

การประยุกต์วิธีทางจุลเพื่อตรวจสอบปัจจัยที่มีผลต่อการปรับสมดุลของคลัตช์แรงเหวี่ยง

ศุภชัย ช่อทับทิม

TNII

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2565

APPLICATION OF TAGUCHI METHOD TO INVESTIGATE THE FACTORS OF CENTRIFUGAL
CLUTCH BALANCING

Supachai Chotabtim

TNII

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for The Degree of Master of Engineering Program in Engineering Technology

Graduate School
Thai-Nichi Institute of Technology
Academic Year 2022

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประยุกต์วิธีทางภูมิศาสตร์เพื่อตรวจสอบปัจจัยที่มีผลต่อการปรับ
สมดุลของคลัสเตอร์แรงเหวี่ยง

โดย

ศุภชัย ช่อทับทิม

สาขาวิชา

เทคโนโลยีวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย นิเวศน์รังสรรค์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.วรสาร ศรีเชวงทรัพย์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิตะพล หุยนันทน์)

.....กรรมการ

(ดร.วัชรินทร์ หนูทอง)

.....กรรมการ

(ดร.มรรณพ พักขาว)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย นิเวศน์รังสรรค์)

ศุภชัย ช่อทับทิม : การประยุกต์วิธีทางอุทกศาสตร์เพื่อตรวจสอบปัจจัยที่มีผลต่อการปรับสมดุลของ
คลัตช์แรงเหวี่ยง. อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย นิเวศน์รังสรรค์, 43 หน้า.

ความไม่สมดุลของคลัตช์แรงเหวี่ยงเกียร์อัตโนมัติเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงานของคลัตช์ เพื่อให้รถมีเสถียรภาพในการขับขี่มากยิ่งขึ้น ในกระบวนการผลิตจำเป็นต้องทำการปรับสมดุลเพื่อให้ค่าความไม่สมดุลของคลัตช์มีค่าน้อยที่สุด การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการปรับสมดุลคลัตช์และศึกษาอิทธิพลปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้คลัตช์เกิดความไม่สมดุลในชุดพู่เล่ที่ 2 หรือชุดพู่เล่ล้อหลัง (พู่เล่ สปริง และ ชุดคลัตช์) ของรถจักรยานยนต์เกียร์อัตโนมัติ เนื่องจากกระบวนการผลิตนี้มีผลผลิตต่ำ และเป็นกระบวนการที่เกิดคอขวด นอกจากนี้ถ้าชิ้นงานที่ปรับสมดุลไม่ผ่านจะต้องทำการปรับสมดุลซ้ำด้วยการเจาะลดน้ำหนักส่วนเกินออก การศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีทางอุทกศาสตร์ในการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลอง ปัจจัยของชิ้นส่วนที่มีผลต่อการปรับสมดุลของคลัตช์ประกอบด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ 1) ความไม่สมดุลของชุดส่วนประกอบหลักของคลัตช์ 2) ความไม่สมดุลของชุดส่วนประกอบย่อยของคลัตช์ และ (3) ความไม่สมดุลของสปริง การศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบทางอุทกศาสตร์ $L_8 (2^3)$ กำหนดค่าปัจจัยความไม่สมดุลไว้ 2 ระดับคือค่าต่ำและค่าสูง ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ปัจจัยที่ทำให้ค่าความไม่สมดุลของชุดพู่เล่ล้อหลังมีค่าน้อยที่สุด คือ ค่าความไม่สมดุลของชุดส่วนประกอบหลักของคลัตช์ที่มีค่าระดับปัจจัยต่ำเท่ากับ 5.01 g.cm ค่าความไม่สมดุลของชุดส่วนประกอบย่อยของคลัตช์ที่มีค่าระดับปัจจัยสูงเท่ากับ 6.03 g.cm และค่าความไม่สมดุลของสปริงที่มีค่าระดับปัจจัยสูงเท่ากับ 3.27 g.cm และชิ้นงานที่ต้องทำการสมดุลซ้ำลดลงจากเดิมที่ 60-65% เหลือเพียง 40%

บัณฑิตวิทยาลัย
สาขาวิชา เทคโนโลยีวิศวกรรม
ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อนักศึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

SUPACHAI CHOTABTIM : APPLICATION OF TAGUCHI METHOD TO INVESTIGATE
THE FACTORS OF CENTRIFUGAL CLUTCH BALANCING. ADVISOR : ASST.PROF.
DR.PORNCHAI NIVESRANGSAN, 43 PP.

The unbalance of automatic centrifugal clutch is the main factor for clutch operation and giving the motorcycle more stability in driving. In manufacturing process, it needs to balance the clutch in order to give a minimum unbalance value. This study aimed to improve clutch balance process and also study influence of various factors that cause the secondary pulley assembly (Pully, Spring and Clutch assembly) of automatic motorcycle to be imbalanced. This process is a bottleneck process with low productivity. In addition, the NG part needs to be rebalanced by drilling to reduce excess weight. Thus, this study was to design and analysis of experiment using Taguchi method. There are three factors that affect clutch balancing such as (1) Unbalancing of Clutch carrier assembly (2) Unbalancing of Clutch sub assembly and (3) Unbalancing of spring. This study was applied experimental design using Taguchi L8 (2^3) method with 2 levels of unbalanced values i.e. maximum and minimum. It is found that to minimize unbalance weight value of secondary pulley assembly. Unbalanced weight value of clutch carrier assembly was at minimum value of 5.01 g.cm. Unbalanced weight values of clutch sub assembly and spring were at maximum values of 6.03 and 3.27 g.cm, respectively. The rebalanced work of NG parts was found to reduce from 60-65% to 40% and also rework cost was improved.

Graduate School
Field of Engineering of Technology
Academic Year 2022

Student's Signature.....
Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำปรึกษาและคำแนะนำที่ดีเกี่ยวกับงานวิจัย และแนะนำแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ ในงานวิจัยจากอาจารย์ที่ปรึกษาผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย นิเวศน์รังสรรค์ ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิตะพล หุยนันทน์ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร) และกรรมการสอบ ดร.วัชรินทร์ หนูทอง และดร.มหรณพ พักขาว (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) รวมถึงอาจารย์ทุกท่านที่ได้กล่าวนามที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และคอยให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์กับงานวิจัย ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บริษัท Exedy (Thailand) ในความอนุเคราะห์เครื่องจักรสำหรับการทดลอง และชิ้นงานทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท Exedy Engineering Asia ที่ให้คำแนะนำในการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ที่สนับสนุน อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้จะ เป็นประโยชน์ต่อผู้ศึกษาไม่มากนักน้อยซึ่งขอกราบขอบพระคุณพ่อ แม่ ครอบครัว และเพื่อนๆ ทุกท่านทั้งที่กล่าวนามและมีได้กล่าวนามที่คอยให้กำลังใจ ให้คำปรึกษาและสนับสนุนในการทำงานจนดำเนินงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ศุภชัย ช่อทับทิม

TNI

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.5 แผนงานและระยะเวลาดำเนินการ.....	6
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ชิ้นส่วนของคลัตช์แรงเหวี่ยงอ้างอิงมาตรฐาน.....	7
2.2 หลักการทำงานการปรับสมดุลคลัตช์แรงเหวี่ยง.....	9
2.3 วิธีการของทาคุชิ.....	12
2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.5 สรุปรงานวิจัยที่ศึกษา.....	18
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	20
3.1 บทนำ.....	20
3.2 เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง.....	21
3.3 วิธีการของทาคุชิ.....	22
3.4 การวางแผนการทดลอง.....	23
3.5 การออกแบบการทดลอง.....	26

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	3.6 การทดลองและบันทึกผลการทดลอง	27
	3.7 การวิเคราะห์ผลตามขั้นตอนของวิธีทากูชิ.....	28
	3.8 การทำการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผลการทดลอง	29
4	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	30
	4.1 ผลการทดลอง.....	30
	4.2 การวิเคราะห์ผลตามขั้นตอนของวิธีทากูชิ.....	32
	4.3 การทดสอบเพื่อยืนยัน	37
5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	40
	5.1 สรุปผลการทดลอง.....	40
	5.2 ข้อเสนอแนะ	40
	บรรณานุกรม	41
	ประวัติย่อผู้วิจัย.....	43

TNI

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 แผนงานและระยะเวลาในการดำเนินงานปี พ.ศ. 2564 - 2565.....	6
2.1 ชิ้นส่วนคลัตช์อ้างอิงมาตรฐาน.....	8
2.2 ตัวอย่างการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการ Taguchi และ Full Factorial	13
2.3 การเลือกใช้ Standard Orthogonal Array.....	15
3.1 การคำนวณค่าความไม่สมดุลที่ได้จากการออกแบบ	24
3.2 แนวทางการทดลองของทากูชิ L8 standard Orthogonal Array	26
3.3 ปัจจัยและระดับของกระบวนการ.....	27
4.1 แนวฉากและผลการทดลอง.....	31
4.2 แนวฉากและผลการทดลองปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการปรับสมดุลคลัตช์.....	31
4.3 ผลตอบสนองของค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนระบบที่ระดับต่างๆ ของแต่ละปัจจัย.....	33
4.4 ผลการตอบสนองค่าเฉลี่ยความไม่สมดุลของแต่ละปัจจัยที่ระดับต่างๆ	35
4.5 ผลการทดสอบเพื่อยืนยันค่าปัจจัยที่เหมาะสม	37

สารบัญรูป

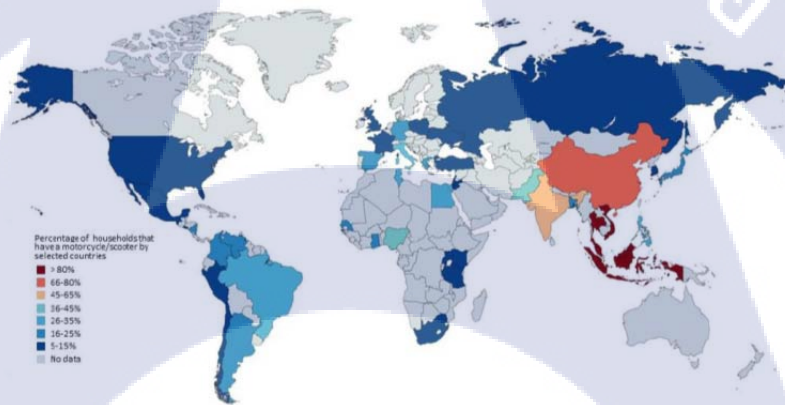
รูป	หน้า
1.1 ร้อยละของครัวเรือนที่มีรถจักรยานยนต์/สกูเตอร์ ปี 2557	1
1.2 การผลิตรถจักรยานยนต์ 5 อันดับแรกของโลก ในปี 2557-2562	1
1.3 ส่วนประกอบหลักของคลัตช์	2
1.4 กระบวนการประกอบของคลัตช์	4
1.5 กระบวนการทำงานของการปรับสมดุลคลัตช์.....	5
2.1 ชิ้นส่วนคลัตช์อ้างอิงมาตรฐาน.....	7
2.2 ชิ้นงานทดสอบปรับสมดุลคลัตช์.....	9
2.3 เครื่องปรับสมดุลแนวตั้ง	10
2.4 การปรับสมดุลของคลัตช์.....	11
2.5 ลักษณะการหมุนที่ (ก) สมดุลและ (ข) ไม่สมดุล	11
3.1 ชุดคลัตช์สำหรับรถจักรยานยนต์เกียร์อัตโนมัติ ขนาดความจุ 125 ซีซี.....	20
3.2 แผนภาพลำดับขั้นตอนการทำวิจัย	21
3.3 ส่วนประกอบย่อยของชุดคลัตช์มุมเลี้ยว.....	22
3.4 ปัจจัยและสิ่งรบกวนต่อกระบวนการ.....	23
3.5 วิธีการวัดระยะห่างระหว่างผ้าคลัตช์	24
3.6 ค่าความตึงฉากของแผ่นผ้าคลัตช์	25
4.1 ผลตอบสนองค่าเฉลี่ยอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนของระดับปัจจัยต่างๆ ของการปรับสมดุลของคลัตช์	34
4.2 กราฟผลตอบสนองค่าเฉลี่ยความไม่สมดุลของระดับปัจจัยต่างๆ ของการปรับสมดุล ของคลัตช์	35
4.3 ผลของอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่มีผลต่อการปรับสมดุลของคลัตช์.....	36
4.4 การเปรียบเทียบค่าความไม่สมดุลก่อนและหลังปรับปรุง	38

บทที่ 1

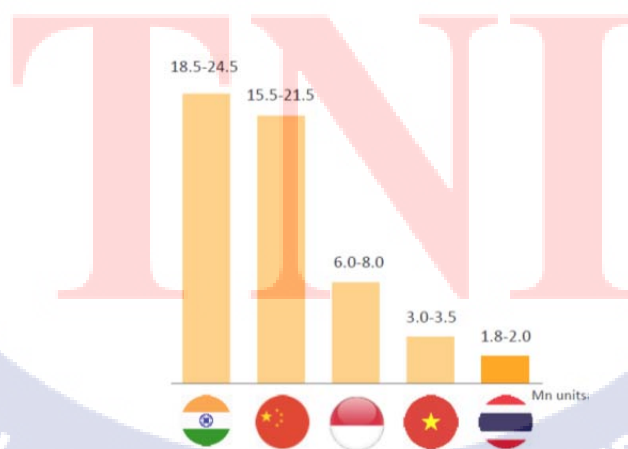
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ตลาดรถจักรยานยนต์ของโลกกระจุกตัวอยู่ในประเทศแถบภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก ดังรูปที่ 1.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีสัดส่วนการจำหน่ายในภูมิภาคนี้มากกว่า 80% ของปริมาณการจำหน่ายทั่วโลก ข้อมูลแต่ละปีจาก Statista ส่งผลทำให้ค่ายระดับโลกย้ายฐานการผลิตรถจักรยานยนต์เข้ามาอยู่ใกล้ตลาดเป้าหมายเพื่อลดต้นทุนในการขนส่ง ตั้งแต่ช่วงทศวรรษที่ 1960 เป็นต้นมา ฐานผลิตรถจักรยานยนต์ของโลกส่วนใหญ่จะอยู่ในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิกดังแผนภูมิรูปที่ 1.1 โดยไทยมีสถานะเป็นประเทศผู้ผลิตรถจักรยานยนต์ลำดับ 5 ของโลกรองจากจีน อินเดีย อินโดนีเซีย และเวียดนาม ตามลำดับ



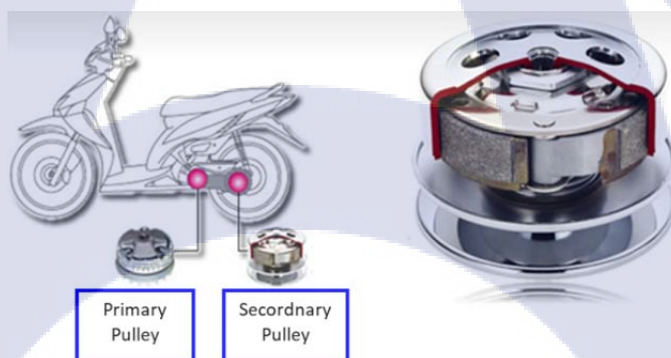
รูปที่ 1.1 ร้อยละของครัวเรือนที่มีรถจักรยานยนต์/สกูตเตอร์ ปี 2557



รูปที่ 1.2 การผลิตรถจักรยานยนต์ 5 อันดับแรกของโลก ในปี 2557-2562

ปัจจุบันรถจักรยานยนต์ที่ผลิตในประเทศไทยแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามนิยามของ The United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) ได้แก่ประเภท Moped หรือรถจักรยานยนต์ขนาดเล็กแบบครอบครัวยุโรปและเกียร์อัตโนมัติ ส่วนใหญ่มีความจุกระบอกสูบ 100-125 ซีซี. มีสัดส่วนมากกว่า 80% ของปริมาณการผลิตทั้งหมด เนื่องจากเป็นที่นิยมของตลาดในประเทศและประเภท Sport หรือ Big Bike ที่มีความจุกระบอกสูบ 248 ซีซี. ขึ้นไป

คลัตช์เป็นชิ้นส่วนสำคัญในรถจักรยานยนต์ ทำหน้าที่ในการตัดและต่อกำลังระหว่างชุดเฟืองเกียร์กับเครื่องยนต์ เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้รถมีเสถียรภาพในการขับขี่มากยิ่งขึ้น สำหรับของปัญหาคลัตช์ เมื่อยานพาหนะเริ่มหมุนการทำงานของคลัตช์ในบางครั้งจะเกิดการคลัตช์สั่นหรือกระตุก อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อส่วนประกอบของระบบขับเคลื่อนได้ การเกิดคลัตช์สั่นหรือกระตุกมักจะแสดงออกในรูปแบบของการสั่นสะเทือนที่มีเสียงดังของระบบขับเคลื่อน การสั่นสะเทือนเกี่ยวข้องกับแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของมวล ที่เกิดจากความไม่สมดุลของคลัตช์เกียร์อัตโนมัติที่มีการหมุน ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ Primary Pulley และ Secondary Pulley ดังรูปที่ 1.3



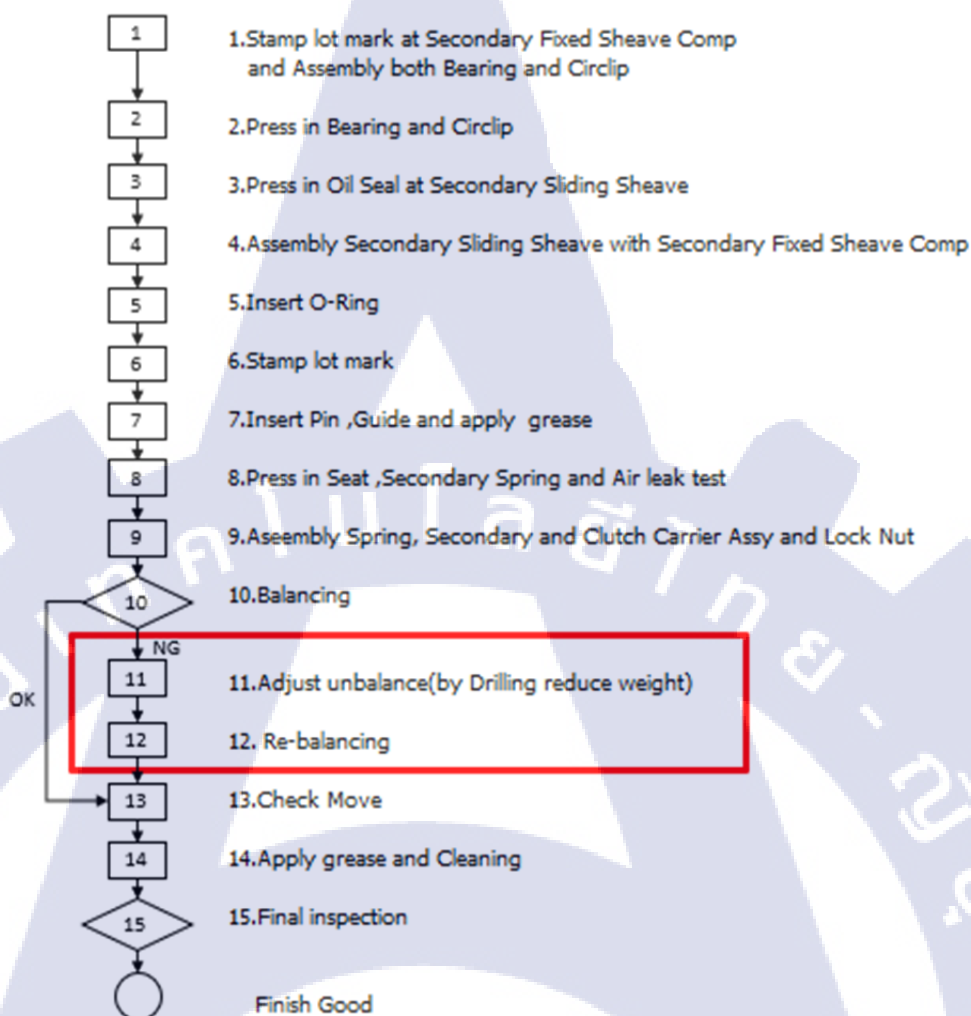
รูปที่ 1.3 ส่วนประกอบหลักของคลัตช์

การสมดุลชิ้นส่วนหมุนแบ่งเป็น การสมดุลสถิตย์ (Static Balancing) และการสมดุลแบบพลวัต (Dynamic Balancing) การสมดุลสถิตย์ คือ การสมดุลชิ้นงานเป็นระนาบ เช่น แผ่นจาน ใบพัดลม เพื่องเป็นต้น ซึ่งมีมิติด้านยาวตามแกนหมุนไม่มีผลต่อการสมดุล ส่วนการสมดุลพลวัตเป็นการสมดุลแบบ 2 ระนาบ ที่มีมิติด้านยาวตามแกนหมุนมีผลต่อการสมดุล [1] การสมดุลชิ้นส่วนหมุนสามารถกระทำได้ด้วยการเพิ่มมวลหรือเอามวลออกจากชิ้นส่วน ซึ่งจำเป็นต้องรู้ข้อมูลขนาดของมวลที่ไม่สมดุลและตำแหน่งที่ไม่สมดุลบนชิ้นงาน ข้อมูลเหล่านี้สามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้สัญญาณการสั่นสะเทือนและสัญญาณรอบการหมุน [2] การสั่นสะเทือนเนื่องจากการไม่สมดุลมวลของชิ้นส่วนหมุนเป็นปัญหาพื้นฐานที่พบได้มากที่สุด และเป็นปัญหาหลักของเครื่องจักรกลซึ่งเกิดขึ้นจากการที่จุดศูนย์ถ่วงไม่อยู่ที่จุดศูนย์กลางของการหมุน สาเหตุนี้

เกิดขึ้นได้จากการผลิต วัสดุมีความหนาแน่นไม่เท่ากันตลอดชิ้นงาน รูเจาะไม่ขนานกับแนวเส้นศูนย์กลาง การหมุน ความไม่สมบูรณ์ของกระบวนการผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างกลมหรือการเพิ่มขึ้นส่วนให้กับเครื่องจักร เป็นต้น

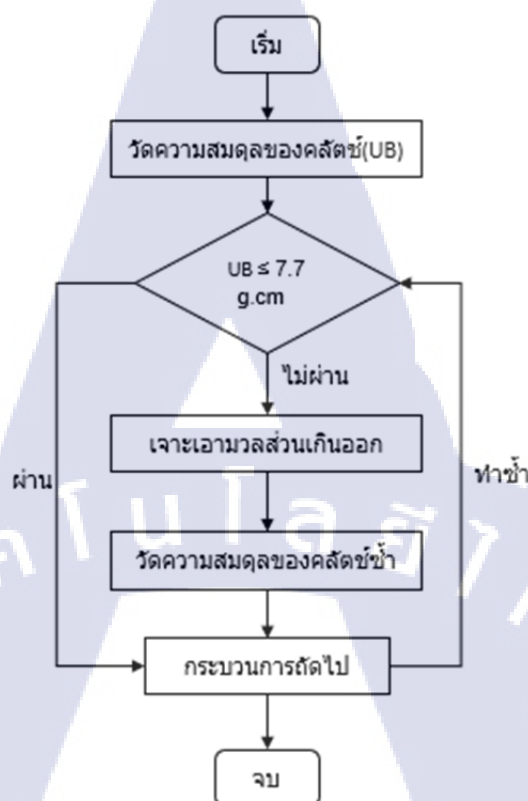
ปัจจุบันเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการปรับสมดุลคลัตช์จักรยานยนต์เกียร์อัตโนมัติ ใช้หลักการของการสมดุลชิ้นส่วนสมดุลสถิตย์ (Static Balancing) ด้วยเครื่องปรับสมดุลแกนแนวตั้ง (Vertical-Axis Balancing Machine) วิธีการปรับสมดุลคลัตช์จะเริ่มจากนำชิ้นส่วนเข้าเครื่องปรับสมดุลเครื่องจะทำการหมุนชิ้นส่วนด้วยความเร็ว 1,400 รอบต่อนาที เมื่อเสร็จแล้วเครื่องจะทำการประมวลผลลัพธ์ของมวลส่วนเกิน การเกิดความไม่สมดุลและตำแหน่งออกมาที่แสดงผลในหน้าจอแสดงผล เมื่อเครื่องตรวจพบงานเสียที่ไม่ได้ตามสเปคที่กำหนดไว้ จะต้องทำการเจาะเอามวลส่วนเกินออกด้วยเครื่องเจาะ (Drilling Machine) หลังจากนั้นกระบวนการสุดท้ายทำการปรับสมดุลซ้ำอีกครั้ง

จากกรณีศึกษา คลัตช์จักรยานยนต์เกียร์อัตโนมัติของบริษัทแห่งหนึ่ง พบว่า ปัญหาเรื้อรังที่พบในกระบวนการผลิตคลัตช์คือ การเกิดงานเสียที่จะต้องทำการปรับสมดุลซ้ำโดยการเอามวลของชิ้นส่วนออกโดยทำการปรับสมดุลด้วยความเร็วรอบสูงถึง 1,400 รอบต่อนาที การเก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิตคลัตช์สำหรับรถจักรยานยนต์ ขนาดความจุ 125 ซีซี พบว่ามีชิ้นงานดีที่ไม่ต้องผ่านการทำปรับสมดุลซ้ำโดยการลดน้ำหนักคือ ชิ้นงานดีคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 35% ถึง 40% และชิ้นงานที่มีค่าการปรับสมดุลไม่ได้ตามค่าที่กำหนดไว้คือน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7.7 g.cm ที่ต้องทำการปรับสมดุลซ้ำถึง 60% ถึง 65% การปรับสมดุลของคลัตช์เป็นกระบวนการลำดับที่ 11 และ 12 ของกระบวนการและขั้นตอนการประกอบคลัตช์ ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 กระบวนการประกอบของคลัตช์

กระบวนการปรับสมดุลของคลัตช์ จะวัดความสมดุลของคลัตช์ออกมาเป็นค่าความไม่สมดุล (Unbalance Value, UB) หากค่าที่วัดเกินค่าที่กำหนด (Specification) ไว้คือ ≤ 7.7 g.cm. จะต้องทำการเจาะเอามวลส่วนเกินออก หลังจากนั้นทำการปรับสมดุลซ้ำอีกครั้ง ดังรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 กระบวนการทำงานของการปรับสมดุลคลัตช์

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการลดของเสียจากการทำปรับสมดุลซ้ำของคลัตช์สำหรับจักรยานยนต์เกียร์อัตโนมัติ เนื่องจากกระบวนการปรับสมดุลมีปัญหางานต้องทำการแก้ไขที่ต้องทำการปรับสมดุลซ้ำโดยการเอามวลของชิ้นส่วนออก ดังนั้นผู้วิจัยต้องการปรับปรุงคุณภาพและลดของเสียจากการเกิดค่าความไม่สมดุลของคลัตช์ (เฉพาะชุดพู่เล่ด้านหลัง ยกเว้นชุดฝาครอบ) ทำให้สามารถเพิ่มการผลิตได้มากขึ้น ลดเวลาสูญเสีย และยังสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตของบริษัทได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อลดงานที่ต้องแก้ไขซ้ำ (Rework) จากกระบวนการปรับสมดุลซ้ำของคลัตช์ลดลง 30%
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและระบุปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเกิดค่าความไม่สมดุลของคลัตช์ ด้วยวิธีการของทากูชิ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	พ.ศ.2564							พ.ศ.2565						
	6	7	8	9	10	11	12	5	6	7	8	9	10	11
1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง														
2. ออกแบบระเบียบวิธีการวิจัยและดำเนินงาน														
3. เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล														
4. ปรับปรุงกระบวนการปรับสมดุล														
5. สรุปผลการทดลอง														
6. เขียนรูปเล่มงานวิจัย														
7. นำเสนอผลงาน														
8. ตีพิมพ์วารสารวิชาการ														

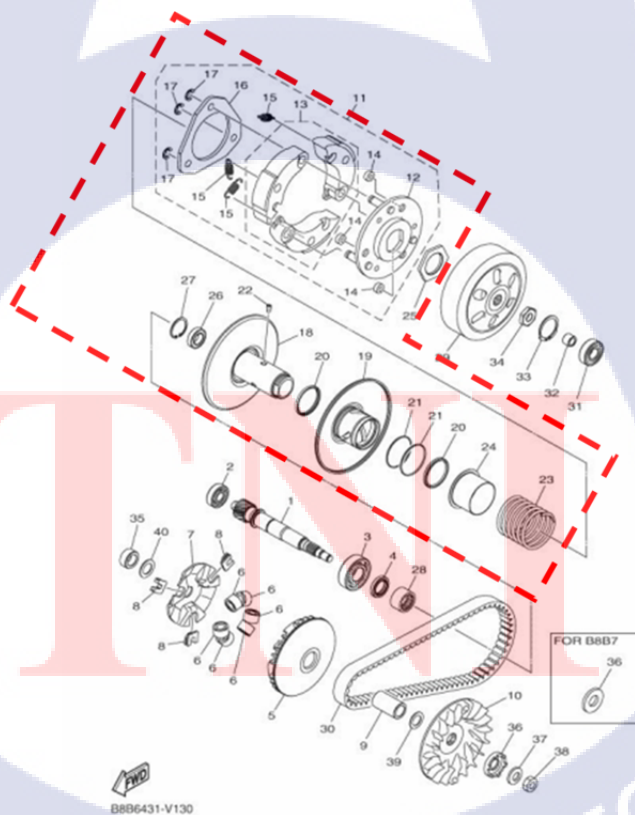
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับสมดุลคลัตช์แรงเหวี่ยงและหลักการทำงานของคลัตช์ได้นำเสนอตามลำดับหัวข้อดังนี้

2.1 ชิ้นส่วนของคลัตช์แรงเหวี่ยงอ้างอิงมาตรฐาน

คลัตช์เป็นชิ้นส่วนสำคัญในรถจักรยานยนต์ ทำหน้าที่ในการตัดและต่อกำลังระหว่างชุดเฟืองเกียร์กับเครื่องยนต์ คลัตช์เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้รถมีเสถียรภาพในการขับขี่มากยิ่งขึ้น ชิ้นส่วนของระบบขับเคลื่อนของคลัตช์มีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือชุดคลัตช์ขุมู่เล่ด้านหน้า และชุดคลัตช์ขุมู่เล่ด้านหลัง ดังรูปที่ 1.3 [3] และชิ้นส่วนมาตรฐานของคลัตช์อ้างอิงจากมาตรฐาน ดังรูปที่ 2.1 และตารางที่ 2.1 การศึกษาจะศึกษากระบวนการปรับสมดุลเฉพาะชุดคลัตช์ขุมู่เล่ด้านหลังของรถจักรยานยนต์ขนาด 125 cc. ตามที่ได้ขีดเส้นประกรอบสีแดง



รูปที่ 2.1 ชิ้นส่วนคลัตช์อ้างอิงมาตรฐาน

ตารางที่ 2.1 ชิ้นส่วนคลัตช์อ้างอิงมาตรฐาน

อ้างอิง	หมายเลขอะไหล่	รายละเอียด	จำนวนที่ใช้
11	B8B-E6620-00	ชุดผ้าคลัตช์รวมสปริง	1
12	2BL-E6631-10	แป้นคลัตช์แรงเหวี่ยง	1
13	B8B-WE662-00	ชุดผ้าคลัตช์ (3 ชิ้น)	1
14	2BL-E6629-00	ยางรองผ้าคลัตช์	3
15	B8B-E6626-00	สปริงผ้าคลัตช์	3
16	2PH-E6523-00	แผ่นความฝืดผ้าคลัตช์	1
17	BB9-E6819-00	คลีป	3
18	2BL-E7660-00	ล้อปรับความเร็วหลังตัวใน	1
19	2BL-E7670-00	ล้อปรับความเร็วหลังตัวนอก	1
20	2BL-E7465-00	ซีลน้ำมันล้อปรับความเร็วหลัง	2
21	2BL-E7465-11	ซีลน้ำมันล้อปรับความเร็วหลัง	2
22	52B-E7664-00	สลักตัวนำ	3
23	2BL-E7683-00	สปริง แป้นรอง	1
24	2BL-E7684-00	แป้นรองรับสปริง	1
25	2BL-E7668-00	น็อต	1
26	2BL-E7678-00	ลูกปืน	1
27	2BL-E5744-00	คลีป	1

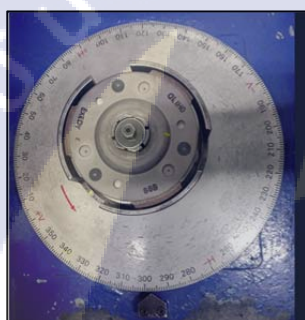
2.1.1 ชิ้นงานทดสอบปรับสมดุลคลัตช์

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกศึกษาเฉพาะชุดคลัตช์หมู่เล่หลัง (ยกเว้นชุดผ้าครอบ) เนื่องจากเป็นชุดสำคัญในการส่งถ่ายกำลังของคลัตช์แรงเหวี่ยงที่ทำให้รถมีเสถียรภาพในการขับเคลื่อนมากขึ้นและเป็นชิ้นส่วนที่ลูกค้ากำหนดค่าควบคุมไว้ ชุดคลัตช์หมู่เล่หลังประกอบไปด้วย 3 ชิ้นส่วนหลักคือ 1) ชุดส่วนประกอบหลักของคลัตช์ (Carrier assembly) 2) ส่วนประกอบย่อยของชุดคลัตช์ (Sub Assembly) 3) สปริง (Spring)

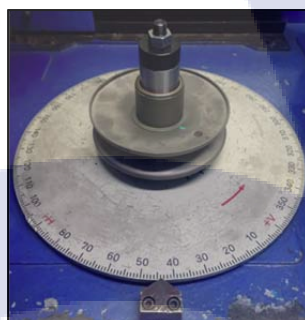
ชุดคลัตช์หมู่เล่หลัง (Secondary Pulley Assembly)



1. ชุดส่วนประกอบหลัก



2. ชุดส่วนประกอบย่อย



3. สปริง



รูปที่ 2.2 ชิ้นงานทดสอบปรับสมดุลคลัตช์

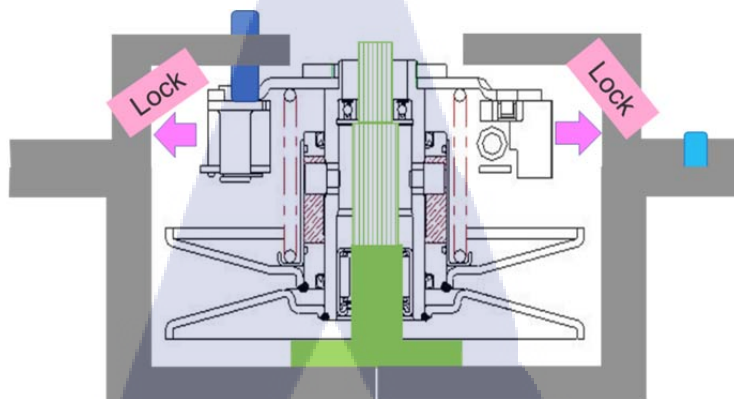
2.2 หลักการทำงานการปรับสมดุลคลัตช์แรงเหวี่ยง

ปัจจุบันกระบวนการปรับสมดุลคลัตช์รถจักรยานยนต์เกียร์อัตโนมัติจะใช้หลักการของสมดุลสถิตย์ ด้วยเครื่องปรับสมดุลแนวตั้งดังรูปที่ 2.3 วิธีการตรวจสอบค่าความไม่สมดุลของชุดคลัตช์จะเริ่มจากนำชุดคลัตช์เข้าเครื่องปรับสมดุล เมื่อชุดคลัตช์เริ่มหมุน ชุดแผ่นผ้าคลัตช์ (Shoe Clutch) ทั้ง 3 ชิ้นจะค่อยๆ เหวี่ยงออกเข้าไปล็อกกับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของจิกหรือฝาครอบชุดคลัตช์ดังรูปที่ 2.4 ขั้นตอนการตรวจสอบค่าความไม่สมดุลของชุดคลัตช์ดังรูปที่ 1.5 จะเริ่มต้นโดยเครื่องทดสอบจะทำการปรับสมดุลด้วยความเร็วรอบคงที่ 1,400 รอบต่อนาที ผลการตรวจสอบจะแสดงที่จอภาพ ถ้าหากค่าความไม่สมดุลเกินค่าที่กำหนดที่ 7.7 g.cm จะทำการเจาะเอาน้ำหนักส่วนเกินออกจากชุดคลัตช์และทำการปรับสมดุลชุดคลัตช์ซ้ำใหม่อีกครั้ง การพิจารณาว่าชิ้นงานดีหรือชิ้นงานที่ต้องทำซ้ำ (Rework) หรือชิ้นงานที่ต้องทำการปรับสมดุลซ้ำโดยพิจารณาจากผลการตรวจสอบค่าความไม่สมดุลของชุดคลัตช์ที่รอบแรกคือ

ชิ้นงานดีจะผ่านการปรับสมดุลเพียงรอบเดียว เนื่องจากค่าความไม่สมดุลมีค่าตามที่กำหนดไว้คือ ไม่เกิน 7.7 g.cm และส่วนของงานที่ต้องทำซ้ำ จะต้องผ่านกระบวนการปรับสมดุลซ้ำและเจาะเอาน้ำหนักส่วนเกินออก ซึ่งค่าความไม่สมดุลที่ไม่ได้ตามค่าที่กำหนดไว้ตั้งแต่ 7.7 g.cm ถึง 20 g.cm ผลการตรวจสอบพบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการปรับสมดุลเพียงรอบเดียวคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ประมาณ 35% ถึง 40% ของชิ้นงานทั้งหมด และชิ้นงานที่ต้องทำการปรับสมดุลซ้ำมีประมาณ 60% ถึง 65% ของชิ้นงานทั้งหมด ปัญหาของชิ้นงานที่ต้องปรับสมดุลซ้ำนี้ส่งผลให้ฝ่ายผลิตไม่สามารถประเมินการผลิตที่แน่นอนได้ และยังพบว่าหากกระบวนการผลิตนี้มีการที่ต้องทำซ้ำในปริมาณมากจะทำให้กระบวนการนี้เป็นคอขวด ชิ้นงานที่ต้องทำการปรับสมดุลซ้ำนี้อาจมีสาเหตุจากกระบวนการผลิตของแต่ละชิ้นส่วนย่อย เช่น ชิ้นงานมีรูปร่างไม่กลมตามแบบที่กำหนด รูปร่างของชิ้นส่วนมีความซับซ้อน ชิ้นส่วนเคลื่อนที่มีหลายชิ้น วัสดุมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน เป็นต้น การปรับสมดุลของชุดคลัตช์จะมีปัจจัยหลายอย่างส่งผลต่อค่าความไม่สมดุล ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกวิธีการทางสถิติเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการปรับสมดุล โดยการออกแบบแผนการทดลองตารางออร์ทोगอนอลหรือตารางแนวฉาก (Orthogonal Array)

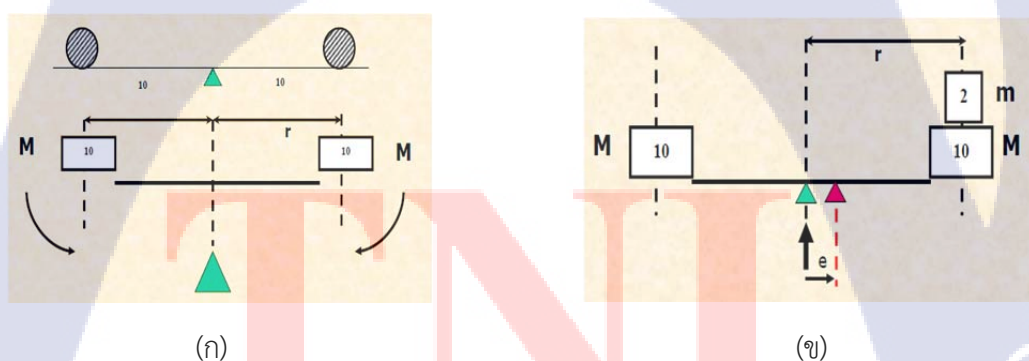


รูปที่ 2.3 เครื่องปรับสมดุลแนวตั้ง



รูปที่ 2.4 การปรับสมดุลของคลัตช์

เนื่องจากผลกระทบความไม่สมดุลจากแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force, F_c) ซึ่งโดยปกติแล้วนั้น ความไม่สมดุลของเครื่องจักรและชิ้นส่วนหมุนเกิดจาก เฟลา, ใบพัด, Rotor หรือ ชิ้นส่วนหมุนต่างๆ ถ้าชิ้นส่วนหมุนเหล่านี้อยู่ในสภาพสมดุล จะทำให้เส้นแกนของมวล (Center of Gravity Axis - cm.) อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของกลางหมุนดังรูปที่ 2.5 (ก) แต่ถ้าชิ้นส่วนหมุนเหล่านี้ เกิดความไม่สมดุลขึ้น เช่น มวลของชิ้นส่วนต่างๆ ไม่สมมาตร ซึ่งเกิดจากการที่มีมวลส่วนเกินหรือมวลเดิมหายไปทำให้เกิดแรงเหวี่ยงที่ไม่สมดุลเกิดขึ้น ทำให้เส้นแกนของมวลเลื่อนไปจากตำแหน่งเดิม ไม่อยู่ในตำแหน่งเดียวกันกับเส้นแกนของการหมุน (Rotational Axis) ดังรูปที่ 2.5 (ข)



รูปที่ 2.5 ลักษณะการหมุนที่ (ก) สมดุลและ (ข) ไม่สมดุล

หลักการวัดค่าความไม่สมดุลของเครื่องปรับความสมดุลของคลัตช์จะวัดออกมาเป็นแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) เป็นค่าความไม่สมดุล Unbalance [4] โดยที่

$$F_c = mr\omega^2 \quad (2.1)$$

เมื่อ F_c คือ แรงเหวี่ยงศูนย์ (Centrifugal Force)

m คือ มวล (g)

r คือ รัศมีจากจุดศูนย์กลางมวล (cm)

ω^2 คือ ความเร็วรอบในการหมุนของการปรับสมดุลคลัตช์ สำหรับเครื่องปรับสมดุลคลัตช์มีค่าคงที่ 1400 รอบ/นาที

ชนิดของความไม่สมดุล

การเสียสมดุลของเครื่องจักรกลหมุน สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ การเสียสมดุลสถิต (Static Unbalance) คือการสมดุลชิ้นงานแนวระนาบ เช่น แผ่นจาน ใบพัด เฟือง รวมถึงคลัตช์ เป็นต้น ซึ่งมีมิติด้านยาวของแกนหมุนไม่มีผลต่อการสมดุล

การเสียสมดุลพลวัต (Dynamics Unbalance) คือ ระนาบที่มีมิติด้านยาวตามแกนหมุนมีผลต่อการสมดุล

จากกรณีศึกษา ปัจจุบันในอุตสาหกรรมการผลิตชุดคลัตช์รถจักรยานยนต์เกียร์อัตโนมัติ เลือกใช้วิธีการสมดุลแบบ Static Unbalance เนื่องจากชุดคลัตช์ใช้หลักการแรงเหวี่ยงในแนวระนาบ แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจากความไม่สมดุลในการหมุนนั้นส่งผลทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้นและจากสมการที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น ทำให้มีแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมากขึ้น การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นก็จะสูงขึ้นตามความเร็วรอบในการหมุน ซึ่งทำให้รถจักรยานยนต์ขาดเสถียรภาพในการขับขี่

2.3 วิธีการของทาгуชิ

วิธีการของทาгуชิเป็นรูปแบบการทดลองหนึ่งที่ยอมรับกันมาก เนื่องจากมีข้อได้เปรียบ คือ มีตารางสำเร็จรูปให้เลือกใช้ ทำให้มีความง่ายในการวิเคราะห์ผลโดยไม่ต้องใช้การแจกแจงทางสถิติ และตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน วิธีการทาгуชิสามารถใช้จำนวนการทดลองน้อยลง เมื่อเทียบกับ One-Factor-at-a-Time และ Full Factorial Combination ทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลอง [5]

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการ Taguchi และ Full Factorial

ปัจจัย	ระดับ	Full Factorial	Taguchi Factorial
3	2	8	4
4	3	81	9
5	4	1024	16
6	5	15635	25
15	2	32768	16

ดร.เจนอิชิ ทากูชิ ได้นำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาแบบต่างๆ ซึ่งได้รวบรวมและอ้างถึงในมุมมองเฉพาะที่เรียกว่า ปัญหาการออกแบบพารามิเตอร์ที่คงทน (Robust Parameter Design Problem, RPD Problem) โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. การออกแบบระบบ (ผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการ) ที่ไม่ตอบสนองต่อปัจจัยแวดล้อมที่เปลี่ยนไป แต่สามารถส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพของระบบ
2. การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของระบบ
3. ออกแบบกระบวนการ เพื่อให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ตามเป้าหมายที่ต้องการให้ได้มากที่สุด
4. การกำหนดเงื่อนไขในการปฏิบัติการสำหรับกระบวนการ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่มีค่าใกล้เคียงกับเป้าหมายที่ตั้งไว้ และความผันแปรของสิ่งแวดล้อมมีผลกระทบต่อค่าเป้าหมายที่ต้องการน้อยที่สุด

ดร.ทากูชิ ได้จำแนกตามลักษณะทางคุณภาพ แบ่งได้เป็น 3 กรณี คือ

- (i) กรณีค่ายิ่งมากยิ่งดี (Larger-the Better) เช่น ระยะทางที่รถวิ่งได้ต่อลิตร (กิโลเมตร) ผลผลิตที่ผลิตได้ (Yield (%))
- (ii) กรณีค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller-the Better) เช่น ความเข้มข้นก๊าซพิษในอากาศ (%) ของเสียในกระบวนการผลิต (%)
- (iii) กรณีค่าตรงเป้าหมายดีที่สุด (Nominal-the Better) เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของการเจาะปริมาตรบรรจุแป้งเด็ก ค่าความต้านทานแรงดึงของใยผ้า

2.3.1 กลยุทธ์ตามวิธีทากูชิ

ความสูญเสีย (Loss) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการ เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ความต้องการในตัวผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไปในทางที่ดีหรือไม่ดี ดังนั้นปรัชญาการออกแบบการทดลองของทากูชิ จึงมีวัตถุประสงค์หลักในการทำให้ค่าคาดคะเนของความสูญเสียมีค่าต่ำสุด [6] (Minimizing the Expected Loss)

$$\text{Expected Loss: } L(X, W) = E[y - \tau]^2$$

เมื่อ X คือ ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors)

W คือ ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Noise Factors)

τ คือ ค่าเป้าหมาย

Y คือ ลักษณะทางคุณภาพที่ศึกษา (Quality Characteristic)

$L(X, W)$ คือ ค่าคาดคะเนของค่าความสูญเสีย = $k E[y - \tau]^2$

ค่าคาดคะเนของความสูญเสีย มีองค์ประกอบที่อธิบายได้สองส่วนคือ ความแปรปรวน Y และค่ากำลังสองของค่าเบี่ยงเบนของค่าเฉลี่ยจากค่าเป้าหมาย แนวความคิดดังกล่าวนำไปสู่การสร้างตัววัด (Performance Measure) ของวิธีทากูชิ คือ “ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน” (Signal-to-Noise Ratios) ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 กรณี ตามรูปดังนี้ คือ

(i) กรณีค่ายิ่งมาก ยิ่งดี (Larger-the-Better)

$$S/N_L = -10 \log(\sum_{i=1}^n 1/y_i^2)/n \quad (2.2)$$

(ii) กรณีค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller-the-Better)

$$S/N_S = -10 \log(\sum_{i=1}^n y_i^2 / n) \quad (2.3)$$

(iii) กรณีค่าตรงเป้าหมายดีที่สุด (Nominal-the-Better)

$$S/N_\tau = 10 \log(\bar{y}^2 / s^2) \quad (2.4)$$

เมื่อ y_i คือ ผลการทดลองแต่ละครั้ง

$\bar{y}$ คือ ค่าเฉลี่ยผลการทดลอง

S คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ในปัจจุบันสูตร S/N ได้ปรับเปลี่ยนให้มีความแตกต่างไปตามการนำไปประยุกต์ใช้

2.3.2 แผนการทดลองของทาคุชิ

เจนอิชิ ทาคุชิ ได้เสนอวิธีการแก้ปัญหาแบบต่างๆ ซึ่งได้รวบรวมและอ้างถึงในมุมมองเฉพาะที่เรียกว่า ปัญหาการออกแบบพารามิเตอร์ที่คงทน (Robust Parameter Design Problem, RPD Problem) โดยวัตถุประสงค์ดังนี้

- 1) การออกแบบ (ผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการ) ที่ไม่ตอบสนองต่อปัจจัยแวดล้อมที่เปลี่ยนไป แต่สามารถส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพของระบบ
- 2) การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของระบบ
- 3) ออกแบบกระบวนการ เพื่อให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ตามเป้าหมายที่ต้องการได้มากที่สุด
- 4) การกำหนดเงื่อนไขในการปฏิบัติการสำหรับกระบวนการ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่มีค่าใกล้เคียงกับเป้าหมายที่ตั้งไว้ และความผันแปรของสิ่งแวดล้อมมีผลกระทบต่อค่าเป้าหมายที่ต้องการน้อยที่สุด

จากตารางที่ 2.3 วิธีทาคุชิออกแบบการทดลองโดยใช้การออกแบบตาม Standard Orthogonal Array ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือก Orthogonal Array L8 เนื่องจากสนใจปัจจัย 3 ปัจจัย และระดับปัจจัย 2 ระดับ อีกทั้ง L8 ยังเหมาะสมกับการทดลองในครั้งนี้เพราะสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซื้อชุดคลัสต์ ที่มีราคาค่อนข้างสูงในการทดลองอีกด้วย

ตารางที่ 2.3 การเลือกใช้ Standard Orthogonal Array

Orthogonal Array	จำนวนแถว	จำนวนปัจจัยสูงสุด	จำนวนสูงสุดของคอลัมน์ที่ 3 ระดับ			
			2	3	4	5
L4	4	3	3	-	-	-
L8	8	7	7	-	-	-
L9	9	4	-	4	-	-
L12	12	11	11	-	-	-
L16	16	15	15	-	-	-
L16	16	5	-	-	5	-

ตารางที่ 2.3 การเลือกใช้ Standard Orthogonal Array (ต่อ)

Orthogonal Array	จำนวนแถว	จำนวนปัจจัยสูงสุด	จำนวนสูงสุดของคอลัมน์ที่ 3 ระดับ			
			2	3	4	5
L18	18	8	1	7	-	-
L25	25	6	-	-	-	6
L27	27	13	-	13	-	-
L32	32	31	31	-	-	-
L32	32	10	1	-	9	-
L36	36	23	11	12	-	-
L36	36	16	3	13	-	-
L50	50	12	1	-	-	11
L54	54	26	1	25	-	-
L64	64	63	63	-	-	-
L64	64	21	-	-	21	-
L81	81	40	-	40	-	-

2.3.3 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ด้วยวิธีทาคุชิ

การวิเคราะห์ของวิธีทาคุชิ มีวัตถุประสงค์ที่กำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากระดับ (ค่า) ที่ทำให้ค่าตัววัดของวิธีทาคุชิ คือ Signal-to-Noise Ratio (S/N) มีค่าสูงสุด คือ จุดที่ให้ค่า (Max {S/N} ณ วิธีปฏิบัติของกลุ่มปัจจัยนั้นๆ) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 7 ขั้นตอน [7] ดังนี้

- (i) กำหนดค่าตอบสนอง (y) ที่ใช้วัดผลและวิเคราะห์ปัจจัยเบื้องต้น
- (ii) ระบุปัจจัยแยกเป็น 2 กลุ่ม คือปัจจัยที่ควบคุมได้ และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (กรณีที่ไม่สามารถควบคุมได้ ถ้าสามารถวัดค่าได้ขณะทดลองให้ทำการวัดค่าด้วย)
- (iii) ระบุแผนการทดลองที่ใช้สำหรับ Design Matrix (Inner Array) และ Noise Matrix (Outer Array) ซึ่งส่วนใหญ่แผนการทดลองที่ใช้ในแต่ละเมตริกซ์มักจะใช้แผนที่ทดลองน้อย เช่น การทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน การทดลองแบบ Orthogonal (เนื่องจากการทดลองที่สมบูรณ์ของวิธีทาคุชิ มีค่าเท่ากับจำนวนแถวของ Design Matrix คูณด้วยจำนวนแถวของ Noise Matrix)
- (iv) ทำการทดลองเก็บรวบรวมข้อมูลและคำนวณค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนระบบ (Signal-to-Noise Ratio, S/N) ตามวัตถุประสงค์ของคุณภาพของระบบที่ศึกษา คือ Larger-the-Better, Smaller-the-Better หรือ Nominal-the-Best (Target-the-Best)

(v) กรณีศึกษาลักษณะทางคุณภาพ 2 กรณีแรก (Larger-the-Better) หรือ Small-the-Better หลังจากคำนวณ S/N_L หรือ S/N_S แล้ว (ข้ามไปขั้นตอนที่ vii) กำหนด Combinations ของปัจจัยที่ทำให้ค่า S/N สูงสุด ส่วนกรณีที่ค่าเป้าหมายดีที่สุด (Target-the-Better) ให้ทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (ANOM : Analysis of Mean) เพื่อระบุปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยเพียงอย่างเดียวเพื่อใช้ “ตัวแปรปรับค่า” (Adjustment Variable) เพื่อปรับให้ค่าตอบสนอง มีค่าตรงกับเป้าหมาย (หรือใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายมากที่สุด)

(vi) กำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ณ จุดที่ทำให้ค่า $\text{Max } \{S/N\}$ ยกเว้นตัวแปรที่ใช้ในการปรับค่า (Adjustment Variable) ให้กำหนดระดับ ณ จุดที่ทำให้ค่าตอบสนองเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงค่าเป้าหมายมากที่สุด โดยสร้างสมการพยากรณ์ความสัมพันธ์ตามหลักการออกแบบการทดลอง

(vii) ในระดับปฏิบัติการจริง ทำการทดลองเพื่อยืนยันผล ว่าค่าที่กำหนดเป็นค่าที่ดีที่สุดจริง (Confirmation Runs)

2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 งานวิจัยวิธีการทางทฤษฎี

E. Toma [8] ได้ประยุกต์วิธีทางทฤษฎีเพื่อใช้หาเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อกระบวนการเชื่อมดรัมคลัตช์สำหรับชุดส่งกำลังของรถยนต์ เนื่องจากขนาดของชิ้นงานที่ผลิตได้มีค่าเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเสีรูปของฟันของดรัมคลัตช์ โดยได้กำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษา 8 ตัว แต่ละตัวจะแบ่งออกเป็น 3 ระดับ และใช้ตารางแนวฉาก L18 สำหรับทำการทดลอง โดยการเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดจะพิจารณาที่ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน ที่เงื่อนไขยิ่งมากยิ่งดี (Larger-the-Better) การศึกษานี้พบว่าการประยุกต์ใช้วิธีทางทฤษฎีทำให้ได้เงื่อนไขที่เหมาะสมต่อกระบวนการเชื่อมดรัมคลัตช์ ซึ่งทำให้ความสามารถของกระบวนการเพิ่มขึ้น และต้นทุนการผลิตลดลงด้วย

D. C. Montgomery [9] ได้ประยุกต์ใช้วิธีทางทฤษฎีเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมในการออกแบบระบบแดมเปอร์รับแรงบิดของจานคลัตช์ (Clutch Disk Torsional Damping) ในอุตสาหกรรมยานยนต์ เพื่อนำปัจจัยที่เหมาะสมไปพัฒนาระบบคลัตช์ การศึกษานี้จะศึกษาชุดสปริงรับแรงบิดกับชุดผ้าคลัตช์ที่รับแรงเสียดทาน โดยอินพุตคือความแปรผันเชิงมุมของชุดล้อต้นกำลังของเครื่องยนต์ (Engine Angular Variation) ที่ความเร็ว 500-2500 รอบต่อนาที และเอาต์พุตคือความผันแปรการลดทอนเชิงมุมของเพลาส่งกำลัง (Transmission Angular Variation) การศึกษานี้ได้กำหนดปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) ไว้ 4 ค่า คือค่าคงที่ของสปริง แบ่งออกเป็น 6 ระดับ ค่ามุมที่จุดเริ่มต้นของชุดผ้าคลัตช์ แบ่งออกเป็น 3 ระดับ แรงเสียดทาน (Newton) แบ่งออกเป็น 3 ระดับ และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (%) แบ่งออกเป็น 3 ระดับ และได้กำหนดปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Noise Factors) คือความผันแปรของค่าคงที่

สปริง (Variation of K Spring) และความผันแปรในการขับชี่ (Variation of K Vehicle) โดยพิจารณาผลของค่าสูงสุดระหว่างความแปรผันเชิงมุมของชุดล้อต้นกำลังของเครื่องยนต์และความผันแปรการลดทอนเชิงมุมของเพลาส่งกำลัง ซึ่งการวิเคราะห์นี้จะใช้ตารางแนวนอก L18 เพื่อวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน โดยใช้เงื่อนไขค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller-the-better) จากผลการศึกษาพบว่า การใช้วิธีทากูชิเพื่อหาเงื่อนไขในการออกแบบระบบแดมเปอร์รับแรงบิดของจานคลัตช์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์

2.4.2 งานวิจัยกระบวนการปรับสมดุล

พรชัย นิเวศน์รังสรรค์ และสุรัตน์ คัมกระทิก [10] ได้ทำการศึกษาออกแบบและพัฒนาชุดปฏิบัติการสมดุลของเพล่าเพื่อใช้เป็นชุดปฏิบัติสำหรับการสอนของนักศึกษา โดยประกอบด้วยชุดเพล่า หัววัดการสั่นสะเทือน พร็อกซิมีตี้สวิทช์ ชุดอุปกรณ์เก็บข้อมูล คอมพิวเตอร์ และโปรแกรม LabVIEW ชุดทดลองสามารถวิเคราะห์ปัญหาสมดุลพลวัตด้วยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปรควบคู่ ซึ่งผลการทดลองสามารถวิเคราะห์ความถี่ที่ 1xRPM พบว่าแอมพลิจูดของการสั่นลดลงมากกว่า 83%

เกศรินทร์ บรรลุศิลป์ [11] ได้ทำการศึกษาปรับปรุงกระบวนการวัดและปรับสมดุลของดิสก์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เนื่องจากกระบวนการนี้มีอัตราผลผลิตต่ำและเวลาในกระบวนการเป็นคอขวดเนื่องจากจำนวนของครั้งการเคาะชิ้นงานเพื่อการปรับสมดุลของดิสก์ไม่เท่ากัน การปรับปรุงกระบวนการผลิตนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการปรับความสมดุลของดิสก์ทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ (1) รูปแบบการวางแผ่นดิสก์และแกนของสปินเดิลมอเตอร์ 5 รูปแบบ (2) ปัจจัยมุมมองในการเคาะ 2 ระดับ (3) ความสูงของฟินเคาะที่ 2 ระดับ วิเคราะห์ผลข้อมูลโดยวิธีการทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มี 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปรับสมดุลของดิสก์คือรูปแบบการวางดิสก์ให้ชิดขอบแกนของสปินเดิลหนึ่งด้าน และที่มุมมองในการเคาะ 0 องศา จะให้ค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งของการเคาะเพื่อปรับความสมดุลของดิสก์น้อยที่สุด สามารถลดค่าเฉลี่ยในการเคาะเพื่อปรับสมดุลจาก 7 ครั้ง เป็น 5 ครั้ง อัตราผลผลิตเพิ่มจาก 97.45% เป็น 99.30% ทำให้ผลผลิตของกระบวนการปรับสมดุลของดิสก์เพิ่มขึ้น 72.33%

2.5 สรุปงานวิจัยที่ศึกษา

จากปัญหาเรื่องในกระบวนการผลิตคลัตช์ มีงานต้องแก้ไขหรืองานที่จะต้องทำการปรับสมดุลซ้ำโดยการเอามวลของชิ้นส่วนออกประมาณ 60% ถึง 65% ดังนั้นผู้วิจัยต้องการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการปรับสมดุลของคลัตช์ที่มีส่วนประกอบหลัก 3 ชิ้นส่วนคือ 1) ชุดส่วนประกอบหลักของคลัตช์ (Carrier Assembly) 2) ส่วนประกอบย่อยของชุดคลัตช์ (Sub Assembly) 3) สปริง (Spring) โดยการออกแบบการทดลองของทากูชิและการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสม

ที่สุด เพื่อที่จะทำให้ค่าความไม่สมดุลของชุดมู่เล่้อหลังมีค่าน้อยที่สุด และสามารถลดงานแก้ไขหรืองาน
ทำซ้ำในกระบวนการผลิตคลัตช์ได้



บทที่ 3

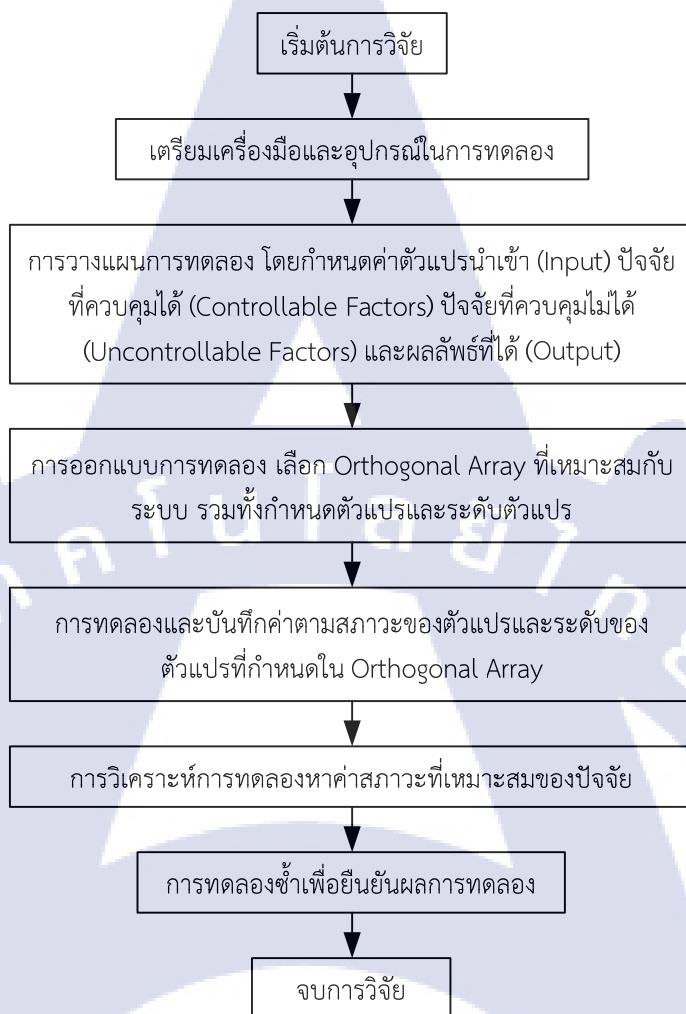
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการปรับสมดุลของคลัตช์แรงเหวี่ยงของกระบวนการปรับสมดุลคลัตช์ เพื่อปรับปรุงคุณภาพและลดจำนวนของเสียในกระบวนการปรับสมดุล โดยการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้วิธีของทากูชิ เพื่อวิเคราะห์และตัดสินใจความสัมพันธ์ของปัจจัยต่อผลตอบสนองของกระบวนการ เพื่อกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสม เครื่องปรับสมดุลที่ใช้ในการทดลองยี่ห้อ Nagahama Vertical-Axis Static Balancing Machine Series: MMi-901 โดยมีแกนหมุนตามแนวตั้งดังรูปที่ 2.3 อ้างอิงบทที่ 2 ใช้สำหรับตรวจสอบความไม่สมดุลของชุดคลัตช์แรงเหวี่ยง มู่เล่หลังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 125 มิลลิเมตรดังรูปที่ 3.1 สำหรับรถจักรยานยนต์ความจุ 125 ซีซี และความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนปรับสมดุล 1,400 รอบต่อนาที การทดลองเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการปรับสมดุลและสามารถเขียนอธิบายเป็น Flow Chart ดังรูปที่ 3.2 อ้างอิงในบทที่ 2 มีรายละเอียดดังนี้ การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ การวางแผนการทดลอง การออกแบบการทดลอง การทดลองและบันทึกผล การวิเคราะห์ผล และการทำการทดลองซ้ำ



รูปที่ 3.1 ชุดคลัตช์สำหรับรถจักรยานยนต์เกียร์อัตโนมัติ ขนาดความจุ 125 ซีซี



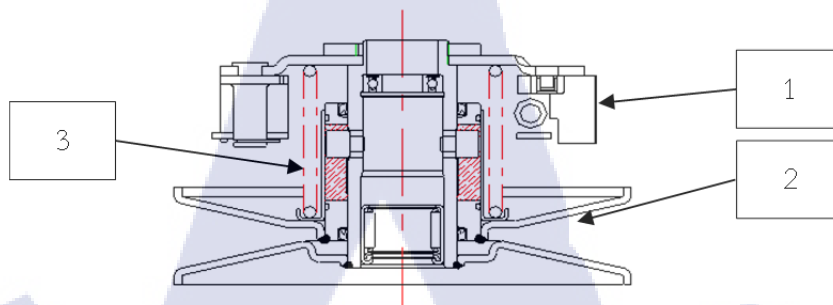
รูปที่ 3.2 แผนภาพลำดับขั้นตอนการทำวิจัย

3.2 เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

3.2.1 การเลือกชนิดของคลัตช์รุ่นที่ต้องการศึกษา การศึกษานี้เลือกคลัตช์สำหรับรถจักรยานยนต์เกียร์อัตโนมัติ ขนาดความจุ 125 ซีซี ดังรูปที่ 3.1 โดยจะพิจารณาเฉพาะชุดมู่เล่ล้อหลังซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักๆ 3 ส่วน ดังรูปที่ 3.3 คือ 1) ชุดส่วนประกอบหลักของคลัตช์ (Carrier Assembly) 2) ส่วนประกอบย่อยของชุดคลัตช์ (Sub Assembly) 3) สปริง (Spring)

3.2.2 การออกแบบจิ๊ก การปรับสมดุลชุดคลัตช์จะใช้ชุดจิ๊กเพื่อทำการปรับสมดุลชิ้นส่วนหลักทั้ง 3 ส่วน และเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์ในการทดลองคือ เครื่องถ่วงสมดุลคลัตช์และเครื่องมือวัดตรวจสอบชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.4

ชุดคลัตช์หมู่เล่หลัง
(Secondary Pulley Assembly)



1. ชุดส่วนประกอบหลัก



2. ชุดส่วนประกอบย่อย



3. สปริง



รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบย่อยของชุดคลัตช์หมู่เล่หลัง

3.2.3 เครื่องปรับสมดุลที่ใช้ในทดสอบ Nagahama Vertical-Axis Static Balancing Machine Series : MMi-901 ดังรูปที่ 2.3 อ้างอิงบทที่ 2 โดยมีหลักการปรับสมดุลคลัตช์แรงเหวี่ยง ซึ่งเมื่อชุดคลัตช์หมุน ขาจับจะกางออกมาจับกับชุดฝาครอบดังรูปที่ 2.4 อ้างอิงในบทที่ 2

3.2.4 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยเป็นโปรแกรม Minitab เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปหรือเครื่องมือสำหรับคำนวณข้อมูลทางสถิติและพล็อตกราฟแสดงผลการวิเคราะห์

3.3 วิธีการของทากูชิ

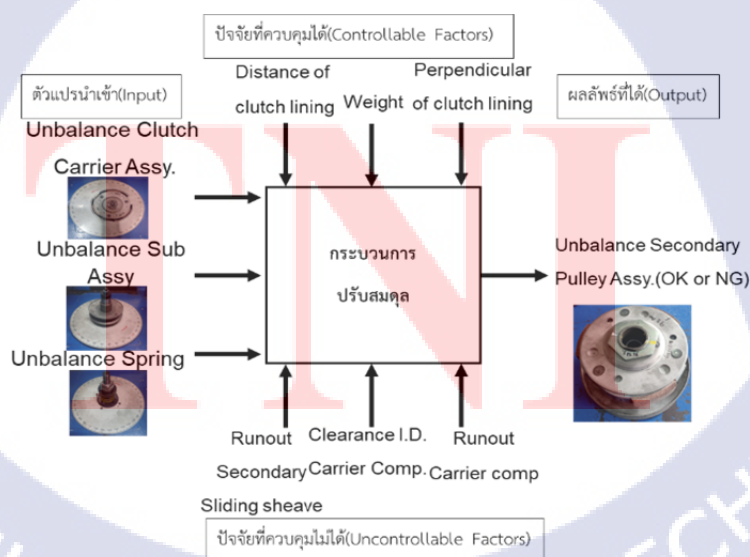
วิธีการของทากูชิเป็นเครื่องมือเชิงคุณภาพเป็นการลดการสูญเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ได้คุณภาพตามเป้าหมาย และเป็นเครื่องมือที่ช่วยปรับปรุงและพัฒนากระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเลือกปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการโดยการออกแบบแผนการทดลองด้วยตารางแนวฉาก เพื่อลดจำนวนการทดลองให้เหมาะสมกับเงื่อนไขที่กำหนดการลดของเสียในกระบวนการผลิต เป็นต้น การใช้วิธีการนี้จำเป็นต้องกำหนดตัวแปร และปัจจัยต่างๆ รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ การวิเคราะห์ข้อมูลของทากูชิ เพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากระดับที่ทำให้

มีผลต่อค่าตัววัดของทากูชิ คืออัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (Signal-to-Noise Ratio, S/N) มีค่าสูงสุด ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 กรณี คือ กรณียิ่งมากยิ่งดี (Larger-the-Better), กรณีค่าน้อยยิ่งดี (Smaller-the-Better) และกรณีค่าตรงเป้าหมายดีที่สุด (Nominal-the-Best) ซึ่งแต่ละวิธีจะมีวิธีวิเคราะห์ค่า S/N ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ตามสมการที่ 2.1-2.3 ตามลำดับ

3.4 การวางแผนการทดลอง

3.4.1 ปัจจัยและการประเมินผลการตอบสนองของกระบวนการ

ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ พิจารณาจากกระบวนการผลิตจริงของกระบวนการปรับสมดุลคลัตช์ ปัจจัยของชิ้นส่วนที่มีผลต่อการปรับสมดุลของคลัตช์ประกอบด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ 1) ความไม่สมดุลของชุดส่วนประกอบหลักของคลัตช์ (UB Clutch Carrier Assy.) ซึ่งชุดส่วนประกอบนี้ทำหน้าที่หลักในการตัดและต่อกำลังของคลัตช์ 2) ความไม่สมดุลของชุดส่วนประกอบย่อยของคลัตช์ (UB Sub Assy.) โดยชุดส่วนประกอบนี้ทำหน้าที่หลักในการรับแรงจากสายพานมู่เล่ล้อหลัง และ 3) ความไม่สมดุลสปริง (UB Spring) โดยสปริงจะทำหน้าที่หลักในการรับแรงและส่งแรงจากชุดส่วนประกอบหลักและชุดส่วนประกอบย่อย ซึ่งฟังก์ชันหลักที่กล่าวมานี้ล้วนเป็นหัวใจหลักของชุดคลัตช์ และผลตอบสนองของกระบวนการจากค่าความไม่สมดุลของชุดมู่เล่ล้อหลัง (ค่าความไม่สมดุล (UB) ในหน่วย g.cm) ดังรูปที่ 3.5 เหตุผลที่ผู้วิจัยเลือกชิ้นส่วนชุดคลัตช์ 3 ปัจจัยนี้ เพราะเป็นชิ้นส่วนที่เป็นฟังก์ชันหลักของชุดคลัตช์ที่ทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจากความไม่สมดุลในการหมุนนั้นจะส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้น ซึ่งส่งผลให้รถจักรยานยนต์ขาดเสถียรภาพในการขับขี่



รูปที่ 3.4 ปัจจัยและสิ่งรบกวนต่อกระบวนการ

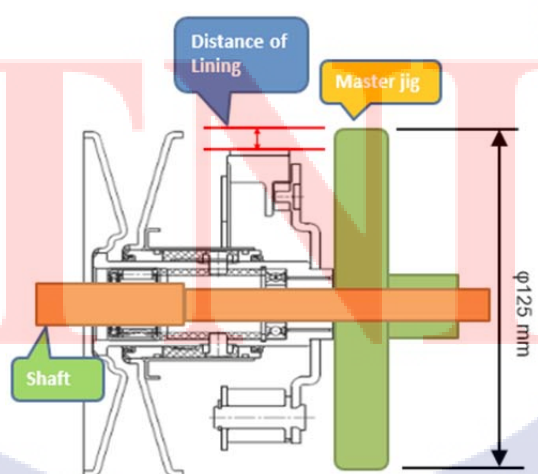
การคัดเลือกปัจจัยนำเข้า (Input) ทั้ง 3 ชั้นส่วนนั้น พิจารณาจากผลของการคำนวณเพื่อหาค่าความไม่สมดุลที่ได้จากการออกแบบศูนย์กลางมวล (Center of Gravity, C.G.) ที่มีค่ามากที่สุด ดังตารางที่ 3.1 และทำให้ตัวแปรผลตอบแทนชุดมุมเลี้ยวหลัง (Output) ไม่ได้ตามค่าเป้าหมาย คือน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7.7 g.cm

ตารางที่ 3.1 การคำนวณค่าความไม่สมดุลที่ได้จากการออกแบบ

No.	Parts List	X	Y	C.G. (mm)	Weight (g)	UB Amount (g.cm)
1	ชุดส่วนประกอบหลัก	-9.9E-08	0.0311	0.0311	2298.1	7.15
2	ชุดส่วนประกอบย่อย	-9.9E-08	0.0297	0.0297	2298.1	6.83
3	สปริง	-0.0007	0.0182	0.0182	2390.4	4.35

ในการทดลองการคัดเลือกปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) พิจารณาจากกระบวนการผลิตจริงที่สนใจศึกษา ดังนี้

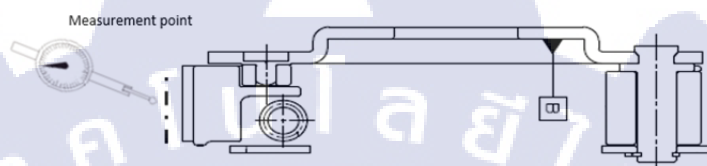
- Distance of Clutch Lining คือ ระยะห่างระหว่างผ้าคลัตช์ก่อนที่จะเหวี่ยงเข้าไป Lock กับจิก รูปที่ 2.4 อ้างอิงบทที่ 2 ขณะทำการปรับสมดุลคลัตช์ด้วยความเร็วรอบคงที่ในการปรับสมดุล 1,400 รอบต่อนาที ซึ่งน้ำหนักรวมมีผลต่อรัศมีจากจุดศูนย์กลางมวล ดังสมการที่ 2.1 อ้างอิงบทที่ 2 และวิธีการวัดระยะห่างระหว่างผ้าคลัตช์ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วิธีการวัดระยะห่างระหว่างผ้าคลัตช์

- Weight of Secondary Pulley Assy. คือ ค่าน้ำหนักรวมชุดคลัตช์ทุติยภูมิหลัง ซึ่งน้ำหนักรวมมีผลต่อแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ดังสมการที่ 2.1 อ้างอิงบทที่ 2

- Perpendicular of clutch lining. คือ ค่าความตั้งฉากของแผ่นผ้าคลัตช์ที่จะเหวี่ยง สัมผัสเข้าไป Lock กับจิก รูปที่ 2.4 อ้างอิงบทที่ 2 ขณะทำการปรับสมดุลคลัตช์ ซึ่งความตั้งฉากของ แผ่นผ้าคลัตช์ที่ติดอยู่กับชุดผ้าคลัตช์ (3 ชั้น) ดังตารางที่ 2.1 หมายเลข 13 ส่งผลต่อต่อแรงเหวี่ยงหนี ศูนย์กลาง เพราะแรงเหวี่ยงหน้าสัมผัสไม่คงที่ดังสมการที่ 2.1 อ้างอิงบทที่ 2



รูปที่ 3.6 ค่าความตั้งฉากของแผ่นผ้าคลัตช์

การคัดเลือกปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) ทั้ง 3 ปัจจัย ที่ได้กล่าว ในรูปที่ 3.6 พิจารณาจากกระบวนการผลิตจริง จากกรณีศึกษาพบว่า กระบวนการผลิตทั้ง 3 ปัจจัย ทำการผลิตจากกระบวนการปั๊มขึ้นรูปโลหะ (Pressing Process) การควบคุมพารามิเตอร์ในการผลิต ให้ได้ตามสเปค ทำได้ยากและไม่คงที่ ทำให้ส่งผลต่อค่าความแหง่งของชิ้นงานและช่องว่างของเส้น ผ่านศูนย์กลางภายใน และยังทำให้มวลของชิ้นส่วนต่างๆ ไม่สมมาตร ทำให้เกิดแรงเหวี่ยงที่ไม่สมดุล เกิดขึ้น ดังสมการที่ 2.1 อ้างอิงบทที่ 2

3.4.2 ปัจจัยที่ศึกษา (Factors)

ตัวแปรนำเข้า ประกอบด้วย

1. ค่าความไม่สมดุลของชุดส่วนประกอบหลักของคลัตช์ (Clutch Carrier Assy.)
2. ค่าความไม่สมดุลของชุดส่วนประกอบย่อย (Sub Assy.)
3. ค่าความไม่สมดุลสปริง (Spring)

3.4.3 ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors)

ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ระหว่างกระบวนการปรับสมดุล ประกอบด้วย

1. ชิ้นงานโมเดลเดียวกัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 125 มิลลิเมตร
2. ความเร็วรอบคงที่ในการปรับสมดุล 1,400 รอบต่อนาที

3. เครื่องสมดุลคลัตช์เครื่องเดียวกัน
4. ชั่งน้ำหนักของชิ้นส่วนทุกชิ้น น้ำหนักรวมอยู่ในช่วง 2311.48g-2319.94g

3.4.4 ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors)

ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ที่ขึ้นอยู่กับชิ้นส่วนย่อยของชุดคลัตช์ ประกอบด้วย

1. ความกว้างของชิ้นส่วน (Runout Secondary Sliding sheave)
2. ความกว้างของชิ้นส่วน (Runout Carrier Component)
3. ช่องว่างของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (Clearance I.D. of Carrier Component)

3.5 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลด้วยวิธีทางทฤษฎีจะใช้การสร้างแผนการทดลองแบบเมตริกซ์ ซึ่งรูปแบบการทดลองที่สร้างขึ้นถูกเลือกมาจากการทดลองแบบสมบูรณ์ โดยใช้แผนการทดลองตามตารางแนวก $L_8 (2^3)$ ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งมีการทดลองทั้งหมด 8 กรณีและเหมาะสมสำหรับการออกแบบการทดลองที่พิจารณาปัจจัยของกระบวนการที่มีปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ค่าความไม่สมดุลของชุดส่วนประกอบหลักของคลัตช์ ชุดส่วนประกอบย่อยและค่าความไม่สมดุลของสปริง แทนด้วยสัญลักษณ์ A, B และ C ตามลำดับ และปัจจัยแต่ละตัวมี 2 ระดับ คือ ค่าต่ำและค่าสูง การกำหนดระดับค่าปัจจัยที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้ พิจารณาจากสเปคจากข้อกำหนดของลูกค้า

หมายเลข 1 และ 2 แทนด้วยปัจจัยที่มีค่าต่ำและสูงตามลำดับดังที่แสดงในตารางที่ 3.2 ส่วนค่าระดับปัจจัยที่มีค่าต่ำและสูงของปัจจัย A, B และ C แสดงดังตารางที่ 3.3 ข้อมูลตามการทดลองที่ออกแบบไว้จะถูกเก็บบันทึกผลและคำนวณค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนระบบด้วยกรณีค่าน้อยยิ่งดี (S/N_S) ด้วยสมการที่ 2.2 โดยใช้วิธีการและขั้นตอนการปรับสมดุลคลัตช์ที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 แนวฉากการทดลองของทฤษฎี L_8 standard Orthogonal Array

การทดลอง	ระดับของปัจจัย			UB (g.cm)	S/N_S (dB)
	A	B	C		
1	1	1	1		
2	1	1	2		
3	1	2	1		
4	1	2	2		

ตารางที่ 3.2 แนวฉากการทดลองของทางสถิติ L8 standard Orthogonal Array (ต่อ)

การทดลอง	ระดับของปัจจัย			UB (g.cm)	S/N _s (dB)
	A	B	C		
1	1	1	1		
2	1	1	2		
3	1	2	1		
4	1	2	2		
5	2	1	1		
6	2	1	2		
7	2	2	1		
8	2	2	2		

ตารางที่ 3.3 ปัจจัยและระดับของกระบวนการ

ปัจจัย		ระดับ	
		ต่ำ	สูง
A	UB Carrier Assy. (g.cm)	0.70	5.03
B	UB Sub Assy. (g.cm)	3.21	6.03
C	UB Spring (g.cm)	0.56	3.27

จากตารางที่ 3.3 การกำหนดระดับค่าสูงและต่ำได้ทำการเลือกมาจากการสุ่มขึ้นงาน 20 ชิ้น ทั้งปัจจัย A, B และ C เพื่อหาค่าที่ใกล้เคียงสเปคค่าสูงและต่ำมากที่สุด มาทำการทดลองในครั้งนี้

การกำหนดค่าในระดับปัจจัยต่ำและสูงของแต่ละปัจจัยจะพิจารณาจากกระบวนการผลิตจริงของกระบวนการปรับสมดุลคลัตช์ ค่าระดับปัจจัยที่ใช้แสดงดังตารางที่ 3.3 เนื่องจากในกระบวนการผลิตจริงยังไม่มีการศึกษาการกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมของคลัตช์ทั้ง 3 ชิ้นส่วนหลักจึงทำให้ไม่สามารถระบุได้ว่าปัจจัยใดส่งผลต่อค่าความไม่สมดุลของชุดมู่เลื่อหลัง

3.6 การทดลองและบันทึกผลการทดลอง

การทดลองได้กำหนดตามแผนการทดลองโดยใช้ตารางแนวฉากที่มีการทดลองทั้งหมด L8 กรณี ดังตารางที่ 3.2 และทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง ค่าเฉลี่ยผลการตอบสนองของกระบวนการ คือ ค่าความไม่สมดุลของชุดมู่เลื่อหลังมีหน่วยเป็น g.cm และคำนวณค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน

ระบบตามวัตถุประสงค์ของระบบคุณภาพคือ ค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (S/N_s) ด้วยสมการที่ 2.3 เนื่องจากผลการตอบสนองของค่าความสมดุลของชุดคลัสต์ซ์คือต้องต่ำกว่าค่าเป้าหมายมากที่สุด

การศึกษาได้ดำเนินการทดลอง ดังนี้

- 1) นำชิ้นส่วนที่ได้ทำการปรับสมดุลแยกชิ้นทั้ง 3 ชิ้น ดังรูปที่ 2.2 อ้างอิงบทที่ 2 และทำการออกแบบการทดลองตารางที่ 3.2 และตารางที่ 3.3
- 2) ประกอบชิ้นส่วนทั้ง 3 ชิ้นด้วยเครื่องประกอบชุดคลัสต์ซ์ โดยกำหนดตำแหน่งในการประกอบให้อยู่ตำแหน่งเดียวกันเสมอ แล้วขันน็อตล็อก
- 3) นำชิ้นงานที่ขันน็อตล็อกแล้วไปทำการทดสอบการปรับสมดุลด้วยเครื่องปรับสมดุลชุดคลัสต์ซ์ ดังที่รูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4 อ้างอิงบทที่ 2 โดยกำหนดตำแหน่งมุมที่ 0 องศา ในการปรับสมดุลให้อยู่ตำแหน่งเดียวกันเสมอ
- 4) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย จากนั้นบันทึกผลทั้งทิศทางและค่าความสมดุลของคลัสต์ซ์

3.7 การวิเคราะห์ผลตามขั้นตอนของวิธีทาгуชิ

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลองตามหลักการของวิธีทาгуชิ ตามแผนการทดลองตารางที่ 3.2 โดยค่าผลตอบสนองของกระบวนการคือ ค่าความไม่สมดุลของชุดคลัสต์ซ์มุมเล็กล้อหลังที่มีค่าน้อยที่สุดเป็นตัวชี้วัดคุณภาพสำคัญ ที่บ่งบอกสมรรถนะและประสิทธิภาพของกระบวนการที่ได้จากการทดลอง ดังนั้นค่าผลตอบสนองของกระบวนการดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนให้เป็นตัวชี้วัดที่เรียกว่า ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (The Signal-to Noise Ratio; S/N) ตามลักษณะคุณภาพที่เลือกใช้สำหรับการทดลองนี้คือ ค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller-the-Better) และนำข้อมูลที่ได้ไปประมวลผลด้วยโปรแกรม Minitab และประเมินความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เป็นตัวเลขให้เป็นกราฟและวิเคราะห์ผลเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากระดับค่าของปัจจัยที่ทำให้ค่าตัวชี้วัดหรือค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (The Signal-to Noise Ratio; S/N) มีค่าสูงสุด

ขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังนี้

- 1) จากผลการทดลองนำข้อมูลมาคำนวณสถิติพื้นฐาน โดยผลการทดลอง 3 ซ้ำ (Trials) นำมาหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จากนั้นวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย
- 2) คำนวณหาค่า S/N แต่ละการทดลอง กรณีค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller-the-Better) ตามสมการที่ 2.3 อ้างอิงบทที่ 2 โดย Y_i = ผลตอบสนองของลำดับการทดลองที่ i และ n = จำนวนการทดลอง
- 3) คำนวณหาค่าเฉลี่ย S/N ของแต่ละระดับตัวแปรปัจจัยทุกตัวแปร

4) ทำการหาอิทธิพลของแต่ละระดับของแต่ละปัจจัยจากค่า S/N โดยหาผลต่างของ S/N มากที่กับน้อยที่สุดแต่ละปัจจัย จากนั้นจัดลำดับปัจจัย (Rank) โดยค่าความแตกต่างมากที่สุดจะเป็นลำดับ 1 ถือว่ามีอิทธิพลมากที่สุด

5) ทำการหาอิทธิพลของแต่ละระดับของแต่ละปัจจัยจากค่าเฉลี่ยตอบสนอง ($\bar{Y}_i$) จากนั้นจัดลำดับปัจจัย (Rank) โดยค่าความแตกต่างมากที่สุดจะเป็นลำดับ 1 ถือว่ามีอิทธิพลมากที่สุด

6) สร้างกราฟอิทธิพลของแต่ละระดับของแต่ละปัจจัย จากค่า S/N และจากค่าเฉลี่ยตอบสนอง

3.8 การทำการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผลการทดลอง

การทดลองเพื่อยืนยันผลว่าค่าระดับปัจจัยของกระบวนการที่ได้จากการแบบการทดลองเป็นค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยนำค่าระดับปัจจัยดังกล่าวมาปรับกระบวนการประกอบชุดคลัสต์ และขึ้นงานทำการปรับสมดุลใหม่อีกครั้ง เพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างค่าปัจจัยแบบเดิมและระดับปัจจัยที่ได้จากตัวแบบการทดลอง

การศึกษาได้ดำเนินการทดลองซ้ำ ดังนี้

1) นำชิ้นส่วนที่ได้ทำการปรับสมดุลแยกชิ้นทั้ง 3 ชิ้น เป็นค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง

2) ประกอบชิ้นส่วนทั้ง 3 ชิ้นด้วยเครื่องประกอบชุดคลัสต์ โดยกำหนดตำแหน่งในการประกอบให้อยู่ตำแหน่งเดียวกันเสมอ แล้วขึ้นน็อตล็อก

3) นำชิ้นงานที่ขึ้นน็อตล็อกแล้วไปทำการทดสอบการปรับสมดุลด้วยเครื่องปรับสมดุลชุดคลัสต์ โดยกำหนดตำแหน่งในการปรับสมดุลให้อยู่ตำแหน่งเดียวกันเสมอ

4) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย จากนั้นบันทึกผลทั้งทิศทางและค่าความสมดุลของคลัสต์และเปรียบเทียบผลระหว่างค่าปัจจัยแบบเดิมและระดับปัจจัยที่ได้จากตัวแบบการทดลอง

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดลอง

การศึกษาปัจจัยของกระบวนการปรับสมดุลคลัตช์ซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งในสายการผลิตคลัตช์ ปัจจัยของชิ้นส่วนที่มีผลต่อการปรับสมดุลของคลัตช์ประกอบด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ 1) ความไม่สมดุลของชุดส่วนประกอบหลักของคลัตช์ (UB.) ความไม่สมดุลของชุดส่วนประกอบย่อยของคลัตช์ และความไม่สมดุลสปริง แทนด้วยสัญลักษณ์ A, B และ C ตามลำดับ และแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับคือค่าสูงและค่าต่ำ แทนด้วย 1 และ 2 ตามลำดับ ค่าระดับปัจจัย A, B และ C ที่มีค่าต่ำและสูงที่ใช้ในการศึกษานี้แสดงดังตารางที่ 3.2 ซึ่งค่าระดับปัจจัยในระดับต่ำและสูงของแต่ละปัจจัยได้พิจารณาจากกระบวนการผลิตจริงของกระบวนการปรับสมดุลคลัตช์ เนื่องจากในกระบวนการผลิตจริงยังไม่มีการศึกษากำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมของคลัตช์ 3 ชิ้นส่วนหลักจึงทำให้ต้องศึกษาว่าปัจจัยใดส่งผลต่อค่าความไม่สมดุลของชุดพูลเลื่อหลัง ผลการทดลองการปรับสมดุลของคลัตช์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 125 มิลลิเมตร สำหรับรถจักรยานยนต์ความจุ 125 ซีซี จะใช้ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนปรับสมดุล 1,400 รอบต่อนาทีด้วยเครื่องปรับสมดุล มีผลการทดลองดังนี้

ผลการทดลองตามแผนการทดลองโดยตารางแนวฉาก $L_8(2^3)$ ซึ่งมีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการกระบวนการ 3 ปัจจัยจะมีเงื่อนไขการทดลองทั้งหมด 8 กรณีดังตารางที่ 4.1 และทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้งต่อเงื่อนไข ค่าเฉลี่ยผลการตอบสนองของกระบวนการ คือ ค่าความไม่สมดุลของชุดพูลเลื่อหลัง (UB) มีหน่วยเป็น g.cm ผลการตอบสนองเฉลี่ยจะมีค่าอยู่ระหว่าง 5-13 g.cm ผลการทดลองที่ให้ค่าการตอบสนองความไม่สมดุล ≤ 7.7 g.cm. ตามข้อกำหนดการผลิตชุดพูลเลื่อหลัง คือ การทดลองที่ 4 ซึ่งได้ค่าตอบสนองเฉลี่ยเท่ากับ 5 g.cm. ส่วนเงื่อนไขการทดลองที่เหลือได้ค่าการตอบสนองความไม่สมดุล ≥ 7.7 g.cm. ซึ่งเกินค่าควบคุมที่กำหนดไว้ จากผลการทดลองค่าความไม่สมดุลชุดพูลเลื่อหลังไม่คงที่คาดว่าเกิดจากชิ้นส่วนมีหลายชิ้นส่วนประกอบร่วมกัน ซึ่งวัสดุแต่ละชิ้นมีความหนาแน่นไม่เท่ากันตลอดชิ้นงานอาจเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของกระบวนการผลิต ทำให้จุดศูนย์กลางถ่วงจุดศูนย์กลางไม่อยู่ในที่จุดศูนย์กลางของการหมุนตามทฤษฎีที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 สมการที่ 2.1

ตารางที่ 4.1 แนวฉากและผลการทดลอง

การทดลอง	ระดับของปัจจัย			ค่าตอบสนอง, UB (g.cm)			ค่าเฉลี่ย UB (g.cm)	S.D. (g.cm)
	A	B	C	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	1	1	1	10.30	11.70	11.40	11.13	0.737
2	1	1	2	10.90	10.70	10.70	10.77	0.115
3	1	2	1	11.90	12.20	12.40	12.17	0.252
4	1	2	2	5.00	5.10	4.90	5.00	0.100
5	2	1	1	12.20	12.10	11.90	12.07	0.153
6	2	1	2	13.00	12.90	13.10	13.00	0.100
7	2	2	1	12.50	12.10	12.20	12.23	0.208
8	2	2	2	8.00	8.10	8.20	8.10	0.100

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 พบว่าค่าผลการทดลองที่ 4 มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 5.00 g.cm คาดว่าผลตอบสนองของกระบวนการที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งผู้วิจัยนำผลตอบสนองเพื่อยืนยันผลต่อไป

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (S/N Ratio)

การประยุกต์ใช้วิธีทางสถิติเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการปรับสมดุลคลัตช์จะใช้หลักการคำนวณค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนระบบตามวัตถุประสงค์ของระบบคุณภาพคือ ค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (S/N_S) ดังสมการที่ 2 ในบทที่ 2 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Minitab และผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนจะได้ผลดังตารางที่ 4.2 คำนวณได้จากสมการที่ 2.3 อ้างอิงไว้ในบทที่ 2 ค่าความไม่สมดุลของชุดคลัตช์ที่มีค่าน้อยที่สุด คือ การทดลองที่ 4 ที่ได้ผลตอบสนองเป็นค่าความไม่สมดุลเท่ากับ 5 g.cm และค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนเท่ากับ -13.979 ซึ่งเป็นค่าความไม่สมดุลที่ไม่เกินค่ากำหนดที่ ≤ 7.7 g.cm

ตารางที่ 4.2 แนวฉากและผลการทดลองปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการปรับสมดุลคลัตช์

การทดลอง	ระดับของปัจจัย			ค่าเฉลี่ย UB (g.cm)	S/N _S (dB)
	A	B	C		
1	1	1	1	11.13	-20.933
2	1	1	2	10.77	-20.642
3	1	2	1	12.17	-21.703

ตารางที่ 4.2 แนวฉากและผลการทดลองปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการปรับสมดุลคลัตช์ (ต่อ)

การทดลอง	ระดับของปัจจัย			ค่าเฉลี่ย UB (g.cm)	S/N _s (dB)
	A	B	C		
4	1	2	2	5.00	-13.979
5	2	1	1	12.07	-21.632
6	2	1	2	13.00	-22.279
7	2	2	1	12.23	-21.751
8	2	2	2	8.10	-18.170

วิธีการคำนวณ (S/N_s) ยกตัวอย่างผลการทดลองที่ 4

โดย y_i คือ ค่าตอบสนอง, UB (g.cm) ครั้งที่ 1 เท่ากับ 5.00, ครั้งที่ 2 เท่ากับ 5.10 และครั้งที่ 3 เท่ากับ 4.90 หลังคำนวณได้จากสมการที่ 2.3 อ้างอิงไว้ในบทที่ 2 คือ $S/N_s = -10 \log (\sum_{i=1}^3 5.0_i^2 + 5.10_i^2 + 4.90_i^2 / 3)$ ดังนั้น ค่าตอบสนอง (S/N_s) เท่ากับ -13.979 ซึ่งค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนระบบตามวัตถุประสงค์ของระบบคุณภาพคือค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (S/N_s)

4.2 การวิเคราะห์ผลตามขั้นตอนของวิธีทาคุชิ

การวิเคราะห์ผลตามหลักการของวิธีทาคุชิ เพื่อกำหนดค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสม พิจารณาจากระดับปัจจัยที่ทำให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนระบบมีค่าสูงสุดสามารถวิเคราะห์ได้จากค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนระบบในกระบวนการปรับสมดุลคลัตช์โดยใช้ผลการทดลองการตอบสนองความไม่สมดุลดังตารางที่ 4.2 โดยนำค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนมาหาค่าเฉลี่ยของแต่ละระดับปัจจัยและผลต่างของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนของแต่ละปัจจัย ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาค่าผลกระทบหรือผลต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัย พบว่า ปัจจัยที่มีผลกระทบจากมากไปหาน้อยคือ ค่าความไม่สมดุลสปริง (C), ค่าความไม่สมดุลของชุดส่วนประกอบย่อยของคลัตช์ (B), ค่าความไม่สมดุลของชุดส่วนประกอบหลักของคลัตช์ (A) ตามลำดับ การวิเคราะห์ผลการทดลองของวิธีทาคุชิเพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากระดับค่าที่ทำให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนระบบมีค่าสูงสุดด้วยกราฟตอบสนองดังรูปที่ 4.1 โดยแกนตั้งเป็นค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน และแกนนอนเป็นค่าระดับปัจจัยต่ำและสูงแทนด้วยหมายเลข 1 และ 2 ตามลำดับ ปัจจัยของกระบวนการที่ส่งผลกระทบให้ค่าความไม่สมดุลของชุดพู่เล่ล้อหลังจะพิจารณาจากจุดที่มีค่าสูงสุดบนกราฟตอบสนอง ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าปัจจัยที่มีผลกระทบมากและทำให้ค่าตอบสนองมีค่าที่ดีที่สุดดังนี้

- ค่าความไม่สมดุลของชุดส่วนประกอบหลักของคลัตช์ที่ระดับปัจจัยต่ำ (A_1) ซึ่งส่งผลต่อการตอบสนองที่ดีที่สุด และค่า S/N เท่ากับ -19.314 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 คือ ผลการตอบสนองค่าเฉลี่ยความไม่สมดุล UB Carrier Assy. (A) ทั้ง 3 ครั้ง เท่ากับ 9.767 g.cm โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3 อ้างอิงไว้ในบทที่ 2

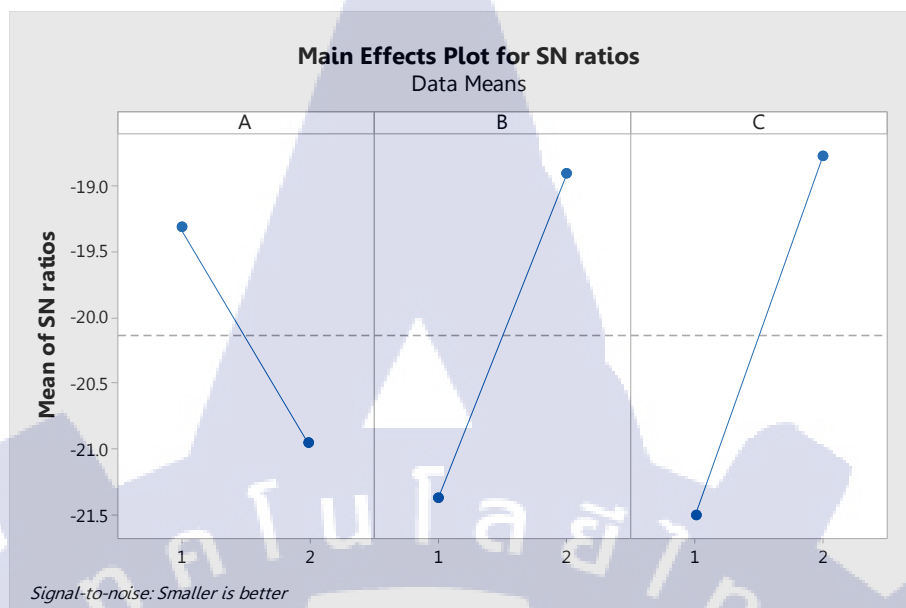
- ค่าความไม่สมดุลของชุดส่วนประกอบย่อยของคลัตช์ที่ระดับปัจจัยสูง (B_2) ซึ่งส่งผลต่อการตอบสนองที่ดีที่สุด และค่า S/N เท่ากับ -19.446 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 คือ ผลการตอบสนองค่าเฉลี่ยความไม่สมดุล UB Sub Assy. (B) ทั้ง 3 ครั้ง เท่ากับ 9.383 g.cm โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3 อ้างอิงไว้ในบทที่ 2

- ค่าความไม่สมดุลของสปริงที่ระดับปัจจัยสูง (C_2) ซึ่งส่งผลต่อการตอบสนองที่ดีที่สุด และค่า S/N เท่ากับ -19.291 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 คือ ผลการตอบสนองค่าเฉลี่ยความไม่สมดุล UB Spring (C) ทั้ง 3 ครั้ง เท่ากับ 9.217 g.cm โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3 อ้างอิงไว้ในบทที่ 2

ตารางที่ 4.3 ผลตอบสนองของค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนระบบที่ระดับต่างๆ ของแต่ละปัจจัย

ระดับปัจจัย	ปัจจัย		
	A	B	C
1	-19.314	-21.371	-21.505
2	-20.958	-19.446	-19.291
ผลต่าง	1.644	1.924	2.213
ลำดับ	3	2	1

จากตารางที่ 4.3 บ่งบอกถึงผลตอบสนองของค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนระบบ S/N ที่ระดับต่างๆ ของแต่ละปัจจัยจากผลต่างมากไปหาน้อยตามลำดับ



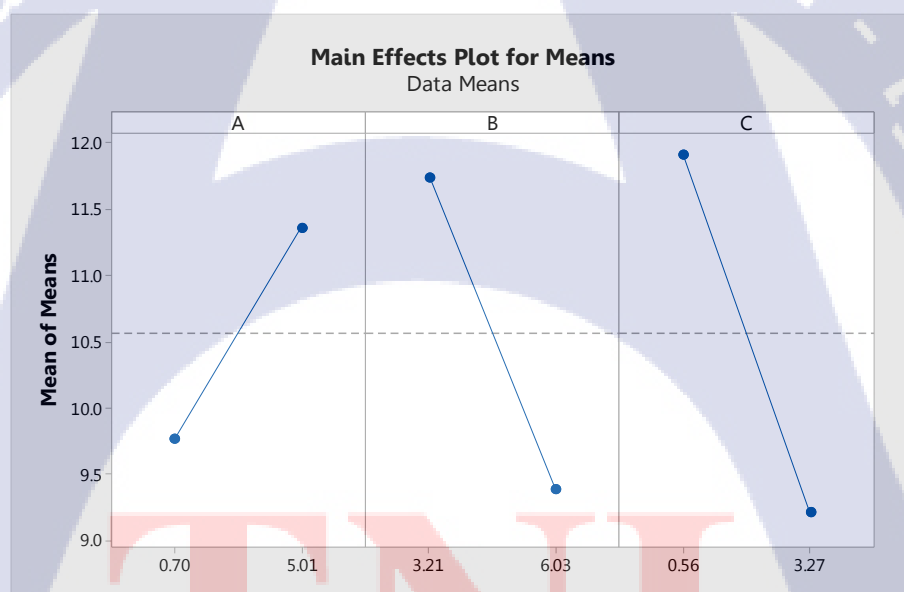
รูปที่ 4.1 ผลตอบสนองค่าเฉลี่ยอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนของระดับปัจจัยต่างๆ ของการปรับสมดุลของคลัตช์

ผลการทดลองค่าความไม่สมดุลเฉลี่ยดังตารางที่ 4.2 เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของความไม่สมดุลของแต่ละปัจจัยที่ระดับปัจจัยต่างๆ สามารถวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 4.4 เมื่อนำค่าเฉลี่ยความไม่สมดุลมาแสดงด้วยกราฟตอบสนองได้ดังรูปที่ 4.2 โดยแกนตั้งเป็นค่าความไม่สมดุลและแกนนอนเป็นค่าระดับปัจจัยต่ำและสูง ซึ่งพบว่า กราฟจะมีลักษณะตรงข้ามกับกราฟการตอบสนองค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนดังรูปที่ 4.1 ถ้าค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนของระบบมีค่าสูงจะมีค่าเฉลี่ยผลการตอบสนองค่าความไม่สมดุลที่ต่ำ ปัจจัยของกระบวนการที่ส่งผลกระทบให้ค่าตอบสนองค่าเฉลี่ยความไม่สมดุลของชุดพู่เล่้อหลังมีค่าต่ำจะพิจารณาจากจุดที่มีค่าต่ำสุดบนกราฟตอบสนอง ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าปัจจัยที่มีผลกระทบมากและทำให้ค่าตอบสนองมีค่าดีที่สุด ดังนี้ ค่าปัจจัยของ A, B และ C มีค่าเท่ากับ 0.7, 6.3 และ 3.27 g.cm. ตามลำดับ ซึ่งผู้วิจัยจะนำค่าตอบสนองมีค่าดีที่สุดไปทดสอบเพื่อยืนยันต่อไป

ตารางที่ 4.4 ผลการตอบสนองค่าเฉลี่ยความไม่สมดุลของแต่ละปัจจัยที่ระดับต่างๆ

UB Carrier Assy. (A)		UB Sub Assy. (B)		UB Spring (C)	
ระดับปัจจัย (g.cm.)	ค่าเฉลี่ย UB (g.cm.)	ระดับปัจจัย (g.cm.)	ค่าเฉลี่ย UB (g.cm.)	ระดับปัจจัย (g.cm.)	ค่าเฉลี่ย UB (g.cm.)
0.7	9.767	3.21	11.742	0.56	11.908
5.03	11.358	6.03	9.383	3.27	9.217
ผลต่าง	1.592		2.358		2.692
ระดับ	3		2		1

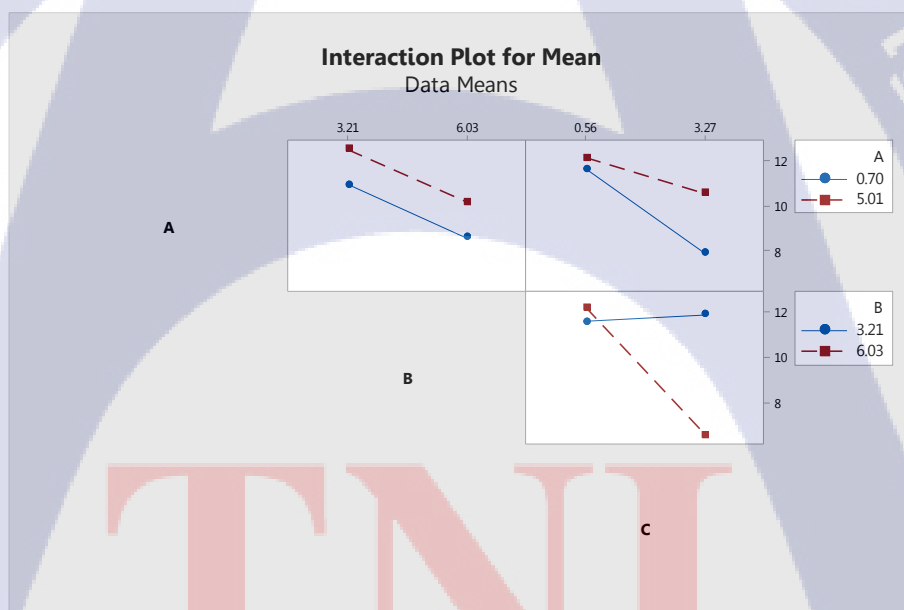
จากตารางที่ 4.4 ผลการตอบสนองค่าเฉลี่ยทั้ง 3 ครั้ง ของความไม่สมดุลของแต่ละปัจจัย คือ UB Carrier Assy. (A), UB Sub Assy. (B) และ UB Spring (C) ที่ได้ทำการทดลองจริง



รูปที่ 4.2 กราฟผลตอบสนองค่าเฉลี่ยความไม่สมดุลของระดับปัจจัยต่างๆ ของการปรับสมดุลของคลัตช์

การพิจารณาผลของอิทธิพลร่วมปัจจัย A, B และ C โดยจะพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง AB, AC และ BC ผลการวิเคราะห์ผลของอิทธิพลร่วม AB, AC และ BC ของระดับปัจจัยต่างๆ ดังรูปที่ 4.3 สรุปดังนี้

- เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมของปัจจัยระหว่าง UB Carrier Assy. (A) และ UB Sub Assy. (B) พบว่า ค่า UB Sub Assy. (B) ที่มีค่าสูงจะให้ค่าความไม่สมดุลของชุดส่วนประสมล้อหลังของคลัตช์ UB Secondary Assy. น้อยที่สุด ดังนั้นอิทธิพลร่วมปัจจัยทั้งสองไม่ส่งผลต่ออิทธิพลร่วมของปัจจัยที่ทำให้ค่า UB Secondary Assy. เกินสเปคค่าเป้าหมายได้
- เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมของปัจจัยระหว่าง UB Carrier Assy. (A) และ UB Spring (C) พบว่าค่า UB Spring. (C) พบว่า UB Spring. (C) มีค่าสูงจะให้ค่าความไม่สมดุลของชุดส่วนประสมล้อหลังของคลัตช์ UB Secondary Assy. น้อยที่สุด ดังนั้นอิทธิพลร่วมปัจจัยทั้งสองไม่ส่งผลต่ออิทธิพลร่วมของปัจจัยที่ทำให้ค่า UB Secondary Assy. เกินสเปคค่าเป้าหมายได้
- เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมของปัจจัยระหว่าง UB Sub Assy. (B) และ UB Spring (C) พบว่าค่า UB Spring. (C) มีค่าสูงจะให้ค่าความไม่สมดุลของชุดคลัตช์พู่ล้อหลัง UB Secondary Assy. มากที่สุด ดังนั้นอิทธิพลร่วมปัจจัยทั้งสองส่งผลต่ออิทธิพลร่วมของปัจจัยที่ทำให้ค่า UB Secondary Assy. เกินสเปคค่าเป้าหมายได้ ซึ่งผู้วิจัยจะต้องทำการศึกษาต่อไป



รูปที่ 4.3 ผลของอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่มีผลต่อการปรับสมดุลของคลัตช์

4.3 การทดสอบเพื่อยืนยัน

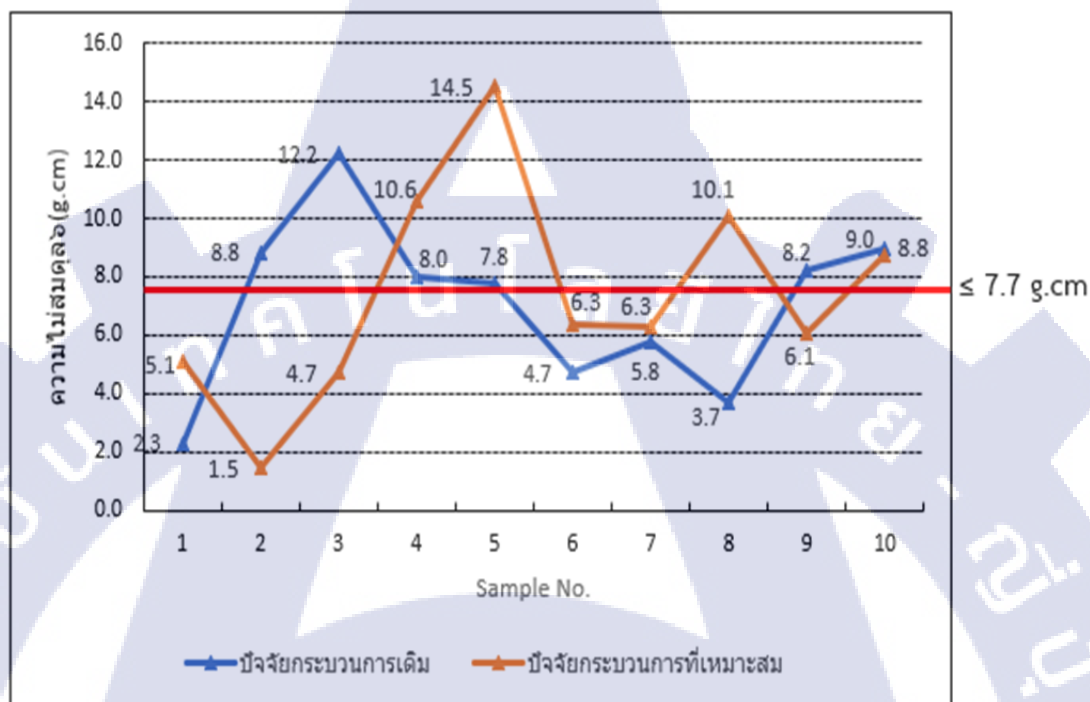
การทดสอบเพื่อยืนยันผลที่ได้จากแบบการทดลองที่ได้วิเคราะห์ไว้ในหัวข้อก่อนหน้ากระบวนการปรับสมดุลชุดพู่เล่หลังก่อนการปรับปรุงพบว่างานที่ต้องปรับสมดุลซ้ำหรืองาน NG มีประมาณ 60-65% ดังตารางที่ 4.5 เมื่อนำผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมที่มีผลกระทบต่อกระบวนการปรับสมดุลมาทดสอบคือ $A_1B_2C_2$ โดยกำหนดค่าความไม่สมดุลของชุดส่วนประกอบหลักของคลัตช์ที่ระดับปัจจัยต่ำ (A_1) เท่ากับ 0.70 g.cm. ค่าความไม่สมดุลของชุดส่วนประกอบย่อยของคลัตช์ที่ระดับปัจจัยสูง (B_2) เท่ากับ 6.03 g.cm และค่าความไม่สมดุลของสปริงที่ระดับสูง (C_2) เท่ากับ 3.27 g.cm ผลตอบสนองของกระบวนการมีการปรับปรุงประสิทธิภาพดีขึ้น โดยงานที่ต้องปรับสมดุลซ้ำของชุดพู่เล่หลังลดลงเหลือประมาณ 40% จากการเก็บข้อมูลชิ้นงานทั้งหมด 10 ชิ้น กราฟความไม่สมดุลของชุดพู่เล่หลังแสดงดังรูปที่ 4.4 โดยแกนตั้งเป็นค่าความไม่สมดุลและแกนนอนเป็นลำดับชิ้นงานทดสอบ การปรับปรุงนี้ทำให้ชุดพู่เล่หลังที่ผ่านกระบวนการปรับสมดุลได้เพิ่มขึ้นประมาณ 20% ผลการศึกษานี้ยังจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์เชิงลึกเพื่อที่จะลดจำนวนงานที่ต้องทำการปรับสมดุลซ้ำให้ลดน้อยลงให้ต่ำกว่านี้ เพื่อที่จะลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการปรับสมดุลซ้ำ รวมทั้งเป็นการเพิ่มคุณภาพและความสามารถในการปรับสมดุลให้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการปรับสมดุลของคลัตช์ พบว่า ปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยส่งผลต่อความไม่สมดุลของชุดคลัตช์ เนื่องจากการวิจัยนี้ได้มีการกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมของค่าความไม่สมดุลชิ้นส่วนหลัก ทำให้การปรับสมดุลของชุดพู่เล่หลังมีความแน่นอนมากยิ่งขึ้นและส่งผลให้ชิ้นงานที่ต้องทำการปรับสมดุลซ้ำลดลง ซึ่งแตกต่างกระบวนการเดิมที่ไม่มีการกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบเพื่อยืนยันค่าปัจจัยที่เหมาะสม

ผลตอบสนอง	ปัจจัยกระบวนการเดิม	ปัจจัยที่เหมาะสม ทดลองยืนยัน	การปรับปรุง
ระดับปัจจัย	-	$A_1B_2C_2$	
ค่าความไม่สมดุล	NG ratio 60-65%	NG ratio 40%	20%

ปัจจัยกระบวนการเดิม คือชิ้นงานที่มีค่าการปรับสมดุลไม่ได้ตามค่าที่กำหนดไว้คือน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7.7 g.cm ที่ต้องทำการปรับสมดุลซ้ำถึง 60% ถึง 65% จากการเก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิตจริง

ปัจจัยกระบวนการที่เหมาะสม คือชิ้นงานที่มีค่าการปรับสมดุลไม่ได้ตามค่าที่กำหนดไว้คือน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7.7 g.cm ที่ต้องทำการปรับสมดุลซ้ำถึง 40% และการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับสมดุล และซึ่งหลังปรับปรุงสามารถลดการปรับสมดุลซ้ำจากปัจจัยกระบวนการเดิมได้ถึง 20%



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าความไม่สมดุลก่อนและหลังปรับปรุง

จากรูปที่ 4.4 พบว่า ปัจจัยกระบวนการเดิมมีค่าความไม่สมดุลสูงสุดเท่ากับ 12.2 g.cm และปัจจัยกระบวนการที่เหมาะสมค่าความไม่สมดุลสูงสุดเท่ากับ 14.5 g.cm คาดว่าอาจเกิดจากชิ้นส่วนที่ทำการประกอบทั้ง 3 ชิ้นส่วนหลักทำให้ตำแหน่งค่าความไม่สมดุลของชุดคลัตช์พูล์หลังไม่คงที่ เนื่องจากการประกอบแต่ละครั้งมี Clearance ของชิ้นส่วนไม่คงที่ ทำให้รัศมีจากจุดศูนย์กลางมวลเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) อ้างอิงทฤษฎีในบทที่ 2 และอาจเกิดจากความไม่สมมาตรของชิ้นส่วนชุดสปริง เนื่องจากวัสดุมีความหนาแน่นไม่เท่ากันตลอดชิ้นงาน ซึ่งสอดคล้องกับอิทธิพลร่วมของปัจจัยระหว่าง UB Sub Assy. (B) และ UB Spring (C) พบว่าถ้า UB Spring (C) มีค่าสูงจะให้ค่าความไม่สมดุลของชุดคลัตช์พูล์หลังมีค่าสูงด้วย

กระบวนการประกอบชุดคลัตช์พูล์หลังในขั้นตอนย่อยทั้ง 3 ชิ้นส่วน คือชุดส่วนประกอบหลักของคลัตช์ ชุดส่วนประกอบย่อย และสปริง การใช้ผลการศึกษาปัจจัยมาช่วยในการปรับสมดุลคลัตช์สามารถทำให้จำนวนชิ้นงานที่ต้องทำสมดุลซ้ำลดลงจากเดิมได้ระดับหนึ่งประมาณ 20% นอกจากนี้

กระบวนการผลิตคลัตช์ยังไม่มีรูปแบบตำแหน่งการวางของชิ้นส่วนประกอบย่อยที่แน่นอนซึ่งส่งผลไปยังกระบวนการถัดไป ทำให้การปรับสมดุลของคลัตช์แรงเหวี่ยงพูล์หลังมีความแปรปรวนของค่าความไม่สมดุลเฉลี่ย จากการวิจัยโดยการทดลองกำหนดรูปแบบของการประกอบชิ้นส่วนทั้งสามที่มีโอกาสเป็นไปได้ในกระบวนการผลิตจริงเพื่อหารูปแบบที่ส่งผลทำให้การปรับสมดุลของคลัตช์แรงเหวี่ยงพูล์หลังมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ผลที่ได้คือการทำให้ชิ้นส่วนทั้งสามให้มีจุดศูนย์กลางมวลอยู่ในทิศทางเดียวกัน จะทำให้การปรับสมดุลของคลัตช์แรงเหวี่ยงพูล์เข้าสู่เป้าหมายได้เร็วที่สุด เนื่องจากความไม่สมดุลของคลัตช์เกิดจากจุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์กลางการหมุนอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัน



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการปรับสมดุลของชุดคลัตช์แรงเหวี่ยงมู่เล่หลัง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 125 มิลลิเมตร สำหรับรถจักรยานยนต์ความจุ 125 ซีซี และความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนปรับสมดุล 1,400 รอบต่อนาที ด้วยเครื่องปรับสมดุลที่ใช้ในการทดลองยี่ห้อ Nagahama Vertical-Axis Static Balancing Machine Series: MMi-901 โดยมีแกนหมุนตามแนวดิ่ง สรุปผลได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อการปรับสมดุลของคลัตช์แรงเหวี่ยงมู่เล่หลังในกระบวนการปรับสมดุลด้วยวิธีทางสถิติโดยพิจารณาจากผลตอบสนองของกระบวนการด้วยเงื่อนไขค่าน้อยยิ่งดี คือค่าความไม่สมดุลของชุดมู่เล่หลังที่มีค่าน้อยที่สุด ปัจจัยที่ทำให้ค่าความไม่สมดุลของชุดมู่เล่หลังมีค่าน้อยที่สุด คือ ค่าความไม่สมดุลของชุดส่วนประกอบหลักของคลัตช์ที่ระดับปัจจัยต่ำเท่ากับ 0.70 g.cm ค่าความไม่สมดุลของชุดส่วนประกอบย่อยของคลัตช์ที่ระดับปัจจัยสูงเท่ากับ 6.03 g.cm และค่าความไม่สมดุลของสปริงที่ระดับปัจจัยสูงเท่ากับ 3.27 g.cm และผลการใช้ค่าระดับปัจจัยที่ศึกษาพบว่าชิ้นงานที่ต้องทำการปรับสมดุลลดลงจากเดิมที่ 60-65% เหลือเพียง 40% ซึ่งยังไม่ตรงตามเป้าหมายของวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ดังนั้นผู้วิจัยได้เสนอแนวทางในการข้อเสนอแนะทั้ง 3 หัวข้อเพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่องต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ที่ใช้วิธีทางสถิติเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการปรับสมดุลคลัตช์ ยังมีงานที่ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

1. ปัจจัยที่มีผลต่อการปรับสมดุลของชุดมู่เล่หลังมีความซับซ้อน ซึ่งหากมีการดำเนินวิจัยต่อจากงานวิจัยนี้แนะนำให้ศึกษาปัจจัยที่มีผลทำให้การปรับสมดุลของคลัตช์อื่นๆเพิ่มเติม เช่น ปัจจัยในการออกแบบคลัตช์ ค่า Tolerance ต่างๆ ที่ส่งผลต่อค่าความสมดุลคลัตช์ เป็นต้น
2. อิทธิพลร่วมปัจจัยที่มีผลต่อการปรับสมดุลของชุดมู่เล่หลัง ซึ่งหากมีการดำเนินวิจัยต่อจากงานวิจัยนี้แนะนำให้ศึกษาปัจจัยที่มีผลทำให้การปรับสมดุลของคลัตช์ ระหว่าง UB Sub Assy. (B) และ UB Spring (C)
3. การหารูปแบบการประกอบและองค์ประกอบที่เหมาะสมของส่วนประกอบย่อยของชุดมู่เล่หลังเพื่อให้ค่าการปรับสมดุลคลัตช์มีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมาย



บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- [1] วรณา ยงพิศาลภพ, “แนวโน้มนวัตกรรม/อุตสาหกรรม ปี 2562-64 อุตสาหกรรมรถจักรยานยนต์,” [Online]. Available : https://www.krungsri.com/getmedia/bc54c0ea-d6e3-45ad-b7fb-db49ae0a1/IO_Motorcycle_190529_TH_EX.pdf.aspx. [Accessed : 29 พฤษภาคม 2562].
- [2] J. H. Park and S. G. Kim, “Optimization of manufacturing conditions for spline of drum clutch hub taguchi method,” *Proceedings of the 2011 the International Association for Automation and Robotics in Construction, ISARC 2011 Proceedings*, New Jersey, USA, March 6-9, pp. 1,427-1,477.
- [3] Yamaha, “Parts Catalogue,” [Online]. Available : <https://ypec-sss.yamaha-motor.co.jp/ypec/ypec/b2c/html5/app/th/parts-search/index.html>. [Accessed : March 4, 2023].
- [4] K. Gary et al., “The Basics of Balancing Precision Measurement and Testing Equipment and Service,” [Online]. Available : <https://balancetechnology.com/wp-content/uploads/2021/02/Basics-of-Balancing-101.pdf>. [Accessed : May 18, 2021].
- [5] G. S. Peace, *Taguchi Method - A Hands-On Approach*, New Jersey : Pearson Prentice Hall, 1992.
- [6] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงษ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, *การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง*, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท็อป, 2551.
- [7] G. Taguchi, *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, New York : McGraw-Hill, 1988.
- [8] E. Toma, “Optimal of clutch drum heat treatment processing condition for automobile AT using robust design-reduction of variation in teeth deformation amount by optimizing clutch drum welding processing condition,” *AJER Engineering Journal*, vol. 6, no. 3, pp. 119-127, May 2018.
- [9] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiment*, New York : McGraw-Hill, 2017.
- [10] พรชัย นิเวศน์รังสรรค์ และสุรัตน์ คุ่มกระตึก, “ชุดปฏิบัติการถ่วงสมดุลเพลาล้างเครื่องด้วยโปรแกรม LabVIEW,” *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26, IE Network 2012*, เชียงราย, 13-15 ตุลาคม 2555, หน้า 8.
- [11] เกศรินทร์ บรรลุศิลป์, “การปรับสมดุลการหมุนของดิสก์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์,” *วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (อุตสาหกรรม)*, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2557.