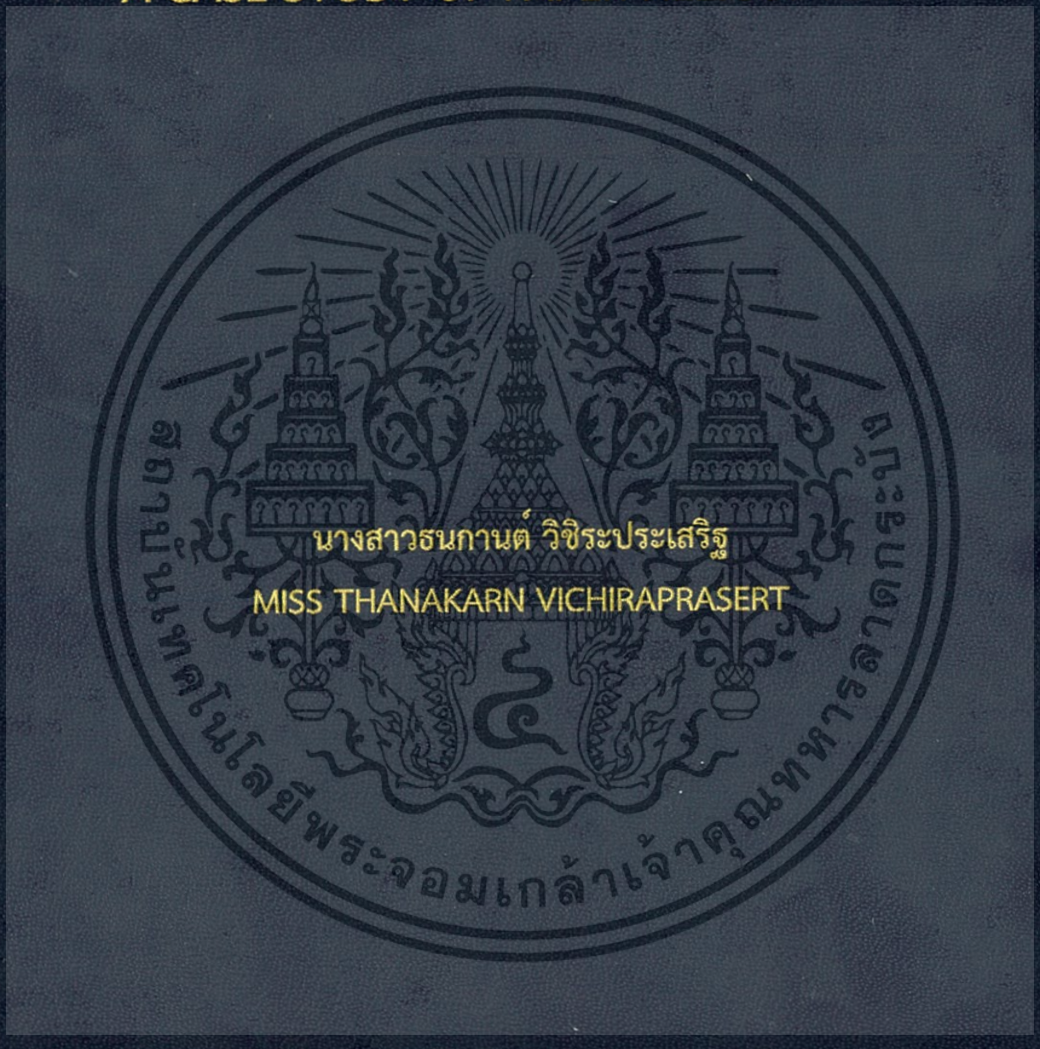
การศึกษาการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการทากูชิ
กรณีศึกษาเฮลิคอปเตอร์กระดาษ

A STUDY OF TAGUCHI'S EXPERIMENTAL DESIGN :
A CASE STUDY OF PAPER HELICOPTERS



นางสาวธนกานต์ วิชิระประเสริฐ

MISS THANAKARN VICHIRAPRASERT

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การศึกษาการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการทากูชิ กรณีศึกษาเฮลิคอปเตอร์กระดาษ

A STUDY OF TAGUCHI'S EXPERIMENTAL DESIGN : A CASE STUDY OF PAPER HELICOPTERS

ธนกานต์ วิชิระประเสริฐ

MISS THANAKARN VICHIRAPRASERT

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF TAGUCHI'S EXPERIMENTAL DESIGN : A CASE STUDY OF PAPER HELICOPTERS

MISS THANAKARN VICHIRAPRASERT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการทากูชิ
กรณีศึกษาเฮลิคอปเตอร์กระดาษ
A STUDY OF TAGUCHI'S EXPERIMENTAL DESIGN :
A CASE STUDY OF PAPER HELICOPTERS

นักศึกษา นางสาวธนกานต์ วิชิระประเสริฐ รหัสประจำตัว 54010532

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(รศ.ดร.ทศพล เกียรติเจริญผล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการทากูชิ กรณีศึกษาเฮลิคอปเตอร์กระดาษ
นักศึกษา	นางสาวธนกานต์ วิชิระประเสริฐ
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	รศ.ดร.ทศพล เกียรติเจริญผล

บทคัดย่อ

โครงงานปริญญานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาและกำหนดแนวทางการประยุกต์ใช้วิธีการของทากูชิและหลักการค้นหาตัวแปรของไชนิน โดยอาศัยกรณีศึกษาของระยะเวลาในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองของทากูชิ วิธีการของไชนินและวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) ซึ่งวิธีการออกแบบการทดลองของทากูชิ จะดำเนินการทดลองแบบ Orthogonal Array เป็น L16 (2^5) โดยมีตัวแปรทั้งสิ้น 5 ตัวแปร และแต่ละตัวแปร มี 2 ระดับ กำหนดให้มีจำนวนการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (Replicate) จึงมีการทดลองทั้งหมด 48 ครั้ง ส่วนวิธีการของไชนินมีการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง และวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) จะมีรูปแบบการทดลองเป็นแบบ 2^5 Factorial Design ทดลองทั้งหมด 96 ครั้ง จากผลการทดลองพบว่าวิธีการออกแบบการทดลองของทากูชิสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้เหมือนกันกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) คือ มีความเชื่อมั่นในทางสถิติที่สูงเทียบเท่ากับกับการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) และยังใช้จำนวนการทดลองที่น้อยครั้งกว่า ส่วนวิธีการของไชนินใช้จำนวนครั้งของการทดลองที่น้อยกว่าวิธีการของทากูชิและการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) ซึ่งจะช่วยในเรื่องการประหยัดต้นทุนในการทดลอง และเป็นทางเลือกหนึ่งของการประยุกต์ใช้วิธีการของทากูชิและแบบไชนิน ที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษาตัวแปร ในกรณีที่การดำเนินการทดลองไม่สามารถทำการทดลองได้จำนวนมากและมีจำนวนตัวแปรที่ศึกษาจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทดลองแบบคัดเลือก (Screening)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A Study of Taguchi's Experimental Design : A Case Study of Paper Helicopters
Student	Miss Thanakarn Vichiraprasert
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2014
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Tossapol Kiatcharoenpol

ABSTRACT

The aim of this thesis is to study and provide the implementation of Taguchi method and Shainin method. A case of paper helicopters is used as a subject to run experiment by applying three methods; Taguchi, Shainin and classical factorial experiment designs. Taguchi method uses experiment of Orthogonal Array (L16(2^5)) with total of five factors which has two levels. Each experiment condition has been done in three replicates, which is equal to 48 trials. For Shainin method and Classical factorial experiment (2^5Factorial Design) use 10 trials and 96 trials, respectively. Taguchi method can give the same result as the Classical factorial experiment within less number of trials. The number of trials of Shainin method is less than those of Taguchi method and Classical factorial experiment. It can be noted that these two alternative designs, Taguchi and Shainin method, are useful when the less number of trails is needed in order to save time and cost. Moreover, Taguchi method is useful for the factor studying when trials cannot be performed on many experiment trials, especially in case of the screening experiment.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาการออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ โดยอาศัยกรณีศึกษาเฮลิคอปเตอร์กระดาษ สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลทุกคนที่มีส่วนเกี่ยวข้องส่งผลให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

รศ.ดร.ทศพล เกียรติเจริญผล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือ กำลังใจในการทำงาน ความเอาใจใส่และทุกสิ่งทุกอย่างตลอดการศึกษาระดับปริญญาตรี ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

ผศ.ดร.วิภู ศรีสืบสาย ประธานสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คำแนะนำ ความเอาใจใส่และทุกสิ่งทุกอย่างตลอดการศึกษาระดับปริญญาตรี ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

รศ.ดร.ฤดี มาสุจันท์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคำแนะนำ ความช่วยเหลือในทุกๆด้านและทุกสิ่งทุกอย่างตลอดการศึกษาระดับปริญญาตรี ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

ดร.กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคำแนะนำ ความเอาใจใส่ ความช่วยเหลือในทุกๆด้านและทุกสิ่งทุกอย่างตลอดการศึกษาระดับปริญญาตรี ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

ผศ.ดร.ชุมพล ยวงใย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความรู้ คำแนะนำ และความช่วยเหลือทุกๆด้านในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ดร.เชาวลิต หามนตรี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความรู้ คำแนะนำ กำลังใจในการทำงาน และความช่วยเหลือทุกๆด้าน

ขอบคุณครอบครัวและเพื่อนทุกคนสำหรับความช่วยเหลือจนทำให้ปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วง และคอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

นางสาวธนกานต์ วิชิระประเสริฐ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูป ..... ซ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ระเบียบการวิจัย 1

1.4 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบการทดลอง 3

2.1.1 หลักการพื้นฐานที่สำคัญของการออกแบบการทดลอง 4

2.1.2 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง 4

2.2 การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ 7

2.2.1 ขั้นตอนการศึกษาการทดลองแบบทากูชิ 8

2.3 การออกแบบการทดลองแบบไซนิน 12

2.3.1 วัตถุประสงค์ของเครื่องมือทั้ง 13 เครื่องมือ 13

2.3.2 หลักการค้นหาตัวแปร 15

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อการวิจัย 24

3.1.1 กำหนดกรณีศึกษาที่ทราบว่าตัวแปรใด มีผลกระทบหลักและผลกระทบร่วม 25

3.1.2 การดำเนินการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ 2^k Full Factorial Design 25

3.1.3 การดำเนินการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้หลักการค้นหาตัวแปร (Variables Search Method) ด้วยวิธีการของไชนิน 26

3.1.4 การดำเนินการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ทากูชิ 26

3.1.5 การเปรียบเทียบผลการทดลอง 26

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

4.1 กรณีศึกษาเฮลิคอปเตอร์กระดาษ 27

4.2 การออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ 2^k Full Factorial Design 27

4.3 การออกแบบการทดลองวิธีการของไชนิน 31

4.4 การออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ทากูชิ 36

4.5 สรุปเปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการทากูชิ หลักการค้นหาตัวแปรของไชนิน และวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) 39

บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการศึกษา 43

5.2 ข้อเสนอแนะ 45

เอกสารอ้างอิง 47

ภาคผนวก ก ผก 1

ภาคผนวก ข ผข 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค ..... ผค 1
ภาคผนวก ง ..... ผง 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การเลือกใช้ Standard Orthogonal Array 9

ตารางที่ 2.2 แผนการทดลอง (Matrix experiment) L9 (3^4) Orthogonal array 9

ตารางที่ 2.3 ขั้นตอนและวัตถุประสงค์ของแต่ละขั้นตอนของหลักการค้นหาตัวแปร (Variables Search Method) 16

ตารางที่ 3.1 สภาวะของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่มีผลต่อระยะเวลาในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ 25

ตารางที่ 4.1 ระดับของตัวแปรทั้ง 5 ตัวแปร 28

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองและข้อมูลของค่าตอบสนองของพารามิเตอร์ 2^5 28

ตารางที่ 4.3 Ball Park 32

ตารางที่ 4.4 Separation of important and unimportant factors 34

ตารางที่ 4.5 Capping Run 35

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ตัวแปร (Factorial Analysis) 35

ตารางที่ 4.7 แสดงระดับของตัวแปรทั้ง 5 ตัวแปร 37

ตารางที่ 4.8 การทดลองและข้อมูลของค่าตอบสนองของพารามิเตอร์ L16 (2^5) 37

ตารางที่ 4.9 สรุปผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลกับระยะเวลาในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษอย่างมีนัยสำคัญ เปรียบเทียบกันทั้ง 3 วิธีของการทดลองการออกแบบการทดลอง 40

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของทากูชิ กับหลักการค้นหาตัวแปรของไชนินและการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน 2k Factorial Design 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แบบจำลองทั่วไปของกระบานการผลิต 3
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการศึกษาการทดลองแบบทากูชิ 8
รูปที่ 2.3 ความสูญเสียของทากูชิ 10
รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการลดความแปรปรวนด้วยเทคนิคของไซนิน 13
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 24
รูปที่ 4.1 แผนภูมิพาเรโต้ (Pareto) ของอิทธิพลในแต่ละตัวแปร 29
รูปที่ 4.2 กราฟแสดง Residual Plots for Times 30
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงอิทธิพลของตัวแปร B 31
รูปที่ 4.4 กราฟอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของตัวแปร B 36
รูปที่ 4.5 ข้อมูล ANOVA จาก Minitab Program 38
รูปที่ 4.6 ข้อมูล Response ของ Signal to Noise Ratios และ Means 38
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงอิทธิพลของตัวแปร B 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากในปัจจุบันเทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับมากขึ้นในแวดวงอุตสาหกรรม ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตร อุตสาหกรรมเคมี ตลอดจนอุตสาหกรรมการผลิต โดยการออกแบบการทดลองจะมี 4 ขั้นตอน คือ การวางแผน (Planning) การคัดเลือก (Screening หรือ Process characterization) การหาค่าที่ดีที่สุด(Optimization) และการทวนสอบ (Verification) ใช้ในงานด้านการพัฒนากระบวนการการผลิต ซึ่งเป็นการลดจำนวนตัวแปรจำนวนมาก ให้พิจารณาเฉพาะตัวแปรที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเท่านั้น โดยทั่วๆไปจะใช้แบบ Classical Factorial (ปัจจัยมีค่าระดับมากกว่า 2 ค่าขึ้นไป)

นอกจากนี้มีวิธีการอีกอย่างหนึ่งที่ได้รับการยอมรับ คือ การออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของทากูชิ เป็นการลดความสูญเสีย ที่เกิดจากคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ไม่ตรงตามเป้าหมาย โดยการตรวจสอบจากผลรวมของความสูญเสียทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ อันเกิดจากองค์ประกอบต่างๆผันแปรไปจากคุณภาพของเป้าหมาย จึงทำการศึกษาเปรียบเทียบการออกแบบการทดลองแบบ Classical Factorial และวิธีการของทากูชิ โดยการสร้างกรณีศึกษาและเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ว่าวิธีการใดมีประสิทธิภาพที่ดีกว่ากัน

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาและกำหนดแนวทางการประยุกต์ใช้วิธีการของทากูชิโดยอาศัยกรณีศึกษา

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองของทากูชิกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล)

1.3 ระเบียบการวิจัย

1.3.1 ศึกษาวิธีการออกแบบการทดลองของทากูชิ ไชนินและวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล)

1.3.2 อาศัยกรณีศึกษาโดยใช้แบบเฮลิคอปเตอร์ ทำการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

1.3.3 วิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองของทากูชิ ไชนินและวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) โดยอาศัยกรณีศึกษาแบบเฮลิคอปเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.4 นำแนวทางในวิธีการการออกแบบการทดลองของทากูชิและไชนินไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ

1.4 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ศึกษาถึงทฤษฎีของการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน(แฟคทอเรียล) ,วิธีการค้นหาตัวแปรของทากูชิ และไชนิน ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองของทากูชิ แบบไชนิน และวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน(แฟคทอเรียล) โดยอาศัยกรณีศึกษา

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อเป็นแนวทางในการนำวิธีการการออกแบบการทดลองของทากูชิไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ

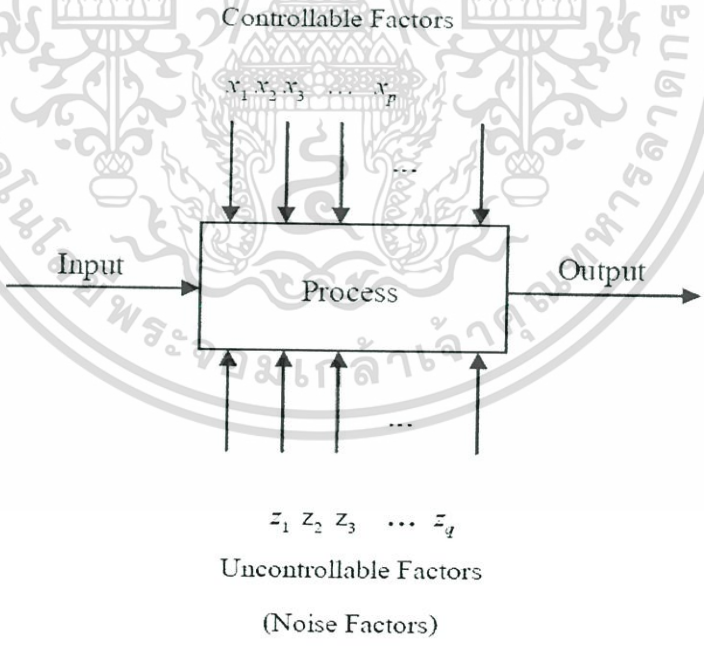
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยเรื่อง การศึกษาการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการทากูชิ และหลักการค้นหาตัวแปรของไชนิน ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้ารวบรวมแนวคิด ทฤษฎีและผลงานที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษา ดังปรากฏในรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 การออกแบบการทดลอง

มอนโกเมอรี่ (Montgomery,1991) กล่าวว่า การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ วัตถุประสงค์ของการทดลองคือเพื่อศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการและระบบ



รูปที่ 2.1 แบบจำลองทั่วไปของกระบานการผลิต (Montgomery, 2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1 กระบวนการ คือการนำทรัพยากรที่จำเป็นในการทดลอง ได้แก่ วัตถุดิบ เครื่องจักร คนและกรรมวิธีการทำงาน ทรัพยากรที่จำเป็นในการทดลองเป็นปัจจัยทีมีผลต่อผลผลิตที่ได้ ซึ่งมีความจำเป็นที่ต้องควบคุมให้ได้ในระดับที่เหมาะสม ในกระบวนการผลิตหรือการบริการหนึ่งๆ ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้เป็นสิ่งที่มีอิทธิพลต่อผลผลิต ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มคุณภาพและผลผลิตของผลิตภัณฑ์และบริการ แต่ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้หรือยากต่อการควบคุมยังมีผลรบกวนต่อระบบการทดลองซึ่งเป็นผลให้ได้ผลผลิตออกมา มีความคลาดเคลื่อน ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของการออกแบบการทดลองจึงมีดังต่อไปนี้

1. หาตัวแปรอิสระหรือปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ในทางปฏิบัติ ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์มากที่สุด
2. หาวิธีการปรับตั้งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ
3. หาวิธีการปรับตั้งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแปรปรวนน้อยที่สุด
4. หาวิธีการปรับตั้งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อผลิตภัณฑ์ เพื่อทำให้ผลของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้มีค่าน้อยที่สุด

2.1.1 หลักการพื้นฐานที่สำคัญของการออกแบบการทดลอง

มีความสำคัญเป็นอย่างมากในการออกแบบการทดลองทุกรูปแบบ มี 3 หลักการคือ

1. การสุ่ม ในการทดลองทุกรูปแบบต้องทำการสุ่มลำดับการทดลอง เนื่องจากวิธีการทางสถิติกำหนดว่าการดำเนินการใดๆกับปัจจัยจะต้องอิสระ เพื่อให้ข้อมูลแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งจะส่งผลให้ลดความคลาดเคลื่อนของการทดลองได้
2. การทำซ้ำ หมายถึง การดำเนินการทดลองซ้ำอีกครั้ง เพื่อจุดประสงค์ 2 อย่างที่สำคัญ คือ
   - เพื่อให้สามารถมองเห็นและประเมินค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองได้ การดำเนินการวิเคราะห์จะนำเอาค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวไปประเมินว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อกระบวนการ
   - เพื่อกำจัดทิ้งความคลาดเคลื่อน (Average out) อิทธิพลที่ไม่สามารถควบคุมได้ ที่มีต่อปัจจัยเปรียบดังเช่นการหาค่าเฉลี่ยนั่นเอง เป็นวิธีการในการประเมินค่าอิทธิพลของปัจจัยอีกอย่างหนึ่ง
3. การบล็อก เป็นเทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มความแม่นยำของการทดลอง หรือเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลอง

2.1.2 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

1. กำหนดหัวข้อปัญหา จะต้องศึกษาและทำความเข้าใจในกระบวนการ เพื่อกำหนดปัญหาและวัตถุประสงค์ของการทดลองได้อย่างชัดเจน
2. การเลือกตัวแปรตอบสนอง จะต้องเน้นตัวแปรที่สามารถวัดได้ ทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัดและวัดด้วยกระบวนการวัดอื่นๆ เช่น การนับ โดยจะต้องเป็นตัวแปรที่สื่อถึงกระบวนการที่เราต้องการศึกษานั้นได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเลือกปัจจัย และการกำหนดระดับของปัจจัย จำเป็นที่จะต้องเลือกปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอย่างแท้จริง ซึ่งสามารถเลือกจากกรรมวิธีคัดกรองโดยเครื่องมือทางสถิติ เช่น T-Test เป็นต้น ผู้ที่มีความรู้หรือเชี่ยวชาญในกระบวนการนั้นๆก็เป็นผู้ที่สามารถให้คำแนะนำที่ดีในการเลือกปัจจัย และการกำหนดระดับของปัจจัย
4. การเลือกวิธีการออกแบบการทดลอง จะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองเสมอ เนื่องจากการออกแบบการทดลองมีมากมายหลายรูปแบบล้วนแต่มีรูปแบบเฉพาะ และมีความเหมาะสมกับการทดลองที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงขนาดของตัวอย่าง จำนวนการทดลองซ้ำและการบล็อก
5. ดำเนินการทดลอง ให้เป็นไปตามแผนการ ทั้งวิธีการดำเนินการ ความถูกต้องในการวัด การควบคุมตัวแปรในการทดลอง และเก็บผลการทดลอง โดยติดตามการทำงานของกระบวนการอย่างระมัดระวัง
6. การวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้หลักการทางสถิติ คือ การนำเอาวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล รวมถึงการตรวจสอบ ลักษณะและคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เพื่อหาข้อสรุปว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองหรือไม่
7. สรุปผลการทดลองและให้คำแนะนำ เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้ตั้งกระบวนการคราวต่อไป

โดยมีผู้ให้นิยามและความหมายของการออกแบบการทดลองไว้ ดังนี้

เกกิ.อาร์.โบ๊ท (Keki.R.Bhote.2000) กล่าวไว้ว่า การออกแบบการทดลองเป็นทางที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหาเรื้อรังทางด้านคุณภาพและลดความแปรปรวนซึ่งการออกแบบการทดลองนั้นแบ่งออกเป็น 3 หลักการ คือ การออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน การออกแบบการทดลองด้วยวิธีการทากูชิ และการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของไชนิน

การทดลองที่ได้รับการออกแบบมาโดยมากจะมี 4 ขั้นตอนคือ การวางแผน การคัดเลือก (Screening หรือ process characterization) การหาค่าที่ดีที่สุด (optimization) และการทวนสอบ (verification) ตัวอย่างเช่น การออกแบบการทดลองจะประกอบด้วย การสร้าง (creating) การวิเคราะห์ (analyzing) และการพล็อตผลการทดลอง

1. การวางแผน

การวางแผนที่ดีจะช่วยทำให้เกิดปัญหาระหว่างการทำการทดลองน้อยลง ตัวอย่างเช่น บุคลากร อุปกรณ์ที่ทำการทดลอง เงินทุน และเรื่องกรรมวิธีการผลิต ซึ่งอาจส่งผลให้ไม่สามารถทำการทดลองได้ครบสมบูรณ์ ถ้าโครงงานที่ทำการทดลองนี้มีความสำคัญอันดับรองลงมากกว่าอีกโครงงานหนึ่ง ซึ่งทำให้ต้องมีการแบ่งใช้ทรัพยากรบางส่วนไป การแบ่งการทดลองเป็นส่วนๆทำให้ผลการทดลองที่ได้มานั้น ยังสามารถนำไปใช้ได้ และเมื่อทรัพยากรที่ถูกแบ่งใช้ไปนั้นกลับคืนมาก็สามารถทำการทดลองได้เหมือนเดิมและดำเนินต่อจากตอนที่หยุดไว้ก่อนหน้าการเตรียมการทดลองขึ้นอยู่กับลักษณะปัญหาที่กำลังเจอ และนี่เป็นขั้นตอนที่อาจจะต้องดำเนินการ ดังนี้

- กำหนดปัญหา ขั้นตอนนี้คือการกำหนดปัญหา ซึ่งปัญหาที่มีขอบเขตชัดเจนจะช่วยทำให้การกำหนดตัวแปรที่ถูกต้อง เพื่อให้สามารถตอบคำถามได้ตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กำหนดวัตถุประสงค์ ขั้นตอนนี้คือกำหนดวัตถุประสงค์ ซึ่งวัตถุประสงค์ที่ชัดเจนจะทำให้มั่นใจได้ว่าการทดลองที่จะทำนั้นสามารถตอบคำถามได้ตรง และสาระข้อมูลที่จะได้มานี้ใช้ได้จริง
- การสร้างแผนการทดลองเพื่อให้ได้สาระข้อมูลที่ถูกต้อง ในขั้นตอนนี้ควรมีการทบทวนถึงสิ่งต่างๆที่มีความเกี่ยวข้อง เช่น หลักการทางทฤษฎี หรือข้อมูลในอดีต ตัวอย่างเช่น ต้องการหาว่าปัจจัยใดหรือเงื่อนไขของกระบวนการแบบใดที่มีผลต่อประสิทธิภาพและความแปรปรวนของกระบวนการ หรือทำการหาเงื่อนไขของกระบวนการที่ดีที่สุด
- กระบวนการและระบบการวัดจะต้องอยู่ภายใต้การควบคุม โดยหลักทางทฤษฎีทั้งกระบวนการและระบบการวัดควรจะอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติด้วยการใช้หลักการทางการควบคุมกระบวนการทางสถิติ (Statistical Process Control, SPC) ในกรณีที่กระบวนการไม่ได้อยู่ภายใต้การควบคุมแบบสมบูรณ์ แต่อย่างน้อยกระบวนการนั้นๆ ก็ควรที่จะสามารถทำซ้ำและให้ค่ากระบวนการแบบเดิม รวมทั้งต้องมีการวัดความแปรปรวนของกระบวนการ ซึ่งถ้าความแปรปรวนของกระบวนการนี้ที่ได้มามีค่ามากกว่าความแตกต่างหรืออิทธิพลที่กำลังพิจารณา ผลการทดลองที่ได้นี้อาจจะไม่ได้ประโยชน์มากนัก

2. การคัดเลือก

ในงานพัฒนากระบวนการและงานการผลิตส่วนมาก มีตัวแปรจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะมีส่วนในการปรับปรุง การคัดเลือกเป็นการลดจำนวนตัวแปรเหล่านี้ให้มีจำนวนน้อยลง โดยคัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญอย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การลดจำนวนตัวแปรนี้ทำให้สามารถพิจารณาเฉพาะตัวแปรที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเท่านั้นได้ หรือ พิจารณาตามหลักการ ความสำคัญจำนวนน้อย “Vital Few” การคัดเลือกอาจจะสามารถทำได้ถึงการหาค่าที่เหมาะสม (optimal) ของตัวแปรนั้นๆ รวมทั้งบอกค่าตอบสนอง (response) มีสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้ง วิธีดังกล่าวต่อไปนี้ มักจะใช้ในการคัดเลือก

- Two-Level full และ Fractional Factorial ซึ่งในวงการอุตสาหกรรมมีใช้กันแพร่หลาย
- Plackett-Burman แม้ว่าจะมี resolution น้อย แต่ว่ามีประโยชน์อย่างมากต่อการทดลองเพื่อการคัดเลือกและการทดสอบเรื่อง Robustness ซึ่งใช้กันโดยทั่วไป
- General Full Factorial (ปัจจัยมีค่าระดับมากกว่า 2 ค่าขึ้นไป) อาจจะมีประโยชน์บ้างในการทำการทดลอง เพื่อการคัดเลือกขนาดเล็ก

3. การหาค่าที่ดีที่สุด

หลังจากที่มีการคัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญจำนวนน้อย (Vital-Few) จะต้องทำการหาค่าที่ดีที่สุดของปัจจัยเหล่านี้ ซึ่งค่าปัจจัยที่ดีที่สุดจะเป็นค่าอะไรขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการทดลองด้วย ตัวอย่างเช่น วัตถุประสงค์ คือ การหาค่า yield ของกระบวนการที่มีค่ามากที่สุดและมีค่าความแปรปรวนของกระบวนการน้อยที่สุด

- ในหัวข้อภาพรวม Factorial Design เป็นการอธิบายถึงวิธีการออกแบบและการวิเคราะห์ตัวแบบของ Two-level factorial, Plackett-Burman และ General Full Factorial

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ในหัวข้อภาพรวม Response Surface Design เป็นการอธิบายถึงวิธีการออกแบบและการวิเคราะห์ตัวแบบของ Central composite design และ Box-Behnken Design
- ในหัวข้อ Response Optimization เป็นการอธิบายถึงวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดในกรณีที่มีค่าตอบสนองมากกว่าหนึ่งค่า (multiple responses) Minitab มีทั้งวิธี numerical optimization, interactive graph และ overlaid contour plot ที่ไว้เพื่อช่วยในการหาค่าที่ดีที่สุด เพื่อเป็นเงื่อนไขของการเกิดค่าตอบสนองหลายๆค่าไปพร้อมๆกัน

4. การทวนสอบ

การทวนสอบเป็นการทำการทดลองซ้ำเพื่อดูว่าค่าที่วิเคราะห์มาเป็นค่าที่ดีที่สุดนั้น ยังคงให้ผลลัพธ์ที่ดีจริงๆ หรือไม่ ตัวอย่างเช่น คุณทำการทดลองที่มีเงื่อนไขตามค่าที่หามาจากการหาค่าที่ดีที่สุด เพื่อหาขนาดของช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยค่าตอบสนอง

2.2 การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ

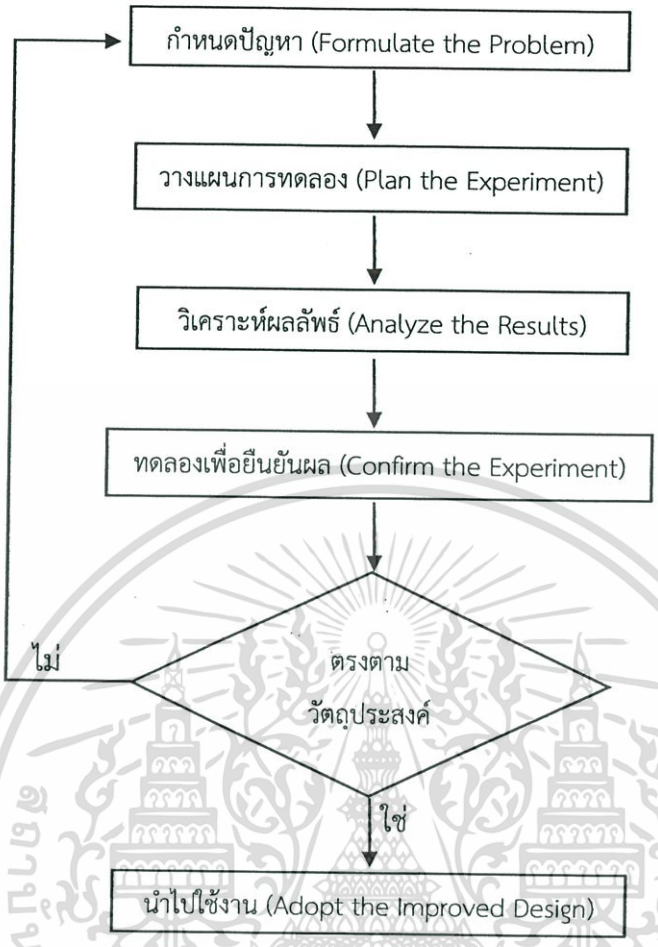
ดร. เจนนิชิ ทากูชิ (วิศวกรชาวญี่ปุ่น) ได้คิดค้นและปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเขาให้ความสำคัญในการทำให้ได้กระบวนการผลิตที่ดีที่สุด ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อการผลิตและผลการปฏิบัติงานมีความแปรปรวนน้อยที่สุด แนวคิดนี้เน้นไปที่การออกแบบ โดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. การออกแบบระบบ คือ การออกแบบรูปร่างทั่วไปของระบบ
2. การออกแบบค่ามาตรฐานของระบบ คือ การกำหนดค่าตัวเลขเพื่อแสดงว่าระบบทำงานด้วยดีและไม่มีสิ่งรบกวน
3. การออกแบบระดับที่ยอมทน คือ ระดับของระบบที่ไม่เป็นที่พอใจ

วิธีการของทากูชิ จะเน้นการค้นหาปัจจัยควบคุมที่ทำให้กระบวนการหรือผลผลิตไม่มีผลกระทบต่อปัจจัยรบกวน สำหรับการค้นหาค่ามาตรฐานที่ดีที่สุด กระทำโดยการทดลองเพื่อดูผลกระทบในระดับต่างๆ แต่ถ้าทดลองหมดทุกครั้งอาจใช้เวลาและค่าใช้จ่ายมาก ขณะที่ผลที่ได้ก็อาจจะซ้ำๆกัน ทากูชิจึงคิดวิธีการลดจำนวนการทดลอง โดยใช้ปัจจัยเป็นตัวกำหนดจำนวนการทดลองและทำการทดลองแต่ละปัจจัยเพียง 2 ระดับ เรียกว่า "การจัดเรียงลำดับการทดลองตามผลคูณของระดับที่ดีที่สุดของปัจจัย (Orthogonal Array)" องค์การและนักวิชาการส่วนใหญ่ยอมรับว่าวิธีการของทากูชิมีประโยชน์ต่อการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงคุณภาพกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 **ขั้นตอนการศึกษาการทดลองแบบทากูชิ** สามารถทำได้ 4 ขั้นตอน คือ



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการศึกษาการทดลองแบบทากูชิ

ถ้าผลการทดลองไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ก็จะเริ่มกลับมาทำขั้นตอนที่ 1 ใหม่ แต่ถ้าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ก็จะนำมาใช้งานได้ในขั้นตอนการวางแผนการทดลอง จะเริ่มที่การออกแบบแผนการทดลองแบบเมตริกซ์ (Design the matrix experiment) ซึ่งทางเลือกหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการศึกษาปัจจัยหลายๆปัจจัยพร้อมๆกัน คือ การกำหนดตารางแผนการทดลองโดยใช้ตารางแนวฉาก (Orthogonal Array) และ linear graph เป็นเทคนิคที่มีความสำคัญใน Robust Design (RD)

ในการจัดปัจจัยควบคุมหรือตัวแปรที่ออกแบบไว้ให้กับ Orthogonal Array จะต้องจัดให้อยู่ในคอลัมน์ของตาราง (Array) เมื่อผู้ออกแบบการทดลองทราบจำนวนของปัจจัยควบคุม (Control Factor) และระดับของปัจจัยควบคุม (Control Factor Level) ที่ได้ออกแบบไว้ โดยนำค่าทั้งสองนี้มาทำการพิจารณาเลือก Orthogonal Array ที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 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	-	-	-
L18	18	8	1	7	-	-
L25	25	6	-	-	-	6
L27	27	13	-	13	-	-
L32	32	31	31	-	-	-

เช่น สมมุติว่าต้องการศึกษาเพื่อประเมินอิทธิพลของปัจจัยควบคุม 4 ปัจจัย ที่มีผลต่อค่าตอบสนองของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผู้ออกแบบการทดลองได้เลือกระดับของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ไว้ 3 ระดับเท่ากันทุกปัจจัย ตารางแผนการทดลอง (Matrix Experiment) ที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างนี้คือ ตาราง L9 (3^4) Orthogonal Array ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2.2 แผนการทดลอง (Matrix Experiment) L9 (3^4) Orthogonal Array

ลำดับการทดลอง	คอลัมน์ (Column)			
	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

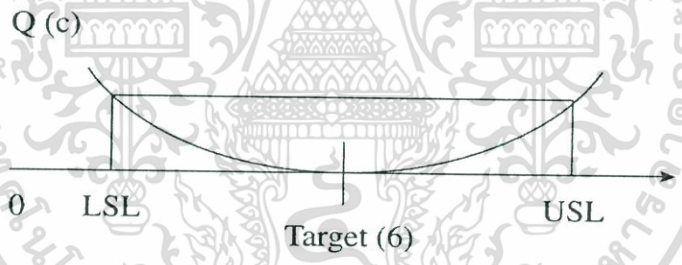
ตารางที่ 2.2 แผนการทดลอง (Matrix Experiment) L9 (3^4) Orthogonal Array (ต่อ)

ลำดับการทดลอง	คอลัมน์ (Column)			
	1	2	3	4
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Robust Design (RD) คือ การประเมินความสูญเสียและผลกระทบต่างๆเหล่านั้นและหาว่าเงื่อนไขของกระบวนการผลิตเป็นอย่างไร เพื่อให้เกิดความแน่ใจว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นตรงตามเป้าหมายรวมไปถึงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ทนต่อสภาพแวดล้อมและปัจจัยอื่นๆที่นอกการควบคุม

ได้จำกัดความสูญเสียไว้ 2 ประเภท คือ

1. ความสูญเสียเกิดจากค่าเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมาย
2. ความสูญเสียยิ่งมีค่าน้อยลง ความต้องการในตัวผลิตภัณฑ์ก็จะมากขึ้น



รูปที่ 2.3 ความสูญเสียของทากูชิ (Asahi, 1979)

ทากูชิ ได้แสดงฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ของความสูญเสียในรูปของสมการควอดราติก ดังนี้ พิจารณาความสูญเสียเชิงปริมาณ ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. Larger is Better: ยิ่งมากยิ่งดี

$$L(y) = k\left(\frac{1}{y^2}\right) \tag{2.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Smaller is Better: ยิ่งน้อยยิ่งดี

$$L(y) = ky^2 \tag{2.2}$$

3. Nominal is Best: ค่าตรงเป้าหมายดีที่สุด

$$L(y) = k\left(y - m\right)^2 \tag{2.3}$$

โดยกำหนด Y คือ ค่าคุณลักษณะเฉพาะตัวที่ได้จากการวัดอย่างต่อเนื่อง

m คือ ค่าคุณลักษณะตามเป้าหมาย

L(Y) คือ ความสูญเสีย

สำหรับการวิเคราะห์ (ANOVA) ผลการทดลองจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนของ Signal to Noise (S/N Ratio) ซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ในการหาเป้าหมายที่ถูกต้องเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด (Optimize) โดยจะเลือกใช้รูปแบบใดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. Larger is Better: ยิ่งมากยิ่งดี

$$\frac{S}{N} = -10\,log\frac{\sum\left(\frac{1}{y_i{}^2}\right)}{n} \tag{2.4}$$

2. Smaller is Better: ยิ่งน้อยยิ่งดี

$$\frac{S}{N} = -10\,log\frac{\sum y_i{}^2}{n} \tag{2.5}$$

3. Nominal is Best: ค่าตรงเป้าหมายดีที่สุด

$$\frac{S}{N} = 10\log\left(\frac{\bar{Y}^2}{s^2}\right) \tag{2.6}$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{N_i}\sum_{i=1}^{N_i} y_i \tag{2.7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$s^2 = \frac{1}{N_i - 1}\sum_{i=1}^{N_i}(y_i - \bar{y}_i) \quad (2.8)$$

$\frac{S}{N}$ = Signal to Noise Ratio

i = การทดลองที่ 1,2,...,i

n = จำนวนการทดลอง

N_i = จำนวนการทดลองในแต่ละ Trial

y_i = ผลของข้อมูลใน Trial

2.3 การออกแบบการทดลองแบบไชนิน

การออกแบบการทดลองของไชนินถูกพัฒนาขึ้นมาโดย โดเรียน ไชนิน (Dorian Shainin) วิศวกรชาวอเมริกา ซึ่งมีเป้าหมายในการพยายามลดความซับซ้อนและจำนวนครั้งของการทดลองโดยอาศัยหลัก "Rule of Thumb" และเป็นที่ได้รับความยอมรับมากพอสมควรในอุตสาหกรรมการผลิต มีการนำไปประยุกต์ใช้ในบริษัทใหญ่ๆมากมาย เช่น Motorola , GM , Ford ฯลฯ อีกทั้งประกอบด้วยเครื่องมือพื้นฐาน 13 อย่าง

ทั้งนี้หลักการออกแบบการทดลองของไชนิน จะมีคำศัพท์ที่เรียกตัวแปรที่มีผลกระทบทางด้านคุณภาพที่แตกต่างจากคำศัพท์ของการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐานแฟคทอเรียลโดยมีผู้ที่ให้นิยามและความหมายของคำศัพท์ต่างๆที่ถูกใช้ในการออกแบบการทดลองของไชนินไว้ดังนี้

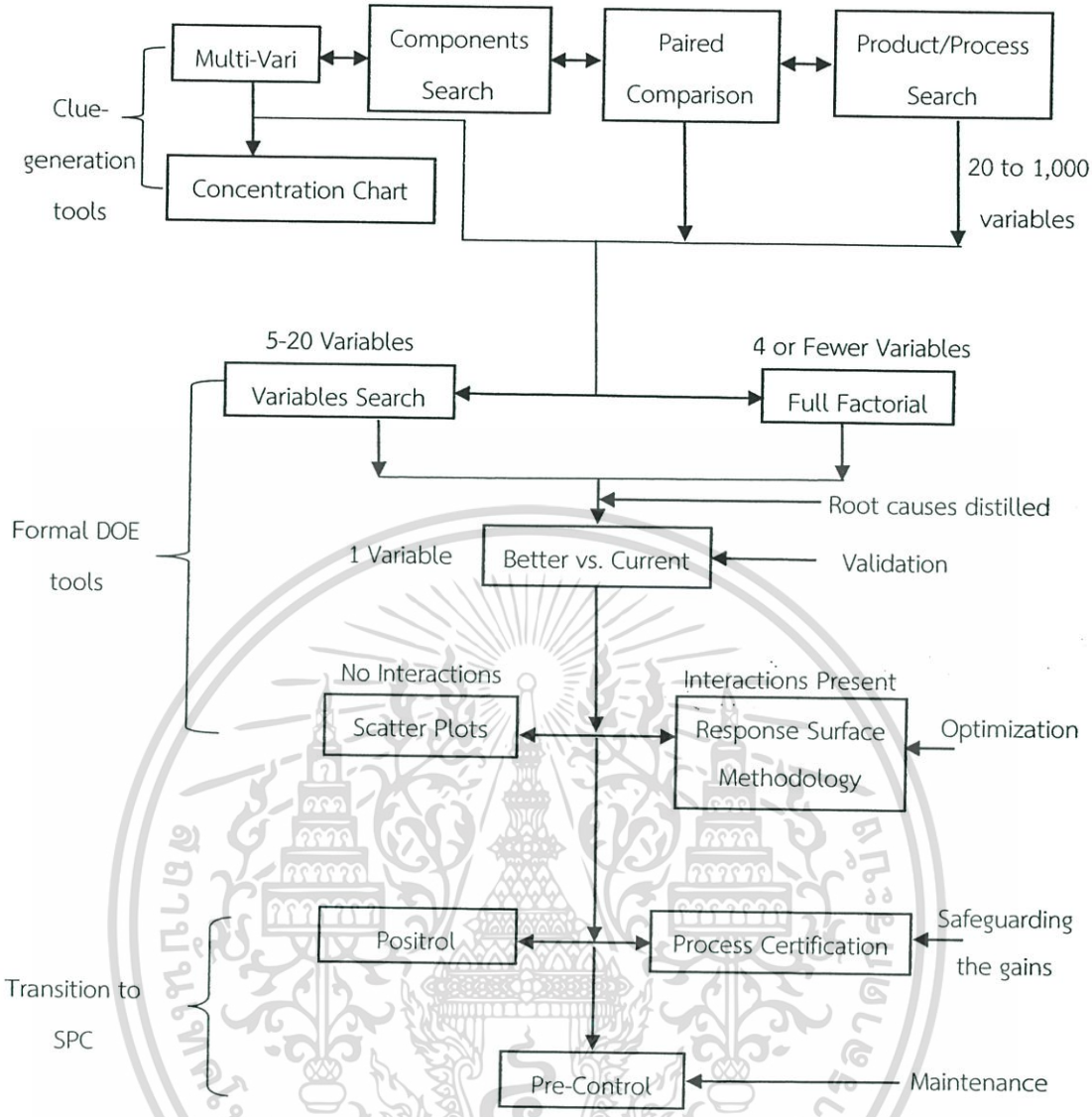
เอ.เจ โทมัส (A.J. Thomas. 2005) กล่าวไว้ว่า RedX หมายถึง ตัวแปรหลักอันดับ 1 ที่ส่งผลกระทบกับความแข็งแรงของรอยเชื่อม PinkX หมายถึง ตัวแปรอันดับ 2 ที่ส่งผลกระทบกับความแข็งแรงของรอยเชื่อม PalePinkX หมายถึง ตัวแปรอันดับ 3 ที่ส่งผลกระทบกับความแข็งแรงของรอยเชื่อม

โดเรียน ไชนิน (Dorian Shainin.1988) กล่าวไว้ว่า RedX หมายถึงตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุด PinkX หมายถึงตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุดอันดับที่ 2 PalePinkX หมายถึง ตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุดอันดับ 3

จากนิยามข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า RedX หมายถึง ตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุด PinkX หมายถึงตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุดอันดับที่ 2 PalePinkX หมายถึง ตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุดอันดับ 3 ตามลำดับ

โดยวิธีการของไชนิน ประกอบด้วยเครื่องมือพื้นฐาน 13 เครื่องมือ ในการช่วยลดความแปรปรวนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการลดความแปรปรวนด้วยเทคนิคของไชนิน (ยศวัจน์ ศิริกมลชัย, 2554)

2.3.1 วัตถุประสงค์ของเครื่องมือทั้ง 13 เครื่องมือ

เครื่องมือที่ 1 Multi-Vari

วัตถุประสงค์ เพื่อลดจำนวนตัวแปรหรือปัจจัยที่ไม่รู้ค่า โดยแบ่งกลุ่มตัวแปรหรือปัจจัยเป็นกลุ่มย่อย และกำหนดให้กลุ่มตัวแปรหรือตัวแปรที่สำคัญที่สุดเป็น RedX เทคนิคนี้อาศัยการเขียนกราฟเพื่อจำแนกหาสาเหตุหลักที่มีผลต่อลักษณะคุณภาพ (Green Y) ที่ต้องการควบคุม

เครื่องมือที่ 2 Components Search

วัตถุประสงค์ เพื่อค้นหาว่าชิ้นส่วนใดมีผลต่อคุณภาพของสินค้าโดยการเอาชิ้นส่วนมาแบ่งแล้วประกอบกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือที่ 3 Paired Comparisons

วัตถุประสงค์ เพื่อใช้เปรียบเทียบสินค้าที่ดีกับเลวหรือดีกับเสีย เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของสินค้านั้น โดยจะใช้ในกรณีที่สินค้าไม่สามารถถอดประกอบหรือแยกเป็นชิ้นส่วนได้

เครื่องมือที่ 4 Product/Process Search

วัตถุประสงค์ เพื่อแยก Process parameters ที่สำคัญออกจาก Process parameters ที่ไม่สำคัญ

เครื่องมือที่ 5 Concentration Chart

วัตถุประสงค์ เพื่อให้เห็นภาพรวมว่าปัญหาที่เกิดขึ้นซ้ำๆนั้นแท้จริงแล้วเกิดขึ้นจากสาเหตุใด และควรแก้ไขที่จุดใด

เครื่องมือที่ 6 Variables Search

วัตถุประสงค์ของ Variables Search 7 ข้อ ดังนี้

1. เพื่อลดจำนวนสาเหตุหรือปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพสินค้า
2. เพื่อแยกปัจจัยที่สำคัญออกจากที่ไม่สำคัญ
3. เพื่อขยายค่าความเผื่อ (Tolerance) ของปัจจัยที่ไม่สำคัญ
4. เพื่อกำหนดขนาดหรือมิติและทิศทางของปัจจัยที่สำคัญซึ่งมีผลต่อคุณภาพสินค้า
5. เพื่อการป้องกันปัญหาการผลิตด้วยการออกแบบที่ดี
6. เพื่อการหาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆแม้ในกรณีที่ไม่สามารถรู้สมการทางคณิตศาสตร์
7. เพื่อลดค่าใช้จ่ายโดยการผ่อนคลายค่าความเผื่อและความเข้มงวดของปัจจัยที่ไม่สำคัญ ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้จะใช้เครื่องมือนี้เป็นเครื่องมือหลักในการดำเนินงาน

เครื่องมือที่ 7 Full Factorial Design

วัตถุประสงค์ เพื่อหาความสำคัญของปัจจัยที่เลือกมา 2-4 ปัจจัยจากปัจจัยทั้งหมดว่าปัจจัยใดที่มีนัยสำคัญต่อคุณภาพสินค้าและปัจจัยใดที่ไม่มีนัยสำคัญ

เครื่องมือที่ 8 B vs C

วัตถุประสงค์ของ B vs C

1. เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการทวนสอบหรือยืนยันผลของปัจจัย (Verification Tools) มากกว่าที่จะใช้เป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหาเบื้องต้น
2. เพื่อเป็นการตัดสินใจว่าผลิตภัณฑ์ชิ้นใด หรือกระบวนการใด ดีกว่ากันในด้านคุณภาพ โดยมีการกำหนดในเรื่องของคุณภาพและความเชื่อมั่น

เครื่องมือที่ 9 Scatter plots

วัตถุประสงค์ของ Scatter plots

1. เพื่อกำหนดข้อกำหนดเฉพาะและค่าเผื่อที่เป็นไปได้จริง (realistic specification and realistic tolerance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เพื่อเข้มงวดกับค่าเผื่อสำหรับปัจจัยที่สำคัญเพื่อให้ได้ค่า C_{pk} (process capability index) ที่สูง

3. เพื่อผ่อนคลายกับค่าเผื่อสำหรับตัวแปรหรือปัจจัยที่ไม่สำคัญ เพื่อลดต้นทุน

เครื่องมือที่ 10 Response Surface Methodology

วัตถุประสงค์ เพื่อกำหนดระดับของตัวแปรหรือปัจจัยที่มีผลต่อ GreenY เพื่อให้ได้ค่า GreenY สูงสุดหรือต่ำสุดหรือค่าที่ดีที่สุดนั่นเอง

เครื่องมือที่ 11 และ 12 Positrol Process Certification และ Operator Certification

วัตถุประสงค์ เพื่อใช้สำหรับการควบคุมในเชิงบวกหรือเชิงระวังป้องกันของตัวแปรต่างๆ ซึ่งเป็นสาเหตุของความแปรปรวนในกระบวนการ โดยระบุถึง 5W1H ลงในเอกสารควบคุมอย่างชัดเจน

เครื่องมือที่ 13 Pre-Control Techniques

วัตถุประสงค์ เพื่อหาสาเหตุของปัญหาเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดซ้ำก่อนที่จะทำการผลิตจริง

2.3.2 หลักการค้นหาตัวแปร

หลักการค้นหาตัวแปร (Variables Search Method) เป็น 1 ใน 13 ขั้นตอนของการลดความแปรปรวนด้วยวิธีการของไชนิน ซึ่งเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ใช้จำนวนการทดลองที่น้อยครั้ง (สูงที่สุดประมาณ 26 ครั้งในกรณีที่มีตัวแปร 10 ตัวแปร) โดยวัตถุประสงค์ของหลักการค้นหาตัวแปร (Variables Search Method) มีดังนี้

1. เพื่อลดจำนวนสาเหตุหรือปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพสินค้า
2. เพื่อแยกปัจจัยที่สำคัญออกจากที่ไม่สำคัญ
3. เพื่อขยายค่าความเผื่อ (Tolerance) ของปัจจัยที่ไม่สำคัญ
4. เพื่อกำหนดขนาดหรือมิติและทิศทางของปัจจัยที่สำคัญซึ่งมีผลต่อคุณภาพสินค้า
5. เพื่อการป้องกันปัญหาการผลิตด้วยการออกแบบที่ดี
6. เพื่อการหาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆแม้ในกรณีที่ไม่สามารถรู้สมการทางคณิตศาสตร์
7. เพื่อลดค่าใช้จ่ายโดยการผ่อนคลายค่าความเผื่อ และความเข้มงวดของปัจจัยที่ไม่สำคัญ 4 ขั้นตอนและมีวัตถุประสงค์ของแต่ละขั้นตอนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ขั้นตอนและวัตถุประสงค์ของแต่ละขั้นตอนของหลักการค้นหาตัวแปร (Variables Search Method) (ยศวัจน์ ศิริกมลชัย, 2554)

Stage	Objective
1. Ball Park	กำหนดตัวแปรและค่าที่ถูกต้องในแต่ละการทดลอง
2. Separation of important and unimportant factors	-แยกตัวแปรที่สำคัญออกจากตัวแปรที่ไม่สำคัญ -กำจัดตัวแปรที่ไม่สำคัญออกไปรวมทั้ง interaction ที่เกิดจากตัวแปรนั้นออกไปด้วย
3. Capping Run (Verification)	ยืนยันตัวแปรที่สำคัญและยืนยันความสำคัญของตัวแปรนั้น
4. Factorial Analysis	วิเคราะห์หาค่าของปัจจัยสำคัญที่จะทำให้คุณภาพสินค้าดีที่สุดโดยการหา Main และ Interaction Effect

ขั้นตอนที่ 1 : Ball Park

1. กำหนดเลือก Green Y (ตัวแปรตอบสนอง) ที่ใช้ในการวัดคุณภาพ
2. วิเคราะห์และกำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลคุณภาพสินค้า
3. กำหนดค่าให้ตัวแปรหรือปัจจัยแต่ละปัจจัยเพื่อการทดลอง โดยแบ่งเป็น Best Level (B) และ Marginal Level (M)
4. กำหนดขนาดตัวอย่างโดยทั่วไปกำหนดเพียง 2 ชิ้น คือ Best of Best (BOB) และ Worst of Worst (WOW) อย่างละชิ้น
5. ประเมินหาแนวโน้มอย่างคร่าวๆโดยการทดลอง 2 ครั้ง ครั้งแรกที่ค่า Best Level ครั้งที่สองที่ค่า Marginal Level ของทุกปัจจัย โดย
   - ถ้ามีความแตกต่างของค่า Green Y อย่างมากระหว่างค่า Best และ Marginal แสดงว่าปัจจัยที่เลือกไว้มีแนวโน้มว่าจะเป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพอย่างแท้จริง
   - ถ้าค่าของ Best Level ทุกค่าดีกว่า Marginal Level แต่แตกต่างกันไม่มาก แสดงว่ายังมีปัจจัยที่ไม่ถูกเลือกซึ่งมีผลต่อคุณภาพหรือค่า Green Y
   - ถ้าค่าของ Best Level ไม่ได้แสดงอย่างชัดเจนว่าดีกว่าค่าของ Marginal Level แสดงว่าปัจจัยที่เลือกไว้ไม่มีผลต่อคุณภาพ
6. ทำซ้ำแบบเดียวกับขั้นที่ 5 อีก 2 ครั้ง
7. ทดสอบนัยสำคัญเพื่อพิสูจน์ว่า Green Y ของ Best Level ทั้ง 3 ตัว ดีกว่า Green Y ของ Marginal Level ทั้ง 3 ตัว การทดสอบนัยสำคัญทั้ง 2 จะต้อง
   - Green Y ของBest Level ทั้ง 3 ตัว ต้องดีกว่าGreen Y ของMarginal Level ทั้ง 3 ตัว
   - อัตราส่วน D : $\bar{d}$ ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 1.25:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ถ้าการทดสอบนัยสำคัญตามขั้นที่ 7 ผ่าน ก็ถือว่าขั้นตอนที่ 1 เสร็จสิ้น แสดงว่าปัจจัยที่เลือกไว้ถูกต้อง
9. ถ้าการทดสอบนัยสำคัญตามขั้นที่ 7 ไม่ผ่าน แสดงว่าปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพยังไม่ถูกเลือก ให้กลับไปทำขั้นที่ 2 ใหม่

ขั้นตอนที่ 2 : Separation of important and unimportant factors

1. ทำการทดลองโดยการสลับค่าตัวแปรทีละคู่ แล้วคำนวณค่าสูงสุดและต่ำสุดของขอบเขตการตัดสินใจ (Decision Limits (High sides) และ Decision Limits (Low sides)) โดยใช้สูตร

$$\text{Median} \pm 2.776 \frac{\bar{d}}{1.81} \qquad (2.9)$$

2. ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้
   - ถ้า A_MR_B อยู่ใน decision limits-low และ A_BR_M อยู่ใน decision limits-high แสดงว่า A ไม่มีนัยสำคัญ
   - ถ้า A_MR_B และ A_BR_M ให้ผลตรงข้ามกันคือ A_MR_B ให้ผลเหมือนกรณี All Best และ A_BR_M ให้ผลเหมือนกรณี All Marginal แสดงว่า A เท่านั้นที่เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญ ปัจจัยอื่นๆตัดออกได้ทั้งหมด
   - ถ้า A_MR_B และ A_BR_M ค่าใดค่าหนึ่งหรือทั้งสองค่าตกออกนอก decision limits คือ A_MR_B ตกออกนอก decision limits-low และ A_BR_M ตกออกนอก decision limits-high แต่มิได้ให้ผลตรงข้ามกัน แสดงว่า A มีนัยสำคัญร่วมกับปัจจัยอื่นด้วย
3. ถ้าผลลัพธ์ในขั้นที่ 2 เป็น (a) หรือ (c) ให้ทดลองต่อสำหรับปัจจัยที่เหลือ คือ B,C,D,... และปัจจัยอื่นต่อไป
4. ถ้าผลลัพธ์ในขั้นที่ 2 เป็น (b) ให้หยุดการทดลอง แสดงว่าได้ RedX เพียงตัวเดียว

ขั้นตอนที่ 3 : Capping Run (Verification)

1. ทดสอบยืนยันผลของตัวแปรและ interaction โดยสลับค่าของปัจจัย เช่น $A_BB_BR_M$ และ $A_MB_MR_B$ (ถ้ามีปัจจัยที่มีนัยสำคัญมากกว่าหรือเท่ากับ 3 ปัจจัย)
2. ทดสอบยืนยันผล interaction 3 ตัวแปร (ถ้ามีปัจจัยที่มีนัยสำคัญมากกว่าหรือเท่ากับ 3 ปัจจัย)

ขั้นตอนที่ 4 : Factorial Analysis

ในกรณีที่ค่า Interaction ของปัจจัยหรือตัวแปรคู่ใดมีนัยสำคัญให้เขียนกราฟ Interaction Plot เพื่อหาว่า Interaction ของปัจจัยคู่นั้นมีมากหรือไม่ เพื่อนำไปสู่การกำหนดค่าของปัจจัยที่จะทำให้คุณภาพสินค้าดีที่สุดต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การประยุกต์ใช้ทากูชิ

คูเซียค และเฟง (Kusiak & Feng. 1994) งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับค่าเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน (Tolerance) ของชิ้นส่วนและกระบวนการผลิตที่จะนำมาใช้ ที่ส่งผลให้ต้นทุนโดยรวมของการผลิตต่ำที่สุด รวมทั้งได้นำฟังก์ชั่นความสูญเสียของทากูชิ (Loss Function) เข้ามาคิดรวมในตัวแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ตัวแบบมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น

กิตติกร ฤทธิ์สิงห์ เลอศักดิ์ สุมาลย์ และคมสัน จิระภัทรศิลป งานวิจัยนี้เสนอการปรับปรุงคุณภาพงานหล่อนิเกิล-อลูมิเนียม บรอนซ์ โดยวิธีการของทากูชิ โดยในบริษัทโรงหล่อ ก.เจริญ จำกัด มักพบปัญหาจากผลิตภัณฑ์ มีความแข็งและเปราะ จึงทำให้ยากต่อการแปรรูป เช่น งานกลึง งานหล่อ จึงมีการนำแนวคิดวิธีการของทากูชิ (Taguchi's method) ให้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการสร้างคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และพยายามทำให้กระบวนการทำได้ตามที่ถูกออกแบบไว้ ซึ่งควบคุมตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการให้เกิดความแน่นอนมากขึ้น ทำให้ทราบถึงตัวแปรที่ต้องมีการควบคุมตามเงื่อนไขและสภาวะต่างๆ วิธีการทดลองกำหนดปัจจัย 4 ตัว คือ อุณหภูมิเท %นิเกิล %อลูมิเนียม และ % สังกะสี โดยแบ่งปัจจัยเป็น 3 ระดับ ทำให้ได้แผนการทดลองแบบ L9(34) และทำการวิเคราะห์ผลโดยใช้ค่า S/N-Ratio และการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย โดยผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพมากที่สุด คือ อุณหภูมิเท รองลงมา คือ ส่วนผสมอลูมิเนียม ปัจจัยและเงื่อนไขที่ดีที่สุด คือ อุณหภูมิเทที่ 1350 °C นิเกิล 14 % อลูมิเนียม 12 % และสังกะสี 8 % ผลการทดสอบคุณสมบัติของนิเกิล-อลูมิเนียม บรอนซ์ดีขึ้นและลดจำนวนของเสียให้น้อยลงได้

อัษฎาวุธ หนูเกื้อ (2550) งานวิจัยนี้เสนอถึงการปรับปรุงคุณภาพงานฉีดพลาสติกโดยวิธีการทากูชิ โดยมีจุดประสงค์ คือการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของชิ้นส่วน Hub-C2 ซึ่งเป็นชิ้นส่วนหลักของเทปบันทึกข้อมูลแบบดิจิตอล (DDS: Digital Data Storage) ในกระบวนการการฉีดพลาสติกแบบหลายคาวิตี้ จำนวน 16 คาวิตี้ โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (Taguchi) และค้นหาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken และใช้ทฤษฎีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) ในการหาค่าที่ดีที่สุด การพิจารณาผลการทดลองจะประเมินจากดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index) จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยเวลาในการหล่อเย็น แรงดันอัดย้ำ และเวลาในการอัดย้ำ ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน Hub-C2 เกือบทุกคาวิตี้ ในปัจจุบันอุณหภูมิของกระบอกฉีดส่งผลเฉพาะ H,K,L,M,N,O และ P จากการนำสภาวะการทดลองที่เหมาะสมไปใช้พบว่าความสามารถของกระบวนการการผลิตโดยเฉลี่ยทั้ง 16 คาวิตี้ เพิ่มขึ้นจาก 0.8 เป็น 1.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การประยุกต์ใช้ไซนิน

จิจู แอนโทนี่ และอัลเฟรด โฮ หยวน เชง (Jiju Antony; & Alfred Ho Yuen Cheng.2003) งานวิจัยนี้เสนอถึงวิธีการง่ายๆในการใช้หลักการค้นหาตัวแปรของไซนิน อธิบายขั้นตอนการทำทีละขั้นตอน โดยมีตัวอย่างประกอบ โดยผู้วิจัยได้สรุปถึงหลักการค้นหาตัวแปรของไซนินว่าเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของสินค้าจากจำนวนตัวแปรในการทดลองที่มีจำนวนมากๆ แต่หลักการค้นหาตัวแปรของไซนิน ยังมีข้อเสียในเรื่องของการวิเคราะห์ความผันแปรของกระบวนการ

แอนดรู โทมัส และจิจู แอนโทนี่ (Andrew Thomas; Jiju Antony. 2004) งานวิจัยนี้ได้ยกตัวอย่างวิธีการค้นหาตัวแปรของไซนิน ซึ่งถูกนำมาใช้ในการบ่งชี้ตัวแปรที่มีอิทธิพลในการควบคุมความแข็งแรงของรอยเชื่อมของรวงผึ้งภายในบริษัทเครื่องบิน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงถึงจุดเด่นในการใช้เทคนิควิธีการค้นหาตัวแปรของไซนิน ในการปรับปรุงความแข็งแรงของรอยเชื่อมของรวงผึ้งของบริษัทเครื่องบิน ซึ่งถูกแสดงให้เห็นว่าเทคนิคสถิติแบบง่ายๆ มีพลังในการบ่งชี้ตัวแปรหลักที่ส่งผลกระทบกับความแข็งแรงของรอยเชื่อมอย่างมีประสิทธิภาพ

3. การเปรียบเทียบการออกแบบการทดลอง

อนัน เค. บีวัว และมารุติ เอส. พาวา (Anand K. Bewoor; & Maruti S. Pawar. 2010) วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ ต้องการขจัดข้อตำหนิของผู้ประกอบการรายย่อย (SMEs) ที่มีต่อ Six Sigma ที่ไม่สามารถนำมาใช้ได้จริง ต้นทุนสูง และมีระบบการทำงานที่ซับซ้อน โดยจะอธิบายขั้นตอนต่างๆ ทีละขั้น เพื่อช่วยลดอุปสรรคในการทำงานด้านสถิติ รวมทั้งวิธีการทำงานที่ไม่คุ้นเคยของแต่ละบุคคล ซึ่งงานวิจัยนี้เน้นการใช้เครื่องมือของไซนินเป็นพิเศษ เนื่องจากได้เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียในมุมมองต่างๆกับเทคนิคการออกแบบการทดลองวิธีมาตรฐานและวิธีของทากูชิ ซึ่งผู้วิจัยสรุปผลว่าการออกแบบการทดลองของไซนินมีจุดเด่นในเรื่อง เวลาที่ใช้ในการทดลองที่น้อย ต้นทุนต่ำ การฝึกสอนง่าย ง่ายกับการนำไปประยุกต์ใช้และวิธีการเก็บข้อมูลจะทำได้แบบออนไลน์ โดยไม่รบกวนต่อกระบวนการผลิตปกติ ดังนั้นการใช้เครื่องมือของไซนินจึงช่วยให้การทำงานของ Six Sigma นั้นง่ายขึ้น และเหมาะกับธุรกิจ SME ในการควบคุมคุณภาพตามเป้าหมายของ ISO เช่น การป้องกันความผิดพลาดที่จะเกิดในทุกกระบวนการการผลิตตั้งแต่การออกแบบจนไปถึงการให้บริการ เทคนิคที่จำเป็นในการกำหนด ควบคุม และตรวจสอบสมรรถนะของกระบวนการ และสินค้า การตรวจสอบข้อบกพร่องของสินค้า กระบวนการ และระบบควบคุมคุณภาพความต่อเนื่องในการปรับปรุงคุณภาพของสินค้าหรือบริการ

เอ.เค. เวอร์ม่า เอ. ศรีวิดยา เอ.วี. มันนิกา วี.เอ. พันกาวะรา และเค.เจ. รัททันราช (A.K.Verma, A.Srividya, A.V.Mannikar, V.A.Pankhawala; & K.J. Rathanraj. 2004) งานวิจัยนี้กล่าวถึงการนำกรณีศึกษา 3 ตัวอย่างจากแผนการทดลองด้วยวิธีการของทากูชิมาทำการกรองคัดแยกตัวแปร (Screening) ด้วยหลักการค้นหาตัวแปร (Variable Search) ซึ่งเป็นวิธีการของไซนิน โดยจากผลการคำนวณพบว่า 2 กรณีศึกษา มีผลลัพธ์ว่าตัวแปรที่นำมาทดลองไม่มีนัยสำคัญกับตัวแปรตอบสนอง(Y) ซึ่งไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำเป็นต้องทำการทดลองต่อ และมี 1 กรณีศึกษาที่ผลจากการคำนวณบอกว่าตัวแปรที่นำมาทดลองมีตัวแปรใดตัวหนึ่งที่มีนัยสำคัญกับตัวแปรตอบสนอง (Y) ซึ่งผู้วิจัยให้คำอภิปรายว่าหลักการค้นหาตัวแปรของไชนินสามารถช่วยในการกรองคัดแยกตัวแปรก่อนจะทำการทดลองจริงได้ ซึ่งเป็นจุดเด่นที่มีเหนือกว่าการออกแบบการทดลองแบบดั้งเดิม (Classical) และการออกแบบการทดลองด้วยวิธีของทากูชิ ที่ต้องทำการทดลองแบบเต็มรูปแบบตั้งแต่แรก จึงใช้จำนวนครั้งของการทดลองเยอะมาก

เอ.เจ. โทมัส และเจ แอนโทนี่ (A.j. Thomas; & J. Antony. 2005) งานวิจัยได้ทำการประยุต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองของทากูชิ และหลักการค้นหาตัวแปรของไชนิน เพื่อหาจุดที่เหมาะสมในการที่จะทำให้ทำให้รอยเชื่อมของรวงผึ้งภายในบริษัทเครื่องบินมีความแข็งแรงที่สุด โดยบทสรุปจากการทดลอง คือ หลักการค้นหาตัวแปรของไชนินมีความง่ายและเร็วในการหาตัวแปร 3 ตัว ที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อม โดยผู้วิจัยได้สรุปเปรียบเทียบกับการออกแบบการทดลองของทากูชิในมุมมองต่างๆ คือ ความเที่ยงตรงในการหาอิทธิพลหลัก (Main Effect) พบว่าวิธีการของไชนินมีความเที่ยงตรงมากกว่าทากูชิ, ความเที่ยงตรงในการหาอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) พบว่าวิธีการของทากูชิมีความเที่ยงตรงมากกว่าไชนิน, ไชนินมีความซับซ้อนน้อยกว่าทากูชิ, ไชนินมีการนำไปประยุกต์ใช้ง่ายกว่าทากูชิ, ทากูชิมีต้นทุนจากการทดลองน้อยกว่าไชนินและไชนินมีความยืดหยุ่นกว่าทากูชิ

จีเริน เดอ มาส (Jeroen de Mast. 2004) ทำการศึกษาถึงกลยุทธ์ 3 อย่างในการปรับปรุงคุณภาพ คือ Taguchi Shainin และ Six Sigma โดยการนำกลยุทธ์ทั้ง 3 มาทำการเปรียบเทียบถึงจุดอ่อนจุดแข็งกัน เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิผล และรายละเอียดของความแตกต่าง ว่ามีความแตกต่างต่างกันอย่างไร ซึ่งผลจากการวิเคราะห์บอกได้ว่า วิธีการของไชนินมุ่งไปที่หลักของการบ่งชี้ไปถึงรากเหง้าของปัญหา ส่วนวิธีการของทากูชิ และ Six Sigma นั้นจะนำเทคนิคของตัวแบบทางสถิติมาใช้ให้เป็นประโยชน์ และสรุปว่า ระบบ Six Sigma นั้นเป็นกลยุทธ์ที่สมบูรณ์แบบที่สุดในทั้ง 3 กลยุทธ์

มาติน ทันโก้ อลิซาเบธ ไวล์ และลอเดส โปซัวต้า (Martin Tanco, Elisabeth Viles; & Lourdes Pozueta. 2008) งานวิจัยนี้ได้ให้ข้อสรุปถึงหลักการออกแบบการทดลองของวิธีมาตรฐาน วิธีทากูชิ และวิธีของไชนิน เริ่มจากวิธีการแรก ผู้วิจัยแนะนำให้ใช้วิธีการของไชนินสำหรับเน้นความสำคัญของแผนการทดลองเชิงสถิติ เนื่องจากเป็นวิธีการที่สามารถเรียนรู้ได้ง่ายและนำมาใช้ได้ในระหว่างที่มีกระบวนการผลิต แม้ว่าจุดอ่อนของไชนินจะอยู่ที่ความง่าย (เมื่อเปรียบเทียบกับเวอร์ชั่นที่ง่ายของ OFAT) แต่คงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับวิธีการทำงานซึ่งต้องใช้หลักสถิติขั้นสูง วิธีการแบบมาตรฐาน และทากูชิยังคงเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ มีความถูกต้องทางสถิติ และมีความเสถียรมากกว่าวิธีการของไชนิน สำหรับวิธีการทากูชิ สิ่งที่สำคัญคือหลักการด้านคุณภาพ และวิธีการทางวิศวกรรม ซึ่งรวมถึง ความสูญเสียจากการทำงาน(Loss Function) และเป้าหมายเบื้องต้นในการออกแบบ (Robust Design) ซึ่งวิธีการทากูชิ เป็นวิธีการเบื้องต้นที่นำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของอุตสาหกรรม แต่ยังไม่ใช่วิธีที่สมบูรณ์แบบในการรับประกันคุณภาพในทุกขั้นตอน โดยทั่วไปแล้วไม่แนะนำให้ใช้วิธีการทากูชิ ในกรณีที่คุณไม่เผชิญกับปัญหา 2 ประเภท คือ การวิเคราะห์ความคงทน และความอดทนต่อความผันแปรจากปัจจัยต่างๆในตัวสินค้าและกระบวนการ ซึ่งใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีดังกล่าวนี้ การนำวิธีการแบบมาตรฐานมาใช้อาจจะเหมาะสมกว่า วิธีการใหม่ของทั้ง 2 รูปแบบมีเทคนิคที่ซับซ้อนแตกต่างกับไปในแต่ละอุตสาหกรรม แต่ทั้งสองก็ได้นำเสนอเทคนิคการทดลองที่ง่าย และมีประสิทธิภาพ ในขณะเดียวกันวิธีการแบบดั้งเดิมก็มีการพัฒนาด้านเทคนิค และแนวคิดวิศวกรรมแบบใหม่เห็นได้จากการพัฒนาซอฟแวร์ และเครื่องมือด้านกราฟฟิคที่สามารถใช้งานได้ง่ายกว่าโปรแกรมเก่าในทศวรรษที่ 80 และได้เสนอการนำวิธีการต่างๆมาประยุกต์ใช้ร่วมกัน ตัวอย่างเช่น ใช้วิธีการไซนินในการทดลองแบบออนไลน์สำหรับขั้นตอนเริ่มต้น เพื่อวิเคราะห์หาปัญหา ก่อนตัดสินใจทำการทดลอง ต่อจากนั้นใช้วิธีการทากูชิเพื่อหาตัวแปรในการทดลองด้วยการบูรณาการวิธีการหาการสูญเสียหน้าที่ด้านคุณภาพ (Quality Loss Function) และ Cross Arrays และสุดท้ายคือการให้ความสำคัญต่อการตรวจสอบให้กระบวนการควบคุมคุณภาพดำเนินการไปอย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการใดๆอีก

อัญธิมา เสน่หา(2551) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาว่าการออกแบบและวางแผนการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล จะสามารถให้ตัวแบบที่เหมาะสม เพื่อใช้แทนตัวแบบการออกแบบและวางแผนการทดลองแบบเต็มเชิงแฟคทอเรียล เพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย เวลา และทรัพยากร แต่ยังคงมีประสิทธิภาพและน่าเชื่อถือ โดยในการวิจัยครั้งนี้ทำการจำลองข้อมูลแบบสุ่มด้วยโปรแกรม T พิจารณาตัวแบบที่ตรงตามสมมติฐานเบื้องต้น ค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 5 และมีความแปรปรวนเท่ากับ 10 จำนวนปัจจัยที่จะศึกษาเท่ากับ 3 4 และ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.05 ระดับของปัจจัยมี 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ และระดับสูง แตกต่างกันเท่ากับ 5 จากการทดลอง 18 กรณี ทำซ้ำกรณีละ 20 ครั้ง ทำการทดลองการวางแผนการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลและการวางแผนการทดลองแบบเต็มเชิงแฟคทอเรียลควบคู่กันรวม 720 สถานการณ์ โดยทำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน พบว่า การวางแผนการทดลองแบบเต็มเชิงแฟคทอเรียลให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยกว่าทุกสถานการณ์ เมื่อจำนวนปัจจัยและจำนวนซ้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้ร้อยละช่วงประสิทธิภาพวางแผนการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลมีช่วงแคบลงและมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพสูงขึ้น ไม่แตกต่างจากการวางแผนการทดลองแบบเต็มเชิงแฟคทอเรียลที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.05 ไม่แตกต่างกัน

4. การออกแบบการทดลอง

เชด (Shad. 2004) ได้นำการออกแบบการทดลอง (DOE) ไปใช้ในขบวนการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องฉีดเรซิ่น (Plastic Injection Molding Process) ซึ่ง Shad (2004) ต้องการนำการออกแบบการทดลองเข้ามาแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในขบวนการฉีดพลาสติก (Plastic Injection Molding) โดยการต้องลดระยะเวลาในการทำงานของขบวนการ โดยเลือกปัจจัยทั้งหมด 6 ปัจจัย ได้แก่ 1. ความดันในการฉีดเรซิ่น (Injection Pressure) 2. ความเร็วในการฉีดเรซิ่น (Injection Velocity) 3. อุณหภูมิในการอบ (Cure Time) 4. อุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Mold Temperature) 5. อุณหภูมิการหลอมเหลวของเรซิ่น (Resin Melting Point Temperature) 6. จำนวนเปอร์เซ็นต์ของส่วนผสมของเรซิ่น (The Percentage of Regrind material to be used) โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจำนวน 2^k เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คัดเลือกหาปัจจัยที่มีผลต่อระยะในการทำงานของขบวนการ โดยสามารถหาปัจจัยที่มีผลได้แก่ 1. จำนวนเปอร์เซ็นต์ของส่วนผสมของเรซิ่น (The Percentage of Regrind material to be used) 2. ความดันในการฉีดเรซิ่น (Injection Pressure) 3. ความเร็วในการฉีดเรซิ่น (Injection Velocity) 4. อุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Mold Temperature) และพบว่าปัจจัยที่ไม่มีผลกระทบได้แก่ 1. อุณหภูมิการหลอมเหลวของเรซิ่น (Resin Melting Point) และ 2. อุณหภูมิในการอบ (Cure Time) หลังจากนั้นจึงนำปัจจัยที่มีผลกระทบทั้งสี่ปัจจัยไปทำการหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยอีกครั้ง ซึ่ง Shad (2004) ได้สรุปว่าการใช้การออกแบบการทดลองสามารถเข้ามาแก้ไขปัญหาและลดระยะเวลาการทำงานของขบวนการฉีดพลาสติกได้ ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีความถูกต้องและแม่นยำ

นวลลออ พรรณเรืองรอง (2551) เทคโนโลยีการผลิตแผ่นอลูมินาซับสเทรท ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องด้วยคุณลักษณะที่กะทัดรัด และมีน้ำหนักเบา เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อน ซึ่งกระบวนการเปลี่ยนสีของแผ่นอลูมินาซับสเทรทเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญสำหรับการผลิต ประสิทธิภาพของกระบวนการดังกล่าวขึ้นอยู่กับ 5 ปัจจัยดังนี้ ความเร็วสายพาน ความแรงของลมร้อน อุณหภูมิระดับความโค้งงอของแผ่นอลูมินาซับสเทรท และจำนวนของการวางงานใส่ในแมกกาซีน หากมีการปรับตั้งค่าของเครื่องไม่เหมาะสม อาจจะส่งผลให้เกิดการแตกร้าวของแผ่นงาน ในปัจจุบันนี้การตั้งค่าของเครื่องพ่นงานสีแดงจะถูกปรับตั้งโดยประสบการณ์ของพนักงาน ซึ่งอาจส่งผลทำให้ไม่ได้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องจักร ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการเปลี่ยนสีของแผ่นอลูมินาซับสเทรท โดยมีขั้นตอนการวิจัยดังนี้ เริ่มจากการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2^5 จำนวน 2 การทำซ้ำ เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผลตอบ (F&T) เนื่องจากโดยปกติการกระจายตัวของของเสีย มีลักษณะเป็นแบบไบโนเมียล ซึ่งมีผลต่อสมมติฐานของความแปรปรวนของส่วนที่ตกค้างที่จะไม่คงที่ ดังนั้นจึงมีการแปลงผลตอบสนองโดยใช้วิธีของ F&T การวิเคราะห์ส่วนตกค้างจึงถูกนำมาวิเคราะห์ความเพียงพอของแบบจำลอง ซึ่งพบว่า การใช้ผลตอบสนองแบบ F&T เป็นไปตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อของการออกแบบการทดลอง หลังจากนั้นจึงทำการปรับปรุงแบบจำลองและใช้ฟังก์ชั่นความพึงพอใจเพื่อระบุหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าว คือ ระดับความโค้งงอที่ 80 ไมครอน และระดับสูงสุดของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีผลทำให้สามารถลดการแตกร้าวจาก 2.11% เป็น 1.44% ทำให้สามารถลดต้นทุนลงได้ 111,110 บาทต่อเดือน จากผลการเปลี่ยนเงื่อนไขของเครื่องพ่นงานสีแดงสำหรับแผ่นอลูมินาซับสเทรท

บุญชัย อารยสนองกุล (2550) งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (Design and Analysis of Experiment) กับอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนหน้าจอมือถือ (Backlight) เพื่อศึกษาตัวแปรของเครื่องปั๊มแม่นยำสูง ที่จะทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด โดยผลประกอบการปี 2006 ตัวเลขการผลิตมีปริมาณรวมทั้งสิ้น 91,895,023 ชิ้นต่อปี และมีปริมาณของเสียที่สูญเสียต่อปีรวมทั้งสิ้น 3,841,212 ชิ้น (ปริมาณของเสียเฉลี่ย 4.18 %) ด้วยการตัดตัวแปรที่ไม่เกี่ยวข้องออกและใช้เทคนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fractional Factorial Design (2^{6-1}) ในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง ซึ่งมีตัวแปรทั้งสิ้น 6 ตัว และพบว่ามีความสัมพันธ์ของ 2 ตัวแปรกับการเกิดของเสีย ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้น โดยค่าความสูงใบมีด (Depth of cut 1) และ Speed 2 มีอิทธิพลทำให้การเกิดจำนวนของเสียแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ α = 0.05 โดยสภาวะเหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด คือ ความสูงใบมีด (Depth of cut 1) ที่ 1002 mm. และความเร็วส่ง (Speed 2) ที่ 35 M/Min. เมื่อนำผลจากการวิจัยมาใช้ในกระบวนการทำงานจริงพบว่า จำนวนของเสียลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จากเดิมเฉลี่ย 4.18% เหลือเพียง 3.381% ซึ่งสามารถลดของเสียภายในครึ่งปีหลังคิดเป็นเงินทั้งสิ้น 1,693,054 บาท

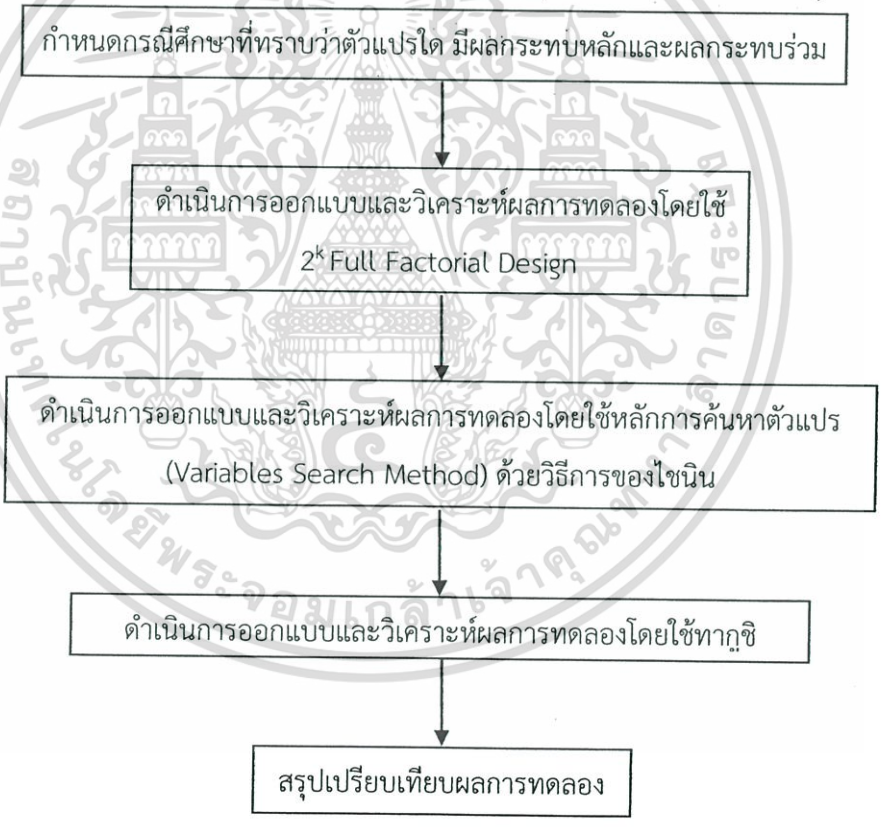
วีรเทพ เฉลิมสมิทธิ์ชัย (2550) งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปริมาณธาตุที่เป็นส่วนผสมทางเคมีของน้ำเหล็กที่ใช้ในการผลิตแท่งเหล็กดิบโดยประยุกต์ใช้ในการออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาปริมาณธาตุที่ทำให้เกิดความบกพร่องของเหล็กดิบให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด ซึ่งส่งผลให้เหล็กลวดที่ผลิตจากเหล็กดิบนี้มีค่าความแข็งแรงมากที่สุด โดยปัญหาที่พบในงานวิจัยนี้ คือ เหล็กดิบที่ใช้ในการผลิตเหล็กลวดมีความบกพร่อง ความบกพร่องที่ค้นพบ ได้แก่ การเกิดรอยแผล, รูพรุน บริเวณผิวหน้าและหน้าตัดของเหล็กดิบ จากการศึกษาพบว่า ปริมาณธาตุที่ผสมอยู่ในน้ำเหล็กก่อนการผลิตเหล็กดิบไม่คงที่ จึงทำให้เหล็กดิบที่ได้นั้นเกิดความบกพร่อง ทำให้ค่าความแข็งแรงเหล็กลวดที่ผลิตจากเหล็กดิบนี้น้อยเกินไป ซึ่งจากผลการทดลองเบื้องต้นโดยการใช้ Factorial Design (2^5) ในการออกแบบการทดลอง ซึ่งมีปัจจัย 5 ปัจจัย พบว่า ปริมาณคาร์บอน ปริมาณแมงกานีส ปริมาณกำมะถัน และปริมาณซิลิกอน มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงของเหล็กลวดอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ระดับ α = 0.05 ส่วนปริมาณฟอสฟอรัส ไม่มีระดับนัยสำคัญต่อค่าความแข็งแรงของเหล็กลวด เมื่อนำปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงของเหล็กลวดมาทำการออกแบบการทดลองอีกครั้งโดยใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนองแบบ Box-Behnken Design จะได้สมการถดถอยของปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับค่าความแข็ง คือ Y = 50.64+1.25A+0.75B+0.13C+0.15D โดยได้คำตอบของสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดค่าความแข็งแรง (Y) มากที่สุด คือ ปริมาณคาร์บอน (A) ที่ 0.20 %/kg. ปริมาณแมงกานีส (B) ที่ 0.60 %/kg. ปริมาณกำมะถัน (C) ที่ 0.05 %/kg. และปริมาณซิลิคอน (D) ที่ 0.50 %/kg. เมื่อนำผลจากการวิจัยมาใช้ในกระบวนการทำงานจริง พบว่าไม่พบความบกพร่องที่เกิดขึ้นบนเหล็กดิบ และเมื่อนำเหล็กดิบไปผลิตเป็นเหล็กลวด พบว่าค่าความแข็งแรงเฉลี่ยของเหล็กลวดที่ได้จะมีค่าระหว่าง 52.34-55.08 kg/mm^2 ซึ่งผลวิจัยนี้สามารถลดความบกพร่องของเหล็กดิบได้ 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า

ในการวิจัยเรื่อง การศึกษาการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการทากูชิและไชนิน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้วิธีการของทากูชิและไชนิน โดยอาศัยกรณีศึกษา ซึ่งมีขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการกำหนดกรณีศึกษา การออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธีของทากูชิและไชนิน การออกแบบการทดลองแบบเต็มรูป (Full Factorial) และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยมีวิธีการในการดำเนินงานดังนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อการวิจัย



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

โดยสามารถสรุปขั้นตอนการวิจัยออกเป็น 4 ขั้นตอนและอธิบายรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

1. กำหนดกรณีศึกษาที่ทราบว่าตัวแปรใด มีผลกระทบหลักและผลกระทบร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การดำเนินการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ 2^k Full Factorial Design
3. การดำเนินการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้หลักการค้นหาตัวแปร (Variables Search Method) ด้วยวิธีการของไชนิน
4. การดำเนินการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ทากูชิ
5. การเปรียบเทียบผลการทดลอง

3.1.1 กำหนดกรณีศึกษาที่ทราบว่าตัวแปรใด มีผลกระทบหลักและผลกระทบร่วม

กรณีศึกษาที่ใช้ คือ เฮลิคอปเตอร์กระดาษ เพื่อหาสภาวะของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่มีผลต่อระยะเวลาในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ ซึ่งมีตัวแปรทั้งสิ้น 5 ตัวแปร ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.1 สภาวะของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่มีผลต่อระยะเวลาในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ

พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	Low (-)	High (+)	
1. ความลึกของการตัดปีกเข้า (A)	1.0	2.0	cm.
2. ความยาวของปีก (B)	11.0	13.0	cm.
3. ความยาวของลำตัว (C)	8.0	9.0	cm.
4. ความกว้างของลำตัว (D)	2.0	3.0	cm.
5. ความลึกของการตัดลำตัวเข้า (E)	0.0	1.0	cm.

3.1.2 การดำเนินการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ 2^k Full Factorial Design

ผู้วิจัยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Design : 2^k) โดยมีตัวแปรทั้งสิ้น 5 ตัวแปร และแต่ละตัวแปร มี 2 ระดับ ซึ่งจะได้รูปแบบการทดลองเป็นแบบ 2^5 Factorial Design มีจำนวนครั้งของการทดลอง (Runs) เท่ากับ 32 ครั้ง แต่ละครั้ง(Run) ของการทดลอง ผู้วิจัยกำหนดให้มีจำนวนการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (Replicate) โดยได้จัดลำดับการทดลองให้เป็นแบบสุ่ม (Random)

A คือ ความลึกของการตัดปีกเข้า (Cutting wing Depth)

B คือ ความยาวของปีก (Wing Length)

C คือ ความยาวของลำตัว (Body Length)

D คือ ความกว้างของลำตัว (Body Width)

E คือ ความลึกของการตัดลำตัวเข้า (Cutting body Depth)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การดำเนินการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ หลักการค้นหาตัวแปร (Variables Search Method) ด้วยวิธีการของไชนิน

ผู้วิจัยทำการดำเนินการตามขั้นตอนของการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองตามหลักการค้นหาตัวแปร (Variables Search Method) ด้วยวิธีการของไชนิน 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : Ball Park

ขั้นตอนที่ 2 : Separation of important and unimportant factors

ขั้นตอนที่ 3 : Capping Run

ขั้นตอนที่ 4 : Factorial Analysis

3.1.4 การดำเนินการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ทากูชิ

ผู้วิจัยทำการดำเนินการตามขั้นตอนของการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของทากูชิ แบบ Orthogonal Array เป็น L16 (2^5) โดยมีตัวแปรทั้งสิ้น 5 ตัวแปร และแต่ละตัวแปร มี 2 ระดับ มีจำนวนครั้งของการทดลอง (Runs) เท่ากับ 16 ครั้ง แต่ละครั้ง(Run) ของการทดลอง ผู้วิจัยกำหนดให้มีจำนวนการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (Replicate) มีตัวแปรดังนี้

A คือ ความลึกของการตัดปีกเข้า (Cutting wing Depth)

B คือ ความยาวของปีก (Wing Length)

C คือ ความยาวของลำตัว (Body Length)

D คือ ความกว้างของลำตัว (Body Width)

E คือ ความลึกของการตัดลำตัวเข้า (Cutting body Depth)

3.1.5 การเปรียบเทียบผลการทดลอง

หลังจากทำการทดลองแล้ว จะนำผลที่ได้จากการทดลองของทากูชิ ไชนิน และวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) มาเปรียบเทียบกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

ผลการดำเนินงานเรื่องการศึกษาการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของทากูชิ หลักการค้นหาตัวแปรของไชนิน และการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Design : 2^k)

4.1 กรณีศึกษาเฮลิคอปเตอร์กระดาษ

หลังจากได้ทำการสร้างกรณีศึกษาการออกแบบการทดลองแบบเต็มรูป (Full Factorial) วิธีการทากูชิและวิธีการไชนิน ซึ่งได้ทราบว่าปัจจัยไหนมีผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมแล้ว ในกรณีศึกษานี้จะกล่าวถึงผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลตามขั้นตอนการวิจัยในบทที่ 3 ซึ่งแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

1. การออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ 2^k Full Factorial Design
2. การออกแบบการทดลองวิธีการของไชนิน
3. การออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ทากูชิ
4. สรุปเปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการทากูชิ หลักการค้นหาตัวแปรของไชนิน และวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล)

4.2 การออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ 2^k Full Factorial Design

การทดลองจะเริ่มจากการกำหนดตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์และระดับของตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์แต่ละตัว รวมถึงค่าตอบสนองที่ใช้ สำหรับกรณีศึกษานี้ มีตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการศึกษา 5 ตัวแปร และในแต่ละตัวแปรกำหนดให้มี 2 ระดับ ซึ่งจะได้รูปแบบการทดลองเป็นแบบ 2^5 Factorial Design เพราะฉะนั้นจึงมีจำนวนครั้งของการทดลอง (Run) เท่ากับ 32 ครั้ง โดยในแต่ละครั้ง (Run) ของการทดลองกำหนดให้มีจำนวนการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (Replicate) ดังนั้นเท่ากับว่าจะมีการทดลองทั้งหมดจำนวน 96 ครั้ง ซึ่งสามารถสรุปตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ได้ และแสดงแผนการทดลอง และผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ระดับของตัวแปรทั้ง 5 ตัวแปร

พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	Low (-)	High (+)	
1. A ความลึกของการตัดปีกเข้า (Cutting wing Depth)	1	2	cm.
2. B ความยาวของปีก (Wing Length)	11	13	cm.
3. C ความยาวของลำตัว (Body Length)	8	9	cm.
4. D ความกว้างของลำตัว (Body Width)	2	3	cm.
5. E ความลึกของการตัดลำตัวเข้า (Cutting body Depth)	0	1	cm.

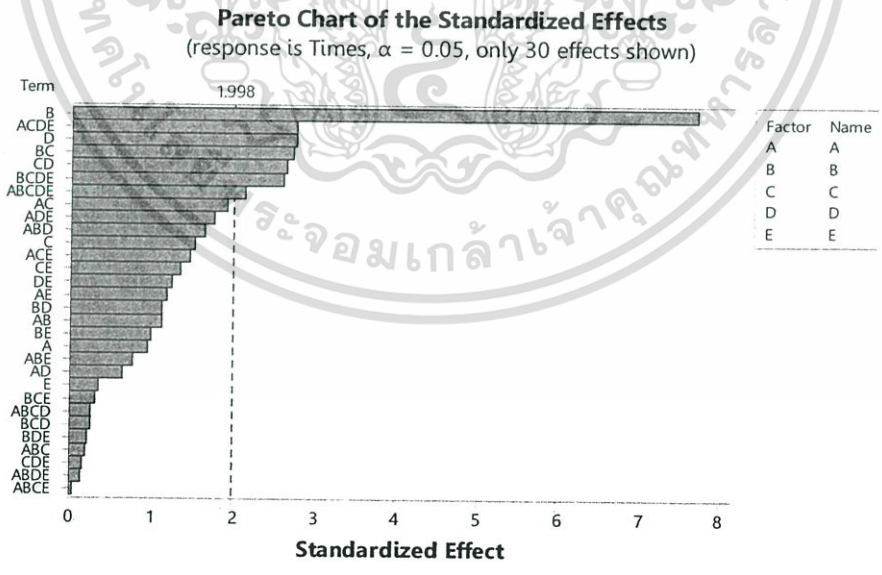
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองและข้อมูลของค่าตอบสนองของพารามิเตอร์ 2^5

Runs	A	B	C	D	E	Rep 1	Rep 2	Rep 3
1	1	11	8	2	0	2.18	2.46	2.45
2	2	11	8	2	0	2.43	2.46	2.29
3	1	13	8	2	0	2.84	2.49	2.11
4	2	13	8	2	0	2.73	2.58	2.53
5	1	11	9	2	0	2.43	2.15	2.31
6	2	11	9	2	0	2.20	2.15	2.51
7	1	13	9	2	0	2.88	2.98	2.93
8	2	13	9	2	0	2.61	2.93	2.43
9	1	11	8	3	0	2.49	2.30	2.33
10	2	11	8	3	0	2.49	2.33	2.23
11	1	13	8	3	0	2.85	2.71	2.40
12	2	13	8	3	0	2.54	2.51	2.78
13	1	11	9	3	0	2.35	2.28	2.19
14	2	11	9	3	0	2.24	2.23	2.31
15	1	13	9	3	0	2.60	2.39	2.23
16	2	13	9	3	0	2.76	2.43	2.83
17	1	11	8	2	1	2.35	2.38	2.33
18	2	11	8	2	1	2.51	2.31	2.50
19	1	13	8	2	1	2.80	2.76	2.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองและข้อมูลของค่าตอบสนองของพารามิเตอร์ 2^5 (ต่อ)

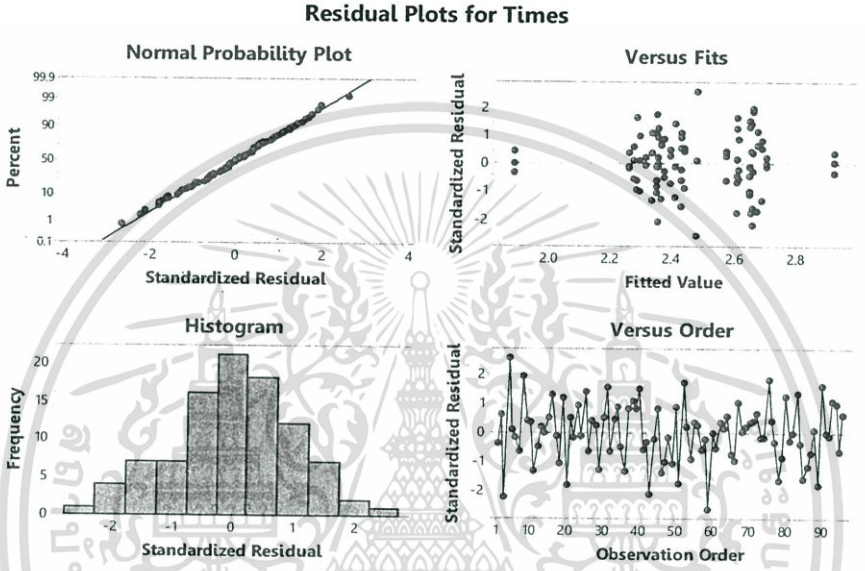
Runs	A	B	C	D	E	Rep 1	Rep 2	Rep 3
20	2	13	8	2	1	2.92	2.71	2.35
21	1	11	9	2	1	2.55	2.34	2.39
22	2	11	9	2	1	2.26	2.20	2.59
23	1	13	9	2	1	2.49	2.63	2.83
24	2	13	9	2	1	2.70	2.73	2.68
25	1	11	8	3	1	2.48	2.63	2.61
26	2	11	8	3	1	2.50	2.21	2.58
27	1	13	8	3	1	2.53	2.48	2.06
28	2	13	8	3	1	2.84	2.36	2.63
29	1	11	9	3	1	2.34	2.30	2.30
30	2	11	9	3	1	1.83	1.94	1.88
31	1	13	9	3	1	2.86	2.51	2.58
32	2	13	9	3	1	2.48	2.38	2.14



รูปที่ 4.1 แผนภูมิพาเรโต้ (Pareto) ของอิทธิพลในแต่ละตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำข้อมูลจากการทดลองมาทำการประมวลและวิเคราะห์ผล พบว่า ตัวแปรหลัก (Main Effect) คือ ตัวแปร B ความยาวของปีก (Wing Length) มีอิทธิพลต่อระยะเวลาในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ α = 0.05 ส่วนตัวแปร A ความลึกของการตัดปีกเข้า (Cutting wing Depth) C ความยาวของลำตัว (Body Length) D ความกว้างของลำตัว (Body Width) และ E ความลึกของการตัดลำตัวเข้า (Cutting body Depth) ไม่มีอิทธิพลต่อระยะเวลาในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ α = 0.05



รูปที่ 4.2 กราฟแสดง Residual Plots for Times

1. การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ

จากกราฟ Normal Probability Plot มีลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ และจากกราฟ Histogram มีรูปทรงระฆังคว่ำ ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ

2. การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

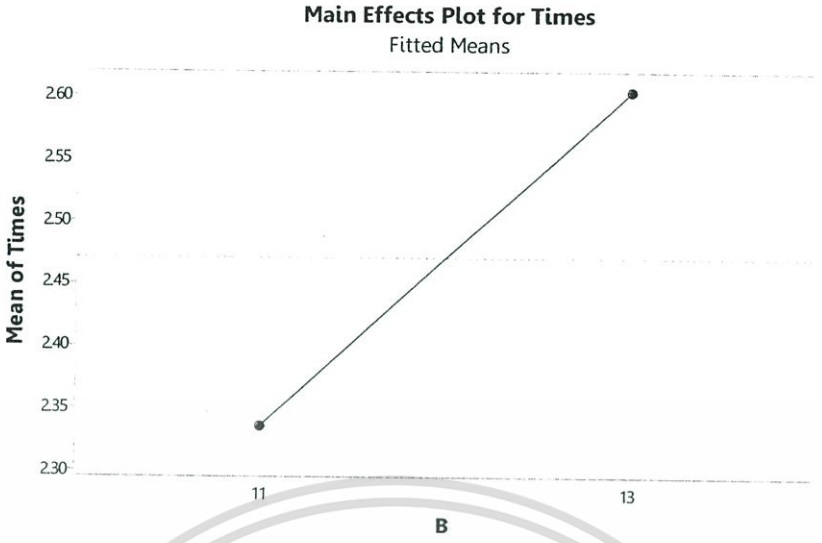
จากกราฟ Residuals กับ Order ลักษณะของข้อมูลเป็นอิสระต่อกัน เนื่องจากการกระจายไม่มีรูปแบบ

3. การตรวจสอบความแปรปรวนคงที่

จากกราฟ Residuals กับ Fitted value ความแปรปรวนค่อนข้างมีความสม่ำเสมอ

ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถสรุปสมมุติฐานได้ว่า ค่าการตอบสนองจากอิทธิพลของตัวแปรมีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้น (Linear Effect) ตัวแปรหลักที่มีอิทธิพล คือ B ความยาวของปีก (Wing Length)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงอิทธิพลของตัวแปร B

โดยมีโมเดลของสมการทางคณิตศาสตร์ คือ

$$Y = 0.855 + 0.1346\ B \qquad (4.1)$$

เมื่อ Y = ระยะเวลาในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ (Time)

B = ความยาวของปีก (Wing Length)

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า จุดที่เหมาะสมของการปรับค่าพารามิเตอร์ของเฮลิคอปเตอร์ คือ ความยาวของปีก (Wing Length) ที่ 13 cm.

4.3 การออกแบบการทดลองวิธีการของไชนิน

ขั้นตอนที่ 1 Ball Park มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการทราบว่าตัวแปรทั้ง 5 ตัวแปร ที่นำมาทดลองมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยทำการกำหนดตัวแปรและค่าที่ถูกต้องในแต่ละการทดลอง โดยเริ่มจากการกำหนดเลือก Green Y (กรณีนี้ Green Y หมายถึง ค่าตอบสนอง (Y) คือ ระยะเวลาในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ) และทำการวิเคราะห์ กำหนดตัวแปรที่คาดว่าจะมีผลต่อ Green Y

หลังจากนั้นทำการกำหนดค่าให้ตัวแปรเพื่อการทดลอง โดยแบ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด (Best Level) ซึ่งในกรณีศึกษานี้ หมายถึง ค่าของชุดตัวแปรหรือพารามิเตอร์ที่ทำให้ใช้ระยะเวลานานที่สุดในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ และค่าที่แย่ที่สุด (Marginal Level) ซึ่งในกรณีศึกษานี้จะหมายถึงค่าของชุดตัวแปรหรือพารามิเตอร์ที่ทำให้ใช้ระยะเวลาเร็วที่สุดในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ โดยทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองที่ค่า Best Level (จำนวน 3 ครั้ง) และค่า Marginal Level (จำนวน 3 ครั้ง) จากการทดลอง 3 ครั้ง สำหรับ Best Level และ 3 ครั้ง สำหรับ Marginal Level ได้ค่าแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 Ball Park

พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	Low (-) Marginal Level	High (+) Best Level	
1. A ความลึกของการตัดปีกเข้า (Cutting wing Depth)	1	2	cm.
2. B ความยาวของปีก (Wing Length)	11	13	cm.
3. C ความยาวของลำตัว (Body Length)	9	8	cm.
4. D ความกว้างของลำตัว (Body Width)	2	3	cm.
5. E ความลึกของการตัดลำตัวเข้า (Cutting body Depth)	0	1	cm.
ผลการทดลองครั้งที่ 1	2.56	2.83	sec.
ผลการทดลองครั้งที่ 2	2.53	2.93	sec.
ผลการทดลองครั้งที่ 3	2.45	2.81	sec.

จากผลการทดลองทั้ง 3 ครั้ง พบว่าค่า All Best ทุกครั้งดีกว่า (ระยะเวลามากกว่า) All Marginal และค่า Median ของ All Best คือ 2.83 ส่วนค่า Median ของ All Marginal คือ 2.53 หลังจากนั้นต้องนำค่าที่ได้จากการทดลองไปหาอัตราส่วน D : $\bar{d}$ ซึ่งถูกกำหนดไว้ว่าอัตราส่วน D : $\bar{d}$ ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 1.25:1 ซึ่งถ้าการทดสอบนัยสำคัญผ่าน ก็ถือว่า ขั้นตอน Ball Park เสร็จสิ้น แสดงว่าตัวแปรที่เลือกไว้ถูกต้องแล้ว ซึ่งจากผลการทดลองสามารถนำมาคำนวณเพื่อหาค่า D และ $\bar{d}$ ได้ดังนี้

D = ผลต่างของ Median ของ All Best กับ Median ของ All Marginal = 2.83-2.53 = 0.3

$\bar{d}$ = (ผลต่างของค่าที่มากที่สุดของ All Best กับค่าที่น้อยที่สุดของ All Best + ผลต่างของค่าที่มากที่สุดของ All Marginal กับค่าที่น้อยที่สุดของ All Marginal) / 2

= ((2.93-2.81) + (2.56-2.45))/2 = 0.115

ดังนั้น อัตราส่วน D : $\bar{d}$ = 0.3 : 0.115 หรือเท่ากับ 2.61 : 1 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1.25 แสดงว่า ตัวแปรที่เลือกไว้ (A ถึง E) อย่างน้อย 1 ตัว มีนัยสำคัญ

ขั้นตอนที่ 2 Separation of important and unimportant factors มีวัตถุประสงค์เพื่อแยกตัวแปรที่สำคัญออกจากตัวแปรที่ไม่สำคัญ และกำจัดตัวแปรที่ไม่สำคัญออกไป โดยเริ่มจากทำการทดลองโดยการสลับค่าตัวแปรทีละคู่ ซึ่งในกรณีศึกษานี้จะกำหนดตัวแปร A โดยตัวแปร A จะถูกกำหนดให้เป็นค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Marginal (A คือ ความลึกของการตัดปีกเข้า (Cutting wing Depth) = 1 cm.) ส่วนตัวแปรที่เหลือจะเป็นค่า Best ทั้งหมด

หลังจากนั้นจึงคำนวณค่าสูงสุดและต่ำสุดของขอบเขตการตัดสินใจ (Decision Limits (High sides) และ Decision Limits (Low sides)) โดยใช้สูตร ดังนี้

$$\text{Decision Limits} = \text{Median} \pm 2.776 \frac{\bar{d}}{1.81} \qquad (4.2)$$

จากสูตรเมื่อลองทำการแทนค่าจะได้ ดังนี้

Decision Limits (Low sides) = $2.53 \pm 2.776\ \bar{d} / 1.81$

= 2.35 ถึง 2.71

Decision Limits (High sides) = $2.83 \pm 2.776\ \bar{d} / 1.81$

= 2.65 ถึง 3.01

หลังจากนั้นนำผลจากการทดลอง (Results) จากครั้งที่ 1 คือ ตัวแปร A เป็นค่า Marginal ส่วนตัวแปรที่เหลือจะเป็นค่า Best (A_MR_B) และผลจากการทดลอง (Results) จากครั้งที่ 2 คือ ตัวแปร A เป็นค่า Best ส่วนตัวแปรที่เหลือจะเป็นค่า Marginal (A_BR_M) มาทำการเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ Decision Limits (High sides) และ Decision Limits (Low sides) ซึ่งผลลัพธ์ที่จะเป็นไปได้จะมี 3 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ถ้า A_MR_B อยู่ใน decision limits-low และ A_BR_M อยู่ใน decision limits-high แสดงว่า A ไม่มีนัยสำคัญ

กรณีที่ 2 ถ้า A_MR_B และ A_BR_M ให้ผลตรงข้ามกันคือ A_MR_B ให้ผลเหมือนกรณี All Best และ A_BR_M ให้ผลเหมือนกรณี All Marginal แสดงว่า A เท่านั้นที่เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญ ปัจจัยอื่นๆตัดออกได้ทั้งหมด

กรณีที่ 3 ถ้า A_MR_B และ A_BR_M ค่าใดค่าหนึ่งหรือทั้งสองค่าตกออกนอก decision limits คือ A_MR_B ตกออกนอก decision limits-low และ A_BR_M ตกออกนอก decision limits-high แต่มิได้ให้ผลตรงข้ามกัน แสดงว่า A มีนัยสำคัญร่วมกับปัจจัยอื่นด้วย ซึ่งถ้าผลลัพธ์เป็นแบบกรณีที่ 1 หรือ 3 ให้ทดลองต่อสำหรับปัจจัยที่เหลือ คือ B,C,D,... และปัจจัยอื่นต่อไป แต่ถ้าผลลัพธ์เป็นแบบกรณีที่ 2 ให้หยุดการทดลองแสดงว่าได้ RedX เพียงตัวเดียว

ดังนั้นจากผลการทดลองสำหรับตัวแปร A จะพบว่าเป็นไปตามกรณีที่ 1 คือค่าของ A_MR_B อยู่ใน decision limits-low และ A_BR_M อยู่ใน decision limits-high แสดงว่า A ไม่มีนัยสำคัญ จึงทำการทดลองต่อ โดยกรณีศึกษานี้ได้ทำการสรุปผลการทดลองของแต่ละสภาวะของตัวแปรแต่ละตัว (A-E) แล้วแสดงผลได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 Separation of important and unimportant factors

Test	Combination	Result	Median	Decision Limits	Conclusion
1	A_MR_B	2.68	2.83	2.65 to 3.01	A not significant
2	A_BR_M	2.46	2.53	2.35 to 2.71	
3	B_MR_B	2.53	2.83	2.65 to 3.01	B significant
4	B_BR_M	2.75	2.53	2.35 to 2.71	
5	C_MR_B	2.99	2.83	2.65 to 3.01	C not significant
6	C_BR_M	2.50	2.53	2.35 to 2.71	
7	D_MR_B	2.95	2.83	2.65 to 3.01	D not significant
8	D_BR_M	2.51	2.53	2.35 to 2.71	
9	E_MR_B	2.98	2.83	2.65 to 3.01	E not significant
10	E_BR_M	2.41	2.53	2.35 to 2.71	

สรุปผลจากผลการทดลอง พบว่าตัวแปร A C D และ E มีผลลัพธ์ที่อยู่ภายใน Decision Limits ดังนั้น ตัวแปร A C D และ E จึงไม่มีนัยสำคัญ ส่วนตัวแปร B มีผลลัพธ์อยู่นอกเหนือจาก Decision Limits จึงสรุปได้ว่าตัวแปร B เป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญ

ขั้นตอนที่ 3 Capping Run มีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันตัวแปรที่สำคัญว่าเป็นตัวแปรที่สำคัญจริง และยืนยันตัวแปรที่ไม่สำคัญเป็นตัวแปรที่ไม่สำคัญจริง ซึ่งจากกรณีศึกษานี้พบว่าตัวแปรที่มีนัยสำคัญ มีแค่ 1 ตัวแปรเท่านั้น คือ ตัวแปร B ดังนั้นจึงเริ่มทำการทดลองอีกครั้ง โดยกำหนดให้ครั้งที่ 1 ตัวแปร A และตัวแปร B เป็นค่า Best ส่วนตัวแปรที่เหลือเป็นค่า Marginal หลังจากนั้นทดลองครั้งที่ 2 โดยให้ตัวแปร A และตัวแปร B เป็นค่า Marginal ส่วนตัวแปรที่เหลือเป็นค่า Best

จากนั้นจึงคำนวณค่าสูงสุดและต่ำสุดของขอบเขตการตัดสินใจ (Decision Limits (High sides) และ Decision Limits (Low sides)) โดยใช้สูตรที่ 4.2
จากสูตรเมื่อลองทำการแทนค่าจะได้ ดังนี้

Decision Limits (Low sides) = $2.53 \pm 2.776\ \overline{d}\ /\ 1.81$

= 2.35 ถึง 2.71

Decision Limits (High sides) = $2.83 \pm 2.776\ \overline{d}\ /\ 1.81$

= 2.65 ถึง 3.01

หลังจากนั้นนำผลจากการทดลองครั้งที่ 1 คือ ตัวแปร A และตัวแปร B เป็นค่า Best ส่วนตัวแปรที่เหลือเป็นค่า Marginal ($A_BB_BR_M$) และผลจากการทดลองครั้งที่ 2 โดยให้ตัวแปร A และตัวแปร B เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Marginal ส่วนตัวแปรที่เหลือเป็นค่า Best ($A_MB_MR_B$) มาทำการเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ Decision Limits (High sides) และ Decision Limits (Low sides) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.5 Capping Run

Test	Combination	Result	Median	Decision Limits	Conclusion
1	$A_BB_BR_M$	2.61	2.83	2.65 to 3.01	AB not significant
2	$A_MB_MR_B$	2.76	2.53	2.35 to 2.71	
3	$B_BC_BR_M$	2.49	2.83	2.65 to 3.01	BC not significant
4	$B_MC_MR_B$	2.26	2.53	2.35 to 2.71	
5	$B_BD_BR_M$	2.53	2.83	2.65 to 3.01	BD not significant
6	$B_MD_MR_B$	2.28	2.53	2.35 to 2.71	
7	$B_BE_BR_M$	2.62	2.83	2.65 to 3.01	BE not significant
8	$B_ME_MR_B$	2.29	2.53	2.35 to 2.71	

จากการทำ Capping Run พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วม (Interaction effect) ตัวใดที่มีนัยสำคัญ แสดงว่า มีเพียงตัวแปร B ที่มีนัยสำคัญ

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ตัวแปร (Factorial Analysis) มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาค่าของตัวแปรสำคัญที่จะทำให้คุณภาพสินค้าดีที่สุด โดยการหาอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction effect) ซึ่งจะเรียกว่าตัวแปรที่มีความสำคัญมากที่สุดว่า RedX และตัวแปรที่มีความสำคัญอันดับที่ 2 ว่าPinkX และตัวแปรที่มีความสำคัญอันดับที่ 3 ว่า PalePinkX โดยสำหรับกรณีนี้ได้ผ่านขั้นตอนที่ 3 มาแล้ว และเหลือตัวแปรที่สำคัญมากที่สุดเพียง 1 ตัวแปร คือ ตัวแปร B หรือเรียกว่า RedX

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ตัวแปร (Factorial Analysis)

B Best		B Marginal	
2.68	2.75	2.46	2.53
2.99	2.95	2.50	2.51
2.98		2.41	

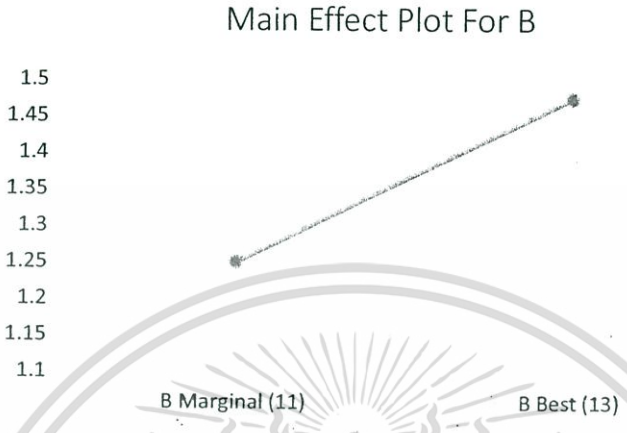
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสามารถคำนวณ Main Effect ของตัวแปร B ได้ ดังนี้

Main Effect B = ผลต่างระหว่าง Median ของ B Best กับ Median ของ B Marginal หาร 2

= (2.95 - 2.50) / 2 = 0.225

นำค่าที่ได้ไปพล็อตกราฟได้ดังภาพประกอบ ดังนี้



รูปที่ 4.4 กราฟอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของตัวแปร B

จากกราฟสามารถสรุปผลได้อย่างชัดเจนว่า ตัวแปร B ความยาวของปีก (Wing Length) มีนัยสำคัญทางสถิติและมีความสำคัญมากที่สุดหรือเรียกว่า RedX (ตามคำนิยามของไชนิน)

4.4 การออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ทากูชิ

การทดลองจะเริ่มจากการกำหนดตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์และระดับของตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์แต่ละตัว รวมถึงค่าตอบสนองที่ใช้ สำหรับกรณีศึกษานี้ มีตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการศึกษา 5 ตัวแปร และในแต่ละตัวแปรกำหนดให้มี 2 ระดับ ซึ่งจะได้รูปแบบ Orthogonal Array เป็น L16 (2^5) เพราะฉะนั้นจึงมีจำนวนครั้งของการทดลอง (Run) เท่ากับ 16 ครั้ง โดยในแต่ละครั้ง (Run) ของการทดลองกำหนดให้มีจำนวนการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (Replicate) ดังนั้นเท่ากับว่าจะมีการทดลองทั้งหมดจำนวน 48 ครั้ง ซึ่งสามารถสรุปตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ได้ และแสดงแผนการทดลอง และผลการทดลองดังตารางที่ 4.7 และ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงระดับของตัวแปรทั้ง 5 ตัวแปร

พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	Low (-)	High (+)	
1. A ความลึกของการตัดปีกเข้า (Cutting wing Depth)	1	2	cm.
2. B ความยาวของปีก (Wing Length)	11	13	cm.
3. C ความยาวของลำตัว (Body Length)	8	9	cm.
4. D ความกว้างของลำตัว (Body Width)	2	3	cm.
5. E ความลึกของการตัดลำตัวเข้า (Cutting body Depth)	0	1	cm.

ตารางที่ 4.8 การทดลองและข้อมูลของค่าตอบสนองของพารามิเตอร์ L16 (2^5)

Run	A	B	C	D	E	Rep 1	Rep 2	Rep 3
1	1	11	8	2	0	2.46	2.38	2.38
2	1	11	8	3	1	2.58	2.61	2.73
3	1	11	9	2	1	2.68	2.45	2.63
4	1	11	9	3	0	2.26	2.45	2.63
5	1	13	8	2	1	2.75	2.65	2.65
6	1	13	8	3	0	2.76	3.11	2.91
7	1	13	9	2	0	2.63	2.88	2.88
8	1	13	9	3	1	2.86	3.26	3.5
9	2	11	8	2	1	2.58	2.70	2.65
10	2	11	8	3	0	2.46	2.35	2.38
11	2	11	9	2	0	2.40	2.58	2.55
12	2	11	9	3	1	2.43	2.30	2.36
13	2	13	8	2	0	2.51	2.45	2.61
14	2	13	8	3	1	3.05	3.08	3.00
15	2	13	9	2	1	2.70	2.90	2.85
16	2	13	9	3	0	2.51	2.66	2.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	1	0.039667	0.039667	0.039667	1.47	0.253
B	1	0.423584	0.423584	0.423584	15.71	0.003
C	1	0.000251	0.000251	0.000251	0.01	0.925
D	1	0.026951	0.026951	0.026951	1.00	0.341
E	1	0.118451	0.118451	0.118451	4.39	0.062
Residual Error	10	0.269585	0.269585	0.026958		
Total	15	0.878488				

รูปที่ 4.5 ข้อมูล ANOVA

เมื่อนำข้อมูลจากการทดลองมาทำการประมวลและวิเคราะห์ผล พบว่า ตัวแปรหลัก (Main Effect) คือ ตัวแปร B ความยาวของปีก (Wing Length) มีอิทธิพลต่อระยะเวลาในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ เนื่องจาก P-value = 0.003 < α = 0.05 ส่วนตัวแปร A ความลึกของการตัดปีกเข้า (Cutting wing Depth) C ความยาวของลำตัว (Body Length) D ความกว้างของลำตัว (Body Width) และ E ความลึกของการตัดลำตัวเข้า (Cutting body Depth) ไม่มีอิทธิพลต่อระยะเวลาในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ เนื่องจาก P-value > α = 0.05

Response Table for Signal to Noise Ratios
Nominal is best (10?Log10(Ybar^2/s^2))

Level	A	B	C	D	E
1	27.16	29.83	31.91	29.96	28.49
2	31.40	28.73	26.65	28.60	30.07
Delta	4.25	1.10	5.27	1.37	1.57
Rank	2	5	1	4	3

Response Table for Means

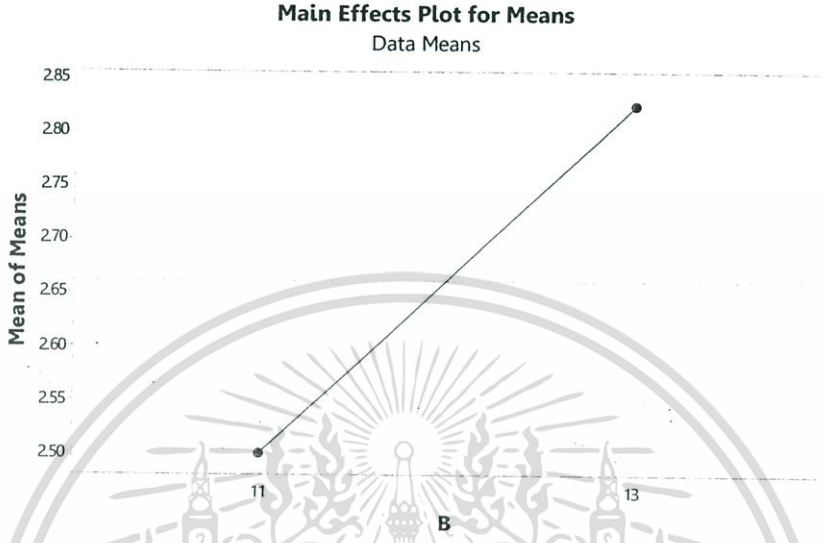
Level	A	B	C	D	E
1	2.712	2.499	2.658	2.621	2.576
2	2.612	2.825	2.666	2.703	2.748
Delta	0.100	0.325	0.008	0.082	0.172
Rank	3	1	5	4	2

รูปที่ 4.6 ข้อมูล Response ของ Signal to Noise Ratios และ Means

จากข้อมูล Signal to Noise Ratios พบว่าปัจจัย C (ความยาวของลำตัว) และปัจจัย A (ความลึกของการตัดปีกเข้า) มี Sensitivity สูงตามลำดับ ซึ่งปัจจัย B (ความยาวของปีก) ปัจจัย D (ความกว้างของลำตัว) และปัจจัย E (ความลึกของการตัดลำตัวเข้า) เป็น Robustness คือ ปัจจัยเหล่านี้มีสภาวะที่ทนต่อสภาพแวดล้อมและปัจจัยอื่นๆที่นอกเหนือการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถสรุปสมมุติฐานได้ว่า ค่าการตอบสนองจากอิทธิพลของตัวแปรมีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้น (Linear Effect) ตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลคือ B ความยาวของปีก(Wing Length)



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงอิทธิพลของตัวแปร B

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า จุดที่เหมาะสมของการปรับค่าพารามิเตอร์ของเฮลิคอปเตอร์ คือ ความยาวของปีก (Wing Length) ที่ 13 cm.

4.5 สรุปเปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการทากูชิ กับหลักการค้นหาตัวแปรของไซนิน และวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล)

ผลจากการทดลองของวิธีการออกแบบการทดลองทั้ง 3 วิธี จะนำมาทำการเปรียบเทียบกัน โดยเริ่มทำการเปรียบเทียบจากตัวแปรที่มีอิทธิพลกับระยะเวลาในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษอย่างมีนัยสำคัญได้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 สรุปผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลกับระยะเวลาในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษอย่างมีนัยสำคัญ เปรียบเทียบกันทั้ง 3 วิธีของการทดลองการออกแบบการทดลอง

วิธีการออกแบบการทดลอง	ตัวแปร	Signal to noise ratio	Linear Model
	B ความยาวของปีก (Wing Length)		
วิธีการทากูชิ	●	●	●
หลักการค้นหาตัวแปรของไชนิน	●		
2^k Factorial Design	●		●

จากผลการเปรียบเทียบในตาราง สามารถสรุปได้ว่าในวิธีการของทากูชิ ตัวแปรที่มีผลต่อระยะเวลาในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ คือ ตัวแปร B ความยาวของปีก (Wing Length) ซึ่งให้ผลเหมือนกับหลักการค้นหาตัวแปรของไชนินและการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน 2^k Factorial Design

หลังจากทำการเปรียบเทียบจากมุมมองหลักๆแล้ว ต่อไปจึงนำผลจากการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของทากูชิ มาทำการเปรียบเทียบกับผลจากหลักการค้นหาตัวแปรของไชนินและการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน 2^k Factorial Design ในมุมมองอื่นๆ แบ่งตามหัวข้อ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของทากูชิ กับหลักการค้นหาตัวแปรของไชนินและการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน 2^k Factorial Design

หัวข้อที่เปรียบเทียบ	วิธีการของทากูชิ	หลักการค้นหาตัวแปรของไชนิน	การออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล)
จำนวนครั้งในการทดลอง	48 ครั้ง (ปานกลาง)	10 ครั้ง (น้อย)	96 ครั้ง (มาก)
ต้นทุนที่ใช้ในการทดลอง	ปานกลาง (ตามจำนวนครั้งของการทดลอง)	ต่ำ	สูง (ตามจำนวนครั้งของการทดลอง)
หลักการของการวิเคราะห์	ANOVA และ S/N Ratio	Median	ANOVA
สมการถดถอย	มี	ไม่มี	มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของทากูชิ กับหลักการค้นหาตัวแปรของไชนินและการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน 2^k Factorial Design (ต่อ)

หัวข้อที่เปรียบเทียบ	วิธีการของทากูชิ	หลักการค้นหาตัวแปรของไชนิน	การออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล)
ความยุ่งยากซับซ้อนในการวิเคราะห์ทางสถิติ	มาก (อาศัยวิธีการทางสถิติโดยใช้ ตาราง ANOVA และ S/N Ratio)	น้อย (อาศัยเพียงหลักเหตุและผล (Rule of Thumb) เป็นหลัก)	มาก (อาศัยวิธีการทางสถิติโดยใช้ ANOVA)
ความเชื่อมั่นในทางสถิติ	สูง (ใช้ Software computer โดยการใช้ตาราง ANOVA และ S/N Ratio)	น้อย (อาศัยเพียงหลักเหตุและผล (Rule of Thumb) เป็นหลักในการทดลอง)	สูง (ใช้ Software computer โดยการใช้ตาราง ANOVA)
จำนวนตัวแปรที่ใช้ได้กับการทดลอง	ปานกลาง (จำนวนการทดลองจะน้อยกว่าการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล))	มาก (หากมีตัวแปรจำนวนมากการทดลองก็ยังน้อยอยู่ดี)	น้อย (เพราะ ยิ่งมีจำนวนตัวแปรมากการทดลองก็ยิ่งมาก)

จากตาราง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันทั้ง 3 วิธี พบว่าวิธีการของทากูชิมีประโยชน์ที่เห็นได้เด่นชัด คือ มีความเชื่อมั่นในทางสถิติที่สูงเทียบเท่ากับการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) อีกทั้งมีจำนวนครั้งในการทดลองและต้นทุนที่ใช้ในการทดลองน้อยกว่าการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล)

หลักการค้นหาตัวแปรของไชนิน มีประโยชน์ที่เห็นได้เด่นชัด คือ ใช้จำนวนครั้งของการทดลองที่น้อยกว่าวิธีการของทากูชิและการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) ซึ่งสำหรับวิธีการของทากูชิและการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) แล้วยิ่งมีจำนวนตัวแปรมาก จำนวนครั้งของการทดลองยิ่งมีความแตกต่างกันกับวิธีการของไชนินมากขึ้นด้วย และทำให้ต้นทุนจากการทำการทดลองสูงขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้วิธีการของไชนินก็ยังมีข้อเสียอยู่ คือ มีความยุ่งยากซับซ้อนทางการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถิติน้อยเมื่อเทียบกับวิธีการของทากูชิและการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) ทำให้มีความน่าเชื่อถือที่น้อยกว่า และไม่สามารถคำนวณหามาการถดถอยได้

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการออกแบบการทดลองแบบทากูชิและวิธีการของไชนิน เป็นทางเลือกหนึ่งที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษาตัวแปร ในกรณีที่การดำเนินการทดลองไม่สามารถทำการทดลองได้จำนวนมากและมีจำนวนตัวแปรที่ศึกษาจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทดลองแบบคัดเลือก (Screening)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยฉบับนี้ได้อธิบายการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบวิธีการของทากูชิและวิธีการของไชนิน โดยอาศัยกรณีศึกษาเฮลิคอปเตอร์กระดาษ และได้เปรียบเทียบกับการออกแบบการทดลองมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) ซึ่งสรุปผลการศึกษาของกรณีศึกษาได้ ดังนี้

กรณีศึกษา เป็นการศึกษาตัวแปรของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ เพื่อหาสภาวะของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่มีผลต่อระยะเวลาในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ โดยมีตัวแปรทั้งสิ้น 5 ตัวแปร แต่ละตัวมี 2 ระดับ จากนั้นจึงดำเนินการออกแบบการทดลองตามขั้นตอนด้วยวิธีการ 2^k Factorial พบว่า ตัวแปรหลัก (Main Effect) คือ ตัวแปร B ความยาวของปีก (Wing Length) มีอิทธิพลต่อระยะเวลาในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ

หลังจากนั้นจึงดำเนินการทดลองตามขั้นตอนของไชนิน โดยเรียงตามขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 Ball Park ขั้นตอนที่ 2 Separation of important and unimportant factors ขั้นตอนที่ 3 Capping Run และขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ตัวแปร (Factorial Analysis) ซึ่งจากการดำเนินการครบ 4 ขั้นตอน จึงสรุปผลการศึกษาของการออกแบบการทดลองตามขั้นตอนของไชนินได้ คือ ตัวแปร B ความยาวของปีก (Wing Length) เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากที่สุดหรือเรียกว่า RedX

จากนั้นจึงดำเนินการทดลองด้วยวิธีการของทากูชิ แบบ Orthogonal Array เป็น L16 (2^5) ซึ่งสรุปผลการศึกษาของการออกแบบการทดลองตามขั้นตอนด้วยวิธีการของทากูชิ พบว่า ตัวแปรหลัก (Main Effect) คือ ตัวแปร B ความยาวของปีก (Wing Length) มีอิทธิพลต่อระยะเวลาในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ และนำผลจากการออกแบบการทดลองทั้ง 3 วิธีมาสรุปเปรียบเทียบกัน จะพบว่าทั้ง 3 วิธี ได้ข้อสรุปเหมือนกันในเรื่องตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อระยะเวลาในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ คือ ตัวแปร B ความยาวของปีก (Wing Length)

จากผลการศึกษาและเปรียบเทียบ จะทำการสรุปประโยชน์ของการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของทากูชิที่เห็นได้เด่นชัด คือ มีความเชื่อมั่นในทางสถิติที่สูงเทียบเท่ากับกับการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) อีกทั้งมีจำนวนครั้งในการทดลองที่น้อยกว่าการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) โดยทำการทดลอง L16 (2^5) ทำซ้ำ 3 ครั้ง ใช้จำนวนการทดลอง 48 การทดลอง ขณะที่ 2^5 ทำซ้ำ 3 ครั้ง ใช้จำนวนการทดลอง 96 การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งหลักการค้นหาตัวแปรของไชนิน มีประโยชน์ที่เห็นได้เด่นชัด คือ ใช้จำนวนครั้งของการทดลองที่น้อยกว่าวิธีการของทากูชิและการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) โดยหลักการค้นหาตัวแปรของไชนิน มีจำนวนครั้งของการทดลอง 10 การทดลอง ขณะที่วิธีการของทากูชิ ทำการทดลอง L16 (2^5) ทำซ้ำ 3 ครั้ง ใช้จำนวนการทดลอง 48 การทดลอง กับการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) 2^5 ทำซ้ำ 3 ครั้ง ใช้จำนวนการทดลอง 96 การทดลอง ทั้งนี้วิธีการของไชนินก็ยังมีข้อเสียอยู่ คือ มีความยุ่งยากซับซ้อนทางการคำนวณสถิติน้อยเมื่อเทียบกับวิธีการของทากูชิและการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) ทำให้มีความน่าเชื่อถือที่น้อยกว่า และไม่สามารถคำนวณหามาการถดถอยได้

จากกรณีศึกษา สามารถสรุปได้ว่าเมื่อจำนวนตัวแปรในการทดลองมีมากขึ้น จำนวนครั้งของการทดลองของทั้งวิธีการทากูชิกับวิธีการไชนินและวิธีแฟคทอเรียลยิ่งมีความแตกต่างกันมากขึ้น ผู้วิจัยจึงเสนอการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของทากูชิและวิธีการของไชนิน เป็นทางเลือกหนึ่งที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษาตัวแปร ในกรณีที่ต้องการผลการทดลองที่มีความน่าเชื่อถือทางสถิติ การดำเนินการทดลองที่ไม่สามารถทำการทดลองได้จำนวนมาก โดยสามารถกำหนดแนวทางในการประยุกต์ใช้วิธีการของทากูชิมาช่วยในการออกแบบการทดลอง ให้ง่ายสะดวกและเป็นวิธีดำเนินการที่มีประสิทธิภาพสำหรับการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยการเข้าใกล้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ทำการออกแบบไว้อย่างเหมาะสมที่สุดที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการ และเป็นวิธีที่เป็นระบบสามารถนำไปสู่สมรรถนะ ต้นทุนที่ต่ำและคุณภาพของกระบวนการผลิต แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1. กำหนดปัญหา

ขั้นตอนที่ 2. วางแผนการทดลอง

ขั้นตอนที่ 3. วิเคราะห์ผลลัพธ์

ขั้นตอนที่ 4. ทดลองเพื่อยืนยันผล

สำหรับวิธีการของไชนิน สามารถใช้ได้กรณีการดำเนินการทดลองที่ไม่สามารถทำการทดลองได้จำนวนมากหรือมีข้อจำกัดทั้งด้านค่าใช้จ่าย ต้นทุน หรือทรัพยากรที่มีอยู่ และมีจำนวนตัวแปรที่ศึกษาจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทดลองแบบคัดเลือก (Screening) และสามารถกำหนดแนวทางในการประยุกต์หลักการค้นหาตัวแปรของไชนินเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 วางแผนการทดลองและการเตรียมอุปกรณ์ที่ต้องใช้สำหรับการทดลองโดยเริ่มจากขั้นตอน ดังนี้

- กำหนดปัญหา ซึ่งปัญหาที่มีขอบเขตชัดเจนจะช่วยทำให้กำหนดตัวแปรที่ถูกต้อง เพื่อให้สามารถตอบคำถามได้ตามที่ต้องการ
- กำหนดวัตถุประสงค์ การกำหนดวัตถุประสงค์ที่ชัดเจนจะทำให้มั่นใจได้ว่าการทดลองที่จะทำนั้นสามารถตอบคำถามได้ตรงประเด็น และสาระข้อมูลที่จะได้มานี้ใช้ได้จริง
- การเตรียมทรัพยากร เช่น บุคคลที่จะเป็นผู้ควบคุมการทดลอง หรือช่วงระยะเวลาที่จะทำการทดลอง รวมไปถึงสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่จะทำการทดลอง เพื่อจะช่วยให้เตรียมอุปกรณ์ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อำนวยความสะดวกในการวัดค่าจากการทดลองได้อย่างพร้อมเพรียง ซึ่งวิธีการของไชนินนั้นจะมีข้อดีตรงที่สามารถทำการทดลองในขณะทำการผลิตจริงได้เลย (Online Process)

ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบการทดลอง ตาม 4 ขั้นตอน ดังนี้

- Ball Park ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ไว้ที่ค่าที่ดีที่สุดแล้วเก็บข้อมูลจากการทดลอง 3 ครั้ง จากนั้นให้ตั้งค่าพารามิเตอร์ไว้ที่ค่าที่แย่ที่สุด แล้วเก็บข้อมูลจากการทดลองมาอีก 3 ครั้ง แล้วจึงคำนวณหาอัตราส่วน D : $\bar{d}$ เพื่อพิจารณาว่าตัวแปรที่คัดเลือกมามีตัวแปรที่มีนัยสำคัญหรือไม่
- Separation of important and unimportant factors เป็นการทดลองตัวแปรทีละคู่ เช่น ตัวแปรที่ 1 ตั้งค่าเป็นค่าที่ดีที่สุดแล้วให้ตัวแปรที่เหลือเป็นค่าที่แย่ที่สุด จากนั้นทำสลับไปในทุกทุกตัวแปร แล้วเก็บข้อมูลจากการทดลองมาเทียบกับกราฟ Decision Limit เพื่อพิจารณาว่าตัวแปรใดที่มีนัยสำคัญต่อค่าตอบสนองจริงๆ
- Capping Run (Verification) เป็นการยืนยันผลว่าตัวแปรที่ได้คัดกรองจากขั้นตอน Separation of important and unimportant factors นั้นมีนัยสำคัญจริงๆ โดยกำหนดให้ตัวแปรที่ถูกคัดกรองมาเป็นค่าที่ดีที่สุด ส่วนตัวแปรที่เหลือให้เป็นค่าที่แย่ที่สุด แล้วทำการทดลองอีกรอบโดยให้ตัวแปรที่ถูกคัดกรองมาเป็นค่าที่แย่ที่สุด ส่วนตัวแปรที่เหลือให้เป็นค่าที่ดีที่สุด แล้วเก็บข้อมูลจากการทดลองมาเทียบกับกราฟ Decision Limit เพื่อยืนยันว่าตัวแปรที่ผ่านการคัดกรองมาแล้วมีนัยสำคัญต่อค่าตอบสนองจริงๆ
- Factorial Analysis วิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญ เพื่อหาว่าตัวแปรตัวใดมีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองที่รุนแรงที่สุดและน้อยที่สุด โดยจะจัดทำกราฟอิทธิพลหลัก (Main Effect Plot) และกราฟอิทธิพลร่วม (Interaction Plot) เพื่อช่วยในการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ค่าตอบสนองเป็นค่าที่ดีที่สุด

ขั้นตอนที่ 3 สรุปผลการทดลอง หลังจากได้ตัวแปรที่มีอิทธิพลกับค่าตอบสนองก็จะสามารถสรุปได้จากกราฟอิทธิพลหลัก (Main Effect Plot) กราฟอิทธิพลร่วม (Interaction Plot)ได้ ว่าควรจะตั้งค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญไว้ที่เท่าใด จึงจะทำให้ค่าตอบสนองเป็นค่าที่ดีที่สุดตามวัตถุประสงค์ของการทดลองที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทำการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

5.2.1 หากต้องการผลการทดลองที่มีความน่าเชื่อถือทางสถิติเทียบเท่ากับการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) การดำเนินการทดลองที่ไม่สามารถทำการทดลองได้จำนวนมาก โดยสามารถกำหนดแนวทางในการประยุกต์ใช้วิธีการของทากูชิมาช่วยในการออกแบบการทดลอง ให้ง่ายสะดวกและเป็นวิธีดำเนินการที่มีประสิทธิภาพสำหรับการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยการเข้าใกล้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบไว้อย่างเหมาะสมที่สุดที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการ และเป็นวิธีที่เป็นระบบสามารถนำไปสู่สมรรถนะ

5.2.2 ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้กรณีศึกษาที่มีตัวแปรจำนวน 5 ตัวแปร ซึ่งสำหรับหลักการค้นหาตัวแปรของการออกแบบการทดลองของไซนินนั้นในทางทฤษฎีสามารถวิเคราะห์ได้ถึง 20 ตัวแปร ผู้วิจัยจึงเสนอแนะว่าหากผู้ที่ได้นำหลักการค้นหาตัวแปรของการออกแบบการทดลองของไซนินไปใช้ สามารถลองใช้กับกรณีที่มีจำนวนตัวแปรมากกว่างานวิจัยฉบับนี้ดูได้

5.2.3 เนื่องด้วยหลักการค้นหาตัวแปรของไซนินนั้น ผู้ที่ทำการออกแบบการทดลองต้องเป็นผู้ที่คลุกคลีอยู่ในงานนั้นๆพอสมควร จึงเป็นข้อจำกัดข้อหนึ่งสำหรับผู้ที่ไม่มีประสบการณ์ในงานประเภทนั้นๆ เนื่องจากจะยากในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ว่าการปรับค่าพารามิเตอร์ไว้ที่ค่าใดจึงเป็นค่าที่ดี (Best) หรือปรับค่าพารามิเตอร์ไว้ที่ค่าใดจึงเป็นค่าที่แย่ (Marginal)

5.2.4 ในงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบการออกแบบการทดลองของทากูชิกับหลักการค้นหาตัวแปรของไซนิน และแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) ด้วยกรณีศึกษาเพียงกรณีเดียวเท่านั้น ดังนั้นผู้ที่สนใจในงานวิจัยนี้ อาจนำไปลองใช้ในกรณีศึกษาที่มาจากอุตสาหกรรมประเภทต่างๆได้ เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นว่าการออกแบบการทดลองของทากูชิกับหลักการค้นหาตัวแปรของไซนินจะใช้จำนวนครั้งในการทดลองที่น้อยกว่าการออกแบบการทดลองมาตรฐาน (แฟคทอเรียล)

5.2.5 การออกแบบการทดลองวิธีการของทากูชิและไซนิน เหมาะสำหรับผู้ที่มีข้อจำกัดต่างๆ เช่น ด้านค่าใช้จ่าย ต้นทุนน้อย หรือทรัพยากรที่มีอยู่ เวลา และหน่วยทดลองที่ไม่เพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- พิชิต สุขเจริญพงษ์.2550. “Shainin DOE : เทคนิคของไชนินสำหรับการออกแบบการทดลองเพื่อการปรับปรุงคุณภาพ” ใน เอกสารประกอบการสัมมนาสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).กรุงเทพฯ.
- ยศวัจน์ ศิริกมลชัย.(2554). การศึกษาการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการไชนิน.กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- อ.อดิศร ไทยเจริญ. (2554). การออกแบบการทดลองเพื่อการปรับปรุงคุณภาพ (Design Of Experiment : DOE). สืบค้น จาก www.bigqtraining.com
- Andrew, thomas.; & Jiju, Antony. (2004). Applying Shainin’s variables search methodology in aerospace applications. Assembly Automation. 24: 184-191.
- Jiju, Antony.; &Alfred Ho Yuen Cheng.(2003). Training For Shainin’s Approach To Experimental Design Using A Catapult. Journal of European Industrial Training. 27/8: 405-412.
- Montgomery, Douglas C.2013. Design and analysis of experiments. 8 th.ed. Hoboken,NJ : Wiley.
- Peace, Glen Stuart.1993. Taguchi method : a hands-on approach. Addison-Wesley Publishing Company.
- The Global Science Gateway. 2012. Taguchi method. Retrieved from http://worldwidescience.org
- Thomas, A.J.;& J. Anthony. (2005,June). A comparative analysis of the Taguchi and Shainin DOE techniques in an aerospace environment. International Journal of Productivity and Performance Management. 54: 658-678.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

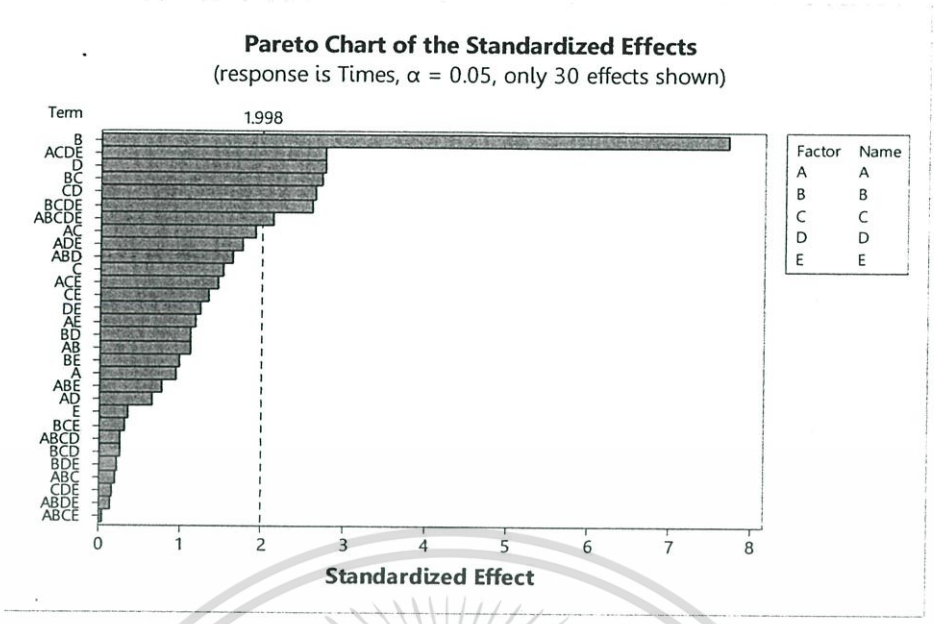
ภาคผนวก ก
การออกแบบการทดลองด้วยวิธีแฟคทอเรียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

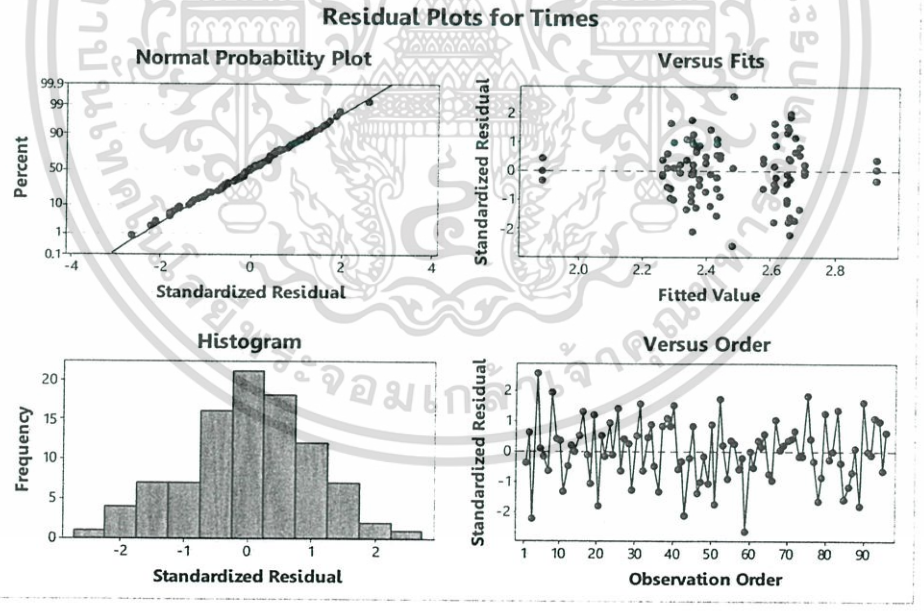
ตารางที่ ผก 1 ผลการทดลองและข้อมูลของค่าตอบสนองของพารามิเตอร์ 2^5

Runs	A	B	C	D	E	Rep 1	Rep 2	Rep 3
1	1	11	8	2	0	2.18	2.46	2.45
2	2	11	8	2	0	2.43	2.46	2.29
3	1	13	8	2	0	2.84	2.49	2.11
4	2	13	8	2	0	2.73	2.58	2.53
5	1	11	9	2	0	2.43	2.15	2.31
6	2	11	9	2	0	2.20	2.15	2.51
7	1	13	9	2	0	2.88	2.98	2.93
8	2	13	9	2	0	2.61	2.93	2.43
9	1	11	8	3	0	2.49	2.30	2.33
10	2	11	8	3	0	2.49	2.33	2.23
11	1	13	8	3	0	2.85	2.71	2.40
12	2	13	8	3	0	2.54	2.51	2.78
13	1	11	9	3	0	2.35	2.28	2.19
14	2	11	9	3	0	2.24	2.23	2.31
15	1	13	9	3	0	2.60	2.39	2.23
16	2	13	9	3	0	2.76	2.43	2.83
17	1	11	8	2	1	2.35	2.38	2.33
18	2	11	8	2	1	2.51	2.31	2.50
19	1	13	8	2	1	2.80	2.76	2.50
20	2	13	8	2	1	2.92	2.71	2.35
21	1	11	9	2	1	2.55	2.34	2.39
22	2	11	9	2	1	2.26	2.20	2.59
23	1	13	9	2	1	2.49	2.63	2.83
24	2	13	9	2	1	2.70	2.73	2.68
25	1	11	8	3	1	2.48	2.63	2.61
26	2	11	8	3	1	2.50	2.21	2.58
27	1	13	8	3	1	2.53	2.48	2.06
28	2	13	8	3	1	2.84	2.36	2.63
29	1	11	9	3	1	2.34	2.30	2.30
30	2	11	9	3	1	1.83	1.94	1.88
31	1	13	9	3	1	2.86	2.51	2.58
32	2	13	9	3	1	2.48	2.38	2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

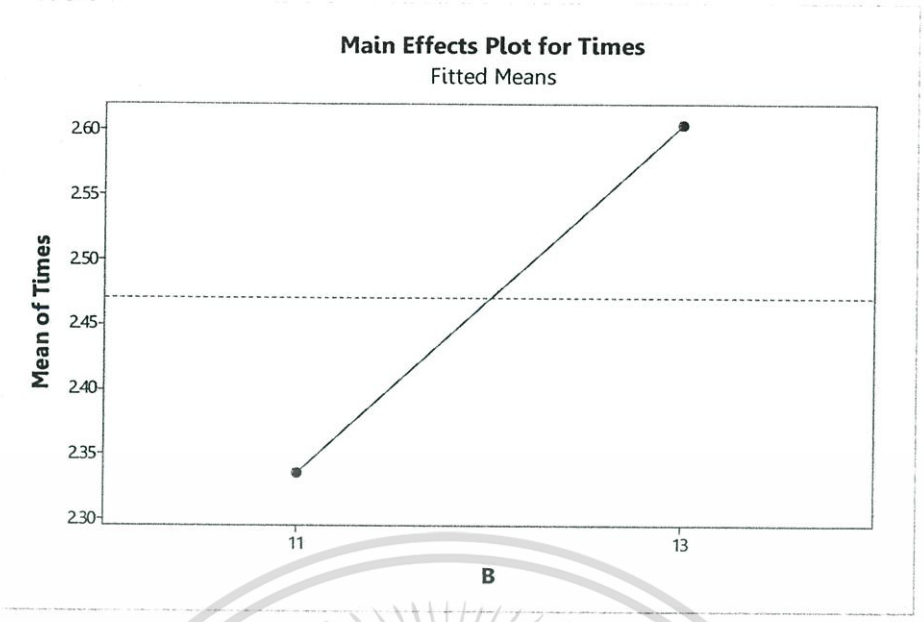


รูปที่ ผก 1 แผนภูมิพาเรโต้ (Pareto) ของอิทธิพลในแต่ละตัวแปร



รูปที่ ผก 2 กราฟแสดง Residual Plots for Times

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผก 3 กราฟแสดงอิทธิพลของตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
หลักการค้นหาตัวแปรของไชนิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข 1 Ball Park

พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	Low (-) Marginal Level	High (+) Best Level	
1. A ความลึกของการตัดปีกเข้า (Cutting wing Depth)	1	2	cm.
2. B ความยาวของปีก (Wing Length)	11	13	cm.
3. C ความยาวของลำตัว (Body Length)	9	8	cm.
4. D ความกว้างของลำตัว (Body Width)	2	3	cm.
5. E ความลึกของการตัดลำตัวเข้า (Cutting body Depth)	0	1	cm.
ผลการทดลองครั้งที่ 1	2.56	2.83	sec.
ผลการทดลองครั้งที่ 2	2.53	2.93	sec.
ผลการทดลองครั้งที่ 3	2.45	2.81	sec.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข 2 Separation of important and unimportant factors

Test	Combination	Result	Median	Decision Limits	Conclusion
1	A_MR_B	2.68	2.83	2.65 to 3.01	A not significant
2	A_BR_M	2.46	2.53	2.35 to 2.71	
3	B_MR_B	2.53	2.83	2.65 to 3.01	B significant
4	B_BR_M	2.75	2.53	2.35 to 2.71	
5	C_MR_B	2.99	2.83	2.65 to 3.01	C not significant
6	C_BR_M	2.50	2.53	2.35 to 2.71	
7	D_MR_B	2.95	2.83	2.65 to 3.01	D not significant
8	D_BR_M	2.51	2.53	2.35 to 2.71	
9	E_MR_B	2.98	2.83	2.65 to 3.01	E not significant
10	E_BR_M	2.41	2.53	2.35 to 2.71	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข 3 Capping Run

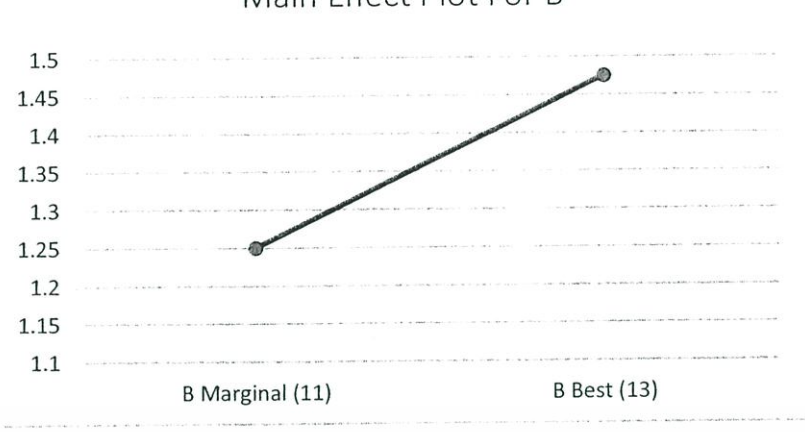
Test	Combination	Result	Median	Decision Limits	Conclusion
1	$A_BB_BR_M$	2.61	2.83	2.65 to 3.01	AB not significant
2	$A_MB_MR_B$	2.76	2.53	2.35 to 2.71	
3	$B_BC_BR_M$	2.49	2.83	2.65 to 3.01	BC not significant
4	$B_MC_MR_B$	2.26	2.53	2.35 to 2.71	
5	$B_BD_BR_M$	2.53	2.83	2.65 to 3.01	BD not significant
6	$B_MD_MR_B$	2.28	2.53	2.35 to 2.71	
7	$B_BE_BR_M$	2.62	2.83	2.65 to 3.01	BE not significant
8	$B_ME_MR_B$	2.29	2.53	2.35 to 2.71	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข 4 การวิเคราะห์ตัวแปร (Factorial Analysis)

B Best		B Marginal	
2.68	2.75	2.46	2.53
2.99	2.95	2.50	2.51
2.98		2.41	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 1 กราฟอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของตัวแปร B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผค 1 การทดลองและข้อมูลของค่าตอบสนองของพารามิเตอร์ L16 (2^5)

Run	A	B	C	D	E	Rep 1	Rep 2	Rep 3
1	1	11	8	2	0	2.46	2.38	2.38
2	1	11	8	3	1	2.58	2.61	2.73
3	1	11	9	2	1	2.68	2.45	2.63
4	1	11	9	3	0	2.26	2.45	2.63
5	1	13	8	2	1	2.75	2.65	2.65
6	1	13	8	3	0	2.76	3.11	2.91
7	1	13	9	2	0	2.63	2.88	2.88
8	1	13	9	3	1	2.86	3.26	3.50
9	2	11	8	2	1	2.58	2.70	2.65
10	2	11	8	3	0	2.46	2.35	2.38
11	2	11	9	2	0	2.40	2.58	2.55
12	2	11	9	3	1	2.43	2.30	2.36
13	2	13	8	2	0	2.51	2.45	2.61
14	2	13	8	3	1	3.05	3.08	3.00
15	2	13	9	2	1	2.70	2.90	2.85
16	2	13	9	3	0	2.51	2.66	2.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	1	0.039667	0.039667	0.039667	1.47	0.253
B	1	0.423584	0.423584	0.423584	15.71	0.003
C	1	0.000251	0.000251	0.000251	0.01	0.925
D	1	0.026951	0.026951	0.026951	1.00	0.341
E	1	0.118451	0.118451	0.118451	4.39	0.062
Residual Error	10	0.269585	0.269585	0.026958		
Total	15	0.878488				

รูปที่ ผค 1 ข้อมูล ANOVA

Response Table for Signal to Noise Ratios
Nominal is best (10?Log10(Ybar^2/s^2))

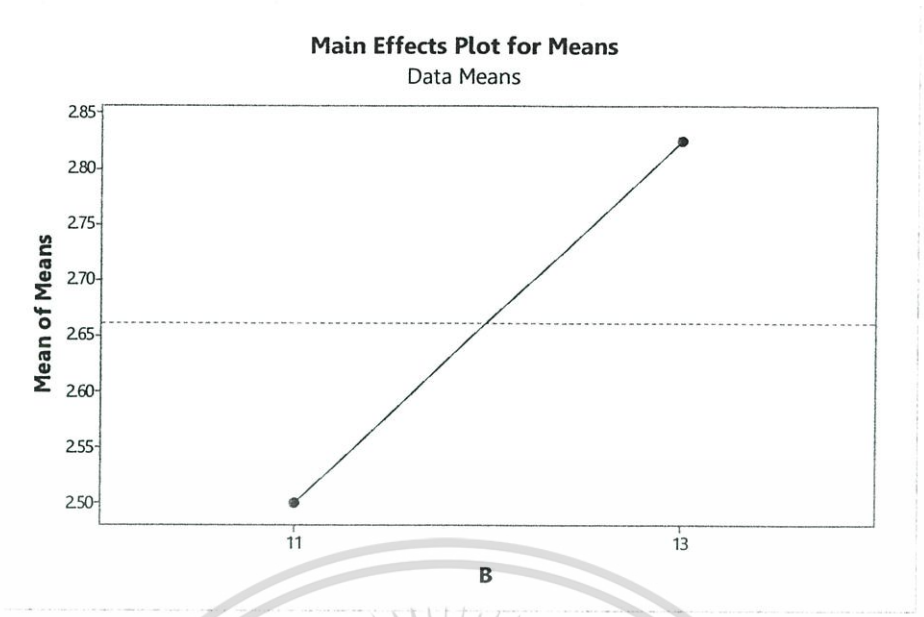
Level	A	B	C	D	E
1	27.16	29.83	31.91	29.96	28.49
2	31.40	28.73	26.65	28.60	30.07
Delta	4.25	1.10	5.27	1.37	1.57
Rank	2	5	1	4	3

Response Table for Means

Level	A	B	C	D	E
1	2.712	2.499	2.658	2.621	2.576
2	2.612	2.825	2.666	2.703	2.748
Delta	0.100	0.325	0.008	0.082	0.172
Rank	3	1	5	4	2

รูปที่ ผค 2 ข้อมูล Response ของ Signal to Noise Ratios และ Means

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผค 3 กราฟแสดงอิทธิพลของตัวแปร B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ตารางเปรียบเทียบ 3 กรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผง 1 สรุปผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลกับระยะเวลาในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษอย่างมีนัยสำคัญ เปรียบเทียบกันทั้ง 3 วิธีของการทดลองการออกแบบการทดลอง

วิธีการออกแบบการทดลอง	ตัวแปร	Signal to noise ratio	Linear Model
	B ความยาวของปีก (Wing Length)		
วิธีการทากูชิ	●	●	●
หลักการค้นหาตัวแปรของไชนิน	●		
2^k Factorial Design	●		●

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผง 2 เปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของทากูชิ กับหลักการค้นหาตัวแปรของไซนินและการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน 2^k Factorial Design

หัวข้อที่เปรียบเทียบ	วิธีการของทากูชิ	หลักการค้นหาตัวแปรของไซนิน	การออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล)
จำนวนครั้งในการทดลอง	48 ครั้ง (ปานกลาง)	10 ครั้ง (น้อย)	96 ครั้ง (มาก)
ต้นทุนที่ใช้ในการทดลอง	ปานกลาง (ตามจำนวนครั้งของการทดลอง)	ต่ำ	สูง (ตามจำนวนครั้งของการทดลอง)
หลักการของการวิเคราะห์	ANOVA และ S/N Ratio	Median	ANOVA
สมการถดถอย	มี	ไม่มี	มี
ความยุ่งยากซับซ้อนในการวิเคราะห์ทางสถิติ	มาก (อาศัยวิธีการทางสถิติโดยใช้ ตาราง ANOVA และ S/N Ratio)	น้อย (อาศัยเพียงหลักเหตุและผล (Rule of Thumb) เป็นหลัก)	มาก (อาศัยวิธีการทางสถิติโดยใช้ ANOVA)
ความเชื่อมั่นในทางสถิติ	สูง ใช้ Software computer โดยการใช้ตาราง ANOVA และ S/N Ratio)	น้อย (อาศัยเพียงหลักเหตุและผล (Rule of Thumb) เป็นหลักในการทดลอง)	สูง ใช้ Software computer โดยการใช้ตาราง ANOVA)
จำนวนตัวแปรที่ใช้ได้กับการทดลอง	ปานกลาง (จำนวนการทดลองจะน้อยกว่าการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล))	มาก (หากมีตัวแปรจำนวนมาก การทดลองก็ยังน้อยอยู่ดี)	น้อย (เพราะ ยิ่งมีจำนวนตัวแปรมาก การทดลองก็ยิ่งมาก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้