกแบบที่ผู้ทดลองสามารถละเลยอันตรกิริยาขั้นสูงบางตัวได้ เนื่องจากมีจำนวนปัจจัยมาก จำนวนการทดลองอาจจะเพิ่มมากขึ้นกว่าทรัพยากรที่มีอยู่จะรองรับได้ การออกแบบเช่นนี้จะทำให้เกิดจำนวนของการทดลองน้อยที่สุด เพื่อที่จะสามารถศึกษาผลของปัจจัย k ชนิดได้อย่างครบถ้วน การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลจึงถูกนำมากรอง เพื่อหาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยยะสำคัญต่อผลตอบสนอง ในการกรองปัจจัยนี้จะนิยมใช้ในช่วงแรกเริ่มของการทดลอง เนื่องจากในขณะนั้นมีปัจจัยจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะเป็นปัจจัยที่มีผลน้อยหรือไม่มีผลต่อผลตอบสนองที่พิจารณาอยู่ หลังจากการทำทดลองเพื่อกรองปัจจัยเสร็จสิ้นแล้ว ปัจจัยที่มีผลจะถูกนำไปทำการทดลองอย่างละเอียดในการทดลองขั้นต่อไป

4. การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล 3^{k-p} เป็นการออกแบบที่แต่ละปัจจัยประกอบไปด้วย 3 ระดับ และระดับสามของแต่ละปัจจัยมีค่าเป็น ต่ำ ปานกลาง และสูง โดยสัญลักษณ์ที่ใช้แสดงทั้งสามระดับเป็นตัวเลข คือ -1, 0 และ 1 ตามลำดับ สังเกตได้ว่าการทดลองแบบนี้ระดับที่สามของปัจจัยเพิ่มเข้ามาในการทดลอง ซึ่งทำให้สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองที่สนใจ และปัจจัยที่สนใจในลักษณะที่เป็นสมการแบบควอดราติกได้ การออกแบบ 3^k จะเหมาะสม ก็ต่อเมื่อผู้ทำการทดลองกำลังสนใจกับผลตอบสนองที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง แต่การออกแบบนี้ไม่ได้เป็นการออกแบบที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์แบบพหุนามกำลังสอง โดยการออกแบบการทดลองที่เป็นทางเลือกที่ดีกว่า คือ การออกแบบพื้นผิวตอบสนอง

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ซึ่งทุก ๆ Treatment Combination ของปัจจัยทุกตัวที่ศึกษาจะถูกพิจารณาไปพร้อมกัน ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักการ คือ ศึกษาผลกระทบร่วมกันระหว่างปัจจัยหรือที่เรียกว่า “อันตรกิริยา” เช่น กรณีที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัย A, B ผลกระทบที่เกิดขึ้นสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ

- ผลกระทบหลัก หรือผลกระทบปัจจัยเดียว คือ ผลกระทบกรณีที่สนใจพิจารณาปัจจัยเดียว ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัย A ผลกระทบของปัจจัย B และผลกระทบของปัจจัย C

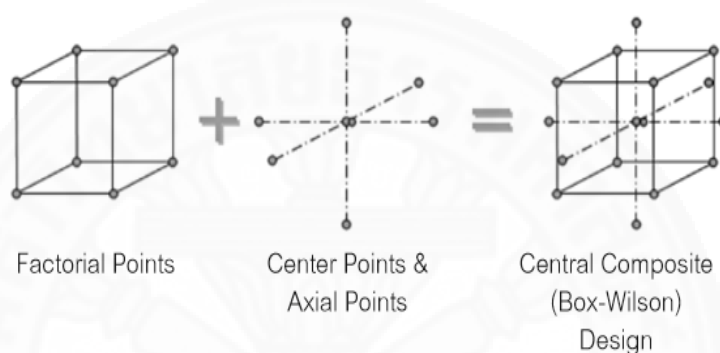
- ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย คือผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณาปัจจัยพร้อมกันเป็นคู่ ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัยร่วมได้แก่ AB, AC, BC

โดยข้อดีการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล คือ การศึกษาผลกระทบปัจจัยหลัก (Main Effect) และผลกระทบร่วมของปัจจัยหรืออันตรกิริยาระหว่างปัจจัยได้พร้อมกันได้ใน การทดลอง ในกรณีที่ไม่มีพบผลกระทบร่วม ผู้ทดลองสามารถใช้ผลยืนยันได้ว่าการทดลองมีแต่ปัจจัยหลักหรือผลกระทบหลักเท่านั้นที่มีผล เมื่อทดลองครั้งต่อไปจะสามารถลดจำนวนการทดลองโดยใช้วิธีการทดลองทีละปัจจัยได้ กรณีที่ผลกระทบร่วมก็จะทำให้ผู้ทดลองสามารถทราบถึงรูปแบบอิทธิพลของผลกระทบนั้น และในส่วนของข้อเสียก็คือ มี Treatment combination จึงต้องใช้หน่วยการทดลองมากขึ้น ซึ่งอาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนหน่วยการทดลอง และยังถ้าจำนวนปัจจัยมีมากขนาดของการทดลองจะใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นการเสียค่าใช้จ่ายสูงและการหาวัสดุที่มีความสม่ำเสมอมากก็ เป็นไปได้ยาก

2.3.4 การออกแบบการทดลองแบบ Central Composite

การออกแบบการทดลองแบบ Central Composite เหมาะสมสำหรับการใช้ ศึกษาหรือสร้างตัวแบบในลักษณะของโพลีโนเมียลดีกรี 2 ซึ่งพบว่า Central Composite นั้นมีความ ยืดหยุ่นในการใช้งาน และมีประสิทธิภาพมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแผนการทดลองอื่นที่ใช้ใน การศึกษาตัวแบบโพลีโนเมียลดีกรี 2 เนื่องจากมีค่าผลลัพธ์ให้เลือกได้ครอบคลุมทุกค่า เนื่องจาก สามารถเลือกใช้ได้ทั้งส่วนที่เป็นการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป และการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน การออกแบบ Central Composite สามารถแยกการทดลองเป็นส่วนๆ ได้ตามลำดับ คือ ทำการ ทดลองส่วนของการทดลองแฟคทอเรียลและส่วนของจุดศูนย์กลาง ก่อนจากนั้นทำการสร้างสมการตัว แบบเชิงตรง สำหรับกรณีศึกษาปัจจัยที่ 2 ระดับ และพยากรณ์ส่วนของจุดศูนย์กลาง ถ้าสมการในรูป เส้นตรงไม่เหมาะสมจึงทำการทดลองเพิ่มในส่วนของจุดแกน ซึ่งจะได้สมการโพลีโนเมียลดีกรี 2 โดย Central Composite เป็นการทดลองที่ปัจจัย 3 ระดับ (ส่วนใหญ่แทนด้วย -1, 0, +1) กล่าวคือ จะ ปรับตัวแปรที่ต้องการศึกษาไปตัวแปรละ 3 ค่า

ตัวอย่างของ Central Composite สำหรับการศึกษาค่าตัวแปร ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.12 และตารางที่ 2.3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า DOE ประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ 1. ส่วนของการทดลองแฟคทอเรียล ซึ่งในที่นี้เป็นการนำเสนอ 2^k แฟคทอเรียลมาเป็นส่วนหนึ่งของการทดลอง 2. จุดแกน เป็นการปรับค่าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่ง ในขณะที่กำหนดให้ค่าตัวแปรอื่นอยู่ที่ค่ากลางหรือค่า 0 และ 3. จุดศูนย์กลาง เป็นการปรับค่าของตัวแปรทุกตัวที่ค่ากลางหรือค่า 0 สำหรับในตัวอย่างตารางที่ 2.3 เลือกค่า Alpha = 1 หรือระยะจากจุดแกนไปยังจุดศูนย์กลางเป็น 1 ซึ่งค่าดังกล่าวมักจะเหมาะสมในทางปฏิบัติ



ภาพที่ 2.11 Central Composite Design สำหรับ 3 ปัจจัย

ที่มา : http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/FQ145_p72-74.pdf

ตารางที่ 2.3

การเก็บข้อมูลของ Central Composite

A	B	C	Point Types
-1	-1	-1	Factorial Point
1	-1	-1	Factorial Point
-1	1	-1	Factorial Point
1	1	-1	Factorial Point
-1	-1	1	Factorial Point
1	-1	1	Factorial Point
-1	1	1	Factorial Point
1	1	1	Factorial Point
-1	0	0	Axial Point
1	0	0	Axial Point
0	-1	0	Axial Point

A	B	C	Point Types
0	1	0	Axial Point
0	0	-1	Axial Point
0	0	1	Axial Point
0	0	0	Center Point
0	0	0	Center Point

2.3.5 วิธีการพื้นผิวตอบสนอง

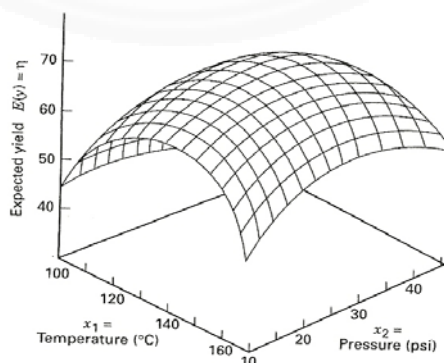
วิธีการพื้นผิวตอบสนอง เป็นวิธีการรวบรวมเอาเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหา โดยที่ผลตอบสนองที่สนใจขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย และผู้ทดลองมีวัตถุประสงค์ที่จะหาค่าที่ดีที่สุดที่เหมาะสมของผลตอบสนองนี้ เช่น ผลตอบสนอง y เป็นฟังก์ชันของ x_1 และ x_2 ดังนั้น จะสามารถเขียนรูปแบบสมการได้ดังนี้

$$y = f(X_1, X_2) + \epsilon$$

เมื่อ ϵ คือ ค่าความผิดพลาดของผลตอบ y ที่มีผลมาจากการทดลอง ถ้าเรากำหนดว่า $E(y) = f(X_1, X_2) = \mu$ ดังนั้น เราสามารถเขียนสมการพื้นผิวได้ คือ

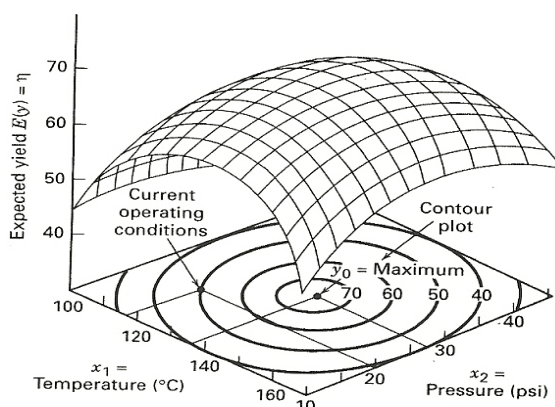
$$\mu = f(X_1, X_2)$$

โดยมากแล้วจะแสดงพื้นผิวตอบสนองในรูปของกราฟฟิก ดังแสดงในภาพที่ 2.13 ซึ่ง μ จะถูกพล็อตกับระดับของ x_1 และ x_2 เพื่อที่จะช่วยให้มองเห็นรูปร่างของพื้นผิวตอบสนองได้ดียิ่งขึ้น โดยมากแล้วจะพล็อตเส้นโครงร่าง ของพื้นผิวตอบดังในภาพ ในการสร้างโครงร่างนี้เส้นที่มีค่าของผลตอบคงที่จะถูกวาดอยู่บนระนาบ x_1 และ x_2 เส้นโครงร่างแต่ละเส้นจะมีความสูงของพื้นผิวตอบที่เท่ากันค่าหนึ่ง



ภาพที่ 2.12 พื้นผิวตอบสนองแบบสามมิติ

ที่มา : <https://www.intechopen.com/source/media/image20.png>



ภาพที่ 2.13 เส้นโครงร่างของพื้นผิวตอบสนอง

ที่มา : <https://www.intechopen.com/source/media/image21.png>

ในปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวตอบสนองส่วนมากมักจะทราบความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบและตัวแปรอิสระ ดังนั้น ขั้นแรก คือ ผู้ทดลองต้องหาตัวประมาณที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนสำหรับแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่าง y และกลุ่มของตัวแปรอิสระ ซึ่งตามปกติแล้วจะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่กำลังต่ำ ๆ ที่ภายใต้อาณาเขตบางส่วนของตัวแปรอิสระ ถ้าแบบจำลองผลตอบมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นกับตัวแปรอิสระ ฟังก์ชันที่ใช้ในการประมาณความสัมพันธ์นี้ คือแบบจำลองพหุนามกำลังหนึ่ง

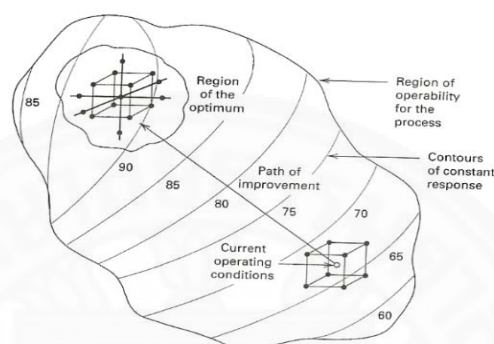
$$\hat{y} = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \varepsilon$$

แต่ถ้ามีส่วนโค้งเข้ามาเกี่ยวข้องในระบบ ให้ใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้น เช่น พหุนามกำลังสอง

$$\hat{y} = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1, j < i}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองเป็นวิธีการที่มีแบบเป็นลำดับขั้นตอน บ่อยครั้งที่ที่อยู่บนจุดบนพื้นผิวตอบสนองที่ห่างไกลไปจากจุดที่ดีที่สุด ตัวอย่างเช่น ณ เงื่อนไขการทำงานในปัจจุบัน ซึ่งพบว่าผลตอบสนองของระบบนี้ไม่ค่อยมีส่วนโค้ง และแบบจำลองกำลังหนึ่งก็พอเพียงสำหรับการสร้างแบบจำลองแล้ว ซึ่งวัตถุประสงค์ก็คือ การนำการทดลองไปใช้เป็นแนวทางที่มีการปรับปรุงมากที่สุด และมีประสิทธิภาพสูงที่สุด เพื่อที่จะเป็นการค้นพบกับจุดที่ดีที่สุดได้อย่างรวดเร็ว

ที่สุด และเมื่อค้นพบอาณาเขตของค่าที่ดีที่สุดแล้ว จะนำเอาแบบจำลองที่ซับซ้อนมากขึ้นเข้ามาในการวิเคราะห์ และการทดลองเช่นนี้จะทำให้ได้จุดที่ดีที่สุด ซึ่งก็เปรียบเหมือนการปีนภูเขา โดยที่ยอดของภูเขามักจะเป็นจุดที่มีผลตอบแทนสูงสุด และค่าต่ำสุดก็เปรียบเสมือนหุบเขา ซึ่งมีลักษณะคล้ายผลจากการวิเคราะห์ของพื้นผิวผลตอบแทน โดยวัตถุประสงค์สุดท้ายของการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบแทน ก็คือ การหาเงื่อนไขในการทำงานที่ดีที่สุดสำหรับระบบ



ภาพที่ 2.14 ลำดับขั้นตอนของการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองอย่างมีลำดับขั้นตอน

ที่มา : <https://www.intechopen.com/source/media/image24.png>

2.3.6 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

Montgomery (2001) และ Montgomery (2005) ได้สรุปแนวทางการศึกษาด้วยการออกแบบการทดลอง เพื่อให้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จากการออกแบบการทดลอง มีความน่าเชื่อถือและนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องตั้งเป้าหมายในการศึกษาปัญหาที่สนใจ ปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อปัญหา วิธีการเก็บข้อมูลตลอดจนแนวทางการวิเคราะห์อย่างชัดเจน ไว้ดังต่อไปนี้

1. กำหนดปัญหา ในขั้นตอนนี้ ผู้วิเคราะห์ต้องตระหนักว่าปัญหาคืออะไร ขอบเขตมีความชัดเจนมากเพียงพอหรือไม่ ข้อมูลที่ได้รับมามีความน่าเชื่อถือเพียงใดและสามารถนำมาใช้ได้จริง การกำหนดปัญหาจะช่วยเชื่อมโยงไปยังวัตถุประสงค์

2. กำหนดปัจจัยที่ต้องการควบคุมและระดับของปัจจัย เป็นขั้นตอนที่ผู้ทำการทดลองต้องเลือกปัจจัยที่สงสัยว่าจะส่งผลต่อการทดลองอย่างไร มีการควบคุมปัจจัยให้ไปในทิศทางใด พร้อมทั้งระดับของแต่ละปัจจัยที่ปรับเปลี่ยนได้ โดยจะต้องพิจารณาให้สอดคล้องกับสภาพการดำเนินการจริง ซึ่งจะต้องอาศัยข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ ประสบการณ์ทำงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ กำหนดระดับของปัจจัยสามารถกำหนดได้ 3 แบบดังนี้

- แบบกำหนด คือ ระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้อย่างแน่นอน

- แบบสุ่ม คือ ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้ โดยผลการทดลองที่ได้จะเป็นตัวแทนของทั้งปัจจัยไม่ใช่ระดับใดระดับหนึ่ง

- แบบผสม คือ การผสมผสานระหว่างปัจจัยที่กำหนดได้และแบบสุ่มรวมกัน

3. เลือกตัวแปรตอบสนอง เป็นขั้นตอนที่ผู้ทำการทดลองต้องกำหนดตัวแปรคุณภาพที่มั่นใจได้ว่าเป็นสิ่งที่ต้องการปรับปรุงในกระบวนการที่ทำการศึกษาอยู่ และทั้งนี้ต้องมั่นใจได้ว่าระบบการวัดมีความสามารถมากพอ รวมถึงเครื่องมือในการวัดค่าจะต้องมีความเที่ยงตรงและแม่นยำ

4. เลือกแบบการทดลอง เมื่อ 3 ขั้นตอนแรกทำอย่างถูกต้องขั้นตอนนี้จะไม่ยุ่งยากนัก ผู้ทำการทดลองต้องเลือกรูปแบบ ของการทดลอง ซึ่งรวมถึงขนาดตัวอย่าง การบล็อกที่เกี่ยวข้อง การกำหนดลำดับการทดลองอย่างสุ่ม และจำนวนครั้งในการทำการทดลองซ้ำ ทั้งนี้ต้องนำมาเชื่อมโยงด้านความสูญเสียหรือต้นทุนที่ใช้ในการทดลอง

5. ดำเนินการทดลอง ในระหว่างการทดลองผู้ทดลองจะต้องศึกษาดูแลการทดลองอย่างใกล้ชิด ผู้ทดลองต้องควบคุมการทดลองให้เป็นไปตามแผนที่วางไว้ ความคลาดเคลื่อนของทั้งจากการทดลองและการเก็บข้อมูลจะส่งผลให้การทดลองไม่น่าเชื่อถือและไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ได้ ดังนั้น ผู้ทำทดลองจึงจำเป็นต้องมีเที่ยงตรงในการวัดและความแม่นยำของเครื่องมือเพื่อไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนหรือคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

6. วิเคราะห์ข้อมูล ในการวิเคราะห์ข้อมูลจำเป็นที่จะต้องใช้ความรู้ทางสถิติเข้ามาวิเคราะห์ การวิเคราะห์ด้วยกราฟ การวิเคราะห์สมการเส้นถดถอย ทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น โดยในปัจจุบันมีการวิเคราะห์ผ่านซอฟต์แวร์ทางสถิติช่วยในการวิเคราะห์หลากหลายชนิด แต่อย่างไรก็ตามผู้วิเคราะห์ควรเข้าใจหลักการทางสถิติเพื่อการแปลความหมายที่ถูกต้อง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างถูกต้อง

7. สรุปผลและข้อเสนอแนะ เมื่อทราบผลการวิเคราะห์ การสรุปผลและแนะนำการดำเนินการเพื่อปรับปรุงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ผู้วิเคราะห์อาจใช้เครื่องมือเช่น กราฟ แผนภูมิต่าง ๆ เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ต่าง ๆ และผลที่คาดว่าจะได้รับจากการปรับปรุง ทั้งนี้ควรมีการทดลองเพื่อยืนยันข้อแนะนำการปรับปรุงอีกครั้งก่อนการประยุกต์ใช้จริง

2.4 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อารยชน สุนน้ำเที่ยง (2555) ศึกษาเกี่ยวกับการลดปัญหาการโยกคลอนของที่ปรับเปลี่ยนเบาะนั่งด้านหน้า โดยหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล พบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องมีทั้งสิ้น 3 ปัจจัย ซึ่งได้แก่ แรงในการตอก แบร็กเก็ตปีพรีออนคู่ชั้นตำแหน่งที่ 1 และแบร็กเก็ตปีพรีออนคู่ชั้นตำแหน่งที่ 2 พบว่า ปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด คือ 67 kgf สำหรับแรงที่ใช้ในการตอก 4.4 มิลลิเมตร สำหรับแบร็กเก็ตปีพรีออนคู่ชั้นตำแหน่งที่ 1 และ 3.4 มิลลิเมตร สำหรับแบร็กเก็ตปีพรีออนคู่ชั้นตำแหน่งที่ 2

ธนรินทร์ ทองบุญดำรง (2552) ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาคุณภาพของเพลทขัดงานสำหรับหัวอ่าน โดยใช้เทคนิคการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล เพื่อหาค่าของปัจจัยที่ดีที่สุดมาพัฒนาคุณภาพ พบว่า ระยะเวลาในการฝังไดมอนด์ที่ดีที่สุด คือ 75 นาที ความเร็วรอบของแผ่นเพลทขณะทำการบดอัด คือ 35 รอบต่อนาที ความเร็วรอบในการส่ายไปมาของแหวนเซรามิก คือ 15 รอบต่อนาที ความเร็วรอบของวงแหวนเซรามิกที่ช่วยในการบดอัด คือ 15 รอบต่อนาที และน้ำหนักที่ใช้ในการบดอัด คือ 18 กิโลกรัม

ดิลก คล้ายสถาพร (2554) ศึกษาเกี่ยวกับการลดของเสียของชิ้นงานในการประกอบผลิตภัณฑ์ เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่เหมาะสมที่มีผลต่อความต้านทานในผลิตภัณฑ์ โดยใช้เทคนิคการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล โดยปัจจัยที่เหมาะสม คือ ระยะเวลาสูงของ Swaging die ที่ 22.5 มม. อุณหภูมิในการทำ Reflow ที่ 281 องศาเซลเซียส และความเร็วในการทำ Reflow ที่ 0.57 รอบ/นาที จะทำให้ได้ค่าความต้านทานน้อยที่สุดที่ 4.1587 โอห์ม

นารินารณ คำต่อ (2557) ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำความสะอาดหัวอ่านของเครื่องขัดแปรงคู่ โดยใช้เทคนิคการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล มาหาสภาวะที่ดีที่สุด ได้แก่ ความเร็วแปรงเคลื่อนที่ในแนวนอนกับเวลาที่ความเร็ว 0.02 นิ้วต่อวินาที ความลึกในการกดแปรงกับพื้นผิวสัมผัสชิ้นงาน เริ่มจาก 0.002 นิ้ว และ 0.008 นิ้ว ปัจจัยอัตราการใช้ของเหลวในถังอยู่ที่ 5 แกลลอนต่อนาที ซึ่งส่งผลให้ค่าความสะอาดดีที่สุด และลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการทำความสะอาดซ้ำได้ 1.2 เปอร์เซ็นต์

ภาณุวัฒน์ บุญโชติ (2555) ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่เหมาะสมในการกัดขึ้นรูปแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม 304 เพื่อลดเวลาการกัดขึ้นรูปแผ่นงานด้วยสารละลายเพอร์ริคคลอไรด์ โดยใช้เทคนิคการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ค่าความถ่วงจำเพาะ 1.468 เป็นปัจจัยที่เหมาะสม เพราะสามารถลดเวลาการกัดขึ้นรูปจาก 11 นาที เหลือเพียง 9 นาที อีกทั้งยังพบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการลดเวลาการกัดขึ้นรูป โดยเพิ่มค่าความถ่วงจำเพาะจาก 1.468 เป็น 1.483

ว่าที่ร้อยตรีวีรเทพ เณลิมสมิทธิ์ชัย (2550) ศึกษาเกี่ยวกับการหาปริมาณธาตุที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กดิบโดยวิธีการออกแบบการทดลองและหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจากวิธีการพื้นผิวผลตอบสนอง โดยพบว่าค่าที่ทำให้เหล็กดิบเกิดความแข็งแรงมากที่สุด คือ คาร์บอนที่ 0.2%/kg แมงกานีสที่ 0.60%/kg กำมะถันที่ 0.05%/kg และซิลิกอนที่ 0.50%/kg

พรรณรวิทย์ ไยสุข (2554) ศึกษาเกี่ยวกับเงื่อนไขการตัดสำหรับกระบวนการกัดเหล็กกล้าคาร์บอน S50C ด้วยมีดกัดหัวบอล เพื่อให้เกิดความขรุขระที่ผิวน้อยที่สุดโดยใช้การประยุกต์วิธีการพื้นผิวตอบสนองและการออกแบบการทดลองด้วยบล็อก-เบห์นเคน โดยพบว่าเงื่อนไขที่ดีที่สุด คือ อัตราการป้อน 0.02 มิลลิเมตร ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร และความเร็วยรอบ 8000 รอบต่อนาที



บทที่ 3

วิธีการวิจัย

ในบทนี้ประกอบไปด้วย 4 ส่วน ดังต่อไปนี้

- 3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสภาพทั่วไป
- 3.2 ศึกษากระบวนการผลิตแก้มยางที่แผนกต้นยาง
- 3.3 ศึกษาขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ
- 3.4 ศึกษาการออกแบบการทดลองโดยวิธี Central Composite

3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสภาพทั่วไป

3.1.1 ข้อมูลทั่วไป

เป็นบริษัทผลิตรายรถยนต์ รถบรรทุก ซึ่งส่วนใหญ่จะส่งยางให้ลูกค้าจากค่ายบริษัทรถยนต์ชั้นนำและอีกส่วนหนึ่งจะส่งวางขายตามท้องตลาดทั่วไป โดยมียางที่ขอบกระทะเล็กที่สุดอยู่ที่ 13 นิ้ว และมียางที่มีขอบกระทะล้อสูงที่สุดที่ 20 นิ้ว โดยในอนาคตมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นอีกตามความต้องการของตลาดรถยนต์และตัวลูกค้า โดยในปัจจุบันมีอัตราการผลิตสูงสุด 45,000 เส้นต่อวัน โดยมีแผนกที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต ซึ่งได้แก่

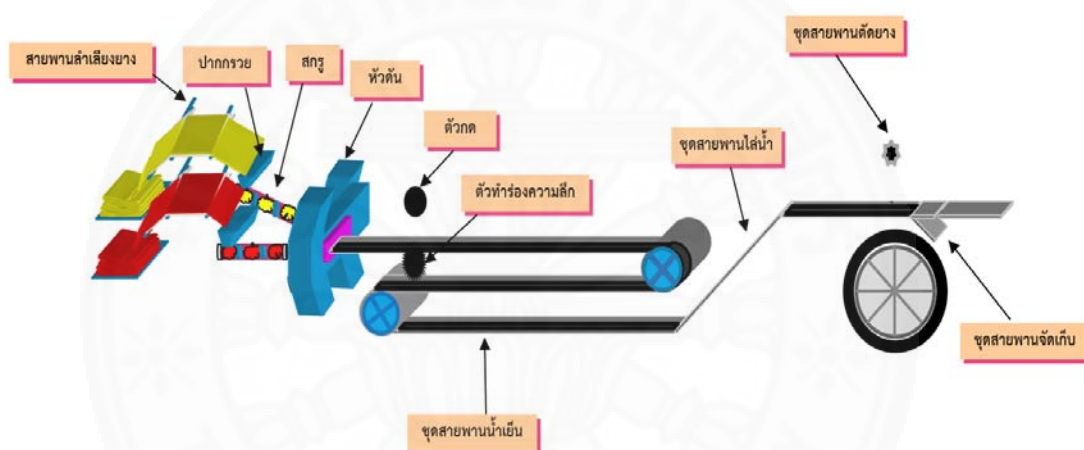
1. แผนกผสมยาง มีหน้าที่ในการผสมยางคอมปาวด์
2. แผนกต้นยาง มีหน้าที่ในผลิตหน้ายาง แก้มยาง ขอบกระทะล้อ
3. แผนกฉาบผ้าใบ มีหน้าที่ในการฉาบผ้าใบ ผลิตเข็มขัดรัดหน้ายาง
4. แผนกขึ้นรูปยาง มีหน้าที่ขึ้นรูปยางเป็นกรีนไทร์ พร้อมสำหรับการอบ
5. แผนกอบยาง มีหน้าที่ในการอบยางกรีนไทร์กับโมลด์ เพื่อให้ยางสุก
6. แผนกตรวจยาง ตรวจยางให้ได้ตามมาตรฐาน

ซึ่งในแต่ละแผนกของกระบวนการผลิตจะมีฝ่ายเทคนิคของแต่ละแผนกที่คอยให้การสนับสนุนในด้านการออกแบบตัวผลิตภัณฑ์ แก้ปัญหาในการกระบวนการผลิต และพัฒนาประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ อีกด้วย เช่น ฝ่ายเทคนิคของแผนกขึ้นรูปยาง มีหน้าที่ในการออกแบบส่วนประกอบยางทุกชิ้น และกระจายงานไปยังฝ่ายเทคนิคของแผนกอื่น ๆ เพื่อทำการทดลองต่อไป

3.1.2 สภาพการดำเนินงาน

การศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเองฉบับนี้จะพิจารณาในส่วนของแผนกต้นยางเท่านั้น ซึ่งทางแผนกต้นยางก็จะมีหน้าที่อยู่หลายส่วนที่ต้องรับผิดชอบ เช่น การผลิตหน้ายาง การผลิตแก้มยาง การผลิตยางติดขอบกระทะล้อ โดยมุ่งเน้นไปที่ตัวผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก้มยาง ซึ่งพบปัญหาทางเกิดฟองอากาศตกค้างภายในแก้มยาง หลังจากผ่านการขึ้นรูปที่แผนกขึ้นรูปที่มีสาเหตุมาจากร่องความลึกไม่สมบูรณ์ได้ทั้งแก้มยางหรือการไม่มีร่องความลึกได้ทั้งแก้มยาง

3.2 ศึกษากระบวนการผลิตแก้มยางที่แผนกต้นยาง



ภาพที่ 3.1 เครื่องต้นยาง

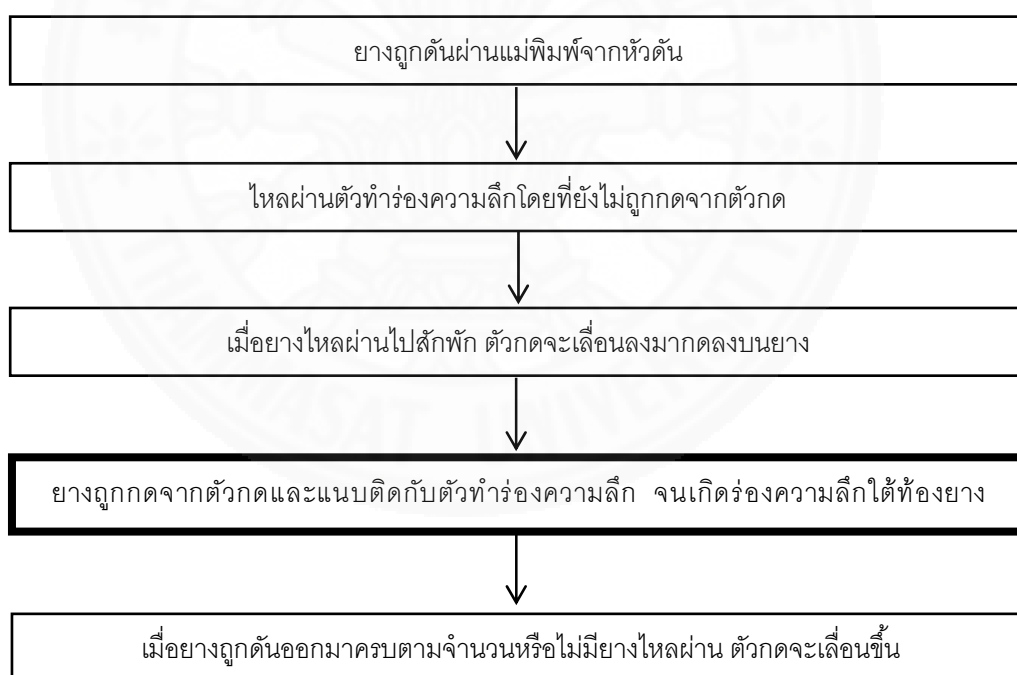
3.2.1 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่องต้นยาง

เครื่องต้นยางมีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

1. สายพานลำเลียงยาง มีหน้าที่ในการลำเลียงยางเข้าปากกรวย
2. ปากกรวย มีหน้าที่ในการลำเลียงยางให้ไหลผ่านเข้าสกรูได้อย่างสะดวก หรือคอยปรับรัตยางไว้ให้เข้าสกรูได้ง่าย
3. สกรู มีหน้าที่ในการบดยางให้เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ยางเกิดความร้อนสามารถผ่านชุดหัวคั้นได้

4. หัวตัน มีหน้าที่ในการรับยางที่บิดจากสกรูผ่านแม่พิมพ์ ซึ่งมีแม่พิมพ์ มีหน้าที่ในการควบรูปร่าง
5. ตัวกด มีหน้าที่ในการกดยาง เพื่อให้ห้องยางสัมผัสกับตัวทำร่องความลึก
6. ตัวทำร่องความลึก มีหน้าที่ทำร่องใต้ห้องยาง โดยมีลักษณะคล้ายเฟือง
7. ชุดสายพานน้ำเย็น มีหน้าที่ในการลดอุณหภูมิของยาง ซึ่งยางที่ผ่านการบิดโดยสกรูและถูกดันออกนั้นจะมีความร้อนสูงมาก
8. ชุดสายพานไอน้ำ มีหน้าที่ในการเป่าน้ำที่ติดมาจากชุดสายพานน้ำเย็น ให้แห้ง เพื่อให้พร้อมต่อการจัดเก็บ
9. ชุดสายพานตัดยาง มีหน้าที่ในการตัดยางเข้าไปจัดในม้วน
10. ชุดสายพานจัดเก็บ มีหน้าที่ในการลำเลียงยางที่ถูกตัดจัดเก็บเข้าม้วน

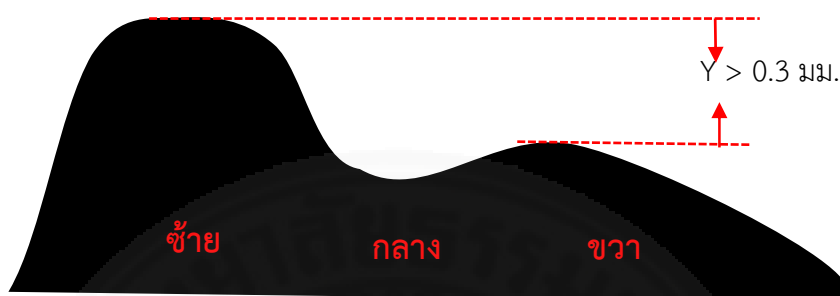
3.2.2 ขั้นตอนการทำงานของตัวกดและตัวทำร่องความลึก



3.2.3 ลักษณะหรือรูปร่างของผลิตภัณฑ์

โดยจำแนกตามลักษณะหรือรูปร่างของแก้มยางตามความหนาของแก้มยางนั้น ๆ โดยสามารถจำแนกตามลักษณะการใช้ดังนี้

1. แก้มยางรถยนต์ชนิดที่มีขอบกระดะล้อตั้งแต่ 20 นิ้วเป็นต้นไป ซึ่งมีรูปร่างที่มีค่าความสูงทางซ้าย กับค่าความสูงทางขวา หรือระยะ Y ห่างกันเกิน 0.3 มม. ซึ่งแก้มยางลักษณะนี้จะ เป็นแก้มยางที่แข็งแรง นิยมใช้ในกิจกรรมที่ต้องยางที่ทนต่อการกระแทก ทนต่อการกระชาก นิยมใช้ในรถในรถแข่งที่วิ่งในย่านความเร็วสูงหรือรถกระบะออฟโรด



ภาพที่ 3.2 แก้มยางรถยนต์ชนิดที่มีขอบกระดะล้อตั้งแต่ 20 นิ้วเป็นต้นไป

2. แก้มยางรถยนต์ชนิดที่มีขอบกระดะล้อต่ำกว่า 20 นิ้วเป็นต้นไป ซึ่งมีรูปร่างที่มีค่าความสูงทางซ้าย กับค่าความสูงทางขวา หรือระยะ Y ห่างกันไม่เกิน 0.3 มม. ซึ่งแก้มยางลักษณะนี้จะนิยมใช้ในกลุ่มรถนั่งส่วนบุคคลทั่วไป ซึ่งในลักษณะนี้มันหรือนุ่ม เพราะมีความยืดหยุ่นในเนื้อยาง



ภาพที่ 3.3 แก้มยางรถยนต์ชนิดที่มีขอบกระดะล้อต่ำกว่า 20 นิ้วเป็นต้นไป

3.3 ศึกษาขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ

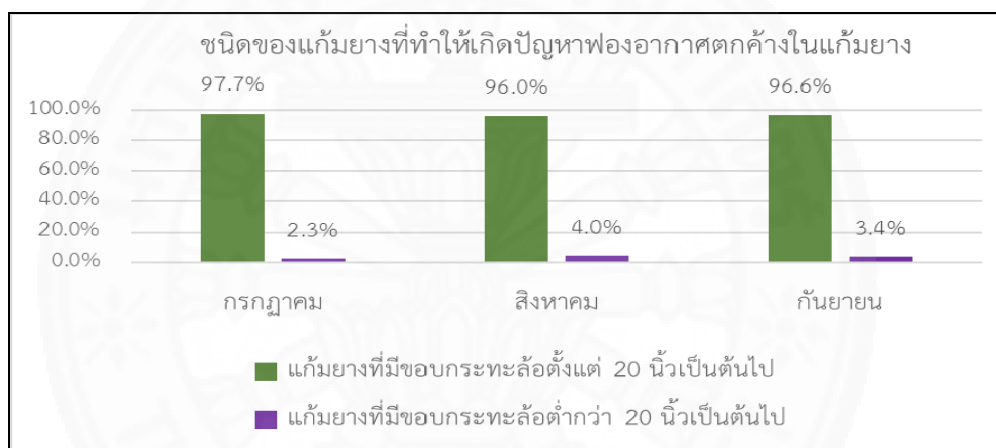
3.3.1 ศึกษาขั้นตอนการค้นหาและการคัดเลือกโครงการ

ในขั้นตอนการค้นหาและคัดเลือกโครงการ ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นจากแผนกต้นยางตั้งแต่เดือนกรกฎาคม ถึง เดือนกันยายน พ.ศ. 2560 โดยข้อมูลทั้งหมดมาจากแผนกเทคนิค ฝ่ายการผลิตของเสียมาทำการอ้างอิง โดยผู้วิจัยมีส่วนร่วมในการแก้ไขในงานครั้งนี้ด้วย ในการคัดเลือกหัวข้อโครงการมีการคัดเลือกโดยใช้เกณฑ์ในการคัดเลือkdังต่อไปนี้

1. เปอร์เซ็นต์ของเสียจากวัสดุ นำมาเรียงเป็นกราฟแท่ง โดยเรียงจากมากที่สุดลงไปหาน้อยที่สุดตามลำดับ

2. อยู่ในขอบเขตความรับผิดชอบของผู้วิจัย
3. สามารถทำได้โดยไม่ต้องใช้เวลาและเงินลงทุนมากนัก
4. สอดคล้องกับนโยบายหลักของบริษัทในการลดของเสีย
5. มีผลกระทบจากของเสียที่ส่งผลต่อยอดการผลิต

จากการวิเคราะห์ปัญหาฟองอากาศตกค้างในแก้มยาง 3 เดือนล่าสุดมาวิเคราะห์พบว่า เกิดที่แก้มยางรถยนต์ชนิดที่มีขอบกระดาดตั้งแต่ 20 นิ้วเป็นต้นไป ซึ่งพบจำนวนของเสียเกิดขึ้น เฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 96.76 หรือเฉลี่ย 171 เส้น ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ชนิดของแก้มยางที่เกิดปัญหาฟองอากาศตกค้างในแก้มยางตั้งแต่เดือนกรกฎาคม - กันยายน พ.ศ. 2560

3.3.2 ศึกษาขั้นตอนการกำหนดตัววัดและทำความเข้าใจในกระบวนการ

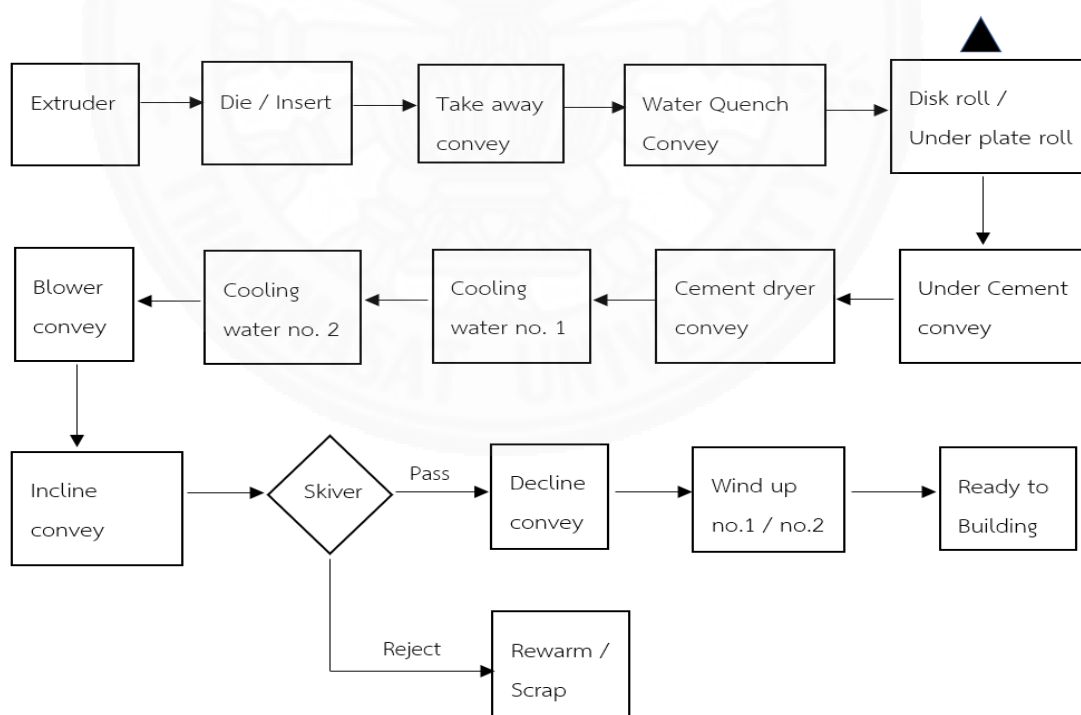
เป็นการกำหนดตัววัดและทำความเข้าใจกระบวนการ ซึ่งจะเริ่มต้นจากการวัดความสามารถของกระบวนการเพื่อทำให้ทราบถึงข้อบกพร่องหรือโอกาสในการเกิดของเสียในกระบวนการ โดยจะต้องหาปัจจัยที่มีผลวิกฤติต่อคุณภาพและความน่าเชื่อถือในการวัด เพื่อความเข้าใจในกระบวนการจำเป็นจะต้องมีการเขียนแผนผังกระบวนการให้ละเอียดซึ่งจะเป็นพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์สถิติ โดยแนวทางการกำหนดตัววัดและทำความเข้าใจกระบวนการดังนี้

- การเขียนแผนผังการไหลของกระบวนการผลิตแก้มยาง
- การวัดความสามารถของกระบวนการทำร่องความลึกก่อนการปรับปรุง โดยการเก็บข้อมูลและการใช้ระดับร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ แบบดิจิตอล

- การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัด และการใช้เอกสารการสอบความเที่ยงตรงเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ แบบดิจิทัล ไว้สำหรับใช้ตรวจสอบความลึกของร่องที่ถูกกด เพื่อประเมินความเที่ยงตรง ความน่าเชื่อถือ และให้มั่นใจว่าระบบการวัดนี้สามารถที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการครั้งนี้ได้อย่างแม่นยำ

แนวทางการทำงานในขั้นตอนการกำหนดตัววัดและทำความเข้าใจกับกระบวนการ ซึ่งจะเริ่มต้นจากการวัดความสามารถของกระบวนการเพื่อทำให้ทราบถึงข้อบกพร่องหรือโอกาสในการเกิดของเสียในกระบวนการ เพื่อความเข้าใจในกระบวนการจำเป็นจะต้องมีการเขียนแผนผังกระบวนการให้ละเอียดซึ่งจะเป็นพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์สถิติ โดยแนวทางการกำหนดตัววัดและทำความเข้าใจกระบวนการดังนี้

3.3.2.1 ศึกษาแผนผังกระบวนการผลิตแก้มยาง แผนผังของกระบวนการผลิตแก้มยางตั้งแต่แก้มยางที่ดันผ่านจากหัวดันผ่านสายพานลำเลียงแต่ละชุด ซึ่งแต่ละชุดก็มีประโยชน์แตกต่างกันออกไปจนได้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกจัดเก็บเข้าม้วน พร้อมสำหรับการขึ้นรูปในแผนกถัดไป ดังแสดงในภาพที่ 3.5 เพื่อให้เข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการผลิตและตำแหน่งที่อาจจะส่งผลต่อร่องความลึกใต้ท้องแก้มยาง ซึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญในการดำเนินการวิจัย



▲ ตำแหน่งที่อาจส่งผลกระทบต่อความลึกของร่องใต้ท้องแก้มยาง

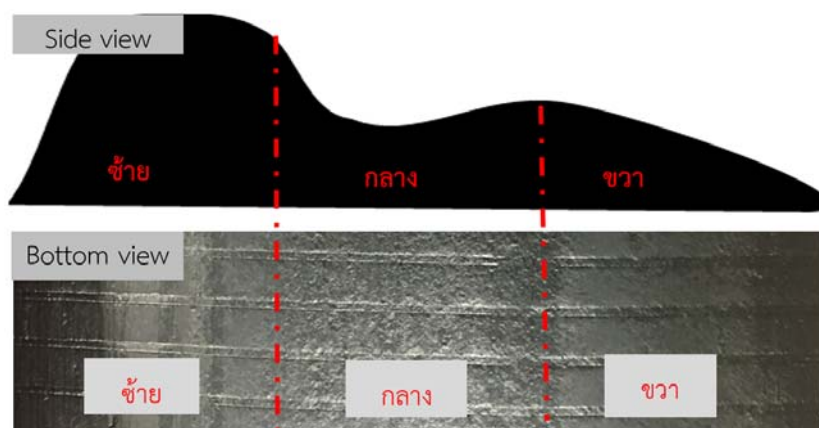
ภาพที่ 3.5 ระบุตำแหน่งที่อาจส่งผลกระทบต่อร่องความลึกใต้ท้องแก้มยาง

โดยในแต่ละสายพานแต่ละชุด จะมีหน้าที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน เช่น ชุด สายพานน้ำเย็น จะมีหน้าที่ในการลดระดับอุณหภูมิของยางมีความร้อนสูง ชุดสายพานที่ใช้พัดลม ในการเป่าซีเมนต์ ซึ่งมีหน้าที่ในการเป่าซีเมนต์ให้แห้งติดไปกับยาง หรือชุดสายพานจัดเก็บ จะมีหน้าที่ในการจัดเก็บยางเข้าม้วน เพื่อเตรียมพร้อมวัสดุไปใช้ในกระบวนการถัดไป ซึ่งตำแหน่งของชุดสายพานที่อาจส่งผลโดยตรงต่อร่องความลึกได้ทั้งแก้มยางขึ้นอยู่กับตำแหน่งของตัวกด ซึ่งมีหน้าที่ในการกดแก้มยางจากด้านบน เพื่อให้แก้มยางแนบชิดกับตัวทำร่องความลึกที่อยู่ด้านล่าง ซึ่งตัวทำร่องความลึกด้านล่างมีลักษณะการหมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา เพื่อให้ร่องได้แก้มยางเกิดร่องความลึก ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 ลักษณะของตัวกดและตัวทำร่องความลึก

3.3.2.2 การเก็บข้อมูลและการใช้ระดับร่องความลึกได้ทั้งแก้มยาง เนื่องจากปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาที่ลักษณะของแก้มยางที่จุดสูงของทางด้านซ้าย และจุดที่ต่ำของทางด้านขวามีความสูงที่ไม่เท่ากัน ซึ่งทำให้มีค่าร่องความลึกที่แตกต่างกันไปตามจุดที่ถูกกด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวัด 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งทางซ้าย กลาง และขวา โดยค่าความลึกของร่องความลึกที่ตำแหน่งซ้ายเท่ากับ 0.35 มม. ตำแหน่งกลางเท่ากับ 0.15 มม. และตำแหน่งขวาเท่ากับ 0.25 มม. ดังแสดงในภาพที่ 3.7



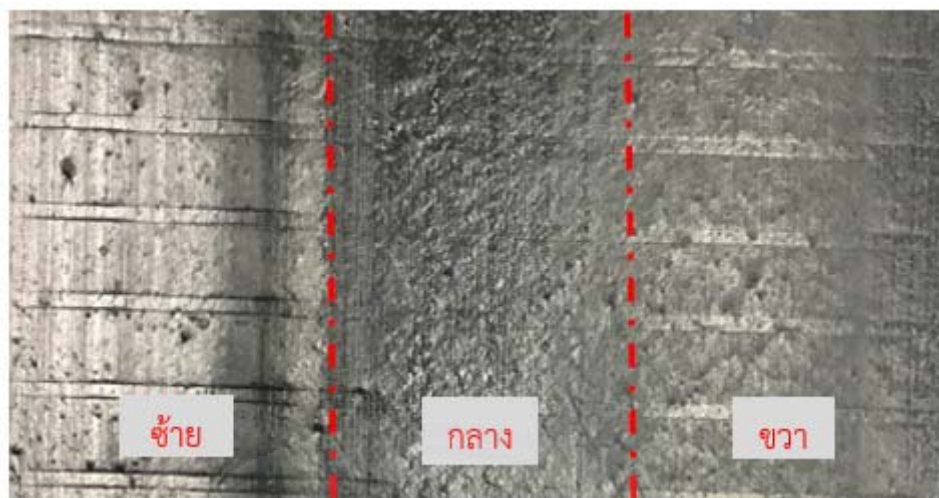
ภาพที่ 3.7 ลักษณะของตำแหน่งที่ใช้ในการวัดร่องความลึก

โดยในการตรวจเช็คค่าร่องความลึกได้ห้องแก้มยางนั้นจะใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ แบบดิจิตอล มาทำการวัดค่าความลึกของร่องได้แก้มยาง ซึ่งจะทำให้การวัดร่องความลึกที่ปลายม้วน เพื่อไม่ให้กระทบต่อตัวผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่อยู่ในม้วน จากการตรวจเช็คค่าความลึกของร่องได้ห้องแก้มยางก่อนการแก้ไข โดยสุ่มเช็คมาทั้งสิ้น 10 ม้วน แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1

ค่าร่องความลึกได้ห้องแก้มยางรถยนต์ชนิดที่มีขอบกระดาดตั้งแต่ 20 นิ้วเป็นต้นไปก่อนการแก้ไข

	ตำแหน่งซ้าย (มม.)	ตำแหน่งกลาง (มม.)	ตำแหน่งขวา (มม.)
ม้วนที่ 1	0.16	0.00	0.07
ม้วนที่ 2	0.16	0.00	0.07
ม้วนที่ 3	0.18	0.06	0.10
ม้วนที่ 4	0.18	0.06	0.11
ม้วนที่ 5	0.18	0.05	0.11
ม้วนที่ 6	0.17	0.06	0.10
ม้วนที่ 7	0.19	0.07	0.10
ม้วนที่ 8	0.19	0.06	0.11
ม้วนที่ 9	0.18	0.06	0.10
ม้วนที่ 10	0.18	0.07	0.11



ภาพที่ 3.8 ตัวอย่างแก้มยางที่ร่องความลึกที่ไม่ได้ตามเป้าหมาย

3.3.2.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความเที่ยงก่อนการปรับปรุง การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความเที่ยง เป็นการวิเคราะห์ความผันแปรในรูปแบบของความสามารถในการทำซ้ำและความสามารถในการให้ผลซ้ำ หรือเรียกได้อีกแบบว่า Gage R&R โดยให้พนักงาน 3 คนตรวจเช็คร่องความลึกก่อนการปรับปรุงซ้ำในบริเวณตำแหน่งซ้าย โดยใช้แก้มยางในการวัดทั้งสิ้น 10 ชิ้น ทำซ้ำขึ้นละ 2 ครั้ง ซึ่งการเก็บข้อมูลแสดงในตารางที่ 3.2 และจึงนำข้อมูลที่ได้ไปประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Minitab®

ตารางที่ 3.2

ข้อมูลค่าร่องความลึกก่อนการปรับปรุงจากพนักงานวัดแต่ละคน

ชิ้นงานที่	วัดครั้งที่	พนักงานวัด A	พนักงานวัด B	พนักงานวัด C
1	1	0.16	0.16	0.17
	2	0.16	0.16	0.16
2	1	0.17	0.17	0.17
	2	0.17	0.17	0.17
3	1	0.18	0.18	0.18
	2	0.18	0.18	0.18
4	1	0.18	0.18	0.18
	2	0.18	0.18	0.18
5	1	0.19	0.19	0.19
	2	0.19	0.19	0.19

ชิ้นงานที่	วัดครั้งที่	พนักงานวัด A	พนักงานวัด B	พนักงานวัด C
6	1	0.16	0.16	0.16
	2	0.16	0.16	0.16
7	1	0.16	0.16	0.16
	2	0.16	0.16	0.16
8	1	0.19	0.19	0.19
	2	0.19	0.19	0.19
9	1	0.19	0.19	0.19
	2	0.19	0.19	0.19
10	1	0.16	0.16	0.16
	2	0.16	0.16	0.16

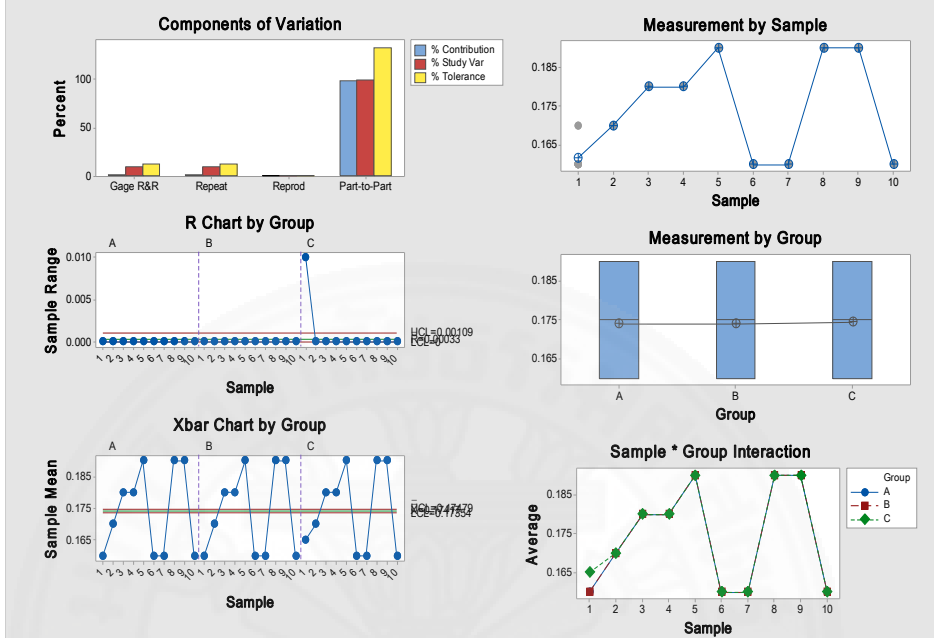
นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab® เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบวัด ทำให้ได้กราฟผลวิเคราะห์ดังภาพที่ 3.9 โดยตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลการวัดดังนี้

- พิจารณาจากแผนภูมิ R พบว่า ค่าการวัดร่องความลึกของพนักงาน A B และ C ให้ค่าการวัดที่สม่ำเสมอไม่มีความแตกต่างกัน
- พิจารณาจากแผนภูมิ Xbar พบว่า ความผันแปรที่มีสาเหตุมาจากระบบการวัดมีค่าน้อยมาก
- พิจารณาจากแผนภูมิอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงาน ซึ่งจากกราฟพบว่า ไม่มีเส้นกราฟตัดกัน แสดงว่าระบบการวัดไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงาน

Gage R&R (ANOVA) Report for Measurement

Gage name:
Date of study:

Reported by:
Tolerance:
Misc:



ภาพที่ 3.9 กราฟวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความเที่ยงก่อนการปรับปรุง

จากนั้นวิเคราะห์ในส่วนของวิธี ANOVA ได้ผลดังภาพที่ 3.10 ซึ่งอธิบายได้ดังต่อไปนี้

- พิจารณาเปอร์เซ็นต์ของความแปรปรวนแต่ละส่วน พบว่า ความแปรปรวนที่มีสาเหตุมาจากระบบการวัดที่อยู่ในส่วนของการเครื่องมือวัดมีค่าอยู่ที่ 0.93 หน่วย 2 และมีความแปรปรวนที่มีสาเหตุมาจากชิ้นงานนั้น มีค่าถึง 99.07 หน่วย2 ซึ่งระบบการวัดที่ดีต้องการให้มีความแปรปรวนอยู่ในส่วนนี้ให้มากที่สุด เพราะต้องการให้ความแปรปรวนเกิดกับชิ้นงานมากกว่าระบบการวัด

- พิจารณาเปอร์เซ็นต์ของการวัด พบว่า เปอร์เซ็นความสามารถในการทำซ้ำ 12.91 หน่วย2 และเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการให้ผลซ้ำ 0 หน่วย2 ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่าเปอร์เซ็นต์เผื่อที่ยอมรับได้ ควรมีค่า 0-10% แต่เมื่อพิจารณาไปที่แผนภูมิ R พบว่า พนักงาน C สามารถวัดซ้ำได้เท่ากันถึง 9 ครั้งจาก 10 ครั้ง อีกทั้งผลที่ได้จากการวัดความลึกยังมีค่าห่างแค่เล็กน้อยเท่านั้น ทำให้สามารถยอมรับระบบการวัดนี้ได้อย่างมีเงื่อนไข

Gage R&R

Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000017	0.93
Repeatability	0.0000017	0.93
Reproducibility	0.0000000	0.00
Group	0.0000000	0.00
Part-To-Part	0.0001770	99.07
Total Variation	0.0001787	100.00

Process tolerance = 0.06

Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0012910	0.0077460	9.66	12.91
Repeatability	0.0012910	0.0077460	9.66	12.91
Reproducibility	0.0000000	0.0000000	0.00	0.00
Group	0.0000000	0.0000000	0.00	0.00
Part-To-Part	0.0133055	0.0798332	99.53	133.06
Total Variation	0.0133680	0.0802081	100.00	133.68

Number of Distinct Categories = 1.4

ภาพที่ 3.10 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความเที่ยงก่อนการปรับปรุง

ในส่วนต่อไปจะเป็นตรวจเช็คเอกสารการสอบเทียบของเครื่องมือเวอร์เนียคาลิปเปอร์ แบบดิจิตอล ดังภาพที่ 3.11 โดยทางแผนกวิศวกรรม ซึ่งเป็นหน่วยที่มีหน้าที่ในตรวจเช็คความพร้อมของเครื่องมือวัดต่าง ๆ ภายในโรงงาน โดยทำการตรวจเช็คทุก ๆ 6 เดือน เพื่อยืนยันว่าเครื่องมือวัดมีความเที่ยงตรงสามารถนำมาใช้งานในกระบวนการได้





ภาพที่ 3.11 เครื่องมือเวอร์เนียคาลิเปอร์ แบบดิจิทัล

3.3.3 ศึกษาขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา

โดยผู้วิจัยทราบถึงปัญหาฟองอากาศตกค้างในแก้มยาง ซึ่งเกิดจากการที่ไม่มีร่องความลึกใต้ท้องแก้มยาง หรืออาจจะมีการที่ตื้นและไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการระดมสมองจากผู้ที่เกี่ยวข้อง เพื่อช่วยหาปัจจัยหลักที่ทำให้ไม่เกิดร่องใต้ท้องแก้มยาง ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดฟองอากาศตกค้างในแก้มยาง ขณะนำไปขึ้นรูปที่แผนกขึ้นรูป โดยมีทั้งแผนกเทคนิค ซึ่งเป็นผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ ออกแบบกระบวนการผลิต และเป็นแนวหน้าในการลดของเสียให้กับบริษัท แผนกคุณภาพที่ช่วยการตรวจคุณภาพผลิตภัณฑ์ แผนกผลิตที่เป็นกำลังหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์ แผนกวิศวกรรมที่คอยควบคุมดูแลเครื่องจักรให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน และปรับปรุงเครื่องจักรให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งการหาปัจจัยนั้นจะทำการแยกกลุ่มสาเหตุไว้ด้วยกัน 4 กลุ่ม คือ คน เครื่องจักร วิธีการ วัสดุ โดยใช้แผนผังก้างปลาเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์หาปัจจัยดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 ผังก้างปลาแสดงการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางชนิดที่มีขอบกระหล่ำตั้งแต่ 20 นิ้วเป็นต้นไป

ปัจจัยที่เป็นไปได้ที่ส่งผลกระทบต่อร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางจากแผนผัง ก้างปลาข้างต้น ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดร่องใต้ท้องแก้มยางเบื้องต้น ดังต่อไปนี้

1. ปัจจัยที่มาจากผู้ปฏิบัติงาน เช่น การไม่ปฏิบัติตามมาตรฐานการทำงาน ภาระงานที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับมอบหมาย และการรีบเร่งทำงาน เพื่อให้บรรลุยอดการผลิตในแต่ละวัน จากการประชุมกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง รวมถึงการสอบถามจากผู้ปฏิบัติงานจริง พบว่า ผู้ปฏิบัติงานได้ทำตามกฎระเบียบการปฏิบัติงานอย่างเคร่งครัด อีกทั้งงานของผู้ปฏิบัติงานนั้นไม่มีส่วนเกี่ยวข้องใด ๆ กับร่องความลึกใต้ท้องแก้มยาง

2. ปัจจัยที่มาจากเครื่องจักร เช่น เครื่องจักรทำงานไม่ครบขั้นตอนหรือไม่ครบกระบวนการ เครื่องจักรมีการทำงานไม่ราบรื่น หรือมีการชำรุดของอุปกรณ์ในบางส่วน รวมถึงการไม่ได้รับการบำรุงรักษาเครื่องจักรอย่างสมบูรณ์ หรือสายพานลำเลียงเกิดการชำรุดเสียหาย จากการสำรวจที่เครื่องจักรดังกล่าว พบว่า เครื่องจักรทำงานครบตามขั้นตอน อีกทั้งยังมีการซ่อมบำรุงตามแผนงานอย่างเคร่งครัด มีการตรวจเช็คสถานการณ์การทำงานอยู่ตลอด

3. ปัจจัยที่มาจากวัสดุ เช่น รูปร่างหรือลักษณะของแก้มยางแต่ละชนิด ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามแบบที่กำหนดไว้ อาจมีความแตกต่างมากหรือน้อย ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับการออกแบบ หรือคุณสมบัติทางวัสดุที่แตกต่างกัน หรือคุณสมบัติเฉพาะของแก้มยางนั้น ๆ จากการสำรวจพบว่า แก้มยางของยางที่มีความสูงของตำแหน่งซ้ายกับขวาต่างกันเกิน 0.3 มม.ขึ้นไป จะส่งผลกระทบต่อร่องความลึก ทำให้ค่าร่องความลึกไม่ได้ตามค่าเป้าหมาย

4. ปัจจัยที่มาจากกระบวนการทำงาน เช่น แรงดันลมที่ใช้ในการกดยางไม่เพียงพอ หรือระยะห่างระหว่างตัวกดกับตัวทำร่องไม่เหมาะสม รวมถึงความเร็วในการผลิตที่อาจจะส่งผลกระทบต่อความลึกของแก้มยางได้ จากการสำรวจที่หน้างาน พบว่า แรงดันลมปัจจุบันที่ใช้ในการในกดยาง และระยะห่างปัจจุบันระหว่างตัวกดกับตัวทำร่อง สามารถใช้งานได้ดีกับแก้มยางที่มีความสูงของตำแหน่งซ้ายกับขวาต่างกันไม่เกิน 0.3 มม.เท่านั้น ถ้าระยะเกินกว่านี้จะทำให้ร่องความลึกของแก้มยางไม่ได้ตามค่าเป้าหมาย และในส่วนของความเร็วในกระบวนการผลิตนั้นทางผู้วิจัยได้มีการปรับลดความเร็วของสายพานการผลิต เพื่อเช็คค่าร่องความลึก และทำการเปรียบเทียบผลที่ได้ โดยพบว่า ความเร็วของสายพานการผลิตไม่มีผลต่อค่าร่องความลึกแต่อย่างใด อีกทั้งความเร็วของสายพานการผลิตไม่สามารถที่จะปรับให้ต่ำ ลงได้ เนื่องจากส่งผลกระทบต่อยอดการผลิตของโรงงาน

จากการวิเคราะห์ปัจจัยข้างต้น พบว่า ส่วนที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการเกิดร่องความลึกใต้ท้องแก้มยาง ก็คือ รูปร่างลักษณะของแก้มยาง และการทำงานของตัวกดและตัวทำร่องความลึก ซึ่งมีค่าแรงดันลม และระดับของระยะห่างระหว่างตัวกดกับตัวทำร่องความลึกไม่เหมาะสม

กับชนิดของแก้มยาง ดังที่แสดงในภาพที่ 3.13 ซึ่งส่งผลให้ไม่เกิดร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางหรือเกิดร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาฟองอากาศตกค้างในแก้มยางขณะนำไปขึ้นรูปที่แผนกขึ้นรูป จนทำให้เกิดเป็นของเสียในที่สุด

โดยในการปรับปรุงของผู้วิจัยจะมุ่งเน้นไปในส่วนของการปรับปรุงด้านกระบวนการทำงานมากกว่าการปรับเปลี่ยนด้านวัสดุ เนื่องจากรูปร่างหรือลักษณะของเป็นส่วนที่ค่อนข้างจะตายตัวในการออกแบบ และมีผลกระทบต่อโครงสร้างยางโดยรวม ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพยาง คุณสมบัติเฉพาะตัวในตัวผลิตภัณฑ์นั้น ๆ อีกทั้งผู้วิจัยไม่ได้มีส่วนเกี่ยวข้องในการออกแบบรูปร่างลักษณะยาง โดยการออกแบบเป็นหน้าที่ของฝ่ายเทคนิคของแผนกขึ้นรูปยางที่นำเอาต้นแบบจากทางบริษัทแม่มาออกแบบเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ของโครงสร้างยาง แล้วจึงนำแบบที่ได้ส่งต่อให้ยังฝ่ายเทคนิคของแผนกอื่น ๆ เพื่อออกแบบและทำการทดลองในส่วนของแผนกตัวเอง และนำผลการทดลองที่ได้ส่งกลับไปยังฝ่ายเทคนิคของแผนกขึ้นรูปยาง เพื่อทำการประมวลผลรวบรวมส่วนประกอบต่าง ๆ เข้าด้วยกัน

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงกระบวนการทำงานของแรงดันลมและระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร่องความลึกให้มีความเหมาะสมกับแก้มยางลักษณะดังกล่าว เพื่อให้ร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางได้ตามค่าเป้าหมาย



ภาพที่ 3.13 ระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร่องความลึก

3.3.4 ศึกษาขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

นำปัจจัยที่ได้วิเคราะห์มาออกแบบการทดลองโดยวิธี Central Composite โดยผู้วิจัยนำเอาโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Minitab® มาใช้ในการวิเคราะห์ผลและการออกแบบการทดลองโดยมีรายละเอียดดังนี้

- จำนวนปัจจัยที่นำมาออกแบบการทดลอง ปัจจัยที่ได้มาจากการวิเคราะห์ผังก้างปลา มีทั้งหมด 2 ปัจจัย คือ ระดับแรงดันลมที่ใช้กับตัวกด และระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร่องความลึก โดยมีระดับแรงดันลมที่ใช้ในการกดของตัวกดและระดับของระยะห่างระหว่างตัวกดกับตัวทำร่องความลึกทั้งหมด 5 ระดับ เนื่องจากต้องการออกแบบให้ครอบคลุมขอบเขตทั้งหมด เพื่อที่จะนำไปประมาณการสมการกำลังสองได้อย่างแม่นยำ โดยแบ่งระดับออกเป็น จุดในแนวแกน ซึ่งได้แก่ $-\alpha, +\alpha$ จุดในแนวโครงสร้าง 2k แฟคทอเรียล ซึ่งได้แก่ -1,+1 และสุดท้าย คือ จุดศูนย์กลาง ซึ่งก็คือ 0 โดยในสภาวะปัจจุบันใช้ระดับแรงดันลมที่จุดศูนย์กลางเท่ากับ 0.6 MPa และระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร่องความลึกที่จุดศูนย์กลางเท่ากับ 2.00 มม. โดยปัจจัยและระดับของปัจจัยแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3

ปัจจัยและระดับของปัจจัย

ปัจจัย	ระดับปัจจัย				
	-1.41 ($-\alpha$)	-1	0	+1	+1.41 ($+\alpha$)
ก. ระดับแรงดันลมที่ใช้ในการกดของตัวกด	0.3 MPa	0.4 MPa	0.6 MPa	0.8 MPa	0.9 MPa
ข. ระดับของระยะห่างระหว่างตัวกดกับตัวทำร่องความลึก	1.70 มม.	1.80 มม.	2.00 มม.	2.20 มม.	2.30 มม.

นำเอาปัจจัยทั้ง 2 มาออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab® โดยการใช้วิธี Central Composite Design ซึ่งได้จำนวนการทดลองทั้งหมดสิ้น 130 การทดลอง แบ่งเป็นการทดลอง 8 สภาวะที่มีความแตกต่างกัน และการทดลอง 5 สภาวะซ้ำที่จุดกึ่งกลาง โดยทำซ้ำ 10 ครั้ง ในทุก ๆ สภาวะ โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4

แผนการทดลอง Central Composite กรณีศึกษา 2 ปัจจัย

ลำดับการทดลอง	ระดับปัจจัย ก.	ระดับปัจจัย ข.	ก. แรงดันลม	ข. ระยะห่างระหว่างตัวกดกับตัวทำร่องความลึก
1	+1	+1	0.8 MPa	2.20 มม.
2	0	0	0.6 MPa	2.00 มม.
3	-1	+1	0.4 MPa	2.20 มม.
4	0	0	0.6 MPa	2.00 มม.
5	0	0	0.6 MPa	2.00 มม.
6	+1	-1	0.8 MPa	1.80 มม.
7	0	0	0.6 MPa	2.00 มม.
8	0	-1.41	0.6 MPa	1.70 มม.
9	+1.41	0	0.9 MPa	2.00 มม.
10	-1.41	0	0.3 MPa	2.00 มม.
11	-1	-1	0.4 MPa	1.80 มม.
12	0	0	0.6 MPa	2.00 มม.
13	0	+1.41	0.6 MPa	2.30 มม.

ซึ่งผลตอบสนองที่สนใจ ได้แก่ ค่าร่องความลึกใต้ห้องแก้มยางที่เกิดจากการกดของตัวกดและตัวทำร่องความลึก ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร โดยผู้วิจัยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ แบบดิจิตอล ซึ่งทำการวัดค่าร่องความลึก ม้วนละ 3 ตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่งซ้าย กลางและขวา ซึ่งทำการเฉลี่ยในส่วนของปลายม้วนของทุก ๆ การทดลอง แต่เนื่องจากค่าร่องความลึกที่ได้จากการทดลองและค่าเป้าหมายของแต่ละตำแหน่งมีค่าที่ไม่เท่ากันและห่างกันมากเกินไป ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ค่าผลส่วนต่างของร่องความลึกระหว่างค่าที่ได้จากการทดลอง (Trial) เทียบกับค่าเป้าหมาย (Target) ซึ่งในแต่ละตำแหน่งให้ผลส่วนต่างของร่องความลึกที่มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งทำให้สะดวกต่อการวิเคราะห์ผลในบทถัดไป

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองที่ได้จากการทำทดลอง ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยผลส่วนต่างร้อยละ ความลึกของทดลองเทียบกับค่าร้อยละความลึกเป้าหมาย การวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง การยืนยันผลการทดลองด้วยการทดลองตามสถานะที่เหมาะสมที่สุด เพื่อยืนยันผล และการเปรียบเทียบผลก่อน และหลังการปรับปรุงว่าปัญหาที่เกิดขึ้น มีแนวโน้มลดลงหรือไม่

4.1 ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ผู้วิจัยใช้ค่าผลส่วนต่างร้อยละระหว่างค่าที่ได้จากการทดลอง (Trial) เทียบกับค่าเป้าหมาย (Target) มาทำการวิเคราะห์ผล กล่าวคือ $Y = \text{Trial} - \text{Target}$ หลังจากนั้นจึงนำค่าผลตอบสนองที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ย ($\bar{Y}$) เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ผลผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab® ในส่วนของฟังก์ชันการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการ ซึ่งมีค่าเท่ากับศูนย์ (Target the best) โดยค่าเฉลี่ยผลส่วนต่างร้อยละระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองเทียบกับค่าเป้าหมาย แสดงในตารางที่ 4.1

โดยที่	A คือ	แรงดันลม
	B คือ	ระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร้อยละความลึก
	$\bar{Y}$ คือ	ค่าเฉลี่ยผลส่วนต่างร้อยละระหว่างค่าที่ได้จากการทดลอง (Trial) เทียบกับค่าเป้าหมาย (Target)

ตารางที่ 4.1

ค่าเฉลี่ยผลส่วนต่างร่องของความถี่ระหว่างค่าจากการทดลองเทียบกับค่าเป้าหมาย

ลำดับของ การทดลอง	ลำดับของ โปรแกรม	ระดับของ การทดลอง	A	B	T
1	27	1	0.4	1.80	-0.188
2	37	0	0.6	2.00	-0.130
3	39	0	0.6	2.00	-0.130
4	19	-1	0.9	2.00	0.233
5	30	1	0.8	2.20	0.067
6	23	0	0.6	2.00	-0.130
7	28	1	0.8	1.80	0.123
8	116	0	0.6	2.00	-0.127
9	127	0	0.6	2.00	-0.120
10	41	1	0.8	1.80	0.120
11	122	-1	0.3	2.00	-0.233
12	26	0	0.6	2.00	-0.130
13	124	-1	0.6	1.70	-0.107
14	36	0	0.6	2.00	-0.133
15	74	0	0.6	2.00	-0.130
16	67	1	0.8	1.80	0.120
17	118	1	0.4	1.80	-0.183
18	100	0	0.6	2.00	-0.130
19	113	0	0.6	2.00	-0.133
20	8	-1	0.6	2.30	-0.157
21	34	-1	0.6	2.30	-0.157
22	47	-1	0.6	2.30	-0.160
23	81	1	0.4	2.20	-0.207
24	64	0	0.6	2.00	-0.138
25	4	1	0.8	2.20	0.067
26	62	0	0.6	2.00	-0.139
27	49	0	0.6	2.00	-0.133
28	50	0	0.6	2.00	-0.137
29	101	0	0.6	2.00	-0.130
30	93	1	0.8	1.80	0.120

ลำดับของ การทดลอง	ลำดับของ โปรแกรม	ระดับของ การทดลอง	A	B	Y
31	35	0	0.6	2.00	-0.123
32	112	-1	0.6	2.30	-0.165
33	108	1	0.8	2.20	0.049
34	95	1	0.8	2.20	0.067
35	80	1	0.8	1.80	0.133
36	87	0	0.6	2.00	-0.137
37	31	-1	0.3	2.00	-0.229
38	12	0	0.6	2.00	-0.137
39	46	-1	0.6	1.70	-0.100
40	21	-1	0.6	2.30	-0.160
41	2	1	0.8	1.80	0.123
42	7	-1	0.6	1.70	-0.100
43	102	0	0.6	2.00	-0.123
44	84	-1	0.9	2.00	0.243
45	121	1	0.8	2.20	0.043
46	110	-1	0.9	2.00	0.237
47	38	0	0.6	2.00	-0.138
48	54	1	0.8	1.80	0.123
49	128	0	0.6	2.00	-0.137
50	17	1	0.8	2.20	0.067
51	115	0	0.6	2.00	-0.140
52	92	1	0.4	1.80	-0.189
53	106	1	0.8	1.80	0.113
54	14	1	0.4	1.80	-0.183
55	65	0	0.6	2.00	-0.124
56	6	-1	0.9	2.00	0.237
57	114	0	0.6	2.00	-0.138
58	52	0	0.6	2.00	-0.127
59	45	-1	0.9	2.00	0.233
60	130	0	0.6	2.00	-0.126

ลำดับของ การทดลอง	ลำดับของ โปรแกรม	ระดับของ การทดลอง	A	B	Y
61	13	0	0.6	2.00	-0.136
62	63	0	0.6	2.00	-0.120
63	104	0	0.6	2.00	-0.133
64	120	1	0.4	2.20	-0.210
65	96	-1	0.3	2.00	-0.220
66	25	0	0.6	2.00	-0.120
67	53	1	0.4	1.80	-0.186
68	9	0	0.6	2.00	-0.120
69	69	1	0.8	2.20	0.067
70	72	-1	0.6	1.70	-0.107
71	111	-1	0.6	1.70	-0.103
72	91	0	0.6	2.00	-0.130
73	3	1	0.4	2.20	-0.209
74	1	1	0.4	1.80	-0.185
75	119	1	0.8	1.80	0.120
76	97	-1	0.9	2.00	0.240
77	58	-1	0.9	2.00	0.237
78	5	-1	0.3	2.00	-0.230
79	15	1	0.8	1.80	0.120
80	129	0	0.6	2.00	-0.139
81	76	0	0.6	2.00	-0.120
82	16	1	0.4	2.20	-0.210
83	55	1	0.4	2.20	-0.210
84	89	0	0.6	2.00	-0.126
85	82	1	0.8	2.20	0.067
86	79	1	0.4	1.80	-0.183
87	83	-1	0.3	2.00	-0.229
88	56	1	0.8	2.20	0.067
89	126	0	0.6	2.00	-0.127
90	88	0	0.6	2.00	-0.140

ลำดับของ การทดลอง	ลำดับของ โปรแกรม	ระดับของ การทดลอง	A	B	Y
91	60	-1	0.6	2.30	-0.163
92	73	-1	0.6	2.30	-0.160
93	43	1	0.8	2.20	0.067
94	59	-1	0.6	1.70	-0.107
95	22	0	0.6	2.00	-0.140
96	98	-1	0.6	1.70	-0.093
97	29	1	0.4	2.20	-0.217
98	11	0	0.6	2.00	-0.123
99	85	-1	0.6	1.70	-0.107
100	44	-1	0.3	2.00	-0.227
101	86	-1	0.6	2.30	-0.160
102	77	0	0.6	2.00	-0.130
103	51	0	0.6	2.00	-0.126
104	10	0	0.6	2.00	-0.133
105	75	0	0.6	2.00	-0.133
106	70	-1	0.3	2.00	-0.223
107	78	0	0.6	2.00	-0.123
108	94	1	0.4	2.20	-0.210
109	105	1	0.4	1.80	-0.182
110	61	0	0.6	2.00	-0.133
111	90	0	0.6	2.00	-0.140
112	68	1	0.4	2.20	-0.207
113	32	-1	0.9	2.00	0.237
114	42	1	0.4	2.20	-0.210
115	20	-1	0.6	1.70	-0.097
116	109	-1	0.3	2.00	-0.227
117	117	0	0.6	2.00	-0.130
118	66	1	0.4	1.80	-0.198
119	18	-1	0.3	2.00	-0.220
120	71	-1	0.9	2.00	0.237

ลำดับของ การทดลอง	ลำดับของ โปรแกรม	ระดับของ การทดลอง	A	B	$\bar{Y}$
121	125	-1	0.6	2.30	-0.166
122	123	-1	0.9	2.00	0.233
123	103	0	0.6	2.00	-0.130
124	33	-1	0.6	1.70	-0.103
125	40	1	0.4	1.80	-0.182
126	48	0	0.6	2.00	-0.130
127	107	1	0.4	2.20	-0.217
128	24	0	0.6	2.00	-0.130
129	99	-1	0.6	2.30	-0.160
130	57	-1	0.3	2.00	-0.227

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

หลังจากการเก็บข้อมูลเสร็จสิ้นผู้วิจัยนำค่าเฉลี่ยของผลตอบ ($\bar{Y}$) ซึ่งเป็นผลส่วนต่าง ร่องความถี่ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลอง (Trial) เทียบกับค่าเป้าหมาย (Target) ไปวิเคราะห์ทาง สถิติโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองและหา ค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัจจัยทั้งสองเพื่อให้ร่องความถี่เป็นไปตามตามค่าเป้าหมาย

4.2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

ในส่วนของการวิเคราะห์ผลทางผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab® มาช่วย ในการวิเคราะห์ผล โดยแรงดันลมแทนด้วย A และระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร่องความถี่ แทนด้วย B ซึ่งผลของการวิเคราะห์แสดงในภาพที่ 4.1

Response Surface Regression: Y versus A, B

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	2.29555	0.459110	4583.48	0.000
Linear	2	0.00745	0.003724	37.17	0.000
A	1	0.00744	0.007442	74.29	0.000
B	1	0.00062	0.000618	6.17	0.014
Square	2	0.34364	0.171819	1715.33	0.000
A*A	1	0.33739	0.337387	3368.27	0.000
B*B	1	0.00078	0.000777	7.76	0.006
2-Way Interaction	1	0.00287	0.002873	28.68	0.000
A*B	1	0.00287	0.002873	28.68	0.000
Error	124	0.01242	0.000100		
Lack-of-Fit	3	0.00876	0.002919	96.42	0.000
Pure Error	121	0.00366	0.000030		
Total	129	2.30797			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0100083	99.46%	99.44%	99.40%

Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.248	0.122	2.04	0.044	
A	-0.7404	0.0859	-8.62	0.000	250.44
B	-0.280	0.113	-2.48	0.014	430.55
A*A	1.5954	0.0275	58.04	0.000	37.97
B*B	0.0766	0.0275	2.78	0.006	411.46
A*B	-0.2119	0.0396	-5.36	0.000	232.63

Regression Equation in Uncoded Units

$$Y = 0.248 - 0.7404 A - 0.280 B + 1.5954 A^2 + 0.0766 B^2 - 0.2119 A B$$

ภาพที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab®

จากผลการศึกษาในภาพที่ 4.1 เมื่อพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ผู้วิจัยกำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 พบว่า แรงดันลมและระยะห่างระหว่างตัวกดกับตัวทำร่องความลึกมีค่า P-Value ต่ำกว่า 0.05 สามารถกล่าวได้ว่า ความแตกต่างของระดับปัจจัยทั้งสองที่ทำการศึกษามีผลต่อค่าเฉลี่ยผลส่วนต่างของร่องความลึก จากนั้นผู้วิจัยจึงนำค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีค่า P-Value ต่ำกว่า 0.05 มาสร้างสมการการถดถอย โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในภาพที่ 4.1 เพื่อที่จะนำไปใช้ในการทำนายค่าเฉลี่ยผลส่วนต่างที่ต้องการให้เป็นศูนย์ และใช้ในการหาค่าของปัจจัยที่เหมาะสมมากที่สุดที่ทำให้ร่องความลึกได้ตามค่าเป้าหมาย อีกทั้งยังพบว่าค่า R-Square มีค่าเท่ากับร้อยละ 99.46 และ R-Square (adj) มีค่าเท่ากับร้อยละ 99.44 ซึ่งสามารถตีความได้ว่า แบบจำลอง

การถดถอยนี้สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ถึงร้อยละ 99.44 จึงสรุปได้ว่า สมการถดถอยนี้มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ทำนายผลตอบได้ ดังแสดงในสมการที่ 4.1

$$\hat{Y} = 0.248 - 0.7404A - 0.280B + 1.5954A^2 + 0.0766B^2 - 0.2119A*B \quad (4.1)$$

เมื่อ $\hat{Y}$ คือ ค่าเฉลี่ยผลส่วนต่างร่องความลึกระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองเทียบกับค่าเป้าหมาย

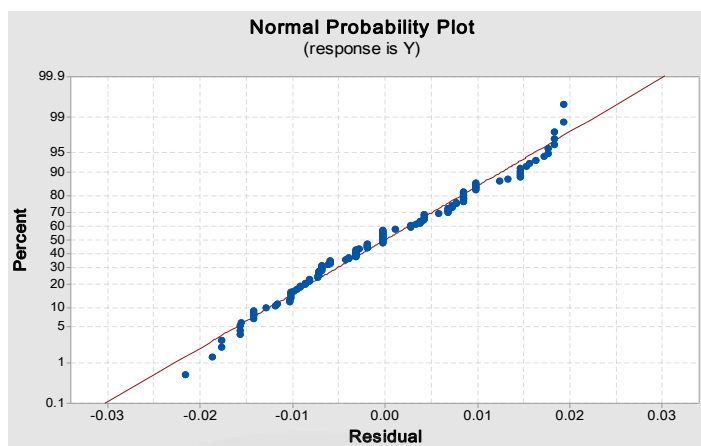
A คือ แรงดันลม

B คือ ระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร่องความลึก

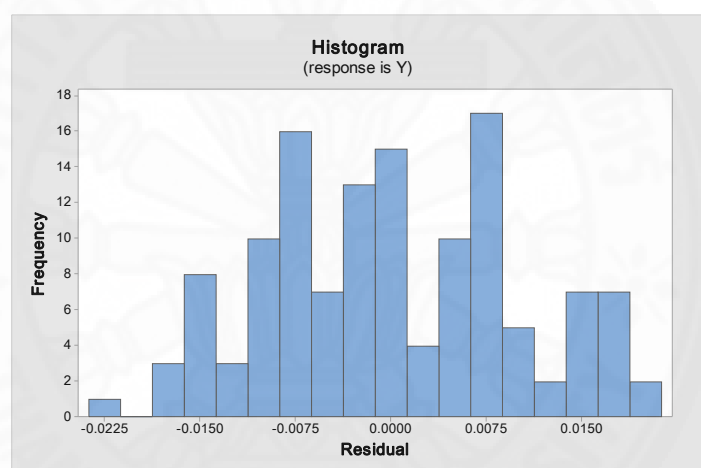
4.2.2 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง

ในการทำการสรุปผลการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยเริ่มจากการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองนั้นว่ามีความถูกต้องตามเงื่อนไขในการออกแบบการทดลองหรือไม่ จากนั้นถึงทำการสรุปผลการวิเคราะห์ของการทดลองนั้นได้อย่างสมบูรณ์ โดยทำการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับส่วนตกค้างทั้ง 3 การทดสอบ ซึ่งได้แก่ การกระจายแบบปกติ ความเสถียรของความแปรปรวน ความเป็นอิสระของข้อมูล

4.2.2.1 การตรวจสอบการกระจายแบบปกติ การตรวจสอบส่วนตกค้างของข้อมูล ว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ มีแนวโน้มเป็นอย่างไร สามารถทำได้โดยการนำส่วนตกค้างมาสร้างเป็นกราฟการกระจายตัว โดยพิจารณาว่าแนวโน้มของการกระจายตัวนั้นต้องไม่กระจุกเป็นกลุ่ม และมีความห่างระหว่างจุดแต่ละจุดใกล้เคียงกัน และฮิสโตแกรมต้องมีการกระจายแบบปกติ ซึ่งจากการศึกษาภาพที่ 4.2 และภาพที่ 4.3 พบว่าการตรวจสอบการกระจายแบบปกติ มีการกระจายตัวรอบ ๆ ตามเส้นตรง และฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง มีการกระจายตัวในลักษณะเดียวกันกับเส้นโค้งของการแจกแจงแบบปกติ ทำให้ประมาณได้ว่าส่วนตกค้างมีการกระจายแบบปกติ



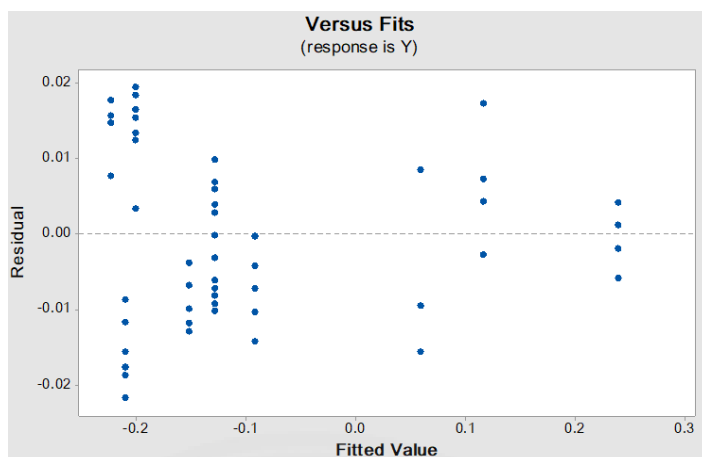
ภาพที่ 4.2 กราฟการกระจายตัวของส่วนตกค้าง



ภาพที่ 4.3 กราฟฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง

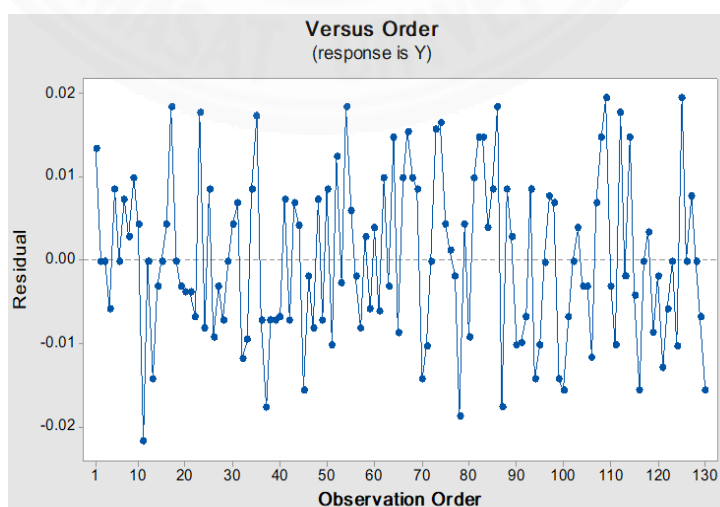
4.2.2.2 การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน

ในการตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของค่าส่วนตกค้าง จะพิจารณาจากการกระจายความคลาดเคลื่อนของส่วนตกค้าง ซึ่งแนวโน้มในการกระจายตัวของข้อมูล ต้องไม่พบลักษณะที่ไม่มีทิศทางที่แน่นอน ซึ่งจากการศึกษาภาพที่ 4.4 พบว่าค่าส่วนตกค้างกับค่าทำนายไม่มีรูปแบบที่ปรากฏให้เห็นเด่นชัด หรือโครงสร้างใด ๆ และมีการกระจายตัวสม่ำเสมอ แต่ละระดับของปัจจัยมีการกระจายตัวในด้านบวกและด้านลบมีความสมดุลกัน แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของความแปรปรวน



ภาพที่ 4.4 กราฟความเสถียรของความแปรปรวนของส่วนตกค้าง

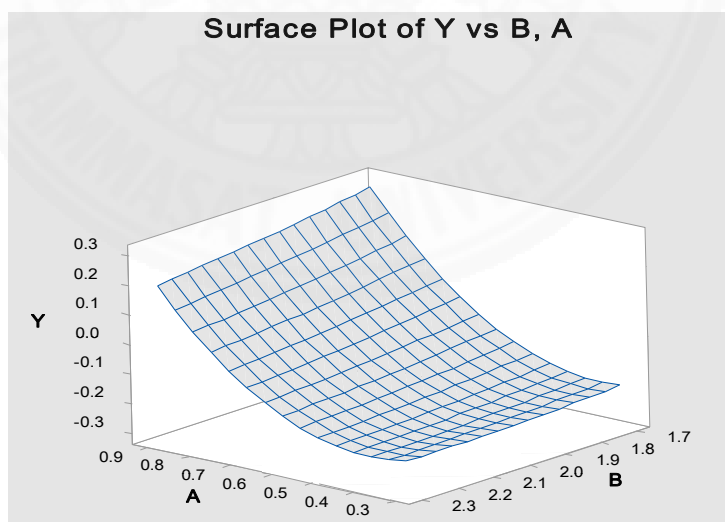
4.2.2.3 การตรวจสอบความเป็นอิสระ ในส่วนของการตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าส่วนตกค้าง ให้พิจารณาตรวจสอบหาทิศทางและแนวโน้มของส่วนตกค้างของตัวแปรผลตอบสนองแต่ละตัว ว่ามีส่วนเกี่ยวข้องกันหรือไม่ โดยการพล็อตข้อมูลส่วนตกค้างกับลำดับเวลาในการเก็บข้อมูล ซึ่งค่าของส่วนตกค้างนั้นจะต้องไม่มีแนวโน้มไปในทิศทางเพิ่มขึ้น ลดลง หรือไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่ชัดได้ จึงจะสามารถบอกได้ว่าข้อมูลนั้น ๆ มีความเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งจากการศึกษาภาพที่ 4.5 พบว่า ส่วนตกค้างไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น ลดลง ในรูปแบบที่ไม่แน่นอน และไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่ชัดได้ แสดงให้เห็นว่าการกระจายของส่วนตกค้างมีรูปแบบที่เป็นอิสระต่อกัน



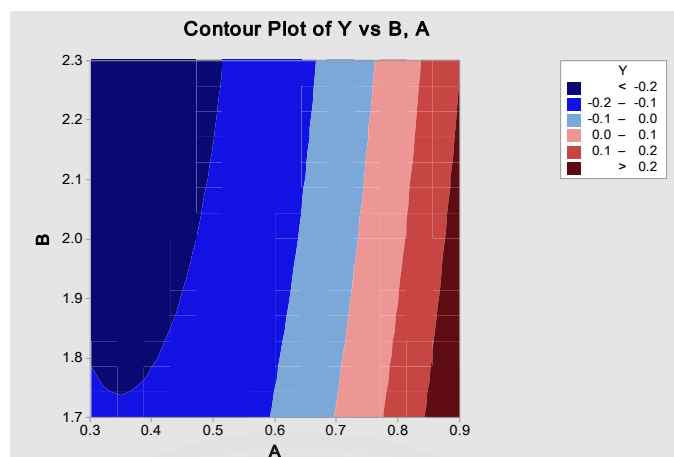
ภาพที่ 4.5 กราฟความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง

4.2.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันลมกับระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร่องความลึก

เมื่อทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมของสมการถดถอย (สมการที่ 4.1) แล้วพบว่ามีความเหมาะสม ผู้วิจัยจึงได้นำสมการ 4.1 มาสร้างพื้นผิวผลตอบแทนและเส้นโครงร่าง ดังภาพที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ โดยที่พื้นผิวผลตอบแทนในภาพที่ 4.6 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับค่าร่องความลึกใต้ท้องแก้มยาง โดยที่ปัจจัยแรงดันลม แทนด้วย A และปัจจัยระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร่องความลึก แทนด้วย B โดยพื้นผิวตอบสนองในภาพที่ 4.6 สามารถอธิบายได้ว่าแรงดันลมควรปรับให้มีค่าสูง ซึ่งจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยผลส่วนต่างของร่องความลึกมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ แต่ก็ไม่ควรปรับมากเกินไป เนื่องจากจะทำให้ค่าเฉลี่ยผลส่วนต่างของร่องความลึกมีค่าเลยศูนย์ไปในทางบวก ซึ่งหมายความว่า ค่าร่องความลึกที่ได้มีค่ามากกว่าค่าเป้าหมาย ในทางตรงกันข้ามถ้าปรับน้อยเกินไปก็จะให้ค่าเฉลี่ยผลส่วนต่างของร่องความลึกมีค่าเลยศูนย์ไปในทางลบ ซึ่งหมายความว่า ค่าร่องความลึกที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่าเป้าหมาย ในส่วนของระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร่องความลึกควรมีค่าระยะห่างที่มากพอ เพื่อรองรับแรงดันลมที่กดลงบนตัวกดให้ได้ท้องแก้มยางติดกับตัวทำร่อง หากมีค่าระยะห่างที่น้อยเกินไปก็จะทำให้ค่าเฉลี่ยผลส่วนต่างมีค่าเลยศูนย์ไปในทางบวก และเส้นโครงร่างในภาพที่ 4.7 สามารถอธิบายได้ว่าพื้นสีแดงอ่อนและน้ำเงินอ่อนจะให้ผลตอบแทนที่ใกล้เคียงศูนย์มากที่สุด



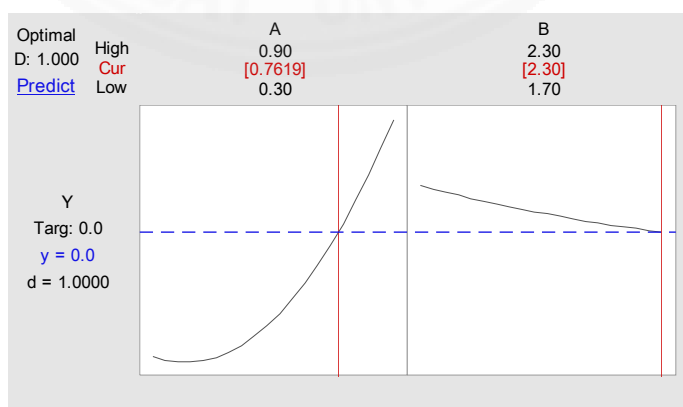
ภาพที่ 4.6 พื้นผิวตอบสนองระหว่างแรงดันลม (A) และระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร่องความลึก (B)



ภาพที่ 4.7 กราฟโครงร่างแสดงค่าผลส่วนต่างร่องความลึกระหว่างแรงดันลม (A) และระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร่องความลึก (B)

4.2.4 การหาสถานะที่เหมาะสมสำหรับปัจจัยที่มีผลต่อค่าร่องความลึก

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab® พบว่าสถานะที่เหมาะสมที่สุดของแรงดันลมและระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร่องความลึกที่ทำให้ค่าเฉลี่ยผลส่วนต่างร่องความลึกระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองเทียบกับค่าเป้าหมาย เป็นศูนย์ นั้นต้องใช้แรงดันลมที่ 0.762 Mpa และระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร่องความลึกที่ 2.3 มม. เพราะถ้าเพิ่มระดับแรงดันลมสูงขึ้น หรือลดระดับแรงดันลมลง จะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยผลส่วนต่างของร่องความลึกมีค่าไม่เข้าใกล้ศูนย์ ในขณะเดียวกันถ้าปรับระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร่องความลึกลงให้น้อยลง จะส่งผลให้ค่าผลส่วนต่างของร่องความลึกไม่เข้าใกล้ศูนย์เช่นเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงจุดที่เหมาะสมที่สุดระหว่างแรงดันลม (A) และระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร่องความลึก (B)

4.3 การยืนยันผลด้วยการทำการทดลองตามสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

เมื่อนำค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยไปทำการทดลอง เพื่อยืนยันผลการทำนายที่ทำให้ค่าร่อนความลึกได้แก่หมยงได้ตามค่าเป้าหมาย โดยตรวจเช็คเป็นจำนวนทั้งสิ้น 10 ม้วน โดยในแต่ละม้วนมียาง 80 เมตร โดยตรวจเช็คทุก ๆ 10 เมตรของแต่ละม้วน ซึ่งผลการทดลองของค่าร่อนความลึกที่ได้จากการใช้ค่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย กล่าวคือ ปรับแรงดันลมไว้ที่ 0.762 Mpa และปรับระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร่อนความลึกไว้ที่ 2.3 มิลลิเมตร แสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งค่าเป้าหมายที่ต้องการคือ ร่อนความลึกที่ตำแหน่งซ้าย 0.35 มิลลิเมตร ตำแหน่งกลาง 0.15 มิลลิเมตร และตำแหน่งขวา 0.25 มิลลิเมตร โดยในการตรวจเช็คความลึกในขั้นตอนนี้ผู้วิจัย ได้ทำการตรวจเช็คความลึกที่หน้าเครื่องขึ้นรูป พบว่าค่าเฉลี่ยของร่อนความลึกได้ทั้งหมยงที่ตำแหน่งซ้ายอยู่ที่ 0.358 มิลลิเมตร ตำแหน่งกลาง 0.148 มิลลิเมตร และตำแหน่งขวาอยู่ที่ 0.252 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อนำค่าที่ได้มาเทียบกับค่าเป้าหมาย ทำให้ค่าเฉลี่ยผลส่วนต่างอยู่ของตำแหน่งขวาอยู่ที่ 0.008 มิลลิเมตร ค่าเฉลี่ยผลส่วนต่างอยู่ของตำแหน่งกลางอยู่ที่ -0.002 มิลลิเมตร และค่าเฉลี่ยผลส่วนต่างอยู่ของตำแหน่งซ้ายอยู่ที่ 0.002 มิลลิเมตร ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยผลต่างของร่อนความลึกเทียบกับค่าเป้าหมาย คือ 0.003 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 จากนั้นทางผู้วิจัยจึงได้จัดทำเป็นมาตรฐานในการทำงาน และมีการติดตามผลต่อไป

ตารางที่ 4.2

ค่าเฉลี่ยร่อนความลึกที่ได้มาจากการทดลองตามสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

ม้วนที่	ค่าร่อนความลึก (มิลลิเมตร)		
	ตำแหน่งซ้าย	ตำแหน่งกลาง	ตำแหน่งขวา
1	0.357	0.156	0.252
2	0.358	0.151	0.252
3	0.358	0.149	0.252
4	0.357	0.144	0.255
5	0.357	0.144	0.249
6	0.355	0.156	0.251
7	0.358	0.145	0.253
8	0.359	0.147	0.253
9	0.358	0.147	0.249
10	0.359	0.145	0.256
ค่าเฉลี่ย	0.358	0.148	0.252

ตารางที่ 4.3

ค่าผลส่วนต่างของร่องความลึกใต้ท้องแก้มยาง

	ร่องความลึกใต้ท้องแก้มยาง (มิลลิเมตร)		
	ตำแหน่งซ้าย	ตำแหน่งกลาง	ตำแหน่งขวา
ค่าเป้าหมาย	0.35	0.15	0.25
ค่าเฉลี่ยความลึกจากการทดลอง เพื่อยืนยันผล	0.358	0.148	0.252
ผลต่าง	0.008	-0.002	0.002
ผลต่าง โดยเฉลี่ยในทุก ๆ ตำแหน่ง	0.003		

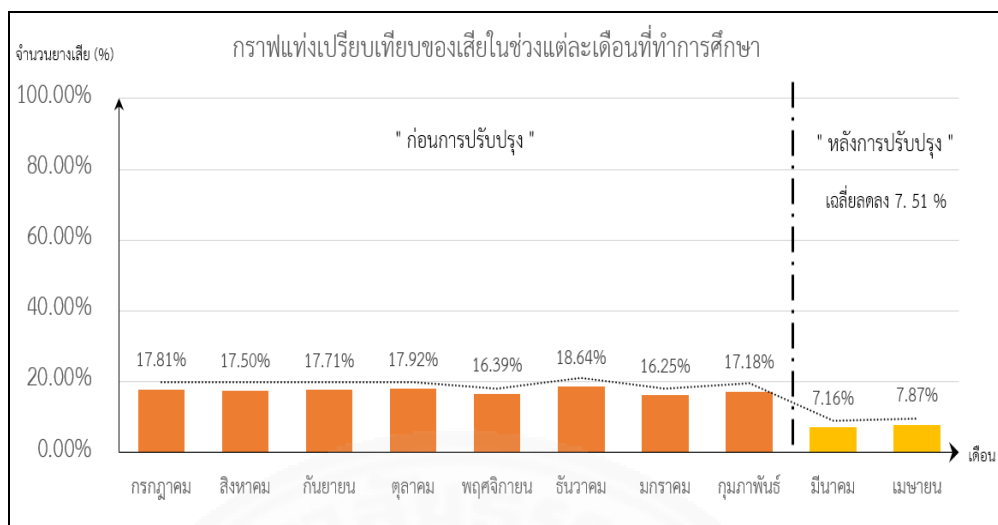
4.4 การเปรียบเทียบผลก่อน และหลังการปรับปรุง

เมื่อนำค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมไปทดลองใช้ในกระบวนการผลิตในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน 2561 ทำให้ปัญหาฟองอากาศตกค้างภายในแก้มยางมีจำนวนที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด จากเดิมก่อนการปรับปรุง เฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 17.42 เหลือเฉลี่ยร้อยละ 7.51 ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.9 และยังส่งผลให้ปัญหาฟองอากาศตกค้างในแก้มยางจากเดิมที่เป็นปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นมากเป็นลำดับที่ 3 ของโรงงานลดลงมาอยู่ในลำดับที่ 5 ดังในภาพที่ 4.10

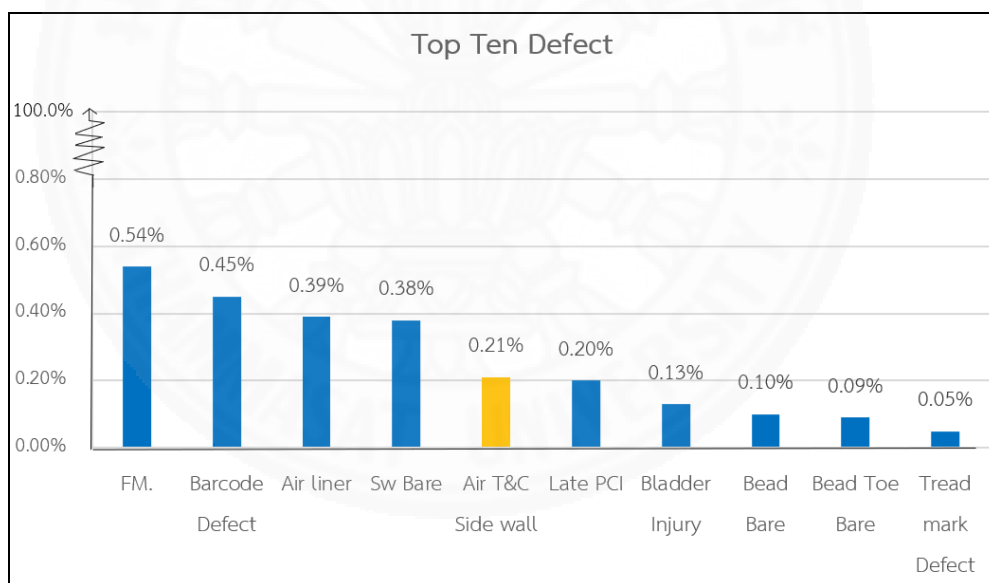
ตารางที่ 4.4

ตารางเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง

ปัญหาฟองอากาศตกค้างในแก้มยาง	เฉลี่ยก่อนการปรับปรุง	เฉลี่ยหลังการปรับปรุง	ลดลงได้
เปอร์เซ็นต์	17.42 %	7.51 %	56.88 %



ภาพที่ 4.9 กราฟแท่งเปรียบเทียบของเสียที่เกิดจากปัญหาฟองอากาศตกค้างในแก้มยาง
ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2560 ถึง เดือนเมษายน 2561



ภาพที่ 4.10 ประเภทของเสีย 10 อันดับแรกภายในโรงงานเฉลี่ยสะสมต่อวัน
ภายในเดือนเมษายน 2561

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ คือ การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อร่องความลึกใต้ท้องแก้มยาง โดยมุ่งเน้นไปที่การหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางรถยนต์ โดยการประยุกต์ใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนอง เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันลมและระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร่องความลึก และสามารถหาค่าของสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้ร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางได้ตามค่าเป้าหมาย ด้วยการสร้างสมการถดถอยขึ้นมาประมาณค่า

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากปัญหาฟองอากาศตกค้างในโครงสร้างยาง โดยพบมากที่สุดที่บริเวณแก้มยางรถยนต์ประเภทที่มีขอบกระทะล้อตั้งแต่ 20 นิ้วเป็นต้นไป ซึ่งมีสาเหตุจากการที่ร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางไม่ได้ตามค่าเป้าหมายที่ตั้งเอาไว้ และเมื่อนำแก้มยางที่ร่องความลึกไม่ตามค่าเป้าหมายไปขึ้นรูปที่แผนกขึ้นรูป ส่งผลทำให้เกิดฟองอากาศตกค้างในโครงสร้างยางที่บริเวณแก้มยาง ซึ่งผู้วิจัยได้นำปัญหาดังกล่าวมาวิเคราะห์ถึงสาเหตุของการเกิดปัญหา โดยพบว่า จากผังการไหลของงานที่ตำแหน่งงานต่าง ๆ ซึ่งตำแหน่งที่ส่งผลต่อการเกิดร่องความลึกของยางได้แก่ ตำแหน่งงานที่ตัวกดและตัวทำร่องความลึก จากนั้นผู้วิจัยได้นำผังก้างปลา มาช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาดังกล่าว พบว่า ปัจจัยที่มีผลกระทบการทำงานของระดับแรงดันลมและระยะระหว่างตัวกดและตัวทำร่องความลึกมีค่าที่ไม่เหมาะสม สำหรับแก้มยางรถยนต์ประเภทที่มีขอบกระทะล้อตั้งแต่ 20 นิ้วเป็นต้นไป ซึ่งไม่สามารถใช้ระดับแรงดันและระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร่องความลึกกับแก้มยางรถยนต์ประเภทที่มีขอบกระทะล้อต่ำกว่า 20 นิ้วเป็นต้นไปได้

ก่อนเริ่มทำการทดลองผู้วิจัยได้ทำการสุ่มตรวจเช็คค่าความลึกตัวอย่างก่อนทำการปรับปรุงและวิเคราะห์ความผันแปรของระบบการวัดในรูปแบบของความสามารถในการทำซ้ำและความสามารถในการให้ผลซ้ำ หรือ Gage R&R จากนั้นผู้วิจัยจึงใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบเซ็นทรัลคอมโพสิตดีไซน์และวิธีพื้นผิวตอบสนองมาช่วยในการวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ร่องความลึกใต้ท้องแก้มยางได้ตามค่าเป้าหมาย โดยผู้วิจัยใช้ค่าผลตอบสนองเป็นค่าเฉลี่ยของผลส่วนต่างของร่องความลึกที่ได้ค่าจากการวัดร่องความลึกที่ตำแหน่งๆ และนำไปเทียบกับค่าเป้าหมาย ซึ่งผลตอบสนองที่เหมาะสมที่สุดของค่าเฉลี่ยผลต่างที่ต้องการ คือ ศูนย์ จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการถดถอย และพบว่าแบบจำลองการ

ถดถอยที่ได้มีความถูกต้องตามเงื่อนไขในการออกแบบการทดลอง โดยทำการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับส่วนตักทั้ง 3 การทดสอบ ซึ่งได้แก่ การกระจายแบบปกติ ความเสถียรของความแปรปรวน และความเป็นอิสระของข้อมูล

โดยค่าของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ค่าผลส่วนต่างของร่องความลึกระหว่างค่าทดลองกับค่าเป้าหมาย คือ แรงดันลมที่ 0.762 เมกะปาสคาล และระยะห่างระหว่างตัวกดและตัวทำร่องร่องอยู่ที่ 2.3 มม. เมื่อทำการทดลองตามที่ปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด พบว่า ให้ค่าผลลัพธ์ของร่องความลึกใต้ห้องแก้มยางอยู่ที่ตำแหน่งด้านซ้ายเฉลี่ย 0.358 มิลลิเมตร ตำแหน่งกลางเฉลี่ย 0.148 มิลลิเมตร และตำแหน่งขวาเฉลี่ยที่ 0.252 มิลลิเมตร ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายเป็นอย่างมาก ส่งผลให้ลดปัญหาของเสียที่เกิดจากฟองอากาศตกค้างในแก้มยางลงได้ถึงร้อยละ 56.88 จากเดิมที่มีปริมาณของเสียเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 17.42 ลดลงเฉลี่ยเหลือร้อยละ 7.51 และทำให้อันดับโดยรวมของปัญหาฟองอากาศตกค้างภายในแก้มยางลดลงจากลำดับที่ 3 มาอยู่ในลำดับที่ 5 ซึ่งถือได้ว่าผลเป็นที่น่าพึงพอใจ

ข้อดีของการใช้พื้นผิวผลตอบในการแก้ปัญหาของงานวิจัยนี้ คือ สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างรวดเร็วและมีความแม่นยำเป็นอย่างมาก โดยอาศัยการสร้างแบบจำลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลอง แต่การใช้พื้นผิวตอบสนองก็มีข้อจำกัดอยู่ที่ผลของค่าตอบสนองจะต้องคงที่หรือมีความแปรปรวนน้อย เพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการผลิต อีกทั้งเทคนิคการออกแบบการทดลองแบบเซ็นทรัลคอมโพสิตดีไซน์ ยังเป็นวิธีการที่เปลืองทรัพยากรพอสมควร เนื่องจากมีจำนวนการทดลองที่มากกว่าวิธีอื่น ๆ แต่มีข้อดีที่ให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำกว่าเมื่อเทียบกับการออกแบบการทดลองด้วยวิธีอื่นเช่นกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในอนาคตยางรถยนต์อาจจะมีวิวัฒนาการแตกต่างไปจากเดิม มีการเพิ่มขอบล้อให้ใหญ่ขึ้นตามสมรรถนะของรถยนต์ หรือเพื่อเพิ่มความสวยงาม ทำให้สภาวะที่ใช้ต้องมีการปรับเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงสามารถนำงานวิจัยนี้ไปประยุกต์หรือนำไปปรับใช้ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในกระบวนการผลิตต่อไป ในบางครั้งอาจจะนำหลักการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ผลผ่านโปรแกรมสำเร็จรูปไปเป็นแนวทางในการแก้ไขและวิเคราะห์ถึงปัญหา ซึ่งในปัจจุบันทุก ๆ โรงงานย่อมต้องมีการใช้แรงดันลมเป็นตัวขับเคลื่อนกระบวนการผลิตภายในโรงงาน ซึ่งสามารถนำหลักการหรือขั้นตอนการออกแบบการทดลองไปประยุกต์ใช้ต่อไป

รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. (2551). การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด

บทความวารสาร

น้ำฝน ไชยลังกา, นักรบ นาคประสม และ ฤทธิชัย อัศวราชันย์. (2556). การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งแครอทแผ่นโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ปีที่ 1. ฉบับที่ 2. หน้า 92-102

อิทธิพล วรพันธ์, ช่างชัย ชูปวา และ ขวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์. (2556). การหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการเชื่อมด้วยความเสียดทานของเหล็ก AISI 1015. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีที่ 18. ฉบับที่ 6. หน้า 909-924.

ชาตรี หอมเขียว, สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ และ วรพงศ์ บุญช่วยแทน. (2558). การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 11. ฉบับที่ 2. หน้า 40-55.

สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ และ วัลภา เตชะสุข. (2554). การปรับปรุงกระบวนการขึ้นรูปในอุตสาหกรรมเคมีคอนดักเตอร์ชนิดมีชา. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 21. ฉบับที่ 1. หน้า 88-98.

สารนิพนธ์

นารีนารถ คำต่อ. (2557). การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำความสะอาดหัวอ่านของเครื่องขัดแปรงคู่. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ดิลก คล้ายสถาพร. (2554). การลดชิ้นงานเสียค่า ESR ในการประกอบผลิตภัณฑ์ Super Capacitor. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

อารยชน สุนน้ำเที่ยง. (2555). การลดปัญหาการโยกคลอนของที่ปรับเบาะนั่งคนหน้า กรณีศึกษา
อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ภาณุวัฒน์ บุญโชติ. (2555). การศึกษาปัจจัยการกีดขวางงานเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 แผ่นบางด้วย
สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ธนรินทร์ ทองบุญดำรง. (2552). การพัฒนาคุณภาพเพลทขัดงานสำหรับหัวอ่าน โดยใช้หลักการ
ออกแบบการทดลอง. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ว่าที่ร้อยตรีวีรเทพ เถลิสมิทธิชัย. (2550). การศึกษาปริมาณธาตุที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมการผลิต
เหล็กดิบโดยวิธีการออกแบบการทดลอง. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
พรรณรวิทย์ ไยสุข. (2554). การศึกษาความขรุขระผิวและแรงดันตัวร่วมกับอุณหภูมิในการตัดสำหรับ
กระบวนการกัดหัวบอลโดยการประยุกต์ใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนอง. ภาควิชาวิศวกรรม
อุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

จรัล ทรัพย์เสรี. DOE Central Composite Design. Quality November 2009. Available:

http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/FQ145_p72-74.pdf

ประกาศาภรณ์ วรรณะวาสิน. Knowledge Management. Available:

http://akachai99.blogspot.com/2012/09/blog-post_30.html

สุรพงศ์ อินทรภักดี. 7 Qc tools. Courses online. Available:

http://www.elcls.ssru.ac.th/surapong_in/pluginfile.php/82/block_html/content/5%20-%207%20Qc%20Tools.pdf

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ค่าร้อยละความลึกที่ได้มาจากการทดลองตามสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

ตารางที่ ก-1

ค่าร้อยละความลึกที่ได้มาจากการทดลองตามสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

ม้วนที่	วัดเมตรที่	ตำแหน่งซ้าย (มิลลิเมตร)	ตำแหน่งกลาง (มิลลิเมตร)	ตำแหน่งขวา (มิลลิเมตร)
1	10	0.36	0.17	0.25
	20	0.37	0.16	0.25
	30	0.37	0.17	0.26
	40	0.36	0.16	0.26
	50	0.35	0.16	0.25
	60	0.35	0.15	0.25
	70	0.35	0.14	0.25
	80	0.35	0.14	0.25
2	10	0.37	0.16	0.26
	20	0.37	0.16	0.26
	30	0.37	0.16	0.25
	40	0.36	0.16	0.25
	50	0.36	0.14	0.25
	60	0.35	0.15	0.25
	70	0.35	0.14	0.25
	80	0.35	0.14	0.25
3	10	0.37	0.16	0.26
	20	0.37	0.16	0.26
	30	0.36	0.16	0.25
	40	0.36	0.15	0.25
	50	0.36	0.14	0.25
	60	0.35	0.15	0.25
	70	0.35	0.14	0.25
	80	0.35	0.13	0.25

ม้วนที่	วัดเมตรที่	ตำแหน่งซ้าย (มิลลิเมตร)	ตำแหน่งกลาง (มิลลิเมตร)	ตำแหน่งขวา (มิลลิเมตร)
4	10	0.37	0.15	0.27
	20	0.37	0.16	0.26
	30	0.36	0.15	0.25
	40	0.36	0.15	0.25
	50	0.35	0.14	0.25
	60	0.35	0.14	0.26
	70	0.35	0.13	0.25
	80	0.35	0.13	0.25
5	10	0.37	0.16	0.26
	20	0.37	0.16	0.26
	30	0.36	0.15	0.25
	40	0.36	0.14	0.25
	50	0.35	0.14	0.25
	60	0.35	0.13	0.24
	70	0.35	0.13	0.24
	80	0.35	0.14	0.24
6	10	0.36	0.16	0.26
	20	0.37	0.17	0.26
	30	0.35	0.16	0.25
	40	0.36	0.16	0.25
	50	0.35	0.16	0.25
	60	0.35	0.15	0.25
	70	0.34	0.15	0.24
	80	0.35	0.14	0.25

ม้วนที่	วัดเมตรที่	ตำแหน่งซ้าย (มิลลิเมตร)	ตำแหน่งกลาง (มิลลิเมตร)	ตำแหน่งขวา (มิลลิเมตร)
7	10	0.37	0.16	0.26
	20	0.37	0.15	0.26
	30	0.36	0.15	0.26
	40	0.35	0.15	0.25
	50	0.36	0.14	0.25
	60	0.35	0.14	0.25
	70	0.35	0.13	0.25
	80	0.34	0.14	0.25
8	10	0.37	0.16	0.26
	20	0.37	0.15	0.26
	30	0.36	0.15	0.26
	40	0.36	0.16	0.25
	50	0.36	0.15	0.25
	60	0.35	0.14	0.25
	70	0.35	0.13	0.25
	80	0.35	0.13	0.25
9	10	0.37	0.17	0.26
	20	0.37	0.16	0.25
	30	0.36	0.16	0.26
	40	0.36	0.15	0.25
	50	0.36	0.14	0.25
	60	0.35	0.13	0.25
	70	0.35	0.14	0.24
	80	0.35	0.13	0.23
10	10	0.37	0.16	0.27
	20	0.37	0.16	0.27
	30	0.36	0.15	0.26
	40	0.36	0.15	0.26
	50	0.36	0.14	0.25
	60	0.35	0.14	0.25
	70	0.35	0.13	0.25
	80	0.35	0.13	0.24

ม้วนที่	วัดเมตรที่	ตำแหน่งซ้าย (มิลลิเมตร)	ตำแหน่งกลาง (มิลลิเมตร)	ตำแหน่งขวา (มิลลิเมตร)
10	10	0.37	0.16	0.27
	20	0.37	0.16	0.27
	30	0.36	0.15	0.26
	40	0.36	0.15	0.26
	50	0.36	0.14	0.25
	60	0.35	0.14	0.25
	70	0.35	0.13	0.25
	80	0.35	0.13	0.24



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายอภิชาต ชูทิพย์
วันเดือนปีเกิด	30 ตุลาคม 2534
ตำแหน่ง	วิศวกรชำนาญการ
ทุนการศึกษา (ถ้ามี)	-

ผลงานทางวิชาการ

“การพัฒนาคุณภาพกระบวนการผลิตยางรถยนต์โดยใช้หลักการพื้นผิวผลตอบสนอง” งานประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2560 (IE NETWORK 2018)

ประสบการณ์ทำงาน	พ.ศ. 2557 – ปัจจุบัน ตำแหน่ง วิศวกรชำนาญการ บริษัท ไทยบริดจสโตน จำกัด
-----------------	--