

การศึกษาการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการไชนิน



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม

พฤษภาคม 2554

การศึกษาการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการไชนิน



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม

พฤษภาคม 2554

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การศึกษาการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการไชนิน



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม

พฤษภาคม 2554

ยศวัจน์ ศิริกมลชัย. (2554). การศึกษาการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการไชนิน.

ปริญญาณิพนธ์ วศ.ม.(การจัดการทางวิศวกรรม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ทศพล เกียรติเจริญผล, ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์.

งานวิจัยฉบับนี้ เป็นการศึกษาและกำหนดแนวทางการประยุกต์ใช้วิธีการของไชนินโดยอาศัยกรณีศึกษา 3 กรณีศึกษาและได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของวิธีการออกแบบการทดลองของไชนินกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน(แฟคทอเรียล) จากมุมมองในด้านต่างๆ

ในขั้นตอนการศึกษาดำเนินงาน ผู้วิจัยได้เริ่มจากการกำหนดกรณีศึกษาจำนวน 3 กรณีศึกษา จากนั้นจึงทำการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธีของไชนินและทำการออกแบบการทดลองแบบเต็มรูป (Full Factorial) แล้วเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์

จากผลการศึกษาของกรณีศึกษาที่ 1 สรุปได้ว่าการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนิน มีจำนวนครั้งของการทดลองจำนวน 17 การทดลอง ในขณะที่วิธี 2^6 แฟคทอเรียลมีจำนวนครั้งของการทดลองจำนวน 192 การทดลองและวิธี 2^{6-1} แฟคทอเรียลมีจำนวนครั้งของการทดลองจำนวน 96 การทดลอง และผลการทดลองทั้ง 3 วิธีสรุปเหมือนกันว่าตัวแปรที่มีนัยสำคัญกับจำนวนเสียต่อ 100 หน่วย (Percent Defective : Yield) คือ ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ A (ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1)) และ ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ E (ความเร็วส่ง (Speed 2)) แต่ผลการทดลองทั้ง 3 วิธีนั้นจะมีความแตกต่างในเรื่องการตั้งค่าพารามิเตอร์คือ ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ A (ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1)) วิธีการของไชนินให้ตั้งค่าไว้ที่ 1006 แต่ วิธีแฟคทอเรียลให้ตั้งค่าไว้ที่ 1002

จากผลการศึกษาของกรณีศึกษาที่ 2 สรุปได้ว่าการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนิน มีจำนวนครั้งของการทดลองจำนวน 32 การทดลอง ในขณะที่วิธี 2^5 แฟคทอเรียลมีจำนวนครั้งของการทดลองจำนวน 128 การทดลอง และผลการทดลองทั้ง 2 วิธีสรุปเหมือนกันว่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญกับค่าความแข็งแรงของเหล็กกลวด คือ ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ A (ธาตุคาร์บอน (C)) และตัวแปรหรือพารามิเตอร์ B (ธาตุแมงกานีส (Mn))

จากผลการศึกษาของกรณีศึกษาที่ 3 สรุปได้ว่าการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนิน มีจำนวนครั้งของการทดลองจำนวน 15 การทดลอง ในขณะที่วิธี 2^5 แฟคทอเรียลมีจำนวนครั้งของการทดลองจำนวน 64 และผลการทดลองทั้ง 2 วิธีสรุปใกล้เคียงกันคือวิธีของไชนินสรุปว่าตัวแปรที่มีนัยสำคัญกับจำนวนแผ่นงานแตกร้า คือ ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ E (จำนวนของการวางงานใส่ในแมกกาซีน) และ ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ D (ระดับความโค้งงอของแผ่นอลูมิเนียมซับสเทรท) ส่วนวิธีแฟคทอเรียล (2^5 แฟคทอเรียล) สรุปว่ามีตัวแปรที่มีนัยสำคัญกับจำนวนแผ่นงานแตกร้า 4 ตัวแปร คือตัวแปรหรือพารามิเตอร์ A (ความเร็วของสายพาน) , ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ B

(ความแรงของลมร้อน) , ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ D (ระดับความโค้งงอของแผ่นอลูมิเนียมซับสเทรท) และตัวแปรหรือพารามิเตอร์ E (จำนวนของการวางงานใส่ในแมกกาซีน)

เมื่อพิจารณาถึงข้อดีและข้อเสียของวิธีการออกแบบการทดลองของไซนินพบว่าวิธีการออกแบบการทดลองของไซนินมีข้อดีที่เห็นเด่นชัดคือใช้จำนวนครั้งของการทดลองที่น้อยกว่าการออกแบบการทดลองมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)มาก ซึ่งสำหรับวิธีการออกแบบการทดลองมาตรฐาน (แฟคทอเรียล)แล้วยังมีจำนวนตัวแปรมากขึ้น จำนวนครั้งของการทดลองยังมีความแตกต่างกันกับวิธีการของไซนินมากขึ้นด้วยและทำให้ต้นทุนจากการทำการทดลองสูงขึ้นตามไปด้วยและวิธีการของไซนินนั้นมีความยุ่งยากซับซ้อนทางการคำนวณสถิติน้อยเมื่อเทียบกับวิธีการออกแบบการทดลองมาตรฐาน(แฟคทอเรียล) แต่ทั้งนี้การออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไซนินก็ยังมีข้อเสียอยู่คือไม่สามารถคำนวณหาสมการถดถอยได้ ซึ่งผู้วิจัยจึงเสนอว่าการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไซนินจึงนั้นจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษาตัวแปร ในกรณีการดำเนินการทดลองที่ไม่สามารถทำการทดลองได้จำนวนมากหรือมีข้อจำกัดทั้งด้านค่าใช้จ่าย ต้นทุน หรือทรัพยากรที่มีอยู่ และมีจำนวนตัวแปรที่ศึกษาจำนวนมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทดลองแบบคัดเลือก (Screening)



AN IMPLICATION STUDY OF AN EXPERIMENTAL DESIGN: SHININ
APPROACH



Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Engineering Degree in Engineering Management
at Srinakharinwirot University

May 2011

Yossawaj Sirikamonchai. (2011). *An Implication Study of An Experimental Design: Shainin Approach*. Master thesis, M.Eng. (Engineering Management). Graduate School, Srinakharinworot University. Advisor Committee: Asst. Prof. Tossapol Kiatcharoenpol, Asst. Prof. Ninlawan Chumrit.

This research studied and defined the application of Shainin methodology, and analyzed the comparative advantages of Shainin and full factorial designs of experiment through three case studies.

For the research process, the researcher firstly designed three case studies, then conducted the experiments by using Shainin and full factorial methods, and analyzed the comparative results. The findings from the first case study, consisting of 17 experiments under Shainin technique, 192 experiments under 2^6 full factorial technique, and 96 experiments under 2^{6-1} factorial technique, indicated that the significant parameters to the percent defective per yield of all techniques were A parameter (Dept of Cut 1) and E parameter (Speed 2). However, the parameter settings of these methods were different as A parameter was set at 1006 by Shainin technique and at 1002 by full factorial technique.

The results of the second case study, consisting of 32 experiments under Shainin technique, and 128 experiments under 2^5 full factorial technique, indicated that the significant parameters of wire strength were A parameter (Carbon) and B parameter (Manganese).

The results of the third case study, consisting of 15 experiments under Shainin technique, and 64 experiments under 2^5 full factorial technique, concluded that Shainin's significant parameters of fractured sheets were E parameter (number of sheets in a magazine) and D parameter (bending level of Alumina Substrate sheet) while full factorial significant parameters of fractured sheets were A parameter (belt speed), B parameter (hot air force), D parameter (bending level of Alumina Substrate sheet), and E parameter (number of sheets in a magazine).

In addition, a comparative analysis of these methods showed that Shainin approach had more benefits than full factorial due to fewer experiments which could reduce process parameters and costs as well as having simply statistical analysis. However, Shainin had a disadvantage to calculate regression equation. As a result, the researcher recommended that Shainin was an effective design of experiment to study numerous parameters of which a large number of experiments, including screening method, had to be conducted, and was suitable for experiments requiring limit budget and resources.

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.ทศพล เกียรติเจริญผล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือในทุกด้านตั้งแต่เริ่มต้นศึกษางานวิจัยตลอดจนถึงคำแนะนำในการดำเนินงาน การแก้ไขปัญหาอุปสรรคที่พบระหว่างการดำเนินงาน และสละเวลาส่วนตัวเพื่อปรับปรุงข้อบกพร่องของงานวิจัยนี้ให้สมบูรณ์มากที่สุด ซึ่งส่งผลให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ซึ่งผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาครั้งนี้เป็นอย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมารดา ที่ได้สนับสนุนในทุกด้านและให้กำลังใจตลอดระยะเวลาของการศึกษา ขอบพระคุณ รศ.ดร.พิชิต สุขเจริญพงษ์ ผู้ที่ให้ความรู้ในหลักการออกแบบการทดลอง และเป็นแรงบันดาลใจให้ผู้วิจัยสนใจอยากศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม ซึ่งเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้และเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาตัวผู้วิจัยเอง และขอขอบพระคุณบุคคลอื่นๆ ท่านที่มีได้กล่าวถึง ที่มีส่วนร่วมในความสำเร็จของงานวิจัยฉบับนี้

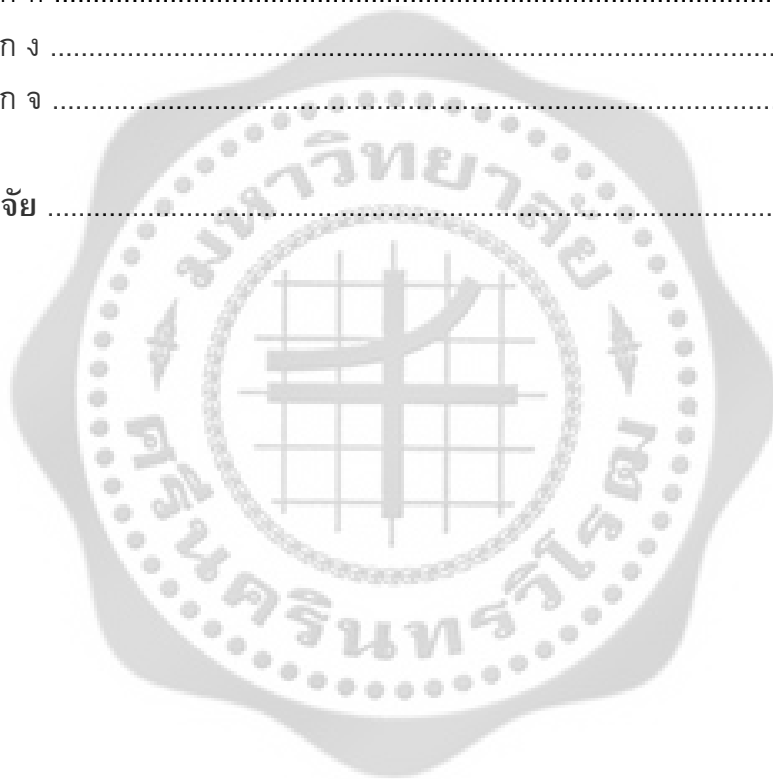
ยศวัจน์ ศิริกมลชัย

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
การออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment)	3
การออกแบบการทดลองของไชนิน (Shainin Design Of Experiment)	7
หลักการค้นหาตัวแปร (Variables Search Method)	10
การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล	23
การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^{k-p} (Fractional Factorial Design 2^{k-p})	25
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
3 วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า	31
ขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อการวิจัย	31
4 ผลการศึกษา	36
กรณีศึกษาที่ 1	36
กรณีศึกษาที่ 2	58
กรณีศึกษาที่ 3	70
สรุป 3 กรณีศึกษา	87
5 สรุปผลการศึกษา	89
สรุปผลการศึกษา	89
ข้อเสนอแนะ	94

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บรรณานุกรม	96
ภาคผนวก	99
ภาคผนวก ก	100
ภาคผนวก ข	106
ภาคผนวก ค	108
ภาคผนวก ง	110
ภาคผนวก จ	112
ประวัติย่อผู้วิจัย	126



บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงขั้นตอนและวัตถุประสงค์ของแต่ละขั้นตอนของหลักการค้นหาตัวแปร (Variables Search Method).....	11
2 แสดงระดับของตัวแปรทั้ง 5 ตัว.....	13
3 Ball Park	14
4 Separation of important and unimportant factors.....	16
5 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำ Capping Run.....	17
6 Capping Run.....	17
7 เมทริกซ์ในการกรอกข้อมูลของตัวแปร B และ C.....	18
8 การกรอกข้อมูลผลลัพธ์จากการทดลองที่สภาวะตัวแปร B และ C เป็นค่า Best Level	19
9 ผลลัพธ์จากสภาวะในการทดลองทั้ง 4 พร้อมกับค่า Medain.....	19
10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนปัจจัยที่สนใจศึกษาและจำนวนเงื่อนไขการทดลอง กรณีจำนวนระดับของปัจจัย=2.....	24
11 แสดงระดับของตัวแปรทั้ง 6 ตัว.....	32
12 แสดงระดับของตัวแปรทั้ง 5 ตัว.....	33
13 แสดงระดับของตัวแปรทั้ง 5 ตัว.....	33
14 Ball Park.....	37
15 Separation of important and unimportant factors.....	39
16 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำ Capping Run.....	40
17 Capping Run.....	41
18 เมทริกซ์ในการกรอกข้อมูลของตัวแปร A และ E.....	41
19 การกรอกข้อมูลผลลัพธ์จากการทดลองที่สภาวะตัวแปร A และ E เป็นค่า Best Level	42
20 ผลลัพธ์จากสภาวะในการทดลองทั้ง 4 พร้อมกับค่า Medain.....	43
21 แสดงระดับของตัวแปรทั้ง 6 ตัว.....	48
22 แสดง Run การทดลองและข้อมูลของค่าตอบสนองของพารามิเตอร์ ^{2⁶}	49
23 แสดง Run การทดลองและข้อมูลของค่าตอบสนองของพารามิเตอร์ ^{2⁶⁻¹}	54
24 สรุปผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลกับของเสียอย่างมีนัยสำคัญเปรียบเทียบกันทั้ง 3 วิธี ของการออกแบบการทดลอง.....	57

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
25	เปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองด้วยหลักการค้นหาตัวแปรของไชนินกับ วิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)	58
26	Ball Park.....	59
27	Separation of important and unimportant factors.....	61
28	ค่าพารามิเตอร์จากการทดลองครั้งที่ 1.....	62
29	ตัวอย่างตาราง ANOVA สำหรับการทดลองที่ 1 (Experiment Number 1)	62
30	ตาราง ANOVA สมบูรณ์.....	64
31	แสดงระดับของตัวแปรทั้ง 5 ตัว.....	65
32	แสดง Run การทดลองและข้อมูลของค่าตอบสนองของพารามิเตอร์ ²	66
33	สรุปผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลกับค่าความแข็งแรงของเหล็กหล่ออย่างมีนัยสำคัญ เปรียบเทียบกันทั้ง 2 วิธีของการออกแบบการทดลอง.....	69
34	เปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองด้วยหลักการค้นหาตัวแปรของไชนินกับ วิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)	69
35	Ball Park.....	71
36	Separation of important and unimportant factors.....	73
37	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำ Capping Run.....	74
38	Capping Run.....	74
39	เมทริกซ์ในการกรอกข้อมูลของตัวแปร D และ E.....	75
40	การกรอกข้อมูลผลลัพธ์จากการทดลองที่สภาวะตัวแปร D และ E เป็นค่า Best Level	76
41	ผลลัพธ์จากสภาวะในการทดลองทั้ง 4 พร้อมกับค่า Medain.....	76
42	แสดงระดับของตัวแปรทั้ง 5 ตัว.....	81
43	แสดง Run การทดลองและข้อมูลของค่าตอบสนองของพารามิเตอร์ ²	82
44	สรุปผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลกับจำนวนแผ่นงานแตกร้าวอย่างมีนัยสำคัญ เปรียบเทียบกันทั้ง 2 วิธีของการออกแบบการทดลอง.....	86
45	เปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองด้วยหลักการค้นหาตัวแปรของไชนินกับ วิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)	86
46	สรุปผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลกับค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญเปรียบเทียบ กันทั้ง 2 วิธี ของการออกแบบการทดลองทั้ง 3 กรณีศึกษา.....	87

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
47 สรุปเปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองด้วยหลักการค้นหาตัวแปรของไชนินกับ วิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน(แฟคทอเรียล) จากกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณีศึกษา.....	88
48 แสดงการเปรียบเทียบของการตั้งค่าพารามิเตอร์หรือตัวแปรของวิธีไชนินกับ แฟคทอเรียล.....	90
49 แสดงการเปรียบเทียบของการตั้งค่าพารามิเตอร์หรือตัวแปรของวิธีไชนินกับ แฟคทอเรียล.....	92



บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แบบจำลองทั่วไปของกระบวนการผลิต.....	3
2 ขั้นตอนการลดความแปรปรวนด้วยเทคนิคของไซนิน	8
3 การวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปร B	21
4 การวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปร C	22
5 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมของตัวแปร B และ C	23
6 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	31
7 การวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปร A	45
8 การวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปร E	46
9 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมของตัวแปร A และ E	47
10 แสดงแผนภูมิพาเรโต (Pareto) ของอิทธิพลในแต่ละตัวแปร	51
11 แสดงกราฟอิทธิพลของตัวแปร A และ E	52
12 แสดงกราฟอิทธิพลร่วมของตัวแปร A และ E	52
13 แสดงแผนภูมิพาเรโต (Pareto) ของอิทธิพลในแต่ละตัวแปร	55
14 แสดงกราฟอิทธิพลของตัวแปร A และ E	56
15 แสดงกราฟอิทธิพลร่วมของตัวแปร A และ E	56
16 แสดงแผนภูมิพาเรโต (Pareto) ของอิทธิพลในแต่ละตัวแปร	67
17 แสดงกราฟอิทธิพลของตัวแปร A,B,C,D และ E	67
18 แสดงกราฟอิทธิพลร่วมของตัวแปร A,B,C,D และ E	68
19 การวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปร D	79
20 การวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปร E	80
21 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมของตัวแปร D และ E	80
22 แสดงแผนภูมิพาเรโต (Pareto) ของอิทธิพลในแต่ละตัวแปร	84
23 แสดงกราฟอิทธิพลของตัวแปร A,B,C,D และ E	84
24 แสดงกราฟอิทธิพลร่วมของตัวแปร A,B,C,D และ E	85

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment) เริ่มใช้ครั้งแรกในการเกษตร ต้นปี ค.ศ. 1920 ผู้บุกเบิกวิธีการนี้คือ เซอร์ โรนัลด์ ฟิชเชอร์ ซึ่งในสมัยนั้นเป็นเรื่องยากที่จะบอกได้ว่า ตัวแปรทางการเกษตร เช่น พืช ดิน แสงแดด น้ำ สภาพอากาศ เมล็ดพันธุ์พืช ปุ๋ย สภาพของพื้นที่ ฝน จะมีผลอย่างไรกับการเจริญเติบโตบ้าง ดังนั้น เซอร์ โรนัลด์ ฟิชเชอร์ จึงใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial เพื่อปรับปรุงผลผลิตของฟาร์มในประเทศอังกฤษ ท่านจึงได้ถูกยกย่องให้เป็น บิดาของการออกแบบการทดลองที่เป็นผู้สร้างแนวความรู้ด้านนี้ขึ้นมา โดยในช่วงแรกเทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment) ถูกนำไปใช้กับ อุตสาหกรรมเกษตร อุตสาหกรรมเคมี แต่ในภายหลังได้เริ่มแพร่หลายมากขึ้นและเข้ามาสู่อุตสาหกรรมการผลิต และสาขาอื่นๆที่นอกเหนือจากการเกษตร การออกแบบการทดลองจะมี 4 ขั้นตอน คือ การวางแผน การคัดเลือก (Screening หรือ process characterization) การหาค่าที่ดีที่สุด (optimization) และการทวนสอบ (verification) ซึ่งในงานด้านพัฒนากระบวนการและงานด้านการผลิตส่วนใหญ่มักจะมีตัวแปรจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะมีส่วนในการปรับปรุง การคัดเลือก (Screening หรือ process characterization) เป็นการลดจำนวนตัวแปรเหล่านี้ให้มีจำนวนน้อยลง โดยคัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญอย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การลดจำนวนตัวแปรนี้ทำให้เราสามารถที่จะพิจารณาเฉพาะที่ตัวแปรที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเท่านั้นได้ หรือ พิจารณาตามหลักการความสำคัญจำนวนน้อย “Vital Few” การคัดเลือกอาจจะสามารถทำได้ถึงการหาค่าที่เหมาะสม (optimal) ของตัวแปรนั้นๆ รวมทั้งบอกด้วยว่าค่าตอบสนอง (response) มีสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งซึ่งมีอยู่หลายวิธีที่มักจะใช้ในการคัดเลือก (Screening หรือ process characterization) เช่น Two-Level full และ Fractional Factorial ซึ่งในวงการอุตสาหกรรมมีใช้กันแพร่หลาย , Plackett-Burman แม้ว่าจะมี resolution น้อย แต่ว่ามีประโยชน์อย่างมากต่อการทดลองเพื่อการคัดเลือก, การทดสอบเรื่อง Robustness ซึ่งใช้กันโดยทั่วไป, General Full Factorial (ปัจจัยมีค่าระดับมากกว่า 2 ค่าขึ้นไป) อาจจะมีประโยชน์บ้างในการทำการทดลองเพื่อการคัดเลือกขนาดเล็ก

นอกเหนือจากวิธีที่กล่าวมาแล้วนั้น ในขั้นตอนของการคัดเลือก (Screening หรือ process characterization) ยังมีเทคนิคที่ถูกเรียกว่า Variable Search ซึ่งเป็นเครื่องมือหนึ่งในการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของไชนิน (Shainin DOE) ซึ่งวิธีการนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย ไดเรียน ไชนิน (Dorian Shainin) ชาวอเมริกา ผู้ซึ่งเป็นที่ปรึกษาของบริษัทชั้นนำต่างๆมากกว่า 800 แห่ง เทคนิคนี้ถือว่าเป็นเทคนิคในการเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างง่าย แต่ให้ประสิทธิภาพสูง และทำให้ผู้แก้ปัญหาสามารถเข้าถึงปัญหาได้ดีโดยเทคนิคของไชนินถือเป็นกลุ่มวิธีการที่ได้รับการยอมรับมาก

ขึ้นในแวดวงอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่จำเป็นต้องพึ่งหลักการทางสถิติที่ซับซ้อนมากนัก และเป็นวิธีการที่มีกระบวนการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบเป็นขั้นเป็นตอน รวมทั้งได้รับการพิสูจน์ว่าสามารถประยุกต์ใช้ได้ ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

สำหรับในงานวิจัยนี้จะทำการสร้างกรณีศึกษา การออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ (Full Factorial) ซึ่งได้ทราบว่าปัจจัยไหนมีผลกระทบหลักและผลกระทบร่วม ซึ่งจะนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการของไชนิน และวิเคราะห์ด้วยวิธีการ 2^k และ 2^{k-1} และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาและกำหนดแนวทางการประยุกต์ใช้วิธีการของไชนินโดยอาศัยกรณีศึกษา
- 2.2 เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองของไชนินกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล)

3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อเป็นแนวทางในการนำวิธีการออกแบบการทดลองของไชนินไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ

4. ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาถึงทฤษฎีของการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) และ วิธีการค้นหาตัวแปรของไชนิน (Shainin Variable Search Method) และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองของไชนินกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) โดยอาศัยกรณีศึกษา

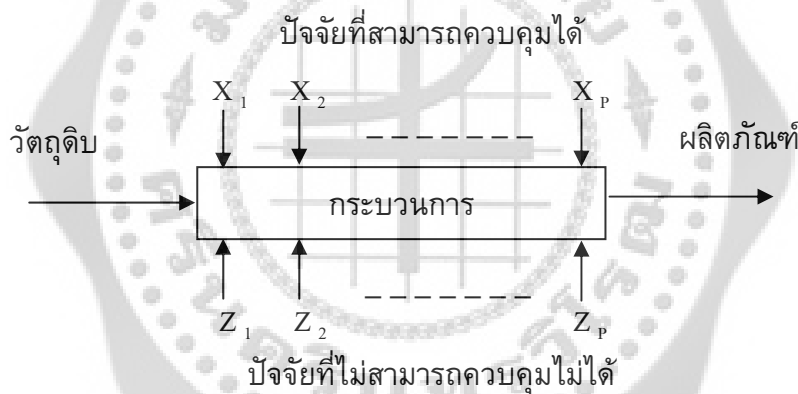
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยเรื่อง การศึกษาการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการไซนิน นี้ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้ารวบรวมแนวคิด ทฤษฎีและผลงานที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษา ดังปรากฏในรายละเอียดต่อไปนี้

1. การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

มอนโกเมอรี (Montgomery. 1991) กล่าวว่า การออกแบบการทดลองเชิงสถิติหมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะช่วยให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ วัตถุประสงค์ของการทดลองคือเพื่อศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการและระบบซึ่งแสดงดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 แบบจำลองทั่วไปของกระบวนการผลิต

จากภาพประกอบ 1 กระบวนการคือการนำเอาทรัพยากรทั้งหลายที่เป็นปัจจัยของการผลิตได้แก่ คน เครื่องจักร วัตถุดิบและวิธีการ มาเปลี่ยนให้เป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งตัวแปรในกระบวนการผลิต บางชนิดเป็นตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ แต่บางตัวก็เป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักๆของการออกแบบการทดลองจึงมีดังต่อไปนี้

1. หาดัชนีแปรที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์มากที่สุด
2. หาวิธีการปรับตั้งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ
3. หาวิธีการปรับตั้งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแปรปรวนน้อยที่สุด

4. หาวิธีการปรับตั้งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ผลของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้มีค่าน้อยที่สุด

1.1 หลักการพื้นฐานที่สำคัญของการออกแบบการทดลอง

1.1.1 การทำการทดลองซ้ำ (Replication) มีคุณสมบัติที่สำคัญสองประการคือ ทำให้ผู้ทดลอง สามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้และถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลองแล้วการทำการทดลองซ้ำ จะสามารถทำให้ผู้ทดลองหาค่าประมาณที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี้

1.1.2 การทำการทดลองแบบสุ่ม (Randomization) หมายถึง การทดลองที่มีลำดับของการทดลองและการใช้วัสดุอุปกรณ์ในการทดลองแบบสุ่ม เนื่องจากวิธีการเชิงสถิติกำหนดว่า ข้อมูลหรือความผิดพลาดจะต้องมีการกระจายอย่างอิสระ การที่เราได้ทำการทดลองแบบสุ่ม จะทำให้เราลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจปรากฏในการทดลองได้

1.1.3 การทำการทดลองแบบบล็อก (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่ง อาจหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุ ที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน มากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ

1.2 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

มอนโกเมอรี (Montgomery, 1991) กล่าวว่า การใช้วิธีเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีขั้นตอนในการดำเนินการดังต่อไปนี้

1.2.1 ทำความเข้าใจถึงปัญหา โดยการศึกษาและทำความเข้าใจในกระบวนการเพื่อกำหนดปัญหาและวัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลองได้อย่างชัดเจน

1.2.2 เลือกปัจจัยและกำหนดค่าของปัจจัยที่ทำการทดลอง โดยตรวจสอบดูว่าปัจจัยใดมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของผลการทดลอง

1.2.3 เลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ใช้ในการวัดผลของกระบวนการ โดยจะเลือกตัวแปรตอบสนองที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่ทำการทดลองอยู่

1.2.4 เลือกวิธีการออกแบบการทดลอง ในการเลือกวิธีการออกแบบการทดลอง จะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองเสมอ เนื่องจากการออกแบบการทดลองมีมากมายหลายรูปแบบล้วนแต่มีรูปแบบเฉพาะ และมีความเหมาะสมกับการทดลองที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงขนาดของตัวอย่าง จำนวนการทดลองซ้ำและการบล็อกด้วย

1.2.5 ทำการทดลอง ติดตามดูการทำงานของกระบวนการอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผน ถ้ามีอะไรผิดพลาดเกี่ยวกับการทดลองในขั้นนี้ จะทำให้การทดลองนี้ใช้ไม่ได้

1.2.6 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้หลักการทางสถิติ คือการนำเอาวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อหาข้อสรุปว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองหรือไม่

1.2.7 สรุปผลการทดลองและทำข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้ตั้งกระบวนการคราวต่อไป

โดยมีผู้ที่ให้นิยามและความหมายของการออกแบบการทดลองของไว้ ดังนี้

เกกิ.อาร์. โบท์ (Keki.R. Bhole. 2000) กล่าวว่า การออกแบบการทดลองเป็นทางที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหาเรื่องรังทางด้านคุณภาพและลดความแปรปรวนซึ่งการออกแบบการทดลองนั้นแบ่งออกได้เป็น 3 หลักการคือ การออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน , การออกแบบการทดลองด้วยวิธีของทากูชิ และการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของไซนิน

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

การวางแผน (Planning)

การวางแผนที่ดีจะช่วยให้เกิดปัญหาระหว่างการทำการทดลองน้อยลง ตัวอย่างเช่น บุคลากร อุปกรณ์ที่ทำการทดลอง เงินทุน และเรื่องกรรมวิธีการผลิตซึ่งอาจส่งผลให้ไม่สามารถทำการทดลองได้ครบสมบูรณ์ ถ้าโครงการที่ทำการทดลองนี้มีความสำคัญอันดับรองลงมาอีกโครงการหนึ่ง ซึ่งทำให้ต้องมีการแบ่งใช้ทรัพยากรบางส่วนไป การแบ่งการทดลองเป็นส่วน ๆ ทำให้ผลการทดลองที่ได้มานั้น ยังสามารถนำไปใช้ได้ และเมื่อทรัพยากรที่ถูกแบ่งใช้ไปนั้นกลับคืนมาก็สามารถทำการทดลองได้เหมือนเดิมและดำเนินต่อจากตอนที่หยุดไว้ก่อนหน้านี้การเตรียมการทดลองขึ้นอยู่กับลักษณะปัญหาที่กำลังเจอ และนี่เป็นขั้นตอนที่อาจจะต้องทำการ

- กำหนดปัญหา (Define the problem) ขั้นตอนนี้คือการกำหนดปัญหา ซึ่งปัญหาที่มีขอบเขตชัดเจนจะช่วยให้การกำหนดตัวแปรที่ถูกต้อง เพื่อให้สามารถตอบคำถามได้ตามที่ต้องการ

- กำหนดวัตถุประสงค์ (Define the objective) ขั้นตอนนี้คือกำหนดวัตถุประสงค์ ซึ่งวัตถุประสงค์ที่ชัดเจนจะทำให้มั่นใจได้ว่าการทดลองที่จะทำนั้นสามารถตอบคำถามได้ตรง และสาระข้อมูลที่จะได้มานี้ใช้ได้จริง

- การสร้างแผนการทดลองเพื่อให้ได้สาระข้อมูลที่ต้องการ ในขั้นตอนนี้ควรมีการทบทวนถึงสิ่งต่างๆที่มีความเกี่ยวข้อง เช่น หลักการทางทฤษฎี หรือข้อมูลในอดีต ตัวอย่างเช่น คุณต้องการหาว่าปัจจัยใดหรือเงื่อนไขของกระบวนการแบบใดที่มีผลต่อประสิทธิภาพและความแปรปรวนของกระบวนการ หรือทำการหาเงื่อนไขของกระบวนการที่ดีที่สุด

- กระบวนการและระบบการวัดจะต้องอยู่ภายใต้การควบคุม โดยหลักทางทฤษฎีทั้งกระบวนการและระบบการวัดควรอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติด้วยการใช้หลักการทาง การควบคุมกระบวนการทางสถิติ (Statistical Process Control, SPC) ในกรณีที่กระบวนการไม่ได้อยู่

ภายใต้การควบคุมแบบสมบูรณ์ แต่อย่างน้อยกระบวนการนั้นๆ ก็ควรที่จะสามารถทำซ้ำและให้ค่ากระบวนการแบบเดิมรวมทั้งต้องมีการวัดความแปรปรวนของกระบวนการ ซึ่งถ้าความแปรปรวนของกระบวนการนี้ที่ได้มามีค่ามากกว่าความแตกต่างหรืออิทธิพลที่กำลังพิจารณา ผลการทดลองที่ได้นี้อาจจะไม่ได้ประโยชน์มากนัก

การคัดเลือก (Screening)

ในงานพัฒนากระบวนการและงานการผลิตส่วนมาก มีตัวแปรจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะมีส่วนในการปรับปรุงการคัดเลือกเป็นการลดจำนวนตัวแปรเหล่านี้ให้มีจำนวนน้อยลง โดยคัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญอย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การลดจำนวนตัวแปรนี้ทำให้คุณสมบัตินั้นๆ จะพิจารณาเฉพาะที่ตัวแปรที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเท่านั้นได้ หรือ พิจารณาตามหลักการ ความสำคัญจำนวนน้อย “Vital Few” การคัดเลือกอาจจะสามารถทำได้ถึงการหาค่าที่เหมาะสม (optimal) ของตัวแปรนั้นๆ รวมทั้งบอกด้วยว่าค่าตอบสนอง (response) มีสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งวิธีดังกล่าวต่อไปนี้จะใช้ในการคัดเลือก

- Two-Level full และ Fractional Factorial ซึ่งในวงการอุตสาหกรรมมีใช้กันแพร่หลาย
- Plackett-Burman แม้ว่าจะมี resolution น้อย แต่ว่ามีประโยชน์อย่างมากต่อการทดลองเพื่อการคัดเลือก และการทดสอบเรื่อง Robustness ซึ่งใช้กันโดยทั่วไป
- General Full Factorial (ปัจจัยมีค่าระดับมากกว่า 2 ค่าขึ้นไป) อาจจะมีประโยชน์บ้างในการทำการทดลองเพื่อการคัดเลือกขนาดเล็ก
- Variable Search ใช้ในการทดลองเพื่อการคัดเลือกตัวแปรโดยสามารถมีตัวแปรในการทดลองได้สูงสุดถึง 20 ตัวแปร

การหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization)

หลังจากที่มีการคัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญจำนวนน้อย (Vital-Few) เพื่อที่จะทำการหาค่าที่ดีที่สุดของปัจจัยเหล่านี้ ซึ่งค่าปัจจัยที่ดีที่สุดจะเป็นค่าอะไรขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการทดลองด้วย ตัวอย่างเช่น วัตถุประสงค์คือการหาค่า yield ของกระบวนการที่มีค่ามากที่สุดและมีความแปรปรวนของกระบวนการน้อยที่สุด

- ในหัวข้อภาพรวม Factorial Design เป็นการอธิบายถึงวิธีการออกแบบและการวิเคราะห์ตัวแบบของ Two-level factorial, Plackett-Burman และ General Full Factorial
- ในหัวข้อภาพรวม Response Surface Design เป็นการอธิบายถึงวิธีการออกแบบและการวิเคราะห์ตัวแบบของ Central composite design และ Box-Behnken Design
- ในหัวข้อ Response Optimization เป็นการอธิบายถึงวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดในกรณีที่มีค่าตอบสนอง

มากกว่าหนึ่งค่า (multiple responses) Minitab มีทั้งวิธี numerical optimization, interactive graph และ overlaid contour plot ที่ไว้เพื่อช่วยในการหาค่าที่ดีที่สุด เพื่อเป็นเงื่อนไขของการเกิดค่าตอบสนองหลายๆค่าไปพร้อมๆกัน

การทวนสอบ (Verification)

การทวนสอบเป็นการทำการทดลองซ้ำเพื่อดูว่าค่าที่วิเคราะห์มาเป็นค่าที่ดีที่สุดนั้น ยังคงให้ผลลัพธ์ที่ดีจริง ๆ หรือไม่ตัวอย่างเช่น คุณทำการทดลองที่มีเงื่อนไขตามค่าที่หามาจากการหาค่าที่ดีที่สุด เพื่อหาขนาดของช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยค่าตอบสนอง

2. การออกแบบการทดลองของไชนิน (Shainin Design of Experiment)

การออกแบบการทดลองของไชนินถูกพัฒนาขึ้นมาโดย โดเรียน ไชนิน (Dorian Shainin) วิศวกรชาวอเมริกัน ซึ่งมีเป้าหมายในการพยายามลดความซับซ้อนและจำนวนครั้งของการทดลอง โดยอาศัยหลัก “Rule of Thumb” และเป็นที่ได้รับความนิยมมากพอสมควรในอุตสาหกรรมการผลิตมีการนำไปประยุกต์ใช้ในบริษัทใหญ่ๆมากมายเช่น Motorola , GM , Ford ฯลฯ

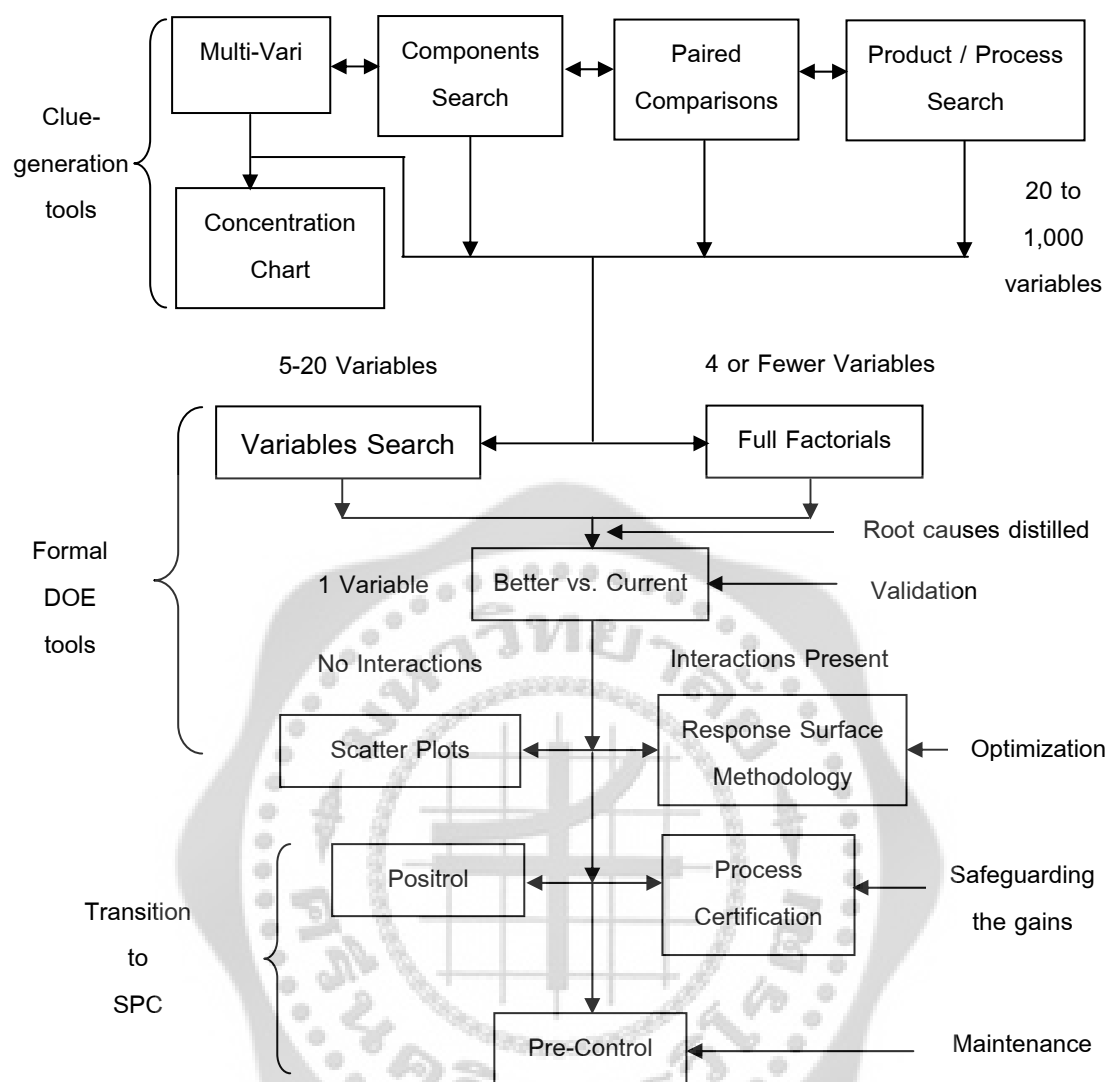
ทั้งนี้หลักการออกแบบการทดลองของไชนินจะมีคำศัพท์ที่เรียกตัวแปรที่มีผลกระทบทางด้านคุณภาพที่แตกต่างจากคำศัพท์ของการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐานแฟคทอเรียลโดยมีผู้ที่ให้นิยามและความหมายของคำศัพท์ต่างๆที่ถูกใช้ในการออกแบบการทดลองของไชนินไว้ ดังนี้

เอ.เจ โทมัส (A.J. Thomas. 2005) กล่าวว่า RedX หมายถึงตัวแปรหลักอันดับ 1 ที่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อม PinkX หมายถึงตัวแปรอันดับ 2 ที่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อม PalePinkX หมายถึงตัวแปรอันดับ 3 ที่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อม

โดเรียน ไชนิน (Dorian Shainin.1988) กล่าวว่า RedX หมายถึงตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุด PinkX หมายถึงตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุดอันดับ 2 PalePinkX หมายถึงตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุดอันดับ 3

จากนิยามข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า RedX หมายถึงตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุด PinkX หมายถึงตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุดอันดับ 2 PalePinkX หมายถึงตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุดอันดับ 3 ตามลำดับ

การออกแบบการทดลองวิธีการของไชนินนั้นประกอบไปด้วยเครื่องมือพื้นฐาน 13 เครื่องมือ ในการช่วยลดความแปรปรวนดังแสดงตามภาพ



ภาพประกอบ 2 ขั้นตอนการลดความแปรปรวนด้วยเทคนิคของไซนิน (Bhote. 2000)

โดยมีวัตถุประสงค์ของเครื่องมือทั้ง 13 เครื่องมือ ดังนี้

เครื่องมือที่ 1 Multi-Vari

วัตถุประสงค์ของ Multi-Vari

เพื่อลดจำนวนตัวแปรหรือปัจจัยที่ไม่รู้ค่า โดยแบ่งกลุ่มตัวแปรหรือปัจจัยเป็นกลุ่มย่อย และกำหนดให้กลุ่มตัวแปรหรือตัวแปรที่สำคัญที่สุดเป็น RedX เทคนิคนี้อาศัยการเขียนกราฟเพื่อจำแนกหาสาเหตุหลักที่มีผลต่อลักษณะคุณภาพ (GreenY) ที่ต้องการควบคุม

เครื่องมือที่ 2 Components Search

วัตถุประสงค์ของ Components Search

เพื่อค้นหาว่าชิ้นส่วนใดมีผลต่อคุณภาพของสินค้าโดยการเอาชิ้นส่วนมาแบ่งแล้วประกอบกันเครื่องมือที่ 3 Paired Comparisons

วัตถุประสงค์ของ Paired Comparisons

Paired Comparisons เป็นเทคนิคเพื่อใช้เปรียบเทียบสินค้าที่ดีกับเลวหรือดีกับเสีย เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของสินค้านั้นโดยจะใช้ในกรณีที่สินค้าไม่สามารถถอดประกอบหรือแยกเป็นชิ้นส่วนได้

เครื่องมือที่ 4 Product/Process Search

วัตถุประสงค์ของ Product/Process Search

เพื่อแยก Process parameters ที่สำคัญออกจาก Process parameters ที่ไม่สำคัญ

เครื่องมือที่ 5 Concentration Chart

วัตถุประสงค์ของ Concentration Chart

เพื่อให้เห็นภาพรวมว่าปัญหาที่เกิดขึ้นซ้ำๆ นั้นแม้จริงแล้วเกิดขึ้นจากสาเหตุใด และควรแก้ไขที่จุดใด

เครื่องมือที่ 6 Variables Search

วัตถุประสงค์ของ Variables Search 7 ข้อ ดังนี้

1. เพื่อลดจำนวนสาเหตุหรือปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพสินค้า
2. เพื่อแยกปัจจัยที่สำคัญออกจากที่ไม่สำคัญ
3. เพื่อขยายค่าความเผื่อ (Tolerance) ของปัจจัยที่ไม่สำคัญ
4. เพื่อกำหนดขนาดหรือมิติและทิศทางของปัจจัยที่สำคัญซึ่งมีผลต่อคุณภาพสินค้า
5. เพื่อการป้องกันปัญหาการผลิตด้วยการออกแบบที่ดี
6. เพื่อการหาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ แม้ในกรณีที่ไม่สามารถรู้สมการทางคณิตศาสตร์

คณิตศาสตร์

7. เพื่อลดค่าใช้จ่ายโดยการผ่อนคลายค่าความเผื่อ และความเข้มงวดของปัจจัยที่ไม่สำคัญซึ่งงานวิจัยฉบับนี้จะใช้เครื่องมือนี้เป็นเครื่องมือหลักในการดำเนินงาน

เครื่องมือที่ 7 Full Factorial Design

วัตถุประสงค์ของ Full Factorial Design

1. เพื่อหาความสำคัญของปัจจัยที่เลือกมา 2-4 ปัจจัยจากปัจจัยทั้งหมดว่าปัจจัยใดที่มีนัยสำคัญต่อคุณภาพสินค้าและปัจจัยใดที่ไม่มีนัยสำคัญ
2. 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)
2. เพื่อแข่งวัดกับค่าเผื่อสำหรับตัวแปรหรือปัจจัยที่สำคัญเพื่อให้ได้ค่า Cpk (process capability index) ที่สูง
3. เพื่อผ่อนคลายกับค่าเผื่อสำหรับตัวแปรหรือปัจจัยที่ไม่สำคัญ เพื่อลดต้นทุน

เครื่องมือที่ 10 Response Surface Methodology

วัตถุประสงค์ของ Response Surface Methodology

เพื่อกำหนดระดับของตัวแปรหรือปัจจัยที่มีผลต่อ GreenY เพื่อให้ได้ค่า GreenY สูงสุดหรือต่ำสุดหรือค่าที่ดีที่สุดนั่นเอง

เครื่องมือที่ 11 และ 12 Positrol Process Certification และ Operator Certification

วัตถุประสงค์ของ Positrol Process Certification และ Operator Certification

เพื่อใช้สำหรับการควบคุมในเชิงบวกหรือเชิงระวังป้องกันของตัวแปรต่างๆ ซึ่งเป็นสาเหตุของความแปรปรวนในกระบวนการ โดยระบุถึง 5W1H ลงในเอกสารควบคุมอย่างชัดเจน

เครื่องมือที่ 13 Pre-Control Techniques

วัตถุประสงค์ของ Pre-Control Techniques

เพื่อหาสาเหตุของปัญหาเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดซ้ำก่อนที่จะทำการผลิตจริง

3. หลักการค้นหาตัวแปร (Variables Search Method)

หลักการค้นหาตัวแปร (Variables Search Method) เป็น 1 ใน 13 ขั้นตอนของการลดความแปรปรวนด้วยวิธีการของไซนิน ซึ่งเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ใช้จำนวนการทดลองที่น้อยครั้ง (สูงที่สุดประมาณ 26 ครั้งในกรณีที่มีตัวแปร 10 ตัวแปร) โดยวัตถุประสงค์ของหลักการค้นหาตัวแปร (Variables Search Method) มี ดังนี้

1. เพื่อลดจำนวนสาเหตุหรือปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพสินค้า
2. เพื่อแยกปัจจัยที่สำคัญออกจากที่ไม่สำคัญ
3. เพื่อขยายค่าความเผื่อ (Tolerance) ของปัจจัยที่ไม่สำคัญ
4. เพื่อกำหนดขนาดหรือมิติและทิศทางของปัจจัยที่สำคัญซึ่งมีผลต่อคุณภาพสินค้า

5. เพื่อการป้องกันปัญหาการผลิตด้วยการออกแบบที่ดี
 6. เพื่อการหาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆแม้ในกรณีที่ไม่สามารถรู้สมการทางคณิตศาสตร์
 7. เพื่อลดค่าใช้จ่ายโดยการผ่อนคลายค่าความเผื่อ และความเข้มงวดของปัจจัยที่ไม่สำคัญ
- ซึ่งหลักการค้นหาตัวแปร (Variables Search Method) สามารถแบ่งได้เป็นขั้นตอนทั้งหมด 4 ขั้นตอนและมีวัตถุประสงค์ของแต่ละขั้นตอนดังตาราง 1

ตาราง 1 แสดงขั้นตอนและวัตถุประสงค์ของแต่ละขั้นตอนของหลักการค้นหาตัวแปร (Variables Search Method)

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	วิเคราะห์หาค่าของปัจจัยสำคัญที่จะทำให้คุณภาพสินค้าดีที่สุด โดยการหา Main และ Interaction Effect

ขั้นตอนที่ 1 : Ball Park มี ขั้นตอน ดังนี้

1. กำหนดเลือก Green Y (ตัวแปรตอบสนอง) ที่ใช้ในการวัดคุณภาพ
2. วิเคราะห์และกำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อคุณภาพสินค้า
3. กำหนดค่าให้ตัวแปรหรือปัจจัยแต่ละปัจจัยเพื่อการทดลอง โดยแบ่งเป็นค่า Best Level (B) และ Marginal Level (M)
4. กำหนดขนาดตัวอย่างโดยทั่วไปกำหนดเพียง 2 ชั้น คือ Best Of Best (BOB) และ Worst Of Worst (WOW) อย่างละชั้น
5. ประเมินหาแนวโน้มอย่างคร่าวๆ โดยการทดลอง 2 ครั้ง ครั้งแรกทีค่า Best Level ครั้งที่สองทีค่า Marginal Level ของทุกปัจจัย โดย
 - 5.1 ถ้ามีความแตกต่างของค่า Green Y อย่างมากระหว่างค่า Best และ Marginal แสดงว่าปัจจัยที่เลือกไว้มีแนวโน้มว่าจะเป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพอย่างแท้จริง
 - 5.2 ถ้าค่าของ Best Level ทุกค่าดีกว่า Marginal แต่แตกต่างกันไม่มากแสดงว่ายังมีปัจจัยที่ไม่ถูกเลือกซึ่งมีผลต่อคุณภาพหรือค่า Green Y

5.3 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

7.1 Green Y ของ Best Level ทั้ง 3 ตัว ต้องดีกว่า Green Y ของ Marginal Level ทั้ง 3 ตัว

7.2 อัตราส่วน $D : d$ ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 1.25: 1

8. ถ้าการทดสอบนัยสำคัญตามขั้นที่ 7 ผ่าน ก็ถือว่า ขั้นตอนที่ 1 เสร็จสิ้น แสดงว่าปัจจัยที่เลือกไว้ถูกต้องแล้ว

9. ถ้าการทดสอบนัยสำคัญตามขั้นที่ 7 ไม่ผ่าน แสดงว่าปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพยังไม่ถูกเลือกให้กลับไปทำขั้นที่ 2 ใหม่

ขั้นตอนที่ 2 : Separation of important and unimportant factors มี ขั้นตอน ดังนี้

1. ทำการทดลองโดยการสลับค่าตัวแปรทีละคู่ แล้วคำนวณค่าสูงสุดและต่ำสุดของขอบเขตการตัดสินใจ (Decision Limits (High sides) และ Decision Limits (Low sides)) โดยใช้สูตร $\text{median} + 2.776 \bar{d} / 1.81$

2. ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้

2.1 ถ้า $A_M R_B$ อยู่ใน decision limits-low และ $A_B R_M$ อยู่ใน decision limits-high แสดงว่า A ไม่มีนัยสำคัญ

2.2 ถ้า $A_M R_B$ และ $A_B R_M$ ให้ผลตรงข้ามกันคือ $A_M R_B$ ให้ผลเหมือนกรณี All Best และ $A_B R_M$ ให้ผลเหมือนกรณี All Marginal แสดงว่า A เท่านั้นที่เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญ ปัจจัยอื่นๆ ตัดออกได้ทั้งหมด

2.3 ถ้า $A_M R_B$ และ $A_B R_M$ ค่าใดค่าหนึ่งหรือทั้งสองค่าตกออกนอก decision limits คือ $A_M R_B$ ตกออกนอก decision limits-low และ $A_B R_M$ ตกออกนอก decision limits-high แต่มีได้ให้ผลตรงข้ามกัน แสดงว่า A มีนัยสำคัญร่วมกับปัจจัยอื่นด้วย

3. ถ้าผลลัพธ์ในขั้นที่ 2 เป็น (a) หรือ (c) ให้ทดลองต่อสำหรับปัจจัยที่เหลือ คือ B,C,D,... และปัจจัยอื่นต่อไป

4. ถ้าผลลัพธ์ในขั้นที่ 2 เป็น (b) ให้หยุดการทดลองแสดงว่าได้ Red X เพียงตัวเดียว

ขั้นตอนที่ 3 : Capping Run

1. ทดสอบยืนยันผลของตัวแปรและ interaction โดยสลับค่าของปัจจัย เช่น $A_B B_B R_M$ และ $A_M B_M R_B$ (ถ้ามีปัจจัยที่มีนัยสำคัญมากกว่าหรือเท่ากับ 3 ปัจจัย)
2. ทดสอบยืนยันผล interaction 3 ตัวแปร (ถ้ามีปัจจัยที่มีนัยสำคัญมากกว่าหรือเท่ากับ 3 ปัจจัย)

ขั้นตอนที่ 4 : Factorial Analysis

ในกรณีที่ค่า Interaction ของปัจจัยหรือตัวแปรคู่ใดมีนัยสำคัญให้เขียนกราฟ Interaction Plot เพื่อหาว่า interaction ของปัจจัยคู่นั้นมีมากหรือไม่ เพื่อนำไปสู่การกำหนดค่าของปัจจัยที่จะทำให้คุณภาพสินค้าดีที่สุดต่อไป

ตัวอย่างการทำการทดลองด้วยวิธีค้นหาตัวแปร (Variable Search)

เพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงข้ออธิบายผ่านตัวอย่าง โดยจะเป็นตัวอย่างการแก้ปัญหาของความชื้นที่สูงเกินมาตรฐานในผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบยี่ห้อหนึ่ง ซึ่งพบว่าตู้อบมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ไม่เหมาะสมกับการอบผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาว่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ตัวไหนคือตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (ในที่นี้คือความชื้น) ดังนั้นค่าตอบสนอง (Y) จะเป็นค่า %ความชื้นที่วัดได้ โดยจะมีตัวแปรทั้งสิ้น 5 ตัวและแต่ละตัวแปรจะมี 2 ระดับ ดังตาราง 2

ตาราง 2 แสดงระดับของตัวแปรทั้ง 5 ตัว

พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	Low (-)	High (+)	
1. ความเร็วของมอเตอร์สายพาน	100	200	รอบ:นาที
2. แรงดันลม	1	2	บาร์
3. อุณหภูมิ	100	200	องศาเซลเซียส
4. ระดับความเอียงของสายพานลำเลียง	0	45	องศา
5. ระดับของการเปิดช่องระบายลม	45	90	องศา

ขั้นตอนที่ 1 Ball Park มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการรู้ว่าตัวแปรทั้ง 5 ตัว ที่นำมาทดลองมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยทำการกำหนดตัวแปรและค่าที่ถูกต้องในแต่ละการทดลองโดยเริ่มจากการกำหนดเลือกตัวแปรตอบสนองหรือ Green Y (กรณีนี้ Green Y หมายถึง ค่าตอบสนอง (Y) คือ%

ความชื้น) ที่ใช้ในการวัดคุณภาพและทำการวิเคราะห์และกำหนดตัวแปรที่คาดว่าจะมีผลต่อจำนวนเสีย

หลังจากนั้นทำการกำหนดค่าให้ตัวแปรเพื่อการทดลอง โดยแบ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด (Best Level) ซึ่งในกรณีศึกษานี้จะหมายถึงค่าของชุดตัวแปรหรือพารามิเตอร์ที่ทำให้ % ความชื้นน้อยที่สุด และค่าที่แย่ที่สุด (Marginal Level) ซึ่งในกรณีศึกษานี้จะหมายถึงค่าของชุดตัวแปรหรือพารามิเตอร์ที่ทำให้ % ความชื้นน้อย มากที่สุด แล้วจึงทำการทดลองที่ค่า Best Level (จำนวน 3 ครั้ง) และค่า Marginal Level (จำนวน 3 ครั้ง) จากการทดลอง 3 ครั้งสำหรับ Best Level และ 3 ครั้งสำหรับ Marginal Level ได้ค่าดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 Ball Park

พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	Low (-) Marginal level	High (+) Best level	
1. ความเร็วของมอเตอร์สายพาน	100	200	รอบ:นาที
2. แรงดันลม	1	2	บาร์
3. อุณหภูมิ	100	200	องศาเซลเซียส
4. ระดับความเอียงของสายพาน ลำเลียง	0	45	องศา
5. ระดับของการเปิดช่องระบายลม	45	90	องศา
ผลการทดลองครั้งที่ 1	2.5	1	% ความชื้น
ผลการทดลองครั้งที่ 2	3	0.5	% ความชื้น
ผลการทดลองครั้งที่ 3	2.7	1.2	% ความชื้น

จากผลการทดลองทั้ง 3 ครั้งพบว่าค่า All best ทุกครั้งดีกว่า (% ความชื้นน้อยกว่า) All marginal และค่า Median ของ All best คือ 1 ส่วนค่า Median ของ All Marginal คือ 2.7 หลังจากนั้นต้องนำค่าที่ได้จากการทดลองไปหาอัตราส่วน $\bar{D} : d$ ซึ่งถูกกำหนดไว้ว่าอัตราส่วน $\bar{D} : d$ ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 1.25 : 1 ซึ่งถ้าการทดสอบนัยสำคัญผ่าน ก็ถือว่า ขั้นตอน Ball Park เสร็จสิ้น แสดงว่าตัวแปรที่เลือกไว้ถูกต้องแล้วซึ่งจากผลการทดลองสามารถนำมาคำนวณเพื่อหาค่า $\bar{D}$ และ d ได้ ดังนี้

$$D = \text{ผลต่างของ Median ของ All Best กับ Median ของ All Marginal} = 2.7 - 1 = 1.7$$

$$\begin{aligned} \bar{d} &= (\text{ผลต่างของค่าที่มากที่สุดของ All Best กับค่าที่น้อยที่สุดของ All Best} + \text{ผลต่างของ} \\ &\quad \text{ค่าที่มากที่สุดของ All Marginal กับค่าที่น้อยที่สุดของ All Marginal}) / 2 \\ &= ((1.2 - 0.5) + (3 - 2.5)) / 2 = 0.6 \end{aligned}$$

ดังนั้นอัตราส่วน $D : \bar{d} = 1.7 : 0.6$ หรือเท่ากับ $2.83 : 1$ ซึ่งมีค่ามากกว่า 1.25 แสดงว่าตัวแปรที่เลือกไว้ (A ถึง E) อย่างน้อย 1 ตัวมีนัยสำคัญ

ขั้นตอนที่ 2 Separation of important and unimportant factors มีวัตถุประสงค์เพื่อแยกตัวแปรที่สำคัญออกจากตัวแปรที่ไม่สำคัญและกำจัดตัวแปรที่ไม่สำคัญออกไป โดยเริ่มจากการทดลองโดยการสลับค่าตัวแปรทีละคู่ ซึ่งในกรณีศึกษานี้จะยกตัวอย่างตัวแปร A โดยตัวแปร A จะถูกกำหนดให้เป็นค่า Marginal (A คือ ความเร็วของมอเตอร์สายพาน = 100) ส่วนตัวแปรที่เหลือจะเป็นค่า Best ทั้งหมด

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

$$\text{Decision Limits} = \text{Median} \pm 2.776 \bar{d} / 1.81$$

จากสูตรเมื่อลองทำการแทนค่าจะได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Decision Limits (Low sides)} &= 2.7 \pm 2.776 \bar{d} / 1.81 \\ &= 1.78 \text{ ถึง } 3.62 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Decision Limits (High sides)} &= 1 \pm 2.776 \bar{d} / 1.81 \\ &= 0.08 \text{ ถึง } 1.92 \end{aligned}$$

หลังจากนั้นนำผลจากการทดลอง (Results) จากครั้งที่ 1 คือ ตัวแปร A เป็นค่า Marginal ส่วนตัวแปรที่เหลือจะเป็นค่า Best ($A_M R_B$) และ ผลจากการทดลอง (Results) จากครั้งที่ 2 คือ ตัวแปร A เป็นค่า Best ส่วนตัวแปรที่เหลือจะเป็นค่า Marginal ($A_B R_M$) มาทำการเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ Decision Limits (High sides) และ Decision Limits (Low sides) ซึ่งผลลัพธ์ที่เป็นไปได้จะมี 3 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ถ้า $A_M R_B$ อยู่ใน Decision Limits-high และ $A_B R_M$ อยู่ใน Decision Limits-low แสดงว่า A ไม่มีนัยสำคัญ

กรณีที่ 2 ถ้า $A_M R_B$ และ $A_B R_M$ ให้ผลตรงข้ามกันคือ $A_M R_B$ ให้ผลเหมือนกรณี All Best และ $A_B R_M$ ให้ผลเหมือนกรณี All Marginal แสดงว่า A เท่านั้นที่เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญ ปัจจัยอื่นๆ ตัดออกได้ทั้งหมด

กรณีที่ 3 ถ้า $A_M R_B$ และ $A_B R_M$ ค่าใดค่าหนึ่งหรือทั้งสองค่าตกออกนอก Decision Limits คือ $A_M R_B$ ตกออกนอก Decision Limits-high และ $A_B R_M$ ตกออกนอก Decision Limits-low แต่ไม่ได้ให้ผลตรงข้ามกัน แสดงว่า A มีนัยสำคัญร่วมกับตัวแปรอื่นด้วยซึ่งถ้าผลลัพธ์เป็นแบบกรณีที่ 1 หรือ 3 ให้ทดลองต่อสำหรับปัจจัยที่เหลือ คือ B, C, D, ... และปัจจัยอื่นต่อไป แต่ถ้าผลลัพธ์เป็นแบบกรณีที่ 2 ให้หยุดการทดลองแสดงว่าได้ Red X เพียงตัวเดียว

ดังนั้นผลจากการทดลองสำหรับตัวแปร A จะพบว่าเป็นไปตามกรณีที่ 1 คือค่าของ $A_M R_B$ อยู่ใน Decision Limits-low และ $A_B R_M$ อยู่ใน Decision Limits-high ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าตัวแปร A ไม่มีนัยสำคัญแต่ยังต้องทำการทดลองกับตัวแปรที่เหลือให้ครบ ซึ่งกรณีศึกษานี้ได้ทำการสรุปผลการทดลองของแต่ละสภาวะของตัวแปรแต่ละตัว (A-E) แล้วแสดงผลในตาราง 4

ตาราง 4 Separation of important and unimportant factors

Test	Combination	Results	Median	Decision Limits	สรุป
1	$A_M R_B$	1.32	1	0.08to1.92	A
2	$A_B R_M$	1.85	2.7	1.78to3.62	ไม่สำคัญ
3	$B_M R_B$	1.97	1	0.08to1.92	B
4	$B_B R_M$	0.85	2.7	1.78to3.62	สำคัญ
5	$C_M R_B$	2.24	1	0.08to1.92	C
6	$C_B R_M$	0.52	2.7	1.78to3.62	สำคัญ
7	$D_M R_B$	1.46	1	0.08to1.92	D
8	$D_B R_M$	1.95	2.7	1.78to3.62	ไม่สำคัญ
9	$E_M R_B$	1.21	1	0.08to1.92	E
10	$E_B R_M$	2.15	2.7	1.78to3.62	ไม่สำคัญ

สรุปผลจากการทดลองได้ว่าตัวแปร A,D,E มีผลลัพธ์ที่อยู่ภายใน Decision Limits ดังนั้น ตัวแปร A,D,E จึงไม่นับสำคัญ ส่วนตัวแปร B และ C มีผลลัพธ์อยู่นอกเหนือจาก Decision Limits จึงสรุปได้ว่าตัวแปร B และ C เป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญ

ขั้นตอนที่ 3 Capping Run มีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันตัวแปรที่สำคัญว่าเป็นตัวแปรที่สำคัญจริงและยืนยันว่าตัวแปรที่ไม่สำคัญเป็นตัวแปรที่ไม่สำคัญจริง ซึ่งจากกรณีศึกษานี้พบว่าตัวแปรที่มีนัยสำคัญ มีอยู่ 2 ตัวแปร คือ B และ C ดังนั้นจึงเริ่มทำการทดลองอีกครั้งโดยกำหนดให้ครั้งที่ 1 ตัวแปร B และตัวแปร C เป็นค่า Best ส่วนตัวแปรที่เหลือเป็นค่า Marginal หลังจากนั้นทดลองครั้งที่ 2 โดยให้ตัวแปร B และตัวแปร C เป็นค่า Marginal ส่วนตัวแปรที่เหลือเป็นค่า Best โดยมีรายละเอียดการตั้งค่าพารามิเตอร์ดังตาราง 5

ตาราง 5 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำ Capping Run

พารามิเตอร์	การทดลองครั้งที่		หน่วย
	1	2	
1. ความเร็วของมอเตอร์สายพาน	100	200	รอบ/นาที
2. แรงดันลม	2	1	บาร์
3. อุณหภูมิ	200	100	องศาเซลเซียส
4. ระดับความเอียงของสายพานลำเลียง	0	45	องศา
5. ระดับของการเปิดช่องระบายลม	45	90	องศา
ผลการทดลอง	0.65	2.13	% ความชื้น

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

$$\text{Decision Limits} = \text{Median} \pm 2.776 \bar{d} / 1.81$$

จากสูตรเมื่อลองทำการแทนค่าจะได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Decision Limits (Low sides)} &= 2.7 \pm 2.776 \bar{d} / 1.81 \\ &= 1.78 \text{ ถึง } 3.62 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Decision Limits (High sides)} &= 1 \pm 2.776 \bar{d} / 1.81 \\ &= 0.08 \text{ ถึง } 1.92 \end{aligned}$$

หลังจากนั้นนำผลจากการทดลองจากครั้งที่ 1 คือ ตัวแปร B และ C เป็นค่า Best ส่วนตัวแปรที่เหลือจะเป็นค่า Marginal ($B_B C_B R_M$) และ ผลจากการทดลองจากครั้งที่ 2 คือ ตัวแปร B และ C เป็นค่า Marginal ส่วนตัวแปรที่เหลือจะเป็นค่า Best ($B_M C_M R_B$) มาทำการเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ Decision Limits (High sides) และ Decision Limits (Low sides) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงในตาราง 6

ตาราง 6 Capping Run

Combination	Results	Median	Decision Limits	สรุป
$B_B C_B R_M$	0.65	1	0.08to1.92	BC Interaction มีความสำคัญ
$B_M C_M R_B$	2.13	2.7	1.78to3.62	

จากการทำ Capping Run พบว่าตัวแปร B และ C ที่ระดับ Marginal-Level และตัวแปร B และ C ที่ระดับ Best-Level ได้ผลลัพธ์อยู่ภายใน Decision Limits ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า B และ C เป็นตัวแปรที่อาจมีอิทธิพลร่วม (Interaction effect)

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ตัวแปร (Factorial Analysis) มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาค่าของตัวแปรสำคัญที่จะทำให้คุณภาพสินค้าดีที่สุด โดยการหาอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ซึ่งจะเรียกตัวแปรที่มีความสำคัญมากที่สุดว่า Red X และตัวแปรที่มีความสำคัญอันดับที่ 2 ว่า PinkX และตัวแปรที่มีความสำคัญเป็นอันดับที่ 3 ว่า PalePinkX โดยสำหรับกรณีศึกษานี้ได้ผ่านขั้นตอนที่ 3 มาแล้วและเหลือตัวแปรที่สำคัญเพียง 2 ตัวแปร คือ ตัวแปร B และ C จากนั้นให้นำค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการทำการทดลองมากรอกลงในตารางเมทริกซ์เพื่อช่วยให้นำข้อมูลไปวิเคราะห์หาอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) เป็นไปได้ง่ายขึ้นซึ่งตารางเมทริกซ์ของ ตัวแปร B และ C จะเป็น ดังตาราง 7

ตาราง 7 เมทริกซ์ในการกรอกข้อมูลของตัวแปร B และ C

	B Best แรงดันลม = 2 บาร์	B Marginal แรงดันลม = 1 บาร์
C Best อุณหภูมิ = 200 องศาเซลเซียส		
C Marginal อุณหภูมิ = 100 องศาเซลเซียส		

หลังจากนั้นให้นำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองมากรอกลงในแต่ละช่องโดยจะยกตัวอย่างช่องที่ ตัวแปร B เป็นค่า Best และตัวแปร C เป็นค่า Best โดยจะเริ่มต้นจากการพิจารณาค่าผลลัพธ์จากขั้นตอนที่ 1 Ball Park จากตาราง 3 นำค่าจากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ของสภาวะที่ตัวแปร B และ C เป็นค่า Best Level ซึ่งผลลัพธ์คือ 1,0.5 และ 1.2 ตามลำดับ หลังจากนั้นให้มาเลือกค่าที่ตัวแปร B และ C เป็นค่า Best ในตาราง 4 ต่อ จะได้ค่าผลลัพธ์เป็น 1.32,1.46 และ 1.21 ตามลำดับ ส่วนขั้นสุดท้ายคือเลือกค่าที่ตัวแปร B และ C เป็นค่า Best ในตาราง 5 จะได้ค่าผลลัพธ์เป็น 0.65 หลังจากนั้นให้นำค่าผลลัพธ์มากรอกในช่องที่ตัวแปร B และ C เป็นค่า Best จากเมทริกซ์ในตาราง 6 จะได้ดังตาราง 8

ตาราง 8 การกรอกข้อมูลผลลัพธ์จากการทดลองที่สภาวะตัวแปร B และ C เป็นค่า Best Level

	B Best แรงดันลม = 2 บาร์	
C Best	1	1.46
อุณหภูมิ = 200	0.5	1.21
องศาเซลเซียส	1.2	0.65
	1.32	

หลังจากกรอกข้อมูลแล้วให้หาค่า Median ของข้อมูลชุดนี้ซึ่งเท่ากับ 1.2 จากนั้นในสภาวะที่เหลืออีก 3 สภาวะให้ทำตามตัวอย่างนี้จนหาค่า Median ได้ครบ เพื่อจะนำมาคำนวณหาค่าอิทธิพลหลัก(Main Effect) โดยตารางเมทริกซ์ที่กรอกค่าสมบูรณ์พร้อมกับมีค่า Median จะแสดงตามตาราง 9

ตาราง 9 ผลลัพธ์จากสภาวะในการทดลองทั้ง 4 พร้อมกับค่า Median

	B Best แรงดันลม = 2 บาร์		B Marginal แรงดันลม = 1 บาร์	
C Best	1	1.46	1.97	
อุณหภูมิ = 200	0.5	1.21	0.52	
องศาเซลเซียส	1.2	0.65		
	1.32			
	Median=1.2		Median=1.25	
C Marginal	0.85		2.5	1.95
อุณหภูมิ = 100	2.24		3	2.15
องศาเซลเซียส			2.7	2.13
			1.85	
	Median=1.55		Median=2.15	

เมื่อได้ตารางเมทริกซ์ที่สมบูรณ์พร้อมกับคำนวณหา Median แล้วให้นำผลลัพธ์ที่ได้ไปคำนวณหาค่าอิทธิพลหลัก(Main Effect) ของตัวแปร B ตัวแปร C ได้ดังนี้

Main Effect B = ผลต่างระหว่างผลรวมของ Median ของ B Best C Best กับ B Best C

Marginal กับ ผลรวมของMedianของB Marginal C Best กับ B

Marginal C Marginal หาร 2

หรือสามารถสรุปเป็นสูตรได้คือ

$$\begin{aligned}\text{Main Effect B} &= \frac{[\text{Median}(B_B C_B) + \text{Median}(B_B C_M)] - [\text{Median}(B_M C_B) + \text{Median}(B_M C_M)]}{2} \\ &= \frac{[1.2 + 1.55] - [1.25 + 2.15]}{2} \\ &= \frac{[2.75 - 3.4]}{2} \\ &= 0.33\end{aligned}$$

โดยสามารถคำนวณ Main Effect ของตัวแปร C ได้ ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{Main Effect C} &= \frac{[\text{Median}(C_B B_B) + \text{Median}(C_B B_M)] - [\text{Median}(C_M B_B) + \text{Median}(C_M B_M)]}{2} \\ &= \frac{[1.2 + 1.25] - [1.55 + 2.15]}{2} \\ &= \frac{[2.45 - 3.7]}{2} \\ &= 0.63\end{aligned}$$

เมื่อได้ทำการคำนวณหาค่าอิทธิพลหลัก(Main Effect) ของตัวแปร B ตัวแปร C แล้ว
หลังจากนั้นให้ทำการคำนวณหาค่าอิทธิพลร่วม(Interaction Effect) ระหว่างตัวแปร B และ C ได้ดังนี้

BC Interaction = ผลต่างระหว่างผลรวมของMedianของB Best C Best กับ B Marginal C
Marginal กับ ผลรวมของMedianของB Marginal C Best กับ B Best
C Marginal หาร 2

หรือสามารถสรุปเป็นสูตรได้คือ

$$\begin{aligned}\text{BC Interaction} &= \frac{[\text{Median}(B_B C_B) + \text{Median}(B_M C_M)] - [\text{Median}(B_M C_B) + \text{Median}(B_B C_M)]}{2} \\ &= \frac{[1.2 + 2.15] - [1.25 + 1.55]}{2} \\ &= \frac{[3.35 - 2.8]}{2} \\ &= 3.08\end{aligned}$$

สามารถสรุปผลจากการวิเคราะห์ตัวแปรได้ว่าการเกิดอิทธิพลร่วมกันระหว่างตัวแปร B และ C มีความสำคัญมากที่สุดหรือเรียกว่า Red X (ตามคำนิยามของไซนัส) เนื่องจากมีค่าจากการ

คำนวณสูงที่สุดซึ่งสามารถดูผลลัพธ์จากการคำนวณได้คือเท่ากับ 3.08 และตัวแปรที่มีความสำคัญอันดับ 2 คือตัวแปร C โดยมีผลลัพธ์จากการคำนวณเท่ากับ 0.63 หรือเรียกว่า Pink X ตามคำนิยามของไชนินและตัวแปรที่มีความสำคัญเป็นอันดับสุดท้ายคือ ตัวแปร B โดยมีผลลัพธ์จากการคำนวณเท่ากับ 0.33 หรือเรียกว่า Pale Pink X ตามคำนิยามของไชนิน

หลังจากนั้นให้นำตัวแปร B,C ไปจัดทำกราฟของอิทธิพลหลัก(Main Effect) ดังนี้

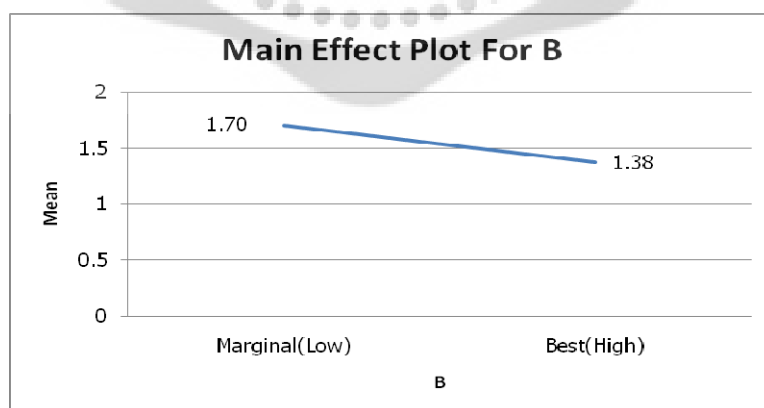
1. กราฟของอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของตัวแปร B นำค่า Median ของ B Marginal และ C Best จากตาราง 8 ซึ่งเท่ากับ 1.25 มาบวกกับค่า Median ของ B Marginal C Marginal จากตาราง 8 ซึ่งเท่ากับ 2.15 แล้วหาร 2 โดยจะแสดงเป็นสูตรคำนวณได้ คือ

$$\begin{aligned}\text{สูตร} &= \frac{\text{Median}(B_{MCB}) + \text{Median}(B_{MC_{M}})}{2} \\ &= \frac{1.25 + 2.15}{2} = 1.7\end{aligned}$$

จากนั้นนำค่า Median ของ B Best และ C Best จากตาราง 8 ซึ่งเท่ากับ 1.2 มาบวกกับค่า Median ของ B Best C Marginal จากตาราง 8 ซึ่งเท่ากับ 1.55 แล้วหาร 2 โดยจะแสดงเป็นสูตรคำนวณได้ คือ

$$\begin{aligned}\text{สูตร} &= \frac{\text{Median}(B_{BCB}) + \text{Median}(B_{BC_{M}})}{2} \\ &= \frac{1.2 + 1.55}{2} = 1.38\end{aligned}$$

นำค่าที่ได้ไปพล็อตกราฟได้ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 การวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปร B

2. กราฟของอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของตัวแปร C

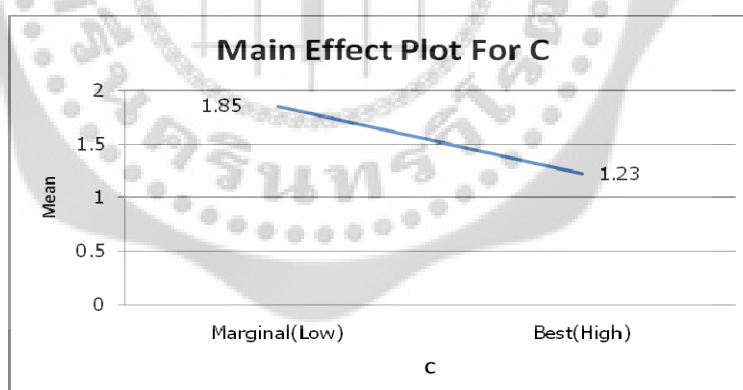
นำค่า Median ของ C Best และ B Best จากตาราง 8 ซึ่งเท่ากับ 1.2 มาบวกกับค่า Median ของ C Best B Marginal จากตาราง 8 ซึ่งเท่ากับ 1.25 แล้วหาร 2 โดยจะแสดงเป็นสูตรคำนวณได้ คือ

$$\begin{aligned}\text{สูตร} &= \frac{\text{Median}(C_B B_B) + \text{Median}(C_B B_M)}{2} \\ &= \frac{1.2 + 1.25}{2} = 1.23\end{aligned}$$

จากนั้นนำค่า Median ของ C Marginal และ B Best จากตาราง 8 ซึ่งเท่ากับ 1.55 มาบวกกับค่า Median ของ C Marginal B Marginal จากตาราง 8 ซึ่งเท่ากับ 2.15 แล้วหาร 2 โดยจะแสดงเป็นสูตรคำนวณได้ คือ

$$\begin{aligned}\text{สูตร} &= \frac{\text{Median}(C_M B_B) + \text{Median}(C_M B_M)}{2} \\ &= \frac{1.55 + 2.15}{2} = 1.85\end{aligned}$$

นำค่าที่ได้ไปพล็อตกราฟได้ดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 การวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปร C

3. กราฟของอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ของตัวแปร B และ C
ให้นำค่า Median ทั้ง 4 ค่า จากตาราง 9 มาสร้างกราฟโดยจากข้อมูลในตาราง 9 คือ

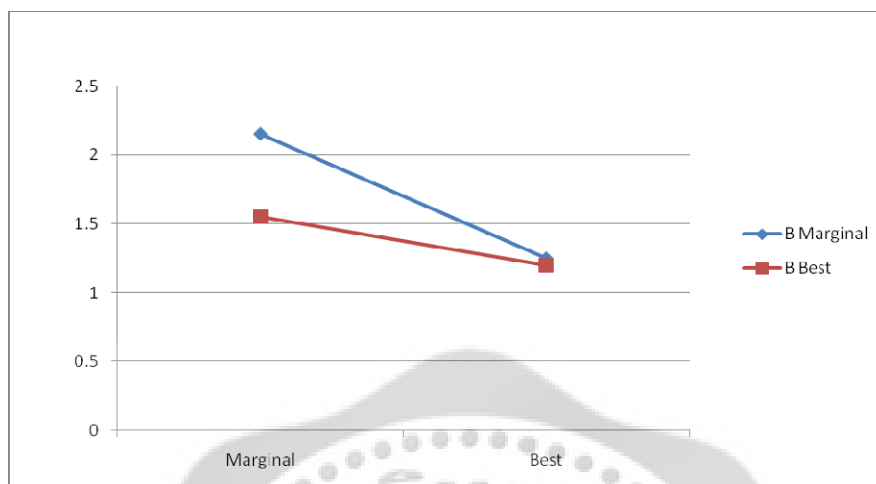
B Marginal C Marginal = 2.15

B Best C Marginal = 1.55

B Marginal C Best = 1.25

B Best C Best = 1.20

นำค่าที่ได้ทั้ง 4 ค่าไปพล็อตกราฟได้ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 การวิเคราะห์หือทธิพลร่วมของตัวแปร B และ C

จากกราฟสามารถสรุปผลได้อย่างชัดเจนว่า ตัวแปรแรงดันลม (B) และ ตัวแปรอุณหภูมิ (C) มีนัยสำคัญทางสถิติและจากกราฟการวิเคราะห์หือทธิพลร่วมของตัวแปร B และ C ในภาพประกอบ 5 แสดงให้เห็นว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ร่วมกัน

4. การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลใช้มากในการทดลองที่เกี่ยวกับปัจจัยหลายปัจจัย การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่มีความสำคัญมากที่สุด คือ กรณีที่มีปัจจัย k ปัจจัยซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ เราเรียกการออกแบบลักษณะนี้ว่า การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k (Full Factorial Designs at Two levels) โดย k = จำนวนปัจจัยที่สนใจศึกษาและ 2 คือ ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองซึ่งมักใช้คำกล่าวเกี่ยวกับระดับของปัจจัยเป็น ระดับ“สูง” หรือ “ต่ำ” การทดลองรูปแบบนี้ เป็นการทดลองที่สามารถศึกษาผลของปัจจัยทุกตัวเปลี่ยนแปลงระดับของทุกปัจจัยพร้อม ๆ กัน แต่ก็อยู่ภายใต้สมมติฐาน 3 ประการ คือ ปัจจัยทั้งหมดมีค่าตายตัว การออกแบบเป็นแบบเชิงสุ่มสมบูรณ์ (Completed Randomized) และสมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นปกติที่ยอมรับได้ ดังนั้นถ้าหากสนใจศึกษาผลของปัจจัย 2 ปัจจัย จะมีจำนวนเงื่อนไขการทดลองทั้งสิ้น 4 การทดลอง (2^2 , $k = 2$ ปัจจัย)เงื่อนไขการทดลอง แสดงได้ดังนี้

เงื่อนไขการทดลอง	A	B
1	-	-
2	+	-
3	-	+
4	+	+

โดย - แทนเงื่อนไขของปัจจัยที่ระดับต่ำ

+ แทนเงื่อนไขของปัจจัยที่ระดับสูง

ถ้าจำนวนปัจจัยที่สนใจศึกษาในการทดลองเพิ่มขึ้น จำนวนเงื่อนไขการทดลองจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแบบเอ็กโปเนนเชียล (2^k) ดังแสดงในตาราง 10

ตาราง 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนปัจจัยที่สนใจศึกษาและจำนวนเงื่อนไขการทดลอง กรณีจำนวนระดับของปัจจัย=2

จำนวนปัจจัยที่สนใจศึกษา (k)	เงื่อนไขการทดลอง
2	4
3	8
4	16
5	32
6	64
7	128
8	256
:	:
k	2^k

สำหรับการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ระดับ กำหนดว่า ผลเฉลี่ยของปัจจัยหนึ่ง คือ ความเปลี่ยนแปลงของผลตอบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยอื่น ๆ ที่ถูกนำมาเฉลี่ยกับระดับของปัจจัยอื่น ดังนั้นในการทดลองเกี่ยวกับการออกแบบ 2^k จึงต้องตรวจสอบทั้งขนาดและทิศทางของปัจจัยที่มีผลเพื่อที่จะหาว่า ตัวแปรใดน่าจะเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดผลขึ้น และใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนมาเป็นตัวยืนยันข้อสรุปนั้น

การกำหนดระดับของปัจจัยการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาผลของปัจจัยเริ่มต้น จะต้องกำหนดระดับสูง (+) และระดับต่ำ (-) ของแต่ละปัจจัย การกำหนดระดับของปัจจัยมีผลมากต่อผลการวิเคราะห์ และผลสรุปการกำหนดระดับของปัจจัย โดยพิจารณาระดับปกติหรือค่ากลาง

ของแต่ละปัจจัย ซึ่งระดับปกติหรือค่ากลางได้มาจากการสอบถามผู้รู้ และการวิจัยค้นคว้า หลังจากกำหนดค่ากลางแล้วเพิ่ม และลดระดับของปัจจัยจากค่ากลาง เพื่อหาช่วงของปัจจัยที่เป็นไปได้ หรือสามารถทำการทดลองได้ จากช่วงที่เป็นไปได้ของปัจจัย เลือกระดับสูงต่ำให้เหมาะสม กับข้อจำกัดในการทำการทดลอง เช่น ข้อจำกัดของวัสดุอุปกรณ์ งบประมาณในการทดลอง

5. การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^{k-p} (Fractional Factorial Design 2^{k-p})

การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลนิยมใช้เมื่อจำนวนปัจจัยที่ต้องการศึกษามีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งถูกนำมาใช้ในการกรองเพื่อหาปัจจัยที่มีผล กล่าวคือในการทดลองหนึ่งอาจมีปัจจัยมากมายที่อยู่ในความสนใจเพื่อทำการค้นหาว่าปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญจะใช้การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลโดยทำการทดลองเพียงเศษส่วนของ การทดลองเชิงแฟคทอเรียลอย่างบริบูรณ์เท่านั้น การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลเป็นการออกแบบที่มีการใช้งานแพร่หลายมากในการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการ นอกจากนั้นแล้วยังช่วยในการหาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการอีกด้วย

การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลถูกนำมาใช้มากในการกรองเพื่อหาปัจจัยที่มีผล กล่าวคือในการทดลองหนึ่งอาจมีปัจจัยมากมายที่อยู่ในความสนใจ ซึ่งจะใช้การออกแบบประเภทนี้ในการค้นหาว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากโดยมากแล้วในขณะนั้นจะมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่มีแนวโน้มที่คาดว่าจะมีผลน้อยหรือไม่มีผลต่อผลตอบสนองที่กำลังพิจารณาอยู่ หลังจากทำการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเสร็จสิ้นแล้ว ปัจจัยที่มีผลจะถูกนำไปทำการทดลองอย่างละเอียดในการทดลองต่อไปในอนาคต

การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^{k-p} หมายถึงการออกแบบที่ประกอบด้วย 2^{k-p} การทดลองซึ่งเป็นจำนวน $1/2^p$ เท่าของ 2^k การออกแบบประเภทนี้จะต้องเลือกตัวก่อกำเนิด (Generator) p ตัวที่เป็นอิสระต่อกัน ตัวกำหนดความสัมพันธ์ (Defining Relation) สำหรับการออกแบบนี้ประกอบด้วยตัวก่อกำเนิดที่ถูกเลือกขึ้นมาในตอนเริ่มต้น p ตัว และอันตรกิริยาวางนัยทั่วไป (Generalize Interaction) ที่เกิดจากตัวก่อกำเนิดเหล่านี้อีก $2^p - p - 1$ ตัว การเลือกตัวก่อกำเนิด p ตัว มีความสำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล เนื่องจากต้องการให้ความสัมพันธ์ของคู่แฝดแฝง (Alias) ที่จะเกิดขึ้นเป็นไปอย่างดีที่สุด เกณฑ์ในการเลือกตัวก่อกำเนิดคือทำให้การออกแบบ 2^{k-p} มีมิติ (Resolution) สูงสุด

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

6.1 การประยุกต์ใช้ไชนิน

แอนดรู โทมัส และจิจุ แอนโทนี (Andrew Thomas; & Jiju Antony. 2004) งานวิจัยนี้ได้ยกตัวอย่างวิธีการค้นหาตัวแปรของไชนินซึ่งถูกนำมาใช้ในการบ่งชี้ตัวแปรที่มีอิทธิพลในการควบคุมความแข็งแรงของรอยเชื่อมของรวงผึ้งภายในบริษัทเครื่องบินโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงถึงจุดเด่นในการใช้เทคนิควิธีการค้นหาตัวแปรของไชนินในการปรับปรุงความแข็งแรงของรอยเชื่อมของรวงผึ้งของบริษัทเครื่องบินซึ่งถูกแสดงให้เห็นว่าเทคนิคสถิติแบบง่าย ๆ มีพลังในการบ่งชี้ตัวแปรหลักที่ส่งผลกระทบกับความแข็งแรงของรอยเชื่อมอย่างมีประสิทธิภาพ

จิจุ แอนโทนี และอัลเฟรด โฮ หยวน เซง (Jiju Antony; & Alfred Ho Yuen Cheng. 2003) งานวิจัยนี้เสนอถึงวิธีการง่าย ๆ ในการใช้หลักการค้นหาตัวแปรของไชนินแบบอธิบายขั้นตอนการทำทีละขั้นตอนโดยมีตัวอย่างประกอบ โดยผู้วิจัยได้สรุปถึงหลักการค้นหาตัวแปรของไชนินว่าเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของสินค้าจากจำนวนตัวแปรในการทดลองที่มีจำนวนมาก ๆ แต่หลักการค้นหาตัวแปรของไชนินก็ยังมีข้อเสียในเรื่องของการวิเคราะห์ความผันแปรของกระบวนการ

6.2 การเปรียบเทียบการออกแบบการทดลอง

อนัน เค. บีวู และมารูตี เอส. พาวา (Anand K. Bewoor; & Maruti S. Pawar. 2010) วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือต้องการจัดข้อตำหนิของผู้ประกอบการรายย่อย (SMEs) ที่มีต่อ Six Sigma ที่ไม่สามารถนำมาใช้ได้จริง ต้นทุนสูง และมีระบบการทำงานที่ซับซ้อน โดยจะอธิบายขั้นตอนต่างๆ ทีละขั้นเพื่อช่วยลดอุปสรรคในการทำงานด้านสถิติ รวมทั้งวิธีการทำงานที่ไม่คุ้นเคยของแต่ละบุคคล ซึ่งงานวิจัยนี้เน้นการใช้เครื่องมือของไชนินเป็นพิเศษ เนื่องจากได้เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียในมุมมองต่างๆ กับ เทคนิคการออกแบบการทดลองวิธีมาตรฐานและวิธีของทากูชิแล้วซึ่งผู้วิจัยสรุปผลว่าการออกแบบการทดลองของไชนินมีจุดเด่นในเรื่อง เวลาที่ใช้ในการทดลองที่น้อย ต้นทุนต่ำ การฝึกสอนง่าย ง่ายกับการนำไปประยุกต์ใช้และวิธีการเก็บข้อมูลจะทำได้แบบออนไลน์โดยไม่รบกวนต่อกระบวนการผลิตปกติ ดังนั้นการใช้เครื่องมือของไชนินจึงช่วยให้การทำงานของ Six Sigma นั้นง่ายขึ้น และเหมาะกับธุรกิจ SME ในการควบคุมคุณภาพตามเป้าหมายของ ISO เช่น การป้องกันความผิดพลาดที่จะเกิดในทุกกระบวนการผลิตตั้งแต่การออกแบบจนไปถึงการให้บริการ, เทคนิคที่จำเป็นในการกำหนด ควบคุม และตรวจสอบสมรรถนะของกระบวนการ และสินค้า, การตรวจสอบข้อบกพร่องของสินค้า กระบวนการ และระบบควบคุมคุณภาพ, ความต่อเนื่องในการปรับปรุงคุณภาพของสินค้าหรือบริการ

เอ.เค. เวอร์มา, เอ. ศรีวิดิยา, เอ.วี. มั่นนิกา, วี.เอ. พันทาวะรา และเค.เจ. รัทธานราช (A.K.Verma, A.Srividya, A.V.Mannikar, V.A.Pankhawala; & K.J. Rathanraj. 2004) งานวิจัยนี้กล่าวถึงการนำกรณีศึกษา 3 ตัวอย่างจากแผนการการทดลองด้วยวิธีการของทากูชิมาทำการกรองคัดแยกตัวแปร (Screening) ด้วยหลักการค้นหาตัวแปร (Variable Search) ซึ่งเป็นวิธีการของไชนิน

โดยจากผลการคำนวณพบว่า 2 กรณีศึกษา มีผลลัพธ์ว่าตัวแปรที่นำมาทดลองไม่มีนัยสำคัญกับตัวแปรตอบสนอง(Y) ซึ่งไม่จำเป็นต้องทำการทดลองต่อ และมี 1 กรณีศึกษาที่ผลจากการคำนวณบอกว่าตัวแปรที่นำมาทำการทดลองมีตัวแปรใดตัวหนึ่งที่มีนัยสำคัญกับตัวแปรตอบสนอง(Y) ซึ่งผู้วิจัยให้คำอธิบายว่าหลักการค้นหาตัวแปรของไชนินสามารถช่วยในการกรองคัดแยกตัวแปรก่อนจะทำการทดลองจริงได้ซึ่งเป็นจุดเด่นที่มีเหนือกว่าการออกแบบการทดลองแบบดั้งเดิม(Classical) และการออกแบบการทดลองด้วยวิธีของทาคุชิ ที่ต้องทำการทดลองแบบเต็มรูปแบบตั้งแต่แรกจึงใช้จำนวนครั้งของการทดลองเยอะมาก

เอ.เจ. โทมัส และเจ แอนโทนี (A.J. Thomas; & J. Antony. 2005) งานวิจัยได้ทำการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองของทาคุชิ และหลักการค้นหาตัวแปรของไชนิน เพื่อหาจุดที่เหมาะสมในการที่จะทำให้รอยเชื่อมของรวงผึ้งภายในบริษัทเครื่องบินมีความแข็งแรงที่สุดโดยบทสรุปจากการทดลองคือหลักการค้นหาตัวแปรของไชนินมีความง่ายและเร็วในการหาตัวแปร 3 ตัวที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อม โดยผู้วิจัยได้สรุปเปรียบเทียบกับ การออกแบบการทดลองของทาคุชิในมุมมองต่างๆ คือ ความเที่ยงตรงในการหาอิทธิพลหลัก (Main Effect) พบว่าวิธีการของไชนินมีความเที่ยงตรงมากกว่าทาคุชิ, ความเที่ยงตรงในการหาอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) พบว่าวิธีการของทาคุชิมีความเที่ยงตรงมากกว่าไชนิน, ไชนินมีความซับซ้อนน้อยกว่าทาคุชิ, ไชนินมีการนำไปประยุกต์ใช้ง่ายกว่าทาคุชิ, ทาคุชิมีต้นทุนจากการทดลองน้อยกว่าไชนินและไชนินมีความยืดหยุ่นสูงกว่าทาคุชิ

จีเริน เดอ มาส (Jeroen de Mast. 2004) ทำการศึกษาถึงกลยุทธ์ 3 อย่างในการปรับปรุงคุณภาพ คือ Taguchi , Shainin และ Six Sigma โดยการนำกลยุทธ์ทั้ง 3 มาทำการเปรียบเทียบถึงจุดอ่อน จุดแข็ง กันเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิผล และรายละเอียดของความแตกต่าง ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไรซึ่งผลจากการวิเคราะห์บอกได้ว่า วิธีการของไชนินมุ่งไปที่หลักของการบ่งชี้ไปถึงรากเหง้าของปัญหา ส่วนวิธีของทาคุชิ และซิกซ์ ซิกมา นั้นจะนำเทคนิคของตัวแบบทางสถิติมาใช้ให้เป็นประโยชน์ และสรุปว่า ระบบ ซิกซ์ ซิกมานั้น เป็นกลยุทธ์ที่สมบูรณ์แบบที่สุดในทั้ง 3 กลยุทธ์

มาติน ทันโก้, อลิซาเบธ ไวลส์ และลอเดส โปซัวต้า(Martin Tanco, Elisabeth Viles; & Lourdes Pozueta. 2008) งานวิจัยนี้ได้ให้ข้อสรุปถึงหลักการออกแบบการทดลองของวิธีมาตรฐานวิธีทาคุชิ และวิธีของไชนิน เริ่มจากวิธีการแรกผู้วิจัยแนะนำให้ใช้วิธีการของไชนินสำหรับเน้นความสำคัญของแผนการทดลองเชิงสถิติ เนื่องจากเป็นวิธีการที่สามารถเรียนรู้ได้ง่ายและนำมาใช้ได้ ในระหว่างที่มีกระบวนการผลิต แม้ว่าจุดเด่นของไชนินจะอยู่ที่ความง่าย (เมื่อเปรียบเทียบกับเวอร์ชันที่ง่ายของ OFAT) แต่คงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับวิธีการทำงานซึ่งต้องใช้หลักสถิติขั้นสูง วิธีการแบบมาตรฐาน และทาคุชิยังคงเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ มีความถูกต้องทางสถิติ และมีความเสถียรมากกว่า วิธีการของไชนิน สำหรับวิธีการทาคุชิสิ่งที่สำคัญคือหลักการด้านคุณภาพ และวิธีการทางวิศวกรรมซึ่งรวมถึง ความสูญเสียจากการทำงาน (Loss Function) และเป้าหมายเบื้องต้นในการออกแบบ (Robust Design) ซึ่งวิธีการทาคุชิเป็นวิธีการเบื้องต้นที่นำมาใช้เพื่อ

ปรับปรุงคุณภาพของอุตสาหกรรม แต่ยังไม่ใช้วิธีที่สมบูรณ์แบบในการรับประกันคุณภาพในทุกขั้นตอน โดยทั่วไปแล้วไม่แนะนำให้ใช้วิธีการทากูชิในกรณีที่คุณไม่เผชิญกับปัญหา 2 ประเภท คือ การวิเคราะห์ความคงทน และความอดทนต่อความผันแปรจากปัจจัยต่างๆ ในตัวสินค้าและกระบวนการ ซึ่งในกรณีดังกล่าวนี้ การนำวิธีการแบบมาตรฐานมาใช้อาจจะเหมาะสมกว่า วิธีการใหม่ทั้ง 2 รูปแบบมีเทคนิคที่ซับซ้อนแตกต่างกันไปในแต่ละอุตสาหกรรม แต่ทั้งสองก็ได้นำเสนอเทคนิคการทดลองที่ง่าย และมีประสิทธิภาพ ในขณะเดียวกันวิธีการแบบดั้งเดิมก็มีการพัฒนาด้านเทคนิค และแนวคิดวิศวกรรมแบบใหม่ เห็นได้จากการพัฒนาซอฟต์แวร์ และเครื่องมือด้านกราฟฟิคที่สามารถใช้งานได้ง่ายกว่าโปรแกรมเก่าในทศวรรษที่ 80 และได้เสนอการนำวิธีการต่างๆ มาประยุกต์ใช้ร่วมกัน ตัวอย่างเช่น ใช้วิธีการไซนัสในการทดลองแบบออนไลน์สำหรับขั้นตอนเริ่มต้นเพื่อวิเคราะห์หาปัญหา ก่อนตัดสินใจทำการทดลอง ต่อจากนั้นใช้วิธีการทากูชิเพื่อหาตัวแปรในการทดลองด้วยการบูรณาการวิธีการหาการสูญเสียหน้าที่ด้านคุณภาพ (Quality Loss Function) และ Crossed Arrays และสุดท้ายคือทำให้ความสำคัญต่อการตรวจสอบให้กระบวนการควบคุมคุณภาพดำเนินการไปอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการใดๆ อีก

อัญธิมา เสนหา (2551) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาว่าการออกแบบและวางแผนการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลจะสามารถให้ตัวแบบที่เหมาะสมเพื่อใช้แทนตัวแบบการออกแบบและวางแผนการทดลองแบบเต็มเชิงแฟคทอเรียลเพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย เวลา และทรัพยากรแต่ยังคงมีประสิทธิภาพและน่าเชื่อถือ โดยในการวิจัยครั้งนี้ทำการจำลองข้อมูลแบบสุ่มด้วยโปรแกรม T พิจารณาตัวแบบที่ตรงตามสมมติฐานเบื้องต้น ค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 5 และมีความแปรปรวนเท่ากับ 10 จำนวนปัจจัยที่จะศึกษาเท่ากับ 3 , 4 และ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.05 ระดับของปัจจัยมี 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ และ ระดับสูง แตกต่างกันเท่ากับ 5 จากการทดลอง 18 กรณี ทำซ้ำกรณีละ 20 ครั้ง ทำการทดลองการวางแผนการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลและการวางแผนการทดลองแบบเต็มเชิงแฟคทอเรียลควบคู่กันรวม 720 สถานการณ์ โดยนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน พบว่า การวางแผนการทดลองแบบเต็มเชิงแฟคทอเรียลให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยกว่าทุกสถานการณ์ เมื่อจำนวนปัจจัยและจำนวนซ้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้ร้อยละช่วงประสิทธิภาพวางแผนการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลมีช่วงแคบลงและมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพสูงขึ้นไม่แตกต่างจากการวางแผนการทดลองแบบเต็มเชิงแฟคทอเรียล ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.05 ไม่แตกต่างกัน

6.3 การออกแบบการทดลอง

เซด (Shad .2004) ได้นำการออกแบบการทดลอง(DOE) ไปใช้ในขบวนการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องฉีดเรซิน (Plastic Injection Molding Process) ซึ่ง Shad (2004) ต้องการนำการออกแบบการทดลองเข้ามาแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในขบวนการการฉีดพลาสติก (Plastic Injection Molding) โดยการต้องลดระยะเวลาในการทำงานของขบวนการ โดยเลือกปัจจัยทั้งหมด 6 ปัจจัย

ได้แก่ 1. ความดันในการฉีดเรซิน(Injection Pressure) 2. ความเร็วในการฉีดเรซิน (Injection Velocity) 3. อุณหภูมิในการอบ(Cure Time) 4. อุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Mold Temperature) 5. อุณหภูมิการหลอมเหลวของเรซิน(Resin Melting Point Temperature) 6.จำนวนเปอร์เซ็นต์ของส่วนผสมของเรซิน (The Percentage of Regrind material to be used) โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจำนวน 2^k เพื่อหาคัดเลือกหาปัจจัยที่มีผลต่อระยะในการทำงานของขบวนการ โดยสามารถหาปัจจัยที่มีผลได้แก่ 1. จำนวนเปอร์เซ็นต์ของส่วนผสมของเรซิน(The Percentage of Regrind material to be used) 2. ความดันในการฉีดเรซิน(Injection Pressure) 3. ความเร็วในการฉีดเรซิน(Injection Velocity) 4.อุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Mold Temperature) และพบว่าปัจจัยที่ไม่มีผลกระทบได้แก่ 1. อุณหภูมิการหลอมเหลวของเรซิน (Resin Melting Point) และ 2. อุณหภูมิในการอบ(Cure Time) หลังจากนั้นจึงนำปัจจัยที่มีผลกระทบทั้งสี่ปัจจัยไปทำการหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยอีกครั้งซึ่ง Shad (2004) ได้สรุปว่าการใช้การออกแบบการทดลองสามารถเข้ามาแก้ไขปัญหาและลดระยะเวลาการทำงานของขบวนการฉีดพลาสติกได้ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีความถูกต้องและแม่นยำ

นวลลอ พรณเรืองรอง (2551) เทคโนโลยีการผลิตแผ่นอลูมินาซึบสเทรทได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องด้วยคุณลักษณะที่กะทัดรัดและมีน้ำหนักเบาเหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อน ซึ่งกระบวนการเปลี่ยนสีของแผ่นอลูมินาซึบสเทรทเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญสำหรับการผลิต ประสิทธิภาพของการกระบวนการดังกล่าวขึ้นอยู่กับ 5 ปัจจัยดังนี้ ความเร็วสายพาน ความแรงของลมร้อน อุณหภูมิระดับความโค้งงอของแผ่นอลูมินาซึบสเทรท และจำนวนของการวางงานใส่ในแมกกาซีน หากมีการปรับตั้งค่าของเครื่องไม่เหมาะสมอาจจะส่งผลให้เกิดการแตกร้าวของแผ่นงาน ในปัจจุบันนี้การตั้งค่าของเครื่องพ่นงานสีแดงจะถูกปรับตั้งโดยประสบการณ์ของพนักงานซึ่งอาจส่งผลทำให้ไม่ได้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องจักร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการเปลี่ยนสีของแผ่นอลูมินาซึบสเทรท โดยมีขั้นตอนการวิจัยดังนี้ เริ่มจากการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2^5 จำนวน 2 การทำซ้ำ เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผลตอบ (F&T) เนื่องจากโดยปกติการกระจายตัวของเสียมีลักษณะเป็นแบบไบโนเมียล ซึ่งมีผลต่อสมมุติฐานของความแปรปรวนของส่วนตกค้างที่จะไม่คงที่ดังนั้นจึงมีการแปลงผลตอบโดยใช้วิธีของ F&T การวิเคราะห์ส่วนตกค้างจึงถูกนำมาวิเคราะห์ความเพียงพอของแบบจำลอง ซึ่งพบว่า การใช้ผลตอบแบบ F&T เป็นไปตามสมมุติฐานทั้ง 3 ข้อของการออกแบบการทดลอง หลังจากนั้นจึงทำการปรับปรุงแบบจำลองและใช้ฟังก์ชันความพึงพอใจเพื่อระบุหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าว คือ ระดับความโค้งงอที่ 80 ไมครอน และระดับสูงสุดของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีผลทำให้สามารถลดการแตกร้าวจาก 2.11% เป็น 1.44% ทำให้สามารถลดต้นทุนลงได้ 111,110 บาทต่อเดือน จากผลการเปลี่ยนเงื่อนไขของเครื่องพ่นงานสีแดงสำหรับแผ่นอลูมินาซึบสเทรท

บุญชัย อารยสนองกุล (2550) งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (Design and Analysis of Experiment) กับอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนหน้าจอมือถือ (Backlight) เพื่อศึกษาตัวแปรของเครื่องปั๊มแม่เหล็กสูง ที่จะทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด โดยผลประกอบการปี 2006 ตัวเลขการผลิตมีปริมาณรวมทั้งสิ้น 91,895,023 ชิ้นต่อปี และมีปริมาณของเสียที่สูญเสียต่อปีรวมทั้งสิ้น 3,841,212 ชิ้น (ปริมาณของเสียเฉลี่ย 4.18%) ด้วยการตัดตัวแปรที่ไม่เกี่ยวข้องออกและใช้เทคนิค Fractional Factorial Design (2^{6-1}) ในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองซึ่งมีตัวแปรทั้งสิ้น 6 ตัว และพบว่ามีความสัมพันธ์ของ 2 ตัวแปรกับการเกิดของเสีย ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้นโดยค่าความสูงใบมีด (Dept of cut 1) และ Speed 2 มีอิทธิพลทำให้เกิดจำนวนของเสียแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $\alpha = 0.05$ โดยสภาวะเหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุดคือความสูงใบมีด (Dept of cut 1) ที่ 1002 mm และความเร็วส่ง (Speed 2) ที่ 35 M./Min. เมื่อนำผลจากการวิจัยมาใช้ในการกระบวนการทำงานจริงพบว่า จำนวนของเสียลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จากเดิมเฉลี่ย 4.18 % เหลือเพียง 3.381 % ซึ่งสามารถลดของเสียภายในครึ่งปีหลังคิดเป็นเงินทั้งสิ้น 1,693,054 บาท

วีรเทพ เกลิมสมิทธิชัย (2550) งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปริมาณธาตุที่เป็นส่วนผสมทางเคมีของน้ำเหล็กที่ใช้ในการผลิตแท่งเหล็กดิบโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาปริมาณธาตุที่จะทำให้เกิดความบกพร่องของเหล็กดิบให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด ซึ่งส่งผลให้เหล็กถลุงที่ผลิตจากเหล็กดิบนี้มีค่าความแข็งแรงมากที่สุดโดยปัญหาที่พบในงานวิจัยนี้คือเหล็กดิบที่ใช้ในการผลิตเหล็กถลุงมีความบกพร่อง ความบกพร่องที่ค้นพบได้แก่ การเกิดรอยแผล, รุพรุน บริเวณผิวหน้าและหน้าตัดของเหล็กดิบ จากการศึกษาพบว่า ปริมาณธาตุที่ผสมอยู่ในน้ำเหล็กก่อนการผลิตเหล็กดิบไม่คงที่ จึงทำให้เหล็กดิบที่ได้นั้นเกิดความบกพร่อง ทำให้ค่าความแข็งแรงเหล็กถลุงที่ผลิตจากเหล็กดิบนี้น้อยเกินไป ซึ่งจากผลการทดลองเบื้องต้นโดยใช้ Factorial Design (2^5) ในการออกแบบการทดลองซึ่งมีปัจจัย 5 ปัจจัย พบว่า ปริมาณคาร์บอน ปริมาณแมงกานีส ปริมาณกำมะถัน และปริมาณซิลิกอน มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงของเหล็กถลุงอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัส ไม่มีระดับนัยสำคัญต่อค่าความแข็งแรงของเหล็กถลุง เมื่อนำปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงของเหล็กถลุงมาทำการออกแบบการทดลองอีกครั้งโดยใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนองแบบ Box-Behnken Design จะได้สมการถดถอยของปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งแรง คือ $Y = 50.64 + 1.25A + 0.75B + 0.13C + 0.15D$ โดยได้คำตอบของสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดค่าความแข็งแรง (Y) มากที่สุดคือ ปริมาณคาร์บอน (A) ที่ 0.20 %/kg ปริมาณแมงกานีส (B) ที่ 0.60 %/kg ปริมาณกำมะถัน (C) ที่ 0.05 %/kg และปริมาณซิลิกอน (D) ที่ 0.50 %/kg เมื่อนำผลจากการวิจัยมาใช้ในการกระบวนการทำงานจริงพบว่า ไม่พบความบกพร่องที่เกิดขึ้นบนเหล็กดิบ และเมื่อนำเหล็กดิบไปผลิตเป็นเหล็กถลุง พบว่า ค่าความแข็งแรงเฉลี่ยของเหล็กถลุงที่ได้จะมีค่าระหว่าง 52.34-55.08 kg/mm² ซึ่งผลวิจัยนี้สามารถลดความบกพร่องของเหล็กดิบได้ 100%

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า

ในการวิจัยเรื่อง การศึกษาการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการไซนินมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้วิธีการของไซนินโดยอาศัยกรณีศึกษาซึ่งมีขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการกำหนดกรณีศึกษา การออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธีของไซนิน การออกแบบการทดลองแบบเต็มรูป (Full Factorial) และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยมีวิธีการในการดำเนินงานดังนี้

1. ขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยสามารถแสดงได้ภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 6 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ซึ่งจะสามารถสรุปขั้นตอนการวิจัยออกเป็น 4 ขั้นตอนและอธิบายรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

- 1.1 กำหนดกรณีศึกษาที่ทราบว่าปัจจัยไหนมีผลกระทบหลักและผลกระทบร่วม
- 1.2 การดำเนินการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ หลักการค้นหาตัวแปร (Variables Search Method) ด้วยวิธีการของไซนิน

1.3 การดำเนินการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ 2^k Full Factorial Design และ 2^{k-1} Fractional Factorial Design

1.4 การเปรียบเทียบผลจากทดลอง

1.1 กำหนดกรณีศึกษาที่ทราบว่าปัจจัยไหนมีผลกระทบหลักและผลกระทบร่วม กรณีศึกษาที่ 1

กรณีศึกษาที่ใช้เป็นการศึกษาตัวแปรของเครื่องปั๊มแม่เหล็กในกระบวนการการผลิตชิ้นส่วนหน้าจอมือถือ (Backlight) เพื่อทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด ซึ่งค่าตอบสนอง (Y) จะเป็นจำนวนเสียต่อ 100 หน่วย (Percent Defective : Yield) โดยจะมีตัวแปรทั้งสิ้น 6 ตัว ดังตาราง 11 (กรณีศึกษาที่ 1 พัฒนาจากงานวิจัยของ คุณ บุญชัย อารยสนองกุล)

ตาราง 11 แสดงระดับของตัวแปรทั้ง 6 ตัว

พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	Low (-)	High (+)	
1. ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1)	1002	1006	mm
2. ความเร็วส่ง (Speed 1)	15	30	M./Min.
3. ค่า (Inverter 1)	115	150	n/a
4. ความสูงใบมีด (Dept of Cut 2)	990	995	mm
5. ความเร็วส่ง (Speed 2)	30	35	M./Min.
6. ค่า (Inverter 2)	115	150	n/a

กรณีศึกษาที่ 2

กรณีศึกษาที่ใช้เป็นการปรับปริมาณธาตุที่เป็นส่วนผสมทางเคมีของน้ำเหล็กที่ใช้ในการผลิตแท่งเหล็กดิบโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณธาตุที่จะทำให้เกิดความบกพร่องของเหล็กดิบให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด ซึ่งส่งผลให้เหล็กหล่อที่ผลิตจากเหล็กดิบนี้มีค่าความแข็งแรงมากที่สุด ซึ่งค่าตอบสนอง (Y) จะเป็นค่าความแข็งแรงของเหล็กหล่อ โดยจะมีตัวแปรทั้งสิ้น 5 ตัว ดังตาราง 12 (กรณีศึกษาที่ 2 ใช้ข้อมูลจากงานวิจัยของ คุณ วีรเทพ เณิมสมิทธิ์ชัย)

ตาราง 12 แสดงระดับของตัวแปรทั้ง 5 ตัว

พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	Low (-)	High (+)	
1. ธาตุคาร์บอน (C)	0.15	0.2	%/kg
2. ธาตุแมงกานีส (Mn)	0.3	0.6	%/kg
3. ธาตุฟอสฟอรัส (P)	0.01	0.04	%/kg
4. ธาตุกำมะถัน (S)	0.01	0.05	%/kg
5. ธาตุซิลิกอน (Si)	0.04	0.5	%/kg

กรณีศึกษาที่ 3

กรณีศึกษาที่ใช้เป็นการศึกษาการตั้งค่าของเครื่องพ่นงานหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการเปลี่ยนสีของแผ่นอลูมินาชั้นสเทรท ซึ่งค่าตอบสนอง (Y) จะเป็นค่าจำนวนแผ่นงานแตกร้า โดยจะมีตัวแปรทั้งสิ้น 5 ตัว ดังตาราง 13 (กรณีศึกษาที่ 3 พัฒนาจากงานวิจัยของ คุณ นวลลออ พรรณเรืองรอง)

ตาราง 13 แสดงระดับของตัวแปรทั้ง 5 ตัว

พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	Low (-)	High (+)	
1. ความเร็วของสายพาน	40	60	เฮิร์ตซ์
2. ความแรงของลมร้อน	20	60	เฮิร์ตซ์
3. อุณหภูมิ	50	80	องศาเซลเซียส
4. ระดับความโค้งงอของแผ่นอลูมินาชั้นสเทรท	80	220	ไมครอน
5. จำนวนของการวางงานใส่ในแมกกาซีน	100	300	แผ่น

1.2 การดำเนินการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ หลักการค้นหาตัวแปร (Variables Search Method) ด้วยวิธีการของไซนิน

ผู้วิจัยทำการดำเนินการตามขั้นตอนของการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองตาม หลักการค้นหาตัวแปร (Variables Search Method) ของไซนิน 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : Ball Park

ขั้นตอนที่ 2 : Separation of important and unimportant factors

ขั้นตอนที่ 3 : Capping Run

ขั้นตอนที่ 4 : Factorial Analysis

1.3 การดำเนินการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ 2^k Full Factorial

Design และ 2^{k-1} Fractional Factorial Design

กรณีศึกษาที่ 1

ผู้วิจัยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Design : 2^k) เมื่อมีตัวแปรทั้งสิ้น 6 ตัวแปร และแต่ละตัวแปร มี 2 ระดับ ซึ่งจะได้รูปแบบการทดลองเป็นแบบ 2^6 Factorial Design มีจำนวนครั้งของการทดลอง(Runs) เท่ากับ 64 ครั้ง แต่ละครั้ง(Run) ของการทดลองผู้วิจัยกำหนดให้มีจำนวนการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ (Replicate) และทำการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนของแฟคทอเรียล (Fractional Factorial Design : 2^{k-1}) เมื่อมีตัวแปรทั้งสิ้น 6 ตัวแปร และแต่ละตัวแปร มี 2 ระดับ ซึ่งจะได้รูปแบบการทดลองเป็นแบบ 2^{6-1} Fractional Factorial Design มีจำนวนครั้งของการทดลอง(Runs) เท่ากับ 32 ครั้ง แต่ละครั้ง(Run) ของการทดลองผู้วิจัยกำหนดให้มีจำนวนการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ (Replicate) โดยการจัดลำดับ (Run) ของการทดลองใน 2 ครั้ง นี้มิได้จัดลำดับการทดลองให้เป็นแบบสุ่ม (Random) และกำหนดให้การออกแบบการทดลองมี Design Generators $F = \pm ABCDE$ ดังนี้

3.3.1 A คือ ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1)

3.3.2 B คือ ความเร็วส่ง (Speed 1)

3.3.3 C คือ ค่า (Inverter 1)

3.3.4 D คือ ความสูงใบมีด (Dept of Cut 2)

3.3.5 E คือ ความเร็วส่ง (Speed 2)

3.3.6 F คือ ค่า (Inverter 2)

กรณีศึกษาที่ 2

ผู้วิจัยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Design : 2^k) เมื่อมีตัวแปรทั้งสิ้น 5 ตัวแปร และแต่ละตัวแปร มี 2 ระดับ ซึ่งจะได้รูปแบบการทดลองเป็นแบบ 2^5 Factorial Design มีจำนวนครั้งของการทดลอง(Runs) เท่ากับ 32 ครั้ง แต่ละครั้ง(Run) ของการทดลองผู้วิจัยกำหนดให้มีจำนวนการทดลองซ้ำ 4 ซ้ำ (Replicate) โดยการจัดลำดับ (Run) ของการทดลองในครั้งนี้จัดลำดับการทดลองให้เป็นแบบสุ่ม (Random) และกำหนดให้การออกแบบการทดลองมี Design Generators $E = \pm ABCD$ ดังนี้

3.3.1 A คือ ธาตุคาร์บอน (C)

3.3.2 B คือ ธาตุแมงกานีส (Mn)

3.3.3 C คือ ธาตุฟอสฟอรัส (P)

3.3.4 D คือ ธาตุกำมะถัน (S)

3.3.5 E คือ ธาตุซิลิกอน (Si)

กรณีศึกษาที่ 3

ผู้วิจัยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Design : 2^k) เมื่อมีตัวแปรทั้งสิ้น 5 ตัวแปร และแต่ละตัวแปร มี 2 ระดับ ซึ่งจะได้รูปแบบการทดลองเป็นแบบ 2^5 Factorial Design มีจำนวนครั้งของการทดลอง(Runs) เท่ากับ 32 ครั้ง แต่ละครั้ง(Run) ของการทดลองผู้วิจัยกำหนดให้มีจำนวนการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำ (Replicate) โดยการจัดลำดับ (Run) ของการทดลองในครั้งนี้ได้จัดลำดับการทดลองให้เป็นแบบสุ่ม (Random) และกำหนดให้การออกแบบการทดลองมี Design Generators $E = \pm ABCD$ ดังนี้

3.3.1 A คือ ความเร็วของสายพาน

3.3.2 B คือ ความแรงของลมร้อน

3.3.3 C คือ อุณหภูมิ

3.3.4 D คือ ระดับความโค้งงอของแผ่นอลูมินาซ์บิสเทรท

3.3.5 E คือ จำนวนของการวางงานใส่ในแมกกาซีน

1.4 การเปรียบเทียบผลจากทดลอง

หลังจากทำการทดลองแล้วจะนำผลที่ได้จากการทดลองของโซนินมาเปรียบเทียบกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) โดยแบ่งตามกรณีศึกษา คือ

กรณีศึกษาที่1 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองของโซนินกับผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยวิธี 2^k Full Factorial Design และผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วย วิธี 2^{k-1} Fractional Factorial Design

กรณีศึกษาที่2 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองของโซนินกับผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยวิธี 2^k Full Factorial Design

กรณีศึกษาที่3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองของโซนินกับผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยวิธี 2^k Full Factorial Design

บทที่ 4

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาเรื่องการศึกษากการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการไชนิน แยกตามกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณีศึกษา มีดังต่อไปนี้

1. กรณีศึกษาที่ 1

หลังจากได้ทำการสร้างกรณีศึกษากการออกแบบการทดลองแบบเต็มรูป (Full Factorial) ซึ่งได้ทราบว่าปัจจัยไหนมีผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมและได้ทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของไชนิน วิธีการ 2^k Full Factorial Design และ 2^{k-1} Fractional Factorial Design แล้ว ในกรณีศึกษานี้จะกล่าวถึงผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลตามขั้นตอนการวิจัยในบทที่ 3 ซึ่งแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

- 1.1 การออกแบบการทดลองวิธีการไชนิน
- 1.2 การออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ 2^k Full Factorial Design
- 1.3 การออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ 2^{k-1} Fractional Factorial Design
- 1.4 สรุปเปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองด้วยหลักการค้นหาตัวแปรของไชนิน กับวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)

1.1 การออกแบบการทดลองวิธีการไชนิน

ขั้นตอนที่ 1 Ball Park มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการรู้ว่าตัวแปรทั้ง 6 ตัว ที่นำมาทดลอง มีนัยสำคัญหรือไม่ โดยทำการกำหนดตัวแปรและค่าที่ถูกต้องในแต่ละการทดลองโดยเริ่มจากการกำหนดเลือก Green Y (กรณีนี้ Green Y หมายถึง ค่าตอบสนอง (Y) คือจำนวนเสียต่อ 100 หน่วย (Percent Defective : Yield)) ที่ใช้ในการวัดคุณภาพและทำการวิเคราะห์และกำหนดตัวแปรที่คาดว่า จะมีผลต่อจำนวนเสีย

หลังจากนั้นทำการกำหนดค่าให้ตัวแปรเพื่อการทดลอง โดยแบ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด (Best Level) ซึ่งในกรณีศึกษานี้จะหมายถึงค่าของชุดตัวแปรหรือพารามิเตอร์ที่ทำให้จำนวนเสีย น้อยที่สุด และค่าที่แย่ที่สุด (Marginal Level) ซึ่งในกรณีศึกษานี้จะหมายถึงค่าของชุดตัวแปรหรือ พารามิเตอร์ที่ทำให้จำนวนเสียมากที่สุด แล้วจึงทำการทดลองที่ค่า Best Level (จำนวน 3 ครั้ง) และ ค่า Marginal Level (จำนวน 3 ครั้ง) จากการทดลอง 3 ครั้งสำหรับ Best Level และ 3 ครั้งสำหรับ Marginal Level ได้ค่าดังแสดงในตาราง 14

ตาราง 14 Ball Park

พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	Low (-) Marginal level	High (+) Best level	
1.ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1)	1002	1006	mm
2.ความเร็วส่ง (Speed 1)	15	30	M./Min.
3.ค่า (Inverter 1)	115	150	n/a
4.ความสูงใบมีด (Dept of Cut 2)	990	995	mm
5. ความเร็วส่ง (Speed 2)	30	35	M./Min.
6. ค่า (Inverter 2)	115	150	n/a
ผลการทดลองครั้งที่ 1	25	4	%Defective:Yield
ผลการทดลองครั้งที่ 2	16	9	%Defective:Yield
ผลการทดลองครั้งที่ 3	17	2	%Defective:Yield

จากผลการทดลองทั้ง 3 ครั้งพบว่าค่า All best ทุกครั้งดีกว่า (จำนวนเสียน้อยกว่า) All marginal และค่า Median ของ All best คือ 4 ส่วนค่า Median ของ All Marginal คือ 17 หลังจากนั้นต้องนำค่าที่ได้จากการทดลองไปหาอัตราส่วน $D : \bar{d}$ ซึ่งถูกกำหนดไว้ว่าอัตราส่วน $D : \bar{d}$ ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 1.25 : 1 ซึ่งถ้าการทดสอบนี้สำคัญผ่าน ก็ถือว่า ขั้นตอน Ball Park เสร็จสิ้น แสดงว่าตัวแปรที่เลือกไว้ถูกต้องแล้วซึ่งจากผลการทดลองสามารถนำมาคำนวณเพื่อหาค่า D และ $\bar{d}$ ได้ ดังนี้

$$D = \text{ผลต่างของ Median ของ All Best กับ Median ของ All Marginal} = 17 - 4 = 13$$

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

$$= ((9-2)+(25-16)) / 2 = 8$$

ดังนั้นอัตราส่วน $D : \bar{d} = 13 : 8$ หรือเท่ากับ 1.63 : 1 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1.25 แสดงว่าตัวแปรที่เลือกไว้ (A ถึง F) อย่างน้อย 1 ตัวมีนัยสำคัญ

ขั้นตอนที่ 2 Separation of important and unimportant factors มีวัตถุประสงค์เพื่อแยกตัวแปรที่สำคัญออกจากตัวแปรที่ไม่สำคัญและกำจัดตัวแปรที่ไม่สำคัญออกไป โดยเริ่มจากการทดลองโดยการสลับค่าตัวแปรทีละคู่ ซึ่งในกรณีศึกษานี้จะยกตัวอย่างตัวแปร A โดยตัวแปร A จะถูกกำหนดให้เป็นค่า Marginal (A คือ ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1) = 1002) ส่วนตัวแปรที่เหลือจะเป็นค่า Best ทั้งหมด

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

$$\text{Decision Limits} = \text{Median} \pm 2.776 \bar{d} / 1.81$$

จากสูตรเมื่อลองทำการแทนค่าจะได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Decision Limits (Low sides)} &= 17 + 2.776 \bar{d} / 1.81 \\ &= 4.73 \text{ ถึง } 29.27 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Decision Limits (High sides)} &= 4 + 2.776 \bar{d} / 1.81 \\ &= -8.27 \text{ ถึง } 16.27 \end{aligned}$$

หลังจากนั้นนำผลจากการทดลอง (Results) จากครั้งที่ 1 คือ ตัวแปร A เป็นค่า Marginal ส่วนตัวแปรที่เหลือจะเป็นค่า Best ($A_M R_B$) และ ผลจากการทดลอง (Results) จากครั้งที่ 2 คือ ตัวแปร A เป็นค่า Best ส่วนตัวแปรที่เหลือจะเป็นค่า Marginal ($A_B R_M$) มาทำการเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ Decision Limits (High sides) และ Decision Limits (Low sides) ซึ่งผลลัพธ์ที่เป็นไปได้จะมี 3 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ถ้า $A_M R_B$ อยู่ใน Decision Limits-low และ $A_B R_M$ อยู่ใน Decision Limits-high แสดงว่า A ไม่นับสำคัญ

กรณีที่ 2 ถ้า $A_M R_B$ และ $A_B R_M$ ให้ผลตรงข้ามกันคือ $A_M R_B$ ให้ผลเหมือนกรณี All Best และ $A_B R_M$ ให้ผลเหมือนกรณี All Marginal แสดงว่า A เท่านั้นที่เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญ ปัจจัยอื่นๆ ตัดออกได้ทั้งหมด

กรณีที่ 3 ถ้า $A_M R_B$ และ $A_B R_M$ ค่าใดค่าหนึ่งหรือทั้งสองค่าตกออกนอก Decision Limits คือ $A_M R_B$ ตกออกนอก Decision Limits-high และ $A_B R_M$ ตกออกนอก Decision Limits-low แต่ไม่ได้ให้ผลตรงข้ามกัน แสดงว่า A มีนัยสำคัญร่วมกับตัวแปรอื่นด้วยซึ่งถ้าผลลัพธ์เป็นแบบกรณีที่ 1 หรือ 3 ให้ทดลองต่อสำหรับปัจจัยที่เหลือ คือ B,C,D,... และปัจจัยอื่นต่อไป แต่ถ้าผลลัพธ์เป็นแบบกรณีที่ 2 ให้หยุดการทดลองแสดงว่าได้ Red X เพียงตัวเดียว

ดังนั้นผลจากการทดลองสำหรับตัวแปร A จะพบว่าเป็นไปตามกรณีที่ 3 คือค่าของ $A_M R_B$ ตกออกนอก Decision Limits-high และ $A_B R_M$ ตกออกนอก Decision Limits-low ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าตัวแปร A มีนัยสำคัญและยังมีตัวแปรอื่นอีกที่มีนัยสำคัญจึงต้องทดลองต่อ โดยกรณีศึกษานี้ได้ทำการสรุปผลการทดลองของแต่ละสถานะของตัวแปรแต่ละตัว(A-F) แล้วแสดงผลในตาราง 15

ตาราง 15 Separation of important and unimportant factors

Test	Combination	Results	Median	Decision Limits	สรุป
1	$A_M R_B$	19	4	-8.27to16.27	A สำคัญ
2	$A_B R_M$	4	17	4.73to29.27	
3	$B_M R_B$	13	4	-8.27to16.29	B ไม่สำคัญ
4	$B_B R_M$	24	17	4.73to29.27	
5	$C_M R_B$	14	4	-8.27to16.31	C ไม่สำคัญ
6	$C_B R_M$	9	17	4.73to29.27	
7	$D_M R_B$	13	4	-8.27to16.33	D ไม่สำคัญ
8	$D_B R_M$	15	17	4.73to29.27	
9	$E_M R_B$	23	4	-8.27to16.35	E สำคัญ
10	$E_B R_M$	0	17	4.73to29.27	
11	$F_M R_B$	16	4	-8.27to16.37	F ไม่สำคัญ
12	$F_B R_M$	9	17	4.73to29.27	

สรุปผลจากการทดลองได้ว่าตัวแปร B,C,D,F มีผลลัพธ์ที่อยู่ภายใน Decision Limits ดังนั้น ตัวแปร B,C,D,F จึงไม่มีนัยสำคัญ ส่วนตัวแปร A และ E มีผลลัพธ์อยู่นอกเหนือจาก Decision Limits จึงสรุปได้ว่าตัวแปร A และ E เป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญ

ขั้นตอนที่ 3 Capping Run มีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันตัวแปรที่สำคัญว่าเป็นตัวแปรที่สำคัญจริงและยืนยันว่าตัวแปรที่ไม่สำคัญเป็นตัวแปรที่ไม่สำคัญจริง ซึ่งจากกรณีศึกษาพบว่าตัวแปรที่มีนัยสำคัญ มีอยู่ 2 ตัวแปร คือ A และ E ดังนั้นจึงเริ่มทำการทดลองอีกครั้งโดยกำหนดให้ครั้งที่ 1 ตัวแปร A และตัวแปร E เป็นค่า Best ส่วนตัวแปรที่เหลือเป็นค่า Marginal หลังจากนั้นทดลองครั้งที่ 2 โดยให้ตัวแปร A และตัวแปร E เป็นค่า Marginal ส่วนตัวแปรที่เหลือเป็นค่า Best โดยมีรายละเอียดการตั้งค่าพารามิเตอร์ดังตาราง 16

ตาราง 16 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำ Capping Run

พารามิเตอร์	การทดลองครั้งที่		หน่วย
	1	2	
1.ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1)	1006	1002	mm
2.ความเร็วส่ง (Speed 1)	15	30	M./Min.
3.ค่า (Inverter 1)	115	150	n/a
4.ความสูงใบมีด (Dept of Cut 2)	990	995	mm
5. ความเร็วส่ง (Speed 2)	35	30	M./Min.
6. ค่า (Inverter 2)	115	150	n/a
ผลการทดลอง	1	24	%Defective:Yield

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

$$\text{Decision Limits} = \text{Median} \pm 2.776 d / 1.81$$

จากสูตรเมื่อลองทำการแทนค่าจะได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Decision Limits (Low sides)} &= 17 \pm 2.776 d / 1.81 \\ &= 4.73 \text{ ถึง } 29.27 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Decision Limits (High sides)} &= 4 \pm 2.776 d / 1.81 \\ &= -8.27 \text{ ถึง } 16.27 \end{aligned}$$

หลังจากนั้นนำผลจากการทดลองจากครั้งที่ 1 คือ ตัวแปร A และ E เป็นค่า Best ส่วนตัวแปรที่เหลือจะเป็นค่า Marginal ($A_B E_B R_M$) และ ผลจากการทดลองจากครั้งที่ 2 คือ ตัวแปร A และ E เป็นค่า Marginal ส่วนตัวแปรที่เหลือจะเป็นค่า Best ($A_M E_M R_B$) มาทำการเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ Decision Limits (High sides) และ Decision Limits (Low sides) ซึ่งผลลัพธ์ที่เป็นไปได้จะมี 3 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ถ้า $A_M R_B$ อยู่ใน Decision Limits-low และ $A_B R_M$ อยู่ใน Decision Limits-high แสดงว่า A ไม่มีนัยสำคัญหรือไม่เกิดอิทธิพลร่วม (Interaction) กันแล้วแสดงผลในตาราง 17

ตาราง 17 Capping Run

Combination	Results	Median	Decision Limits	สรุป
$A_B E_B R_M$	1	4	-8.27to16.27	AE Interaction มีความสำคัญ
$A_M E_M R_B$	24	17	4.73to29.27	

จากการทำ Capping Run พบว่าปัจจัย A และ E ที่ระดับ Best-Level และระดับ Marginal-Level ได้ผลลัพธ์เหมือนกับขั้นตอนที่ 1 ดังนั้น A และ E จึงเป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญและอาจมีอิทธิพลร่วม (Interaction effect)

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ตัวแปร (Factorial Analysis) มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาค่าของตัวแปรสำคัญที่จะทำให้คุณภาพสินค้าดีที่สุด โดยการหาอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ซึ่งจะเรียกตัวแปรที่มีความสำคัญมากที่สุดว่า Red X และตัวแปรที่มีความสำคัญอันดับที่ 2 ว่า PinkX และตัวแปรที่มีความสำคัญเป็นอันดับที่ 3 ว่า PalePinkX โดยสำหรับกรณีศึกษานี้ได้ผ่านขั้นตอนที่ 3 มาแล้วและเหลือตัวแปรที่สำคัญเพียง 2 ตัวแปร คือ ตัวแปร A และ E จากนั้นให้นำค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการทำการทดลองมากรอกลงในตารางเมทริกซ์เพื่อช่วยให้การนำข้อมูลไปวิเคราะห์หาอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) เป็นไปได้ง่ายขึ้น ซึ่งตารางเมทริกซ์ของ ตัวแปร A และ E จะเป็น ดังตาราง 18

ตาราง 18 เมทริกซ์ในการกรอกข้อมูลของตัวแปร A และ E

	A Best ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1)=1006 mm	A Marginal ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1)=1002 mm
E Best ความเร็วส่ง (Speed 2)=35 M./Min.		
E Marginal ความเร็วส่ง (Speed 2)=30 M./Min.		

หลังจากนั้นให้นำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองมากรอกลงในแต่ละช่องโดยจะยกตัวอย่างช่องที่ตัวแปร A เป็นค่า Best และตัวแปร E เป็นค่า Best โดยจะเริ่มต้นจากการพิจารณาค่าผลลัพธ์จากขั้นตอนที่ 1 Ball Park จากตาราง 6 นำค่าจากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ของสภาวะที่ตัว

แปรง A และ E เป็นค่า Best Level ซึ่งผลลัพธ์คือ 4,9 และ 2 ตามลำดับ หลังจากนั้นให้มาเลือกค่าที่ตัวแปรง A และ E เป็นค่า Best ในตาราง 7 ต่อ จะได้ค่าผลลัพธ์เป็น 13,14,13 และ 16 ตามลำดับ ส่วนขั้นสุดท้ายคือเลือกค่าที่ตัวแปรง A และ E เป็นค่า Best ในตาราง 8 จะได้ค่าผลลัพธ์เป็น 1 หลังจากนั้นให้นำค่าผลลัพธ์มากรอกในช่องที่ตัวแปรง A และ E เป็นค่า Best จากเมทริกซ์ในตาราง 17 จะได้ตาราง 19

ตาราง 19 การกรอกข้อมูลผลลัพธ์จากการทดลองที่สภาวะตัวแปรง A และ E เป็นค่า Best Level

	A Best ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1)=1006 mm	
E Best	9	13
ความเร็วส่ง	4	14
(Speed 2)	2	13
=35 M./Min.	1	16

หลังจากกรอกข้อมูลแล้วให้หาค่า Median ของข้อมูลชุดนี้ซึ่งเท่ากับ 11 จากนั้นในสภาวะที่เหลืออีก 3 สภาวะให้ทำตามตัวอย่างนี้จนหาค่า Median ได้ครบ เพื่อจะนำมาคำนวณหาค่าอิทธิพลหลัก(Main Effect) และอิทธิพลร่วม(Interaction Effect) โดยตารางเมทริกซ์ที่กรอกค่าสมบูรณ์พร้อมกับมีค่า Median จะแสดงตามตาราง 20

ตาราง 20 ผลลัพธ์จากสภาวะในการทดลองทั้ง 4 พร้อมกับค่า Median

	A Best ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1)=1006 mm		A Marginal ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1)=1002 mm	
E Best	9	13	19	
ความเร็วส่ง	4	14	0	
(Speed 2)	2	13		
=35 M./Min.	1	16		
	Median=11		Median=9.5	
E Marginal	4		25	24
ความเร็วส่ง	23		17	9
(Speed 2)			16	15
=30 M./Min.			24	9
	Median=13.5		Median=16.5	

เมื่อได้ตารางเมทริกซ์ที่สมบูรณ์พร้อมกับคำนวณหา Median แล้วให้นำผลลัพธ์ที่ได้ไปคำนวณหาค่าอิทธิพลหลัก(Main Effect) ของตัวแปร A ตัวแปร E และอิทธิพลร่วม(Interaction Effect) ระหว่างตัวแปร A และ E ได้ดังนี้

Main Effect A = ผลต่างระหว่างผลรวมของ Median ของ A Best E Best กับ A Best E Marginal กับ ผลรวมของ Median ของ A Marginal E Best กับ A Marginal E Marginal ทาร 2

หรือสามารถสรุปเป็นสูตรได้คือ

$$\begin{aligned}
 \text{Main Effect A} &= \frac{[\text{Median}(A_B E_B) + \text{Median}(A_B E_M)] - [\text{Median}(A_M E_B) + \text{Median}(A_M E_M)]}{2} \\
 &= \frac{[11 + 13.5] - [9.5 + 16.5]}{2} \\
 &= \frac{[24.5 - 26]}{2} \\
 &= 0.75
 \end{aligned}$$

โดยสามารถคำนวณ Main Effect ของตัวแปร E ได้ ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{Main Effect E} &= \frac{[\text{Median}(E_B A_B) + \text{Median}(E_B A_M)] - [\text{Median}(E_M A_B) + \text{Median}(E_M A_M)]}{2} \\ &= \frac{[11 + 9.5] - [13.5 + 16.5]}{2} \\ &= \frac{[20.5 - 30]}{2} \\ &= 4.75\end{aligned}$$

เมื่อได้ทำการคำนวณหาค่าอิทธิพลหลัก(Main Effect) ของตัวแปร A ตัวแปร E แล้ว หลังจากนั้นให้ทำการคำนวณหาค่าอิทธิพลร่วม(Interaction Effect) ระหว่างตัวแปร A และ E ได้ดังนี้

AE Interaction = ผลต่างระหว่างผลรวมของ Median ของ A Best E Best กับ A Marginal E Marginal กับ ผลรวมของ Median ของ A Marginal E Best กับ A Best E Marginalหาร 2

หรือสามารถสรุปเป็นสูตรได้คือ

$$\begin{aligned}\text{AE Interaction} &= \frac{[\text{Median}(A_B E_B) + \text{Median}(A_M E_M)] - [\text{Median}(A_M E_B) + \text{Median}(A_B E_M)]}{2} \\ &= \frac{[11 + 16.5] - [9.5 + 13.5]}{2} \\ &= \frac{[27.5 - 23]}{2} \\ &= 2.25\end{aligned}$$

สามารถสรุปผลจากการวิเคราะห์ตัวแปรได้ว่าตัวแปร E มีความสำคัญมากที่สุดหรือเรียกว่า Red X (ตามคำนิยามของไซนิน) เนื่องจากมีค่าจากการคำนวณสูงที่สุดซึ่งสามารถดูผลลัพธ์จากการคำนวณได้คือเท่ากับ 4.75 และตัวแปรที่มีความสำคัญอันดับ 2 คือการเกิดอิทธิพลร่วมกันระหว่างตัวแปร A และ E โดยมีผลลัพธ์จากการคำนวณเท่ากับ 2.25 หรือเรียกว่า Pink X ตามคำนิยามของไซนินและตัวแปรที่มีความสำคัญเป็นอันดับสุดท้ายคือ ตัวแปร A โดยมีผลลัพธ์จากการคำนวณเท่ากับ 0.75 หรือเรียกว่า Pale Pink X ตามคำนิยามของไซนิน

หลังจากนั้นให้นำตัวแปร A, E ไปจัดทำกราฟของอิทธิพลหลัก(Main Effect) และอิทธิพลร่วม(Interaction Effect) ดังนี้

1. กราฟของอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของตัวแปร A

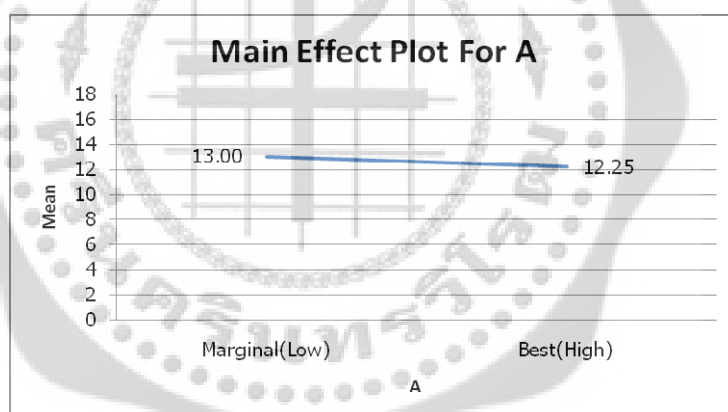
นำค่า Median ของ A Marginal และ E Best จากตาราง 12 ซึ่งเท่ากับ 9.5 มาบวกกับค่า Median ของ A Marginal E Marginal จากตาราง 12 ซึ่งเท่ากับ 16.5 แล้วหาร 2 โดยจะแสดงเป็นสูตรคำนวณได้ คือ

$$\begin{aligned}
 \text{สูตร} &= \frac{\text{Median}(A_mE_B) + \text{Median}(A_mE_M)}{2} \\
 &= \frac{9.5 + 16.5}{2} = 13
 \end{aligned}$$

จากนั้นนำค่า Median ของ A Best และ E Best จากตาราง 12 ซึ่งเท่ากับ 11 มาบวกกับค่า Median ของ A Best E Marginal จากตาราง 12 ซึ่งเท่ากับ 13.5 แล้วหาร 2 โดยจะแสดงเป็นสูตรคำนวณได้ คือ

$$\begin{aligned}
 \text{สูตร} &= \frac{\text{Median}(A_B E_B) + \text{Median}(A_B E_M)}{2} \\
 &= \frac{11 + 13.5}{2} = 12.25
 \end{aligned}$$

นำค่าที่ได้ไปพล็อตกราฟได้ดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 7 การวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปร A

2. กราฟของอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของตัวแปร E

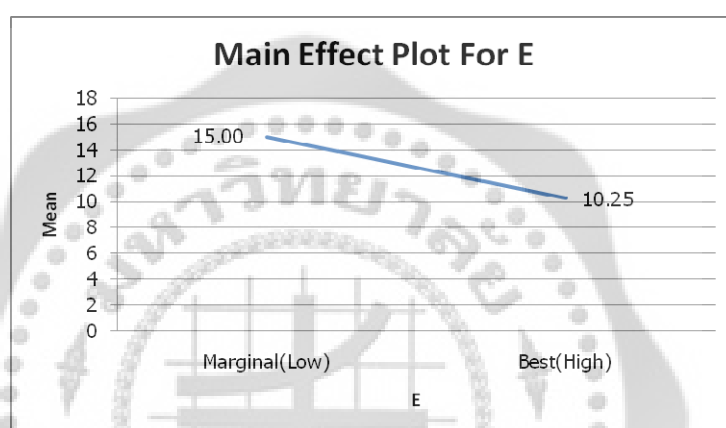
นำค่า Median ของ E Best และ A Best จากตาราง 12 ซึ่งเท่ากับ 11 มาบวกกับค่า Median ของ E Best A Marginal จากตาราง 12 ซึ่งเท่ากับ 9.5 แล้วหาร 2 โดยจะแสดงเป็นสูตรคำนวณได้ คือ

$$\begin{aligned}
 \text{สูตร} &= \frac{\text{Median}(E_B A_B) + \text{Median}(E_B A_M)}{2} \\
 &= \frac{11 + 9.5}{2} = 10.25
 \end{aligned}$$

จากนั้นนำค่า Median ของ E Marginal และ A Best จากตาราง 12 ซึ่งเท่ากับ 13.5 มาบวกกับค่า Median ของ E Marginal A Marginal จากตาราง 12 ซึ่งเท่ากับ 16.5 แล้วหาร 2 โดยจะแสดงเป็น สูตรคำนวณได้ คือ

$$\begin{aligned} \text{สูตร} &= \frac{\text{Median}(E_{MA}) + \text{Median}(E_{MB})}{2} \\ &= \frac{13.5 + 16.5}{2} = 15 \end{aligned}$$

นำค่าที่ได้ไปพล็อตกราฟได้ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 8 การวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปร E

3. กราฟของอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ของตัวแปร A และ E

ให้นำค่า Median ทั้ง 4 ค่า จากตาราง 19 มาสร้างกราฟโดยจากข้อมูลในตาราง 19 คือ

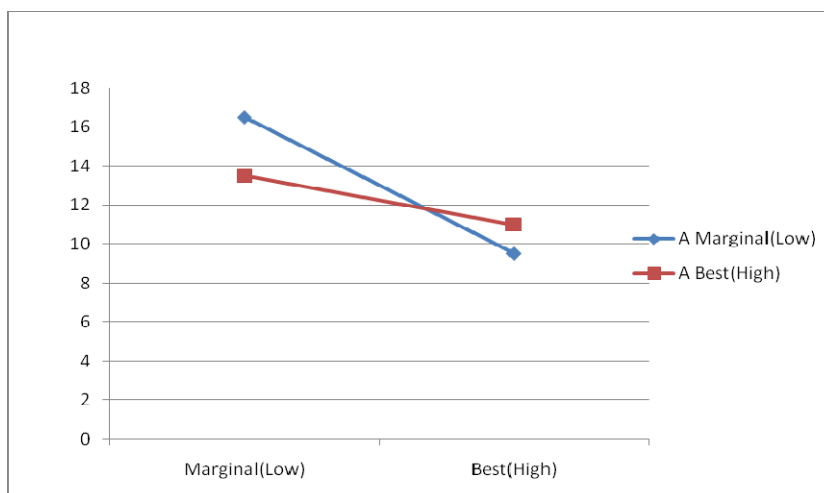
$$A \text{ Marginal } E \text{ Marginal} = 16.5$$

$$A \text{ Best } E \text{ Marginal} = 13.5$$

$$A \text{ Marginal } E \text{ Best} = 9.5$$

$$A \text{ Best } E \text{ Best} = 11$$

นำค่าที่ได้ทั้ง 4 ค่าไปพล็อตกราฟได้ดังภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 9 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมของตัวแปร A และ E

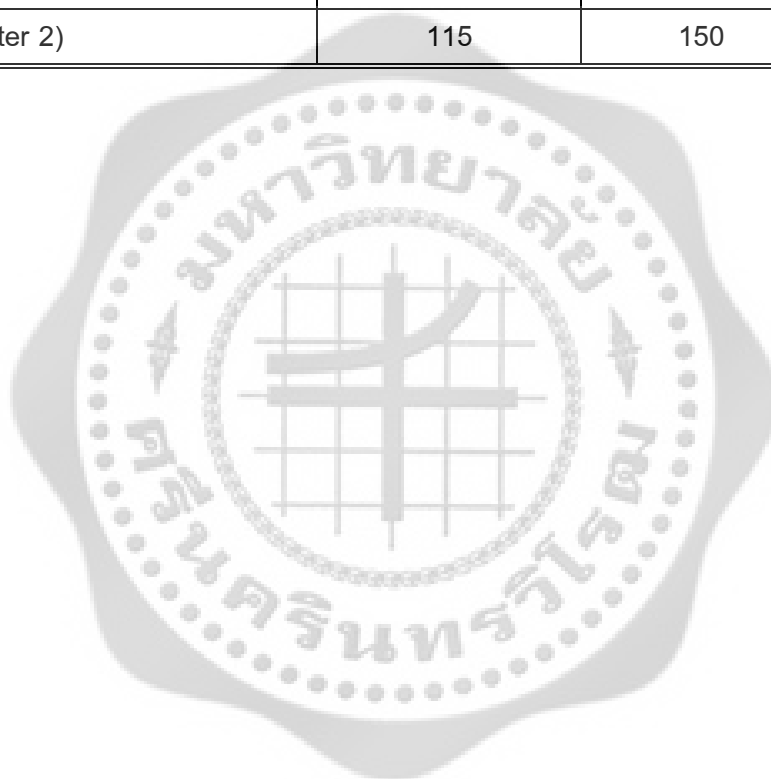
จากกราฟสามารถสรุปผลได้อย่างชัดเจนว่า ตัวแปรความสูงใบมีด (A) และ ตัวแปรความเร็วส่ง (E) มีนัยสำคัญทางสถิติและจากกราฟการวิเคราะห์อิทธิพลร่วมของตัวแปร A และ E ในภาพประกอบ 8 แสดงให้เห็นว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ร่วมกัน

1.2 การออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ 2^k Full Factorial Design

การทดลองจะเริ่มจากการกำหนดตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์และระดับของตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวรวมถึงค่าตอบสนองที่ใช้ซึ่งสำหรับกรณีศึกษานี้มีตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการศึกษา 6 ตัว จึงใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^6 Factorial Design และในแต่ละตัวแปรกำหนดให้มี 2 ระดับ ซึ่งจะได้รูปแบบการทดลองเป็นแบบ 2^6 Factorial Design เพราะฉะนั้นจึงมีจำนวนครั้งของการทดลอง(Run) เท่ากับ 64 ครั้ง โดยในแต่ละครั้ง(Run) ของการทดลองกำหนดให้มีจำนวนการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ (Replicate) ดังนั้นเท่ากับว่าจะมีการทดลองทั้งหมดจำนวน 192 ครั้ง ซึ่งสามารถสรุปตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ได้ดังตาราง 20 และแสดงแผนการทดลองและผลการทดลองดังตาราง 21

ตาราง 21 แสดงระดับของตัวแปรทั้ง 6 ตัว

พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	Low (-)	High (+)	
1. ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1)	1002	1006	mm
2. ความเร็วส่ง (Speed 1)	15	30	M./Min.
3. ค่า (Inverter 1)	115	150	n/a
4. ความสูงใบมีด (Dept of Cut 2)	990	995	mm
5. ความเร็วส่ง (Speed 2)	30	35	M./Min.
6. ค่า (Inverter 2)	115	150	n/a



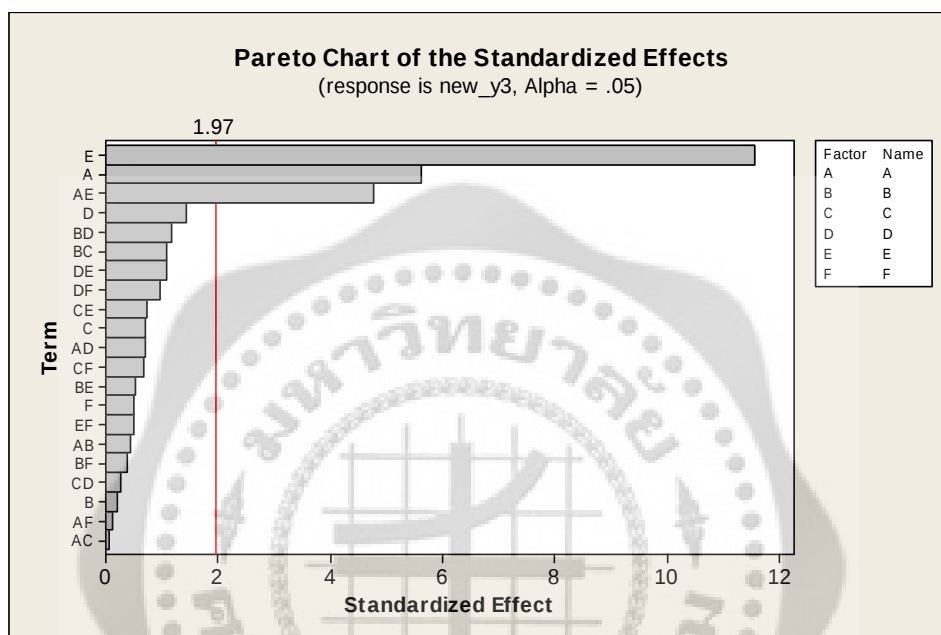
ตาราง 22 แสดง Run การทดลองและข้อมูลของค่าตอบสนองของพารามิเตอร์⁶

Run	Dept of Cut 1	Speed 1	Inverter 1	Dept of Cut 2	Speed 2	Inverter 2	Rep1	Rep2	Rep3
1	1002	15	115	990	30	115	25	16	17
2	1006	15	115	990	30	115	4	31	17
3	1002	30	115	990	30	115	24	31	19
4	1006	30	115	990	30	115	13	13	27
5	1002	15	150	990	30	115	9	29	17
6	1006	15	150	990	30	115	27	8	35
7	1002	30	150	990	30	115	20	29	12
8	1006	30	150	990	30	115	18	13	11
9	1002	15	115	995	30	115	15	24	33
10	1006	15	115	995	30	115	29	24	26
11	1002	30	115	995	30	115	16	18	33
12	1006	30	115	995	30	115	14	29	28
13	1002	15	150	995	30	115	27	16	32
14	1006	15	150	995	30	115	20	19	17
15	1002	30	150	995	30	115	11	18	26
16	1006	30	150	995	30	115	34	18	33
17	1002	15	115	990	35	115	0	8	0
18	1006	15	115	990	35	115	21	1	21
19	1002	30	115	990	35	115	0	15	0
20	1006	30	115	990	35	115	18	15	23
21	1002	15	150	990	35	115	4	0	9
22	1006	15	150	990	35	115	2	8	25
23	1002	30	150	990	35	115	0	15	7
24	1006	30	150	990	35	115	7	19	23
25	1002	15	115	995	35	115	2	0	14
26	1006	15	115	995	35	115	11	22	10
27	1002	30	115	995	35	115	2	2	2
28	1006	30	115	995	35	115	8	15	27
29	1002	15	150	995	35	115	12	0	12
30	1006	15	150	995	35	115	11	11	26
31	1002	30	150	995	35	115	5	6	2
32	1006	30	150	995	35	115	16	26	21

ตาราง 22 (ต่อ)

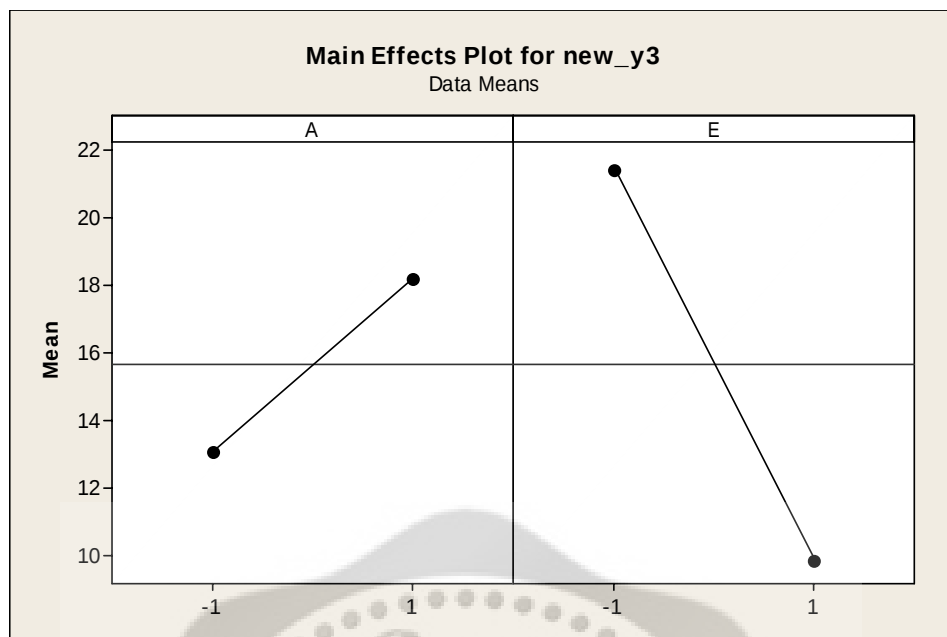
Run	Dept of Cut 1	Speed 1	Inverter 1	Dept of Cut 2	Speed 2	Inverter 2	Rep1	Rep2	Rep3
33	1002	15	115	990	30	150	9	8	17
34	1006	15	115	990	30	150	29	10	27
35	1002	30	115	990	30	150	26	30	18
36	1006	30	115	990	30	150	12	18	33
37	1002	15	150	990	30	150	23	23	21
38	1006	15	150	990	30	150	30	25	17
39	1002	30	150	990	30	150	19	25	19
40	1006	30	150	990	30	150	16	27	17
41	1002	15	115	995	30	150	25	13	14
42	1006	15	115	995	30	150	34	17	20
43	1002	30	115	995	30	150	15	26	34
44	1006	30	115	995	30	150	29	18	17
45	1002	15	150	995	30	150	17	32	20
46	1006	15	150	995	30	150	32	32	20
47	1002	30	150	995	30	150	24	12	25
48	1006	30	150	995	30	150	23	12	22
49	1002	15	115	990	35	150	0	8	11
50	1006	15	115	990	35	150	12	0	18
51	1002	30	115	990	35	150	0	2	1
52	1006	30	115	990	35	150	9	12	25
53	1002	15	150	990	35	150	9	3	8
54	1006	15	150	990	35	150	13	19	8
55	1002	30	150	990	35	150	3	8	10
56	1006	30	150	990	35	150	17	13	24
57	1002	15	115	995	35	150	12	0	2
58	1006	15	115	995	35	150	3	23	18
59	1002	30	115	995	35	150	3	11	5
60	1006	30	115	995	35	150	17	14	5
61	1002	15	150	995	35	150	5	4	2
62	1006	15	150	995	35	150	20	13	21
63	1002	30	150	995	35	150	19	2	2
64	1006	30	150	995	35	150	4	9	2

เมื่อนำข้อมูลจากการทดลองมาทำการประมวลผลและวิเคราะห์ผลพบว่าตัวแปรหลัก (Main Effect) คือตัวแปร A(Dept of Cut 1) และ ตัวแปร E(Speed 2) มีอิทธิพลทำให้เกิดจำนวนจุดบกพร่องบนชิ้นงานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ส่วนตัวแปร ความเร็วสั้ง (Speed 1), ค่า Inverter 1, ความสูงใบมีด (Dept of Cut 2) และค่า Inverter 2 ไม่มีอิทธิพลทำให้เกิดจำนวนจุดบกพร่องบนชิ้นงานที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $\alpha = 0.05$

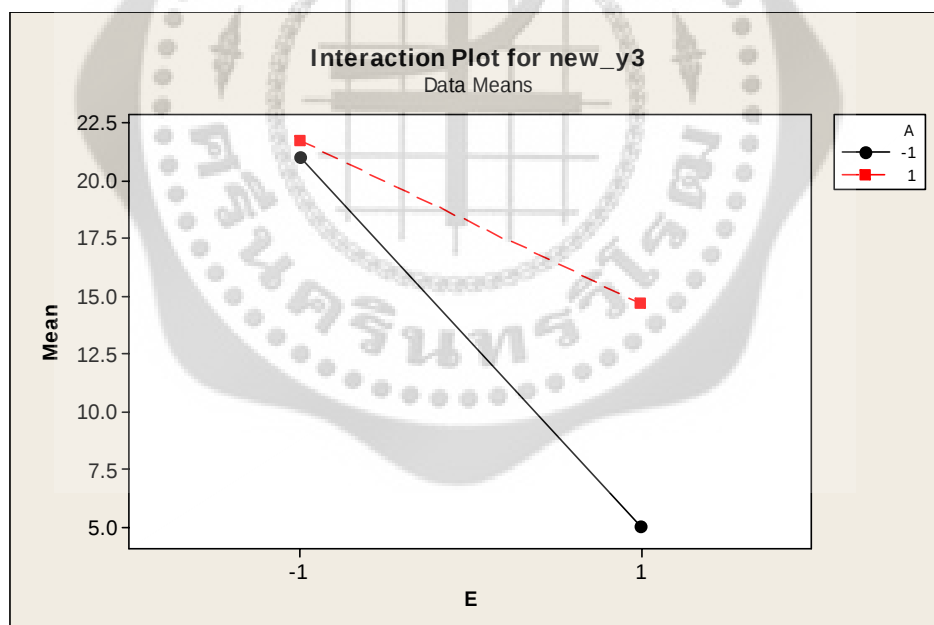


ภาพประกอบ 10 แสดงแผนภูมิพาเรโต (Pareto) ของอิทธิพลในแต่ละตัวแปร

ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถสรุปสมมุติฐานได้ว่าค่าการตอบสนองจากอิทธิพลของตัวแปรมีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้น (Linear Effect) ตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลคือค่า ความสูงใบมีด (Dept of Cut1) ค่าความเร็วสั้ง (Speed 2) และอิทธิพลร่วมระหว่าง ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1) และค่าความเร็วสั้ง (Speed 2)



ภาพประกอบ 11 แสดงกราฟอิทธิพลของตัวแปร A และ E



ภาพประกอบ 12 แสดงกราฟอิทธิพลร่วมของตัวแปร A และ E

เมื่อพิจารณาจากกราฟ Interaction Plot ในภาพประกอบ 11 ระหว่างตัวแปร A (Dept of Cut1) และ ตัวแปร E (Speed2) กับ Response โดยการคงที่ตัวแปร A (Dept of Cut1) ไว้ที่ระดับต่ำสุด(Low,-1) และตัวแปร E (Speed2) ไว้ที่ระดับสูงสุด(High,1) พบว่าจำนวนจุดบกพร่องจะเกิดน้อยที่สุด โดยมีโมเดลของสมการทางคณิตศาสตร์คือ

$$Y = 15.667 + 2.563A - 5.750E + 2.219AE$$

เมื่อ

Y = จำนวนของเสีย (Defective)

A = ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1)

E = ความเร็วส่ง (Speed 2)

ดังนั้นสรุปได้ว่าจุดที่เหมาะสมของการปรับค่าพารามิเตอร์ของเครื่องปั๊ม คือ

1. ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1) ที่ 1002 mm
2. ความเร็วส่ง (Speed 2) ที่ 35 M. /Min.

1.3 การออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ 2^{k-1} Fractional Factorial

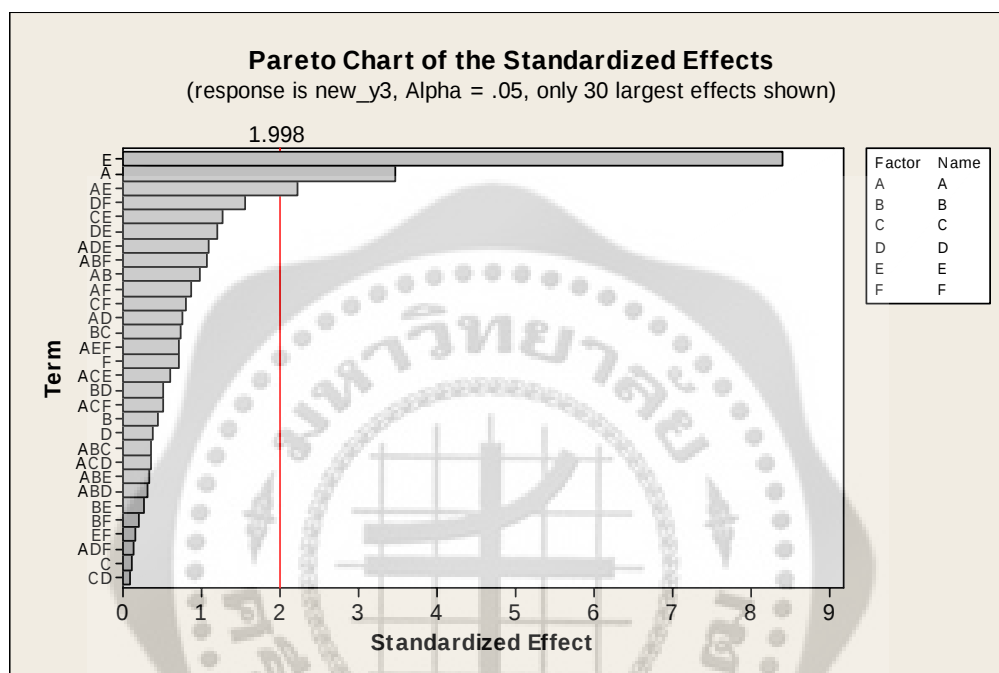
Design

หลังจากทำการทดลองด้วยวิธี 2^6 Factorial Design แล้วในขั้นตอนนี้จะทำการทดลองอีกครั้งหนึ่งโดยใช้วิธี 2^{6-1} Factorial Design ซึ่งมีจำนวนตัวแปรและระดับของแต่ละตัวแปรเหมือนเดิมเพราะฉะนั้นจะมีจำนวนครั้งของการทดลอง(Run) เท่ากับ 32 ครั้ง โดยในแต่ละครั้ง(Run) ของการทดลองกำหนดให้มีจำนวนการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ (Replicate) ดังนั้นเท่าที่ว่าจะมีการทดลองทั้งหมดจำนวน 96 ครั้ง โดยจะแสดงแผนการทดลองและผลการทดลองดังตาราง 22

ตาราง 23 แสดง Run การทดลองและข้อมูลของค่าตอบสนองของพารามิเตอร์⁶⁻¹

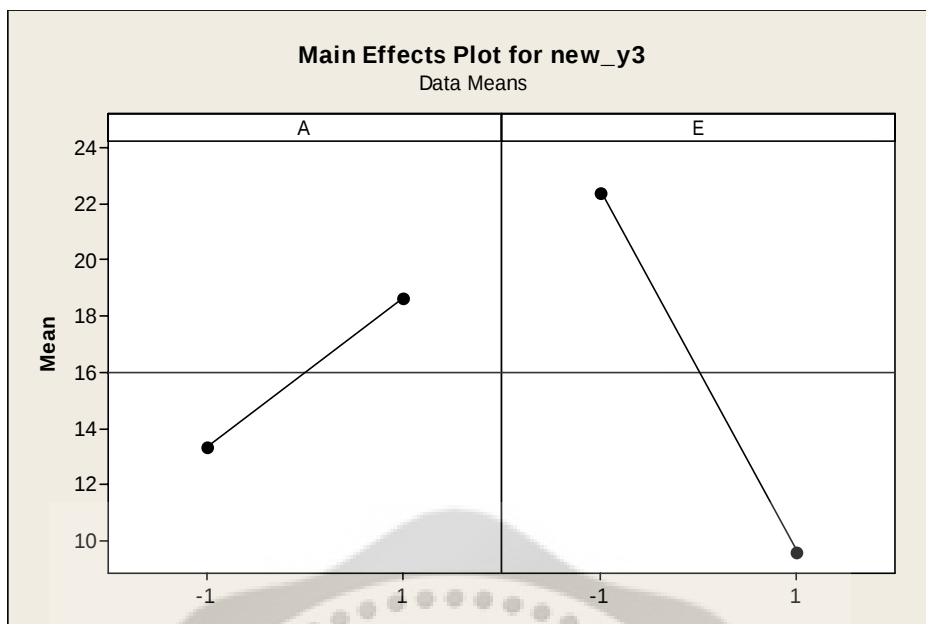
Run	Dept of Cut 1	Speed 1	Inverter 1	Dept of Cut 2	Speed 2	Inverter 2	Rep1	Rep2	Rep3
1	1002	15	115	990	30	115	25	16	17
2	1006	15	115	990	30	150	29	10	27
3	1002	30	115	990	30	150	26	30	18
4	1006	30	115	990	30	115	13	13	27
5	1002	15	150	990	30	150	23	23	21
6	1006	15	150	990	30	115	27	8	35
7	1002	30	150	990	30	115	20	29	12
8	1006	30	150	990	30	150	16	27	17
9	1002	15	115	995	30	150	25	13	14
10	1006	15	115	995	30	115	29	24	26
11	1002	30	115	995	30	115	16	18	33
12	1006	30	115	995	30	150	29	18	17
13	1002	15	150	995	30	115	27	16	32
14	1006	15	150	995	30	150	32	32	20
15	1002	30	150	995	30	150	24	12	25
16	1006	30	150	995	30	115	34	18	33
17	1002	15	115	990	35	150	0	8	11
18	1006	15	115	990	35	115	21	1	21
19	1002	30	115	990	35	115	0	15	0
20	1006	30	115	990	35	150	9	12	25
21	1002	15	150	990	35	115	4	0	9
22	1006	15	150	990	35	150	13	19	8
23	1002	30	150	990	35	150	3	8	10
24	1006	30	150	990	35	115	7	19	23
25	1002	15	115	995	35	115	2	0	14
26	1006	15	115	995	35	150	3	23	18
27	1002	30	115	995	35	150	3	11	5
28	1006	30	115	995	35	115	8	15	27
29	1002	15	150	995	35	150	5	4	2
30	1006	15	150	995	35	115	11	11	26
31	1002	30	150	995	35	115	5	6	2
32	1006	30	150	995	35	150	4	9	2

เมื่อนำข้อมูลจากการทดลองมาทำการประมวลผลและวิเคราะห์ผลพบว่าตัวแปรหลัก (Main Effect) คือตัวแปร A(Dept of Cut 1) และ ตัวแปร E(Speed 2) มีอิทธิพลทำให้เกิดจำนวนจุดบกพร่องบนชิ้นงานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ส่วนตัวแปร ความเร็วสั้ง (Speed 1), ค่า Inverter 1, ความสูงใบมีด (Dept of Cut 2) และค่า Inverter 2 ไม่มีอิทธิพลทำให้เกิดจำนวนจุดบกพร่องบนชิ้นงานที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $\alpha = 0.05$

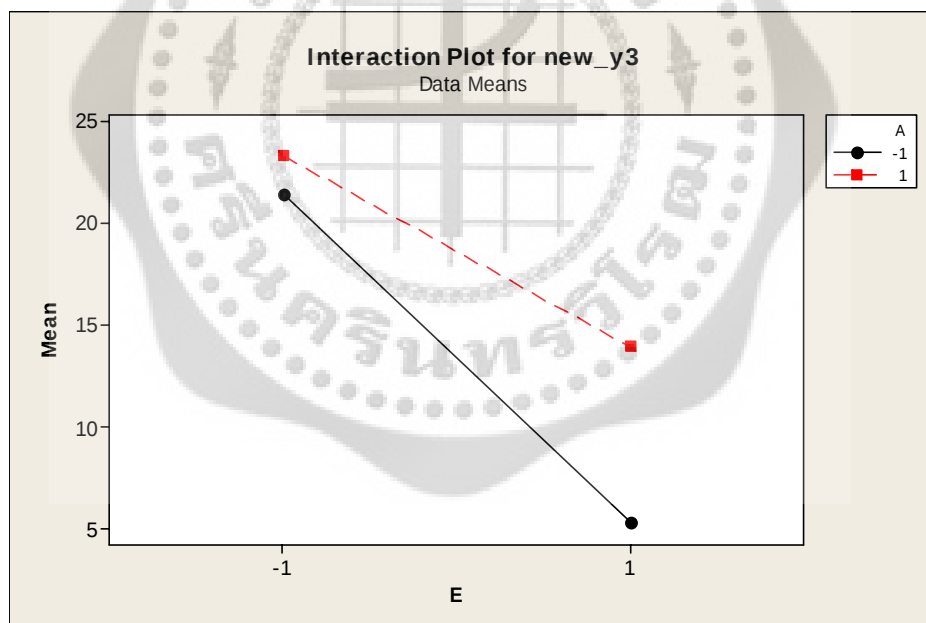


ภาพประกอบ 13 แสดงแผนภูมิพาเรโต (Pareto) ของอิทธิพลในแต่ละตัวแปร

ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถสรุปสมมุติฐานได้ว่าค่าการตอบสนองจากอิทธิพลของตัวแปรมีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้น (Linear Effect) ตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลคือค่า ความสูงใบมีด (Dept of Cut1) ค่าความเร็วสั้ง (Speed 2) และอิทธิพลร่วมระหว่าง ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1) และค่าความเร็วสั้ง (Speed 2)



ภาพประกอบ 14 แสดงกราฟอิทธิพลของตัวแปร A และ E



ภาพประกอบ 15 แสดงกราฟอิทธิพลร่วมของตัวแปร A และ E

เมื่อพิจารณาจากกราฟ Interaction Plot ในภาพประกอบ 14 ระหว่างตัวแปร A (Dept of Cut1) และ ตัวแปร E (Speed2) กับ Response โดยการคงที่ตัวแปร A (Dept of Cut1) ไว้ที่ระดับต่ำสุด(Low,-1) และตัวแปร E (Speed2) ไว้ที่ระดับสูงสุด(High,1) พบว่าจำนวนจุดบกพร่องจะเกิดน้อยที่สุด โดยมีโมเดลของสมการทางคณิตศาสตร์คือ

$$Y = 16.021 + 2.646A - 6.396E + 1.688AE$$

เมื่อ

Y = จำนวนของเสีย (Defective)

A = ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1)

E = ความเร็วส่ง (Speed 2)

ดังนั้นสรุปได้ว่าจุดที่เหมาะสมของการปรับค่าพารามิเตอร์ของเครื่องปั๊ม คือ

1. ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1) ที่ 1002 mm
2. ความเร็วส่ง (Speed 2) ที่ 35 M. /Min.

1.4 สรุปเปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองด้วยหลักการค้นหาตัวแปรของไข หินกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)

ผลจากการทดลองของวิธีการออกแบบการทดลองทั้ง 3 วิธี จะนำมาทำการเปรียบเทียบกัน โดยเริ่มทำการเปรียบเทียบจากตัวแปรที่มีอิทธิพลกับของเสียอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสามารถสรุปผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลกับของเสียอย่างมีนัยสำคัญเปรียบเทียบกันทั้ง 3 วิธีของการออกแบบการทดลองได้ ดังตาราง 24

ตาราง 24 สรุปผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลกับของเสียอย่างมีนัยสำคัญเปรียบเทียบกันทั้ง 3 วิธีของการออกแบบการทดลอง

วิธีการ ออกแบบการทดลอง	ตัวแปร		
	A	E	AxE
วิธีการไขหิน	•	•	•
2^k Factorial Design	•	•	•
2^{k-1} Factorial Design	•	•	•

จากผลการเปรียบเทียบในตาราง 23 สามารถสรุปได้ว่าในวิธีการของไขหินตัวแปรที่มีผลต่อจำนวนของเสีย คือ ตัวแปร A(ความสูงใบมีด Dept of Cut1) , ตัวแปร E(ความเร็วส่ง Speed 2) และการเกิดอิทธิพลร่วมกันของตัวแปร A และ E ซึ่งให้ผลเหมือนกันกับการออกแบบการทดลองมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)ทั้งวิธีการ 2^k Factorial Design และ 2^{k-1} Factorial Design

หลังจากทำการเปรียบเทียบจากมุมมองหลักๆแล้วต่อไปจึงนำผลจากการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนินมาทำการเปรียบเทียบกับผลจากการออกแบบการทดลองมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) ในมุมมองอื่นอีกหลายมุมมองแบ่งตามหัวข้อซึ่งสรุปได้ดังตาราง 25

ตาราง 25 เปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองด้วยหลักการค้นหาตัวแปรของไชนินกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)

หัวข้อที่เปรียบเทียบ	หลักการ ค้นหาตัวแปร ของไชนิน	การออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล)	
		2^k Factorial Design	2^{k-1} Factorial Design
จำนวนครั้งของการทดลอง	น้อย (17 ครั้ง)	มาก (192 ครั้ง)	มาก (96 ครั้ง)
ต้นทุนที่ใช้ในการทดลอง	ต่ำ	สูง (ตามจำนวนครั้ง ของการทดลอง)	สูง (ตามจำนวนครั้ง ของการทดลอง)
สมการถดถอย	ไม่มี	มี	มี
ความยุ่งยากซับซ้อน	น้อย	มาก	มาก

จากตาราง 24 จะพบว่าการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนิน ใช้จำนวนครั้งของการทดลองที่น้อยกว่าการออกแบบการทดลองมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)ทั้งวิธีการ 2^k Factorial Design และ 2^{k-1} Factorial Design มาก ซึ่งสำหรับกรณีศึกษาวิธีการของไชนินใช้การทดลองทั้งหมด 17 การทดลอง ในขณะที่ 2^6 Factorial Design ทำซ้ำ 3 ครั้งใช้จำนวนการทดลอง 192 ครั้ง และ 2^{6-1} ทำซ้ำ 3 ครั้งใช้จำนวนการทดลอง 96 ครั้ง โดยเมื่อจำนวนตัวแปรมีมากขึ้น จำนวนครั้งของการทดลองยังมีความแตกต่างกันมากขึ้นและต้นทุนจากการทำการทดลองสูงขึ้นตามไปด้วย

ดังนั้นการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนินจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษาตัวแปร ในกรณีการดำเนินการทดลองไม่สามารถทำการทดลองได้จำนวนมาก และมีจำนวนตัวแปรที่ศึกษาจำนวนมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทดลองแบบคัดเลือก (Screening)

2. กรณีศึกษาที่ 2

หลังจากได้ทำการสร้างกรณีศึกษาการออกแบบการทดลองแบบเต็มรูป (Full Factorial) ซึ่งได้ทราบว่างปัจจัยไหนมีผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมและได้ทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของไชนิน วิธีการ 2^k Full Factorial Design ในกรณีศึกษานี้จะกล่าวถึงผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลตามขั้นตอนการวิจัยในบทที่ 3 ซึ่งแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

- 2.1 การออกแบบการทดลองวิธีการไชนิน
- 2.2 การออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ 2^k Full Factorial Design
- 2.3 สรุปเปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองด้วยหลักการค้นหาตัวแปรของไชนินกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)

2.1 การออกแบบการทดลองวิธีการไชนิน

ขั้นตอนที่ 1 Ball Park มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการรู้ว่าตัวแปรทั้ง 5 ตัว ที่นำมาทดลอง มีนัยสำคัญหรือไม่ โดยทำการกำหนดตัวแปรและค่าที่ถูกต้องในแต่ละการทดลองโดยเริ่มจากการกำหนดเลือก Green Y (กรณีนี้ Green Y หมายถึง ค่าตอบสนอง (Y) คือค่าความแข็งแรงของเหล็กหลอด) ที่ใช้ในการวัดคุณภาพและทำการวิเคราะห์และกำหนดตัวแปรที่คาดว่าจะมีผลต่อจำนวนเสีย

หลังจากนั้นทำการกำหนดค่าให้ตัวแปรเพื่อการทดลอง โดยแบ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด (Best Level) ซึ่งในกรณีศึกษาจะหมายถึงค่าของชุดตัวแปรหรือพารามิเตอร์ที่ทำให้ค่าความแข็งแรงของเหล็กหลอดมากที่สุด และค่าที่แย่ที่สุด (Marginal Level) ซึ่งในกรณีศึกษาจะหมายถึงค่าของชุดตัวแปรหรือพารามิเตอร์ที่ทำให้ค่าความแข็งแรงของเหล็กหลอดน้อยที่สุด แล้วจึงทำการทดลองที่ค่า Best Level (จำนวน 3 ครั้ง) และค่า Marginal Level (จำนวน 3 ครั้ง) จากการทดลอง 3 ครั้ง สำหรับ Best Level และ 3 ครั้งสำหรับ Marginal Level ได้ค่าดังแสดงในตาราง 26

ตาราง 26 Ball Park

พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	Low (-) Marginal level	High (+) Best level	
1. ธาตุคาร์บอน (C)	0.15	0.2	%/kg
2. ธาตุแมงกานีส (Mn)	0.3	0.6	%/kg
3. ธาตุฟอสฟอรัส (P)	0.01	0.04	%/kg
4. ธาตุกำมะถัน (S)	0.01	0.05	%/kg
5. ธาตุซิลิกอน (Si)	0.04	0.5	%/kg
ผลการทดลองครั้งที่ 1	51.95	51.21	kg/mm ²
ผลการทดลองครั้งที่ 2	52.27	49.85	kg/mm ²
ผลการทดลองครั้งที่ 3	51.86	50.41	kg/mm ²

จากผลการทดลองทั้ง 3 ครั้งพบว่า Median ของ All best คือ 50.41 ส่วนค่า Median ของ All Marginal คือ 51.95 หลังจากนั้นต้องนำค่าที่ได้จากการทดลองไปหาอัตราส่วน $D : \bar{d}$ ซึ่งถูกกำหนดไว้ว่าอัตราส่วน $D : \bar{d}$ ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 1.25 : 1 ซึ่งถ้าการทดสอบนัยสำคัญผ่าน ก็ถือว่า ขั้นตอน Ball Park เสร็จสิ้น แสดงว่าตัวแปรที่เลือกไว้ถูกต้องแล้วซึ่งจากผลการทดลองสามารถนำมาคำนวณเพื่อหาค่า D และ $\bar{d}$ ได้ ดังนี้

D = ผลต่างของ Median ของ All Best กับ Median ของ All Marginal

$$= 51.95 - 50.41$$

$$= 1.54$$

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

$$= ((51.21 - 49.85) + (52.27 - 51.86)) / 2$$

$$= 0.885$$

ดังนั้นอัตราส่วน $D : \bar{d} = 1.54 : 0.885$ หรือเท่ากับ 1.74 : 1 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1.25 แสดงว่าตัวแปรที่เลือกไว้ (A ถึง E) อย่างน้อย 1 ตัวมีนัยสำคัญ

ขั้นตอนที่ 2 Separation of important and unimportant factors มีวัตถุประสงค์เพื่อแยกตัวแปรที่สำคัญออกจากตัวแปรที่ไม่สำคัญและกำจัดตัวแปรที่ไม่สำคัญออกไป โดยเริ่มจากการทดลองโดยการสลับค่าตัวแปรทีละคู่ ซึ่งในกรณีศึกษานี้จะยกตัวอย่างตัวแปร A โดยตัวแปร A จะถูกกำหนดให้เป็นค่า Marginal (A คือ ธาตุคาร์บอน (C)) = 0.15%/kg ส่วนตัวแปรที่เหลือจะเป็นค่า Best ทั้งหมด

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

$$\text{Decision Limits} = \text{Median} \pm 2.776 \bar{d} / 1.81$$

จากสูตรเมื่อลองทำการแทนค่าจะได้ ดังนี้

$$\text{Decision Limits (Low sides)} = 51.95 \pm 2.776 \bar{d} / 1.81$$

$$= 51.95 \pm 2.776 \times 0.885 / 1.81$$

$$= 50.59 \text{ ถึง } 53.31$$

$$\text{Decision Limits (High sides)} = 50.41 \pm 2.776 \bar{d} / 1.81$$

$$= 50.41 + 2.776 \times 0.885 / 1.81$$

$$= 49.05 \text{ ถึง } 51.77$$

หลังจากนั้นนำผลจากการทดลอง (Results) จากครั้งที่ 1 คือ ตัวแปร A เป็นค่า Marginal ส่วนตัวแปรที่เหลือจะเป็นค่า Best ($A_M R_B$) และ ผลจากการทดลอง (Results) จากครั้งที่ 2 คือ ตัวแปร A เป็นค่า Best ส่วนตัวแปรที่เหลือจะเป็นค่า Marginal ($A_B R_M$) มาทำการเปรียบเทียบกับผล

การคำนวณ Decision Limits (High sides) และ Decision Limits (Low sides) ซึ่งผลลัพธ์ที่เป็นไปได้จะมี 3 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ถ้า $A_M R_B$ อยู่ใน Decision Limits-low และ $A_B R_M$ อยู่ใน Decision Limits-high แสดงว่า A ไม่นับสำคัญ

กรณีที่ 2 ถ้า $A_M R_B$ และ $A_B R_M$ ให้ผลตรงข้ามกันคือ $A_M R_B$ ให้ผลเหมือนกรณี All Best และ $A_B R_M$ ให้ผลเหมือนกรณี All Marginal แสดงว่า A เท่านั้นที่เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญ ปัจจัยอื่นๆ ตัดออกได้ทั้งหมด

กรณีที่ 3 ถ้า $A_M R_B$ และ $A_B R_M$ ค่าใดค่าหนึ่งหรือทั้งสองค่าตกออกนอก Decision Limits คือ $A_M R_B$ ตกออกนอก Decision Limits-low และ $A_B R_M$ ตกออกนอก Decision Limits-high แต่มีได้ให้ผลตรงข้ามกัน แสดงว่า A มีนัยสำคัญร่วมกับตัวแปรอื่นด้วยซึ่งถ้าผลลัพธ์เป็นแบบกรณีที่ 1 หรือ 3 ให้ทดลองต่อสำหรับปัจจัยที่เหลือ คือ B, C, D, ... และปัจจัยอื่นต่อไปแต่ถ้าผลลัพธ์เป็นแบบกรณีที่ 2 ให้หยุดการทดลองแสดงว่าได้ Red X เพียงตัวเดียว

ดังนั้นผลจากการทดลองสำหรับตัวแปร A จะพบว่าเป็นไปตามกรณีที่ 3 คือค่าของ $A_M R_B$ ตกออกนอก Decision Limits-low และ $A_B R_M$ ตกออกนอก Decision Limits-high ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าตัวแปร A มีนัยสำคัญและยังมีตัวแปรอื่นอีกที่มีนัยสำคัญจึงต้องทดลองต่อ โดยกรณีศึกษานี้ได้ทำการสรุปผลการทดลองของแต่ละสภาวะของตัวแปรแต่ละตัว(A-E) แล้วแสดงผลในตาราง 27

ตาราง 27 Separation of important and unimportant factors

Test	Combination	Results	Median	Decision Limits	สรุป
1	$A_M R_B$	53.76	50.41	49.05to51.77	A สำคัญ
2	$A_B R_M$	49.42	51.95	50.59to53.31	
3	$B_M R_B$	52.24	50.41	49.05to51.77	B สำคัญ
4	$B_B R_M$	49.28	51.95	50.59to53.31	
5	$C_M R_B$	49.57	50.41	49.05to51.77	C ไม่สำคัญ
6	$C_B R_M$	52.17	51.95	50.59to53.31	
7	$D_M R_B$	54.10	50.41	49.05to51.77	D สำคัญ
8	$D_B R_M$	49.18	51.95	50.59to53.31	
9	$E_M R_B$	51.28	50.41	49.05to51.77	E สำคัญ
10	$E_B R_M$	47.72	51.95	50.59to53.31	

สรุปผลจากการทดลองได้ว่าตัวแปร C มีผลลัพธ์ที่อยู่ภายใน Decision Limits ดังนั้นตัวแปร C จึงไม่มีนัยสำคัญ ส่วนตัวแปร A,B,D และ E มีผลลัพธ์อยู่นอกเหนือจาก Decision Limits จึงสรุปได้ว่าตัวแปร A,B,D และ E เป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญ

ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์โดยตาราง ANOVA มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพมากที่สุด ซึ่งจะเรียกตัวแปรที่มีความสำคัญมากที่สุดว่า Red X และตัวแปรที่มีความสำคัญอันดับที่ 2 ว่า PinkX และตัวแปรที่มีความสำคัญเป็นอันดับที่ 3 ว่า PalePinkX โดยสำหรับกรณีศึกษานี้ได้ผ่านขั้นตอนที่ 2 มาแล้วและเหลือตัวแปรที่สำคัญ 4 ตัวแปร คือ ตัวแปร A,B,D และ E จากนั้นให้นำค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการทำการทดลองมากรอกลงในตาราง ANOVA เพื่อช่วยในการคำนวณหาว่าตัวแปรทั้ง 4 ตัวแปรใดที่เป็น Red X, PinkX และ PalePinkX ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการคำนวณโดยได้ยกตัวอย่าง การทดลองที่ 1 (Experiment Number 1) ดังนี้

การทดลองที่ 1 ได้ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ของตัวแปรทั้ง 4 ตัวได้ดังตาราง 28

ตาราง 28 ค่าพารามิเตอร์จากการทดลองครั้งที่ 1

พารามิเตอร์	ระดับ	หน่วย
	Low (-) Marginal level	
1. ธาตุคาร์บอน (C)	0.15	%/kg
2. ธาตุแมงกานีส (Mn)	0.3	%/kg
3. ธาตุกำมะถัน (S)	0.01	%/kg
4. ธาตุซิลิกอน (Si)	0.04	%/kg
ผลการทดลอง(Output)	48.32	kg/mm ²

จากนั้นจัดทำตาราง ANOVA สำหรับช่วยในการคำนวณโดยมีหัวข้อและรายละเอียดของตาราง 29 ดังนี้

ตาราง 29 ตัวอย่างตาราง ANOVA สำหรับการทดลองที่ 1 (Experiment Number 1)

Experiment Number	Factor Main Effect				2 Factor Interaction						3 Factor Interaction				4 Factor Interaction	Out Put
	A	B	D	E	AB	AD	BD	AE	BE	DE	ABD	ABE	ADE	BDE	ABDE	
1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	48.32

จากตาราง 28 จะอธิบายวิธีการใส่ค่าในแต่ละเซลล์ โดยแบ่งตาม 4 หัวข้อหลักได้ คือ

1. Factor Main Effect คอลัมน์ A,B,D,E ให้ใส่ค่าของระดับของตัวแปรหรือพารามิเตอร์ที่เราปรับไว้ในการทดลอง กรณีของการทดลองที่ 1 นี้จะเป็นค่า -1(ค่า Low,ค่าMarginal) ทั้งหมด

2. 2 Factor Interaction คอลัมน์ AB,AD,BD,AE,BEและDE ให้ใส่ค่าที่มาจากการคูณกันของระดับของตัวแปรหรือพารามิเตอร์แต่ละตัวลงไป เช่น AB หมายถึง ระดับของตัวแปร A คูณกับระดับของตัวแปร B

$$\begin{aligned} AB &= (-1) \times (-1) \\ &= 1 \end{aligned}$$

ดังนั้น AB เท่ากับ 1 ส่วนคู่ที่เหลือให้ใช้วิธีเดียวกันกับตัวอย่างแล้วใส่ค่าลงไปตาราง

3. 3 Factor Interaction คอลัมน์ ABD,ABE,ADEและBDE ให้ใส่ค่าที่มาจากการคูณกันของระดับของตัวแปรหรือพารามิเตอร์แต่ละตัวลงไป เช่น ABD หมายถึง ระดับของตัวแปร A คูณกับระดับของตัวแปร B คูณกับระดับของตัวแปร D

$$\begin{aligned} ABD &= (-1) \times (-1) \times (-1) \\ &= -1 \end{aligned}$$

ดังนั้น ABD เท่ากับ -1 ส่วนคอลัมน์ที่เหลือให้ใช้วิธีเดียวกันกับตัวอย่างแล้วใส่ค่าลงไปตาราง 4. 4 Factor Interaction คอลัมน์ ABDE ให้ใส่ค่าที่มาจากการคูณกันของระดับของตัวแปรหรือพารามิเตอร์แต่ละตัวลงไป คือ ABDE หมายถึง ระดับของตัวแปร A คูณกับระดับของตัวแปร B คูณกับระดับของตัวแปร D คูณกับระดับของตัวแปร E

$$\begin{aligned} ABDE &= (-1) \times (-1) \times (-1) \times (-1) \\ &= 1 \end{aligned}$$

ดังนั้น ABDE เท่ากับ 1 แล้วจึงใส่ค่าลงไปตาราง

เมื่อกรอกค่าจากการทดลองจนครบแล้วให้ดำเนินการทดลองที่เหลือจนครบ 16 การทดลอง (เนื่องจากการทดลองนี้มีตัวแปร 4 ตัวแปร แต่ละตัวแปรถูกกำหนดค่าพารามิเตอร์ไว้ 2 ระดับ ดังนั้น $2^4 = 16$ การทดลอง) ซึ่งจากกรณีศึกษานี้จะได้ชุดข้อมูลที่กรอกลงตาราง ANOVA สมบูรณ์ ตามตาราง 30

ตาราง 30 ตาราง ANOVA สมบูรณ์

Experiment Number	Factor Main Effect				2 Factor Interaction						3 Factor Interaction				4 Factor Interaction	Output
	A	B	D	E	AB	AD	BD	AE	BE	DE	ABD	ABE	ADE	BDE	ABDE	
1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	48.32
2	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	49.42
3	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	49.28
4	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	54.46
5	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	49.18
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	51.71
7	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	50.02
8	1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	51.28
9	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	47.72
10	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	51.06
11	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	51.08
12	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	54.10
13	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	48.01
14	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	52.24
15	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	53.76
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	51.21
Total	18.11	17.53	1.9	5.51	4.29	7.17	7.27	2.03	4.71	0.55	-11.8	-9.91	2.19	3.91	-1.11	

เมื่อใส่ข้อมูลการทดลองจาก 16 ครั้งลงในตารางแล้ว ให้คำนวณรวมค่าของแต่ละคอลัมภ์ แล้วใส่ค่าที่ได้ลงในแถว Total ของแต่ละคอลัมภ์ลงไป โดยจะยกตัวอย่างวิธีการคำนวณค่ารวมของ คอลัมภ์ A จากหัวข้อ Factor Main Effect ซึ่งมีวิธีการ คือ นำระดับของตัวแปร A จากแต่ละครั้งของการทดลองคูณกับผลลัพธ์ (Output) ที่ได้จากการทดลองแล้วจึงนำค่าที่ได้แต่ละครั้งมารวมกัน ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ค่ารวม (Total) ของคอลัมภ์ A} &= (-1 \times 48.32) + (1 \times 49.42) + (-1 \times 49.28) + (-1 \times 54.46) + (-1 \times 49.18) \\
 &\quad + (-1 \times 51.71) + (-1 \times 50.02) + (-1 \times 51.28) + (-1 \times 47.72) + (-1 \times 51.06) \\
 &\quad + (-1 \times 51.08) + (-1 \times 54.10) + (-1 \times 48.01) + (-1 \times 52.24) + (-1 \times 53.76) \\
 &\quad + (-1 \times 51.21) \\
 &= 18.11
 \end{aligned}$$

จากนั้นให้ใช้วิธีคำนวณรวมแบบเดียวกันกับคอลัมภ์ A ไปใช้กับคอลัมภ์ที่เหลือแล้วใส่ค่าที่ได้ลงในแถว Total ของแต่ละคอลัมภ์ จากตาราง 17 เมื่อใส่ค่าจนครบแล้วให้พิจารณาหาค่าที่มากที่สุด(ไม่สนใจเครื่องหมาย-หรือ+)เรียงกัน 3 ลำดับแรก ก็จะทราบว่าตัวแปรใดที่เป็น Red X, PinkX และ PalePinkX โดยจากกรณีศึกษาี้สามารถสรุปได้ว่า ตัวแปรที่เป็น Red X คือ A ตัวแปรที่เป็น Pink X คือ B และตัวแปรที่เป็น Pale Pink X คือ ABD

2.2 การออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ 2^k Full Factorial Design

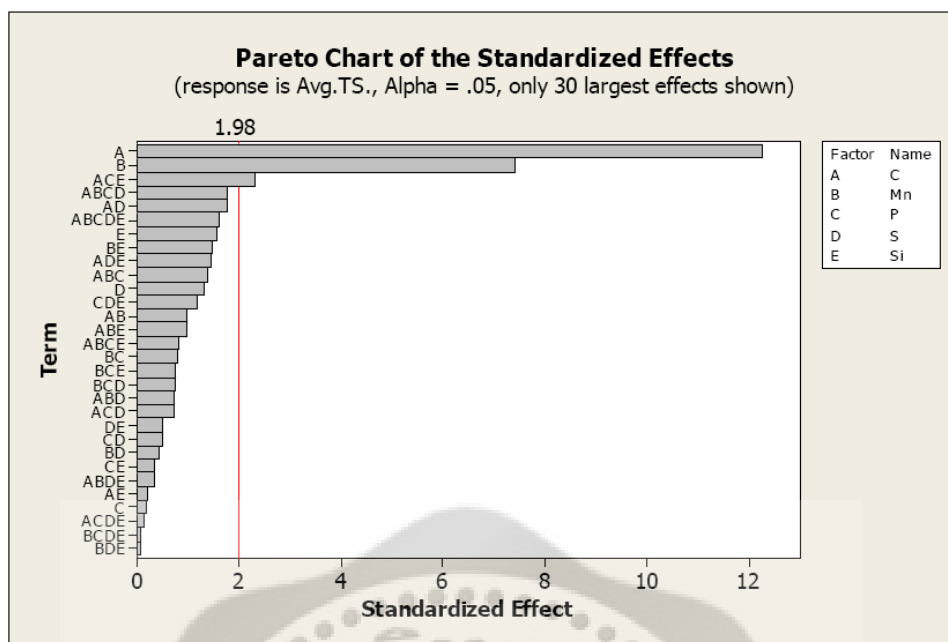
การทดลองจะเริ่มจากการกำหนดตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์และระดับของตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวรวมถึงค่าตอบสนองที่ใช้ซึ่งสำหรับกรณีศึกษานี้มีตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการศึกษา 5 ตัว จึงใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^5 Factorial Design และในแต่ละตัวแปรกำหนดให้มี 2 ระดับ ซึ่งจะได้รูปแบบการทดลองเป็นแบบ 2^5 Factorial Design เพราะฉะนั้นจึงมีจำนวนครั้งของการทดลอง(Run) เท่ากับ 32 ครั้ง โดยในแต่ละครั้ง(Run) ของการทดลองกำหนดให้มีจำนวนการทดลองซ้ำ 4 ซ้ำ (Replicate) ดังนั้นเท่ากันว่าจะมีการทดลองทั้งหมดจำนวน 128 ครั้ง ซึ่งสามารถสรุปตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ได้ดังตาราง 30 และแสดงแผนการทดลองและผลการทดลองดังตาราง 31

ตาราง 31 แสดงระดับของตัวแปรทั้ง 5 ตัว

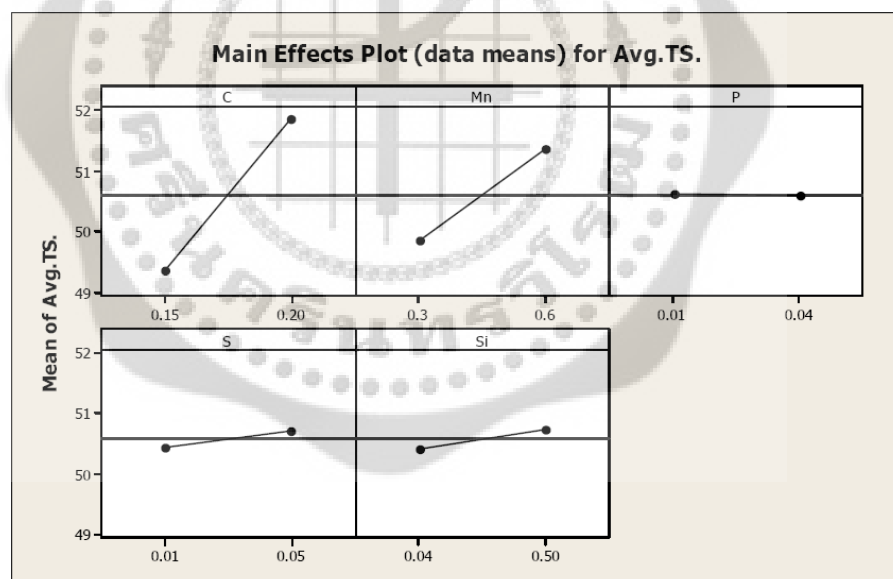
พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	Low (-)	High (+)	
1. ธาตุคาร์บอน (C)	0.15	0.2	%/kg
2. ธาตุแมงกานีส (Mn)	0.3	0.6	%/kg
3. ธาตุฟอสฟอรัส (P)	0.01	0.04	%/kg
4. ธาตุกำมะถัน (S)	0.01	0.05	%/kg
5. ธาตุซิลิกอน (Si)	0.04	0.5	%/kg

ตาราง 32 แสดง Run การทดลองและข้อมูลของค่าตอบสนองของพารามิเตอร์⁵

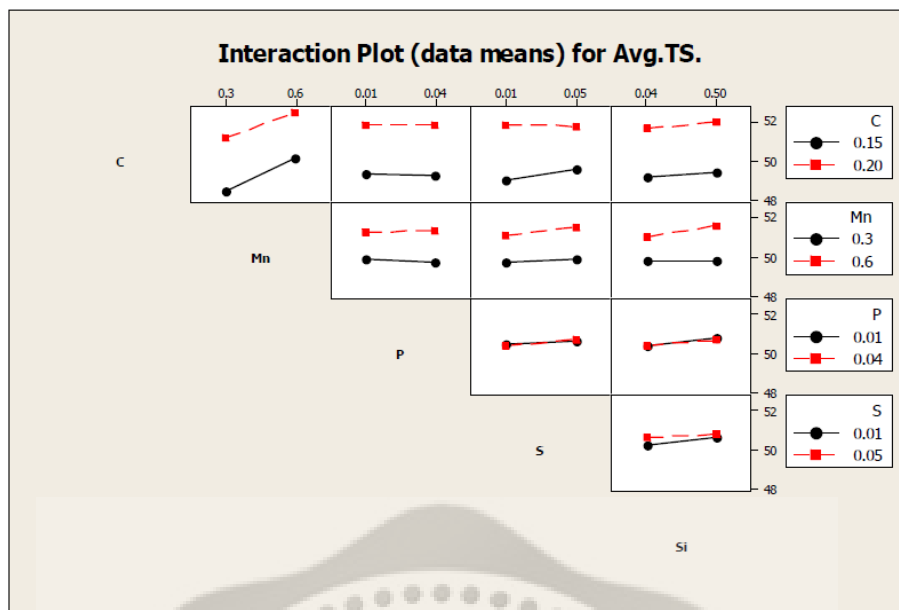
Run Order	C	Mn	P	S	Si	TS.1	TS.2	TS.3	TS.4	Avg.T S.
1	0.20	0.6	0.04	0.05	0.04	51.28	50.68	51.14	49.65	50.69
2	0.15	0.6	0.04	0.05	0.50	47.17	50.24	50.26	53.76	50.28
3	0.15	0.6	0.01	0.01	0.04	49.28	51.48	51.68	52.33	51.19
4	0.20	0.6	0.04	0.01	0.04	51.09	51.97	52.85	50.36	51.57
5	0.20	0.6	0.01	0.05	0.04	54.20	50.24	50.05	51.76	51.56
6	0.15	0.6	0.01	0.05	0.04	50.02	48.87	50.86	52.15	50.48
7	0.15	0.6	0.01	0.01	0.50	51.08	50.60	50.57	51.62	50.97
8	0.20	0.3	0.04	0.05	0.04	55.61	51.66	51.71	50.83	52.45
9	0.20	0.3	0.01	0.05	0.04	51.71	49.70	52.18	50.51	51.03
10	0.20	0.3	0.04	0.05	0.50	51.52	52.1	52.24	50.78	51.66
11	0.15	0.3	0.01	0.05	0.50	48.01	50.55	50.96	50.64	50.04
12	0.20	0.3	0.01	0.05	0.5	53.53	52.21	52.88	51.17	52.45
13	0.15	0.3	0.01	0.05	0.04	49.18	49.2	52.85	49.59	50.21
14	0.20	0.6	0.04	0.01	0.5	51.42	51.17	54.1	47.05	50.94
15	0.20	0.3	0.01	0.01	0.5	51.06	52.17	48.48	49.85	50.39
16	0.15	0.6	0.04	0.01	0.04	54.34	51.06	48.4	48.47	50.57
17	0.20	0.3	0.04	0.01	0.04	51.28	50.41	50.89	49.82	50.6
18	0.20	0.6	0.01	0.01	0.5	50.29	49.56	50.61	51.83	50.57
19	0.15	0.6	0.04	0.01	0.5	51.02	52.52	52.44	51.17	51.79
20	0.2	0.6	0.01	0.05	0.5	52.07	47.9	54.43	49.57	50.99
21	0.15	0.3	0.04	0.01	0.04	52.17	47.86	50.64	51.1	50.44
22	0.15	0.3	0.04	0.05	0.04	50.12	50.54	49.99	50.04	50.17
23	0.2	0.6	0.01	0.01	0.04	54.46	45.87	50.61	50.09	50.26
24	0.15	0.6	0.04	0.05	0.04	51.24	53.26	50.7	51.24	51.61
25	0.15	0.3	0.04	0.05	0.5	51.18	50.76	51.27	50.88	51.02
26	0.2	0.3	0.04	0.01	0.5	52.09	50.32	53.89	52.17	52.12
27	0.15	0.3	0.04	0.01	0.5	47.18	49.64	49.6	51.55	49.49
28	0.15	0.3	0.01	0.01	0.04	48.32	51.95	52.27	51.86	51.1
29	0.2	0.3	0.01	0.01	0.04	49.42	51.74	50.17	52.93	51.07
30	0.2	0.6	0.04	0.05	0.5	51.21	51.67	49.85	50.41	50.79
31	0.15	0.6	0.01	0.05	0.5	47.81	52.74	53.48	51.86	51.47
32	0.15	0.3	0.01	0.01	0.5	49.94	50.57	53.19	47.72	50.36



ภาพประกอบ 16 แสดงแผนภูมิพาเรโต (Pareto) ของอิทธิพลในแต่ละตัวแปร



ภาพประกอบ 17 แสดงกราฟอิทธิพลของตัวแปร A,B,C,D และ E



ภาพประกอบ 18 แสดงกราฟอิทธิพลร่วมของตัวแปร A,B,C,D และ E

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยหลักการทางสถิติวิศวกรรม แผนภูมิพาเรโต (Pareto) จากภาพที่ 15, กราฟแสดงอิทธิพลหลัก 5 ปัจจัย จากภาพที่ 16 และกราฟแสดงอิทธิพลร่วม 2 ระดับ จากภาพที่ 17 พบว่าปัจจัยหลัก (Main Effect) คือ ธาตุคาร์บอน (C), ธาตุแมงกานีส (Mn), ธาตุกำมะถัน (S) และธาตุซิลิกอน (Si) มีอิทธิพลทำให้ค่าความแข็งแรงของเหล็กกล้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ส่วนธาตุฟอสฟอรัส (P) ไม่มีอิทธิพลทำให้ค่าความแข็งแรงของเหล็กกล้าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $\alpha = 0.05$ และเกิดอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัย ดังนั้น จึงไม่สามารถละเลยปัจจัยร่วมทั้งหมดได้โดยมีโมเดลของสมการทางคณิตศาสตร์คือ

$$Y = 50.64 + 1.25A + 0.75B + 0.13C + 0.15D$$

โดยมีข้อจำกัด $0.15 \leq A \leq 0.20$, $0.30 \leq B \leq 0.60$, $0.01 \leq C \leq 0.05$, $0.04 \leq D \leq 0.50$ และ $A, B, C, D > 0$ เมื่อ

Y = ค่าความแข็งแรงของเหล็กกล้า (Average Tensile Strength)

A = ปริมาณของธาตุคาร์บอน (C)

B = ปริมาณของธาตุแมงกานีส (Mn)

C = ปริมาณของธาตุกำมะถัน (S)

D = ปริมาณของธาตุซิลิกอน (Si)

2.3 สรุปเปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองด้วยหลักการค้นหาตัวแปรของไชนินกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)

ผลจากการทดลองของวิธีการออกแบบการทดลองทั้ง 2 วิธี จะนำมาทำการเปรียบเทียบกันโดยเริ่มทำการเปรียบเทียบจากตัวแปรที่มีอิทธิพลกับค่าความแข็งแรงของเหล็กลวดอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสามารถสรุปผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลกับของเสียอย่างมีนัยสำคัญเปรียบเทียบกันทั้ง 2 วิธีของการออกแบบการทดลองได้ ดังตาราง 33

ตาราง 33 สรุปผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลกับค่าความแข็งแรงของเหล็กลวดอย่างมีนัยสำคัญ
เปรียบเทียบกันทั้ง 2 วิธีของการออกแบบการทดลอง

วิธีการ ออกแบบการทดลอง	ตัวแปร	
	A	B
วิธีการไชนิน	•	•
2^k Factorial Design	•	•

จากผลการเปรียบเทียบในตาราง 32 สามารถสรุปได้ว่าในวิธีการของไชนินตัวแปรที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของเหล็กลวด คือ ตัวแปร A(ธาตุคาร์บอน (C)) , ตัวแปร B(ธาตุแมงกานีส (Mn)) ซึ่งให้ผลเหมือนกันกับการออกแบบการทดลองมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)วิธีการ 2^k Factorial Design

หลังจากทำการเปรียบเทียบจากมุมมองหลักๆแล้วต่อไปจึงนำผลจากการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนินมาทำการเปรียบเทียบกับผลจากการออกแบบการทดลองมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)ในมุมมองอื่นอีกหลายมุมมองแบ่งตามหัวข้อซึ่งสรุปได้ดังตาราง 34

ตาราง 34 เปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองด้วยหลักการค้นหาตัวแปรของไชนินกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)

หัวข้อ	หลักการค้นหาตัวแปร	การออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล)
จำนวนครั้งของการทดลอง	น้อย (32 ครั้ง)	มาก (128 ครั้ง)
ต้นทุนที่ใช้ในการทดลอง	ต่ำ	สูง (ตามจำนวนครั้งของการทดลอง)
สมการถดถอย	ไม่มี	มี
ความยุ่งยากซับซ้อน	น้อย	มาก

จากตาราง 34 จะพบว่า การออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนิน ใช้จำนวนครั้งของการทดลองที่น้อยกว่าการออกแบบการทดลองมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)วิธีการ 2^k Factorial Design มาก ซึ่งสำหรับกรณีศึกษาวิธีการของไชนินใช้การทดลองทั้งหมด 32 การทดลอง ในขณะที่ 2^5 Factorial Design ทำซ้ำ 4 ครั้ง ใช้จำนวนการทดลอง 128 ครั้ง โดยเมื่อจำนวนตัวแปรเพิ่มขึ้น จำนวนครั้งของการทดลองยังมีความแตกต่างกันมากขึ้นและต้นทุนจากการทำการทดลองสูงขึ้นตามไปด้วย

ดังนั้นการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนินจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษาตัวแปร ในกรณีการดำเนินการทดลองไม่สามารถทำการทดลองได้จำนวนมาก และมีจำนวนตัวแปรที่ศึกษาจำนวนมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทดลองแบบคัดเลือก (Screening)

3. กรณีศึกษาที่ 3

หลังจากได้ทำการสร้างกรณีศึกษาการออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ (Full Factorial) ซึ่งได้ทราบว่าปัจจัยไหนมีผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมและได้ทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของไชนิน และ วิธีการ 2^k Full Factorial Design แล้วในกรณีศึกษานี้จะกล่าวถึงผลการวิจัย และการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลตามขั้นตอนการวิจัยในบทที่ 3 ซึ่งแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

3.1 การออกแบบการทดลองวิธีการไชนิน

3.2 การออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ 2^k Full Factorial Design

3.3 สรุปเปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองด้วยหลักการค้นหาตัวแปรของไชนินกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)

3.1 การออกแบบการทดลองวิธีการไชนิน

ขั้นตอนที่ 1 Ball Park มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการรู้ว่าตัวแปรทั้ง 5 ตัว ที่นำมาทดลองมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยทำการกำหนดตัวแปรและค่าที่ถูกต้องในแต่ละการทดลองโดยเริ่มจากการกำหนดเลือก Green Y (กรณีนี้ Green Y หมายถึง ค่าตอบสนอง (Y) คือจำนวนแผ่นงานแตกร้า (Crack)) ที่ใช้ในการวัดคุณภาพและทำการวิเคราะห์และกำหนดตัวแปรที่คาดว่าจะมีผลต่อจำนวนเสีย

หลังจากนั้นทำการกำหนดค่าให้ตัวแปรเพื่อการทดลอง โดยแบ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด (Best Level) ซึ่งในกรณีศึกษานี้จะหมายถึงค่าของชุดตัวแปรหรือพารามิเตอร์ที่ทำให้จำนวนแผ่นงานแตกร้าน้อยที่สุด และค่าที่แย่ที่สุด (Marginal Level) ซึ่งในกรณีศึกษานี้จะหมายถึงค่าของชุดตัวแปรหรือพารามิเตอร์ที่ทำให้จำนวนแผ่นงานแตกร้ามากที่สุด แล้วจึงทำการทดลองที่ค่า Best Level (จำนวน 3 ครั้ง) และค่า Marginal Level (จำนวน 3 ครั้ง) จากการทดลอง 3 ครั้งสำหรับ Best Level และ 3 ครั้งสำหรับ Marginal Level ได้ค่าดังแสดงในตาราง 35

ตาราง 35 Ball Park

พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	Low (-) Marginal level	High (+) Best level	
1.ความเร็วของสายพาน	40	60	เฮิร์ตซ์
2.ความแรงของลมร้อน	20	60	เฮิร์ตซ์
3.อุณหภูมิ	50	80	องศาเซลเซียส
4.ระดับความโค้งของแผ่น อลูมินาซ์บสเทรท	80	220	ไมครอน
5.จำนวนของการวางงานใส่ใน แมกกาซีน	100	300	แผ่น
ผลการทดลองครั้งที่ 1	32	26	จำนวนแผ่นงานแตกร้า
ผลการทดลองครั้งที่ 2	35	29	จำนวนแผ่นงานแตกร้า
ผลการทดลองครั้งที่ 3	33	28	จำนวนแผ่นงานแตกร้า

จากผลการทดลองทั้ง 3 ครั้งพบว่าค่า All best ทุกครั้งดีกว่า (จำนวนแผ่นงานแตกร้าน้อยกว่า) All marginal และค่า Median ของ All best คือ 28 ส่วนค่า Median ของ All Marginal คือ 33 หลังจากนั้นต้องนำค่าที่ได้จากการทดลองไปหาอัตราส่วน $D : \bar{d}$ ซึ่งถูกกำหนดไว้ว่าอัตราส่วน $D : \bar{d}$ ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 1.25 : 1 ซึ่งถ้าการทดสอบนัยสำคัญผ่าน ก็ถือว่า ขั้นตอน Ball Park เสร็จสิ้น แสดงว่าตัวแปรที่เลือกไว้ถูกต้องแล้วซึ่งจากผลการทดลองสามารถนำมาคำนวณเพื่อหาค่า D และ $\bar{d}$ ได้ ดังนี้

$$D = \text{ผลต่างของ Median ของ All Best กับ Median ของ All Marginal} = 33 - 28 = 5$$

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

$$= ((29 - 26) + (35 - 32)) / 2 = 3$$

ดังนั้นอัตราส่วน $D : \bar{d} = 5 : 3$ หรือเท่ากับ 1.67 : 1 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1.25 แสดงว่าตัวแปรที่เลือกไว้ (A ถึง E) อย่างน้อย 1 ตัวมีนัยสำคัญ

ขั้นตอนที่ 2 Separation of important and unimportant factors มีวัตถุประสงค์เพื่อแยกตัวแปรที่สำคัญออกจากตัวแปรที่ไม่สำคัญและกำจัดตัวแปรที่ไม่สำคัญออกไป โดยเริ่มจากการทดลองโดยการสลับค่าตัวแปรทีละคู่ ซึ่งในกรณีศึกษานี้จะยกตัวอย่างตัวแปร A โดยตัวแปร A

จะถูกกำหนดให้เป็นค่า Marginal (A คือ ความเร็วของสายพาน = 40) ส่วนตัวแปรที่เหลือจะเป็นค่า Best ทั้งหมด

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

$$\text{Decision Limits} = \text{Median} \pm 2.776 \bar{d} / 1.81$$

จากสูตรเมื่อลองทำการแทนค่าจะได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Decision Limits (Low sides)} &= 33 \pm 2.776 \bar{d} / 1.81 \\ &= 28.40 \text{ ถึง } 37.60 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Decision Limits (High sides)} &= 28 \pm 2.776 \bar{d} / 1.81 \\ &= 23.40 \text{ ถึง } 32.60 \end{aligned}$$

หลังจากนั้นนำผลจากการทดลอง (Results) จากครั้งที่ 1 คือ ตัวแปร A เป็นค่า Marginal ส่วนตัวแปรที่เหลือจะเป็นค่า Best ($A_M R_B$) และ ผลจากการทดลอง (Results) จากครั้งที่ 2 คือ ตัวแปร A เป็นค่า Best ส่วนตัวแปรที่เหลือจะเป็นค่า Marginal ($A_B R_M$) มาทำการเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ Decision Limits (High sides) และ Decision Limits (Low sides) ซึ่งผลลัพธ์ที่เป็นไปได้จะมี 3 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ถ้า $A_M R_B$ อยู่ใน Decision Limits-low และ $A_B R_M$ อยู่ใน Decision Limits-high แสดงว่า A ไม่นับสำคัญ

กรณีที่ 2 ถ้า $A_M R_B$ และ $A_B R_M$ ให้ผลตรงข้ามกันคือ $A_M R_B$ ให้ผลเหมือนกรณี All Best และ $A_B R_M$ ให้ผลเหมือนกรณี All Marginal แสดงว่า A เท่านั้นที่เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญ ปัจจัยอื่นๆ ตัดออกได้ทั้งหมด

กรณีที่ 3 ถ้า $A_M R_B$ และ $A_B R_M$ ค่าใดค่าหนึ่งหรือทั้งสองค่าตกออกนอก Decision Limits คือ $A_M R_B$ ตกออกนอก Decision Limits-low และ $A_B R_M$ ตกออกนอก Decision Limits-high แต่ไม่ได้ให้ผลตรงข้ามกัน แสดงว่า A มีนัยสำคัญร่วมกับตัวแปรอื่นด้วยซึ่งถ้าผลลัพธ์เป็นแบบกรณีที่ 1 หรือ 3 ให้ทดลองต่อสำหรับปัจจัยที่เหลือ คือ B,C,D,... และปัจจัยอื่นต่อไป แต่ถ้าผลลัพธ์เป็นแบบกรณีที่ 2 ให้หยุดการทดลองแสดงว่าได้ Red X เพียงตัวเดียว

ดังนั้นผลจากการทดลองสำหรับตัวแปร A จะพบว่าเป็นไปตามกรณีที่ 1 คือค่าของ $A_M R_B$ อยู่ใน Decision Limits-low และ $A_B R_M$ อยู่ใน Decision Limits-high ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าตัวแปร A ไม่นับสำคัญแต่ยังต้องทำการทดลองกับตัวแปรที่เหลือให้ครบ ซึ่งกรณีศึกษานี้ได้ทำการสรุปผลการทดลองของแต่ละสภาวะของตัวแปรแต่ละตัว(A-E) แล้วแสดงผลในตาราง 36

ตาราง 36 Separation of important and unimportant factors

Test	Combination	Results	Median	Decision Limits	สรุป
1	$A_M R_B$	29	28	23.40to32.60	A
2	$A_B R_M$	31	33	28.40to37.60	ไม่สำคัญ
3	$B_M R_B$	24	28	23.40to32.60	B
4	$B_B R_M$	35	33	28.40to37.60	ไม่สำคัญ
5	$C_M R_B$	24	28	23.40to32.60	C
6	$C_B R_M$	37	33	28.40to37.60	ไม่สำคัญ
7	$D_M R_B$	14	28	23.40to32.60	D
8	$D_B R_M$	36	33	28.40to37.60	สำคัญ
9	$E_M R_B$	32	28	23.40to32.60	E
10	$E_B R_M$	15	33	28.40to37.60	สำคัญ

สรุปผลจากการทดลองได้ว่าตัวแปร A,B,C มีผลลัพธ์ที่อยู่ใน Decision Limits ดังนั้น ตัวแปร A,B,C จึงไม่นับสำคัญ ส่วนตัวแปร D และ E มีผลลัพธ์อยู่นอกเหนือจาก Decision Limits จึงสรุปได้ว่าตัวแปร D และ E เป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญ

ขั้นตอนที่ 3 Capping Run มีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันตัวแปรที่สำคัญว่าเป็นตัวแปรที่สำคัญจริงและยืนยันว่าตัวแปรที่ไม่สำคัญเป็นตัวแปรที่ไม่สำคัญจริง ซึ่งจากกรณีศึกษานี้พบว่าตัวแปรที่มีนัยสำคัญ มีอยู่ 2 ตัวแปร คือ D และ E ดังนั้นจึงเริ่มทำการทดลองอีกครั้งโดยกำหนดให้ครั้งที่ 1 ตัวแปร D และตัวแปร E เป็นค่า Best ส่วนตัวแปรที่เหลือเป็นค่า Marginal หลังจากนั้นทดลองครั้งที่ 2 โดยให้ตัวแปร D และตัวแปร E เป็นค่า Marginal ส่วนตัวแปรที่เหลือเป็นค่า Best โดยมีรายละเอียดการตั้งค่าพารามิเตอร์ดังตาราง 37

ตาราง 37 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำ Capping Run

พารามิเตอร์	การทดลองครั้งที่		หน่วย
	1	2	
1.ความเร็วของสายพาน	40	60	เฮิร์ตซ์
2.ความแรงของลมร้อน	20	60	เฮิร์ตซ์
3.อุณหภูมิ	50	80	องศาเซลเซียส
4.ระดับความโค้งของแผ่นอลูมิเนียมซับสเทรท	220	80	ไมครอน
5.จำนวนของการวางงานใส่ในแมกกาซีน	300	100	แผ่น
ผลการทดลอง	28	33	จำนวนแผ่นงานแตกร้าว

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

$$\text{Decision Limits} = \text{Median} \pm 2.776 \bar{d} / 1.81$$

จากสูตรเมื่อลองทำการแทนค่าจะได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Decision Limits (Low sides)} &= 33 \pm 2.776 \bar{d} / 1.81 \\ &= 28.40 \text{ ถึง } 37.60 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Decision Limits (High sides)} &= 28 \pm 2.776 \bar{d} / 1.81 \\ &= 23.40 \text{ ถึง } 32.60 \end{aligned}$$

หลังจากนั้นนำผลจากการทดลองจากครั้งที่ 1 คือ ตัวแปร D และ E เป็นค่า Best ส่วนตัวแปรที่เหลือจะเป็นค่า Marginal ($D_B E_B R_M$) และ ผลจากการทดลองจากครั้งที่ 2 คือ ตัวแปร D และ E เป็นค่า Marginal ส่วนตัวแปรที่เหลือจะเป็นค่า Best ($D_M E_M R_B$) มาทำการเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ Decision Limits (High sides) และ Decision Limits (Low sides) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงในตาราง 38

ตาราง 38 Capping Run

Combination	Results	Median	Decision Limits	สรุป
$D_B E_B R_M$	30	28	23.40to32.60	DE Interaction มีความสำคัญ
$D_M E_M R_B$	29	33	28.40to37.60	

จากการทำ Capping Run พบว่าตัวแปร D และ E ที่ระดับ Best-Level และ Marginal-Level ได้ผลลัพธ์อยู่ใน Decision Limits ดังนั้น D และ E จึงเป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญและอาจมีอิทธิพลร่วม (Interaction effect)

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ตัวแปร (Factorial Analysis) มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาค่าของตัวแปรสำคัญที่จะทำให้คุณภาพสินค้าดีที่สุด โดยการหาอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ซึ่งจะเรียกตัวแปรที่มีความสำคัญมากที่สุดว่า Red X และตัวแปรที่มีความสำคัญอันดับที่ 2 ว่า PinkX และตัวแปรที่มีความสำคัญเป็นอันดับที่ 3 ว่า PalePinkX โดยสำหรับกรณีศึกษานี้ได้ผ่านขั้นตอนที่ 3 มาแล้วและเหลือตัวแปรที่สำคัญเพียง 2 ตัวแปร คือ ตัวแปร D และ E จากนั้นให้นำค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการทำการทดลองมากรอกลงในตารางเมทริกซ์เพื่อช่วยให้นำข้อมูลไปวิเคราะห์หาอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) เป็นไปได้ง่ายขึ้น ซึ่งตารางเมทริกซ์ของ ตัวแปร D และ E จะเป็น ดังตาราง 39

ตาราง 39 เมทริกซ์ในการกรอกข้อมูลของตัวแปร D และ E

	D Best ระดับความโค้งของแผ่นอลูมินา ชั้นสเทรท=220 ไมครอน	D Marginal ระดับความโค้งของแผ่นอลูมินา ชั้นสเทรท=80 ไมครอน
E Best จำนวนของการวางงานใส่ใน แมกกาซีน=300 แผ่น		
E Marginal จำนวนของการวางงานใส่ใน แมกกาซีน=100 แผ่น		

หลังจากนั้นให้นำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองมากรอกในแต่ละช่องโดยจะยกตัวอย่างช่องที่ตัวแปร D เป็นค่า Best และตัวแปร E เป็นค่า Best โดยจะเริ่มต้นจากการพิจารณาค่าผลลัพธ์จากขั้นตอนที่ 1 Ball Park จากตาราง 18 นำค่าจากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ของสภาวะที่ตัวแปร D และ E เป็นค่า Best Level ซึ่งผลลัพธ์คือ 26,29 และ 28 ตามลำดับ หลังจากนั้นให้มาเลือกค่าที่ตัวแปร D และ E เป็นค่า Best ในตาราง 19 ต่อ จะได้ค่าผลลัพธ์เป็น 29,24 และ 24ตามลำดับ ส่วนขั้นสุดท้ายคือเลือกค่าที่ตัวแปร D และ E เป็นค่า Best ในตาราง 20 จะได้ค่าผลลัพธ์เป็น 28 หลังจากนั้นให้นำค่าผลลัพธ์มากรอกในช่องที่ตัวแปร D และ E เป็นค่า Best จากเมทริกซ์ในตาราง 22 จะได้ดังตาราง 40

ตาราง 40 การกรอกข้อมูลผลลัพธ์จากการทดลองที่สภาวะตัวแปร D และ E เป็นค่า Best Level

	D Best ระดับความโค้ง งอของแผ่นอลูมินา ชั้นสเทรท=220 ไมครอน	
E Best	26	24
จำนวนของการวางงานใส่ในแมกกาซีน=300 แผ่น	29	24
	28	28
	29	

หลังจากกรอกข้อมูลแล้วให้หาค่า Median ของข้อมูลชุดนี้ซึ่งเท่ากับ 28 จากนั้นในสภาวะที่เหลืออีก 3 สภาวะให้ทำตามตัวอย่างนี้จนหาค่า Median ได้ครบ เพื่อจะนำมาคำนวณหาค่าอิทธิพลหลัก(Main Effect) และอิทธิพลร่วม(Interaction Effect) โดยตารางเมทริกซ์ที่กรอกค่าสมบูรณ์พร้อมกับมีค่า Median จะแสดงตามตาราง 41

ตาราง 41 ผลลัพธ์จากสภาวะในการทดลองทั้ง 4 พร้อมกับค่า Median

	D Best ระดับความโค้ง งอของแผ่นอลูมินา ชั้นสเทรท=220 ไมครอน		D Marginal ระดับความโค้ง งอของแผ่นอลูมินา ชั้นสเทรท=80 ไมครอน	
E Best	26	24	14	
จำนวนของการวางงานใส่ใน	29	24	15	
แมกกาซีน=300 แผ่น	28	28		
	29			
	Median=28		Median=14.5	
E Marginal	36		32	35
จำนวนของการวางงานใส่ใน	32		35	37
แมกกาซีน=100 แผ่น			33	29
			31	
	Median=34		Median=33	

เมื่อได้ตารางเมทริกซ์ที่สมบูรณ์พร้อมกับคำนวณหา Median แล้วให้นำผลลัพธ์ที่ได้ไปคำนวณหาค่าอิทธิพลหลัก(Main Effect) ของตัวแปร D ตัวแปร E และอิทธิพลร่วม(Interaction Effect) ระหว่างตัวแปร DและE ได้ดังนี้

Main Effect D = ผลต่างระหว่างผลรวมของMedianของD Best E Best กับ D Best E Marginal กับ ผลรวมของMedianของD Marginal E Best กับ D Marginal E Marginalหาร 2

หรือสามารถสรุปเป็นสูตรได้คือ

$$\begin{aligned}\text{Main Effect D} &= \frac{[\text{Median}(D_B E_B) + \text{Median}(D_B E_M)] - [\text{Median}(D_M E_B) + \text{Median}(D_M E_M)]}{2} \\ &= \frac{[28 + 34] - [14.5 + 33]}{2} \\ &= \frac{[62 - 47.5]}{2} \\ &= 7.25\end{aligned}$$

โดยสามารถคำนวณ Main Effect ของตัวแปร E ได้ ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{Main Effect E} &= \frac{[\text{Median}(E_B D_B) + \text{Median}(E_B D_M)] - [\text{Median}(E_M D_B) + \text{Median}(E_M D_M)]}{2} \\ &= \frac{[28 + 14.5] - [34 + 33]}{2} \\ &= \frac{[42.5 - 67]}{2} \\ &= 12.25\end{aligned}$$

เมื่อได้ทำการคำนวณหาค่าอิทธิพลหลัก(Main Effect) ของตัวแปร D ตัวแปร E แล้ว หลังจากนั้นให้ทำการคำนวณหาค่าอิทธิพลร่วม(Interaction Effect) ระหว่างตัวแปร DและE ได้ดังนี้

DE Interaction = ผลต่างระหว่างผลรวมของMedianของD Best E Best กับ D Marginal E Marginal กับ ผลรวมของMedianของD Marginal E Best กับ D Best E Marginalหาร 2

หรือสามารถสรุปเป็นสูตรได้คือ

$$\begin{aligned}\text{DE Interaction} &= \frac{[\text{Median}(D_B E_B) + \text{Median}(D_M E_M)] - [\text{Median}(D_M E_B) + \text{Median}(D_B E_M)]}{2} \\ &= \frac{[28 + 33] - [14.5 + 34]}{2} \\ &= \frac{[61 - 48.5]}{2}\end{aligned}$$

$$= 6.25$$

สามารถสรุปผลจากการวิเคราะห์ตัวแปรได้ว่าตัวแปร E มีความสำคัญมากที่สุดหรือเรียกว่า Red X (ตามค่านิยมของไชนิน) เนื่องจากมีค่าจากการคำนวณสูงที่สุดซึ่งสามารถดูผลลัพธ์จากการคำนวณได้คือเท่ากับ 12.25 และตัวแปรที่มีความสำคัญอันดับ 2 คือตัวแปร D โดยมีผลลัพธ์จากการคำนวณเท่ากับ 7.25 หรือเรียกว่า Pink X ตามค่านิยมของไชนินและตัวแปรที่มีความสำคัญเป็นอันดับสุดท้ายคือ การเกิดอิทธิพลร่วมกันระหว่างตัวแปร D และ E โดยมีผลลัพธ์จากการคำนวณเท่ากับ 6.25 หรือเรียกว่า Pale Pink X ตามค่านิยมของไชนิน

หลังจากนั้นให้นำตัวแปร D, E ไปจัดทำกราฟของอิทธิพลหลัก(Main Effect) และอิทธิพลร่วม(Interaction Effect) ดังนี้

1. กราฟของอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของตัวแปร D

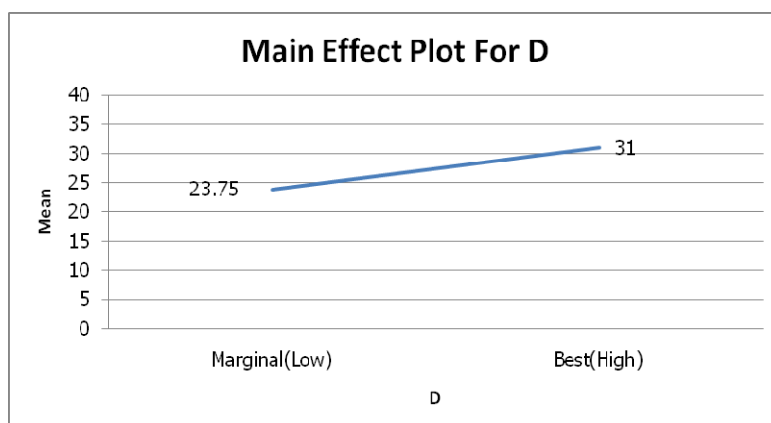
นำค่า Median ของ D Marginal และ E Best จากตาราง 40 ซึ่งเท่ากับ 14.5 มาบวกกับค่า Median ของ D Marginal E Marginal จากตาราง 40 ซึ่งเท่ากับ 33 แล้วหาร 2 โดยจะแสดงเป็นสูตรคำนวณได้ คือ

$$\begin{aligned} \text{สูตร} &= \frac{\text{Median}(D_mE_B) + \text{Median}(D_mE_M)}{2} \\ &= \frac{14.5 + 33}{2} = 23.75 \end{aligned}$$

จากนั้นนำค่า Median ของ D Best และ E Best จากตาราง 40 ซึ่งเท่ากับ 28 มาบวกกับค่า Median ของ D Best E Marginal จากตาราง 40 ซึ่งเท่ากับ 34 แล้วหาร 2 โดยจะแสดงเป็นสูตรคำนวณได้ คือ

$$\begin{aligned} \text{สูตร} &= \frac{\text{Median}(D_B E_B) + \text{Median}(D_B E_M)}{2} \\ &= \frac{28 + 34}{2} = 31 \end{aligned}$$

นำค่าที่ได้ไปพล็อตกราฟได้ดังภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 19 การวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปร D

2. กราฟของอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของตัวแปร E

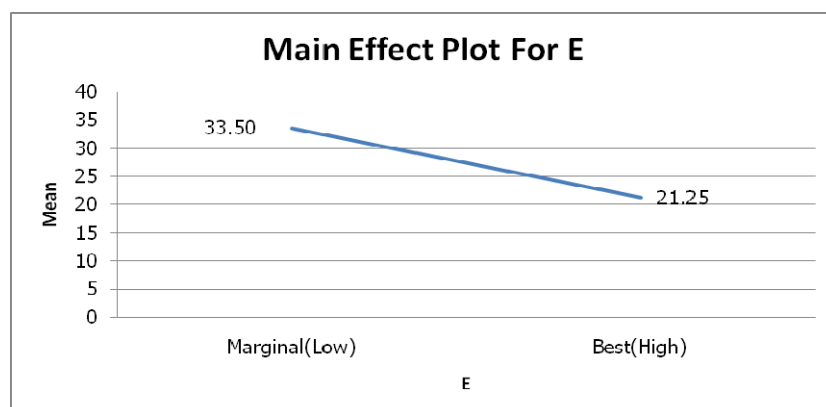
นำค่า Median ของ E Best และ D Best จากตาราง 40 ซึ่งเท่ากับ 28 มาบวกกับค่า Median ของ E Best D Marginal จากตาราง 40 ซึ่งเท่ากับ 14.5 แล้วหาร 2 โดยจะแสดงเป็นสูตรคำนวณได้ คือ

$$\begin{aligned} \text{สูตร} &= \frac{\text{Median}(E_B D_B) + \text{Median}(E_B D_M)}{2} \\ &= \frac{28 + 14.5}{2} = 21.25 \end{aligned}$$

จากนั้นนำค่า Median ของ E Marginal และ D Best จากตาราง 40 ซึ่งเท่ากับ 34 มาบวกกับค่า Median ของ E Marginal D Marginal จากตาราง 40 ซึ่งเท่ากับ 33 แล้วหาร 2 โดยจะแสดงเป็นสูตรคำนวณได้ คือ

$$\begin{aligned} \text{สูตร} &= \frac{\text{Median}(E_M D_B) + \text{Median}(E_M D_M)}{2} \\ &= \frac{34 + 33}{2} = 33.5 \end{aligned}$$

นำค่าที่ได้ไปพล็อตกราฟได้ดังภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 20 การวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปร E

3. กราฟของอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ของตัวแปร D และ E

ให้นำค่า Median ทั้ง 4 ค่า จากตาราง 40 มาสร้างกราฟโดยจากข้อมูลในตาราง 40 คือ

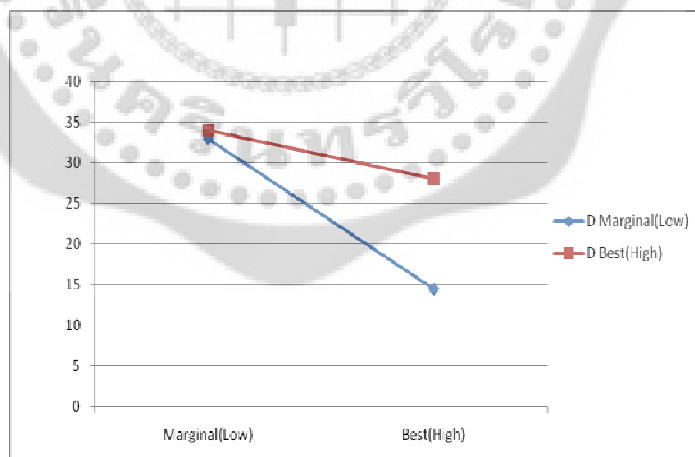
D Marginal E Marginal = 33

D Best E Marginal = 34

D Marginal E Best = 14.5

D Best E Best = 28

นำค่าที่ได้ทั้ง 4 ค่าไปพล็อตกราฟได้ดังภาพประกอบ 20



ภาพประกอบ 21 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมของตัวแปร D และ E

จากกราฟสามารถสรุปผลได้อย่างชัดเจนว่า ตัวแปรระดับความโค้งงอของแผ่นอลูมิเนียมชุบสเทรท (D) และ ตัวแปรจำนวนของการวางงานใส่ในแมกกาซีน (E) มีนัยสำคัญทางสถิติและจากกราฟการวิเคราะห์อิทธิพลร่วมของตัวแปร D และ E ในภาพประกอบ 20 แสดงให้เห็นว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ร่วมกัน

3.2 การออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ 2^k Full Factorial Design

การทดลองจะเริ่มจากการกำหนดตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์และระดับของตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวรวมถึงค่าตอบสนองที่ใช้ซึ่งสำหรับกรณีศึกษานี้มีตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการศึกษา 5 ตัว จึงใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^5 Factorial Design และในแต่ละตัวแปรกำหนดให้มี 2 ระดับ ซึ่งจะได้รูปแบบการทดลองเป็นแบบ 2^5 Factorial Design เพราะฉะนั้นจึงมีจำนวนครั้งของการทดลอง(Run) เท่ากับ 32 ครั้ง โดยในแต่ละครั้ง(Run) ของการทดลองกำหนดให้มีจำนวนการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำ (Replicate) ดังนั้นเท่ากันว่าจะมีการทดลองทั้งหมดจำนวน 64 ครั้ง ซึ่งสามารถสรุปตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ได้ดังตาราง 41 และแสดงแผนการทดลองและผลการทดลองดังตาราง 42

ตาราง 42 แสดงระดับของตัวแปรทั้ง 5 ตัว

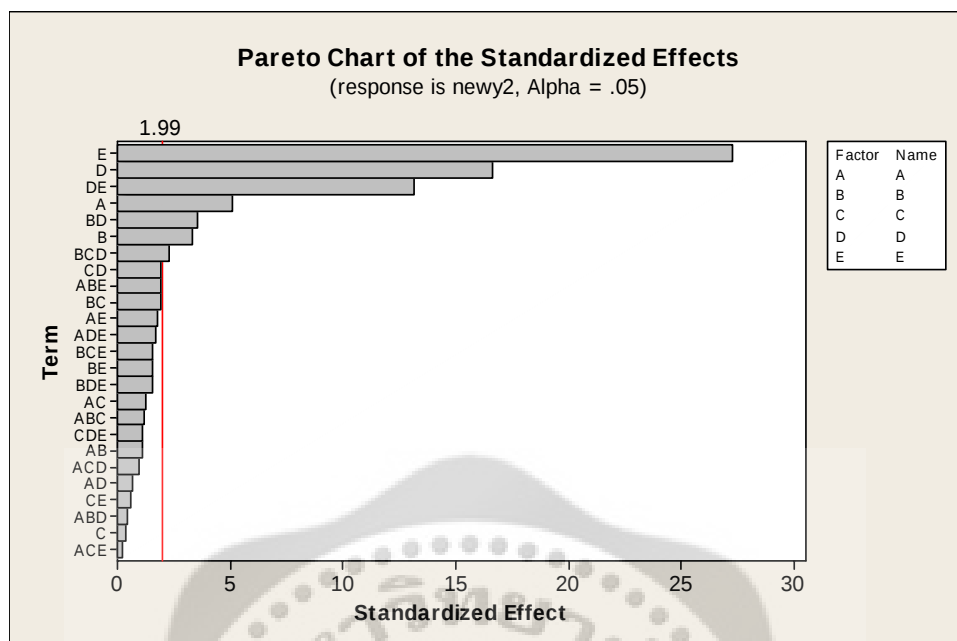
พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	Low (-)	High (+)	
1. ความเร็วของสายพาน	40	60	เฮิร์ตซ์
2. ความแรงของลมร้อน	20	60	เฮิร์ตซ์
3. อุณหภูมิ	50	80	องศาเซลเซียส
4. ระดับความโค้งของแผ่นอลูมิเนียมซับสเทรท	80	220	ไมครอน
5. จำนวนของการวางงานใส่ในแมกกาซีน	100	300	แผ่น

ตาราง 43 แสดง Run การทดลองและข้อมูลของค่าตอบสนองของพารามิเตอร์⁵

Run	A (ความเร็ว สายพาน)	B (ความ แรงลมร้อน)	C (อุณหภูมิ)	D (ระดับความ ไค้งอ)	E (จำนวนของการ วางงาน)	จำนวน แผ่นงาน แตกร้าว (Crack)
1	-	-	-	-	-	32
2	+	-	-	-	-	29
3	-	+	-	-	-	31
4	+	+	-	-	-	30
5	-	-	+	-	-	35
6	+	-	+	-	-	36
7	-	+	+	-	-	30
8	+	+	+	-	-	29
9	-	-	-	+	-	35
10	+	-	-	+	-	32
11	-	+	-	+	-	33
12	+	+	-	+	-	33
13	-	-	+	+	-	31
14	+	-	+	+	-	34
15	-	+	+	+	-	33
16	+	+	+	+	-	32
17	-	-	-	-	+	20
18	+	-	-	-	+	18
19	-	+	-	-	+	16
20	+	+	-	-	+	16
21	-	-	+	-	+	18
22	+	-	+	-	+	11
23	-	+	+	-	+	16
24	+	+	+	-	+	14
25	-	-	-	+	+	29
26	+	-	-	+	+	25
27	-	+	-	+	+	30
28	+	+	-	+	+	24
29	-	-	+	+	+	34
30	+	-	+	+	+	29
31	-	+	+	+	+	28
32	+	+	+	+	+	26

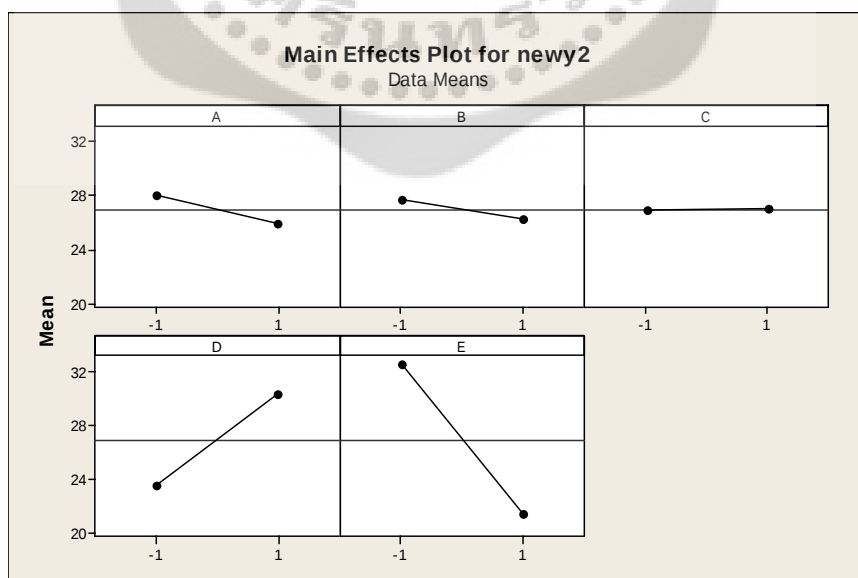
ตาราง 43 (ต่อ)

Run	A (ความเร็ว สายพาน)	B (ความ แรงลม ร้อน)	C (อุณหภูมิ)	D (ระดับความ ไต่จ้งอ)	E (จำนวน ของการ วางงาน)	จำนวน แผ่นงาน แตกร้าว (Crack)
33	-	-	-	-	-	35
34	+	-	-	-	-	33
35	-	+	-	-	-	35
36	+	+	-	-	-	30
37	-	-	+	-	-	37
38	+	-	+	-	-	34
39	-	+	+	-	-	27
40	+	+	+	-	-	25
41	-	-	-	+	-	36
42	+	-	-	+	-	31
43	-	+	-	+	-	31
44	+	+	-	+	-	34
45	-	-	+	+	-	32
46	+	-	+	+	-	35
47	-	+	+	+	-	39
48	+	+	+	+	-	31
49	-	-	-	-	+	15
50	+	-	-	-	+	13
51	-	+	-	-	+	15
52	+	+	-	-	+	12
53	-	-	+	-	+	17
54	+	-	+	-	+	16
55	-	+	+	-	+	13
56	+	+	+	-	+	14
57	-	-	-	+	+	30
58	+	-	-	+	+	22
59	-	+	-	+	+	29
60	+	+	-	+	+	25
61	-	-	+	+	+	27
62	+	-	+	+	+	24
63	-	+	+	+	+	29
64	+	+	+	+	+	29

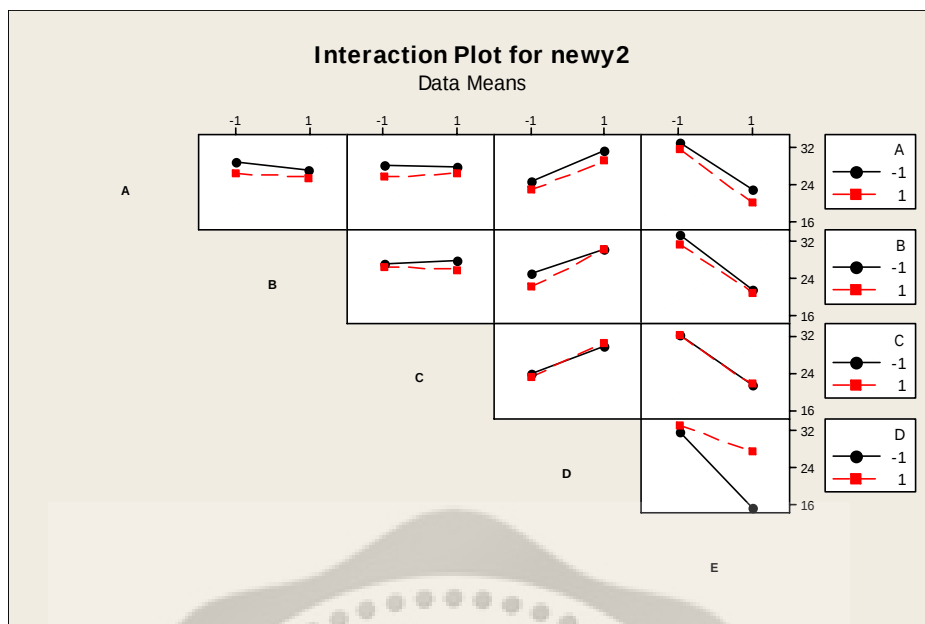


ภาพประกอบ 22 แสดงแผนภูมิพารेटอ (Pareto) ของอิทธิพลในแต่ละตัวแปร

จากภาพประกอบ 21 กราฟพารेटอแสดงผลกระทบต่อข้อมูลผลตอบ โดยพิจารณาจากเส้นนัยสำคัญ (Significant Line) ที่มีค่า 2.03 ในกรณีที่ตัวแปรใดมีค่าผลกระทบมากกว่าเส้นนัยสำคัญ แสดงว่าตัวแปรนั้นมีผลต่อข้อมูลการแปลงผลตอบ จึงสรุปได้ว่าตัวแปรที่มีผลต่อค่าผลตอบ ประกอบไปด้วย E , D , DE , A , B , BD



ภาพประกอบ 23 แสดงกราฟอิทธิพลของตัวแปร A,B,C,D และ E



ภาพประกอบ 24 แสดงกราฟอิทธิพลร่วมของตัวแปร A,B,C,D และ E

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยหลักการทางสถิติวิศวกรรม สามารถสรุปได้ว่า ผลกระทบของตัวแปรที่มีผลต่อข้อมูลผลตอบสนองที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยเรียงตามระดับความสำคัญ ดังนี้

1. จำนวนของการวางงานใส่ในแมกกาซีน (E)
2. ระดับความโค้งงอของแผ่นอลูมินาชั้นสเทรท (D)
3. อันตรกิริยาระหว่างจำนวนของการวางงานใส่ในแมกกาซีนกับระดับความโค้งงอของแผ่นอลูมินาชั้นสเทรท (DE)
4. ความเร็วของสายพาน (A)
5. อันตรกิริยาระหว่างความแรงของลมร้อนกับระดับความโค้งงอของแผ่นอลูมินาชั้นสเทรท(BD)

6. ความแรงของลมร้อน (B)

โดยมีโมเดลของสมการทางคณิตศาสตร์คือ

$$Y = 1.30919 + 0.000378687A + 0.000370317B - 0.0000178362D + 0.000403957E - 0.00000169420BD - 0.00000143384DE$$

เมื่อ

Y = จำนวนแผ่นงานแตกร้าว (Crack)

A = ความเร็วของสายพาน

B = ความแรงของลมร้อน

D = ระดับความโค้งงอของแผ่นอลูมินาชั้นสเทรท

E = จำนวนของการวางงานใส่ในแมกกาซีน

3.3 สรุปเปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองด้วยหลักการค้นหาตัวแปรของไชนกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)

ผลจากการทดลองของวิธีการออกแบบการทดลองทั้ง 2 วิธี จะนำมาทำการเปรียบเทียบกันโดยเริ่มทำการเปรียบเทียบจากตัวแปรที่มีอิทธิพลกับจำนวนแผ่นงานแตกร้าวอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสามารถสรุปผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลกับของเสียอย่างมีนัยสำคัญเปรียบเทียบกันทั้ง 2 วิธีของการออกแบบการทดลองได้ ดังตาราง 44

ตาราง 44 สรุปผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลกับจำนวนแผ่นงานแตกร้าวอย่างมีนัยสำคัญเปรียบเทียบกันทั้ง 2 วิธีของการออกแบบการทดลอง

วิธีการ ออกแบบการทดลอง	ตัวแปร	
	D	E
วิธีการไชน	•	•
2^k Factorial Design	•	•

จากผลการเปรียบเทียบในตาราง 43 สามารถสรุปได้ว่าในวิธีการของไชนตัวแปรที่มีผลต่อจำนวนแผ่นงานแตกร้าว (Crack) คือ ตัวแปร D (ระดับความโค้งงอของแผ่นอลูมิเนียมซับสเทรท) , ตัวแปร E (จำนวนของการวางงานใส่ในแมกกาซีน) ซึ่งให้ผลเหมือนกันกับการออกแบบการทดลองมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)วิธีการ 2^k Factorial Design

หลังจากทำการเปรียบเทียบจากมุมมองหลักๆแล้วต่อไปจึงนำผลจากการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนมาทำการเปรียบเทียบกับผลจากการออกแบบการทดลองมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)ในมุมมองอื่นอีกหลายมุมมองแบ่งตามหัวข้อซึ่งสรุปได้ดังตาราง 45

ตาราง 45 เปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองด้วยหลักการค้นหาตัวแปรของไชนกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)

หัวข้อ	หลักการค้นหาตัวแปร	การออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล)
จำนวนครั้งของการทดลอง	น้อย (15 ครั้ง)	มาก (64 ครั้ง)
ต้นทุนที่ใช้ในการทดลอง	ต่ำ	สูง (ตามจำนวนครั้งของการทดลอง)
สมการถดถอย	ไม่มี	มี
ความยุ่งยากซับซ้อน	น้อย	มาก

จากตาราง 45 จะพบว่า การออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนิน ใช้จำนวนครั้งของการทดลองที่น้อยกว่าการออกแบบการทดลองมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)วิธีการ 2^k Factorial Design มาก ซึ่งสำหรับกรณีศึกษาวิธีการของไชนินใช้การทดลองทั้งหมด 15 การทดลอง ในขณะที่ 2^5 Factorial Design ทำซ้ำ 2 ครั้งใช้จำนวนการทดลอง 64 ครั้ง โดยเมื่อจำนวนตัวแปรเพิ่มขึ้น จำนวนครั้งของการทดลองยังมีความแตกต่างกันมากขึ้นและต้นทุนจากการทำการทดลองสูงขึ้นตามไปด้วย

ดังนั้นการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนินจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษาตัวแปร ในกรณีการดำเนินการทดลองไม่สามารถทำการทดลองได้จำนวนมาก และมีจำนวนตัวแปรที่ศึกษาจำนวนมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทดลองแบบคัดเลือก (Screening)

4. สรุป 3 กรณีศึกษา

ผลจากการทดลองของวิธีการออกแบบการทดลองทั้ง 2 วิธี ทั้ง 3 กรณีศึกษา ได้นำมาสรุปการเปรียบเทียบกันได้ ดังตาราง 46

ตาราง 46 สรุปผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลกับค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญเปรียบเทียบกันทั้ง 2 วิธีของการออกแบบการทดลองทั้ง 3 กรณีศึกษา

กรณีศึกษา	ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ	
	วิธีการไชนิน	วิธีมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)
กรณีศึกษาที่ 1	A,E,AE	A,E,AE
กรณีศึกษาที่ 2	A,B	A,B
กรณีศึกษาที่ 3	D,E	D,E

จากผลการเปรียบเทียบในตาราง 45 สามารถสรุปได้ว่าทั้ง 3 กรณีศึกษาวิธีการของไชนินให้ผลเหมือนกันกับการออกแบบการทดลองมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)

และจากกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณีศึกษาสามารถสรุปเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนินกับการออกแบบการทดลองมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)ในมุมมองจากหลายมุมมอง ได้ดังตาราง 47

ตาราง 47 สรุปเปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองด้วยหลักการค้นหาตัวแปรของไชนินกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน(แฟคทอเรียล) จากกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณีศึกษา

หัวข้อ	กรณีศึกษาที่ 1		กรณีศึกษาที่ 2		กรณีศึกษาที่ 3	
	หลักการ ค้นหาตัว แปร	การออกแบบ การทดลอง แบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล)	หลักการ ค้นหาตัว แปร	การออกแบบ การทดลอง แบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล)	หลักการ ค้นหาตัว แปร	การออกแบบ การทดลอง แบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล)
จำนวนครั้งของการทดลอง	น้อย (17 ครั้ง)	มาก (192 ครั้ง)	น้อย (32 ครั้ง)	มาก (128 ครั้ง)	น้อย (15 ครั้ง)	มาก (64 ครั้ง)
ต้นทุนที่ใช้ในการทดลอง	ต่ำ	สูง (ตามจำนวนครั้งของการทดลอง)	ต่ำ	สูง (ตามจำนวนครั้งของการทดลอง)	ต่ำ	สูง (ตามจำนวนครั้งของการทดลอง)
สมการถดถอย	ไม่มี	มี	ไม่มี	มี	ไม่มี	มี
ความยุ่งยากซับซ้อน	น้อย	มาก	น้อย	มาก	น้อย	มาก

จากตาราง 47 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันทั้ง 3 กรณีศึกษาจะพบว่าการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนินมีประโยชน์ที่เห็นเด่นชัดคือใช้จำนวนครั้งของการทดลองที่น้อยกว่าการออกแบบการทดลองมาตรฐาน(แฟคทอเรียล) มาก ซึ่งสำหรับวิธีการออกแบบการทดลองมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)แล้วยังมีจำนวนตัวแปรมากขึ้น จำนวนครั้งของการทดลองยังมีความแตกต่างกันกับวิธีการของไชนินมากขึ้นด้วยและทำให้ต้นทุนจากการทำการทดลองสูงขึ้นตามไปด้วยและวิธีการของไชนินนั้นมีความยุ่งยากซับซ้อนทางการคำนวณสถิติน้อยเมื่อเทียบกับวิธีการออกแบบการทดลองมาตรฐาน(แฟคทอเรียล) แต่ทั้งนี้การออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนินก็ยังมีข้อเสียอยู่คือไม่สามารถคำนวณหาสมการถดถอยได้

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนินจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษาตัวแปร ในกรณีการดำเนินการทดลองไม่สามารถทำการทดลองได้จำนวนมาก และมีจำนวนตัวแปรที่ศึกษาจำนวนมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทดลองแบบคัดเลือก (Screening)

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

1. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยฉบับนี้ได้อธิบายการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนิน โดยอาศัยกรณีศึกษา 3 กรณีศึกษาและได้เปรียบเทียบกับ การออกแบบการทดลองมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) ซึ่งจะสรุปผลการศึกษาของแต่ละกรณีศึกษาได้ ดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1 เป็นการศึกษาตัวแปรของเครื่องปั๊มแม่นยำสูงในกระบวนการการผลิตชิ้นส่วนหน้าจอมือถือ (Backlight) เพื่อทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด ซึ่งค่าตอบสนอง (Y) จะเป็นจำนวนเสียต่อ 100 หน่วย (Percent Defective : Yield) โดยมีตัวแปรทั้งสิ้น 6 ตัว แต่ละตัวมี 2 ระดับ จากนั้นจึงดำเนินการออกแบบการทดลองตามขั้นตอนของไชนิน โดยเรียงตามขั้นตอนคือขั้นตอนที่ 1 Ball Park , ขั้นตอนที่ 2 Separation of important and unimportant factors , ขั้นตอนที่ 3 Capping Run และขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ตัวแปร (Factorial Analysis) ซึ่งจากการดำเนินการครบ 4 ขั้นตอนจึงสรุปผลการศึกษาของการออกแบบการทดลองตามขั้นตอนของไชนิน โดยจะทำการเรียงลำดับตามตัวแปรที่มีความสำคัญมากไปหาน้อยตามวิธีการของไชนินได้คือ 1.ตัวแปร E: ความเร็วส่ง (Speed 2) เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากที่สุดหรือเรียกว่า Red X 2.การเกิดอิทธิพลร่วมของตัวแปร A และ E เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญอันดับ 2 หรือเรียกว่า Pink X 3.ตัวแปร A: ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1) เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญอันดับ 3 หรือเรียกว่า Pale Pink X

หลังจากนั้นจึงดำเนินการทดลองด้วยวิธีแฟคทอเรียล ซึ่งแบ่งออกเป็น 2^k แฟคทอเรียล และ 2^{k-1} แฟคทอเรียล หลังจากนั้นจึงนำผลจากการออกแบบการทดลองทั้ง 3 วิธีมาสรุปเปรียบเทียบกันจะพบว่าทั้ง 3 วิธีได้ข้อสรุปเหมือนกันในเรื่องตัวแปรที่มีนัยสำคัญกับจำนวนเสียต่อ 100 หน่วย (Percent Defective : Yield) คือ ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ A (ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1)) และตัวแปรหรือพารามิเตอร์ E (ความเร็วส่ง (Speed 2)) แต่จะมีความแตกต่างในเรื่องการตั้งค่าพารามิเตอร์คือ ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ A (ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1)) วิธีการของไชนินให้ตั้งค่าไว้ที่ 1006 แต่ วิธีแฟคทอเรียลให้ตั้งค่าไว้ที่ 1002 ดังตาราง 48

ตาราง 48 แสดงการเปรียบเทียบของการตั้งค่าพารามิเตอร์หรือตัวแปรของวิธีไชนินกับแฟคทอเรียล

ตัวแปร(พารามิเตอร์)	ค่าพารามิเตอร์ ที่ตั้งจากวิธีการ ของไชนิน	ค่าพารามิเตอร์ ที่ตั้งจากวิธีการ 2^k แฟคทอเรียล	ค่าพารามิเตอร์ ที่ตั้งจากวิธีการ 2^{k-1} แฟคทอเรียล
A:ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1)	1006	1002	1002
B:ความเร็วส่ง (Speed 1)	-	-	-
C:ค่า (Inverter 1)	-	-	-
D:ความสูงใบมีด (Dept of Cut 2)	-	-	-
E:ความเร็วส่ง (Speed 2)	35	35	35
F:ค่า (Inverter 2)	-	-	-

จากผลการศึกษาและเปรียบเทียบจะทำการสรุปประโยชน์ของการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนินที่เห็นเด่นชัดคือใช้จำนวนครั้งของการทดลองที่น้อยกว่าการออกแบบการทดลองมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)มาก โดยสำหรับกรณีศึกษาที่ 1 นี้การออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนิน จะใช้จำนวนครั้งของการทดลองที่น้อยกว่าวิธีแฟคทอเรียลทั้ง 2 วิธีมาก โดยในกรณีศึกษานี้มีจำนวนครั้งของการทดลอง 17 การทดลอง ขณะที่ 2^6 และ 2^{6-1} ทำซ้ำ 3 ครั้งใช้จำนวนการทดลอง 192 และ 96 ครั้งตามลำดับ และวิธีการของไชนินนั้นมีความยุ่งยากซับซ้อนทางการคำนวณสถิติน้อยเมื่อเทียบกับวิธีการออกแบบการทดลองมาตรฐาน(แฟคทอเรียล) แต่ทั้งนี้การออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนินก็ยังมีข้อเสียอยู่คือไม่สามารถคำนวณหาสมการถดถอยได้

กรณีศึกษาที่ 2 กรณีศึกษานี้เป็นการปรับปริมาณธาตุที่เป็นส่วนผสมทางเคมีของน้ำเหล็กที่ใช้ในการผลิตแท่งเหล็กดิบโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณธาตุที่จะทำให้เกิดความบกพร่องของเหล็กดิบให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด ซึ่งส่งผลให้เหล็กหล่อที่ผลิตจากเหล็กดิบนี้มีค่าความแข็งแรงมากที่สุด ซึ่งค่าตอบสนอง (Y) จะเป็นค่าความแข็งแรงของเหล็กหล่อ โดยจะมีตัวแปรทั้งสิ้น 5 ตัวแต่ละตัวมี 2 ระดับ จากนั้นจึงดำเนินการออกแบบการทดลองตามขั้นตอนของไชนิน โดยเรียงตามขั้นตอนคือขั้นตอนที่1 Ball Park , ขั้นตอนที่2 Separation of important and unimportant factors และขั้นตอนที่3 วิเคราะห์โดยตาราง ANOVA ซึ่งจากการดำเนินการครบ 3 ขั้นตอนจึงสรุปผลการศึกษาของการออกแบบการทดลองตามขั้นตอนของไชนิน โดยจะทำการเรียงลำดับตามตัวแปรที่มีความสำคัญมากไปหาน้อยตามวิธีการของไชนินได้คือ 1.ตัวแปร A: ธาตุคาร์บอน (C) เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากที่สุดหรือเรียกว่า Red X 2.ตัวแปร B:ธาตุแมงกานีส

(Mn) เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญอันดับ 2 หรือเรียกว่า Pink X 3.การเกิดอิทธิพลร่วมของตัวแปร ABD เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญอันดับ 3 หรือเรียกว่า Pale Pink X

หลังจากนั้นจึงดำเนินการทดลองด้วยวิธีแฟคทอเรียล (2^k แฟคทอเรียล) แล้วจึงนำผลจากการออกแบบการทดลองทั้ง 2 วิธีมาสรุปเปรียบเทียบกันจะพบว่าเมื่อผ่านขั้นตอนที่ 2 ของวิธีการไซนิน (Separation of important and unimportant factors) จะได้ผลลัพธ์เหมือนกับวิธี 2^k แฟคทอเรียล คือตัวแปรหรือพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญกับค่าความแข็งแรงของเหล็กกลวด คือ ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ A (ธาตุคาร์บอน (C)) , ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ B (ธาตุแมงกานีส (Mn)), ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ D (ธาตุกำมะถัน (S)) และ ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ E (ธาตุซิลิกอน (Si)) แต่หลังจากผ่านการทำขั้นตอนที่ 3 (วิเคราะห์โดยตาราง ANOVA) แล้วจะเหลือตัวแปรหรือพารามิเตอร์เพียง 3 ตัวเท่านั้น คือ ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ A (ธาตุคาร์บอน (C)) , ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ B (ธาตุแมงกานีส (Mn)) และการเกิดอิทธิพลร่วมของตัวแปร ABD ซึ่งพอสรุปได้ว่าทั้ง 2 วิธีได้ผลลัพธ์คล้ายกันแต่ในกรณีศึกษาวิธีการไซนินจะไม่สามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้เนื่องจากติดข้อจำกัดในเรื่องของตัวแปรที่มีจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีความแตกต่างกับวิธี 2^k แฟคทอเรียลที่มีการทดลองโดยใช้เทคนิควิธีพื้นผิวตอบสนองจึงได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด

จากผลการศึกษาและเปรียบเทียบจะทำการสรุปประโยชน์ของการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไซนินที่เห็นเด่นชัดคือใช้จำนวนครั้งของการทดลองที่น้อยกว่าการออกแบบการทดลองมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)มาก โดยสำหรับกรณีศึกษาที่ 2 นี้การออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไซนิน จะใช้จำนวนครั้งของการทดลองที่น้อยกว่าวิธีแฟคทอเรียลมาก โดยในกรณีศึกษานี้มีจำนวนครั้งของการทดลอง 32 การทดลอง ขณะที่ 2^5 ทำซ้ำ 4 ครั้งใช้จำนวนการทดลอง 128 ครั้ง และวิธีการของไซนินนั้นมีความยุ่งยากซับซ้อนทางการคำนวณสถิติน้อยเมื่อเทียบกับวิธีการออกแบบการทดลองมาตรฐาน(แฟคทอเรียล) แต่ทั้งนี้การออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไซนินก็ยังมีข้อเสียอยู่คือไม่สามารถคำนวณหาสมการถดถอยได้และไม่สามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้เนื่องจากติดข้อจำกัดในเรื่องของตัวแปรที่มีจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีความแตกต่างกับวิธี 2^k แฟคทอเรียลที่มีการทดลองโดยใช้เทคนิควิธีพื้นผิวตอบสนองจึงได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด

กรณีศึกษาที่ 3 กรณีศึกษานี้เป็นการศึกษาการตั้งค่าของเครื่องฟนงานเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการเปลี่ยนสีของแผ่นอลูมินาซึบสเทรท ซึ่งค่าตอบสนอง (Y) จะเป็นค่าจำนวนแผ่นงานแตกร้าว โดยจะมีตัวแปรทั้งสิ้น 5 ตัว แต่ละตัวมี 2 ระดับ จากนั้นจึงดำเนินการออกแบบการทดลองตามขั้นตอนของไซนิน โดยเรียงตามขั้นตอนคือขั้นตอนที่1 Ball Park, ขั้นตอนที่2 Separation of important and unimportant factors , ขั้นตอนที่3 Capping Run และขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ตัวแปร (Factorial Analysis) ซึ่งจากการดำเนินการครบ 4 ขั้นตอนจึงสรุปผลการศึกษาของการออกแบบการทดลองตามขั้นตอนของไซนิน โดยจะทำการเรียงลำดับตามตัวแปรที่มีความสำคัญมากไปหาน้อยตามวิธีการของไซนินได้คือ 1.ตัวแปร E:จำนวนของการวางงานใส่ใน

แมกกาซีน เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากที่สุดหรือเรียกว่า Red X 2. ตัวแปร D: ระดับความโค้งงอของแผ่นอลูมิเนียมซับสเทรท เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญอันดับ 2 หรือเรียกว่า Pink X 3. การเกิดอิทธิพลร่วมของตัวแปร D และ E เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญอันดับ 3 หรือเรียกว่า Pale Pink X

หลังจากนั้นจึงดำเนินการทดลองด้วยวิธีแฟคทอเรียล (2^k แฟคทอเรียล) แล้วจึงนำผลจากการออกแบบการทดลองทั้ง 2 วิธีมาสรุปเปรียบเทียบกันจะพบว่าทั้ง 2 วิธีได้ข้อสรุปคล้ายกันในเรื่องตัวแปรที่มีนัยสำคัญกับจำนวนแผ่นงานแตกร้าซึ่งวิธีการไชนิน คือ ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ E (จำนวนของการวางงานใส่ในแมกกาซีน) และ ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ D (ระดับความโค้งงอของแผ่นอลูมิเนียมซับสเทรท) ส่วนวิธีแฟคทอเรียล (2^k แฟคทอเรียล) จะมีตัวแปรที่มีนัยสำคัญกับจำนวนแผ่นงานแตกร้า 4 ตัวแปร คือ ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ A (ความเร็วของสายพาน), ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ B (ความแรงของลมร้อน), ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ D (ระดับความโค้งงอของแผ่นอลูมิเนียมซับสเทรท) และตัวแปรหรือพารามิเตอร์ E (จำนวนของการวางงานใส่ในแมกกาซีน) โดยในการดำเนินการทดลองด้วยวิธีแฟคทอเรียล (2^k แฟคทอเรียล) ได้มีการใช้เทคนิควิธีพื้นผิวตอบสนองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด จึงทำให้มีความแตกต่างกันในเรื่องการตั้งค่าพารามิเตอร์ ดังแสดงในตาราง 49

ตาราง 49 แสดงการเปรียบเทียบของการตั้งค่าพารามิเตอร์หรือตัวแปรของวิธีไชนินกับแฟคทอเรียล

ตัวแปร(พารามิเตอร์)	ค่าพารามิเตอร์ ที่ตั้งจากวิธีการ ของไชนิน	ค่าพารามิเตอร์ ที่ตั้งจากวิธีการ 2^k แฟคทอเรียล
A: ความเร็วของสายพาน	-	50.92
B: ความแรงของลมร้อน	-	60
C: อุณหภูมิ	-	60
D: ระดับความโค้งงอของแผ่น อลูมิเนียมซับสเทรท	80	80
E: จำนวนของการวางงานใส่ใน แมกกาซีน	300	300

จากผลการศึกษาและเปรียบเทียบจะทำการสรุปประโยชน์ของการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนินที่เห็นเด่นชัดคือใช้จำนวนครั้งของการทดลองที่น้อยกว่าการออกแบบการทดลองมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)มาก โดยสำหรับกรณีศึกษาที่ 3 นี้การออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนิน จะใช้จำนวนครั้งของการทดลองที่น้อยกว่าวิธีแฟคทอเรียลมาก โดยในกรณีศึกษานี้มีจำนวนครั้งของการทดลอง 15 การทดลอง ขณะที่ 2^5 ทำซ้ำ 2 ครั้งใช้จำนวนการทดลอง 64 ครั้ง

และวิธีการของไชนินั้นมีความยุ่งยากซับซ้อนทางการคำนวณสถิติน้อยเมื่อเทียบกับวิธีการออกแบบการทดลองมาตรฐาน(แฟคทอเรียล) แต่ทั้งนี้การออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนินก็ยังมีข้อเสียอยู่คือไม่สามารถคำนวณหาสมการถดถอยได้และไม่สามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้เนื่องจากติดข้อจำกัดในเรื่องของตัวแปรที่มีจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีความแตกต่างกับวิธี 2^k แฟคทอเรียลที่มีการทดลองโดยใช้เทคนิควิธีพื้นผิวตอบสนองจึงได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด

ดังนั้นจากกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณีศึกษา จึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อจำนวนตัวแปรในการทดลองมีมากขึ้น จำนวนครั้งของการทดลองของทั้งวิธีการไชนินและวิธีแฟคทอเรียลยังมีความแตกต่างกันมากขึ้น ซึ่งผู้วิจัยจึงเสนอว่าการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของไชนินจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษาตัวแปร ในกรณีการดำเนินการทดลองที่ไม่สามารถทำการทดลองได้จำนวนมากหรือมีข้อจำกัดทั้งด้านค่าใช้จ่าย ต้นทุน หรือทรัพยากรที่มีอยู่ และมีจำนวนตัวแปรที่ศึกษาจำนวนมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทดลองแบบคัดเลือก (Screening) และสามารถกำหนดแนวทางในการประยุกต์หลักการค้นหาตัวแปรของไชนินเป็น 3 ขั้นตอนหลักดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 วางแผนการทดลองและการเตรียมอุปกรณ์ที่ต้องใช้สำหรับการทดลองโดยเริ่มจากขั้นตอน ดังนี้

- กำหนดปัญหา (Define the problem) ซึ่งปัญหาที่มีขอบเขตชัดเจนจะช่วยทำให้การกำหนดตัวแปรที่ต้อง เพื่อให้สามารถตอบคำถามได้ตามที่ต้องการ
- กำหนดวัตถุประสงค์ (Define the objective) การกำหนดวัตถุประสงค์ที่ชัดเจนจะทำให้มั่นใจได้ว่าการทดลองที่จะทำนั้นสามารถตอบคำถามได้ตรง และสาระข้อมูลที่จะได้มานี้ใช้ได้จริง
- การเตรียมทรัพยากร เช่น บุคคลที่จะเป็นผู้ควบคุมการทดลอง หรือ ช่วงระยะเวลาที่จะทำการทดลอง รวมไปถึงสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่จะทำการทดลอง เพื่อจะช่วยให้เตรียมอุปกรณ์ในการอำนวยความสะดวกในการวัดค่าจากการทดลองได้อย่างพร้อมเพรียงซึ่งวิธีการของไชนินนั้นจะมีข้อดีตรงที่สามารถทำการทดลองในขณะที่ทำการผลิตจริงได้เลย (Online Process)

ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบการทดลอง ตาม 4 ขั้นตอน ดังนี้

- Ball Park ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ไว้ที่ค่าที่ดีที่สุดแล้วเก็บข้อมูลจากการทดลอง 3 ครั้ง จากนั้นให้ตั้งค่าพารามิเตอร์ไว้ที่ค่าที่แย่ที่สุดแล้วเก็บข้อมูลจากการทดลองมาอีก 3 ครั้ง แล้วจึงคำนวณหาอัตราส่วน $D:d$ เพื่อพิจารณาว่าตัวแปรที่คัดเลือกมามีตัวแปรที่มีนัยสำคัญหรือไม่

- Separation of important and unimportant factors เป็นการทดลองตัวแปรทีละคู่ เช่น ตัวแปรที่ 1 ตั้งค่าเป็นค่าที่ดีที่สุดแล้วให้ตัวแปรที่เหลือเป็นค่าที่แย่ที่สุด จากนั้นทำสลับไปในทุกๆตัวแปรแล้วเก็บข้อมูลจากการทดลองมาเทียบกับกราฟ Decision Limit เพื่อพิจารณาว่าตัวแปรใดที่มีนัยสำคัญต่อค่าตอบสนองจริงๆ

- Capping Run เป็นการยืนยันผลว่าตัวแปรที่ได้คัดกรองจากขั้นตอน Separation of important and unimportant factors นั้นมีนัยสำคัญจริงๆ โดยกำหนดให้ตัวแปรที่ถูกคัดกรองมาเป็นค่าที่ดีที่สุดส่วนตัวแปรที่เหลือให้เป็นค่าที่แย่ที่สุด แล้วทำการทดลองอีกรอบโดยให้ตัวแปรที่ถูกคัดกรองมาเป็นค่าที่แย่ที่สุดส่วนตัวแปรที่เหลือให้เป็นค่าที่ดีที่สุดแล้วเก็บข้อมูลจากการทดลองมาเทียบ

กับกราฟ Decision Limit เพื่อยืนยันว่าตัวแปรที่ผ่านการคัดกรองมาแล้วมีนัยสำคัญต่อค่าตอบสนองจริง ๆ

- Factorial Analysis วิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญเพื่อหาว่าตัวแปรตัวใดมีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองที่รุนแรงที่สุดและน้อยที่สุด โดยจะจัดทำกราฟอิทธิพลหลัก (Main Effect Plot) และกราฟอิทธิพลร่วม (Interaction Plot) เพื่อช่วยในการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ค่าตอบสนองเป็นค่าที่ดีที่สุด

ขั้นตอนที่ 3 สรุปผลจากการทดลอง หลังจากได้ตัวแปรที่มีอิทธิพลกับค่าตอบสนองก็จะสามารถสรุปได้จากกราฟอิทธิพลหลัก (Main Effect Plot) กราฟอิทธิพลร่วม (Interaction Plot) ได้ว่าจะตั้งค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญไว้ที่เท่าใดจึงจะทำให้ค่าตอบสนองเป็นค่าที่ดีที่สุดตามวัตถุประสงค์ของการทดลองที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1

2. ข้อเสนอแนะ

ในการทำการวิจัยครั้งนี้ต่อไปผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

2.1 ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้กรณีศึกษาที่มีตัวแปรจำนวน 6 ตัวแปร ในกรณีศึกษาที่ 1 และ 5 ตัวแปรสำหรับกรณีศึกษาที่ 2 และ 3 ซึ่งสำหรับหลักการค้นหาตัวแปรของการออกแบบการทดลองของไซนินั้นในทางทฤษฎีสามารถวิเคราะห์ได้ถึง 20 ตัวแปร ผู้วิจัยจึงเสนอแนะว่าหากผู้ที่ได้นำหลักการค้นหาตัวแปรของการออกแบบการทดลองของไซนินไปใช้น่าจะลองใช้กับกรณีที่มีตัวแปรจำนวนมากกว่างานวิจัยฉบับนี้ได้

2.2 ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้กรณีศึกษาที่มาจากอุตสาหกรรมที่แตกต่างกัน 3 อุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของหลักการออกแบบการทดลองว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับอุตสาหกรรมที่หลากหลายแต่เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องการหากรณีศึกษาจากอุตสาหกรรมอื่นๆและในประเทศไทยยังมีอุตสาหกรรมอีกหลากหลาย ผู้วิจัยจึงขอเสนอแนะว่าน่าจะลองนำหลักการค้นหาตัวแปรไปใช้กับอุตสาหกรรมที่แตกต่างจากกรณีศึกษาของผู้วิจัยเพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นให้กับหลักการค้นหาตัวแปรให้มากขึ้นอีก

2.3 เนื่องด้วยหลักการค้นหาตัวแปรนั้นผู้ที่ทำการออกแบบการทดลองเป็นผู้ที่คลุกคลีอยู่ในงานนั้นๆพอสมควรจึงเป็นข้อจำกัดข้อหนึ่งสำหรับผู้ที่ไม่มีความสามารถในการอยู่ในงานประเภทนั้นๆเนื่องจากจะยากในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ว่าค่าใดจึงเป็นค่าที่ดีที่สุด (Best) หรือปรับค่าพารามิเตอร์ไว้ที่ค่าใดจึงเป็นค่าที่แย่ (Marginal)

2.4 ในงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบการออกแบบการทดลองมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) กับหลักการค้นหาตัวแปรของไซนินซึ่งจะมีเพียงกรณีศึกษาที่ 1 กรณีเดียวเท่านั้นที่ผู้วิจัยได้เพิ่มการเปรียบเทียบกับการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^{k-p} (Fractional Factorial Design 2^{k-p}) ดังนั้นจึงอาจจะผู้ที่สนใจในงานวิจัยนี้อาจนำไปลองเปรียบเทียบกับ การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^{k-p} (Fractional Factorial Design 2^{k-p}) ในกรณีศึกษาที่มาจากอุตสาหกรรมประเภทต่างๆได้ เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นว่านอกจากหลักการ

ค้นหาตัวแปรของไซนินจะใช้จำนวนครั้งในการทดลองที่น้อยกว่าการออกแบบการทดลองมาตรฐาน (แฟคทอเรียล)แล้ว ยังใช้จำนวนครั้งในการทดลองที่น้อยกว่าการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^{k-p} (Fractional Factorial Design 2^{k-p}) อีกด้วย

2.5 การออกแบบการทดลองวิธีการของไซนินเหมาะสำหรับผู้ที่มีข้อจำกัดต่างๆ เช่นด้านค่าใช้จ่าย ต้นทุนน้อย หรือทรัพยากรที่มีอยู่ เวลา และหน่วยทดลองที่ไม่เพียงพอ





บรรณานุกรม

- นวลลออ พรรณเรืองรอง. (2551). การวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อลดการแตกตัวของแผ่นอลูมินา
ชั้นสเทรทโดยเทคนิคการออกแบบการทดลอง. การค้นคว้าแบบอิสระ วท.ม.
(การจัดการอุตสาหกรรม). เชียงใหม่: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
ถ่ายเอกสาร.
- บุญชัย อารยสนองกุล. (2550). การเพิ่มประสิทธิผลของเครื่องปั๊มแม่เหล็กด้วยวิธีการออกแบบ
การทดลอง. สารนิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม). กรุงเทพฯ:
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ถ่ายเอกสาร.
- ปารเมศ ชุตินา. (2545). การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิชิต สุขเจริญพงษ์. (2550). เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่อง Shainin DOE : เทคนิคของไชนิน
สำหรับการออกแบบการทดลองเพื่อการปรับปรุงคุณภาพ. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริม
เทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น).
- อัญธิมา เสนหา. (2551). การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการวางแผนการทดลอง
แบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลและการวางแผนการทดลองแบบเต็มเชิงแฟคทอเรียล.
การศึกษาอิสระ วท.ม. (สถิติประยุกต์). ขอนแก่น: บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ถ่ายเอกสาร.
- วีรเทพ เจริญสมิทธิ์ชัย. (2550). การศึกษาปริมาณธาตุที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก
ดิบโดยวิธีการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ).
กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
ถ่ายเอกสาร.
- Anand, K.Bewoor.; & Maruti,S.Pawar. (2010). Use Of Shainin Tools For Simplifying Six
Sigma Implementation In QMS/ISO Certified Environment – An Indian SME Case
Study. *Journal of Engineering Research and Studies*. 1: 177-194.
- Andrew, thomas.; & Jiju,Anthony. (2004). Applying Shainin's variables search methodology
in aerospace applications. *Assembly Automation*. 24: 184-191.
- Bhote, K. (2000). *World Class Quality : Using Design of Experiments to Make It Happen*.
New York: Amacom
- De Mast, J. (2004). A methodological comparison of three strategies for quality
improvement. *International Journal of Quality and Reliability Management*.
21: 198-213.

- Dowlatshai, Shad. (2004). An application of design of experiments for optimization of plastic injection molding processes. *Journal of Manufacturing Technology Management*. ISSN 1741-038X DOI 10.1108/17410380410547852.
- 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.
- Martin, Tanco.; Elisabeth, Viles.; & Lourdes, Pozueta. (2008). Are All Designs of Experiments Approaches Suitable for Your Company?. *Proceedings of the World Congress on Engineering*. ISSN 978-988-17012-3-7.
- 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.
- Verma.; A.K., Srividya.; A., Mannikar.; A.V., Pankhawala.; V.A. & Rathanraj, K.J.. (2004, Oct). Shainin method: edge over other DOE techniques. *Engineering Management Conference*. 3: 1110-1113.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
แบบฟอร์มที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของหลักการค้นหาตัวแปรของไชนิน



Ball Park

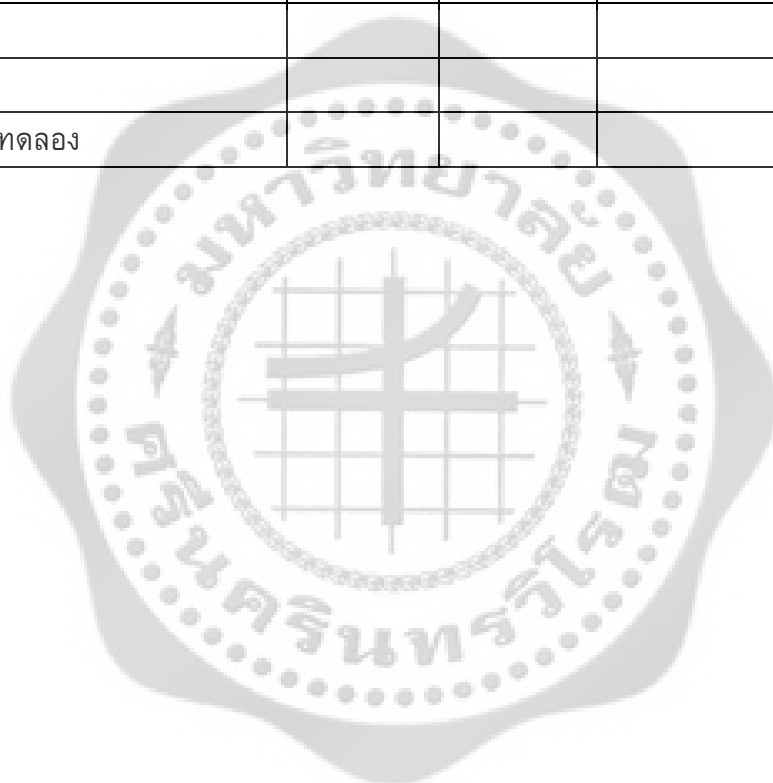
พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	Low (-) Marginal level	High (+) Best level	
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
ผลการทดลองครั้งที่ 1			
ผลการทดลองครั้งที่ 2			
ผลการทดลองครั้งที่ 3			

Separation of important and unimportant factors

Test	Combination	Results	Median	Decision Limits	สรุป
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Capping Run

พารามิเตอร์	การทดลองครั้งที่		หน่วย
	1	2	
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
ผลการทดลอง			



ตารางเมทริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณหา **Main Effect** และ **Interaction**
 ในขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวแปร (Factorial Analysis)

	ตัวแปร ... (Best)	ตัวแปร ... (Marginal)
ตัวแปร ... (Best)	Median=	Median=
ตัวแปร ... (Marginal)	Median=	Median=



ภาคผนวก ข

แบบฟอร์มที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของการออกแบบการทดลองด้วยวิธีแฟคทอเรียล



ภาคผนวก ค
ตารางเปรียบเทียบ 3 กรณีศึกษา

ตารางสรุปเปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองด้วยหลักการค้นหาตัวแปรของไชนินกับ
วิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน(แฟคทอเรียล) จากกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณีศึกษา

หัวข้อ	กรณีศึกษาที่ 1		กรณีศึกษาที่ 2		กรณีศึกษาที่ 3	
	หลักการ ค้นหาตัว แปร	การออกแบบ การทดลอง แบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล)	หลักการ ค้นหาตัว แปร	การออกแบบ การทดลอง แบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล)	หลักการ ค้นหาตัว แปร	การออกแบบ การทดลอง แบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล)
จำนวนครั้งของการ ทดลอง	น้อย (17 ครั้ง)	มาก (192 ครั้ง)	น้อย (32 ครั้ง)	มาก (128 ครั้ง)	น้อย (15 ครั้ง)	มาก (64 ครั้ง)
ต้นทุนที่ใช้ในการ ทดลอง	ต่ำ	สูง (ตามจำนวน ครั้งของการ ทดลอง)	ต่ำ	สูง (ตาม จำนวนครั้งของ การทดลอง)	ต่ำ	สูง (ตาม จำนวนครั้งของ การทดลอง)
สมการถดถอย	ไม่มี	มี	ไม่มี	มี	ไม่มี	มี
ความยุ่งยากซับซ้อน	น้อย	มาก	น้อย	มาก	น้อย	มาก



ภาคผนวก ง
อภิธานศัพท์

อภิธานศัพท์

Rule of Thumb : หลักการกำปั้นทุบดิน

GreenY : ตัวแปรตอบสนอง

RedX : ตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุด

PinkX : ตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุดอันดับ 2

PalePinkX : ตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุดอันดับ 3 ตามลำดับ

Variables Search Method : หลักการค้นหาตัวแปร

Ball Park : การทดสอบเบื้องต้นว่าตัวแปรที่เลือกมาทำการทดลองมีตัวใดตัวหนึ่งที่มี
นัยสำคัญหรือไม่

Separation of important and unimportant factors : การคัดแยกตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญออกจาก
ตัวแปรที่มีนัยสำคัญ

Capping Run (Verification) : การยืนยันว่าตัวแปรที่ผ่านการคัดแยกมาแล้วมีความนัยสำคัญจริง ๆ

Factorial Analysis : การวิเคราะห์หาค่าที่ดีที่สุดของตัวแปรที่ทำให้คุณภาพสินค้าดีที่สุด

Best Level : ค่าที่ดีที่สุดของตัวแปร

Marginal Level : ค่าที่แย่ที่สุดของตัวแปร

All best : การตั้งค่าของตัวแปรทุกตัวที่จะทำการทดลองไว้ที่ค่าที่ดีที่สุด

All marginal : การตั้งค่าของตัวแปรทุกตัวที่จะทำการทดลองไว้ที่ค่าที่แย่ที่สุด

Decision Limits (High sides) : ขอบเขตการตัดสินใจด้านบน

Decision Limits (Low sides) : ขอบเขตการตัดสินใจด้านล่าง

Main Effect : อิทธิพลหลัก

Interaction Effect : อิทธิพลร่วม

Analysis Of Variance(ANOVA) : การวิเคราะห์ความแปรปรวน

Experiment Number : ลำดับที่ในการทดลอง

Result : ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง

Output : ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง

Screening : การทดลองแบบคัดเลือก

Replicate : การทดลองซ้ำ

ภาคผนวก จ

บทความที่ใช้หลักการค้นหาตัวแปรของไชนิที่ถูกนำไปตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการ

การประชุมวิชาการด้านการพัฒนาการดำเนินงานทางอุตสาหกรรมแห่งชาติ ครั้งที่ 2 (CIOD 2011)

11 – 12 พฤษภาคม 2554 ณ โรงแรมพิน ทาวเวอร์ส กรุงเทพฯ

การประยุกต์และเปรียบเทียบการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการไชนิน กับวิธีการแฟคทอเรียล

ยศวัจน์ ศิริกมลชัย¹ ทศพล เกียรติเจริญผล²

¹การจัดการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นครนายก 26120

²วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นครนายก 26120

E-mail: yossawaj@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองวิธีการไชนินและเปรียบเทียบกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) โดยวิเคราะห์จากกรณีศึกษา 3 กรณีศึกษา ซึ่งผลการทดลองพบว่า หลักการค้นหาตัวแปรของไชนินสามารถวิเคราะห์ได้ผลลัพธ์เหมือนกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) และใช้จำนวนครั้งของการทดลองที่น้อยกว่ามาก ซึ่งมีประโยชน์ในเรื่องการประหยัดต้นทุนในการทำทดลองและเป็นทางเลือกหนึ่งของการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลอง ในกรณีที่มีตัวแปรที่ศึกษาจำนวนมาก

คำสำคัญ การออกแบบการทดลอง, วิธีการไชนิน

Full Factorial ซึ่งนอกเหนือจากวิธีที่กล่าวมาแล้วยังมีเทคนิคที่เรียกว่าหลักการค้นหาตัวแปรซึ่งเป็นเครื่องมือหนึ่งในการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของไชนินโดยวิธีการนี้ถูกพัฒนาโดย โดเรียน ไชนิน เทคนิคนี้เป็นเทคนิคในการเก็บข้อมูลอย่างง่ายแต่ให้ประสิทธิภาพสูง และไม่จำเป็นต้องพึ่งหลักการทางสถิติที่ซับซ้อนมาก ทั้งยังเป็นวิธีการที่มีกระบวนการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบเป็นขั้นเป็นตอน และได้รับการพิสูจน์ว่าสามารถประยุกต์ใช้ได้กับอุตสาหกรรมต่างๆ ได้เป็นอย่างดี[1] โดยงานวิจัยนี้จะทำการสร้างกรณีศึกษา การออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ (Full Factorial) และนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการของไชนิน , วิธีการ 2^k และ 2^{k-1} และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการค้นหาตัวแปร(Variables Search Method)

หลักการค้นหาตัวแปรมีประโยชน์เมื่อมีจำนวนตัวแปร ≥ 4 ตัวขึ้นไปซึ่งไชนินให้คำแนะนำของตัวแปรที่มีความสำคัญมากที่สุดว่า Red X และตัวแปรที่มีความสำคัญอันดับที่ 2 ว่า Pink X และถัดมาเป็น Pale Pink X และเรียกตัวแปรตอบสนองว่า Green Y [2] หลักการค้นหาตัวแปรแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 Ball Park มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดตัวแปรและค่าที่ถูกต้องในแต่ละการทดลองโดยเริ่มจากการเลือก Green Y ที่ใช้ในการวัดคุณภาพและกำหนดตัวแปรที่คาดว่าจะมีผลต่อคุณภาพสินค้าจากนั้นกำหนดค่าให้ตัวแปรเพื่อการทดลอง โดยแบ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดและค่าที่แย่ที่สุด

1. บทนำ

การออกแบบการทดลองมี 4 ขั้นตอน คือ การวางแผน การคัดเลือก การหาค่าที่ดีที่สุด และการทวนสอบ ซึ่งงานด้านพัฒนากระบวนการและงานด้านการผลิตส่วนใหญ่มักจะมีตัวแปรจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะมีส่วนในการปรับปรุง การคัดเลือกเป็นการลดจำนวนตัวแปรเหล่านี้ให้มีจำนวนน้อยลง ซึ่งจะช่วยให้เราสามารถที่จะพิจารณาเฉพาะที่ตัวแปรที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเท่านั้นได้ โดยมีอยู่หลายวิธีที่มักจะทำให้ใช้ในการคัดเลือก เช่น วิธี Two-Level Full วิธี Fractional Factorial วิธี Plackett-Burman วิธีการทดสอบเรื่องความแกร่ง (Robustness) วิธี General

และประเมินหาแนวโน้มอย่างคร่าวๆ โดยการทดลอง 2 ครั้ง ในครั้งแรกจะปรับค่าของตัวแปรที่ค่าที่ดีที่สุด ครั้งที่สองจะปรับค่าของตัวแปรที่ค่าที่แย่ที่สุดและในการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 จะทำซ้ำในการทดลองนั้นอย่างละ 2 ซ้ำ จากนั้นทำการทดสอบนัยสำคัญโดยคำนวณอัตราส่วน $D : d$ ซึ่งต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 1.25:1 (D คือ ผลต่างระหว่างค่ามัธยฐานของผลการทดลองทั้ง 3 ครั้ง จากการปรับตัวแปรไว้ที่ค่าที่ดีที่สุดและค่ามัธยฐานของผลการทดลองทั้ง 3 ครั้ง จากการปรับตัวแปรไว้ที่ค่าที่แย่ที่สุด) ในขณะที่ยัง d คือ ค่าเฉลี่ยของผลรวมของผลต่างของพิสัยของผลการทดลองทั้ง 3 ครั้งจากการปรับตัวแปรไว้ที่ค่าที่ดีที่สุดและผลต่างของพิสัยของผลการทดลองทั้ง 3 ครั้งจากการปรับตัวแปรไว้ที่ค่าที่แย่ที่สุด) จึงถือว่า ขั้นตอนที่ 1 เสร็จสิ้น แสดงว่าตัวแปรที่เลือกไว้ถูกต้องแล้ว

ขั้นตอนที่ 2 Separation of Important and Unimportant Factors มีวัตถุประสงค์เพื่อแยกตัวแปรที่สำคัญออกจากตัวแปรที่ไม่สำคัญ โดยเริ่มจากการทดลองโดยการสลับค่าตัวแปรทีละคู่ แล้วคำนวณค่าสูงสุด, ค่าสุดของขอบเขตการตัดสินใจ (Decision Limits (High sides)) และ Decision Limits (Low sides)) โดยใช้สูตร $median \pm 2.776 d / 1.81$

ขั้นตอนที่ 3 Capping Run มีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันตัวแปรที่สำคัญโดยทดสอบยืนยันผลของตัวแปรและ Interaction ด้วยการสลับค่าของตัวแปร เช่น $A_0B_0R_0$ และ $A_0B_0R_0$ แล้ววัดค่า Green Y ออกมา

ขั้นตอนที่ 4 Factorial Analysis มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาค่าของปัจจัยสำคัญที่จะทำให้คุณภาพสินค้าดีที่สุด โดยการหา Main และ Interaction Effect [3]

2.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่ใช้มากที่สุดคือ กรณีที่มีตัวแปร k ตัวซึ่งแต่ละตัวแปรประกอบด้วย 2 ระดับ เราเรียกการออกแบบลักษณะนี้ว่า การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k (Full Factorial Designs at Two Levels) โดย k = จำนวนตัวแปรที่สนใจศึกษาและ 2 คือ ระดับของตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

3.กรณีศึกษา

3.1 กรณีศึกษาที่ 1

เป็นการศึกษาตัวแปรของเครื่องปั๊มแม่นยำสูงในกระบวนการการผลิตชิ้นส่วนหน้าจอดีเพื่อทำให้ของเสียน้อยที่สุด ซึ่งค่าตอบสนอง (Y) คือจำนวนเสีย:100 หน่วย โดยมีตัวแปร 6 ตัวแบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือค่าระดับที่ต่ำและสูง ตามตารางที่ 1 [4]

ตารางที่ 1. ระดับของตัวแปรทั้ง 6 ตัว

พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	Low (-)	High (+)	
A:ความสูงใบมีด 1	1002	1006	mm
B:ความเร็วสูง 1	15	30	M./Min.
C:ค่า Inverter 1	115	150	n/a
D:ความสูงใบมีด 2	990	995	mm
E:ความเร็วสูง 2	30	35	M./Min.
F:ค่า Inverter 2	115	150	n/a

3.1.1 ดำเนินการทดลองตามหลักการค้นหาตัวแปร

ขั้นตอนที่ 1 Ball Park จากการทดลอง 3 ครั้งเมื่อปรับตัวแปรเป็นค่าที่ดีที่สุด (ปรับพารามิเตอร์ทุกตัวไว้ที่ระดับ High(+)) และ 3 ครั้งเมื่อปรับตัวแปรเป็นค่าที่แย่ที่สุด (ปรับพารามิเตอร์ทุกตัวไว้ที่ระดับ Low(-)) แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2. Ball Park

Stage	ค่าของตัวแปรที่ดีที่สุด	ค่าของตัวแปรที่แย่ที่สุด
เริ่มต้น	4	25
ทำซ้ำครั้งที่ 1	9	16
ทำซ้ำครั้งที่ 2	2	17

คำนวณหาค่า D และ d โดย $D = 17 - 4 = 13$ และ $d = ((9 - 2) + (25 - 16)) / 2 = 8$ ดังนั้น $D : d = 13 : 8 = 1.63 : 1$ จึงสรุปได้ว่าตัวแปรที่เลือกไว้อย่างน้อย 1 ตัวแปรมีนัยสำคัญ

ขั้นตอนที่ 2 Separation of Important and Unimportant Factors ทำการทดลองสลับค่าตัวแปรทีละคู่ เริ่มจากการกำหนดให้ตัวแปร A เป็นค่า Marginal (ค่าที่แย่ที่สุด, ระดับ Low(-)) และตัวแปรที่เหลือเป็น Best (ค่าที่ดีที่สุด, ระดับ High(+)) ทั้งหมดแล้วเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้น จากนั้นกำหนดให้ตัวแปร A เป็นค่า Best และตัวแปรที่เหลือเป็น Marginal ทั้งหมดแล้วเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นทำแบบนี้กับตัวแปรที่เหลือไปจนครบแล้วนำ

การประชุมวิชาการด้านการพัฒนาการดำเนินงานทางอุตสาหกรรมแห่งชาติ ครั้งที่ 2 (CIOD 2011)

11 - 12 พฤษภาคม 2554 ณ โรงแรมทวิน ทาวเวอร์ส กรุงเทพฯ

ข้อมูลของเสียมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ Decision Limit โดยคำนวณขอบเขตการตัดสินใจ คือ Decision Limits (Low sides) = median(marginal) $\pm$ 2.776 $\bar{d}$ / 1.81 = 4.73 ถึง 29.27 และ Decision Limits (High sides) = median(best) $\pm$ 2.776 $\bar{d}$ / 1.81 = -8.27 ถึง 16.37 ซึ่งจากผลการทดลองตัวแปร B,C,D,F มีผลลัพธ์ที่อยู่ใน Decision Limits หมายความว่าตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญ ส่วนตัวแปร A และ E มีผลลัพธ์อยู่นอกเหนือจาก Decision Limits จึงหมายความว่าตัวแปร A และ E มีนัยสำคัญ

ขั้นตอนที่ 3 Capping Run ทำการสลับค่าของตัวแปรซึ่งกรณีศึกษาตัวแปร A และ E มีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงกำหนดให้ตัวแปร A และ E เป็นค่า Best และตัวแปรที่เหลือเป็น Marginal ทั้งหมดแล้วจึงเก็บข้อมูลของเสีย จากนั้นจึงกำหนดให้ตัวแปร A และ E เป็นค่า Marginal และตัวแปรที่เหลือเป็น Best ทั้งหมดแล้วจึงเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นซึ่งแสดงผลในตารางที่ 3

ตารางที่ 3. Capping Run

Combination	Results	Median	Decision Limits	สรุป
A ₀ E ₀ R _u	1	4	-8.27to16.27	AE Interaction มีความสำคัญ
A ₀ E ₀ R ₀	24	17	4.73to29.27	

จากการทำ Capping Run พบว่าตัวแปร A และ E เป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญและอาจมีความสัมพันธ์ร่วม (Interaction effect)

ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์ตัวแปร นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองบันทึกลงในตารางแล้วคำนวณค่ามัธยฐานจากนั้นคำนวณหาค่าอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4. การวิเคราะห์ตัวแปร

	A Best		A Marginal		
E Best	9	13	19		11+9.5=20.5
	4	14			
	2	13			
	1	16			
	Median = 11		Median = 9.5		
E Marginal	4	25	24		13.5+16.5=20
	23	17	9		
		16	15		
		24	9		
	Median = 13.5		Median = 16.5		
9.5+13.5=23		11+13.5=24.5		9.5+16.5=26	
				11+16.5=27.5	

$\text{Main Effect A} = (26-24.5)/2 = 0.75$

$$\text{Main Effect A} = (26-24.5)/2 = 0.75$$

$$\text{Main Effect E} = (30-20.5)/2 = 4.75$$

$$\text{AE Interaction} = (27.5-23)/2 = 2.25$$

จากตารางสรุปได้ว่าตัวแปร E มีความสำคัญมากที่สุด (Red X) ซึ่งดูผลลัพธ์จากการคำนวณได้คือ 4.75 และตัวแปรที่มีความสำคัญอันดับ 2 คือการเกิดอิทธิพลร่วมกันระหว่างตัวแปร A และ E (Pink X) โดยมีผลลัพธ์จากการคำนวณเท่ากับ 2.25 และตัวแปรที่มีความสำคัญเป็นอันดับสุดท้ายคือ ตัวแปร A (Pale Pink X) โดยมีผลลัพธ์จากการคำนวณเท่ากับ 0.75

3.1.2 ดำเนินการทดลองโดยใช้ 2^k Full Factorial Design และ 2^{k-1} Fractional Factorial Design

รูปแบบการทดลองเป็นแบบ 2⁶ แต่ละครั้งของการทดลองมีการทำซ้ำ 3 ซ้ำ และทำการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนของแฟคทอเรียล (2⁶⁻¹) ได้รูปแบบการทดลองเป็น 2⁶⁻¹ แต่ละครั้งของการทดลอง มีการทำซ้ำ 3 ซ้ำดำเนินการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยโปรแกรม Minitab และทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 พบว่าตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนหน้าจอมือถือมี 2 ตัวแปรคือความสูงใบมีด 1 (A) และความเร็วส่ง 2 (E)

3.2 กรณีศึกษาที่ 2

เป็นการปรับปริมาณธาตุที่เป็นส่วนผสมทางเคมีของน้ำเหล็กที่ใช้ในการผลิตแท่งเหล็กดิบ ซึ่งค่าตอบสนอง (Y) คือค่าความแข็งแรงของเหล็กหล่อ โดยมีตัวแปร 5 ตัว แบ่งออกเป็น 2 ระดับคือค่าระดับที่ต่ำและสูง ตามตารางที่ 5 [5]

ตารางที่ 5. ระดับของตัวแปรทั้ง 5 ตัว

พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	Low (-)	High (+)	
A:ธาตุคาร์บอน (C)	0.15	0.2	%/kg
B:ธาตุแมงกานีส (Mn)	0.3	0.6	%/kg
C:ธาตุฟอสฟอรัส (P)	0.01	0.04	%/kg
D:ธาตุกำมะถัน (S)	0.01	0.05	%/kg
E:ธาตุซิลิกอน (Si)	0.04	0.5	%/kg

3.2.1 ดำเนินการทดลองตามหลักการคั่นหาตัวแปร

ขั้นตอนที่ 1 Ball Park จากการทดลอง 3 ครั้งเมื่อปรับตัวแปรเป็นค่าที่ดีที่สุด(ปรับพารามิเตอร์ทุกตัวไว้ที่ระดับ High(+)) และ 3 ครั้งเมื่อปรับตัวแปรเป็นค่าที่แย่ที่สุด(ปรับพารามิเตอร์ทุกตัวไว้ที่ระดับ Low(-))แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6. Ball Park

Stage	ค่าของตัวแปรที่ดีที่สุด	ค่าของตัวแปรที่แย่ที่สุด
เริ่มต้น	51.21	51.95
ทำซ้ำครั้งที่ 1	49.85	52.27
ทำซ้ำครั้งที่ 2	50.41	51.86

คำนวณหาค่า D และ $\bar{d}$ โดย $D = 51.95 - 50.41 = 1.54$ และ $\bar{d} = ((51.21 - 49.85) + (52.27 - 51.86)) / 2 = 0.885$

ดังนั้น $D : \bar{d} = 1.54 : 0.885 = 1.74 : 1$ สรุปได้ว่าตัวแปรที่เลือกไว้อย่างน้อย 1 ตัวแปรมีนัยสำคัญ

ขั้นตอนที่ 2 Separation of Important and Unimportant Factors ทำการสลับค่าตัวแปรทีละคู่ เริ่มจากกำหนดให้ตัวแปร A เป็นค่า Marginal (ค่าที่แย่ที่สุด, ระดับ Low(-)) และตัวแปรที่เหลือเป็น Best (ค่าที่ดีที่สุด, ระดับ High(+)) แล้วเก็บข้อมูลค่าความแข็งแรงของเหล็กกล้าจากนั้นกำหนดให้ตัวแปร A เป็นค่า Best และตัวแปรที่เหลือเป็น Marginal ทั้งหมดแล้วเก็บข้อมูลค่าความแข็งแรงของเหล็กกล้าแล้วทำแบบนี้กับตัวแปรที่เหลือไปจนครบแล้วนำข้อมูลค่าความแข็งแรงของเหล็กกล้ามาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ Decision Limit โดยคำนวณขอบเขตการตัดสินใจ คือ Decision Limits (Low sides) = median(marginal) $\pm 2.776 \bar{d} / 1.81 = 50.59$ ถึง 53.31 และ Decision Limits (High sides) = median(best) $\pm 2.776 \bar{d} / 1.81 = 49.05$ ถึง 51.77 ซึ่งจากผลการทดลองตัวแปร C มีผลลัพธ์ที่อยู่ใน Decision Limits หมายความว่าตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญ ส่วนตัวแปร A,B,D และ E มีผลลัพธ์อยู่นอกเหนือจาก Decision Limits จึงหมายความว่าตัวแปร A,B,D และ E มีนัยสำคัญ

ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์ด้วยวิธี ANOVA ของตัวแปรที่เหลือ A,B,D และ E เพื่อหาว่าตัวแปรทั้ง 4 ตัวแปรใดที่เป็น Red X, Pink X และ Pale Pink X โดยจากกรณีศึกษาสามารถสรุป

ได้ว่า ตัวแปรที่เป็น Red X คือ A ตัวแปรที่เป็น Pink X คือ B และตัวแปรที่เป็น Pale Pink X คือ ABD

3.2.2 ดำเนินการทดลองโดยใช้ 2^k Full Factorial Design

รูปแบบการทดลองเป็นแบบ 2^5 การทดลองมีการทำซ้ำ 4 ซ้ำ ดำเนินการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม Minitab และทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 พบว่าตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงของเหล็กกล้า มี 2 ตัวแปรคือธาตุคาร์บอน C (A) และธาตุแมงกานีส Mn (B)

3.3 กรณีศึกษาที่ 3

เป็นการศึกษาการตั้งค่าของเครื่องพ่นงานหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการเปลี่ยนสีของแผ่นอลูมิเนียมสเฟรท ซึ่งค่าตอบสนอง (Y) จะเป็นค่าจำนวนแผ่นงานแตกร้า โดยมีตัวแปร 5 ตัว แบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ ค่าระดับที่ต่ำและสูง ตามตารางที่ 7 [6]

ตารางที่ 7. ระดับของตัวแปรทั้ง 5 ตัว

พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	Low (-)	High (+)	
A: ความเร็วของสายพาน	40	60	เฮิร์ตซ์
B: ความแรงของลมร้อน	20	60	เฮิร์ตซ์
C: อุณหภูมิ	50	80	องศาเซลเซียส
D: ระดับความโค้งของแผ่นอลูมิเนียมสเฟรท	80	220	ไมครอน
E: จำนวนของการวางงานใส่ในแมกกาซีน	100	300	แผ่น

3.3.1 ดำเนินการทดลองตามหลักการค้นหาตัวแปร

ขั้นตอนที่ 1 Ball Park จากการทดลอง 3 ครั้งเมื่อปรับตัวแปรเป็นค่าที่ดีที่สุด(ปรับพารามิเตอร์ทุกตัวไว้ที่ระดับ High(+)) และ 3 ครั้งเมื่อปรับตัวแปรเป็นค่าที่แย่ที่สุด(ปรับพารามิเตอร์ทุกตัวไว้ที่ระดับ Low(-))แสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8. Ball Park

Stage	ค่าของตัวแปรที่ดีที่สุด	ค่าของตัวแปรที่แย่ที่สุด
เริ่มต้น	26	32
ทำซ้ำครั้งที่ 1	29	35
ทำซ้ำครั้งที่ 2	28	33

คำนวณหาค่า D และ $\bar{d}$ โดย $D = 33 - 28 = 5$ และ $\bar{d} = ((29 - 26) + (35 - 32)) / 2 = 3$ ดังนั้น $D : \bar{d} = 5 : 3 = 1.67 : 1$ จึงสรุปได้ว่าตัวแปรที่เลือกไว้อย่างน้อย 1 ตัวแปรมีนัยสำคัญ

การประชุมวิชาการด้านการพัฒนาการดำเนินงานทางอุตสาหกรรมแห่งชาติ ครั้งที่ 2 (CIOD 2011)

11 – 12 พฤษภาคม 2554 ณ โรงแรมพรินทร์ ทาวเวอร์ส กรุงเทพฯ

ขั้นตอนที่ 2 Separation of Important and Unimportant Factors ทำการสลับค่าตัวแปรทีละคู่ เริ่มจากให้ตัวแปร A เป็นค่า Marginal (ค่าที่แย่ที่สุด, ระดับ Low(-)) และตัวแปรที่เหลือเป็น Best (ค่าที่ดีที่สุด, ระดับ High(+)) ทั้งหมดแล้วเก็บข้อมูลจำนวนแผนงานแตกต่างจากนั้นกำหนดให้ตัวแปร A เป็นค่า Best และตัวแปรที่เหลือเป็น Marginal ทั้งหมดแล้วเก็บข้อมูลจำนวนแผนงานแตกต่างแล้วทำแบบนี้กับตัวแปรที่เหลือไปจนครบแล้วนำข้อมูลจำนวนแผนงานแตกต่างมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ Decision Limit โดยคำนวณขอบเขตการตัดสินใจ คือ Decision Limits (Low sides) = median(marginal) $\pm$ 2.776 $\bar{d}$ / 1.81 = 28.4 ถึง 37.6 และ Decision Limits (High sides) = median(best) $\pm$ 2.776 $\bar{d}$ / 1.81 = 23.4 ถึง 32.6 ซึ่งผลการทดลองตัวแปร A,B,C มีผลลัพธ์ที่อยู่ใน Decision Limits หมายความว่าตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญ ส่วนตัวแปร D และ E มีผลลัพธ์อยู่นอกเหนือจาก Decision Limits หมายความว่าตัวแปร D และ E มีนัยสำคัญ

ขั้นตอนที่ 3 Capping Run ทำการสลับค่าของตัวแปรซึ่งกรณีศึกษาตัวแปร D และ E มีนัยสำคัญ จึงกำหนดให้ตัวแปร D และ E เป็นค่า Best และตัวแปรที่เหลือเป็น Marginal ทั้งหมดแล้วเก็บข้อมูลจำนวนแผนงานแตกต่างจากนั้นจึงให้ตัวแปร D และ E เป็นค่า Marginal และตัวแปรที่เหลือเป็น Best ทั้งหมดแล้วเก็บข้อมูลจำนวนแผนงานแตกต่างที่เกิดขึ้นซึ่งแสดงผลในตารางที่ 9

ตารางที่ 9. Capping Run

Combination	Results	Median	Decision Limits	สรุป
D ₃ E ₃ R ₃	30	28	23.40 to 32.60	DE Interaction
D ₄ E ₄ R ₃	29	33	28.40 to 37.60	มีความสำคัญ

จากการทำ Capping Run พบว่าตัวแปร D และ E เป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญและอาจมีความสัมพันธ์ร่วม (Interaction effect)

ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์ตัวแปร นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองบันทึกลงในตารางแล้วคำนวณค่ามัธยฐานจากนั้นคำนวณหาค่าอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10. การวิเคราะห์ตัวแปร

	D Best	D Marginal	
E Best	29 24 28 24 26 30 29	14 15	28+14.5=42.5
	Median = 28	Median = 14.5	
E Marginal	36 32	35 35 33 37 32 25 31	34+33=67
	Median = 34	Median = 33	
	14.5+34=48.5	28+34=62	14.5+33=47.5
			28+33=61

$$\text{Main Effect D} = (62-47.5)/2 = 7.25$$

$$\text{Main Effect E} = (67-42.5)/2 = 12.25$$

$$\text{DE Interaction} = (61-48.5)/2 = 6.25$$

จากตารางสรุปว่าตัวแปร E มีความสำคัญมากที่สุด (Red X) ซึ่งผลลัพธ์จากการคำนวณคือ 12.25 และตัวแปรที่มีความสำคัญอันดับ 2 คือตัวแปร D (Pink X) โดยมีผลลัพธ์จากการคำนวณเท่ากับ 7.25 และตัวแปรที่มีความสำคัญเป็นอันดับสุดท้ายคือการเกิดอิทธิพลร่วมกันระหว่างตัวแปร D และ E (Pale Pink X) โดยมีผลลัพธ์จากการคำนวณเท่ากับ 6.25

3.3.2 ดำเนินการทดลองโดยใช้ 2⁵ Full Factorial Design รูปแบบการทดลองเป็นแบบ 2⁵ มีการทำซ้ำ 2 ซ้ำ ดำเนินการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยโปรแกรม Minitab และทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 พบว่าตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อจำนวนแผนงานแตกต่าง มี 2 ตัวแปรคือระดับความโค้งงอของแผ่นอลูมิเนียมซับสเทรต(D) และจำนวนของการวางงานใส่ในแมกกาซีน (E)

4. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยฉบับนี้อธิบายการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองวิธีการของไชนินโดยอาศัยกรณีศึกษาและได้เปรียบเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองมาตรฐาน(แฟคทอเรียล) ซึ่งให้ผลการวิเคราะห์ที่เหมือนกันในทั้ง 3 กรณีศึกษาสรุปได้ ดังตารางที่ 11 และทำการเปรียบเทียบให้เห็นจำนวนครั้งของการทดลองดังตารางที่ 12

ตารางที่ 11.สรุปผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลกับค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญเปรียบเทียบกันทั้ง 2 วิธีของการออกแบบการทดลองทั้ง 3 กรณีศึกษา

การประชุมวิชาการด้านการพัฒนาการดำเนินงานทางอุตสาหกรรมแห่งชาติ ครั้งที่ 2 (CIOD 2011)

11 – 12 พฤษภาคม 2554 ณ โรงแรมทวิน ทาวเวอร์ส กรุงเทพฯ

กรณีศึกษา	ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนอง อย่างมีนัยสำคัญ	
	วิธีการโซนิน	วิธีมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)
กรณีศึกษาที่ 1	A,E,AE	A,E
กรณีศึกษาที่ 2	A,B,ABD	A,B
กรณีศึกษาที่ 3	D,E,DE	D,E

ตารางที่ 12. เปรียบเทียบจำนวนครั้งของการทดลองด้วยวิธีการของโซนินกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน(แฟคทอเรียล) จากกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณีศึกษา

กรณีศึกษา	จำนวนครั้งในการทดลอง	
	วิธีการโซนิน	วิธีมาตรฐาน(แฟคทอเรียล)
กรณีศึกษาที่ 1	17 ครั้ง	192 ครั้ง
กรณีศึกษาที่ 2	32 ครั้ง	128 ครั้ง
กรณีศึกษาที่ 3	15 ครั้ง	64 ครั้ง

จากตารางที่ 12 เมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 3 กรณีศึกษาจะพบว่าวิธีการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของโซนินมีประโยชน์ที่เห็นเด่นชัดคือใช้จำนวนครั้งของการทดลองที่น้อยกว่าการออกแบบการทดลองมาตรฐาน(แฟคทอเรียล) มาก ซึ่งทำให้ต้นทุนจากการทำการทดลองน้อยกว่าด้วยอีกทั้งยังมีความยุ่งยากซับซ้อนทางการคำนวณสถิติไม่น้อยเมื่อเทียบกับวิธีการออกแบบการทดลองมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) แต่ทั้งนี้ยังมีข้อเสียอยู่คือไม่สามารถคำนวณหาสมการถดถอยได้ ดังนั้นการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของโซนินจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษาตัวแปรในการดำเนินการทดลอง ไม่สามารถทำการทดลองได้จำนวนมาก และมีจำนวนตัวแปรที่ศึกษาจำนวนมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทดลองแบบคัดเลือก (Screening)

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bhole K. 2000. World Class Quality: Using Design of Experiments to Make It Happen : Amacom New York.
- [2] Andrew T. and Jiju A. 2004. Applying Shainin's variables search methodology in Aerospace applications at Assembly Automation, 24: 184-191.

[3] พิเชิด สุขเจริญพงษ์. 2550. Shainin DOE: เทคนิคของโซนินสำหรับการออกแบบการทดลองเพื่อการปรับปรุงคุณภาพ. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

[4] บุญชัย อารยสนองกุล, การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปั๊มแม่นยำด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง, สารนิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ, 2550.

[5] วีรเทพ เจริญสมิทธิชัย, การศึกษาปริมาณธาตุที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กดัดโดยวิธีการออกแบบการทดลอง, สารนิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ, 2550.

[6] นवलลพ พรหมเรืองรอง, การวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อลดการแตกร้าวของแผ่นอลูมิเนียมขึ้นสเทรตโดยเทคนิคการออกแบบการทดลอง, การค้นคว้าอิสระปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, 2551.

การศึกษาเชิงประยุกต์ของการออกแบบการทดลองแบบวิธีการไชนิน An Implication Study of An Unconventional Experimental Design : Shainin Approach

ทศพล เกียรติเจริญผล^{*} ยศวัจน์ ศิริกมลชัย
วิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นครนายก 26120
E-mail: tossapol@swu.ac.th^{*}

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและกำหนดแนวทางการประยุกต์ใช้วิธีการของไชนิน โดยอาศัยกรณีศึกษาและทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองของไชนินกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่าหลักการค้นหาตัวแปรของไชนินสามารถวิเคราะห์ได้ผลลัพธ์เหมือนกับผลลัพธ์จากวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) และยังใช้จำนวนครั้งของการทดลองที่น้อยกว่ามาก ซึ่งจะมีประโยชน์ในเรื่องการประหยัดต้นทุนในการดำเนินการทดลองและจะเป็นทางเลือกหนึ่งของการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลอง ในกรณีที่มีปัจจัยที่ศึกษาจำนวนมาก

คำสำคัญ : การออกแบบการทดลอง, ไชนิน

Abstract

The objective of this research is to study and provide a critical overview of the Shainin Approach by making comparative analysis of a Shainin's experimental design and a traditional design, a factorial design. The findings indicate that Shainin's Variable Search can be used to analyze the effect of factors studied as same as the factorial design. However, the new experimental design method gives more cost-saving advantage due to the less number of experiments than those of the factorial design. The Shainin Approach is recommended to be an alternative analysis method for experimental design, especially with many numbers of factors studied.

Keywords: Experimental Design, Shainin

1. บทนำ

เทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment) คือ การทดลองเพียงครั้งเดียว หรือต่อเนื่องโดยการทำการ เปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะทำให้เกิดสามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่างๆที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Outputs or Responses) จากกระบวนการหรือระบบนั้น (Montgomery, 2005) การออกแบบการทดลองจะมี 4 ขั้นตอน คือ การวางแผน การคัดเลือก (Screening หรือ Process Characterization) การหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization) และการทวนสอบ (Verification) ซึ่งในงานด้านพัฒนากระบวนการและงานด้านการผลิตส่วนใหญ่มักจะมีส่วนแปรจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะมีส่วนในการปรับปรุง การคัดเลือก (Screening หรือ Process Characterization) เป็นการลด

จำนวนตัวแปรเหล่านี้ให้มีจำนวนน้อยลง โดยคัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญอย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การลดจำนวนตัวแปรนี้ทำให้เราสามารถที่จะพิจารณาเฉพาะตัวแปรที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเท่านั้นได้ หรือ พิจารณาตามหลักการ ความสำคัญจำนวนน้อย "Vital Few" การคัดเลือกอาจจะสามารถทำได้ถึงการหาค่าที่เหมาะสม (Optimal) ของตัวแปรนั้นๆ รวมทั้งบอกด้วยว่าคำตอบสนอง (Response) มีสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งซึ่งมีอยู่หลายวิธีที่มักใช้ในการคัดเลือก (Screening หรือ Process Characterization) เช่น วิธี Two-Level Full และ Fractional Factorial ซึ่งในวงการอุตสาหกรรมมีใช้กันแพร่หลาย วิธี Plackett-Burman แม้ว่ามีความละเอียด (Resolution) น้อย แต่ว่ามีประโยชน์อย่างมากต่อการทดลองเพื่อการคัดเลือก วิธีการทดสอบเรื่องความแกร่ง (Robustness) ซึ่ง

ใช้กันโดยทั่วไป และวิธี General Full Factorial (ปัจจัยมีค่าระดับมากกว่า 2 ค่าขึ้นไป) อาจจะมีประโยชน์บ้างในการทำการทดลองเพื่อการคัดเลือกลักษณะ นอกเหนือจากวิธีที่กล่าวมาแล้วนั้น ในขั้นตอนของการคัดเลือก (Screening หรือ Process Characterization) ยังมีเทคนิคที่ถูกเรียกว่า หลักการค้นหาตัวแปร (Variable Search Method) ซึ่งเป็นเครื่องมือหนึ่งในการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของโชไนน์ (Shainin DOE) ซึ่งวิธีการนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยโดเรียน โชไนน์ (Dorian Shainin) ชาวอเมริกา ผู้ซึ่งเป็นที่ปรึกษาของบริษัทชั้นนำต่างๆมากกว่า 800 แห่ง เทคนิคนี้ถือว่าเป็นเทคนิคในการเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างง่าย แต่ให้ประสิทธิภาพสูง และทำให้ผู้แก้ปัญหาสามารถเข้าถึงปัญหาได้โดยไม่ต้องใช้เทคนิคของโชไนน์ถือเป็นกลุ่มวิธีการที่ได้รับการยอมรับมากขึ้นในแวดวงอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่จำเป็นต้องพึ่งหลักการทางสถิติที่ซับซ้อนมากนัก และเป็นวิธีการที่มีกระบวนการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบเป็นขั้นเป็นตอน รวมทั้งได้รับการพิสูจน์ว่าสามารถประยุกต์ใช้ได้ ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้เป็นอย่างดี (Bhote, 2000; Verma, 2004) สำหรับในงานวิจัยนี้จะทำการสร้างกรณีศึกษา การออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ (Full Factorial) ซึ่งได้ทราบว่าปัจจัยไหนมีผลกระทบหลักและผลกระทบร่วม ซึ่งจะนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการของโชไนน์ และวิเคราะห์ด้วยวิธีการ 2^k และ 2^{k-1} และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการค้นหาตัวแปร (Variables Search Method)

วิธีการหรือหลักการค้นหาตัวแปรที่มีประโยชน์เมื่อมีจำนวนตัวแปรที่เท่ากับหรือมากกว่าตัวแปรขึ้นไปในระบบซึ่งโชไนน์ได้ให้คำนิยามของตัวแปรที่มีความสำคัญมากที่สุดว่า Red X และตัวแปรที่มีความสำคัญอันดับที่ 2 ว่า Pink X และถัดมาเป็น Pale Pink X และกำหนดให้ค่าตัวแปรตอบสนองเรียกว่า Green Y (Andrew and Jiju, 2004) หลักการค้นหาตัวแปรสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน ซึ่งในขั้นตอนที่ 1 Ball Park มีวัตถุประสงค์เพื่อ กำหนดตัวแปรและค่าที่ถูกต้องในแต่ละการทดลองโดยเริ่มจากการกำหนดเลือก Green Y ที่ใช้ในการวัดคุณภาพและทำการวิเคราะห์และกำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อคุณภาพสินค้าหลังจากนั้นจึงกำหนดค่าให้ตัวแปรหรือปัจจัยแต่ละปัจจัยเพื่อการทดลอง โดยแบ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด Best Level (B) และค่าที่แย่ที่สุด Marginal Level (M) โดยให้กำหนดขนาดตัวอย่างซึ่งโดยทั่วไปกำหนดเพียง 2 ชั้น คือ BOB (Best Of Best) และ WOW (Worst Of

Worst) อย่างละชั้นและทำการประเมินหาแนวโน้มอย่างคร่าวๆ โดยการทดลอง 2 ครั้ง ครั้งแรกที่ค่า Best Level ครั้งที่สองที่ค่า Marginal Level ของทุกปัจจัย โดยถ้ามีความแตกต่างของค่า Green Y อย่างมากระหว่างค่า Best และ Marginal แสดงว่าปัจจัยที่เลือกไว้มีแนวโน้มว่าจะเป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพอย่างแท้จริงซึ่งค่าของ Best Level ทุกค่าดีกว่า Marginal แต่แตกต่างกันไม่มากแสดงว่ายังมีปัจจัยที่ไม่ถูกเลือกซึ่งมีผลต่อคุณภาพหรือค่า Green Y แต่ค่าของ Best Level ไม่ได้แสดงอย่างชัดเจนว่าดีกว่าค่าของ Marginal Level แสดงว่าปัจจัยที่เลือกไว้ไม่มีผลต่อคุณภาพและให้ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วจึงทดสอบนัยสำคัญเพื่อพิสูจน์ว่า Green Y ของ Best Level ทั้ง 3 ตัว ดีกว่า Green Y ของ Marginal Level ทั้ง 3 ตัว โดยการทดสอบนัยสำคัญจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดคือ Green Y ของ Best Level ทั้ง 3 ตัว ต้องดีกว่า Green Y ของ Marginal Level ทั้ง 3 ตัว และอัตราส่วน D : d ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 1.25 : 1 ซึ่งถ้าการทดสอบนัยสำคัญผ่าน ก็ถือว่า ขั้นตอนที่ 1 เสร็จสิ้น แสดงว่าปัจจัยที่เลือกไว้ถูกต้องแล้วถ้าการทดสอบนัยสำคัญไม่ผ่าน แสดงว่าปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพยังไม่ถูกเลือกให้กลับไปทำการวิเคราะห์และกำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อคุณภาพสินค้าใหม่อีกครั้ง

ในขั้นตอนที่ 2 Separation of Important and Unimportant Factors มีวัตถุประสงค์เพื่อแยกตัวแปรที่สำคัญออกจากตัวแปรที่ไม่สำคัญและกำจัดตัวแปรที่ไม่สำคัญออกไปรวมทั้ง interaction ที่เกิดจากตัวแปรนั้นออกไปด้วย โดยเริ่มจากการทดลองโดยการสลับค่าตัวแปรที่ละคู่ แล้วคำนวณค่าสูงสุดและต่ำสุดของขอบเขตการตัดสินใจ (Decision Limits (High sides) และ Decision Limits (Low sides)) โดยใช้สูตร $\text{median} + 2.776 \sigma / 1.81$ ซึ่งผลลัพธ์ที่เป็นไปได้จะมี 3 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ถ้า $A_M R_B$ อยู่ใน decision limits-low และ $A_B R_M$ อยู่ใน decision limits-high แสดงว่า A ไม่มีนัยสำคัญ
กรณีที่ 2 ถ้า $A_M R_B$ และ $A_B R_M$ ให้ผลตรงข้ามกันคือ $A_M R_B$ ให้ผลเหมือนกรณี All Best และ ให้ผลเหมือนกรณี All Marginal แสดงว่า A เท่านั้นที่เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญปัจจัยอื่นๆ ดึงออกได้ทั้งหมด

กรณีที่ 3 ถ้า $A_M R_B$ และ $A_B R_M$ ค่าใดค่าหนึ่งหรือทั้งสองค่าตกออกนอก decision limits คือ $A_M R_B$ ตกออกนอก decision limits-low และ $A_B R_M$ ตกออกนอก decision limits-high แต่ไม่ได้ให้ผลตรงข้ามกัน แสดงว่า A มีนัยสำคัญ

ร่วมกับปัจจัยอื่นด้วยซึ่งถ้าผลลัพธ์เป็นแบบกรณีที่ 1 หรือ 3 ให้ทดลองต่อสำหรับปัจจัยที่เหลือ คือ B,C,D,... และปัจจัยอื่นต่อไปแต่ถ้าผลลัพธ์เป็นแบบกรณีที่ 2 ให้หยุดการทดลองแสดงว่าได้ Red X เพียงตัวเดียว

ขั้นตอนที่ 3 Capping Run มีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันตัวแปรที่สำคัญและยืนยันความสำคัญของตัวแปรนั้น โดยทดสอบยืนยันผลของตัวแปรและ Interaction โดยสลับค่าของปัจจัย เช่น $A_0B_0R_0$ และ $A_0B_0R_0$ (ถ้ามีปัจจัยที่มีนัยสำคัญมากกว่าหรือเท่ากับ 3 ปัจจัย) ทดสอบยืนยันผล interaction 3 ตัวแปร (ถ้ามีปัจจัยที่มีนัยสำคัญมากกว่าหรือเท่ากับ 3 ปัจจัย)

ขั้นตอนที่ 4 Factorial Analysis มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ค่าของปัจจัยสำคัญที่จะทำให้คุณภาพสินค้าดีที่สุด โดยการหา Main และ Interaction Effect ซึ่งในกรณีที่ค่า Interaction ของปัจจัยหรือตัวแปรคู่ใดมีนัยสำคัญให้เขียนกราฟ Interaction Plot เพื่อหาว่า Interaction ของปัจจัยคู่นั้นมีมากหรือไม่ เพื่อนำไปสู่การกำหนดค่าของปัจจัยที่จะทำให้คุณภาพสินค้าดีที่สุดต่อไป (พิชิต, 2550)

2.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลใช้มากในการทดลองที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายปัจจัย การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่มีความสำคัญมากที่สุด คือ กรณีที่มีปัจจัย k ปัจจัยซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ เราเรียกการออกแบบลักษณะนี้ว่า การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k (Full Factorial Designs at Two Levels) โดย k = จำนวนปัจจัยที่สนใจศึกษาและ 2 คือระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองซึ่งมักใช้คำกล่าวเกี่ยวกับระดับของปัจจัยเป็น ระดับ "สูง" หรือ "ต่ำ"

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กำหนดกรณีศึกษาที่ทราบว่าปัจจัยไหนมีผลกระทบหลักและผลกระทบร่วม

กรณีศึกษาที่ใช้เป็นการศึกษาตัวแปรของเครื่องปั๊มแมนยาสสูงในกระบวนการการผลิตชิ้นส่วนหน้าจอยมือถือ (Backlight) เพื่อทำให้เกิดของเสียให้น้อยที่สุด ซึ่งค่าตอบสนอง (Y) จะเป็นจำนวนเสียต่อ 100 หน่วย (Percent Defective : Yield) โดยจะมีตัวแปรทั้งสิ้น 6 แบ่งออกเป็นสองระดับ คือค่าระดับที่ต่ำและสูง ตามตารางที่ 1 (บุญชัย, 2550)

ตารางที่ 1 ระดับของตัวแปรทั้ง 6 ตัว

พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	Low (-)	High (+)	
1.ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1)	1002	1006	mm
2.ความเร็วส่ง (Speed 1)	15	30	M./Min.
3.ค่า (Inverter 1)	115	150	n/a
4.ความสูงใบมีด (Dept of Cut 2)	990	995	mm
5. ความเร็วส่ง (Speed 2)	30	35	M./Min.
6. ค่า (Inverter 2)	115	150	n/a

3.2 การดำเนินการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ หลักการค้นหาตัวแปร (Variables Search Method) ด้วยวิธีการของโชนิน

ดำเนินการตามขั้นตอนของการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองตามหลักการค้นหาตัวแปร (Variables Search Method) ของโชนิน 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : Ball Park

ขั้นตอนที่ 2 : Separation of Important and Unimportant Factors

ขั้นตอนที่ 3 : Capping Run

ขั้นตอนที่ 4 : Factorial Analysis

3.3 การดำเนินการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ 2^k Full Factorial Design และ 2^{k-1} Fractional Factorial Design

ดำเนินการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Design : 2^k) เมื่อมีตัวแปรทั้งสิ้น 6 ตัวแปร และแต่ละตัวแปร มี 2 ระดับ ซึ่งจะได้รูปแบบการทดลองเป็นแบบ 2^6 มีจำนวนครั้งของการทดลอง(Runs) เท่ากับ 64 ครั้ง แต่ละครั้ง(Run) ของการทดลอง กำหนดให้มีจำนวนการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ (Replicate) และทำการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนของแฟคทอเรียล (Fractional Factorial Design : 2^{k-1}) เมื่อมีตัวแปรทั้งสิ้น 6 ตัวแปร และแต่ละตัวแปร มี 2 ระดับ ซึ่งจะได้รูปแบบการทดลองเป็นแบบ 2^{6-1} มีจำนวนครั้งของการทดลอง(Runs) เท่ากับ 32 ครั้ง แต่ละครั้ง(Run) ของการทดลอง กำหนดให้มีจำนวนการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ (Replicate) โดยการจัดลำดับ (Run)

ของการทดลองใน 2 ครั้ง นี้มิได้จัดลำดับการทดลองให้เป็นแบบสุ่ม (Random)

4. ผลการดำเนินการ

4.1 การออกแบบการทดลองวิธีการโซนิน

ขั้นตอนที่ 1 Ball Park ขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดตัวแปรและค่าที่ถูกต้องในแต่ละการทดลองโดยจะนำข้อมูลที่ได้จากการปรับค่าตัวแปรไว้ที่ค่าที่ลึกลงที่สุด (ในที่นี้คือของเสียที่น้อยที่สุด) เป็นกลุ่มที่เรียกว่า Best Level และในทางตรงข้ามข้อมูลที่ได้จากการปรับค่าตัวแปรไว้ที่ค่าที่ลึกลงที่สุด (ในที่นี้คือของเสียมากที่สุด) เป็นกลุ่มที่เรียกว่า Marginal Level ซึ่งจากการทดลอง 3 ครั้งสำหรับ Best Level และ 3 ครั้งสำหรับ Marginal Level ได้ค่า ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 Ball Park

Stage	all best level	all marginal level
เริ่มต้น	9	25
ทำซ้ำครั้งที่ 1	4	17
ทำซ้ำครั้งที่ 2	2	16

จากการทดลองพบว่าค่า All-Best ทุกครั้ง ดีกว่า All-Marginal และ ค่า Median ของ All-Best คือ 4 และของ All-Marginal คือ 17 ดังนั้น $D = 17 - 4 = 13$ และ $\bar{d} = ((9-2) + (25-16))/2 = 8$ ดังนั้น $D : \bar{d} = 13 : 8 = 1.63 : 1$ ซึ่งมีกฎว่าอัตราส่วน $D : \bar{d}$ ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1.25 (D คือค่าความแตกต่างระหว่างมัธยฐานของ Best Level กับ Marginal Level และ d คือค่าเฉลี่ยของค่าพิสัยภายใน All-Best และ All-Marginal) ดังนั้นจึงเป็นไปตามกฎจึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่เลือกไว้ (A ถึง F) อย่างน้อย 1 ปัจจัยมีนัยสำคัญสามารถทำตามขั้นตอนที่ 2 ต่อไปได้

ขั้นตอนที่ 2 : Separation of Important and Unimportant Factors ขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแยกตัวแปรที่สำคัญออกจากตัวแปรที่ไม่สำคัญและทำการกำจัดตัวแปรที่ไม่สำคัญออกไปรวมทั้ง Interaction ที่เกิดจากตัวแปรนั้นออกไปด้วยโดยการทดลองโดยการสลับค่าตัวแปรทีละคู่ แล้วคำนวณค่าสูงสุดและต่ำสุดของขอบเขตการตัดสินใจ (Decision Limits (High sides) และ Decision Limits (Low sides)) ซึ่งใช้สูตร $\text{median} = \pm 2.776 \bar{d} / 1.81$ ดังนั้นจากกรณีศึกษาจึงเริ่มจากการกำหนดให้ตัว

แปร A เป็นค่า Marginal และตัวแปรที่เหลือเป็น Best ทั้งหมดแล้วจึงเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นจึงกำหนดให้ตัวแปร A เป็นค่า Best และตัวแปรที่เหลือเป็น Marginal ทั้งหมดแล้วจึงเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นทำแบบนี้กับตัวแปรที่เหลือไปจนครบแล้วนำข้อมูลของเสียมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ Decision Limit ที่ได้คำนวณไว้เพื่อหาว่าตัวแปรใดที่มีนัยสำคัญโดยพิจารณาจากผลลัพธ์ที่ได้ถ้าอยู่ใน Decision Limits แสดงว่าตัวแปรนั้นมีนัยสำคัญ แต่ถ้าตัวแปรมีผลลัพธ์ที่อยู่นอกเหนือจาก Decision Limits มีความหมายว่าตัวแปรนั้นมีนัยสำคัญ ซึ่งผลที่ได้แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 Separation of important and unimportant factors

Test	Combination	Results	Median	Decision Limits	สรุป
1	A _u R _h	19	4	-8.27 to 16.27	A สำคัญ
2	A _u R _u	4	17	4.73 to 29.27	
3	B _u R _h	13	4	-8.27 to 16.29	B ไม่สำคัญ
4	B _u R _u	24	17	4.73 to 29.27	
5	C _u R _h	14	4	-8.27 to 16.31	C ไม่สำคัญ
6	C _u R _u	9	17	4.73 to 29.27	
7	D _u R _h	13	4	-8.27 to 16.33	D ไม่สำคัญ
8	D _u R _u	15	17	4.73 to 29.27	
9	E _u R _h	23	4	-8.27 to 16.35	E สำคัญ
10	E _u R _u	0	17	4.73 to 29.27	
11	F _u R _h	16	4	-8.27 to 16.37	F ไม่สำคัญ
12	F _u R _u	9	17	4.73 to 29.27	

จากตารางขอบเขตการตัดสินใจ คือ median best = $\pm 2.776 \bar{d} / 1.81 = -8.27$ ถึง 16.37 และ median marginal = $\pm 2.776 \bar{d} / 1.81 = 4.73$ ถึง 29.27 จากผลการทดลองหมายความว่าปัจจัย B,C,D,F มีผลลัพธ์ที่อยู่ใน Decision Limits ดังนั้น ปัจจัย B,C,D และ F จึงไม่มีนัยสำคัญ ส่วนปัจจัย A และ E มีผลลัพธ์อยู่นอกเหนือจาก Decision Limits จึงหมายความว่าปัจจัย A และ E มีนัยสำคัญ

ขั้นตอนที่ 3 : Capping Run ขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์คือ เพื่อทดสอบยืนยันผลของตัวแปรและ Interaction โดยใช้วิธีสลับค่าของปัจจัยซึ่งจากกรณีศึกษานี้ ปัจจัย A และ E มีนัยสำคัญ (ผลจากขั้นตอนที่ 2) ดังนั้นจึงกำหนดให้ตัวแปร A และ E เป็นค่า Best และตัวแปรที่เหลือเป็น Marginal ทั้งหมดแล้วจึงเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นจึงกำหนดให้ตัวแปร A และ E เป็นค่า Marginal และตัวแปรที่

เหลือเป็น Best ทั้งหมดแล้วจึงเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งแสดงผลในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 Capping Run

Combination	Results	Median	Decision Limits	สรุป
$A_0E_0R_0$	1	4	-8.27to16.27	AE Interaction
$A_0E_0R_0$	24	17	4.73to29.27	มีความสำคัญ

จากการทำ Capping Run พบว่าปัจจัย A และ E ที่ระดับ Best-Level และระดับ Marginal-Level ได้ผลลัพธ์เหมือนกับขั้นตอนที่ 1 ดังนั้น A และ E จึงเป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญและอาจมีความสัมพันธ์ร่วม (Interaction effect)

ขั้นตอนที่ 4 : ทำการวิเคราะห์ปัจจัย Factorial Analysis ขั้นตอนนี้วัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาค่าของปัจจัยสำคัญที่จะทำให้คุณภาพสินค้าดีที่สุดโดยการหาอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) โดยมีวิธีการ คือ นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองบันทึกลงในตารางแล้วคำนวณค่ามัธยฐานหลังจากนั้นให้นำค่ามัธยฐานไปเขียนกราฟและคำนวณหาค่าอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ต่อไปซึ่งได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ปัจจัย

	A Best	A Marginal	
E Best	9 13	19	
	4 14	0	
	2 13		
	1 16		
	Median = 11	Median = 9.5	
E Marginal	4 23	25 24	
		17 9	
		16 15	
		24 9	
	Median = 13.5	Median = 16.5	
	$9.5+13.5=23$	$11+13.5=24.5$	
	$9.5+16.5=26$	$11+16.5=27.5$	

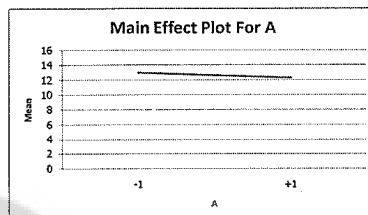
$$\text{Main Effect A} = (26-24.5)/2 = 0.75$$

$$\text{Main Effect E} = (30-20.5)/2 = 4.75$$

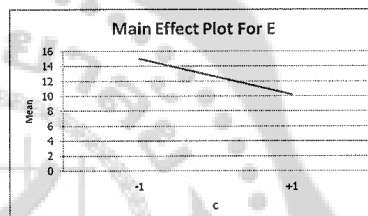
$$\text{AE Interaction} = (27.5-23)/2 = 2.25$$

จากตารางการวิเคราะห์ปัจจัยสามารถสรุปได้ว่าปัจจัย E มีความสำคัญมากที่สุดหรือเรียกว่า Red X ซึ่งสามารถดูผลลัพธ์จากการคำนวณได้คือเท่ากับ 4.75 และปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับ 2 คือการเกิดอิทธิพลร่วมกันระหว่าง

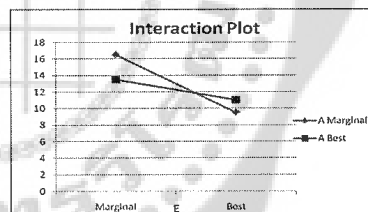
ปัจจัย A และ E โดยมีผลลัพธ์จากการคำนวณเท่ากับ 2.25 หรือเรียกว่า Pink X และปัจจัยที่มีความสำคัญเป็นอันดับสุดท้ายคือ ปัจจัย A โดยมีผลลัพธ์จากการคำนวณเท่ากับ 0.75 หรือเรียกว่า Pale Pink X



รูปที่ 1 การวิเคราะห์อิทธิพลหลักของปัจจัย A



รูปที่ 2 การวิเคราะห์อิทธิพลหลักของปัจจัย E



รูปที่ 3 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมของปัจจัย A และ E

สรุป จากผลลัพธ์ข้างต้นแสดงอย่างชัดเจนว่า ปัจจัย ความสูงใบมีด (A) และ ปัจจัยความเร็วส่ง (E) มีนัยสำคัญทางสถิติและจากกราฟรูปที่ 3 Interaction Plot แสดงให้เห็นว่าปัจจัยทั้งสองมีความสัมพันธ์ร่วมกัน

4.2 วิเคราะห์โดยวิธีการ 2^k และ 2^{k-1}

ดำเนินการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยอาศัยโปรแกรม Minitab โดยแยกวิเคราะห์ผลแต่ละปัจจัย โดยทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 พบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสีย (Defective) ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนหน้าจอมือถือ (Back Light) มีเพียง 2 ตัวแปรคือความสูงใบมีด (Dept of Cut 1) และความเร็วส่ง (Speed 2)

สมการถดถอยของ 2^k

$$Y = 15.667 + 2.563A - 5.750E + 2.219AE \quad (1)$$

สมการถดถอยของ 2^{k-1}

$$Y = 16.021 + 2.646A - 6.396E + 1.688AE \quad (2)$$

เมื่อ Y = จำนวนของเสีย (Defective)
 A = ความสูงใบมีด (Dept of Cut 1)
 E = ความเร็วส่ง (Speed 2)

จากการทดลองพบว่าวิธีการ 2^k จะใช้จำนวนครั้งของการทดลองที่มากกว่าวิธีการ 2^{k-1} และสรุปผลได้เหมือนกันว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสีย (Defective) ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนหน้าจอมือถือ (Back Light) คือความสูงใบมีด (Dept of Cut 1) และความเร็วส่ง (Speed 2)

ในการเปรียบเทียบการออกแบบการทดลองแบบโซเนียน กับการออกแบบการทดลองมาตรฐาน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6

5. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยฉบับนี้ได้อธิบายการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบวิธีการของโซเนียนโดยอาศัยกรณีศึกษา และได้เปรียบเทียบกับแบบการออกแบบการทดลองมาตรฐาน (แฟคทอเรียล) ซึ่งวิธีการ 2^{k-1} ได้รับความนิยมและถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายจากผลการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือ

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการของโซเนียน ซึ่งก็ให้ผลการวิเคราะห์ที่เหมือนกันในกรณีศึกษา คือ ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสีย คือ ปัจจัยความสูงใบมีด (A) ปัจจัยความเร็วส่ง (E) และปัจจัยร่วมของความสูงใบมีดและความเร็วส่ง (AE) แต่การออกแบบการทดลองแบบ

วิธีการของโซเนียน ใช้จำนวนครั้งของการทดลองที่น้อยกว่ามาก ในกรณีนี้มีจำนวนครั้งของการทดลอง 17 การทดลอง ขณะที่ 2^k และ 2^{k-1} ทำซ้ำ 3 ครั้งใช้จำนวนการทดลอง 192 และ 96 ครั้งตามลำดับ ซึ่งเมื่อจำนวนปัจจัยมีมากขึ้น จำนวนครั้งของการทดลองยังมีความแตกต่างกันมากขึ้น การออกแบบการทดลองแบบวิธีการของโซเนียนจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษาปัจจัย ในการดำเนินการดำเนินการทดลอง ไม่สามารถทำการทดลองได้จำนวนมาก และมีจำนวนปัจจัยที่ศึกษาจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทดลองแบบคัดเลือก (Screening)

ตารางที่ 6 สรุปเปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองแบบวิธีการโซเนียนกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล)

หัวข้อ	หลักการค้นหาตัวแปรของโซเนียน	การออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน $2^k, 2^{k-1}$
จำนวนครั้งของการทดลอง	น้อย (17 ครั้ง)	มาก (192 และ 96 ครั้ง)
ต้นทุนที่ใช้ในการทดลอง	ต่ำ	สูง (ตามจำนวนครั้งของการทดลอง)
สมการถดถอย	ไม่มี	มี
ความยุ่งยากซับซ้อน	มาก	มาก

บรรณานุกรม

- บุญชัย อารยสนองกุล, 2550. "การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปั๊มแม่เหล็กด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง".
 สานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขา วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
 พิชิต สุขเจริญพงษ์, 2550. "Shainin DOE : เทคนิคของโซเนียนสำหรับการออกแบบการทดลองเพื่อการปรับปรุงคุณภาพ" ใน เอกสารประกอบการสัมมนาสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ.
 Andrew T. and Jiju A. 2004. Applying Shainin's variables search methodology in Aerospace applications. *Assembly Automation*. Vol.24 No.2. pp. 184-191.

- Bhote K. 2000. **World Class Quality : Using Design of Experiments to Make It Happen**. 2 rd. Ed. Amacom. New York.
- Montgomery, Douglas C. 2005. **Design and Analysis of Experiments**. 6 th. Ed. Hoboken, NJ : Wiley.
- Verma A. K. 2004. Shainin Method: Edge Over Other DOE Techniques. **International Engineering Management Conference**. pp. 1110-1113.





ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นาย ยศวัจน์ ศิริกมลชัย
วันเดือนปีเกิด	13 เมษายน 2524
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	290/160 ซอย รามคำแหง 122 ถนนรามคำแหง แขวงสะพานสูง เขตสะพานสูง กรุงเทพฯ 10240
ตำแหน่งหน้าที่การงานในปัจจุบัน	ผู้ช่วยผู้บริหารด้านเพิ่มผลผลิต
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	เครือเบทาโกร เขตหลักสี่ จังหวัดกรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2546	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ) จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
พ.ศ. 2554	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการทางวิศวกรรม) จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

